

原子力安全・保安部会
原子力安全基盤小委員会報告
～原子力の安全基盤の強化について～

平成19年10月

目 次

| | |
|---|----|
| 第一章 はじめに | 1 |
| 第二章 原子力の安全基盤の現状と課題及び今後の対応の考え方について | 3 |
| 1. 原子力安全基盤研究 | 3 |
| 2. 規格基準の策定と学協会の取組み | 5 |
| 3. 原子力安全確保の観点からの人材基盤 | 7 |
| 4. 原子力安全確保の観点からの研究施設基盤 | 9 |
| 5. 原子力安全確保の観点からの知識基盤 | 10 |
| 第三章 原子力安全基盤小委員会の提言について | 12 |
| 1. 新たな原子力安全基盤研究システムの構築 | 12 |
| 2. 原子力安全分野における学協会の役割の高まりと体制強化 | 13 |
| 3. 原子力専門家人材の戦略的な育成・確保 | 14 |
| 4. 戦略的に重要な安全基盤研究施設の維持・確保 | 15 |
| 5. 知識基盤の高度化と積極的な活用 | 15 |
| 第四章 おわりに | 17 |

(参考1)原子力安全基盤小委員会委員名簿

(参考2)原子力安全基盤小委員会における検討の経緯

原子力安全基盤小委員会報告関連資料集

第一章 はじめに

(1) 原子力安全・保安部会報告「原子力の安全基盤の確保について」

原子力安全・保安部会は、平成13年7月、制度的基盤(安全規制制度)、知識基盤(安全基盤研究等)及び人材基盤(人材の確保)について、現状を検証し、課題を摘出し、対応の基本的な方向付けを行った。

この中で、「社会環境や原子力事業における変化を踏まえ、将来を見越して、安全規制がよりの確に行われるよう、不断に見直す態度が重要である。・・・(中略)・・・安全基盤の重要な要素である知識、人材などについて、本報告に沿って取り組んでいくことはそのためにも不可欠である。」と指摘されている。

(2) 安全規制面における近年の主な取組

検査制度については、品質保証制度の導入等による検査制度の強化、高経年化対策の充実強化が図られるとともに、平成18年10月には、プラント毎の特性を踏まえた事業者の保全活動の充実とこれに基づくきめ細かな検査の導入等を柱とする、新たな検査制度のあり方が取りまとめられた。また、放射能濃度が著しく低い廃棄物の処分を定めるクリアランス制度、廃止措置に係る安全規制制度が整備され運用開始されている。さらに、技術基準の性能規定化と学協会規格の活用という新しい規制基準制度が平成18年1月から導入されるとともに、原子力安全規制でのリスク情報を活用するためのガイドライン等が順次策定されてきた。

最近では、高レベル放射性廃棄物等の埋設事業に係る安全規制を整備するとともに、発電設備の総点検結果を踏まえ、データ改ざん等不正問題の再発を防止するため原子炉等規制法に基づく保安規定の充実等が図られてきている。

(3) 安全基盤を巡る近年の主な動き

原子力の安全基盤、とりわけ、全般的な課題、安全研究の推移、安全規制高度化への対応等に関し、近年において、以下のような動き、指摘等が挙げられる。

- ・原子力政策大綱(平成17年10月閣議決定)において、安全の確保、人材の育成・確保等の基盤的活動の強化、原子力安全研究の推進、知識・情報基盤の整備等が指摘されている。
- ・行政組織の再編、エネルギー分野の安全規制の一元化、特別会計改革等が行われるなかで、政府の原子力安全関係研究予算が構造的に変化し、また、事業者の電力共通研究費も大幅に減少している。
- ・新検査制度の導入、高経年化対策の充実、リスク情報の活用等原子力安全規制の高度化を図っていくために必要となる安全情報等知識基盤の強化と活用が求められている。

- ・安全規制での学協会規格の活用の促進と相俟って、その策定主体である学協会の原子力安全分野での役割が高まっている。

(4) 本小委員会での検討

本小委員会では、安全基盤を巡る近年の動き等を踏まえつつ、安全基盤の現状を検証するとともに、安全基盤のうち当面精力的に取り組むべき課題を中心に議論することとした。具体的には、産業界の取組みも含めた原子力安全基盤研究のあり方、規格基準の策定と学協会の取組、原子力安全確保の観点からの人材基盤、研究施設基盤、知識基盤のあり方の5つのテーマについて、産業界、規制当局、教育研究機関、研究開発機関、そして学協会といった関係者が一同に会して議論を行うこととした。

第二章において、安全基盤の現状と課題及び対応の考え方について整理し、第三章において、産業界、規制当局等関係機関が今後取り組むべき課題について本小委員会としての提言を取りまとめた。

第二章 原子力の安全基盤の現状と課題及び今後の対応の考え方について

1. 原子力安全基盤研究

本報告書において、安全基盤研究とは、規制当局、教育研究機関、公的研究開発機関等で行われる主として安全規制を目的とする研究、産業界等で行われる主として安全性、信頼性向上を目的とする研究を総称する。

(1) 現状と課題

(安全基盤研究の構造変化と今後の安全問題への対応)

2001年に実施された、行政組織の再編、エネルギー分野の安全規制の一元化、また、国の厳しい財政状況等を踏まえた特別会計改革等を背景に政府の原子力安全関係研究予算は、基本的には規制と推進の双方の性格を併せ持っていた安全性実証試験、確証試験から安全規制ニーズに基づく研究へと変化するとともに、ここ数年微減傾向で推移している。また、電気事業者においては、電力自由化によるコスト圧縮の努力、軽水炉技術の成熟化、新規プラント建設の減少等により電力共通研究費もここ10年間で約3分の1の約100億円に減少する等産業界の原子力研究開発予算も全体的には減少傾向を示している。

一方で、燃料の高燃焼度化、運転年数の長期化といった軽水炉の高度利用、2030年頃からと見込まれる大規模等リプレイス需要を想定した次世代軽水炉の開発導入が見込まれる中で、安全問題への対応と安全規制制度・基準の整備・見直しのため安全基盤研究を効率的、効果的かつ先見的に進めていくことが必要とされている。

(安全基盤研究の位置付けと関係者間の意思疎通)

原子力技術の開発導入に関する産業界の計画、安全基盤研究の課題、研究成果の安全規制への反映等についてそれぞれの繋がり、或いは、個別研究課題の安全基盤研究全体の中での位置付けに対する意識が希薄化していると思われる。また、これらの繋がり、位置付けに関し、産業界、規制当局、学界、学協会等関係組織間での意思疎通と共通認識を得る機会が減少していると考えられる。

(2) 今後の対応の考え方

(安全基盤研究に係るロードマップの策定)

安全基盤研究に関する関係組織間の意思疎通の強化と共通認識の醸成を図り、原子力施設の安全確保策、安全規制制度等の計画的、効率的な整備・

見直しを行うため、産業界、規制当局のニーズを踏まえ、国際的な視点も有しつつ、産学官及び学協会が連携して安全基盤研究の重要分野に係るロードマップを策定する。

まずは、今般、原子力安全分野における重要な課題である高経年化対応技術、燃料高度化技術分野のロードマップを策定するとともに、社会安全分野における技術課題を整理することとした。

ロードマップにおいては、新技術等に係る産業界の導入計画、産業界と規制当局の原子力安全に係る研究開発、規格基準の策定計画等を盛り込むことを基本とし、それぞれの原子力安全分野の特性を踏まえたものとする。パブリックアクセプタンスの観点から分かり易く、技術・人材確保の観点から原子力分野の専門家以外にも理解しやすいよう客観的、定量的な表現に努める。このロードマップを今後の安全基盤研究（規制当局においては安全研究）及び規格基準策定の指針として活用する。

（安全基盤研究における産業界と規制当局の役割）

安全基盤研究を計画、実施するにあたり、関係者の役割、とりわけ産業界と規制当局の役割を明確化することが重要であり、その考え方をロードマップ上に反映することが必要である。

産業界は、事業の実施に係る安全性、信頼性等の確保、向上に必要となる研究、民間規格作成のための研究、個別の安全規制措置に関し機器設備等の健全性、検査・運転管理等の妥当性等を説明するために必要な研究を実施する。

規制当局は、安全規制制度・規制基準の整備・運用及び個別の安全規制措置の実施及び判断に必要な技術的知見（データ、手法等）の取得、並びに規制当局に必要な技術基盤の構築を目的とする研究を実施する。

（安全基盤研究における産業界と規制当局の連携）

規制当局の判断の独立性、研究実施の透明性を確保しつつ、安全基盤研究を産業界及び規制当局が連携して行うことは研究資源の効率化の観点から望ましいと考えられる。産業界と規制当局の連携の基本的な考え方、連携の実効性を確保する具体的な協力のあり方及び考慮すべき課題等について検討する。その際、特に、研究実施の透明性を確保することが重要である。

2. 規格基準の策定と学協会の取組み

規制基準の性能規定化と相俟って学協会規格の規制基準としての活用が進み、また、産業界、規制当局等から独立した公平で公正な専門的技術的検討を行う場としての学協会の活動が期待されている。本小委員会は、規格基準及びこれを策定する学協会について安全基盤を構成する重要な要素として位置付け審議した。

(1) 現状と課題

(学協会による着実な規格基準の策定活動)

規制基準の性能規定化に伴い、安全規制の透明性、安定性を確保するためには、基準適合性を具体的に判断するための詳細仕様が必要であり、これに対応する学協会規格の整備が期待される。今後、規格基準の体系的整備には新たな分野への取組みと定期的な改訂等膨大な作業が予想される一方で、産業界では日本原子力技術協会を設立し、支援体制を強化しているものの、規格基準の活動に関わる産業界、教育研究機関、研究開発機関、規制当局等の資源は限られている。また、学協会の規格基準に係る活動基盤が財政的にも人材的にも極めて脆弱である。

(研究開発、規制制度整備等との連携強化)

規格基準は、産学官において行われた研究開発の成果を活用して策定された標準を安全確保に係る要求に対する判断根拠として規制制度において位置付けることが基本である。また、安全規制のニーズを受けて研究が行われ規格基準として活用される標準が策定される場合もある。従って、規格基準の策定は、研究開発、規制制度整備等と不可分の関係にあり、これらとの連携強化が必要である。

(規格基準策定の手続的適正さ)

原子力安全規制においては学協会規格を規制基準として活用する仕組みを平成18年1月から導入された。この際、学協会においては公平性、公正性、公開性を重視した規格策定プロセス、規制当局においては、個々の学協会規格が規制基準として位置付けるのに適切なものであるか否かを判断するための技術評価手続を整備し運用している。実績を踏まえつつ運用面につき、継続的に改善していかなければならない。

(2) 今後の対応の考え方

(規格基準の策定に係る戦略作りと学協会の体制強化)

関係の学協会が連携し、産学官の意見を踏まえ、規格基準の体系的整備に関する優先順位を含めた戦略の策定が重要である。

また、学協会において着実に規格基準の策定活動が行われるよう、学協会の自助努力は勿論のこと、その成果を享受する産業界、規制当局等が応分の支援を行い、学協会の規格基準の策定に係る体制強化が必要である。なお、規格基準等標準化活動は重要な企業戦略の一つであり、その担い手は産業界であることから、研究開発を行って規格案を策定するのは産業界の役割であり、規制当局は技術評価に必要な安全研究を行うのが基本的な考え方であると認識しておくことが必要である。

(学協会に期待される役割)

学協会においては規格基準等標準の策定に加え、安全基盤研究や規格基準に係るロードマップの策定、安全規制制度等安全確保のあり方の提言等においても主たる役割を果たすことが期待される。こうした学協会の活動に際し、産業政策の観点からの標準に関するニーズを踏まえ原子力政策当局の参画を求めていくことが適当である。

(規格基準の策定に係る手続き的適正さの改善努力)

学協会における規格策定プロセスについては、公正性、公平性、公開性を確保するための仕組みが構築されていると評価されるが、その運用については引き続き注視していく必要がある。また、学協会が策定した規格の規制当局による技術評価のプロセスに関しては、役割分担を配慮した合理性と独立性を確保するとともに、実効的・効率的な運用を図るべく、実績を踏まえつつ継続的な改善に取り組むことが重要である。

3. 原子力安全確保の観点からの人材基盤

事業者、メーカー等産業界、安全規制を実施する規制当局等原子力分野の人材基盤の現状を俯瞰するとともに、原子力分野の人材基盤の強化に関する各界での取り組みを踏まえ、原子力の安全確保、安全規制の観点から本小委員会では原子力専門家人材と現場技術者の育成・確保等を中心に審議を行った。

(1) 現状と課題

(原子力専門家人材の高齢化と減少)

安全規制行政の支援、研究開発機関での研究活動及び学協会での標準活動等に関わる、原子力の特定技術分野(炉心・燃料技術、原子力保全技術、核燃料サイクル技術等)及び基礎・基盤技術分野における専門家の高齢化と減少が大きな課題となっている。例えば、原子力安全・保安部会の委員については、全体として60歳以上がほぼ半数近くを占めている。

研究開発、安全研究等を通じた人材育成に期待するだけでなく、中長期的な視点に立ち、教育研究機関と連携した専門家志向の若手人材の確保を含め、こうした専門家人材の戦略的な育成・確保を図ることが必要である。また、その中で、原子力コミュニティ外からの人材確保にも視野を広げることが重要である。

(現場技術者の育成・確保と作業品質の向上)

今後、原子力施設が増加し、また、運転高度化が図られ、保守管理の重要性が増す中で、保守作業に関し協力会社も含めた人材の育成・確保、作業品質の確保・向上に取り組んでいく必要がある。

(人材の育成・確保にあたってのモチベーションの重要性)

原子力施設の安全は、施設の健全性、技術の妥当性とその運転・保守に関与する信頼性により確保される。多様な分野に多様な人材が従事していることも踏まえ、期待される業務が的確に行われるためには、職業意識等一定のモチベーションが必要不可欠である。

(2) 今後の対応の考え方

人材問題は基本的には需要と供給の関係で決まるものである。教育研究機関の人材育成はこれら機関の判断で行われるため、人材を確保していくにあたって産官はそれぞれの立場で教育研究機関に対し具体的なニーズを示

していくことが重要である。また、人材の育成及び確保の両面から今後の対応を考えていく必要がある。

（原子力専門家人材の戦略的な育成・確保）

専門家人材を戦略的に育成・確保するため、今後求められる人材ニーズの技術分野を明確化するとともに、人材の確保の観点から人材リソースを把握することが重要であり、人材ニーズ及び人材リソースを内容とする「原子力専門家人材マップ」を作成することとした。

原子力専門家人材は、安全基盤研究等研究活動を通じた育成が基本である。安全基盤研究の目的に人材の育成を明確に位置づけるとともに、こうした研究事業において人材育成の活動が行われる必要がある。

（人材の確保のためのメッセージの発信とキャリア形成の展望の提示）

原子力分野にレベルの高い人を獲得するため、原子力に係る社会的ニーズを明確なメッセージとして出していくことが必要である。例えば、「社会インフラとして不可欠であり、国のエネルギー政策の根幹であること、非常に高度な技術が求められ、これをうまく動かしていくかどうかによって、社会全体、産業界全体を左右すること」を認識してもらうことが重要である。

モチベーションを持ちうるよう、自らのスキル向上、キャリア形成についての展望が描けることが重要である。原子力の各専門技術分野に従事する専門家人材については、産官学の垣根を越えて活躍ができること等、海外での成功例を参考に、キャリア形成の展望を具体的に提示することが重要である。

（保修作業に関する技術・技能の民間認定制度の構築）

産業界においては作業品質の確保等の観点から保修作業員の各社共通の技術・技能認定制度の導入が検討されており、これは、安全性の向上、作業員のモチベーション、意欲の向上に繋がると期待されるものである。協力会社等も含めた制度の設計・運用がなされることが重要である。

4. 原子力安全確保の観点からの研究施設基盤

(1) 現状と課題

(研究施設基盤の維持確保の困難化)

安全性、信頼性の向上等のための課題解決にあたり、研究施設は重要な基盤のひとつである。国内外において研究施設、とりわけ安全基盤研究の実施施設(ここでは公的研究開発機関が有する施設を念頭に置いている)については、原子力安全問題についての種々の課題が解決されてきたこと、安全基盤研究に係る産業界、国の予算が減少してきていること等からその維持・確保が困難化している。国際的にも、OECD/NEAにおいて「安全研究ニーズがあるにもかかわらず、各国で必要な研究施設を維持できない状況である」との問題提起がなされている。

(安全基盤研究の観点から研究施設の活用)

これら研究施設には、安全確保、安全規制の整備に大いに貢献し、今後、引き続きこうしたニーズへの対応から安全基盤研究を行って行く上で必要と考えられるものが存在している。産業界及び規制当局は、安全基盤研究の適切な実施の観点から今後の安全基盤研究施設の活用についての基本的な考え方、個別研究施設についての考え方を取りまとめる必要がある。

(2) 今後の対応の考え方

(個別研究施設の選択に際しての考え方)

先見的な視点、中長期的な視点も念頭に安全基盤研究の課題が、ロードマップ上に明確に位置付けられていることが必要である。その際、国際的な協力のもとで連携しながら共同研究を実施することも十分考慮する。

その上で、研究施設の選択にあたっては、①課題解決のために必要な能力を有すること、②経済性、利便性等を国内外の施設について比較検討すること、③国内での研究施設の活用のメリットを考慮すること、④国の資金を伴う安全基盤研究(例えば、保安院の安全研究事業)については、原子力安全分野の人材及び技術基盤への貢献はもとより、我が国経済、雇用等へ貢献すること等、を考慮した上で判断がなされることが適当である。

(戦略的に重要な安全基盤研究施設)

上記の考え方に基づき利用される国内施設について、①国内外のユーザが利用することは原子力安全分野において、我が国として国際的に貢献するとともに、②我が国の原子力分野の人的、技術的基盤の強化に繋がること、

③一方で、こうした施設についてはその維持運営が財政的にも人材的にも困難に直面していること等から、一定の条件に該当するものについては、関係機関が協力し戦略的に維持・確保していくことが必要である。

5. 原子力安全確保の観点からの知識基盤

知識基盤は、運転経験情報等の安全情報、安全基盤研究成果等から構成される。知識基盤の整備と同時にこれを如何に活用するかという視点が重要である。ここでは知識基盤の整備及び活用に関し、分野横断的な事項、共通的な事項等について審議を行った。

(1) 現状と課題

(産業界、規制当局の知識基盤のあり方)

原子力安全基盤機構の安全情報データベースには88万件に及ぶデータが蓄積されており、日本原子力技術協会の運営する原子力施設情報公開ライブラリー(NUCIA)では、平成17、18年度において国内655件、海外5,459件に及び国内外のトラブル関連情報が収集されている。

これらを含む産業界(事業者、メーカ及び協力会社)及び規制当局の知識基盤については、それぞれの役割、業務等に照らして適切に構築されている。今後の安全確保、安全規制の高度化への対応のために必要となる安全情報について効果的効率的な整備、活用が必要である。

(知識基盤の活用の視点)

データはあるが、なかなか使えないという状況を突破するとともに、整備された知識基盤が十分に活用されることが重要。知識基盤に含まれる情報等はきわめて膨大で多岐にわたっているため、①整備された知識基盤を必要なときに、必要な情報をもれなく、必要な形で、有効活用できるよう支援すること、②運転管理情報の事業所内における知識基盤を整備するにあたっては不正防止にも資するという視点も重要である。

(知識基盤と地域住民等との関係)

事業者においては、運転管理情報はもとより原子力施設の知識基盤に関する国民・メディア等との積極的なコミュニケーションの促進(その内容・方法論の検討も含め)を図っていく必要がある。

(2) 今後の対応の考え方

(知識基盤の効率的な整備)

安全規制の高度化にあたり保全品質情報、機器設備故障率、人間信頼性データ等新たな安全情報が求められる。そのデータソースは産業界であることから、規制当局は規制資源の効率化の観点から自らデータベースを整備するのではなく、客観性、信頼性等を確保した上で産業界のデータを活用することが基本的考え方である。

（知識基盤の高度利用）

個別事例から一般化した教訓を引き出すことと、一般的な知識から特定分野、状況における事象の発生を示唆するという適用、の両面を支援する知識構造化が重要である。このように知識基盤を有効に高度に活用するにあたっての手法の開発を行うことが必要である。

また、事業者においては運転管理情報の電子化等知識基盤化を図っていくことが重要であり、これは不正の防止にも資するものである。

（知識基盤を活用したコミュニケーションの推進）

知識基盤については、事業者と規制当局との関係で捉えられると同時に、地域住民、一般国民、メディア等との関係で捉えることが重要である。特に、事業者が、その事業活動の理解を得ていくにあたり、その活用を考えることが重要である。

第三章 原子力安全基盤小委員会の提言について

1. 新たな原子力安全基盤研究システムの構築

- (1) 日本原子力学会により高度燃料利用分野、原子力安全基盤機構により高経化対応技術分野の技術戦略マップが策定され、本小委員会は報告を受け審議した。

これは、

- ・産学官及び学協会が共有し、
- ・新技術に係る産業界の導入計画、安全基盤研究の課題、規格基準策定への道筋を示し、
- ・両分野の取組みの重要性、先端的で先見的な技術ニーズを提示するもの

資料1：燃料高度化技術戦略マップ2007（日本原子力学会）

資料2：高経年化対応技術戦略マップ2007（要約版）（原子力安全基盤機構）

また、社会安全分野について、日本原子力学会、日本品質管理学会及び東京大学はワークショップを開催し技術課題を整理した。

- (2) 本小委員会は高度燃料利用分野について上記技術戦略マップを踏まえ、これを実施する政策的課題（規格基準等整備に必要となる安全基盤研究の推進、安全基盤研究の実施施設の整備、安全基盤研究による人材の育成確保）等を含めたロードマップを策定した。

資料3：高度燃料利用分野のロードマップ（原子力安全・保安院）

- (3) 本小委員会は以下のとおり提言する。

- ・学協会等は上記技術戦略マップの定期的なローリングを行うとともに、社会安全分野、再処理施設を中心とする核燃料サイクル分野等、他の原子力安全分野についても産学官と協力し技術戦略マップを策定する。本小委員会はその内容について報告を受け審議する。
- ・規制当局及び産業界は上記技術戦略マップに基づき安全基盤研究を計画し実施するとともに、本小委員会はその計画及び研究成果について毎年度レビューする。
- ・規制当局、産業界、研究開発機関等関係組織は高度燃料利用分野のロードマップにおける政策手段等を実現するため具体的な検討を行う。

2. 原子力安全分野における学協会の役割の高まりと体制強化

(1) 標準策定等に関する取組み

- ①原子力関係学協会規格類協議会^(注)は原子力関係の規格基準などの策定に係る計画を取りまとめ、本小委員会はその報告を受け審議した。これは、
- ・産学官と共有し、
 - ・関係の学協会の標準策定における役割分担と今後の原子力分野の標準策定の考え方と計画(関係機関による標準活動支援のベースとなる当面の具体的な標準策定のスケジュールを含む)を示す。

資料4: 原子力関係の学協会規格類の策定計画について

(原子力関係学協会規格類協議会)

- ②日本原子力学会及び日本機械学会、規制当局、産業界等関係機関は両学会の経営基盤の支援強化について検討を行い取りまとめた。また、学協会及びその協議会は原子力政策当局を規格基準関係委員会委員に加える等標準策定体制の強化を図ってきている。

(2) 本小委員会は以下のとおり提言する。

- ・関係学協会は、産学官の協力を得て「原子力関係の学協会規格類の策定計画」に従い、現在各分野で行われている作業も含め規格基準策定を進める。上記協議会は同計画を定期的に見直し、その内容を必要に応じ本小委員会へ報告する。
- ・産業界、規制当局等関係機関は、上記の学会の経営基盤の支援強化に関する考え方に基づき、学協会の標準策定活動に係る支援を実施する。
- ・学協会においては、同計画において課題として挙げられているように、標準策定における ISO, IAEA, ASME との関係を強化することを期待する。
- ・規格・基準など標準策定活動を行う人材(コードエンジニア等)、上記のような国際的な取組に積極的に貢献できる人材等の育成・確保について、同計画に基づき学協会等で具体的な方策について検討されることを期待する。
- ・産業界、研究開発機関、教育研究機関、規制当局等は学協会の標準策定、ロードマップ策定等の活動について各々の組織全体として支援する。また、例えば産業界、研究開発機関等の経営層がこうした活動への認識を高めていく

^(注)原子力関係学協会規格類協議会は、原子力関係規格類策定団体、関係省庁、電気事業連合会等が参加し、原子力分野の規格類の体系的整備に関する必要事項について協議する場として設けられている。

取組み、こうした活動の実務を担う人材を適切に評価・処遇する取組み等について検討し実施すること、を期待する。

- ・規制当局及び学協会は、「規格基準の性能規定化と学協会規格の活用」、「規格基準整備における規制当局と学協会の役割」等について国民に分かり易く説明を行う。また、上記のように関係機関による支援が行われる中で、学協会は規格基準、ロードマップ等の策定等の活動において公正、公平、公開の考え方が徹底されていることについて説明責任を果たすことが重要である。

3. 原子力専門家人材の戦略的な育成・確保

- (1) 原子力の安全確保及び安全規制の観点から人材面の主な課題は特定技術分野及び基礎・基盤分野の専門家人材の育成・確保。戦略的な人材の育成・確保のため本小委員会は原子力安全専門家人材マップについて報告を受け、議論した。

資料5: 原子力専門家人材マップ(人材ニーズマップ(原子力安全・保安院)及びリソースマップ(エネルギー総合工学研究所))

- (2) 本小委員会は、人材ニーズに関する以下の指摘を十分認識する。

- ・規格基準の策定を推進していく観点から、規格基準策定の専門家であるコードエンジニアを育成することが重要である。
- ・知識基盤の効果的な整備、活用を図る観点から、安全情報等を解析する専門家の育成が重要である。
- ・リスクコミュニケーション、ヒューマンファクター等ソフト面を研究する人材、コミュニケーション能力を有する人材を育成することが重要である。

- (3) 本小委員会は以下のとおり提言する。

- ・国、産業界、教育研究機関、研究開発機関等関係機関は連携して、原子力専門家人材マップ及び技術戦略マップに基づき、原子力分野の人材ニーズ及び技術ニーズに関する情報、メッセージ等を発信するとともに、人材及び技術に係るリソース側との交流促進を図る。また、これら関係機関は連携して原子力専門家人材マップをレビューし、必要に応じ見直す。
- ・国、産業界等は、教育研究機関の研究者、技術者の取り組んだ原子力分野における標準策定、研究開発、規制支援等基盤的活動が、社会的貢献として、その評価に位置付けられるよう積極的に取り組む。産業界は学協会と連携して、その際に活用し得る、研究者、技術者による標準策定、試験研究等に対する産業界

としての評価について検討を行う。

- ・産業界は、企業倫理、安全文化、技術者倫理等の向上、徹底のための具体的な方策を人材基盤の取組み(教育・研修等)の中に盛り込み、実施する。
- ・産業界は、保守作業にかかる技術・技能の民間資格認定制度について自主的な取組みとして検討を進め、その制度の構築と運用を図る。
- ・規制当局及び研究開発機関は、安全研究による人材の育成、確保を推進するため、安全研究事業において、この目的を明確化するとともに、この観点から必要な活動が実施できるよう措置する。

4. 戦略的に重要な安全基盤研究施設の維持・確保

- ・本小委員会は、次に該当する研究施設について「戦略的に重要な安全基盤研究施設」と位置づけ、当該施設の重要性について国民の理解を得るよう努める。
 - ① 技術戦略マップにおける重要な安全基盤研究ニーズに対応する施設
 - ② 人材マップにおいて今後専門家の育成・確保が重要とされる分野の研究課題へ対応する施設
 - ③ OECD/NEA 等により国際的に高い評価を受けている施設
- ・また、当該施設を有する研究開発機関は国際的に遜色のない経済性、利便性等の確保を図るとともに、国内外ユーザによる利用が促進されるよう具体的な提案を行う。国は国際共同研究プロジェクトの実現に向け必要な政府間ベースでの提案を行う。産業界は当該研究開発機関の取組みの成果を踏まえ当該施設の積極的な利用に努める。
- ・「研究施設の維持に関する戦略策定が必要」との OECD/NEA の提言にも鑑み、原子力安全基盤機構及び日本原子力研究開発機構は連携して、技術戦略及び人材マップを踏まえつつ、安全基盤研究施設の活用戦略を策定する。
- ・本小委員会は、高度燃料利用分野及び高経年化対応技術分野に関し、技術戦略マップ等を踏まえ、日本原子力研究開発機構原子炉安全性研究炉(NSRR)、燃料試験施設(RFEF)、及び材料試験炉(JMTR)(照射後試験施設など、これらの付属する施設を含む。)を「戦略的に重要な安全基盤研究施設」と位置づける。なお、他の研究施設について、今後、他分野の技術戦略マップ策定等を踏まえ、「戦略的に重要な安全基盤研究施設」への位置づけを検討する。

5. 知識基盤の高度化と積極的な活用

- ・原子力安全基盤機構は、事業者による事故故障等の未然防止の取組みを徹底するため、安全情報の知識構造化ベースの構築をその実効性も踏まえつつ

推進する。

- ・ その際、安全情報を解析する専門家、個別事例の経験から本質知を抽出する専門家が必要であり、同機構はこのような人材の育成・確保の方策を検討する。
- ・ 事業者には、規制とは別の次元から行われる運転管理情報等の電子化の推進及び運転管理情報はもとより原子力施設の知識基盤に関する地域住民、一般国民、メディア等とのコミュニケーションの推進について積極的な取組みを期待する。

第四章 おわりに

(検討のプロセス)

本小委員会は安全確保及び安全規制の観点から、電力業界、プラントメーカー業界から委員として、原子力政策当局からオブザーバとして参画願い、推進と規制という二項対立を越えた形で産業界、規制当局等における原子力安全基盤の強化の方策について議論を行ってきた。また、原子力安全分野における学協会の高まる役割を踏まえ、この点についての国民の理解が促進されることを期待して日本原子力学会、日本機械学会、日本電気協会の標準委員会等からの参画も得た。

本小委員会と併行して進められた技術戦略マップの策定作業等を通じ、産業界、規制当局、政策当局、研究開発機関、学協会等関係者が一同に会し今後の安全基盤についての継続的で熱心な議論がなされたのは極めて有意義であった。特に、日本原子力学会、原子力安全基盤機構における技術戦略マップの策定プロセスに関しては、「多くの分野の専門家が検討に加わり、産業界と国等がいろいろな意見を本当に出し合ってここまでできた」と、本小委員会で学会委員から報告があった。

(安全基盤の強化における産業界及び国の役割)

原子力施設を所有し、運転し、事業活動を行う主体であり、その安全性に第一義的責任を有する事業者が、安全基盤構築にあたって先導的な役割を果たすことが必要である。事業者も含めた産業界が人材、標準、技術等について具体的な要望、将来の計画、考え方等を関係機関に表明することが重要である。国においては、これらも踏まえつつ、先見的な安全研究の実施等により必要な安全規制の整備・見直しを行うとともに、将来の安全基盤に係る課題を先取りし関係者の議論に付すこと等の対応が求められる。

先見的な安全基盤研究を実施し、それを知識基盤として整備し活用することにより、将来起きうる事象はもとより、原子力政策大綱における既存軽水炉の高度化、次世代軽水炉等今後の原子力利用に必要な安全基盤が構築されるものとする。

(安全基盤の強化による保安活動の高度化)

知識基盤の整備・活用等安全基盤を強化し、十分に活用することは、原子力施設の保安活動の高度化(言い換えれば科学的合理性の向上、説明性の向上)、事業活動の透明性の向上に繋がる。また、安全規制の整備・運用にあたって、事業者によるより説得力のある、より質の高い申請、提案等を含む保安活動が可能となり、規制当局における科学的合理的な判断と相俟って、結果としてより効率的効果的な安全確保、安全規制に繋がると期待される。

(参考) 米国 NRC クライン委員長による(2007年1月のオハイオ大学)、産業界の代表との会

合での講演より抜粋、「建設運転一括承認であれ、許認可の更新であれ、設計認証であれ、他の何に関するものであっても、質の高い申請がなされれば、質の低いものと較べれば、審査する時間は少ない時間で済む。是非、質の良い、明確な申請をして欲しい。そうすれば、NRC は適時(timeliness)に処理する。」

(安全基盤の強化に向けた関係機関の主体的な取組みと本小委員会の役割)

本小委員会で議論された安全基盤の課題は、当面精力的に取り組むべきものに焦点があてられた。事業者、プラントメーカー、規制当局、学協会等においては、本報告の提言への対応に止まらず、それぞれの役割を果たすために必要な安全基盤の強化に向けた主体的、自律的な取組みを進めることが重要である。

最後に、本小委員会は、この報告書に盛り込まれた提言内容が着実に実施されるよう、関係機関における取組みをフォローアップしていくこととしたい。また、当然のことながら、本小委員会は、社会環境や原子力事業における変化を踏まえ、本報告の内容を見直すこととする。

原子力安全基盤小委員会 委員名簿

(敬称略、五十音順)

| | | |
|-----|-------|---|
| 委員長 | 大橋 弘忠 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| 委員 | 秋庭 悦子 | 社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会常任理事 |
| | 飯塚 悦功 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| | 伊藤 順司 | 独立行政法人産業技術総合研究所理事 |
| | 木下 幹康 | 財団法人電力中央研究所上席研究員 |
| | 久木田 豊 | 名古屋大学大学院工学研究科教授 |
| | 小林 英男 | 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授 |
| | 齋藤 莊蔵 | 株式会社日立製作所執行役専務 社団法人日本電機工業会原子力政策委員会委員長 (第 6回まで参加) |
| | 浦谷 良美 | 三菱重工業株式会社常務執行役員 社団法人日本電機工業会原子力政策委員会委員長 (第 7回から参加) |
| | 高 巖 | 麗澤大学国際経済学部教授 |
| | 武黒 一郎 | 東京電力株式会社取締役副社長 電気事業連合会原子力開発対策委員会総合部会長 |
| | 知野 恵子 | 株式会社読売新聞社編集委員 |
| | 橋本 和仁 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| | 藤田 聡 | 東京電機大学工学部第一部長 |
| | 班目 春樹 | 東京大学大学院工学系研究科教授 社団法人日本電気協会原子力規格委員会委員長 |
| | 松岡 伸吾 | 日本原燃株式会社技術顧問 |
| | 宮野 廣 | 東芝プラントシステム株式会社技術企画部長 社団法人日本原子力学会標準委員会委員長 |
| | 湯原 哲夫 | 東京大学サステイナビリティ学連携研究機構特任研究員 社団法人日本機械学会標準・規格センター発電用設備規格委員会委員長 |
| | 吉本 陽子 | 三菱UFJリサーチ & コンサルティング株式会社主任研究員 |

| | | |
|--------|----------------------------|------------------|
| オブザーバー | 原子力安全委員会事務局総務課長 | 加藤 孝男 (第 4回まで参加) |
| | | 明野 吉成 (第 5回から参加) |
| | 独立行政法人日本原子力研究開発機構安全研究センター長 | 石島 清見 |
| | 独立行政法人原子力安全基盤機構理事 | 曽我部 捷洋 |
| | 有限責任中間法人日本原子力技術協会専務理事 | 野田 宏 (第 6回まで参加) |
| | | 鈴木 康郎 (第 7回から参加) |

原子力安全基盤小委員会における検討の経緯

第1回（平成18年9月11日）

平成19年度原子力安全研究予算概算要求及び電気事業者における原子力研究・技術開発について

当小委員会での今後の検討事項について

第2回（平成18年11月20日）

規格・基準の策定と学協会の取組みについて

第3回（平成19年1月30日）

今後の安全基盤研究のあり方について

第4回（平成19年3月22日）

原子力分野の人材基盤の現状認識と今後の取組みについて
（特に安全確保、安全規制の視点から）

第5回（平成19年5月8日）

原子力安全分野の研究施設基盤に関する現状と今後の取組みについて

原子力安全分野の知識基盤に関する現状と今後の取組みについて

第6回（平成19年6月5日）

原子力安全基盤の強化に向けての今後の取組みについて

第7回（平成19年7月18日）

原子力安全基盤小委員会報告（案）について

第8回（平成19年10月15日）

「原子力安全基盤小委員会報告～原子力の安全基盤の強化について～（案）」

に関するパブリックコメントの結果について



燃料高度化技術戦略マップ2007

平成19年7月

日本原子力学会

「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」

特別専門委員会



技術戦略マップ策定の位置付け

- 技術戦略マップやその検討の意義は、産官学の専門家が、取り組むべき課題、その課題への対応方法や責任者を明確にし、理解を共有することにある。また、その内容について国民の理解を得つつ、産官学が有機的に連携しながら、合理的かつ効率的な方法で課題解決を図ることを目標としている。
- 安全基盤研究に係る活動は「原子力発電所の安全確保」をめざすものであり、社会的要求や情勢の変化による設備、運用の変化に対して、確実に安全を確保しつつプラントの高度化を図るための施策を達成、実現するものである。この中で軽水炉燃料の高度化はきわめて重要な位置付けにあり、これをどのように図っていくかを産官学で議論し共有するために、「燃料高度化技術」の技術戦略マップを日本原子力学会の場において策定しさらにそのローリングを行っている。



技術戦略マップの策定およびローリングの実施体制

ロードマップおよび民間規格に関する作業会を有する特別専門委員会を設置し、制定した規約に基づき、専門家が個人的な立場として参加し(計53名)、議論を行った。

日本原子力学会「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」特別専門委員会

委員会主査 関村直人

- 学術界

東京大学、大阪大学、京都大学、名古屋大学、九州大学、電力中央研究所

- 官界

原子力安全・保安院、資源エネルギー庁、原子力安全基盤機構、
原子力安全委員会、日本原子力研究開発機構

- 産業界

日本原子力技術協会、東京電力、関西電力、日本原子力発電、
三菱重工業、グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、原子燃料工業、
日本核燃料開発、ニュークリア・デベロップメント、三菱原子燃料、
住友金属、三菱マテリアル、神鋼特殊鋼管(コベルコ科研)、ジルコプロダクツ

- 学協会

日本原子力学会標準委員会

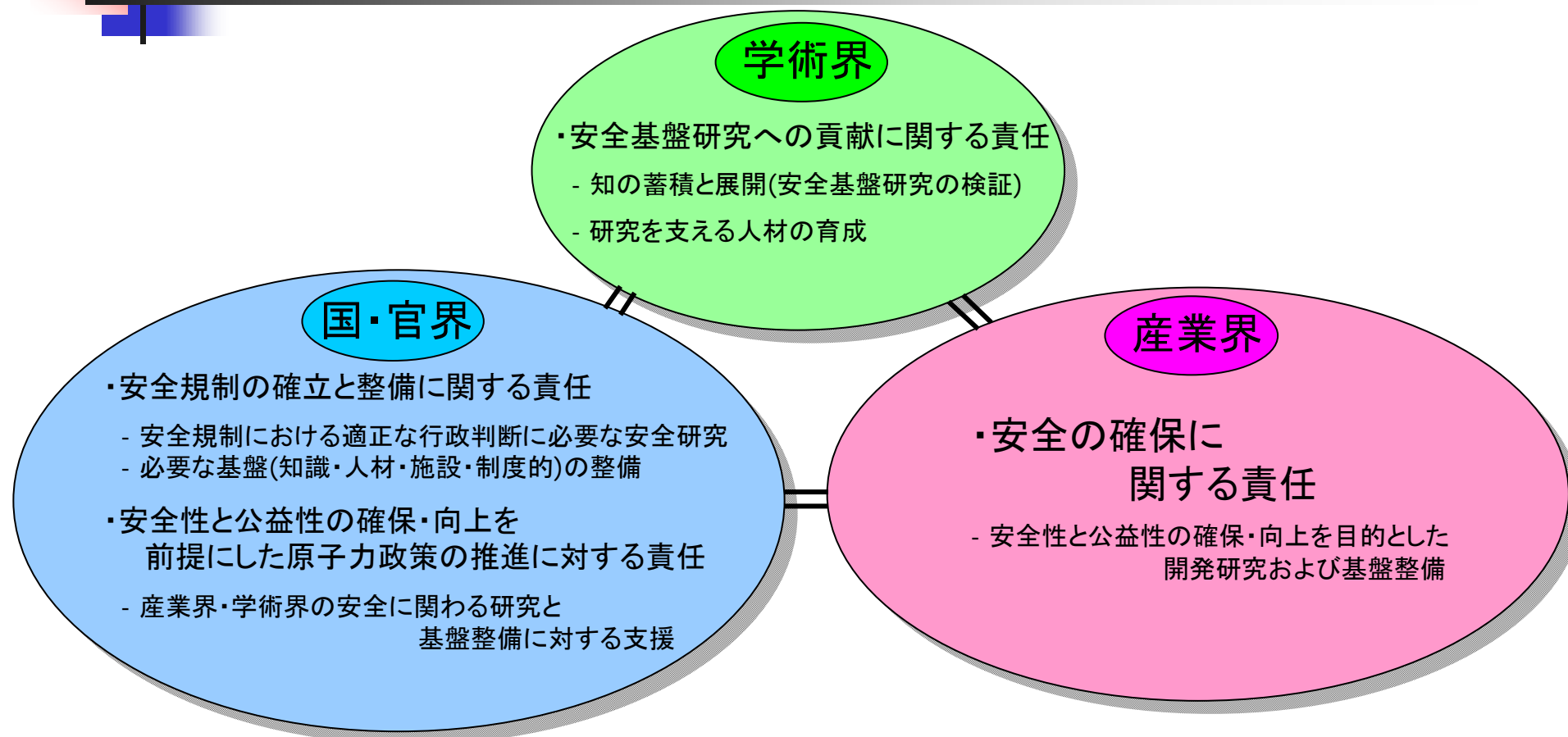
ロードマップ作業会

技術戦略マップのローリング

民間規格作業会

燃料に関する学協会規格案や
規格策定における課題の検討

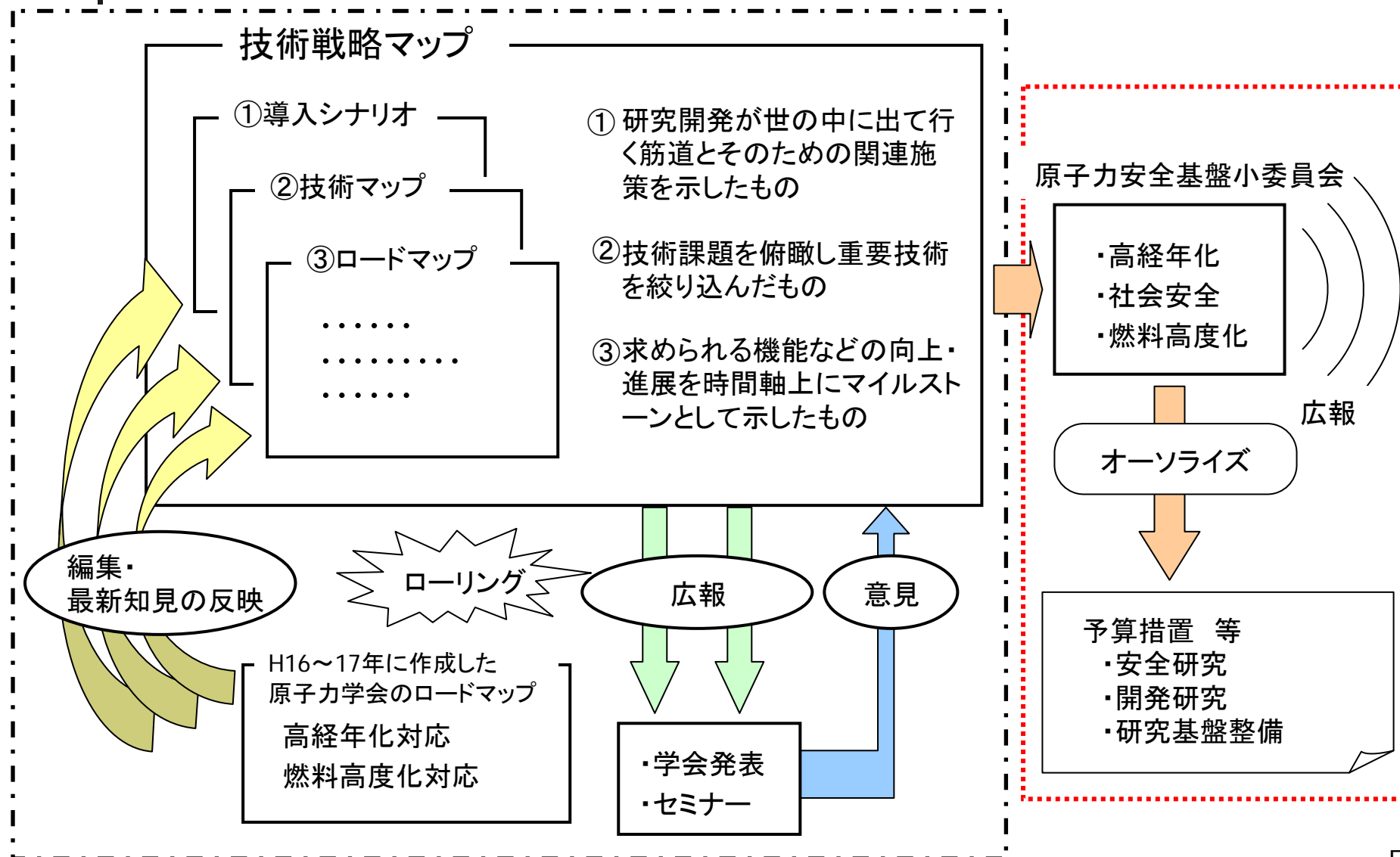
技術戦略における産官学の役割分担(理念)



学協会など

- ・産官学の関係者が集合し、以下の観点から技術戦略マップの策定、定期的なローリングを行う。
 - 優先的に取り組む課題の明確化
 - 合理的・効率的実施を考慮した役割分担の検討
 - 検討作業、情報発信を通じたコンセンサスの形成
- ・技術戦略マップに沿った活動の中で、規格基準化を図り、規格基準の高度化に貢献する。

技術戦略マップの作成と展開





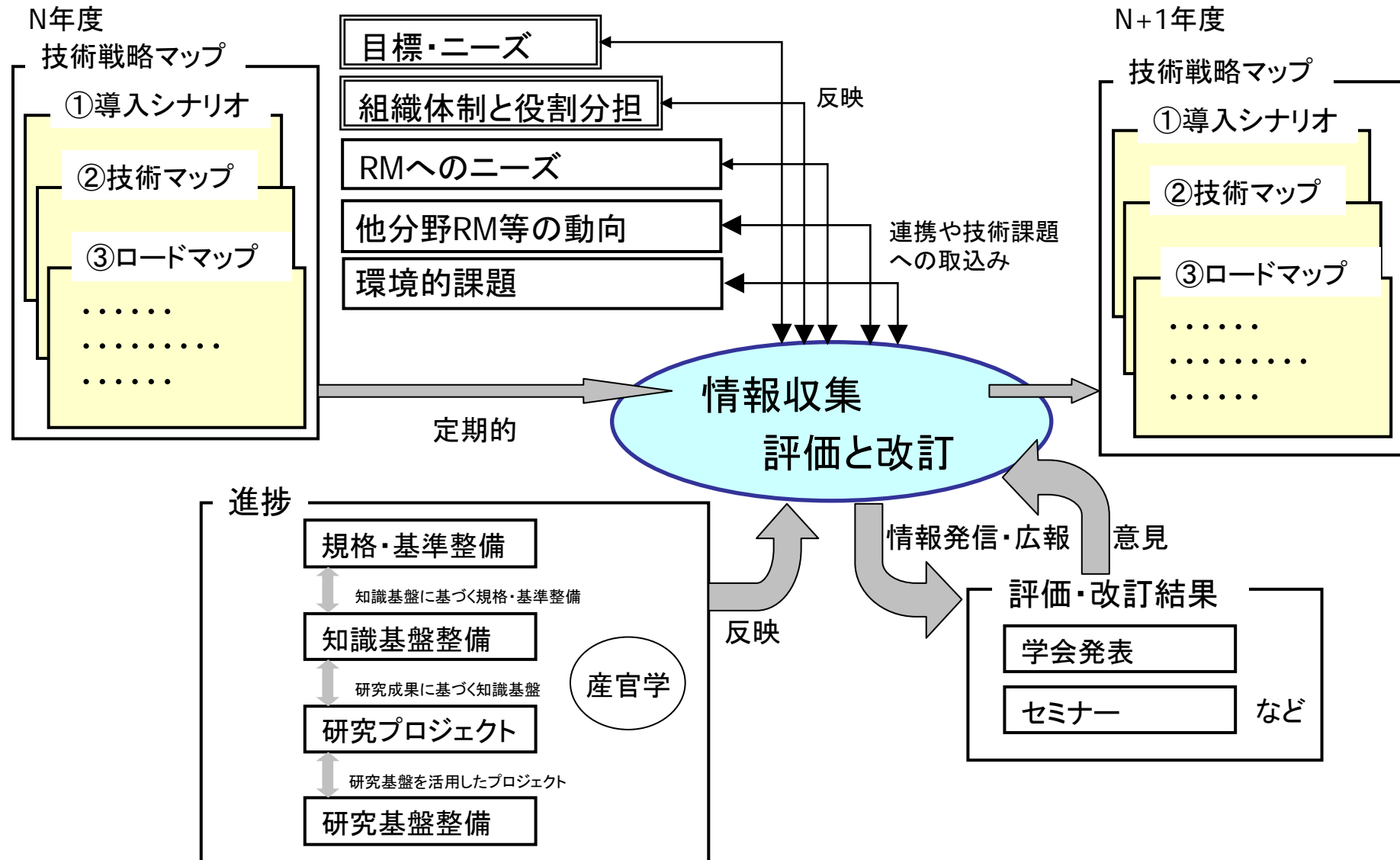
技術戦略マップ 策定・ローリングの考え方

原子力発電は国民全体の理解が必要であり、その安全確保には官民が連携した国全体としての取り組みが要求される。

その上で、技術戦略マップの策定・ローリングは、以下の3点を満足するように行う。

- ① 国の研究開発および民間も含めた安全関連の研究に関しては、その考え方、内容、成果などについて、国民に説明を行い、理解を求める。
 - 国が行う研究の必要性・予算措置と産業界が行う研究との連携
 - 安全基盤研究全体の位置づけの明確化
- ② 研究開発プロジェクトの企画立案および運営に寄与するインフラを整備する。
 - 産官学の活動情報の統合と効果的活用として、情報基盤の整備
- ③ 異分野・異業種の連携、技術の融合、関連施策の一体的維持活用と安全確保のための基盤整備等を促進するとともに、産官学の総合力を結集する。
 - 関連分野との連携
 - 施設基盤、人材基盤の構築（どの分野の施設、人材が必要かを明確にする）
 - 産官学が結集して、共通の理解と目標を設定（コンセンサスの形成）

技術戦略マップのローリング





目標の明示とシナリオの共有

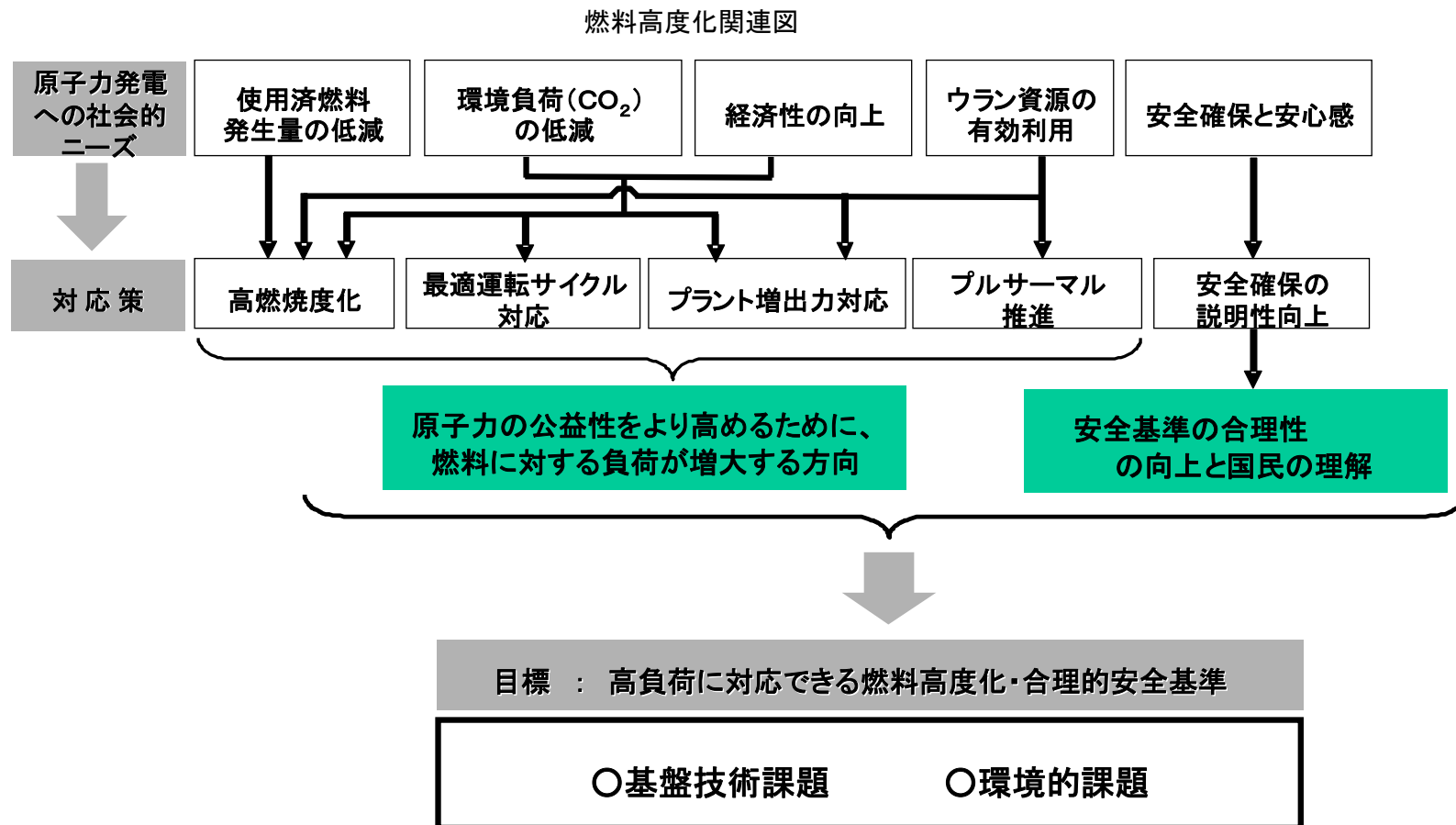
- 原子力発電の重要性を確認しつつ、燃料高度化の位置付けを明確化し、産官学場で共有化された目標を明示した。

(燃料高度化の位置づけ)

公益性の向上のためには、増大する燃料の負荷に対応できるように燃料の高度化を図る必要がある。燃料は放射性物質を閉じこめるという安全上重要な機能を有している。その安全性を確保するための性能を向上することで今後も信頼性を維持しつつ、さらに安全基準の合理性の向上を図ることが原子力発電への信頼を高めることになる。

- 特別専門委員会に参加する関係者が燃料高度化に関わる見通しを示し、これを互いに議論し集約することによって、産官学が共有する目標を達成するための技術戦略マップを描き出すとともに、常にこれを最新のものとするための議論を行っている。

燃料高度化の位置づけ



燃料高度化の位置づけ(公益性の向上)

- ①高燃焼度化による使用済燃料発生量低減
- ②燃料性能向上が支えるプラントの高度利用
(炉出力向上、柔軟な運転サイクル)によるCO₂の削減

効果の試算

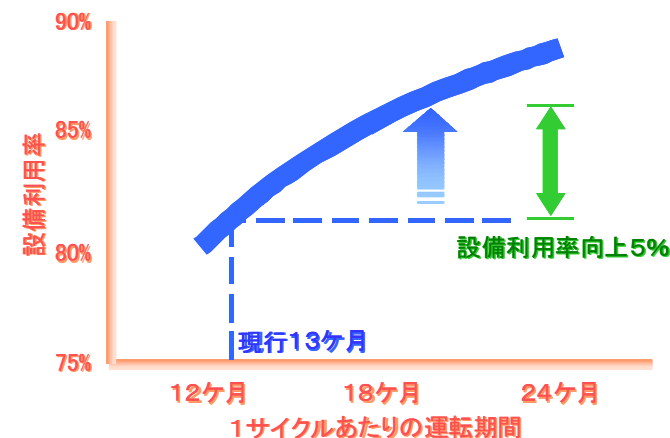
①使用済燃料発生量低減

現行燃料(55GWd/t)⇒高燃焼度化燃料(例えば～70GWd/t)
→約30%の使用済燃料発生量低減

②CO₂削減

設備利用率10%向上*1

- 年間約430億kWhの発電量
(110万kWプラント5基)増加に相当
- 年間約2.5千万トンのCO₂発生削減に相当*2
- 1990年度の年間排出量の約2%に相当
(京都議定書における削減目標6%)
- 2千億円以上の排出権に相当*3



