

## 合同企画セッション (核データ部会、炉物理部会)

### 「核データ・炉物理研究と社会の係わり」(最終報告)<sup>1</sup>

#### 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

原子力機構 深堀 智生

e-mail: 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」にての炉物理・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といった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はあったが、技術的な側面に立脚して、「社会とのかかわり」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。

<sup>1</sup> 本報告は、日本原子力研究開発機構 核データセンターが発行する「核データニュース No.83(2006 年 2 月)」にも、同文で掲載されている。

## 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る。

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える。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 1 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。自分の首を絞めて、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・オーソライズの仕組みは、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い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）を作成し、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組み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、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) 最近では、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」と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しての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。以下に、今回の調査

結果を列記する。

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	評価済み核データ
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 TWO DANT 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 (一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)、TWO DANT (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)

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	評価済み核データ
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)

その他のコード

利用コード	ライブラリ	処理コード	評価済み核データ
	—		
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。

合同企画セッション(核データ部会、炉物理部会)

「核データ・炉物理研究と社会の係わり」(最終報告)

2. 核データ・炉物理における定量的な不確かさ評価の提案

原子力機構 石川 眞

(ishikawa.makoto@jaea.go.jp)

1. 提案の背景

2003 年秋の企画セッション以降約 2 年間、メーリングリストを通して、様々な切り口で行ってきた「社会との係わり」の議論を踏まえ、今回、次期アクション項目として、「核データ・炉物理における定量的な不確かさ評価」を提案させていただくこととした。「社会の係わり」と、不確かさの定量評価の間に何の関連があるのかと不審に思う方もおられるかも知れないので、その背景を述べる。

まず、最近の原子力を取り巻く情勢への、私なりの素朴な認識は、以下のようである。1995 年に、「もんじゅ」Na 漏洩事故が起こったが、この波及は技術的問題よりはむしろ、動燃という組織に対する道義的糾弾へと向かった。関係者の懸命な努力でこれが収まりかけていた 1997 年に、東海再処理工場のアスファルト固化施設爆発事故が起こり、動燃は改組してサイクル機構として再出発をしなければならないこととなった。さらに、1999 年には実際に産業界で起こるとは誰も思っていなかった JCO 臨界事故が起こり、原子力そのものに対する世論の恐怖感が増幅することとなった。また 2002 年には、実害はなかったのだが、東電トラブル隠し問題が発生し、日本の産業界と国の規制体制への不信感が起こった。さらに 2004 年には、原子力そのものとは関連が薄いものの、美浜タービン蒸気噴出事故が起こり、多数の犠牲者を出したことに社会からの非難が集中した。

