

## 炉物理・核データ部会合同企画セッション

### 「核データ・炉物理研究と社会の係わり（最終報告）」

#### (1) 議論のまとめと炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査の試み

日本原子力研究開発機構

深堀 智生

fukahori.tokio@jaea.go.jp

#### 1. はじめに

2005年日本原子力学会秋の大会、炉物理・核データ部会合同企画セッションにおいて、「核データ・炉物理研究と社会の係わり」に関連する議論の最終報告が行われた。「核データ・炉物理研究と社会の係わり」の議論は、2003年日本原子力学会「秋の大会」にて炉物理・核データ部会合同企画セッション「核データ・炉物理研究は社会にいかに関わるべきか」での問題提起を受けて開始された。両部会関係者の間にて進め方について議論し、「議論を深め、アクションプランを作成」することを目的に、核データ部会及び炉物理部会での共通の定常的な検討・議論の場としてメーリングリスト「核データ・炉物理研究と社会の係わり」(nrs)を設置して、活動した。以下、これまでの議論をまとめ、筆者が提案したアクションプラン及びその内の「炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査の試み」について報告する。

#### 2. これまでの議論のまとめ

まず幹事案として、以下の課題について検討してはどうかという提案がなされた。

- (a) 核データ・炉物理コードの品質保証・標準に関する課題
- (b) 核データ・炉物理に関する解決すべき課題
- (c) 核データ・炉物理の今後の技術開発に関する課題
- (d) 核データ・炉物理研究の社会への説明責任に関する課題
  - a) 核データ・炉物理に関する課題の社会への説明について（過去）
  - b) 核データ・炉物理に関する課題の社会への説明について（今後）

これを元に議論を重ね、キーワードとして「許認可体制」、「性能規定」、「型式申請」、「説明責任」、「品質保証」、「誤差評価」、「組織体制」及び「アクションプラン」とくることができるようテーマで議論を進めた。本活動の主題「社会とのかかわり」について考えると、必ずしも立場が一致しておらず、技術論に陥りがちであったが、技術的な側面に立脚して、「社会との係わり」を議論する側面は持っていたと思われる。以下、上記キーワード毎に議論の概要を報告する。

## 2.1 現状の許認可体制（規制側及び申請側の問題点の抽出）

まず、「安全規制の縛りが、自由な議論や、新解析手法の実用化を妨げている」という批判が提出された。すなわち、現在の安全規制が「前例主義」であり、規制側の方針が変わらない限り、申請側が変わるのを期待するのは無理ではないかという考え方である。

これに対し、「安全確保の説明ストーリーがいつのまにか安全規制からの要求のように誤解」されているとの反論があった。これは、規制側の技術的能力の不足が原因であるが、事業者としてはよほどのメリットがない限り無難な道を選ぶとされた。事業者の最新知見反映には、許認可の手間（コスト）が不明確であり、操業時期遅れ等のリスクをとってまでチャレンジするか疑問であるとの考え方である。また、「申請側も規制側も変化する動機（必要性）は希薄ではないか」との意見もあった。現在の許認可は固定化された印象であり、新しい技術を採用する機運は簡単には生まれ難いのではないか。例えば、原子力の安全性に関していえば、実績のある従来技術から新技術に移行することには慎重であるべきであり、PA上の観点からは、これまでの論理等を変えることに対する無用の議論を避けたいこともあろう。

これらの議論の中から、「安全確保に係わる核的評価パラメータの品質保証の枠組み（民間基準）」の検討という考え方が提出された。安全確保という観点で社会への説明責任を果たしつつ、実用炉における新技術の導入を促進し、最新知見を反映（安全裕度適正化、経済性向上）すれば、事業者のポジティブな動機となり得るというものである。ここから、次節の「性能規定」の議論へ移行していった。

## 2.2 性能規定の考え方

まず「性能規定」は定量的なものであるべきか、定性的なものであるべきかという検討が行われた。「性能規定は定量的なものであるべき」という考え方では、設計上の余裕を定量的に定義し、申請側の合理化の根拠（最新技術で、定量的余裕をクリアしようとする動機）を与え、国民に対しては、設計解析手法がどの程度の信頼性をもっているのか説明する。しかし、規制側が性能規定を定量的に定義するのは、総合的な安全体系の中での説明責任が必要となるので、困難ではないか。一方、「性能規定は、できるだけ定性的な性能要求であるべき」という考え方では、性能を実現するための手段に選択の自由度が与えられるべきとし、国が事細かに決めるのではなく、民間規格にゆだねることと主張する。現実には、個々の申請案件で従来のものを大幅に変更するような説明が必要で、申請側と審査側双方にとって負担（審査を長引かせる原因）となるので、あらかじめ民間規格として整備し、個々の審査において適用（効率的）することがよいと考える。

