

10×10 燃料の導入に当たって新たに適用する TRAC 系コード及び 統計的安全評価手法 (BEPU) に係る補足説明

1 TRAC 系コード及び統計的安全評価手法 (BEPU) の導入の必要性

10×10 燃料を導入するに当たっては、次の状況から、炉心及びプラントの状態の変化を適切に評価できる TRAC 系の解析コード（以下，“TRAC 系コード”という。）¹ の導入が必要となる。

- ・ REDY コードなどの従来の解析コードでは、原子炉スクラム時などの制御棒の挿入中の出力分布の変化を評価することができない。
- ・ 10×10 燃料では、ピン径が細くなり、このような出力分布の変化が熱的制限値の評価に大きな影響を与える。
- ・ 従来の解析コードで保守的に熱的制限値を評価しようとする、実機の状態とかけ離れた、過度に保守的な入力条件を別途設定する必要が生じる。
- ・ このため、制御棒の挿入中の出力分布の変化など、様々な事象の進展を直接に模擬することができる多次元の解析コードの導入が必要となる。具体的には、米国で豊富な実績があり、燃料集合体ごとの流量の変化も適切に評価できる 3 次元解析コードの TRAC 系コードを導入する。

このような 3 次元解析コードでは、次の理由から、統計的安全評価（以下，“BEPU”²という。）の導入も同時に必要となる。

- ・ 炉心などを 3 次元で評価することになることから、取り扱うパラメータが多くなり、そのパラメータの条件設定の影響が事象進展に応じて厳しい側にも楽側にも変化し得る。
- ・ このため、従来の解析コードに対して実施した、解析結果を一律に厳しく保守側にするための条件設定が難しくなる。
- ・ 運転時の異常な過渡変化（以下，“AOO”という。）はこの代表格に当たり、AOO に対しては、十分な信頼性をもって保守性を定量的に評価できる BEPU の導入が必須となる。

加えて、LANCR/AETNA などの燃料集合体核特性及び炉心の核・熱をより詳細かつ適切に評価できる解析コードの導入も必要となっており、その機能の一部は TRAC 系コードの導入とも関連する。これらは次の理由による。

¹ A 型メーカーの TRACG05（米国 GEH の TRACG04 をベース）、B 型燃料メーカーの TRACT、規制庁が米国 NRC から導入した TRACE 5.0 などがある。

² Best Estimate Plus Uncertainty（最適評価＋不確かさ評価）の略

- ・ 今までの解析コードでうまく取り扱えなかった核種を取り扱うことができ、実炉で生じる変化、特性などをより正確に評価できる。
特に、長期停止中に影響が顕在化する核種を適切に取り扱えるようになることは、長期停止後の起動を含む様々な状態に対する評価の不確かさを大きく低減でき、安全評価の信頼性を大いに高めることができる。
- ・ LANCR/AETNA の下流側コードに当たる TRAC 系コード³による安全評価でも両解析コードの機能の一部が活用される状況にある。

この資料では、このような背景及び必要性の下で、10×10 燃料の導入と同時に、同燃料装荷炉心及びプラントの安全評価に用いることを計画している TRAC 系コード及び BEPU について、導入が必要となる理由を 2 章以降に更に掘り下げて説明するとともに、米国での状況、具体的な導入の様態などを詳細に補足説明する。

2 TRAC 系コード導入の必要性及び導入の範囲（詳細）

2.1 TRAC 系コードの導入の必要性

2.1.1 米国の状況

BWR の運転時の異常な過渡変化に係る安全評価に当たって米国では、1970 年代は炉心 1 点近似の REDY コード、1980 年代中盤以降は炉心 1 次元で最適評価⁴する ODYN コード、1990 年代後半から 2000 年代初頭以降は炉心 3 次元で最適評価する TRAC 系コードが主な解析コードとして用いられる状況であった。

