

令和6年度空間線量率等評価結果に係る
検証結果報告書

令和7年3月31日

NAIS株式会社

空間線量率等評価結果に係る検証委員会

議長及び委員

議	長	石神	努
委	員	大貫	晃
委	員	佐田	幸一
委	員	篠原	伸夫
委	員	杉田	武志
委	員	鈴木	國弘

目 次

I.	はじめに	1
1.	本報告書の位置づけ	1
2.	本検証委員会の設置目的	1
3.	本検証委員会の開催状況	1
4.	本検証委員会の検証方法	1
II.	検証項目	2
検証項目 1	「R-Cubic と同種の計算コードの選定と比較検討の方針及び選定結果について」	2
検証項目 2	「昨年度までの評価シナリオに類似のものを対象に、R-Cubic と選定コード OSCAAR の結果を比較してその相違を把握する」	2
検証項目 3	「SimII のシナリオが最大付近であることを OSCAAR による評価によっても確認す るために、統計的アプローチにより最大付近での線量率等を両コード間で比較 し、相違の程度を把握する」	2
III.	検証結果	2

I. はじめに

1. 本報告書の位置づけ

本報告書は、令和4年度空間線量率等評価結果に係る検証業務委託結果報告書において追加評価の実施が望ましい等とされた事項のうち、「R-Cubicと同様の計算コードであるSPEEDIとの比較検討」について、第三者の専門家による会議（第三者検証委員会、以下「本検証委員会」）を開催し、その内容を具体化するとともに、その評価結果について検証する。また、令和5年空間線量率等評価結果に係る検証業務委託結果報告書及び今年度の委託結果について、県民向けの周知資料を作成する。

本報告書は、「R-Cubicと同様の計算コードであるSPEEDIとの比較検討」について本検証委員会が検証した内容を述べたものである。なお、県民向けの周知資料については、別資料としてとりまとめている。

2. 本検証委員会の設置目的

追加評価の実施が望ましい等とされた「R-Cubicと同様の計算コードであるSPEEDI等との比較検討」について、第三者の専門家から構成される委員会を設置し検証する。また、令和5年及び令和6年度空間線量率等評価結果に係る検証業務委託結果に基づき、県民向け周知資料を作成する。

3. 本検証委員会の開催状況

- (1) 第1回開催 令和6年10月29日（火）13:30～15:30
- (2) 第2回開催 令和6年12月24日（火）13:00～15:00
- (3) 第3回開催 令和6年12月24日（火）15:15～17:00
- (4) 第4回開催 令和7年1月15日（水）13:30～15:30

4. 本検証委員会の検証方法

本検証委員会は、日本原電が評価に使用したR-Cubicと同様の計算コードであるWSPEEDI、OSCAAR及びRAMS/HYPACTを比較対象候補に挙げ、JAEAの意見と協力を得てOSCAARを選定し、その評価結果に基づき、専門家が妥当性を検証する。

検証にあたっては、令和4年度にR-Cubicを用いて評価対象としたシミュレーションⅡ（以下、SimⅡ）における防護措置範囲が、OSCAARを用いた場合にどの程度変動するかを把握するとともに、この防護措置範囲が想定される最大規模付近になっているかを確認することに焦点を当てた。そのために、以下の検証項目を設定し、それぞれに対して検証を行い見解をまとめた。

- ① R-Cubicと同種の計算コードの選定と比較検討の方針及び選定結果について
- ② 昨年度までの評価シナリオに類似のものを対象に、R-Cubicと選定コードOSCAARの結果を比較してその相違を把握する。
- ③ SimⅡのシナリオが最大付近であることをOSCAARによる評価によっても確認するために、統計的アプローチにより最大付近での線量率等を両コード間で比較し、相違の程度を把握する