具体的なものがなかなかイメージできづらいので、例として、以下の原子炉等の核特性や反応度制御系そのものに対する基準や要求及び核特性や制御能力を評価する方法に

に対する基準や要求（核データ・炉物理に直接的に関連する性能規定）が提案された。

- (a) 原子炉等の核特性や反応度制御系そのものに対する基準や要求
  - a) 発電用軽水炉の安全設計審査指針における「固有の出力抑制特性」
  - b) 「反応度価値の最も大きい制御棒1本が完全に炉心の外に引き抜かれ、挿入できないときでも、炉心を臨界未満にできる設計」
- (b) 核特性や制御能力を評価する方法に対する基準や要求
  - a) 反応度投入事象評価指針における動特性パラメータの評価方法
  - b) ECCS 性能評価指針の崩壊熱評価方法

### 2.3 型式申請の提案に基づく民間基準の重要性

性能規定に対し、あらかじめ型式の基準を決めておく「型式申請」についても議論された。この場合、許認可を申請できるのは型式基準を持つ事業者に限られるので、変更が困難なことの原因になるのではないかと意見も出たことを付記しておく。

型式申請は、米国のようにメーカーから型式申請のような許認可申請で、複数のメーカーが競い合って新製品を開発したり、優れた技術を開発した新規参入メーカーが出現したりできるので、より良い製品が許認可を受ける期待が持てる。よりオープンな議論の第一歩となり、民間規格の策定活動等の活用につながるが、メーカーにとってはノウハウを公開するような面もある。自分の首を締めて、より厳しい環境となる恐れもある。

これに関連して、現在のコード・オーソライズの仕事は、プラントの許認可に付随しており、炉物理的な新知見、核データの更新等の機会が極めて少ない。これを型式申請にすればという意見があったが、具体的に得られるメリットが見えにくく、コードをオーソライズしてもらう窓口が無い等の問題も提出された。「プラント許認可とリンクしない設計コードの認可システム」の実現には、学会として民間標準（客観的な妥当性の判断基準）の作成が必要である。これにより、安全審査の円滑化を図れるので、コード単体のオーソライズの仕事に発展できるのではないかと。ただし、「標準コードの作成」は歓迎されず、設計コードが満足すべき要件や検証方法の基準を検討するのが望ましいとされた。

### 2.4 「社会とのかかわり」に関連する説明責任及び品質保証の考え方

「社会との係わり」の最も重要な視点は、安全確保の説明責任であるとの認識である。ある設計解析手法がどの程度の信頼性を持っているのか説明できないと、国民は何となく不安だという印象を持つだろう。安全委員会の重要課題（定量的目標）として、「安全目標」（公衆に災害が及ぶ危険性を無視し得るくらいに小さく抑制）及び「リスク情報を活用した安全規制の導入」（リスク定量化と核特性評価値の不確かさ、確率論的安全評価（PSA））があげられる。これに対応した、「安全確保に係わる核的評価パラメータの品質

保証の枠組み」を公正かつ透明なプロセスとして、学界・業界から規制当局へ民間基準として認知してもらう必要がある。ここでは、核特性の評価値において、分散等の統計的ばらつき情報を整備し、定量的なリスク評価へ貢献しなければならない。核データ・炉物理分野（核設計分野）でいえば、例えば、

- (a) JENDL の共分散データの整備
- (b) 連続エネルギーモンテカルロ計算を一部の核特性では参照解とできる状況
- (c) 臨界性などは  $0.3\% \Delta k$  を目標

等を自分たちの分野から始めて、社会の漠然たる不安を一部でも取り除くことによって、安全確保という観点で社会への説明責任を果たすことができるのではないかと。ひいては、実用炉における新技術の導入を促し、その発展に寄与できると考えられる。多くの関係者にとって有益ならば、民間規格を整備して規制判断に取り入れてもらうよう努力することを検討してみるのもひとつの方法であろう。安全裕度の適正化にも資することができる、ある程度産業界の動機は十分ではないだろうか。ただし、安全評価の枠組みを核データ・炉物理コミュニティだけで変えることは困難である。しかし、タイムリーに対応していく準備は必要だと考えられる。

