

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 202-1 Radiation Behaviors, Radiation Shielding

📅 Wed. Mar 16, 2022 2:45 PM - 4:25 PM JST | Wed. Mar 16, 2022 5:45 AM - 7:25 AM UTC | 🏠 Room B

[1B10-15] Radiation Shielding

Chair: Masato Watanabe (Chubu Electric Power)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[1B10] Discussion on the Standardization of Shielding Material focusing on Shielding Concrete
(19)Current status of standard composition of concrete

*Koichi Okuno¹, Masahiro Taniguchi², Toshinobu Maenaka³, Koji Oishi⁴, Masahiro Yoshida⁵, Kenichi Kimura⁶, Kenichi Tanaka⁷ (1. Hazama-Ando, 2. Taisei Corp, 3. Takenaka Corp, 4. JRE, 5. NUSTEC, 6. Fujita Corp, 7. IAE)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[1B11] Shielding design of x-rays for 3 GeV next-generation synchrotron radiation facility

*Hiroki Matsuda¹, Masayuki Hagiwara¹, Akihiro Takeuchi¹, Toshiro Itoga², Hiroyuki Konishi¹ (1. QST, 2. JASRI)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[1B12] Study on Appropriate Review of Simple Dose Calculation Method for Gamma-Ray Shielding

Reevaluation of Two-Layer Slab Shielding Dose Calculation

*Yoshihiro Hirao¹, Seiki Ohnishi¹, Osamu Sato² (1. NMRI, 2. NACLTECH)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[1B13] A study on duct streaming from maze in medical linac room

*Takuma Noto¹, Kazuaki Kosako¹, Hitoshi Nakashima¹ (1. Shimizu)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[1B14] Planning and preliminary experiments of validation experiments in V&V for shielding analysis codes

*Shinji GOKO¹, Tetsuro MATSUMOTO², Akihiko MASUDA², Seiya MANABE², Hideki HARANO², Osamu SATO³, Koichi OKUNO⁴, Toshiya SANAMI^{5,6} (1. NRA, 2. AIST, 3. NACLTECH, 4. HAZAMA ANDO, 5. KEK, 6. SOKENDAI)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[1B15] The new features of the visualization tool, gxsview (2)

*Seiki Ohnishi¹ (1. NMRI)

4:15 PM - 4:25 PM JST | 7:15 AM - 7:25 AM UTC

Time reserved for Chair

遮蔽材料標準の策定について(19)

- コンクリートの標準組成検討の現状 -

Discussion on the Standardization of Shielding Material focusing on Shielding Concrete

(19) Current status of standard composition of concrete

*奥野 功一¹、前中 敏伸²、谷口 雅弘³、大石 晃嗣⁴、吉田 昌弘⁵、木村 健一⁶、田中 健一⁷

¹安藤ハザマ、²竹中工務店、³大成建設、⁴日環研、⁵原子力安全技術センター、⁶フジタ、⁷エネ総研

標準委員会 放射線遮蔽分科会遮蔽材料標準作業会では、遮蔽設計に用いるためのコンクリート材料組成の標準化を検討している。今回、標準組成策定の現状について報告する。

キーワード：遮蔽材料，コンクリート，標準材料組成

1. 緒言

遮蔽材料組成の標準化作業については、多くの箇所で使用されている遮蔽コンクリートに対して現在検討を進めている。今回、標準組成策定の現状について報告する。

2. 組成の考え方

原子力施設等で施工される遮蔽コンクリートの元素組成と設計段階での遮蔽計算に用いられる元素組成は一般には一致していない。遮蔽コンクリートは、使用する骨材の種類の違いによりSiO₂を主成分としたものとCaCO₃を主成分としたものの2つに大別できる。また、主成分以外にも遮蔽コンクリートを構成する元素は多数あり、それらの組成割合は骨材の採取地域に応じて地域差がある。コンクリートは地産地消の材料であるため、標準組成策定においても地域差への対応を検討しなければならない。そこで地域差などを排除した標準組成を作成するため、多数の元素を骨材の種類に応じて構成比率が高いSiやCaに置き換えた元素組成を作成することにした。原子力施設等で使用されている遮蔽コンクリートの多くはSiO₂を主成分とした骨材を用いたものであるため、規定組成にはSiO₂を主成分としたものを、参考組成としてCaCO₃を主成分とした組成を検討している。さらに感度解析の結果、組成変動の線量率への影響が大きい事が判明したFeとCの元素も考慮している。