II. 検証項目

- 検証項目 1 「R-Cubic と同種の計算コードの選定と比較検討の方針及び選定結果について」
- 検証項目 2 「昨年度までの評価シナリオに類似のものを対象に、R-Cubic と選定コード OSCAAR の結果を比較してその相違を把握する」
- 検証項目 3 「SimⅡのシナリオが最大付近であることを OSCAAR による評価によっても確認するために、統計的アプローチにより最大付近での線量率等を両コード間で比較し、相違の程度を把握する」

詳細については別表を参照。

III. 検証結果

R-Cubic と同種計算コード OSCAAR との比較検討は、昨年度に実施された追加評価の一部として実施されたものである。その目的は、令和4年度空間線量率等評価シミュレーションⅡで示された防護措置範囲について、同種計算コードを用いた場合にどの程度の変動幅を有するかを評価すること、また、最大規模付近か否かを確認すること、である。本検証委員会では、この点に焦点を当てて評価結果の妥当性の検証を行った。ただし、避難範囲を認定することに関しては検討の対象外としている。

Ⅱの検証項目の内容を踏まえ本検証委員会は、日本原電が実施した R-Cubic と OSCAAR の比較検討結果は全体として妥当であると判断する。検証結果の具体的内容は次のとおりである。

- (1) 比較用に調査された 3 種の計算コード (SPEEDI/W-SPEEDI、RAMS/HYPACT、OSCAAR) の中から、選定された OSCAAR は、特定日時の気象データにおける空間線量率等の空間的な広がり进行评估する決定論的評価に加え、年間の気象データを用いた確率論的評価が可能であること、過去に実施された国際ベンチマーク計算において他コードとの比較検討がなされたこと、原子力防災やレベル 3PRA に係る使用実績があること、等が示された。これらの機能や過去の実績を踏まえると本検証委員会の目的に適う評価が可能であり適切であるといえる。
- (2) 計算コード間では、解析条件に応じた入力方法と出力内容が必ずしも一致しないことから、計算コードの比較においてはこれらを同じにするために何らかの処理が必要となる場合がある。R-Cubic と OSCAAR においては、気象条件の扱い方、空間線量率の評価点と評価時期、及び防護措置範囲の表示内容に相違が認められた。気象条件の扱い方では R-Cubic を用いて OSCAAR での扱いを模擬した感度解析が行われた。線量率評価点については、R-Cubic ではメッシュ中央点、OSCAAR では同心円内評価点、そしてパフ通過中心点とこれら評価点との関係が詳細に論じられた。また、防護措置範囲の表示方法について

は、両コードによる同一地点での線量率の相違を両者の比で表し、その比に基づいて OSCAAR によるメッシュ表示の結果が示された。両コードによる評価結果を比較するこれらの方法は、線量率及び防護措置範囲の変動幅の検討に適しているといえる。

- (3) OSCAAR による防護措置範囲の評価結果から、R-Cubic による防護措置範囲に対する変動幅は約 1.5 倍となることが示された。この結果は、確率論的評価手法で評価された距離別空間線量率の 95% 値（東海サイトにおける平成 20 年の年間気象条件を使用）について、OSCAAR では R-Cubic の約 0.7～1.6 倍となったことと整合している。上記の評価結果、昨年度の感度解析、及びこれら評価が保守的である点を考量すれば、令和 4 年度空間線量率等評価シミュレーションⅡで示された防護措置範囲の変動幅は数 10% といえる。
- (4) 東海サイトにおける平成 20 年の年間気象データを用いて放射性物質放出から 24 時間後の距離別空間線量率計算結果が統計処理され、累積確率分布形と 95% 値について、両コード間の比較がなされた。この結果、分布形に大差がないこと、OSCAAR の 95% 値は R-Cubic に対し約 0.7～1.6 倍であることが示された。シミュレーションⅡでの気象条件は気象データの 95% 付近であることから、防護措置範囲は最大付近であることを再確認できたといえる。
- (5) 令和 4 年度空間線量率等評価シミュレーションⅡに対する令和 5 年度及び令和 6 年度の追加評価の結果を以下にまとめる。
 - ① R-Cubic を用いたシミュレーションⅡにおける防護措置範囲の評価結果は、事故条件、ソースターム（放射性物質放出量）、気象条件、使用計算コードといった不確かさ要因も考慮した解析の結果、数 10 パーセントの範囲に収まることを確認できたことから、妥当であったと判断される。
 - ② この防護措置範囲が最大規模付近であるかについては、1 年間の気象条件からランダムに抽出したサンプル気象条件に対して、確率論的手法に基づき OSCAAR と R-Cubic の比較計算を実施し統計処理した結果、両コード間での相違が小さかったことから、昨年度の R-Cubic によるシミュレーションⅡ結果が最大規模付近に対応する、という結論を再確認することができた。
 - ③ 以上から、防護措置範囲を検討する上で設定した評価条件シミュレーションⅡとそれに対する R-Cubic による評価結果は、発電所から 30 km 圏における最大規模付近の防護措置範囲を提示する有用な情報であると判断される。

