放射線遮蔽分野の
技術ロードマップの検討

放射線遮蔽研究専門委員会

平成２４年３月

放射線遮蔽研究専門委員会　委員リスト　その１

名前	所属
平山 英夫	高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設
今野 力	独立行政法人日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 核融合中性子工学研究グループ
根本 誠	(株)ヴィジブルインフォメーションセンター 安全性解析グループ
森島 誠	三菱重工業㈱ 放射線安全技術課
山口 勝義	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 社会基盤営業部
浅野 芳裕	(独)理化学研究所 XFEL
浅見 光史	(独立行政法人)海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 システム安全技術研究グループ
安納 章夫	大成建設(株) 原子力本部　原子力技術第二部
糸賀 俊朗	(独)理化学研究所 X線自由電子レーザー計画推進本部
植木 紘太郎	MHI原子力エンジニアリング(株) 新型炉･燃料サイクル技術部
上松 幹夫	(株)東芝 電力システム社 磯子エンジニアリングセンター 原子力安全システム設計部
上蓑 義朋	独立行政法人理化学研究所 仁科加速器研究センター
大石 晃嗣	清水建設(株)技術研究所 原子力施設技術センター
大谷 暢夫	
大西 世紀	(独)海上技術安全研究所　システム安全技術研究グループ
奥野 功一	ハザマ技術研究所 技術研究第二部
小田野 直光	(独)海上技術安全研究所 海洋リスク評価系
落合 謙太郎	独立行政法人日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門
川合 將義	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
金野 正晴	㈱フジタ 技術センター
近内 亜紀子	国土交通省海事局検査測度課 危険物輸送対策室
坂本 幸夫	独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 原子力標準ソフトウエア開発グループ
佐藤 聡	独立行政法人日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門
佐藤 理	㈱三菱総合研究所 科学･安全政策研究本部
清水 彰直	NPO法人放射線線量解析ネットワーク 役員
杉田 武志	有限会社科学システム研究所
助川 篤彦	独立行政法人日本原子力研究開発機構 トカマクシステム技術開発ユニット

放射線遮蔽研究専門委員会　委員リスト　その２

名前	所属
鈴置 善郎	科学技術振興機構 原子力業務室
高木 俊治	株式会社三菱総合研究所 科学･安全政策研究本部 安全科学グループ
高田真志	(独)放射線医学総合研究所 基盤技術センター 研究基盤技術部
田中 進	日本アドバンストテクノロジー㈱ 加速器利用支援部
谷内 廣明	トランスニュークリア㈱ 技術部
辻 政俊	経済産業省 原子力安全･保安院
坪井 孝文	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 科学システム事業部 原子力･エンジニアリング部
中島 宏	独立行政法人)日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター 安全ディビジョン
中田 哲夫	(独)原子力安全基盤機構　廃棄物燃料輸送安全部
中田 幹裕	三菱重工業㈱ 原子力事業本部 APWR推進室
中根 佳弘	独立行政法人日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター 安全ディビジョン 放射線安全セクション
中村尚司	清水建設技術研究所
鍋本 豊伸	㈱IHI 原子力セクター 原燃システム部
波戸 芳仁	高エネルギー加速器研究機構 放射線科学センター
成山 展照	(財)高輝度光科学研究センター 光源･光学系部門 輸送系･遮蔽グループ
根本 裕二	日立GEニュークリア･エナジー㈱ 原子力プラント部プラント総合計画グループ
林 克己	日立製作所 原子力事業統括本部 放射線管理センター
播磨 良子	(株)伊藤忠テクノソリューションズ 科学システム事業部
伴 秀一	高エネルギー加速器研究機構 放射線科学センター
平尾 好弘	独立行政法人海上技術安全研究所 海洋リスク評価系
平田 雄一	NPO法人放射線線量解析ネットワーク
山野 直樹	福井大学 附属国際原子力工学研究所
吉岡 研一	(株)東芝 電力社 電力･社会システム技術開発センター
吉岡 健太郎	(株)東芝 電力システム社 電力･社会システム技術センター 原子力安全システム設計部

目次

１．放射線遮蔽分野の技術ロードマップの経緯　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　１

２．放射線遮蔽に係る現状の課題認識と将来展望　・・・・・・・・・・・・・・・・・　２
　２．１　原子炉・核燃料施設分野における展望と課題　・・・・・・・・・・・・・　２
　２．２　廃棄物・輸送・貯蔵分野における展望と課題　・・・・・・・・・・・・・　３
　２．３　核融合分野における展望と課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　４
　２．４　加速器・放射線利用・その他の分野における展望と課題　・・・・・・・　５
　２．５　展望と課題まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　７

３．放射線遮蔽分野の実情調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
　３．１　各分野別の課題抽出　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
　３．２　実情調査アンケート結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１４

４．放射線遮蔽分野の技術ロードマップ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２

５．東電福島第１事故以降の各分野の状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２７
　５．１　原子炉・核燃料分野　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２７
　５．２　廃棄物・輸送・貯蔵分野　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２７
　５．３　核融合分野　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２８
　５．４　加速器・放射線利用・その他分野　・・・・・・・・・・・・・・・・・・２８
　５．５　各分野の状況まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２９

添付－１　アンケートの自由記述欄の回答　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３１
添付－２　実態調査アンケート書式　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３６
添付－３　アンケート結果の詳細　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４０

１．放射線遮蔽分野の技術ロードマップの経緯

原子炉、燃料サイクル施設、輸送容器、RI 取扱施設、加速器施設、核融合実験施設、放射線医療施設等の放射性物質や放射線を扱う施設・設備では、安全上、放射線遮蔽は必要不可欠なものであり、これらの安全規制は国民の健康と安全を守るためにも必須である。日本原子力学会では、1964 年から放射線遮蔽をテーマとした研究専門委員会を設置し、各種放射線施設の線源及び放射線挙動に関連したデータや解析手法の情報収集等を行ない、施設に対する遮蔽設計の信頼性は格段に向上してきた。また、近年の各分野の研究及び計算機技術の進歩を踏まえて、遮蔽解析・設計法の高度化も進み、高エネルギー加速器などの新しい施設に対する適用性についても検討されてきた。さらに、医療分野や工業分野においても、放射線が積極的に利用されてきており、放射線の計算や関連データの適用分野の拡大が進んでいる。

このような社会環境の変化に伴って、放射線遮蔽技術が多様化してきていることから、今後の展望を検討する上で、現状のニーズに照らし合わせた技術レベルの確認を行い、原子力開発等の動向を踏まえて、どのような放射線遮蔽の技術開発課題が残されているのか整理することが必要となっている。

また、放射線遮蔽のような要素技術開発については、研究予算確保が難しくなっており、原子力関連施設の開発上の重要な要素技術であることを明確にし、その中で研究開発予算を確保していくためにも、将来動向を踏まえた開発課題の整理に向けた技術ロードマップの作成は極めて重要なことと言える。

加えて、放射線遮蔽分野における分野の拡大や高齢化に対して、産官学連携による効率的・効果的な研究開発の推進が必要であり、国内の研究リソースを結集して課題解決に取り組んで行くことが必要なため、学会のような中立的な機関での議論が有効である。また、技術開発の重要性を積極的に提言していくことも、学会の責務である。

具体的には、放射線遮蔽技術を適用する分野や施設は多岐に渡るため、「放射線遮蔽」研究専門委員会では、現状の適用分野や取組み状況を踏まえ、原子炉施設、再処理・加工施設、廃炉・低レベル廃棄物、輸送・貯蔵施設、核融合炉、加速器、医療（医療用加速器）、航空宇宙、工業利用、その他に分けて、現状課題と将来動向について検討した。そして、これらの適用分野・施設について、今後、取り組む必要があると考えている技術課題を集約した。

また、本技術ロードマップ検討は、約４年にわたって検討を実施しており、その検討の終盤では東日本大震災とそれに伴う東電福島第１原子力発電所の事故が起きるなど、大きく状況が変化した。１～４章は、福島第１原子力発電所の事故前に検討した内容である。５章については、東電福島第１原子力発電所の事故以降の状況変化を分野ごとにまとめている。

２．放射線遮蔽に係る現状の課題認識と将来展望

２．１　原子炉・核燃料施設分野における展望と課題

放射線遮蔽技術は、軽水炉プラント、核燃料施設（燃料の濃縮・再転換・加工、使用済燃料の再処理施設）の安全設計を行うための放射線強度の評価、管理区域内の生体遮蔽設備の設計、敷地内外の線量評価等、放射線安全確保の観点から重要な役割を果たしており、プラントの安全設計を支える重要な技術である。

また、放射線遮蔽評価手法を利用して施設の保守等に必要な情報の提供もしている。具体的な役割の例を第１図に示す。

原子炉・核燃料施設に関しては、軽水炉プラントの効率的な運転を目指した燃料の高燃焼度化、長サイクル運転が計画されている。この他にも高速増殖炉「もんじゅ」の運転再開、国内MOX燃料加工工場の建設、六ヶ所再処理工場の本格稼動、商業炉の廃止措置等の様々な計画が進行している状況にある。

また、10～20年後の将来としては、国家プロジェクトとして、電気出力170～180万kW級（80～100万kW級も視野）としたBWR及びPWR型炉心の次世代軽水炉の計画が進行している。その開発に当たっては、第２図に示す世界標準を獲得しうる高い革新性を有する６つの技術が開発項目となっており、放射線遮蔽技術が安全設計の重要な一役を担うこととなる。

軽水炉が稼動してから約40年が経過し実績を積み重ね、様々な計画が進行中の原子炉・核燃料施設分野であるが、いくつかの課題も指摘されている。

最新知見の取り込みと検証の充実が挙げられる。最新の核データやガンマ線ビルドアップ係数の整備が行われているが、原子炉・核燃料施設評価用の放射線遮蔽関連の計算プログラム・核データに、これらの最新知見の取り込みを促していくような取組みが必要である。また、許認可等での説明を考慮すると、その導入には十分な検証が必要となるため、これに必要なベンチマーク等の実験の充実も課題である。

三次元モンテカルロ計算コードも近年の計算機の高速化により実用的なレベルに達しており、放射線ストリーミングなど特定の解析への適用ニーズも高まっている。本格的に許認可申請を行う場合は、評価手法の標準化やガイドラインの策定が課題となる。

原子力プラントメーカーなどでは、熟練技術者の退職等により人員構成が若手中心となり、年齢構成にムラが生じてきており、技術伝承において障害となっている。

２．２　廃棄物・輸送・貯蔵分野における展望と課題

放射線遮蔽技術は、放射性廃棄物の埋設や輸送の区分を決定するための放射線強度評価、原子炉解体時のプラント内・敷地外の線量評価、輸送・貯蔵容器及び中間貯蔵施設の線量評価等、放射線安全確保の観点から重要な役割を果たしており、核燃料サイクルを支える重要な技術である。

現在、日本原子力発電東海発電所及び日本原子力研究開発機構「ふげん」で原子炉の廃止措置が進められている。また、廃止措置計画の申請がなされている原子炉プラントもあり、今後、原子炉の廃止措置に伴う廃棄物が大量に発生することが見込まれている。また、蒸気発生器及び原子炉圧力容器等の交換によって生じる大型放射性機器については、従来からサイト内の施設に保管されているが、国際原子力機関（IAEA）においては、大型放射性機器を安全に輸送するため、放射性物質輸送安全規則の改訂が検討されている。放射性物質の輸送に関しては、原子炉の廃止措置に伴って発生する低レベル放射性廃棄物の他、使用済燃料の高燃焼度化が進むとともに、MOX 燃料加工施設の稼動後には国内での MOX 燃料の輸送が想定される等、今後、輸送量が増加し、また、輸送物の形態も多様化する傾向にある。さらに、中間貯蔵施設等の稼動により、放射線安全確保のための線源評価や遮蔽安全評価が益々重要な役割を果たす。

このような状況のもと、遮蔽評価用のデータ及び遮蔽評価手法等の標準化、ガイドラインの整備を進め、新たなニーズに対応した遮蔽評価手法等の体系化を推進していくことが必要である。具体的には、線源評価手法及びデータ（放射化評価用材料元素データ等）、遮蔽計算手法（バルク遮蔽、ストリーミング、スカイシャイン等）、断面積データライブラリ等について、標準化を目指す必要がある。また、これらのデータ及び手法の標準化、ガイドラインの作成にあたっては、許認可における遮蔽評価等において十分使用できることを示すことが重要であり、妥当性検証用データ等の整備も必要である。特に、放射性物質に対する輸送容器及び貯蔵容器の放射線遮蔽評価のため、JENDL-3.3[1)]に基づく新しい断面積セット（群定数）の整備が行われている他、モンテカルロ計算法も設計段階では利用されている。今後、新しい群定数及びモンテカルロ計算法が許認可に使用され、最新の科学的知見に基づく合理的な安全審査を実現するには、これらのデータ及び手法の標準化、ガイドラインが重要な役割を果たすものと期待される。

遮蔽計算コードの高度化により、複雑な計算が比較的容易にできるようになる一方で、計算コードのパラメータ設定により、計算結果の信頼性に問題が生じるケースも存在しており、これまでに蓄積された遮蔽評価技術の継承が必要である。これには、遮蔽評価手法の標準化とともに、これまでに蓄積されてきた遮蔽評価技術に係る知見の散逸を防止し、技術伝承を確実に行うことが必要である。

２．３　核融合分野における展望と課題

核融合分野でも放射線遮蔽は重要な役割を果たしている。その主な役割は、原子炉分野同様、許認可や運転時の被ばく評価のための施設の遮蔽、許認可、保守時の被ばく、廃棄物評価のための中性子照射による放射化評価である。これ以外に、この分野で特徴的な役割として、中性子・ガンマ線による機器（超伝導電磁石、第１壁等）の発熱・放射線損傷評価がある。放射線遮蔽は、核融合炉を作る上で不可欠な技術の一つであるが、核融合炉の燃料供給の観点でキーとなるトリチウム増殖率評価にも適用できる。

現在、国際熱核融合実験炉（ITER）の建設がフランスのカダラッシュで始まり、設計変更に伴う遮蔽設計、許認可に向けた遮蔽設計が精力的に行われている。また、EU との国際協力で行っている幅広いアプローチ活動の中で実施している JT-60 超伝導化改修装置(JT-60SA)計画の中で、装置の許認可に向けた遮蔽設計も並行して行われている。10～20 年先を見ても、40MeV、250mA の重陽子ビームを用いる国際核融合材料照射施設(IFMIF)計画、核融合原型炉計画等があり、これらの施設の遮蔽設計を行う必要から今後も核融合分野での放射線遮蔽のニーズは無くなることはない。

核融合分野での放射線遮蔽の現状の技術課題としては以下のものがあり、適切に対応する必要がある。

①構造が極めて複雑な装置を対象とした評価の効率化。

CAD データから解析コードの幾何形状入力データを自動的に作成するシステムの開発が必要。

②次期装置に向けた遮蔽構造の合理化による建設コスト削減のための設計裕度の低減化。

更なる核データ及び遮蔽設計の精度向上を目指したベンチマーク実験を含む研究が不可欠。近年、予算削減の名の下にまだ使える既存の実験施設を安易にシャットダウンしようとする動きがあるが、これらの動きは、このような研究を大きく阻害してしまうことになる。

③IFMIF 関係で 20MeV 以上の中性子入射及び重陽子入射の核データ(放射化データを含む)の整備。

④モンテカルロ計算コードの許認可での使用。

⑤既存施設の廃止・解体のための放射化物のクリアランス制度の制定。

人的課題として、①若手のポストがなく、育成、技術伝承が困難、②この分野に携わっている研究者の数が少なく、研究者間の連携が少ない等がある。若手のポスト問題は他の分野でも大きな問題であるが、核融合分野では特に深刻な状況にある。限られた人的資源の中で人材育成、技術伝承を行い、研究内容を相補発展させるためにも、研究者間の連携強化を図る必要がある。

２．４　加速器・放射線利用・その他の分野における展望と課題

（１）加速器施設、加速器の医療利用

加速器施設の設計には放射線遮蔽設計が必須である。現状では、一部の施設で詳細な計算法による設計が行われているが、大半の施設が半経験式に基づく評価・設計法や原子力施設等の遮蔽計算で用いられている一次元或いは二次元の決定論的計算コードが用いられている。一方、医療現場では患者への線量評価の精度が 10%以内と要求されており、中性子、荷電粒子、光子・電子に対する核データの現状及び整備に対する要求がまとめられている。[2)]

国の対がん 10 ヵ年計画に基づいて各県にがん拠点病院が計画され、平成 20 年 4 月 1 日現在、47 の都道府県がん診療連携拠点病院と 304 の地域がん診療連携拠点病院が設置されている。がん拠点病院は、がんの手術治療、抗がん剤治療とともに、放射線治療が一定の基準を満たしていることが条件である。現状の医療用加速器等の数は、X 線治療用 800 台、粒子線治療施設 6（他に予定 4、計画 12)、ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）施設 2、PET と RI 製造施設 132、RI デリバリーを利用した PET 施設 73 であり、今後ますます増える見込みである。また、各施設での稼動効率も向上している。

加速器施設、特に医療用加速器施設の放射線遮蔽に係る課題として、①施設遮蔽・照射効果向上のための核データの評価・整備、②線量評価法の妥当性検証・確保のための、評価法の整備・標準化とマニュアル化、防護用線量換算係数の整備、吸収線量評価法の妥当性検証、医学分野と放射線防護分野での線量概念の統一、③障害防止法等の整備に関連して、加速ビームで照射された物・放射化物及び照射時間の取扱い、老朽加速器の更新手続き、④放射線業務従事者の被ばく低減に関して RI 製造技術者及び照射技師の被ばく低減と防護の効率化、⑤医学物理士との作業の融合が挙げられる。

（２）宇宙・航空分野

宇宙・航空分野における宇宙放射線に対する被ばく評価では、高エネルギー加速器遮蔽分野における計算コード、核データ、核反応モデル及び防護量の知見が活かされている。線源項の評価には、宇宙・地球物理に関する知見を基に、観測結果をモデル化して使用されている。また、各種放射線に対する検出器及びモニタリング装置は、近年、小型化・軽量化・自動化・高精度化が図られている。

今後の展望としては、①国際宇宙ステーションや「きぼう」日本実験棟における日本人宇宙飛行士の長期滞在、②月面基地計画や火星航行等の次期有人計画、③通信・放送、環境等における人工衛星の利用拡大、④航空機の高々度飛行に伴う航空機乗務員及び高頻度航空機利用者の宇宙放射線の被ばく評価法の精度向上と国際的な標準手法の確立が挙げられる。

