

JAERI - M
83-208

最近の原研コード・システム

1983年12月

(編) 原子力コード研究委員会総合化専門部会

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷㈱

最近の原研コード・システム

日本原子力研究所原子力コード研究委員会
(編) 総合化専門部会

(1983年11月9日受理)

日本原子力研究所において最近いくつかのコード・システムが開発され、利用されている。コード・システムを構築し、維持することは容易ではないが、その事実はあまり知られていない。その故に、最近の原研コード・システムのいくつかの設計の考え方、特に、必要となる計算機の機能、開発に投じたマンパワーに関する情報を明らかにすることは有用であろう。

本報告では、原子力コードの総合化に要するマンパワーに関する一般的議論の後に、熱中性子炉解析のSRAC、トカマクMHD解析のTRITON、緊急時環境線量予測のSPEEDI、放射線遮蔽解析のRADHEAT-V4の4コード・システムを例として取りあげる。それらコード・システムを(1)開発の目的とスケジュール、(2)システムの概要、(3)ベンチマーク・テストの結果、(4)使用されている計算機の機能、(5)投下されたマンパワー、及び(6)望ましい計算機の機能の面から述べる。最後に、将来のコード・システムの開発を容易にするために、4つのコード・システムに共通して必要とされた計算機の機能について議論する。

Recent Code Systems at JAERI

Edited by
Subcommittee for Nuclear Code Unification
Japan Nuclear Code Committee

(Received November 9, 1983)

Recently several code systems have been developed and utilized at Japan Atomic Energy Research Institute. It is not easy to construct and maintain a code system, but the fact is not well known in the researchers. For this reason, it will be very useful to publish informations about design concepts, characteristics, necessary computer features and amounts of invested manpower for the developments of some recent JAERI code systems.

In this report, a general view of required manpower on unification of nuclear codes is discussed and four code systems, i.e., SRAC for thermal reactor analysis, TRITON for Tokamak MHD analysis, SPEEDI for emergent environmental dose prediction and RADHEAT for radiation shielding analysis are presented. They are described from aspects of (1)purpose and schedule of development, (2)outline of system, (3)results of benchmark tests, (4)utilized computer features, (5)invested manpower, and (6)desirable computer features. Finally common aspects of four code systems from viewpoint of necessary computer hardwares and softwares are discussed for future development of code systems.

Keywords: Computer, Nuclear Code, Modular Code System, Code System, SRAC, TRITON, SPEEDI, RADHEAT, Reactor Design, Tokamak, MHD, Particle Concentration, Dose, Radiation, Shielding, DATAPool, Maintenance

目 次

1. はじめに (浅井 清, 桂木 学)	1
1.1 コード・システム紹介の意義	1
1.2 原研におけるコード・システムの歴史	3
1.3 原子力コード総合化の問題点	8
1.3.1 原子力コード総合化事例とその工数	8
1.3.2 総合化の難しさ	8
1.3.3 原子力コード・システム開発支援機能	13
1.3.4 総合化方法の変遷	14
1.3.5 これらの総合化	15
2. SRAC コード・システム (土橋敬一郎)	19
2.1 計算の目的と用途	19
2.2 SRAC システムの概要	19
2.3 ベンチマーク・テスト	22
2.4 PDS ファイルについて	24
2.5 開発に要したマンパワー	29
3. TRITON システム (竹田辰興, 常松俊秀)	32
3.1 開発の目的と用途	32
3.2 TRITON システムの概要	33
3.2.1 ASTRAEA	33
3.2.2 PARIS	38
3.2.3 ARGUS	38
3.2.4 PEGASUS	39
3.3 コードの最適化	40
3.3.1 高精度補間と平衡	40
3.3.2 逆平衡コード	41
3.3.3 準モード表示	43
3.3.4 行列の圧縮	43
3.3.5 ベクトル化	45
3.4 開発に要したマンパワー	46
3.5 今後望まれる計算機の性能	46
4. SPEEDI モジュラー・コード・システム (茅野政道, 浅井 清)	50
4.1 開発の目的とスケジュール	50
4.2 システムの概要	51
4.3 システムの構成	58

4.3.1	会話形式制御部ソフトウェア	58
4.3.2	システム・データ・ファイル	59
4.3.3	図形表示用ソフトウェア	63
4.3.4	放出率推定ルーチン	63
4.3.5	汎用アクセス・ソフトウェア	65
4.4	ベンチマーク・テスト	66
4.5	のぞましい計算機の機能	70
5.	RADHEAT-V 4 遮蔽安全解析コード・システム (山野直樹)	75
5.1	計算の目的, 用途及び開発スケジュール	75
5.2	RADHEAT システムの概要	76
5.3	ベンチマーク・テスト	79
5.4	使用されている計算機の機能	86
5.5	開発に要したマンパワー	91
5.6	今後望まれる計算機の機能	92
6.	おわりに (浅井 清, 桂木 学)	95

付 録

A.	ARGUS (竹田辰興, 常松俊秀)	99
B.	HARMONIA (同 上)	104
C.	GAEA (同 上)	118
D.	PLUTO (同 上)	121
E.	EOS (同 上)	140
F.	DATAPOL (浅井 清, 富山峯秀)	143

Contents

1. Introduction (Asai K. and Katsuragi S.)	1
1.1 Aims of presenting code system examples	1
1.2 A short history of JAERI's efforts on code unification	3
1.3 Some problems on unification of nuclear codes	8
1.3.1 Some examples of required manpower for code unification	8
1.3.2 Difficulties in unification of codes	8
1.3.3 Supporting tools for development of nuclear codes	13
1.3.4 Transitions of methods for unification of codes	14
1.3.5 Code unification in the future	15
2. SRAC code system for thermal reactor analysis (Tsuchihashi K.)	19
2.1 Purpose and application fields of the system	19
2.2 Outline of the system	19
2.3 Benchmark tests	22
2.4 On PDS files	24
2.5 Invested manpower for the development	29
3. TRITON system for Tokamak MHD analysis (Takeda T. and Tsunematsu T.)	32
3.1 Purpose, schedule and application field of the system	32
3.2 Outline of the system	33
3.2.1 ASTRAEA codes	33
3.2.2 PARIS codes	38
3.2.3 ARGUS codes	38
3.2.4 PEGASUS codes	39
3.3 Optimization of codes	40
3.3.1 High accuracy interpolation and equilibrium	40
3.3.2 Inverse equilibrium codes	41
3.3.3 Quasi-mode representation	43
3.3.4 Packing of matrices	43
3.3.5 Vectorization	45
3.4 Invested manpower for the development	46
3.5 Desirable computer features	46
4. SPEEDI modular code system for environmental dose prediction (Chino M. and Asai K.)	50
4.1 Purpose and schedule of the development	50
4.2 Design concept of the system	51

4.3 Basic components of the system	58
4.3.1 Control routine for interactive use	58
4.3.2 System data files	59
4.3.3 Routines for graphic presentation	63
4.3.4 Initial guess routine for release rate of nuclides	63
4.3.5 Access routines for Datapool	65
4.4 Benchmark tests	66
4.5 Invested manpower, future extension and desirable computer features ..	70
5. RADHEAT-V4 code system for analysis of radiation shielding (Yamano N.)..	75
5.1 Purpose and schedule of the development	75
5.2 Outline of the system	76
5.3 Benchmark tests	79
5.4 Utilized computer features	86
5.5 Invested manpower	91
5.6 Desirable computer features	92
6. Concluding remarks (Asai k. and Katsuragi S.)	95
Appendix	
A. ARGUS code	99
B. HARMONIA code	104
C. GAEA code	118
D. PLUTO code	121
E. EOS code	140
F. DATAPPOOL code	143

1. はじめに

1.1 コード・システム紹介の意義

日本原子力研究所（以下原研という）の原子力コード研究委員会のなかに原子力コード総合化専門部会が発足したのは昭和50年である。総合化専門部会は、これまで開発された原子力コードを有効かつ総合的に利用するための手法、ソフトウェアの開発等の検討を目的として設置されたものである。総合化専門部会は、設置以来原子力コード総合化のためのソフトウェアの開発、計算機機能の開発への寄与、コード・システム設計に関する検討、情報交換をおこなってきた。この間8年が経過し、いくつかの研究分野で入力、計算、出力処理まで一貫した考えでまとめられた規模の大きいコード・システムが作られ始めた。それまで原研に設置されていたFACOM 230-75 計算機が、世界的にみてソフトウェア互換性の良いMシリーズ計算機M-200にリプレイスされた頃から特に原子力コードのシステム化が盛んになった。

現在原研で動いているコード・システムのうちのいくつかは、ひとつの研究室の利用の範囲を超えた大規模なものである。しかし、コード・システムを構築する際に便利な手法、計算機の機能、必要となるマンパワー、構築の利用、改良、保守にかかわる諸問題について、開発にたずさわるグループ相互間での情報交換はあまりおこなわれていない。

そこで総合化専門部会では、原研における総合化の歴史、マンパワーの面から見た総合化（システム化）の問題点等と共に、

- SRAC (熱中性子炉核計算コード・システム)
- TRITON (トカマク・プラズマ挙動解析コード・システム)
- SPEEDI (環境放射能線量予測計算コード・システム)
- RADHEAT (放射線施設遮蔽安全評価コード・システム)

の4コード・システムの開発担当者に、各コード・システムの

- (1) 計算の目的と用途、開発スケジュール、
- (2) システムの概要、
- (3) ベンチマーク・テスト、
- (4) 使用している計算機機能、
- (5) システム開発に要したマンパワー、
- (6) 今後望まれる計算機の機能

について執筆を依頼し報告を作成することにした。報告書作成の目的は、第1には、最近の原研の各研究分野で開発されたコード・システムを紹介すること、第2には、それらのコード・システムを作る際に採用された考え方、機能、マンパワーなどの問題点を明らかにし、今後のコード・システム開発の参考資料とすること、第3には、各コード・システムで使用されている有用、かつ共用的機能を紹介し、重複開発を避けることである。

本報告の4つのコード・システムについてここで簡単に紹介すると

- (1) SRAC コード・システムは昭和 53 年から東海研究所に設置されている「熱中性子炉体系標準コード・システム検討会」の活動の成果である。この検討会は熱中性子炉の核計算、燃焼・熱水力計算、核燃料施設の臨界、遮蔽安全性計算の各分野の標準的計算コードの開発を目指して設置され、昭和 58 年度で活動を終了する。SRAC は核計算のためのコード・システムである。
- (2) TRITON コード・システムは、トカマク・プラズマの閉込め、加熱について総合的な理論解析をおこない、プラズマ挙動に関する包括的な描像を確立することを目的として設定された TRITON 計画に基づいて、昭和 52 年度から開発され始めたコード・システムである。昭和 58 年度に計画の第 1 段階が終了し、第 2 段階へ移る。第 1 段階では主として磁気流体モデルを対象としていたが、第 2 段階ではこれに加え、粒子モデルも計算の対象とする。
- (3) SPEEDI コード・システムは、原子炉から大気中に放出され移流、拡散、地表面沈着する放射性物質の濃度を予測計算し、その濃度と放出源に関する情報から線量を計算で推定する。この種の予測計算システムの開発は TMI 事故以後に検討された安全性研究の重要項目のひとつとなっており、TMI 事故後に原研に設置された環境放射能研究委員会の活動の成果のひとつである。
- (4) RADHEAT-V4 コード・システムは、SRAC と同じく「熱中性子炉体系標準コード・システム検討会」の核燃料施設の遮蔽計算をおこなうコード・システムとして開発されたものである。もっとも RADHEAT の旧版は検討会設立以前に開発が進められていたので、正しくは仕様の一部が検討会において検討されたというべきである。RADHEAT は、第 5 章で詳述しているように核燃料施設というよりは放射線施設一般への適用を考慮したコード・システムである。

第 1.2 節で原研におけるコード・システムの歴史について述べるが、そのまゝに、混乱を避けるために以上の 4 つのコード・システムと原子力コード総合化専門部会との関連について述べておこう。

- (イ) SRAC コード・システムは、その開発の初期の段階においては、総合化専門部会開発のファイル管理システム DATAPOOL (第 1.2 節及び付録を参照) を利用していた。これは総合化専門部会の要請によるものである。しかし、当時は DATAPOOL が十分にテストされていないためにバグが多く、またその所要メモリも非常に大きかった。このため、この DATAPOOL を利用した SRAC コード・システムのメモリ量も大きくなった。これらの理由から、システムの開発そのものに支障をきたすようになり、DATAPOOL の利用を中止し、ファイル管理システムはより簡便な PDS ファイル管理プログラム (第 2 章参照) を利用することになった。その後 DATAPOOL の上述の欠点は取り除かれたが、SRAC システムでは PDS ファイルが採用されている。
- (ロ) TRITON コード・システムは、トカマク・プラズマ挙動の理論解析をおこなうための生成発展するコード群と、その利用を容易にするための支援ユーティリティ・プログラムから成る。このシステムは、第 3 章で述べられている如く、完成されたコードの集大成化を目指したものではない。そのシステム設計の考え方、利用の方法は次の 1.2 節で述べる総合化専門部会の方法論とは関係なく独立に開発、推進されている。しかし、その副産物のひとつである図形処理

パッケージ ARGUS (付録 A 参照) は、この TRITON 以外に、SPEEDI と RADHEAT コード・システムでも利用されている。

(ハ) SPEEDI は、総合化専門部会のコード・システム設計の考え方を忠実に反映したコード・システムである。会話形式制御の採用、データと計算コードの独立性の維持、計算コードのモジュラー性の確立、階層ファイル管理システムである DATAPOOL の採用、研究開発段階と実用段階の 2 面の両立性の考慮、などがそれである。

(ニ) RADHEAT-V 4 コード・システムで利用されているデータプールは、SPEEDI コード・システムで採用されている DATAPOOL と同じではない。RADHEAT 旧版の開発が始まった当時は、DATAPOOL ファイル管理システムの設計が終ったばかりで、未だ DATAPOOL ソフトウェアそのものは存在していなかった。RADHEAT のデータプールは、総合化専門部会版 DATAPOOL の仕様を RADHEAT コード・システムのデータ取扱い方法に合わせて簡略化したものである。

各コード・システムと総合化専門部会との関連は以上のとおりであるが、これらコード・システムの総合化の方法、検証の方法、共用的ユーティリティ・ソフトウェア開発と利用法、投入されたマンパワーなどを報告することはこれらの大規模コード・システムの構築に大いに参考になるものと信じる。以下第 1.2 節では総合化専門部会小史を、第 1.3 節でマンパワー面からみたシステム化の問題点を述べ、第 2～5 章においてこれらコード・システムを詳述し、第 6 章で各コード・システムで述べている望ましい計算機の機能についてまとめ、今後必要となる計算機の機能について述べる。

付録 A.～E. は、TRITON システムで使用されているユーティリティ、F. は SPEEDI コード・システムで使用されているユーティリティ・プログラムである。今後大規模システム構築を計る人の参考に、概略を述べた。

1.2 原研におけるコード・システムの歴史

1950 年代の終り頃に、当時あっては高速、かつ大型の電子計算機が登場し、これら計算機を使った原子力計算のためのプログラム(原子力コードという)が多数開発された。1960 年代に入るとこれらの成果と原子炉設計計算に関する需要の増加を背景に、設計計算を計算機によって自動化しようとする試みが現われた。^{1.1)} 自動化の具体的表現として既存、あるいは新規開発の原子力コード群を用いて炉物理に関する一貫計算をおこなうコード・システムが提唱され、また実際に構築され始めた。ここでいうコード・システムとは特定分野の計算を一貫して多数の原子力コードとデータ・ライブラリを統合し、人手を介することなく計算を計算機によっておこなう計算システムのことである。コード・システムがその構成要素である原子力コードやデータ・ライブラリの交換が容易なように作られているとき、そのコード・システムをモジュラー・コード・システムという。

原子力分野におけるコード・システムはノルズ原子力研究所(KAPL)の NOVA が恐らく最初であろう。NOVA は第 2 世代の計算機で実現され、その運用経験が後になって汎用的モジュラー・コード・システム DATATRAN を生むことになったようである。

その後米国アルゴンヌ国立研究所 (ANL, 1967), デュポン社のサバンナ・リバー研究所 (SRL, 1968) において第3世代の計算機を使用してコード・システムが作られた。

ANL のコード・システムは ARC (Argonne Reactor Computation system) と呼ばれ,^{1,2)} モジュール間のデータ転送は計算機ファイルと計算機の主記憶 (メモリ) を使っておこなわれる形式である。データの形式が定型であること、主記憶上での定型データを受け渡しを認めていることから、このシステムに組み込むサブルーチンは大巾に書き換えなければならない。

SRL のコード・システムは JOSHUA と呼ばれ,^{1,3)} そのモジュールのほとんどは当時の最新の計算手法を反映させるために新規に作成された。モジュール間のデータの受け渡しは JOSHUA に固有な入出力文を使っておこなわれている。ほとんどすべてのモジュールが新しく作られたために、入出力文を統一することが容易に出来たわけである。このようにデータ形式を統一することにより、利用者はコード・システムが準備しているデータの編集、図形表示等のユーティリティ・プログラムを使うことができる。データ形式の統一はこのように便利な点もあるが、コード・システムが広く使われて利用者が自分の原子力コードの入出力をコード・システムの入出力としたい場合が多くなると、かえって厄介なことになる。JOSHUA の入出力は Fortran の 1 次元配列の形式に定められているので、利用者は自分のコードの入出力部分をシステムのそれに合せて書き換えなければならない。

長い年月にわたってコード・システムを維持してゆこうとすれば、このように一見本質的には見えない問題が大きな意味を持つてくる。開かれた形式 (open ended) のコード・システムを設計しようとするときには十分このような問題に留意しなければならない。

日本においても同じ頃に第2世代の計算機を使って原子炉設計のためのコード・システム構築が日立製作所において試みられた。^{1,1)} 原研では昭和46年に日本原子力コード研究委員会のなかに原子炉設計及び解析のためのモジュラー・コード・システム専門部会が設置された。日本原子力コード研究委員会は日本原子力研究所東海研究所長の諮問委員会である。モジュラー・コード・システム専門部会は第3世代の計算機を使い、モジュラー・コード・システムの枠組を設計し、モジュールを制御するいくつかのルーチンを開発した。

この時期は世界的に見てもコード・システムについて関心の高まったときで、1970年には OECD/ENEA CPL (計算機プログラム・ライブラリ) がモジュラー・コード・システムを主題とする会議を主催し、各国から論文が提出された。^{1,2)} 同じ頃に原研でもいくつかのコード・システムが計画中あるいは作成中であったが、これらシステムの紹介論文も同会議に送られた。この時期に原研で作られたコード・システムは第2世代の計算機の上で作られたものであり、現在まで残って使用されているものはほとんどない。

コード・システムの原型を作った後、専門部会は、昭和50年に現在の原子力コード総合化専門部会へ改組された。新しい専門部会の目的は昭和55年までに総合化のための実用的方法を用意することであった。コード・システムの構築と維持には多くのマンパワー (工数) が必要となることに着目し、専門部会ではこのマンパワーを代替する計算機の機能の獲得を目標に掲げ、その開発作業をおこなった。このようなことは当然計算機メーカーの協力なしでは出来ないことである。したがって計算機の機能は原研で開発されたものよりは計算機メーカーで開発されたものが多く、開発に投入されたマンパワーも計算機メーカーによるもののほうが多い。総合化専門部会ではコー

ド・システムあるいは大規模原子力コード開発に係る計算機使用の種々の面を分析し、マンパワーの代替となる Table 1.1 の機能の開発をおこなった。^{1,4)} Table 1.1 の掲げた機能の意図するところは次のようなことであった。

Table 1.1 Softwares useful for code systems.

	Software	Invested Man-Month	
		JAERI	Manufacturer
1. Dynamic Link	F75-DYNA* ¹	2	2
	Standard* ²	10	59
2. Reentrant Programming	Standard* ²	1	50
3. Interactive Subsystem Control	TSS-Fortran* ³	2	—
	IPF* ²	—	6
4. Interactive Fortran	TSS-Fortran* ³	40	—
	DOCK* ²	—	180
5. Document Editor	K-System* ¹	10	30
	ATF* ²	—	70
6. System Output Editor	SYSOUT* ¹	2	12
	SORP* ²	—	120
7. Data Storage and File Handling	DATAPOOL* ²	50	—
8. Fortran Source Program Analyzer	ANALYSIS* ²	5	—
9. Dynamic Link Effect Analyzer	DYNALEAT* ²	2	—
Total		124	529

Note: *¹: Now obsolete,

*²: Current alternative in use,

*³: Abandoned,

Standard: Standard product of manufacturer.

Manufacturer means the computer manufacturer, Fujitsu, Ltd.