検証結果報告書

－検証項目と検証方法－

検証項目1	「R-Cubicと同種の計算コードの選定と比較検討の方針及び選定結果について」				
論点1.1	比較用の計算コードを選定するに当たり、同種の各種計算コードについて使用目的、計算モデルの特徴等を十分に調査しているか。	検証 1.1	<ul style="list-style-type: none"> ・同種の計算コードとしてSPEEDI/W-SPEEDI、RAMS/HYPACT、OSCAARの3種の計算コードについての調査結果が示された。そこでは、評価特性として決定論的評価コードか、あるいは確率論的評価コードかの仕分け、また開発目的、使用実績が示された。【第1回資料、p. 10】 ・比較に当たっては、決定論的評価か確率論的評価かに応じた気象条件の扱い方、評価結果の示し方が検討され、それを踏まえたメリット・デメリットが挙げられた。【第1回資料、p. 11】 	見解	<ul style="list-style-type: none"> ・調査対象の3種の計算コードは、同種の代表的計算コードとして国内外で広く使用されていること、今回の比較計算に必要な決定論的及び確率論的な手法が含まれていること、JAEAや国際ベンチマーク問題で利用されていること、手法についての情報が得やすいこと、等から適切といえる。なお、この他同種コードとしてMACCS2が挙げられるが、昨年度までの検証委員会で一部言及されてきたところである。 ・選定にあたり重要となる、気象条件の扱い方、出力内容、決定論的と確率論的の評価の利用方法について調査・検討が十分なされている。
論点1.2	選定のための考え方は妥当か。	検証 1.2	<p>3種の計算コードに対して、以下の観点からの検討結果が示された。【第4回資料、p. 4, 5】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特定日時の気象データにおける空間線量率等の空間的な広がり进行评估する決定論的評価に加え、年間の気象データを用いた確率論的評価が可能であるか ・原子力防災やレベル3PRAに係る使用実績はどうか ・国際ベンチマーク計算への参加などの検証実績はどうか 	見解	<ul style="list-style-type: none"> ・計算コードの選定にあたっては重要な以下の検討項目が含まれており、選定の考え方は妥当である。 <ul style="list-style-type: none"> - 空間線量率の広がりを把握できること、 - 気象条件に依存した最大付近の防護措置範囲を確認する上で確率論的扱いが可能であること、 - 国内外で妥当性が認められていること、
論点1.3	比較対象項目の設定は本検証委員会で検討対象としている項目に沿ったものか。	検証 1.3	<ul style="list-style-type: none"> ・主な比較対象項目を、拡散評価手法（拡散モデル）、地表沈着濃度の計算、空間線量率の計算、防護措置範囲の評価、評価結果に対するコード間の変動幅とした。【第2回資料、p. 36】 ・R-Cubicの信頼性の確認を行うために他機関にて検証された他コードとの比較を行うこと、コード間の相違に対する分析・考察等を通じてR-Cubicの評価上の特徴を把握する、との方針が示された。【第1回資料、p. 8】 	見解	<ul style="list-style-type: none"> ・今回の計算コード比較での主要な点は、最大付近の防護措置範囲に対する変動幅の把握と、それが最大付近であることの確認である。また、計算結果の妥当性及び両コード間の結果の相違に対する計算モデル等に基づく説明である。この観点から左記の検討項目は妥当である。