この分野の課題として、①量・質の点で十分でない情報の広く網羅的な収集、継続

的な計測、エネルギー・線種・位置情報等の計測範囲の拡大、新型の計測装置の開発、②精度検証が不十分な被ばく評価法に関して、検証用実測データの蓄積、核反応モデル及び輸送計算モデルの検証、検証データを得るための加速器施設等の基盤整備が挙げられる。

（3）放射線・RI の工業利用

放射線利用経済規模に関する調査報告書[3)]によれば、平成 17 年度の工業利用の経済規模の評価値は約 2.3 兆円（内訳は照射設備約 0.46、放射線計測機器等約 0.10、非破壊検査約 0.11、放射線滅菌約 0.17、高分子加工約 0.10、半導体加工約 1.35、単位は何れも兆円）、医学医療におけるそれは約 1.5 兆円、農業利用のそれは約 0.28 兆円（突然変異育種約 0.25 兆円、アイソトープ利用 0.015 兆円、照射利用約 0.010 兆円）であり、放射線利用の合計は約 4.1 兆円である。一方、原子力発電の売電収入及び原子力機器の輸出額の総額の評価値は約 4.7 兆円であり、ほぼ放射線利用の経済規模と同じであることが分かる。第 1 表に照射と計測に分類した放射線利用の種類を示す。

このような多岐に渡る放射線利用での施設・機器の遮蔽計算法に関する系統的な調査は未だ行われていないが、実務マニュアル[5)]では、^{192}Ir による非破壊検査施設、蛍光Ｘ線分析計、γ線あるいはβ線を利用した厚さ計等に対する遮蔽計算定数を用いた方法が例示されている。また、一般的な決定論的な遮蔽計算コードやモンテカルロ計算コードも多分に使用されている。このような状況において、放射線遮蔽に係る課題は、遮蔽計算定数の高度化とそれを組み込んだ簡易計算コードの整備であり、また、原子力施設や加速器施設の遮蔽計算等で用いられているモンテカルロ法を含めた詳細計算コードの普及である。遮蔽計算を専門としない技術者等が計算を行うためには、ユーザーに優しい計算コードを開発するとともに、マニュアル等の整備、講習会の開催が必要である。

また、詳細遮蔽計算コードの使用は、施設・機器表面等の線量率評価とともに、放射線・ビーム利用における照射効果評価の高度化に結びつく。例えば、線源からの放射線あるいはビームに対する散乱線等による二次放射線・ビームの混入の評価や、吸収線量のみならず二次荷電粒子のエネルギーや線エネルギー付与の分布として照射効果を検討するのに役立つものと考える。

２．５　展望と課題まとめ

放射線遮蔽の解析技術の進展・向上に伴い、解析における不確かさは減少してきており、最新の知見を活用することで、さらに合理的・経済的な遮蔽設計に寄与することができる。しかし、「放射線」に対する不安感が依然として一般公衆に存在するとともに、放射線挙動工学に係る知見がまだ完全でないことで遮蔽設計において適切な裕度設定が難しいなど、安全規制への最新知見の取り入れを促すような取組が十分に行われていないということが現状としてある。これらの問題を解決していくためには解析手法の標準化や、その妥当性検証とともに、そのためのデータの蓄積が必要であり、照射施設の基盤整備・維持が重要である。また、国際的な協力・情報交換ができる体制の強化が望まれる。それには、国際的に通用する国産解析コードや核データの整備、高度化技術の充実が必要不可欠である。

これまでに蓄積されてきた放射線遮蔽の技術や知見を次世代の研究者・技術者に継承していくことは、分野共通の課題であり、これらの次世代の研究者・技術者を教育・育成することとともに、遮蔽計算コード使用上のノウハウを継承していくためにも遮蔽評価手法の標準化やガイドライン化が必要となる。また、これまでに蓄積されてきた遮蔽評価技術に係る知見の散逸防止や、基礎・基盤研究の継続的な実施に繋がる課題設定も必要となる。

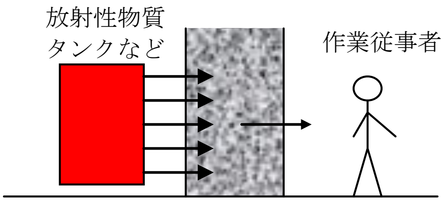
さらに、原子炉施設に対する設計・評価手法及び設計プロセスも、許認可の特殊性を考慮しつつ、より高い信頼性と合理性をもったものにすることが重要である。

当該研究専門委員会では、放射線遮蔽分野に絞り、検討を行ってきたが、放射線計測・モニタリング技術、照射量評価技術や放射線被ばく線量評価技術など、放射線遮蔽に深く結びついた分野と関連した開発課題もある。例えば、2007 年に国際放射線防護委員会（ICRP）から新勧告[6)]が出され、遮蔽計算で評価する線量の算出に必要な線量換算係数に関係する放射線荷重係数や組織荷重係数の値が一部変更され、2012 年には実効線量への換算係数自身が出された。新勧告が国内法令に取り入れられると、スペクトルデータを算出する詳細計算法では、それに線量換算係数を乗ずることで実効線量率を評価できる。一方、スペクトルデータを算出せずに線量換算係数に依存した遮蔽計算定数を利用した簡易計算計算法では、新しいガンマ線ビルドアップ係数や線量減衰率データを整備しなければならなくなる。

このように、今後は、対象を放射線工学分野全体に広げて課題の整理を行いつつ、これらの課題解決に向けた取組を促進するための技術ロードマップの策定について具体化していく必要がある。

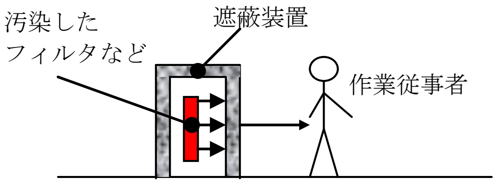
①作業従事者の被ばく評価

施設設計



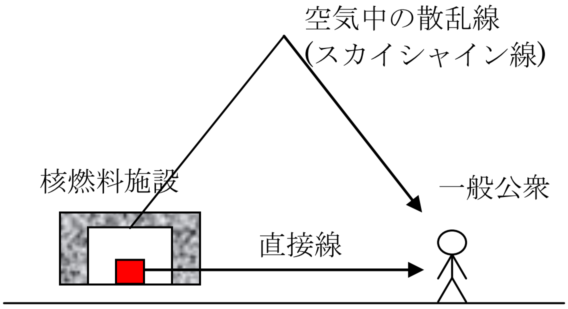
作業従事者の被ばくが基準以下となるよう施設の遮蔽を評価･設計

保守時の被ばく低減



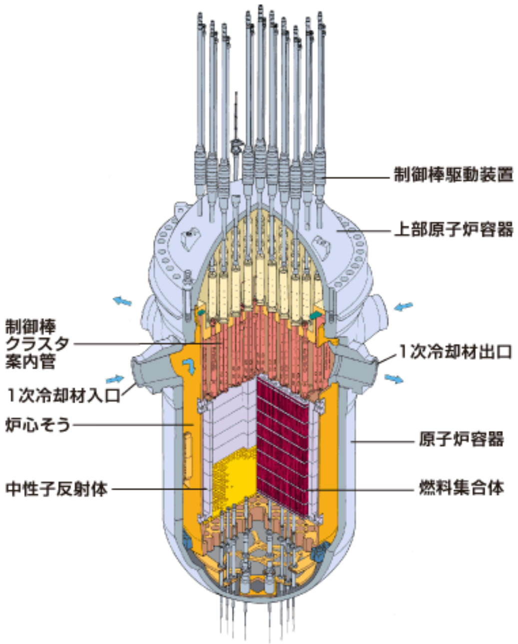
作業従事者の被ばくが基準以下となるよう遮蔽装置を設計・設置

②一般公衆の被ばく評価



一般公衆への放射線の影響が十分低くなるよう施設の遮蔽を設計

③中性子照射による損傷評価、放射化評価



PWRプラントの炉内構造物

（図は、三菱重工業殿　ホームページ　（http://www.mhi.co.jp/products/detail/reactor_internals.html）より引用）

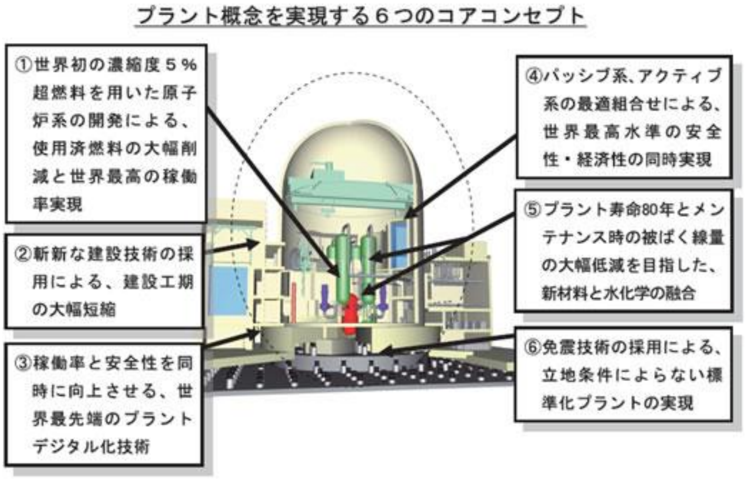
原子炉部材の損傷評価

炉内構造物は中性子照射により、徐々に損傷し劣化する。放射線遮蔽技術を用いてこれを評価・推定し、原子炉の長期健全性確認に寄与している。

中性子照射による放射化

原子炉周囲の物質は中性子の照射により放射化して、放射性物質となる。放射線遮蔽技術を用いて、保守時の被ばく量や処分時の放射線レベルを評価し、原子炉の安定運用に寄与している。

第１図　原子炉・核燃料施設分野における放射線遮蔽評価の役割



図は財団法人エネルギー総合工学研究所殿　ホームページより引用

http://www.iae.or.jp/group/06.html

第２図．次世代軽水炉計画における開発項目

第１表．放射線利用の種類[4)]

照射		計測	
原理	手法：利用技術	原理	手法：利用技術
物理効果	励起：夜光時計	壊変	核種分析：年代測定、資源探査
	電離：静電気除去	放射	ﾄﾚｰｽ：ﾄﾚｰｻ･ｵｰﾄﾗｼﾞｵｸﾞﾗﾌｨｰ、ｼﾝﾁｽｷｬﾝ、PET、SPECT
	起電力：原子力電池	励起	特性X線測定：蛍光X線顕微鏡、偏光X線分析、PIXE
	発熱：熱源、アイソトープ発電	電離	電離測定：煙探知、ｶﾞｽｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾌｨｰ
化学効果	活性種生成：化学反応解析	散乱・吸収	透過･散乱測定：厚さ計、密度計、分析計、ﾚﾍﾞﾙ
	架橋：高分子物性改善		ｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞ：ﾗｼﾞｵｸﾞﾗﾌｨｰ、CT
	崩壊：ﾘｿｸﾞﾗﾌｨｰ	回折	ｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞ：分子構造解析、応力測定
	重合：高分子合成	共鳴	ｽﾍﾟｸﾄﾛｽｺﾋﾟｰ：ﾒｽﾊﾞｳｱ
	ｸﾞﾗﾌﾄ重合：機能材合成	対消滅	陽電子消滅測定：物性分析、欠陥分析
	分解･合成：有機合成、排煙処理	吸収	放射化：放射化分析
生物学効果	殺菌：医療用具滅菌、排水処理	即発放射線分析	中性子捕獲γ線分析
	発芽防止：食品保存		
	細胞破壊：がん治療		
	突然変異：品種改良		
	不妊化：害虫駆除		

３．放射線遮蔽分野の実情調査

３．１　各分野別の課題抽出

各分野の課題を把握するため、委員への課題抽出のための調査を実施した。調査結果を第２表に示す。対象施設・分野ごとに「主な課題」「設計・解析状況」「その他状況」にカテゴリ分けを行い、結果をまとめた。

本調査にて、各分野の放射線遮蔽分野に関する技術課題を明確にした。これらはロードマップの作成のカテゴリ分けのベースデータとして用いる。

第２表（１／３）　放射線遮蔽の現状(放射線遮蔽の主な課題)

取り纏め	森島委員					
担当メンバー	上松委員、林委員		中田(JNES)委員		中田(MHI)委員	小田野委員、近内委員、浅見委員
適用施設例 / 課題項目	原子炉施設及び関連施設					
	1.軽水炉（次世代軽水炉含む）	2.再処理施設 加工施設	3.高速増殖炉等	4.防災、AM PSA	5.廃炉・低レベル廃棄物	6.輸送・貯蔵施設
放射線遮へいの主な課題						
将来的なニーズ	△	△	△	△	△	△
	燃料の高燃焼度化と長サイクル化への対応。遮へい評価精度の向上による合理的な設計。海外プラント技術のフィードバック。	高燃焼度燃料対応時の評価精度向上。	高性能遮へい体（B4C遮蔽体、ZrHなど）の導入による炉心のコンパクト化・軽量化。モンテカルロ法の高速化による評価精度向上、燃料の高燃焼化、マイナーアクチニド核種のリサイクル、長サイクルへの対応を含めた遮へい評価精度の向上による合理的な設計。	ソースターム（線源強度）を評価する標準的手法、基本データベースの整備が必要。施設周辺の線量に確率と不確実さの分布、迅速な解析及び分りやすい表示のニーズがある。	放射化廃棄物は、事前に放射能濃度を評価し、許認可または規制当局の確認を受けてレベル区分されている。評価手法、基本データを整備し標準化することが重要。原子炉施設の放射化放射能を適切に評価し、解体時のプラント内及び敷地内外の線量率を適切に評価すると共に、安全な跡地及び管理区域開放の確認方法を整備することが重要。	高燃焼度化に伴い、設計承認の遮蔽安全解析にモンテカルロ法を適用することについて、事業者にニーズがある。規制当局においても、最新の科学的知見に基づく合理的な審査のニーズがある。また、MOX燃料、高速炉等の使用済燃料輸送容器の設計に関する潜在的ニーズは存在。
技術的な課題	△	△	△	△	△	△
	最新評価手法の設計適用検討。評価手法の標準化。材料データの標準化。高燃焼度使用済燃料のベンチマークデータ。評価への実績線量の取込み。	高燃焼度使用済燃料のベンチマークデータ。評価手法の標準化。	評価手法及び材料データの標準化。解析精度検証に使える遮へいベンチマークデータの整備。マイナーアクチニド核種を含む高燃焼度使用済燃料のベンチマークデータの収集。評価手法の標準化及びJASPER及びもんじゅ性能試験の最新知見での再評価。材料データ（B4C、ZrH)の標準化及び性能確認。	AMのソースタームへの影響、線量計算自体が有する不確実さの事前評価。対象が多様なため3DCADを利用した遮へい計算が必要。	評価の標準やハンドブック。放射化評価用中性子束評価精度の把握と検証。放射性廃棄物評価の検証データの充足。廃炉時の解体の進行に伴ったストリーミングやスカイシャインの計算手法と基本データの標準化。断面積ライブラリーの妥当性、精度、検証データ。許認可に適用できる放射化評価用材料元素データの標準化。	MOX燃料及び高速炉燃料の使用済燃料のインベントリ評価に関して、MA核種の精度が不十分。
我が国の政策上の課題	△	△	△	△	○	△
	新設プラント計画の早期決定。既設プラントの長サイクル化。保修時の被ばく。原子力法制の見直しによる実質的、効率的な安全確保。	当面は高燃焼度燃料の再処理。MOX燃料等についても将来の第2再処理工場計画の進み方による。	実証炉など開発計画が不透明。実証炉・実用炉プラントの具体化（サイト等）	放出開始前の被ばく源である施設からの線量の考慮の有無など、防災指針の充実化が必要である。	・廃炉時の跡地及び管理区域開放基準と、その検査方法の整備 ・L1，L3廃棄物放射能評価標準整備（L1は実施中） ・RI施設クリアランス法整備 ・RI施設に対する「放射性廃棄物でない廃棄物」の考え方の適用	輸送は核燃料サイクルを回す上で非常に重要であるにもかかわらず、必ずしも戦略的な取り組みがなされているとはいえない。

取り纏め	今野委員	大石委員		高木委員	坂本委員
担当メンバー	真木委員、助川委員	中島委員	中島委員、高田委員	ー	奥野委員
適用施設例 / 課題項目	7.核融合炉	8.加速器	9.医療（医療用加速器）	10.航空宇宙	11.工業利用
放射線遮へいの主な課題					
将来的なニーズ	△	△	▲	○	△
	現在、国際熱核融合実験炉ITERの設計変更にともなう遮蔽設計及び許認可に向けた遮蔽設計、JT−60超伝導化改修装置（JT−60SA）の許認可に向けた遮蔽設計、大型ヘリカル炉の核解析が進められている。将来的にも、国際核融合材料照射施設IFMIF、核融合炉の原型炉を作る計画があり、計画が予定通り進めばそれらの遮蔽設計が行われる。従って、現在も含め将来的なニーズはある。但し、今後数十年の範囲では大型の施設を数個程度しか作らないため、市場は大きくない。将来、核融合炉が商用発電の一翼を担うようになれば、市場は大きくなることが期待できる。	遮蔽精度、及び放射化量の評価精度の向上。特に、大電流加速器においては、空気、水、機器、周辺機器の放射化量評価精度が重要。	より精度の高い、簡便な遮蔽計算法(電子）しかし、中性子が発生する場合、簡易計算には限界がある。病院併設の際、陽子、重イオン加速器においては、更に精度の良い計算が必要。建設には、空気、水、機器の放射化量評価が求められる。 ビーム制御機器（ノズル、コリメータなど）設計におけるニーズがある。 患者における線量評価にも輸送計算コードが用いられている。	国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士や航空機乗務員の被ばく評価に必要になるが、対象が限られていることから市場は大きくはない。月面基地建設や惑星間航行（例えば火星有人探査）のような長期間宇宙空間に滞在するようになればニーズが拡大する。	・RIや放射線発生装置を利用した機器の多くは、メーカーが設計・製作を行い現場に設置される。遮蔽設計は許認可申請を含め主にメーカーが行うが、詳細設計法と共に設置者や建屋施工者がフォローできる標準的な簡易法が必要と考える。
技術的な課題	▲	△	▲	△	△
	複雑形状の遮蔽構造に対応した計算コード幾何形状入力データ作成の自動化。 遮蔽構造の合理化。 IFMIF関係で20MeV以上の中性子入射核データ、重陽子入射核データ（含む放射化データ）整備。 原型炉に向けて、核データ精度向上、遮蔽設計精度向上。	ベンチマーク実験データの蓄積。軽核の荷電粒子反応断面積が理論的に計算できない。又、この実験データもほとんどない。そのため、線源評価に大きな誤差がある。	医療と物理の線量の取扱の統一。 線量換算係数の妥当性。（現在の換算係数は妥当か?）物理的観点から吸収線量表示が妥当。	・高エネルギー粒子、重荷電粒子の挙動解析の検証データの蓄積 ・太陽活動（太陽フレア等）による線源強度の変動や地磁気嵐等の擾乱を考慮した地球磁気圏中・大気圏での荷電粒子の挙動の解析手法の確立 ・多種放射線混在場でのリアルタイムの計測技術の確立	・メーカーと設置者が協力して実測データを集積する。 ・遮蔽計算結果と実測データとの比較検討。 ・機器の詳細情報の要求（遮蔽設計に必要なデータは入手可能） ・メーカーと設置者の秘密主義をどうするか・・
我が国の政策上の課題	△	△	○	△	△
	2008年度に核融合炉の原型炉までのロードマップ案が専門家によって作成された。このロードマップを政策的にオーソライズされたものにすることが課題である。また、研究活動に関わる機関が少なく、予算も人員も確保されていない。	専門家で無い人間が規制側に多い。担当すべき範囲が広く、規制側の知見が及ばない。 法令が技術の進展に対応できていない。 放射化物が規制の対象外である。そのため、排気、排水設備が義務付けられない。規制定義量の設定が曖昧。放射化物の取扱が各施設によって異なる。定義されていない放射線の扱いが曖昧。ミュオン、中間子等。	がん基本法の成立で追い風。 医者は無試験でRI主任者となれるため、被ばくに関して認識が甘い。 RI法、労安法、医療法、薬事法で放射線の定義、放射線発生装置、放射化物の扱い等が異なる。	宇宙開発計画が不透明。航空機乗務員の被ばくに対する国としての対応の方向性が不明確。	規制側若しくは検査機関（原子力安全技術センター等）が音頭を取らないと、実測ﾃﾞｰﾀが死蔵される。