(1) ジョブ回転時間の短縮

- ・主記憶使用量の極小化 (Table 1.1 の項目 1, 2)
- ・システム修正の局所化 (Table 1.1 の項目 1)

(2) 動的なシステム制御

- ・プログラム実行の動的制御によるデバッグの容易化 (Table 1.1 の項目 3, 4)
- ・システムへの動的介入による途中経過の表示等 (Table 1.1 の項目 3)

(3) 記録の作成, 編集

- ・英文文章の編集, 定型文の記録, 編集, 作表 (Table 1.1 の項目 5)
- ・数式の記録, 編集 (Table 1.1 の項目 5)

(4) システム出力の編集, 検索

- ・ライン・プリンタ出力の編集, 検索, 保存 (Table 1.1 の項目 6)

(5) データファイルの統一の取扱い

- ・階層化構造を持つデータ・ファイル (Table 1.1 の項目 7)
- ・コードと独立してアクセス (検索, 内容の数値, 図形表示) 可能なデータ・ファイル

(Table 1.1の項目7)

(6) FORTRAN ソース・プログラム分析

- ・サブルーチン, 変数参照関係一覧表作成 (Table 1.1の項目8)

(7) ダイナミック・リンク効果分析

- ・ダイナミック・リンク機能で節約可能なメモリ量の時系列的認識 (Table 1.1の項目9)。

Table 1.1の注にあるようにF75-DYNA, K-System, sysout は古い計算機FACOM 230-75を使って実現したもので現在は利用できない。TSS-Fortran は、これもFACOM 230-75で作成を試みていたが、この計算機では機能に乏しく実現不可能として中止されたものである。残りの機能は現在も利用されている。Table 1.1に掲げたマンパワーは昭和56年当時のもので、これ以後現在までの3年間に原研、計算機メーカーともに機能の改良、保守のために以前と同程度のマンパワーを費している。

これらの機能は本報告の主題である4つのコード・システムで利用されており、その対応はTable 1.2のようになる。機能3, 5, 6は原研の計算機に標準的に装備されているソフトウェアであり、コード・システムのみならず、一般のジョブ処理でも利用されている。したがって特にコード・システムと関連づけることを奇異に感じられるかもしれない。しかし、これらの機能はコード・システムの開発・維持にも重要な役割を果たす。単体の原子力コードはその計算目的である物理的内容が前面に出てくるが、コード・システムを開発、維持してゆくには、また別種の労力が必要である。システムの改良、修正は絶えずおこなわれるから、システムを記述するドキュメントを常に最近の状態に保っておくことは容易ではない。そこでSRACコード・システムでは、システムに関する大部のドキュメントを英文文書清書用ソフトウェアATF (Table 1.1の機能5)を利用して作成している。数式をATFで表現することは楽ではないが、今後は他のコード・システムについても同様の傾向が強まってくるであろう。

Table 1.2 Softwares used in code systems.

コード・システム	使用した機能
SRAC	3, 5, 6
TRITON	3, 5, 6, 8
SPEEDI	1, 3, 6, 7, 8, 9
RADHEAT	4, 5, 6

Table 1.1の機能1 (リエントラント機能), 4 (動的制御Fortran) はどのコード・システムにおいても使われていない。

リエントラント機能は計算機メモリ内にある利用者作成のプログラムの命令を他のジョブに共用させる働きを持つ。計算機を動作させるオペレーティング・システムでは早くから使用されていた機能である。この機能を使えば、ジョブをメモリへロードする時間の短縮、命令部分に相当するメモリの節約などをはかることができる。1960～1970年代の20年間にこの機能が求められたのはおもに(i)メモリのコストが高く、少容量のメモリを活用する必要があった、(ii)大型計算機でジョブ(特にTSSジョブ)を集中処理する処理方式が一般的であったため、ジョブのロー

ルイン、ロールアウトなどに要する時間を節約し、ジョブ回転時間、応答時間を短縮する必要があった、などの理由による。ところが私達（総合化専門部会）の予想に反して、同時に多くの利用者からアクセスされる大規模な共用コード・システム、あるいはユーティリティ・プログラムが作られなかったこと、この20年間の集積回路技術の進歩が著しく、そのために計算機メモリの価格が急激に低下したこと、などからユーザ・プログラムについてのリエントラント機能の必要性が低下してきた。このせいでリエントラント機能は活用されていない。

動的制御 FORTRAN を一言でいえばビデオ装置つきテレビといえる。この機能を使えば、利用者はプログラムの実行を動的に Table 1.3 のように制御することができる。この機能は本来は大規模な原子力コードの開発途中のデバッグを容易にする目的で考えられたものである。当初は総合化専門部会（の前身のモジュラー・コード専門部会）のメンバによって開発が始められたが古い FACOM 230-75 計算機ではうまくゆかず、新しい M シリーズ計算機を使って富士通ランゲージ・プロセッサ部によって開発されたものが現在の DOCK Fortran である。^{1.9)} ユニークな着想による面白いデバッグ・ツールであるが、次の2点

- (i) DOCK の処理系そのものが大きい上に、大きな原子力コードには大きな作業領域を必要とし、通常の TSS 処理で許されているメモリ量を超えてしまう
- (ii) デバッグ対象となっている原子力コードの実行時間が通常の TSS 処理で許されている CPU 時間の範囲を超えてしまう

の問題から未だ一般に広く利用されるに至っていない。近未来のソフトウェアとってよいであろう。

Table 1.3 Execution modes and their characteristics of DOCK.

比較項目 実行モード	表示形式	静止タイミング
ストップモード	文単位に輝度又は色を変えて表示	一文ごと (キーを押すと次の文へ進む)
低速モード	文単位に輝度又は色を変えて表示 (文単位の動きを追える)	文番号を持つ文, ブロック IF 文, DO 文など
中速モード	プログラム単位ごとの表示 (文単位の動きは追えない)	プログラム単位の先頭と×後
高速モード	表示なし	静止しない

以上おもにソフトウェアの機能について述べてきた。これ以外の項目でコード・システムを構築する際に問題となるのはジョブ回転時間の長短、出力の（高速カラー）画像表示機能である。一般にコード・システムの中に組み込まれている単体コードは、それ自体が大きなもの多くて計算時間も長く、したがってジョブ回転時間も長い。大型コードやコード・システム開発担当者にとっては、これが悩みの種である。ジョブ処理の優先権は、どの分野のどのコードの開発を先行すべきであるかという政策を反映していることが建前である。しかし、それを明確に出来る研

究機関はそう多くはないであろう。特に大、中、小型バッチ・ジョブ、タイムシェアリング・ジョブをひとつのシステムで混在させて処理する運用形態では、政策実行のためのシステム・オーバヘッドが大きくなりすぎる傾向があった。そこで原研計算センタでは、計算機システムの構成を Fig. 1.1 のようにし、大型計算コード専用機を用意している。画像処理は原研においてはもっとも取組みの遅れている分野のひとつである。本専門部会でも画像処理は原子力コード総合化に必須の技術のひとつとして注目し、現状調査をおこなっている。最近その基礎的手法（アルゴリズム）について調査結果をまとめ所内資料として刊行した。今後もさらに調査と研究を継続する予定である。

1.3 原子力コード総合化の問題点

1.3.1 原子力コード総合化事例とその工数

原子力コードの総合化とはコード・システム化であるとこれまで考えられてきた。^{1.1, 1.2)} コード・システム化の目的、意義等を別にすれば、コード・システムを構築する際に一番問題となるのは、構築に要する作業量、言い換えればマンパワー（工数）である。ここではコード・システムのいくつかの例から必要な工数について推定してみよう。

(1) JOSHUA 工数図

JOSHUA は Du Pont 社の Savannah River Lab. で 1968～1975 年にわたって開発され、現在も使用されている原子炉設計・解析用モジュラー・コード・システムである。^{1.3)} このシステムでは計算モデルはすべて新規に作成されたので、物理モデルの開発費のなかにシステム関連開発費が含まれていると見てよい (Fig. 1.2 ^{1.3)})

(2) SRAC 工数表

SRAC は原研東海研究所で昭和 53～57 年にわたって開発された原子炉設計・解析用コード・システムである。^{1.5)} 現在は多目的高温ガス炉、研究炉、臨界実験装置等の設計、解析計算に使用されている。必要マンパワー（工数）の予想項目のうち担当者となるのは、開発担当者が予想したもの、推定法となるのは、システムへの組込みにかかる工数は考慮しないで、単体コードのみを作成、改良、変換する際に必要となる工数の経験値である (Table 2.1 参照)。

(3) SPEEDI 工数表

SPEEDI は原研東海研究所で昭和 56～58 年にわたって開発されている緊急時環境放射能予測計算用モジュラー・コード・システムである。^{1.6)} SRAC と類似の工数表は Table 4.8 のとおり。

1.3.2 総合化の難しさ

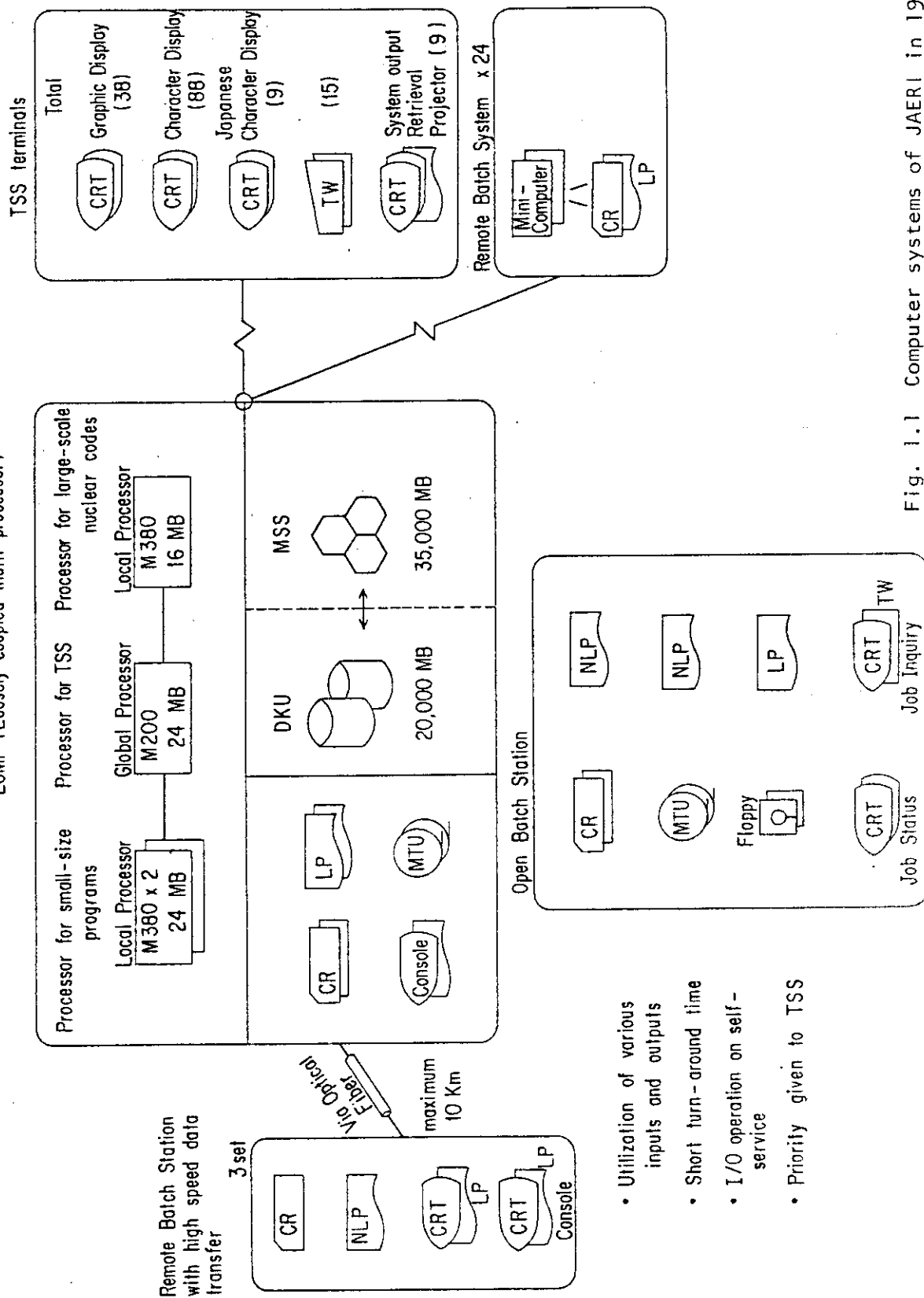
IBM System / 360 シリーズ計算機用ソフトウェアの開発担当責任者が開発プロジェクトを後で振り返ってみたのが Fig. 1.3 である。^{1.7)} 単体コードをシステム製品として売り出すには、予想外の工数がかかることがわかる。研究所等で通常開発されるのは、この単体コードである。

私達の作る計算機プログラムは商品ではないので、矢印の 3 倍の係数は 1.5 倍～2 倍の係数でおきかえてもよいのではないだろうか (これは Fig. 1.4 で示す)。

水平方向の矢印が 1.5～2 倍で済むのは、単体コードとコード・システムとの論理的整合性が

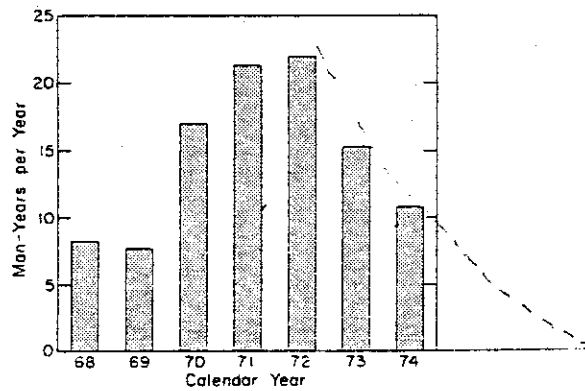
JAERI Computing Center of 1983 : FACOM M380 (3) - M200(1) System

25 MIPS speed performance
LCMP (Loosely coupled multi-processor)



- Utilization of various inputs and outputs
- Short turn-around time
- I/O operation on self-service
- Priority given to TSS

Fig. 1.1 Computer systems of JAERI in 1983.



Level of Effort in JOSHUA Development

Development Effort (man-years)
Calendar Year

Analysis Subsystem	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	Total
Basic Data	1.5	1.5	1.8	0.9	0.3	1.5	-	7.5
Generalized Lattice	3.8	2.7	3.7	2.8	3.7	3.0	2.0	21.7
Correlation Reduction	-	-	-	0.6	1.9	2.0	1.7	6.2
Generalized Reactor	-	0.4	5.0	11.0	7.1	3.5	3.5	30.5
Charge Design	-	-	-	-	1.0	0.3	0.2	1.5
Operating Limits	-	-	-	-	0.7	1.5	1.0	3.2
Confinement Protection	-	-	-	-	1.0	-	-	1.0
Application Total	5.3	4.6	10.5	15.3	15.7	11.8	8.4	71.6
Operating System	2.8	3.1	6.5	6.1	6.3	3.5	2.5	30.8
System Total	8.1	7.7	17.0	21.4	22.0	15.3	10.9	102.4

Fig. 1.2 Invested manpower for JOSHUA code system.

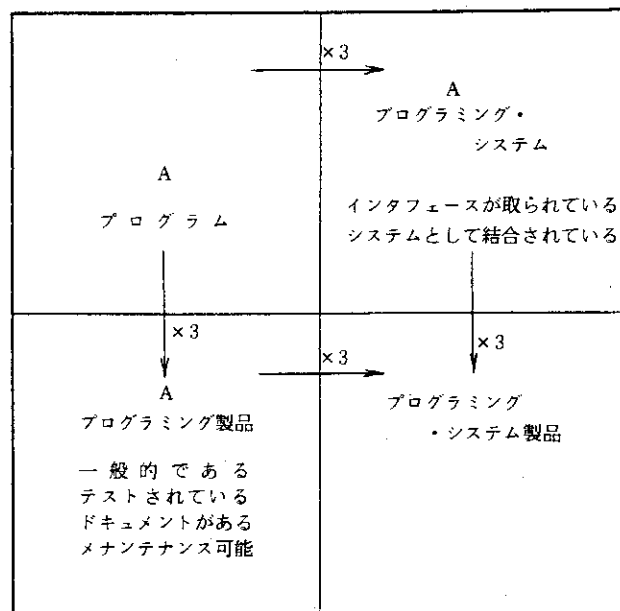


Fig. 1.3 Diagram of cost increase from a single program to a programming system product.

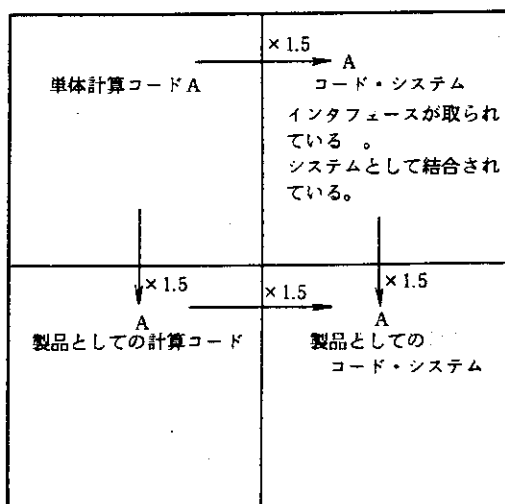


Fig. 1.4 Diagram of cost increase from a single nuclear code to a nuclear code system.

問題となる場合だけである。複合した物理現象について未知の要素が多い問題では、新しい実験が必要となり、このような簡単な話では済まない。

Fig. 1.4 の係数 1.5 を下記のいくつかの原子力コードについてながめてみよう。

例

イ. RELAP 5 / MOD 0 (CDC 版)

軽水炉の冷却材喪失事故解析コード。

1976 年 1 月に開発を始め 1979 年 4 月に完成してリリース。物理モデル作成者 2 名（うち 1 名はプログラマ）プログラミング担当者 5 名が従事。

開発工数 280 人月，ソース・コード・ライン（ステートメント）数 51,333 枚。

物理モデルの作成は 40 人月，単体コード作成工数は

$$\frac{51333}{800} = 64 \text{ ヶ月}$$

と推定した。2～3 ヶ月で出来上る単体コードの生産性は月当り 800 枚程度のソース・コードであることが経験的にわかっている。

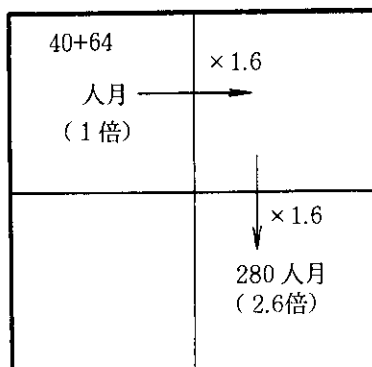


Fig. 1.5 Diagram of cost increase of RELAP5/MOD 0.

ロ. TRAC-P1 (CDC 版)

3次元非平衡流動モデルに基づいたPWRシステム解析コード。

物理モデル作成に7人年，開発途中のコード検証に3人年，プログラミングその他に7人年，1978年3月限定公開。開発工数240人月，ソース・コード・ライン数33,000枚。

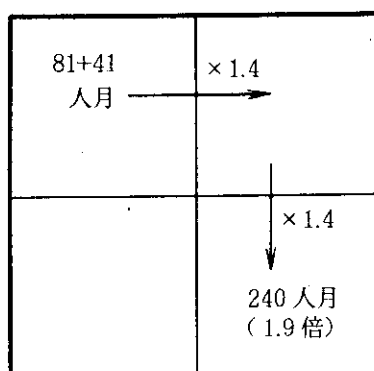


Fig. 1.6 Diagram of cost increase of TRAC-P1.

物理モデルの作成に7人年×12ヶ月=86人月，単体コード作成工数は

$$\frac{33,000}{800} = 41 \text{ 人月。}$$

残りは

$$\frac{240 - (86 + 41)}{127} = \frac{113}{127} = 0.89$$

ハ. SRAC (Standard Reactor Analysis Code System)

熱中性子炉体系の設計計算コード・システムの標準化を目指して昭和53年6月に東海研究所に検討会が設置された。SRACはこの検討会の主旨に沿って開発されている格子計算コード・システムであり，その主要部分はTable 2.1のとおりである。ただしTable 2.1にあらわれた機能は計画初期のもので，最近は新しいものがいくつかつけ加えられている。

SRACの単体コード作成に要した工数は作成者各人の積算によれば約80人月である。これら単体コードのシステム化（水平方向の矢印）には約40人月，検証及びドキュメント作成等で約60人月費やしている。

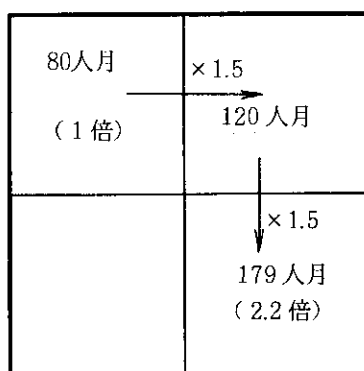


Fig. 1.7 Diagram of cost increase of SRAC.

