

三次元放射線遮蔽計算入力支援システムの開発

海上安全研究領域 *平尾 好弘、小田野 直光
日立エンジニアリング（株） 阿彦 幸治

1. はじめに

原子力安全技術研究グループにおいては、主に放射性物質の輸送船、輸送物に対する原子力関連施設の放射線遮蔽性能を調査し、安全審査を遂行するとともに、その安全性と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いる。平成13年度より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（決定論的手法による）コードに対する解析コスト削減を目的としたソフトウェア開発と評価を遂行している。

本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申請側による遮蔽解析が実施され、その結果は安全審査における重要な審査項目となっている。昨今の計算機能力の向上から、多大な計算資源を要するためにこれまで研究レベルでしか用いられなかった多次元 S_N あるいはモンテカルロコードを利用した解析が審査において現れるようになった。それらは、より精確な解析結果が期待できる反面、計算入力の作成にかかるコストが膨大で、解析に非常な労力と時間を要する。また、審査に際して数値だけで判断することの危うさから、解析者の解析意図やポイントなど入力レベルでの精査を行う必要がある。計算コードはおよそ数値計算だけを担っており、入力作成を支援し、解析サイクル⁽¹⁾をスムーズにする周辺ツールは付属しない。よって本研究では三次元 S_N コードTORTに対する、解析者中心の入力データの作成、管理、共有そして再利用を可能にする統合的な入力支援システムの開発を行い、解析コストの大幅な削減と安全審

査の信頼性の向上を図ることとした。本システムの構成と機能について説明し、システム評価のために実施している三次元解析を例とした性能評価について報告する。

2. システム構成

S_N コードの入力内容は多岐にわたっているが、主に計算パラメータ、体系メッシュ情報、線源情報そして材料情報の4つの項目に分けられる。このうち、線源情報は体系中の材料や部位ごとに割り当てられるため、体系作成支援の範疇で括ることができる。材料情報は外部核データ（群定数）という形で与えられ、計算では体系で用いられる材料ごとに割り振るだけである。したがって、最も労力を要すると考えられる体系メッシュ作成支援を独立したモジュールとして、そこでメッシュ、線源、材料情報を作成し、別途動作する入力スク립ト全体の作成支援モジュールに適切にインポートする二モジュール形式が望ましい。また、解析サイクルにおいては、求める最適解を得るために入力の修正を繰り返すため、相当数の入力ファイルを管理する必要がある。またその都度出力を整理し、それらをポストプロセッシングすることも求められる。したがって、こうした作業で発生するファイルと処理手続きに関する情報を統合的に管理する解析情報管理モジュールが、解析者の作業効率を高め、情報の共有と再利用に欠かせない。

上述の三つの要素モジュールによって構成されるシステムの全体像と情報の流れを図1に示す。入力データ作成支援（入力モジュール）と三次元体系作成支援モジュール（体系モジュール）は解析者のPCで動作し、そこで作成された入出力ファイルを含む解析情報をインターネット上で動作する解析情報管理サービス（解析情報サービス）

に登録して管理する。同サービスは、これまでに開発された他の入力支援システム群ともリンクしており、当システムに限定されず、共有データベースとして用いることが可能である。