これらの安全評価コードの高度化は、何れも米国 NRC が主導し、プラントメーカーがそれに対応する形で進められた。

その目的は合理的な保守性の確保にある⁵。

その背景には、安全評価コードを高度化しないと非保守側の解析につながる可能性があること。高度化する⁶ことで、炉心内、BWR プラント内の状態の影響をよりリアルに正しく評価できること。さらに、計算モデルの不確かさの影響を適切に計算できるようにすることで、燃料の損傷限界、冷却可能形状維持などに係る安全評価の保守性がより明確化でき、安

³ TRACG05 では、LANCR/AETNA の計算結果をそのまま入力データとして用いる。また、TRACG05 の核モデルは AETNA と基本的に同じものである。

⁴ “最適評価”とは、詳細で適切なモデルをもつ解析コードによって、試験データを保守的ではなく、その平均的な値を正しく評価すること。最適評価コードで試験値を再現すると、再現値は試験値の周りでばらつき、保守側、非保守側の両側で等分にばらつくことになる。最適評価する解析コードを最適評価コードという。

⁵ 統計的安全評価手法は最適評価コードに対する最も合理的な保守性の確保のための方法にほかならない。

⁶ この高度化とは、安全評価対象で生じる事象中で生じる種々の現象に対し、それぞれの現象及びその相互作用をより確実に取り扱えるように、空間次元を詳細化し（0 次元→3 次元）、基礎方程式系及び関連する内部モデル（以下、“計算モデル”という。）をより厳密又はよりリアルに改良することをいう。

全評価結果に高い信頼性をもたせることができるとの原則論がある。

この原則に基づき、それぞれのコードの高度化に当たって NRC は、高度化に必要なコードの要件、安全余裕⁷に対する不確かさの評価手法 (BEPU) の要件などをプラントメーカーに対して具体的に提示し、generic letter による通知、連邦規則の変更などを通じて、自らが主導する形でプラントメーカー、電力事業者などに対応を要求してきた。

2.1.2 国内の状況及び TRAC 系コードの導入の必要性

国内における BWR の安全評価では一貫して米国産コードを用いてきている⁸。しかし、米国の状況と異なり、国内 BWR の AOO に対しては、REDY コードが継続して安全評価に使用されている。これは、入力データの設定などによって保守性が担保できるとされたためである。

一方、10×10 燃料においては、合理的な説明が困難となる過度な保守的設定を REDY コードに持ち込まない限り、保守性の担保が困難となることを見込まれている⁹。

これに対処するために、熱的制限に関わる MCPR の変化に影響する現象を個々に正しく評価できるように安全評価コードを高度化する必要がある。具体的には、炉心 1 次元のため模擬性の不十分な ODDYN コードではなく、最も熱的に厳しい燃料集合体を流れる冷却材の流量についても正しく取り扱うことができる炉心 3 次元の解析コードに高度化する必要が生じている。

炉心 3 次元の安全評価コードには、AOO だけでなく、事故などに対しても米国などで使用実績が豊富で、規制庁もその最新コードの一つを保有する TRAC 系コードを導入することが最適である。

2.2 TRAC 系コードを導入する範囲

10×10 燃料装荷炉心に関わる安全評価において、TRAC 系コードは AOO の安全評価だけでなく、DBA の安全評価及び炉心損傷防止対策の有効性評価においても適用し、これまで

⁷ 判断基準と安全評価コードで計算した安全評価値との差

⁸ B 型燃料の安全評価コードの一部には米国原産であるもののドイツで改良されたものが含まれる。

⁹ 燃料棒径が従来と比較して一層細径となるためである。具体的には次のとおり。

原子炉スクラム時には、制御棒の挿入とともに軸方向出力分布のピーク位置が上方に移り、同分布が歪んでいく（以下、“TVAPS” (Time Varying Axial Power Shape) という。）が、これに応じて燃料棒から冷却材への熱（熱流束）の分布も上ひずみになるが、燃料棒内の熱伝導に伴う時間遅れのために、軸方向熱流束分布は遅れて変化し、またその変化幅も緩和される。この遅れ時間及び緩和の程度は、燃料棒が太いほど大きく、10×10 のように細径になると小さくなる。炉心 1 点近似の REDY コードでは TVAPS による MCPR 変化への影響を取り扱うことができないが、9×9 までの従来の燃料棒の場合は、径が太かったため、MCPR 変化への影響も小さくなく、別途設けられていたスクラム時の反応度カーブ設定の保守性によってカバーされていた。10×10 燃料では細径のため、従来のままのスクラム反応度の保守性では不十分となったことから、TVAPS を直接に取り扱える解析コードに変更する必要が生じた。

