

遮蔽計算コード入力支援システムの開発と評価

海上安全研究領域 東海原子力研究グループ *平尾好弘
三菱重工(株) 森島誠

1. はじめに

東海原子力研究グループにおいては、核燃料施設および放射性物質の輸送船、輸送物等原子力関連施設の放射線遮蔽性能を調査し、その安全性、信頼性の向上をはかるための解析技術、標準データ等の確立に寄与しており、またソフトウェア開発、ベンチマーク実験等を通じて内外を問わず、産官学全体へ多大な貢献の実績を有している。平成13年度から、原子力安全委員会原子力施設等安全研究専門部会核燃料施設検討会からの要請をもとに、原子力試験研究費による特定研究「遮蔽計算コードシステムの高度化に関する研究」を実施し、放射線遮蔽計算、特に S_N 計算(決定論的解析手法)コードのシステム化、高度化を目的とした受託研究を遂行している。

本特定研究のニーズと目的であるが、原子力関連施設の設置の際、放射線遮蔽性能を調べるため必ず遮蔽解析が実施され、その結果は国の安全審査における重要な審査項目となっている。この遮蔽解析計算は通常、解析対象の複雑さに応じて次元から三次元までの幾何モデル(体系)を作成し、それぞれに対して一連の S_N 計算コード群を適用することで実施される。ただし、 S_N 計算の入力データには解析対象に応じて体系だけでなく各種計算パラメータ、線源情報、核定数ライブラリの作成と参照等も含まれるため、データ量が膨大になり扱いが容易でなく、各データの作成も非常な労力と時間を要することが問題点として指摘されている。この状況を改善するために、入力データの管理、各データの作成および入力作業を簡便に行えるような S_N 計算コードを中心とする計算環境全体の整備を行い、統合的な遮蔽計算コードシステムの構築を最終的な目的とした。昨今の計算機能力の向上ならびにインターネットの普及に伴い、手許で解析作業が可能な入力から出力まで一貫したエンドユーザ支援、放射線遮蔽の専

門知識を補うガイド機能、データ共有による共同作業支援なども視野に入っている。順次、当システムの要素となる周辺システムの開発と公開を通じて、それらが正しく機能し、諸々の解析対象に対して信頼性ある結果が得られることを実際の解析現場や審査事例を通じて評価を行う。結果的に遮蔽計算のトータルなコスト低減、遮蔽計算手続きの標準化そして安全審査の信頼性向上などに資するものと考えられる。本特定研究の小テーマとしては、4つの周辺要素システムの開発と評価、そしてそれらを統合したシステムの構築等があげられる。本報告では、前年度より実施されている、要素システムの一つである「二次元遮蔽計算コード入力支援システム」の開発と評価に関する研究について発表する⁽¹⁾。

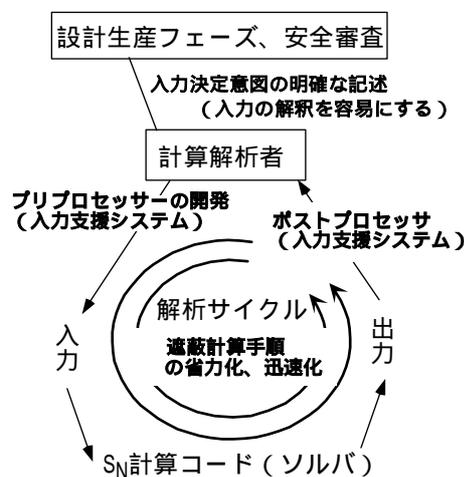


図1 工学解析のモジュール構成と活動概要

2. 遮蔽計算コード入力支援システムのニーズと目的

工学解析向けのエンジニアリングアプリケーションはいずれもユーザを中心として図1に示すようなモジュール構造をもっており、図中の解析サイクルをユーザがある意図をもって目指す最適な