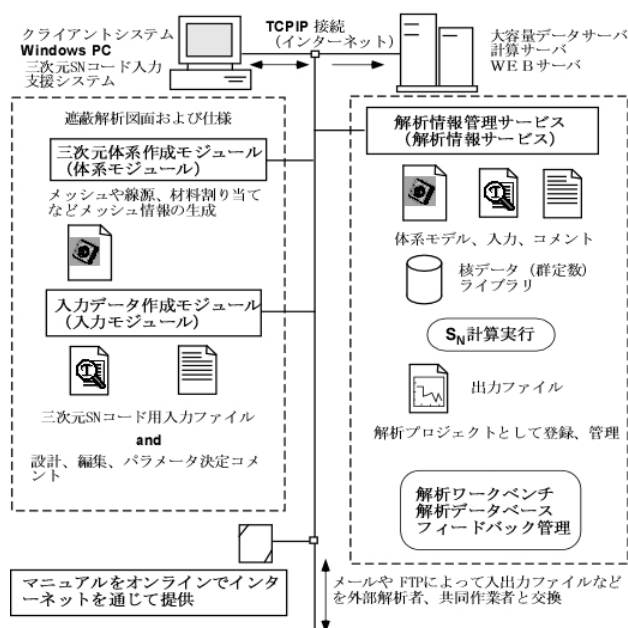


図1 システム全体構成と情報の流れ

3. 要素モジュールの詳細

3. 1 体系モジュール

解析対象の三次元モデルを計算機内で表現し、各材料に材料情報、線源情報及び最適メッシュ幅等メッシュ条件を与えることによって、XYZまたはRTZ座標の体系メッシュ情報を自動的に生成する。三次元ソリッドモデラ (SolidWorks) 上のアドインとして開発を行った。作成されたメッシュ情報はTORT入力フォーマットに変換され、入力モジュール上の適当な項目にインポート可能である。三次元メッシュの視覚化や、それを体系モデル上にインポートして確認する機能等も備わる。

3. 2 入力モジュール

入力データを項目ごとに構造化して視覚的に示し、解析者に入力データの記入を促してスクリプトを完成させるためのスプレッドシート形式のプログラムである。体系モジュールをつかってメッシュ情報をインポートした場合は、計算パラメータを調整するだけでよい。スプレッドシートはTORT入力フォーマットにカスタマイズされてお

り、計算パラメータやオプションに応じてデータ属性が連動し、また数値入力ミスを防ぎ、数値情報全体の整合性を調べる機能がある。また、それら数値情報の他に項目ごとにコメントを付けることができる。これは数値情報の決定意図や修正履歴など解析者自身の言葉でメモとして残しておくためのものである。これは、解析サイクルの見直しや、解析情報の共有、再利用の際に効果的である。データはそのままTORT入力ファイルフォーマットで読み書き可能である。したがって過去に作成した入力ファイルを読み込んで再編集し、メッシュ情報を体系モジュールに送り視覚化して確認することも容易である。

3. 3 解析情報サービス

数値、非数値を問わず、あらゆる解析情報と入出力ファイルを登録、管理できるWEBサービスである。当サービスを利用するには、まずアカウントを取得してユーザ登録する。ユーザが解析事例を登録する場合、プロジェクトと呼ばれる事例を立ち上げてプロジェクトマネージャとなり、そこで実施される計算タスク群を作成する。マネージャはタスク情報として担当解析者を設定し、彼は実行した計算の内容について入出力ファイルを含むあらゆる情報をタスクに登録する。ユーザは自分の関わるプロジェクトやタスクについてのレポートをリアルタイムで参照可能である。つまり、時間や場所の制約をもたない解析ワークベンチとして動作すると同時に、作成された事例群はそのまま解析事例データベースとしてユーザ間で共有可能となる。なお、当サービスは開発終了した別システムの入力ファイル管理モジュール⁽¹⁾の概念拡張であり、試作の段階にある。

4. システム利用事例と性能評価

4. 1 核融合原型炉の解析事例

現在、日本原子力研究所と共同研究を行っている核融合原型炉の増殖ブランケットTBR評価の解析事例⁽²⁾に対して、当システムを適用した例を示す。原型炉の基本仕様⁽³⁾をもとに、ブランケットの構造の最適化を行い、NBIポートやダイバータ部分などの欠損部を考慮した正味のTBRを計算す

るシステムを構築する。その際、設計で有用な低次元計算の結果を詳細な三次元計算のそれと比較して誤差を見積もる必要がある。またTORTとMCNPの三次元計算どうしの比較も適用性の観点から重要である。図2に示すトカマク図（トロイダル 60 度断片）をもとに当システムを用いて作成したメッシュモデルを図3に示す。