なお、REDY で 10×10 燃料装荷炉心における TVAPS の影響を吸収させるためにスクラム反応度に過度な保守性を設けてしわ寄せするのは、実機の状態とかけ離れて非合理的であるだけでなく著しく説明性に欠ける。

保守的とされてきた安全評価コード¹⁰を全て TRAC 系コードに変更して一元化する¹¹。

また、添付八においても、従来、REDY コードなどの炉心 1 点近似解析コードを適用していたプラント安定性の評価に対し、TRAC 系コードを適用する。

3 BEPU の導入の必要性及び安全評価上の対象の取扱い（詳細）

3.1 BEPU 導入の必要性及び導入状況

3.1.1 米国で BEPU を導入した理由及び経緯

BEPU を導入する理由は、3 次元的な現象が絡む複雑な事象の進展、空間的に複雑な設計の炉心構成など¹²に対して最適評価コード¹³で安全評価を実施するときには、保守性をもたらす従来の設定法¹⁴が保守性の担保の点で信頼性の高い方法でなくなったことによる¹⁵。

例えば、あるパラメータを事象中のある局面で保守的に設定できたとしても、別の局面ではその設定が非保守側に作用することが往々にして起こり得る。また、従来のような少数パラメータの保守的な設定では、最適評価コード内の多数の計算モデルがもつ不確かさ¹⁶を個々に計算結果に反映させることもできない。

このような問題を解決し適切な保守性を確保して安全評価結果の信頼性を高めるためには、計算モデルそれぞれに不確かさを設定し、その不確かさが安全評価結果に及ぼす影響を直接に計算して定量化するのが最良の方法となる。これを実現したのが BEPU である。

米国 NRC では最適評価コードの導入に伴うこのような状況に早くから着目し、1980 年代後半に、まず不確かさ評価を安全評価に適切に組み込むよう **regulatory guide** を整備¹⁷した上で、大破断 LOCA に対して、学会標準の統計的安全評価手法の原型である、CSAU (Code

¹⁰ SAFER-CHASTE, APEX-SCAT, REDY-SCAT など

¹¹ これは、これらの保守的コードが燃料被覆管の破損、冷却可能形状維持などの評価に対し、1 点近似、1 次元近似、2 次元近似などのような簡易的なモデリング及び／又は古い相関式を使用するが故に、最新知見の反映が困難なことに加えて、新燃料に対する保守性の担保に係る説明が難しくなったことによる。

¹² 例えば、10×10 燃料を装荷した BWR の AOO における TVAPS の影響の増加、従来プラントの大破断 LOCA における冷却材喪失で生じる燃料被覆管温度ピークと再冠水で生じる燃料被覆管温度ピークといった、異なる現象によって生じる 2 種類のピークの存在などが該当する。

¹³ 3 次元で核的挙動、燃料棒内熱伝達、冷却材内の 2 相流れ、蒸気と液との熱伝達などを解く最適評価コードでは、一つの事象に対し、数十から数百の多数の計算モデルが互いに複雑に関連しながら計算が進む形で安全評価がなされる。

¹⁴ パラメータの少ない簡易な安全評価コードに対して実施されてきた評価法、すなわち、工学的判断に基づいて少数の代表的な入力パラメータを保守的に設定することで安全余裕の保守性を担保させる評価法であり、パラメータ数が非常に多い最適評価コードには適合しない。

¹⁵ 米国では連邦規則 10CFR50.46 で、保守的な入力データを用いて LOCA 事象を最適評価コードで評価することを禁じている。

¹⁶ それぞれの計算モデルは、試験データとの間に“ずれ”、“ばらつき”などが必然的に生じるため、これらを不確かさとして個々に取り扱うことになる。

¹⁷ Regulatory Guide 1.157, “BEST-ESTIMATE CALCULATIONS OF EMERGENCY CORE COOLING SYSTEM PERFORMANCE”, May 1989.