○　問題なし
△　課題はあるが、喫緊のものではない
▲　問題あり

第２表（２／３） 放射線遮蔽の現状(遮蔽設計・解析の状況)

取り纏め	森島委員						今野委員	大石委員		高木委員	坂本委員
担当メンバー	上松委員、林委員		中田(JNES)委員		中田(MHI)委員	小田野委員、近内委員、浅見委員	真木委員、助川委員	中島委員	中島委員、高田委員	ー	奥野委員
適用施設例	原子炉施設及び関連施設						7.核融合炉	8.加速器	9.医療	10.航空宇宙	11.工業利用
課題項目	1.軽水炉（次世代軽水炉含む）	2.再処理施設 加工施設	3.高速増殖炉等	4.防災、AM PSA	5.廃炉・低レベル廃棄物	6.輸送・貯蔵施設			（医療用加速器）		
遮へい設計・解析の状況											
解析コードの状況	△	△	△	△	△	○	△	△	▲	△	△
	Sn法と点減衰核積分法がベース。複雑体系に対応したコードは許認可適用のハードルあり。標準的なストリーミング簡易計算法のニーズあり。最新のビルドアップ係数の取り込み。ANISN,QADなど複数のversionがあって整理が必要なものがある。	Sn法と点減衰核積分法がベース。標準的なストリーミング簡易計算法のニーズあり。	複雑体系に対応したコード（3次元Sn、モンテカルロ）の適用性評価及び許認可対応。標準的なストリーミング簡易計算法のニーズ。最新のビルドアップ係数の取り込み。	既存の遮へい計算コード、手法を適切に組み合わせることで対応可能。時間依存ソースターム評価コードの作成、結果のリアルタイム表示手法の整備。	放射化評価用中性子束計算はSn計算コード ANISN,DORT,TORT、モンテカルロ計算コードMCNP、MVP,EGS。廃炉時線量計算は、QADコード、Sn計算コード、モンテカルロ計算コード。LLW廃棄体検査装置等は、モンテカルロ計算コード MCNP,EGS。	輸送に関しては問題ない。中間貯蔵施設の遮蔽評価に関しては、すでに安全審査が開始されていることもあり、既存コードで対応化。ただし、様々手法の組合せによる、高速化等のニーズが潜在的には存在。	IITERでは、遮へい設計計算コードはMCNP、放射化評価コードはFISPACT コードが標準コードとして世界的に認知されている。日本の許認可申請では、SN計算コード(ANISN、DOT3.5)、ACT4コードが用いられている。3次元モンテカルロ計算、3次元SN計算の検証も進められている。	最適なものを求めなければ、現存のコードで対応可	複雑なコードより、簡単な計算法が求められている。(施設の設置条件、誰が設計するかによる)	加速器施設の遮蔽用等に開発されてきたコードを解析に用いることができるが、それらのコードによる評価結果の確かさが検証されていない。	・メーカーは詳細計算法？・設置許可の申請は、原子力安全技術ｾﾝﾀｰの"実務ﾏﾆｭｱﾙ"？・設計法の詳細を要求・実務マニュアルのようなものがあれば良い
核データの状況	▲	▲	▲	○	▲	▲	△	△	△	○	△
	JENDL3.3やENDF/B-Ⅵ,B-Ⅶベースで遮へい設計が行われている。キャスク関係ではDLC-23等の旧データが未だ使用されている。ORIGEN2に関して複数のライブラリーに対して検証が行われているが、その知見が必ずしもユーザー向きに整備されていない。ガンマ線ビルドアップの最新知見取込みが必要。分野ごとの断面積データのハンドブック化が必要。	DLC-23など旧データが使用されているなど軽水炉と同じ問題点。	許認可用核データの選定。核データ誤差の影響評価とデータの充実（FP核種、2次γ線、発熱データ、中性子損傷、光中性子）。遮へい定数作成の簡素化（天然核種・温度データの取扱い）分野ごとの断面積データのハンドブック化。	特に問題なし。	1keV以下の低エネルギー中性子が精度良く評価できる群定数を選定。使用する核データは、JENDL-3.3, JENDL Activation File, ENDF/B-Ⅵなど、十分評価され広く使用されているもの。放射化評価は、放射能濃度を検証することが重要。	DLC-23に代わる最新のデータに基づく群定数の利用の促進。	国際的に見ると、FENDL-2.1が整備され、ITERの遮蔽評価に標準的に利用されている。FENDL-2.1の改訂を模索する動きあり。また、IFMIF関係で20MeV以上の中性子核データ、重陽子核データの要求が高い。国内では、設計ベースではFENDL-2.1を使用しているが、許認可にはJENDL-3.3を使うことを考えている。	詳細に言及すれば20MeV以上の精度検証が必要。放射化評価データが欠如している。軽核の反応断面積精度が非常に悪い。	特殊なものを除けば、現状で対応可。特殊なものとして同左。患者線量評価に際しては、見直しが必要。	シミュレーションで評価する方向にあり、核データを整備する必要はない。	・断面積データは、今のもので多分問題なし？・線源データの吟味が必要（RIデータとしてはDECDC等を活用、放射線発生装置のデータは実測ベース？）
関連技術の状況	○	○	△	△	△	○	▲	○	△	△	○
	圧力容器サーベランスや炉内構造物照射量に関する詳細手法あり。	特になし	モンテカルロ計算コードの高速化。3次元CADを取入れた計算入力（3次元Sn、モンテカルロ）の簡略化。	3次元CADを取り入れた遮へい計算ツール整備。（？）気象情報と地形情報を組み合わせた被ばく評価・表示手法の進展がある。	炉心周辺の放射化断面積の整備や評価手法の開発済み。クリアランス対象物に対しては専用測定装置用の換算係数の開発・整備が、モンテカルロ計算で実施。	輸送物の設計承認にモンテカルロ法を適用する研究は進行中。	核融合炉は非常に複雑な構造をしているため、解析コード幾何形状入力データ作成に要する労力を減らし、解析コード幾何形状入力データの人的ミスをなくし、遮蔽設計精度向上を図るためにも、複雑形状の遮蔽構造に対応した解析コード幾何形状入力データをCADデータから自動的に作成するシステムの開発が強く望まれている。	発熱量、放射線損傷評価。材料劣化評価。施設健全性、寿命評価。機器交換シナリオの検討。作業員被ばく低減化技術開発（低放射化コンクリート）。	治療装置の場合には、患者の被ばく量の評価。照射後の患者自身の放射化による被ばく評価、投与されたRIによる被ばく評価。PET用などRI製造に係る生成反応及び中性子線量評価。	航空機乗務員の被ばく評価については、詳細な解析結果に基づく簡易的な手法で評価するための解析システムが構築されているが、その評価結果の不確かさは評価されていない。	コンクリートの施工技術？
検証例の状況	△	△	△	○	○	○	△	△	▲	△	△
	線量測定等による検証は適宜成されているが公開できないものも多い。共通に使用できる計算法の検証例が必要。	同左	遮へいベンチマークによる核データの検証作業が必要。選定された許認可用核データによるもんじゅ遮へい性能試験、及びB4C、ZrH遮へい体等の新遮へい材の性能試験の検証が望まれる。	不明	JPDRと東海発電所(GCR)では数多くの放射化試料が採取され測定。改造工事,炉心から発生する廃棄物をから放射化試料を採取・測定し、放射化計算の検証を実施。クリアランス専用測定装置等では、モンテカルロ計算で評価整備した換算係数と安全係数の検証を実施	最新の群定数の検証については、実施済み。輸送物のモンテカルロ評価検証のためのベンチマーク実験は進行中。	以前はベンチマーク実験、モックアップ実験による核データの精度検証、遮蔽設計精度実証が精力的に行われていたが、近年はこの研究がほとんど行われておらず、更に遮蔽厚が厚くなる原型炉に向けて、核データ精度向上、遮蔽設計精度向上を目指した実験的研究を行っていく必要がある。予算削減の名の下に既存の実験施設を安易にシャットダウンするというのは大問題。	J-PARCでは、今後施設を用いて検証を開始する予定。FNALで遮蔽実験が進行中。	基礎データに関しては、北大で実験が進行中。医療施設での検証が必要。	加速器施設を対象としたものがあるが、宇宙・航空をターゲットにした事例はない。	個々には実施されていると思われるが、系統的な検討はないと思われる。
法令・許認可の状況	▲	▲	▲	○	△	○	▲	△	△	○	△
	判断基準が必ずしも明快に整理されていない。申請ハードルから新手法適用を容易にできない(トピカルレポート制度で変化する可能性もある)。申請すべき項目が多岐にわたっており、整理が必要である。	同左	マイナーアクチノイドの法規制が炉規法と障防法の二重規制になっている。新型炉に対する法令・許認可の整備が不十分。	許認可の対象ではない。	JPDRの解体などにおいて許認可実績を重ねており、今後課題が明確になる。	データや手法（モンテカルロ法）の検証データを提示することにより可能。	日本の既存の装置では許認可でSN計算コード（ANISN、DOT3.5等）の使用が認められた。今後、MCNPコードを含むモンテカルロコードが許認可で使用を認められるように当局に働きかけていく必要がある。ITERが日本に作られなかったため、原型炉を日本で作る際の許認可に関し、多くの問題がでてくる可能性がある。でてきた問題に対し、適切な対応を早目にしていく必要がある。	担当官で判断規準が異なる。法令の不備。担当官の技術的知見不足。	担当官によって、判断基準が異なる	法令外であるため、現状は問題なし。航空機乗務員や宇宙飛行士の被ばく管理は雇用者の責任において行う。	担当官によって、判断基準が異なる？
基準・指針の状況	▲	▲	▲	△	○	○	▲	△	△	○	
	JEAC 4615-2008 原子力発電所放射線遮へい設計規程 AESJ-SC-R002:2004 放射線遮へい計算のための線量換算係数 設計手法・データ等の原子力学会標準が必要。	軽水炉のJEAC 4615-2008 原子力発電所放射線遮へい設計規程」に準拠する。設計手法・データ等の原子力学会標準が必要。	二重規制を回避できる合理化。新型炉に対する基準・指針の整備が不十分。	防災指針の充実化が必要。	整備済。指針：放射性廃棄物処理施設の安全審査の基本的考え方等。NISA文書(内規)：放射能濃度の測定及び評価の方法について(クリアランスレベル)等。総合エネ調原子力安全・保安部会報告書：実用発電用原子炉施設の廃止措置に係る安全確保及び安全規制の考え方等	原子力学会の輸送関係の標準への取入れを適宜実施。輸送容器のモンテカルロ法の適用については、ハンドブック等の作成を視野に検討中。	RI施設における放射化物のクリアランス制度、放射性廃棄物でない廃棄物の制定が強く望まれている。	法令順守で安全率の定義などが不明確	法令順守で安全率の定義などが不明確	基準や指針の設定の必要はないが、国際的に整合した考え方に基づくことが望ましい。	

○	問題なし
△	課題はあるが、喫緊のものではない
▲	問題あり

第２表（３／３） 放射線遮蔽の現状（その他の状況）

取り纏め	森島委員						今野委員	大石委員		高木委員	坂本委員
担当メンバー	上松委員、林委員		中田(JNES)委員		中田(MHI)委員	小田野委員、近内委員、浅見委員	真木委員、助川委員	中島委員	中島委員、高田委員	ー	奥野委員
適用施設例 ＼ 課題項目	原子炉施設及び関連施設						7.核融合炉	8.加速器	9.医療	10.航空宇宙	11.工業利用
	1.軽水炉（次世代軽水炉含む）	2.再処理施設 加工施設	3.高速増殖炉等	4.防災、AM PSA	5.廃炉・低レベル廃棄物	6.輸送・貯蔵施設			（医療用加速器）		
その他の状況											
人材育成、技術伝承	△	▲	▲	▲	△	△	▲	△	▲	△	△
	運転プラント対応、次期計画の対応として技術伝承と人材育成が日々の重要課題である。単なる現状技術の伝承ではなく、最新の情報を適宜現場に反映していく技術の伝承も重要。また、海外許認可対応（人材と手法整備）が必要。	同左	世代交代時期であり、放射線に対する認識や遮へいの原理的な仕組みの技術伝承が課題	事故時の線量評価を大局的に見ることができる技術者・人材の育成が必要である。	各メーカー、研究機関にて人材育成・技術伝承がなされている。	技能伝承は重要。技能伝承を促進するようなツール開発（暗黙知の見える化）も必要か。	ポストがなく、若手の育成、技術伝承が困難	常に重要なこと	放射線工学分野からの医療放射線関連の人材育成	この分野に携わっている研究者の絶対数が少ない。機関が限られる。	メーカー、設置者、遮蔽技術者・研究者の間の連携はあるか？ 設置者は、メーカーの言いなり？
対外アピール、他分野との連携	▲	▲	△	△	△	△	△	△	▲	△	△
	他分野との積極的な連携は少ない。遮へい分野では、中性子/ガンマの輸送、放射化などを扱っており、例えば放射線計測との連携を深める必要がある。	同左	他分野との積極的な連携は少ない。	体内被ばくを検討している保物学会との連携（ファントムモデル*の拡張）	他分野との積極的な連携は少ない。	他分野との協力に関しては、共通基盤的な成果目標及びアウトカムの設定が必要。	他分野で開発されたもので「核融合」に転用できるものは利用されており、他分野との連携は行われている。 装置建設コストに与える影響の大きい遮蔽構造の合理化が必要であることを、核融合分野の関係者だけでなく外部にもアピールし、核融合分野の遮蔽設計に反映させる。	放射線工学に携わる人の地位向上	医学物理のみならず、放射線技師会などとの連携	超高層・地球磁気圏の地球物理学分野との連携が必要。	信頼性のある遮蔽設計法・データの普及
研究活動	▲	△	△	△	○	△	△	○	△	△	△
	当面の軽水炉の遮へいは確立されており、研究開発は予防保全技術に係るものや次世代軽水炉を対象とした遮へい合理化、超高燃焼度対応、MOX対応である。燃焼計算、放射化計算についてもライブラリー検討を始めとする活動がある。	少ない	従来は常陽、もんじゅ、JASPER等で活発な研究活動を実施していたが、ここ10年間は低調である。特に、計算理論に関する研究には目新しいものがなく、欧米に比べて活動は低調である。	不明	各研究期間、電力会社による研究、各メーカ・エンジニアリングも参画しており、研究活動は活発。	輸送の安全研究のうち、放射線挙動に関するものはほとんど予算がつかないのが現状。輸送に関しては、原子力安全委員会放射性物質安全輸送専門部会で、研究開発が必要な課題について検討することが決まっており、具体的な研究開発の玉が検討できれば、予算化も可能か。	研究活動は活発とは言えない。研究内容を相補発展させるため、研究者間の連携強化が望まれる。	活発である	医療分野との共同研究	少ない	多分に少ない

○ 問題なし
△ 課題はあるが、喫緊のものではない
▲ 問題あり

３．２　実情調査アンケート結果

各分野の抱える課題は３．１項にてある程度の把握できたが、実態をより詳細に確認するため、委員への実態調査アンケートを実施した。アンケートは 2010 年 5 月～6 月にかけて実施し、アンケート項目は添付－２参照。

実態調査アンケート結果は、有効回答数２１件を得られた。これらの結果について集計した結果を次ページに円グラフの形式でまとめた（回答数の割合表示）。

また、回答傾向を見るため、添付－３には「メーカー（ソフト会社）」、「大学・研究機関」、「その他」の３つに分けて集計を行ったケースを記載した。

傾向をまとめると以下のとおりである。

①全般

・放射線遮蔽部門は２～５人の小所帯が多い。
・解析は主に自組織内で実施し、解析者は結果を判断できる能力を持っている。
・ベテランを主体とした人員構成。
・これまでは人員を確保していたが、将来の人員確保が難しい。
・教育・技術伝承は OJT 及びレクチャーなど業務・人を介した方式。
・教育の障害は業務多忙と人員不足。
・参照文献は、国内で作成されたものが主体。
・計算コードは MCNP の利用が極端に高い
・核データ JENDL は広く用いられており、問題に合わせて最適なものを選択している。
・プログラム言語はすべての機関で FORTRAN が用いられている。