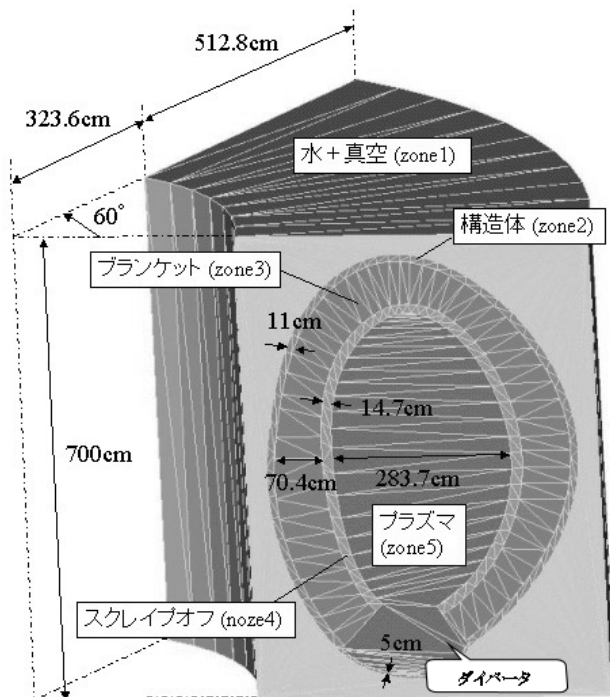


図2 原型炉トカマク配置

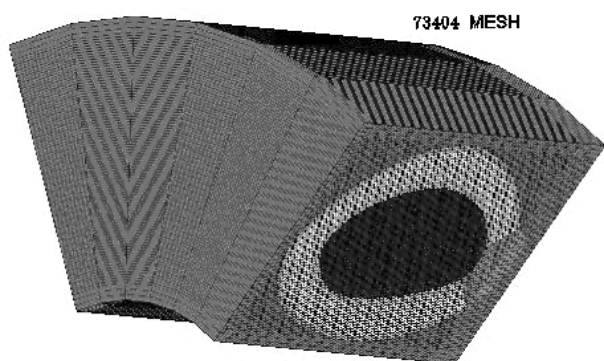


図3 原型炉トカマクメッシュモデル

三次元モデル作成に要した時間は、比較的システムの操作に慣れた人で約3時間、モデルからメッシュ切りに要する計算時間は約15分である（Pentium 4 2G）。その間にメッシュ情報の整合性チェックも行われる。一方、手作業によるメッ

シュ作成時間を評価すると、Z断面ごとに二次元データを作成する手法を用いて、寸法を各断面に落とすのに一週間、断面毎のメッシュ作成（境界位置設定、ボディ定義）に一週間、TORT実行時にしか判明しない領域定義漏れ等エラーによる戻り作業で数日、併せて三週間程度ということになる。

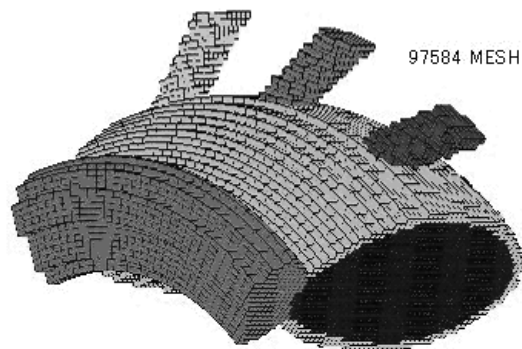


図4 NBIポート付加時のメッシュモデル

さらに有効性を評価するために、図4に示すNBI加熱ポートを付加した、部分的な変更モデルを作成する（再外の水+真空部を非表示）。当システムを使った場合、NBIポート部品を作成して適当な位置に配置し、トカマクと集合演算を行えばモデルは完成する。その際、3ケースほどメッシュ幅を変えてメッシュ切りを実行し、ポートがうまく再現されるかどうかを調べる。およそ一時間半で済む。一方、手作業によるとポートがZ軸に斜めに入射するため、Z断面ごとの二次元データの編集に手間がかかり、一週間から10日を要すると見積もられ、両者のコスト差が明白となる。もし全体的にトカマクのアスペクト比を変更などということになれば、手作業では一からメッシュを作成するのと同じコストがかかると考えられる。