二. SPEEDI

SPEEDI (System for Prediction of Emergent Environmental Dose Information) は昭和 56 ~ 58 年にわたって原研東海研究所で開発されている緊急時の環境放射能予測計算コード・システムである。MATHEW, ADPIC, MESODIF, EMER, およびシステムへの組込みの手間を除いた単体コードの作成に要する工数は昭和 58 年 3 月末で 68 人月と推定される。このコード・システムは内部仕様書は豊富にあるが、一般的な利用手引きと包括的な報告書は未だ作成されていない (Table 4.8 参照)。

SPEEDI コード・システムにおいては、システムに組込まれても単体コードの使用法は変化を受けない。即ちもとのマニュアルを使うことができるので、垂直方向のドキュメント作成の手間は要らない。

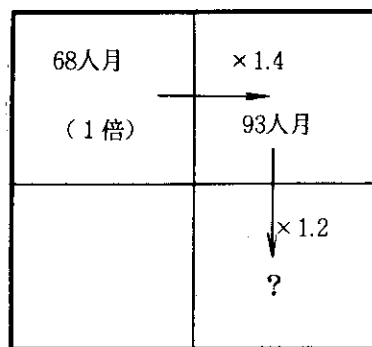


Fig. 1.8 Diagram of cost increase of SPEEDI.

RELAP 5 / MODO, TRAC - P 1, SRAC - V 1, SPEEDI - V 2 のコード・システム作成に要した工数は以上の Fig. 1.5 ~ 1.8 のようになる。原子力コードの場合は製品としての完成度は要求されないので、システム化 (水平方向の矢印) 一般化、ドキュメント整備 (垂直方向の矢印) に要する工数は少なくなっているがそれでも通常考えているよりは大きい。

1.3.3 原子力コード・システム開発支援機能

以上の例からコード・システムを開発、維持してゆくには相当の手間がかかることがわかる。しかし、それらの手間の量は開発にたずさわっている研究者、技術者の作業時間を減少させれば、それに比例して減少する。そしてその作業時間はコード・ライブラリを簡単に結合し、少ないメモリで実行するためのハードとソフト、入力やデバッグを容易にするタイムシェアリング機能など計算機の機能 (ソフトウェアを含む) によってかなり減少させ得る。コード・システムを構築するために必要となる作業とその作業を軽減するための計算機の機能との対応を記したものが Fig. 1.9 である。原研の計算機システムは、コード・システムあるいは大型原子力コード開発作業を強く意識して構成されている珍しい例で、この図に記載されている機能をすべて持っている。^{1.7)} なお最近発表され始めた第 4 世代 (第 4.5 世代?) の計算機はこの種の機能を備え始めている。

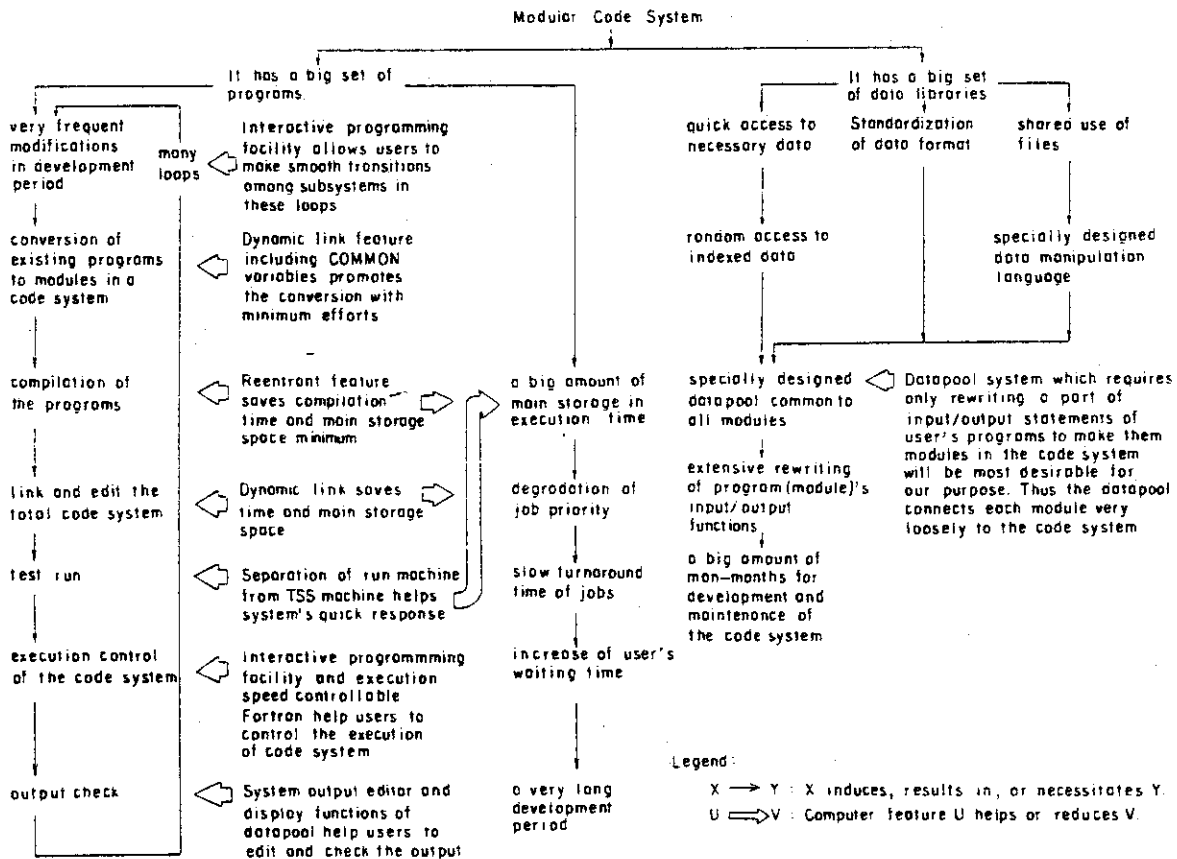


Fig. 1.9 Relationship between program development tasks and computer features.

1.3.4 総合化方法の変遷

総合化についての考え方、方法は時代と共に変遷している。それは大きくは第1世代、第2世代の2世代に分類することができる。

第1世代のシステム化の考え方、方法はコード（それも既存コードが多い）を接続してゆくという考え方と実現方法である。これに該当するものにNOVA（KAPL）、NCCS（日立）などがあつた。

第2世代のシステム化では、まず、共用、基本ユーティリティの基盤を築き、この上に物理モジュール（単体としての原子力コード）やモジュール間インターフェイスを乗せようとするものである。Fig. 1.10のDATATRAN（KAPL）はその「基盤」を与えるソフトウェアである。^{1.8)} Fig. 1.11の緊急時環境放射能予測計算コード・システムSPEEDIも同じ考え、方法で作られている。この方法の特長は、第1には各モジュールを一貫して計算することもでき、また単体コードとしても計算できるようになっていること、第2には個々の単体コードのシステムへの組み込み、取外しが容易であり、かつシステム全体へ影響を及ぼさないようになっていることである。第2世代の方法の欠点は第1には基盤となるソフトウェアの作成にぼう大な作業量と費用を要すること、第2には作業の内容と研究とが関係ないことである。有名なJOSHUA（SRL）、ARC（ANL）コード・システムは第1と第2世代の中間に位置する。

1.3.5 これらの総合化

以上総合化の問題点をみてきた。従来の方法では本質的な部分以外に大部分の費用と時間を取られるので、研究者にとっては総合化にさほど魅力を感じられないことが多い。研究者が計算を数式で表現したものが、計算機との会話形式でFORTRANプログラムに変換できれば、総合化の問題点はかなり解消する。しかしこの種のソフトの実用化研究はあまり行なわれていない。またこのソフトの実用化には計算機が相当安価、小型になって各研究者がスーパーミニコンを持てるようになるか、多勢で1台の計算機を共用するときには、現在よりも100倍以上早い計算機が必要になる。

コード・システムを開発維持してゆくためには(1)開発維持の強い意志、(2)社会的要請、(3)当該研究分野の成熟、(4)開発支援機能、などについて十分な準備と体制、需要が必要である。

世界的にみてもっとも成功した唯一の大規模コード・システム JOSHUA (米国デュポン社、サバンナ・リバー研究所) は上記各項目のうち(1)~(3)及び(4)の一部をみたしている。

現在のプログラミング方式と計算機技術による総合化方法では、単体コード作成の場合の2~3倍の費用と時間は避けられない。したがってコード・システムを構築するにあたっては、図形、ファイル処理などのユーティリティはできる限り既製品を転用し、また作業時間節約のために計算機の新機能を積極的に活用してゆくことが大切である。

計算センタ 浅井 清
安全性試験センタ 桂木 学

Central Memory Allocation (octal)

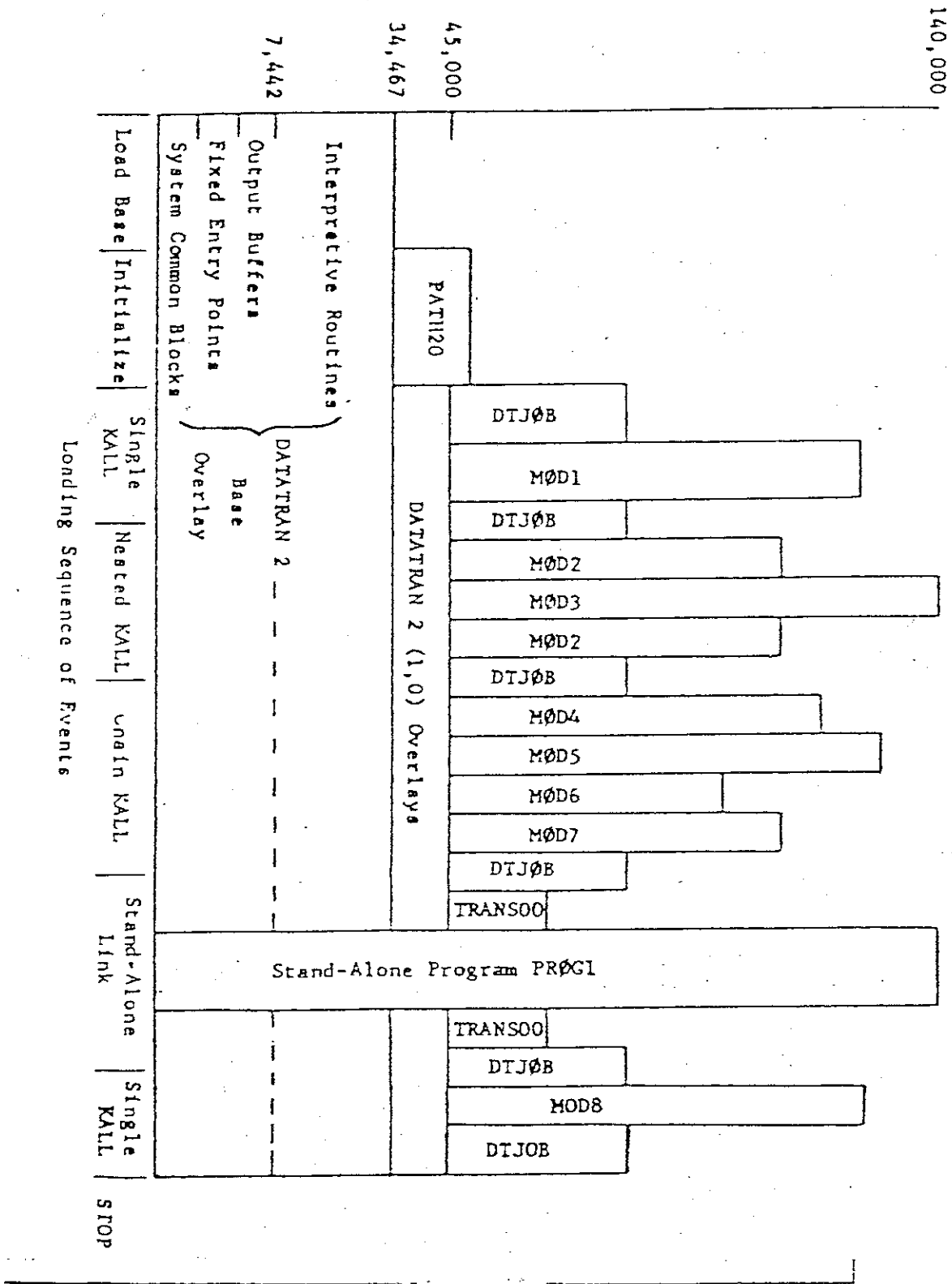
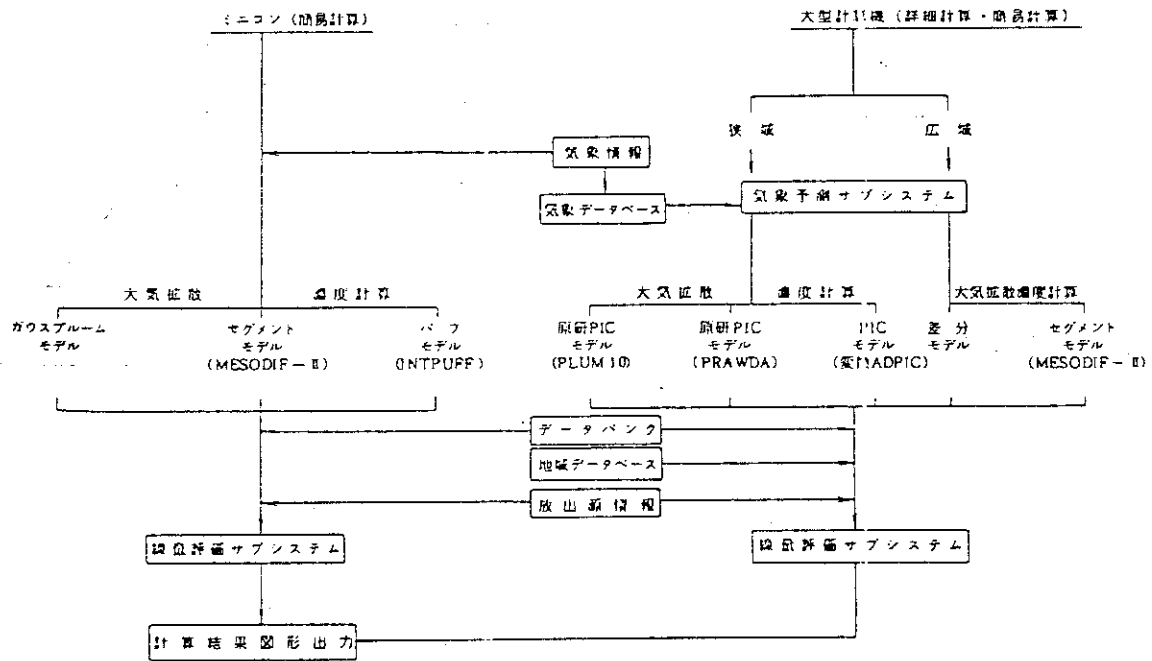


Fig. 1.10 System structure of DATATRAN.



大型計算機+巨大ミニコン+ミニコン
LLNL (ARAC), SRL (WIND+JEREMIAH)

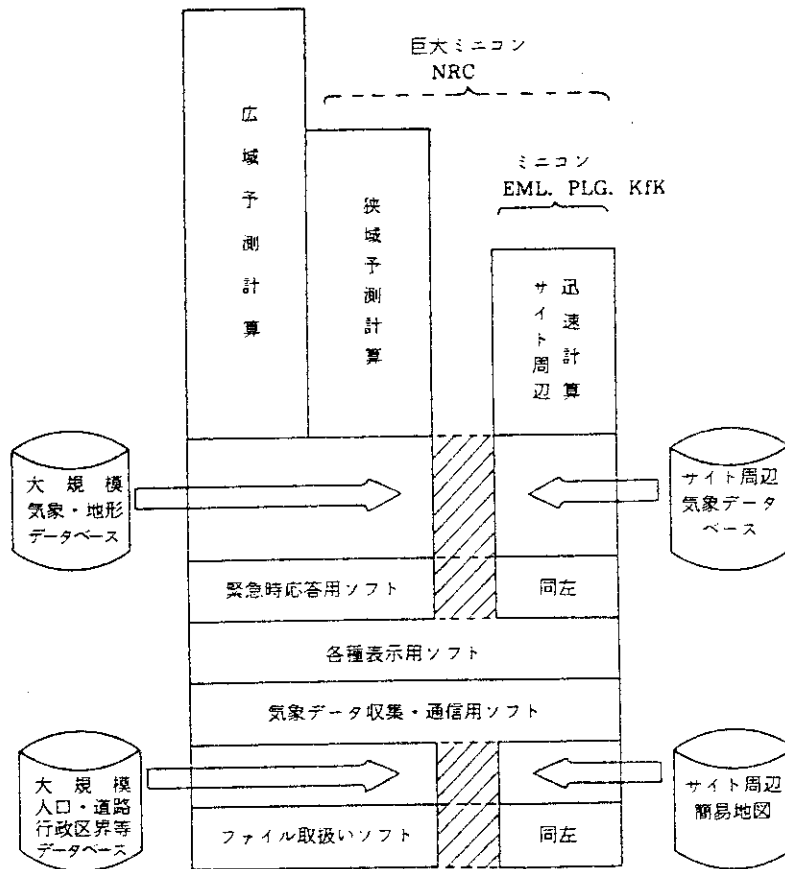


Fig. 1.11 System structure of SPEED1.

参考文献

- 1.1) Proc. Conf. on the Effective Use of Computers in Nuclear Industry, Knoxville, Tennessee, April 21-23, 1969.
- 1.2) "Modular Coding Systems for Reactor Calculations", Newsletter of the ENEA Computer Program Library, No.11, Mar. 1971.
- 1.3) Honeck, H.C. : "The JOSHUA System", DP-1380, SRL, 1975.
- 1.4) Asai, Katsuragi (Eds.) : "Modular Programming Method at JAERI", JAERI 1274, Feb. 1982.
- 1.5) K. Tsuchihashi et al. : "SRAC : JAERI Thermal Reactor Standard Code System for Reactor Design and Analysis", JAERI 1285, Jan. 1983.
- 1.6) 「原子炉の安全性向上のための計算機利用」, 短期研究会報告書, 昭和57年8月3~4日, 京大炉実験所。
- 1.7) Brooks, Jr., F.P. : "The Mythical Man-Month : Essays on Software Eng.", Addison-Wesley, Mass.
- 1.8) Kopp, H.J. : "DATATRAN 2 User's Guide", KAPL-M-7372 (Rev. 1), Aug. 1977.
- 1.9) 「ディスプレイ端末のためのFACOM OS IV/F4 DOCK/FORTRAN 77 プログラム・デバッガ」, 64 SP 3680, 富士通(株), 1981年6月。

2. SRAC コード・システム

2.1 計算の目的と用途

SRAC コード・システムは、原研熱中性子炉体系標準コード・システムの核計算部分として、昭和 53 (1978) 年に設置された同コード・システム検討会の監督の下に開発に着手した。対象とする熱中性子炉体系を具体的に挙げると、東海及び大洗研に設けられている研究・試験炉のほか、発電用の軽水炉、開発中の多目的高温ガス炉及びそれらの臨界実験設備である。上記検討会にはいくつかのワーキング・グループが設置された。核計算部分に対しては昭和 53 年 9 月に先ず多数群ライブラリ・ワーキング・グループが構成されたが、これは断面積ライブラリの設計が完了したので、同年 11 月に発展的に解消し、引き続いて原子炉核設計ワーキング・グループが設置された。このワーキング・グループの意見を参考として開発作業が行われた。

システムの設計に当り、標準コードの名にふさわしく、対象炉型が広範囲であることと同時に、概念設計、詳細設計及び実験解析のいずれの用途にも応えられるように、簡便な計算時間を要しない解法や逆に計算時間やコア・メモリを犠牲にしても高精度の解法をも備えるように多様な利用者の要求に応えられるように留意した。

SRAC の開発の歩みを概略的に Table 2.1 に示す。この表にあるように着手後満 2 年経って、当初目標とされた一応の機能は満たされ、所内外で公表された種々の臨界実験の解析^{2.1)}を行って、計算の精度を確認したうえで、所内での利用が開始された。翌 56 年には格子燃焼計算の機能が追加され、研究炉低濃縮化のための IAEA 主催の重水型研究炉のベンチマーク計算では実効増倍率や核燃料物質の燃焼による変化、各種反応度係数の計算で諸外国の値との一致が確認された。昭和 57 年には利用者の大巾な増加により、未経験であった選択的な機能のデバックが進んだ。同年度末には現状の機能のコード・システムのマニュアル^{2.2)}が発刊され一応システムとして完成したとみなすことができる。

本年 (昭和 58 年) には引き続き燃料管理のための炉心燃焼ルーチンの開発が継続される他に利用者の要望に応じて種々機能の追加が計画されている。

2.2 SRAC システムの概要

このシステムの機能である核計算は具体的には、用意されたライブラリーを用いて先ず多群格子計算を行い、そこで得た均質等価な群定数を用いて、通常は少数群に縮約してから炉心計算を行う。格子計算を必要としない均質な組成をもつ体系では直接炉心計算を行う。

Table 2.1 Progress in development of SRAC code system.