<p>論点1.4</p>	<p>選定結果は妥当か。特にWSPEEDIを選定しなかった理由を説明する必要がある。</p>	<p>検証 1.4</p>	<p>計算コードOSCAARが選定された。その理由として、次の3点が示された。【第4回資料、p.4】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国際ベンチマーク計算への参加などの検証実績を有しており、また国による原子力防災の検討に活用されていること ・特定日時の気象データにおける空間線量率等の空間的な広がりやを評価する決定論的評価に加え、年間の気象データを用いた確率論的評価が可能であること ・過去に実施されたベンチマーク計算結果等を参考に、R-CubicとOSCAARの差異の程度をベンチマーク計算における変動幅との比較で検討できること ・OSCAARを対象としたパラメータの不確かさ解析がレベル3PRA学会標準に掲載されるなど、OSCAARコードに関する文献が多く存在すること ・WSPEEDIを選定しなかった理由については、OSCAARを選定した理由の裏返しとしたこと、特にR-cubicで算出された防護措置範囲が最大規模かどうかの評価がWSPEEDIではできないことを踏まえ、上で述べた4点を踏まえてOSCAARを選定した。 	<p>見解</p>	<p>・左記に示されているようにOSCAARの選定は、他の計算コードの調査結果、それを踏まえた今回の比較計算の目的、及び実施可能性を考慮したものであり、妥当である。</p>
<p>検証項目2</p>	<p>「昨年度までの評価シナリオに類似のものを対象に、R-Cubicと選定コードOSCAARの結果を比較してその相違を把握する」</p>				
<p>論点2.1</p>	<p>比較のために設定したシナリオ(評価条件)は一昨年度のシミュレーションⅡ(以下、SimⅡ)のそれと同じか、異なる場合には、この相違について説明する。</p>	<p>検証 2.1</p>	<p>シナリオについては以下が示された。【第4回資料、p.12】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射性物質放出量については、JAEAが過去に実施したOSCAARの計算条件とされた。SimⅡとの主な違いは、Cs-137の放出量を100TBq (SimⅡでは430TBq)、またヨウ素をすべて粒子状としている (SimⅡでは有機ヨウ素の沈着を考慮せず) ことである。放出量が相違してもSimⅡでの防護措置範囲を再現するために、それに応じた防護措置介入閾値が導入された。 ・放出継続時間については、5時間 (SimⅡでは4時間) としている。 ・放出高さ及び気象条件については、SimⅡと同じである。 <p>相違の理由については以下が示された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・両コードによる結果を比較するために、JAEAが過去に実施したOSCAARの計算条件の中から、SimⅡの条件に近いものが選定された。 	<p>見解</p>	<p>・シナリオについては、過去のOSCAAR解析事例の中からSimⅡのシナリオに近いものが用いられている。今回の比較計算ではR-Cubicでもこれと同じシナリオとしており、両コードの比較としては問題ない。</p> <p>・放射性物質放出量と発電所周辺の線量率はほぼ比例関係にあることから、比較計算でのシナリオの計算結果に処理を施すことでSimⅡのシナリオの結果をほぼ再現できる。このことは、SimⅡのシナリオに対する両コード間の線量率分布の比較及び変動幅の検討に有効である。</p>