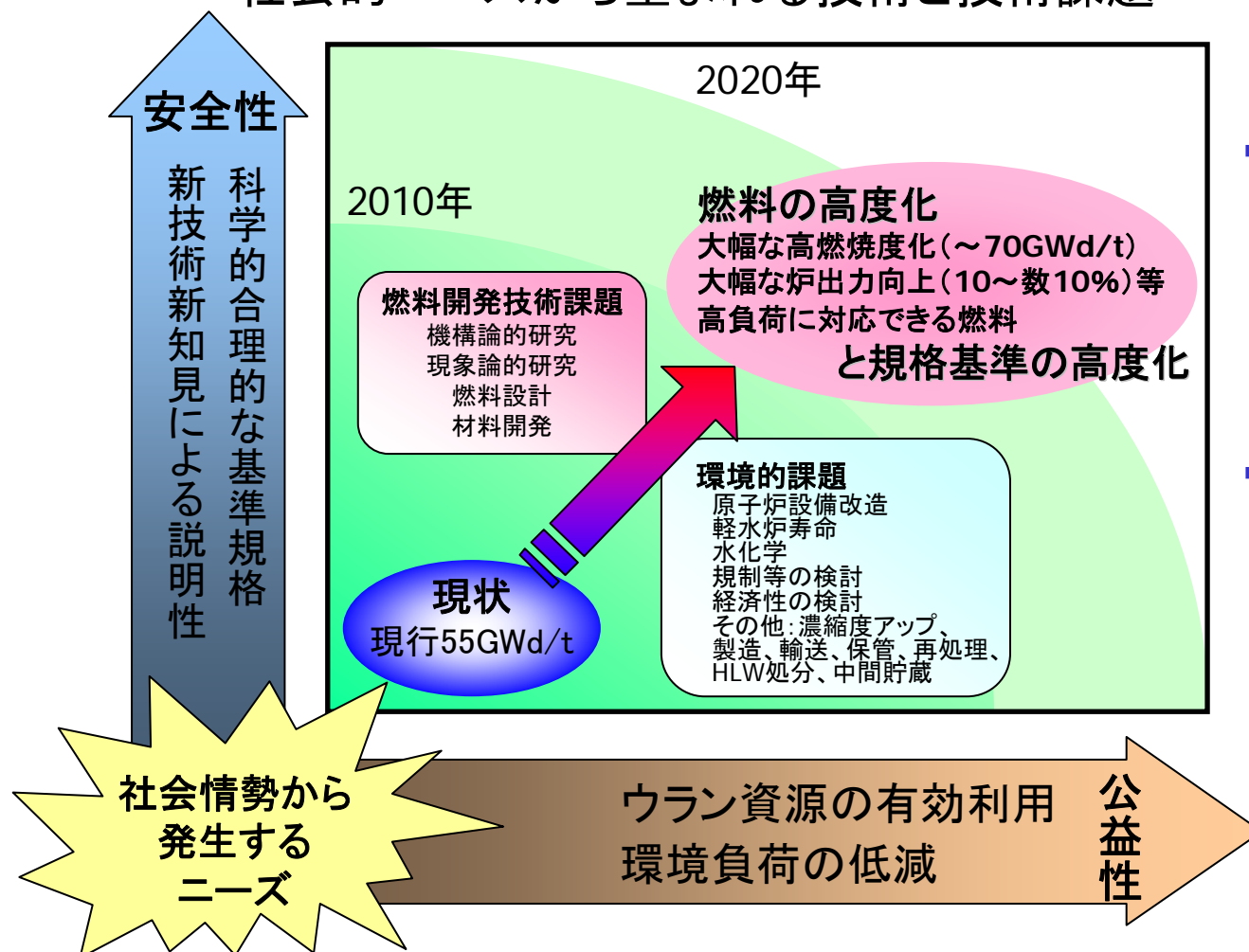
*1 13ヶ月運転(3ヶ月定検)のプラントの場合、例えば、柔軟な運転サイクル(約19ヶ月運転)による約5%および炉出力向上(約6%)による約5%の設備利用率向上。

*2 LNG火力の代替を想定して試算。

*3 IPCC第3作業部会報告(2007.5.4)において、「2100年までに大気中の温室効果ガスを550ppmに抑えるためには2030年までにCO₂の削減費用を最大約80ドル/トンのCO₂まで伸ばすことが必要」とされている(2007.5.5毎日新聞)ことから、排出権価格を同程度として試算。

燃料高度化の導入シナリオ 燃料高度化の目標

社会的ニーズから望まれる技術と技術課題



- 高負荷に対応できる燃料の高度化と規格基準の高度化による安全基準の合理性と信頼性の向上を図り、公益性の向上と安全性の向上を、ともに達成していく必要がある。
- そのためには、官民が規制と開発の両輪となり協調を図っていくことが重要であるとともに、緊張感を維持しながら、適切な役割を分担していくことが必要である。



燃料高度化の導入シナリオ

PWR・BWR共通シナリオ

燃料高度化の対応策

- 高燃焼度化
 - 炉出力向上
 - 柔軟な運転サイクル対応
 - プルサーマル対応
 - 規格・基準高度化
- 等

PWR燃料
の高度化

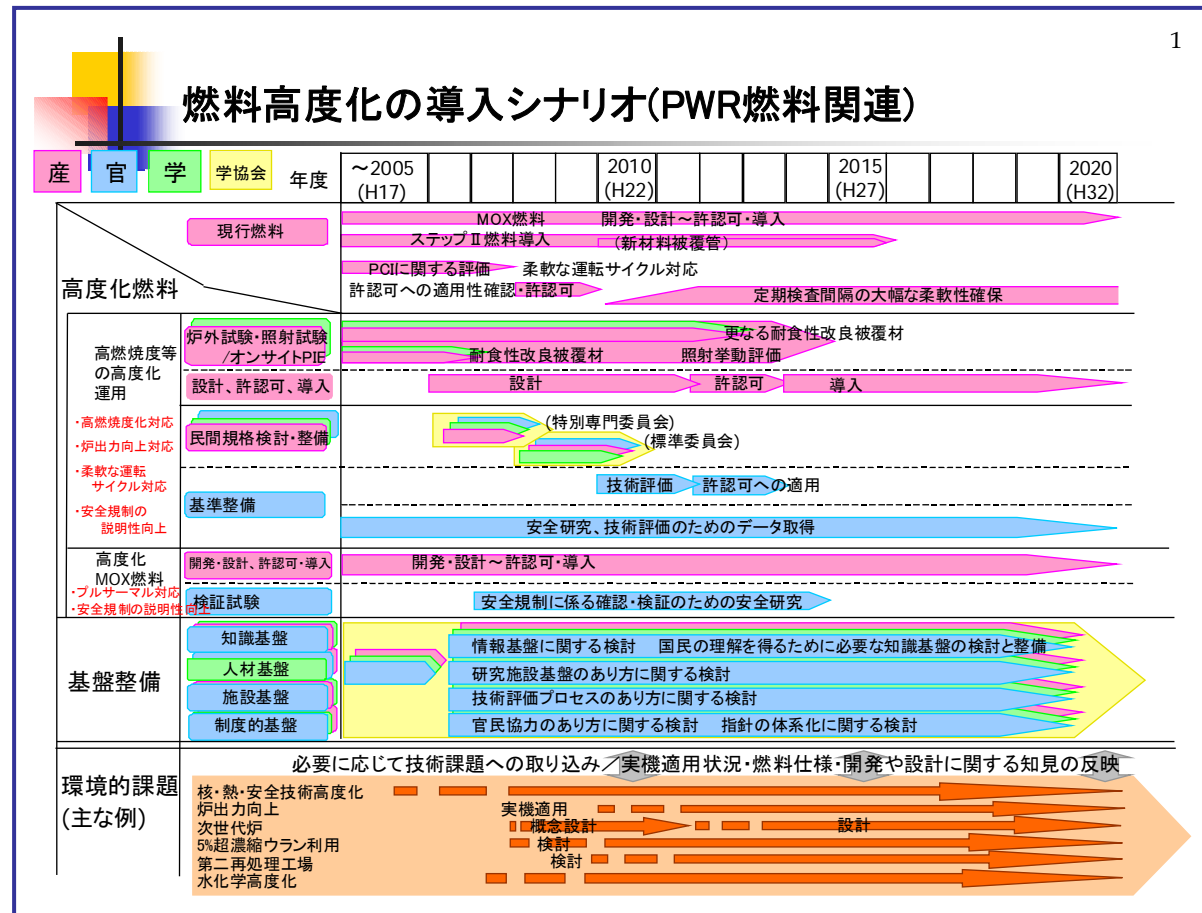
BWR燃料
の高度化

それぞれ具体的に展開

燃料高度化の導入シナリオ(1階層目)(1)

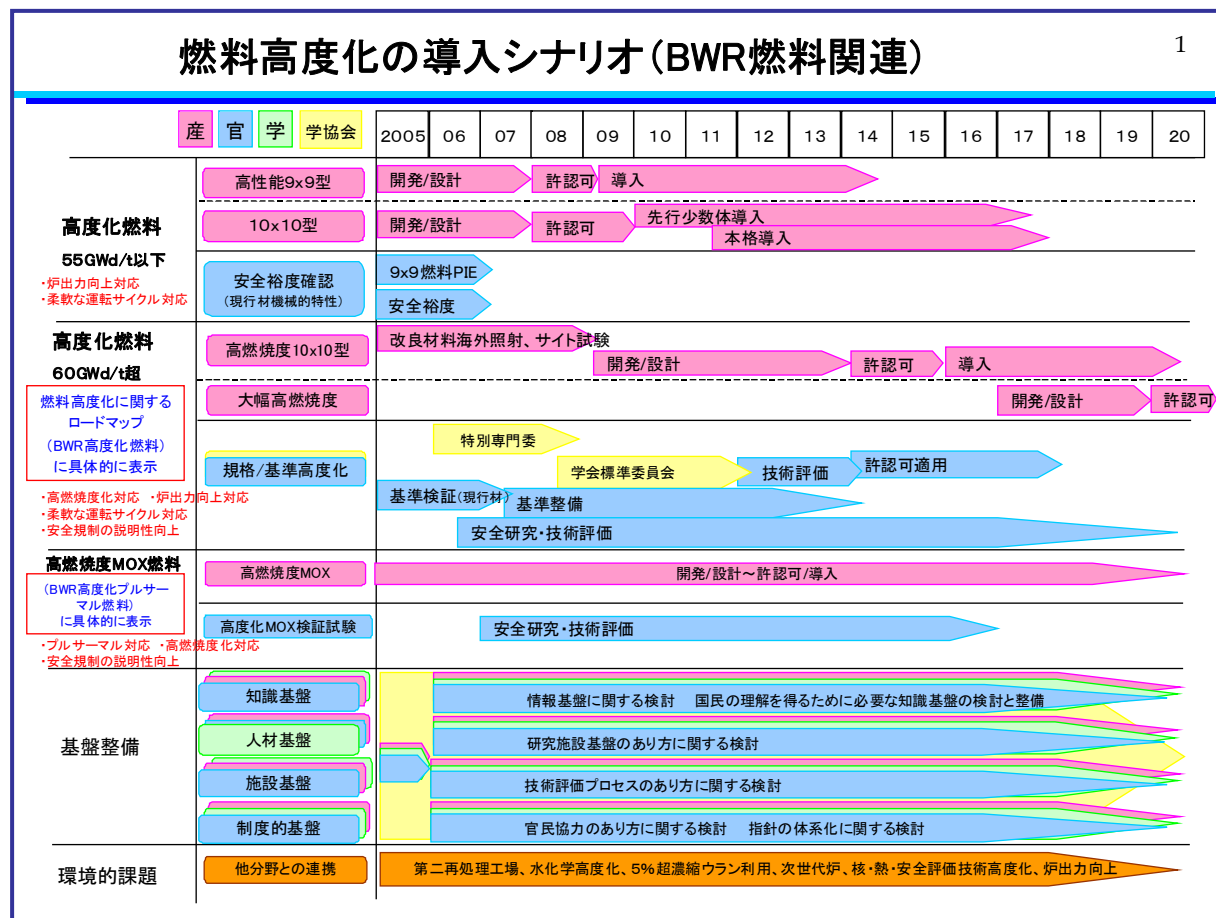
■ 導入シナリオ

- 研究開発が世の中に出て行く筋道とそのための関連施策を示したもの



PWR燃料高度化の導入シナリオ

燃料高度化の導入シナリオ(1階層目)(2)



BWR燃料高度化の導入シナリオ

燃料高度化の技術マップ(2階層目)(1)

■ 技術マップ

- 技術課題を俯瞰し重要技術を絞り込んだもの

2a: 燃料高度化における技術課題を俯瞰し、重要な特性・挙動・損傷モードを抽出したもの。

2a

| PWR燃料高度化の技術マップ | | |
|----------------|-------------------------|----------------------------|
| | 重要特性・挙動 | 関連する損傷モード |
| 被覆管 | 腐食増大 | (減肉) |
| | 水素吸収増大 | (延性低下) |
| | 機械特性(延性)劣化 | PCMI過歪(延性低下) |
| | 炉内クリープ | クリープ破損・クリープコラプス |
| | 疲労特性 | 疲労 |
| | LOCA時挙動 | LOCA破損(急冷時熱応力) |
| ペレット | 焼きしまり・スエリング※ | PCMI過歪・クリープコラプス |
| | FPガス放出(FGR)増大※ | 内圧(⇒ クリープ破損・燃料中心溶融・RIA) |
| | ヘリウム生成→放出※ | 内圧(⇒ クリープ破損・燃料中心溶融・RIA) |
| | リム組織等組織変化※ | (FPガス放出(FGR)増大) |
| | 物性変化(熱伝導率低下)※ | 燃料中心溶融(・FPガス放出(FGR)増大) |
| | ペレットクリープ※ | PCMI過歪 |
| 燃料棒 | ボンディング・ガス移動 | — |
| | SCC(被覆管内面) | PCI |
| | 燃料棒伸び増大 | — |
| | RIA時挙動※ | RIA(PCMI) (燃料エンタルピーしきい値低下) |
| 集合体 | 集合体伸び | — |
| | 部材腐食、水素吸収 | (部材機械特性(耐力、引張強さ、伸び、クリープ)) |
| | 部材機械特性(耐力、引張強さ、伸び、クリープ) | フレットイング |
| | 限界出力 | DNB |

※ ウラン燃料、MOX燃料共通で特に着眼すべき重要特性・挙動

PWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化の技術マップ(2階層目)(2)

2a

燃料高度化の技術マップ (BWR燃料の重要特性・挙動と損傷モード)

| BWR燃料高度化の技術マップ | | 高燃焼度10×10型(60GWd/t超、改良材料)／高度化プルサーマル燃料 |
|----------------|------------------|---------------------------------------|
| 部材 | 重要特性・挙動 | 関連する損傷モード |
| 被覆管 | 腐食増大 | 腐食（被覆管減肉） |
| | 水素吸収増大 | PCI/DHC（外面水素化物） |
| | 機械特性(強度、延性)劣化 | 過歪（延性低下） |
| | 疲労強度低下 | 疲労 |
| | LOCA時挙動 | LOCA破損（急冷時熱応力） |
| | スエリング※ | PCMI過歪 |
| ペレット | FPガス放出(FGR)増大※ | 内圧（内圧増大→リフトオフ） |
| | リム組織、高燃焼度効果※ | 内圧（FGR増大） |
| | MOX燃料、Puスポットの効果※ | 内圧（FGR増大、He放出） |
| | 物性変化(熱伝導率低下)※ | 内圧（燃料温度上昇→FGR増大） |
| | ボンディング※ | PCI/DHC/SCC（PCMI増大） |
| 燃料棒 | 燃料棒伸び増大 | 燃料棒曲がり |
| | フレットニング | 異物によるフレットニング |
| | ドライアウト時挙動 | ドライアウト（熱的損傷） |
| | RIA時挙動※ | PCMI破損（燃料エンタルピーしきい値低下） |
| | 燃料体伸び | — |
| 燃料体 | 部材腐食、水素吸収 | — |
| | 限界出力 | 熱的損傷（MCPR） |

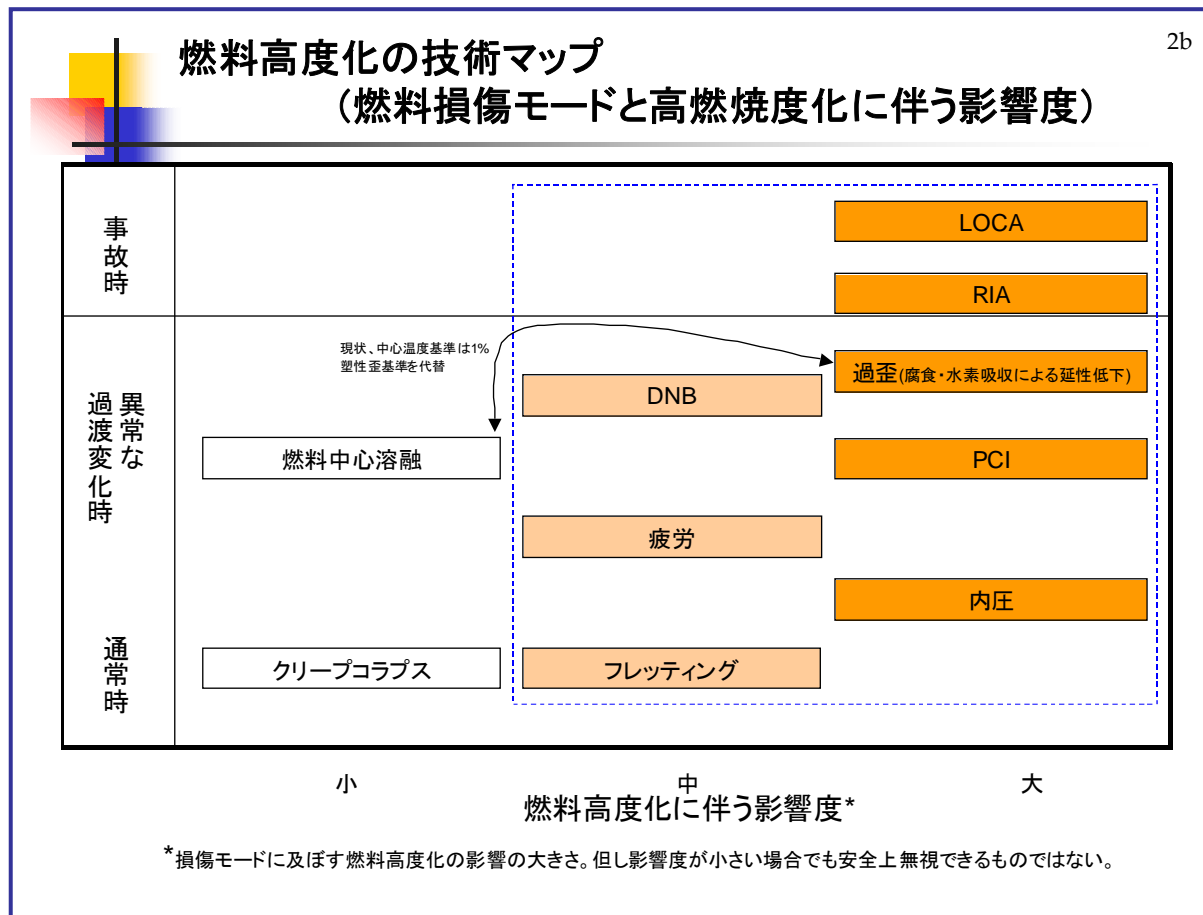
※MOX燃料について特にデータ拡充が必要と考えられる項目

DHC: Delayed Hydride Cracking (時間遅れを伴う被覆管外面半径方向水素化物を起点とする初期き裂の被覆管内面側へ進展損傷)

BWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化の技術マップ(2階層目) (3)

2b: 2aで技術的課題として抽出された項目について、燃料高度化に伴う影響度により整理し分類したもの。



主な燃料損傷モードの説明

LOCA: 原子炉冷却材が喪失する事故時に被覆管の温度が上昇するなどして破損に至るモード

RIA: 制御棒が飛び出す又は落下する事故時に燃料棒の出力が上昇して破損に至るモード

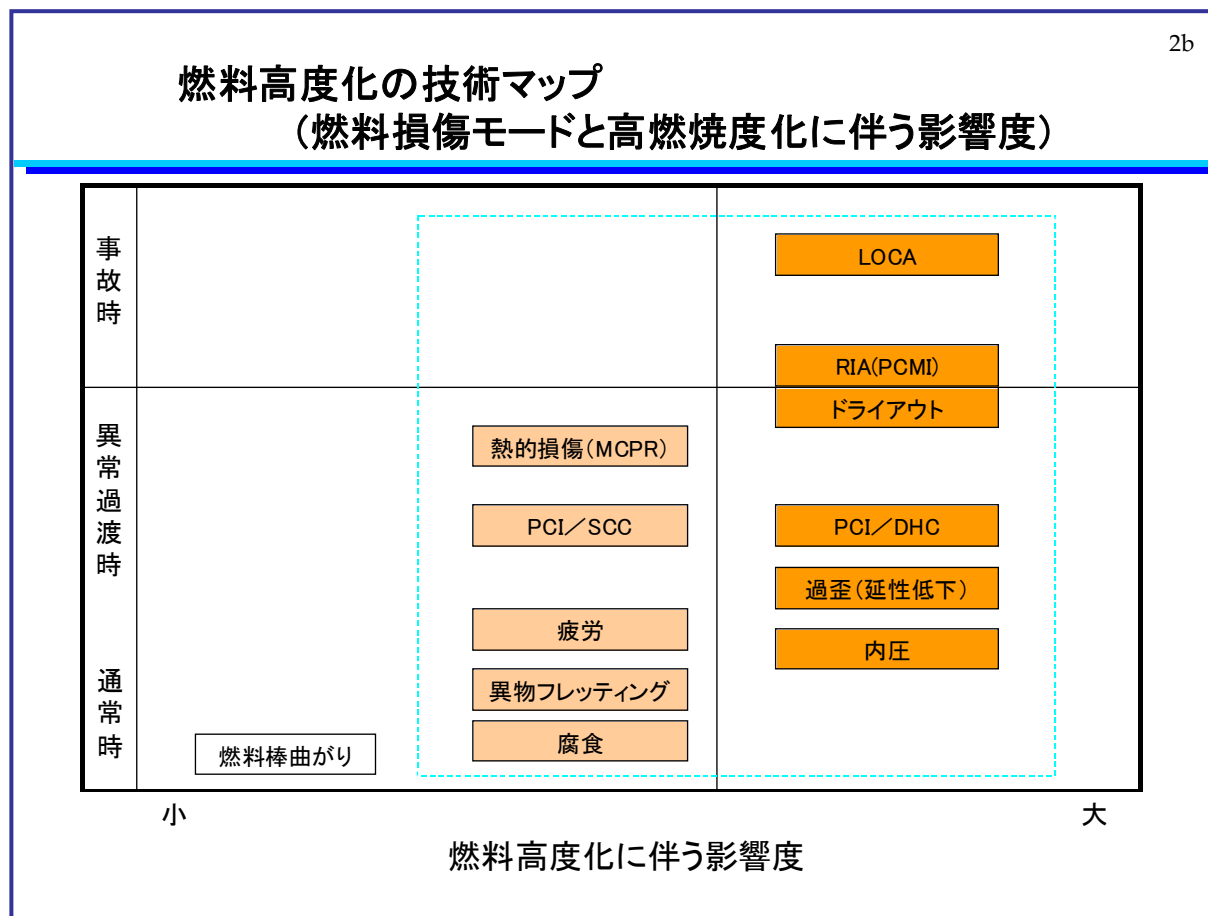
過歪: 燃料棒の出力が上昇した時に被覆管の塑性変形量が大きくなって破損に至るモード

PCI: 燃料棒の出力が上昇した時に被覆管の内面腐食環境と応力状態が影響して破損に至るモード

内圧: 核分裂生成ガスの蓄積などにより燃料棒の内圧が上昇することによって破損に至るモード

PWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化の技術マップ(2階層目) (4)



主な燃料損傷モードの説明

ドライアウト: 原子炉出力の上昇又は原子炉冷却材流量の減少により被覆管の温度が上昇することによって損傷に至るモード

PCI/DHC: 制御棒引き抜きなどにより被覆管外面に析出した半径方向水素化物を起点として破損に至るモード

BWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化の技術マップ(2階層目)(5)

2c: 技術課題について積極的な対応が必要なものを絞り込み、その具体的な対応を示したもの。

2c

燃料高度化の技術マップ

(燃料高度化における燃料損傷モードと対応)

| 損傷モード | 燃料高度化への対応 | | | | | | 個別の安全規制措置の実施に必要な技術的知見取得、安全規制当局に必要な技術基盤の構築に必要な試験・評価 | |
|-----------|----------------|---|--------------|----------------------------|---------|------------|---|--|
| | 開発設計関連の対応 | | 基準・規格関連の対応 | | | | | |
| | 材料改良 | 設計改良 | 現行基準等への適用性確認 | 基準(規格)高度化 | | | | |
| LOCA | 改良合金被覆管 | — | 改良合金特性試験 | 官による基準高度化・学協会規格化を学会の場で検討する | | | LOCA総合試験/要素試験・評価 (高燃焼度材/改良材試験) | |
| RIA(PCMI) | 改良合金被覆管 | — | 照射後試験 | | | | RIA総合試験/要素試験・評価 (高燃焼度材/改良材/MOX燃料試験) | |
| 過歪(延性低下) | 改良合金被覆管 | 評価手法高度化 | 炉外試験・照射後試験 | 学協会規格案検討 | 学協会規格策定 | 学協会規格技術評価* | ランプ試験/機械特性試験 (高燃焼度材/改良材試験) | |
| 内圧 | 改良合金被覆管・改良ペレット | 仕様最適化 [MOX燃料含む] (寸法、加圧量等)・ 評価手法高度化 | 炉外試験・照射後試験 | 学協会規格案検討 | 学協会規格策定 | 学協会規格技術評価 | 過大内圧条件下挙動評価/ 高燃焼度等MOX燃料 (FPガス放出)評価試験 | |
| PCI | 改良合金被覆管 | 評価手法高度化・ 運用条件検討 | 炉外試験・照射後試験 | 学協会規格案検討 | 学協会規格策定 | 学協会規格技術評価 | ランプ試験 | |
| DNB | — | 評価手法高度化・ 運用条件検討 | 炉外試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | 役割分担について 主体: 産 官 学協会 協力: 学協会規格の案検討および策定は産官学の協力のもと行われる。また、学協会規格の技術評価は規制の「公正」さの担保のため産の協力はなく官学の協力のもと行われる。 | |
| 疲労 | 改良合金被覆管 | 評価手法高度化・ 運用条件検討 | 炉外試験・照射後試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | | |
| フレットング | 改良合金被覆管 | 燃料棒保持条件最適化 | 炉外試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | | |

*「燃料被覆管は機械的に破損しないこと」に対する判断基準としての、1%塑性歪の代替基準である燃料中心温度の妥当性確認を含む。

これらは積極的に学協会規格の適用を試みたケースである。
ただし、破線で囲む範囲は、学協会規格を採用しない場合として、官による基準高度化、現行基準を前提とした対応等が考えられる。

PWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化の技術マップ(2階層目)(6)

2c

燃料高度化の技術マップ

(燃料高度化における燃料損傷モードと対応)

| 損傷モード | 燃料高度化への対応 | | | | | (参考) 基準(規格)高度化 に必要な試験 | |
|------------|---|------------------------|--------------------------------|-------------|---------------|---|--|
| | 開発設計関連の対応 | | 基準・規格関連の対応 | | | | |
| | 材料・設計改良等 | 現行基準等への 適用性確認 | 基準(規格)高度化 | | | | |
| LOCA破損 | 評価手法検討 | 改良合金特性試験 (未照射材料) | 官による基準高度化・学協会規格化を 学会の場で検討する | | | LOCA総合試験 (改良材・照射材料) | |
| RIA(PCMI) | 改良合金被覆管 | 照射後試験 | | | | RIA総合試験 (改良材/MOX燃料) | |
| ドライアウト | 評価手法検討 | 炉外試験 照射後試験 | 学協会規格案 検討 | 学協会規 格策定 | 学協会規格 技術評価 | ポストBT基準検証 (10X10) | |
| PCI/DHC | 改良合金被覆管 線出力低減(10×10)評価手法検討 | 炉外試験 照射後試験 | 学協会規格案 検討 | 学協会規 格策定 | 学協会規格 技術評価 | 出力急昇試験 (10X10改良材) | |
| 過歪(延性低下) | 改良合金被覆管 評価手法検討 | 照射後試験 | 学協会規格案 検討 | 学協会規 格策定 | 学協会規格 技術評価 | 材料特性・機械試験 (10X10改良材) | |
| 内圧 | 初期内圧最適化 プレナム体積最適化(主にMOX燃料) 評価手法検討 | 照射試験 (ウラン燃料, MOX燃料) | 学協会規格案 検討 | 学協会規 格策定 | 学協会規格 技術評価 | 限界内圧検証試験 (高フラックス) | |
| PCI/SCC | 改良ベレット, 線出力低減(10×10) | 炉外/出力急昇試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | 高燃焼度MOX燃料 照射試験 | |
| 疲労 | 改良合金被覆管 | 炉外/照射後試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | 役割分担について 主体: 産 官 学協会 協力: 学協会規格の案検討および 策定は産官学の協力の もと行われる。また、学協 会規格の技術評価は規制 の「公正」さの担保のため 産の協力はなく官学の協 力のもと行われる。 | |
| 異物フレッティング | 異物フィルタ性能向上 | 炉外試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | | |
| 熱的損傷(MGPR) | スペーサ改良による限界出力特性向 上 | 限界出力試験 (新設計集合体) | (必要により)学協会規格を検討 | | | | |
| 腐食 | 改良合金被覆管, 評価手法高度化 | 炉外/照射後試験 | (必要により)学協会規格を検討 | | | | |
| | | | | | | | |

これらは積極的に学協会規格の適用を試みたケースである。
ただし、破線で囲む範囲は、学協会規格を採用しない場合として、官による基準高度化、現行基準を前提とした対応等が考えられる。

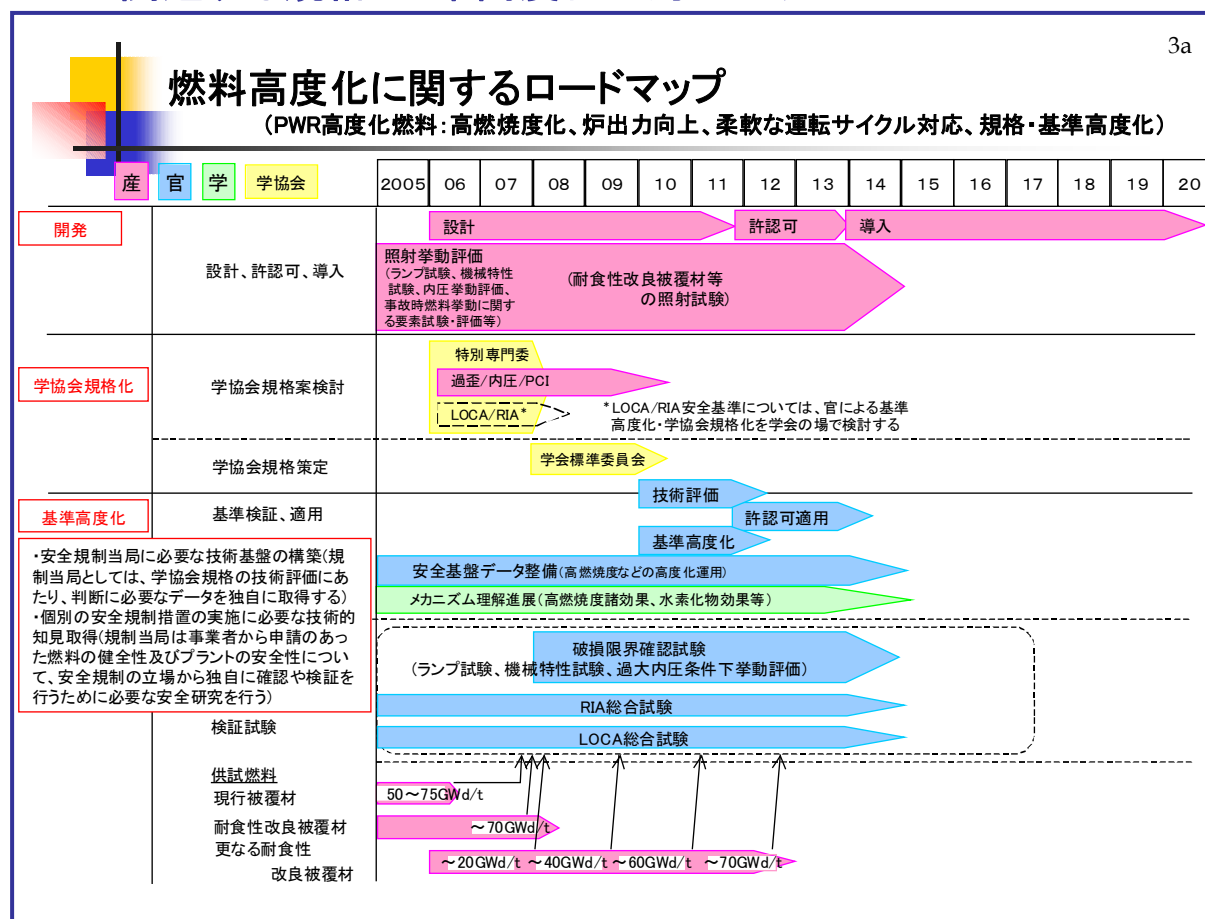
BWR燃料高度化に関する検討結果

燃料高度化のロードマップ(3階層目)(1)

■ ロードマップ

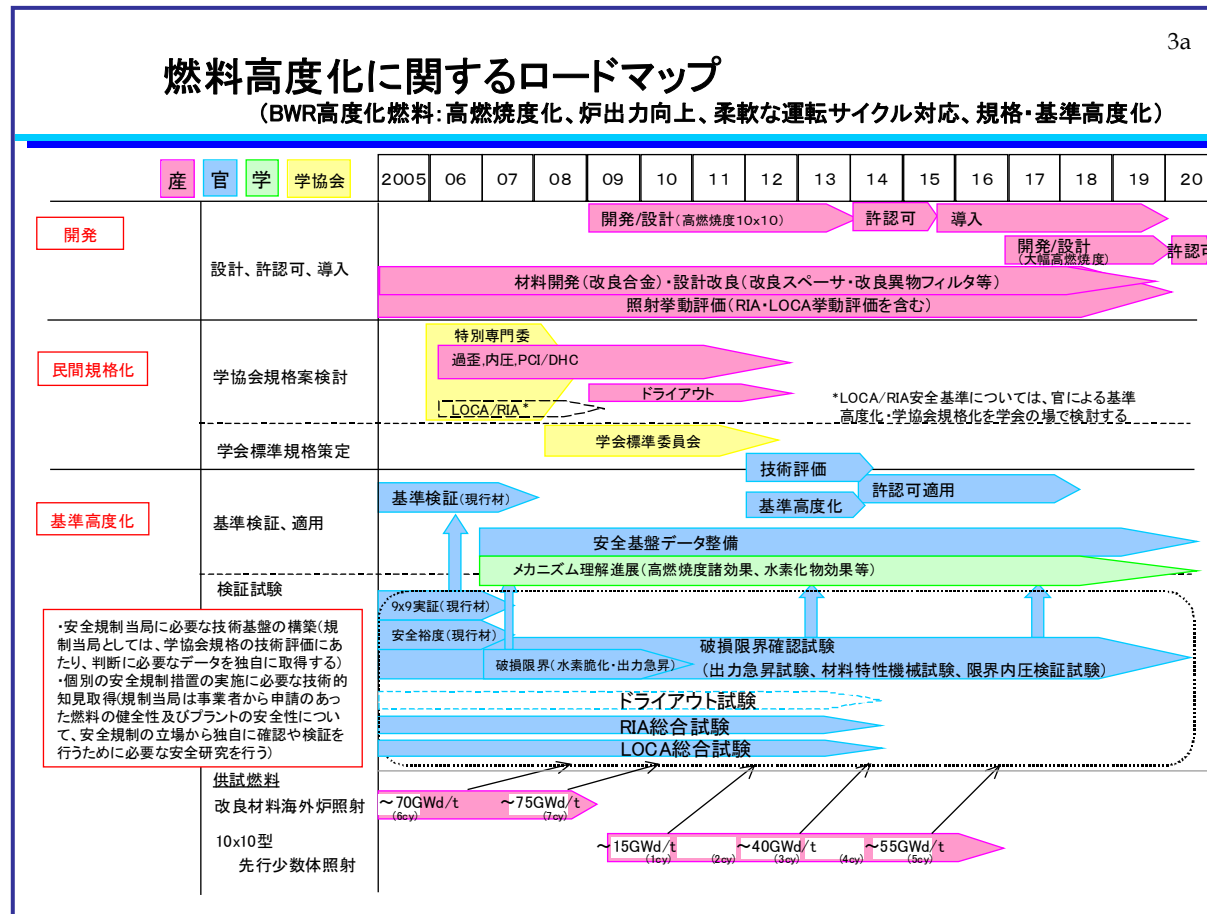
- 求められる機能などの向上・進展を時間軸上にマイルストーンとして示したもの

関連する規格・基準高度化の対応スケジュール



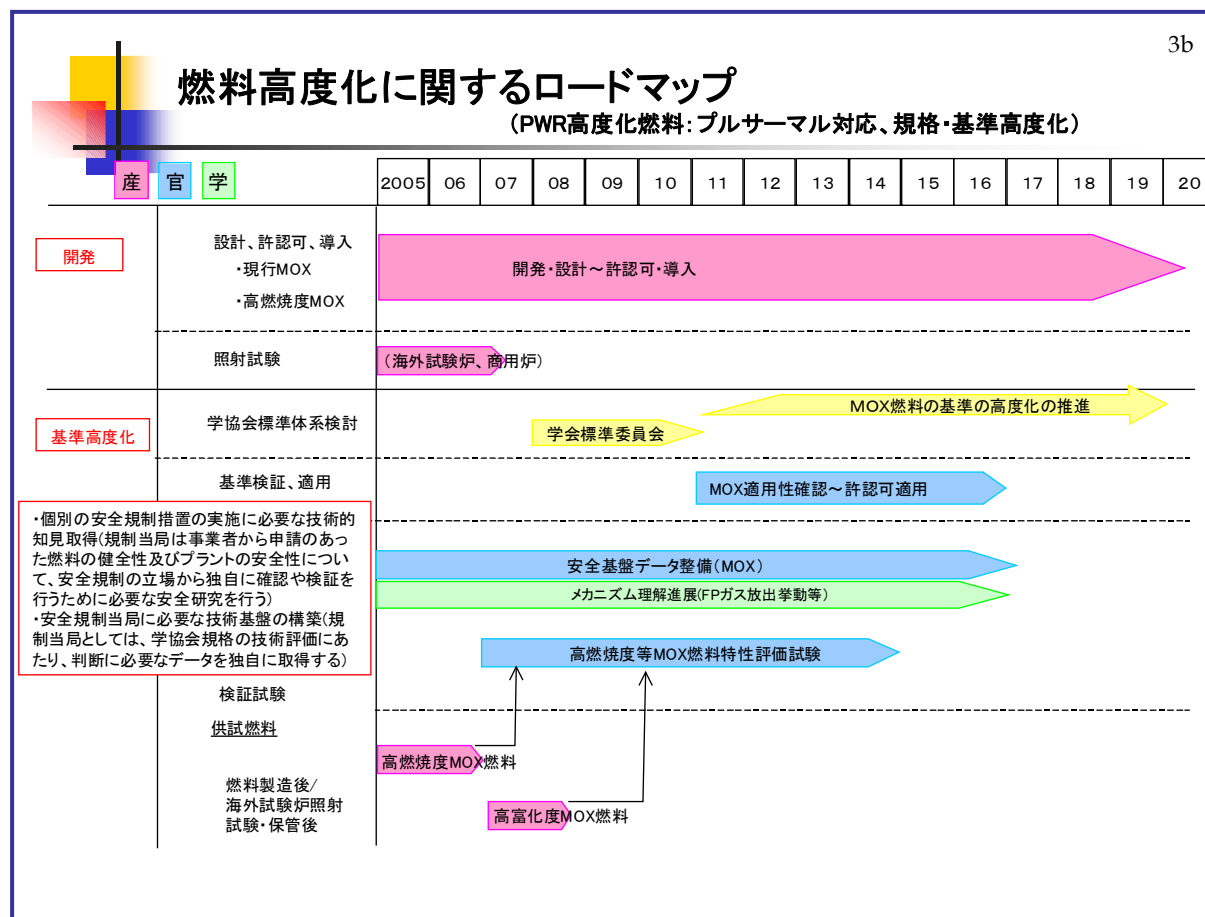
PWR高度化燃料: 高燃焼度化、炉出力向上、柔軟な運転サイクル対応

燃料高度化のロードマップ(3階層目) (2)



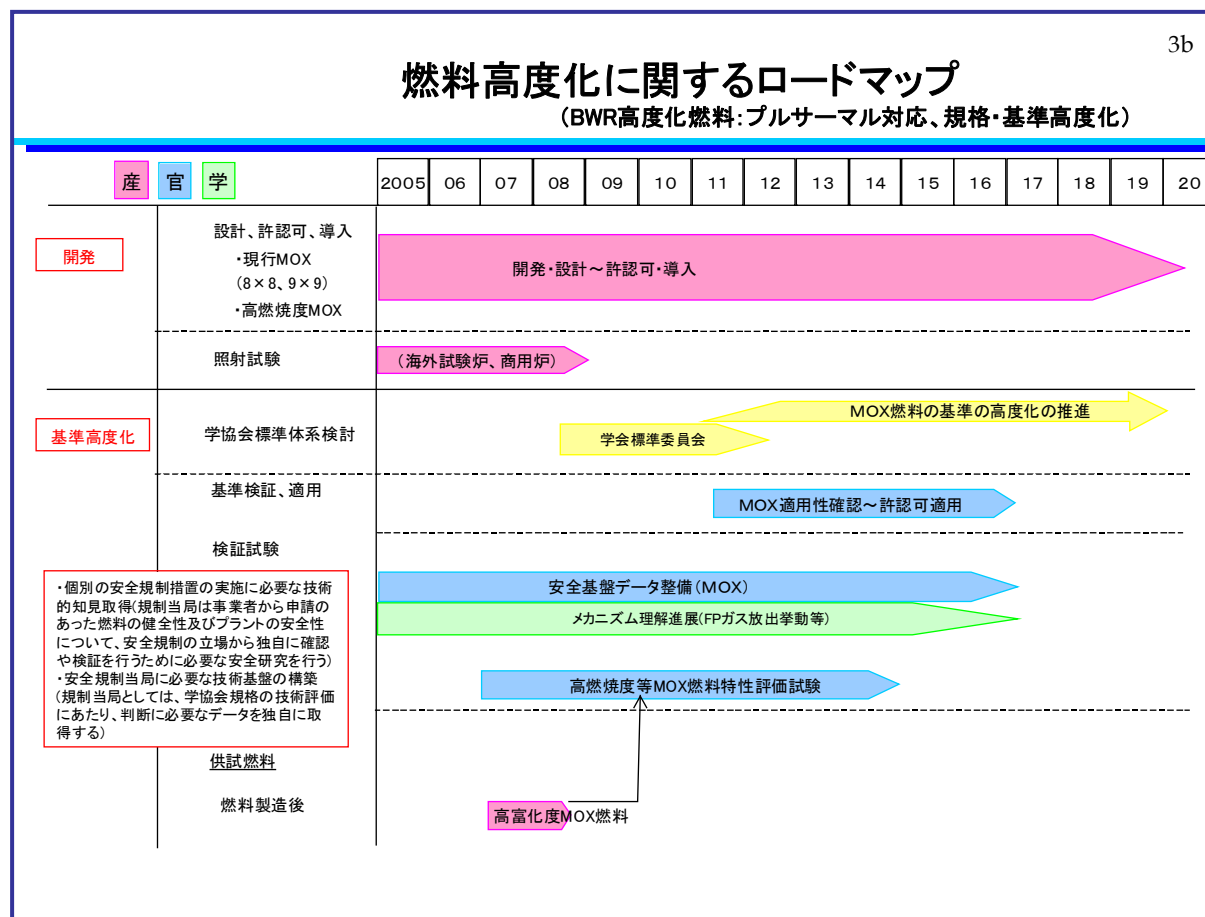
BWR高度化燃料: 高燃焼度化、炉出力向上、柔軟な運転サイクル対応

燃料高度化のロードマップ(3階層目) (3)



PWR高度化燃料: プルサーマル対応

燃料高度化のロードマップ(3階層目) (4)



BWR高度化燃料: プルサーマル対応

燃料高度化のための知識基盤について

安全基盤研究における産業界と規制当局の役割(第6回安全基盤小委員会資料より)

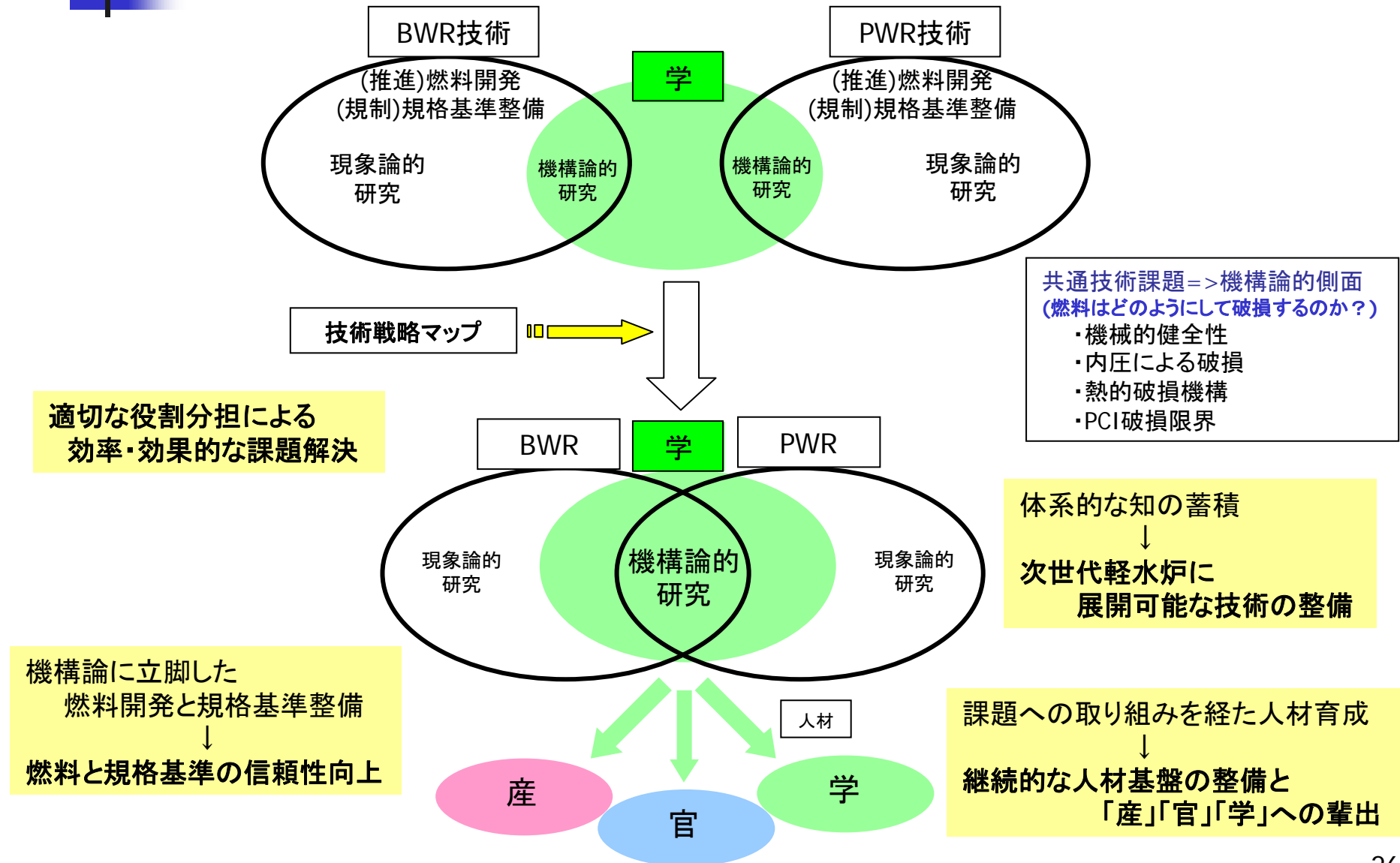
○産業界は、事業の実施に係る**安全性、信頼性等の確保、向上に必要となる研究、民間規格作成のための研究、個別の安全規制措置に関し**機器設備等の健全性、検査・運転管理等の**妥当性等を説明するために必要な研究**を実施。

○規制当局は、安全規制制度・規制基準の整備・運用及び**個別の安全規制措置の実施及び判断に必要な技術的知見(データ、手法等)の取得、並びに安全規制当局に必要な技術基盤の構築を目的とする研究**を実施。

学協会規格策定・技術評価のためのデータ取得と評価の考え方

| 産業界 ← 学の貢献 → 規制当局 | | |
|-------------------------------|--|--|
| 基本的 考え方 (学協会での 検討対象) | 照射等によって 特性の変化が進んだ燃料材料 や高度利用に向けた 燃料材料の特性データの取得と評価 をもって合理性、汎用性、適用性のある学協会規格を策定。 | 学協会規格にて想定する 燃料損傷モードの妥当性や損傷モードに対応した基準としての合理性、汎用性、適用性の確認のためのデータ取得と評価 をもって学協会規格を技術評価。 |
| 上記を踏まえた個々の展開 (各組織で検討) | 規格策定にとらわれず、 汎用性のあるデータ取得と評価 を戦略的に実施。 規格策定においては、海外含む競合者の動向も踏まえ、原則、 必要なものを適切に公開・開示 していく。 | 上記に対する 規制の視点(規制としての必要性、十分性、説明性等) を踏まえた官の規制の専門家や専門技術者による十分な検討・ローリングを経てデータ取得と評価を実施。 なお、制約条件(供試材の状況、競札等)下での試験受注者の技術的能力・ノウハウ等にも依存。 |

技術戦略マップにおける「学」の貢献





成果と今後の課題

- 技術戦略マップは、燃料高度化に必要な各々の計画において、関係者(産官学の各組織や学協会等)が果たす役割、協力関係および遂行の目安が見えるものとなっている。
- 技術戦略マップに関する議論の成果として、規格基準の整備の位置付けの明確化が挙げられる。従来の開発研究や今後の安全研究は、ともに燃料の安全性に関する研究であり、その成果は民間規格策定や技術評価、国の基準整備として結実する。
- 今後も、新たなニーズや知見を取り入れるローリングにより、技術戦略マップを最新のものとしつつ、議論をより深化させていくとともに、これらの議論の成果をより具体化していくことが重要である。研究開発を支える人材基盤や施設基盤、研究成果から規格基準整備を合理的に行うための知識基盤、および制度的基盤の整備に関する検討を行う必要がある。



燃料高度化に関する検討活動のまとめ

- 国産燃料の信頼性は世界でトップクラスであり、これは今までの産官学及び学協会における信頼性向上に向けた活動の成果である。燃料は放射性物質を閉じこめるという安全上重要な機能を有している。その安全性を確保するための性能を向上することで今後も機能の信頼性を維持しつつ、さらに安全基準の合理性の向上を図ることが原子力発電の信頼性をいっそう高めることになる。また、これまで蓄積された技術及びこの高度化の成果は、今後の次世代軽水炉技術にも活用できるものである。
- 以上の背景を踏まえ、産官学の専門家が集まり、燃料の高度化と規格基準の高度化を実現するための技術戦略マップの検討を行っている。
- 燃料の安全性に関する規格基準の高度化においては、透明性、中立性、公平性の観点から、産官学の専門家の議論から検討される学協会規格が重要な役割を担うことから、本委員会に民間規格作業会を設け、学協会規格に関する検討を行っている。
- ここで報告された技術戦略マップは、50人を超える産官学の専門家が計12回の会合の場などで検討しているものであり、専門家や国民の間で広く共有されるとともに、産官学でこれを尊重することを確認した。
- これらの活動を円滑に推進していくために、種々の基盤整備に関する議論が重要であり、安全研究に対する研究連携という官民の協力のあり方についても、制度的基盤の整備との観点からコンセンサス形成を図っている。このような議論を産官学の場で行っていることは、従来にはなく意義深いことである。

- 産官学が公平、公正、公開を前提とした学会の場で協調し、今後も継続して「燃料高度化技術戦略マップ」をローリングしていくことが重要である。今後は、技術戦略マップのローリングの過程で具体的な役割を決め、導入シナリオに沿った燃料高度化の実現に向けた積極的かつ具体的な活動が望まれる。
- 学には、燃料分野においても安全基盤研究への貢献に関する責任があり、産官の協力を得て、安全基盤研究を支える「人材の育成」、安全基盤研究に係わる「知の蓄積と展開」といった役割分担を実現していくことが重要である。
- 燃料分野における安全基盤研究の成果は規制基準、規格の整備に活用されることが重要である。また新しい技術の導入を円滑にする規格・基準の体系が望まれる。
- 学協会規格を策定し技術評価を受けるという一連のプロセスにおいて、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院をはじめとする産官学が、燃料高度化に必要な課題を共通に認識し協力して解決していくことが重要である。国には技術戦略マップに応じ技術評価のための積極的な準備が望まれる。
- 知識基盤・施設基盤の整備や人材の育成については、産官学が協力して進めることが重要であるとともに、国のより一層の関与が望まれる。

高経年化対応技術戦略マップ 2007 (要約版)

平成19年7月

(独) 原子力安全基盤機構

技術情報調整委員会
安全研究 WG
情報基盤 WG
国際協力 WG

目 次

| | | |
|----|--------------------------|----|
| 1. | 高経年化対応技術戦略マップ 2007 のポイント | 1 |
| 2. | 高経年化対応技術戦略マップ 2007 策定の経緯 | 2 |
| 3. | 高経年化対応技術戦略マップ 2007 の全体像 | 3 |
| 4. | 技術情報基盤の整備 | 4 |
| 5. | 安全基盤研究の推進 | 11 |
| | ・ 原子炉圧力容器の照射脆化 | 14 |
| | ・ SCC 欠陥の検査 | 17 |
| | ・ 運転中モニタリング | 21 |
| | ・ ステンレス鋼の応力腐食割れ (IGSCC) | 24 |
| | ・ 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) | 28 |
| | ・ Ni 基合金の応力腐食割れ | 32 |
| | ・ SCC 保全技術 (予防保全、補修、取替等) | 37 |
| | ・ 疲労割れ | 40 |
| | ・ 絶縁劣化 | 44 |
| | ・ 配管減肉 | 47 |
| | ・ コンクリートの強度低下 | 50 |
| | ・ その他 (ステンレス鋳鋼の熱時効) | 53 |
| | ・ 耐震安全性評価 | 56 |
| 6. | 規格基準類の整備 | 59 |
| 7. | 保全高度化の推進 | 63 |
| 8. | まとめ | 66 |
| 9. | 提言 | 67 |

1. 高経年化対応技術戦略マップ2007のポイント

1. 高経年化対策技術戦略マップ策定の目的

安全第一を旨として、プラントの供用期間に関係なく、一定の安全水準を確保するため、プラントの長期間の供用に伴う経年変化の特徴を把握して、これに的確に対応した運転プラントの保守管理を達成及び次世代プラントの設計・建設に寄与すること(P2)

2. 我が国の原子力発電を取り巻く環境の変化(導入シナリオ)

【30年目、40年目、50年目の高経年化技術評価が必要なプラントの増加】、【平成20年度より「保全プログラム」に基づく保全活動に対する検査制度の導入】及び【2030年頃より代替発電プラントの建設需要増大】に対応した技術戦略マップの策定が必要 (P2、3)

3. 第1次ロードマップ(原子力学会策定)からの変更点

産学官の役割分担の理念に基づき、4大項目別及び経年劣化事象別に産学官の役割分担(実施主体と資金)を明確化した。(P2、3)

4. 技術戦略マップの内容

4大項目(「技術情報基盤の整備」、「安全基盤研究の推進」「規格基準類の整備」及び「保全高度化の推進」)別にそれぞれ導入シナリオ、技術的課題を抽出し産学官の役割分担を明確にした技術マップ、時間軸として第Ⅰ期(平成21年迄)・第Ⅱ期(～平成31年迄)・第Ⅲ期(～平成42年迄)に展開したロードマップの3点セットに取り纏めた。

○技術情報基盤の整備(P4)

○安全基盤研究の推進(P9)

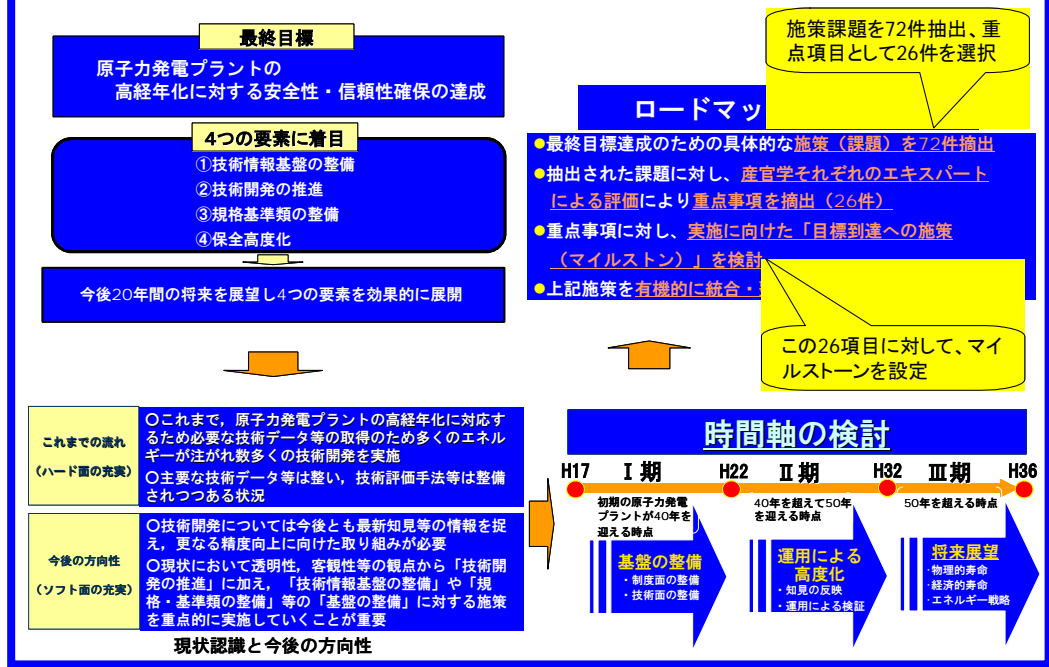
原子炉圧力容器の照射脆化 (P14)、応力腐食割れ(P17)、疲労割れ(P40)、絶縁劣化(P44)、配管減肉(P47)、コンクリートの強度低下(P50)、その他事象(ステンレス鋳鋼の熱時効)(P53)、耐震安全性評価(P56)