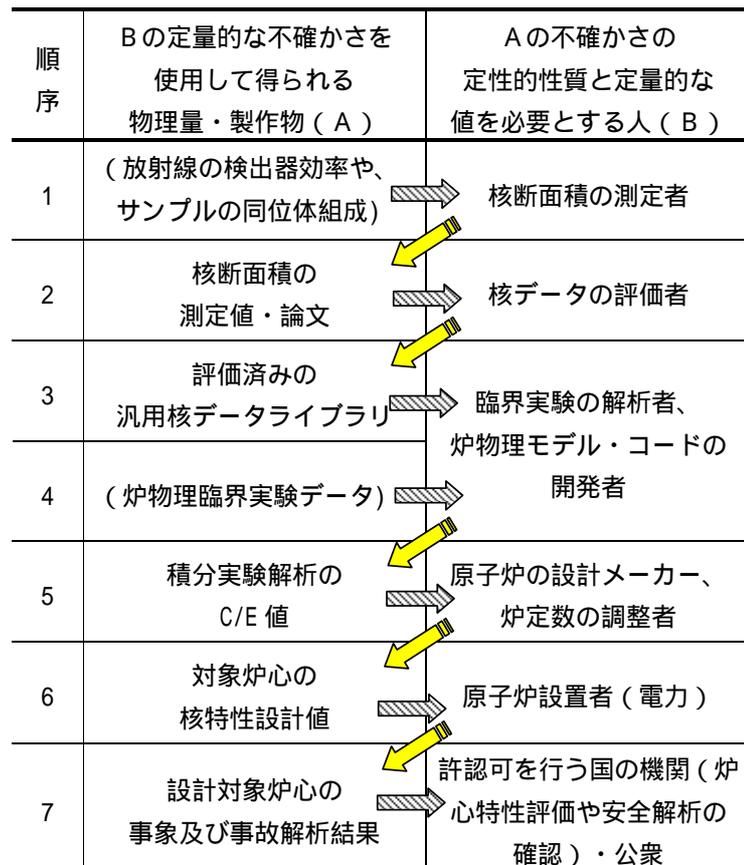
これらの出来事が露呈してきた根本的な問題は、原子力の本質的な技術的欠陥ではなくむしろ、社会からの、原子力への漠然たる不安感、原子力専門家たちへの不信感ではないかと感じている。それでは、上記の種々の事件の発生に対して、技術的にはあまり関連のなかった核データ・炉物理研究に従事するものは、いっさい無関係であるとしてよいのであろうか？ 私にはそうは思えない。社会の原子力への不信感の原因のひとつは、その「不透明性」にあるのは明らかだと思えるので、少なくとも、広義でとらえた社会への「技術に関する説明責任」は、核データ・炉物理の分野でも果たすべきであろう。また時代の流れは、ある技術やプロジェクトのもたらすリスク及びベネフィットや、その評価に伴う不確かさを定量的に提示した上で、社会に受け入れられるかどうかの判断を受ける、すなわち「説明責任」を要求するのが当然になってきている。この説明責任を果たす手段のひとつとして、今回提案したのが、「不確かさの定量的評価」である。

2. 核データ・炉物理研究における不確かさ評価の現状と課題

まず、「不確かさの定量評価」は、誰が行い、また誰にとって必要であるのかという点を考える。図 1 は、核データ・炉物理分野の成果（物理量・製作物）がどのような流れを通過して、最終的に原子炉の許認可までつながるかの整理を試みたものである。例えば、順序 3 の、汎用核データライブラリ（JENDL）に関わる不確かさ評価の関連を見てみる。JENDL を作成する人は、核データの評価者（シグマ委員会、核データセンター）である。もし核断面積の測定値から、一般化最小二乗法を用いてある核データを評価するとしたら、核データの評価者は、核断面積の測定値そのものだけではなく、その定量的不確かさ（標準偏差、データ間の相関係数）を入手することが絶対に必要である。一方、JENDL を使用するのは、例えば臨界実験の解析者であるが、この人は、JENDL に格納された評価済み核データの不確かさ（いわゆる共分散）を入手しなければ、解析で得られた C/E（計算/実験）値の 1.0 からのずれが、核データに由来するものなのか、それとも自分が使った炉物理モデルがまずいのか、または実験データそのものに誤差があるせいなのかを判断し、改善を図ることができない。

図 1 核データ・炉物理分野における定量的不確かさの流れ

このように、不確かさを評価する人と使いたい人が異なる、つまり、ある物理量・製作物を作る人自身(A)ではなく、それを使って次の段階の物理量・製作物を作りたい人(B)が、Aの定量的な不確かさを必要としていることが、問題を複雑にしている。例えば、核データの測定をする人にとって、その測定値の不確かさを定量的に評価することは、非常に難しい仕事であることは推測できる。放射線計測の統計誤差だけなら問題はないが、その測定体系に系統的に影響しているバックグラウンドや、計測器の校正誤差、測定サンプルの組成測定に基づく誤差などは、核データ測定者の検定できる範囲を超えている部分も多く、説得力をもって定量的に評価しそれを論文に盛り込むことは、一般に自分の研究論文の主題ではないためにどうし