昭和 53 年	ライブラリ及び計算機能のドラフト, 多数群ライブラリ WG の設置と解消, 原子炉核設計 WG の設置
昭和 54 年	ライブラリ (ENDF/B-4 版) の作成
昭和 55 年	格子計算 (衝突確率法) - 炉心計算 (拡散法) のフロー完成 TCA, DCA, JMTRC, SHE の解析による機能の検証
昭和 56 年	格子燃焼計算及び 1.2 D SN ルーチンの追加 IAEA ベンチマーク, TRX 炉心の解析
昭和 57 年	マニュアルの発行 ライブラリ (JENDL-II 版) の追加
昭和 58 年	炉心燃焼及び燃料管理機能の追加

(1) 共鳴積分

格子計算のための多数断面積のうち共鳴領域のそれについては 3 つのオプションが設けられている。第 1 はボンダレンコ型のテーブル内挿によるもので、高速炉の計算で採用された方法であるが、現在世界各国で熱中性子炉にも広く採用されている。第 2, 第 3 の方法は大きな共鳴レベルが存在するエネルギー領域に限って、精度を上げて計算するもので、第 2 の方法は IR 法により第 1 の方法によって求めた値を置き換える。第 3 の方法はそのエネルギー領域を数千群に細分割して格子計算を衝突確率法で行うものである。

(2) 格子計算

格子計算は多くの場合衝突確率法 (14 種の幾何学的形状が準備されている) 或は 1.2 次元 SN 法で行われる。簡略な計算法では熱中性子領域についてのみ行われるが、SRAC では高速中性子領域についても行うことができる。

格子計算の結果、そこで得られた中性子束分布を重みにして均質等価な多群断面積が計算される。この段階で入力されたバックリングに対する B1 近似のスペクトルを計算し、洩れによるスペクトルの歪みを考慮して少数群断面積を計算できる。

(3) 格子燃焼計算

格子燃焼計算はこの格子計算の直後行われる。燃焼による組成変化は、定常中性子束を仮定した解析解が使用されている。実用上定常出力が要求されるので、上記定常中性子束は成立しなくなり、これを補うために、入力された燃焼ステップを細分割して、解析解を順次求めている。計算された組成変化は再び格子計算の入力に反映され、繰り返し格子計算が行われる。燃焼計算の結果は燃焼ステップ毎に巨視的断面積として保存される。

(4) 多重非均質格子の取扱い

上記格子計算で得られた均質等価な多群巨視的断面積は均質な物質に対する多群巨視的断面積と全く同じ型式で同じファイルに収容されるので、多重非均質性のある体系 (例えば多目的高温ガス炉にみられる、被覆燃料粒子が希釈材中に分散していることによる微視的非均質性及び燃料ペレットが黒鉛ブロックに挿入されることによる巨視的非均質性が同時に存在する) を解析する

際には、先ず微視的非均質性に着目して行った格子計算の結果は、それに続く巨視的非均質性を解く格子計算に使用できる。この操作はMTR型板状燃料を使用する研究炉の燃料要素の格子計算では、第1段階には一枚の燃料板を単位とする格子計算に続いて、第2段階には左右のサイドプレート、上下の水ギャップを考慮して2次元格子計算を行うのがより厳密であるが、この第2段階を分割して直交する方向についての2段階の1次元計算に置き換えることにより計算時間を短縮することに成功した。

(5) 炉心計算

炉心計算は簡便な1次元拡散ルーチンの他にCITATIONをルーチン化してこれに巨視的断面積を供給して計算させる方式で行う。1・2次元SNコードもルーチン化して利用できる。微視的断面積でなくて巨視的断面積のみを供給することから、オリジナルのコードが有していた機能のうちで微視的断面積を使用するものが働かなくなっている。それを補うために動特性パラメータ ρ 、 β を計算する機能、反応率の空間分布を求める機能が新たに付け加えられた。特色のあるものとしては格子計算で得られた拡散係数の異方性や、物質毎の核分裂中性子スペクトルや遅発性放出中性子がCITATIONルーチンで生かされるようになっている。

(6) 炉定数の群構造の縮約

格子計算の直後の巨視的断面積の群構造の縮約の可能性については既に述べたが、後続する炉心計算を格子計算と同じ多群構造で行うことができる。炉心計算の後で得られた中性子束を重みに断面積を縮約することができる。多群定数か少数群定数であるかは、使用するファイルのDD名で識別されるので、JOB STEPを切換えれば更に多段階の縮約を行うことができる。

(7) 炉心燃料計算

格子燃焼計算で得られた巨視的断面積を燃焼度、燃料温度、減速材温度で内挿することにより、運転状態にある原子炉内の燃料組成の任意の巨視的断面積が計算できる。出力分布の計算、燃焼度の増加、断面積の内挿の順に繰り返して実際の炉心の燃焼を予測できる。制御棒配置や燃料交換が行われたときは一旦計算が中断されるが、個々の燃料要素の燃料ヒストリーは保存されるので、燃料管理としての機能をもっている。Xeの個数密度については燃焼度よりも中性子束レベルに支配されるので内挿された値に対して炉心計算の過程で補正を行う。

(8) ライブラリ

断面積ライブラリとしては先ずENDF/B-4に基いたものを作成した。このライブラリは次の3つのファイルから成る。

1) 高速中性子領域群定数 (しゃへい因子表及び共鳴レベルパラメータを含む)

10 MeV	0.414 eV	74 群
--------	----------	------

2) 共鳴領域超詳細群断面積

130.0 eV	0.414	4600 群
----------	-------	--------

3) 熱中性子領域群定数

3.93 eV	0.00001 eV	48 群
---------	------------	------

こゝで高速中性子領域と熱中性子領域とはオーバーラップしているが、利用者はこの間の任意の群をカットオフの上下限として指定できる。

ライブラリとしては上記以外に燃焼計算のための定数を収容したものがある。これはENDF/

B-2に与えられているGarrisonモデル²³⁾のように最も簡単なものから、Iijimaモデル²⁴⁾のように46核種のFPを想定するものまで4種のFPチェーンモデルが選択できる。

昭和57年には原研核データセンタで編集されたJENDL-2²⁵⁾が利用可能となった。又U-235についてのみであるがENDF/B-5²⁶⁾も導入されたので、これらに基づく断面積ファイルを作成した。

(9) コーザ・ライブラリ

上記の多群ライブラリは通常の用途には、その群構造があまりにも細分されているので、計算機使用の容量、時間の節約のために、利用者は内蔵されている漸近スペクトルを用いて、十分と思われる縮約した群構造で必要な核種、温度のデータを収めたユーザ・ライブラリと呼んでいる原ライブラリと同じ型式のファイルを一旦作成してから多群格子計算を行うことになる。

この中間的ファイルを設けたために利用者は、核種毎にB-4、B-5、J-2の3種のオリジナルからデータを選択できる。

(10) フロー・ダイアグラム

以上でSRACの機能の概要を述べたが、Fig. 2.1にフロー・ダイアグラムを示す。菱形に書かれたIC 1, IC 2, ……は利用者がケース毎に入力する整数で、これによりプロセスの流れを指示する。

(11) 同種コードとの機能の比較

欧米諸国には同じ目的と用途をもった汎用コードがある。例えば米国のEPRI-CELL、仏国のAPPOLO、英国のWIMS、スウェーデンのCASMOであるがこれらは公開されていない(WIMSの旧版は公開)。これらの諸コードに比べてSRACシステムが備えている機能を列挙する。

- 1) RAY-TRACE法で呼ばれる方法で求める衝突確率ルーチンが解くことができる14種類の豊富な幾何学的形状。
- 2) ボンダレンコ型のテーブル内挿のみならずIR法(一部の外国コードには備えられている)や超詳細群、多領域での衝突確率法による共鳴積分の解法のオプション。
- 3) 高速中性子領域での格子計算。
- 4) 群定数の均質化と群縮約を分離したため多重非均質性のある体系の解析が可能。
- 5) 要求する精度と計算時間に応じて利用者が指定できる縮約された群構造の任意性。

2.3 ベンチマーク・テスト

SRACコード・システムの精度の検証のためにTable 2.2に示すようないろいろのベンチマーク計算を行った。このリストに示すように順に簡単な説明を行う。TCAは軽水炉、SHEは黒鉛減20%濃縮U炉心、DCAは軽水冷却重水減速圧力管型炉、JMTRCは、MTR型研究炉の臨界実験装置であり、これらで得られた臨界量の予測計算を行って、SRACシステムの第1段階の機能の検証を行った。高速炉のいろいろの組成の21炉心は、高速炉のための詳細データ・セットの検証に用いられるベンチマーク問題であるが、SRACに内蔵した高速中性子領域の断面積の妥当性を確かめるために行ったが、ENDF/B-4に基づくEXPANDA-4²⁶⁾による結果とほぼ同様の結果を得た。IAEAは研究・試験炉の低濃縮化のためのガイドブックを準備中であるが、

Table 2.2 Benchmark calculations for SRAC code system.

Core	Quantities	Remarks
TCA(UO ₂)	Keff	Square lattice of LWR
SHE 5-8	Keff, Flux(r)	Homogeneous Cores
SHE 12-14	Keff	Heterogeneous Cores to simulate VHTR
DCA(initial)	Keff, Spectrum indices *	Critical facility for ATR (H ₂ O Cooled D ₂ O moderated Pressurized Tube Type Reactor)
JMTRC	Keff, Flux(r)	Critical facility for MTR type Japan Material Testing Reactor
Fast Reactor Benchmark (21 cores)	Keff	Verification of fast neutron cross sections
Research Reactors for MTR, DIDO type	burnup, λ , β_{eff}	IAEA Guidebook for RERTR program
TRX-1,2	Keff, Spectrum indices *	Slightly enriched UO ₂ hexagonal lattice
ETA-1	Keff, Spectrum indices **	U235, Th232 D ₂ O moderated square Lattice, under moderated
ORNL 1-10	Keff	U233 solution
ORNL 11,12	Keff	U233, Th232 solution
ORNL 13-15	Keff	U235 solution
KUCA	Keff, B.P. worth	Critical experiments for KUHFTR
MSBR	Kinf	Molten Salt Reactor loaded with U233, Th232 in Li, Be, F
KINKI-UTR	Keff	Kinki Univ. Training Reactor
NEA Benchmark	Cell burnup	BWR lattice with Gd poison rods
FNR(LEU)	Keff	Ford Nuclear Reactor with 20% enriched fuel, Swimming Pool Type

* Spectrum indices $\rho_{28}, \delta_{28}, \delta_{25}, C^*$

** Spectrum indices $\rho_{02}, \delta_{02}, \delta_{25}, C^*$

そこで提起された MTR 型（軽水減速）及び DIDO 型（重水減速）の仮想的な炉心の炉心変換による特性の変化、燃焼特性、反応度係数の国際比較を行った。TRX は微濃縮ウラン軽水減速炉心、ETA-I は重水減速トリウム使用の中速炉心であるが、 ρ_{28} 、 δ_{25} 、 δ_{28} 等で知られるスペクトル・パラメータの測定が行われており、臨界量以外の計算値の検証を行うことができる。この他にも ORNL の臨界安全のための種々の水溶液の臨界炉心、KUCA は軽水減速の中濃縮燃料の研究炉、MSBR は U-233、Th-232 系の溶融塩炉、KINK-UTR は 2 分割型 MTR 型燃料黒鉛減速の大学訓練炉、NEACRP による Gd 可燃性毒物棒を含む BWR を模擬した仮想格子の燃焼計算の国際比較、FNR は低濃縮（20%）を使用した MTR 型研究炉というように実在する殆どすべての熱中性子炉を対象として計算値と実験値との比較、或は計算値の国際比較が行われ満足する結果を得た。但し ORNL のいろいろの炉心のうち中速炉心で異様な結果を得たので散乱次数をあげた SN 計算を行って再計算する予定である。

以上いろいろの炉型についてのベンチマーク・テストについて述べたが、SRAC の機能の検証という立場から考えると、それだけでは十分でなく、用意されているすべての選択的な機能をすべてテストしたわけではない。現に最近でも一般的でないパスや条件で使用した場合にプログラム・エラーがおりおり発見され、その都度プログラムを訂正してきた。ライブラリに収容されたデータについても同様に更新がおりおり行われている。今後このような作業がある期間は要求されるものと覚悟しなければならない。従って新しい機能を付加することとは別に保守管理の作業が必要であることに留意されたい。

2.4 PDS ファイルについて

SRAC の大部分のライブラリや出力ファイルは PDS ファイルに書き込まれる。これは Partitioned Data Set の頭文字をとったもので、データセットの編成は PO でありロード・モジュールの書き方と同様レコード・フォーマットは U である。ブロック・サイズは指定できる。一連のデータが 8 文字で指示されるメンバ名のもとにバイナリ・モードで書き込まれる。このファイルを FORTRAN で読み書きするためにアセンブラ言語で書かれたサブルーチン RWPDSF を介する。このサブルーチンのおかげで、DD 名を切り換えたり、メンバ名を指示できる。可能な機能は書かれた一連のデータの長さを知ること、読む、書く、抹消する、改名することである。このサブルーチンは SRAC の本体のみならず、補助プログラムにも利用されており、この型式で書かれたファイルの内容を読んだり、修正したりすることができる。このファイルは端末から発する TSS コマンド LISTD、DELETE、RENAME 等も使用できる。

この型式のファイルを使用することの利点は、8 文字で構成されるメンバ名を用いてデータを読み書きできることである。この 8 文字はケース ID、物質 ID、核種 ID 等のいずれかと、反応、温度、領域番号のような物理的な内容を表す文字との組合わせて構成してある。例えばメンバ名リストを見るだけで、計算の進行状況を確認できる。従来のシーケンシャル・ファイルで検索のために空読みしたり、REWIND なしに READ と WRITE の切り換えができないという不便は全くない。

逆にこのファイルの使用によって生ずる欠点は、RWPDSF というサブルーチンが使用される

たびにファイルの OPEN, CLOSE を行うので CPU 時間に比べて、経過時間が長くなることである。

検索機能を要するプログラムを作成される方にはこの PDS ファイルの利用を推奨したい。

Fig. 2.2 には PDS ファイルを使用するための既成ルーチン READ, RWPDSF, PDSERR の CALL の仕方を示し、Table 2.3 には利用者の作成する FORTRAN プログラムでの書き方の一覧を示す。

Table 2.3 List of FORTRAN statement to use PDS file.

COMMON/PDSPDS/BUF (540), ISW, FILENM(3), ECODE

DIMENSION NAME (2), ARRAY (10000), NAME2 (2)

(読み込み)

CALL READ (NAME, ARRAY, LENGTH)

(書き込み)

CALL WRITE (NAME, ARRAY, LENGTH)

(メンバの抹消)

CALL DELETE (NAME)

(メンバ名の改名)

CALL RENAME (NAME, NAME2)

(データ長を知る)

CALL GETLEN (NAME, LENGTH)

但し、

NAME : メンバ名 8 文字を収める変数

ARRAY : 読み書きの対象となる変数列

LENGTH : メンバに書かれる変数の数

ISW : 初期値は 0 にセットされ、そのとき DDN = "USERPDS" であるファイルが対象となる。ISW = 1 と変更すると FILENM(1), FILENM(2) に入れた 8 文字が DDN として指定される

ECODE : エラー・コード、正常終了のとき 0 が入っている。0 以外のときはサブルーチン PDSERR が群ばれエラー・メッセージが印刷される。

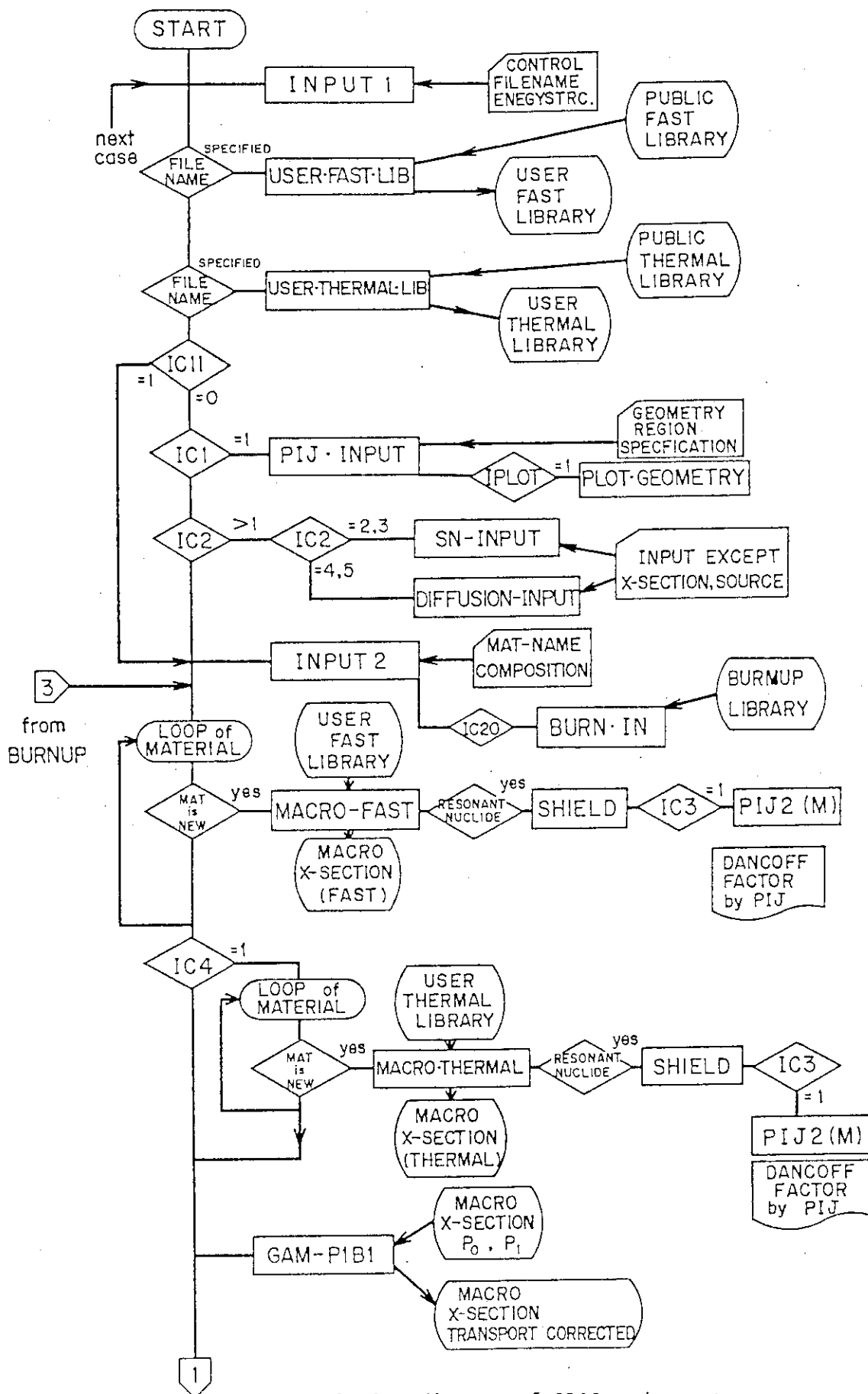


Fig. 2.1 Flow diagram of SRAC code system.