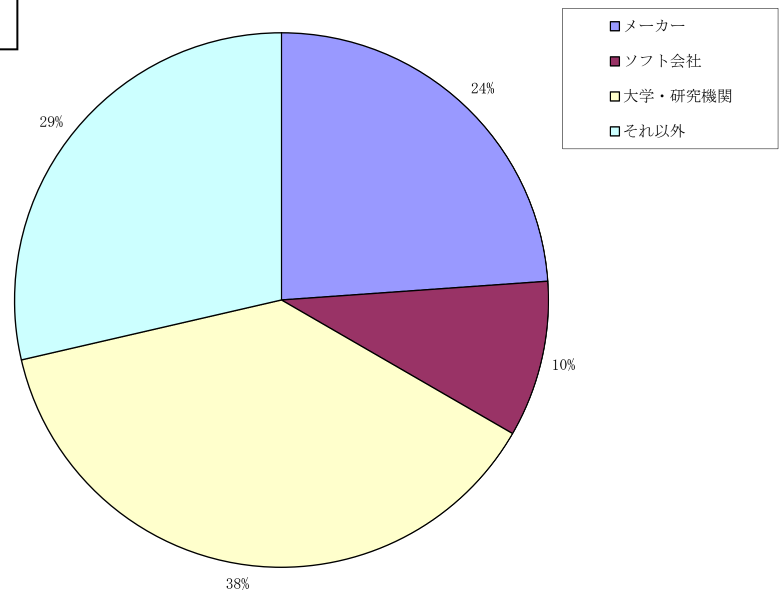
②機関別の特徴

・人員構成・将来見込みについて機関別の差がある。
・使用するコードも、原子炉施設主体と加速器主体の特徴がある。

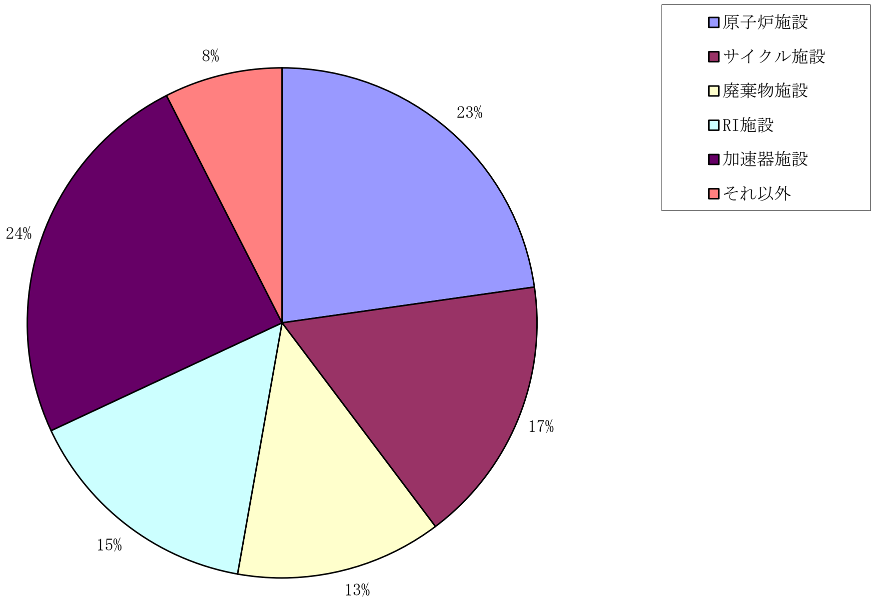
アンケート集計結果１

①所属機関のカテゴリ

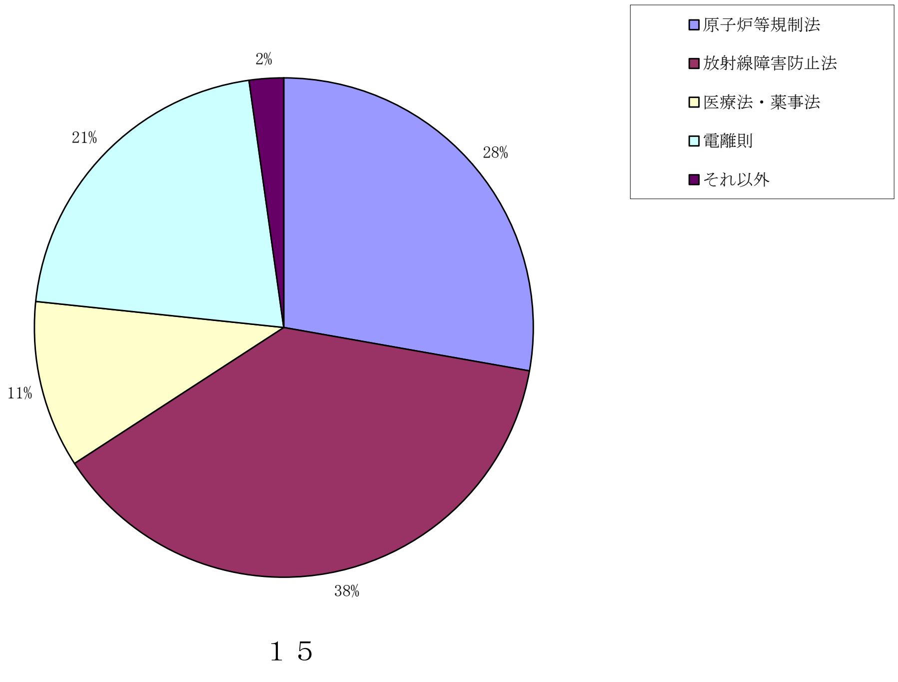
総回答数は21



②対象領域・分野



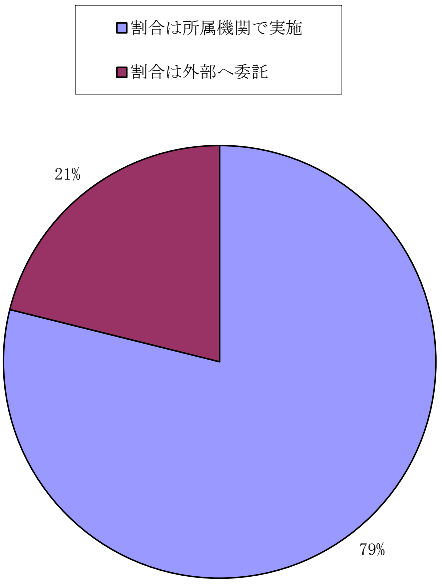
③関係する法令



アンケート集計結果２

④遮蔽計算の実態

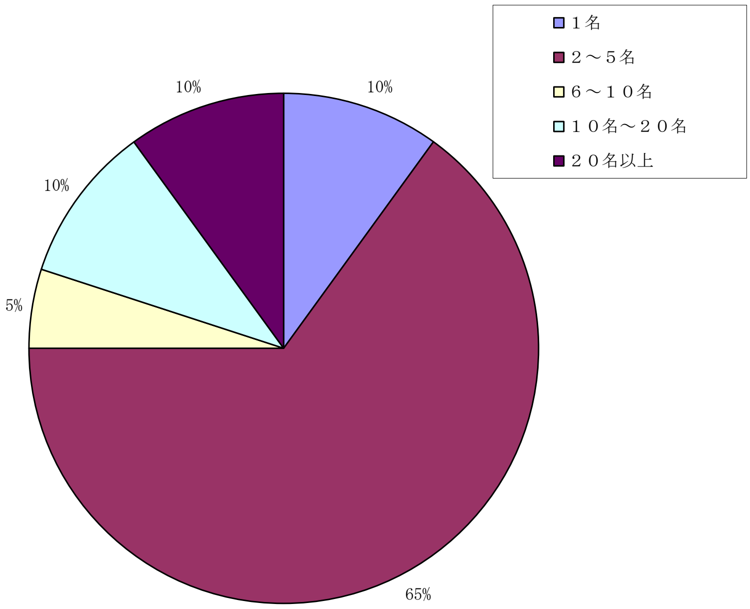
自組織内で実施がほとんど



⑤放射線遮蔽に携わる人員(所属範囲)は

⑥計算コードを動かせる人員は？

⑦計算結果の「判断」ができる人員は？

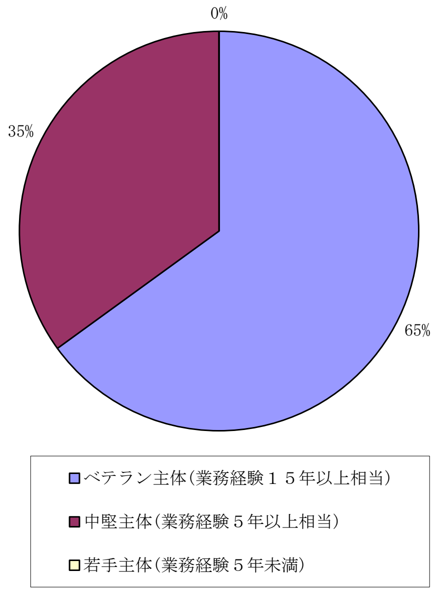


⑤～⑦はほとんど同じ数字のため、解析者は結果を判断できる能力を持っているといえる。

アンケート集計結果３

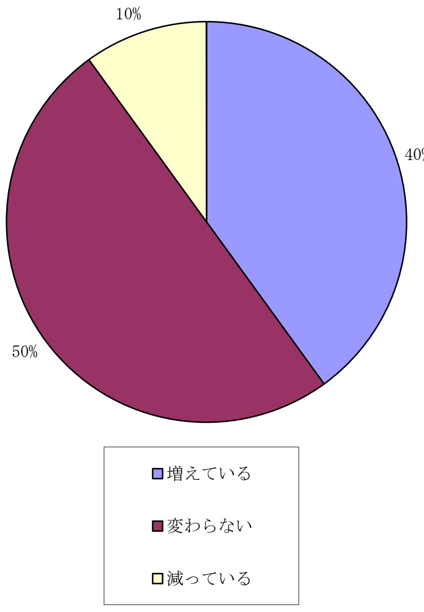
⑧ 人 員 構 成 は？

ベテラン主体が多数。

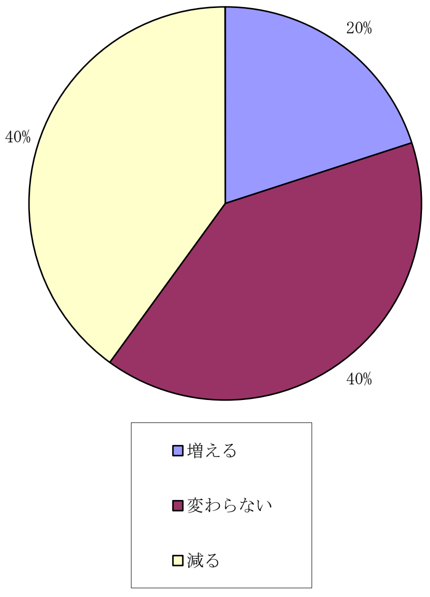


⑨人員は５年前と比較して現状

⑩人員の５年後の予測



５年前より増えているないし、変わらない

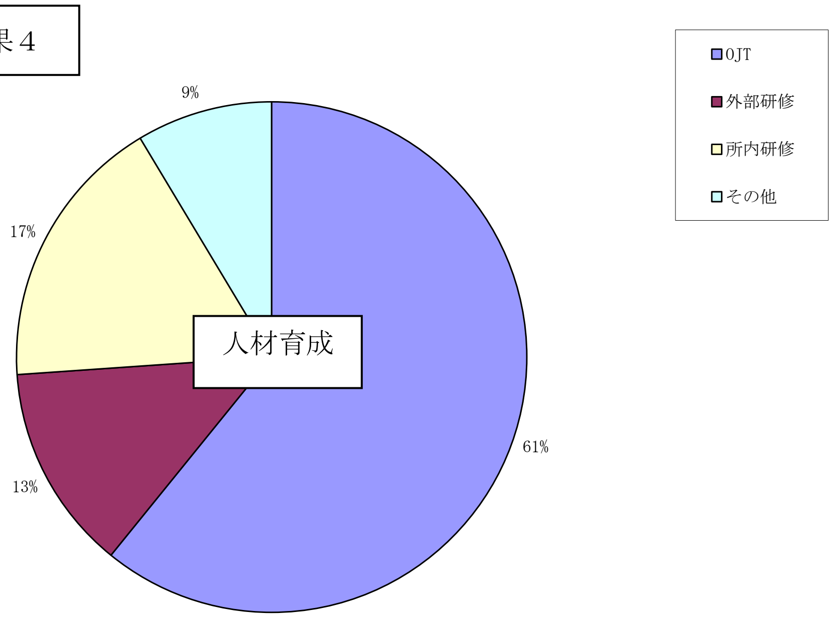


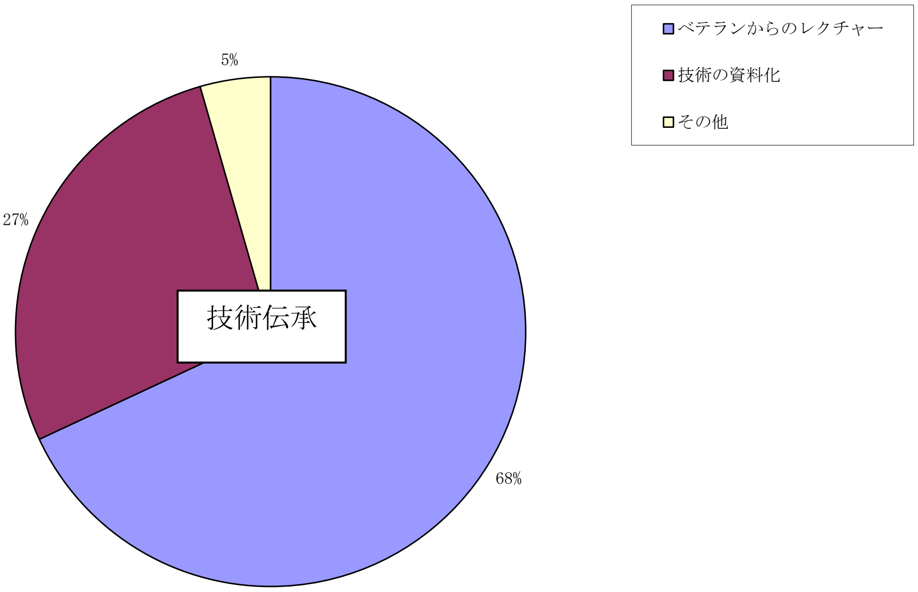
５年後は変わらない又は減る方向

アンケート集計結果４

⑪人材育成･技術伝承の現在の状況について教えてください。

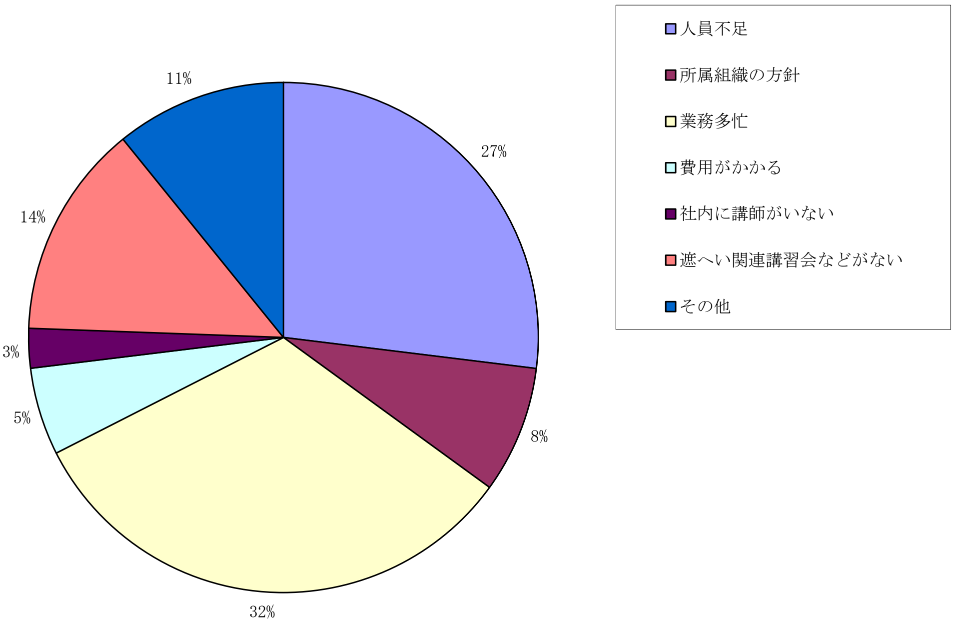
自由記述欄を添付－１に示す





⑫人材育成･技術伝承の問題点について記載してください。

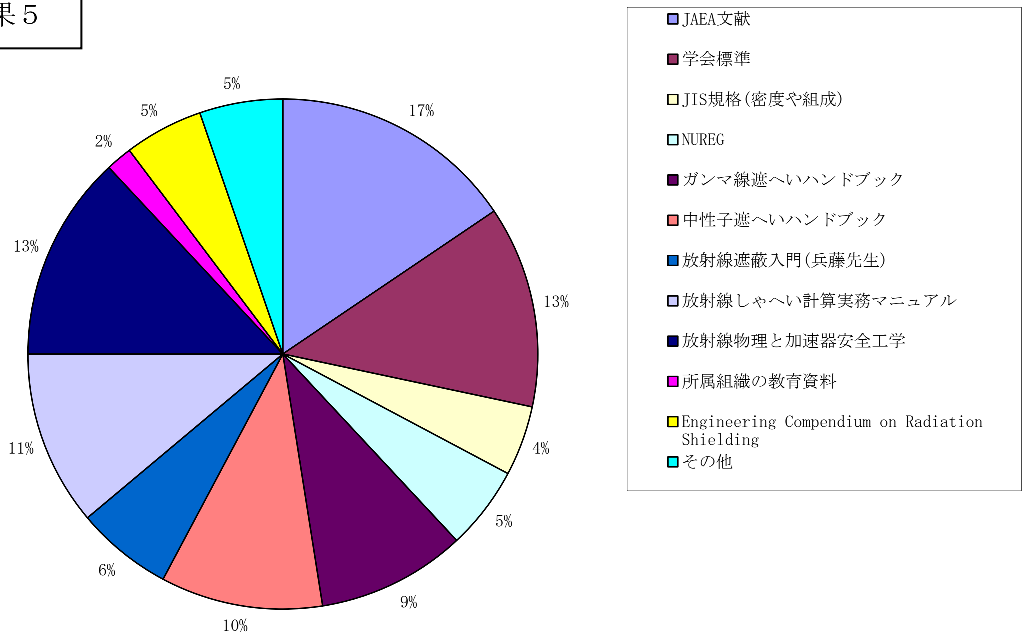
自由記述欄を添付－１に示す



アンケート集計結果５

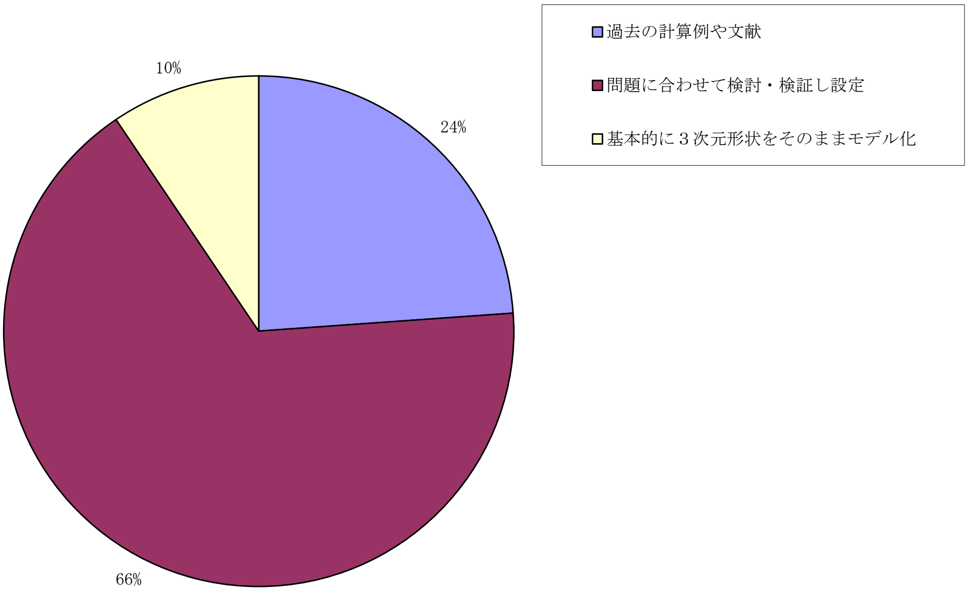
⑬－１

遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献



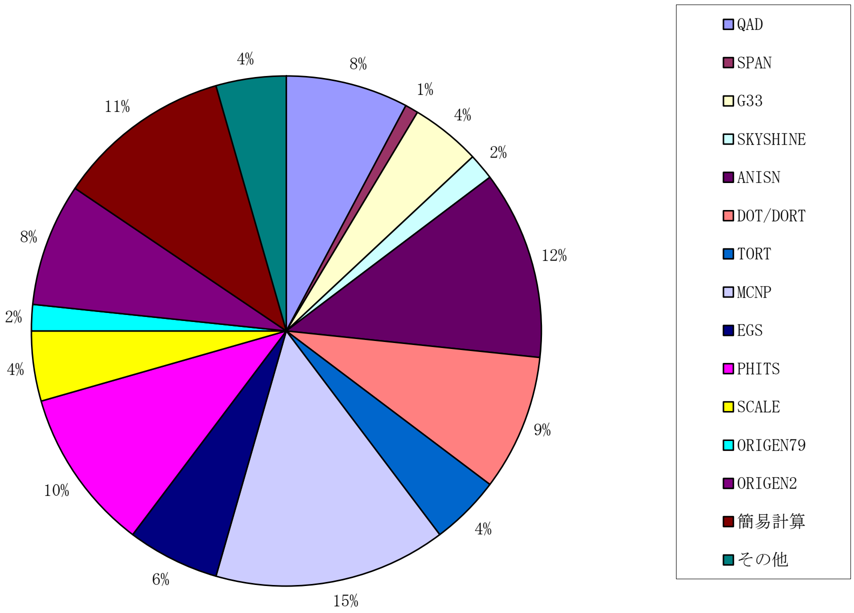
⑬－２

遮蔽評価モデル設定



⑭主にどの計算コードを使用していますか？

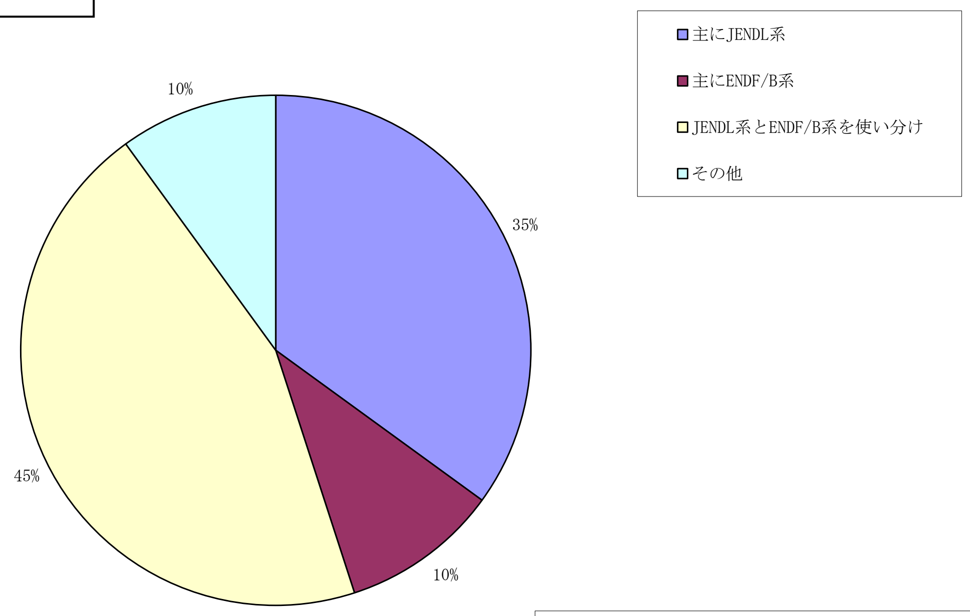
MCNP が最多



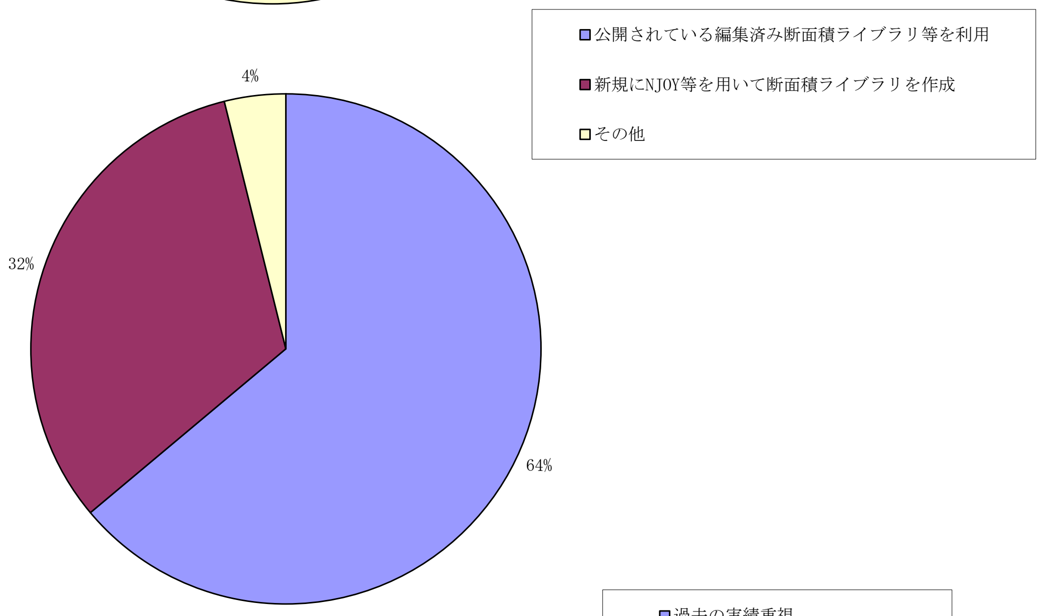
アンケート集計結果６

⑮－１
核データ･断面積の利用

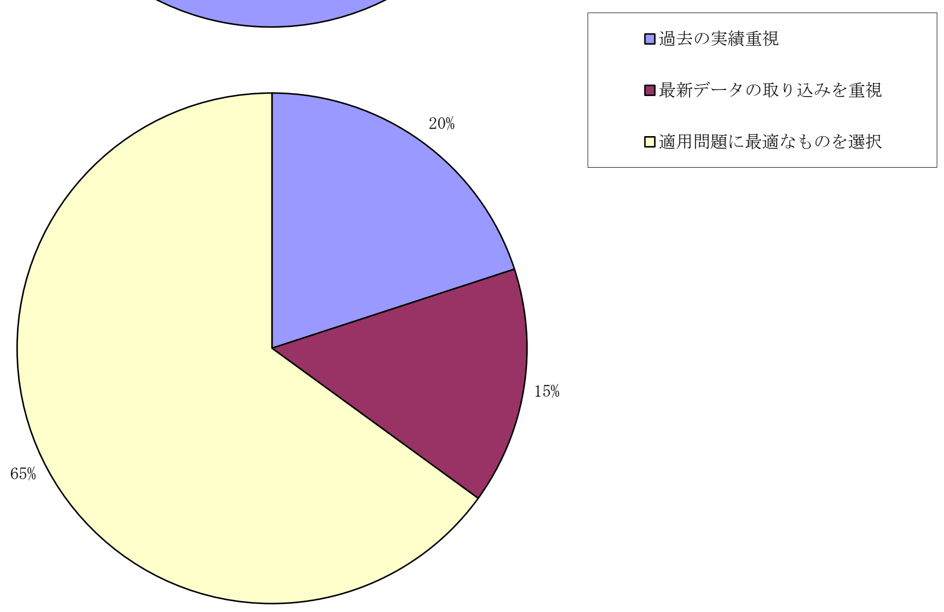
JENDL 系がかなり利用されている。



⑮－２
断面積ライブラリの利用実態

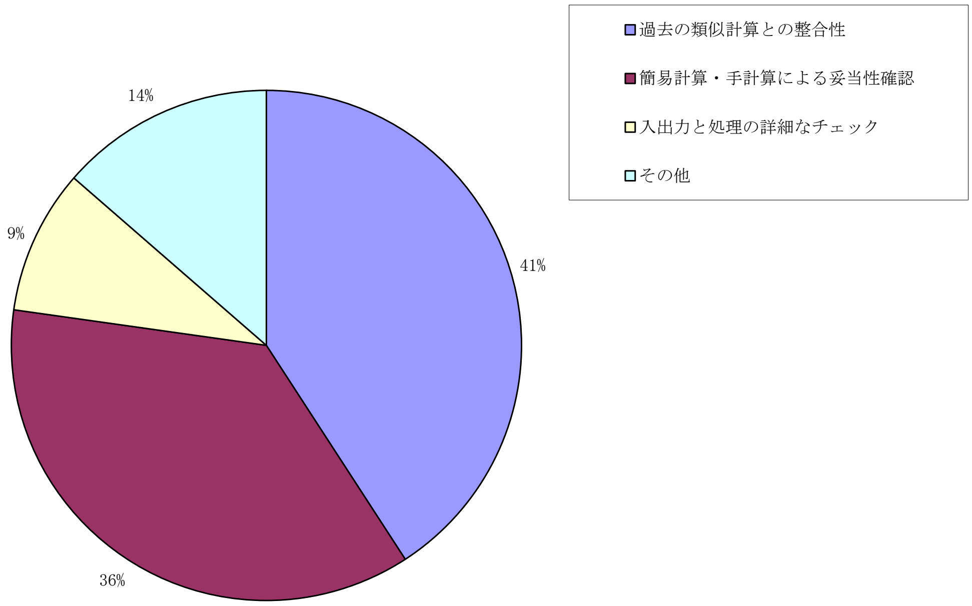


⑮－３
断面積ライブラリ選択の判断基準



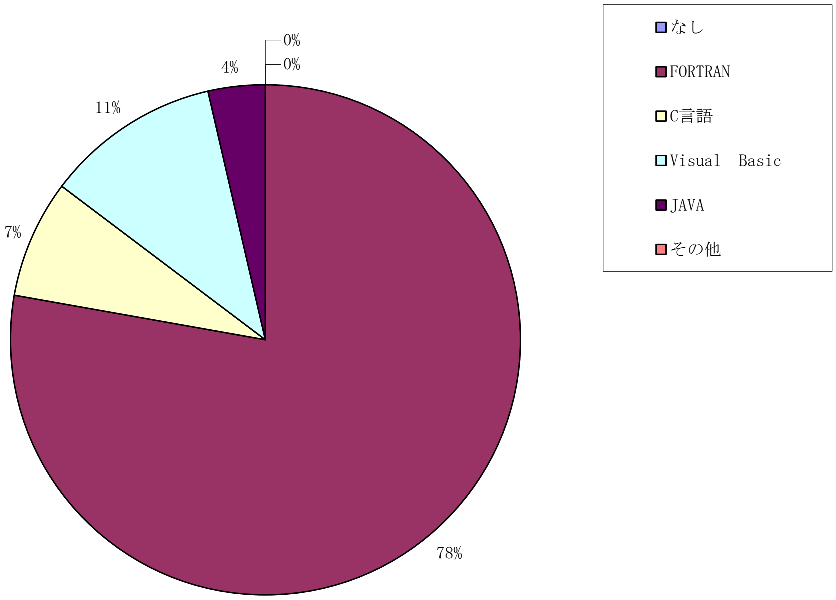
アンケート集計結果７

⑯計算結果の妥当性判断方法



⑰使用又は教育しているプログラム言語

FORTRAN が最多



４．放射線遮蔽分野の技術ロードマップ

４－１　放射線遮蔽分野で必要な項目

過去に分野別の課題等の抽出、委員を対象とした実態調査から放射線遮蔽分野のロードマップについて検討を実施した。当初計画では、分野別のロードマップとリンクさせて、放射線遮蔽分野の必要な項目を示す予定であった。しかし、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災により、原子力分野全体の先行きが不透明になっており分野別のロードマップとリンクさせることが困難となった。

このため、これまでの検討からピックアップした項目について、以下の３つに分類してまとめることとした。

①標準化(V&V)に関連する項目
②評価の高精度化に関連する項目
③技術伝承に関連する項目

また、各項目の対応すべき期間は、「短期（５年)」「中期（５～10 年)」「長期（10～15 年)」に種別し、アンケートからピックアップした項目については対応すべき期間を記載することにより放射線遮蔽分野のロードマップを作成した。

４－２　各項目の現状

【①標準化(V&V)に関連する項目】