遮蔽コンクリートに含まれる水分については、原子炉建屋等の遮蔽設計で使用されていたANL-5800の元素組成の自由水含水率が3%程度であること、公開文献によると原子炉施設における遮蔽壁の自由水含有量は遮蔽壁中心部で多く、内外表面に近くなるに従い下がる傾向であることが判っている。そのため、前報でも報告した通り、遮蔽コンクリートに含まれる水分については、原子炉施設等でのいくつかの温度制約条件などに基づき理論的に設定し、海外施設も含めた実測データも検討し、施設において現実に存在しうる適度な水分を含めた気乾組成とすることとしている。

3. 今後の計画

遮蔽コンクリートに対して規定組成と参考組成を作成し、原子力学会標準の附属書に掲載する線量率影響評価条件を決めると共に、最終の線量評価を実施する計画である。

*Koichi Okuno¹, Toshinobu Maenaka², Masahiro Taniguchi³, Koji Oishi⁴, Masahiro Yoshida⁵, Ken-ichi Kimura⁶, Ken-ichi Tanaka⁷

¹Hazama-Ando Corp., ²Takenaka Corp., ³Taisei Corp., ⁴JER., ⁵NUSTEC, ⁶Fujita Corp., ⁷IAE

3 GeV 次世代放射光施設における放射光による遮蔽設計

Shielding design of x-rays for 3 GeV next-generation synchrotron radiation facility

*松田 洋樹¹, 萩原 雅之¹, 竹内 章博¹, 糸賀 俊朗², 小西 啓之¹

¹ 量研機構, ² JASRI

東北大学青葉山新キャンパスに現在建設中である 3 GeV 次世代放射光施設には、軟 X 線及び硬 X 線ビームラインの両方が設置される。放射光入射時のハッチ遮蔽計算を PHITS を用いて行った。

キーワード：遮蔽設計, PHITS, 放射光, 3 GeV 次世代放射光施設

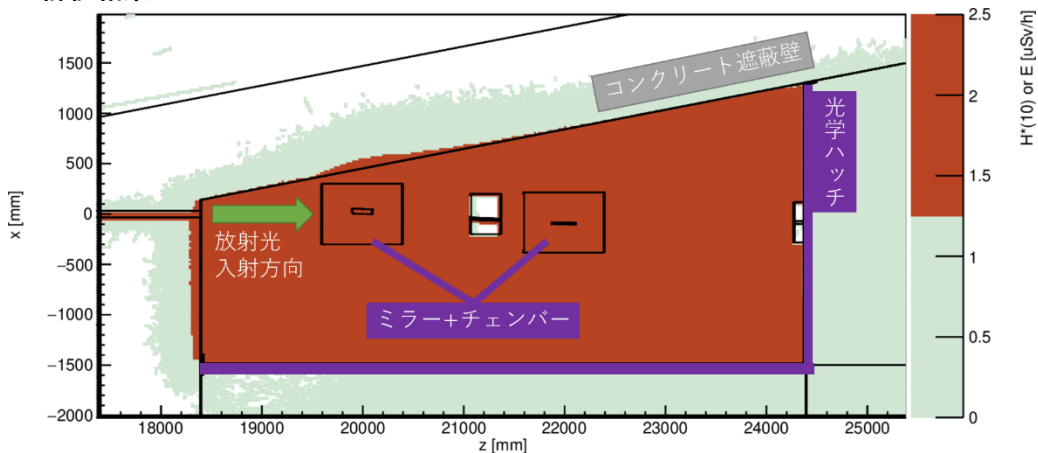
1. 緒言

東北大学青葉山新キャンパスに現在建設中である 3 GeV 次世代放射光施設 [1]は日本国内初の高輝度中型 3 GeV 級放射光施設であり、2024 年度ユーザー利用開始に向けて整備が進められている。この施設では「ユーザーが放射線業務従事者でなくても可能な限り放射光実験に参加できること」を基本方針として、加速器や放射光ビームラインから実験ホールへの漏洩線量を抑え、実験ホールを非管理区域にすることを目指している。