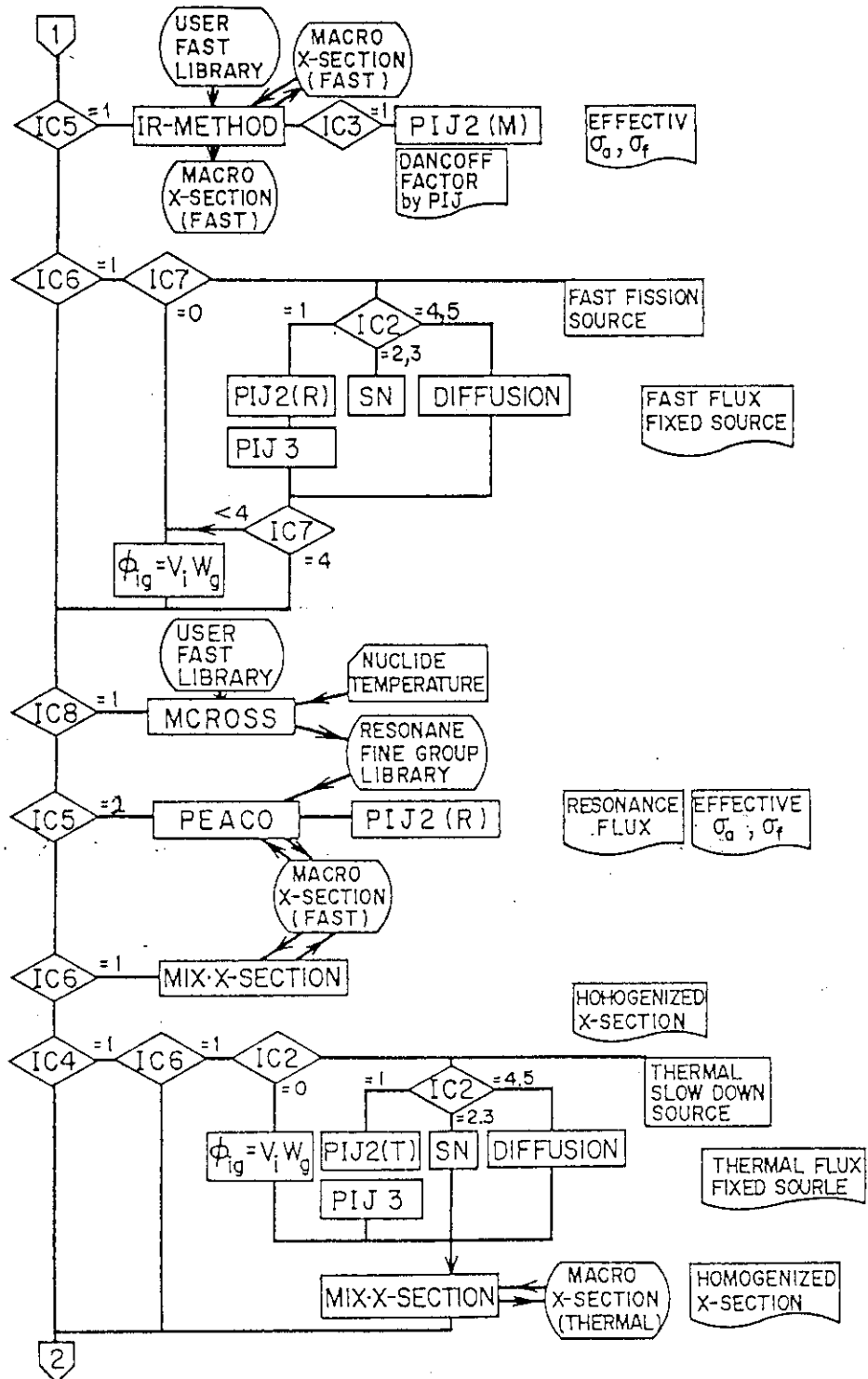


Fig. 2.1 Flow diagram of SRAC code system. (continued)

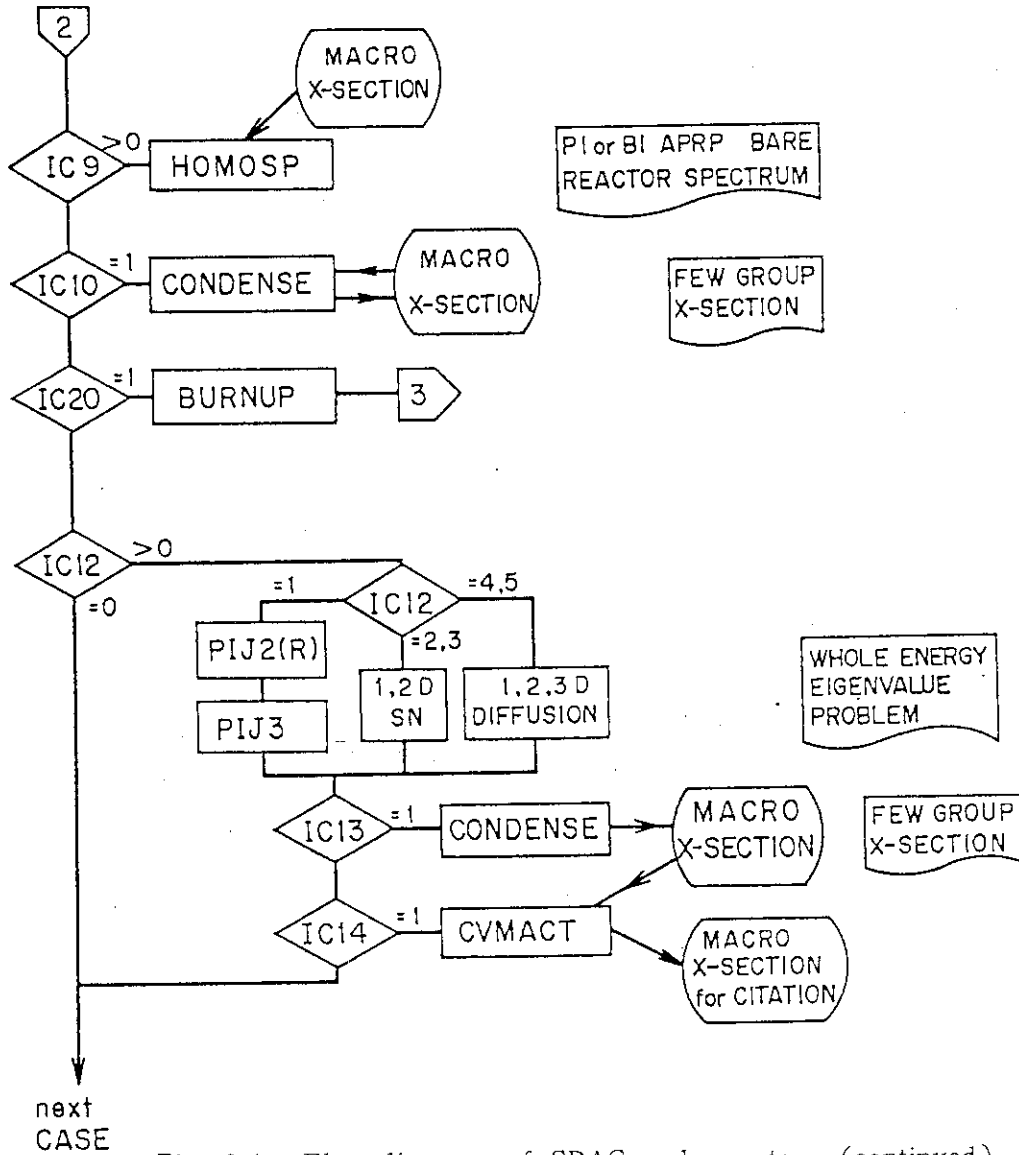


Fig. 2.1 Flow diagram of SRAC code system. (continued)

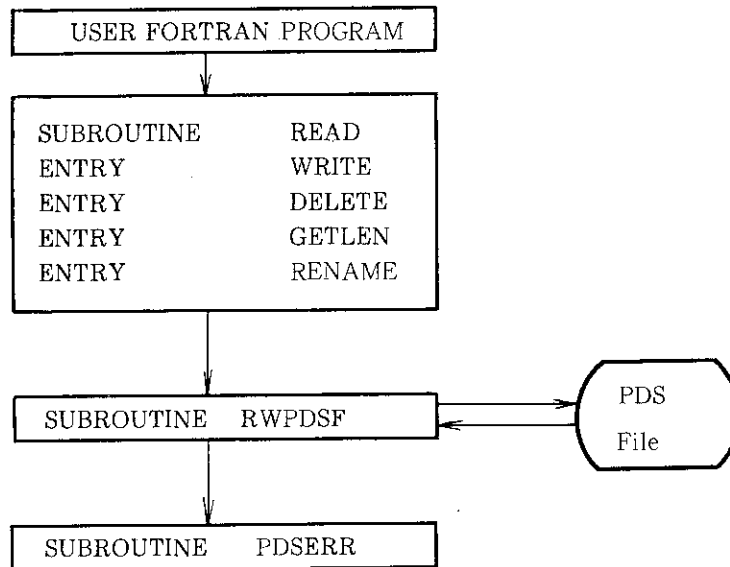


Fig. 2.2 Usage of subroutine RWPDSF.

2.5 開発に要したマンパワー

開発に必要なマンパワーはプログラミングとライブラリ作成に分けて考えられる。Table 2.4 にプログラミングに要した工数表をルーチン別に示す。参考のために推定作業量も示してあるが、実質作業量が幾分これを上廻っている。こゝには一応完成したと見られる時点での工数が示されているが、利用に供したあとで、指摘されたプログラム・エラーの解決のために要する作業量が全部で10人月分程度加算されねばならない。

ライブラリの作成には第1版のために4人月、その後、JENDL-II版及び熱中性子散乱ライブラリの改良のために2人月を要した。今後は新しい版を作成するには1人月で十分である。

2.6 開発を通じての反省

開発着手以来5年経過し、SRACシステムは一応完成した状態にあるが、開発に係わったものとしていろいろ反省するところが多い。

(1) 単体コードの組み込み

1.1) コモン・データ

SRACにはANISN、TWOTRAN、CITATION、並びに衝突確率法というように中性子束分布を求めるための種々の単体コードが組み込んであるが、これらをコントロールする主プログラムとの間で名前付きコモン・データで情報を交換している。この情報には単体コード間で共通なものが多いが、それらを本来同じ物理量が同じ順に並ぶように設計すべきところを、分担したプログラマーにまかせたため順序不同となり、デバックの段階で苦労した。

1.2) データ入力と計算部との分離

SRACでは入力データの誤りを計算開始直後に検出できるように、ANISNとTWOTRANについては単体コードのサブルーチンをデータ入力部と本来の計算する部分に2分して、別々に主プログラムから呼ばれるように組んだため、多大の作業量を要した。それに反してCITATIONについては入力及びテスト部分をコピーして、計算開始後に使用し、読み込んだデータは一時ファイルに入力と同じ型式で書き込んだ。主計算時には再び同じルーチンを使用して一時ファイルから同じデータを読み込み、単に印刷を省いたのみで同じ目的を達成した。後者の方法にすべて統一すべきであった。

(2) 作図機能の欠除

SRACには部分的に幾何学的形状、断面積、中性子束分布を作図する機能を有しているが、未だ十分でなく、特に2次元形状での中性子束分布や反応率分布の作図については利用者からの要望が強い。幸いに必要な情報は記憶されているので、今後補助プログラムによってこの問題を解決してゆきたい。

(原子炉工学部 土橋敬一郎)

Table 2.4 Manpower invested to develop SRAC code system.

ルーチン名	計算の目的	実行ステップ数	プログラミン		作業	比率	担当者	推定作業	実質作業量	コメント
			内容	分類						
MAIN	各ルーチンの制御	1000	ルーチンの制御	分析	100%	6人月	5人月	6人月		
INPUT	計算方法、幾何学的形状	500	入力処理	作成	"	4	0.6	4		
MACROF	高中速領域、巨視的断面積	700	入出力修正	改造	40	"	0.9	3		
MCROSS	共鳴領域、微視的断面積	800	入出力修正	変換	5	2	0.1	2		
MACROT	熱中性子領域巨視的断面積	200	改造	改造	50	"	0.3	2		
PIJ1	衝突確率のためのPATH TABLE	2000	プログラムの分割	"	30	6	7	12		
PIJ2	衝突確率の積分	300	普通データの編集	"	"	2	0.12			
PIJ3	中性子束分布、均質化断面積	1000	入出力修正	変換	5	2				
SN1	SN CONSTANTS	500	プログラムの分割	改造	30	4	6	8		
SN2	巨視的断面積のformat変換	1500	"	"	"					
PEACO	中性子束分布、均質化断面積	2000	入出力修正と複原	"	40	3	6	4		
HOMOSP	共鳴領域、中性子分布、均質化断面積	500	新規作成、代用品あり	分析	100	4	2.5	2		
PROF-GROUCH-G	均質化断面積を用いての中性子スベクトラム	16000	入出力修正	変換	5	2	?	2		
THRMO	高中速領域ライブラリ	1500	"	"	10	"	0.23	6		
PIXSE	熱中性子散乱マトリックス	1500	"	"	"	"	0.23			
多群拡散	熱中性子領域ライブラリ	1000	入出力修正	変換	5	1	0.12	2		
CONDENSE	1次元拡散		新規作成			2	0.13	10		
多群拡散	ライブラリ群構造の縮約				100	2		6		
BURNUP	2次元, 3次元				10	8		10		
GEOM	格子燃料計算				"	4		2		
MFLOT	格子形状と領域番号の作図				"	4				
REAC	断面積と中性子束のプロット	1000	新規	分析	100			1		
COREBURN	反応率分布, スペクトルパラメータ	2000	新規	分析	100			3		
LBETA	炉心燃焼と燃料管理	1000	新規	分析	100			2		
PERT	異方性拡散係数の利用と安全パラメータ	1000	新規	分析	100			2		
	振動法による反応度							18		
	他にドキュメント作成							計102		

参考文献

- 2.1) 土橋, 秋濃, 永岡, 石黒: "熱中性子炉体系標準核設計コード・システム SRACによるベンチマーク計算", JAERI-M 9781 (1981)。
- 2.2) Tsuchihashi K., Takano H., Horikami K., Ishiguro Y., Kaneko K., Hara T. : "SRAC : JAERI Thermal Reactor Standard Code System for Reactor Design and Analysis", JAERI 1285 (1983).
- 2.3) Garrison G.D. and Ross B.W. : "Fission Product Capture Cross Sections", Nucl. Sci. Eng., 12, 115-134 (1962).
- 2.4) Iijima S. and Yoshida T. : "Fission Product Model for BWR Lattice Calculation Code", Jour. Nucl. Sci. Technol., 19, 96-106 (1980).
- 2.5) Kikuchi Y. and members of JNDC : "Present Status and Benchmark Tests of JENDL-2", Nuclear Data for Science and Technology, Proceedings of International Conference, pp.615- , 6-10 September, 1982, Antwerp.
- 2.6) Suzuki T. : "EXPANDA-4 : One-Dimensional Diffusion Equation Code for Fast Reactors Using the JAERI-Fast Set", JAERI-M 3660 (1969).
- 2.7) Asai K. : "On PDS Files", Private Communications (1974).

3. TRITON システム

3.1 開発の目的と用途

臨界プラズマ試験装置 JT-60 の稼動を間近に控え、世界的にもトカマクによる核融合研究は大型装置の時代に入った。INTOR や実験炉等次世代のトカマク型装置の検討・設計も詳細に行われるようになってトカマク研究は全般的に工学的開発段階にあるとも言える。これは、炉心プラズマ物理の解析についても例外ではなく、総合的なプラズマ解析の必要性が高くなって来たことを意味する。従来、炉心プラズマの解析は、一つの現象に着目して特別なモデルを組立てて特に設定した条件のもとで分析的に計算を進めることが多かった。言うまでもなく、このような方法によって、プラズマについての多くの基礎的事実が明らかになってきた。しかし、具体的にある特定のトカマク装置において限界ベータ値はどれ位か？、加熱効率は何？、ディスラプティブ不安定性はどのような条件でおこるか？、閉込の時間は？、等の質問に答える事は困難である。実験解析や装置の設計のための必要性からトカマク・コードを用いてプラズマ挙動のシミュレーションを行うが、経験則や半経験則に対する依存度が大きい。要するに、理論的に支持されている基礎的法則とトカマクの実験解析や装置設計に直接適用可能な経験的比例法則の間のギャップを埋めることは緊急を要する大きな課題であると言える。

この課題を解決するためには、従来解析を行う度に別々に用意されることの多かったモデル間の関係を明らかにし、解析条件をなるべく共通にすることにより、一つの現象を多くのモデルにより多面的に解析すると共に一つのモデルによって多くの現象を解析し現象相互の関連を解明するという総合的解析手法をとる必要がある。TRITON 計画はこのような観点からトカマク・プラズマの閉込め・加熱について総合的な理論解析を行いプラズマ挙動に関する包括的な描像を確立することを目的として設定された計画である^{3,1)}。本計画は、昭和 52 年度に開始され昭和 58 年度にその第 1 段階を終了、直ちに第 2 段階へと移行する。第 1 段階 TRITON 計画は、磁気流体モデルに基づく計算に重点を置き、主として、トカマク・プラズマの安定性解析についてのコード開発と解析を中心として計画を遂行して来たが、第 2 段階 TRITON 計画では、磁気流体モデルに加えて、粒子モデル、粒子運動論モデルをも駆使してより一層総合的トカマク解析へと進む予定である。TRITON システムは、それぞれの段階に対応して TRITON-I, TRITON-II システムと呼ばれる。TRITON-I, TRITON-II システムの違いは、上記のようにモデルの拡張の他、実験的、理論的研究の進展による新しい知識の集積に基づく部分が大きいことは言うまでもないが、更に、計算機システムの進展により、今後、今までの 10 倍以上の規模の巨大計算が可能になることによることが重要である。特に、TRITON-I 計画の一環として進められたベクトル計算機 (FACOM 230-75 APU) の試用は、非線形磁気流体コード AEOLUS-RT を用いた巨大ジョブの実行に有効であったが、それにもましてベクトル計算機の利用技術の習得は来るべきスーパー・コンピュータの時代に計算機を使いこなす上での重要な成果として TRITON-I システムの無形の一要素をなしていると言える。

TRITON-システム各コードは、全システムの完成を待たずして、種々の解析に用いられ成果を上げつつあるが、今後これらのコードは TRITON システム管理コード HARMONIA によって緩く統合され、実験解析や核融合炉設計計算を進める上で役立たされることになる。次章でも述べるように、炉心プラズマ解析コードの最大の特長は、これらコードのモデルが完全には確立していないということである。このため、TRITON システムのコードは、コードの内容について一定の知識を仮定した上で、コードの管理、計算データの管理・利用等に十分配慮して構成されている。特に、各物理解析コードは、採用したモデルについては厳密な定義を与え、そのモデルの範囲内ではあいまいな近似をさげ高精度の数値解析法を追求して開発されている。このため、システム自身は、モジュラー構造をとった一般的なコード・システムとはなっていないが、将来研究の進展と計算機システムの性能の向上により精度の高い本格的シミュレーション・コードの開発が可能となった時点でそれぞれのコードは基本コード群として有効に利用されるものである。

以下、本章では、TRITON-I システムの内容と開発過程での問題点等について簡単に記述する。

3.2 TRITON システムの概要

TRITON システムの特長の一つは、このシステムが炉心プラズマの挙動を基本的な方程式に基づいて解析するという点であって、これが巨視的な比例法則に基づいて構成される工学的シミュレーション・コードと最も異なる点である。各物理コードは、解析的計算結果と比較される厳密さと精度の高さが要求される。このため各コードのモデル化、数値解析手法、条件設定の範囲等については常時改良と拡張が加えられており、全システムとしての要請から各要素コードが開発されていくというよりも各要素コードの発展により全システムが構成されていくという形をとる。このような構成のもとでは、全システムとしてのまとまりをとって、前節で述べたような多モデルによる多現象の総合的解析を進めることは困難に見える。しかし、一方では、炉心プラズマの総合的解析の必要性がきわめて高いことを考えると、このように一見矛盾する発展形の総合的解析コード・システムの開発が緊急の課題となる。

そこで、TRITON システムでは、物理解析コード群 ASTRAEA と各種支援コード群 PARIS, ARGUS, PEGASUS を明確に分離し、ASTRAEA については研究の展開に応じて自由な発展を許すと共に支援コード群、特にシステム管理を担当する PEGASUS コード群によって全システムの統合をはかる開いたシステム概念を採用している (Fig. 3.1)。

以下、ASTRAEA, PARIS, ARGUS, 及び PEGASUS について解説する。

3.2.1 ASTRAEA

ASTRAEA は、TRITON 計画の遂行という点から最も重要な部分である。TRITON-I における ASTRAEA コード群は、主として磁気流体モデルに基づいて作成された平衡コード群及び安定性コード群を中心として構成されている。

磁気流体モデルに基づく数値計算の特徴的事項として次のようなことが考えられる。

PROJECT TRITON

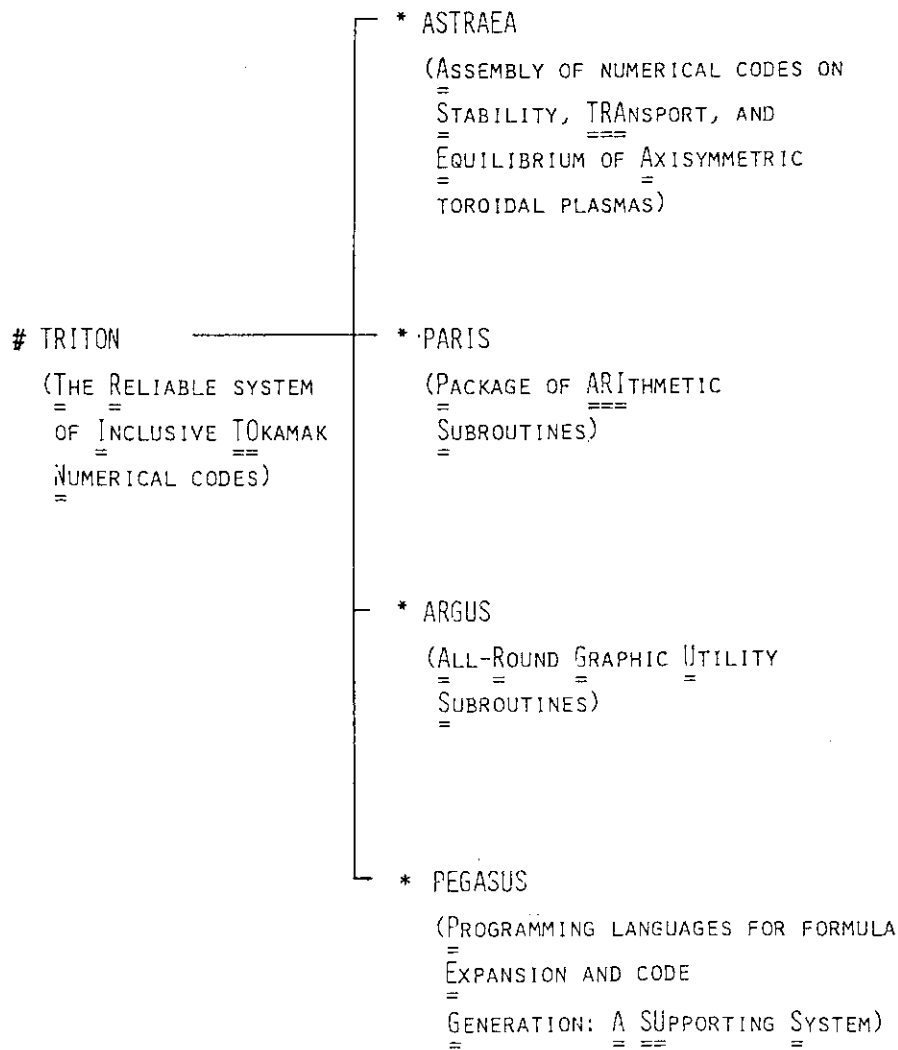


Fig. 3.1 TRITON code system.