( ) は、不確かさ授受の流れに必ずしも乗っていないことを示す。

でも熱心になれない、または労多く報われずして遠ざける場合もあったのではないかとと思われる。この事情は、核データの測定だけではなく、以降の汎用ライブラリの評価、積分実験解析、設計解析、事故解析などの局面でも共通であると思う。

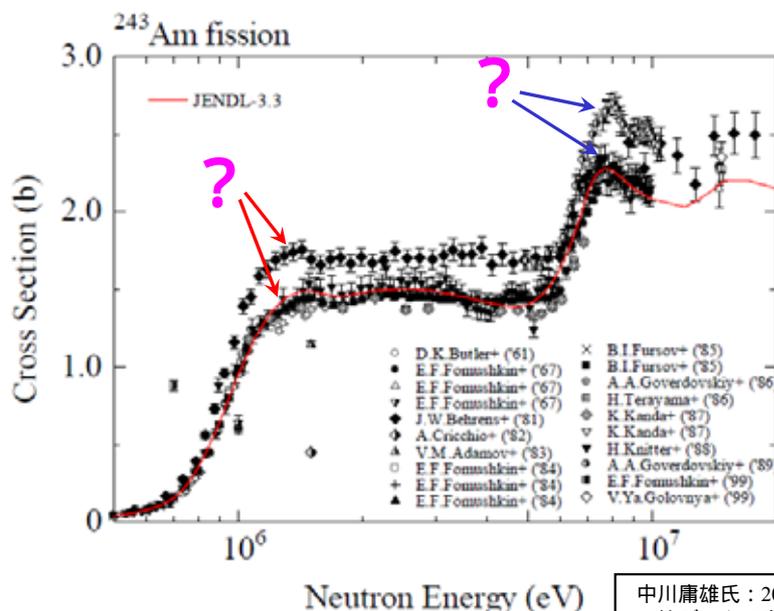
次に、核データ・炉物理の分野で、今後、不確かさの定量評価の研究を進めるべきではないかという例をいくつか挙げる。

例 1：測定値が豊富にある核データの場合

図 2 は、Am-243 の核分裂断面積の測定値と、それを基にした JENDL-3.3 の評価結果である。この図を見ると、素人には素朴な疑問がわく。1MeV 以上、また、10MeV 以上の測定値は、明らかに、異なる測定者によって、系統的に大きくずれたデータが存在する。

しかし、彼らの示す測定誤差は、その系統的な差に比べて非常に小さい。一般に、核データの測定値は、それを全て一緒に最小二乗処理すると、その 2 乗値と自由度の比は、1 を大幅に越えて、5 や 10 といった値になることも珍しくないらしい。これは明らかに、測定者のいずれか、または両者が、誤差評価において自分が計測できない系統誤差を無視した結果なのではないかと思われる。