○規格基準類の整備(P59)

○保全高度化の推進(P63)

2. 高経年化対応技術戦略マップ 2007 策定の経緯

原子力学会が策定した第1次ロードマップ概要(平成17年3月)



原子力学会が策定した第1次ロードマップのローリング

産学官の有機的連携

技術情報調整委員会 安全研究WG 中心

(産業界) 電気事業者、原子炉製造メーカー
(学术界) 大学
(学協会) 学会
(国・官界) NISA, JNES, JAEA, NSC

ローリング基本方針策定、
課題調査票の分析案、技術
戦略マップ案などの作成

ロードマップ策定
アドホック委員会
(産業界)・(学术界)・(官界)
専門家、関係者

「高経年化対策の充実について」の方針に従い、高経年化対策のための技術情報基盤の整備のための産学官の有機的連携を行う総合調整の場(JNES 技術情報調整委員会)でロードマップを策定する。

高経年化対応技術戦略マップ 2007

環境の変化

「保全プログラム」に基づく保安活動に対する検査制度の導入、『原子力立国計画』に基づく次世代原子力発電所建設等に対応した技術戦略マップの策定が必要

技術戦略マップ策定の最終目標

安全第一を旨として、プラントの供用期間に関係なく、一定の安全水準を確保するため、プラントの長期間の供用に伴う経年劣化の特徴を把握して、これに的確に対応した運転プラントの保守管理を達成及び次世代プラントの設計・建設に寄与すること

時間軸の検討

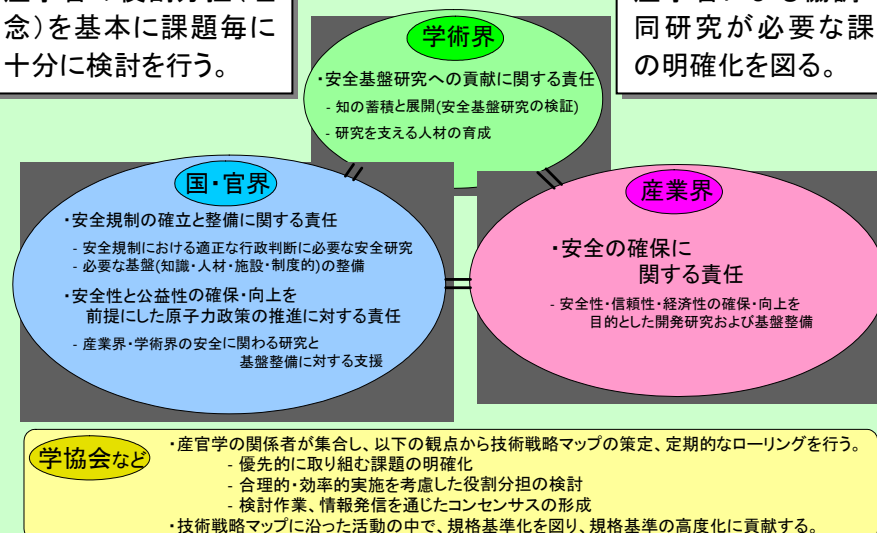
初期に建設された原子力発電プラントがそれぞれ40年(第I期)、50年(第II期)、60年(第III期)を迎える時期毎に検討

第1次ロードマップ策定時は課題抽出に重点が置かれたため、必ずしも産学官の役割分担について十分に議論し尽されたとはいえない。

産学官の役割分担(理念)

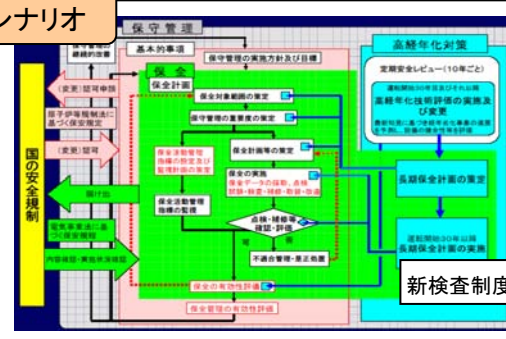
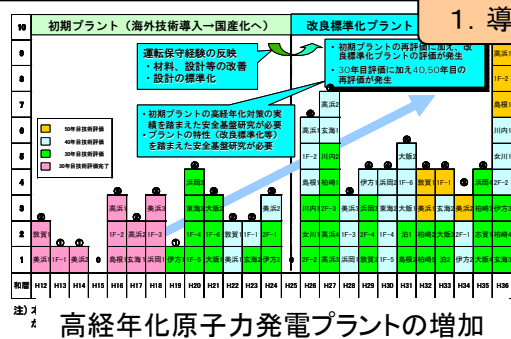
産学官の役割分担(理念)を基本に課題毎に十分に検討を行う。

産学官による協調・共同研究が必要な課題の明確化を図る。



3. 高経年化対応技術戦略マップ2007の全体像

1. 導入シナリオ



合理的な保守管理と国の安全規制

- ・初期のプラントがそれぞれ 40 年(第Ⅰ期), 50(第Ⅱ期), 60 年(第Ⅲ期)を迎える時期毎に検討
- ・産学官の役割分担の明確化

(最終目標) 安全第一を旨として、プラントの供用期間に関係なく、一定の安全水準を確保するため、プラントの長期間の供用に伴う経年変化の特徴を把握して、これに的確に対応した運転プラントの保守管理を達成及び次世代プラントの設計・建設に寄与すること

2. 技術マップ

4大項目毎の検討項目

【検討項目】

- ・経年劣化技術情報データベースの整備
- ・プラント運転経験データベースの整備
- ・技術情報ネットワークの整備
- ・高経年化対応知識処理・活用システムの構築

技術情報基盤の整備

【検討項目】

- ・安全規制と整合連携した規格基準体系への移行
- ・リスク関係規格・ガイドラインに基づくPLM 標準等の見直し
- ・劣化・損傷モードを想定した監視規格の整備

規格基準類の整備

【検討項目】

- ・応力腐食割れ
- ・中性子照射脆化
- ・疲労
- ・配管減肉
- ・ケーブルの絶縁低下
- ・コンクリートの強度低下
- など経年劣化事象毎に検討

安全基盤研究の推進

【検討項目】

- ・保全最適化の推進
 - － リスク情報活用、プラント安全性能指標の確立等
- ・保全規制・基準化体系の構築
- ・人材育成・確保

保全高度化の推進

3. ロードマップ

【4大項目毎に時間軸を第Ⅰ期、第Ⅱ期、第Ⅲ期とした小項目課題の例示】

技術情報基盤の整備

- 【第Ⅰ期】 標準審査管理表の構築等
- 【第Ⅱ期】 海外規制情報データベースの拡充・高度化等
- 【第Ⅲ期】 次世代プラント建設・設計のための高経年化対策設計ガイドライン整備等

安全基盤研究の推進

- ・照射脆化
 - 【第Ⅰ期】 適用範囲が 60 年供用相当の照射量データによる予測の検証等
 - 【第Ⅱ期】 適用範囲が 70 年供用相当の照射量データによる予測の検証等
- ・応力腐食割れ
 - 【第Ⅰ期】 発生・進展データ整備、高精度化等
 - 【第Ⅱ期】 発生・進展シミュレーション技術開発等
 - 【第Ⅲ期】 高照射下での IASCC メカニズム検討等
- ・疲労割れ
 - 【第Ⅰ期】 疲労評価技術の検証等
 - 【第Ⅱ期】 環境疲労評価技術の高度化等
- ・配管減肉
 - 【第Ⅰ～Ⅱ期】 配管減肉評価技術の検証、板補強部の検査技術開発等
- ・絶縁劣化
 - 【第Ⅰ期】 ケーブル、電気・計装設備の健全性評価技術調査研究等
 - 【第Ⅱ期】 劣化診断技術適用化検証、劣化メカニズム検証等
- ・コンクリート劣化
 - 【第Ⅰ期】 健全性評価技術の検証
 - 【第Ⅱ期】 複合劣化に関する評価方法の検討等
 - 【第Ⅲ期】 劣化モニタリングの高度化検討等
- ・耐震安全性評価
 - 【第Ⅰ期】 配管減肉等の耐震安全性評価手法の整備等
 - 【第Ⅱ期】 確率論的な耐震安全性評価手法の整備等

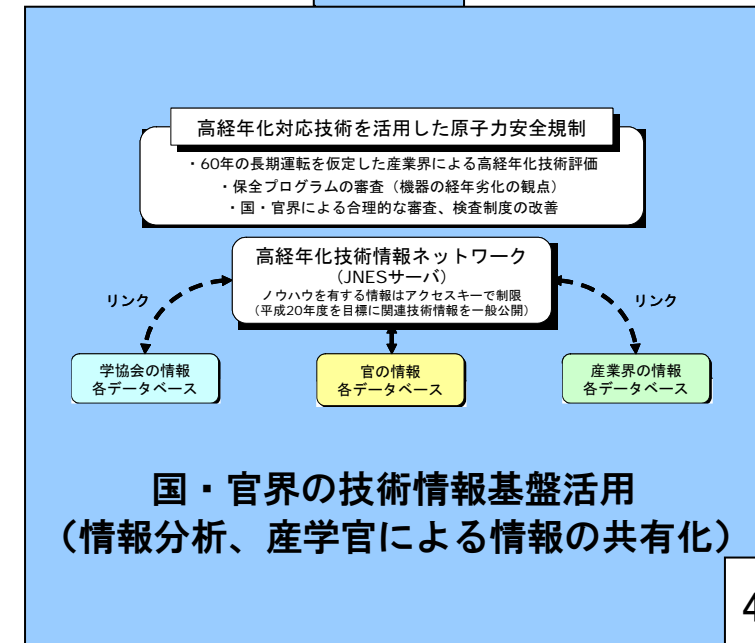
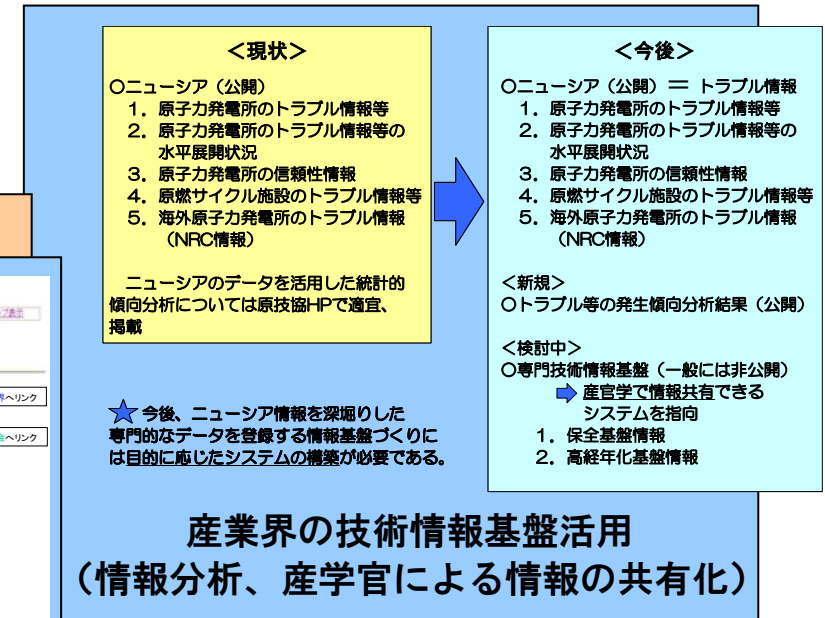
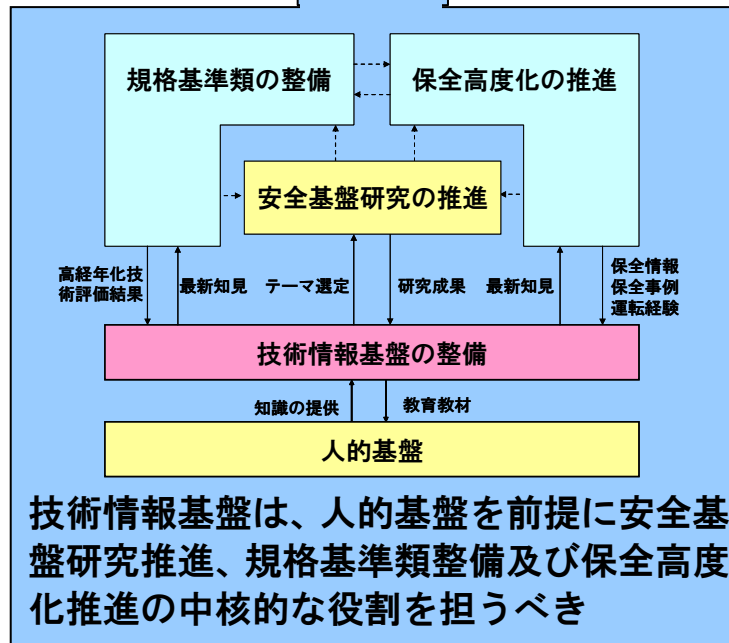
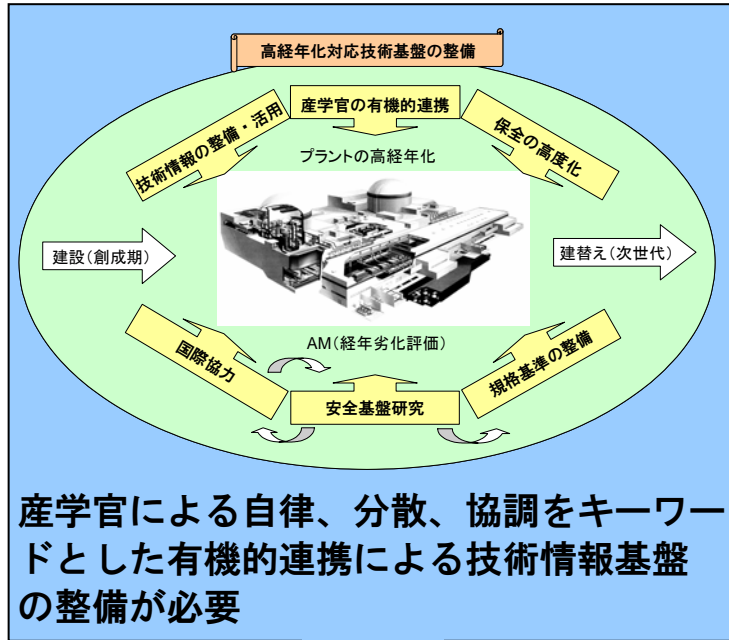
規格基準類の整備

- 【第Ⅰ期】 安全規制と整合連携規格体系への移行等
- 【第Ⅱ期】 リスクを考慮した数量化した性能要求標準の整備等
- 【第Ⅲ期】 プラントを包括した総合的な監視基準の整備等

保全高度化の推進

- 【第Ⅰ期】 電力共通技術基盤をはじめとする保全の最適化成等
- 【第Ⅱ期】 機器重要度・リスク情報を考慮した保全規則・基準体系の構築等
- 【第Ⅲ期】 原子力立国計画に対応した人材育成等

4. 技術情報基盤の整備に係る導入シナリオ



技術情報基盤の整備に係る導入シナリオ（産学官の役割分担）

「技術情報基盤の整備」の必要性について

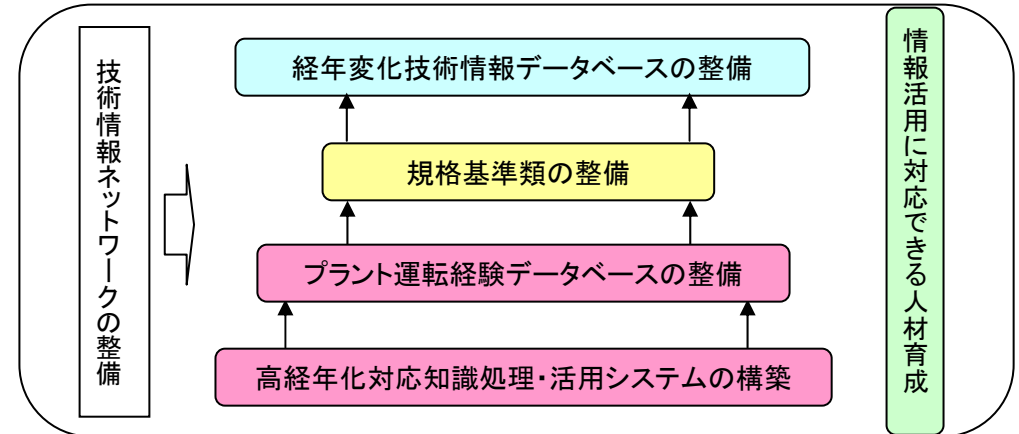
- ・ 高経年化技術評価が必要な運転開始後30年を越えるプラントが増加する状況下にある。
- ・ 「保全プログラム」に基づく保安活動に対する新検査制度の導入が検討されており、規格基準、技術指針等の技術情報基盤の整備が必要である。
- ・ 次世代原子力発電所建設等に対応した産学官の原子力関係者の技術伝承が必要である。
- ・ 我が国の高経年化対策がどの水準にあるか、常に最新の海外規制情報等と比較評価すると共に改善する必要がある。

現状分析

- ・ 「高経年化対策の充実について」の「技術情報活用」において、「収集・整備した技術情報は、産学官で有効利用するために情報ネットワークを通じて共有化を図り、事業者は保守管理活動に、国は安全規制等にそれぞれ反映するとともに、安全研究課題の抽出のために有効利用する。」と述べられているものの、現在までに蓄積されている情報やデータベースを事業者や国がそれぞれの用途に応じて有効に利用するための検討や仕組み作りが、必ずしも十分ではなく有効に利用されているとは言い難い状況である。
- ・ 「具体的な安全研究テーマの選定に当たっては、高経年化対策上の重要性、緊急性等を考慮し、安全規制の動向や関連する技術分野を俯瞰し、蓄積する運転経験や変化する社会環境、要求事項等を反映するとともに、研究進捗に応じて継続的な見直しや評価を行う必要がある。」としており、このような役割も「技術情報基盤の整備」に求められているが、現状では、このような検討を支援する仕組み作りが不十分である。

導入シナリオ

原子力安全基盤は、制度的基盤、人材基盤、施設基盤、財政基盤及び知的基盤の5つの基盤から構成されるが、知的基盤の整備、即ち技術情報基盤の整備は、安全基盤研究の推進、規格基準類の整備、保全高度化について産学官が相互に連携、かつ鳥瞰しながら将来を見通すこと。



産学官の役割分担

①産業界の役割

— 安全性・信頼性・経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備

・ プラント運転経験データベースの整備
・ 高経年化対応知識処理・活用システムの構築（共同研究の主体者）

②国・官界の役割

— 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
— 必要な基盤（知識、人材、施設、制度）の整備
— 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

・ 経年変化技術情報データベースの整備

③学術界の役割

— 知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
— 研究を支える人材の育成

・ 情報活用に対応できる人材育成（規格基準類の整備支援）

④学協会の役割

規格基準化とその高度化に貢献

・ 規格基準類の整備

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・ 各種データベースの共有化（技術情報ネットワークの整備）
- ・ 高経年化対応知識処理・活用システムの構築（情報の活用化）

（自律・分散・強調をキーワードとした技術情報の共有化）

技術情報基盤の整備に係る技術マップ（1/2）

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 ¹⁾ (実施／資金) |
|-------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|
| 経年劣化技術情報データベースの整備 | 包括的経年劣化管理ガイドラインの整備 | 高経年化対策実施ガイドライン、標準審査要領の策定及び改定のための技術情報の収集 | 学官／官 |
| | 海外規制関連情報データベースの構築 | IAEA、米国、フランス、ドイツ、フィンランド、スウェーデン、スペイン、韓国等の規制情報のデータベース構築 | 学官／官 |
| | 標準審査管理表の構築 | 経年劣化メカニズム、発生部位及び管理手法を取り纏めた標準審査管理表を取り纏め、審査の合理化、効率化を図るとともに、審査の透明性を確保する。 | 学官／官 |
| | 高経年化に関する故障・トラブル情報データベースの構築 | 高経年化技術評価等の検討において、国内外の最新プラント運転経験の反映は重要であり、特に、米国 NRC の Information Notice、Bulletin、Generic Letter 等の規制情報収集及びデータベースを構築する。 | 学官／官 |
| | 長期保全計画オーバサイトシステム構築 | 事業者が策定する長期保全計画が確実に履行されているか確認するシステムを構築する。 | 学官／官 |
| | 産学官研究開発状況データベースの構築 | 起こりえる経年劣化事象及びそれに対する過去、現在の研究成果及び将来の研究計画について体系的・網羅的にまとめたデータベースを構築する。即ち、高経年化対応技術戦略マップの継続的なローリングを行う。 | 産学官／ 産官 |
| | 原子力発電所の高経年化に係る電気設備データベースの構築 | 原子力発電所の電気設備について、製造時の規格・基準を含め経年劣化事象に対応した保守の規格・基準及び診断手法、不具合事例等について国内外の調査を行う | 学官／官 |
| プラント運転データベースの整備 | 故障・トラブル情報データベースの構築（ニューシア） | 日本原子力技術協会のニューシア（原子炉施設情報公開ライブラリー）を活用し、事故・故障等の情報を事業者間で共有・活用する。 | 産／産 |
| | 保守管理のための電力共通基盤整備 | 保守管理の共通技術基盤に基づき劣化特性データ、標準テンプレート等のデータを更新整備する技術基盤を整備する。 | 産／産 |
| | 設計、建設時試験、運転要領書等の設備情報整備 | 原子力発電所を運営し、その安全性に第一義的責任を有する事業者自身において、技術情報を体系的に整備・管理し、それを有効に活用できる知識基盤を整備すると共に、更に、それを円滑に伝承していくための知識管理を行う。 | 産／産 |
| | 運転、保守等の運転記録整備 | | |

注 1) 資金の分担例: 「産官」の場合、産及び官がそれぞれの役割分担の責任範囲で資金を提供し調査・研究を実施することを意味する。

技術情報基盤の整備に係る技術マップ (2/2)

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施／資金) |
|----------------------|--------------------------|---|-----------------|
| 技術情報ネットワークの整備 | 高経年化対策に係る技術情報基盤ネットワークの構築 | 産学官による共有化知識基盤の整備として、技術情報高経年化技術評価に必要な審査マニュアル等の技術資料集、経年劣化事象別の妥当性評価(技術的根拠)等の国内情報ネットワークを構築する。 | 産学官／ 産官 |
| | 海外技術情報基盤ネットワークの構築 | アジアにおける高経年化技術情報の収集と我が国の高経年化技術情報を活用した支援のためのネットワーク構築を行う。 | 産学官／ 産官 |
| 高経年化対応知識処理・活用システムの構築 | 高経年化対応知識の抽出・構造化研究 | 高経年化対応技術は膨大かつ広範囲である。この情報から貴重な知識を抽出する方法および抽出した知識を産官学で活用するための適用化研究を行う。 | 産学／産官 |
| | 産学官知識・情報収集システムの構築 | IT やオントロジー、データマイニング等 ¹⁾ の工学技術を活用し、分散した膨大な情報からの類似情報の収集・共有化を図るためのシステム構築を行う。 | 産学／産官 |
| | 高経年化対応知識処理・活用システムの構築 | 情報収集から情報活用のためのシステム構築を行う。 | 産学官／ 産官 |
| | 専門的知識(暗黙知)の獲得技術の適用化研究 | 技術伝承を兼ねた経年劣化事象毎専門家 Yellow page の策定を行う。 | 産学官／ 産官 |
| | 国際会議情報の共有化ネットワーク構築 | 材料劣化、高経年化対策等に関する国際会議情報の共有化による産学官による俯瞰的・効果的な海外情報入手の効率化、戦略の俯瞰的な国際協力、の具現化 | 産学官／ 産官 |
| 人材育成 | 技術情報を活用できる人材育成 | 膨大な運転情報、技術情報から高経年化技術情報を分析・評価の上、抽出できる人材の育成 | 学／学 |

1) オントロジーとは、ウェブをはじめとした文書検索において、従来の方法では単語単位の一一致か、よくても類義語を含む文書を検索するのが限度であった。文書の内容を説明する意味情報(メタデータ)を各文書に付加し、メタデータを記述する用語を定義する知識の構造化を行うことをいう。データマイニングとは、データウェアハウス(データの倉庫、データベース)などに蓄積された生データを、マイニング(採掘)し、重要な情報・仮説・知見・課題等を見つけ出すことをいう。その分析結果を基に、法則性の発見、効果測定、予測など様々なファクターを導き出すことが可能となる。これらの技術を貴重な情報を抽出するといった情報活用化のためのツールである。

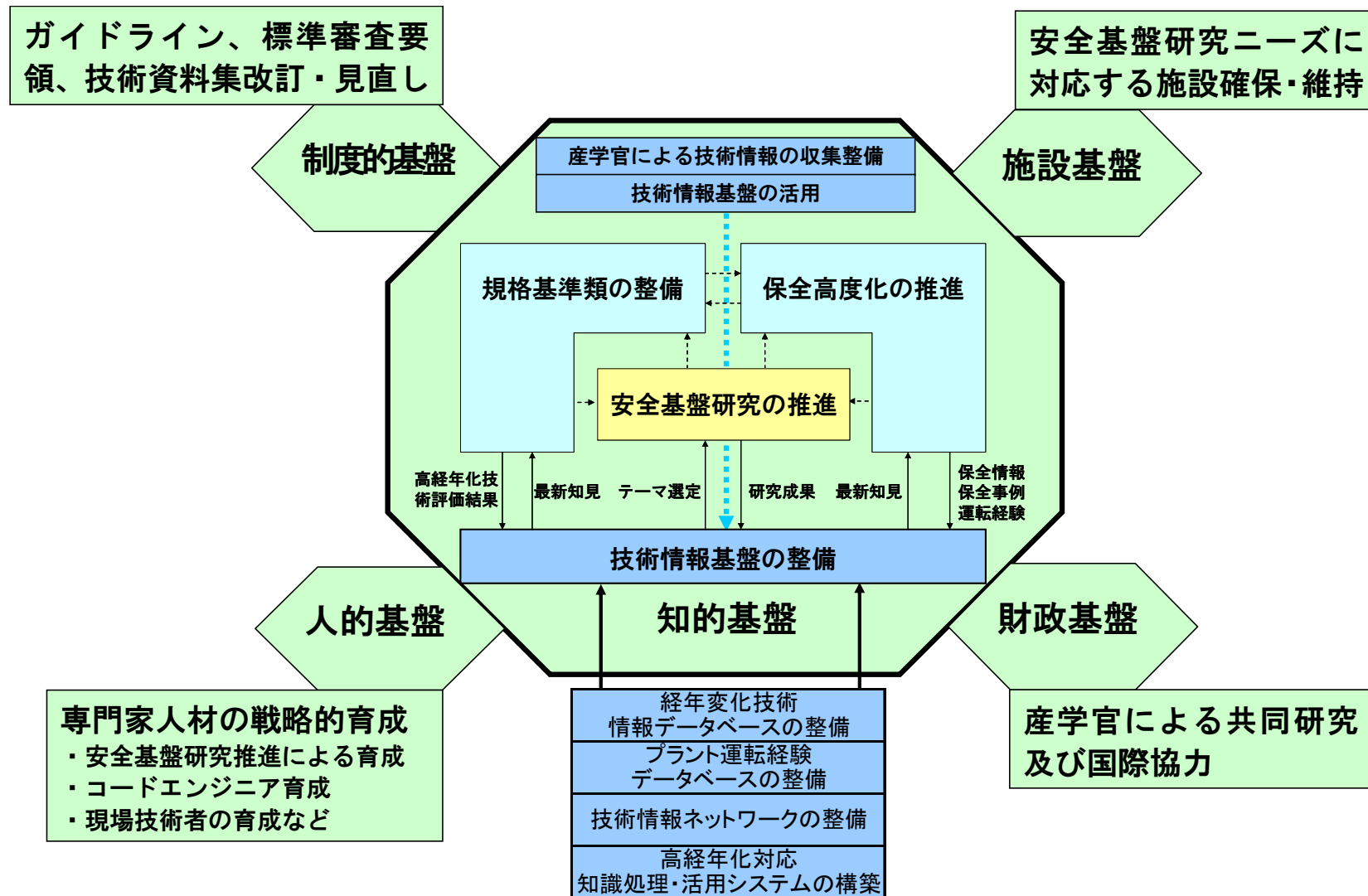
技術情報基盤の整備に係る技術マップ（体系的整理）

| 対応方針 | 中項目 | 小項目 | 成果の活用 |
|---|----------------------|---|--|
| <p>産学官による技術情報の収集・整備</p> <p>・産学官による自律、分散、協調をキーワードとした技術情報の収集・整備</p> | 経年変化技術情報データベースの整備 | <p>包括的経年変化管理ガイドラインの整備</p> <p>海外規制関連情報データベースの構築</p> <p>標準審査管理表の整備</p> <p>高経年化に関する故障・トラブル情報データベースの構築</p> <p>長期保全計画オーバサイトシステム構築</p> <p>産学官研究開発状況データベースの構築</p> <p>電気設備データベースの構築</p> | <p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン、標準審査要領、技術資料集改訂等（最新知見の反映）（国・官界）</p> |
| | プラント運転経験データベースの整備 | <p>故障・トラブル情報データベースの構築（ニューシア）</p> <p>保守管理のための電力共通基盤整備</p> <p>設計、建設時試験、運転要領書等の設備情報</p> <p>運転、保守、事故等の運転記録</p> | <p>「保全プログラム」に基づく保守管理活動（産）</p> |
| <p>技術情報基盤の活用</p> <p>・技術情報共有化ネットワークの構築 ・情報活用化のための研究技術情報基盤の活用</p> | 技術情報ネットワークの整備 | <p>高経年化対策に係る技術情報基盤ネットワーク構築</p> <p>海外技術情報基盤ネットワーク構築</p> | <p>技術情報基盤の産学官による共有化</p> |
| | 高経年化対応知識処理・活用システムの構築 | <p>高経年化対応知識の抽出・構造化研究</p> <p>産学官知識・情報収集システムの構築</p> <p>専門的知識（暗黙知）獲得技術の適用化研究</p> <p>国際会議情報の共有化ネットワーク構築</p> | <p>重要な経年劣化に係る情報・知識抽出（産学官）</p> <p>知識基盤の活用（産学官）</p> |

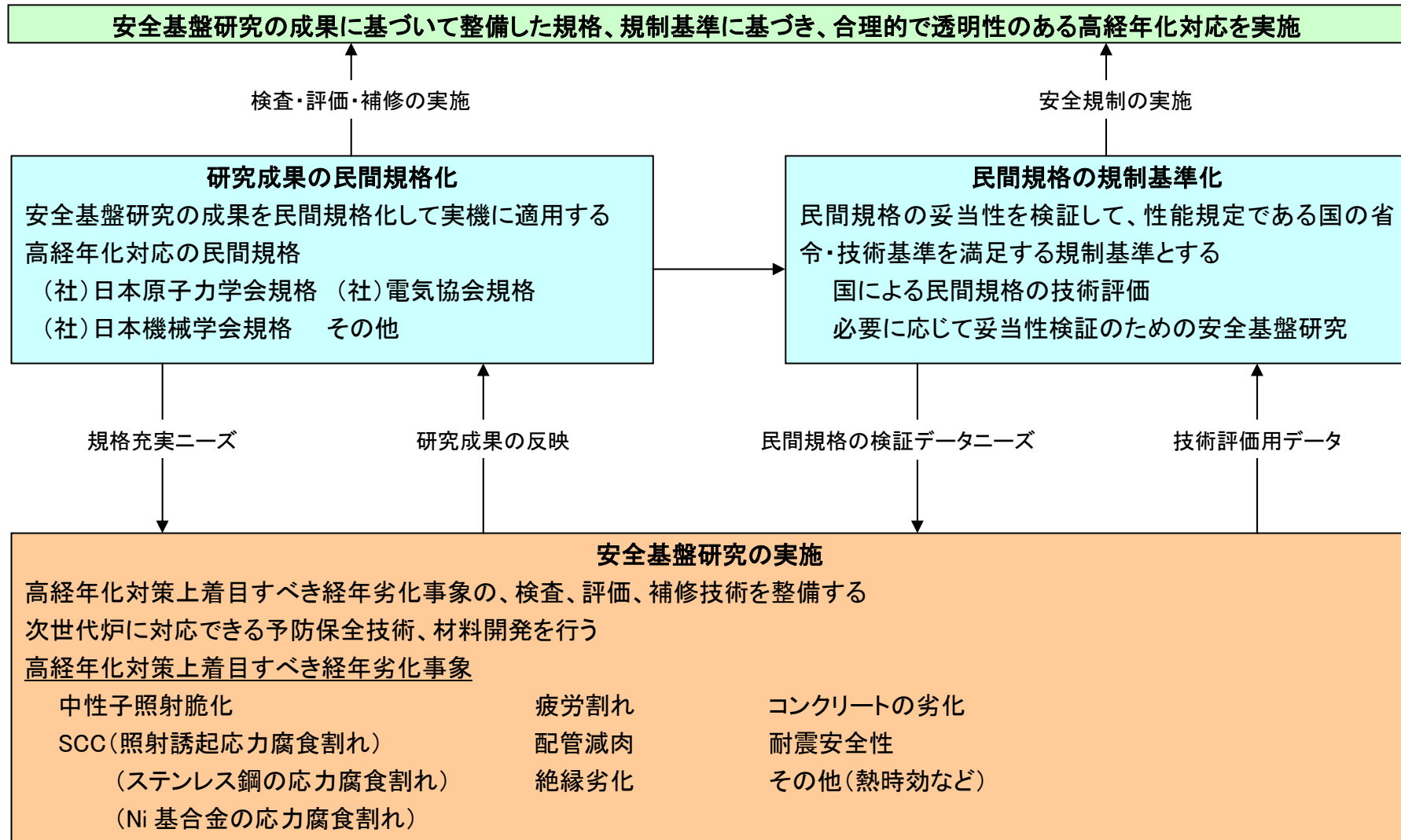
技術情報基盤の整備に係るロードマップ

| 時間軸 | 第Ⅰ期 | | | | | 第Ⅱ期 | | | | | | | | | | 第Ⅲ期 | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|---------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 初期の原子力プラントが 40 年を迎える迄の時期 | | | | | 40 年を超えて 50 年を迎える迄の時期 | | | | | | | | | | 50 年を超えて 60 年を迎える迄の時期 | | | | | | | | | |
| | 技術基盤の整備 (制度面及び技術面の整備) | | | | | 技術の高度化 (運転実績、実機材サンプリングによる最新知見の整備) | | | | | | | | | | 次世代原子力発電所の開発・建設 (大型炉設計、原子炉容器取替、最新廃炉技術の開発実証) | | | | | | | | | |
| 年度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
| | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 | H23 | H24 | H25 | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 | H31 | H32 | H33 | H34 | H35 | H36 | H37 | H38 | H39 | H40 | H41 |
| マイルストーン | 国による高経年化対策 ガイドライン等の公表 | | | | | 運転開始後 40 年目を迎える時期 | | | | | | | | | | ↑ 運転開始後 50 年目を迎える時期 2030 年以降原子力発電所の大規模な代替建設需要増大 ↑ | | | | | | | | | |
| 課題 | 運転開始後 40 年目を迎える プラントに対する対策 | | | | | 運転開始後 50 年目を迎えるプラントに対する対策 | | | | | | | | | | 1. 60 年を超え運転の可能性検討、高経年化対策の次世代中 大型原子力発電プラントの機器設計への反映 | | | | | | | | | |
| | 我が国における高経年化対策 の構築と充実化 | | | | | 多種多様な情報の集約・共有・知識化し、活用化と自律的・継 続的な階層別知識データベースの充実・強化 | | | | | | | | | | 次世代プラン建設・設計に対応するため、50年、60年の長期 運転で培われた高経年化対策の形式知、暗黙知を俯瞰的な整備 と高経年化対策設計ガイドライン整備 | | | | | | | | | |
| 経年劣化技術情報 データベースの整備 | 高経年化対策実施ガイドライン、標準審査要領、技術資料集改訂等（最新知見の反映）（国・官界） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 包括的 AM ガイドライン整備 | | | | | 包括的 AM ガイドラインのローリング | | | | | | | | | | 次世代プラント建設・設計に対応するため、50年、60年の長期 運転で培われた包括的高経年化対策ガイドラインの総まとめ (高経年化対策設計ガイドライン整備) | | | | | | | | | |
| | 海外規制関連情報 DB 構築 | | | | | 海外規制関連情報 DB の拡充・高度化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 標準審査管理表の整備 | | | | | 標準審査管理表のローリング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 故障・トラブル情報 DB 構築 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 長期保全計画 OS 構築 | | | | | 標準化テンプレート構築 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 産学官研究開発状況 DB 構築 | | | | | 技術戦略マップのローリング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 電気設備 DB 構築 | | | | | 特有機器ベース DB 構築 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| プラント運転経験 データベースの整備 | 「保全プログラム」に基づく保守管理活動（産） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 故障・トラブル情報 DB の構築 | | | | | 保守管理のための電力共通基盤の整備 リスクを活用した保守管理の高度化 | | | | | | | | | | ・ 50-60 年運転経験・実績のまとめ ・ 次世代原子力発電所への反映(ガイドライン化) ・ 原子炉容器取替技術等実証試験データの拡充 ・ リスクベース規制の高度化 | | | | | | | | | |
| | 保守管理のための 電力共通基盤の整備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 設計等設備情報の整備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 運転・保守等の運転記録整備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 技術情報 ネットワークの整備 | 技術情報基盤の産学官による共有化及び重要な経年劣化に係る情報・知識抽出（産学官） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高経年化対策に係る技術情報 基盤ネットワーク構築 | | | | | 高経年化対策に係る技術情報基盤 Network の高度化 | | | | | | | | | | 国内外保全技術情報の一元管理 | | | | | | | | | |
| | 海外保全情報ネットワーク構築 | | | | | 海外保全情報 Network の拡充(アジア対応) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 高経年化対応知識処理 ・活用システムの構築 | 知識基盤の活用（産学官） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高経年化対応知識の抽出・構 造化研究 | | | | | 膨大な保全情報から重要な知識を抽出するための知識の構 造化研究の高度化 | | | | | | | | | | ・ 世代プラン建設・設計への対応 ・ 50年、60年の長期運転で培われた高経年化対策の形式 知、暗黙知を俯瞰的な整備と高経年化対策設計ガイドラ イン整備 | | | | | | | | | |
| | 産学官知識・情報収集システ ムの構築 | | | | | IT、オントロジー、データマイニング、情報の階層化、知識の可 視化等の各種技術の活用した情報活用化研究推進 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高経年化対応知識処理・活用 システムの構築 | | | | | 情報活用化研究の高度化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 専門的知識(暗黙知)の獲得技 術の適用化研究 | | | | | 技術伝承を兼ねた経年劣化事象別専門技術者マップ策定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 国際会議情報の共有化ネット ワーク構築 | | | | | 海外情報入手の効率化戦略のための国際協力の具現化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

原子力安全基盤と技術情報基盤整備との関連性



5. 安全基盤研究の推進に係る導入シナリオ



安全基盤研究の推進に係る技術マップ

| | | 検査・モニタリング | 評価 | 補修 |
|----------|--------|--|--|--|
| 照射脆化 | | <ul style="list-style-type: none"> ・60 年供用時に継続するため監視試験片再生技術を規格化中 ・更に長期間適用可能な脆化監視技術開発を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・脆化予測・評価手法の適用照射量を 60 年供用用に増加するための研究中 ・新 JMTR を活用し更なる適用照射量増加を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・小規模補修溶接技術の適用性を確証中 ・今後必要に応じ大規模補修法の調査を計画 |
| SCC | 照射誘起 | — | <ul style="list-style-type: none"> ・発生・進展データを取得中 ・脆化予測法の整備、健全性評価法の高度化を実施中 ・新JMTRでの照射中 IASCC 挙動評価等を計画 | — |
| | ステンレス鋼 | <ul style="list-style-type: none"> ・ISI 用 UT 法の検査性を実証済、更に高精度化のため PAUT 法の実証を計画 ・長期的には運転中モニタリング技術開発を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・発生・進展データの高精度化を実施中 ・長期的には寿命予測モデル(シミュレーション技術)化を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・補修技術の規格化推進 ・劣化緩和技術施工後の保全方策確立を計画 |
| | Ni基合金 | <ul style="list-style-type: none"> ・UT、ECT の実証試験を実施中 ・長期的には UT/ECT 等の複合検査、運転中モニタリング技術開発を計画 | | |
| 疲労 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ISI 用 UT 検査性を実証済み ・検査性の不十分な二相ステンレス鋼向け精度向上研究を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・環境疲労の研究を実施し、規格化済み ・環境疲労、大気中疲労曲線の見直しを計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・照射材補修溶接部の適用性を研究中 |
| 配管減肉 | | <ul style="list-style-type: none"> ・UT 法を適用中、測定方法の高度化を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・機械学会規格を策定し適用中 ・減肉機構や余寿命予測法の高度化のため基礎研究を実施中 | — |
| 絶縁劣化 | | <ul style="list-style-type: none"> ・予測評価できる手法は未確立 ・予測評価に資するモニタリング法の要素的研究を実施中、実機適用性評価の後開発を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・劣化評価に電気学会技術報告を適用中 ・劣化模擬性等を改良した劣化評価手法を開発中 | — |
| コンクリート劣化 | | <ul style="list-style-type: none"> ・非破壊的検査法の適用性検討中 ・IT 技術を駆使した検査・モニタリング法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・当面の課題としてひび割れ・放射線の影響と、健全性2次評価法の整備を計画 ・50 年供用を目途に、CCV の評価、複合劣化評価・機器取合局部評価・確率論評価等を、更に長期的には劣化機構論に基づく評価法を計画 | <ul style="list-style-type: none"> ・50 年供用を目途に、補修・補強法の適用性(耐久性)を計画 |
| 耐震安全性 | | — | <ul style="list-style-type: none"> ・減肉配管、き裂付き炉内構造物・配管等の耐震安全性評価技術の信頼性向上研究中 ・長期的には、耐震バックチェック結果等を考慮した評価技術の見直し研究、確率論的な耐震安全性評価技術の整備を計画 | — |

安全基盤研究の推進に係るロードマップ

| 着手時期 | | 第Ⅰ期（初期プラント40年まで）に着手 | 第Ⅱ期（初期プラント40年～50年）に着手 | 第Ⅲ期（初期プラント50年～60年）に着手 |
|----------|--------|---|---|---------------------------|
| 照射脆化 | 検査監視 | 監視試験片再生技術の検証 | 長期間適用可能な脆化監視技術開発と検証 | |
| | 評価 | 適用範囲が60年供用相当の照射量の評価法 | 適用範囲>70年供用相当照射量の評価法（新JMTR活用） | |
| SCC | 照射誘起 | 検査監視 | UT/ECT等の複合検査、運転中モニタリング技術開発 | UT/ECT等の複合検査、運転中モニタリング実用化 |
| | | 評価 | 評価用基礎データ、予測評価法整備 <u>IASCC評価高度化技術の検証</u> | 耐IASCC材の開発 |
| | | 補修 | 照射材補修溶接部の適用性 | |
| | ステンレス鋼 | 検査監視 | UT/ECTの検証 | 運転中モニタリング技術の実用化 |
| | | 評価 | 発生・進展評価手法の高精度化 <u>低炭素ステンレス鋼の低き裂進展速度領域線図の検証</u> | 寿命予測モデル（シミュレーション技術）化実用化 |
| | | 補修 | 劣化緩和技術施工後の保全方策 | |
| | Ni基合金 | 検査監視 | UT/ECT等の複合検査、運転中モニタリング技術開発 | UT/ECT等の複合検査、運転中モニタリング実用化 |
| | | 評価 | 発生・進展・破壊評価手法の高精度化 | 寿命予測モデル（シミュレーション技術）実用化 |
| | | 補修 | 劣化緩和技術施工後の保全方策 | |
| 疲労 | 検査監視 | <u>ステンレス鋼の高精度非破壊検査技術の検証</u> | 疲労モニタリング技術の高度化 | |
| | 評価 | <u>環境疲労評価技術の高度化</u> | 設計疲労曲線の見直し | |
| | 補修 | 照射材補修溶接部の適用性 | | |
| 配管減肉 | 検査監視 | 測定方法の高度化研究 | | |
| | 評価 | 減肉機構や余寿命予測法の高度化研究 | | |
| 絶縁劣化 | 検査監視 | 予測評価に資するモニタリング法の要素的研究 | モニタリング手法の実用化開発 | |
| | 評価 | ケーブルの健全性評価手法の整備 <u>電気・計装設備の健全性評価技術調査研究</u> | 実機データ、機構解明による劣化評価手法の検証見直し | |
| コンクリート劣化 | 検査監視 | 非破壊的検査法の適用性 | 検査法高度化・モニタリング法の開発 | |
| | 評価 | ひび割れが生じた場合の中性化と鉄筋腐食評価 <u>放射線の影響検討</u> <u>健全性二次評価法の検討</u> | 複合劣化評価・機器取合局部評価・2次評価法の整備等 | 劣化機構論に基づく評価法 |
| | 補修 | | 補修・補強法の適用性（耐久性） | |
| 耐震安全性 | 評価 | 減肉配管、き裂付き炉内構造物・配管等の耐震安全性評価技術の信頼性向上 | 耐震バックチェック結果等を考慮した評価技術の見直し研究、確率論的な耐震安全性評価技術の整備 | |

赤字は平成20年度開始予定研究

青字は第Ⅰ期開始候補研究

原子炉圧力容器の照射脆化に係る導入シナリオ

原子炉圧力容器の照射脆化とは

- ・燃料領域から漏れてくる高速中性子により原子炉圧力容器壁が照射されると、容器壁の微細な組織変化が生じて脆化する。
- ・照射量が多いほど照射脆化は進むため、供用期間が長期化するほど照射脆化が進む。
- ・照射脆化の原因となる容器壁の微細な組織変化の程度は、容器壁鋼材に含まれる銅などの不純物量や化学成分によって異なる。

現状分析

脆化の監視

- ・実機の照射脆化の程度は、圧力容器内で照射した監視試験片を用いて監視している。監視試験片数量には限りがあるので、長期供用時に脆化監視を継続するため、監視試験片の再生利用や、加速照射データを実用化するための研究が必要である。

健全性の評価

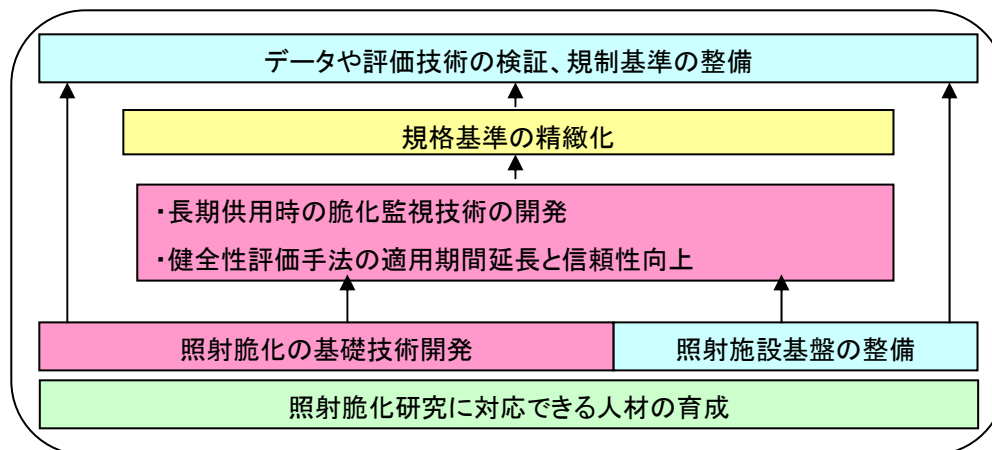
- ・圧力容器の長期の供用可能性を評価するため、長期供用時の照射脆化を予測し健全性を評価する手法が規格化されている。実績データに基づく経験的な手法なので、民間研究により、蓄積した監視試験データを反映し、脆化機構の研究成果を反映して改良している。
- ・長期供用時の評価の信頼性維持向上のためには、民間の評価手法を長期供用相当の高照射量加速照射試験データで検証することが重要であり、加速照射データの実用化研究が必要である。また、供用可能性をより現実的に評価するための確率論評価手法の整備も必要である。

研究基盤

- ・上記研究を実施するためには、JMTR等の施設基盤や、加速照射・計測・モデリングなどの基盤技術が必要である。

高経年化対応研究方針

長期供用時の脆化監視の視継続、健全性予測評価の適用期間延長と信頼性向上のための研究を実施する。これらに研究資する加速照射技術の基礎研究と施設基盤整備を行う。研究成果を規格に反映して実用化し、また技術評価して規制に活用する。



産官学の役割分担

①産業界の役割

- －安全性・信頼性・経済性の確保向上を目的とした開発研究及び基盤整備

- ・長期供用時の脆化監視技術の開発
- ・健全性評価手法の適用期間延長と信頼性向上
- ・照射脆化の基礎技術開発（共同研究の実施主体）

②国・官界の役割

- －安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
- －必要な基盤（知識・人材・施設・制度）の整備
- －産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

- ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- ・照射施設基盤の整備

③学術界の役割

- －知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
- －研究を支える人材の育成

- ・照射脆化研究に対応出来る人材の育成（規格基準の精緻化支援）

④学協会の役割

- －規格基準化とその高度化に貢献

- ・規格基準の精緻化

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・加速照射技術の基礎技術開発
- 科学的基礎に基づいて加速照射データを実機評価に適用するための基盤研究

原子炉圧力容器の照射脆化に係る技術マップ

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施／資金) |
|----------------------------|--------------|--|-----------------|
| 健全性評価手法の適用期間延長と信頼性向上 | 脆化予測式の高精度化 | 脆化機構に基づく脆化予測式の開発 | 産／産 |
| | 脆化予測式の長期適用 | 長期照射データ等に基づく脆化予測式の長期信頼性向上 | |
| | 破壊靱性評価法の高精度化 | 遷移域破壊靱性評価法の適正化と適用期間延長 | |
| | 破壊靱性評価法の長期適用 | 全温度域破壊靱性評価法の高精度化と適用期間延長 | |
| | 確率論評価手法の開発 | 長期供用性評価に資する確率論的評価手法の開発 | |
| データや評価技術の検証、規制基準化（健全性評価手法） | 脆化予測式の検証 | 高照射量等のデータによる脆化予測式の検証 | 官／官 |
| | 破壊靱性評価法の検証 | 高照射量等のデータによる破壊靱性評価法の検証 | |
| | 補修溶接部の検証 | 再照射補修溶接部脆化挙動のデータによる検証 | |
| | 確率論評価手法の検証 | 長期供用性評価に資する確率論的評価手法の検証 | |
| 長期供用時の脆化監視技術の開発 | | 材料消耗の少ない、又は加速照射による脆化監視技術の開発 | 産／産 |
| データや評価技術の検証、規制基準化（脆化監視） | HAZ 監視省略の検証 | 溶接熱影響部等の監視試験の省略に関する検証 | 官／官 |
| | 脆化監視技術の検証 | 材料消耗の少ない、又は加速照射による脆化監視技術の検証 | |
| 照射脆化の基礎技術開発 | | 高速照射技術による高照射量材の脆化研究、照射による微細組織変化の計測技術、脆化機構のモデル化に関する研究 | 産学官／ 産官 |
| 照射施設基盤の整備 | | JMTR を活用した基礎研究 | 官／官 |
| 人材育成 | | 照射脆化研究に対応できる人材の育成 | 学／学 |

原子炉圧力容器の照射脆化に係るロードマップ

| 項目 | 技術課題 | 第Ⅰ期(H21 年度まで) | | | | | 第Ⅱ期(h22 年度～H31 年度) | | | | | | 第Ⅲ期 |
|------------------------------|-----------------|--|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|-----------|-----------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015-2019 | 2020-2029 |
| 健全性評価手法の適用期間延長と信頼性向上 | 脆化予測式の高精度化 | 脆化機構に基づく脆化予測式の開発 | | | | | | | | | | | |
| | 脆化予測式の長期適用 | | | | | | 長期照射データ等に基づく脆化予測式の長期信頼性向上 | | | | | | |
| | 破壊靱性評価法の高精度化 | 遷移温度域破壊靱性評価法の適正化と適用期間延長 | | | | | | | | | | | |
| | 破壊靱性評価法の長期適用 | | | | | | 全温度域破壊靱性評価法の適正化と適用期間延長 | | | | | | |
| | 確率論評価手法の開発 | 長期供用性評価に資する確率論的評価手法の開発 | | | | | | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備(健全性評価手法) | 脆化予測式の検証 | 高照射量等のデータによる脆化予測式の検証(～60 年) | | | | | 高照射量等のデータによる脆化予測式の検証(>60 年) | | | | | | |
| | 破壊靱性評価法の検証 | 高照射量等のデータによる破壊靱性評価法の検証(～60 年) | | | | | 高照射量等のデータによる破壊靱性評価法の検証(>60 年) | | | | | | |
| | 補修溶接部の検証 | 再照射補修溶接部脆化挙動のデータによる検証 | | | | | | | | | | | |
| | 確率論評価手法の検証 | 長期供用性評価に資する確率論的評価手法の開発 | | | | | | | | | | | |
| | 長期供用時の脆化監視技術の開発 | | | | | | 材料消耗の少ない、又は加速照射による脆化監視技術の開発 | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備(脆化監視) | HAZ 監視省略の検証 | 溶接熱影響部等の監視試験の省略に関する検証 | | | | | | | | | | | |
| | 脆化監視技術の検証 | | | | | | 材料消耗の少ない、又は加速照射による脆化監視技術の検証 | | | | | | |
| 照射脆化の基礎技術開発 | | 高速照射技術による高照射量材の脆化研究、照射による微細組織変化の計測技術、脆化機構のモデル化に関する研究 | | | | | | | | | | | |
| 照射施設基盤の整備 | | | | | | | JMTR を活用した基礎研究 | | | | | | |
| 規格基準の精緻化 | | △JEAC 改訂→技術評価 | | | | | △JEAC 改訂→技術評価 | | | | | | |

SCC 欠陥の検査に係る導入シナリオ

SCC 欠陥の検査とは

—原子炉炉内や配管において、欠陥の有無、もし欠陥が発見された場合はその位置や大きさを非破壊で検査することである。現在用いられる SCC き裂の非破壊検査技術は、VT、UT、ECT 等が主流である。

—炉内機器で見られる SCC は、炉水に接した面から発生し、一般的に粒界型で、進展する途中で分岐したり、複数の欠陥が同一箇所に発生したりする特徴がある。SCC の発生する部位は、母材、溶接金属、溶接熱影響部等で形状も多様であり、また、水中や放射線場などで遠隔による高度な検査が技術が必要である。

現状分析

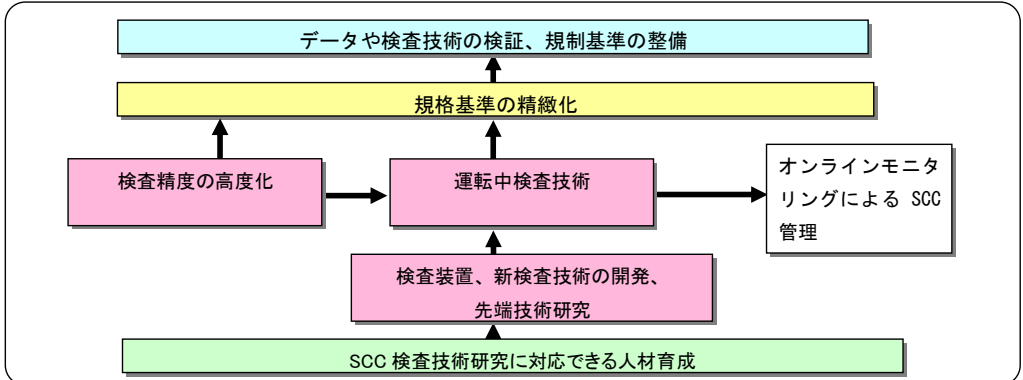
BWR のシュラウドや PLR 配管における SCC の発生や、PWR あるいは BWR のニッケル基合金溶接部における SCC の発生に関し、これらの部位に対する非破壊検査試験の精度確認として JNES プロジェクトによる実証試験が行われている。前者は「低炭素ステンレス鋼の非破壊検査技術実証 (NSA)」として平成 15 年から平成 18 年まで実施され、その成果が JNES より SS レポートとして発行された。現在、この成果を規格化すべく、社団法人 日本電気協会にて規格・指針 (JEAC・JEAG) の拡充作業を行っている。また、後者については、BWR/PWR におけるニッケル基合金溶接金属部としてシュラウドサポートやセーフエンド、圧力容器貫通部の SCC を対象とした「ニッケル基合金溶接部の非破壊検査技術実証 (NNW)」(平成 14 年～平成 20 年)、PWR の圧力容器貫通部狭隙部における PWSCC を対象を限定した「容器貫通部狭隙部の非破壊検査技術実証 (NPV)」(平成 17 年～平成 20 年) のプロジェクトが進捗中である。いずれも UT と ECT の実証試験であり、プロジェクト完了時に速やかに規格・指針化される計画である。

一方、プラントの供用期間中検査 (ISI) として、社団法人日本機械学会の発電用原子力設備規格 維持規格が本格的に導入されつつあり、産業界ではこの規格に準じた検査を可能とする検査技術あるいは炉内遠隔検査装置の確立が急がれている。特に、新たに規定される炉内構造物等の個別検査のうち、BWR では検査対象機器が増え、検査範囲も増加していることから、目視試験の高度化や炉内狭隙部、炉内薄肉配管等の検査装置が必要となっている。

原子力プラントの高経年化による機器損傷事例の増加や、それに伴う機器健全性評価の精度を確保するために、非破壊検査によるき裂検出精度、サイジング精度向上の要求、期待が高まっている。その一方で、検査対象箇所の急激な増加や、技術的に難度の高い検査の要求などにより、プラントの定期事業者検査に従事できる非破壊検査員の不足が生じているとの声もある。今後は、リスクベースに基づく検査の適切な合理化や、プラント運転中でも可能な検査技術の開発が期待されている。