4. 2 ストリーミング解析の事例再利用

過去に行われた解析事例を参照する場合、残っているのは複数の計算タスクの入出力ファイルといった数値情報だけであることが多い。レポートによって概要と結果がわかっても計算履歴や解析ポイントが入力項目単位で残ってなければ解析者の意図を正確に把握し、追試、再利用することは困難である。そこで、ある計算入力を解析事例と

して再利用可能な形式におこす作業を行う。まず、入力を入力モジュールで読み込み、データの整合性、妥当性を調べる。次に、体系モジュールでメッシュ情報を視覚化し、元の体系を推測し、コメントとともにそれらは画像として情報サービスに登録しておく。入力に戻ってデフォルトとは異なる計算パラメータをチェックし、その理由について考え、理解できるか否かを問わずコメントを残す。最終的にいま行った作業について数値及び非数値情報をサービスに登録して事例情報を整形する。

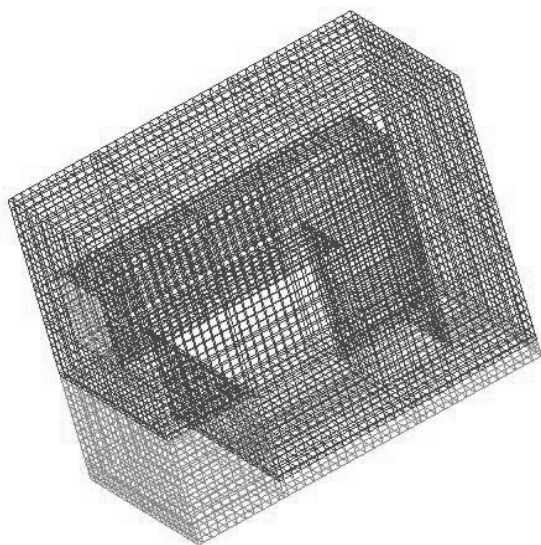


図5 ストリーミング体系の視覚化

過去事例として、ストリーミング計算入力を挙げる⁽⁴⁾。このメッシュ情報を体系モジュールで視覚化したものを図5に示す。これによって、ストリーミング経路のサイズ、形など推測することが可能になる。線源の位置、強度を確認してDT反応による中性子が経路口におかれた二脚ストリーミング計算であることがわかる。材質が確認できればポリエチレンにより主に水素による減衰効果をねらったベンチマーク問題ということも推測できる。角が一カ所だけ欠けている理由などは判然としないが実体系との比較のためであると考えられる。これらの推測から事例を再現するのに要した時間はおよそ2時間程度である。

これをもとに体系を変更して入力を編集し、別の問題に再利用することもできる。いま、同じ材質の部分のメッシュを連結して材質ごとの三次元

モデルとすることで、今度はストリーミング経路の形を変えるなどした解析が可能になる。手作業でなぞることもできるがかなりの時間を要するため、メッシュモデルを材質ごとの連結三次元ソリッドモデルに自動的に変換する機能を現在開発している。実際に支援システムがなければ膨大なコストから敬遠されがちな作業を短時間で行うことができ、また情報共有による研究拡張効果を期待できる。

5. おわりに

三次元 S_N コードTORTに対する統合的な入力支援システムを開発した。システムの要素モジュールの概要と、全体の情報の流れをもとに目的と機能を説明した。システム評価として、核融合原型炉ブランケットシステムのTBR解析事例に当システムを用いた場合の有効性を示し、手作業による作業コストと比較した。また、過去事例を新たに再利用できる形式に整形する手順を、ストリーミング解析入力を用いて示した。メッシュモデルを材質ごとの連結三次元モデルへと逆変換できれば、再利用性がさらに広がることがわかった。

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) 平尾他、遮蔽計算コード入力支援システムの開発と評価、第3回海技研講演集、(2003)
- (2) 平尾他、核融合原型炉用増殖ブランケットの局所 TBR 計算評価、日本原子力学会 2005 年春の年会、(2005)
- (3) 榎枝他、超臨界水冷却固体増殖ブランケットシステムの概念検討、JAERI-Tech 2001-078、(2001)
- (4) Y.Hirao and Y. Matsumoto, Development of Connection-Method Calculation Utility for DORT-TORT Code, Procs. of ICRS-10, (2003)