Scaling, Applicability and Uncertainty) 法を 1989 年に定め¹⁸、現在に至っている。また、連邦規則 10CFR50.46 で CSAU などの不確かさ評価法の適用を要求している。さら、LOCA だけでなく AOO に対しても、2007 年に定められた SRP 15.0.2 にて、不確かさ評価法の適用が実質的に要求されている。

このように、米国では、法整備も含め、BEPU の導入を NRC が積極的に推進してきた。

3.1.2 米国における BEPU の導入状況

米国においては、BWR の AOO の各事象、PWR の大破断 LOCA に対して CSAU の適用が進んでいる。保守性確保のための方法を従来方式で明確化できない対象に対し、前者は MCPR の運転制限値を適切に決定するため、後者は冷却可能形状維持に係る限界基準に対する安全余裕を適切に決定するために BEPU が必要とされたためである。

BWR の LOCA に対しては、トピカルレポート（以下、“TR”という。）が 2018 年に認められたことから、これから導入が始まる見込みである。

具体的な導入状況は次のとおり。

- ・ DC（設計認証）取得での CSAU の適用
 - ・ ESBWR の AOO 安全評価への適用（DC 取得、2014 年）
 - ・ AP-600, AP-1000, US-APWR（三菱重工）の大破断 LOCA 解析への適用
- ・ COL（建設運転一括許可）での CSAU の適用
 - ・ South Texas ABWR（東芝）の AOO 安全評価への適用（COL 取得、2016 年）
- ・ CSAU に係る TR 認証
 - ・ BWR の AOO への CSAU 適用に係る TR
 - ・ BWR2-6 への TRACG 適用（2006 年）
 - ・ ESBWR への TRACG 適用（2010 年）
 - ・ BWRX-300 への TRACG 適用（審査中）
 - ・ PWR の大破断 LOCA などへの CSAU 適用
 - ・ Westinghouse 社の TR（1996）
 - ・ 強化版 CSAU 法（3.2.3 参照）の適用
 - ・ Westinghouse 社の TR（2004 年）
 - ・ 三菱重工社の TR（2014 年）
 - ・ Framatome/ANP 社の TR（2004 年）
- ・ TR 認証に基づく既設プラントへの展開について：
 - ・ BWR ではサイクルごと許認可にて AOO に対する CSAU 適用（2006 年以降）

¹⁸ NUREG/CR-5249, “QUANTIFYING REACTOR SAFETY MARGINS APPLICATION OF CODE SCALING, APPLICABILITY, AND UNCERTAINTY EVALUATION METHODOLOGY TO A LARGE-BREAK, LOSS-OF-COOLANT ACCIDENT,” Dec. 1989. この文書で説明された CSAU 法は世界最初の BEPU 手法である。

- ・ PWR では、Westinghouse 社が 1997 年以降、大破断 LOCA 申請結果に対し、順次 CSAU を適用した結果に差替え

3.1.3 米国における BEPU 類似手法の導入状況

CSAU 以外の BEPU として、米国では BWR の AOO に対するサイクルごと許認可のための安全評価において、GE 社の独自の BEPU を適用した AOO における MCPR 変化量の不確かさ評価が、ODYN コードを用いて 1990 年代から実施されていた¹⁹。

この手法は GE 社が CSAU に類似した評価手法と説明したものであるが、TRAC 系コードの適用とともに同社も CSAU に移行している。

3.2 10×10 燃料で導入する BEPU について

3.2.1 10×10 燃料で BEPU を導入する理由及び BEPU を適用するモデルの範囲

10×10 燃料では、最適評価コードである TRAC 系コードを、AOO 及び DBA の設計基準事象の安全評価から、炉心損傷防止対策の有効性評価まで、ほぼ全面的に適用する計画である。この中で AOO に対しては、原則として、BEPU を導入して安全評価を実施する。これは、米国 BWR の安全評価で豊富な導入実績があることに加えて、炉心内などを 3 次元で模擬した TRAC 系コードでは、炉心 1 点近隣の従来コードのように保守性を一律に決定できないことなど²⁰から、不確かさを個々に取り扱って安全余裕への影響（伝播）の評価をせざるを得ないためである。