- (1) 関連する時定数の巾が極端に広いこと : 磁気流体方程式の完全系にはアルフベン時間から抵抗時間に至る広範囲の時定数を含む現象が含まれている。この時定数の巾を狭めなければ方程式系を時間積分することは事実上不可能である。平衡解を求め、線形化方程式を用いてこの平衡についての定常解を求めて安定性を解析する方法は最も洗練された解析法の一つである。非線形安定性の解析を行うためには磁気流体方程式系を直接時間積分を行う必要がある。この場合には、解析的あるいは数値的操作によって最小時定数の現象を除くようにするか、時定数の変化の巾が小さいような特殊なパラメータ分布のプラズマに限って計算を進める他はない。
- (2) 磁気面内及び磁気面垂直方向の非等方性の存在 : トカマク・プラズマの性質は、磁気面内とこれに垂直な方向について著しく非等方である。このため、高精度を要する安定性解析では磁気面のラベルを座標の一つとして採用することが不可欠である。
- (3) 多くの重要な現象が磁気流体モデルの範囲内で閉じていない : 与えられた磁気流体的平衡

解について理想的磁気流体的不安定性を解析する場合以外は各種の輸送量についての情報を持たなければこの方程式系を解くことはできない。粒子モデルや粒子運動論モデルによる解析と強い結合をもったコードを開発することは TRITON-II の課題となる。

TRITON-I の ASTRAEA に含まれるコード群は、(1)平衡及び準平衡系列計算コード群、(2)線形磁気流体安定性解析コード群、(3)非線形磁気流体安定性解析コード群に分類できる。(1)については Table 3.1 に、また(2)、(3)のコードについて Table 3.2 にまとめてある。以下に、これらのコード群について簡単に記す。

Table 3.1 List of equilibrium calculation codes.

name of code	boundary condition	mesh*	type**	remarks
SELENE10	fixed	FEM, Q	NEP	scalar pressure
SELENE40	semi-fixed	FDM, R	FCT	scalar pressure
SELENE50	semi-fixed	FEM, Q	NEP	scalar pressure
SELENE5F	semi-fixed	FEM, Q+F	NEP	scalar pressure
SELENE-T	semi-fixed	FDM, R	NEP	tensor pressure

- * FEM : Finite Element Method
- FDM : Finite Difference Method
- R : Rectangular Mesh
- Q : Quadrilateral Mesh
- F : Fourier Expansion in Poloidal Direction
- ** NEP : Nonlinear Eigenvalue Problem
- FCT : Flux Conserving Tokamak

(1) 平衡及び準平衡系列計算コード群

トカマク・プラズマの研究開発において最も重要なパラメータの一つは、プラズマ圧力と閉込め磁場圧力の比を示すベータ値 (β) であるが、このベータ値を線形安定性解析から定めるためには、きわめて高い精度の平衡計算を必要とする。トカマク・プラズマの磁気流体的平衡解は軸対称性と圧力の等方性を仮定すれば、次のグラド・シャフラノフ方程式を解くことによって得られる。

$$\Delta^* \psi \equiv \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Z^2} = -\mu_0 r j_\varphi$$

ここで、

$$j_\varphi = r \frac{dP}{d\psi} + \mu_0 \frac{T}{r} \frac{dT}{d\psi}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \frac{T}{r} \mathbf{e}_\varphi - \frac{1}{r} \mathbf{e}_\varphi \times \nabla \psi$$

} (3.1)

座標系は、装置の中心軸を Z 軸としトーラス周方向に ψ 、径方向に r をとった円柱座標系 (r, ψ , Z) を採用する。平衡解 $\psi(r, Z)$ を得るためには j_φ と境界条件を与えて上式を解く必要

Table 3.2 List of stability analysis codes.

Models, Codes and Problems

	Linear analyses		Nonlinear analyses	
	Cylindrical plasma	Toroidal plasma	Cylindrical plasma	Toroidal plasma
Full set of ideal MHD equations	<p>THALIA</p> <p>*m=2,3 ideal modes</p>	<p>ERATO-J, TERA</p> <p>*internal kink mode</p> <p>*ballooning modes</p> <p>*positional inst.</p>	<p>(AEOLUS-P)</p> <p>*positional instability</p>	
Full set of resistive MHD equations	<p>NOTUS-C1</p> <p>*effects of compressibility</p>	<p>(NOTUS-CT)</p> <p>*resistive ballooning modes</p>		
New reduced set of resistive MHD equations	<p>NOTUS-I1</p> <p>*m=1 resistive internal mode</p> <p>*transition of m=2,3 ideal-resistive modes</p>	<p>NOTUS-IT</p> <p>*m=1 mode in whole β_p regimes</p> <p>*resistive ballooning modes</p>	<p>AEOLUS-I1</p> <p>*m=1 resistive internal mode</p> <p>*finite β effect on major disruption</p>	<p>(AEOLUS-IT)</p> <p>*m=1 mode in whole β_p regimes</p> <p>*resistive ballooning modes</p>
Reduced set of resistive MHD equations	<p>NOTUS-R1</p> <p>*transition of m=2,3 ideal-resistive modes</p>	<p>NOTUS-RT</p> <p>*$\theta(\epsilon)$ finite β effect on m=1 resistive internal mode</p> <p>*shape effects on m=2,3 modes</p>	<p>AEOLUS-R1</p> <p>*sawtooth oscillation</p> <p>*effects of aspect ratio and β on major disruption</p>	<p>AEOLUS-RT</p> <p>*$\theta(\epsilon)$ finite β effect on m=1 resistive internal modes</p> <p>*shape effects on m=2,3 modes</p>
Reduced set of resistive MHD equations with diamagnetic effects	<p>NOTUS-D1</p> <p>*m=1 mode</p> <p>*m=2 mode</p>	<p>(NOTUS-DT)</p>	<p>AEOLUS-D1</p> <p>*nonlinear saturation of m=1 mode</p>	<p>(AEOLUS-DT)</p>

があるが、この際 P 及び T が ψ の非線形関数であることに注意しなければならない。TRITON システムでは、 λ を固有値として $P(\psi) = \lambda \tilde{P}(\psi)$ 、および $T(\psi) = \sqrt{\lambda} \tilde{T}(\psi)$ の関数形を与えて解く非線形固有値平衡コードと、 $\alpha(\psi) = P(\psi) (d\psi/dV)^{-1}$ および $q(\psi) = T(\psi) \oint dl / (r^2 B_p) / 2\pi$ を与えて解く磁束保存型 (FCT) 平衡コードが用意されている。特に、FCT 平衡コードは、 $q(\psi)$ を固定し圧力を増加するだけで比較的現実的な準平衡系列を得ることができるのでベータ値比例法則を得るための安定性解析に都合よい。高精度平衡を得る努力は常時続けられており、現在逆平衡解析コードおよびスプライン基底平衡解析コードの研究開発が進められている。前者は、通常の平衡コードが $\psi, \chi = f(\mathbf{r})$ を求めるのに対して $\mathbf{r} = F(\psi, \chi)$ を数値的に求めるもので特に高ベータ平衡に威力を発揮するものと考えられている。また、後者は安定性コードとのインターフェイス改良の段階で得られたアイデアに基づくコードで比較的少ないメッシュ数で高精度のメトリック量の計算が可能と考えられている。この他に、非等圧力平衡コード等も用意されている。

(2) 線形磁気流体解析コード群

現実のトカマク・プラズマ中の現象には非線形性が関与しているが、安定性限界を調べてベータ値比例法則を求めたり、不安定性の性質を詳細に解析し、安定化要因や不安定化要因を明確にするには線形安定性解析を進めることが重要である。

このコード群に属するコードには、ERATO および NOTUS の各コードがある。ERATO コードは、散逸の無い理想的磁気流体モデルに基づくコードで、NOTUS は散逸を含む磁気流体モデルに基づくコードである。

ERATO コードは、最初スイス・ローザンヌ工科大学の Gruber によって開発されたコードを導入したものであるが、導入後数々の改良と拡張を加えて ERATO-J として TRITON-I コード・システムに登録されている。このコードは、理想的磁気流体方程式系を線形化して得られたエネルギー積分の表式に混成有限要素法を適用し行列の固有値問題に変換し逆巾乗法を用いて最小固有値 (不安定性成長率の自乗) を得ることを基本にしているが、ERATO-J においては次のような諸点が改良されている。(i) 高精度写像モジュールの採用、(ii) 中間および高 n モード安定性解析に不可欠な準モード表示法の追加、(iii) 真空磁場エネルギー計算のグリーン関数法のベクトル・ポテンシャル法への変更、および (iv) 大次元疎行列の圧縮法の採用。これらの改良により、高精度化が達成されると共に、計算機システム資源の大巾な節約が可能となり、今まで不可能だったパラメータでの安定性解析が可能になった。

NOTUS コードは、トカマク・プラズマの重要な現象であるディスラプションに関連する抵抗性磁気流体不安定性の基礎的性質を調べるのに有効なコード群である。ディスラプションの全体像を描くためには後に述べる非線形時間発展コード AEOLUS を用いることが必要である。NOTUS コード群には、AEOLUS コード群に対応して同じモデルに基づいた線形コードがある。NOTUS コード群には、AEOLUS コード群に対応して同じモデルに基づいた線形コードが用意されていて、ERATO コードの場合と同様に行列の固有値解法により不安定性成長率を計算し各種パラメータ依存性が明らかにできるようになっている。この際、特に注意すべき点は、解くべき行列がエルミット行列でない事で大規模な固有値問題を解く効率的な方法が確立されていない。TRITON-I コード・システムの各 NOTUS コードは、物理的考察を加えて限られた条件

のもとに解が得られるようになってきているが、一方、高精度の非エルミット行列解析法の開発も進められている。

(3) 非線形磁気流体解析コード群

ディスラプションは、プラズマを破壊し、装置に損傷を与える可能性があるのみならず、小規模なものについても閉込めを悪化する可能性があるため、その機構を解明し制御方法を確立することが重要である。この問題に対して流体モデルの側面より解析するには非線形抵抗性磁気流体方程式系を用いたシミュレーションを行うことが必要である。理想的には、この方程式系をそのまま時間積分することによって不安定性の成長を模擬することができればよいのであるが、実際には、この方程式系に含まれている時定数の巾が広すぎて、現在の計算機システムの処理能力をもってしては現実的なシミュレーションを行うことはほとんど不可能に近い。これに対処するため通常よく用いられるのは、いわゆる簡約方程式系を用いる方法である。簡約方程式系は、非圧縮性の仮定とトカマク・オーダリング(主半径 \gg 副半径)を使うことによって、最小時定数を排除し8コの未知数を3コに減らすことによって、トカマクのディスラプション・シミュレーションを無理の無い時間で可能にしている。もっとも、このような簡約化によっても1ケースのシミュレーションを実行するのに要するCPU時間はM-380クラスの計算機で数10時間を必要とする。このため、ベクトル計算機に対する期待は大きく、FACOM 230-75 APUを用いて最適化の研究が精力的になされた。ところで、このようなトカマク・オーダリングを導入することによって高次の(不)安定化項が無視されるために、現象によっては正しい再現がなされなくなる。このため原研では、非圧縮性の仮定だけを使った新簡約方程式系(非圧縮性抵抗性磁気流体方程式系)の導出を行い、コードを開発し、解析に用いている。簡約方程式系、新簡約方程式系に基づくコードはそれぞれRおよびIで区別し、また、円柱配位プラズマ、トーラス・プラズマをCおよびTで区別して、AEOLUS-RC、-RT、-IC、-ITの4種類の非線形抵抗性磁気流体コードがある。非線形理想的磁気流体コードとしては、位置不安定性を解析するためのコードAEOLUS-Pが開発中であるが、このコードは2次元自由境界コードである。

3.2.2 PARIS

ASTRAEAに含まれる各物理コードの用いている数値解析コードは、いずれも高性能を達成するために特別に開発・整備された専用コードであるが、一部は一般の問題に利用可能であるようにPARISコード群として登録されている。これらは、大規模対称帯行列コードHYMNIA-E、テアリング・モード解析用非エルミット行列解析コードMAIA、平衡量写像用補間コード等である。

3.2.3 ARGUS

TRITON計画で対象としているような大規模計算を実行し、核融合プラズマの解析に十分役立てるためには、大量の出力データを図形化し必要な情報の選択を効率的に行えるような方策を立てることが肝要である。現在、原研では図形出力のためにCalcomp仕様の図形出力ライブラリが用意されているが、これは、線と記号の出力を可能とする基本的プログラムであるため、実際的なグラフや図形を出力するためには利用者がその度毎に必要なサブルーチンを用意しなけれ

ばならない。また、特別な用途のための図形プログラムも種々開発されているが、色々の問題に広く使うという点からは不十分なものが多い。ARGUS-V1~V4は、このような現状に対処するために、広い範囲の図形プログラムのサブルーチン・ライブラリ化を行ったものである。

ARGUSの最大の特長は、ライブラリの各サブルーチンを機能別にGDSルーチン、CDSルーチン、DSPルーチンの三種に分類したことで、GDSで図形データの登録、CDSで図形制御データの登録を行い、DSPで図形表示を行うようになっている。例えば、GDSとDSPのサブルーチン群から各1つのサブルーチンを呼ぶことによりかなり複雑な図形でも簡単に描くことができる。

3.2.4 PEGASUS

TRITON計画で対象としている計算コードあるいは数値計算は、やゝ割切った表現をするならば、核融合プラズマ物理の問題の解決を主目標としており、精密で分析的であることがその特徴である。これは、工学的な問題を対象として複雑で且つ統合的なモジュラー・コード・システムと最も異なる点である。この特徴の故に、TRITONシステムの各コードは、常時発展を続けており、多くのコードを適切に管理し、また、正しく利用されるような方策を立てる必要がある。これらのコードの中にあつて、平衡コードのような標準コードもあつて、この種のコードの出力データは多くの解析に普遍的に利用され全体の解析の総合化に役立っている。

モジュラー・コード・システムでは、このようなシステム全体の円滑な運用に関する制御はシステムが統一的に行うものであるが、TRITONシステムにあつては、上に述べた事情から、個々の目的に応じてシステムの管理・運用に必要な各種のプログラムがPEGASUSコード群として用意されている。PEGASUSコード群に属するプログラムには、次のようなものがある。

- (1) HARMONIA^{3.2)} : TRITONシステムに属するプログラムの管理コード。ディスク上にとられたインデックス・ファイルに各種情報が登録されており、MT上にとられたバルク・ストレージ・ファイルにプログラムやデータ等のファイルが保管される。TSSコマンドによってインデックス・ファイルの情報の入出力、バルク・ストレージ・ファイルの内容の入出力が容易にできる。また、インデックス・ファイルの情報を使ってコンピュータ・コード・カタログを作成するドキュメント機能もある。
- (2) GAEA : シミュレーション・データの保管・検索・加工・表示を行うための専用データベース・コード。計算結果の生データはライン・プリンタ用紙を使わず、ディスク・ファイルに保管し、各種のデータ処理は端末を通して行うので計算データの解析の効率が向上する。現在開発中で未完成。
- (3) PLUTO : 計算プログラム解析コード。プログラム構造、コモン変数、サブルーチン引数、入出力変数の関係等の解析を行い、ドキュメントを自動作成する機能を持つ。また、2種のプログラムを比較して相違点を出力することもできる。
- (4) EOS^{4.3)} : コモン文等の挿入抽出プリプロセッサ。大規模計算を行う時には、利用計算機システム資源を常に必要最少限にすることが要請される。このためには、フォートラン・プログラムの配列領域の大きさを計算毎に容易に変更できることが望ましい。EOSではコモン文やディメンジョン文の挿入を可能としており、また、これらの文の配列の大きさを式によって与えることが可能になっている。更に、通常フォートラン・プログラムからEOS形式のプログラムに変

更するための逆EOSプリプロセッサも備えている。ARGUS, PEGASUS についての詳細は付録に述べる。

3.3 コードの最適化

TRITON コードの多くは、偏微分方程式を一定の境界条件の下で解くことを目的に開発されている。核融合プラズマは、種々の現象を含んでいるため、TRITON コードの軸となっているMHD現象に限っても、多くの解析対象が存在し、それに対応してコードが開発されている。この節では、5つの目的を例にとり、コードの最適化について述べる。ここで言う最適化とは必ずしもCPU時間の短縮だけではない。精度の向上やディスク容量の削減等、解析目的に合わせた計算機資源の適正配分を意味する。

3.3.1 高精度補間と平衡

MHD現象を解析する際の出発点になるのは、MHD平衡である。平衡状態とは圧力と電磁力がつりあっている状態で、

$$\left. \begin{aligned} P &= \mathbf{J} \times \mathbf{B} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mathbf{J} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

で表わされる。ここで P , \mathbf{J} , \mathbf{B} はそれぞれプラズマの圧力、電流密度、磁束密度である。トカマクのような軸対称系では、磁束密度が、磁束関数（流れ関数のようなもの） ψ を使うと、(3.2)式は(3.1)のような楕円型偏微分方程式になる。 $\psi = \text{一定}$ の面は、磁気面と呼ばれ、Fig. 3.2に示すように、ネスト状になっており、圧力がこの面上で一定である。

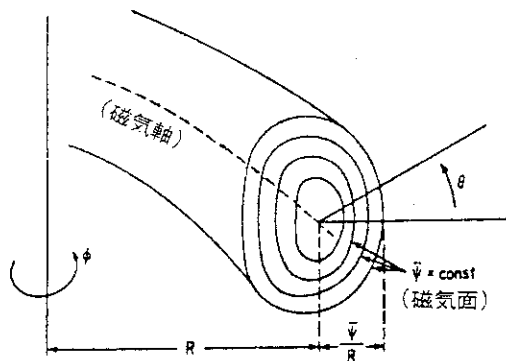


Fig.3.2 Magnetic surfaces of a tokamak.

MHD現象は、 $\psi = \text{一定}$ の面上と、それに垂直な方向で強い非等方性を持っており、プラズマの垂直断面 (Fig. 3.3) で見た場合、 ψ と中心面からの適当な角度（ポロイダル角）を座標として取扱う必要がある。一方、式(3.1)に示したように、平衡状態は (r, z) 空間のメッシュ点で計算されているので、 $(r, z) \rightarrow (\psi, \chi)$ 間の座標変換と補間が必要になる。 (r, z) 空間のメッシュ点 (r_i, z_j) では(3.1)式が一定の（計算時に指定した）以内の精度で満足されるが、 (ψ, χ) の任意の点でも十分良い精度（例えば相対誤差で 10^{-4} 以内）で満足されなければならない。

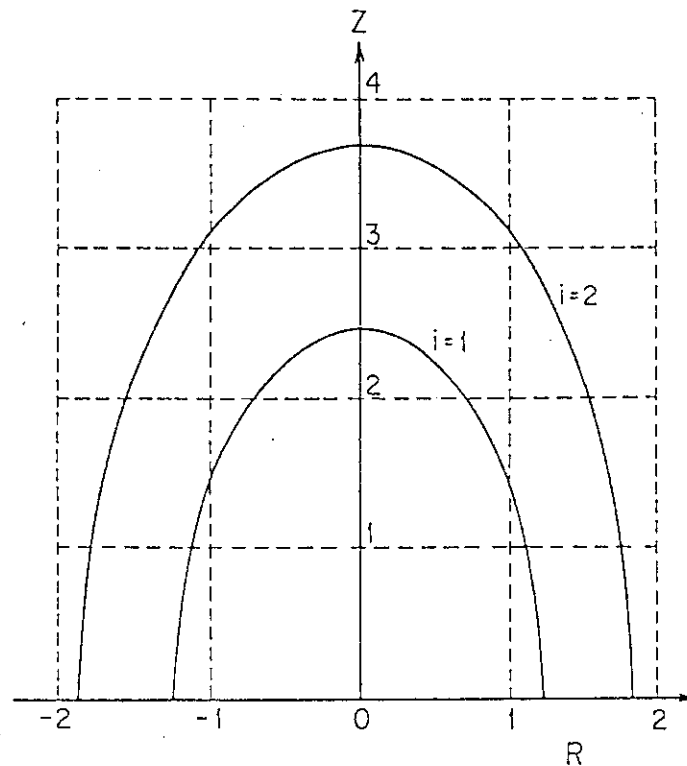


Fig.3.3 Meshes for the equilibrium calculation(dotted lines) and those for the stability analyses(solid lines).