高経年化対応研究方針

原子力プラントの高経年化に備え、現在実施されている JNES プロジェクトの成果を速やかに規格基準に反映させる必要がある。UT や ECT 等の非破壊検査方法の複合化による検査の高効率化や高精度化が期待できることから、第Ⅱ期で複合検査技術の開発とその技術実証を行う。さらに、検査の合理的な実施を目的に、第Ⅱ期からはプラント運転中検査技術の開発を開始し、第Ⅲ期のオンライン検査技術の確立を目指す。



産官学の役割分担

①産業界の役割

- 安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備
- ・検査精度の高度化
- ・検査装置、新検査技術の開発
- ・検査に係る先端技術研究 (共同研究の主体者)
- ・運転中検査技術

②国・官界の役割

- 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
- 必要な基盤 (知識、人材、施設、制度) の整備
- 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援
- ・データや検査技術の検証、規制基準の整備
- ・学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定

③学術界の役割

- 知の蓄積と展開 (安全基盤研究の検証)
- 研究を支える人材の育成
- ・SCC 検査技術研究に対応できる人材育成 (共同研究の主体者)
- ・規格基準の精緻化支援

④学協会の役割

- 規格基準化とその高度化に貢献
- ・規格基準の精緻化

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

・検査に係る先端技術研究

先端的な検査技術の開発は、学術界の研究ポテンシャルを踏まえて産学官で共同して効率化する。

・SCC 検査技術研究に対応できる人材育成

産学官の人的交流を図り、SCC 研究や検査に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

SCC 欠陥の検査に係る技術マップ (1/2)

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 検査精度の高度化 | PAUT 法の欠陥検出性 | ・ フェーズドアレイ UT 法の欠陥検出性、サイジング | 産／産 |
| | 炉外からの UT 検査性 | ・ 欠陥性検出性 | 産／産 |
| | 補修溶接部 UT、ECT 検査性 | ・ 欠陥性検出性 | 産／産 |
| | 水中 PT 技術 | ・ 欠陥性検出性 | 産、学／産 |
| | 複合検査技術 | ・ 2つまたはそれ以上の検査技術を複合して適用することによる検査精度の向上 | 産、学／産 |
| 運転中検査技術 | 運転中検査技術、診断技術 | ・ 運転中に継続監視が行える検査手法の精度実証 | 産、学／産 |
| 検査装置、新検査技術の開発 | 炉内狭隘部、炉内薄肉配管検査技術、装置開発 | ・ 装置、検査技術の開発 | 産／産 |
| | VT 高感度化技術開発 | ・ 装置、検査技術の開発 | 産／産 |
| | 水中 PT 技術 | ・ 装置、検査技術の開発 | 産、学／産 |
| | 複合検査技術開発 | ・ 装置、検査技術の開発、先端技術適用 | 産、学／産 |
| | 実機残留応力計測技術開発 | ・ 装置、技術の開発、先端技術適用 | 産、学／産 |
| | 運転中検査技術開発 | ・ 原子炉容器、配管に対応した装置、検査技術の開発、先端技術適用 | 産、学／産 |

SCC 欠陥の検査に係る技術マップ (2/2)

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|----------------------|----------------------------|--|-----------------|
| データや検査技術の検証、規制基準の整備 | 低炭素ステンレス鋼検査技術実証 | ・ 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 | 官／官 |
| | Ni 基合金溶接部、圧力容器貫通部狭隙部検査技術実証 | ・ 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 | 官／官 |
| | 原子力発電所の非破壊検査情報収集 | ・ 非破壊検査情報を収集して、規制に反映 ・ 補修溶接部検査情報 ・ 炉外からの UT 検査情報 | 官／官 |
| | 欠陥等継続検査の運転中監視技術実証 | ・ SCC 等の継続検査として運転中監視技術の実証と指針策定 | 官／官 |
| SCC 検査技術研究に対応できる人材育成 | SCC 検査技術研究に対応できる人材育成 | ・ 人材育成 | 学／学 |

SCC 欠陥の検査に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------|---------------------------|----------------|-------------|------|--------------|------|--------|-----------------------------|----------------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| 検査精度の高度化 | | | | PAUT法の欠陥 検出性 | | | | 水中PT/代替技術 | | | | |
| | | | | | 炉外からのUT検査性 | | | | | 複合検査技術 | | |
| | | | | | 補修溶接部UT、ECT検査性 | | | | | | | |
| 運転中検査技術 | | | | | | | | | | | 運転中検査技術、診断技術 | |
| 検査装置、新技術開発 | | | | 炉内狭隘部、炉内薄肉配管検査技 術、装置開発 | | | | | | | | |
| | | | | VT高感度化技 術開発 | | | | 水中PT/代替技術開発 | | | | |
| | | | | | | | | 複合検査技術開発 | | | | |
| | | | | | | | | 実機残留応力計測技術開発 | | | | |
| データや検査技術の検証、規制 基準の整備 | | 低炭素ステンレ ス鋼検査技術 実証 | | | | | | | | | | |
| | | Ni基合金溶接部、圧力容器貫通部 狭隘部検査技術実証 | | | | | | | | | 欠陥等継続検査の運転中監視技術実証 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | | | | UT、ECT技術のJEAC、JEAGへの反映 | | | | | | | 補修溶接部検査技術の JEAC、JEAGへの反映 | 運転中検査要求の維持規格へ の反映 |
| | | | | SCC健全性評価ガイド | | | | | | | 複合検査技術の規格化 | |
| | | | | | | | | | | | SCC長期健全性評価ガイド | |

運転中モニタリングに係るロードマップ

運転中モニタリングとは

—SCC は材料、環境、応力の3つの要因が重畳して発生する。運転中モニタリングは、運転中にそれぞれの要因を継続的に監視し、SCCの研究から得られる SCC き裂発生・進展シミュレーション技術と連携して、SCC 発生時期の予測、進展量の予測を実施し、炉内での SCC の状況を把握して高経年化炉の安全運転に寄与する技術である。

現状分析

検査のあり方検討会において、高経年化対策充実のために、状態監視保全や運転中を含めた新しい監視・評価技術の導入が有効であるとされている。しかしながら、現在のところ、SCC 事象に関する状態監視保全技術の開発・適用方策はなく、健全性評価等に基づいた時間計画保全(TBM)を中心とした方法をとっており、SCC に関連した点検頻度は過度の保守性に基づいている可能性がある。

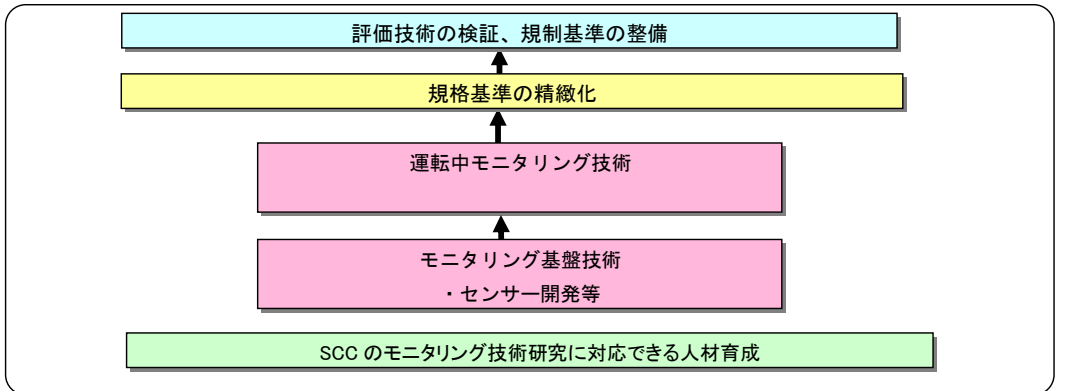
現状実施されている SCC に関連したモニタリング技術として、炉内水質については、炉水サンプリングポイントでの調査、RPVボトムドレン水の水質分析結果を基に、照射場を考慮した炉内水質をラジオリシスモデルにより解析しているが、炉水環境を精度良く評価するには至っていないと思われる。また、炉内構造材の腐食環境に関しては、腐食電位(ECP)測定が行われ、シミュレーションによる炉内構造材各所の腐食電位評価が行われているが、測定用センサー設置場所の制約等により必ずしも評価精度は十分とはいえない。

一方、実機構成材の SCC の発生や進展挙動等に関するモニタリング手法は確立されておらず、炉外における実機炉水を用いた SCC 試験や炉水を模擬した環境下でのラボ試験が実施されている。

運転中ヘルスモニタリング技術を開発、実機適用することにより、腐食電位、SCC 発生進展挙動等を実測することが可能となる。これにより、環境緩和の効果と有効範囲(部位)の明確化、実機 SCC データの拡充がはかられ、規格基準の高度化に資することが可能となる。また、応力改善策等の設備保全策の長期有効性確認、材料経年劣化モニターによるトラブル未然防止に伴う稼働率上昇や適切な長期的設備保全の策定および点検頻度の最適化とそれに伴う被ばく低減が見込まれる。

高経年化対応研究方針

長期にわたる SCC 事象の予測精度向上や状態監視保全手法を構築し、SCC 事象を的確に把握して、高経年化に対応した点検・検査の適正化を図るため、炉内構造材や配管の SCC に関する健全性モニタリング技術の開発、実証を行う



産官学の役割分担

①産業界の役割

—安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備

- ・運転中モニタリング技術開発
- ・モニタリング基盤技術(共同研究の主体者)センサー開発等

②国・官界の役割

—安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
—必要な基盤(知識、人材、施設、制度)の整備
—産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

- ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- 学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定

③学術界の役割

—知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
—研究を支える人材の育成

- ・SCC のモニタリング技術研究に対応できる人材育成(共同研究の主体者)
- (規格基準の精緻化支援)

④学協会の役割

—規格基準化とその高度化に貢献

- ・規格基準の精緻化

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

・モニタリング基盤技術

SCC に関わるモニタリング技術は、新規の技術開課題であり、早期に実機適用を図るためには、産学官で協力して効率的に推進する必要がある。

・SCC のモニタリング技術研究に対応できる人材育成

産官学の人的交流を図り、SCC 研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

運転中モニタリング技術に係る技術マップ

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---------------------------|---------------------------|--|-----------------|
| モニタリング基盤技術 | モニタリング基盤技術の高度化 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内水質や SCC 挙動を把握するためのセンサー技術等モニタリング基盤技術、先端技術に関する研究 | 産、学、官／ 産、学、官 |
| 運転中モニタリング技術 | 実機腐食環境評価手法の高度化 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内水質を把握するための腐食環境評価手法の開発、高度化 | 産、学／産 |
| | SCC き裂発生、進展モニタリング技術の開発、実証 | <ul style="list-style-type: none"> 腐食環境(腐食電位)や SCC 発生進展挙動を把握するためのモニタリング技術の開発と実証 | 産、学／産 |
| | 炉内ヘルスマニタリング技術の開発、実証 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内水質(腐食電位)/SCC 発生、進展挙動 材料経年劣化モニター 予防保全対策や応力改善策の長期有効性評価への適用性を実証 状態監視保全技術 | 産、学／産 |
| 評価技術の検証、規制基準の整備 | 運転中モニタリング技術の検証 | <ul style="list-style-type: none"> 安全規制高度化のためにモニタリング技術の検証 | 官／官 |
| SCC のモニタリング技術研究に対応できる人材育成 | SCC のモニタリング技術研究に対応できる人材育成 | <ul style="list-style-type: none"> 人材育成 | 学／学 |

運転中モニタリングに係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) |
|-----------------|----------------------|------|------|------|------|---------------------------|------|------|------|------|-----------|------------------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| モニタリング基盤技術 | | | | | | モニタリング基盤技術の高度化 | | | | | | 長期健全性維持と運転中モニタリングの実機適用 |
| 運転中モニタリング技術 | | | | | | 実機腐食環境評価手法の高度化 | | | | | | |
| | | | | | | SCC き裂発生、進展モニタリング技術の開発、実証 | | | | | | |
| | | | | | | 炉内ヘルスモニタリング技術の開発、実証 | | | | | | |
| 評価技術の検証・規制基準の整備 | | | | | | 運転中モニタリング技術の検証 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|--|--|--|--|-----------------------|--|--|--|--|--|--|
| 規格基準、規制基準への反映 | 維持規格へ反映 | | | | | 維持規格への反映 | | | | | | |
| | SCC 健全性評価ガイド | | | | | SCC 発生・進展シミュレーションの規格化 | | | | | | |
| | | | | | | SCC 長期健全性評価ガイド | | | | | | |

ステンレス鋼の応力腐食割れ（IGSCC）の健全性評価に係る導入シナリオ

ステンレス鋼の IGSCC（非鋭敏化型 SCC）とは

—鋭敏化応力腐食割れの対策材として実機に適用されている低炭素ステンレス鋼製の再循環配管及び炉心シュラウドにおいて、近年、表面硬化層を起点とした非鋭敏化型 SCC が認められている。

—再循環系配管の SCC は溶接残留応力に従って溶接金属に向かって進展しており、発見されたき裂は、配管口径、運転年数によらず概ね深さ 10mm 以下である。

—炉心シュラウドの SCC は、リング部では溶融線から数 mm 離れた位置に断続的に全周に渡ったき裂や胴部にも部分的なき裂が確認されている。

—原因は明確でないが、表面加工層があると発生しやすいことが知られている。

現状分析

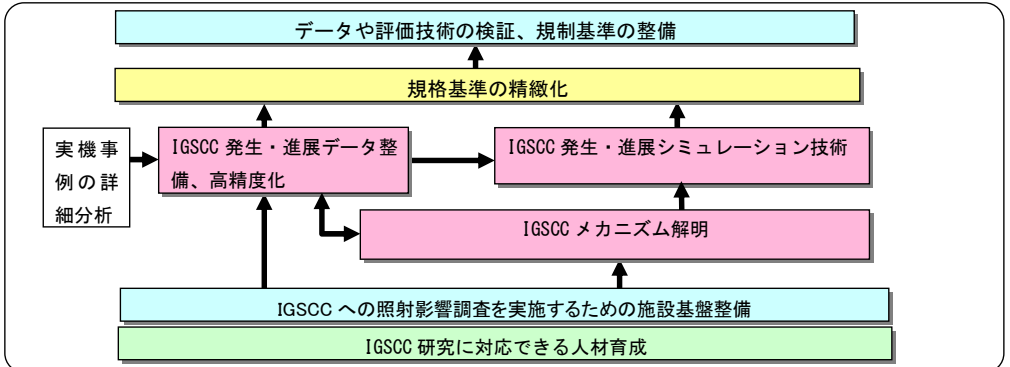
現状、き裂進展を評価して機器としての健全性を評価する維持基準が適用されており、保守性をもった維持・管理がなされている。また、種々の条件下の SCC 進展速度データ拡充がはかられている。しかしながら、再循環系配管においては実機調査結果と維持基準に則った健全性評価とに差異が認められており、更なる健全性評価の高度化、具体的には確率論的評価を伴う SCC 発生挙動や溶接金属部における停留挙動の評価手法の確立が喫緊の課題となっており、長期的に実機データを規格基準にフィードバックする取り組みが必要となっている。

一方、維持規格の導入により水素注入（HWC）など、これまで単に予防保全の 1 つであった環境緩和策は、その適用や効果の有無がき裂進展評価や点検頻度の設定にも関連する位置づけとなった。BWR の維持規格には HWC 環境下でのき裂進展線図があるものの、HWC の効果の判断クライテリアが規準化されていないこと等から HWC 線図の健全性評価への適用が進んでいない。環境改善対策の効果を考慮した評価手法を早期に構築する必要がある。

メカニズムに関する研究も活発であるが、今のところ不明な点が多く、十分には解明されていない。SCC き裂進展は、溶接部の硬化部位で加速され、溶接金属中でもき裂が伝播すること等が知られている。また、シュラウド等の炉内構造物では中性子照射を受けることが予想され、それに伴うき裂進展加速を考慮する必要があることが指摘されている。

高経年化対応研究方針

SCC 発生挙動や溶接境界部でのき裂進展および環境緩和技術等を考慮して、高経年化プラントの SCC 発生・進展評価、健全性評価の高精度化を行い、実機における SCC 事象を的確に把握して制御するとともに、点検頻度の適正化を図る。SCC き裂発生、進展機構解明研究や高経年化時複合事象の検討の成果をふまえ、SCC 健全性評価に関する維持規格の改訂、充実に継続的に行う。



産官学の役割分担

①産業界の役割

—安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備

- ・IGSCC 発生・進展データ整備、高精度化
- ・IGSCC 発生・進展シミュレーション技術
- 炉内構造物の IGSCC 発生・進展を予測する方法の開発と実機適用
- ・IGSCC メカニズム解明（共同研究の主体者）

②国・官界の役割

—安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
—必要な基盤（知識、人材、施設、制度）の整備
—産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

- ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- 学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定
- ・IGSCC への照射の影響を研究するための施設基盤整備（共同研究の主体者）

③学術界の役割

—知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
—研究を支える人材の育成

- ・IGSCC 研究に対応できる人材育成（共同研究の主体者）
- （・規格基準の精緻化支援）

④学協会の役割

—規格基準化とその高度化に貢献

- ・規格基準の精緻化

産官学の連携

産官学による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・IGSCC メカニズム解明
メカニズム解明は科学的合理性の基礎となり産官ともに必要で、学の研究ポテンシャルを踏まえて産官で共同して効率化する。
- ・IGSCC への照射の影響を研究するための施設基盤整備
炉内構造物の IGSCC 研究には照射を伴う研究が必要なことから、JMTR 等の照射施設基盤整備を産官で協力して推進する。
- ・IGSCC 研究に対応できる人材育成
産官学の人的交流を図り、IGSCC 研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

ステンレス鋼の応力腐食割れ（IGSCC）の健全性評価に係る技術マップ（1/2）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---------------------------|-----------------------------|---|-----------------|
| IGSCC 発生・進展データ 整備、高精度化 | IGSCC き裂発生・進展データの拡張、高精度化 | <ul style="list-style-type: none"> IGSCC 加速要因を抽出して、重要要因毎にき裂発生・進展評価、必要に応じて維持規格の修正を提案 IGSCC 発生試験方法妥当性検討 | 産／産 |
| | 溶融線近傍の SCC 停留挙動評価 | <ul style="list-style-type: none"> 溶接境界での SCC 停留挙動を解明 検査期間の設定へ反映 | 産／産 |
| | ラボデータと実機データ、実機事象相関 | <ul style="list-style-type: none"> 国内外の実機事例の詳細分析 実験室試験結果の整合性検討 | 産／産 |
| | 実機廃却材、実機炉水環境下でのき裂発生・進展データ取得 | <ul style="list-style-type: none"> IGSCC データベース充実 IGSCC き裂進展速度線図の高精度化 | 産／産 |
| | HWC 線図の健全性評価への適用 | <ul style="list-style-type: none"> 環境改善対策の効果を考慮した評価手法を構築 HWC 等効果のクライテリア基準、必要に応じて維持規格の修正を提案 | 産／産 |
| | ステンレス配管の溶接残留応力解析手法 | <ul style="list-style-type: none"> 溶接残留応力の解析手法および K の評価手法の高度化、維持規格への提案 | 産／産 |

ステンレス鋼の応力腐食割れ（IGSCC）の健全性評価に係る技術マップ（2/2）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|-----------------------|--------------------------|---|------------------|
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | IGSCC 評価技術検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 ・ IGSCC の加速要因として 低中性子照射、 低 K 値域でのき裂進展挙動、 溶接金属のき裂進展挙動、 溶接硬化、 起動停止の影響、 水の放射線分解 等が課題 ・ JMTR 等の研究基盤整備 ・ ステンレス配管の溶接残留応力解析手法の検証 | 官／官 |
| IGSCC メカニズム解明 | IGSCC 発生・進展メカニズム解明とモデル構築 | <ul style="list-style-type: none"> ・ IGSCC 加速要因の抽出（低照射量、照射速度、起動停止、K 変化率、表面加工、水の放射線分解等） ・ 発生・進展モデル構築による進展予測法 | 産、学、官 / 産、学、官 |
| IGSCC 発生・進展シミュレーション技術 | IGSCC 発生・進展シミュレーション技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 技術開発と実機への適用 | 産／産 |
| IGSCC 研究に対応できる人材育成 | IGSCC 研究に対応できる人材育成 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 人材育成 | 学／学 |

ステンレス鋼の応力腐食割れ（IGSCC）の健全性評価に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの 40 年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同 50 年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同 60 年まで) |
|---------------------------|----------------------------|------|-------------------------------|------|-------------------------|--|------|------|------|------|-----------|---------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| IGSCC 発生・進展データ整備、 高精度化 | | | | | | | | | | | | |
| | IGSCC 発生試験方法妥当性検討 | | | | | | | | | | | |
| | IGSCC き裂発生データの | | | | | 拡張、高精度化 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | IGSCC き裂進展データ拡張・高精度化 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | 溶融線近傍の SCC 停留挙動評価 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | ラボデータと実機事象相関 | | | | | | |
| | | | | | 実機廃却材、実機炉水環境下発生・進展データ取得 | | | | | | | |
| | | | | | HWC 健全性適用検討 | | | | | | | |
| | | | | | ステンレス鋼配管の残留応力解析手法 | | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制 基準の整備 | IGSCC 評価技術検証 (溶接硬化) | | IGSCC 評価技術検証 (低 K 値域、溶接金属) | | | | | | | | | |
| | | | | | | IGSCC 評価技術検証 (低照射量、低照射速度の影響、水の放射線分解、照射中効果の検証) | | | | | | |
| | | | | | | ステンレス鋼配管の残留応力解析手法 の検証 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| IGSCC メカニズム解明 | IGSCC き裂発生、進展メカニズム解明、モデル構築 | | | | | | | | | | | 高経年化時複合事象検討 |
| | | | | | | | | | | | | |
| IGSCC 発生・進展シミュレーシ ョン技術 | | | | | | IGSCC 発生、進展シミュレーション技術開発 | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | 維持規格へ反映 | | | | | 維持規格への反映、長期健全性評価の維持規格 | | | | | | |
| | IGSCC 健全性評価ガイド | | | | | シミュレーション、モニタリング の規格化 | | | | | | |
| | | | | | | SCC 長期健全性評価ガイド | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の健全性評価に係る導入シナリオ

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）とは

- 中性子照射量がしきい値を超えて増大するとステンレス鋼のIASCC感受性が増大し、炉内構造物のIASCC割れが発生しやすくなる。
- 鋭敏化しない低炭素ステンレス鋼でも発生する。
- IASCCはSCCの3要素 材料、環境、応力にさらに中性子照射の影響が重畳した複合事象と考えられている（図1）。
- BWR環境とPWR環境両方で発生する可能性がある。

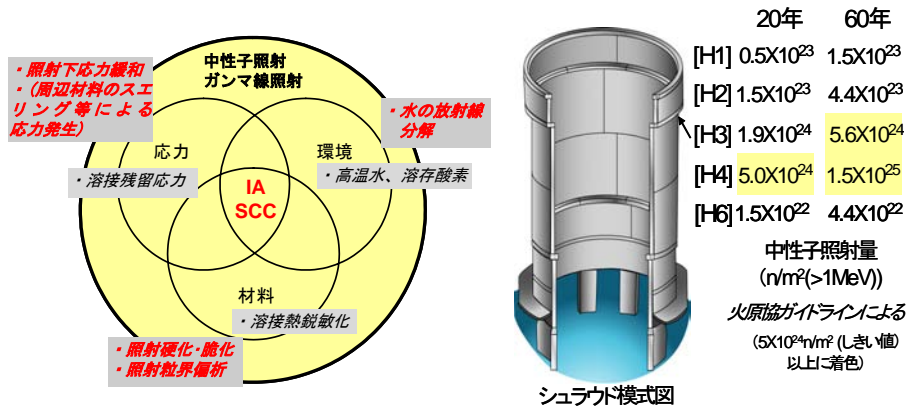


図1 IASCCは材料、応力、環境と照射が重畳したときに発生する

図2 BWRシュラウドにおける20年と60年運転後の各溶接線での中性子照射量（計算値）

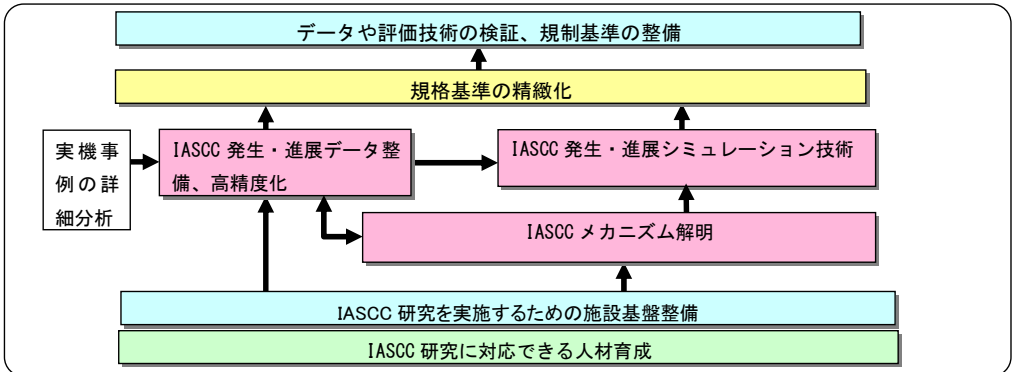
現状分析

原子炉の高経年化に伴い、炉内構造物の中性子照射量が増大し（図2）、IASCCの発生する可能性がより高くなると考えられる。現在までに、BWRでは、高照射量を受けた制御棒が発生が報告されている。また、PWRにおいては、国内でIASCC事例は報告されていないが、海外では高照射で高応力が負荷されるパッフルフォーマボルトに多数の事例が確認されている。以上の状況から世界的にもIASCC現象が注目され始めており、研究が活発化している。現在、国の事業としてIASCCき裂進展データを検証して規制基準の整備が実施中である。また、国際協力によるメカニズム研究も行われており、JAEA等の研究機関が参画している。

しかし、今のところIASCCの発生・進展に関するデータは乏しく、メカニズムに関しても確定されていない。今後、高経年化原子炉の安全性、信頼性を確保するためには、IASCC発生・進展に関するデータ充実と高精度化が不可欠である。また、IASCCメカニズムに関する理解を深めて、IASCC発生・進展の予測が行えるIASCCシミュレーション技術の開発が急務である。それらの研究を推進するために、JMTR等の施設基盤の整備が重要で、また、IASCCの研究に携わっている人的資源も十分でないことから、IASCC研究を推進する幅広い知識を持った人材育成にも注力する必要がある。

高経年化対応研究方針

炉の高経年化に伴う中性子照射量増加に対応するIASCC発生・進展データ整備、高精度化を実施し、同時にIASCCメカニズム解明を推進して、IASCC発生・進展を予測するシミュレーション技術の開発、実機適用を進める。それらの成果を反映して規格基準の精緻化、また、科学的合理性を持った規制基準の整備等に繋げる。そのために必要なIASCC研究を実施するための施設基盤整備とIASCC研究に対応できる人材育成も行う。



産官学の役割分担

①産業界の役割

- 安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備
- ・IASCC発生・進展データ整備、高精度化
- ・IASCC発生・進展シミュレーション技術
- 炉内構造物のIASCC発生・進展を予測する方法の開発と実機適用
- ・IASCCメカニズム解明（共同研究の主体者）

②国・官界の役割

- 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
- 必要な基盤（知識、人材、施設、制度）の整備
- 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援
- ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- 学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定
- ・IASCC研究を実施するための施設基盤整備（共同研究の主体者）

③学術界の役割

- 知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
- 研究を支える人材の育成
- ・IASCC研究に対応できる人材育成（共同研究の主体者）
- （規格基準の精緻化支援）

④学協会の役割

- 規格基準化とその高度化に貢献
- ・規格基準の精緻化

産官学の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

・IASCCメカニズム解明
メカニズム解明は科学的合理性の基礎となり産官ともに必要で、学の研究ポテンシャルを踏まえて産学官で共同して効率化する。

・IASCC研究を実施するための施設基盤整備

IASCC研究には照射を伴う研究が必要なことから、JMTR等の照射施設基盤整備を産官で協力して推進する。

・IASCC研究に対応できる人材育成

産官学の人的交流を図り、IASCC研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の健全性評価に係る技術マップ（1/2）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|-----------------------|--------------------------|---|-----------------|
| IASCC 発生・進展データ整備、高精度化 | IASCC き裂発生・進展データの拡張、高精度化 | <ul style="list-style-type: none"> IASCC 加速要因を抽出して、重要要因毎にき裂発生・進展評価、必要に応じて維持規格の修正を提案 高照射下での IASCC 挙動データ取得 IASCC 発生試験方法妥当性評価 | 産／産 |
| | ラボデータと実機事象相関 | <ul style="list-style-type: none"> 国内外の実機事例の詳細分析 実験室試験結果の整合性検討 | 産／産 |
| | 実機廃却材を用いたき裂進展データ取得 | <ul style="list-style-type: none"> IASCC データベース充実 IASCC き裂進展速度線図の高精度化 中性子照射による破壊靱性低下データ | 産／産 |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | IASCC 評価技術検証 | <ul style="list-style-type: none"> 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 | 官／官 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> 国際協力等による実機廃却材を用いたデータ検証 | 産、官／産、官 |
| IASCC メカニズム解明 | IASCC 発生・進展メカニズム解明とモデル構築 | <ul style="list-style-type: none"> IASCC 加速要因の抽出（照射速度、起動停止、K 変化率、水の放射線分解等） 発生・進展モデル構築による進展予測法 高照射下での IASCC メカニズム検討 加速照射の妥当性検討 | 産、学、官／産、学、官 |

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の健全性評価に係る技術マップ（2/2）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---|-------------------------|----------------------------|-----------------|
| IASCC 発生・進展シミュレーション技術 | IASCC 発生・進展シミュレーション技術開発 | ・ 技術開発と実機への適用 | 産／産 |
| ・IASCC 研究を実施するための施設基盤整備 ・IASCC 発生・進展データ整備、高精度化 | 照射中 IASCC 発生・進展評価 | ・ JMTR 等の施設基盤整備 | 官／官 |
| | | ・ 照射中現象を正確に取入れた健全性評価技術の高度化 | 産、官／産、官 |
| IASCC 研究に対応できる人材育成 | IASCC 研究に対応できる人材育成 | ・ 人材育成 | 学／学 |

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の健全性評価に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの 40 年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同 50 年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同 60 年まで) | |
|---|------------------------|------|------|------|------|-----------------------------|------|------|------|------|-----------|---------------|--------------------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 | |
| IASCC 発生・進展データ整備、 高精度化 | IASCC 発生試験方法 | | | | | | | | | | | | |
| | IASCC き裂発生データの | | | | | 拡張、高精度化 | | | | | | | |
| | | | | | | IASCC き裂進展データ拡張・高精度化 | | | | | | | |
| | | | | | | ラボデータと実機事象相関 | | | | | | | |
| | | | | | | 実機廃却材を用いたき裂進展データ取得 | | | | | | | |
| IASCC 研究を実施するための 施設基盤整備 IASCC 発生・進展データ整備、 高精度化 | | | | | | 照射中 IASCC 発生・進展評価 | | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制 基準の整備 | JMTR 等研究施設の改修 | | | | | | | | | | | | |
| | IASCC 評価技術検証 | | | | | IASCC 評価技術検証(規制規格の高度化) | | | | | | | |
| IASCC メカニズム解明 | 加速照射の妥当性検討 | | | | | | | | | | | | 高照射下での IASCC メカニズ ム検討 |
| | | | | | | IASCC き裂発生、進展メカニズム解明、モデル構築 | | | | | | | |
| IASCC 発生・進展シミュレーショ ン技術 | | | | | | IASCC 発生、進展シミュレーション技術開発 | | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | 維持規格へ反映 | | | | | 維持規格への反映 | | | | | | | |
| | IASCC 健全性評価ガイド | | | | | IASCC 発生・進展シミュレーシ ョンの規格化 | | | | | | | |
| | | | | | | SCC 長期健全性評価ガイド | | | | | | | |

Ni 基合金の応力腐食割れの健全性評価に係る導入シナリオ

Ni 基合金の IGSCC (NiSCC/PWSCC) とは

—Ni 基合金は圧力バウンダリー構成機器や炉内構造物など重要な部位に使用されている。母材、溶接金属ともに、BWR 環境中でも PWR 一次冷却水環境中でも粒界型の割れを生じる。

—BWR 環境中では、粒界での鋭敏化が原因とされており、水素注入環境やニオブ添加による鋭敏化抑制が有効とされている。

—PWR 一次冷却水環境中の SCC (PWSCC という) は、BWR の場合と異なる原因と考えられ、発生メカニズムとして「活性経路腐食 (APC) 説」、「水素説」、「内部酸化説」が提案されている。対策材として 690 系合金が有力である。

現状分析

BWR 環境中

近年、国外プラントにおいて再循環ノズル溶接部等に応力腐食割れ (SCC) の発生が認められ、また、我が国においても、シュラウドサポートや CRD ハウジングにおいて SCC の発生が報告されている。Ni 基合金の SCC への対応は、原子炉压力容器への進展性の検討を含め、今後の高経年化対応において最も重要な課題の一つである。Ni 基合金の SCC 特性については、応力、水質などの環境や溶接部の組織など材料特性が影響することが明らかになってきている。しかし、最近、実機溶接部の SCC 損傷事例の検討結果から、応力拡大係数 (K 値) が増加するときと減少するときのき裂進展速度が異なることや、長時間経過すると進展速度が遅くなるなど K 値変化率の影響や溶接金属のデンドライト方向依存性などに関して新しい知見が得られており、更なるき裂進展評価の高精度化が必要とされている。SCC 発生に関しては、試験データが限られている表面加工、起動停止 (応力面、環境面) 等の影響についてデータを拡充すること、SCC 発生寿命評価手法を確立し健全性評価への反映することが望まれている。また、健全性評価手法の妥当性を確認するために、実機損傷データを拡充しデータベース化をはかるとともに実機データや実機材・実環境下試験結果とラボ試験結果から予測される評価結果との総合的評価を行い、著しい乖離が生じている場合には健全性評価手法の見直しはかる取り組みが重要と考えられる。

PWR 環境中 (PWSCC)

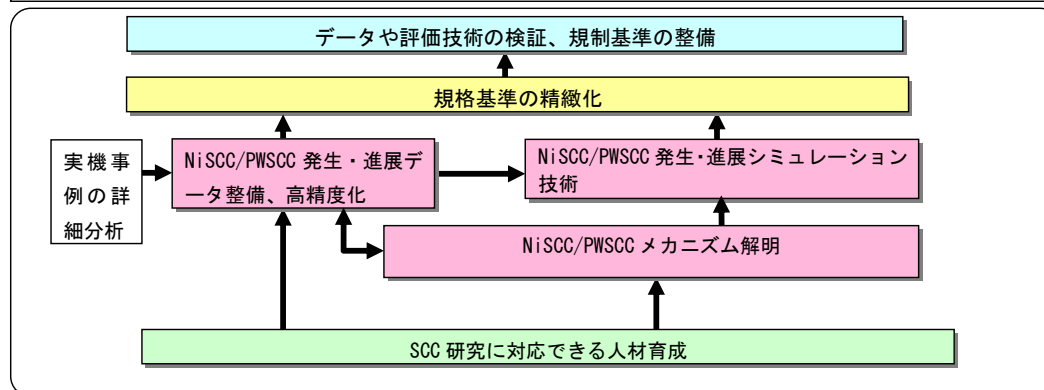
国内外の PWR プラントにおいては、これまでに蒸気発生器伝熱管、原子炉容器上蓋管台、加圧器管台等の Ni 基合金使用部位で一次冷却材による応力腐食割れ事象が多数発生している。

PWSCC は、材料、環境、応力という要素の重畳により発生する。材料、環境については、600 系 Ni 基合金が高温純水 (PWR の一次冷却材環境) 中で感受性を有し、また、使用温度が高い方が発生時間は短くなることが知られている。環境温度の発生時間への影響はアレニウスの式により評価可能である。

また、応力については、民間の研究 (電共研) により、発生に係るしきい値のデータを取得済であるが、690 系合金については温度が高い部位に対し、プラント 60 年運転を想定したデータが十分に取得できていない。

高経年化対応研究方針

高経年化プラントの Ni 基合金の溶接金属、母材の SCC 発生・進展データの拡張、充実による健全性評価の高精度化を行う。実機における SCC 事象を的確に把握して制御するとともに、点検頻度の適正化を図る。PWSCC 対策材 690 系合金については、継続して長期健全性データを取得し、高経年化にあたっての信頼性を確認する。さらに、発生・進展シミュレーション技術を用いて、運転中の健全性確認技術の高度化を図る。



産官学の役割分担

①産業界の役割

- 安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備
- ・NiSCC/PWSCC 発生・進展データ整備・高精度化
- ・NiSCC/PWSCC 発生・進展シミュレーション技術
- ・炉内構造物の Ni 基合金 SCC の発生・進展を予測する方法の開発と実機適用
- ・Ni 基合金 SCC メカニズム解明 (共同研究の主体者)

②国・官界の役割

- 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
- 必要な基盤 (知識、人材、施設、制度) の整備
- 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援
- ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- ・学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定

③学術界の役割

- 知の蓄積と展開 (安全基盤研究の検証)
- 研究を支える人材の育成
- ・SCC 研究に対応できる人材育成 (共同研究の主体者)
- ・規格基準の精緻化支援

④学協会の役割

- 規格基準化とその高度化に貢献
- ・規格基準の精緻化

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

・Ni 基合金 SCC メカニズム解明

メカニズム解明は科学的合理性の基礎となり産官ともに必要で、学の研究ポテンシャルを踏まえて産学官で共同して効率化する。

・SCC 研究に対応できる人材育成

産官学の人的交流を図り、SCC 研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

Ni 基合金の応力腐食割れ（NiSCC）の健全性評価に係る技術マップ（BWR）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|-----------------------|-----------------------------|--|-----------------|
| NiSCC 発生・進展データ整備、高精度化 | NiSCC き裂発生・進展データの拡張、高精度化 | <ul style="list-style-type: none"> NiSCC 加速要因を抽出して、重要要因毎にき裂発生・進展評価、必要に応じて維持規格の修正を提案 NiSCC 発生試験方法妥当性検討 破壊靱性データ | 産／産 |
| | 異材継手溶接線近傍の SCC 挙動評価 | <ul style="list-style-type: none"> 低合金鋼と Ni 基合金溶接境界（異材継手）での SCC 挙動 | 産、学／産 |
| | SCC 対策・補修の有効性実証 | <ul style="list-style-type: none"> 改良材、応力改善、環境改善等の SCC 対策や補修の有効性を検証 | 産／産 |
| | Ni 基合金溶接金属、母材（熱影響部）での発生寿命評価 | <ul style="list-style-type: none"> Ni 基合金の SCC 発生裕度評価および発生しきい応力を把握し、SCC 発生寿命を評価 点検頻度や点検範囲の設定、規格への提案 | 産、学／産 |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | NiSCC 評価技術検証 | <ul style="list-style-type: none"> 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 | 官／官 |
| | Ni 基合金溶接部破壊評価基準の整備 | | |
| NiSCC メカニズム解明 | NiSCC 発生・進展メカニズム解明とモデル構築 | <ul style="list-style-type: none"> NiSCC 加速要因の抽出（起動停止、K 変化率、水の放射線分解等） 発生・進展モデル構築による進展予測法 | 産、学、官／ 産、学、官 |
| NiSCC 発生・進展シミュレーション技術 | NiSCC 発生・進展シミュレーション技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 技術開発と実機への適用 | 産／産 |
| SCC 研究に対応できる人材育成 | SCC 研究に対応できる人材育成 | <ul style="list-style-type: none"> 人材育成 | 学／学 |

Ni 基合金の応力腐食割れ（PWSCC）の健全性評価に係る技術マップ（PWR）

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|-------------------------|------------------------------|--|-----------------|
| PWSCC 進展データ整備、 高精度化 | PWSCC き裂進展データの拡張、高精度化 | ・ PWSCC の進展データの低 K 値への拡張、評価、必要に応じて維持規格の修正を提案 | 産／産 |
| | ラボデータと実機事象相関 | ・ 国内外の実機事例の詳細分析 ・ 実験室試験結果の整合性検討 | 産／産 |
| | 690系合金の長期信頼性 | ・ 継続して長期信頼性を確認 | 産／産 |
| データや評価技術の検証、 規制基準の整備 | PWSCC 評価技術検証 | ・ 学協会規格のデータ（破壊靱性データを含む）や評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化 | 官／官 |
| PWSCC メカニズム解明 | PWSCC 発生・進展メカニズム 解明とモデル構築 | ・ PWSCC 加速要因の抽出（起動停止、K 変化率、水の放射線分解、溶存水素量等） ・ 発生・進展モデル構築による進展予測法 | 産、学、官/ 産、学、官 |
| | | ・ メカニズムに基づいた長期健全性対策材の開発等 | 産／産 |
| PWSCC 発生・進展シミュレーション技術 | PWSCC 発生・進展シミュレーション技術開発 | ・ 技術開発と実機への適用 | 産／産 |
| SCC 研究に対応できる人材育成 | SCC 研究に対応できる人材育成 | ・ 人材育成 | 学／学 |

Ni 基合金の応力腐食割れ（NiSCC）の健全性評価に係るロードマップ（BWR）

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) | |
|---------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|-----------|-------------|--|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 | |
| NiSCC 発生・進展データ整備、 高精度化 | NiSCC 発生試験方法妥当性検討 | | | | | | | | | | | | |
| | NiSCC き裂発生データの | | | | | 拡張、高精度化 | | | | | | | |
| | NiSCC き裂進展データ拡張・高精度化 | | | | | | | | | | | | |
| | 異材継手溶接線近傍の SCC 挙動評価 | | | | | | | | | | | | |
| | Ni 基合金溶接金属、母材(熱影響部)での発生寿命評価 | | | | | | | | | | | | |
| | SCC 対策・補修の有効性実証 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制 基準の整備 | NiSCC 評価技術検証(規制基準の高度化) | | | | | | | | | | | | |
| | Ni 基合金溶接部破壊評価基準の整備 | | | | | | | | | | | | |
| NiSCC メカニズム解明 | NiSCC き裂発生、進展メカニズム解明、モデル構築 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| NiSCC 発生・進展シミュレーシ ョン技術 | | | | | | NiSCC 発生、進展シミュレーション技術開発 | | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | 維持規格へ反映 | | | | | 維持規格への反映、長期健全性評価の維持規格 | | | | | | | |
| | SCC 健全性評価ガイド | | | | | シミュレーション、モニタリング の規格化 | | | | | | | |
| | | | | | | SCC 長期健全性評価ガイド | | | | | | | |

Ni 基合金の応力腐食割れ（PWSCC）の健全性評価に係るロードマップ（PWR）

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの 40 年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同 50 年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同 60 年まで) |
|---------------------------|----------------------------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|-----------|---------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| PWSCC 進展データ整備、 高精度化 | | | | | | <div>PWSCC き裂進展データ拡張・高精度化</div> <div>ラボデータと実機事象との相関</div> <div>690系合金の長期信頼性</div> | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| データや評価技術の検証、規制 基準の整備 | PWSCC 評価技術検証(規制基準の高度化) | | | | | | | | | | | |
| | Ni 基合金溶接部破壊評価基準の整備 | | | | | | | | | | | |
| PWSCC メカニズム解明 | PWSCC き裂発生、進展メカニズム解明、モデル構築 | | | | | <div>長期健全性対策材開発・適用</div> | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| PWSCC 発生・進展シミュレーシ ョン技術 | | | | | | <div>PWSCC 発生、進展シミュレーション技術開発</div> | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | <div>維持規格へ反映</div> | | | | | <div>維持規格への反映、長期健全性評価の維持規格</div> | | | | | | |
| | <div>SCC 健全性評価ガイド</div> | | | | | <div>シミュレーション、モニタリング の規格化</div> | | | | | | |
| | | | | | | <div>SCC 長期健全性評価ガイド</div> | | | | | | |

SCC 保全技術（予防保全、補修、取替等）に係る導入シナリオ

SCC 保全技術（予防保全、補修・取替等）とは

- SCC に対する予防保全方法として、SCC 発生する前に応力緩和や環境緩和を実施する、また、SCC に対して抵抗性の高い材料に交換する等がある。
- 補修・取替は、SCC が顕在化した事後対策技術である。補修方法としては、補修溶接が一般的であるが、中性子照射を受けて補修溶接が不可能な場合は補強ジグを取り付ける方法が実施されている。

現状分析

【環境緩和】

(1)BWR：SCC の主要環境因子は冷却材の放射線分解によって生成する酸化種と系外から持ち込まれるイオン不純物(特にアニオン)である。後者については、影響の大きいとされる硫酸イオンを中心として、近年、管理の強化が図られており現状は問題のあるレベルにはないと考えられている。酸化剤抑制の取り組みについて、近年、a.主蒸気系線量率が上昇しない範囲の水素注入量でSCC環境緩和効果を高める、貴金属処理(NMCA、NMC、NMCI:一部プラントで実施中)、ヒドラジン注入(技術開発中)、b. 水素を必要としない新たなSCC緩和策としてTiO₂注入(技術開発中)、c. ECPセンサーの開発・適用、d. 炉内SCC環境評価手法、e. 起動時水素注入(一部プラントで実施中)等の技術開発が進められている。

(2)PWR：一次系が液相単相・閉鎖系であるため、一次冷却材の放射線分解による酸化種の生成を抑制するため高濃度の水素注入が当初より行われてきた。この結果、BWRのような活性溶解型のSCCは、滞留した大気飽和水(停止中)によるものだけでなく、その他の可能性は低いと考えられる。一方、このような強還元雰囲気の一冷却材環境であっても、Ni基合金にSCC(PWSCC)が生じる。近年、このPWSCCの進展速度、発生(潜伏期間)に、一次冷却材中の溶存酸素濃度が影響を及ぼすとの知見が得られており、燃料被覆管の腐食・水素化挙動、腐食生成物の移行・放射化挙動への影響と合わせて大きな関心が寄せられている。すなわち、溶存酸素濃度を最適化、垂鉛注入等である。

【環境緩和以外】

BWRにおいては、1998年に福島第一3号機でシュラウド取替、2000年に敦賀1号機のシュラウドサポート・シュラウド取替が行われ、その後いくつかのプラントでシュラウド取替が行われている。また、PLR配管についてもほぼ同時期から多くのプラントで取替が行われてきている。シュラウド等の補修については、ひび除去(EDM)＋応力改善(ピーニング等)、タイロッドによる補修など、PLR配管の補修については、ひび除去＋応力改善(IHSI等)を行っている。

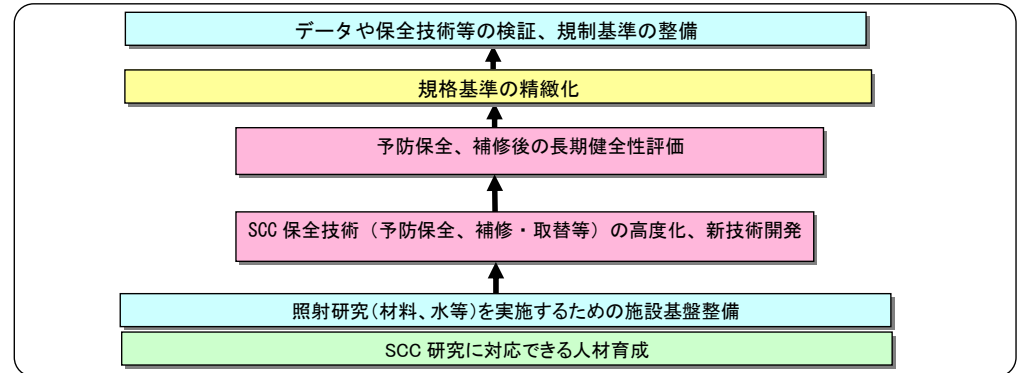
PWRにおいては、1996年の高浜1号機の上蓋取替(690合金へ)を始めとして、いくつかのプラントで上蓋取替が行われている。2004年の大飯3号機上蓋からの漏えいの対策として、690系合金による環境遮断溶接補修を行っている。2003年敦賀2号機の加圧器逃がし弁用管台部で発見されたPWSCCの対策として、管台溶接部(690合金へ)及びセーフエンドの取替を行っている。

BWR、PWRともに、機械的手段による予防保全としては、ショットピーニング、ウォータージェットピーニング、レーザピーニングといったピーニング技術や高周波誘導加熱(IHSI)等による応力改善技術が挙げられる。

高経年化に伴うSCCの発生・進展を予想した対策として、ピーニング等の予防保全に加え、SCCが顕在化する可能性が高い部位から優先的に耐SCC性の高い材料(例えばPWRでの690合金)への取替を行ってきている。しかし、SCC感受性の比較的高い材料(例えばPWRでの600合金)も使用されているので、着実かつ計画的な対応が望まれる。

高経年化対応研究方針

現有技術の改良や、新たな予防保全、補修・取替技術の開発が必要である。また、予防保全、補修・取替を実施した後の検査性の実証は早期に取り組むべき課題であると考えられる。中期的には、そうした対策後の長期にわたる信頼性を実証することが重要な課題である。さらに長期的には、より耐SCC性に優れた材料の適用や、炉内の高照射領域での補修等に適用するための材料・補修技術の開発が必要である



産官学の役割分担

①産業界の役割

—安全性、信頼性、経済性の確保向上を目的とした開発研究および基盤整備

- ・SCC保全技術(予防保全、補修・取替等を含む)の高度化、新技術開発
- ・予防保全、補修後の長期健全性評価

②国・官界の役割

—安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
—必要な基盤(知識、人材、施設、制度)の整備
—産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

- ・データや保全技術等の検証、規制基準の整備
学協会規格のエンドース、健全性評価ガイド策定
- ・照射研究(材料、水等)を実施するための施設基盤整備(共同研究の主体者)

③学術界の役割

—知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
—研究を支える人材の育成

- ・SCC研究に対応できる人材育成(共同研究の主体者)
- ・規格基準の精緻化支援

④学協会の役割

—規格基準化とその高度化に貢献

- ・規格基準の精緻化

産官学の連携

産官学による協調・共同研究が必要な研究課題

・照射研究(材料、水等)を実施するための施設基盤整備

炉内構造物の研究には照射(中性子、ガンマ線)を伴う研究が必要ことから、JMTR等の照射施設基盤整備を産官で協力して推進する。

・SCC研究に対応できる人材育成

産官学の人的交流を図り、SCC研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

SCC 保全技術(予防保全、補修・取替等)に係る技術マップ

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---------------------------------|-------------------------|--|-----------------|
| SCC 保全技術(予防保全、補修・取替等)の高度化、新技術開発 | 炉内 SCC 腐食環境評価手法の高度化・標準化 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内腐食環境の部位ごと評価手法の標準化、高度化 規格基準の整備 | 産／産 |
| | SCC 環境緩和技術の開発、高度化 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内腐食環境緩和技術の改良、開発 (貴金属注入、ヒドラジン注入等) | 産、学／産 |
| | 現有技術の改良、新技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 封止溶接(環境遮断) オーバーレイ溶接等の高度化、適用範囲拡大 表面残留応力改善技術等の高度化、適用範囲拡大 補修技術の高度化実証 | 産／産 |
| | 低 SCC 感受性材料の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 高照射場での耐 IASCC 材料等低 SCC 材料の開発 | 産、学／産 |
| | 高照射場での補修等技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 技術開発 | 産、学／産 |
| 予防保全、補修後の長期健全性評価 | 予防保全、補修後の長期健全性の評価 | <ul style="list-style-type: none"> 補修等による応力、材料評価技術 長期信頼性評価・モニタリング技術 維持規格等への反映 | 産／産 |
| データや保全技術等の検証、規制基準の整備 | 照射材補修溶接部の健全性評価手法検証 | <ul style="list-style-type: none"> 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース。 | 官／官 |
| | 予防保全、補修後の長期健全性検証 | <ul style="list-style-type: none"> 学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース。 | 官／官 |
| | 照射等の施設基盤整備 | <ul style="list-style-type: none"> 中性子照射、ガンマ線照射等の施設基盤整備 | 官／官 |
| SCC 研究に対応できる人材育成 | SCC 研究に対応できる人材育成 | <ul style="list-style-type: none"> 人材育成 | 学／学 |

SCC 保全技術(予防保全、補修・取替等)に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) |
|--------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|---|-------------------|------|------|------|------|-----------|---------------|
| 年 度 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| SCC 保全技術(予防保全、補修取替等)の高度化、新技術開発 | 炉内 SCC 腐食環境評価手法の高度化・標準化 | | | | | SCC 環境緩和技術の開発・高度化 | | | | | | 低 SCC 感受性材料開発 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | 現有技術の改良、新技術開発(封止溶接、表面残留応力改善技術等の高度化) | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 予防保全、補修後の長期健全性評価 | | | | | 長期信頼性実証(補修等による応力、材料評価技術、長期信頼性モニタリング技術等) | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| データや保全技術等の検証、規制基準の整備 | 照射材補修溶接部の健全性評価手法検証 | | | | | 予防保全、補修後の長期健全性検証 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | 照射等施設基盤整備 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 規格基準、規制基準への反映 | SCC 健全性評価ガイド | | | | | 維持規格への反映(長期健全性評価) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | 維持規格へ反映 | | | | | SCC 長期健全性評価ガイド | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

疲労割れに係る導入シナリオ

疲労割れとは

- ・疲労割れは、繰返し加わる力により金属材料が損傷する現象のことをいう。環境効果(温度、水質等)で劣化が促進されることがわかっている。
- ・疲労は、発生応力と応力変動の繰返しで劣化損傷が累積されるため、供用期間が長期化するほど劣化が進む。

現状分析

疲労劣化に対しては、設計規格に基づく疲労設計、維持規格等に基づく供用期間中検査と検出されたき裂の評価・補修を行って、健全性を確保する体系が整備されている。長期供用時にもこの方法が適用される。また、高経年化技術評価(PLM評価)には、通産省資源エネルギー庁通達「環境中疲れ寿命評価指針」が適用されている。

大気中の疲労強度については、60年供用を想定した低サイクル疲労設計の高経年化技術評価の結果、過渡の実績頻度に基づく過渡回数は設計過渡回数を超えていない。高サイクル疲労については、主要耐圧部材料では経年的な損傷事例の増加は認められていないが、 10^6 サイクルを超える高サイクル領域については、定量的な疲労試験データは無い。

環境中の疲労強度は、機械学会で規格化され、規格が高経年化技術評価に適用されようとしている。環境疲労については、疲労とSCCの重畳、クラッド施工部の評価などの課題が残されており、今後、検討する必要がある。

高経年化対応研究方針

現在までに発生はしていないものの、今後、顕在化する可能性を念頭において環境疲労評価の高度化等を進める必要がある。

データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備

規格基準の整備

モニタリング技術の高度化、疲労設計手法の高度化、環境疲労評価技術の高度化

疲労評価技術研究に対応できる人材の育成

産官学の役割分担

① 産業界の役割

— 安全性・信頼性・経済性の確保・向上を目的とした開発研究及び基盤整備

② 国・官界の役割

— 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
— 必要な基盤(知識・人材・施設・制度)の整備
— 産業界・学术界の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

③ 学术界の役割

— 知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
— 研究を支える人材の育成

④ 学協会の役割

— 規格基準化とその高度化に貢献

- ・モニタリング技術の高度化
- ・疲労設計手法の高度化
- ・環境疲労評価技術の高度化

・データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備

・疲労評価技術研究に対応できる人材の育成
(・規格基準の精緻化支援)