設計解を探索するための活動全体が工学解析と考えられる。放射線遮蔽計算もまた工学解析であるが過去においてソルバ開発に重点がおかれたため、ソルバ自体は完成したもののその他のモジュール、すなわちプリポストプロセッサの開発が遅れている。遮蔽計算で多用される二つの手法、すなわち S_N 計算およびモンテカルロ計算ともに事情は似通っており、入出力支援のためのツールとして一般に品質が高いものとして認められたものはあまりない。ユーザが各自で用意する場合もあるが、いまだテキストベースの手作業に依存している状態である。だんだんと複雑かつ高度化していく原子力施設的设计においては、解析コストと信頼性の観点から、欠落モジュールの計算機による支援と補完が不可欠である。また、当システムの開発は安全審査を含めた解析結果の品質保証(Quality Assurance)を求める要望とも呼応しており、複数のユーザが同じ対象を計算しても出力に僅差があるのは入力情報に違いがあるためであるが、その違いが入力ミスなのか、ユーザの意図によるものなのか、それとも無視できるものなのかを明確にする必要がある。誰もが信頼して利用できる高品質の入出力支援システムを提供できれば、この状況の改善にも資すると考えられる。そこで我々は最新の計算機プラットフォーム上で、すばやく手許で視覚的に入力情報を準備することが十分に可能であるとの認識に基づき、PCの特性をいかした二次元 S_N 計算コードDORT⁽²⁾用の汎用入力支援システムの開発と評価を試みた。システム設計において、ユーザの入力作成手順を考察した上で要素モジュールを配置し、外部アプリケーションを必要としない S_N コード専用の構成に特化した。また、入力データ以外の計算情報の管理、すなわちユーザの入力作成意図や計算時に作成される入出力データファイルの管理等、非数値情報に対するユーザ支援をも視野に入っている。

3. 二次元 S_N 計算コード入力支援システムの概要

図2に入力支援システムの概要を示す。ユーザの手許にあるパソコンクライアントにおいて組み込まれた入力支援システムで入力を作成し、それを大容量データサーバにインストールされた計算コードにネットワーク経由で送信して自動的に遮蔽計算を実行して結果を

受け取るシステムである。入力作成においてはパッケージ化された三つのモジュールを各作成フェーズにおいて操作する。

- (a) 二次元体系作成モジュール
- (b) 入力データ作成モジュール
- (c) 入力ファイル管理モジュール

まず、体系作成モジュールでは直感的でグラフィカルな二次元作図機能を備え、評価対象断面図をCAD感覚で入力して保存することができ、自動メッシュ作成機能を装備する。次に体系以外のパラメータの作成には入力データ作成モジュールを用い、先の体系データをあわせて入力ファイルを作成する。数値の入力ミスを防ぐための工夫が施されており、数値の妥当性、入力項目どうしの整合性の検証などが行われる。また、数値情報だけでなく、解析者のパラメータ決定の意図や更新理由、解析方針等の非数値情報をメモとして管理できる仕組みがある。最後に、解析中に作成される種々のファイルを一括して閲覧、管理するための入力ファイル管理モジュールがある。入力、中間および結果ファイルの編集や更新の履歴が用意にわかるので、設計や解析の手順にそってそれらをレビューすることが可能になり、先の非数値情報とともに解析者以外の人々がこれらを参照する場合の便宜がはかれる。なお、核定数ライブラリ作成プログラムは独立した課題として遂行された⁽³⁾。

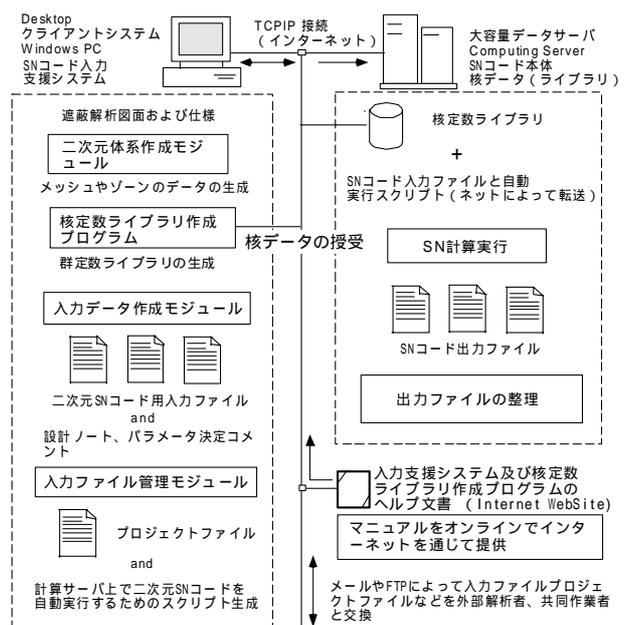


図2 2次元 S_N コード入力支援システムの概要

PC上で作成された入力ファイルは、データサーバの情報を参照することで自動的に送信、実行することが可能である。また、ファイルや非数値情報等は一括してメールで授受することができる。システムのマニュアル群はインターネット上の専用サーバに格納されており、場所や時間を問わず常に最新の文書を閲覧できるようになっている。