・日本原子力学会では、ガンマ線ビルドアップ係数の標準データを整備中である。この標準データでは、光子断面積データとビルドアップ係数算出コードを統一し、遮蔽厚さを 40mfp から 100mfp まで拡張するとともに、ビルドアップ係数の対象となる線量を、照射線量、吸収線量に加えて AP 照射条件及び ISO 照射条件の実効線量、並びに 1cm 線量当量の 5 種類としている。今後、遮蔽材料の典型的な元素組成の標準化が検討される予定である。一方、米国原子力学会標準委員会でも、1991 年に制定した工学的材料に対する光子の減衰係数とガンマ線ビルドアップ係数に関する標準データの見直し作業を始めた。
・許認可の遮蔽計算におけるモンテカルロ計算コードの使用に関しては、輸送容器の遮蔽設計時にモンテカルロ計算コードを使用するためのガイドラインが検討されている。

【②評価の高精度化に関連する項目】

・日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構及び高度情報科学技術研究機構が共同開発している粒子・重イオン輸送計算コード PHITS2 と、JENDL-4 に基づく中性子及び光子に対する断面積ライブラリの利用が可能になり、医療応用分野のユーザー数が拡大している。
・原子力安全技術センター発行の「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」改訂】作業が行われている。これは、日本アイソトープ協会発行のアイソトープ手帳掲載の RI ガ

ンマ線、X線のデータの下限エネルギーが 30keV から 10keV に引き下げられた事に伴うものである。

・事故時の線量評価には、IAEA の TecDoc レポートに記載の数値が使用されているが、数字の根拠や導出方法が明確でないものも見られる。除染評価を含めて、最新の計算手法を使用したデータの提供が求められている。代表的な RI 核種が地表面に一様に分布している場合の線量率評価では、モンテカルロ計算コードの EGS と PHITS でほぼ同じ結果が得られる一方、点減衰核積分コード QAD では散乱線については約 2 倍となることが分かった。

【③技術伝承に関連する項目】

・放射線遮蔽関係の研究専門委員会が作成した中性子遮蔽ハンドブック、γ線遮蔽ハンドブックは、現在でも使用されているが、既に発行から 20 年を経過しており、最新の知見を取り入れたものに改定することが求められている。

４－３　放射線遮蔽分野のロードマップ

第３表に放射線遮蔽分野のロードマップを示す。なお、福島第１事故以前に作成した各分野の将来計画を参考として第４表に示す。

第３表　放射線遮蔽分野の技術ロードマップ

対応する課題	放射線遮蔽分野対応項目	2012～2015年	2015～2020年	2020～2025年
標準化関連 (V&V)	許認可用遮蔽計算手法及びデータの認定制度構築	中期項目	中期項目	
	既存三次元モンテカルロコードの標準化とその検証	中期項目	中期項目	
	放射化評価コード・ライブラリの標準化	短期項目	短期項目	
高精度化関連	国産標準遮蔽コードの開発	中期項目	中期項目	
	宇宙放射線や粒子線治療への適用拡大のための基盤整備	長期継続項目	長期継続項目	長期継続項目
	既存の遮蔽ベンチマーク実験データの整備	中期項目	中期項目	
	解析コード幾何形状入力データ自動作成システム開発	中期項目	中期項目	
技術伝承関連	遮蔽ハンドブック（中性子、ガンマ線）の改訂	短期項目	短期項目	
	遮蔽評価に係る実験のための照射施設の整備・維持	長期継続項目	長期継続項目	長期継続項目
	遮蔽解析コードの実践的なマニュアル整備及び遮蔽解析実習講座	長期継続項目	長期継続項目	長期継続項目
	原子力機構等で遮蔽実験の実習講座	長期継続項目	長期継続項目	長期継続項目

第４表（１／２）　参考用－各分野の将来計画の概要（2010 年作成）

分野		2010～2015年	2015～2020年	2020～2025年
軽水炉（次世代軽水炉含む）	既設軽水炉計画	▼初期プラント 40 年経過（2010 年）	既設軽水炉の高燃焼度燃料（60～70GWd/t）、長期サイクル運転	
	次世代軽水炉計画	▼次世代炉基本仕様（2010 年）	▼次世代炉基本仕様（2015 年） 詳細設計／安全審査／建設等（2030 年運転開始）	
再処理施設 加工施設	軽水炉燃料 再処理	六ヶ所再処理設備を通じた技術的知見蓄積	ふげん、MOX 燃料、高燃焼度燃料再処理試験を通じた技術蓄積。FBR の MOX 再処理	
高速増殖炉開発	「常陽」「もんじゅ」			
	大型試験施設	設計　建設	試験	
	実証炉 （50～75万kWe）	概念設計	基本設計　安全審査	詳細設計 建設・試験 運転開始▼
廃炉廃棄物	東海炉廃止措置	安全貯蔵　解体撤去		
	ふげん廃止措置	燃料搬出　周辺設備解体撤去	解体撤去	
	商業炉	▼初期プラント 40 年経過（2010 年）		商業炉廃止措置