図 2 Am-243核分裂断面積の測定値とJENDL評価結果



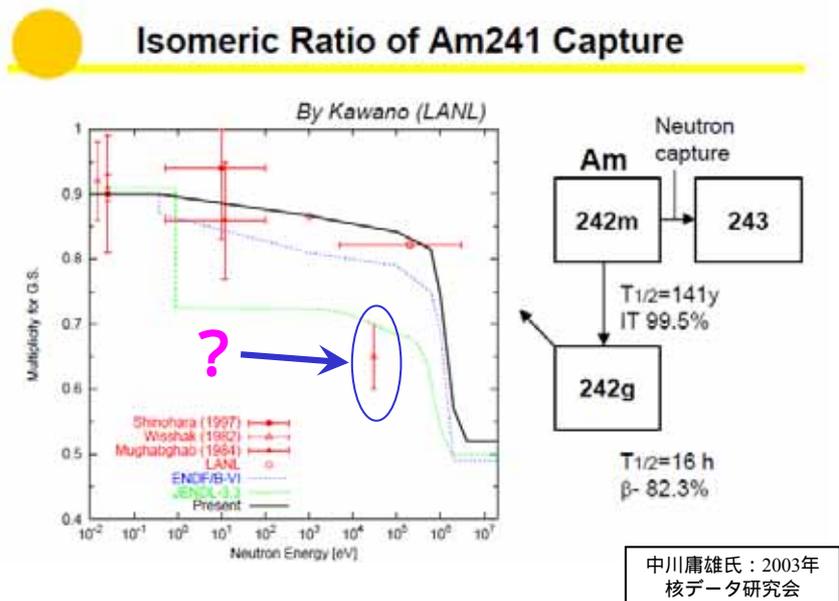
中川庸雄氏：2003年  
核データ研究会

例 2：測定値がわずかにしかない核データの場合

図 3 は、最近 MA 核変換の分野でその影響が大きいことから話題となった Am-241 捕獲反応の isomer 分岐比の測定値と JENDL 他のライブラリ評価結果の比較である。この核データは、熱中性子エネルギー領域では、測定値がある程度存在しその結果も約 0.9 と安定していたので問題はなかったが、高速エネルギー領域では、公表された測定値が数 10keV のところに一点だけであったので、JENDL-3.3 の評価ではその誤差(たぶん 1)の上限を通して、約 0.7 とした。ところが、従来から我が国で用いられていた値は ENDF の約 0.8 であり、最近報告された複数の高速エネルギーでの MA 照射後試験結果は、それ以上の 0.85 程度ではないかということを示唆したために、かなり問題となった。ところが、2 年ほど前に、米国の LANL が過去の積分測定値を基に再評価し、図 3 にあるように MA 照射後試験結果を支持するデータを提示したので、現在では、JENDL-3.3 のデータはあ

まり使われなくなっている。このように、わずかにしかない測定データをどのように使うかは、核データにかぎらず、技術的に非常に非常に難しい問題であると想像される。とくに、この Am-241 捕獲反応の isomer 分岐比の件に関しては、測定の定量的な不確かさ評価と、それを使用する核データ評価者の判断は、技術的にクリティカルなものであったのではないかとと思われる。

図 3 Am-241捕獲反応の isomer 分岐比とJENDL評価結果



中川庸雄氏：2003年核データ研究会

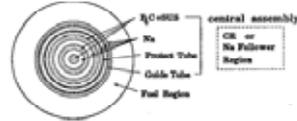
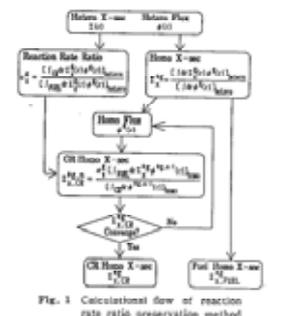
例 3：炉物理解析モデルと炉心設計精度の場合

原子炉、とくに高速炉の設計にとって、設計計算で評価された制御棒価値と、炉心を制御するのに必要な最大反応度との収支は、炉心の反応度的成立性を保証するものとして安全評価上非常に重要である。

高速炉実機の制御棒は、SUS製の案内管の中に、B<sub>4</sub>Cピンがクラスタ状に設置され、その周辺をNaが冷却するという複雑な構造をとっているために、非均質効果を含んだ制御棒価値の評価はかなり難しくなる。図 4 の左側に最新の高速炉実機制御棒価値の解析モデルを示すが、繰り返

図 4 高速炉における制御棒価値の設計精度評価

制御棒価値の計算法



T. Kitada, et al. : JNST 31 [7], p649 (July 1994)

制御棒価値の設計例

項目	主炉停止系 (%Δk/k)	後備系 (%Δk/k)
全数挿入時		
●3次元拡散計算値	9.29	3.14
●ノミナル設計値 <sup>*1</sup>	7.85	2.65
●最小値 <sup>*2</sup>	7.07	2.39
ワンロッドスタック時		
●3次元拡散計算値	7.82	2.68
●ノミナル設計値 <sup>*1</sup>	6.61	2.26
●最小値 <sup>*2</sup>	5.95	2.03
必要反応度最大値	5.53	1.64
炉停止余裕	0.42 <sup>*3</sup>	0.75 <sup>*4</sup>