4．要素モジュールの詳細

4 - 1．二次元体系作成モジュール

簡易汎用CADとほぼ同等の作図機能を備えており、体系の二次元断面図をそのまま直接マウスで描くことができる。体系モードはX-Y,R-Zであり、R-には対応していない。作図に際し、閉じたゾーン(領域)を一つずつ描く制約がある。描いた後、各ゾーンの属性、すなわちそのゾーンのナンバリングや材料に応じたメッシュ最低間隔を指定する。自動メッシュ機能を備えており、メッシュを切る範囲を指定すると、自動的にその範囲のメッシュ情報を作成する。メッシュ情報は入力データのなかの該当する項目の形式に変換されてから、入力データ作成モジュールへと転送され、他の入力項目の記入を待つ形になる。

4 - 2．入力データ作成モジュール

入力データを項目ごとに構造化して視覚的に示し、それに沿ってユーザに入力データの記入を促すモジュールである。スプレッドシート形式を採用しているため、情報の抽出や他アプリケーションへのエクスポートも容易である。入力項目は数値情報とその数値の塊に対する非数値(テキスト)情報がある。前者に対して入力エラーや入力欠落を回避するための様々な仕組みと整合性を調べるためのインスペクション機能がある。後者は数値情報またはオプションの決定意図や、修正を繰り返す解析サイクルでの変更履歴などをユーザ自身がテキストで残した一種のメモである。非数値情報を管理することによって、共同作業や安全審査の場における情報伝達あるいは過去の解析ケースの将来における再利用を容易にする。入力データはファイルとして保存され、そのままDORT計算の入力となる。

4 - 3．入力ファイル管理モジュール

入力データ作成モジュールで作成された入力ファイルとそれによる計算の出力ファイル情報を管理する一種のファイルマネージャである。解析サイクルにおいては、いくども入力を修正することが考えられるため、大量の入出力ファイルを時系列に整理する目的から、ファイル概要と変更履歴などの関連情報を登録、管理するシステムである。入力ファイルを登録して、出力ファイル名を指定すれば、登録された計算サーバへ直接ファイルを送って計算を行う、自動計算実行機能も備える。

管理情報は、入力ファイルとともに全体をメール形式で授受することができる。したがって、一旦管理情報を作成すれば、その手順どおりに誰もが解析を追跡することが可能になり、レビューも容易である。

5．システム評価

本システムを用いて、図3に示す使用済核燃料の円柱型輸送容器を解析対象とした場合のシステム評価を行った。二人のDORT解析に通じた評価者を選んで、本システムを用いた場合と従来の方法によった場合の入力作成作業を評価した。図に示す結果は二人の平均値である。客観的な指標として、図4に入力の新規作成にかかった入力イベントごとの時間経過を、図5に部分的な体系変更による入力更新にかかった時間経過をそれぞれ示す。前者ではシステムを用いた場合の時間短縮が入力のどのイベントにおいても明らかにみられ、総時間では半分以下になる。特に入力ミスが入力作成時に判別可能であるため、ミスのたびに評価計算をやり直す必要がないこと、またミスの発見と編集自体にかかる時間も短縮され効率的であることが指摘された。後者は、体系のあるゾーン(領域)のメッシュ幅の変更もしくはあるゾーン形状の変更を条件として評価された。いずれにおいても大幅な時間短縮がみられる。体系作成モジュールにおいて、数値を直接編集することなく条件を視覚的に編集して自動的にメッシュ情報が出力される効果である。手作業の馴れの度合いを確認するために、二回連続して行ったがそれほど変化はみられない。本システムを用いた場合はいずれも短時