説明責任の考え方として、身近なところから検討してみた。まず、「核データ評価は、積分実験解析側に説明責任を果たしているか」に関しては、

- (a) JENDL は、バージョンアップが繰り返されてきたが、一般ユーザにとっては、どのような理由で、何が改良されたのかが分かりづらかった。
- (b) ENDF や JEF と比べて、JENDL の評価がよいのかどうか、あまり言及されない。ユーザは、ライブラリー間比較の情報が乏しいことが多いので、敢えて JENDL を使わなくても、既存の輸入ライブラリーでよいかと思うケースが多いのではないかと。
- (c) JENDL の重核の共鳴パラメータや熱中性子散乱則は、米国からの輸入である。国際協力は必要であるが、ブラックボックスで自分のライブラリーに取り入れることとは質が違う。
- (d) 核データも物性値のひとつ。ユーザは誤差評価のない物性値を用いた解析結果では、誤差の評価できないので、使うことができない。JENDL-3.3 では、20 核種程度に共分散が与えられているが、その他の核種についても、標準偏差だけは付けてほしい。

等が挙げられた。「積分実験解析は、核データ評価側に説明責任を果たしているか」については、

- (a) 実験解析を行う方は、主に C/E 値のみに関心があり、その原因が、核データそのものなのか、炉定数の作り方なのか、または解析モデル誤差や実験データの誤差なのかといった分析が不足している場合が多い。

- (b) 最近は、連続エネルギーモンテカルロ計算さえやれば、その C/E 値の 1.0 からのずれは核データの誤差であるとしている例も多い。モンテカルロでは、反応度変化などのメカニズムの分析は難しいので、実験解析側は、決定論での摂動計算による成分分析やパラメータサーベイなどによる物理的な考察を充分行って、他の多種多様な炉心や核特性間の整合性を確認してから、核データ側に改善を提言すべき。
- (c) 実験解析結果から、核データの誤差を推定する場合は、各々の核種・反応・エネルギー領域が、その核特性にどれだけの感度を持つかまず評価しない限りは、定量的な評価はできない。

等が挙げられ、説明責任を果たすことの難しさが認識された。

## 2.5 核データ及び炉物理解析に関する誤差評価のあり方の提案

核データ測定、核データ評価、積分実験解析間相互の説明責任のあり方、ひいてはこれに付随する誤差評価に関する議論が行われた。

従来の誤差評価は、「保守的である」と漠然と主張していたので、データの C/E 値のばらつきを包含する安全側の値をとるような設計が行われていた。このような状況を改善するためには、個別の誤差要因の積み上げが必要である。臨界実験で計算値を補正する場合は、臨界実験誤差、解析モデル誤差、核データに起因する誤差、誤差の定量的な値、形状、誤差相互の相関等が必要である。これにより、裕度・合理化部分の明確化が可能となり、社会への説明責任を果たすことができるようになる。得られた誤差データ（共分散）が合理的なものであるかどうかは、現時点での情報にバイアスがあるかないかに依存するため、より精度の高い核データを整備する動機ともなる。

ここでも、前節と同様に誤差データに関連した説明責任の観点から、現状の整理を行った。「核データ測定は核データ評価側に説明責任をはたしているか」という以下の問いかけに対しては、

- (a) ある断面積の測定値は測定者によって大きくばらつくケースがある
- (b) 物理量であるかぎり、妥当な誤差が提示されなければその価値はない
- (c) 核データ測定者は、測定値とともに誤差を評価者にフォローできる形で提示しているか