\*1 基準計算値 × JUPITER 実験解析に基づく各種補正 (約 0.845)  
 \*2 ノミナル計算値 × 設計予測誤差 (±10%、2σレベル抽出)  
 \*3 主炉停止系はワンロッドスタックに対する値である。  
 \*4 後備停止系は全挿入に対する値である。

動燃：60万kW級FBR設計研究(1992年)

し計算により周辺の中性子束の歪みを保存するように制御棒の実効断面積を補正する流れとなっている。このように、複雑な炉物理モデルを用いたときに、その解析方法による不確かさを定量的に評価するのは、極めて難しい。しかし、図 4 の右側に示すように、制御

棒価値は反応度に関する安全確保の最も重要なものであるために、設計では、ワンロッドスタック条件とともに解析上の不確かさを保守側に取り入れて、必要最大反応度との収支を評価することになっている。このために、この制御棒解析モデルに起因する不確かさを定量的に評価することは、炉物理解析側には必須の要求であるが、未だ確定した方法論は作られていない。(連続エネルギーモンテカルロ計算を参照解とすればよいという意見もあるが、ある程度以下の反応度や局所反応率分布には、まだ適用上の問題が多いと思う。)

### 3. 核データ・炉物理両部会の次期アクションに対する提案

以上のような現状認識のもとに、両部会の次期アクションとして、「核データ・炉物理における不確かさの定量評価」を提案する。検討する内容は、3 ステップに分かれる。まず最初に、図 1 の中で核データ・炉物理がカバーすべき順序 2~5 に対応する以下の項目に対して不確かさ評価の現状調査を行う。

- 1) 核断面積の測定値、2) JENDL-3.3 ライブラリ、3) 炉物理臨界実験の測定値、
- 4) 積分実験解析の C/E 値、5) 炉心の核特性設計値

引き続いて、図 1 に例示したように、その不確かさがどのような形で誰に使われているか、どのようなニーズがあるのかなどについて整理を行い、核物理量毎に、「不確かさの定量評価」の観点からどのような課題があるのか(または現状で充分なのか)を抽出する。最後に、これらの課題を解決するための次のアクションリストを作成して、次期アクションとしては、いったん区切りをつける。

検討の具体的な方法として、2005 年秋の大会企画セッションでは、会議費用が不要でありかつ自分の都合のよい時間に参加できることから、従来のインターネットのメーリングリスト (ML) 上での議論を提案したが、合意結論として、議論を収束させるためには、学会の調査専門委員会など、何らかの実体を伴う会議体が必要であるとなったので、これは撤回する。しかし、両部会の ML に議論の進捗を適宜報告し、広く意見を集めるなどの補助的な手段は、有効であるかもしれない。

活動の予定としては、これまでも行ってきたように、期限を明確に区切り、メリハリのある活動を行いたい。具体的には、2006 年秋の大会で中間報告、2007 年秋の大会で最終報告(計 2 年間の活動)を提案する。このためには、この期間で実行できる量と質の活動内容を、まず計画立案段階で絞り込む必要がある。

(以上)

合同企画セッション (核データ部会、炉物理部会)

「核データ・炉物理研究と社会の係わり」(最終報告)

3. 総合討論の概要と全体のまとめ

(株)テプコシステムズ 佐治悦郎

(saji-etsurou@tepsys.co.jp)

1. はじめに

—昨年(2003年)の学会秋の大会以来、一年毎に開催されてきた核データ部会・炉物理部会の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」は3回目の今回でいったん終了し、成果をとりまとめ今後の行動計画へとつなげることとなった。本稿では、当日の討論の概要を紹介し、あわせて本活動のまとめを行った。

2. 総合討論の概要

深堀、石川両氏のまとめ及び提案を受けて討論が行われたが、その内容は大きくいくつかの視点に分けることができる。その各々について、深堀氏が作成されメーリングリストに流されたメモに基づき、座長として当日の司会進行役を務めた筆者の記憶を交えて、簡単な補足説明とともに紹介する。