い。このため、2階微分まで十分に精度が出る座標変換と補間が必要になる。TRITON システムのERATOやAEOLUSでは、3次および5次のスプライン補間と、ルンゲ・クッタ法による等高線追跡で高精度の数値的な座標変換を行っている^{3.4)}

Fig. 3.4に、ERATOコードで得られた固有値のメッシュ数依存性を示す。数学的には固有値 γ^2 は、メッシュ数 N に対して逆自乗収束($\gamma^2 = \gamma_0^2 + C/N^2$)を示すが、線形補間では点線のようにガタガタするのに対し、高精度補間(実線)では、理論通りの逆自乗収束を示している。

このように、スプライン補間で良い精度が得られることを利用して、スプライン関数を基底関数として(3.1)式を有限要素法を使って解けば、任意の点で十分良い精度が期待できる。このコードは現在開発中である。

3.3.2 逆平衡コード

座標 $(r, z) \rightarrow (\phi, \chi)$ の変換を行う代わりに、 (ϕ, χ) 上のメッシュ (ϕ_i, χ_j) 上での $r(\phi_i, \chi_j)$ 、 $z(\phi_i, \chi_j)$ およびそれらの微分を直接求める方法が考えられる。これは、特に高ベータ・プラズマの平衡でプラズマの磁気軸が外側にシフトし、磁気面が混んできた時に有効である(Fig.3.5)。(r, z)で等分にメッシュを切ったのでは、磁気面が混んでいる場所では1メッシュ内に何本も等高線を引かなければならぬ精度上問題が起こるからである。SELENE 10, 50は、逐次近次の各ステップで(r, z)空間のメッシュを動かし、最終的には、全てのメッシュ点が磁気面上に乗るように工夫されている^{3.5)}。このようにすると、比較的少ないメッシュでも混んだ磁気面が表現できるが、メッシュ点を毎回動かすため(3.1)式の Δ^* を表わす行列が

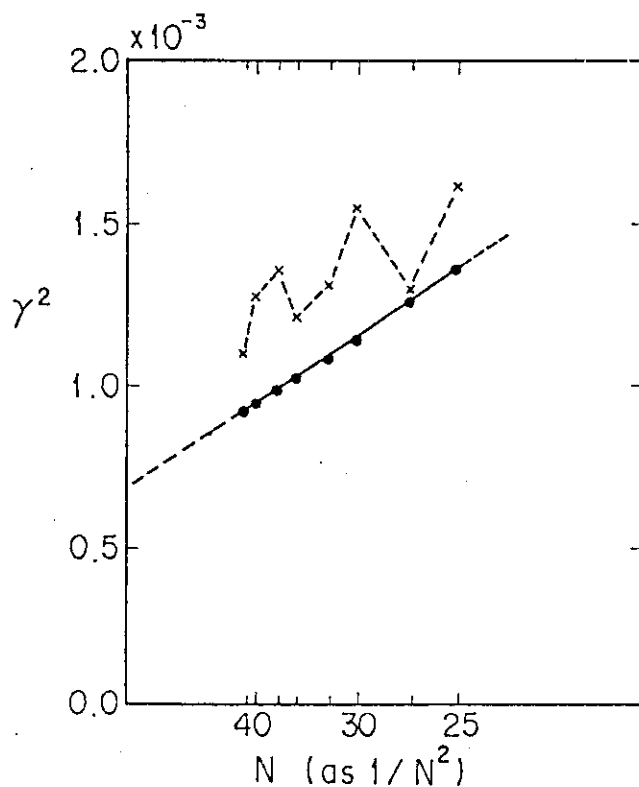


Fig.3.4 Convergence curves of eigenvalues by the ERATO code. Linear interpolation(a dotted line) and cubic spline interpolation(a solid line) are used for interfacing module between the equilibrium and stability codes.

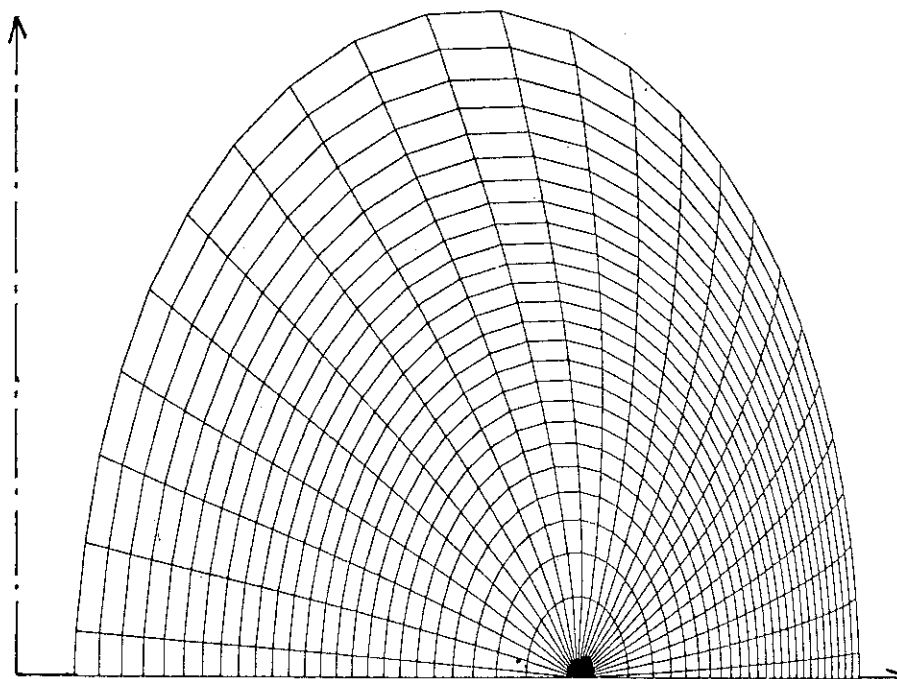


Fig.3.5 An example of magnetic surfaces of a high beta tokamak equilibrium. The magnetic surfaces are close on the right of the figure(the outside of the torus).

逐次近似のたびに変わり計算量が増える。ところが磁気面の形はせいぜい4角形の変形程度を考えておけばよいし、磁気面上では ψ は一定（磁気面の定義から！）であるため、フーリエ展開を併用すると、行列の帯巾が極端に小さくなる。このような方法のコードがSELENE 5Fで、現在、ERATOとのインターフェイスを開発中である。

3.3.3 準モード表示

トカマクの場合、系が軸対称であるから、物理量の変化を

$$\xi = \sum_n \xi_n(\psi, \chi) e^{in\psi} \quad (3.3)$$

のようにフーリエ展開し、各々の n について独立に解析を行うことができる。この時 n は、トロイダル・モード数と呼ばれ、プラズマの変化の状態を示す良いラベルとなる。トカマクの場合、ベータ値（プラズマ圧力と磁気圧力の比）が大きくなると、 n が大きなモード程不安定になり、プラズマの閉込めに影響を与える。このようなモードは χ 方向（ポロイダル方向）にも変化がはげしく n が大きくなる程、 χ 方向に多くのメッシュを切らなければならない。ところが、 χ 方向の振動は、

$$\xi_n \sim e^{inq\chi} \quad (3.4)$$

で近似的に記述される。そこで

$$\xi_n = \hat{\xi}_n(\psi, \chi) e^{inq\chi} \quad (q = \text{安定係数}) \quad (3.5)$$

のように変数変換をすると、 $\hat{\xi}_n$ は、Fig. 3.6のように、振動関数の包絡曲線となり、 χ 方向にはゆるやかな変化を示すので比較的少ないメッシュでは精度良く現象を表現することができる。

Fig. 3.7はERATOコードに(3.5)式の変換を導入した時の収束曲線で、 ξ_n そのもので計算した場合（点線）では、 $n=3$ ぐらいから自乗収束からのずれが目立つが、 $\hat{\xi}_n$ を使った場合、 $n=100$ まで精度良く求まっている。

このように、物理現象を良く反映するような未知数を選ぶことによってコードの能力を飛躍的に向上させることができる。

3.3.4 行列の圧縮

これも、ERATOコードの最適化の例で、初期にはI/O回数の制限から特別申請を行っていた計算が、行列算法の最適化によりTSSでも計算可能になった例である。

ERATOで使われる行列は、Fig. 3.8のようにブロック対角の形をしており、各ブロックは、 4×4 のサブマトリックスから構成されている。サブマトリックスは、大きさ $2N_x + 2$ 、帯巾7の帯行列で、 N_x は χ 方向のメッシュ数である。ERATOコードでは、このような行列の固有値問題を逆ベキ法で解いているため、行列のLU分解（対称行列なので LDL^T 分解）が必要となる。必要な固有値は代数的な意味で最小（通常は負の）固有値が1つで、わずか1つの固有値のために、場合によっては10万という巨大な行列の分解は馬鹿馬鹿しく思えるかもしれないが、MHDスペクトラムの性質から見てどうしても逆行列の計算は必要である。通常のスブスペース法、ランチョス法等を試みたが、原点シフトと単純な逆ベキ法の組み合わせが、効率が悪くとも最も正確に固有値、固有ベクトルを与える。

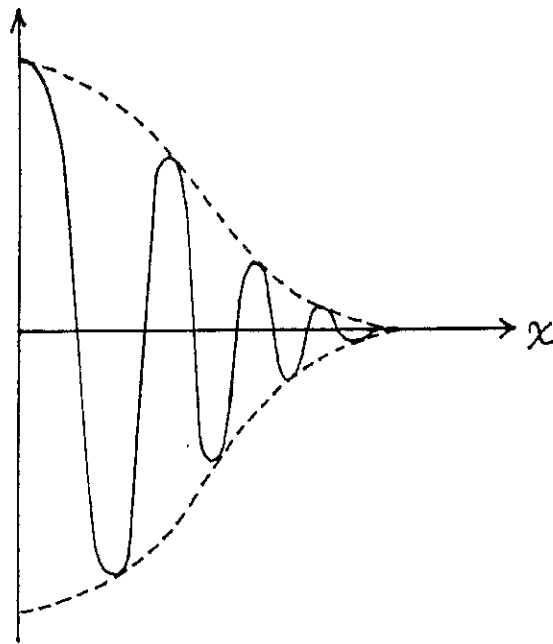


Fig.3.6 The plasma displacement and its envelope.

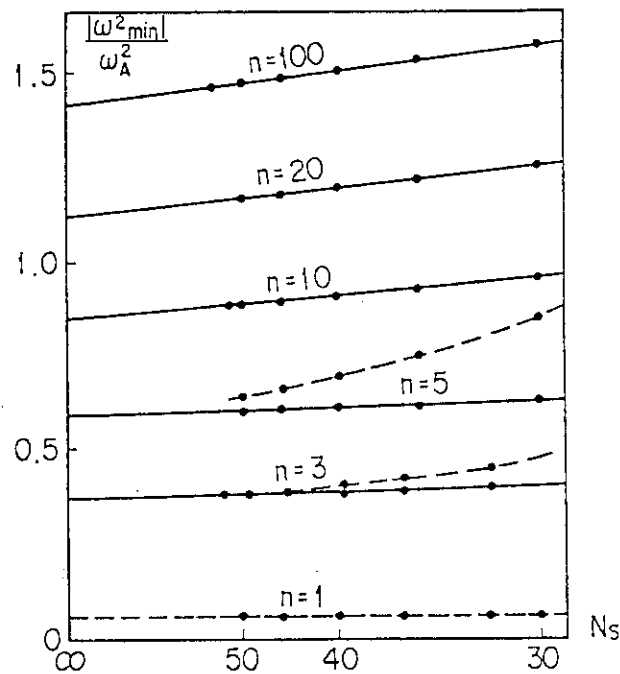


Fig.3.7 Convergence curves of eigenvalues by the ERATO code. Dotted curves are obtained by using the original ERATO and solid curves are obtained by using the revised version of the ERATO code with the quasi-mode representation.

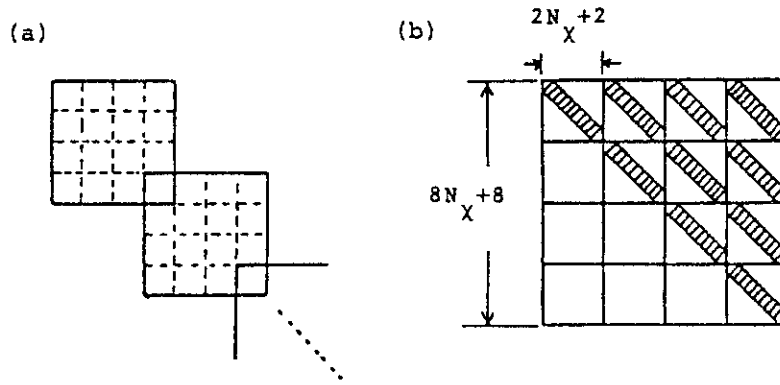


Fig.3.8 A matrix (a) and the structure of the matrix (b) of the ERATO code.

初期のERATOでは、Fig.3.8(a)の行列を忠実に分解していた。そのため、各ブロックがほとんど埋まり、ディスクへの入出力が制限となり、大きなメッシュ数の計算が事実上不可能であった。入出力の改良の第一歩として、非同期および並列入出力の採用でかなり進んだが^{3,6)}、本質的な改良とはならなかった。ERATOコードは世界的に利用されているコードで、この入出力の問題は昭和55年に米国オークリッジで開催された第1回ERATOワークショップで取り上げられ、その後ERATOコードの開発者であるスイス・ローザンヌ工科大学と導入研究所である原研、オークリッジ国立研究所、米国GAテクノロジー社、ドイツ・マックスプランク・プラズマ物理研究所の共同研究として改良が加えられた。その結果、オークリッジ研究所のスコットの提案したスコット算法が採用され、入出力回数が1/10以下になるという飛躍的成果が得られた^{3,4)}。

Table 3.3 に新旧版 ERATO コードの性能比較を示す。

Table 3.3 Comparison of the new and old version of the ERATO codes. (new version/old version).

メッシュ数	ディスク容量 (TRK)	入出力回数 (EXCP)	CPU (M200) (秒)
30	157/1170	2320/6610	31/77
60	710/9000	6480/51000	350/1090
100	2800/41100	16200/240000	2050/7940

3.3.5 ベクトル化

MHD現象の中には、本質的に非線形効果によるものがある。例えば、トカマクの電流を制限しているディスラプションという現象は、電流による不安定性の非線形現象である。この現象の解析のために開発されたのがAEOLUSコードで、非線形現象の時間発展を長時間にわたって追跡するためのコードである。このコードが必要としている主な計算機資源はCPU時間で、計算手順の主な部分は並列に処理できるため、ベクトル化効率の高いコードである。ベクトル化の詳細な分析は参考文献3.6~3.8)に詳しく述べられているが、Fig.3.9にFACOM230-75APUで測定したメッシュ数とベクトル化効率の関係を示す。このコードは精度の要求から通常200メッシュ

以上で使われるから、ベクトル化によって6倍以上の高い効率で利用できる。最新のベクトル計算機ではハードウェアの向上もあって10倍以上の速度が期待できる。

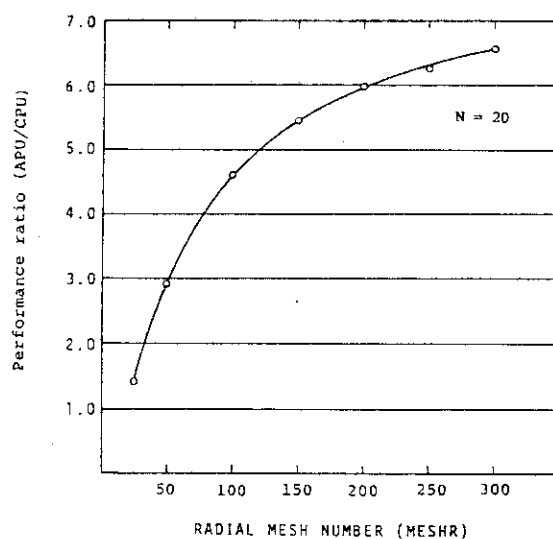


Fig.3.9 Vectorization efficiency for the AEOLUS code.

以上、コード最適化の例を述べたが、これらはいずれもある現象を解析する上で、コードのどの部分が最も重要であるかを分析し、現状の計算機でできる範囲で精度や効率を図り、コードの性能を飛躍的に高めることに成功した例である。これらが成功するまで多くの試行錯誤があったことは言うまでもない。

3.4 開発に要したマンパワー

既に述べたように、TRITON システムは発展形のシステムであるため、各計算コードは解析データを生産しつつ、その利用経験をもとにコードの改良や拡張が進められている。特に、物理解析コード群 ASTRAEA に含まれるコードの多くは、有用な単一の物理的成果を得るため多くのマンパワーが注ぎ込まれ、その結果、他の目的にも有用な新しい計算コードが開発されている。従って、マンパワーはコード開発のためと言うよりも物理問題の解決のため注ぎ込まれたと解釈する方が適当な場合が少なくない。これに対して、ARGUS、PEGASUS 等のコードについては、基本的アイデアから仕様書を作成し、主として外注によってコードの開発を進めたので完成までに要したマンパワーは、ほぼ 170 人月と算定される。

なお、TRITON-I 計画全体としては、昭和 52 年度から昭和 58 年度までの 7 年間に、年平均 4～5 人程度のマンパワーによって進められて来ている。

3.5 今後望まれる計算機の性能

TRITON 計画の発足時に、MHD 計算にとって必要な計算機の性能について述べた^{3.1)}。その後、ハードウェア、ソフトウェア両面で大きな進歩があり、また、計算の内容自身も変わってきている。

ここで、これらの状況の変化を考慮して、もう一度、我々にとって望ましい計算機像を描いてみたい。

(1) ハードウェア

(1.1) CPU性能

CPUは、何と云っても計算機の中で、汎用システムでは、必ずしもCPU能力だけが独走してもバランスがとれないということもあるが、数値計算を行う利用者にとっては、いくら性能が向上しても満足がいくものではない。特にAEOLUS系のコードは、CPUの能力が向上しなければ、コードの発展ができないものである。現在のコードでも1ケースが、M380で10~50時間を要するが、現コードは、時間のスケールを長くするため圧縮性の効果を見逃している。プラズマの密度や温度が上がると圧縮性の効果がきき出すため、これを含めると新たな固有モードが含まれ、少なくとも10倍以上の性能向上が望まれる。圧縮性プラズマの解析は、現在最高速のベクトル計算機を使っても大変な計算である。

(1.2) 巨大メモリと高速入出力

3.3で述べたように、大次元行列問題では、入出力をいかに減らすかが問題である。ERATOコードでは、行列を圧縮することで大巾に入出力回数を減らし、また結果として余分な演算を抑えたのでCPU時間も少なくなった。その結果、内部的には長さが7という短いベクトルを扱うことになり、ベクトル化が非常にやりにくくなっている。このような傾向は、大次元行列には宿命とも言える。ただし、現在のところ、大次元行列の問題にとっては、ベクトル化によるCPUの能力向上よりも、大きなメモリや高速入出力装置の出現により、できるだけ経過時間を短縮することの方が重要であろう。

(1.3) ターミナル

計算機システムがMシリーズになってから、フルスクリーン機能が使え、コードの開発、保守が非常にやり易くなっている。また、IPF等のスクリーン表示、スクリーン情報の読み取り機能によって複雑なデータ入力が比較的容易になっている。TRITON計画では、MHD平衡や安定性解析の結果を蓄えておき、検索をするシステムGAEAを開発しており、検索時にIPFを使って項目を入力するようになっている。一方では、検索結果を図形表示するため、現在では、一連の検索結果をディスクに入れてグラフィック・ターミナルに移って図形表示をさせるか、通常の入力方式で検索をし、図示している。このような用途のため、グラフィック+フルスクリーン・ターミナルが必要である。現在でも、一部のメーカーからGR+FS機能を持ったターミナルが出ているが、Mシリーズとのインターフェイスや、文字の解像度に問題がありもう一步というところである。

(1.4) 3次元カラー・グラフィック・ターミナル

計算の規模が大きくなり、一つの計算から出てくる情報量が多くなると、その結果を如何に整理するかが大きな割合を占めてくる。定量的には、1次元のグラフにしなければならないが、ある現象を視覚的にとらえ最終的なまとめ方を考えるには、1つの絵にできるだけ多くの情報が含まれていた方がよい。図形処理システムARGUSは、このような目的のため、1つのGDSから種々の加工をし、種々の絵を描けるように開発されたものであるが、3次元図やカラー機能に関しては、未だ十分でなく、ソフトウェアだけでカバーするには現在の計算機にとってかなり負担

になる面もある。特に3次元図形を見る角度や、面ぬりに関してはインタラクティブにやればすぐ出来るが、それを全てTSS方式でソフトウェアで行うと時間がかかり事実上実用にならない。最近のグラフィック端末の動向を見ると、図形の回転や面ぬりの指示はハードウェアでできるようになっている。一方、数値計算で得られるデータは離散的で、3次元表示をする場合点から面を構成しなければならない。この作業は必ずしも一義的なものでなく、少なくとも点と点との関連づけは利用者が行わねばならない。3次元カラー図形表示については、今後ハードウェアの動向をにらみながら目的に合ったソフトウェアの開発が必要となろう。