「国内の測定者の方々には、できるだけこのようなことがないようにお願いしており、諸外国と比較すれば誤差データの質はいい」と説明された。

一方、「核データ評価は核データ測定側に説明責任をはたしているか」についての以下の質問に関しては、

- (a) 複数の実験値がばらついている場合にどれを採用するか、統計的平均をとるかには評価者の任意性がある

(b) 技術的な判断根拠を公に残す必要はないか

(c) 評価者が自分のニーズを測定側に説明する必要はないか

「少なくとも国内のデータに関しては、ある程度の議論は行われている。外国のデータでは率は減るが、重要な反応に関しては議論されている」と説明された。

## 2.6 組織体制及びアクションプランについての議論

組織体制及びアクションプランについての議論のための下記の提案があった。

(a) 測定、評価、ライブラリー作成、利用等各領域間でのコミュニケーション・情報交換

(b) 核データが悪いのか、MCNP用連続エネルギー断面積が悪いのか等を気軽に議論できるメールによる場を作る

(c) 許認可やいろいろな炉設計に、どのようなコードとライブラリーの組み合わせで、実際使用されているかを知りたい

(d) このような議論をメーカーや電力を含む広い方にいかに知ってもらうかの方策の検討

「何をすべきか」、「何ができるか」、「どのような活動母体が適切か」を検討するための議論を通じて、「今後の原子力開発に関する既存でないものに対する方法論等の議論」、「重複を避けるため今までに何が行われてきたかの調査」、「どのような形（部会や委員会等）で実現して行くかの検討」が必要である。また、リスクを定量化する際の利用に耐えられる核特性の不確かさ評価法の確立のためにプラスアルファの内容が要求される。このために、学会基準の制定の努力につなげたいが、核データ・炉物理分野だけで終わらせず、他の分野を含めた課題を検討し、取り敢えず核データ・炉物理分野でまとめて、他の分野へ働きかけることとしたい。このための新テーマとして、

(a) 炉定数の作り方

(b) 炉物理試験などに関する技術の維持（誰が、どこで、何のために行うか）

(c) 情報の共有

等を検討した。

## 3. 炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査

炉物理・核データ両サイドの共通認識を得るため、「種々の炉物理計算に実際に使用されているコードとライブラリー（核データ及び炉定数の形式）の組み合わせ」に関する調査を報告者が提案した。この動機は、核データの生産者としての疑問、すなわち「国内ではどのような炉物理コード（広い意味での許認可等に係わる核設計、遮蔽計算コード）が、核データライブラリーとの組み合わせで使用されてきたのか」を知りたいということであった。技術論的過ぎるかもしれないが、社会に対する説明責任の基礎となる

誤差評価、民間基準検討及び品質保証の議論のための基礎データとなると考える。以下の表に、今回の調査結果を列記する。

表 1 炉心解析関連コード

利用コード	ライブラリー	処理コード	評価済核データ
MVP	MVP	LICEM	JENDL-3.2, -3.3 ENDF/B-VI.8 JEF-2.2, JEFF-3.0
SRAC	SRAC	NJOY+TIMS 他	JENDL-3.2, -3.3 ENDF/B-VI.5, -VI.8 JEF-2.2, JEFF-3.0
WIMS	WIMS	NJOY (RABBLE)	ENDF/B-V (ENDF/B-VI、JENDL は比較ベンチマーク計算に使用)
SWAT	SRAC (SWAT) ORIGEN		
MCNP	FSXLIB	NJOY	JENDL-3.2, -3.3
SLAROM	ADJ2000 JFS-3	炉定数調整 NJOY+TIMS 他	JENDL-3.2
CITATION TWOTRAN TRITAC NSHEX TWODANT THREEDANT	SLAROM 等で 作成した入力 データ	SLAROM 等	
SAGEP ABLE ACCEPT	共分散	ERRORJ	JENDL-3.2,-3.3

注) MVP、MCNP (連続エネルギーモンテカルロ計算コード)、SRAC (熱中性子炉用汎用核特性解析システム)、WIMS (1次元熱中性子輸送計算コード)、SWAT (統合化燃焼計算コードシステム)、SLAROM (高速炉用格子計算コード)、CITATION (汎用多次元拡散計算コード)、TWOTRAN (2次元中性子輸送計算コード)、TRITAC (3次元Sn法中性子輸送計算コード)、NSHEX (3次元ノード法中性子輸送計算コード)、TWODANT (2次元中性子輸送計算コード)、THREEDANT (3次元中性子輸送計算コード)、SAGEP (感度係数計算コード)、ABLE (炉定数調整計算コード)、ACCEPT (核設計精度評価コード)

表 2 遮蔽計算関連コード

利用コード	ライブラリー	処理コード	評価済核データ
MVP	MVP	LICEM	JENDL-3.2,-3.3 ENDF/B-VI.8 JEF-2.2、JEFF-3.0
MCNP PHITS	FSXLIB ACE	NJOY	JENDL-3.2, -3.3
ANISN	MATXSLIB JSSTD VITAMIN	NJOY TRANSX	ENDF/B-IV,-V, -VI JENDL-2,-3.2, -3.3
DOT DORT TORT	ANISN 等で作成した入力データ	ANISN 等	
MORSE			
SCALE	SCALE	AMPX	
	SFCX		JENDL-3.2