一般に、TRAC 系コードを始めとする最適評価コードでは内蔵する計算モデルのもつ不確かさが結果のばらつきに影響を及ぼすため、安全評価結果の信頼性を高め、保守性の担保を確保するためには、計算モデルの不確かさの影響を適切に取り扱うことができる BEPU の適用が必要となる²¹。ただし、安全評価結果の保守性が明確に説明できるなど、BEPU 不適用に係る合理的、かつ、十分な説明性を提供できるときには、BEPU を適用しない場合がある。(3.2.2 参照)

TRAC 系コード内で BEPU を適用するモデルの範囲は次の例のとおり、同コードがもつ計算モデルの全体にわたっている。これは、安全余裕の確保に影響する重要な現象に関わるモデルが炉心内だけでなく、プラント内の各所に対して想定できるためである。

¹⁹ 1980 年に NRC から認証を受けている。当時は option B と呼称された。

²⁰ 3 次元現象の相互関係が事象進展に影響する AOO では一律の保守性を決定することができない。また、LOCA 解析では安全余裕が非常に大きいことから、保守性が相応に説明できれば BEPU を導入しない安全評価も可能であるが、AOO では運転制限値を決定することから安全余裕の大小の議論がそもそもできない。

²¹ BEPU を適用する場合、対象とする事象にて安全評価上の重要度が高い計算モデルに対して不確かさを設定し、安全余裕に対するこれらの不確かさの影響を多数回の試行計算の結果を統計的に整理することで定量的に評価する。

また、原子力学会標準の統計的安全評価手法の実施基準：2021 では、個々の計算モデルの不確かさの安全余裕への影響の評価法だけでなく、安全評価値に対する更なる保守性の設定法についても説明している。

例えば、10×10 燃料装荷炉心に対する AOO の中で、圧力増加過渡に属するリミッティング事象においては、TVAPS（脚注 9 参照）が影響するため、主蒸気配管から圧力容器内、特に炉心内の 3 次元核熱結合、2 相流などの挙動を含む全ての重要な現象（計算モデル）の不確かさを考慮して安全余裕への不確かさの影響を評価することになる²²。このような事象では、不確かさを設定する計算モデルの数²³は、おおむね 20～30 程度になる。

3.2.2 BEPU 適用の要否に係る考え方及び適用する事象の範囲

3.2.2.1 安全評価に対する基本姿勢及び BEPU 適用の有無との関係

安全評価においては安全余裕を適切に評価できる評価手法を用いなければならない。

最適評価コードを使用して上記要求を満たすための最適な評価手法の代表格は BEPU である。

しかし、BEPU は一つの事象の計算に 100 を超える多数の試行回数の計算を実施して統計的に処理する評価手法であることから、AOO などに含まれる様々な事象の統計的安全評価値を全て揃えるためには膨大な計算リソース及び計算期間を要する。このため、安全余裕を適切に評価できるほかの評価手法があれば、全ての設計基準事象の評価に BEPU を導入するのは合理的ではない。

したがって、事象進展の明快さ、安全余裕の大きさ、保守的設定の実施可能性などに応じて、BEPU を用いない評価手法がアプライオリに適切なものと判断できる場合には、評価結果の保守性、信頼性などを明確に実証できることを条件として、保守的な解析の実施など、BEPU を用いない評価手法を採用することとする。

3.2.2.2 BEPU を適用する場合の考え方

10×10 燃料装荷炉心に対する BEPU の適用は、TRAC 系コードを使用する安全評価において、安全評価結果の保守性の確保に係る評価の信頼性を高めることを目的として、次の三つの要件が同時に成立するときに行う。