・規格基準の整備

産学官の連携

産学官による協調・連携が必要な課題

・疲労評価技術に対応できる人材の育成

産学官の人的交流を図り、疲労評価技術に対応できる幅広い能力を有する人材を育成する。

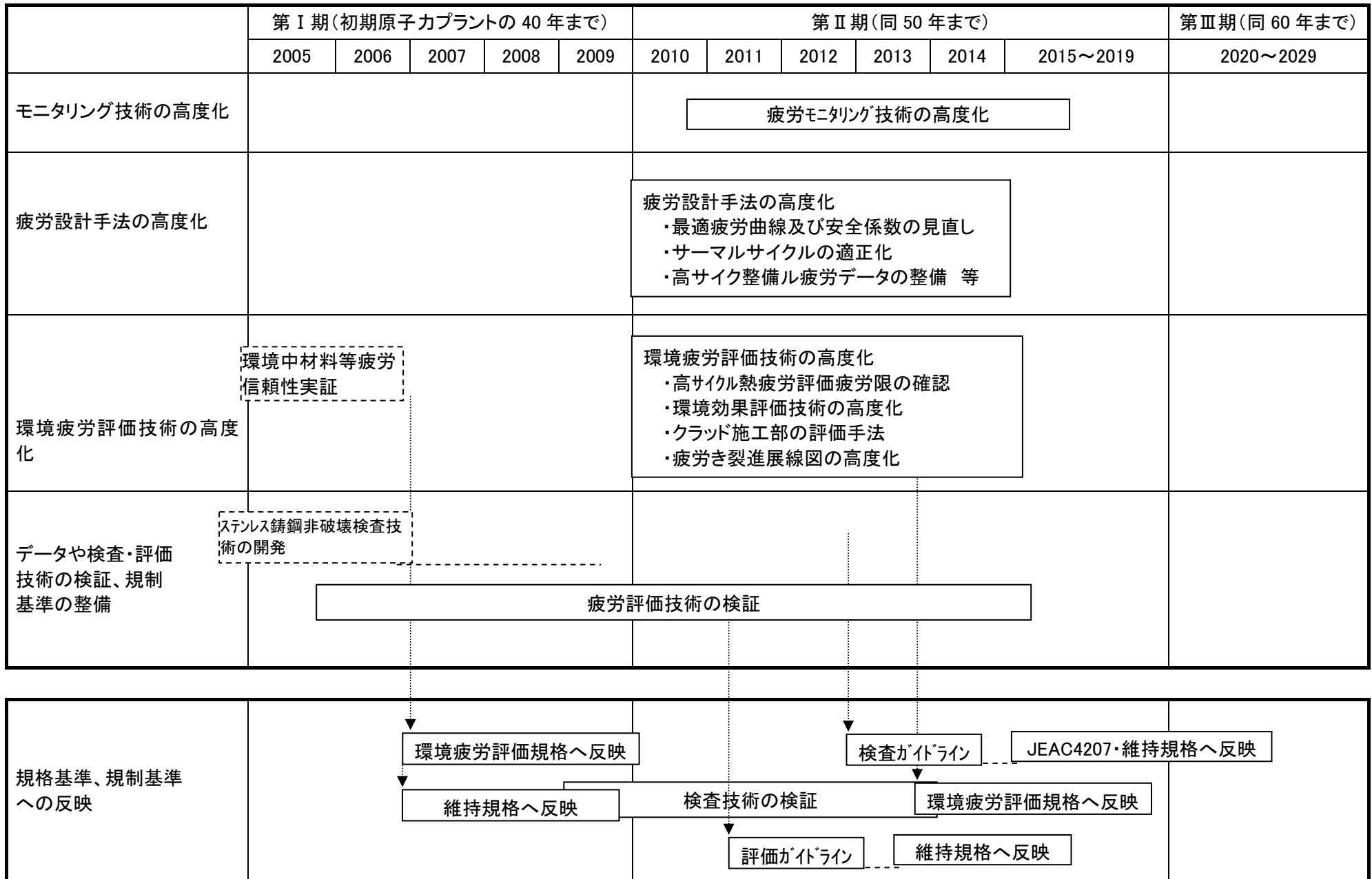
疲労割れに係る技術マップ（1/2）

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施／資金) |
|--------------|---------------------|---|-----------------|
| モニタリング技術の高度化 | 疲労モニタリング技術の高度化 | 実機に適用されている疲労モニタの運用実績を踏まえ、累積疲労損傷をより広範囲かつ高精度でモニタできる高度化システムを開発する。 | 産／産 |
| 疲労設計手法の高度化 | 最適曲線および安全係数の見直し | 大気中の最適曲線を、JNES の研究成果を基に見直す。安全係数の見直しについても同様。 | 産／産 |
| | サーマルサイクルの適正化 | 運転実績を踏まえ、過渡の内容、回数を見直しを行い、設計に適用しているサーマルサイクルの適正化を検討する。 | |
| | 高サイクル疲労データの整備 | 10 ⁶ サイクルを超える高サイクル疲労データを取得し、大気中設計疲労曲線への反映を検討する。 | |
| | Master カーブ法の検討 | ASME Sec VIII Rewrite で提案されている Master カーブ法の設計疲労曲線への反映について検討する。 | |
| 環境疲労評価技術の高度化 | 高サイクル熱疲労評価に係る疲労限の確認 | 各鋼種（炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼、Ni 基合金）について、疲労限（ひずみ振幅の疲労発生下限値）を設定する。 | 産／産 |
| | 環境効果評価技術の高度化 | 試験片サイズ、ひずみ保持、疲労と SCC の重畳、き裂発生メカニズム等について、環境疲労評価への影響を検討し、評価技術の高度化を図る。 | |
| | クラッド施工部の評価手法 | 原子炉圧力容器等のクラッド施工部は、強度部材でないことから疲労評価の対象となっていないが、環境疲労評価上、重要な部位であり、評価手法を確立する必要がある。 | |
| | 疲労き裂進展線図の高度化 | 環境中疲労き裂進展線図に関し、BWR 環境中の下限界応力拡大係数等、未整備データの拡充を図り、き裂進展線図の見直しを行う。 | |

疲労割れに係る技術マップ（2/2）

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施／資金) |
|---|-----------|--|-----------------|
| データや評価・ 検査技術の検 証、規制基準の 整備 | 検査技術の検証 | ステンレス鋳鋼に対して検出性、サイジング技術の向上を図った非破壊検査技術について、データや検査技術の検証、規制基準の整備を行う。 | 官／官 |
| | 疲労評価技術の検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・疲労設計手法の高度化、疲労発生に係る環境疲労評価技術、疲労き裂進展に係る環境疲労高度化技術を検証し、規制基準の整備を行う。 ・照射材補修溶接後の健全性評価においては、補修後の疲労強度に及ぼす内在欠陥の影響を評価検証し、規制基準の整備を行う。 | |
| (注) ステンレス鋳鋼以外の検査は、SCC欠陥検査のロードマップに準じる。 <small>ハタチヨク</small> | | | 学／学 |

疲労割れロードマップ



絶縁劣化の健全性評価に係る導入シナリオ

絶縁劣化とは

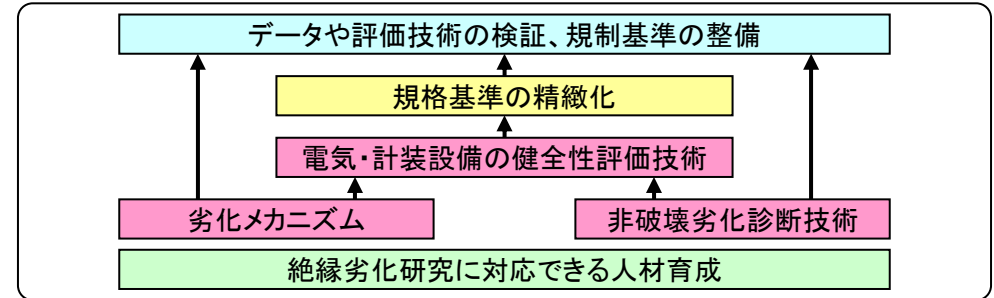
電気・計装設備においては、その通電部位と大地間、あるいは通電部位と他の通電部位との電氣的独立性(絶縁性)を確保するため、電気抵抗の大きい材料(絶縁物)を介在させているが、その材料が環境的(熱・放射線等)、電氣的及び機械的な要因で劣化し、電気抵抗が低下することにより電氣的独立性(絶縁性)を確保できなくなる場合がある。このような現象を絶縁低下と称し、この現象は時間の経過とともに進展する事象である。

現状分析

- ・現在のケーブル健全性評価手法は、産業界等の研究成果及び米国の IEEE 規格に基づき昭和 57 年に取りまとめられたが、近年の知見によると供用期間中の劣化を模擬するための加速劣化手法等にいくつかの課題があり、このため、ケーブルを対象として実機条件に即した経年変化評価手法を検証することを目的に、平成 14 年度から国プロとして「原子力発電所のケーブル経年変化評価技術調査研究」が実施され、平成 18 年 12 月に中間報告書が発行された。この評価によると、最も厳しいと想定される使用環境(原子炉格納容器内: 温度 66℃、線量率 0.5Gy/h)で供用後の設計想定事故を考慮した場合、一部のケーブルについては供用期間を短く制限する必要があるとされている。この評価結果を踏まえ、産業界ではケーブル使用環境調査、実機ケーブルを用いた試験を計画している。
- ・ケーブル絶縁劣化に対する検査・モニタリング技術については、通常運転時の劣化に対応した絶縁抵抗測定等の電氣的手法による劣化診断技術はあるものの、供用後の設計想定事故を考慮した劣化診断技術は確立されておらず、非破壊劣化診断技術の高度化が必要である。
- ・ケーブル評価技術及び検査・モニタリング技術のベースとなる絶縁体の劣化メカニズムについては、過去に産業界等で種々な研究がなされているものの、メカニズムには諸説があり、評価技術が科学的に裏付けられてはいない。
- ・設計想定事故環境で機能要求がある電動弁及び原子炉格納容器電線貫通部等の電気・計装設備の絶縁劣化に対する評価は、現在、米国の IEEE 規格等に準拠して実施されているが、我が国として規格化された評価手法は定められておらず、現在、国からの要請により電気協会において既存の知見等に基づき規格化が検討されている。
- ・電気・計装設備の補修・取替及び絶縁劣化に関する緩和措置(環境緩和)に関しては、必要に応じて対処されており、現時点で大きな課題はない。

高経年化対応研究方針

電気・計装設備の使用環境を把握し、設計想定事故環境で機能要求があるケーブル、電動弁及び原子炉格納容器電線貫通部等の電気・計装設備の絶縁劣化に対する実機条件に即した評価手法を確立するとともに、非破壊劣化診断技術の高度化及び劣化メカニズムの検証を行い、規格基準に反映するとともに規制に活用して電気・計装設備の長期に亘る信頼性を向上させる。



産官学の役割分担

- ① 産業界の役割
 - 一 安全性・信頼性・経済性の確保・向上を目的とした開発研究および基盤整備
 - ・電気・計装設備の健全性評価技術
 - ・劣化メカニズム(共同研究の主体者)
 - ・非破壊劣化診断技術(共同研究の主体者)
- ② 国・官界の役割
 - 一 安全規制における適切な行政判断に必要な安全研究
 - 一 必要な基盤(知識・人材・施設・制度)整備
 - 一 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援
 - ・データや評価技術の検証、規制基準の整備
- ③ 学術界の役割
 - 一 知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
 - 一 研究を支える人材の育成
 - ・絶縁劣化研究に対応できる人材育成(規格基準の精緻化支援)
- ④ 学協会の役割
 - 一 規格基準化とその高度化に貢献
 - ・規格基準の精緻化

産官学の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・劣化メカニズム
- ・非破壊劣化診断技術

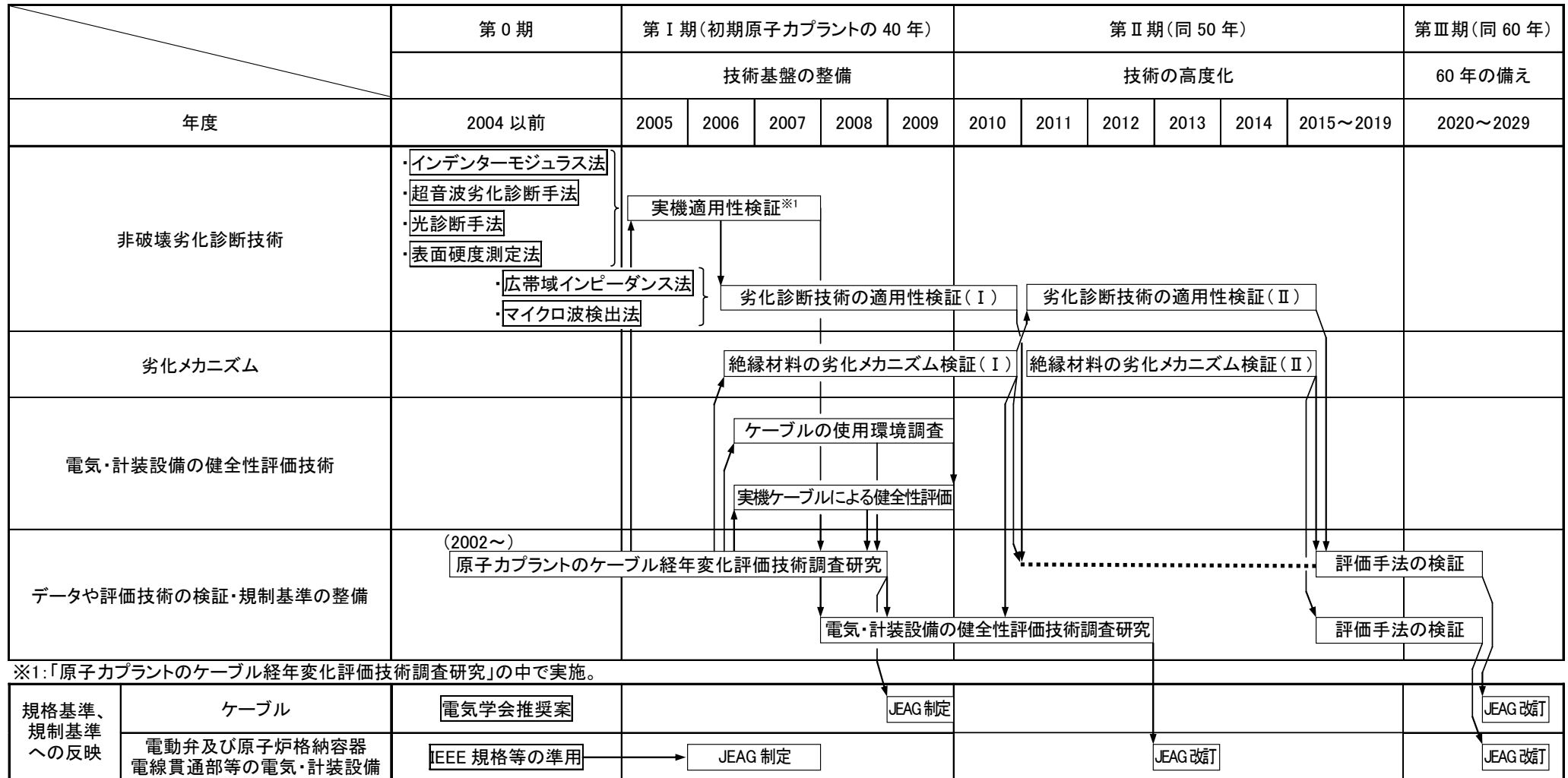
これらは産官ともに必要で、学の研究ポテンシャルを踏まえて産学官で協調して効率化する。

- ・絶縁劣化研究に対応できる人材育成
- 産官学の人的交流を図り、絶縁劣化研究に対応できる幅広い能力を備えた人材を育成する。

絶縁劣化の健全性評価に係わる技術マップ

| 項 目 | 技術課題 | 概 要 | 役割分担 (実施／資金) |
|---------------------|-----------------------------|--|-----------------|
| 非破壊劣化診断技術 | ケーブル非破壊劣化診断技術の適用性 | 現在開発されているケーブル劣化診断技術の実機適用性検証 | 官／官 |
| | | 広範囲に亘ってケーブルの劣化診断が可能な要素技術を含む非破壊劣化診断要素技術の適用性検証 | 学官／官 |
| 劣化メカニズム | 劣化メカニズム | 絶縁材料の実機環境における劣化メカニズムの検証 | 学官／官 |
| 電気・計装設備の健全性評価技術 | 電気・計装設備の実機条件に即した健全性評価手法の見直し | ケーブルの使用環境調査 | 産／産 |
| | | 実機ケーブルによる健全性評価 | 産／産 |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | 電気・計装設備の実機条件に即した健全性評価手法の検証 | 実機条件に即したケーブル健全性評価手法の検証 | 官／官 |
| | | 実機条件に即したケーブル健全性評価の知見に基づく、設計想定事故環境で機能要求がある電動弁及び原子炉格納容器電線貫通部等の電気・計装設備の健全性評価手法の検証 | 官／官 |
| 絶縁劣化研究に対応できる人材育成 | 絶縁劣化研究に対応できる人材育成 | 絶縁劣化研究に対応できる人材育成 | 学／学 |

絶縁劣化の健全性評価に係わるロードマップ



配管減肉に係る導入シナリオ

配管減肉とは

- ・管内流体の流れに起因して、肉厚が経年的に減少する現象。
- ・腐食(コローション)による化学的作用が流れの作用により助長されるものと配管内に飛散する液滴やキャビテーション等の流体の力(エロージョン)による機械的作用によるものがある。

現状分析

配管減肉については、原子力・安全保安院指示文書「原子力発電所の配管肉厚管理に対する要求事項について(平成17年2月18日)」において、日本機械学会に技術規格策定の要請が出され、日本機械学会で「配管減肉管理に関する技術規格 2006 年版(2006 年 11 月)」が整備された。本規格では、配管減肉事象の要因を腐食(コローション)による化学的作用が流れの作用により助長されるものと配管内に飛散する液滴やキャビテーション等の流体の力(エロージョン)による機械的作用によるものとで分析整理し、減肉管理の対象とすべき事象として、流れ加速腐食、液滴エロージョン及びフラッシングエロージョンを選定している。

上記のとおり、原子力プラントにおける配管減肉管理の基本方針は規格として整備されている。高経年化プラントにおける配管減肉は、比較的緩やかに進行すると評価されている配管系統・範囲の減肉が顕著になり、量的・面的に拡大していくところに特徴づけられると予想されている。このため、①長期運転状況における減肉発生状況の正確な把握、②長期運転における減肉点検、取替・補修計画の確立、③減肉メカニズムの解明に貢献する研究を実施していくことが必要である。上記機械学会の減肉管理規格は、①、②については、よりどころを与えるものである。③については、産学官において知見の収集整備が進められている。

高経年化対応研究方針

今後は、配管減肉管理の信頼性向上のため、評価手法の妥当性確認並びに精緻化のための各種データ・知見の収集等を行っていくものとする。

データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備

規格基準の整備

検査技術の高度化

配管減肉評価技術研究に対応できる人材の育成

産官学の役割分担

① 産業界の役割

— 安全性・信頼性・経済性の確保・向上を目的とした開発研究及び基盤整備

・検査技術の高度化

② 国・官界の役割

— 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
— 必要な基盤(知識・人材・施設・制度)の整備
— 産業界・学术界の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

・データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備

③ 学术界の役割

— 知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
— 研究を支える人材の育成

・配管減肉評価技術研究に対応できる人材の育成
(・規格基準の精緻化支援)

④ 学協会の役割

— 規格基準化とその高度化に貢献

・規格基準の整備

産学官の連携

産学官による協調・連携が必要な課題

・配管減肉評価技術研究に対応できる人材の育成
産学官の人的交流を図り、疲労評価技術に対応できる幅広い能力を有する人材を育成する。

配管減肉に係る技術マップ

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施／資金) |
|------------------------|-------------|--|-----------------|
| 検査技術の高度化 | 板補強部の検査技術開発 | 板補強を施した部位の減肉測定技術を開発する。 | 産／産 |
| データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備 | 配管減肉評価技術の検証 | 配管減肉管理技術(予測、評価、検査等)の妥当性を検証するための各種データ・知見の収集を行う。 | 官／官 |
| 人材育成 | | 配管減肉評価技術研究に対応できる人材の育成 | 学／学 |

配管減肉に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの 40 年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同 50 年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同 60 年まで) |
|------------------------|------------------------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|-----------|---------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| 検査技術の高度化 | | | | | | 板補強部の検査技術開発 | | | | | | |
| データや評価・検査技術の検証、規制基準の整備 | | | | | | 配管減肉評価技術の検証 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 規格基準、規制基準への反映 | △PWR 配管減肉管理規格 2006 年版(JSME S NG1) △BWR 配管減肉管理規格 2006 年版(JSME S NH1) <div>技術評価</div> <div>→ 改訂 技術評価</div> | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

コンクリートの強度低下の健全性評価に係る導入シナリオ

コンクリートの強度低下とは

- ・中性化、塩分浸透、アルカリ骨材反応、化学的侵食、凍結融解等の劣化要因によりコンクリートにひび割れが進展し、鉄筋が腐食することで、コンクリート構造としての強度、耐力を低下させる。
- ・主な劣化要因は、コンクリート構造物の外面から作用するものが多いが、海砂利用による塩化物イオンやアルカリ骨材反応のように材料に起因するものもある。
- ・沿海地域での飛沫塩や、寒冷地での凍結融解のように立地環境で劣化要因・進展速度が異なる。

現状分析

- ・コンクリート構造物は適切に施工、保全すれば、100年程度の耐久性があるとされている。
- ・現在13プラントの高経年化技術評価が実施されたが、コンクリート劣化が大きな問題になったのはアルカリ骨材反応の発生が見られた1プラントのみである。しかしながらコンクリートの経年劣化状況を的確に傾向監視している事業者はまだ少なく、経年劣化検査・評価・保全の各分野で高度化が必要である。
- ・原子力発電所施設のコンクリートの健全性評価には、一般建物や土木構造物の健全性評価手法を参考とするが、原子力施設特有の条件を踏まえた安全研究は必ずしも十分であるとは言えない。
- ・原子力発電所特有の経年劣化事象には、熱と放射線照射による強度低下があるが、放射線照射による強度低下については、評価値の妥当性が検証されていない状態である。また、伊方1号機の審査では、始めて健全性評価で二次評価が実施されたが、劣化状況の耐力評価法や判断基準である要求機能の内容を標準化する必要がある。
- ・一方、学協会の動向として、現在、日本建築学会では、「原子力施設における建築物の維持管理指針(案)」の策定作業を実施している。平成19年度末には取りまとめられる予定であり、民間で始めて原子力施設の維持管理に対する基本的考え方がまとめられる予定である。また、コンクリート構造物としては、重要度が高いコンクリート製原子炉格納容器が第Ⅱ期(2017年)に30年目を迎える。これに備え、機械学会では平成19年度からCCV規格に維持管理編を追加する動きがあり、規制側も対応する必要がある。

高経年化対応研究方針

- ・国は高経年化技術評価に当たり、妥当性確認が十分でない評価値(放射線照射影響)や充実が必要と考えられる評価手法(健全性二次評価法)等について重点的に検証・整備する必要がある。
- ・一方、産業界では、自らのプラントの維持管理の高度化に関連する研究や民間規格策定の為の研究、これまでの高経年化技術評価で課題になった項目の研究を実施する必要がある。
- ・学術界では産官が研究を進めるに当たり、例えば中性化とひび割れの関係を整理し中性化評価の高度化を図るような、基礎的知見を高度化する研究を実施することが期待されており、また、大きな役割としてコンクリート材料分野での人材を育成することが望まれる。
- ・学協会では、産学官の研究等で実施された知見を総合し、必要な時期に新たな民間規格を策定していくことが期待される。

データや評価技術の検証、規制基準の整備

規格基準の精緻化

検査・モニタリング技術の高度化

経年劣化評価技術の精緻化

予防保全・補修取換技術の高度化

コンクリート材料の耐久性研究に係わる人材育成

産学官の役割分担案

①産業界の役割

—安全性・信頼性・経済性の確保・向上を目的とした開発研究および基盤整備

- ・検査・モニタリング技術の高度化
- ・経年劣化評価技術の精緻化
- ・予防保全・補修取換技術の高度化

②国・官界の役割

—安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
—必要な基盤(知識、人材、施設、制度)の整備
—産業界・学術界の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

- ・データや評価技術の検証、

③学術界の役割

—知の蓄積と展開(安全基盤研究の検証)
—研究を支える人材の育成

- ・コンクリート材料の耐久性研究に係わる人材の育成

④学協会の役割

—規格基準化とその高度化に貢献

- ・規格基準の精緻化

産学官の連携

- ・規格基準の精緻化
(建築学会原子力建築小委員会での「原子力施設における建築物の維持管理指針(案)」等の検討)

コンクリートの強度低下の健全性評価に係る技術マップ

| 項 目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施/資金) |
|----------------------------|-------------------------|--|-----------------|
| データや評価技術の検証、 規制基準の整備 | 検査・モニタリング手法の 検証 | 一般構造物用に開発された非破壊検査手法について、大断面、高密度配筋、熱及び放射線影響を有する原子力発電所施設への適用時有効性を検証する。 | 官 / 官 |
| | 健全性に関する評価技術 の検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れが生じた場合の中性化と鉄筋腐食の評価手法を検討する。 ・放射線(中性子線・ガンマ線)影響の評価値を検証する。 ・健全性二次評価手法に関する基準案を整備するための基礎データを取得する。 ・コンクリート製原子炉格納容器の高経年化技術評価手法を検討する。 | 官 / 官 |
| 検査・モニタリング技術の 高度化 | 劣化モニタリングの高度 化検討 | 現在開発中の先進技術を駆使したコンクリート構造のモニタリング技術等の適用性を検討する。 | 産 / 産 |
| 経年劣化評価技術の精緻 化 | 複合劣化に関する評価法 の検討 | 現在、高経年化技術評価では単一劣化要因毎に技術評価しているが、現在、学会で検討中の複合劣化の評価法を、原子力発電所施設の健全性評価に反映させる。 | 産 / 産 |
| | 確率的手法を用いた高経 年化評価法の検討 | コンクリート構造物の経年劣化を確率的に評価し、健全性評価手法を整備する。 | 産 / 産 |
| | 機器とのインターフェース 部の健全性評価 | コンクリートの経年劣化が各種機器の各種の支持形態にどのような影響を及ぼすかを把握する。 | 産 / 産 |
| 予防保全・補修取換技術 の高度化 | 補修方法の標準化・高度 化 | 一般構造物における各種補修方法の、原子力発電所施設への適用性を調査し、原子力発電所施設の補修に係わる標準を整備し、保全手法の高度化を図る。 | 産 / 産 |
| コンクリート材料の耐久性 研究に係わる人材育成 | 耐震安全性評価研究に 対応できる人材育成 | コンクリート材料の耐久性に係わる研究を実施できる研究者・技術者を育成する。 | 学 / 学 |

コンクリートの強度低下の健全性評価に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子カプラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) | |
|------------------------|----------------------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|----------------------|-------------|--|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 | |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | 検査・モニタリング手法の検証 | | | | | | | | | | | | |
| | | 健全性に関する評価技術の検証 | | | | | | | | | | | |
| 検査・モニタリング技術の高度化 | | | | | | | | | | | 劣化モニタリングの高度化検討 | | |
| 経年劣化評価技術の精緻化 | | | | | | 複合劣化に関する評価法の検討 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 確率的手法を用いた高経年化評価手法の検討 | | |
| | | | | | | | | | | | 機器とのインターフェース部の健全性評価 | | |
| 予防保全・補修取換技術の高度化 | | | | | | 補修方法の標準化・高度化 | | | | | | | |
| コンクリート材料の耐久性研究に係わる人材育成 | 耐震安全性評価研究に対応できる人材育成 | | | | | | | | | | | | |

その他（ステンレス鋳鋼の熱時効）に係る導入シナリオ

ステンレス鋳鋼の熱脆化とは

- ・ステンレス鋳鋼（二相ステンレス鋼）は、軽水炉の運転温度で熱時効し脆化する。
- ・熱時効でフェライト相が脆化するので、フェライト量が多い材料ほど脆化する。時効温度が高いほど、時効時間が長いほど脆化する。
- ・ステンレス鋳鋼は、原子炉冷却材圧力バウンダリーの大型ポンプ、配管、弁などに使用されている。

現状分析

検査、監視

- ・実機の欠陥検査は、供用期間中検査としてUT等が行われている。熱脆化の監視は行われていない。
- ・ステンレス鋳鋼に適用しているUTによる欠陥検出性は確認されている。欠陥のサイジング性は確認できていない。

健全性の評価

- ・フェライト量、時効温度、時効時間により脆化予測する式が開発されている。予測式は加速熱時効試験により得られたデータに基づいている。実機の熱時効条件による予測式の検証は行われていない。
- ・有意な欠陥指示のないステンレス鋳鋼の健全性は、欠陥検出性と脆化予測式を用いて評価することができる。有意な欠陥指示がある場合には、欠陥サイジング性が未確認のため、健全性評価はできない。

補修

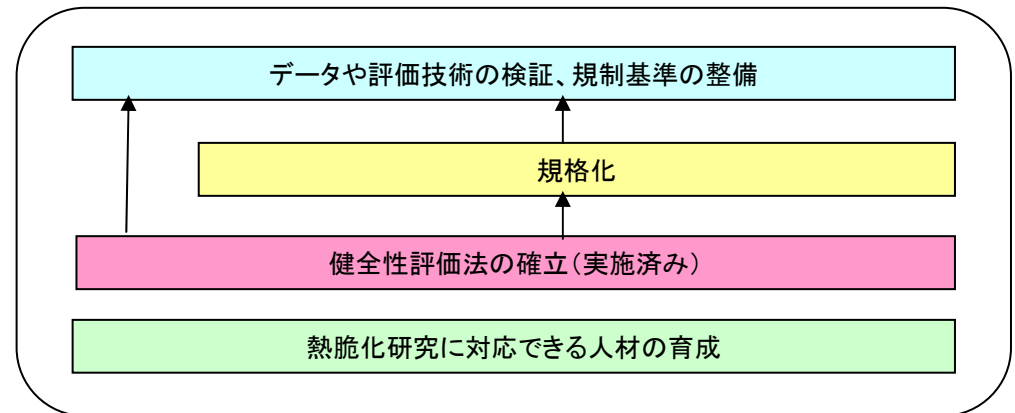
- ・現時点で補修に関する研究ニーズは抽出されていない。

規格、基準

- ・熱脆化予測式は規格化されていない。
熱脆化を考慮した健全性評価法は一般的な破壊力学的な評価が適用できる。

高経年化対応研究方針

脆化予測式の実機時効材による検証をおこなう。その結果により必要に応じて脆化監視について検討する。検査性の改善が必要で、特にサイジング性の良いUT法を開発する必要がある。（検査は疲労のロードマップで対応）



産官学の役割分担

①産業界の役割

－安全性・信頼性・経済性の確保向上を目的とした開発研究及び基盤整備

健全性評価法の確立（済み）

②国・官界の役割

－安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
－必要な基盤（知識・人材・施設・制度）の整備
－産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

・データや評価技術の検証、規制基準の整備

③学術界の役割

－知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
－研究を支える人材の育成

・熱脆化研究に対応出来る人材の育成

④学協会の役割

－規格基準化とその高度化に貢献

・規格化

ステンレス鋳鋼の熱時効に係る技術マップ

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概要 | 役割分担 (実施/資金) |
|---------------------|------------------|--|-----------------|
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | 実機データによる脆化予測式の検証 | 加速熱時効された材料のデータに基づく脆化予測式の、実機時効条件の材料データによる検証 | 官/官 |
| 人材育成 | 熱脆化研究に対応できる人材の育成 | 人材育成 | 学/学 |

ステンレス鋳鋼の熱脆化に係るロードマップ

| | 第Ⅰ期(初期原子力プラントの40年まで) | | | | | 第Ⅱ期(同50年まで) | | | | | | 第Ⅲ期(同60年まで) |
|---------------------|--|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|-----------|-------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 |
| データや評価技術の検証、規制基準の整備 | <div>民間研究等</div> <div>実機データによる脆化予測式の検証</div> | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|--|--|--|--|----------------|--|--|--|--|--|--|
| 規格基準、規制基準の整備 | △技術審査マニュアルの制定 | | | | | △技術審査マニュアルの見直し | | | | | | |
|--------------|---------------|--|--|--|--|----------------|--|--|--|--|--|--|

耐震安全性評価に係る導入シナリオ

耐震安全性評価とは

- 対象とする機器の耐震クラスに応じて、機器に作用する地震力を設定する。
- 耐震安全性評価上着目すべき経年劣化事象を選定し、モデル化する（図1に示す配管の減肉に対する評価例では、モデル化を2段階で行っている）。
- 経年劣化事象の振動特性に対する影響を加味して、機器に作用する荷重等を算定する。
- 経年劣化事象の強度特性に対する影響を加味して、許容限界を設定する。
- 地震荷重と内圧等他の荷重を組合せた上で、許容限界以下となるか評価する。

第1段階評価（必要最小肉厚による評価）

エルボ部、レデューサ部、オリフィス等の偏流部及び下流2D（オリフィスは3D）に、周方向、軸方向一様の必要最小肉厚を想定（左下図の太線部）

等価剛性を有する3次元はりモデル作成

耐震クラスに応じた解析で荷重／モーメントを算出

ライン中の最大発生応力／許容応力の比を算出

許容値：1 以内か

Yes

耐震性確保

第2段階評価（実測データによる評価）

図1 炭素鋼配管の減肉に対する評価例

【配管モデルイメージ（減肉部：太線）】

現状分析

設計及び建設時の原子力設備の耐震設計に係る基本的考え方は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（原子力安全委員会 昭和56年、以下、「指針」という）に定められており、本指針に適合するように制定された「原子力発電所耐震設計技術指針」（日本電気協会 JEAG4601、以下「JEAG」という）に基づいて耐震性に関する詳細設計が行われてきている。他方、近年、炉内構造物や再循環系配管等で経年劣化事象（応力腐食割れ等）が多数報告されたことから、「発電用原子力設備規格 維持規格」（日本機械学会 2004年改訂版、以下、「維持規格」という）が発行され、シュラウドおよびシュラウドサポートの健全性評価規格等が策定された。これらの健全性評価では、地震力も考慮されている。また、平成16年（2004年）に美浜3号機で減肉した配管からの蒸気噴出事故が発生したことも契機となり、「発電用原子力設備規格 加圧水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格（日本機械学会 2006年、以下、「減肉管理規格」という。）」と沸騰水型原子力発電所の減肉管理規格が発行されたが、耐震安全性を含めた健全性評価の規格制定には至っていない。さらに、原子力発電所の高経年化対策の実施方法を規定した「原子力発電所の高経年化対策実施基準（日本原子力学会）」が制定手続きの段階にあり、ここでは、PWRプラントでの機器やコンクリート構造物等の既往評価を例に耐震安全性の評価に言及している。

このような状況にあって、平成18年（2006年）に、地震学及び地震工学に関する新たな知見の蓄積並びに原子炉施設の耐震設計技術の改良及び進歩を受けて、指針が改定（以下、「新指針」という）されたことから、新設プラントだけでなく、既設プラントについても耐震重要度の高い設備の耐震安全性評価（以下、「バックチェック」という）が進行中である。高経年化技術評価でも、バックチェックの結果を踏まえて耐震安全性の再評価を行うことになっている。新指針の特徴としては、i）基準地震動の見直し、ii）耐震重要度分類の統合、iii）従来の水平方向に加えて鉛直方向の基準地震動を策定、等が挙げられる。このため、JEAGも対応する項目についての改訂作業を進めている。経年劣化事象の影響を加味した耐震安全性評価においても、既往の評価技術の見直しが必要になる。なお、新指針では、安全審査とは別に、「残余のリスク」として設計地震動を上回る地震動の影響についての定量的評価が要望されている。今後は、経年劣化事象の確率論的な評価を含めた耐震安全性の評価も必要になる。

高経年化対応研究方針

高経年化に伴う経年劣化事象の振動特性や強度特性に対する影響を適切に加味した耐震安全性評価技術の整備を進める。それらの成果を反映して、規格基準の精緻化、また、科学的合理性をもった規制基準の整備等につなげる。そのために必要な耐震安全性評価研究に対応できる人材育成も行う。

データや評価技術の検証、規制基準の整備

規格基準の精緻化

耐震安全性評価技術の整備

耐震安全性評価研究に対応できる人材育成

産官学の役割分担

①産業界の役割

— 安全性・信頼性・経済性の確保・向上を目的とした開発研究及び基盤整備

・耐震安全性評価技術

②国・官界の役割

— 安全規制における適正な行政判断に必要な安全研究
— 必要な基盤（知識、人材、制度）の整備
— 産学の安全に関わる研究と基盤整備に対する支援

・データや評価技術の検証
・規制基準の整備

③学術界の役割

— 知の蓄積と展開（安全基盤研究の検証）
— 研究を支える人材の育成

・耐震安全性評価研究に 対応できる人材育成
・規格基準の精緻化支援

④学協会の役割

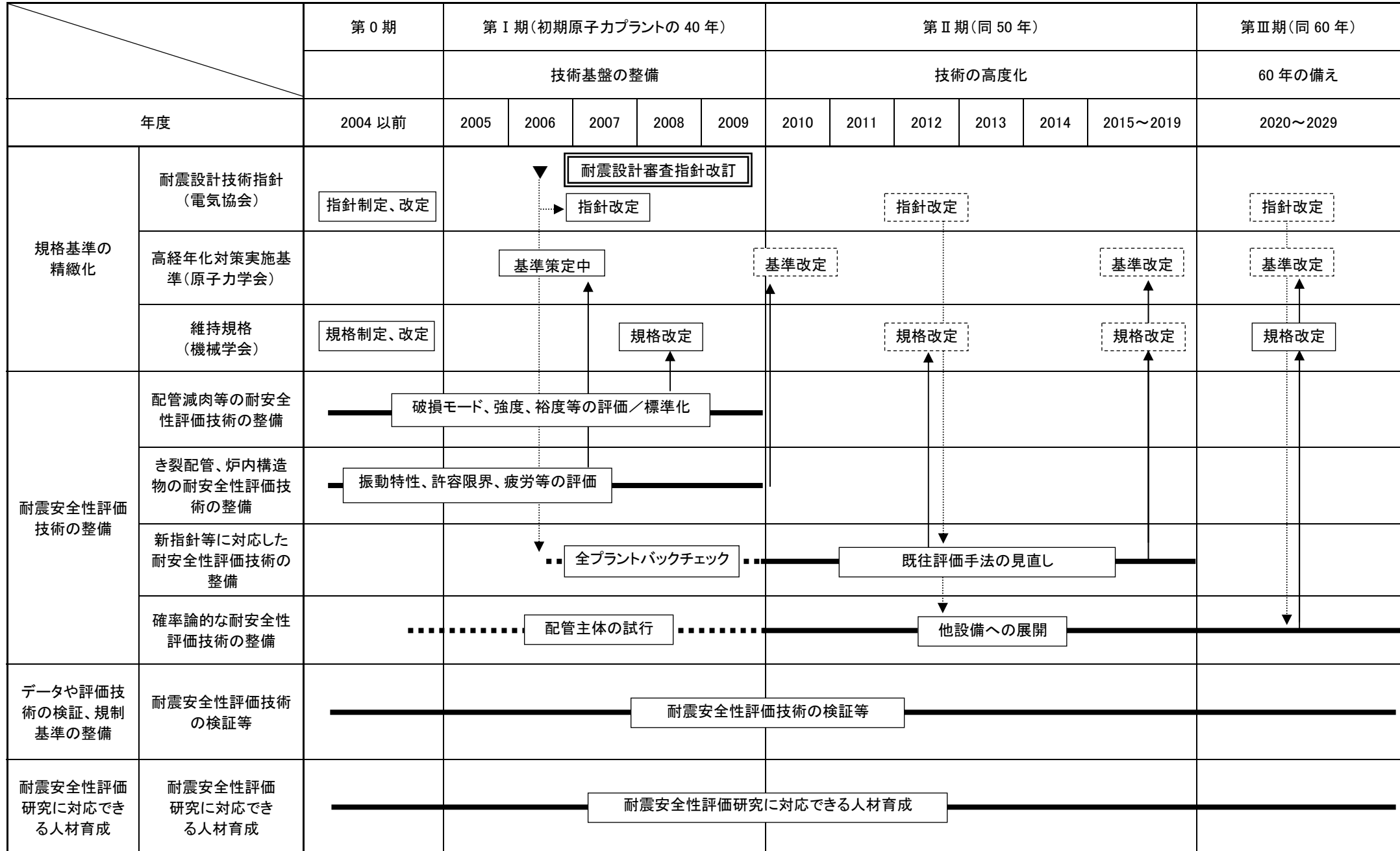
— 規格基準化とその高度化に貢献

・規格基準の精緻化

耐震安全性評価に係る技術マップ

| 項 目 | 技 術 課 題 | 概 要 | 役割分担 (実施/資金) |
|------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| 耐震安全性評価 技術の整備 | 配管減肉等の耐震安全性評価技術の整備 | 耐震安全性を含めた健全性評価技術の標準化等の観点から、プラント運転開始後の減肉管理設計評価基準等に関する耐震安全性評価技術の整備を行う。 | 産 / 産 |
| | き裂配管、炉内構造物の耐震安全性評価技術の整備 | 国内でのき裂を有する炉内構造物、配管の既往研究は破損モード、終局強度に関する研究にほぼ限定されるので、維持規格の補強等の観点から、振動特性、許容限界、疲労の取扱いに関する耐震安全性評価技術の整備を行う。 | 産 / 産 |
| | 新指針等に対応した耐震安全性評価技術の整備 | 経年劣化事象の扱いにおいてより合理的なモデル化等が重要になるので、バックチェック実績や経年劣化事象等について今後得られる新知見に対応した耐震安全性評価技術の見直し、整備を行う。 | 産 / 産 |
| | 確率論的な耐震安全性評価技術の整備 | き裂や減肉といった経年劣化事象や地震動の確率論的取扱いに必要となるデータは十分とはいえず、現時点では試行段階にあるので、関連データの蓄積を図るとともに、配管以外への展開も見据えて、確率論的な耐震安全性評価技術の整備を行う。 | 産 / 産 |
| データや評価技術 の検証、規制基準 の整備 | 耐震安全性評価技術の検証等 | 配管減肉やコンクリート構造物等の耐震安全性に係る学協会規格のデータや評価技術を検証し、規制基準としてエンドース、規制の高度化を行う。 | 官 / 官 |
| 規格基準の精緻化 | 耐震安全性評価技術に係る規格基準の精緻化 | 耐震安全性評価技術の整備結果の標準化を進め、規格基準の精緻化を行う。 | 学協会 / 学協会 |
| 耐震安全性評価 研究に対応できる 人材の育成 | 耐震安全性評価研究に対応できる 人材育成 | 耐震安全性評価技術の整備、検証等に資するため、耐震安全性評価研究に対応できる人材を育成する。 | 学 / 学 |

耐震安全性評価に係るロードマップ



6. 規格基準類の整備に係る導入シナリオ

「規格基準類の整備計画」の必要性

平成 18 年度より国による「高経年化対策基盤強化整備事業」が開始され
以下の4つの基盤整備が必要

- ① 情報基盤整備
- ② 安全基盤研究の実施、
- ③ 保全高度化の実施運用
- ④ 規格・基準基盤の整備

情報基盤の構築、高経年化対応安全基盤研究の実施とともに規格・基準
の体系的整備を行い安全規制とシームレスに連携した規格体系を構築し
将来の保全プログラムへ反映することが必要

現状分析

- ・ 日本原子力学会、日本機械学会、日本電気協会の三学協会の策定した規格・基準類は 107 件。
- ・ 高経年化及び保守管理に関する規格・基準の体系的整備計画が高経年化対策検討委員会で保全のあり方が検討されている。
- ・ 日本原子力学会、日本電気協会及び日本機械学会は、規制から学協会規格・民間規格までのシームレスな規制・規格体系の開発整備するため、「原子力発電所の高経年化対策実施基準」、「原子力発電所の保守管理規程」、「維持規格」、及び「原子力発電所の定期安全レビュー実施基準」を整備・改訂作業を実施している。

戦略的シナリオ

- ・ 国民への説明性の向上
「公正」「公平」「公開」による透明性の確保
- ・ 資源の有効利用
ロードマップの活用による安全研究の効率的実施
- ・ 開発と規制の共通認識の確立・効率的運用
産官学が中立的な学会で場で開発と規制の共通認識による効率的運用を図る。

規格基準など標準類の体系的開発と運用

安全規制に係わる規制基準、規格体系に基づく学協会規格のエンドース

産官学の各ステークホルダーが参画した審議による規格基準類の策定

人材育成・保全最適化・情報基盤整

PLM 規格基準化の推進

規格の技術的基盤への「知」の貢献

コードエンジニアの育成

産官学の役割分

① 産業界の役割

－安全性・信頼性・経済性の確保向上を目的とした開発研究及び基盤整備

・ PLM 規格基準化の推進
・ 人材育成・保全最適化・情報基盤整備

② 国・官界の役割

－安全規制行政判断に必要な研究実施
－知識・人材・施設・制度の基盤整備
－産学の安全に関わる研究と基盤整備の支援

・ 安全規制に係わる規制基準、規格体系に基づく学協会規格のエンドース(主体者)

③ 学術界の役割

－安全基盤研究の検証、人材の育成

・ 規格の技術的基盤への「知」の貢献

④ 学協会の役割

－規格基準化とその高度化

・ 産官学の各ステークホルダーが参画した審議による規格基準類の策定
安全規制/規格体系の高度化
・ コードエンジニアの育成

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・ 安全規制に係わる規制規格体系に基づく民間規格のエンドース
- ・ 各国の安全規制と民間規格の体系化調査
- ・ 各国の民間規格の調査
- ・ 国際標準(ISO)/IAEA 基準等の調査

規格基準類の整備に係る技術マップ（1/2）

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 実施/資金 |
|------------|----------------------------|--|--------|
| 基本方針の充実 | 安全規制/規格体系の高度化 | 安全設計思想から保全管理まで矛盾のない統一性のとれた規体系及び民間規格体系の整備 | 学協会/産官 |
| | 高経年化対策に関する規格・基準の全体体系 | 各学協会で策定される規格と規制の関係および各規格間の関連の明確化 | 学協会/産官 |
| 制度(仕組み)の整備 | 規格・基準化整備体制の整備 | 産学官の研究成果を規格化し、これを国がエンドースするための推進体制整備 | 官/官 |
| | 技術開発成果の活用の仕組み作り | 高経年化技術評価、保守管理等への迅速な試験研究成果反映の体系化、確性試験等成果の迅速な活用への枠組み構築 | 官/官 |
| | 学協会規格策定への支援の仕組み作り | 学協会の規格策定事業への支援の仕組みを明確にし、成果の反映の仕組みとの連携を図る | 学協会/産官 |
| | リスクベース規制度構築 | リスク重要度を加味した保守管理の重要度策定を行うべく「安全機能の重要度分類」と「リスク重要度による機器の分類」の関係から保守管理の重要度を決定する考え方の導入を検討 | 官/官 |
| | 高経年化プラントへ新技術適用のためのスキーム構築 | 新技術適用は、(G)確性試験、国の技術的妥当性審査等が重複した確認を行っているため、適用化のための新たなスキーム構築を狙いとする | 官/官 |
| 規格基準化の推進 | 原子力発電所の高経緯年化対策(PLM)実施基準の改訂 | 日本原子力学会が策定した原子力発電所の高経年化対策技術評価実施基準の改訂 | 学協会/産 |
| | PLM 実施基準の高度化 | R&D 成果を反映しての見直しと新技術・情報を反映しての高度化 | 学協会/産 |

規格基準類の整備に係る技術マップ（2/2）

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 実施/資金 |
|------------|------------------------------|---|--------|
| 規格基準化の推進 | PLM 技術評価基準の策定 | 事業者が実施した高経年化対策技術評価等報告書の審査ガイドライン、標準審査要領等の制定 | 官/官 |
| | 維持基準の高度化 | 民間研究・安全研究の結果を反映して高経年化各事象の維持基準を策定 | 学協会/産官 |
| | 原子力発電所の定期安全レビュー実施手順(PSR) | PLM 実施基準および維持規格を適合した運用が為されているかの確認を行う項目・手順の規格化(定期安全レビュー標準の改訂) | 学協会/産 |
| | 経年事象以外の事象での損傷検出のための監視基準 | 経年事象として対象として事象以外の事象を想定し、設備の重要度との関連で監視する基準を策定する | 学協会/産 |
| 人材の確保・育成 | 高経年化対応教育・再教育プログラムの構築 | 原子力の安全・保全に関与する人材の確保・育成を積極的に進め、知識・技術力・判断能力等の維持・向上を推進する。 | 産/産 |
| | 規格・基準などコードエンジニアの育成 | 規格・基準全体をマネージメントする技術者育成プログラムを検討し、仕組みを提案する。 | 学協会/産官 |
| | 規格・基準体系をマネージメントする技術者・組織の育成 | 産官で統合した組織の構築と人材の育成 | 学協会/産官 |
| 保全最適化・情報基盤 | リスクベース保全手法の確立 | リスクを考慮し数量化した性能要求標準の整備 | 学協会/産官 |
| | 規格技術的背景・根拠のデータベースの整備 | 規格制定時にその根拠となった技術的思想・背景及び根拠を整備する。 | 産官/産官 |
| | 規格規制のプロセス管理データベースの整備 | デュープロセスによる規格策定を示すファクト型のデータベースの構築 | 官/官 |
| | 規格改定のための情報基盤整理(再利用可能な形態への整備) | 安全研究及び民間研究の研究成果を規格改正時に再利用可能な形態として整備する。(たとえば、き裂進展速度ではなく試験のデジタルデータを保管する。) | 産官/産官 |
| | 国際標準との整合化 | WTO/TBT 協定締結より国内で制定する規格・基準は原則として国際標準との整合化が要求されるため、規格策定時に調査を行う。 | 産官/産官 |

規格基準類の整備に係るロードマップ

| 時間軸 | 第I期 | | | | | 第II期 | | | | | | | | | | 第III期 | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|------|---|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 初期のプラントが40年を超えるまでの時期 | | | | | 40年を超えて50年を迎えるまでの時期 | | | | | | | | | | 50年を超えて60年を迎えるまでの時期 | | | | | | | | | |
| | 技術基盤の整備 | | | | | 技術の高度化 | | | | | | | | | | 次世代原子力発電所の開発・建設 | | | | | | | | | |
| 年度 | (制度面及び技術面の整備) | | | | | (運転実績、実機材サンプリングによる最新知見の整備) | | | | | | | | | | (大型炉設計、原子炉容器取替、最新廃炉技術の開発実証) | | | | | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
| | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 | H23 | H24 | H25 | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 | H31 | H32 | H33 | H34 | H35 | H36 | H37 | H38 | H39 | H40 | H41 |
| マイルストーン | ↑ 国による高経年化対策ガイドラインなどの公表 | | | | | ↑ 運転開始後40年を迎える時期 | | | | | | | | | | ↑ 運転開始後50年目を迎える時期 ↑ 運転開始後60年目を迎える時期 2030年以降原子力発電所の大規模な代替建設需要増大 | | | | | | | | | |
| 課題 | 平成17年8月に国が発表した技術基準の整備 | | | | | 1. 実機損傷予測を可能とする評価手法の開発 2. 実機損傷と試験結果の比較評価手法の開発 3. 損傷機構に基づく高信頼性試験によるデータ整備 | | | | | | | | | | 1. 次世代中大型原子力発電プラントの設計及び機器開発 2. 原子炉容器取替技術等の開発、実証試験 3. 新たな原子力政策に必要な技術情報の整備 | | | | | | | | | |
| 経年化対応技術開発及び予測しない事象への対応技術開発 | 基盤の整備 | | | | | 運用による高度化 | | | | | | | | | | 将来展望 | | | | | | | | | |
| | ・制度面の整備 ・技術面の整備 | | | | | ・知見の反映 ・適用による検証 | | | | | | | | | | ・物理的寿命 ・経済的寿命 ・エネルギー戦略 | | | | | | | | | |
| 規格・標準の開発整備 | 規制から民間規格までシームレスな規制・規格体系の開発整備 経年劣化対策技術評価審査ガイドライン・審査要領等の策定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・包括的経年化管理 ・ガイドラインの整備 (予期しない事象への対応ガイドラインを含む。) | | | | | 包括的経年化管理・監視ガイドラインの高度化 | | | | | | | | | | 国際標準の経年化管理・監視ガイドラインの策定及び履行 | | | | | | | | | |
| | PLM/PSR標準並びに維持規格等の発行 | | 安全規制と整合連携した規格基準体系への移行 | | | ・高度化された包括的PSR/PLM標準の開発 ・性能化された要求ベース標準＋代表的な仕様ベース標準 ・個別損傷モードに対応した規格の高度化 ・新たな知見の反映 ・予防、計測、監視、評価、補修など | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - | | 国・学協会で制定されたリスク関係規格・ガイドラインに基づきPSR・PLM標準等を改訂・策定 | | | ・リスクを考慮し数量化した性能要求標準の整備(リスクベース規制の導入) ・保全体系の整備(規格・基準・ガイドラインの整備) | | | | | | | | | | ・既設経年化プラントの特徴を踏まえた標準の知見の次世代原子力発電プラントの設計に反映するためのデータの整備と新たな設計規格基準の開発 | | | | | | | | | |
| | 計画・検査・評価・監視等の規格化 | | 劣化・損傷モードを想定した監視規格の整備 | | | 想定されていない劣化・損傷事象への対応としての監視基準 | | | | | | | | | | プラントを包括した総合的な監視基準の整備 | | | | | | | | | |
| | 安全規制/標準体系の高度化(安全設計思想から保全管理まで矛盾のない統一性のとれた規制体系及び民間規格体系の整備) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 情報基盤整備 | | | | | | ・規格・基準の裏付けと策定過程を管理する統合データベースの構築 ・国内官民協同データベース運用 ・国際的なデータベース構築への指向 ・国際標準との整合性 | | | | | | | | | | ・国際データベース構築と管理 ・開発と連携したデータベースの仕組みの構築 | | | | | | | | | |
| 人材の育成 | ・コードエンジニアの仕組み構築 ・規格基準策定の統一した体制の整備 | | | | | ・規格・基準全体をマネジメントする技術者の育成 | | | | | | | | | | ・規格・基準体系をマネジメントする技術者・組織の育成 ・産官で統合した組織の構築と人材の育成 | | | | | | | | | |

7. 保全高度化の推進に係る導入シナリオ

保全の高度化の必要性について

- ・運転開始後 30 年を越える高経年化プラントが増加している。
- ・保全の高度化に向けて、合理的な保全手法の導入に係る検討(保全最適化の推進)と、それを支える人材面からの対策(人材育成・確保)の両面が重要である。
- ・「保全プログラム」の導入計画や「原子力立国計画」の策定などの国による重要施策が進められており、趣旨に合致した産官学一体の対応が必要。

現状分析

保全最適化の推進

産業界によりトラブル情報(ニューシア)が公開されているが、保全や高経年化という観点で体系的に整理された内容とはなっていない。また、「保全プログラム」の導入が進められているが、リスク情報やオンライン監視の活用等の課題が残されている。さらには、諸外国の規制を日本に則した制度へ改善し導入するためのスキームの構築も不十分な状況にある。

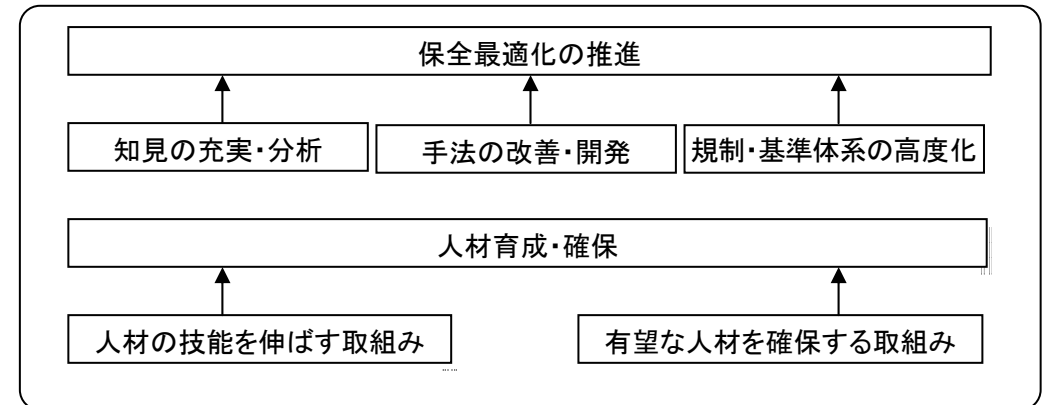
人材育成・確保

現場技能者の質的な維持・向上や技能の継承や、原子力専門教育・研究の希薄化といった育成上の課題、および就職を希望する学生の減少により原子力分野での人材確保に問題が生じること等が指摘されている。これに対して、経済産業省主導による「原子力立国計画」が進められている。

戦略的シナリオ

保全最適化の推進に関しては、知見、手法、規制の各々の面からの充実を図っていく。

人材育成・確保に関しては、人材の技能を維持・向上する観点と人材を確保していく観点の両面からの取組みを推進していく。



産官学の役割分

① 産業界の役割

－安全性・信頼性・経済性の確保向上を目的とした開発研究及び基盤整備

- ・保守管理データベースの充実
- ・リスク情報活用・検査技術高度化
- ・規制制度への現場ニーズ反映
- ・技能継承、技能者の育成
- ・原子力のPA、イメージ向上

② 国・官界の役割

－安全規制行政判断に必要な研究実施
 －知識・人材・施設・制度の基盤整備
 －産学の安全に関わる研究と基盤整備の支援

- ・国際的な情報網の整備
- ・安全に係る規格・規制の策定・エンドース
- ・安全規制の確立と整備
- ・人材の厚みの確保・発展

③ 学術界の役割

－安全基盤研究の検証、人材の育成

- ・学術的手法による保全最適化
- ・技術開発の助勢
- ・学生・研究者の育成

④ 学協会の役割

－規格基準化とその高度化

- ・規格基準の整備

産学官の連携

産学官による協調・共同研究が必要な研究課題

- ・安全性向上のための保全規制体系の構築
- ・産官学間の人材交流

保全高度化の推進に係る技術マップ

| 項目 | 技術課題 | 概要 | 役割分担 (実施/資金) |
|--------------|---------------|---|-----------------|
| 保全最適化 の推進 | 知見の充実・分析 | 規制関連情報、電力共通技術基盤、規格・指針策定過程を始めとする保全最適化に必要なデータベースに関し、その分析結果に基づいた反映計画の検討と実施を行っていく。 | 産官学/産官 |
| | 手法の改善・開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・保全学の構築と応用 ・リスク情報活用のための調査、手法開発、適用化研究、方策の決定 ・プラント安全性能指標の確立 ・発生確率や過去の点検実績に基づく保全の最適化 ・構造信頼性評価手法の確立（確率論的破壊力学解析手法の研究） ・I T技術等を応用したプラント監視技術（ヘルスマonitoring技術） ・線量低減工法の最適化 ・プロアクティブ経年劣化事象の評価 ・R Vの照射量低減対策 | 産学/産 |
| | 規制・基準体系の高度化 | <ul style="list-style-type: none"> ・新技術・規格適用のための国の関与体制の明確化（研究成果の規格化、確性試験、技術的妥当性審査等に係る国の関与・エンドースのための体制整備・明確化） ・機器重要度・リスク情報を考慮した保全規制・基準体系の構築 | 産官/産官 |
| 人材育成・確保 | 人材の技能を伸ばす取組み | <ul style="list-style-type: none"> ・現場技能者（点検・保守に従事）ネットワークの構築（情報共有の仕組みの構築） ・現場技能者の育成・技能伝承（資格や技量認定制度の充実、地域の取組みの支援、教育研究活動の支援） ・原子力技術者（開発・設計・製造・保全に従事）のマネジメント、エンジニアリング、設計力等の能力向上 ・大学における原子力教育の再構築 ・産官学の人事交流制度の構築 （原子力立国計画に関連する範囲については、官主導で実施していく） | 産官学／産官学 |
| | 有望な人材を確保する取組み | <ul style="list-style-type: none"> ・低年齢層からの原子力教育（エネルギー政策上の位置づけや放射線等の正確な知識の教育） ・原子力P A、原子力に対する職場イメージの向上、原子力に対する正確な理解の促進 | 学／官学 産/産 |
| | 原子力立国計画の推進 | 人材の厚みの確保・発展 原子力人材育成プログラム <ul style="list-style-type: none"> ・原子力教育支援プログラム ・原子力の基盤技術分野強化プログラム ・チャレンジ原子力体感プログラム ・原子力研究促進プログラム ・原子力研究基盤強化プログラム ・原子力教授人材充実プログラム | 官学/官 |