<p>論点2.2</p>	<p>R-CubicとOSCAARにおいて入力条件、出力項目が一致しないものがあるか。ある場合は、その項目が何で、どのような方法で両者の結果を比較したか。</p>	<p>検証 2.2</p>	<p>一致しない入力条件については、以下が示された。【第4回資料p. 9, 10】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サイト気象データの扱いに関してR-Cubicでは発電所の観測データが評価領域全体に用いられるが、OSCAARでは広域的な気象庁数値予測データ（GPVデータ）が用いられる。 ・気象データに係る入力条件の相違については、R-CubicにおいてOSCAARでの気象データを模擬した感度解析を実施することで、この相違による影響が評価された。【第4回資料p. 20】 <p>一致しない出力項目については、以下が示された。【第4回資料、p. 13, 23, 24】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防護措置範囲を表示するためにR-Cubicでは線量率がメッシュ単位、OSCAARでは同心円内評価点で地図上に表示される。 <p>両コード間の比較方法については、以下が示された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基本的にR-Cubicの出力項目をOSCAARに合せることとされた。 ・距離別線量率については7日間平均値が比較された。 <p>また、R-Cubicを用いて放射性物質放出開始から24時間後の線量率（SimⅡでの評価）と7日間平均値との比較もなされた。【第4回資料、p. 31】</p>	<p>見解</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・サイト気象データの扱いについては、R-Cubicによる解析において気象庁数値予測データを模擬した解析も実施されており、入力条件の相違について十分な検討がなされている。 ・SimⅡでは防護措置範囲は放射性物質放出開始から24時間後の線量率に基づいていることから、7日間平均値との相違を把握しておく必要がある。距離別線量率の評価において、その相違の定量評価と十分な検討がなされている。 ・防護措置範囲の表示に関しては論点2.4を参照のこと。
<p>論点2.3</p>	<p>両計算コードの結果の相違について、計算モデル、計算条件、パラメータ値等の相違に基づいて合理的に説明がなされているか。</p>	<p>検証 2.3</p>	<p>両コードの計算結果の中で、SimⅡのシナリオを対象とした決定論的評価では、相違点として以下が示された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常陸太田方面の線量率分布に有意な相違がある。この相違は、気象データの扱い方が異なることに依ること（検証2.2参照）が示された。すなわち、R-Cubicによる解析において気象庁数値予測データ（OSCAAR）を模擬した気象データを用いて解析を実施したところOSCAAR計算結果に近づくことが示された。【第4回資料p. 17-20】 ・発電所からの距離別空間線量率に有意な相違がある点について、R-Cubicでは正方メッシュの中心点とパフ通過中心点がずれる場合があること、OSCAARではパフ通過中心点上に評価点があることに依ることが示された。【第4回資料、p. 23-26】 <p>確率論的評価では、以下が示された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・距離別空間線量率の95%値について、OSCAARではR-Cubicの約0.7～1.6倍となった。【第4回資料、p. 37】 	<p>見解</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・線量率分布の有意な相違が気象データの扱い方の相違によることを感度解析で示したことは説得力のある説明となった。 ・距離別線量率の相違について、両コードの評価点が近い場合と離れている場合に応じて、それぞれ結果が近いのか、有意な相違があるかが図示されたことで分かりやすい説明となった。 ・確率論的評価における距離別空間線量率の95%値についての両コードの相違については、国際比較計算における複数の同種計算コード間の相違（数ファクター）と同程度であることを考慮すれば、R-Cubicは同種の他の計算コードと同程度の性能を有するといえる。