- ・ 判断基準に対する安全余裕が大きくないこと
- ・ 事象進展及び関連する現象が複雑であること
- ・ 重要な計算モデルの不確かさが試験結果などに基づいて適切に設定できること

このように BEPU は安全評価結果の保守性の担保に関わる解析の信頼性が強く必要とさ

²² TVAPS に対しては、中性子束の挙動から、燃料棒内の発熱、燃料棒内の熱伝達、燃料棒表面から冷却材への熱流束（除熱）を適切に解く必要がある。また、AOO の中で最も厳しい事象（リミッティング事象）では、タービン加減弁の急閉などによって主蒸気管内圧力が急速に高まり、これが炉心まで伝播して炉心内のボイドを潰して正のボイド反応度を生じさせ中性子束を急昇させるため、これと前述の TVAPS が影響する挙動を含む全ての挙動について、不確かさの伝播も含めて、適切に計算される必要がある。

²³ 安全評価上の重要度が高い現象（計算モデル）の選定は、米国 NRC などで開発され、今や原子力分野だけでなく、自動車産業、航空宇宙産業などでも幅広く使用されている PIRT（Phenomena Identification and Ranking Table）を作成・整備することで行う。

れる事象などに適用する。

3.2.2.3 BEPU を適用する事象

BEPU は、制御棒系の過渡を除く AOO の各事象の安全評価に限定して適用する。この理由は、AOO が事象進展及び関連する現象が複雑である上に、安全評価が MCPR の判断基準値に相当する運転制限値を決定するものであるために、安全余裕に係る場合分けの余地がないものであることによる。

なお、制御棒系過渡を除く AOO の安全評価に用いる重要な計算モデルの不確かさの適切さについては十分に説明できるものと考えている。

3.2.2.4 BEPU を適用しない事象

繰返しになるが、事象進展の明快さ、安全余裕の大きさ、保守的設定の実施可能性などに応じて、BEPU を用いない評価手法がアプリアリに適切と判断できる場合には、評価結果の保守性、信頼性などを明確に説明できることを条件として、保守的な解析の実施など、BEPU を用いない安全評価手法を用いて安全余裕を評価する。

具体的には次のとおりである。

AOO の中で、制御棒系の AOO については次の理由から BEPU の適用対象としない。

- ・ 起動時の制御棒誤引抜きは TRAC 系コードを適用するが、事象の推移が単純²⁴であるために、事象進展及び保守的設定に関わる条件設定の影響を明快に説明できる。
 - ・ 具体的には、燃料エンタルピに係る損傷基準に対して大きな安全余裕をもつことから制御棒価値に大きな保守性をもたせることが可能となり、安全評価結果の保守性の担保が確実にできる。
- ・ 出力運転時の制御棒誤引抜きは、TRAC 系コードを用いずに、保守的であることが従来認められてきた定常状態の 3 次元炉心解析コードを、10×10 燃料装荷炉心に対しても継続して用いることから、従来からの変更はない。

また、DBA の安全評価については次の理由から BEPU を適用しない。代表的な事故事象に限定して説明する。

- ・ 大破断 LOCA などの LOCA 事象については安全余裕が非常に大きいため、評価結果の保守性、信頼性などを明確に説明できることを条件として、BEPU を適用しない。

なお、ABWR においては燃料被覆管温度のピークが一つしか現れず²⁵、当該のピー

²⁴ 冷却材流れ、関連する反応度フィードバックの影響がほとんどなく、制御棒価値、ドブプラ反応度、冷却材による除熱によって燃料エンタルピが定まるため

²⁵ ABWR においては LOCA 時に炉心の冠水が維持されるため、冷却材流量急減期に燃料被覆管温度が上

ク値を保守的に評価するための方法が容易に定まることから、説明性のある形で保守的な安全評価を実施できる。

また、従来 BWR においては二つの燃料被覆管温度のピークをもつ複雑な事象進展となるが、必要に応じて感度解析などによって保守性の確保ができる見通しがある。

ただし、ABWR、従来 BWR のどちらに対しても、上記の前提条件から、保守性に対する十分な説明が必要であり、慎重を期して BEPU の考え方に沿った説明を構成することもあり得る²⁶。