注1) JENDL-3.2 を基にしたライブラリーに関しては山野 (JAERI-Conf 96-008, p.9-14 (1996).) によって与えられている。

注2) PHITS (総合粒子輸送計算コード)、ANISN (1次元Sn中性子輸送計算コード)、DOT (2次元Sn中性子輸送計算コード)、DORT (2次元Sn中性子輸送計算コード)、TORT (3次元Sn中性子輸送計算コード)、MORSE (群エネルギーモンテカルロ計算コード)、SCALE (汎用臨界安全計算コードシステム)、ORIGEN2 (点燃焼計算コード)

表 3 その他のコード

利用コード	ライブラリー	処理コード	評価済核データ
ORIGEN2	ORLIB Original LIB	SWAT (軽水炉)	JENDL-3.2, -3.3

今回の調査の試みは、はなはだ不十分であったが、コードとライブラリーの関連というのは「一対一対応」のように単純ではなく、あるコードで使用するライブラリーは、別のコードで作成しなければならない等、複雑に相互関連していることがわかった。こういったことは、核データの評価側では認識が不足する傾向があると思われるので、利用者側との相互理解を促進するためにも、何らかの形でまとめておく必要があると感じた。



#### 4. 今後のアクションプランに関する提案

今後のアクションプランを策定するためには、何を最終目標にするかの仮定が必要であるため、筆者は、「広いアプリケーションに対する炉物理コードと核データファイルの組み合わせの標準化を行うことによって、この組み合わせでの性能規定を行い、許認可等の場合に最新の組み合わせで計算できるが、そのための検証を各ユーザが個別に行う必要のない状態にする（民間基準作成）」を提案した。

上記を仮定して、次のアクションとして以下を提案する。

- (a) 各利用分野のユーザへの炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査
- (b) 核データ・炉物理研究における定量的な不確かさ評価（次の石川氏の報告）
- (c) 許認可の検証に耐える性能基準の検討

基礎データの確立（核データの品質保証の問題）、コード標準等の検討（コードに本来備わるべき条件の策定）、法規制の考え方（総体としての精度）、人材育成について（技術の継承）等の検討

- (d) 実現のための組織の検討

候補として、研究会等における現状の把握と課題の抽出、核データ研究会、炉物理夏の学校等、シグマ委員会または炉物理委員会、核データ部会または炉物理部会、研究専門委員会、メーリングリスト等が挙げられた。筆者としては、学会に少人数の研究専門委員会を設置し、広く意見を募りたい場合には、メーリングリストを活用することを提案したい。

#### 5. まとめと雑感

以上、「核データ・炉物理研究と社会の係わり」の中での議論のまとめを行った。議論のキーワードは、許認可体制、性能規定、型式申請、説明責任、品質保証、誤差評価、組織体制、アクションプランであった。アクションプランの提案のひとつの足がかりとして、「コードとライブラリーの組み合わせの調査の試み」に関して報告した。これにより、筆者の認識不足を痛感した。議論をまとめ次へつなげるために、次のアクションリスト作成へ向けての提案を行った。すなわち、1) 各利用分野の炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査、2) 核データ・炉物理研究における定量的な不確かさ評価、3) 許認可の検証に耐える性能基準の検討、4) 実現のための組織の検討、である。これに関する当日の議論の結果は、佐治氏の報告で紹介されているので、そちらを参照していただきたい。これらの次期アクションリストに基づき、将来的には、核データ及びその利用者間の相互理解が増し、「広いアプリケーションに対する炉物理コードと核データファイルの組み合わせの標準化を行うことによって、この組み合わせでの性能規定を行い、許認可等の場合に最新の組み合わせで計算できるが、そのための検証を各ユーザが個別に行う必要のない状態にする（民間基準作成）」が達成できることを祈念したい。

## 謝 辞

「炉物理コードとライブラリーの組み合わせの調査の試み」の調査を行うにあたって、お忙しい中、山野直樹氏、田原義壽氏、佐々木研二氏、安藤良平氏、石川眞氏、奥村啓介氏のご協力をいただきました。また、幹事として一緒に活動していただいた松本英樹氏、合同セッションでご発表いただいた皆様に感謝いたします。最後になりましたが、メーリングリストでご議論いただいた方々に深くお礼を申し上げます。