保全高度化の推進に係るロードマップ

| | | | 第Ⅰ期（初期原子力プラントの40年まで） | | | | | 第Ⅱ期（同50年まで） | | | | | 第Ⅲ期（同60年まで） | | |
|------------------------------|------------------|------------------------------|---|------|------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------|-----------|--|
| 年 度 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015～2019 | 2020～2029 | |
| 保全最適化の推進 | 知見の 充実・分析 | データベースの活用、現場への反映 | 規制関連情報の分析・反映計画の検討 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 電力共通技術基盤の分析・反映計画の検討 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 規格・指針策定過程のデータベース分析・反映計画の検討 | | | | | | | | | | | | |
| | 手法の改善・開発 | 学術的視点からの保全の最適化 | 保全学の構築と応用 | | | | | | | | | | | | |
| | | リスク情報活用方策の策定 | リスク情報活用のための調査、手法開発、適用化研究、方策の決定 | | | | | | | | | | | | |
| | | プラント安全性能指標の確立 | | | | → プラント安全性能指標(PCI) | | I T 技術を駆使したP I 遠隔監視・常時監視手法の検討 | | | | | | | |
| | | 新しい検査手法に関する技術開発・高度化 | | | | → | リスクベース保全手法の確立 | | | | | | | | |
| | | | | | | → | 発生確率や過去の実績に基づく保全の最適化 | | | | | | | | |
| | | | | | | | I T 技術等を応用したプラント監視技術（ヘルスマonitoring技術） | | | | | | | | |
| | | 検査手法・破壊力学の確立 | 構造信頼性評価手法の確立（高経年軽水炉機器） | | | | | | | | | | | | |
| | | 被曝量低減のための技術開発・実機適用に対する取り組み | 線量低減工法の最適化 | | | | | | | | | | | | |
| | 海外や他産業での手法との比較検討 | プロアクティブ経年劣化事象の評価 | | | | | | | | | | | | | |
| | | R V の照射量低減対策 | | | | | | | | | | | | | |
| | 規制・基準体系の 高度化 | 事業者が開発した技術を速やかに適用できるスキームの構築 | 新技術・規格適用のための国の関与体制の明確化 | | | | | | | | | | | | |
| 機器重要度・リスク情報を考慮した「保全プログラム」の導入 | | 機器重要度・リスク情報を活用した保全規制・基準体系の構築 | | | | | | | | | | | | | |
| 人材育成・確保 | 人材の技能を伸ばす取り組み | 現場技能者の育成 | 現場技術者ネットワークの構築 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 現場の技能者の育成・技能伝承（資格や技量認定制度の充実他） | | | | | | | | | | | | |
| | | 原子力技術者の育成 | 原子力技術者のマネジメント等の能力向上 | | | | | | | | | | | | |
| | | 学生の育成 | 大学における原子力教育の再構築 | | | | | | | | | | | | |
| | 人事交流 | 産学官の人事交流制度の構築 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 有望な人材を確保する取り組み | 原子力に対する正確な知識の付与 | 低年齢層からの原子力教育 | | | | | | | | | | | | |
| | | 原子力に対する職場イメージの向上 | 原子力P A、原子力に対する職場イメージの向上、原子力に対する正確な理解の促進 | | | | | | | | | | | | |
| | 原子力立国計画の推進 | | 人材の厚みの確保・発展、原子力人材育成プログラム | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

高経年化対応技術戦略マップ2007

8. まとめ

- 平成17年3月に取り纏められた原子力学会の第一次ロードマップを基本としたローリングを行い、「高経年化技術戦略マップ2007」を策定した。
- 高経年化対策技術戦略マップの対象は、運転年数が長期にわたるプラントの安全性を確保するために必要となる技術的基盤である。これは、プラントを長期間使用している実績が諸外国を含め多くない状況の中で、最新の技術的知見や運転経験などをもとにプラントの監視や予防保全などの対策を適切に講ずるため必要となる基盤である。
- 「保全プログラム」に基づく保安活動に対する新検査制度の導入、『原子力立国計画』に基づく次世代原子力発電所の建設などの原子力情勢の変化を捉えた長期的な“技術戦略マップ”として、「技術情報基盤の整備」「安全基盤研究の推進」「規格基準類の整備」及び「保全高度化の推進」の4大項目別に導入シナリオ、技術マップ及びロードマップを策定した。
- 導入シナリオに従い、技術マップ（技術的課題）別に産業界、学術界、学協会、及び官・官界の実施すべき役割分担（実施主体／資金出所）の明確化を図った。毎年ローリング（見直し）を実施する予定である。

高経年化対応技術戦略マップ2007

9. 提言

1. 今後は、ローリングの過程で具体的な役割を決め、導入シナリオに沿った高経年化対応技術戦略マップ2007の実現に向けた積極的かつ具体的な活動が望まれる。
2. 学協会規格を策定し、技術評価を受けるという一連のプロセスにおいて、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院をはじめとする産官学が、必要な課題を共通に認識し協力して解決していくことが重要である。
さらに、国は技術戦略マップ2007に応じ技術評価のための積極的な準備が望まれる。
3. これらの活動を円滑に推進していくためには、知識基盤・施設基盤の整備や人材の育成を産官学が協力して進めることが重要であり、国のより一層の関与が望まれる。
4. ここで報告された技術戦略マップは、産官学の専門家が検討しているものであり、専門家や国民の間で広く共有されるとともに、国がこれらを尊重することが望まれる。

高度燃料利用分野のロードマップ

(高燃焼度燃料(～70GWd/t)の規格基準の策定)

| | 現在 | ～2015年(H27)～ | | 2025年(H37)～ |
|---------------------------------------|--|---|---|-------------|
| 原子力発電についての基本的考え方 (原子力政策大綱等) | <div><div>エネルギー安定供給</div><div>地球温暖化対策への貢献</div><div>放射性廃棄物発生量の低減</div></div> <div>既存軽水炉の高度化及び次世代軽水炉の開発</div> | | | |
| 燃料の高度化 (燃料の高燃焼度化) | 現在の燃焼度上限値 ウラン燃料:55GWd/t *1 MOX燃料: 40,45GWd/t (各々BWR,PWR) | 燃料高度化:60～70GWd/tの高燃焼度化 ・長期サイクル運転 ・炉出力の向上 | 次世代炉燃料: 70GWd/t超を目標 ・大型軽水炉 ・大型燃料集合体 ・濃縮度増加 | |
| 主な技術的課題と対応 | — | 高燃焼度化に伴う中性子照射量増加による被覆管脆化や長期サイクル運転に伴う被覆管の腐食量増加等に対する被覆管の健全性の確保(材料、設計面での対応) | | |
| 規格基準 | 現行基準*2(指針及び部会報告書等) (一例として 被覆管塑性歪1%以下)*3 | 国が定める規制要求を担保する学協会規格の策定と国による技術評価 (「被覆管が破損しない」とする規制要求に対し、例えば、60～70GWd/tにおける被覆管破損限界以下である歪みを新たに学協会規格として設定) | 同左あるいは、更なる見直し | |
| 安全基盤研究と規格基準策定 (原子力学会においてロードマップを策定) | 研究開発(産業界) 学協会規格(日本原子力学会*4) 技術評価等(国) | <div><div>データ等知識ベース</div><div>安全研究(技術評価等に必要データの取得)</div><div>技術評価等</div></div> | | |
| 燃料についての安全審査*5 | <div><div>設置(変更)許可申請</div><div>安全審査</div></div> <div>判断基準として活用</div> <div>【検討課題】 安全審査における学協会規格の活用、産業界により整備されるトピカルレポート*6の活用</div> | | | |
| 上記を実施する政策的課題 | ○規格基準等整備に必要な安全基盤研究の推進 ○安全基盤研究の実施施設の整備 ○安全基盤研究による人材の育成確保 | | | |

*1:GWd/tは燃焼度を示すもので、どこまで燃焼が進行したかを表現。核燃料の量1トン当りに発生したエネルギーに運転日数をかけたもの。

*2:現行では安全審査における規制基準は原子力安全委員会の【指針】、【専門部会報告書、内規】に示されている。【指針例】:燃料被覆管は機械的に破損しないこと【専門部会報告書例】:指針を満足するための具体的基準(被覆管平均塑性歪が1%以下であること)等が示されている。

*3:この他にも燃料中心温度、燃料棒内圧等の規制基準を策定する必要がある。

*4:日本原子力学会に特別専門委員会を設置(主査は東京大学・関村教授)し「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」をH18年11月から検討開始。民間規格案の技術的な検討及び、燃料高度化ロードマップを策定中。電力、メーカー、燃料メーカー、大学、研究機関、保安院、原安委等が参加。

*5:安全審査においては当然のことながら、審査項目として燃料以外に炉心、施設やシステムの安全性についても確認を行う必要がある。

*6:トピカルレポートとはある特定の安全審査項目についてまとめた技術文書であり、安全審査においてこれを技術評価することにより同一トピックの繰返し審査を割愛できる制度。

原子力関係の学協会規格類の策定計画について

- 原子力関係学協会規格類協議会 -

1. 背景 - 規格基準などの標準の体系的整備の必要性 - 導入シナリオ -

わが国では 50 基を越す軽水型原子力発電所が運転されており、総発電量の約 1/3 を供給している。国際的には、原子力以外の発電方式では地球環境問題への効果的な対応が難しいとの認識から原子力発電に依存する傾向が強くなっており、米国やアジアでは新たな建設計画が進められている。一方、わが国では新規立地が容易でないことから、既に運転している原子力発電所（既設炉）の安全・安定運転への期待が依然として大きい。これらの既設炉についても、いずれリプレース（更新）の時期を迎えるが、そのためには炉の廃止措置に関する安全確保に加え、新たな炉の建設に向けた技術開発への対応を含め、規格基準などの標準の体系的な整備を進めなければならない。また、わが国では次世代の発電炉として高速増殖炉（以下「FBR」とする）の開発が加速されており、新たな軽水炉の開発と合わせて、これらの新技術の開発に対応した規格基準などの標準の整備も進めて行かなければならない。これらの開発ニーズを技術戦略マップおよびその中の具体的施策としてのロードマップの形で整理し、達成目標（ターゲット）および達成時期、実施の役割分担などを明確にして活動を進め、安全規制と開発を常に連携させながら、規格基準等の標準の開発に反映することが重要である。本資料においても、規格基準など標準策定における技術戦略マップの策定と位置付け、全体を構成している。

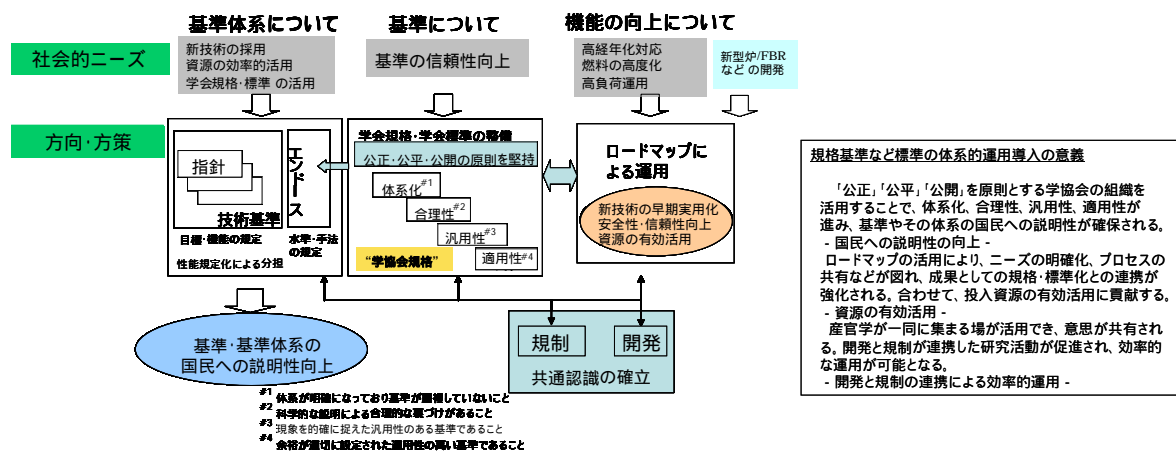
原子力の安全規制体系において国の規制基準の性能規定化（機能性化）が行われた。このことは、学協会の規格基準などの標準全体の体系を合理的に整理するよい機会であり、わが国全体の安全規制の基準体系との対応関係を含めて考えておかなければならない。

図 1. 1 は学協会の規格基準などの標準の活用について、協議会にての意見を集約し、ひとつの考え方としてまとめ示したものである。基準体系を整備するにあたっては新技術の迅速な採用、資源の有効活用等が求められる。その対応が性能規定化であり、国が、性能規定化された国の技術基準等を具体化するものとして学協会の規格基準等の標準をエンドース（技術評価を行い、実際の適用を容認すること）したうえで活用すれば、国民への説明性を向上させることもできる。その際、学協会の規格基準などの標準が信頼を得るためには、これらが「公正」、「公平」、「公開」を原則として策定されたものであることが重要である。

なお、学協会が発行する規格基準などの標準には、国民の安全と健康の保護という最も重要な役割に加えて、産業の振興と活性化・効率化、国際競争力の向上などの役割もある。原子力において学協会規格が国の規制に活用されるのは安全確保の側面が主体であり、本書ではここに焦点を当てて学協会規格の整備の在り方について論じている。

図 1 . 1 学協会の規格基準など標準活用の位置付け

(出典：本図は、第 2 回原子力安全基盤小委員会 日本原子力学会 標準委員会 の報告
「原子力学会の標準策定活動への提言」を基に協議会意見を反映し、修正した。)



2 . 規格基準などの標準策定組織の役割

国は、国の定める規制基準を性能規定化し、詳細仕様規定には民間の規格基準を活用する方針を示した。すなわち規制基準体系の機能性化である。民間の規格基準をエンドースする際の基本的な考え方のひとつとして、活用する規格基準が、「公正」「公平」「公開」の原則を明確に示した組織で策定されたものであることを求めている。この要求に適合した規格基準の策定団体・組織は、日本原子力学会（標準委員会）、日本機械学会（発電用設備規格委員会）、および日本電気協会（原子力規格委員会）の三学協会である。ここでは、この三学協会が策定された規格基準などの標準を“学協会規格”と呼ぶ。

日本原子力学会では、原子力利用の特徴的な領域である「原子力安全」を基本として、核物理に関連する事項や、炉心や燃料の安全、リスクに関する取り扱いなど、遵守すべき決まりを基準とし、その他ガイドラインや手順、考え方等を標準として制定している。

日本機械学会では、構造設計、材料、溶接技術等の機械工学分野の規格基準を主体に策定しており、特に注目を集めた機械設備の維持に関する規格についても運用開始後の構造健全性に関する規格として制定している。

日本電気協会では、早くから規格策定活動を始めてきた経緯もあり、広い範囲の規格を制定してきている。主要なものとしては、監視、試験、検査等の保全に関する領域と、管理、分類、品質管理、運転等の活動にかかわる領域、また火災、落雷、耐震等の専門的な領域の基準類が挙げられる。

その他、土木学会の原子力土木委員会や日本建築学会、日本溶接協会、火力・原子力発電技術協会等多くの学協会もそれぞれの分野で役割を分担し、規格基準などの標準原案の策定や一部の標準制定も行っている。

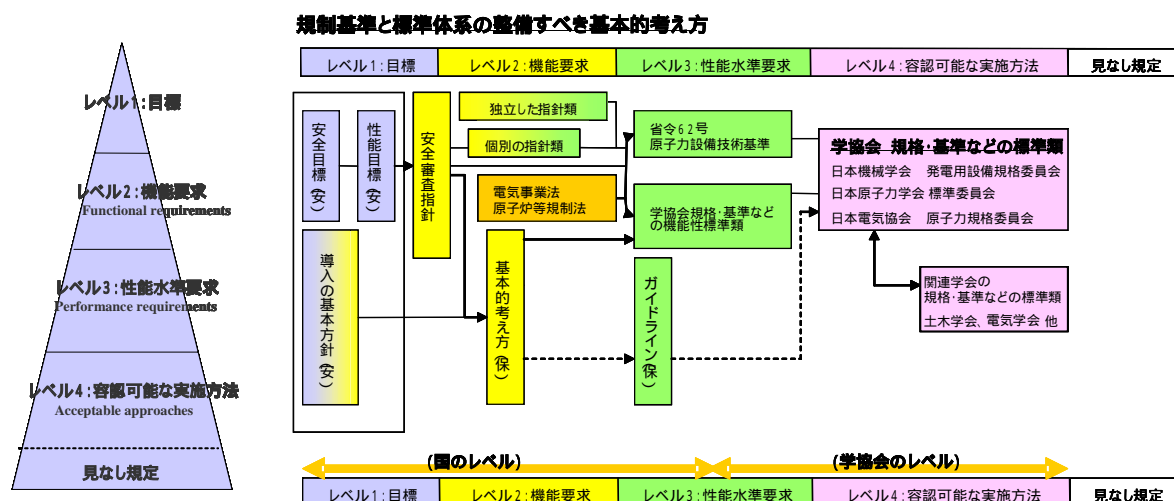
原子力関係の規格類を円滑に効率的に策定すべく、2003 年春に学協会規格を策定している三学協会を中心に「原子力関係学協会規格類協議会」が設置された。この協議会には関連する学協会および原子力安全・保安院、資源エネルギー庁、原子力安全基盤機構（JNES）、電気事業連合会、日本電機工業会等の関連組織も参加し、情報交換と規格基準などの標準の制定の調整、協議を公開で行っている。

3.1 原子力発電設備の規格基準などの標準の体系的整備とロードマップの共有

国の規制基準を性能規定化することで効率化が図れること、新技術の迅速な採用等のフレキシビリティの確保が図れる等の効果が期待される。しかし一方、性能規定化により安全確保の重要な一翼を学協会が担うこととなる。学協会規格の策定に必要な研究開発には、そのステークホルダーである産業界、政策官庁も含めた国、学会の支援が重要である。また、国は国民に対する安全確保の責任があることから、学協会規格の採用にあたり確証や検証を行わなければならない。学協会はこの連携の役割も担う。官民の規制基準、規格の体系を整理しておくことは、今後の学協会規格の効率的な整備と円滑な活用の一助となる。

現在、わが国における原子力発電に関する規格基準などの標準策定の現状として、主に三学協会で策定されている規格基準などの標準について、軽水型の原子力発電所の建設から運転、廃止措置までの流れの中での位置づけと廃棄物処分施設でのライフサイクルの観点から、具体的に規制基準との関係と合わせて、日本原子力学会標準委員会にてまとめたものを規格基準などの標準の体系として添付 1 に示した。これは、安全規制全体の観点から見た規格基準などの標準の位置づけを網羅的に示す技術マップの一例である。

(出典：本図は、第2回原子力安全基盤小委員会 日本原子力学会 標準委員会 の報告「原子力学会の標準策定活動への提言」を基に協議会意見を反映し、修正した。)



技術的な根拠を有する学協会の規格基準にとっては、安全性・信頼性確保のための研究開発が重要な位置付けを占めている。また、学協会の規格基準が規制基準の要求機能を十分に満足していることの確証・検証も必要となる。さらに、効率よく規格基準の体系化を進めるには、どの分野で、どのように連携し研究開発を進めるべきか、がポイントとなる。

規格基準などの標準策定においては、目標とする規格基準の策定に必要とされる検討課題、技術的根拠作りとしての安全基盤研究、その成果の反映としての規格基準の策定計画等を明確にしたロードマップを策定し、それを共有しそれに沿い策定を進めることは、資源の有効活用にもなり、目標を達成する効果的な手立てとなり得る。

また、FBR の開発においても同様に、技術戦略マップやロードマップを策定し、炉の開発と規格基準の開発を並行して進めていくことが望ましい。

学協会の規格基準などの標準策定の見地から、産官の役割分担についての見解を以下に示す。

産業界は、安全確保には一義的に責任を持つものであり、自主規制はもちろんのこと、学協会の規格基準を運用し、ピアレビューを中心とした自主管理の体制を持つことが重要である。しかし、安全上重要な範囲については、国と協調した活動が必要と考える。

一方、国の定めた性能要求に対して、学協会が定めた詳細な仕様規格としての規格基準などの標準の適合性については、それが安全確保に重大な影響を与えること、重大な判断が必要なことなどに関連しては、国民への説明責任の観点から、国が責任を持つべきと考える。従って、安全確保に関する研究のその成果としての規格基準などの標準策定は、国の支援の下、第三者機関である学協会を活用して進めるべきと考える。産官学の関係者は、技術戦略マップを整備し、お互いに活動の方向、手順などを共有し、策定されたロードマップに従い、確実に成果をあげるべく研究開発を進め、成果の反映として規格基準などの標準の策定を進めていかなければならない。

3.2 規格基準などの標準策定活動における課題

規格基準などの標準の体系的整備においては、いくつかの課題があり官民一体となり解決への取り組みが必要と考える。

(1) 三学協会の規格基準などの標準の体系的整備に直接係わる課題

1) 安全規制における基準体系の再整備（性能規定化の徹底）

安全確保は官民一体で進めなければならないことが基本である。安全審査にかかわる安全規制基準体系全体の整理と見直しを行い、国と学会、官、民の役割を明確にし、コンセンサスに基づき、合理的な新たな体系を構築しなければならない。

2) 規格基準などの標準策定に関する研究開発の企画・推進・評価への学協会の参画

標準化にかかわる研究開発の、企画からその推進、評価の全ての機能を見直して、学協会が一貫して主体的、主導的に取り組む合理的な体制で一貫して取り組めるようにすることが望ましい。

3) 研究開発成果を規格基準などの標準に反映する仕組みの構築

わが国全体としての資金、人材の資源の有効活用の観点から、原子力に関わる設備や技術またその安全に関する研究開発については、国、民間が共通の認識を持ち、一貫して取り組み、その成果を反映させる必要がある。

4) 規格基準などの標準の知識基盤（データベース基盤）の構築

原子力技術については、技術力の蓄積と維持が重要である。性能規定化に伴い、これらの規格基準などの標準が、各学協会ですべてに策定、維持されなければならない状況を考慮すると、判断論拠、策定過程の記録保存は勿論のこと、さらに詳細な根拠データを確実に蓄積し、利用可能な状態で保管しておかなければならない（データベース化）。このデータベースは国、学会、民間で協力して構築するものであり、その構築の仕組みを確立しなければならない。

(2) 制度や学協会の経営に関する課題

5) コードエンジニア等の資格認証制度の確立と検査・審査体系の見直し

技術基準の性能規定化とともに、詳細仕様は学協会が定める規格基準などの標準に委ねられることになった。従って、これらの学協会が定める規格基準などの標準への適合性確認は、国との連携により民間において認定認証する仕組みを構築しなければならない。これと合わせて、規格基準などの標準を策定、運用する技術者の確保と育成には、コードエンジニアとしての資格制度の確立も視野に入れた議論を進めていかなければならない。

6) 規格基準などの標準策定における海外との連携強化

原子力技術のエネルギーとしての平和利用のニーズはさらに強くなり、原子力技術は国際社会でますます広く活用されるものとなる。従って、今後の規格基準などの標準策定においては国際社会における位置付けを戦略的に考えていかなければならない。その意味で、ISO や ASME との連携はますます重要となる。構造強度関連及び関連する認証認定の分野での ASME の規格基準部門や ISO との連携を進め、標準の国際的な共通化に取り組まなければならない。

アジアにおける原子力の平和利用における安全確保は、わが国のみならずアジア全域、全世界に影響する課題である。

7) 規格基準などの標準策定組織の経営基盤の強化

原子力の安全規制体系は性能規定化され、学協会での規格基準などの標準策定の役割が大きくなった。学協会、特に日本原子力学会と日本機械学会では、規格基準などの標準策定活

動は個々に所属組織を持つ個人の自発的意思に支えられているため、その活動を活性化するためには学協会における規格策定活動に対する社会的認知を向上させなければならない。規格基準などの標準策定の活動を円滑に進めるためには、並行して、学協会の経営基盤強化が必要である。

4．規制の観点からの規格基準などの標準策定の計画 - “学協会規格”策定のロードマップ -

運転中の原子力発電所の高経年化，保全およびそれらを踏まえて，今後の新たな原子力発電所の建設までを視野に入れての規格基準などの標準の策定，また原子力発電に関連する燃料の再処理，廃棄物処理処分など関連施設に関する規格基準などの標準の策定を進めていかなければならない。規格基準などの標準を策定する各機関の役割，基本方針は同じではない。各組織は独立した機関であり，それぞれが独自にそれぞれの規格基準などの標準策定の計画を持たなければならない。今後，各機関にて策定している各分野の規格基準などの標準策定の計画を基に，産官学で共有する規格基準などの標準策定ロードマップを作成していくものである。

4．1 各機関の計画

以下に，各機関の規格基準などの標準策定の計画を示す。

(1) 日本原子力学会

日本原子力学会は，第2回の原子力安全基盤小委員会にて「原子力学会の標準策定活動への提言」を報告し，その中で現在までにまとめた標準策定計画を提示した。日本原子力学会の標準委員会の活動の基本方針は，- わが国として原子力関連の“原子力安全”を基点とする体系化された規格基準など標準の策定を推進し，国際標準に提案していく。その上で，標準の体系化に沿った標準開発のための原子力の安全に関する研究を推進する。また新規設備開発においても標準策定を念頭に置いた研究開発として，それを推進する。- とし，以下の3点に集約される。

1) 原子力発電の安全確保のための標準化

原子力安全に関する最適な標準体系の構築がまず必要である。これを念頭にコンセンサスを得た標準化ロードマップを策定し，産官学および学会の役割を明確にし，それに従い標準策定を進め，新たな体系を構築する。

2) 標準の基礎となる研究・開発の推進

標準化には，確固とした裏づけとなる，信頼できるデータベースが必要である。標準ニーズを反映したコンセンサスを得た研究開発ロードマップを策定し，標準化に必要なデータベースの構築のための研究開発を推進する。特に，新型炉やそれに適用する新型燃料，また保全の高度化および燃料サイクルや廃棄物処理処分などの新規の原子力設備の標準策定活動にも積極的に取り組む。

3) 標準策定活動の活性化

原子力安全を基点とする学会標準の体系化や標準策定活動，また ISO など国際標準への提案活動，など標準委員会には大きな期待がかけられている。学会員，ステークホルダーの積極的参加，人材育成などの仕組み作りを進め，標準化活動の更なる活性化を進める。

図4．1は，日本原子力学会 標準委員会における規格基準などの標準の策定のためのロードマップである。これを例示として規格基準などの標準策定の大枠のスケジュールと目標とするところを以下にまとめた。

1) 規格基準などの標準体系の整備

ステップ1：原子力発電所等の現状のライフサイクルに合わせて，規制基準と学協会規格の関係を整理し，不足部分を明確にする。

ステップ2：規制基準と学協会規格を体系のレベル別に分類し，階層化して規制基準と学協会規格との役割分担を明確にする。

2) 安全確保の観点からの規格基準などの標準策定ニーズの洗い出し

ステップ1：原子力発電所のライフサイクルにおける安全確保の観点から，規制，事業者，製造者の標準策定ニーズを洗い出し，これまでの許認可の実績や実務経験を参考に規格ニーズを検討して各技術分野における規格基準との関連を明確にする。

3) 研究開発ロードマップから抽出，必要となる規格基準などの標準の策定

ステップ1：各専門機関により技術戦略マップ，研究開発ロードマップの策定を行い，この研究開発のロードマップから抽出される成果と学協会規格への反映の関係を明確にする。

ステップ2：研究開発の成果を規格基準などの標準の策定に反映する。

ステップ3：新基準・規格体系における研究開発の反映を継続する。

4) 新しい安全規制体系の構築

ステップ1：安全規制体系全般の課題を抽出する。

ステップ2：抽出された安全規制の課題を整理し新しい規格基準など標準体系を検討する。

ステップ3：新しい規格基準など標準体系に必要な研究開発，および検証に取り組み，新たな安全規制体系を確立する。新しい体系の運用・適用の実績を積み確実にする。

5) 標準の国際化

ステップ2：原子力のJISの策定・見直し。ISO標準との整合およびASMEとの連携に取り組む。

ステップ3：アジア，世界に通用する標準の策定に取り組む。

6) マイルストーンの設定

ステップ1の段階：情報の集約整理，あるべき姿の提案

各界のニーズ，規格基準などの標準の策定の情報を統合し，過去の研究開発の成果の反映を明確にしてあるべき安全規制と基準・標準の体系案が提案されている状態である。

ステップ2の段階：研究成果の反映の仕組み，整合の取れた基準体系の完成

ステップ1の成果を基に，必要な研究開発が実施され，また安全規制の基準体系，学協会規格や標準の体系が検討・精査され，研究開発の成果もこれらの基準・規格・標準の策定に反映され，整合の取れた体系が完成する。

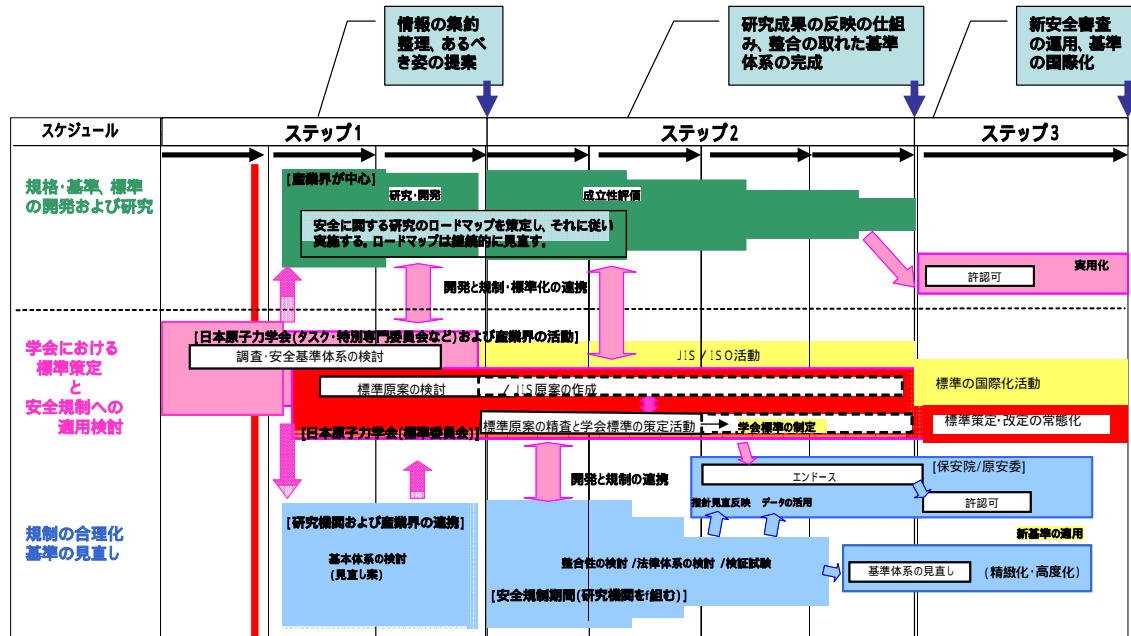
ステップ3の段階：新しい体系の安全審査の運用，基準の国際化

完成された新しい体系で，安全審査が実施され，この新しい仕組みが評価，認定されて，その後，継続的に必要な見直しを進める。また，構築した規格基準体系の国際化を推進する。

図4.1 新安全基準体系と日本原子力学会の標準開発・策定ロードマップ

(出典：本図は、第2回原子力安全基盤小委員会 日本原子力学会 標準委員会 の報告「原子力学会の標準策定活動への提言」より引用した。)

新安全基準体系・学会標準開発ロードマップ



(2) 日本機械学会

日本機械学会の規格策定に関するロードマップは現在作成中である。

(3) 日本電気協会

日本電気協会原子力規格委員会では、活動の基本方針を検討してきた。現状を以下にまとめる。

日本電気協会原子力規格委員会が制定する規格は、最新の知見を充分反映し、合理的な原子力施設の設計・建設・運転管理及び廃止を可能にする信頼性の高いもので、国内外の関係者に広く利用されることを目指している。また、高い技術を維持・向上することが原子力開発利用に係わる人・組織の向上意欲を高め、結果として原子力施設の安全管理に大きく貢献することから、新技術を含む産官学の研究開発の成果が迅速・的確に反映されるよう、定期的に規格を改定することとしている。

1) 重点的に整備する規格

委員会では、新たに発行する規格の必要性についての調査、分析を行い、要望の強い規格項目、必要性の高い規格項目から順次制定している。特に、安全設計、構造、原子燃料、品質保証、耐震設計、放射線管理、運転・保守の各分野において、次に示す内容の規格を重点的に整備している。

・設計及び運用管理に係わる実用的規格

設備の許認可に関連した詳細規定、要領、手引きや、設備の設計及び運用管理に関連した実用的な規定、手引き等、行政庁、電気事業者、製造業者等が要望する原子力施設の設計、

運用管理等に係わる実務に直結した規格

- ・複数の専門分野にまたがる規格
- 耐震設計など、複数の専門分野にまたがる規格

具体的活動の推進に当たっては、基本設計の理念、原子力安全の基本に係わる標準等の整備を担うとしている日本原子力学会や、構造及び材料の規格、機械設備の性能試験等の整備を担うとしている日本機械学会と協議し、活動に重複が生じないように適宜、適切に調整して、規格の整備を進めている。また、原子力事業の遂行に必要な学協会規格類の作成・維持・運用を、効率的且つ合理的に進める事を目的として原子力関連学協会規格類協議会に積極的に参加している。

2) 個々の分野に関連した規格の策定活動

・安全設計分野

軽水炉型原子力発電所の安全設計に関わる規格について、国の要求事項を踏まえ、また新型の原子力施設の開発動向を見据えつつ、規程・指針の策定を実施する。

・構造分野

軽水型原子力発電所の機器の構造及び機器を構成する材料に対する設計・試験の基本方針及び具体的手法について、規程・指針の策定を実施する。

・原子燃料分野

発電用原子燃料の製造及び発電所における使用等の分野における、原子燃料の検査・運用等に係る規格基準について策定を検討する。一方、原子燃料の設計、安全性に係る規格基準については、日本原子力学会の範疇とする。

・品質保証分野

軽水炉型原子力発電所の運転段階、他の品質保証に関わる規格について、国の要求事項を踏まえ、また I A E A 他国際的な品質保証基準との整合性を図りながら、規程・指針の策定を実施する。

・耐震設計分野

軽水炉型原子力発電所の耐震設計に関わる規格について、国の要求事項を踏まえ、また設計建設規格、維持規格など関連基準との整合性を図りながら、規程・指針の策定を実施する。

・放射線管理分野

原子力施設での放射線安全を確保するため、遮へい設計や放射線管理の運用に関する基本方針及び具体的手順等について、必要に応じて日本保健物理学会と連携し、規定・指針の策定を実施する。

・運転・保守分野

軽水型原子力発電所の設備の維持管理から運転員の資格認定に至る多岐にわたる規格について、国の要求事項を踏まえ、また他分野の規格との整合性を図りながら、規程・指針の策定を実施する。

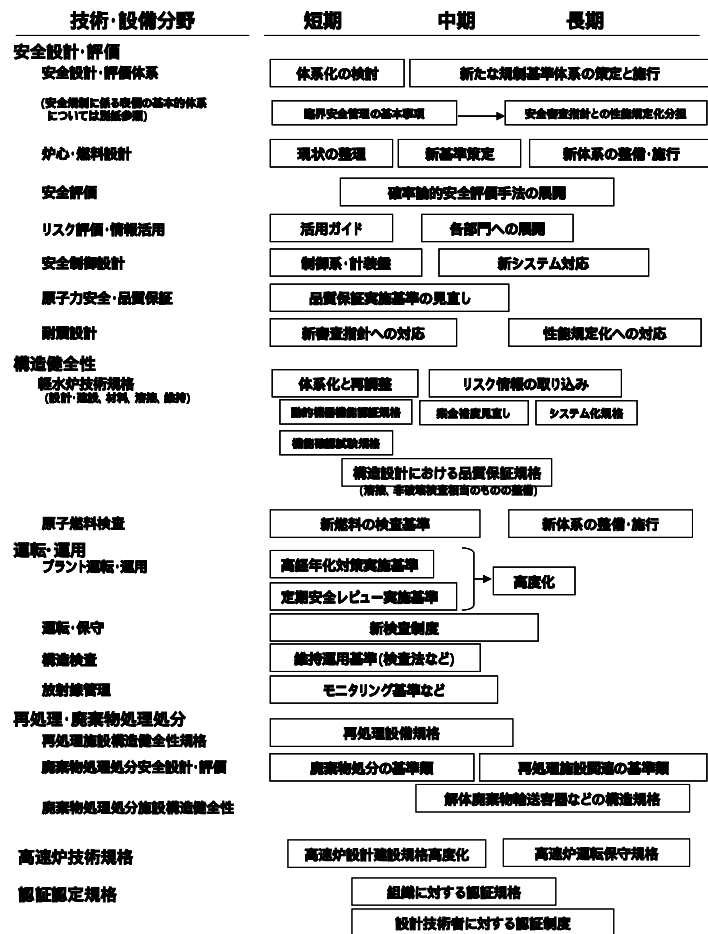
4.2 各分野の規格基準などの標準策定の活動目標

日本原子力学会 標準委員会，日本機械学会 発電用設備規格委員会，日本電気協会 原子力規格委員会の三学協会の各組織において策定を計画している原子力発電所および原子力施設を対象とした，技術分野 - 「安全に関する」分野から「構造に関する」分野，「運用・運転に関する」分野，および再処理，廃棄物処理処分，さらには高速炉関連および規格基準などの標準策定活動一般 - の各分野の活動目標（案）を図4.2に示す。

このうち，代表的な項目についての要点をまとめると，以下のとおりである。

- ・ 体系的整備：学会標準や学協会規格の安全規制との関連を明確にし，体系的に整備する観点で見直す。
- ・ 運転プラントへの対応とリスク情報の活用：定量的リスク評価やリスク情報活用などの技術による規格基準の高度化，部分安全係数など構造信頼性手法に基づく安全余裕の適正化と規格基準のシステム化規格体系を検討する。
- ・ 新技術，新型炉の規格整備：豊富な経験を元に開発した技術の運転プラントへの適用や，次世代軽水炉及びFBRの開発・導入においては，開発と同時に適正な規格基準も開発して行かなければならない。
- ・ 再処理，廃棄物処理処分，廃炉の規格整備：燃料の再処理や廃棄物処理処分に関する規格化や近い将来に必要な廃炉とその廃棄物処分に関する規格基準の検討にも着手する必要がある。

図4.2 “学協会規格”策定の活動目標（案）



4.3 三学協会の2007年度・08年度（平成19・20年度）の策定計画

- 直近のロードマップ -

産業界からの要望（参考1）を参考に日本原子力学会，日本機械学会および日本電気協会にて策定した，2007年度，2008年度の学協会規格の策定計画の年度展開は既に資料2に示している。全体としてこれまでに67件の学協会規格を策定し，今後新規策定および改訂を計画している。

日本原子力学会 標準委員会の策定計画，日本機械学会 発電用設備規格委員会での策定計画および日本電気協会 原子力規格委員会での策定を画している学協会規格は資料2の中の計画で示すように，約40件の策定・見直しを計画している。

5 . 標準策定計画のまとめ

本報告では、三学協会の活動を中心に、規格基準などの標準の策定計画を定める際の基本的な考え方について、原子力関係学協会規格類協議会において検討している経過をとりまとめている。主要な論点は、

規制基準の性能規定化と対応付けられた規格基準などの標準の体系的な整備

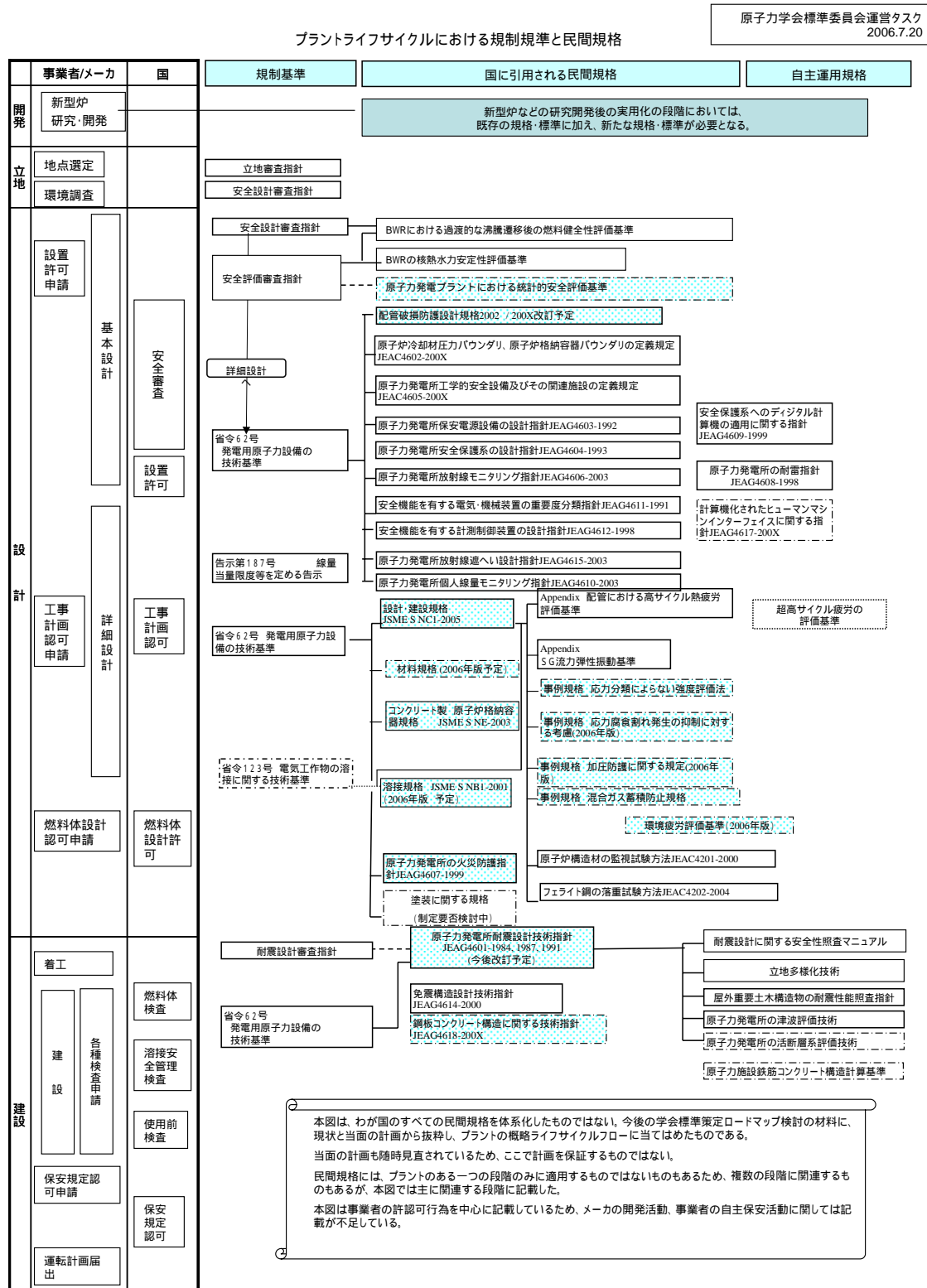
学協会規格の開発整備に際して必要な安全基盤研究等の、国、学協会、産業界の連携のもとでの企画推進と規格への反映を実現する仕組み

技術開発戦略マップ、ロードマップなどの手法を活用した産業界、官界、学术界、および学協会の連携と認識の共有

等である。また、規制基準、学協会規格等の標準策定活動は、基本的に産官学の対等な協力関係の下に役割を分担して進められることが重要である。

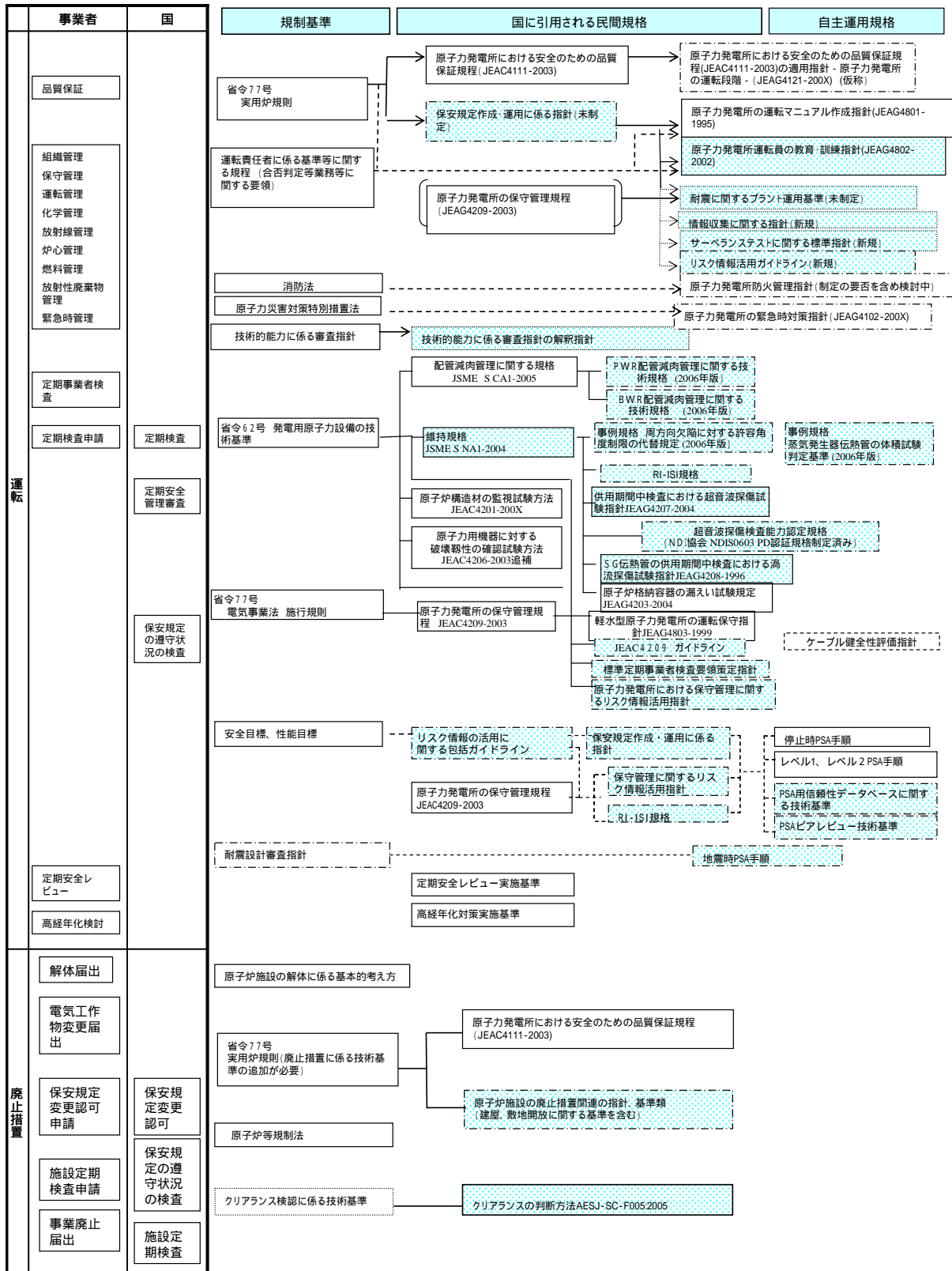
添付 1 規制基準・学会標準の体系の現状の全体像 - 技術マップ

<指針・基準，規格・標準の体系>



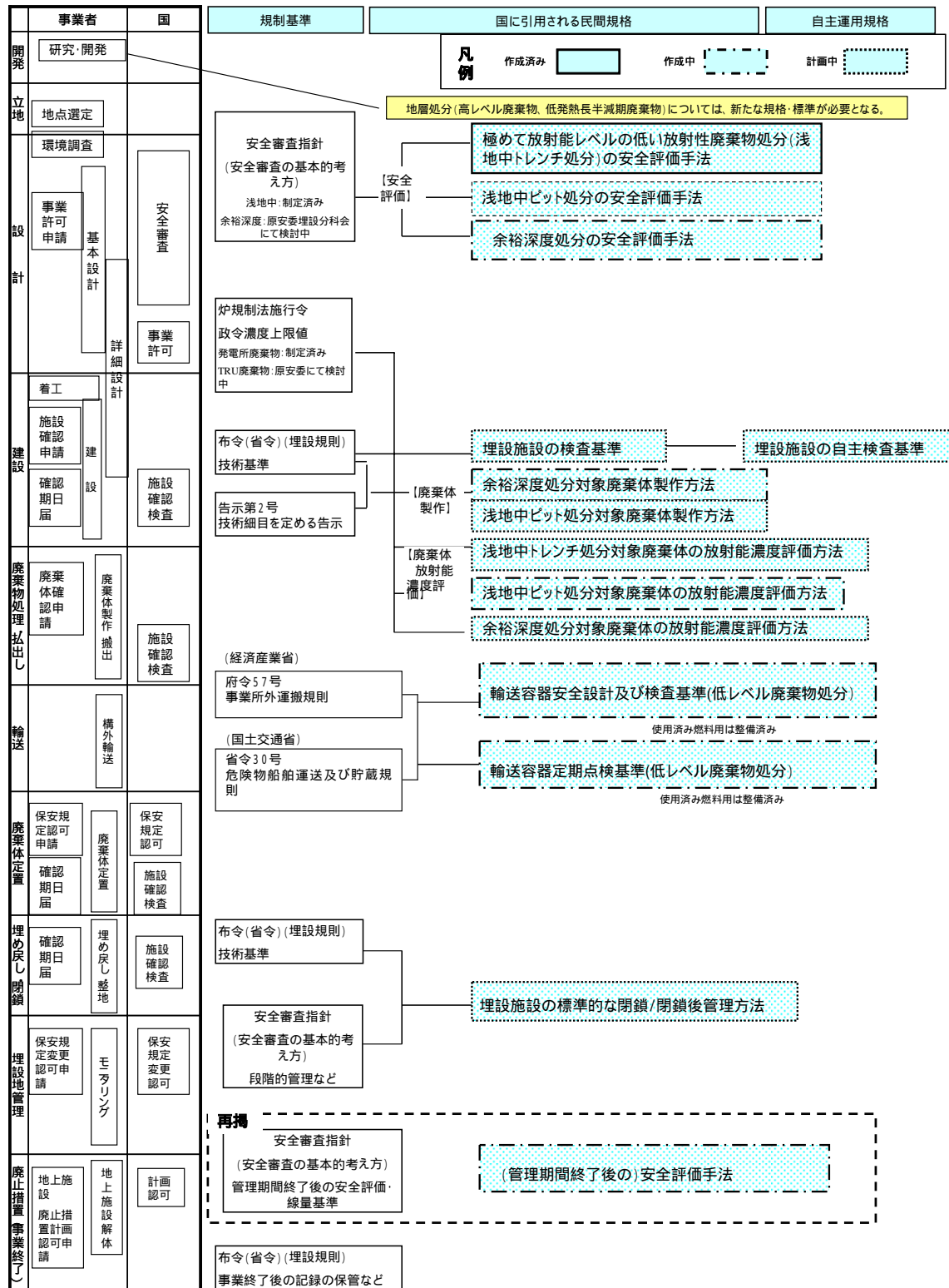
<指針・基準，規格・標準の体系>

プラントライフサイクルにおける規制標準と民間規格



<指針・基準，規格・標準の体系>

廃棄物処分施設のライフサイクルにおける規制基準と民間規格

原子力学会標準委員会運営タスク
2006.10.2

添付 2 三学協会による規格基準などの標準(学協会規格)策定の現状と計画(1/2)

| 適用分野 | 規格名 | 策定機関 | 策定・改訂 |
|--|--|---------|-----------------|
| 性能規定化した技術基準 (省令 62 号)の詳細規定 として引用 | 設計建設規格 (JSME S NC1-2001) | 日本機械学会 | |
| | 設計建設規格第 編 (JSME S NC1-2005) | 日本機械学会 | 追補検討中 |
| | 設計建設規格第 編 (JSME S NC2-2005) | 日本機械学会 | 追補検討中 |
| | 設計建設規格 (JSME S NC1-2001) 及び (JSME S NC1-2005) 【事例規格】発電用原子力設備における応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮 (NC-CC-002) | 日本機械学会 | |
| | 設計建設規格 (JSME S NC1-2001) 及び (JSME S NC1-2005) 【事例規格】過圧防護に関する規定 (NC-CC-001) | 日本機械学会 | |
| | 維持規格 (JSME S NA1-2000) | 日本機械学会 | |
| | 維持規格 (JSME S NA1-2002) | 日本機械学会 | |
| | 維持規格 (JSME S NA1-2004) | 日本機械学会 | 追補検討中 |
| | 維持規格 (JSME S NA1-2002) 【事例規格】周方向欠陥に対する許容欠陥角度制限の代替規定 (NA-CC-002) | 日本機械学会 | |
| | 溶接規格 (JSME S NB1-2001) | 日本機械学会 | 改訂検討中 |
| | 材料規格 (JSME S NJ1-****) | 日本機械学会 | 策定中 |
| | 原子炉冷却材圧力「ワダリ」、原子炉格納容器「ワダリ」の範囲を定める規程 (JEAC4602-2004) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉発電所工学的安全施設及びその関連施設の範囲を定める規程 (JEAC4605-2004) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉発電所の火災防護指針 (JEAG4607-1999) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所の火災防護管理面指針 | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 設計建設規格【事例規格】混合ガス蓄積防止に対する考慮 | 日本機械学会 | 策定中 |
| | 原子炉発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1987) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所耐震設計技術指針・補 重要度分類・許容応力編 (JEAG4601・補-1984) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所耐震設計技術指針 追補版 (JEAG4601-1991) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 配管内円柱状構造物の流体力学評価指針 (JSME S012-1998) | 日本機械学会 | |
| | 蒸気発生器伝熱管 U 字管部流体力学評価防止指針 (JSME S016-2002) | 日本機械学会 | |
| | 配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 (JSME S017-2003) | 日本機械学会 | |
| | 配管減肉管理に関する規格 (JSME S CA1-2005) | 日本機械学会 | |
| | 配管破損防護設計規格 (JSME S ND1-2002) | 日本機械学会 | |
| | コークリット製原子炉格納容器規格 (JSME S NE1-2003) | 日本機械学会 | |
| | 原子炉格納容器の漏えい試験規程 (JEAC4203-1994) | 日本電気協会 | |
| | 原子炉格納容器の漏えい率試験規程 (JEAC4203-2004) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 安全保護系へのデジタル計算機の適用に関する指針 (JEAG 4609-1999) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 中央制御室の計算機化されたヒューマンマシンインタフェースの開発及び設計に関する指針 (JEAG 4617-2005) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 安全機能を有する計測制御装置の設計指針 (JEAG 4611-1991) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉制御室の居住性に関する指針 (仮称) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 原子炉発電所の放射線遮へい設計指針 (JEAG4615-2003) | 日本電気協会 | 改定中 |
| 高齢年化 | 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2006) | 日本機械学会 | |
| | 加圧水型原子炉発電所 配管減肉管理に関する技術規格 (JSME S NG1-2006) | 日本機械学会 | |
| | 沸騰水型原子炉発電所 配管減肉管理に関する技術規格 (JSME S NH1-2006) | 日本機械学会 | |
| | 安全系電気・計装品の耐環境性に関する指針 (仮称) (JEAG ****-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 軽水型原子炉発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験指針 (JEAG 4207-2004) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 軽水型原子炉発電所用蒸気発生器伝熱管の供用期間中検査における渦流探傷試験指針 (JEAG 4208-2005) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉発電所の供用期間中検査における超音波探傷試験検査システムの性能実証試験指針 (仮称) (JEAG ****-****) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉発電所の定期安全レビュー実施手順:2006 (AESJ-SC-P004:2006) (P S R 標準) | 日本原子力学会 | |
| | 原子炉発電所の高齢年化対策実施基準:2007 (AESJ-SC-P005:2007) (P L M 標準) | 日本原子力学会 | |
| | 原子炉発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準 (レベル 1 P S A 編) | 日本原子力学会 | 策定・改定中 |
| P S A | 原子炉発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価手順:2002 (AESJ-SC-P001:2002) | 日本原子力学会 | |
| | 原子炉発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準 (レベル 2 P S A 編) | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 原子炉発電所の確率論的安全評価に関する実施基準 (レベル 3 P S A 編) | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 原子炉発電プラントにおける統計的安全評価基準 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | リスク情報の活用に関するガイドライン | 日本原子力学会 | 検討中 |
| | PSA 信頼性データベースに関する標準 | 日本原子力学会 | 検討中 |
| 耐震 | 原子炉発電所免震構造設計技術指針 (JEAG 4614-2000) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 鋼板コンクリート構造 建物・構築物編 耐震設計技術指針 (JEAG 4618-2005) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 鋼板コンクリート構造 機器支持定着部編 耐震設計技術指針 (JEAG 4619-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 原子炉発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007 (AESJ-SC-P006:2007) | 日本原子力学会 | |
| 運転・保守 | JEAC4111-2003 適用指針 原子炉発電所の運転段階 (JEAG 4121-2005) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所の保守管理規程 (JEAC 4209-2003) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所の保守管理指針 (JEAC 4210-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 原子炉発電所の運転マニュアル作成指針 (JEAG 4801-1995) | 日本電気協会 | 廃止 |
| | 原子炉発電所運転員の教育・訓練指針 (JEAG 4802-2002) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 軽水型原子炉発電所の運転保守指針 (JEAG 4803-1999) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉発電所の設備診断技術に関する技術指針 (JEAG****-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 安全保護装置のドリフト評価指針 (仮称) (JEAG4621-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| 品質保証 | 原子炉発電所における安全のための品質保証規程 (JEAC 4111-2003) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子炉発電所の品質保証指針 (JEAG 4101-2000) | 日本電気協会 | 改訂または廃止の 検討中 |