第４表（２／２）　参考用－各分野の将来計画の概要（2010 年作成）

分　野		2010〜2015年	2015〜2020年	2020〜2025年
核融合分野	ITER	建　設		物理実験フェーズ
	原型炉	基礎設計・開発	工学設計・開発	製造設計
	JT60SA	改　修	運　転	
	IFMIF	工学実証及び工学設計活動（EVEDA）	建　設	運　転
宇宙・航空分野	有人宇宙関連	基盤技術確立フェーズ	月面拠点準備フェーズ	実用・展開フェーズ
		JEM 初期〜第３期利用		日本人宇宙飛行士の月面短期滞在
		JEM・HTV 運用を通じた有人運用技術の習得		
			次期国際有人宇宙計画を活用した技術開発（月面拠点の本格的開発）	
		有人拠点開発のための戦略技術開発		
		ISS 計画を活用した技術実証・獲得		

５．東電福島第１原子力発電所事故以降の各分野の状況

５．１　原子炉・核燃料分野

東電福島第１原子力発電所(以降福島第１原子力発電所と呼ぶ)の事故により、軽水炉のみならず核燃料サイクルの見直しを含めた原子力分野全般に大きな影響を受けている。国内の原子力発電所は、定期検査による停止で平成 24 年 4 月には、総ての原子炉が停止する状況にあるが、再起動には、地震・津波への緊急安全対策は勿論のこと、ストレステストの報告と審査、地元市町村・県の了解など多くのステップと時間を要する状況にある。

また、現在、原子力を含めた基本的なエネルギー政策の見直し、原子力安全規制法令及び体制の見直し、軽水炉に対するシビアアクシデントを初めとした安全対策の強化、原子力防災体制の見直しが進められており、根本的かつ大幅な変化があることが予想される。

一方、福島では、住民の帰還に向けて、計画的かつ広範なセシウムの除染を進めるとともに、詳細な線量の監視、警戒区域の見直しや各種の支援方策が進められている。福島第１原子力発電所内では、当面「中期的安全確保の考え方」に沿って、原子炉の廃止に向けた期間における公衆及び作業員の安全を確保する対策（原子炉の安定化、廃止措置及び敷地内の除染、関連技術の研究）が進められている。

このため、当面国内では、新たな原子力発電所及び核燃料サイクル施設の建設や許認可は考えにくく、国際的な対応を除けば、福島第１原子力発電所や 40 年超の古い炉などの廃止措置、除染した土壌の中間貯蔵施設建設及び福島第１原子力発電所関連の燃料やがれきの処理・貯蔵が主となるものと考えられる。

このように、福島第１原子力発電所の事故の様々な影響、原子力の安全性に関する国民の注目は大きく、特に原子炉の過酷事故(シビアアクシデント)に関する安全性及び評価技術は、重要度を増している。放射線遮蔽分野の技術は、ジビアアクシデント時の環境線量評価などでも重要な技術である。

基本的に原子炉･核燃料関連分野の遮蔽としては､国際的な対応を除けば､新しい技術、新しいデータ、新たな人材の育成強化ニーズが増えることは期待しにくく、当分現状を維持する方向で進まざるを得ないものと考えられる。しかしながら、上記の様に原子力安全評価を始めとして、放射線・放射性物質に関する業務は、むしろ幅広く増加している状況もある。こうした観点で考えると、放射線遮蔽や放射線被ばく分野の果たすべき重要度は増しているとも言える。

５．２　廃棄物・輸送・貯蔵分野

福島第１原子力発電所の事故により、廃棄物・輸送・貯蔵分野では、以下の課題が新たに生じた。

・事故時に大気中に放出された放射性物質による広大な地域の汚染土壌等の除染に伴う放射性廃棄物の貯蔵及び輸送

・警戒区域内の高レベルの汚染された瓦礫等の廃棄物の貯蔵、輸送
・汚染された原子炉施設の廃止措置に伴う廃棄物の貯蔵、輸送
・炉内及び使用済燃料貯蔵プール内の損傷燃料の輸送

警戒区域外の除染はすでに開始されており、集積所に一旦集められ、その後中間貯蔵施設に輸送されることになっている。一方、警戒区域内の瓦礫の処分は、中長期的な取組みとなる。いずれの放射性廃棄物についても、従来想定されたものとは異なることから、線源評価上の課題はあるものの、遮蔽技術としては、既存技術の活用で対応できると考えられる。

除染作業は一般に限られた区画に対して行われ、非除染区画からの線量寄与が無視できない。そこで、複数の機関から、あらかじめ評価点から離れた区画の線量寄与を計算したマトリクックスを利用することで、EXCEL 等で簡単に除染前後の線量を計算し、線量低減効果を評価するシステムが提供されている。

損傷燃料の輸送に関しては、炉心溶融したデブリの取り出し等の技術的課題が解決された後の輸送となり、中長期的な課題である。TMI-2 の例を見ても、放射能インベントリの特定について、課題が存在すると思われる。今後、容器設計等が開始されると思われるが、その中で、容器内の収納限度を如何に設定するかとの関連において放射能インベントリの特定の方法について検討が必要と思われる。なお、容器の遮蔽安全評価においては、従来の遮蔽評価技術が利用可能である。

５．３　核融合分野

核融合分野では、福島第１原子力発電所事故による影響は少なく、これまで通り国際熱核融合実験炉 ITER 計画、幅広いアプローチ BA 計画が粛々と進められている。但し、福島第１事故後、核融合炉においても安全性がクローズアップされる傾向がみられ、核融合関連の学会等で核融合炉の安全性の議論が前面にでてきている。核融合炉の安全性では、通常の放射線遮蔽だけでなく、燃料として使うトリチウムの閉じ込めが大きな課題になっているのが特徴的で、今後、放射線遮蔽の研究者はトリチウムの研究者とも密接に連携していく必要があろう。

５．４　加速器・放射線利用・その他分野

加速器・放射線利用・その他の分野でも、福島第１原子力発電所事故による影響は少ない。震災との関連では、東北地方に放射光施設を建設したいという計画が出されている。

５．５　各分野の状況まとめ

福島第１原子力発電所事故の影響は、分野により影響の度合いは異なるものの、日本の原子力関連分野に極めて大きな影響を与えた。また、これまでの国の原子力政策についても見直しが行われている最中である。

しかし、我々は福島第１原子力発電所事故の原因国としてその教訓を伝えていかなければならない責務がある。放射線遮蔽分野においても、この貴重な教訓をどのように反映するかは大きな課題である。また、大きな柱である原子力発電については、震災前後で別世界(アナザーワールド)となっており、これまで蓄積した放射線遮蔽に関する評価技術をどのように伝承していくかも大きな課題である。

こうした点から放射線遮蔽分野では、福島第１原子力発電所事故の教訓、技術者の育成・伝承を行うためにも、既存技術のきちんとした整理が必要不可欠であり、来年度に予定されている遮蔽ハンドブックの整備はその第一歩となるものと考えられる。

－　参考資料　－

１）K. Shibata, et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3," J. Nucl. Sci. Technol. 39, 1125 (2002).

２）古林徹，他，医学用原子分子・原子核データに関するアンケート調査報告書,2004, JAEA-Review 2006-002, (2006).

３）第 18 回原子力委員会資料第 1 号，平成 19 年度放射線利用の経済規模に関する調査報告書―要約版―（内閣府委託事業），独立行政法人日本原子力研究開発機構，（平成 19 年 12 月）.

４）原子力ハンドブック編集委員会編，原子力ハンドブック，オーム社（2008).

５）財団法人原子力安全技術センター，放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル（2007).

６）International Commission on Radiological Protection, "The 2007 Recommendations of the International Commissions on Radiological Protection, Publication 103," Annals of the ICRP, 37 (2-4), (Elsevier) (2007).

⑪人材育成・技術伝承の現在の状況について教えてください。

・団塊の世代が退職するとともに、経験者が世代的または業務の変貌に応じ、他部署へ異動する傾向がある。そのため、技術を伝承すべき対象に比べ、教育する側の相が薄くなっている。再雇用による OB 活用実施しているが、より一層の対策を打つか、若手がより一層自発的に経験者に頼る姿勢が必要。
・OJT で遮蔽計算技術の習得を行っているほか、外部研修（計算コードの講習会）を活用
・遮蔽研究を実施している機関への出向や留学も有効に機能している。
・当ＮＰＯ法人の使命の一つに放射線線量解析・評価技術の伝承があります。伝承すべき技術としては「放射線線量解析計算コード、データベースの開発整備、公開」と共に、「解析計算値の評価技術の継承」を掲げています。特に、計算コードをブラックボックスとしての使用が増えている現状では「解析計算値の評価技術の継承」が重要です。その内容については、論文をまとめていますが機会があれば発表させて下さい。
・博士研や任期付研究員しか入らないため、長期的な人材育成、技術伝承ができない。
・時期がくれば考慮するが、人材育成・技術伝承を行うだけの余裕はない。
・OJT（含む遮蔽計算に対するコンサルタント）
・自前の講習会及びミニ講習会（PHITS コード、ミニ講習会では外部に出向く）
・外部の講義演習・講習会への協力（東大専門職大学院、RIST の RSICC ユーザー会講習会、日本原子力情報センター主催基礎講座）
・新人は、なるべく早い段階から遮蔽解析作業に従事させて、各単位作業の一部を分担あるいはデータチェックをさせて業務の流れを理解させる。次に、解析結果の整理を通じて、施設における特性理解に努め、解析ケースの管理やリスタートケースの管理など解析作業に慣れさせ、入力の作成、テスト計算、結果の処理を徐々に任せてゆく。ある程度慣れたところで、比較的簡単な作業を、データ準備から結果のまとめまで任せる。
・今後、新人が来る可能性が不明なため、技術資料として残す位しか無い。ただし、資料のみでは伝えることが出来る情報は限られるため、不安もある。
・技術継承する必要があり、実施したいと考えているが、若手（40 歳以下）の正規職員がおらず、実施できない
・育成する若手がいない。中堅は、業務多忙のため、それぞれ独自に自己研鑽している。
・関連会社の若い人を対象に研修も行おうとしています。また、RIST・JAEA 研修センターにて講習会の講師を務めることにより、広い層に技術を伝えています。
・業務を通じて、計算コードの流し方を指導する。計算はすぐできるようになるが、内容を理解し、判断するには時間がかかる。特にユーザーインターフェースがしっかりしているツールほど、中の物理モデルを気にしなくてもよいので、設計業務としては効率的なのだが、学習的ではない。モンテカルロだけでなく決定論手法も教えるようにしている。

⑫人材育成・技術伝承の問題点について記載してください。

・原子力ルネサンスと言われながらも、競争が激しく新規業務の確保をより一層注力する必要があり、作業単位あたりの入金が減少しているため、事業を維持するための作業が年々増大している。そのため、人員に比べ業務が過大であり、実質的人員不足となっている。

・OJT である程度の人材育成、技術伝承は可能であるが、過去の蓄積を形として残していく作業が必要である。そのためには、遮蔽研究・遮蔽計算業務に従事している者が結束して、遮蔽ハンドブックやベンチマークデータ集の更新作業を行っていくことが必要。上記事業のみで、予算獲得は困難であるが、各機関が通常の業務の一環として実施することができるような素地作りが必要。

・国産コードの開発については、JAEA でしかできないものと思われ、是非、プロジェクト化の検討をお願いしたい。そのような活動に遮蔽研究者・実務者がオールジャパンで取組むことにより、放射線工学分野の底上げ、人材育成・技術伝承に貢献するものと思われる。

・当法人の使命の一つに放射線線量解析（ソフトウェアー）の社会的価値の向上があります。パソコンのハードとソフトの役割に比較すると、わが国の放射線に係る分野では、遮蔽体製作、建設、放射線計測とハードの価値に比べ、それに使用するソフトの価値が低すぎます。当法人ではＯＢの活動の場を提供すると共に、他の組織とネットワークを組み、ソフトの価値向上と組織の共栄を図りたいと考えています。

・人材を育成し、技術伝承をしたくても、それをする若手、新人が 8 年以上も配属されず、現場の平均年齢は上がる一方で、このままでは若手に技術伝承をできずに部署がなくなってしまう可能性が極めて高く、危機的な状況にある。

・マニュアル等に載っている関連データは関心のあるものでないとわかり難く、取り組みにくい。

・日本原子力情報センター主催の基礎講座は有料であり、無料若しくは参加費が非常に安い講座・講習会を学会若しくは部会主催で定期的に開催することが望ましい。

・遮蔽計算一般に対する質問等に電子メール等で答えるネットワークが必要である。特定の個人、機関に依存せず、コミュニティーで対応できるもの。

・遮蔽以外の管理や手続きの雑務が多く、肝心の技術に関する伝承の機会が少ない。結果的に先に示したようなＯＪＴで対応するのみである。

・社内ではニッチな分野なため、会社の認識が薄い。

・定員削減が義務付けられていること、他の業務でもポスト不足が顕著であり、人員不足への対応がしにくいのが悩みである。

・先ず人員を確保したい。次に大学、学会等で、初期教育をお願いしたい。ある程度基礎を学んだ段階で、個別教育を行いたい。

・公的機関の価格競争の導入等により、放射線遮蔽解析業務の単価はどんどん下がってき

て、事業としては成立しないレベルまで来ています。これでは、民間会社としての投資を引き出すのは難しくなります。

・発注側・受注側ともに、過度な価格競争の弊害を認識し、公正な競争を保ちつつ、業界全体の底上げを図る工夫が必要だと思います。

・計算コードの外部研修として，計算コードの概説，使用方法ともに計算結果の検証方法を含めた研修を望んでいる。

・学会主導でメーカー間及びメーカー／大学・研究機関との交流会を行いボトムアップを図る他，実設計での課題摘出，対応などを議論できる場所を設けてほしい。

・現在は、経験者がいるため、技術伝承がまだできるが、中堅層（３０～４０代前半）が少ないため、５年後では間に合わない。関連する仕事がないと技術伝承もできない。仕事の単価が安い。新規性のないテーマには研究費もつかないので、いかに仕事をつくるかが問題。

⑱計算コードの作成や改良

・精度はともかくエネルギー範囲、線種、反応に応じて、種々の計算コードがすでに存在する。ベンチマーク実験が増えない以上、作業効率や計算速度を改善するか、入出力の品質保証をするぐらいしか残ってないと思われる。

・最近では、遮蔽計算コードで使用するパラメータ(例えば分散低減パラメータ)を求めるプログラムや、計算モデルの幾何形状を容易に作成するプログラムの作成に取組んでいる。

・我が国においては海外の計算コードを使用する場合が多いが、配布元が配布停止した場合の対応を考え、国産コードの開発について検討する必要がある。

・時間がない。

・他人任せでなくて、自力でコードを改良できないといけない。

・改良できる人が、コードの内容、改良技術も把握しているので、他人に指示できる。

・日頃から、単純な体系で簡易計算コードとモンテカルロ計算コードの比較計算を行っていることが大事だと思う。

・モンテカルロコードがメインとなってから計算コード自体をさわる必要性が無くなった。また、ＰＣによる計算で、ＥＸＣＥＬなど後処理も容易になってきていることも理由のひとつである。

・計算コード改良のニーズはあるが、改良費用以上に検証に必要がかかるため、躊躇している。

・これまで、我々は信頼できる計算方法がなかったことから自前で、開発し、精度検証を行ってきた。これらは他の施設にも一般化できると思われるので、今後、最新の知見を設計計算などに生かし、これらを一般的に使用してもらうためには、権威付けが不可欠と考える。そのための機関の選択、認証法など制度設計が重要である。そのためには、規制側が科学的知見を持つ必要がある。しかし、現実的には困難であるので、技術審査

は科学的知見を持った機関で別途行うべきである。　また、MCNP 問題、著作権問題を回避するために、外国のコードに頼らない体制の構築が必要。

・対応する業務がないと、開発費が回収できない。また、最近は品質保証を求められるケースが多く、実績や検証がされている既存コードを使う方が無難であるケースが多い。ニーズがあれば、検証作業をして、品質保証も行なう。

⑲遮蔽評価を行う上で「あったら便利なもの」「不足しているもの」を記述してください。

・ガンマ線・中性子遮蔽ハンドブックは、継続的に更新していくべき。更新間隔は 10 年毎でもよい。編纂に新しい世代が加わることにより、技術継承にもつながる。陽子等の粒子線についても、今後追加していくことも検討すべき。

・検証用ベンチマークデータ集も、適宜、新しいものを加える等、更新すべき。検証用ベンチマークデータの収集にあたっては、国外との連携も視野に入れるべき。

・放射線線量解析を「放射線遮蔽体設計」の道具としてだけでなく「実際におきた事故、トラブルにおける人への被ばく線量評価」「医療現場における従事者、患者の被ばく線量評価」「廃炉に伴う廃棄物の放射能評価」等、現在広がっている社会的ニーズを具体的に調査し、その対応を図ることが必要。

・コードのわかりやすい簡易利用マニュアルが欲しい。できればマニュアルに書かれていないノウハウも記載されているとベスト。

・最近、ガンマ線ストリーミングの簡易計算式を開発したので出来が良いと判断されれば採用してください。

・技術伝承の一環として、遮蔽設計、解析における注意点、確認すべき点、ヒヤリ・ハット集など先人の経験を差し支えない範囲で集めたものが欲しいですね。

・両ハンドブックの内容も古くなってきているので、改訂するのも良いかと思います。

・許認可の説明で必要となる遮蔽材組成を含む標準的なデータ集があると良い。若手が多いため､遮蔽用計算コードや FORTRAN は講習会に行かせたいが､講習会があまりない。

・最近は、エクセルが便利になっているので、エクセルで簡単な計算が即座にできるような環境があると良いと思います。そして、エクセルで用いられている方程式について詳細に説明したマニュアルがあると教育効果が高まると思います。

・講習会は最近、私自身ではあまり必要としませんが、KEK で実施している EGS 研究会のように、普及用の講習と研究発表の場をセットにした講習会は非常に有意義だと思います。これを一回限りでなく、毎年定期的に続けていくことで、遮蔽解析の裾野を広げると同時に、我国のレベルアップも図ることができると思います。できれば無償で。全て EGS 研究会では行えていることなので､是非 JAEA 等が中心となって予算を獲得し、お願いできれば、と思います。

・許認可申請時に新手法を導入する場合には，手法に関わる妥当性の検証が必要となるが，遮蔽分野毎に計算手法（使用可能な計算コード，データライブラリなど）がオーソライ

ズされたガイドラインなどがあることが望ましい。

・臨界安全ではＩＣＳＢＥＰ、炉物理ではIRPHeがある。これらは、臨界実験データの保存の意味合いも強いが、検証用としても便利である。遮蔽実験データ保存かつ検証用ベンチマークデータ整備は有益と思われる。