論点2.4	OSCAARでは防護措置範囲をR-Cubicのように直接的にメッシュ数で表すことはできないが、この比較のために採られた方法はどのようなものか。また、その結果は妥当か。	検証 2.4	<ul style="list-style-type: none"> 防護措置範囲を地図上にメッシュで示すために、両コードによる同一地点での線量率の相違を両者の比で表し、その比に基づいてOSCAARの結果が表示された。 変動幅を算定する上で元となるSimⅡの一部のシナリオを対象に、距離別空間線量率の比を踏まえ、15km以遠において防護措置をとるべき線量率を$12.5\mu\text{Sv/h}$とした場合の防護措置範囲をメッシュ数で表しR-Cubicの結果と比較された。この場合の防護措置範囲は、約1.5倍となることが示された。【第4回資料、p. 26, 27】 	見解	<ul style="list-style-type: none"> 防護措置介入閾値が空間線量率で規定されていることを考慮すれば、OSCAARとR-Cubicによる線量率の比を用いて、線量率に基づき防護措置範囲をメッシュ単位で表示する方法は、簡便で分かりやすく現実的であり、妥当である。 防護措置範囲の変動幅については、検証2.3に述べた距離別空間線量率の変動幅を考慮すれば妥当といえる。また、昨年度の感度解析と今年度のコード間比較計算結果、及びこれら評価が保守的である点を考量すれば、変動幅は多くとも数10%と見込まれ、一般的な計算コードが有する変動幅と同等であるといえる。
論点2.5	OSCAARで評価された1.5倍や論点2.4の見解で示された数10%の変動幅を防護措置範囲へ反映する必要はないか。	検証 2.5	<ul style="list-style-type: none"> 1.5倍の変動幅は、評価の一部（水戸方面）にOSCAARとR-cubicの距離別空間線量率の比を踏まえ、15km以遠において防護措置をとるべき線量率を$12.5\mu\text{Sv/h}$とした場合のものであるとともに、15km以内ではR-cubicの距離別空間線量率がバラツキが大きいことから0.6倍と過大評価となっていることを反映していない。【第4回資料、p. 26, 27】 	見解	<ul style="list-style-type: none"> 防護措置範囲の変動幅については、シミュレーションⅡの結果の不確かさや規模感を確認するためのものであり、左記の検証内容や評価の保守性、論点2.4の見解を考量すれば、これらの変動幅は防護措置範囲へ反映すべきものではない。
検証項目3	「SimⅡのシナリオが最大付近であることをOSCAARによる評価によっても確認するために、統計的アプローチにより最大付近での線量率等を両コード間で比較し、相違の程度を把握する」				
論点3.1	確率論的評価において比較のためにどのような方法で気象データのサンプリングを行ったか。	検証 3.1	<ul style="list-style-type: none"> R-Cubicによる解析では、東海第二発電所における2020年の1時間ごとの気象データから統計的な傾向が推定できる程度の数としてランダムに60ケースのサンプリングが実施された。【第4回資料、p. 30, 32】 OSCAARによる解析では、2020年の1時間ごとの気象データの中からランダムに500ケースのサンプリングが実施された。【第4回資料、p. 30】 	見解	対象とした年がSimⅡと同じ2020年であること、偏りを排したランダムサンプリングを用いたことは、妥当である。
論点3.2	サンプル数は、統計的偏りを無視できるほどの数になっているか。	検証 3.2	抽出した60ケースと年間の気象データについて、大気安定度(安定型と不安定型)、降雨の有無、及び風向の出現割合についての統計を比較したところ、両者間で大きな乖離がないことが定量的に示された。【第4回資料 p. 32】	見解	両者間の統計に大きな乖離がないことが定量的に示されており、今回抽出された60のサンプル数は必要な数をほぼ満たしているといえる。

論点3.3	OSCAARによっても防護措置範囲が最大規模であることを確認する上で重要となる、線量率が最大となる近傍においてR-Cubicとの相違の程度をどのような方法で把握したか。	検証 3.3	防護措置範囲の評価の基となる、放射性物質放出から24時間後の距離別空間線量率の累積確率分布形と95%値について、両コード間の比較がなされ、分布形に大差がないこと、OSCAARの95%値はR-Cubicに対し約0.7～1.6倍であることが示された。【第4回資料p.34-37】	見解	OSCAARとR-Cubicによる確率論的評価の結果に大差ないことが示されたことにより、SimⅡでの気象条件は気象データの95%付近であることから、防護措置範囲は最大付近であることを再確認できたといえる。
-------	--	-----------	---	----	--