2. 評価方法

2021 年秋の大会 [2]では制動放射線による遮蔽を計算したが、今回は放射光スペクトルによる遮蔽を PHITS [3]を用いて計算した。放射光スペクトルは SPECTRA [4]で計算した。光学ハッチ外を非管理区域とするため、目標線量限度を $1.25 \mu\text{Sv/h}$ と設定した。例として QST が整備する BL02 における実効線量分布を挙げる。実際の光学ハッチを模擬するために、遮蔽壁とコンクリート面の隙間、コンクリート躯体と床面に設けられた構造、及びハッチダクトをジオメトリに組み込みストリーミングも評価した。

3. 評価結果



左図に実効線量分布を示すが、光学ハッチ外で目標線量限度を下回っていることが分かる。またダクトや隙間からのストリーミングは確認されなかった。

参考文献

- [1] QST, 次世代放射光施設整備開発センター, www.qst.go.jp/site/3gev/, 2022 年 1 月 12 日訪問
- [2] T. Sato, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 2018, doi:10.1080/00223131.2017.1419890
- [3] 松田ら, 3 GeV 次世代放射光施設におけるビームライン遮蔽設計, 原子力学会 2021 年秋の大会
- [4] T. Tanaka, et al., J. Synchrotron Radiat. 28, 1267 (2021), doi:10.1107/S1600577521004100

*Hiroki Matsuda¹, Masayuki Hagiwara¹, Akihiro Takeuchi¹, Toshiro Itoga², Hiroyuki Konishi¹

¹QST, ²JASRI

γ線簡易遮蔽線量計算法の適切な見直しに関する研究 二重層遮蔽線量計算の再評価

Study on Appropriate Review of Simple Dose Calculation Method for Gamma-Ray Shielding

Reevaluation of Two-Layer Slab Shielding Dose Calculation

*平尾 好弘¹, 大西 世紀¹, 佐藤 理²

¹海技研, ²NUCLTECH

ICRP2007 年勧告の法令取入れに伴い、線量換算係数等の変更を計算コードに適切に反映し、また最新の知見を踏まえて簡易遮蔽計算のフレームワークを見直す安全研究を実施している¹⁾。今回、既往研究はあるものの、簡易計算法としてあまり採用されない多重層遮蔽の線量計算を高エネルギーに拡張して再評価した。代表的な二重層遮蔽に対して、モンテカルロ輸送計算 (MC) で線量減衰の参照解を求め、それを近似的に再現する簡易計算用データを整備して、壁外の線量を合理的に求める方法を提案する。

キーワード: γ線遮蔽計算, 簡易線量評価, ICRP2007 年勧告, 二重層遮蔽, 多重層遮蔽

1. 二重層遮蔽線量の簡易計算用データの整備手法

線源を中心に置き、二重層を模した二重殻球体系での 1 次 γ、光中性子とその 2 次 γ による線量減衰を MC 計算し、点減衰核法のビルドアップ係数 (BF) と同じ考え方でデータ整理する。即ち、1 次 γ の線源エネルギーに対する線量減衰係数に対して、光中性子と 2 次 γ の寄与を擬似的な BF として、一次 γ の BF と同様に乗ずる。第一層の 1 次 γ と光中性子の BF は基本的に第一層の単層 BF と同じとみなせるので、実際には第二層の BF データだけ整備すればよい。また第二層の BF の遮蔽厚さに対する変化は mfp ではなく cm ベースにすると緩やかになり、低次の多項式近似が可能になる。この多項式パラメータを BF データとして整備する。線量計算を行う場合は、まず第一層の厚さ及びエネルギーの変数が近い BF データをいくつか選び、対数補間することによって二重層に対する BF 値を求める。あとは、線源エネルギーに対する線量換算係数と減衰係数を用いて、点減衰核法により 1 次 γ、光中性子、2 次 γ の各線量寄与を求めて合算する。