今までの成果は何か？

こういう問いかけはあったが、特段の議論にはならなかった。今までの議論そのもの(深堀氏のまとめ参照)そしてそれを受けての深堀、石川両氏の今回の提案こそが成果というのが大方の共通認識ではないかと思われる。

今後、何をやるのか？それは何の役に立つのか？

両氏の提案に対し、「それは学生の夢につながるようなものか？」「次のステップにどうようにつながっていけるのか？」といった懸念が示されたが、それに対しては(今後の活動として)「核特性の不確かさを定量的に評価できれば、核データ・炉物理研究のどこに研究課題があるか、ユーザのニーズがあるかが明確になり、研究者の意欲をかき立てることができる」といった意見が出された。また、「軽水炉において今回の提案のようなニーズはあるのか？」「このような活動に取り組むインセンティブはあるのか？」といった疑問も出されたが、そもそも今回の提案が切実なニーズに裏打ちされたものというより、社会との係わりという観点から「取り組むべきテーマ」として出てきた経緯があるので、明確な回答となるような意見は出されなかったものの、だから無意味だといった否定的な雰囲気にはならなかったように思える。以上のように、結果として提案内容については概ね肯定的な形で合意形成ができたと考えてよいであろう。

誰がどのようにやるのか？

切実なニーズが見えにくいことから「利潤を追求するのが目的の民間会社でやるのは難しい」、「公的機関である新法人（原子力機構）が取り組むべきテーマ」といった意見が出された。しかし、社会との係わりを標榜する限り、実用発電用原子炉を設計、運転する産業界が無関係でいることは非現実的であろう。今後の課題である。

具体的な取組み方としては、適切なメンバーで構成される学会の研究専門委員会のような形式を利用するのが良いのではとの意見が出され、概ね合意された。但し、実効的な成果をあげるには、その運営委員会のようなものが必要であること、さらにはその準備のための幹事会のようなものも必要であろうということも合意され、幹事会については後述する人選がその場で行われた。

今までの活動で主に使われたメーリングリストについては、（責任の所在を明確にし、成果の実効をあげるという意味で）今後のツールとしては適切でないとの意見が大勢を占めたが、一方では核データ部会員や炉物理部会員に活動を広く周知し、意見を集めるためのツールとしては有効であるとの意見もあり、結局、その位置付けを変えて運用することで合意された。

その他

以上、述べてきた意見の他、以下のような意見や指摘があった。今後の活動において参考にすべきと思われる。

- ・活動のロードマップを作成することが望ましい。
- ・軽水炉と高速炉に分けて考えたほうが良い。
- ・関西原子力懇談会で進められている類似の取組みと重複しないよう調査・調整が必要。

### 3. 今後の取組み

以上の議論の結果、今後の取組みとして以下のことが暫定的に合意された。

1) 今回の提案内容を考慮し、当面、2 年間程度の期間でできることとして以下を考える。

- ・各利用分野のユーザへの炉物理コードと核データライブラリの組み合わせの調査
- ・石川氏提案の不確かさ評価の現状調査

2) 前述の幹事会には、核データ部会から深堀氏、炉物理部会から石川氏が選任され、今後、運営委員会の人選を進めていく。指名された方々は積極的な協力をお願いしたい。

これらの暫定合意事項は、核データ、炉物理の各部会において正式な決定事項とすべく然るべき意思決定プロセスにかけることが当日の会合に出席されていた各部会長（核データ部会：東北大学・馬場先生、炉物理部会：名古屋大学・山根先生）により了承された<sup>2</sup>。今後、より具体的な活動内容、計画は深堀氏、石川氏を中心に組織される運営委員会において策定されることとなる。