- ・ 制御棒落下事故については、TRAC 系コードで保守的な安全評価を実施する。これは、安全評価結果の信頼性・説明性に問題が生じない形で保守的な安全評価が実現できるためである。

BEPU を適用しないのは、重要な計算モデルの不確かさの詳細が知見の不足により決定できないことによる²⁷。

なお、制御棒落下事故においては、燃料エンタルピーの変化に対し支配的なパラメータである落下制御棒価値が極めて保守的に設定されているため、保守性の担保に関する説明は容易である。

さらに、炉心損傷防止対策の有効性評価に TRAC 系コードを適用するに当たっても、ノミナルな入力データを用いた解析結果を用い、必要に応じて感度解析を実施して不確かさの影響を把握するとの評価方式が定着していることから、BEPU の適用を行わない。

3.2.3 CSAU と BEPU の原子力学会標準との関係

CSAU は 1989 年が初版で PWR の大破断 LOCA を念頭に作成されたものであるが、当初から安全評価上の不確かさを評価する一般的な方法論を目指していた。このため、炉型の異なる BWR、LOCA 以外の AOO にもそのまま使用できるものであった。2004 年頃からドイツ GRS²⁸の手法を取り入れて CSAU の高度化が図られ、統計計算に係る機能が強化²⁹された。

原子力学会標準“統計的安全評価の実施基準：2021”（以下、“学会標準”という。）は、CSAU（強化版を含む）を原型に BEPU に係る規定を構成し、国内産業界などが米国原産の

昇するが、原子炉スクラムに伴う原子炉出力の低下のため、その後は燃料被覆管温度が低下する。

²⁶ 米国の連邦規則（脚注 15 参照）で LOCA 事象に対しては最適評価コード+保守の入力データで安全評価（ECCS 性能評価）することが禁じられ、BEPU が要求されている。ただし、GEH は ESBWR の DC 取得時に、CSAU を適用せず、ごく少数の重要度の高い計算モデルの不確かさを同時に厳しい側に振った解析結果を提示し、認証を受けている。

²⁷ 不確かさの分布、すなわち確率密度分布を決定できるほどの豊富な試験データはないが、保守的、包絡的な安全評価の実施を裏付けるための試験データ、知見などが揃っている状況にある。

²⁸ Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit: ドイツの原子炉安全協会（規制側機関）

²⁹ 順序統計法の導入

安全評価コードを導入して用いている状況を踏まえて、安全評価コードの適格性評価（V&V：検証及び妥当性確認）を適切に実施するための規定を米国 regulatory guide³⁰などに基づいて加えたものである。

また、学会標準では、最新知見を取り込み、留意点を示す観点から、欧州において長年にわたって実施された BEPU の多国間国際共同プロジェクト³¹の成果、知見などを附属書（参考）に記載し、同標準内の規定を補足説明している。

3.2.4 95%累積確率／95%信頼水準で安全評価結果の妥当性について

学会標準では統計的安全評価値を決定するときに用いる統計的な上限値、95%累積確率／95%信頼水準³²の工学的妥当性についても、米国を始めとして国内外の適用例、規制側の評価などを幅広く説明している。

また、学会標準に記載はないが、1980年に認証された GE 社独自の BEPU 法（3.1.3 参照）においても、95%累積確率／95%信頼水準で評価することが米国 NRC に承認され、その後の安全評価にてこの統計的上限値が広範に使用されていた状況もあった。

³⁰ USNRC, REGULATORY GUIDE 1.203, TRANSIENT AND ACCIDENT ANALYSIS METHODS , U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Dec. 2005 (2005)

³¹ OECD/NEA で実施された BEMUSE (2003-2011), PREMIUM (2012-2016), SAPIUM (2017-2019), WGAMA のスケーリング分析プロジェクト(2012-2016)などの国際共同プロジェクト

³² 米国ではこの 95/95 が BEPU を用いた申請解析に当たって使用され、米国 NRC も容認している。