2. 二重層遮蔽線量の簡易計算用データの作成事例と特徴

ポリエチレン、コンクリート、鉄、鉛の二層の組合せに対し、第一層の厚さ 2~32cm、線源エネルギー 0.1~25MeV で離散的にデータを整備した。事前に、分散低減を用いた MC で十分な統計精度を得られるエネルギーと遮蔽厚さの範囲、層境界の急激な減衰変化を再現できるタリー間隔、第二層の必要十分な厚さについて検討した。その結果、鉛では 0.1MeV で数 cm しか計算できないため下限を上げること、第二層の最初 1cm に 0.1cm の短いタリー間隔を設けること、また第 2 層の厚さは 1~2mfp もあればよいことがわかった。

図 1 に、鉄とコンクリートの二重層 BF 及び単層 BF の cm 厚さによる変化を示す。1MeV の場合、第一層がどの厚さでも第二層の BF の変化を高い相関で多項式近似可能なことがわかる。15MeV の場合、二重層 BF は、第一層で単層 BF と僅かにズレが見られるものの、第二層の変化は、光中性子と 2 次 γ も含めていずれも多項式で近似可能である。なお、第一層で光中性子が発生する BF の特徴として、第二層に水素が含まれる場合、光中性子 (pn) が第二層から急に減衰に転じ、図 1 右の第 1 層 16cm の場合、43cm 位で 1 次 γ (p.g.) と寄与が逆転することがわかる。また 2 次 γ (s.g.) が増加する様子もみられ、例えば鉛とポリエチレンの組合せでは 2 次 γ の寄与がさらに顕著になる。他にも、第二層で光中性子が発生しうる場合、エネルギーが光核反応の閾値以下まで落ちる第一層の厚さを特定すること等、光核反応の影響範囲の評価は重要である。

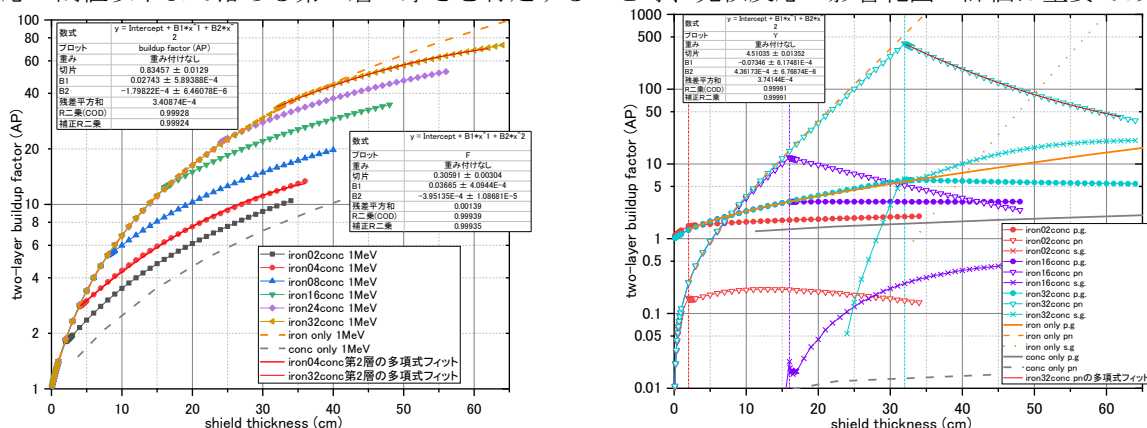


図 1 鉄+コンクリートの二重層及び単層の各種 BF の cm 厚さによる変化 (左: 1MeV、右: 15MeV)

謝辞 本研究は、放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (20317593) の助成を得て実施された。

1) 平尾他, γ線簡易遮蔽線量計算法の適切な見直しに関する研究, AESJ 2021 年春の年会 1D04.