間で安定した結果であり、従って本システムで採用した入力作成の方法論は最適に近いと考えられる。

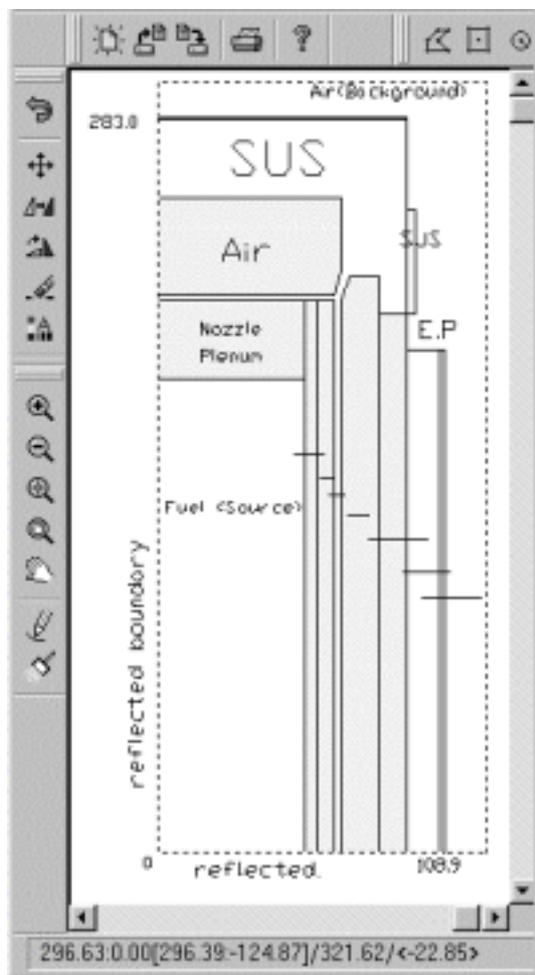


図3 評価対象の輸送容器縦断面図（左部と下部は折り返しの反射設定。入力体系作成モジュールの画面）

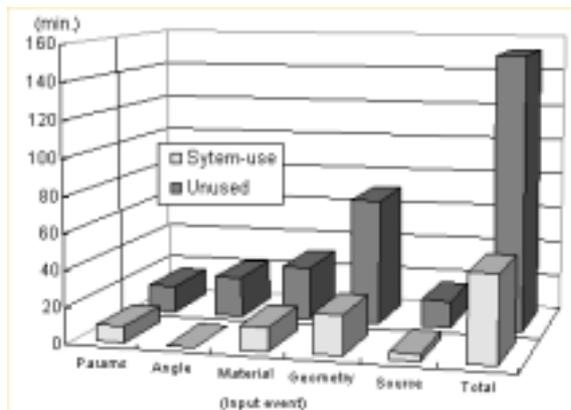


図4 新規入力作成時の経過時間評価

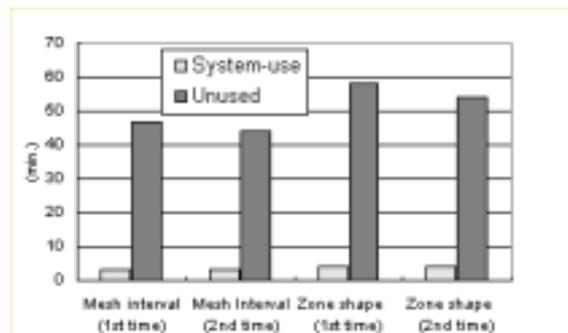


図5 入力更新時の経過時間評価

6. おわりに

遮蔽計算コード入力支援システムのニーズと目的を明確にして、二次元 S_N 計算コードDORT用の入力支援システムを行った。システム概要を示し、要素モジュールの特徴と作業流れを説明した。システム評価として、典型的な輸送容器を対象とした計算入力作成作業を二名のユーザに実施してもらい、比較評価した結果を示した。新規作成、入力更新のいずれにおいても作業時間と労力のコスト削減が明確に示され、機能性および使い勝手においても好評を得た。現在、三次元 S_N コードTORT⁽¹⁾用の入力支援システムの開発が鋭意行われており、システム構成は同等である。今後は、共同研究による解析現場を交えたシステム評価と解析事例ごとの適用性評価を行い、両システムの機能のブラッシュアップと使い勝手の向上に努める予定である。

謝辞

本研究は、原子力委員会の評価に基づき、文部科学省原子力試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- (1) Y. HIRAO and M. MORISHIMA, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 39, 284 (2002).
- (2) TORT-DORT Two and Three-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code, RSIC CCC-543, Oak Ridge National Laboratory, (1994).
- (3) 平尾、核定数ライブラリ作成とネットを用いたライブラリ管理、第2回海上技術安全研究所研究発表会講演集, 253p (2002)