添付 2 三学協会による規格基準などの標準(学協会規格)策定の現状と計画(2/2)

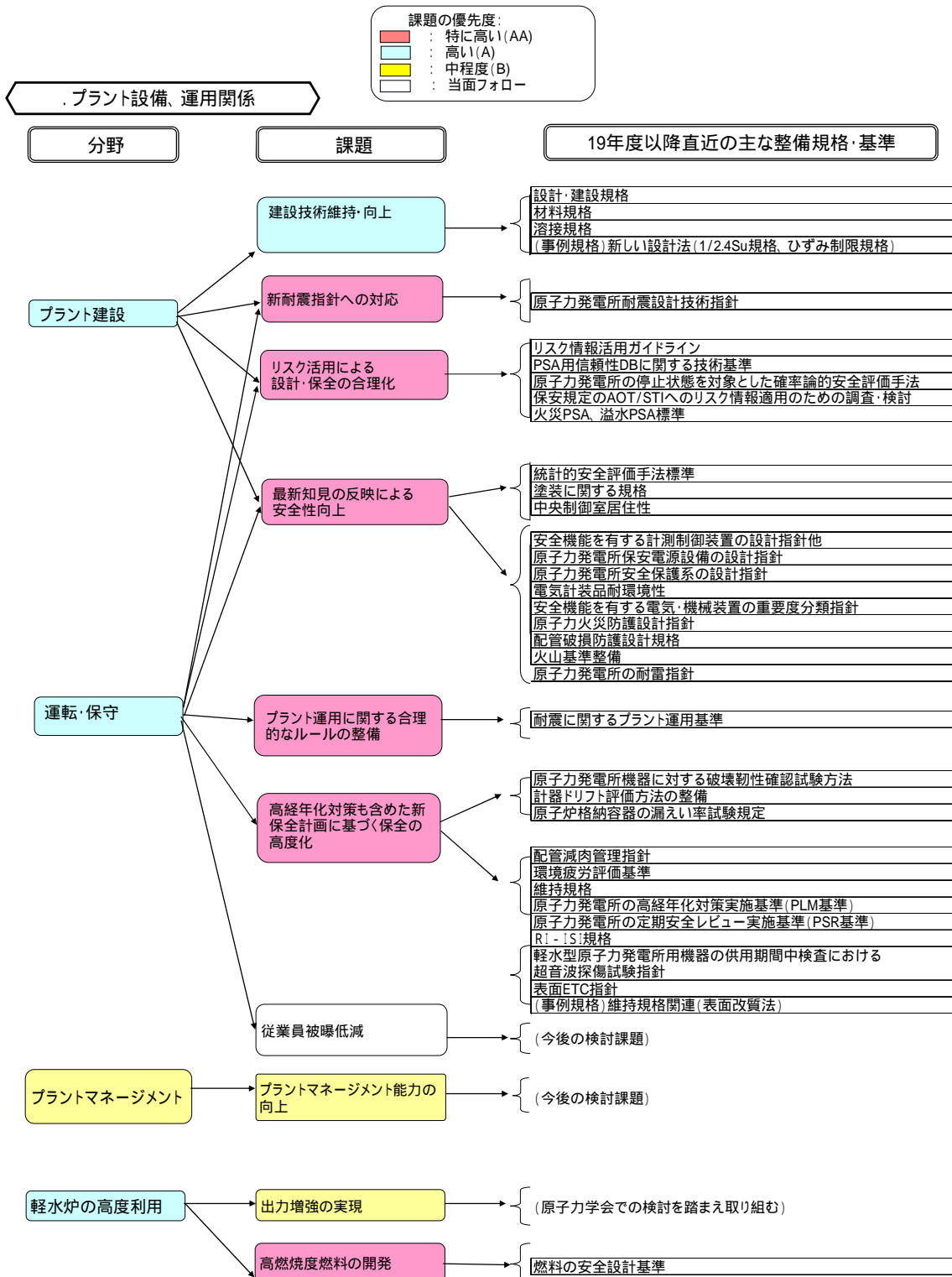
| 適用分野 | 規格名 | 策定機関 | 策定・改訂 |
|-----------|---|---------|-------|
| 使用消燃料、廃棄物 | 使用消燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (JSME S FA1-2001) | 日本機械学会 | 改訂検討中 |
| | 使用消燃料貯蔵施設規格 コンクリートキャスク詰替装置およびキャスク輸送キャスク構造規格 (JSME S FB1-2003) | 日本機械学会 | |
| | 乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針 (JEAG 4616-2003) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | セメント系固化剤による地盤改良工法を用いた乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針 (仮称) (JEAG ****-****) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 収着分配係数の測定方法 - 浅地中処分のバリア材を対象としたパッチ法の基本手順: 2002 (AESJ-SC-F003: 2002) | 日本原子力学会 | |
| | 使用消燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器定期点検基準: 2000 (AESJ-SC-F001: 2000) | 日本原子力学会 | 改定中 |
| | 低レベル放射性廃棄物 B 型輸送容器の安全設計及び検査基準 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 使用消燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準: 2004 (AESJ-SC-F002: 2004) | 日本原子力学会 | 改訂中 |
| | クリアランスの判断方法: 2005 (AESJ-SC-F005: 2005) | 日本原子力学会 | |
| | 余裕深度処分対象廃棄体の製作方法の標準化 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 原子力発電所から発生する放射性廃棄物の放射能評価方法の標準化 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 返還放射性廃棄物の廃棄確認方法に係る標準化 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 余裕深度処分の安全評価手法 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | 使用消燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準: 2006 (AESJ-SC-F006: 2006) | 日本原子力学会 | |
| | 極めて放射能レベルの低い放射性廃棄物処分の安全評価手法: 2006 (AESJ-SC-F007: 2006) | 日本原子力学会 | |
| | 使用消燃料中間貯蔵施設用コンクリートキャスク及びキャニスタ詰替装置の安全設計及び検査基準: 2007 (AESJ-SC-F008: 2007) | 日本原子力学会 | |
| | 収着分配係数の測定方法 - 深地層処分のバリア材を対象とした測定方法の基本手順: 2006 (AESJ-SC-F008: 2006) | 日本原子力学会 | |
| | ウラン・TRU取扱施設のクリアランスレベルの標準化 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | LLW 埋設施設の埋め戻し後管理の標準化 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| 廃炉 | 原子炉施設の廃止措置の計画と実施: 2006 (AESJ-SC-R003: 2006) | 日本原子力学会 | |
| | 研究用原子炉の廃止措置に関する基本的考え方: 2003 (AESJ-SC-R001: 2003) | 日本原子力学会 | 廃止 |
| 放射線 | 原子力発電所放射線モニタリング指針 (JEAG 4606-2003) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子力発電所個人線量モニタリング (JEAG 4610-2003) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 放射線遮蔽計算のための線量換算係数: 2004 (AESJ-SC-R002: 2004) | 日本原子力学会 | |
| その他 | 原子力発電所保安電源設備の設計指針 (JEAG 4603-1992) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子力発電所安全保護系の設計指針 (JEAG 4604-1993) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子力発電所の耐震指針 (JEAG 4608-1998) | 日本電気協会 | 改訂中 |
| | 安全機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針 (JEAG 4612-1998) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子炉構造材の監視試験方法 (JEAG 4201-2004) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | フェライト鋼の落重試験方法 (JEAG 4202-2004) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 (JEAG 4206-2004) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 塗装規格 (仮称) (JEAG ****-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 発電用原子燃料品質管理指針 (JEAG 4204-2003) | 日本電気協会 | 検討中 |
| | 軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査 (JEAG4203-2004) | 日本電気協会 | 廃止予定 |
| | 火山に対する原子力発電所 安全性評価指針 (仮称) (JEAG ****-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 原子力発電所の緊急時対策指針 (JEAG 4102-1996) | 日本電気協会 | 改定中 |
| | 原子力発電所運転責任者の判定に係る規程 (JEAG4804-****) | 日本電気協会 | 策定中 |
| | 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG4613-1998) | 日本電気協会 | 廃止予定 |
| | BWR の核熱水力安定性評価基準 | 日本原子力学会 | 策定中 |
| | BWR における過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準: 2003 (AESJ-SC-P002: 2003) | 日本原子力学会 | |
| | 原子力施設の安全解析における排気筒有効高さを求めるための風洞実験実施基準: 2003 (AESJ-SC-P003: 2003) | 日本原子力学会 | |
| | 原子炉崩壊熱の標準化 | 日本原子力学会 | 検討準備中 |
| | 燃料の補修に関する基準 | 日本原子力学会 | 検討準備中 |
| | 二相流解析における適用構成式の基準 | 日本原子力学会 | 検討準備中 |
| | 臨界安全の基本事項: 2004 (AESJ-SC-F004: 2004) | 日本原子力学会 | |

(注) 最新の情報は、各学協会に確認ください。

参考 1 原子力分野における 規格基準整備の要望 (1/2)

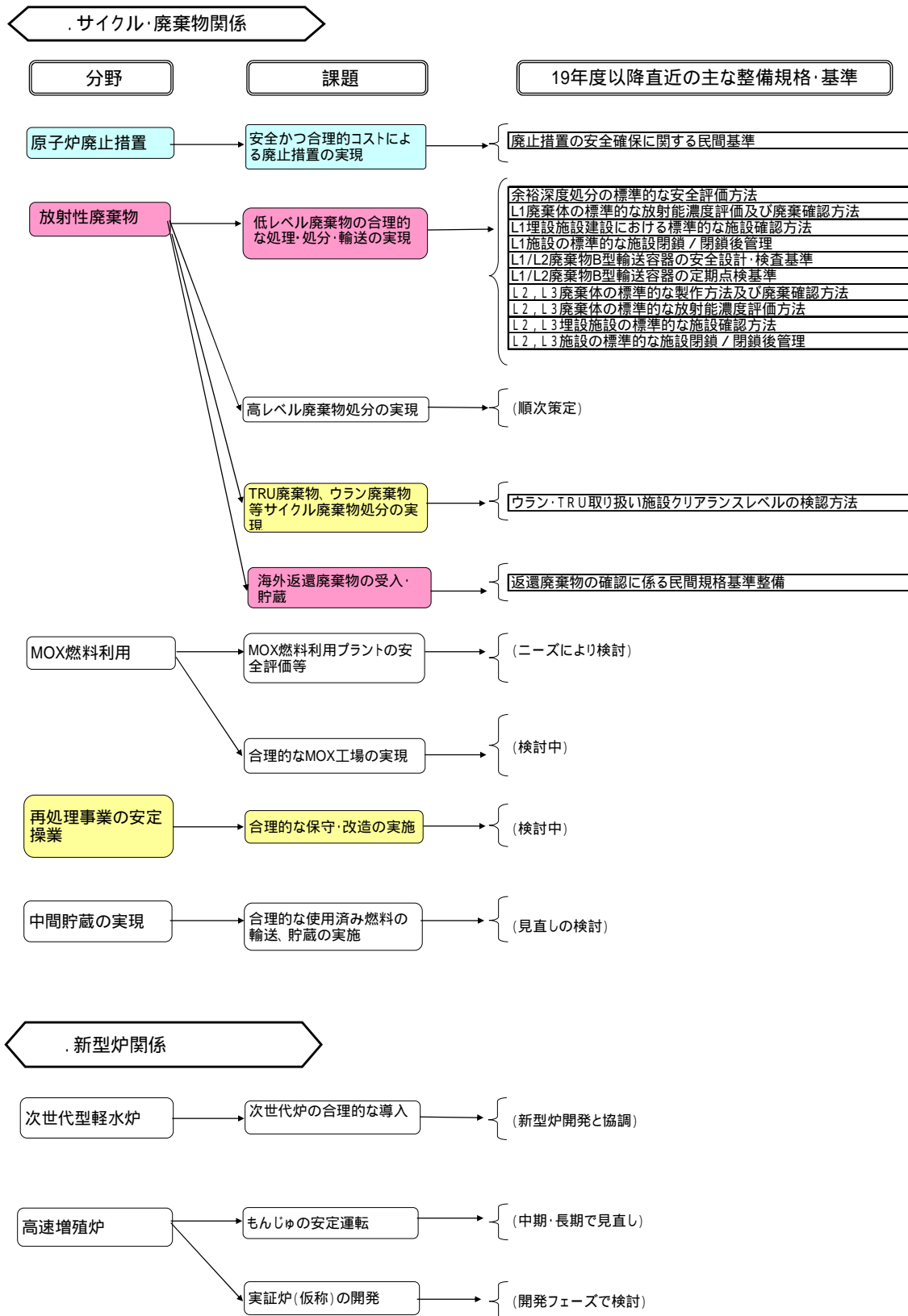
(中間法人)日本原子力技術協会からの提示

原子力産業界のニーズをベースとした19年度以降の規格・基準類整備の要望



参考 1 原子力分野における 規格基準整備の要望 (2/2)

(中間法人)日本原子力技術協会からの提示



原子力専門家人材 マップ

(人材ニーズマップ及びリソースマップ)
(材料工学、機械工学及び熱流体工学分野)

平成 19 年 7 月

原子力安全・保安院

(財)エネルギー総合工学研究所

1.人材ニーズマップ（材料工学）

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|------------------------|------------------------|-----------------------|---|--------------------------|------------------------|--|--------------|-------------------------|---------------------------|-----|--------|------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|----------------------------------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|--|--|-----------------|-------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|----|-------|--------------|-----|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 原子力基礎・基盤分野 | 原子核・放射線 | 原子力工学 放射線計測 炉物理 原子核工学 原子核物理 放射線物理 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 電気工学 | 発電工学 送変電工学 電気設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 化学工学 | 原子炉化学 放射化学 化学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 機械工学 | 機械工学 破壊力学 計算力学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 材料工学 | 構造材料 原子力材料 材料工学 材料力学 腐食・防食 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 熱流体工学 | 伝熱流動 熱力学 流体力学 原子炉熱工学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 土木工学・建築工学 | 土木工学 構造工学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 社会科学 | 社会心理学 社会学 心理学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | その他 | 理学部 (物理、地質学等) 農学部 等 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table><tr><td rowspan="5">材料工学分野</td><td>構造材料</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>原子力材料 核融合学(材料) 放射線照射(照射脆化)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>材料工学 金属物性/材料物性 資源材料工学 材料科学 材料評価 材料設計 ・コンクリート ・エネルギー材料工学 複合材料工学 ・(高温)材料強度 材料リスクベース工学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>材料力学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>腐食・防食</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>原子力システムの安全性・健全性</td><td>炉心・燃料</td><td>原子力保全</td><td>放射線応用・放射線安全</td><td>核燃料サイクル</td><td>廃棄物埋設</td><td>施設の運営管理(人的・組織的要因)</td><td>耐震</td><td>原子力規制</td><td>リスクコミュニケーション</td><td>その他</td></tr><tr><td colspan="13">原子力特定技術分野</td></tr><tr><td colspan="13">注)原子力特定技術分野の政策ニーズと、原子力基礎・基盤分野における重要度を以下の分類で示す。 政策ニーズが高いものの、人材が少ない又は高齢化している等、人材ニーズが特に高い分野 - 特定技術分野との関係で、求められる基礎・基盤がない分野</td></tr></table> | | | | | | | | | | | | | 材料工学分野 | 構造材料 | | | | | - | | | | | - | - | - | 原子力材料 核融合学(材料) 放射線照射(照射脆化) | | | | | - | | | | | - | - | - | 材料工学 金属物性/材料物性 資源材料工学 材料科学 材料評価 材料設計 ・コンクリート ・エネルギー材料工学 複合材料工学 ・(高温)材料強度 材料リスクベース工学 | | | | | - | | | | | - | - | - | 材料力学 | | | | | - | | | | | - | - | - | 腐食・防食 | | | | | - | | | | | - | - | - | | | 原子力システムの安全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理(人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケーション | その他 | 原子力特定技術分野 | | | | | | | | | | | | | 注)原子力特定技術分野の政策ニーズと、原子力基礎・基盤分野における重要度を以下の分類で示す。 政策ニーズが高いものの、人材が少ない又は高齢化している等、人材ニーズが特に高い分野 - 特定技術分野との関係で、求められる基礎・基盤がない分野 | | | | | | | | | | | |
| 材料工学分野 | 構造材料 | | | | | - | | | | | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 原子力材料 核融合学(材料) 放射線照射(照射脆化) | | | | | - | | | | | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 材料工学 金属物性/材料物性 資源材料工学 材料科学 材料評価 材料設計 ・コンクリート ・エネルギー材料工学 複合材料工学 ・(高温)材料強度 材料リスクベース工学 | | | | | - | | | | | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 材料力学 | | | | | - | | | | | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 腐食・防食 | | | | | - | | | | | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 原子力システムの安全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理(人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケーション | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 原子力特定技術分野 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注)原子力特定技術分野の政策ニーズと、原子力基礎・基盤分野における重要度を以下の分類で示す。 政策ニーズが高いものの、人材が少ない又は高齢化している等、人材ニーズが特に高い分野 - 特定技術分野との関係で、求められる基礎・基盤がない分野 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 各分野の内訳例 | | | 原子力システムの安全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理(人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケーション | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 安全設計 安全解析・評価 | 炉心安全性 燃料健全性 炉心設計 | 信頼性物理 故障解析 異常診断 | 放射線応用 保健物理 環境線量評価 放射線防護 放射線医学・生物学 | 再処理 核燃料サイクル工学 輸送技術 | 廃棄物処理・処分 貯蔵 廃止措置 | ヒューマンファクタ 品質保証・管理 危機管理 リスク評価 組織・安全文化 | 地質構造 地震伝播 | 原子力法規 放射線法規 核物質防護 | 災害心理 組織心理 コミュニケーション | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 原子力特定技術分野(政策目標、政策対象分野) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2.人材リソースマップ（材料工学）

[illegible]

3.人材ニーズマップ（機械工学）

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 原子力基礎・基盤分野 | 原子核・放射線 | 原子力工学 放射線計測 炉物理 原子核工学 原子核物理 放射線物理 | | | | | | | | | | |
| | 電気工学 | 発電工学 送変電工学 電気設備 | | | | | | | | | | |
| | 化学工学 | 原子炉化学 放射化学 化学 | | | | | | | | | | |
| | 機械工学 | 機械工学 破壊力学 計算力学 | | | | | | | | | | |
| | 材料工学 | 構造材料 原子力材料 材料工学 材料力学 腐食・防食 | | | | | | | | | | |
| | 熱流体工学 | 伝熱流動 熱力学 流体力学 原子炉熱工学 | | | | | | | | | | |
| | 土木工学・建築工学 | 土木工学 構造工学 | | | | | | | | | | |
| | 社会科学 | 社会心理学 社会学 心理学 | | | | | | | | | | |
| | その他 | 理学部 (物理、地質学等) 農学部 等 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------------|---------|-------|-----------------------|----|-------|--------------|-----|
| 機械工学分野 | 機械工学 機械力学 船用機械 機械設計 タービン設計 システムデザイン 溶接 非破壊 設計工学 動力エネルギー | | - | | - | | | | | | - | - |
| | 破壊力学 | | - | | - | | | | | | - | - |
| | 計算力学 | | - | | - | | | | - | - | - | - |
| | | 原子力システムの安全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理 (人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケーション | その他 |
| 原子力特定技術分野 | | | | | | | | | | | | |
| 注) 原子力特定技術分野の政策ニーズと、原子力基礎・基盤分野における重要度を以下の分類で示す。 政策ニーズが高いものの、人材が少ない又は高齢化している等人材ニーズが特に高い分野 - 特定技術分野との関係で、求められる基礎・基盤がない分野 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------|------------------------|-----------------------|---|--------------------------|------------------------|--|--------------|-------------------------|---------------------------|-----|
| 各分野の内訳例 | 原子力システムの安全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理 (人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケーション | その他 |
| | 安全設計 安全解析・評価 | 炉心安全性 燃料健全性 炉心設計 | 信頼性物理 故障解析 異常診断 | 放射線応用 保健物理 環境線量評価 放射線防護 放射線医学・生物学 | 再処理 核燃料サイクル工学 輸送技術 | 廃棄物処理・処分 貯蔵 廃止措置 | ヒューマンファクタ 品質保証・管理 危機管理 リスク評価 組織・安全文化 | 地質構造 地震伝播 | 原子力法規 放射線法規 核物質防護 | 災害心理 組織心理 コミュニケーション | |
| | 原子力特定技術分野（政策目標、政策対象分野） | | | | | | | | | | |

4.人材リソースマップ（機械工学）

[illegible]

5.人材ニーズマップ（熱流体工学）

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|--|------------------------|-----------------------|---|--------------------------|---------------------------|--|--------------|-------------------------|-------------------------------|-----|--|------------------------------------|--|--|--|--|---|--|---|--|---|---|---|---|-----|--|--|--|--|---|--|---|--|---|---|---|---|------|--|--|--|--|---|--|---|--|---|---|---|---|--------------------|--|--|--|--|---|--|---|--|---|---|---|---|------|--|--|--|--|---|--|---|--|---|---|---|---|--|-------------------------|-------|-------|-----------------|-------------|-------|---------------------------|----|-------|------------------|-----|
| 原子力基礎・基盤分野 | 原子核・放射線 | 原子力工学 放射線計測 炉物理 原子核工学 原子核物理 放射線物理 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 電気工学 | 発電工学 送変電工学 電気設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 化学工学 | 原子炉化学 放射化学 化学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 機械工学 | 機械工学 破壊力学 計算力学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 材料工学 | 構造材料 原子力材料 材料工学 材料力学 腐食 防食 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 熱流体工学 | 伝熱流動 熱力学 流体力学 原子炉熱工学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 土木工学・建築工学 | 土木工学 構造工学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 社会科学 | 社会心理学 社会学 心理学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | その他 | 理学部 (物理、地質学等) 農学部 等 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <div><div>熱流体工学分野</div><table><tr><td>伝熱流動 燃焼工学 伝熱工学 混相流 熱水力</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>熱力学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>流体力学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>原子炉熱工学 原子炉熱流体工学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>計算工学</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td>原子力システムの 安全性・健全 性</td><td>炉心・燃料</td><td>原子力保全</td><td>放射線応用・ 放射線安全</td><td>核燃料サイク ル</td><td>廃棄物埋設</td><td>施設の運営管理 (人的・組織的要 因)</td><td>耐震</td><td>原子力規制</td><td>リスクコミュニ ケーション</td><td>その他</td><td></td></tr></table><div>原子力特定技術分野</div></div> <div><div>注)原子力特定技術分野の政策ニーズと、原子力基礎・基盤分野における重要度を以下の分類で示す。 政策ニーズが高いものの、人材が少ない又は高齢化している等人材ニーズが特に高い分野 - 特定技術分野との関係で、求められる基礎・基盤がない分野</div></div> | | | | | | | | | | | | | 伝熱流動 燃焼工学 伝熱工学 混相流 熱水力 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | 熱力学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | 流体力学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | 原子炉熱工学 原子炉熱流体工学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | 計算工学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | 原子力システムの 安全性・健全 性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・ 放射線安全 | 核燃料サイク ル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理 (人的・組織的要 因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニ ケーション | その他 |
| 伝熱流動 燃焼工学 伝熱工学 混相流 熱水力 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熱力学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 流体力学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 原子炉熱工学 原子炉熱流体工学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 計算工学 | | | | | - | | - | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 原子力システムの 安全性・健全 性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・ 放射線安全 | 核燃料サイク ル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理 (人的・組織的要 因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニ ケーション | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 各分野の内訳例 | | 原子力システムの安全 性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・ 放射線安全 | 核燃料サイクル | 廃棄物埋設 | 施設の運営管理 (人的・組織的要因) | 耐震 | 原子力規制 | リスクコミュニケー ション | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 安全設計 安全解析・評価 | 炉心安全性 燃料健全性 炉心設計 | 信頼性物理 故障解析 異常診断 | 放射線応用 保健物理 環境線量評価 放射線防護 放射線医学・生物学 | 再処理 核燃料サイクル工学 輸送技術 | 廃棄物処理・処分 貯蔵 廃止措置 | ヒューマンファクタ 品質保証・管理 危機管理 リスク評価 組織・安全文化 | 地質構造 地震伝播 | 原子力法規 放射線法規 核物質防護 | 災害心理 組織心理 コミュニケーショ ン | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 原子力特定技術分野 (政策目標、政策対象分野) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6.人材リソースマップ（熱流体工学）

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 原子力基礎・基盤分野 | 原子核・放射線 | 原子力工学 放射線計測炉物理 原子核工学 原子核物理 放射線物理 | | | | | | | | | | |
| | 電気学 | 発電工学 送変電工学 電気設備 | | | | | | | | | | |
| | 化学工学 | 原子炉化学 放射化学 化学 | | | | | | | | | | |
| | 機械工学 | 機械工学 破壊力学 計算力学 | | | | | | | | | | |
| | 材料工学 | 構造材料 原子力材料 材料工学 材料力学 腐食 防食 | | | | | | | | | | |
| | 熱流体工学 | 伝熱流動 熱力学 流体力学 原子炉熱工学 | | | | | | | | | | |
| | 土木工学・建築工学 | 土木工学 構造工学 | | | | | | | | | | |
| | 社会科学 | 社会心理学 社会学 心理学 | | | | | | | | | | |
| | その他等 | 理学部 農学部 等 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | 委員計 |
|--------|--------------------|----------------|---------------|------------|-------------|--------------|-----------------|-----------|-----------|------|
| 伝熱流動 | | | | | | | | 伝熱 73名 | 燃焼 65名 | 138名 |
| 熱力学 | | 熱工学部門 103名 | | | | | | | | 103名 |
| 流体力学 | | 流体工学部門 108名 | 空気力学部門 15名 | 混相流 90名 | 流体力学 91名 | | | | | 304名 |
| 原子炉熱工学 | 熱流動部会 13名 | | | | | | | | | 13名 |
| 計算工学 | 計算科学技術部 会 6名 | 計算力学部門 55名 | | | | 計算工学 185名 | シミュレーション 50名 | | | 296名 |
| 委員計 | 19名 | 266名 | 15名 | 90名 | 91名 | 185名 | 50名 | 73名 | 65名 | 854名 |
| 学協会 | 原子力学会 | 機械学会 | 航空宇宙学会 | 日本混相流学会 | 流体力学会 | 計算工学会 | シミュレーション 学会 | 伝熱学会 | 燃焼学会 | |

原子炉熱工学は、原子力学会に少数の専門家人材が存在するが、熱流体工学分野全体では854名と多くの人材が存在する。
 流体力学は機械学会・流体力学会などに多くの専門家人材が存在する。

(出展：(財)エネルギー総合工学研究所)

(参 考)

原子力安全・保安部会等の委員(大学・大学院、研究機関等所属)の専門分野別年齢構成

| 専門分野 年齢 | 原子力基礎・基盤分野 | | | | | | |
|--------------|------------|------|------|------|------|-------|---------------|
| | 原子核・放射線 | 電気工学 | 化学工学 | 機械工学 | 材料工学 | 熱流体工学 | 土木工学・ 建築工学 |
| 39歳以下 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40～49歳 | 3 | 0 | 0 | 1 | 6 | 1 | 1 |
| 50～59歳 | 3 | 2 | 3 | 6 | 11 | 4 | 9 |
| 60歳以上 | 4 | 2 | 3 | 19 | 8 | 3 | 12 |
| 合計 ※重複を含む | 10 | 4 | 6 | 26 | 25 | 8 | 22 |

| 専門分野 年齢 | 原子力特定技術分野 | | | | | | | | | | 人文社会科学 | メディア・ 消費者等 | 合計 |
|--------------|---------------------|-------|-------|-----------------|-------------|-------|-------------------------------|-----|-------|-----|--------|---------------|-----|
| | 原子力システムの安 全性・健全性 | 炉心・燃料 | 原子力保全 | 放射線応用・ 放射線安全 | 核燃料 サイクル | 廃棄物処理 | 施設の運営管 理 (人的・組織的 要因) | 耐 震 | 原子力規制 | その他 | | | |
| 39歳以下 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 40～49歳 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 2 | 38 |
| 50～59歳 | 9 | 2 | 1 | 6 | 6 | 5 | 8 | 11 | 1 | 3 | 2 | 5 | 97 |
| 60歳以上 | 7 | 2 | 1 | 6 | 3 | 2 | 9 | 7 | 2 | 6 | 0 | 4 | 100 |
| 合計 ※重複を含む | 16 | 5 | 5 | 14 | 11 | 10 | 24 | 21 | 3 | 10 | 5 | 11 | 236 |

(平成18年11月30日現在)

(注) 総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会及び当該部会の下部組織に所属している委員(民間シンクタンク以外の民間委員を除く)を対象とした。

原子力安全・保安部会

原子力安全基盤小委員会報告関連資料集

原子力安全・保安部会
原子力安全基盤小委員会報告関連資料集

1. 原子力安全基盤研究

| | |
|---|---|
| 資料 1-1 我が国における原子力研究開発政府予算の全体像 | 1 |
| 資料 1-2 原子力安全関係研究予算の推移 | 2 |
| 資料 1-3 原子力安全・保安院における原子力安全研究の概要 | 3 |
| 資料 1-4 電力共通研究費の推移 | 4 |
| 資料 1-5 原子力機器メーカーの原子力研究予算の推移 | 5 |
| 資料 1-6 米国における原子力規制委員会(NRC)と 電力研究所(EPRI)による共同研究 | 6 |
| 資料 1-7 各国の原子力規制関連安全研究の現状 | 7 |

2. 規格基準の策定と学協会の取組み

| | |
|-------------------------------------|----|
| 資料 2-1 原子力施設の安全規制への規格基準類の適用 | 8 |
| 資料 2-2 技術基準の性能規定化と学協会規格の活用 | 9 |
| 資料 2-3 学協会の規格策定プロセス | 10 |
| 資料 2-4 原子力安全・保安院における技術評価のプロセス | 11 |
| 資料 2-5 規格策定活動に係る学協会と産学官の関係 | 12 |

3. 原子力安全確保の観点からの人材基盤

| | |
|--|----|
| 資料 3-1 原子力分野の各機関における人材問題の現状と課題 | 13 |
| 資料 3-2 原子力人材育成・確保の支援策の概要 | 14 |
| 資料 3-3 原子力分野の人材に関する各機関の関係 | 15 |
| 資料 3-4 米国の原子力人材分野における各機関の関係 | 16 |
| 資料 3-5 必修に関する民間技量認定制度の概要 | 17 |
| 資料 3-6 米国における原子力コンサルティング・サービスの状況 | 18 |

4. 原子力安全確保の観点からの研究施設基盤

| | |
|-------------------------------------|----|
| 資料 4-1 国内外の主な安全基盤研究施設 | 19 |
| 資料 4-2 OECD/NEA国際共同研究プロジェクト | 20 |
| 資料 4-3 安全基盤研究施設の活用に係る議論 | 21 |
| 資料 4-4 日本原子力研究開発機構の主な安全基盤研究施設 | 23 |

5. 原子力安全確保の観点からの知識基盤

| | |
|--|----|
| 資料 5-1 産業界及び規制当局における原子力安全に関する知識基盤 | 24 |
| 資料 5-2 NISAとJNESの役割分担と情報の活用 | 25 |
| 資料 5-3 JNESにおける安全情報の収集・整備、評価、活用の現状 | 26 |
| 資料 5-4 原子力安全基盤機構(JNES)における安全情報の活用 | 27 |
| 資料 5-5 原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)の概要 | 28 |

我が国における原子力研究開発政府予算の全体像 (2007年度(平成19年度))

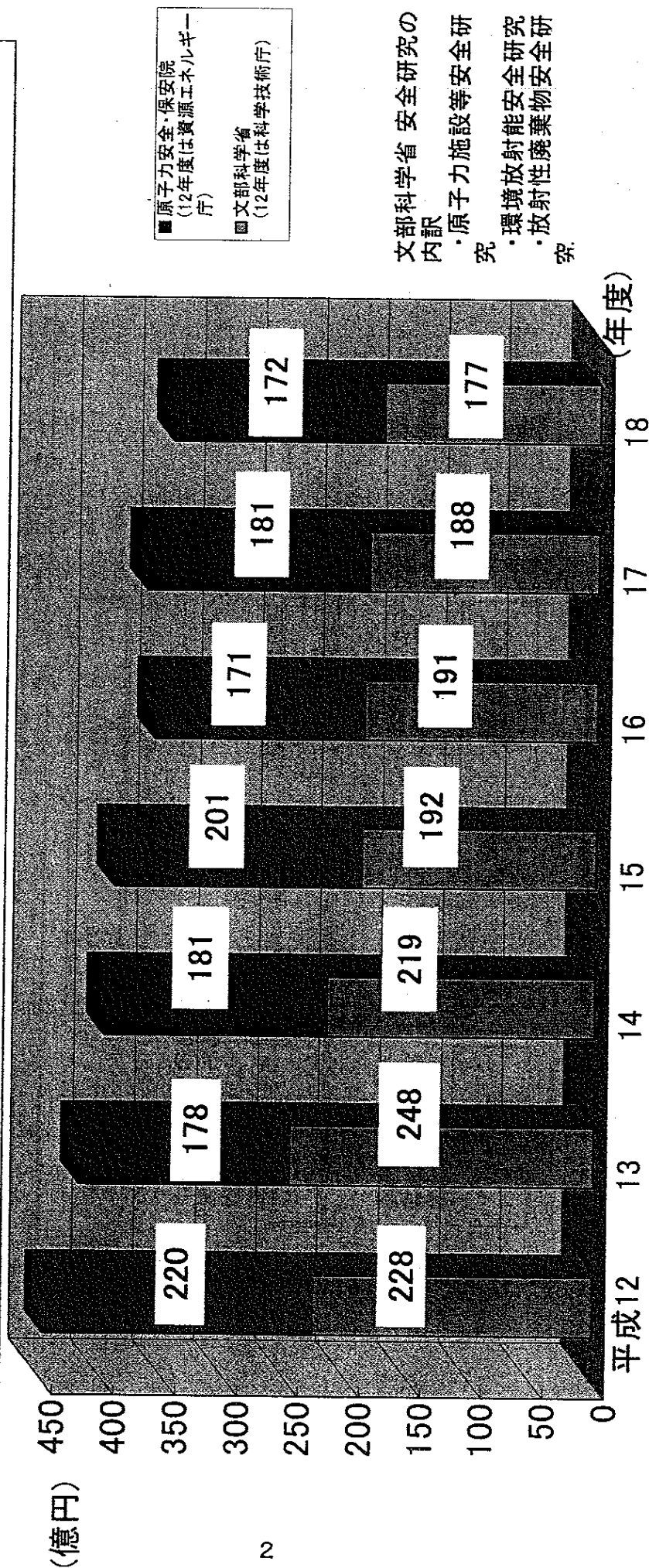
安全規制ニーズに基づく原子力安全・保安院の安全研究に加え、資源エネルギー庁及び文部科学省において、軽水炉では次世代型や革新的原子力システムの研究を行い、高速炉では実証炉についての実用化研究開発等を行うとともに、高レベル廃棄物の地層処分等の研究開発と安全研究を整合的に進めることが重要。

| 経済産業省 | | | | | 文部科学省 | |
|-----------|---------|---|----------|---|---|--|
| 原子力安全・保安院 | | | 資源エネルギー庁 | | | |
| 軽水炉 | 軽水炉の高度化 | 高経年化、高燃焼度燃料、MOX等の安全評価の検討 | 116 | — | — | |
| | 次世代型軽水炉 | — | | 日本型次世代軽水炉の開発に向けたフィージビリティスタディ | 0.5 | |
| FBR | もんじゅ | 研究開発段階炉の特徴を踏まえた安全規制の高度化、確率論的手法を取り入れた技術基準等の検討 | 0.5 | — | 革新的原子力システムの実現に資する原子炉技術や燃料サイクル技術等の研究開発 | |
| | 実証炉 | — | | FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現のための実用化研究開発及び回収ウランの除染技術プロセスの開発 | 36 | |
| 核燃料サイクル | | 再処理施設、MOX燃料加工施設及び使用済燃料貯蔵施設の安全性評価のための調査研究 | 13 | 軽水炉の全炉心MOX利用技術開発を行うとともに、MOX燃料加工技術の確証試験、ウラン濃縮に係る新型遠心分離器の開発 | 45 | |
| | 核燃料サイクル | | | | 高速増殖炉実用化に係る技術開発及び安全性や経済性を旨としたMOX燃料製造技術の開発 | |
| 廃棄物 | | 地層処分のための安全評価手法、安全基準の整備、余裕深度処分に向けた技術基準等の整備、クリアランスレベル検証技術の高度化に係る調査等 | 17 | 高レベル放射性廃棄物や長半減期低発熱放射性廃棄物等の地層処分技術に係る研究開発、管理型処分技術の開発 | 46 | |
| | 廃棄物 | | | | 地層処分技術の信頼性向上、安全性評価手法の高度化の研究 | |
| 共通 | | 原子力の安全情報、社会安全高度化のための基盤整備、核燃料物質輸送、シビアアクシデント等の調査研究 | 19 | 提案公募方式による革新的な原子力技術開発や、計量標準基盤技術 | 14 | |
| | 共通 | | | | JAEA及び放医研における安全研究 | |
| 予算額合計 | | | 165 | | 106 | |
| | | | | | (191) | |
| | | | | | 126 | |
| | | | | | 104 | |
| | | | | | 64 | |
| | | | | | 350 | |

原子力安全関係研究予算の推移

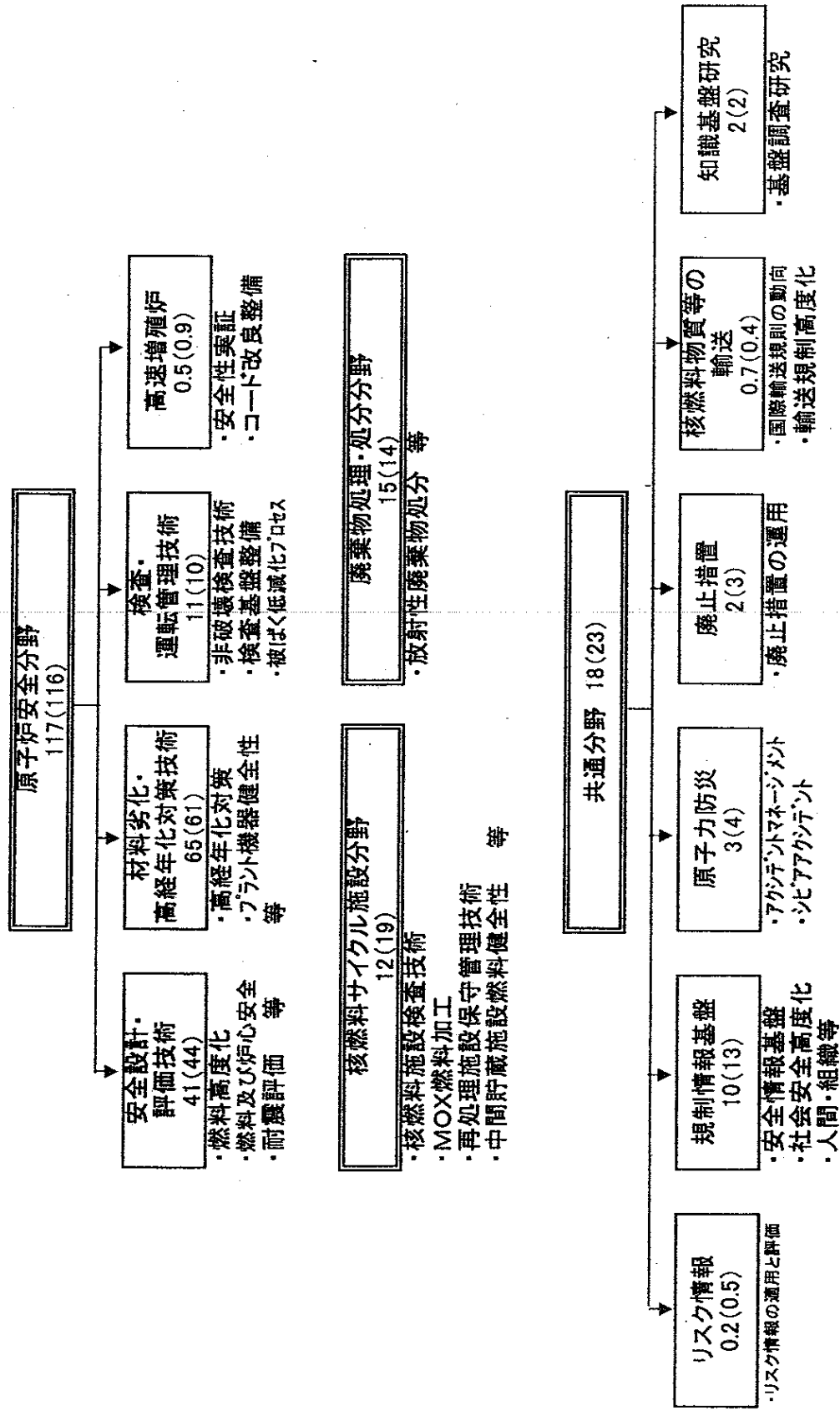
資料 1-2

経済産業省の原子力安全関係研究予算については、行政組織の再編前後において、基本的には安全性実証試験、確証試験等から安全規制ニーズに基づいた研究へと質的に変化しつつ、全体的には微減傾向となっている。



(「原子力研究、開発及び利用に関する計画(原子力委員会)」、「原子力安全研究に関する取組について(原子力安全委員会 原子力安全研究専門部会 第5回原子力施設等安全研究分科会(平成18年6月)資料)」等により原子力安全・保安院 作成)

原子力安全・保安院における原子力安全研究の概要

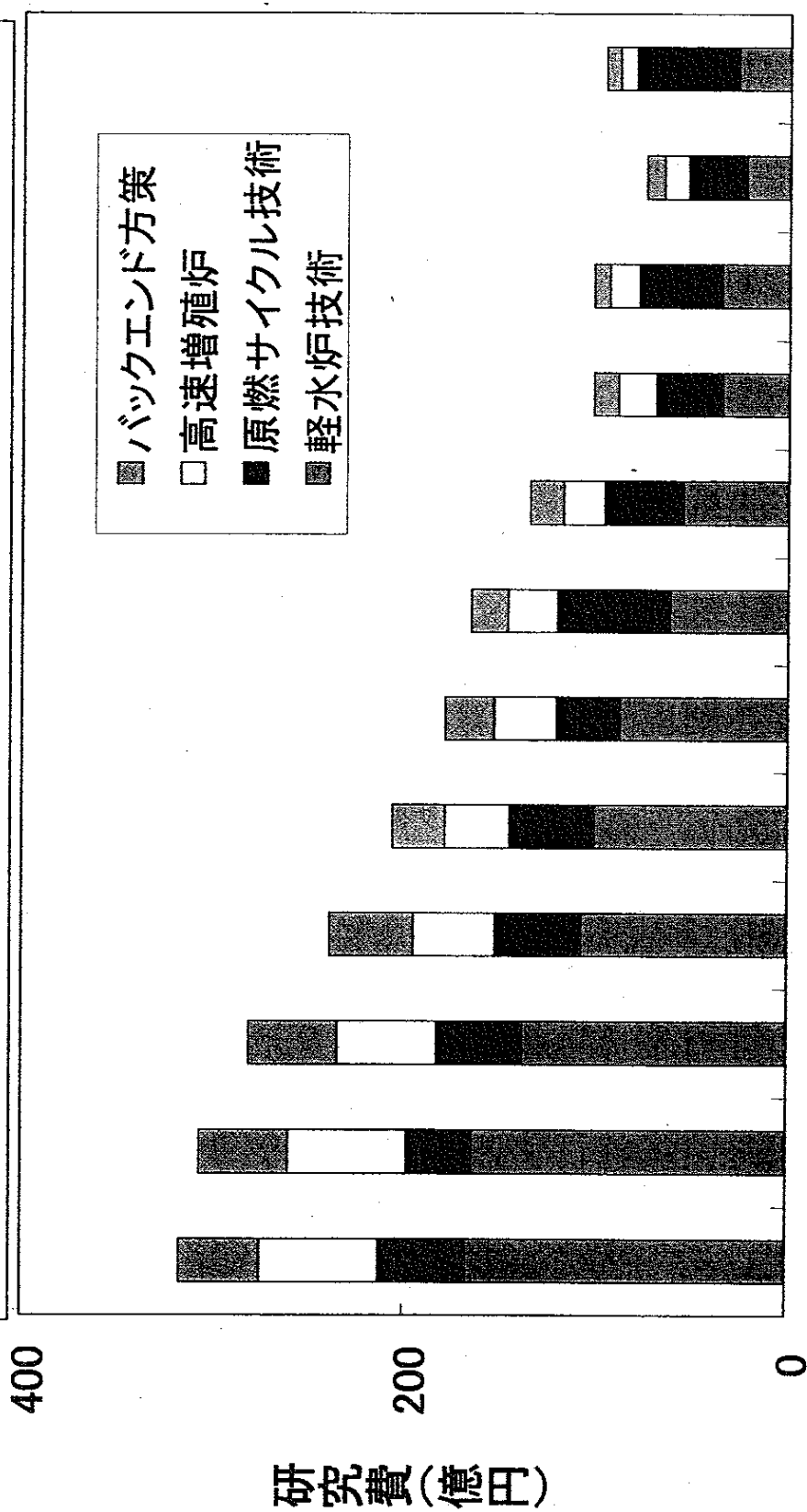


(注1) 数字は、平成19年度政府予算案で、()内は平成18年度予算額、単位は億円。
 (注2) 総額は、平成19年度政府予算案が約162億円、平成18年度予算額が約172億円。

(原子力安全・保安院 作成)

電力共通研究費(注)の推移

電力共通研究費は特に軽水炉技術に関する研究費の減少により、10年間で約3分の1に減少しており約100億円で推移している。

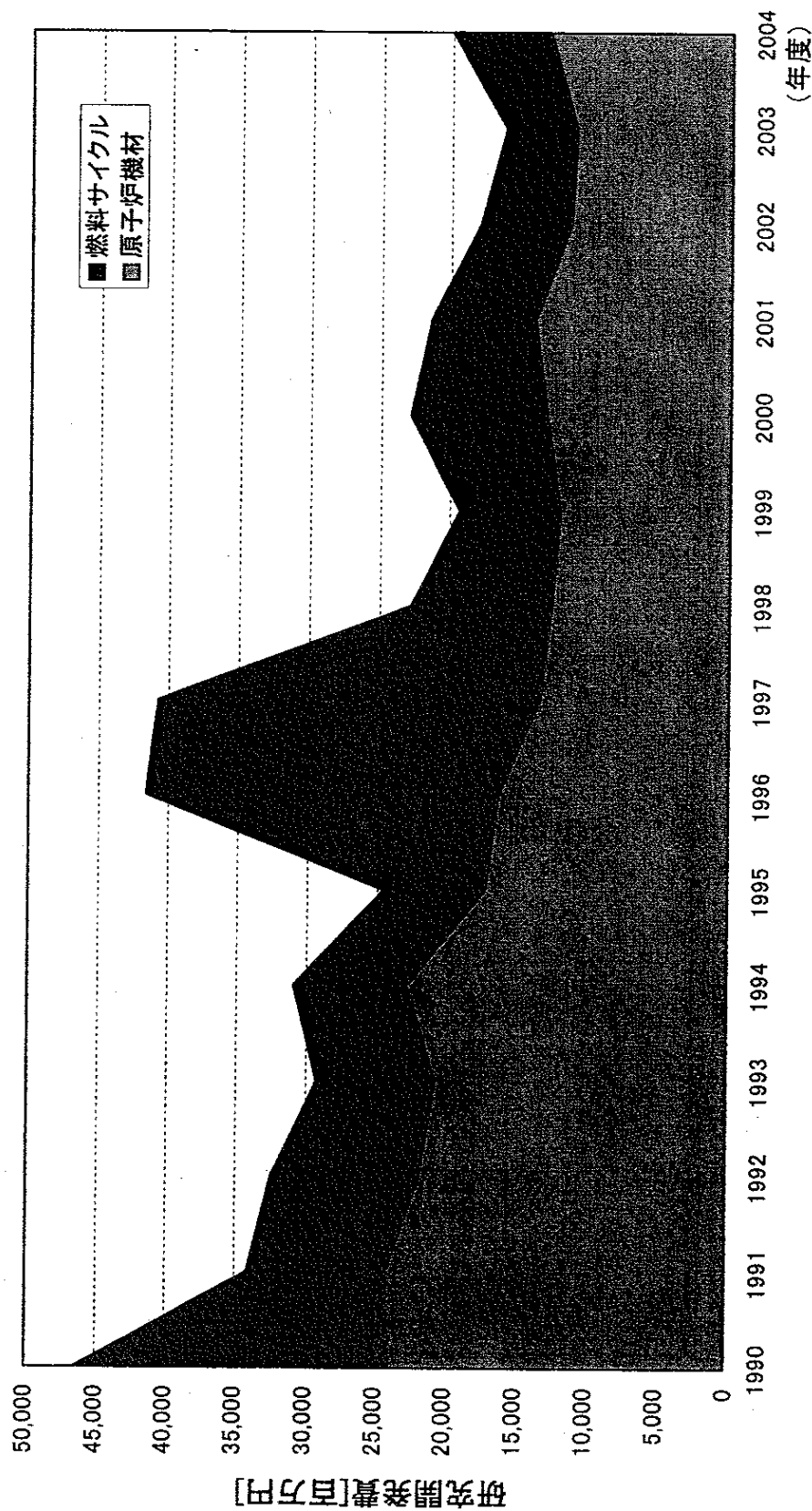


(注)電力共通研究とは、電気事業者(9電力+原発+電源開発)の共通ニーズにより実施する研究。

(電気事業連合会調べ)

原子力機器メーカーの原子力研究予算の推移

1996年度及び97年度に燃料サイクル関係の研究予算が大幅に増加したが、全体的な傾向としては漸減状態であり、近年は200億円弱で推移している。



(出典)平成11年度原子力産業実態調査報告及び平成16年度原子力産業実態調査報告((社)日本原子力産業協会)

米国における原子力規制委員会(NRC)と電力研究所(EPRI)による共同研究

1. 目的

研究データ及び研究から得られる技術情報が双方にとって有用であって、資源の節約と重複の回避が図られることを目的としている。

2. 共同研究の制度

- ① 研究プログラムの対象は、両者の利害が対立するものを除外。
- ② 実施に当たっては、運営委員会が研究プログラムの調整、優先順位付け等を、技術検討グループが研究プロジェクトの技術面の検討を実施。
- ③ 特許取得は、プロジェクト毎に双方で協議の上で決定。
- ④ 知的所有権の対象とならないデータ及び成果は全ての参加者で共有。
- ⑤ 双方の合意で、どのプロジェクトにも国内外の第3社が参加することが可能。
- ⑥ 資金はNRC及びEPRIから支給されるが、資金のみならず研究の管理、その他作業等のサービスでの分担も可能。

3-1. 研究テーマ(一例)

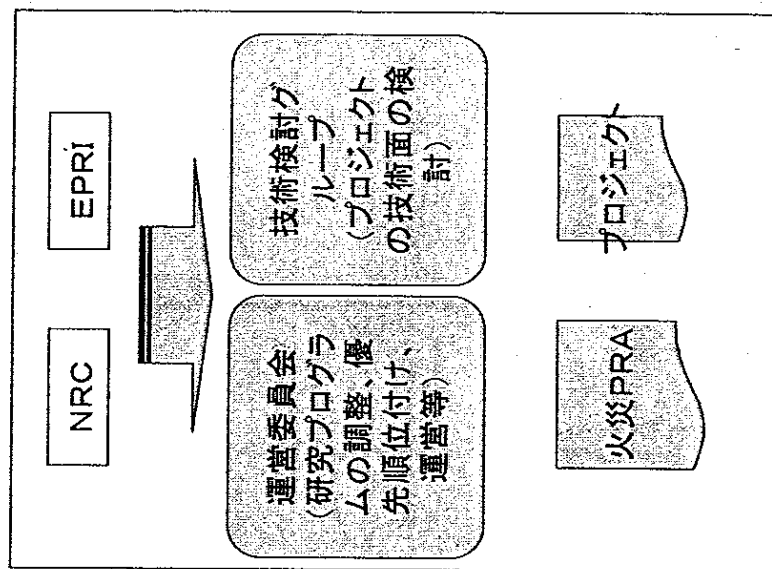
原子力発電プラントの火災に関する確率論的リスク評価(PRA)の手法

3-2. 研究内容

原子力発電プラントの火災リスクに関する解析を行うための体系的枠組及び解析事項等を要領としてとりまとめた。

(NUREG/CR-6850(EPRI1008239))

共同研究のイメージ



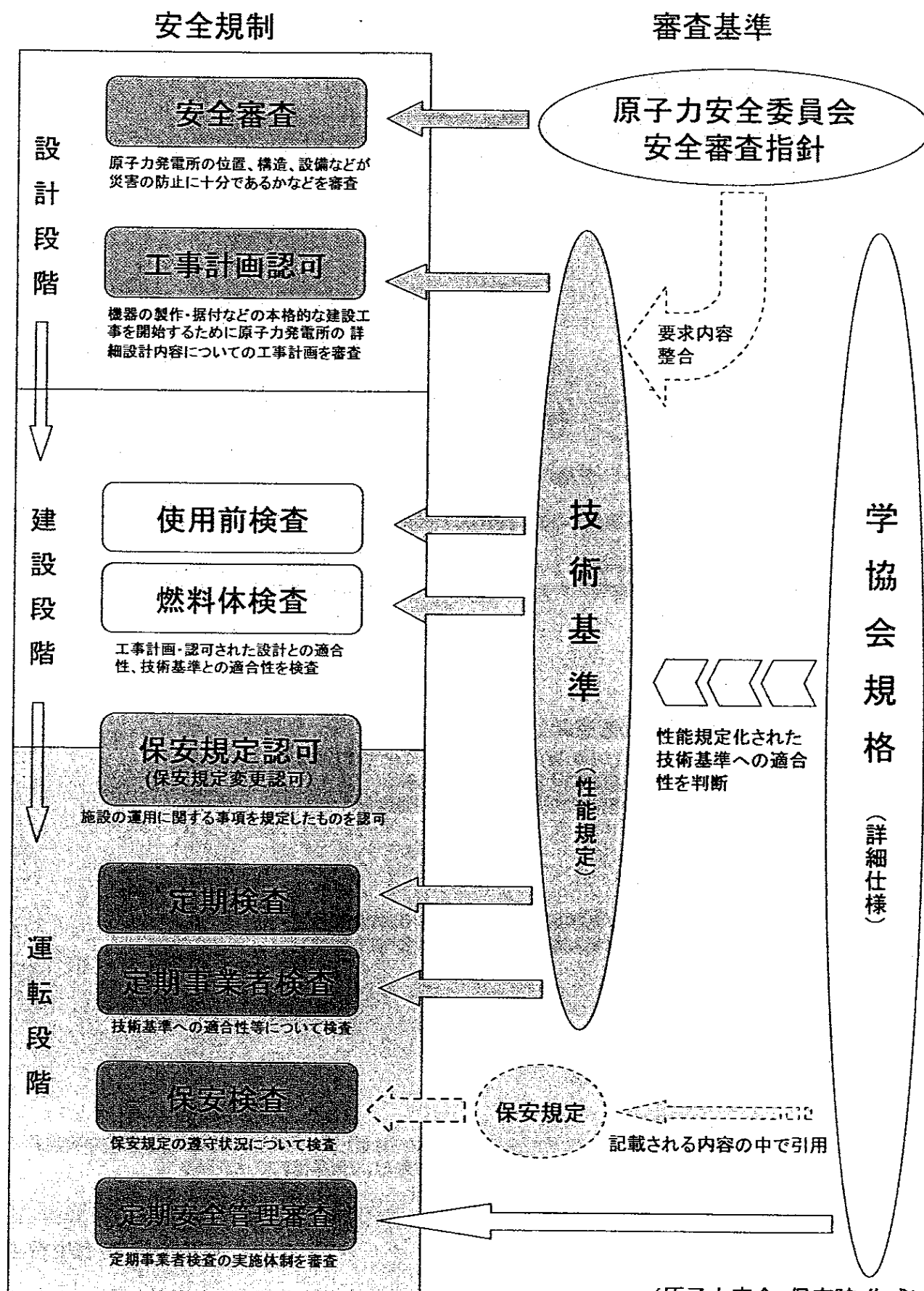
(米国原子力規制委員会ホームページより)