*Yoshihiro Hirao¹, Seiki Ohnishi¹ and Osamu Sato²

¹ NMRI, ² NUCLTECH

医療用リニアック室の迷路から貫通するダクトの漏洩線量に関する検討

A study on duct streaming from maze in medical linac room

*能任 琢真¹, 小迫 和明¹, 中島 均¹

¹清水建設

がん治療のための医療用リニアック室の遮蔽設計に必要な、迷路内から室外へ遮蔽壁を貫通するダクト開口からの漏洩に関する簡易計算を検討した。3次元モンテカルロ計算コード MCNP5 を用いて迷路に設置された開口から漏洩する実効線量を求め、簡易計算との比較を行った。

キーワード：遮蔽設計, 実効線量, ダクトストリーミング, 迷路, リニアック

1. 緒言

がん治療のための医療用リニアック室を新設・改修する際に、放射線が室外に過剰に漏洩することのないよう、適切な遮蔽が設けられる。しかし、迷路内の天井付近から室外へ、遮蔽壁を貫通するように設置されたダクト開口の周辺および室外側では、照射室や迷路内で複数回散乱の影響を受けるため、現在でも適切な手法が確立されていない。特に、開口からの漏洩を防ぐため、開口よりも低い位置に鉛とポリエチレンからなる遮蔽棚が設けられる場合は、散乱がより複雑になる。本研究は、電子加速エネルギー10 MeV の医療用リニアック室を対象に、迷路内の実効線量から、開口の径や貫通する遮蔽壁の厚さ等の幾何形状をもとに、開口の室外側の実効線量を評価する簡易計算法を検討している。迷路内の任意位置の線量計算が可能である場合の、開口からの漏洩線量の簡易計算法について報告する。

2. 線量評価

3次元モンテカルロ計算コード MCNP5 を用いて、医療用リニアック室の迷路内および迷路内に設置されたダクト開口の室外側評価点の実効線量を計算した。この際、開口は図1の様に、迷路内で最も遮蔽壁側の直進部分の天井付近から、直進方向と垂直に外側の遮蔽壁を貫通しており、迷路内には開口よりも低く、かつ通行の邪魔にならない位置には遮蔽棚が設置されている。また、X線の照射方向は、迷路内の線量が最大となるように、照射室と迷路の出入り口のある壁方向とした。複数のリニアック室の設計をベースに、開口位置(x)、開口径(r)、遮蔽棚奥行き(d)の条件を変え、モンテカルロ計算による評価点の実効線量と、モンテカルロ計算で得られた迷路内線量をもとに、簡易計算により求めた評価点の実効線量を比較した(図2)。その結果、100 $\mu\text{Sv}/3\text{月}$ 以上では簡易計算の結果がモンテカルロ計算に比べ安全側かつ2倍以内で一致することを確認した。

3. 結論

10 MeV リニアック室において、迷路内かつ遮蔽棚より上部に設置され、迷路と垂直方向に伸びる開口から漏洩するX線の実効線量について、迷路内の線量と開口周辺の幾何形状から開口室外側の実効線量を評価することが可能である。今後、迷路内かつ遮蔽棚上部の線量の簡易計算法について検討する。

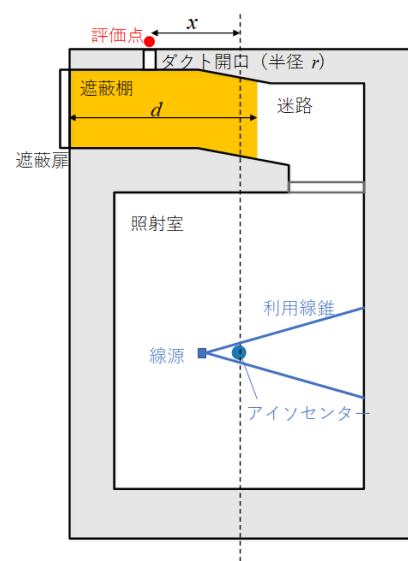


図1 リニアック室平面図

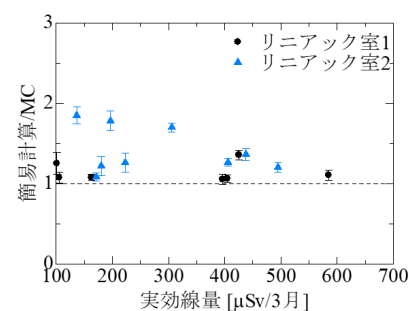


図2 計算値の比較

*Takuma Noto¹, Kazuaki Kosako¹ and Hitoshi Nakashima¹

¹Shimizu Corporation

遮蔽解析コード V&V における妥当性確認実験の計画及び予備実験

Planning and preliminary experiments of validation experiments in V&V for shielding analysis codes