---

<sup>2</sup>炉物理部会では、直後に行われた総会において、上記の合意事項が正式に承認された。

#### 4. 全体のまとめ

その任に相応しいかどうかはさておき、本合同企画セッションの準備段階から関わり、1 回目りと 3 回目の座長を仰せつかり、また 2 回目で意見を述べる機会をいただいた<sup>2)</sup>者として、簡単ではあるが本活動のまとめを行ってみたい。

「社会との係わり」には、大きく分けて二つの側面がある。ひとつは、役に立つ技術によって社会に恩恵をもたらすこと、もうひとつは、技術を社会のために役立てるに当たって、その技術を適切にコントロールし、社会に害をもたらさないようにすることである。第 1 回目のセッションでは、この両方にまたがる広範な提案がなされたが、その後のメーリングリストを用いた議論では後者の意味合いに軸足をおいたものとなり、結果として、今回の提案もそれを色濃く反映したものとなった。このこと自体は今日の原子力を取り巻く状況を鑑みるに妥当な結果といえるが、メーリングリストでの議論において、発言者にあまり広がりが見られなかったのも事実である。したがって、今回の提案が広く両部会員の意見を吸い上げた結果に基づくものであるとは言い難い。

しかし、ここで注目すべきは、そもそも不要であるという主張が出てこなかったことである。積極的な賛成ではなくとも、漠然とやったほうがいいとは思っているか、または正面切って要らないと言えるほどの明確な根拠はないといったところが大方の意見であろうか。少なくとも両部会の指導的な立場におられる方々が今回の活動に全く無関心であったとは考えられないので、そうしたレベルからの反対意見が出なかったということは、たとえ積極的な意見表明がなかったとしても、両部会の総意としての緩やかな合意形成ができたと考えてよいのではないだろうか。

さて、問題はやり方である。当日の議論にもあったように、産業界に切実なニーズがないと認識されている現状で、実際の活動がうまく進むかの懸念はいつまでもついて回る。したがって、まずは新法人のリーダーシップと貢献に期待がかかるころではある。しかし、実用発電用原子炉の関係者がまったく関わらないというのでは意味のある成果が得られない危惧があるし、非現実的である。さらには、「社会との係わり」に立脚した活動であるから、「企業の社会的責任 (CSR)」という観点でも無関係ではいられないであろう。産業界の適切な協力が望まれる。

ともかく、両部会の活動としてオーソライズされる (された) ことの意味は重い。詳細なアクションプランは今後委ねられたが、器としての研究専門委員会の立ち上げは基本的に合意された。両部会の指導的な立場におられる方々をはじめ、関係者の責任ある取組みが期待される。

#### 5. おわりに

私事で恐縮だが、本企画が始まったころ、筆者は原子力安全委員会事務局に所属し、日々、

社会との係わりを否応なく強く意識しながら仕事に携わっていた。そんな環境にどっぷり浸かっていたものだから、自分の専門分野である「炉物理」と「社会との係わり」には、敏感に反応してメーリングリスト上で問題提起を行ったのだが、議論の広がりは見られず軽い無力感に襲われた<sup>2)</sup>。しかし今にして思えば、核データ・炉物理研究の関係者にとっては当時の筆者のような環境のほうがまれであり、メーリングリスト上の反応も当然といえば当然であった。また、問題意識を共有できても、ことが国の許認可を取得する際の規制行政庁への説明内容に関わることから、発言を躊躇したという意見もあったように聞く。ともかく、核データ・炉物理コミュニティにとって取り組みにくいテーマであったことは間違いなさそうである。

しかしながら原子力学会全体の動きを見れば、社会・環境部会が設立され、また春の年会、秋の大会で毎回必ず、社会との係わりをテーマとした講演や企画セッションが組まれている。今までそういうものから距離を置いていた方々も、これを良い機会と捉え、手始めに今後の活動に首を突っ込んでみられてはいかがだろうか。

#### 参考文献

- 1) 日本原子力学会・炉物理部会会報「炉物理の研究」第 56 号 (または、「核データニュース」No.77)
- 2) 同 第 57 号 (または、同 No.80)