「放射線工学（放射線遮蔽分野）」技術ロードマップ策定のためのアンケート

原子力学会放射線遮蔽研究専門委員会

これまでの「放射線工学（放射線遮蔽分野）」技術ロードマップの策定に向けた検討では、原子炉施設、核燃料サイクル施設、核融合炉施設、加速器（研究用、医療用）施設、航空宇宙分野、工業・農業利用分野、防災分野等おける現状技術の状況・課題、将来ニーズ等を整理しましたが、共通する課題として、①人材育成、②遮蔽設計等に使われる計算手法（計算コードや核データ等）の標準化（妥当性確認、トレーサビリティの確保を含む）が挙げられました。今年度作業では、計算手法の標準化及び人材育成を中心に、その問題意識を共有するとともに、何が問題となっているのか、現場はどのような対応をしているのか等を具体的に確認したいと考え、以下のアンケートにご協力ください。

なお、アンケートについては、所属機関名等など個々を特定できる情報は公開しません。

また、アンケートの回答範囲は、ご自身が所属されている部門の範囲で結構です。

記

■人材育成

・放射線遮蔽解析関係の人材の実態について、差し支えない範囲で結構ですので、次ページの質問にご回答ください。

■計算手法の標準化

・放射線遮蔽の設計あるいは解析に、どのような計算コード・データを使用していますか？次ページの質問にご回答ください。

「放射線工学（放射線遮蔽分野)」技術ロードマップ策定のための実態調査

【所属機関に関する情報・遮へい関係者の人員】

①所属機関のカテゴリを記載してください。	□メーカー	□ソフト会社	□大学・研究機関
	□それ以外		
②対象領域・分野	□原子炉施設	□サイクル施設	□廃棄物施設
	□RI施設	□加速器施設	□(　　　　　　　)
③関係する法令	□原子炉等規制法	□放射線障害防止法	□医療法・薬事法
	□電離則	□（　　　　　　　）	
④遮へい計算の実態	●割合はどちらが多いか？	□所属機関で実施	□外部へ委託
	●外部委託で結果の判断は？	□所属機関で別途判断	□外部の妥当性判断を利用
⑤放射線遮蔽に携わる人員(所属範囲)は？	□１名	□１～５名	□６～１０名
	□１０名～２０名	□２０名以上	□約(　　　)名
⑥計算コードを動かせる人員は？	□いない	□１名	□２～４名
	□５名～９名	□１０名以上	□約(　　　)名
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	□いない	□１名	□２～４名
	□５名～９名	□１０名以上	□約(　　　)名
⑧人員構成は？	□____名 業務経験１５年以上相当	□____名 業務経験５年以上相当	□____名 業務経験５年未満

【人材育成に関する状況】

⑨人材育成の現在の状況について教えてください。	**人材育成を実施している場合**は、具体的にどのようなことを実施していますか。方法をなるべく具体的に記述ください。	回答例）育成方法：OJT、外部研修、所内研修・・・。*その他具体的に。*
		記述欄
	人材育成実施していない場合は、その理由をなるべく具体的に記述ください。	回答例）人員不足、所属組織の方針、業務多忙、費用がかかる、社内に講師がいない・・・。*その他具体的に。*
		記述欄
⑩人材育成の問題点について記載してください。	回答例）遮蔽関連講習会などがない。・・・*その他具体的に*	
	記述欄	
⑪技術伝承の状況・問題点を記載してください。	回答例）人員不足でできていない。分野によっては必ずしもうまくいっていない。・・・*その他具体的に*	

【遮蔽計算に関する情報】

遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	□JAERI 文献　□学会標準　□JIS 規格(密度や組成)　□NUREG □ガンマ線遮蔽ハンドブック　□中性子遮蔽ハンドブック □放射線遮蔽入門(兵藤先生)　□放射線しゃへい計算実務マニュアル □放射線物理と加速器安全工学　□所属組織の教育資料 □Engineering Compendium on Radiation Shielding □(　　　　　　　　　　) □(　　　　　　　　　　)					
⑫遮蔽評価モデル設定	●評価モデル設定で参照するのは(多いほう1つを選択) □過去の計算例や文献　□問題に合わせて検討・検証し設定 □基本的に3次元形状をそのままモデル化(詳細な部分は除く) ●評価モデル設定で問題点や憂慮している事項があれば記載してください。 記述欄					
⑭主にどの計算コードを使用していますか?	□QAD	□SPAN	□G33	□SKYSHINE		□ANISN
	□DOT/DORT	□TORT	□MCNP	□EGS	□PHITS	□SCALE
	□ORIGEN79	□ORIGEN2	□(　　)	□(　　)	□(　　)	□(　　)
⑮核データ・断面積の利用	●核データで頻度が高いのは(多いほう1つを選択) □主に JENDL 系　□主に ENDF/B 系　□JENDL 系と ENDF/B 系を使い分け □その他(　　　　　　　　　　) ●断面積ライブラリの利用実態(複数選択可) □公開されている編集済み断面積ライブラリ(BUGLE96,DLC23,VITAMIN 等)やコード付属のライブラリを利用 □新規に NJOY 等を用いて断面積ライブラリを作成 □その他(　　　　　　　　　　) ●断面積ライブラリ選択の判断基準(多いほう1つを選択) □過去の実績重視　□最新データの取り込みを重視　□適用問題に最適なものを選択					
⑯計算結果の妥当性判断方法	●計算結果の判断で重視していることは何ですか(最も重視している1つを選択)。 □過去の類似計算との整合性　□簡易計算・手計算による妥当性確認 □入出力と処理の詳細なチェック　□その他(　　　　　　　　)					
⑰使用又は教育しているプログラム言語	□なし	□FORTRAN	□C言語	□Visual Basic	□JAVA	□その他 (　　)
⑱計算コードの作成や改良	●計算コード作成又は改良を自組織内で行っていますか(多いほう1つを選択) □実施している　□実施しない　□過去には実施していたが最近はしない ●実施している場合は問題点、実施していない場合は理由を記述してください。 記述欄					
⑲遮蔽評価を行う上で「あったら便利なもの」「不足しているもの」を記述してください。	記述欄(遮蔽材組成の標準データ、検証用ベンチマークデータ集等)					

注:該当する箇所に■を入れてください。該当する選択がない場合は(　)に記載してください。

添付－３　アンケート結果の詳細

太字部分は総回答数に占める割合が50%以上の項目

項目		全回答の集計結果 回答数集計	全回答の集計結果 回答数の割合	メーカーとソフト会社 回答数集計	メーカーとソフト会社 回答数の割合	大学・研究機関 回答数集計	大学・研究機関 回答数の割合	それ以外 回答数集計	それ以外 回答数の割合
①所属機関	メーカー	5	24%	5	71%				
	ソフト会社	2	10%	2	29%				
	大学・研究機関	8	38%			8	100%		
	それ以外	6	29%					6	100%
②対象領域・分野	**原子炉施設**	**12**	**57%**	**7**	**100%**	2	25%	**3**	**50%**
	サイクル施設	9	43%	**5**	**71%**	1	13%	**3**	**50%**
	廃棄物施設	7	33%	**4**	**57%**	0	0%	**3**	**50%**
	RI施設	8	38%	3	43%	2	25%	**3**	**50%**
	加速器施設	**13**	**62%**	3	43%	**7**	**88%**	**3**	**50%**
	それ以外	4	19%	0	0%	2	25%	2	33%
③関係する法令	**原子炉等規制法**	**13**	**62%**	**6**	**86%**	3	38%	**4**	**67%**
	放射線障害防止法	**18**	**86%**	**7**	**100%**	**6**	**75%**	**5**	**83%**
	医療法・薬事法	5	24%	2	29%	0	0%	**3**	**50%**
	電離則	10	48%	2	29%	**5**	**63%**	**3**	**50%**
	それ以外	1	5%	0	0%	1	13%	0	0%
④遮へい計算の実態	**割合は所属機関で実施**	**15**	**71%**	**6**	**86%**	**8**	**100%**	1	17%
	割合は外部へ委託	4	19%	1	14%	0	0%	**3**	**50%**
⑤放射線遮へいに携わる人員(所属範囲)は？	１名	2	10%	1	14%	1	13%	0	0%
	２～５名	**13**	**62%**	2	29%	**7**	**88%**	**4**	**67%**
	６～１０名	1	5%	1	14%	0	0%	0	0%
	１０名～２０名	2	10%	2	29%	0	0%	0	0%
	２０名以上	2	10%	1	14%	0	0%	1	17%
⑥計算コードを動かせる人員は？	いない	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	１名	1	5%	0	0%	0	0%	1	17%
	２～４名	**14**	**67%**	3	43%	**8**	**100%**	**3**	**50%**
	５名～９名	1	5%	1	14%	0	0%	0	0%
	１０名以上	4	19%	3	43%	0	0%	1	17%
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	いない	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	１名	2	10%	0	0%	1	13%	1	17%
	２～４名	**13**	**62%**	3	43%	**7**	**88%**	**3**	**50%**
	５名～９名	2	10%	2	29%	0	0%	0	0%
	１０名以上	3	14%	2	29%	0	0%	1	17%
⑧人員構成は？	**ベテラン主体(業務経験１５年以上相当)**	**13**	**62%**	**4**	**57%**	**4**	**50%**	**5**	**83%**
	中堅主体(業務経験５年以上相当)	7	33%	3	43%	**4**	**50%**	0	0%
	若手主体(業務経験５年未満)	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
⑨人員は５年前と比較して現状	増えている	8	38%	**4**	**57%**	2	25%	2	33%
	変わらない	10	48%	3	43%	**4**	**50%**	**3**	**50%**
	減っている	2	10%	0	0%	2	25%	0	0%
⑩人員の５年後の予測	増える	4	19%	3	43%	0	0%	1	17%
	変わらない	8	38%	3	43%	**4**	**50%**	1	17%
	減る	8	38%	1	14%	**4**	**50%**	**3**	**50%**
⑪－１　人材育成	**OJT**	**14**	**67%**	**5**	**71%**	**4**	**50%**	**5**	**83%**
	外部研修	3	14%	2	29%	1	13%	0	0%
	所内研修	4	19%	3	43%	1	13%	0	0%
	その他	2	10%	0	0%	1	13%	1	17%
⑪－２　技術伝承	**ベテランからのレクチャー**	**15**	**71%**	**7**	**100%**	**4**	**50%**	**4**	**67%**
	技術の資料化	6	29%	3	43%	1	13%	2	33%
	その他	1	5%	0	0%	0	0%	1	17%
⑫人材育成・技術伝承の問題点	人員不足	10	48%	2	29%	**4**	**50%**	**4**	**67%**
	所属組織の方針	3	14%	0	0%	3	38%	0	0%
	業務多忙	**12**	**57%**	**6**	**86%**	**5**	**63%**	1	17%
	費用がかかる	2	10%	2	29%	0	0%	0	0%
	社内に講師がいない	1	5%	0	0%	1	13%	0	0%
	遮へい関連講習会などがない	5	24%	2	29%	1	13%	2	33%
	その他	4	19%	0	0%	2	25%	2	33%
⑬-1遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	**JAEA文献**	**18**	**86%**	**5**	**71%**	**7**	**88%**	**6**	**100%**
	学会標準	**15**	**71%**	**5**	**71%**	**5**	**63%**	5	83%
	JIS規格(密度や組成)	5	24%	3	43%	2	25%	0	0%
	NUREG	6	29%	**4**	**57%**	2	25%	0	0%
	ガンマ線遮へいハンドブック	**11**	**52%**	**6**	**86%**	3	38%	2	33%
	中性子遮へいハンドブック	**12**	**57%**	**6**	**86%**	3	38%	**3**	**50%**
	放射線遮蔽入門(兵藤先生)	7	33%	**5**	**71%**	2	25%	0	0%
	放射線しゃへい計算実務マニュアル	**13**	**62%**	**4**	**57%**	**5**	**63%**	**4**	**67%**
	放射線物理と加速器安全工学	**15**	**71%**	**5**	**71%**	**7**	**88%**	**3**	**50%**
	所属組織の教育資料	2	10%	2	29%	0	0%	0	0%
	Engineering Compendium on Radiation Shielding	6	29%	3	43%	2	25%	1	17%
	その他	6	29%	0	0%	**6**	**75%**	0	0%
⑬-2評価モデル設定で参照	過去の計算例や文献	5	24%	**4**	**57%**	1	13%	0	0%
	問題に合わせて検討・検証し設定	**14**	**67%**	3	43%	**7**	**88%**	**4**	**67%**
	基本的に３次元形状をそのままモデル化	2	10%	0	0%	0	0%	2	33%
⑭主要計算コード	QAD	9	43%	**5**	**71%**	**4**	**50%**	0	0%
	SPAN	1	5%	1	14%	0	0%	0	0%
	G33	5	24%	**4**	**57%**	1	13%	0	0%
	SKYSHINE	2	10%	1	14%	1	13%	0	0%
	ANISN	**14**	**67%**	**6**	**86%**	**5**	**63%**	**3**	**50%**
	DOT/DORT	10	48%	**5**	**71%**	3	38%	2	33%
	TORT	5	24%	3	43%	1	13%	1	17%
	MCNP	**17**	**81%**	**6**	**86%**	**7**	**88%**	**4**	**67%**
	EGS	7	33%	2	29%	3	38%	2	33%
	PHITS	**12**	**57%**	2	29%	**7**	**88%**	**3**	**50%**
	SCALE	5	24%	3	43%	1	13%	1	17%
	ORIGEN79	2	10%	2	29%	0	0%	0	0%
	ORIGEN2	9	43%	**5**	**71%**	2	25%	2	33%
	簡易計算	**13**	**62%**	3	43%	**7**	**88%**	**3**	**50%**
	その他	5	24%	0	0%	4	50%	1	17%
⑮-1核データ・断面積の利用頻度	主にJENDL系	7	33%	1	14%	**4**	**50%**	2	33%
	主にENDF/B系	2	10%	1	14%	0	0%	1	17%
	JENDL系とENDF/B系を使い分け	9	43%	**5**	**71%**	3	38%	1	17%
	その他	2	10%	0	0%	1	13%	1	17%
⑮-2断面積ライブラリの利用実態	**公開されている編集済み断面積ライブラリ等を利用**	**16**	**76%**	**6**	**86%**	**6**	**75%**	**4**	**67%**
	新規にNJOY等を用いて断面積ライブラリを作成	8	38%	**4**	**57%**	3	38%	1	17%
	その他	1	5%	0	0%	1	13%	0	0%
⑮-3断面積ライブラリ選択の判断基準	過去の実績重視	4	19%	3	43%	1	13%	0	0%
	最新データの取り込みを重視	3	14%	0	0%	1	13%	2	33%
	適用問題に最適なものを選択	**13**	**62%**	**4**	**57%**	**5**	**63%**	**4**	**67%**
⑯計算結果の妥当性判断方法	過去の類似計算との整合性	9	43%	3	43%	2	25%	**4**	**67%**
	簡易計算・手計算による妥当性確認	8	38%	2	29%	**5**	**63%**	1	17%
	入出力と処理の詳細なチェック	2	10%	1	14%	1	13%	0	0%
	その他	3	14%	1	14%	1	13%	1	17%
⑰使用又は教育しているプログラム言語	なし	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	FORTRAN	**21**	**100%**	**7**	**100%**	**8**	**100%**	**6**	**100%**
	C言語	2	10%	1	14%	1	13%	0	0%
	Visual　Basic	3	14%	3	43%	0	0%	0	0%
	JAVA	1	5%	1	14%	0	0%	0	0%
	その他	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

全回答の集計結果　　有効回答数２１　　添付－１

太字部分は総回答数に占める割合が50%以上の項目

項目		回答数集計	カテゴリの割合	総回答数の割合
①所属機関	メーカー	5	24%	24%
	ソフト会社	2	10%	10%
	大学・研究機関	8	38%	38%
	それ以外	6	29%	29%
②対象領域・分野	原子炉施設	**12**	**23%**	**57%**
	サイクル施設	9	17%	43%
	廃棄物施設	7	13%	33%
	RI施設	8	15%	38%
	加速器施設	**13**	**25%**	**62%**
	それ以外	4	8%	19%
③関係する法令	原子炉等規制法	**13**	**28%**	**62%**
	放射線障害防止法	**18**	**38%**	**86%**
	医療法・薬事法	5	11%	24%
	電離則	10	21%	48%
	それ以外	1	2%	5%
④遮へい計算の実態	割合は所属機関で実施	**15**	**79%**	**71%**
	割合は外部へ委託	4	21%	19%
⑤放射線遮へいに携わる人員(所属範囲)は？	１名	2	10%	10%
	２～５名	**13**	**65%**	**62%**
	６～１０名	1	5%	5%
	１０名～２０名	2	10%	10%
	２０名以上	2	10%	10%
⑥計算コードを動かせる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	1	5%	5%
	２～４名	**14**	**70%**	**67%**
	５名～９名	1	5%	5%
	１０名以上	4	20%	19%
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	2	10%	10%
	２～４名	**13**	**65%**	**62%**
	５名～９名	2	10%	10%
	１０名以上	3	15%	14%
⑧人員構成は？	ベテラン主体(業務経験１５年以上相当)	**13**	**65%**	**62%**
	中堅主体(業務経験５年以上相当)	7	35%	33%
	若手主体(業務経験５年未満)	0	0%	0%
⑨人員は５年前と比較して現状	増えている	8	40%	38%
	変わらない	10	50%	48%
	減っている	2	10%	10%
⑩人員の５年後の予測	増える	4	20%	19%
	変わらない	8	40%	38%
	減る	8	40%	38%
⑪－１　人材育成	OJT	**14**	**61%**	**67%**
	外部研修	3	13%	14%
	所内研修	4	17%	19%
	その他	2	9%	10%
⑪－２　技術伝承	ベテランからのレクチャー	**15**	**68%**	**71%**
	技術の資料化	6	27%	29%
	その他	1	5%	5%
⑫人材育成・技術伝承の問題点	人員不足	10	27%	48%
	所属組織の方針	3	8%	14%
	業務多忙	**12**	**32%**	**57%**
	費用がかかる	2	5%	10%
	社内に講師がいない	1	3%	5%
	遮へい関連講習会などがない	5	14%	24%
	その他	4	11%	19%
⑬-1遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	JAEA文献	**18**	**16%**	**86%**
	学会標準	**15**	**13%**	**71%**
	JIS規格(密度や組成)	5	4%	24%
	NUREG	6	5%	29%
	ガンマ線遮へいハンドブック	**11**	**9%**	**52%**
	中性子遮へいハンドブック	**12**	**10%**	**57%**
	放射線遮蔽入門(兵藤先生)	7	6%	33%
	放射線しゃへい計算実務マニュアル	**13**	**11%**	**62%**
	放射線物理と加速器安全工学	**15**	**13%**	**71%**
	所属組織の教育資料	2	2%	10%
	Engineering Compendium on Radiation Shielding	6	5%	29%
	その他	6	5%	29%
⑬-2評価モデル設定で参照	過去の計算例や文献	5	24%	24%
	問題に合わせて検討・検証し設定	**14**	**67%**	**67%**
	基本的に３次元形状をそのままモデル化	2	10%	10%
⑭主要計算コード	QAD	9	8%	43%
	SPAN	1	1%	5%
	G33	5	4%	24%
	SKYSHINE	2	2%	10%
	ANISN	**14**	**12%**	**67%**
	DOT/DORT	10	9%	48%
	TORT	5	4%	24%
	MCNP	**17**	**15%**	**81%**
	EGS	7	6%	33%
	PHITS	**12**	**10%**	**57%**
	SCALE	5	4%	24%
	ORIGEN79	2	2%	10%
	ORIGEN2	9	8%	43%
	簡易計算	**13**	**11%**	**62%**
	その他	5	4%	24%
⑮-1核データ・断面積の利用頻度	主にJENDL系	7	35%	33%
	主にENDF/B系	2	10%	10%
	JENDL系とENDF/B系を使い分け	9	45%	43%
	その他	2	10%	10%
⑮-2断面積ライブラリの利用実態	公開されている編集済み断面積ライブラリ等を利用	**16**	**64%**	**76%**
	新規にNJOY等を用いて断面積ライブラリを作成	8	32%	38%
	その他	1	4%	5%
⑮-3断面積ライブラリ選択の判断基準	過去の実績重視	4	20%	19%
	最新データの取り込みを重視	3	15%	14%
	適用問題に最適なものを選択	**13**	**65%**	**62%**
⑯計算結果の妥当性判断方法	過去の類似計算との整合性	9	41%	43%
	簡易計算・手計算による妥当性確認	8	36%	38%
	入出力と処理の詳細なチェック	2	9%	10%
	その他	3	14%	14%
⑰使用又は教育しているプログラム言語	なし	0	0%	0%
	FORTRAN	**21**	**78%**	**100%**
	C言語	2	7%	10%
	Visual　Basic	3	11%	14%
	JAVA	1	4%	5%
	その他	0	0%	0%