*後神 進史¹, 松本 哲郎², 増田 明彦², 真鍋 征也², 原野 秀樹², 佐藤 理³, 奥野 功一⁴,
佐波 俊哉⁵

¹原子力規制庁長官官房技術基盤グループ, ²産業技術総合研究所,

³ニュークリア・テクノロジー・コンサルティング, ⁴安藤ハザマ,

⁵高エネルギー加速器研究機構・総合研究大学院大学

使用済燃料等の輸送・貯蔵の許認可申請においてモンテカルロコードによる遮蔽解析結果が示された際に、コード検証と妥当性確認 (V&V) に対する評価を迅速かつ適切に実施するための研究を行っている。V&V の一環である妥当性確認実験の計画概要及び予備実験の結果、並びに来年度実施予定の本実験に向けての検討内容について報告する。

キーワード：遮蔽, モンテカルロコード, V&V, 妥当性確認実験

1. 緒言

使用済燃料等の輸送・貯蔵の許認可審査において、遮蔽解析コードとして近年活用が増加傾向にあるモンテカルロコードの適用性確認を迅速かつ適切に実施する必要があるため、V&V 手法等の研究を進めている。V&V の重要な要素の一つに妥当性確認実験の実施があり、最終的に解析コードの不確かさを定量化するためには実験に付随する誤差や不確かさが詳細に評価された実験結果が必要となるため、それらを取得する手法を確立する必要がある。それらの検討を進め、V&V として実験データに要求すべき要件等をまとめるため、妥当性確認実験の計画を進めている。

2. 妥当性確認実験

遮蔽解析コードに対する妥当性確認実験（ベンチマーク実験）を調査したところ、過去に多数の実績が存在しているが、本研究で必要性を検討している実験の不確かさ等に関する情報を揃えた実験は非常に少ない。また、遮蔽体での中性子捕獲により発生する二次ガンマ線の透過に対しては実験データそのものが非常に少ない。これらの調査結果に基づき、二次ガンマ線の生成及び測定を含め、V&V の観点から高精度な実験データを得るための予備実験を行った。実験は(国)産業技術総合研究所の中性子標準施設及び(株)安藤ハザマ技術研究所の放射線実験室において、施設所有の²⁵²Cf 及び Am-Be 中性子源を用いて、ポリエチレンや鉄等の素材（供試体）に対する中性子及び二次ガンマ線の透過を、ボナーボール検出器、シンチレーションスペクトロメータ、レムカウンタ、電離箱線量計等を用いてそれぞれ測定した（図1参照）。得られた測定データと解析コードによる解析結果を比較すること等により、実験配置やその設置精度、検出器架台や周辺物品による影響の程度等を評価し、実験に付随する不確かさの評価方法について検討を進めた。得られた実験結果及び知見を基に、来年度実施予定の本実験に向けて、実験配置の最適化や取得が必要な情報等について検討を行った。

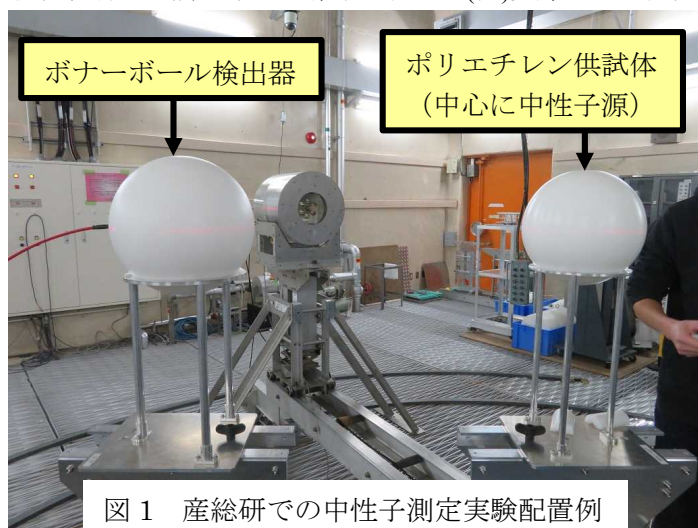


図1 産総研での中性子測定実験配置例

3. まとめ

本発表では、遮蔽解析コード V&V における妥当性確認実験の計画概要及び予備実験の結果、並びに来年度実施予定の本実験に向けての検討内容について報告する。

*GOKO Shinji¹, MATSUMOTO Tetsuro², MASUDA Akihiko², MANABE Seiya², HARANO Hideki², SATO Osamu³, OKUNO Koichi⁴, SANAMI Toshiya⁵