各国の原子力規制関連安全研究の現状

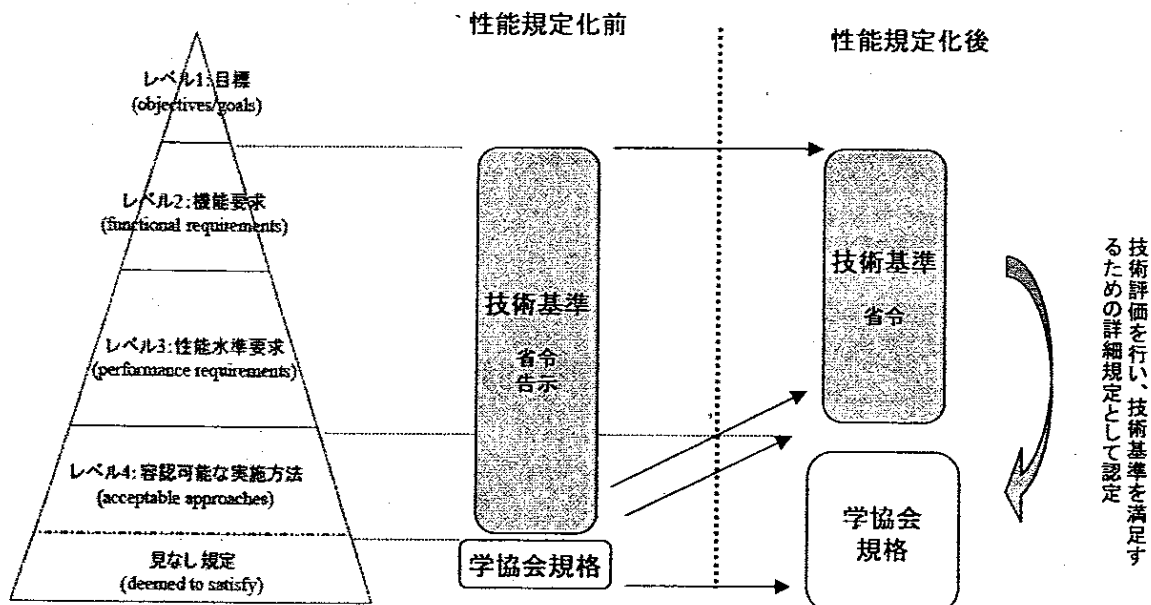
| | 米国/NRC | 仏・IRSN | 独・GRS | 韓国・KINS |
|---------|---|--|---|---|
| 研究方針 | 規制研究プログラムは、技術的助言、技術的手段並びに安全問題の特定と解決、規制判断及び規則・ガイダンス公表の情報の提供を促進すること、NRC規制使命の達成を促進することを目的とする。 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線防護訓練 原子力安全・放射線防護広報活動 環境放射線・従業員被ばく等管理等を重視 | <ul style="list-style-type: none"> 原子力安全分野を中心に、工業施設の安全性を評価・改善し、技術的な危険やリスクから住民と環境を防護するための知識、最新の方法、質の高いデータを提供する。 | <ul style="list-style-type: none"> 首尾一貫した規制体系確立 世界レベルの高度な規制技術の確立 現実的・実証的で確認された技術に基づく安全評価 |
| 予算 | NRC全体で約6.7億ドル(約760億円) その内研究予算は6.870万ドル(約78億円) (2005年会計年度) | 約3億ユーロ(約446億円) <ul style="list-style-type: none"> 政府予算約2億6000万ユーロ(約386億円) 契約収入約4000万ユーロ(約60億円)(2004年) | 約5380万ユーロ(約80億円)(2004年) | 約700万ドル(約8億円、中・長期プロジェクト) |
| 人員 | NRC全体の職員数は約3110名 規制研究局(RES)の職員数は約200名 程度 | 1471名(2004年12月末) | スタッフ数は約400名(2004年) | 規制研究部54人 |
| 重要研究テーマ | <ul style="list-style-type: none"> 材料劣化(SCC、ホウ酸腐食) 高放射性廃棄物(使用済燃料の輸送等) 新規技術(先進炉技術、MOX性能) 運転経験 PRA技術 計算コード(過酷事故、環境影響評価、臨界性、火災、熱水力挙動、燃料性能、PRA) | <ul style="list-style-type: none"> 人間因子 PWRなどの安全解析 運転中原子炉の安全評価 PWR経年劣化 通常運転時・事故時の燃料と管理 将来炉(G-IV) シビアアクシデント プラント・輸送・解体の安全評価 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉安全研究 原子炉安全解析 燃料供給・廃棄物管理・放射線防護 処分場安全研究、 | <ul style="list-style-type: none"> SMART炉の開発、規制に関するフレクシビリティ 原子力安全規制技術開発 首尾一貫規制確立・最適化 放射線防護規制技術開発 CANDU炉安全評価技術開発 サイト耐震評価技術開発 |

(JNES資料より、原子力安全・保安院作成)

原子力施設の安全規制への規格基準類の適用



技術基準の性能規定化と学協会規格の活用



- ① 規制基準は要求性能を中心とした規定とし、その実現方法として学協会規格をはじめとする民間規格を積極的に活用
- ② 事業者が個別に要求性能を満足することを証明した仕様を示した規格をはじめとする自主規格についても、これを認め、その旨公示
- ③ 民間規格が整備されていない場合は、対応する学協会規格の策定を奨励するとともに、これが策定されるまでの間は、従来の仕様規定に定められていた仕様を、規制基準で要求する性能を満たす規格として位置付け

原子力安全委員会安全審査指針

- ・原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて
- ・発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針
- ・発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針
- 等

技術基準

- ・発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令(省令62号)
- ・発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令(省令63号)
- 等

学協会規格

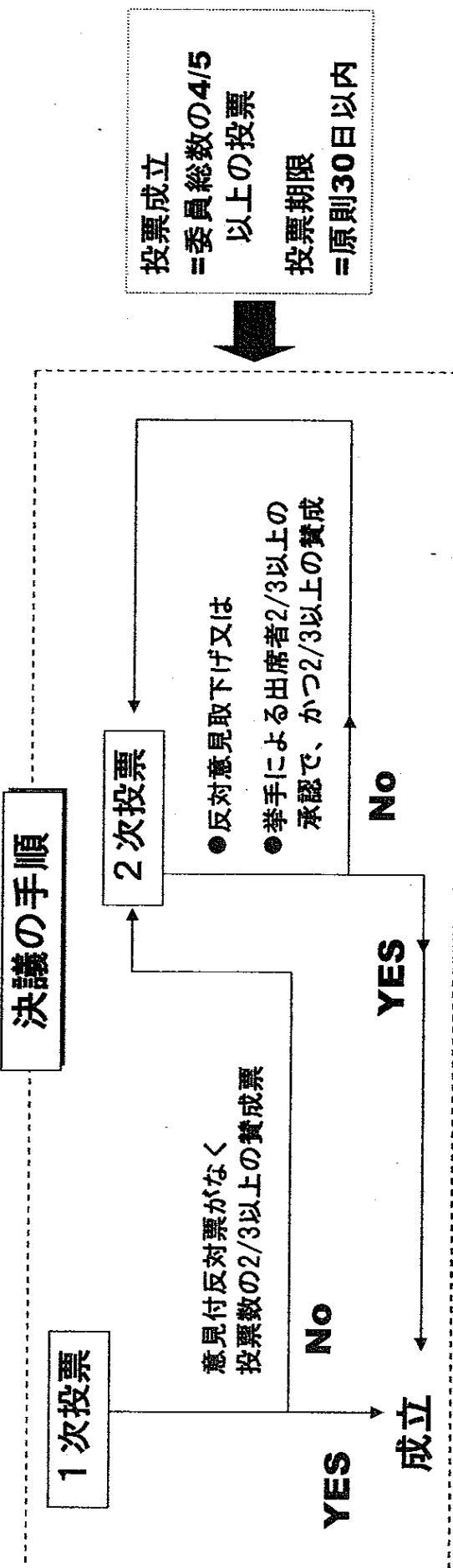
- ・日本機械学会 設計建設規格
維持規格
溶接規格
- ・日本原子力学会 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準
原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価手順
- ・日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針
原子力発電所の品質保証指針
- 等

(原子力安全・保安院 作成)

学協会の規格策定プロセス

日本機械学会(発電用設備規格委員会及び原子力専門委員会)の例

○ 委員会の構成：特定業種から最低5業種含まれ、かつ同一業種からの委員が委員総数の3分の1以下(委員長等は除く)



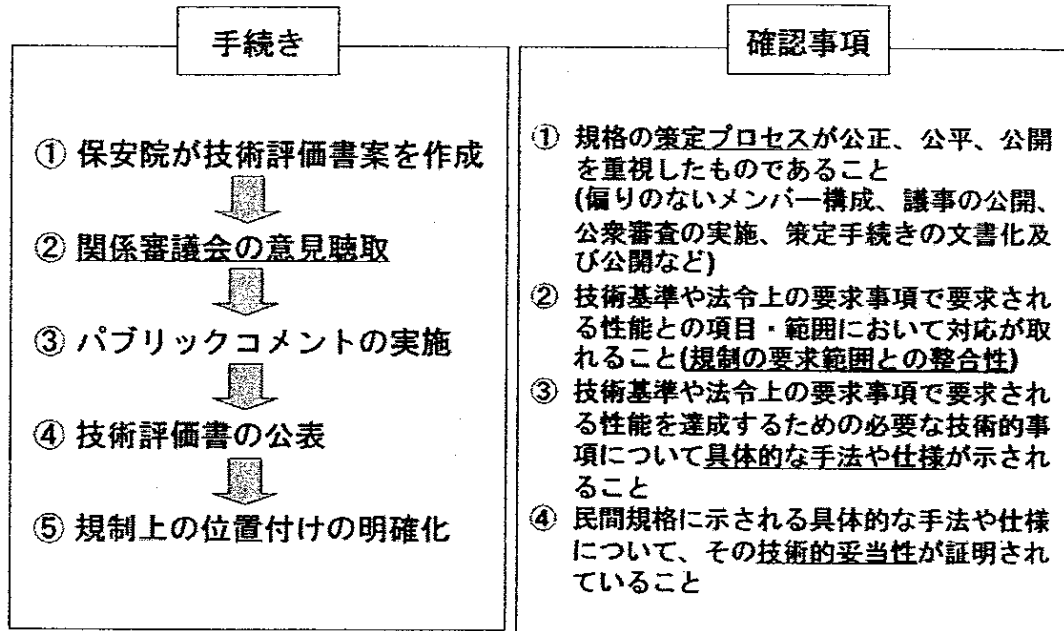
● 公開性 ① 委員会の開催日時はあらかじめ公表(傍聴可能)
② 議事録は公表
③ 2ヶ月間の公衆審査の実施

(参考) 規格策定フロー 分科会 → 原子力専門委員会 → 発電用設備規格委員会 → 規格の発行
承認 承認

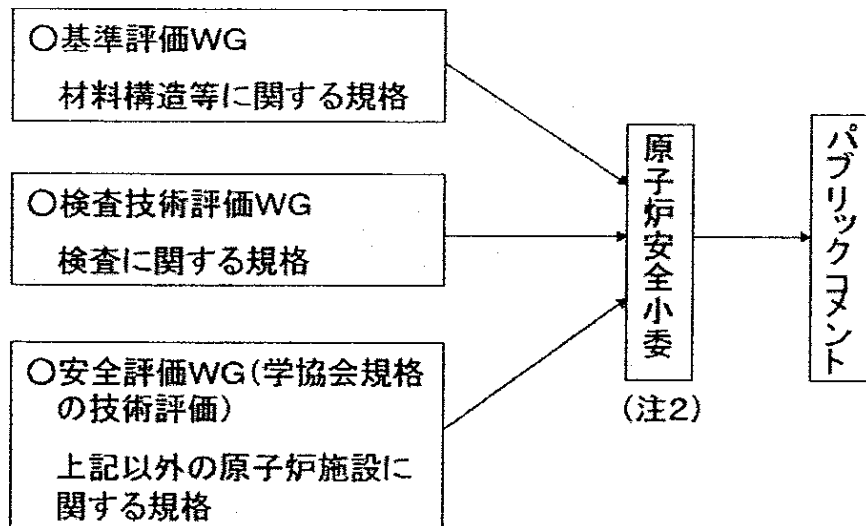
(原子力安全・保安院 作成)

原子力安全・保安院における技術評価のプロセス

技術評価の手續及び確認事項



原子炉安全小委員会及び同WGにおける審議



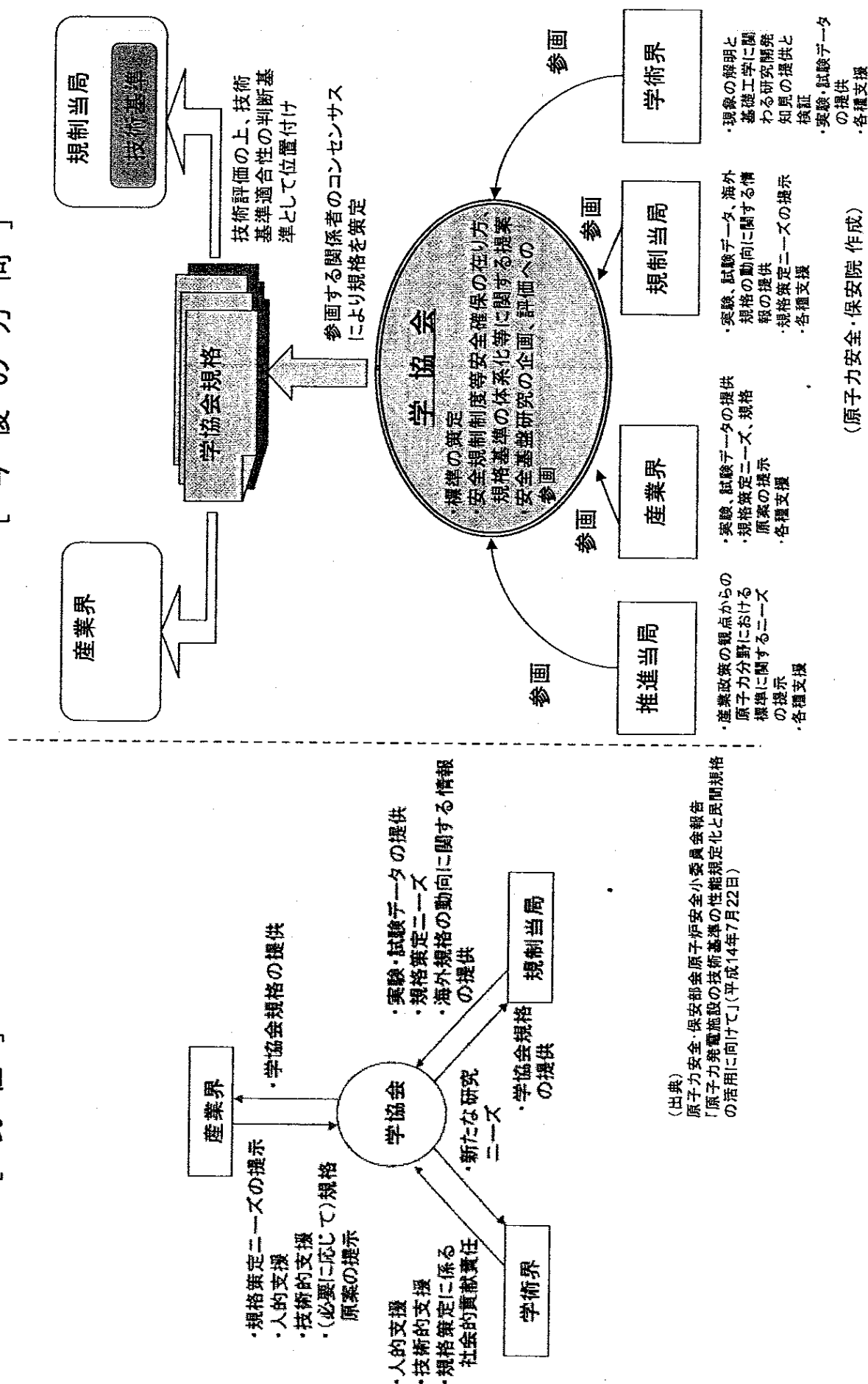
(注1) 耐震関係の学協会規格については、耐震・構造設計小委員会及び関係WGにおいて検討

(注2) 改訂規格等では、WGの審議により原子炉安全小委の審議に代えることができる。(平成17年11月原子炉安全小委)

(出典)原子力発電施設の技術基準の性能規定化と体系的整備について ～最終取りまとめ
原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会性能規定化検討会(平成17年12月)

(原子力安全・保安院 作成)

「今後の方角」



原子力分野の各機関における人材問題の現状と課題

資料 3-1

| 事項 機関 | 求められる人材と人材育成・確保の考え方 | 現状 (技術系人材数、採用者数等の動向) | 今後の課題 |
|--------------------------------|---|--|---|
| 電気事業者 及び その協力会社 | ○原子力発電所の確保・運用 ①全体を俯瞰し開発・管理・運用について企画・調整をするジェネラリスト ②専門知識を活かし個別の課題解決に対応できるスペシャリスト ③地域との橋渡しや、国際的に活躍できるコミュニケーション・タレントエンジニア ○基本的にはOJTによる人材育成 | ○研究開発、設計、建設等部門の技術系人材の減少 ○原子力関係技術者は電気、機械、化学、原子力等から採用。ここ数年採用者は横ばい傾向。(原子力工学系出身の採用数はほぼ一定) | ○原子力を支える基礎・基盤技術(炉物理、構造材料等)分野の技術力の維持・確保 ○高齢化対策分野(信頼性工学、保全学等)の知識基盤強化 ○保守管理の作業品質の確保向上の観点から協力的会社も含めた人材の確保 |
| 原子力開発 メーカー | ○「ものづくり」に興味を持つ人材 ○原子力工学系、機械工学系、電気・電子工学系、物理系、金属・化学工学系及び材料・腐食・水化学系分野から採用 | ○研究開発、設計、原子炉機器製造部門等の技術系人材の減少 ○原子力部門での原子力工学系出身者は採用者の3割、機械系、電気系、材料系等基礎・基盤分野が7割 | ○原子力を支える基礎・基盤技術(炉物理、構造材料等)分野の技術力の維持・確保 ○国内で計画中の発電所の建設、将来のリリース需要、海外案件を踏まえ、原子力部門技術者の増員を検討 |
| 規制機関 (原子力安全・保安院、原子力安全基盤機構等) | ○規制機関の職員 ①原子力安全規制行政について一定の経験を有し、規制制度・手法等に明るいプロパー職員 ②産業界からの中途採用者を中心とした原子力技術について高い専門性を有する職員 ○技術的専門的な観点から規制制度、個別案件等に意見をいただく原子力を支える基礎・基盤分野、特定技術分野等の外部専門家 | ○今後数年で定年退職を迎える中途採用職員による ○外部専門家人材全体の高齢化と、機械工学、土木工学、電気工学、原子力システム工学・原子力安全工学分野等における外部専門家の高齢化と減少 | ○職員については当面、産業界からの中途採用による人材確保とともに、新規採用と研修制度の拡充による育成強化 ○外部専門家人材の育成確保 |
| 大学・大学院等 教育研究機関 | ○先端性、専門性の高い科学的技術的知見を有する者 基本的には、大学・大学院等では原子力を支える基礎・基盤分野を維持・確保することを期待。 | ○原子力の体系的専門教育の困難化(教育環境) ○原子力を支える基礎・基盤研究の困難化(研究環境) | ○産業界・規制当局のニーズを踏まえた教育・研究の実施 |
| 研究開発機関 (日本原子力研究開発機構等) | ○先端性、専門性の高い科学的技術的知見を有する者 基本的には、原子力機構等研究実施機関では特定技術分野の知見を維持・確保することを期待。 | ○研究員の高齢化と減少 ○特定分野の難しい技術的知見の継承、人材不足 | ○研究開発の核となる人材の育成確保 |
| 学協会 | 産学官からの専門家が規格・基準策定等標準活動を実施。 技術分野毎の専門家に加え、原子力安全システム全体を俯瞰できる専門家(コードエンジニア等)が必要。 | 原子力の特定技術分野の専門家の高齢化と減少 | 専門家人材の育成確保 |

平成18年度「原子力人材育成の在り方研究会」(原産協会)報告等を踏まえ原子力安全・保安院作成

原子力人材育成・確保の支援策の概要

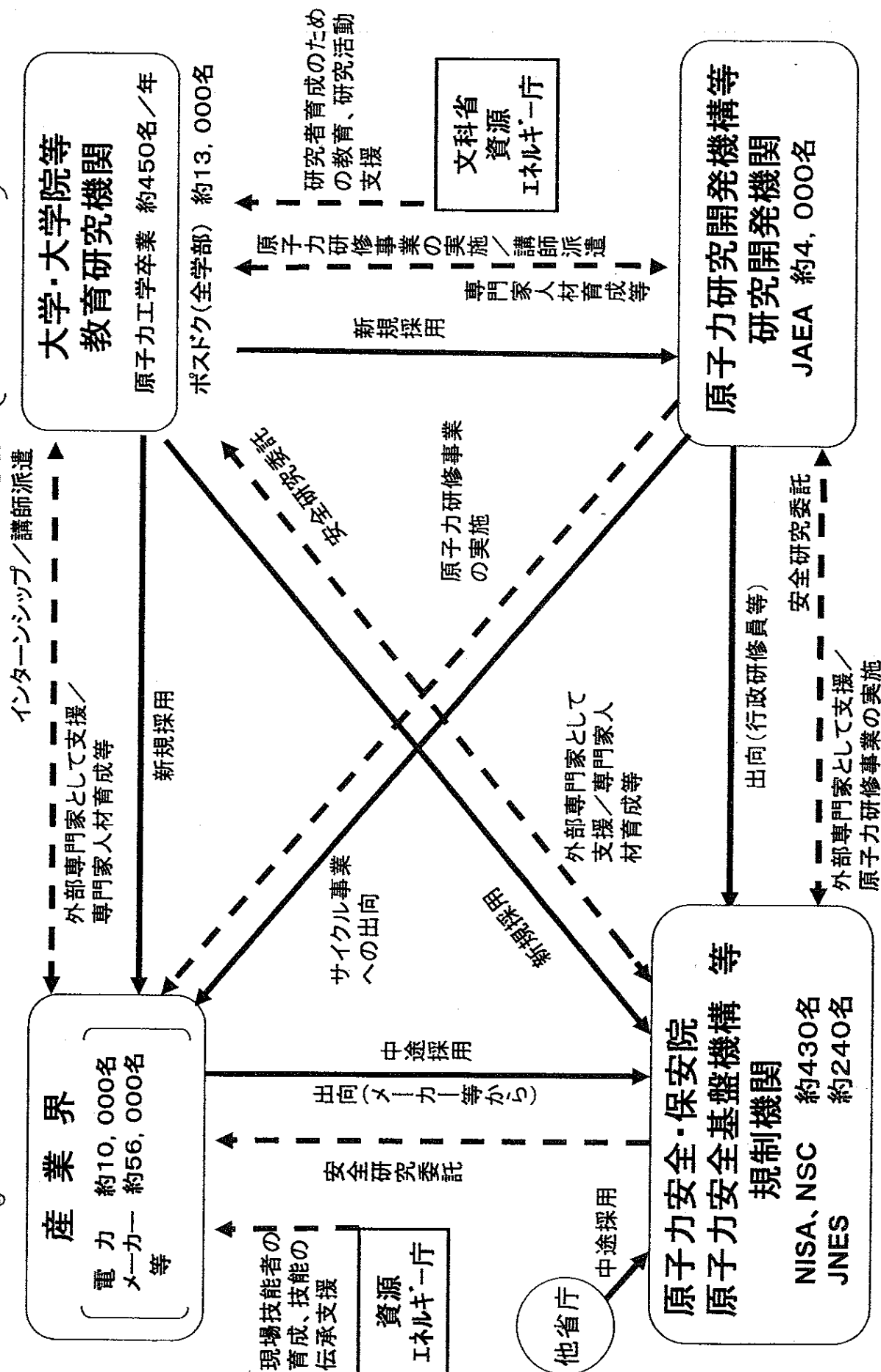
| 分野 | 現場技能 | 基礎・基盤 | 特定技術分野 | 特定 なし |
|--------------------------------|---|--|--|---|
| 人材 教育研究機関 大学・大学院 高専 等 | | <p>[原子炉工学、放射線安全、腐食、構造・材料強度、物性、溶接等]</p> <p>原子力人材育成プログラム</p> <p>文部科学省(1.5億円)</p> <p>○研究促進(研究研修活動支援)、研究基盤整備(研究教育基盤の整備支援)、教授人材の充実 等</p> <p>資源エネルギー庁(2.6億円)のうち</p> <p>○教育支援(教材の購入等教育活動の強化)、原子力体感(インターンシップ支援)</p> <p>原子力人材育成プログラム</p> <p>資源エネルギー庁(2.6億円)のうち</p> <p>○ 基盤技術分野の強化(産業界からのニーズ提示を踏まえた大学で行われる研究開発を支援)</p> | <p>高度燃料利用技術、保全工学、高経年化対応技術(材料照射)、核燃料サイクル技術、原子力安全システム、社会安全技術 等</p> | <p>(若手対象型)</p> <p>原子力システム研究開発事業</p> <p>(平成19年度から若手研究者の育成を考慮した提案に重点)</p> <p>文部科学省 52億円 (63億円)のうち</p> |
| 研究機関 原子力機構 産総研 等 | — | <p>[原子力人材育成プログラム(基盤技術強化)については、大学と産業界、研究機関との共同研究も対象]</p> | | |
| 産業界 電力 メーカー等 | 原子力の現場技能者の育成・技能継承の支援モデル事業 資源エネルギー庁 0.9億円(0.6億円) | 同上 | | |

※原子力研究開発機構は植数の大学等と連携しつつ、大学等への客員教授派遣の人的協力、施設の供用等を通じた人材育成を行う「連携大学院ネットワーク」を実施している。
※金額は平成19年度予算案、括弧内は平成18年度予算額。「原子力人材育成プログラム」は平成19年度新規事業。

(原子力安全・保安院 作成)

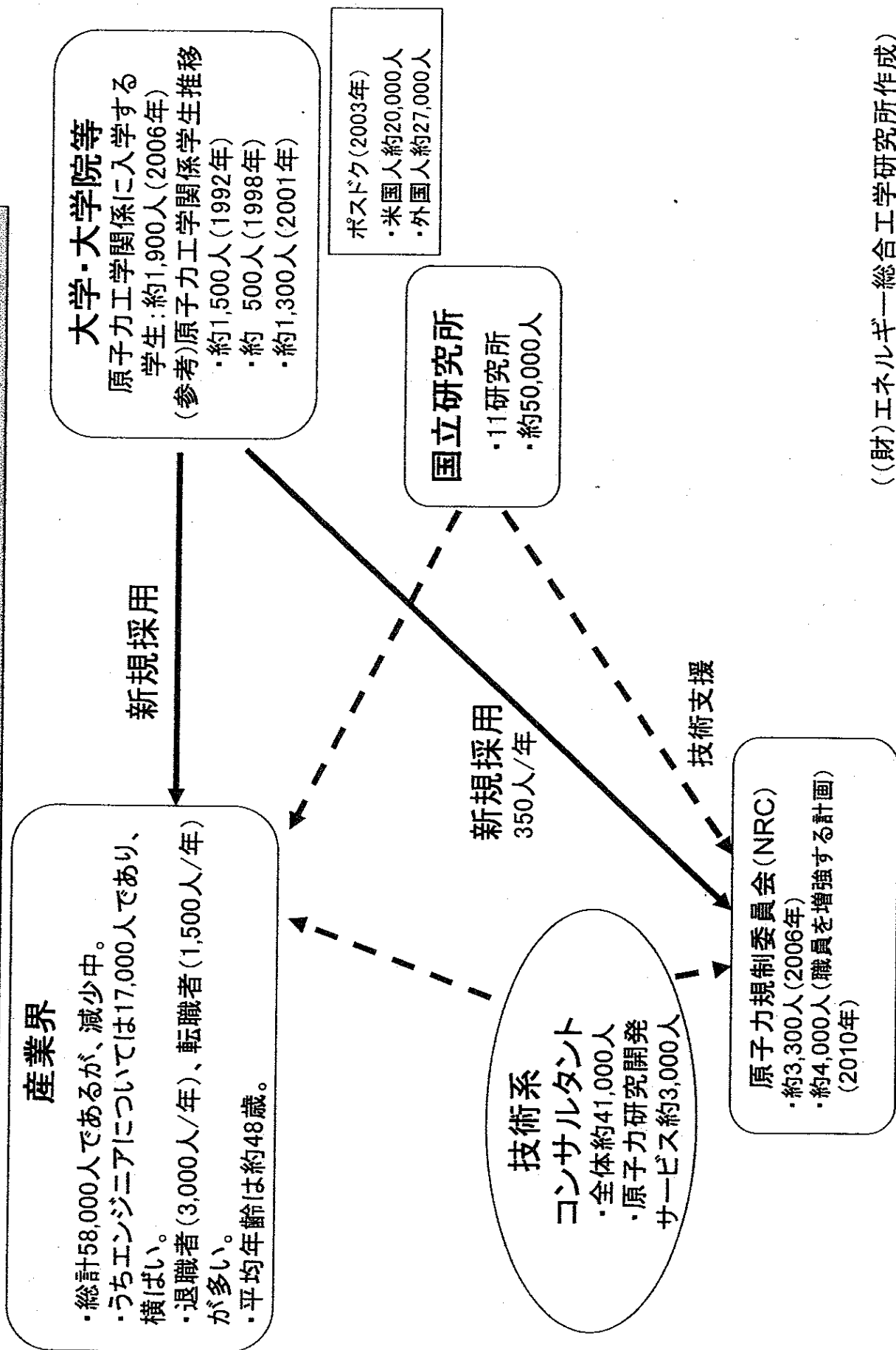
実線：人材の流れ
点線：技術的、財政的支援等の流れ

原子力分野の人材に関する各機関の関係



(原子力安全・保安院 作成)

米国の原子力人材分野における各機関の関係



((財)エネルギー総合工学研究所作成)

保修に関する民間技量認定制度の概要

原子力発電所の機器・設備の点検・補修に関する民間技量認定制度については、(社)日本原子力産業協会(旧:(社)日本原子力産業会議)(以下「原産協会」)内の検討において技能者育成に関する提言が出された。

この提言に基づき、原産協会下に検討委員会を設け、制度の全体的な検討が行われた。(検討期間:平成17年9月～平成18年3月)

- 制度の目的……保修従事者の技能レベルの維持向上、将来の人材確保(保修従事者の技量レベルを客観的に評価し認定)
- 対象とする技能……点検等の施工に関する一般的な技能(特殊なものを除く)
- 認定クラス区分……初級従事者(新入社員等)から熟練者までの4区分(C, B, A及びマイスター)
- 認定までの手順……受験条件達成, 認定試験, 認定
- 認定組織, 認定イメージの策定
- 制度具体化にあたっての問題点, 課題等の整理

(「原子力発電所の保修に関する民間技量認定制度の検討結果報告書(平成18年6月, 原産協会)」より)

米国における原子力コンサルティング・サービスの状況

| | |
|-------------------|--|
| 規制機関(NRC)に対するサービス | <p>主として、マネジメント、情報技術に関する専門的サービスや技術審査請負サービスを提供。その他の契約形態として、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・核物質管理・保障措置システム(Nuclear Materials Management and Safeguard System: NMMSS)運用などの、特定のNRCプログラムの運営。 ・NRCの計画・予算・パフォーマンス管理プロセス(Planning, Budgeting and Performance Management process: PBPM)の評価。 ・ITサービスに関し、エンタープライズ・アーキテクチャ(Enterprise Architecture: EA)の提供。などがある。 |
| 電力会社に対するサービス | <p>原子力コンサルタントは、戦略、エンジニアリング、燃料調達、放射線防護、廃棄物管理、環境サービス、ASMEコード等の規格基準作成、その他の運用サービスなど様々な分野で活躍。コンサルタントの契約形態は</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特定のプロジェクトにおいて小規模な独立した契約 ・大手電力会社の主要サービスに関連する契約 <p>などがある。</p> |
| ベンダーに対するサービス | <p>原子力に関連するベンダーは多岐にわたり、各分野のニーズに応じたコンサルタントサービスが提供されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料ベンダーに対する、市場情報や取引における情報提供、仲介サービスの提供。 ・Uranium Exchange社は世界中の核燃料ベンダーに迅速で信頼性の高い市場情報の提供や、核燃料の売り手及び買い手の取引の進展及び仲介サービスを提供。 |

| | | |
|----------------------|----|--|
| 代表的コンサルティングサービスの会社の例 | A社 | <ul style="list-style-type: none"> ・1891年、設立。 ・エネルギー関連の大手コンサルティング会社。 ・2005年の売上は1億1,500万ドルに達した。 ・従業員数は、世界中に1,800人 ・原子力及び化石燃料発電所へエンジニアリングやその他の支援サービスの提供。 ・立地計画、建設の始動、運用及び保守サービス、システムのアップグレード、廃炉などを含む。 ・設計を手がけた発電所数は、全世界で約900近く。 ・主に発電所のライフサイクルコストの見積・評価、発電所の改修に伴う経済効果の評価の実施。 ・原子力発電所の取引に関する技術及び経済評価に関する情報提供。 ・専門知識を活かした、原子力施設への投資やライフサイクルを管理するためのオプションの探求や計画的戦略の策定の提供。 |
| | B社 | <ul style="list-style-type: none"> ・1983年、設立。 ・政府機関及びユーティリティを顧客とする、コンサルティング工学と技術サービス会社として設立。 ・発電サービス、製品、安全、リスク分析、情報技術、人材育成、規制情報等、多方面にわたるサービスを電気事業者などのクライアントに提供する。 ・設立からの10年間で年間売上高2300万ドルと従業員250人以上の会社に成長。 ・その後も内部の能力拡張、M&Aにより2005年の歳入を5000万ドルとするまで成長。 |
| | C社 | <ul style="list-style-type: none"> ・1968年、設立 ・核燃料の情報サービスやキャスクの設計及びライセンスを提供するパイオニア。 ・エネルギー関連のコンサルティング、情報サービス、使用済み核燃料の管理技術を世界中の電力会社や政府組織、生産業者、燃料ベンダー、金融機関に提供。 ・特に核物質の輸送、使用済み燃料の保存と輸送技術、核燃料サイクル関連のコンサルティングや情報サービスを専門。 ・燃料調達やパフォーマンス評価、規制手続きに関する支援サービス等も提供。 ・オフィスは米国、ロンドン、モスクワ、東京など世界中に拡大。 ・200社以上の顧客を対象に多様なプロジェクトを展開。 |

国内外の主な安全基盤研究施設

熱水カ・シビアアクシデント、燃料・材料等の分野で各国独自、或いは国際的なプログラムのもとで活用された。90年以前に整備され、20年以上経過している施設が殆ど。熱水カ・シビアアクシデント分野では知見の共有化から特定の施設において国際的なプログラムを進める一方、燃料・材料分野では各国それぞれ基盤施設として整備された。

| 国 | 分野 | 熱水カ・シビアアクシデント | 燃料・材料 | 炉物理・臨界 |
|-------|----|--|---|---|
| 米 国 | | SBWRの事故時挙動熱水グループ (PUMA) | 燃材料照射試験炉 (ATR) 材料機械特性試験施設 | |
| 日 本 | | 大型非定常試験装置 (LSTF) 核熱結合模擬試験装置 (THYNC) | 原子炉安全性研究炉 (NSRR) 材料試験炉 (JMTR) 燃料試験施設 (RFEF) | 燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) 軽水炉臨界実験装置 (TCA) 炉物理臨界試験装置 (KUCA) |
| 韓 国 | | LOCA模擬実験施設 (ATLAS) 水蒸気爆発実験施設 (TROI) 炉容器底部溶融炉心保持模擬施設 (SONATA-4) | 燃材料照射試験炉 (HANARO) 燃料試験用ホットラボ (PIEF) 材料試験用ホットラボ (IMEF) | |
| フランス | | 炉心損傷実験用原子炉 (PHEBUS) 水蒸気爆発実験設備 (KROTOS) | 過渡出力時燃料挙動研究炉 (CABRI) 燃材料照射試験炉 (OSIRIS) 燃材料試験用ホットラボ (LECA) | 臨界実験装置 (Apparatus B) |
| ノルウェー | | | 燃材料照射試験炉 (Halden炉) | |

(原子力安全・保安院 作成)

OECD/NEA国際共同研究プロジェクト

OECD/NEAにおける、研究施設基盤の維持に関する議論、提言(後述)を契機に、熱水力安全分野、シビアアクシデント分野、燃料・材料分野でのOECD/NEAの国際共同研究プロジェクトが提案され、実施されている。我が国も下記プロジェクトに参加し、ROSAプロジェクトでは我が国がホスト国となり、原子力研究開発機構の大型非定常試験装置(LSTF)において研究活動が行われている。

OECD/NEAプロジェクトの資金については、ホスト国が総額の半分を分担し、参加国が残りを分担。実験結果を分担金に代えて提供する手法もある。

| プロジェクト | 試験装置(ホスト国) | 期間 | 参加国・予算 | 試験の概要 |
|---------------|--|-------------|----------------|--|
| 熱水力・シビアアクシデント | | | | |
| SETHプロジェクト | PWR模擬試験ルーブPKL(独)、格納容器内流動模擬施設PANDA(スイス) | 2001年～2006年 | 15カ国、約5.6億円 | PKL: PWR停止時のボロン希釈、PANDA: 格納容器内の水素の多次元挙動等 |
| PKLプロジェクト | PWR模擬試験ルーブPKL(独) | 2004年～2007年 | 14カ国、約1.4億円/年 | PWR停止時のボロン希釈及び崩壊熱除去 |
| ROSAプロジェクト | PWR模擬試験ルーブLSTF(日) | 2005年～2009年 | 14カ国、約1.2億円/年 | PWR熱水力安全評価手法の高度化(非平衡・非混合流動等) |
| MCCIプロジェクト | MACE装置(米国) | 2002年～2009年 | 13各国、約11.2億円 | 溶融炉心コンクリート相互作用 |
| Cabri/Kルーブ計画 | カブリ炉+水ルーブ(仏) | 2000年～2010年 | 13カ国 約120億円 | 高燃焼度燃料の反応度事故時挙動試験 |
| 燃料・材料 | | | | |
| Haldenプロジェクト | Halden炉(ノルウェー) | 2006年～2008年 | 17カ国 約72億円 | 軽水炉燃料の照射試験、プラント材料劣化試験等 |

(原子力安全・保安院作成)

安全基盤研究施設の活用に係る議論(1)

(1) OECD/NEA規制当局及び産業界の安全研究分野における協力に関するグループ会合 (GRIC: Group on Regulatory-Industry Cooperation on Safety Research)

○本グループは2003年、「安全研究における規制側と産業界の協力—挑戦と機会—」をとりまとめ。

○安全研究は将来にわたって不可欠であり、産業界では経済性優先が進み、一方規制側では予算が減少する環境で、規制判断の独立性を確保した両者の協力の重要性が増すこと、今後起こり得る安全問題に効果的に対処するためには、両者にとって高度な技術者集団と試験研究施設を維持することは不可欠、との提言

(2) OECD/NEA原子力施設安全委員会 (CSNI: Committee on the Safety of Nuclear Installations) / 上級専門家グループ

○同委員会は、92年、原子力安全研究に関する上級専門家グループ (SESAR) を組織し、安全研究が有すべき機能とそのために必要な研究施設について検討開始。「国際的には安全研究ニーズがあるにも拘らず、各国で必要な研究施設を維持できない状況である」と問題提起。

○上級専門家グループは、2001年、「原子力安全研究—閉鎖の危機にある施設とプログラム—」を取り纏め、また、本年3月、「原子力安全研究—既存炉及び新型炉の支援施設」の報告書を取り纏めたところ(→詳しくは次ページ)。

安全基盤研究施設の活用に係る議論(2)

OECD/NEA上級専門家グループ(研究施設とプログラム)

イ) 2001年に「OECD加盟国での原子力安全研究－閉鎖の危機にある施設と計画」をとりまとめ。熱水力安全、シビアアクシデント、燃料安全、プラント・構造物の健全性、人的因子等の分野ごとに、その施設、プログラムが対象とする課題(物理現象)、その安全上の重要性、知見が得られている度合い等について分析。

ロ) 閉鎖の危機にある研究施設の安全上の重要性を明確にし、当該施設を活用した国際共同プロジェクトの実施を提言。

OECD/NEA上級専門家グループ(既存炉及び新型炉の支援施設)




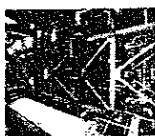
イ) 2007年に「OECD加盟国での原子力安全研究－既存炉及び新型炉の支援施設」をとりまとめ。分野毎に、(課題の重要性)×(知見の未熟度)×(施設の対応能力)を積算して、研究施設の重要度を定量的に評価。

ロ) 当該報告書の中で、我が国の施設については、LSTFが熱水力分野で1位、NSRRが燃料分野でハルデン炉に続き2位にランクされ、JMTRは材料分野でハルデン炉その他の材料試験炉と同等の評価を得た。

ハ) また、同報告書は、原子力施設安全委員会(CSNI)等に対し、産業界が研究施設とインフラの維持活動の重要性を認識し、それに積極的に参加するよう、具体的な方策をとるべきこと、長期的にどのような施設を幾つ維持するべきかといった戦略を立てること等を提言。

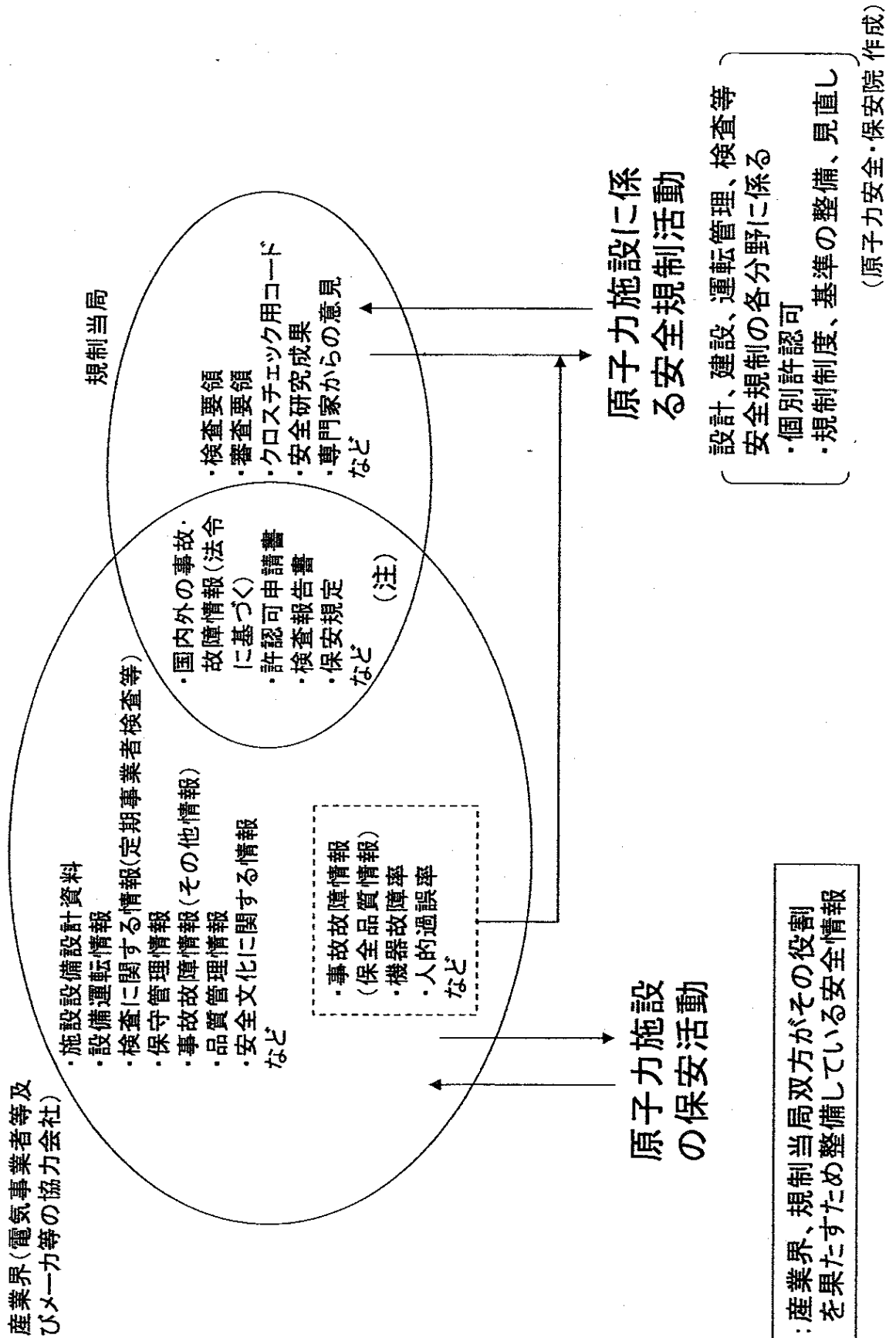
(原子力安全・保安院 作成)

日本原子力研究開発機構の主な安全基盤研究施設

| 研究施設 | 施設の概要 | 主要諸元 | 所在地 |
|--|---|---|------------|
| 材料試験炉 (JMTR)  | 軽水炉の高経年化に対応した材料照射試験、燃料の高度利用に対応した厳しい使用環境や異常過渡条件での照射試験を実施する中性子照射炉。照射試験体等を取扱うホットラボが付属 | 定常出力: 50MW 照射孔: 約60箇所 コンクリートセル: 8 小型検査セル: 12 | 茨城県 大洗町 |
| 原子炉安全性 研究炉 (NSRR)  | 反応度事故(RIA)時の燃料破損限界や破損影響を評価するためのパルス照射炉 | 定常出力: 300kW 瞬間最大出力: 23,000MW | 茨城県 東海村 |
| 燃料試験施設 (RFEF)  | 軽水炉、JMTR及びNSRRで照射された燃料棒の照射後試験、シビアアクシデントや冷却材喪失事故時の燃料挙動模擬試験及び原子力施設の事故・故障の原因究明に係わる材料分析等を行うための機器を備えたホットラボ施設 | 軽水炉の燃料集合体の取扱いが可能 燃料貯蔵プール: 1 コンクリートセル: 8 | |
| 大型非定常 試験装置 (LSTF)  | 現行及び次世代PWRシステムを実規模で模擬し、事故時や過渡時の冷却材挙動と炉心冷却を評価する電気加熱の熱水力総合試験装置 | 温度、圧力、高さ: PWRと同一。体積: 4ループPWRの1/48。炉心加熱電力: 10MW | |

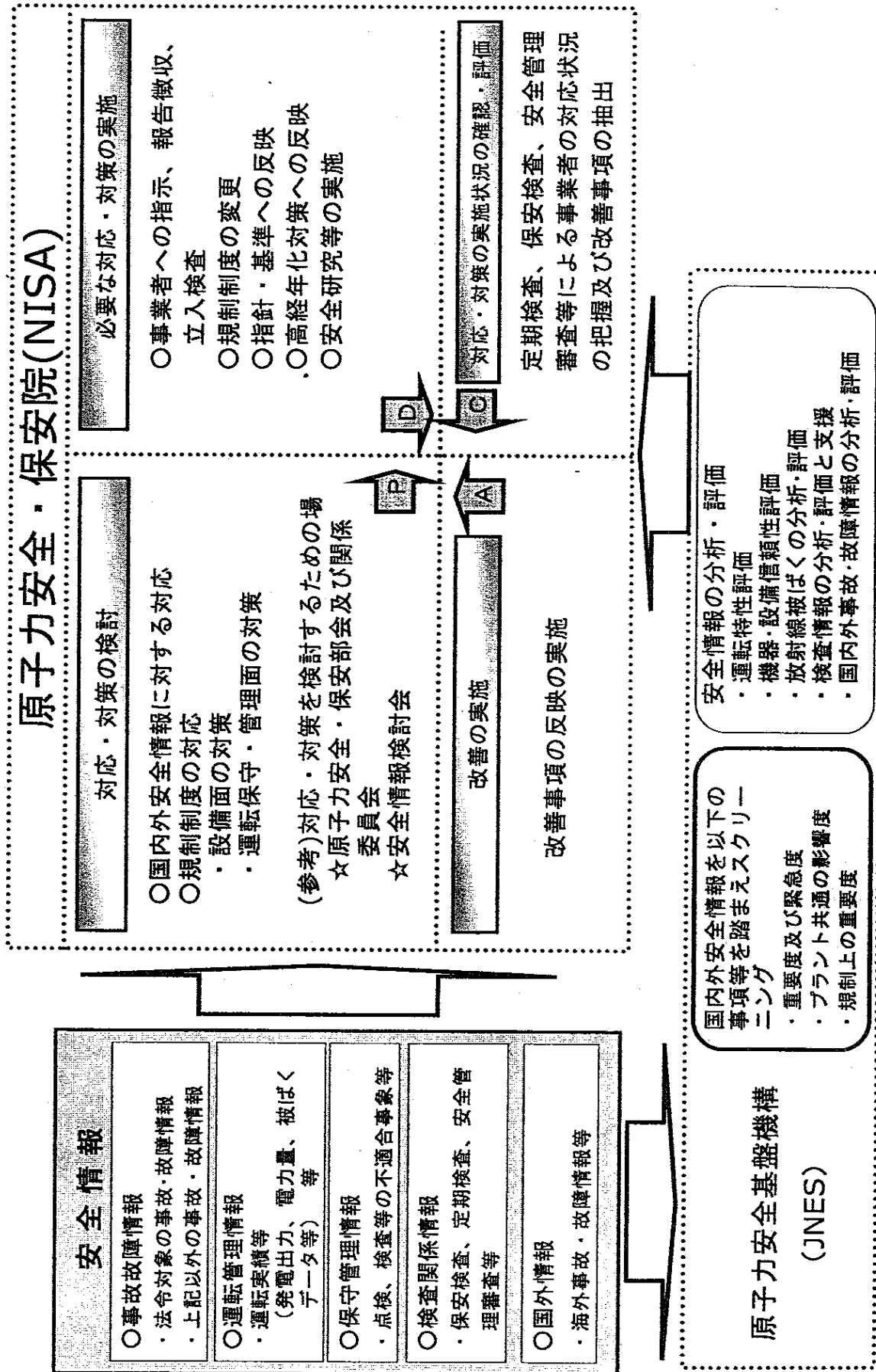
(日本原子力研究開発機構作成)

産業界及び規制当局における 原子力安全に関する知識基盤



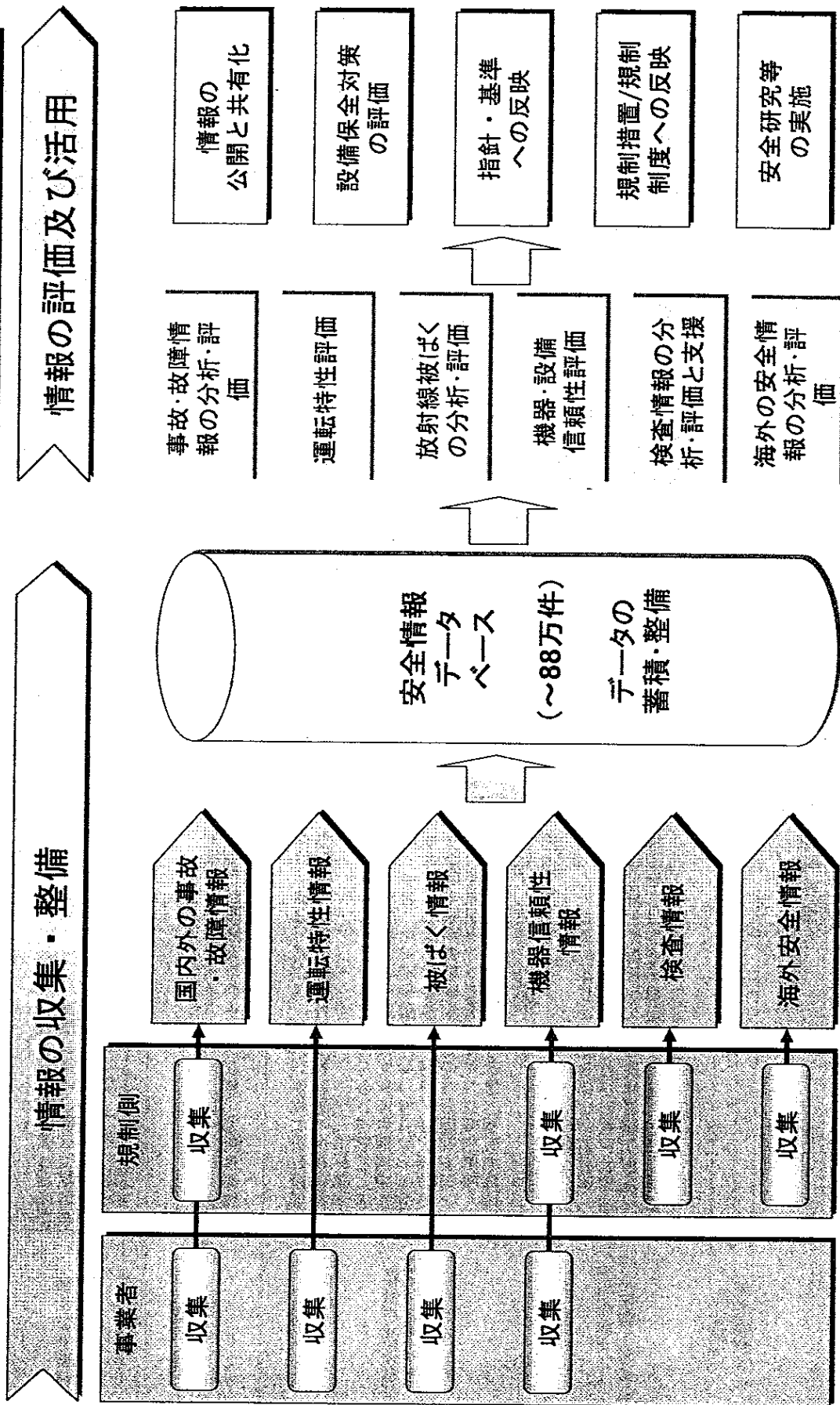
NISAとJNESの役割分担と情報の活用

原子力施設に関する安全情報を収集・分析し、原子力施設の保安確保のため活用



(原子力安全基盤機構作成)

JNIESにおける安全情報の収集・整備・評価、活用、活用の現状



(原子力安全基盤機構 作成)

原子力安全基盤機構(JNES)における安全情報の活用

| 安全情報活用の 主要分野 | 活用の目的 | 必要となる安全情報 |
|-------------------------|--|--|
| 国内事故・故障対応 (トラブル再発防止) | <p>○規制当局は、事故・故障の発生時に、国内外の類似トラブル事例やトラブル分析情報を収集し、事業者の原因究明・対策立案等の評価し、又同種事故等の再発防止を図る。</p> <p>○国内外で発生したトラブル事例を収集し、国内での水平展開が必要な教訓等をスクリーニングし、規制活動(規制措置、規制制度の変更等)に反映する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・国内のトラブルに関する情報 ・海外のトラブルに関する情報 ・海外の規制に係る情報 ・検査に関する情報(保安検査、定期安全管理審査結果等) |
| 検査制度の改善 | <p>○規制当局は、検査の効果的な実施のため、プラント毎の総合評価の具体化に向けて以下を検討している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・規制当局による検査結果及び安全実績指標(YI)を科学的・合理的に組み合わせ、プラント毎の評価を実施 ・規制当局による検査結果の重要度を分析する安全重要度決定手法(SDP)を導入 <p>○規制当局は、事故・故障等発生時に、事業者が人的過誤の直接原因分析を実施し、人的過誤低減の取り組みを適確に実施していることを確認するため、分析・評価するためのガイドラインを整備する。</p> <p>○直接原因分析で終始させでなく、組織要因まで遡って根本原因を明らかにするために、根本原因分析(組織要因)の調査対象の選定に係る考え方を整備し、事業者の根本原因分析実施内容を規制当局が評価するガイドラインを整備する。</p> <p>○事業者の日常保安活動の基礎となる品質保証活動をより一層確実なものとする取り組みを求めため、事業者の日常活動における安全文化・組織風土の劣化防止の取り組みを規制当局が分析・評価するガイドラインを整備する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・国内のトラブルに関する情報 ・プラント運転情報(計画外自動停止回数等) ・検査に関する情報(保安検査、定期安全管理審査結果等) ・被ばく及びその低減に関する情報 ・廃棄物管理情報 |
| リスク情報に基づく規制整備 | <p>○規制当局は、国内外のトラブル事例についてPSAによる評価を行い、その結果を規制判断に資する。また、海外の規制に係る情報やプラントの運転情報を参考にして、PSAモデルの高度化を図る。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・国内のトラブルに関する情報 ・海外のトラブルに関する情報 ・海外の規制に係る情報 ・プラント運転情報 |
| 高経年化対策 | <p>○規制当局は、事業者の高経年化技術評価等報告書の審査に当たって、国内外のトラブル情報、経年劣化に係わる安全研究成果等の最新の技術的知見を踏まえ、事業者が行う60年の供用を仮定した機器等の健全性評価、現状保全及び追加保全策抽出等の妥当性を評価する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・国内のトラブルに関する情報 ・海外のトラブルに関する情報 ・海外の規制に係る情報 |

(原子力安全基盤機構作成)

原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)の概要

◆ 目的

トラブル等の未然防止及び再発防止
 原子力施設に対する透明性を確保
 確率論的安全評価(PSA)用機器故障率のためのデータベース構築

◆ コンテンツ

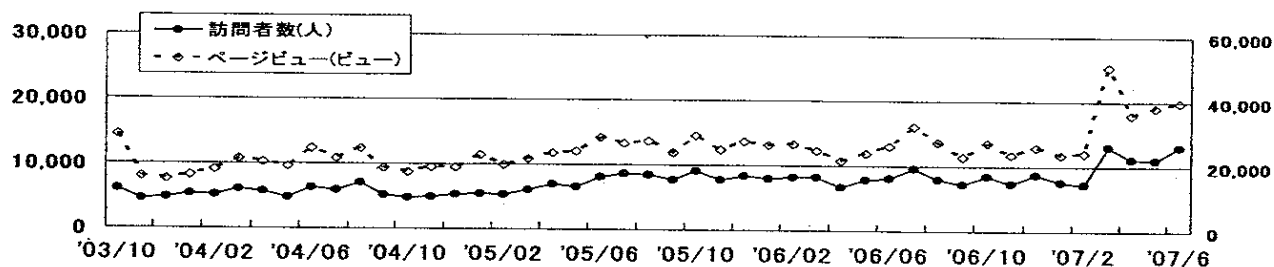
原子力発電所におけるトラブル等情報
 原子力発電所のトラブル等情報の水平展開状況
 原子力発電所の信頼性情報
 原燃サイクル施設の事故・故障等情報(2004年12月21日より運用開始)
 海外の原子力発電所の事故・故障等情報(2005年10月28日より運用開始)



2003年10月1日から運用開始
 (2007年7月10日現在 約3,600件登録)
 (nucia: nuclear information archivesの頭文字)

◆ アクセス件数(2007年6月末現在)

| 訪問者数(月平均値) | ページビュー(月平均値) |
|------------|--------------|
| 約7,300人 | 約25,000ビュー |



◆ 登録件数(2007年7月10日現在)

※国内の原子力発電所の情報のみ

| トラブル情報 | 保全品質情報等 | その他情報 | 合計 |
|--------|---------|-------|--------|
| 1,090件 | 1,697件 | 801件 | 3,588件 |