メーカー及びソフト会社の集計結果　　有効回答数７　　添付－２

太字部分は総回答数に占める割合が50%以上の項目

項目		回答数集計	カテゴリの割合	総回答数の割合
①所属機関	メーカー	5	71%	71%
	ソフト会社	2	29%	29%
②対象領域・分野	原子炉施設	**7**	**32%**	**100%**
	サイクル施設	**5**	**23%**	**71%**
	廃棄物施設	**4**	**18%**	**57%**
	RI施設	3	14%	43%
	加速器施設	3	14%	43%
	それ以外	0	0%	0%
③関係する法令	原子炉等規制法	**6**	**35%**	**86%**
	放射線障害防止法	**7**	**41%**	**100%**
	医療法・薬事法	2	12%	29%
	電離則	2	12%	29%
	それ以外	0	0%	0%
④遮へい計算の実態	割合は所属機関で実施	**6**	**86%**	**86%**
	割合は外部へ委託	1	14%	14%
⑤放射線遮へいに携わる人員(所属範囲)は？	１名	1	14%	14%
	２～５名	2	29%	29%
	６～１０名	1	14%	14%
	１０名～２０名	2	29%	29%
	２０名以上	1	14%	14%
⑥計算コードを動かせる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	0	0%	0%
	２～４名	3	43%	43%
	５名～９名	1	14%	14%
	１０名以上	3	43%	43%
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	0	0%	0%
	２～４名	3	43%	43%
	５名～９名	2	29%	29%
	１０名以上	2	29%	29%
⑧人員構成は？	ベテラン主体(業務経験１５年以上相当)	**4**	**57%**	**57%**
	中堅主体(業務経験５年以上相当)	3	43%	43%
	若手主体(業務経験５年未満)	0	0%	0%
⑨人員は５年前と比較して現状	増えている	**4**	**57%**	**57%**
	変わらない	3	43%	43%
	減っている	0	0%	0%
⑩人員の５年後の予測	増える	3	43%	43%
	変わらない	3	43%	43%
	減る	1	14%	14%
⑪－１　人材育成	OJT	**5**	**50%**	**71%**
	外部研修	2	20%	29%
	所内研修	3	30%	43%
	その他	0	0%	0%
⑪－２　技術伝承	ベテランからのレクチャー	**7**	**70%**	**100%**
	技術の資料化	3	30%	43%
	その他	0	0%	0%
⑫人材育成・技術伝承の問題点	人員不足	2	17%	29%
	所属組織の方針	0	0%	0%
	業務多忙	**6**	**50%**	**86%**
	費用がかかる	2	17%	29%
	社内に講師がいない	0	0%	0%
	遮へい関連講習会などがない	2	17%	29%
	その他	0	0%	0%
⑬-1遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	JAEA文献	**5**	**10%**	**71%**
	学会標準	**5**	**10%**	**71%**
	JIS規格(密度や組成)	3	6%	43%
	NUREG	**4**	**8%**	**57%**
	ガンマ線遮へいハンドブック	**6**	**13%**	**86%**
	中性子遮へいハンドブック	**6**	**13%**	**86%**
	放射線遮蔽入門(兵藤先生)	**5**	**10%**	**71%**
	放射線しゃへい計算実務マニュアル	**4**	**8%**	**57%**
	放射線物理と加速器安全工学	**5**	**10%**	**71%**
	所属組織の教育資料	2	4%	29%
	Engineering Compendium on Radiation Shielding	3	6%	43%
	その他	0	0%	0%
⑬-2評価モデル設定で参照	過去の計算例や文献	**4**	**57%**	**57%**
	問題に合わせて検討・検証し設定	3	43%	43%
	基本的に３次元形状をそのままモデル化	0	0%	0%
⑭主要計算コード	QAD	**5**	**10%**	**71%**
	SPAN	1	2%	14%
	G33	**4**	**8%**	**57%**
	SKYSHINE	1	2%	14%
	ANISN	**6**	**13%**	**86%**
	DOT/DORT	**5**	**10%**	**71%**
	TORT	3	6%	43%
	MCNP	**6**	**13%**	**86%**
	EGS	2	4%	29%
	PHITS	2	4%	29%
	SCALE	3	6%	43%
	ORIGEN79	2	4%	29%
	ORIGEN2	**5**	**10%**	**71%**
	簡易計算	3	6%	43%
	その他	0	0%	0%
⑮-1核データ・断面積の利用頻度	主にJENDL系	1	14%	14%
	主にENDF/B系	1	14%	14%
	JENDL系とENDF/B系を使い分け	**5**	**71%**	**71%**
	その他	0	0%	0%
⑮-2断面積ライブラリの利用実態	公開されている編集済み断面積ライブラリ等を利用	**6**	**60%**	**86%**
	新規にNJOY等を用いて断面積ライブラリを作成	**4**	**40%**	**57%**
	その他	0	0%	0%
⑮-3断面積ライブラリ選択の判断基準	過去の実績重視	3	43%	43%
	最新データの取り込みを重視	0	0%	0%
	適用問題に最適なものを選択	**4**	**57%**	**57%**
⑯計算結果の妥当性判断方法	過去の類似計算との整合性	3	43%	43%
	簡易計算・手計算による妥当性確認	2	29%	29%
	入出力と処理の詳細なチェック	1	14%	14%
	その他	1	14%	14%
⑰使用又は教育しているプログラム言語	なし	0	0%	0%
	FORTRAN	**7**	**58%**	**100%**
	C言語	1	8%	14%
	Visual　Basic	3	25%	43%
	JAVA	1	8%	14%
	その他	0	0%	0%

		有効回答数８		添付－３
大学・研究機関の集計結果	**太字部分は総回答数に占める割合が50%以上の項目**			
項目		回答数集計	カテゴリの割合	総回答数の割合
①所属機関	大学・研究機関	8	100%	100%
②対象領域・分野	原子炉施設	2	14%	25%
	サイクル施設	1	7%	13%
	廃棄物施設	0	0%	0%
	RI施設	2	14%	25%
	加速器施設	**7**	**50%**	**88%**
	それ以外	2	14%	25%
③関係する法令	原子炉等規制法	3	20%	38%
	放射線障害防止法	**6**	**40%**	**75%**
	医療法・薬事法	0	0%	0%
	電離則	**5**	**33%**	**63%**
	それ以外	1	7%	13%
④遮へい計算の実態	割合は所属機関で実施	**8**	**100%**	**100%**
	割合は外部へ委託	0	0%	0%
⑤放射線遮へいに携わる人員(所属範囲)は？	１名	1	13%	13%
	２～５名	**7**	**88%**	**88%**
	６～１０名	0	0%	0%
	１０名～２０名	0	0%	0%
	２０名以上	0	0%	0%
⑥計算コードを動かせる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	0	0%	0%
	２～４名	**8**	**100%**	**100%**
	５名～９名	0	0%	0%
	１０名以上	0	0%	0%
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	1	13%	13%
	２～４名	**7**	**88%**	**88%**
	５名～９名	0	0%	0%
	１０名以上	0	0%	0%
⑧人員構成は？	ベテラン主体(業務経験１５年以上相当)	**4**	**50%**	**50%**
	中堅主体(業務経験５年以上相当)	**4**	**50%**	**50%**
	若手主体(業務経験５年未満)	0	0%	0%
⑨人員は５年前と比較して現状	増えている	2	25%	25%
	変わらない	**4**	**50%**	**50%**
	減っている	2	25%	25%
⑩人員の５年後の予測	増える	0	0%	0%
	変わらない	**4**	**50%**	**50%**
	減る	**4**	**50%**	**50%**
⑪－１　人材育成	OJT	**4**	**57%**	**50%**
	外部研修	1	14%	13%
	所内研修	1	14%	13%
	その他	1	14%	13%
⑪－２　技術伝承	ベテランからのレクチャー	**4**	**80%**	**50%**
	技術の資料化	1	20%	13%
	その他	0	0%	0%
⑫人材育成・技術伝承の問題点	人員不足	**4**	**25%**	**50%**
	所属組織の方針	3	19%	38%
	業務多忙	**5**	**31%**	**63%**
	費用がかかる	0	0%	0%
	社内に講師がいない	1	6%	13%
	遮へい関連講習会などがない	1	6%	13%
	その他	2	13%	25%
⑬-1遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	JAEA文献	**7**	**16%**	**88%**
	学会標準	**5**	**11%**	**63%**
	JIS規格(密度や組成)	2	5%	25%
	NUREG	2	5%	25%
	ガンマ線遮へいハンドブック	3	7%	38%
	中性子遮へいハンドブック	3	7%	38%
	放射線遮蔽入門(兵藤先生)	2	5%	25%
	放射線しゃへい計算実務マニュアル	**5**	**11%**	**63%**
	放射線物理と加速器安全工学	**7**	**16%**	**88%**
	所属組織の教育資料	0	0%	0%
	Engineering Compendium on Radiation Shielding	2	5%	25%
	その他	**6**	**14%**	**75%**
⑬-2評価モデル設定で参照	過去の計算例や文献	1	13%	13%
	問題に合わせて検討・検証し設定	**7**	**88%**	**88%**
	基本的に３次元形状をそのままモデル化	0	0%	0%
⑭主要計算コード	QAD	**4**	**9%**	**50%**
	SPAN	0	0%	0%
	G33	1	2%	13%
	SKYSHINE	1	2%	13%
	ANISN	**5**	**11%**	**63%**
	DOT/DORT	3	7%	38%
	TORT	1	2%	13%
	MCNP	**7**	**15%**	**88%**
	EGS	3	7%	38%
	PHITS	**7**	**15%**	**88%**
	SCALE	1	2%	13%
	ORIGEN79	0	0%	0%
	ORIGEN2	2	4%	25%
	簡易計算	**7**	**15%**	**88%**
	その他	4	9%	50%
⑮-1核データ・断面積の利用頻度	主にJENDL系	**4**	**50%**	**50%**
	主にENDF/B系	0	0%	0%
	JENDL系とENDF/B系を使い分け	3	38%	38%
	その他	1	13%	13%
⑮-2断面積ライブラリの利用実態	公開されている編集済み断面積ライブラリ等を利用	**6**	**60%**	**75%**
	新規にNJOY等を用いて断面積ライブラリを作成	3	30%	38%
	その他	1	10%	13%
⑮-3断面積ライブラリ選択の判断基準	過去の実績重視	1	14%	13%
	最新データの取り込みを重視	1	14%	13%
	適用問題に最適なものを選択	**5**	**71%**	**63%**
⑯計算結果の妥当性判断方法	過去の類似計算との整合性	2	22%	25%
	簡易計算・手計算による妥当性確認	**5**	**56%**	**63%**
	入出力と処理の詳細なチェック	1	11%	13%
	その他	1	11%	13%
⑰使用又は教育しているプログラム言語	なし	0	0%	0%
	FORTRAN	**8**	**89%**	**100%**
	C言語	1	11%	13%
	Visual　Basic	0	0%	0%
	JAVA	0	0%	0%
	その他	0	0%	0%

		有効回答数６		添付－４
それ以外の集計結果	**太字部分は総回答数に占める割合が50%以上の項目**			
項目		回答数集計	カテゴリの割合	総回答数の割合
①所属機関	それ以外	6	100%	100%
②対象領域・分野	原子炉施設	**3**	**18%**	**50%**
	サイクル施設	**3**	**18%**	**50%**
	廃棄物施設	**3**	**18%**	**50%**
	RI施設	**3**	**18%**	**50%**
	加速器施設	**3**	**18%**	**50%**
	それ以外	2	12%	33%
③関係する法令	原子炉等規制法	**4**	**27%**	**67%**
	放射線障害防止法	**5**	**33%**	**83%**
	医療法・薬事法	**3**	**20%**	**50%**
	電離則	**3**	**20%**	**50%**
	それ以外	0	0%	0%
④遮へい計算の実態	割合は所属機関で実施	1	25%	17%
	割合は外部へ委託	**3**	**75%**	**50%**
⑤放射線遮へいに携わる人員(所属範囲)は？	１名	0	0%	0%
	２～５名	**4**	**80%**	**67%**
	６～１０名	0	0%	0%
	１０名～２０名	0	0%	0%
	２０名以上	1	20%	17%
⑥計算コードを動かせる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	1	20%	17%
	２～４名	**3**	**60%**	**50%**
	５名～９名	0	0%	0%
	１０名以上	1	20%	17%
⑦計算結果の「判断」ができる人員は？	いない	0	0%	0%
	１名	1	20%	17%
	２～４名	**3**	**60%**	**50%**
	５名～９名	0	0%	0%
	１０名以上	1	20%	17%
⑧人員構成は？	ベテラン主体(業務経験１５年以上相当)	**5**	**100%**	**83%**
	中堅主体(業務経験５年以上相当)	0	0%	0%
	若手主体(業務経験５年未満)	0	0%	0%
⑨人員は５年前と比較して現状	増えている	2	40%	33%
	変わらない	**3**	**60%**	**50%**
	減っている	0	0%	0%
⑩人員の５年後の予測	増える	1	20%	17%
	変わらない	1	20%	17%
	減る	**3**	**60%**	**50%**
⑪－１　人材育成	OJT	**5**	**83%**	**83%**
	外部研修	0	0%	0%
	所内研修	0	0%	0%
	その他	1	17%	17%
⑪－２　技術伝承	ベテランからのレクチャー	**4**	**57%**	**67%**
	技術の資料化	2	29%	33%
	その他	1	14%	17%
⑫人材育成・技術伝承の問題点	人員不足	**4**	**44%**	**67%**
	所属組織の方針	0	0%	0%
	業務多忙	1	11%	17%
	費用がかかる	0	0%	0%
	社内に講師がいない	0	0%	0%
	遮へい関連講習会などがない	2	22%	33%
	その他	2	22%	33%
⑬-1遮蔽計算、許認可申請、教育などに利用している文献	JAEA文献	**6**	**25%**	**100%**
	学会標準	5	21%	83%
	JIS規格(密度や組成)	0	0%	0%
	NUREG	0	0%	0%
	ガンマ線遮へいハンドブック	2	8%	33%
	中性子遮へいハンドブック	**3**	**13%**	**50%**
	放射線遮蔽入門(兵藤先生)	0	0%	0%
	放射線しゃへい計算実務マニュアル	**4**	**17%**	**67%**
	放射線物理と加速器安全工学	**3**	**13%**	**50%**
	所属組織の教育資料	0	0%	0%
	Engineering Compendium on Radiation Shielding	1	4%	17%
	その他	0	0%	0%
⑬-2評価モデル設定で参照	過去の計算例や文献	0	0%	0%
	問題に合わせて検討・検証し設定	**4**	**67%**	**67%**
	基本的に３次元形状をそのままモデル化	2	33%	33%
⑭主要計算コード	QAD	0	0%	0%
	SPAN	0	0%	0%
	G33	0	0%	0%
	SKYSHINE	0	0%	0%
	ANISN	**3**	**14%**	**50%**
	DOT/DORT	2	9%	33%
	TORT	1	5%	17%
	MCNP	**4**	**18%**	**67%**
	EGS	2	9%	33%
	PHITS	**3**	**14%**	**50%**
	SCALE	1	5%	17%
	ORIGEN79	0	0%	0%
	ORIGEN2	2	9%	33%
	簡易計算	**3**	**14%**	**50%**
	その他	1	5%	17%
⑮-1核データ・断面積の利用頻度	主にJENDL系	2	40%	33%
	主にENDF/B系	1	20%	17%
	JENDL系とENDF/B系を使い分け	1	20%	17%
	その他	1	20%	17%
⑮-2断面積ライブラリの利用実態	公開されている編集済み断面積ライブラリ等を利用	**4**	**80%**	**67%**
	新規にNJOY等を用いて断面積ライブラリを作成	1	20%	17%
	その他	0	0%	0%
⑮-3断面積ライブラリ選択の判断基準	過去の実績重視	0	0%	0%
	最新データの取り込みを重視	2	33%	33%
	適用問題に最適なものを選択	**4**	**67%**	**67%**
⑯計算結果の妥当性判断方法	過去の類似計算との整合性	**4**	**67%**	**67%**
	簡易計算・手計算による妥当性確認	1	17%	17%
	入出力と処理の詳細なチェック	0	0%	0%
	その他	1	17%	17%
⑰使用又は教育しているプログラム言語	なし	0	0%	0%
	FORTRAN	**6**	**100%**	**100%**
	C言語	0	0%	0%
	Visual　Basic	0	0%	0%
	JAVA	0	0%	0%
	その他	0	0%	0%