¹Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R),

²The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Nuclear Technology Consulting, ⁴Hazama Ando Corporation,

⁵High Energy Accelerator Research Organization / The Graduate University for Advanced Studies

遮蔽計算のための基盤的可視化ソフトウェア gxsview の新機能（2）

The new features of the visualization tool, Gxsview (2)

*大西 世紀

海上技術安全研究所

3次元モンテカルロ輸送計算コード入力可視化ツールとして開発された Gxsview コードの機能拡張を行った。デスクトップ版では GUI 操作の改良を、Web 版ではバーチャルリアリティ(Virtual Reality, VR)対応を中心にユーザビリティの改善を実施した。

キーワード：可視化，遮蔽計算，モンテカルロ，MCNP，PHITS，VR，web アプリケーション

1. 緒言

MCNP 及び PHITS の入力ファイル可視化のために Gxsview コードを開発し、2020 年秋の大会で報告を行った。当発表では、遮蔽計算支援のために追加した新機能及び今後の拡張・発展について述べる。

2. 新機能

2-1. デスクトップ版における機能拡張

デスクトップ版 Gxsview では主に GUI 操作の拡充を実施した。これにより表示/非表示セルの一括選択/解除、並びにマウスクリックにより選択したセルの視野中心への配置が可能となっている。また可視状態の保存及び復元が実装された。この可視状態は JSON 形式でファイルへ記録されるため、テキストエディタ等での閲覧・編集が可能である。

2-2. Web 版における機能拡張

Web アプリ版では新たな機能としてヘッドマウントディスプレイ等に対応した VR 化を実施した。この VR 機能は WebXR API を利用しており、ブラウザでアクセスした後に web ページ上のボタンを押すことで VR 状態のオンオフを切り替える。また Web アプリシステムの実用化としてロードバランサによるバックエンドのクラスタ化を実施した。

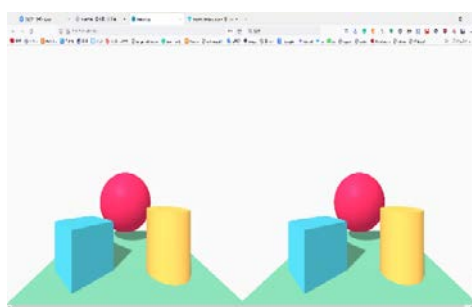


図 1 ブラウザによる VR 例
(Webxr エミュレーション時)

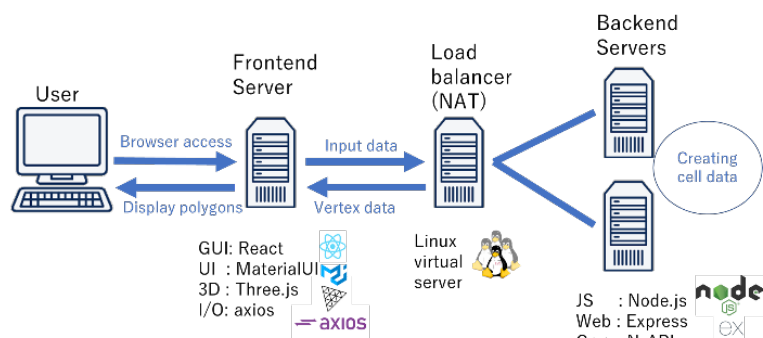


図 2 Web アプリシステム構成

3. 結言

PHITS 及び MCNP の計算大系並びに断面積の可視化ツールとして開発された Gxsview コードに新機能を追加した。今後は海技研クラウドを通じた一般への恒常的な公開・運用を実施する予定である。

*Seiki Ohnishi

National Maritime Research Institute, Japan