(2) ソフトウェア

(2.1) コンパイラの最適化

数値計算を行う場合、非常に特殊な作業以外は、通常、FORTRANのようなプログラミング言語を利用する。特に、MシリーズになってからFORTRAN言語によるオブジェクト・プログラムの最適化が十分なされ、アセンブラ語でわかりやすく書くよりも良いコンパイルをするようになった。特に、汎用レジスタの使用にかたよりがなくなったこと、基本外部関数の中で簡単なもの(SQRTなど)は内部に展開し、展開部も含めて最適化していることなどが目立つ。また、FORTRAN 77では、入出力に関する最適化がかなり良く出来ている。例えば、

```
WRITE (8) (A (I), I = 1, M)
```

のような文に対し、WRITEに相当する実行時ルーチンを、ループで回さず、配列Aの先頭と長さを引数として一度だけの分岐ですましている。また、2次元以上の配列に関しても連続領域の入出力についてはこの最適化を行っている。入出力が多いプログラムに関しては、最適化の有無で入出力に要するCPU時間がかなり変わり得る。以上のように、FORTRAN 77ではかなりの程度迄最適化しているが、当然のことながらプログラム単位を越えてまでの最適化はしていない。これは次に述べる構造化とも関連することであるが、あるまとまったブロックの内部展開と最適化が望まれる。また、ベクトル計算機における最適化は、スカラー機よりも一層重要な課題であり、算法も含めて今後問題に応じて研究しなければならない。

(2.2) 構造化の強化

FORTRAN 77の出現により、プログラムの構造化記述がかなり可能になった。DO WHILE, DO UNTIL, IF~THEN~ELSE~ENDIFを使うことによりGOTO文を大巾に減らすことができる。記述の工夫によっては、見かけ上(というのは内部的には分岐が行われるから)、GOTO文の全くないプログラム記述も可能である。もう一歩進めて欲しいのは内部手続きである。FORTRANで許している内部手続きは文関数であるが、これをサブルーチン形式にも拡張できると構造化およびそれに伴う最適化がより進むと思われる。ただし、非常に長いサブルーチンを内部展開すれば、最適化に時間がかかったり、オブジェクト・プログラムが大きくなったりして逆効果になるであろうが、小さなプログラム、例えば低次の数値積分とか乱数発生ルーチンのように短いものであれば問題はないと思われる。

(2.3) ダイナミック・リンク機能の強化

Mシリーズにもダイナミック・リンク機能がついているが必ずしも満足のいくものではない。本来ダイナミック・リンクに期待されているのは、リンケージ・エディタの段階で未定義であっても、完全に自動的にいくつかのライブラリを探してリンクする機能である。これをうまく使え

ば、よく使われるライブラリをリエントラント形式にし、その手続き部分を共通の空間（例えばシステム空間）に1個だけ入れておき、多数のプログラムから動的に分岐できる。ARGUSのように利用者が多く、しかもプログラムサイズが大きいものにとっては、メモリの節約になるであろう。ただしメモリの容量が十分にあればこの問題はなくなり、逆にダイナミック・リンクの手間がむだになる。今後のハードウェア構成の推移によってはどうでも良い問題かもしれない。

（核融合研究部 竹田辰興，常松俊秀）

参考文献

- 3.1) 竹田，常松，栗田，田中，TRITON計画，unpublished (1977)
- 3.2) 竹田，常松，岡田，TRITONシステム管理コードHARMONIA-F75，JAERI-M 9096 (1980)
- 3.3) 竹田，常松，栗田，可変配列サイズ・プログラムのためのプリプロセッサ・システム“EOS”，JAERI-M 82-097 (1982)
- 3.4) 徳田，常松，安積，滝塚，奈良岡，竹田，改訂版ERATO-JによるMHD安定性解析，JAERI-M 9899 (1982)
- 3.5) Takeda T. and Tsunematsu T., A numerical code SELENE to calculate axisymmetric toroidal MHD equilibria, JAERI-M 8042 (1979).
- 3.6) Tsunematsu T., Takeda T. Matsuura T., Azumi M., Kurita G. and Takizuka T., Stability analysis by ERATO code, JAERI-M 8616 (1979).
- 3.7) Matsuura T., Tanaka Y., Naraoka K., Takizuka T., Tsunematsu T., Tokuda S., Azumi M., Kurita G. and Takeda T., Vector processing efficiency of plasma MHD codes by use of the FACOM 230-75 APU, Comput. Phys. Commun. 26 (1982) 377.
- 3.8) 石黒，松浦，奥田，原田，太田，梅谷，ベクトル計算処理の大型原子力コードへの適応性，JAERI-M 82-018 (1982)

4. SPEEDI モジュラー・コード・システム

4.1 開発の目的とスケジュール

原子力施設からの放射能異常放出に対する防災対策に資するために適確な線量予測を行うことの必要性は、米国 TMI-2 事故以降、特に認識されてきた。このため原子力安全委員会の環境放射能安全研究専門部会は「環境放射能年次計画」の中で「放射性物質異常放出時の安全確保に関する研究」として、いわゆる緊急時関連の 5 ケ年計画を示した。

被曝線量の予測は、大別してモニタリングと計算により行うが、本コード・システムは、この研究計画のなかの計算予測部分を受けもつもので、昭和 56 年度より開発を開始した。開発計画は Table 4.1 に示す通りであり昭和 59 年度に開発の第 1 段階を終了する。

Table 4.1 Schedule for the development of SPEEDI code system.

項目 \ 年度	55	56	57	58	59	60	61~
<u>計算コード・システム</u>							
(1) システムの構築	海外調査	第 I 版	第 II 版	第 III 版	システムの完成		
(2) 適用研究				野外実験と 並行した運 用テスト	巨大ミニコン への適用検 討	実用化のため の調査・ 検討	他地域への 適用研究
<u>計算コード</u>							
(1) 風速場モデル		詳細モデルの作成		野外実験による検証・ 改良			
(2) 濃度モデル		簡易・詳細モデルの作成		野外実験による検証・ 改良		実用コード の整備	
(3) 線量モデル		簡易モデル作成	詳細モデル作成		改良・整備		

緊急時の、計算による線量予測は、計算が迅速であり、かつ正確であることが要求される。これらは主には、計算コードと使用される入力データの精度に依存するが、日本の原子力サイトのように、地形が複雑な場合や、沿岸に立地している場合、正確な拡散シミュレーションのためには、モデルが複雑になり迅速さに欠ける面がある。そのため緊急時には、計算時間が短く初期情報のみで計算のできる簡易計算コードと、正確な予測を行うための計算コードをいくつか用意して、要請に応じて臨機応変に対処しなくてはならない。これらの計算コードは、通常作成者の

考えにより入力変数の単位や計算出力の座標系が異なっていたりして、各単体コードへの計算パラメータの単位変換、各コード間の出力の比較が煩雑になる。また、放出開始時刻等の各コード共通データを計算コードを実行させるたびに入力値に設定する操作の繰り返しは、緊急時にはのぞましくない。

これらを有効に行うためには、計算コード間に整合性をもたせた、統一的な入出力管理機能と、各種の出力要請に対応できる図形表示機能及び基本的な環境データ・ファイルをもつモジュラー

・タイプのコード・システムを作成し、その中で計算コードを扱う必要がある。

今回報告するモジュラー・コード・システムは、上記の点を考慮して作成されたシステムで、使用を容易にするため、計算コードの選択、計算パラメータの入力、計算命令等がすべて計算機端末を媒体とした会話形式で処理される。また計算に必要な環境データや計算出力データを統一的フォーマットで管理するデータ・ファイル・システムを有し、状況に応じてカラー・ディスプレイ装置上、又はプリンタに図形出力ができる。現在、第3版を完成し、ほぼ基本部分の作成を終了したので報告する。

4.2 システムの概要

本システムは、原子炉事故時等の緊急時に、大気中放出物に起因する一般環境での被曝線量を予測する計算コード群を、有効に結合し計算要請に対して臨機応変に対処することを目的としている。本システムで考慮している線量計算までの流れをFig. 4.1に示す。計算は、Fig. 4.1(a)に示す気象データの一部を用いた拡散計算による濃度分布から、線量値を求める簡易計算部分と、(b)に示すような気象データ、地形を考慮した三次元風速場計算と気象データ、地形データ及び計算された風速場を用いた三次元濃度分布計算、それにつづく濃度分布からの線量計算の流れをもつ詳細計算部分を考えている。また計算対象領域は、基本的には狭域（サイト周辺25km）と広域（サイト周辺100km）としている。

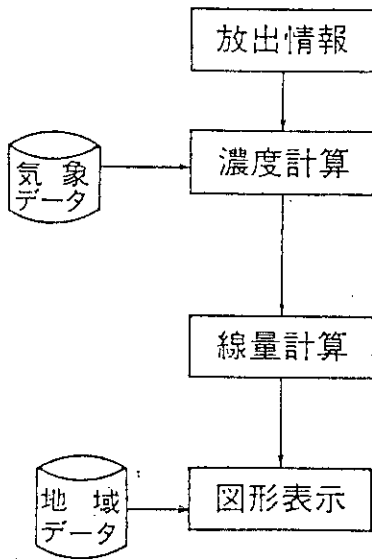
図中の計算コードは、本コード・システムの開発と並行して、気象研究所及び日本原子力研究所の担当部所で整備が進められており、昭和58年度中にすべての組み込みを終了する。

SPEEDIコード・システムの設計にあたって考慮したおもな項目と理由、その解決策は次のとおりであった。

(1) 研究開発段階と実用段階の両立

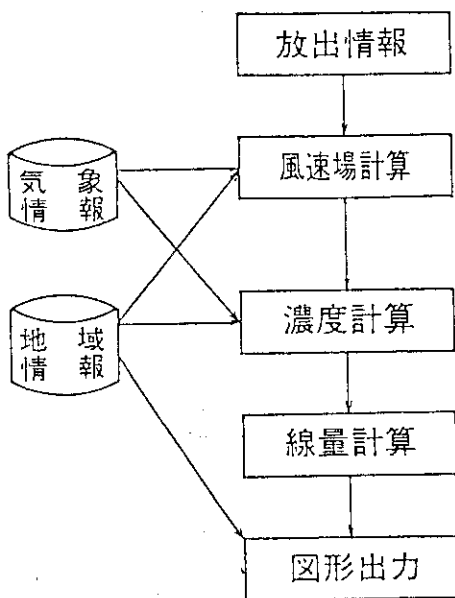
SPEEDIコード・システムの開発が始まった時期には、システムに組込まれるべき計算コード群は原研においては未だ研究開発段階にあった。原型となる物理モデルと計算コードは、米国ローレンス・リバモア国立研究所地球科学部の研究者たちの努力によって1976年頃から実用化の段階に入っていたのであるが、それらのコードを単に輸入するだけでは、研究的にも実用的にも使いつなすことはできない。同じ物理モデルから出発しても理論や実験による検証が必要で、その過程で研究者に蓄積した知見と経験が徐々に計算コードとシステムへ移植される必要がある。こうしてみると、SPEEDIコード・システムは、最終的には実用システムが求められながらも、研究開発的要素を多く包含していたことがわかる。従来のコード・システムは、十分に検証された既存の計算コードを集めてシステム化することを主眼としていた。そのときはシステムに組込ま

(a) Simple and quick calculation.



	モデル	特徴
濃度計算	ガウス・ブルームモデル	○直線流跡線にのるガウス分布
	パフモデル	○変動する流跡線にのるガウス分布
線量計算	ガウス・ブルームモデル	○ガウス・ブルーム型を仮定した線量計算

(b) Detail calculation.



	モデル	特徴
風速計算	客観解析モデル (統計予測モデル)	○観測データをもとに質量保存風速場の作成 ○過去の気象データをもとにした数時間先の予測を行う
	粒子拡散モデル	○仮想粒子群の移流・拡散による三次元濃度分布計算
線量計算	線量セルモデル	○任意の三次元濃度セルからの線量計算

Fig. 4.1 Schematic diagram of SPEEDI.

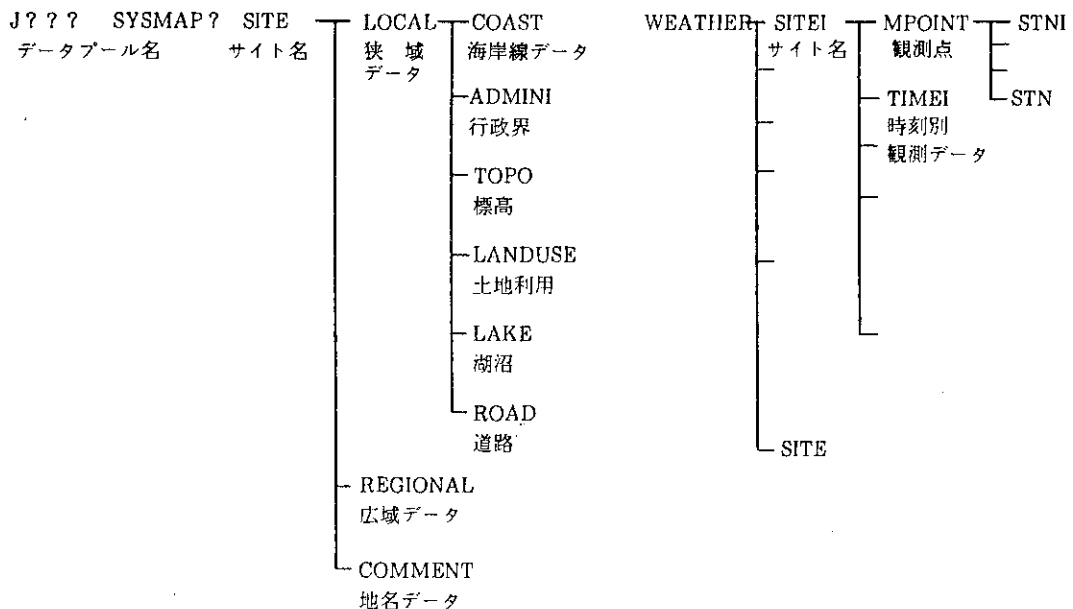
れた計算コード群が頻繁に修正されることはない。SPEEDIの計算コードは上述のように多くの修正が予想された。また、研究者がシステムに一時的に計算コードを付加することも、消去することも容易でなくてはならず、しかもそれらの操作をシステムが持つ機能や他の計算モジュールに無関係におこなえなくてはならない。実用的見地からはこのような複雑な操作についての考慮は不必要であるというよりは邪魔である。むしろ固定した単純な操作がのぞましい。この互いに矛盾する段階を両立させるために、コード・システムは会話形式で制御することとし、計算コードは会話形式制御部を介してできるだけゆるく結合させる方針とした。その結合の方法は次の(4.3.1)、(4.3.5)の項で一部述べているとおりである。実用的な意味から会話形式コマンドの入力パラメータの数は必要最小限に留め、利用者が質問、あるいは要求しない限りはそれ以上の入力をシステム側から要求してはくはないよう設計されている。

(2) 実時間処理の重視

緊急時線量予測計算コード・システムの性格から、時々刻々変化する状況、例えば放出源情報、風向、風速の変化等は直ちに計算に反映させなければならない。どのような計算コードも状況変化に応じて修正されたデータを共通に使用しなければならない。このためにシステム内のどの計算コードも会話形式制御部から起動され、修正されたデータを自動的に会話形式制御部から受け取るよう設計されている。

(3) モジュラー・コード・システムの実現

コード・システムに組み込まれた計算コードがモジュラー性を有するというのは、そのコードを他の類似のコードと簡単に交換できるということである。それが可能であるためには、それらコードの入力、出力が同じ形式内容でなければならない。気象データ、風速場計算出力、濃度計算出力、線量計算出力、地図データなどの大量データはデータプール・ファイル (Fig. 4.2はその1例) で形式と内容を統一した。各計算モジュールを制御する入力データはFig. 4.3のように



(a) Regional data base.

(b) Meteorological data base.

Fig. 4.2 Structures of environmental databases.

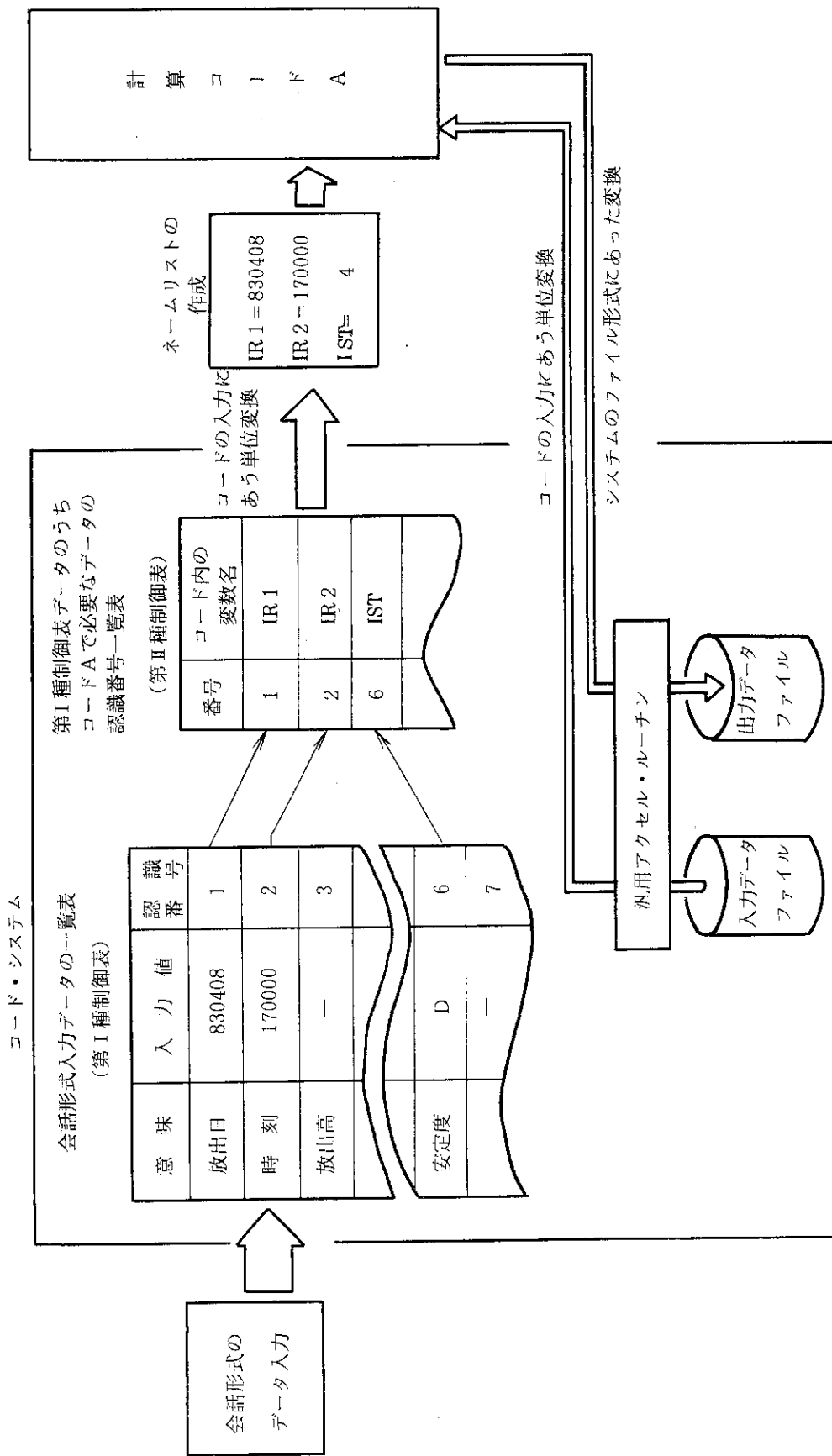


Fig. 4.3 Diagram of the relationship between code system and single code.

会話形式制御部の持つ最新基本データのうち計算コード固有の入力データと同じものがあれば、計算コードの固有入力データは会話形式制御部の最新データで自動的に置き換えられる。計算コードの固有入力データはネームリスト形式で表現され、ディスク・ファイルに格納されている。システムがこのファイルを書き換えるので、各計算コード自身の変更はない。入力データの単位が異なる場合はシステムが自動変換するよう定めた。このような簡単な方法によってモジュラー・コード・システムを実現した。

(4) データ・ファイル形式の統一

SPEEDIの計算コードで使用されるデータは、放出された核種、気象、濃度分布、線量分布、地形、地図情報等範囲の定まった共通的なものがほとんどである。したがって、これらそれぞれのデータ形式の標準仕様を定め、特に指定されない限りはこの標準形式データを使用することによって入出力データの図形表示等はシステムが用意した機能を利用できる。このため計算コードの開発者は計算部分のみに注意すればよく、開発負担が軽減される。

(5) 図形表示機能の重視

複雑地形の三次元空間における風速場、濃度、線量分布等を数字で出力しても理解が難しい。そこで利用者が適当に下絵を選択し、その上にファイルにある計算結果を会話形式でレーザ・プリンタ、またはグラフィック端末画面上に重ね書きするようにした。こうして各計算コードは計算結果の図形表示という厄介な問題から切り離されている。

(6) システムの部分的利用

実用的に使うときも風速場、濃度、そして線量と一貫計算をおこなうとは限らないが、研究開発で使用するときは風速場、濃度、あるいは線量のいずれかの部分に限ることが多い。そこでシステムの各部分の計算は他の部分とは独立に動作するよう設計した。

(7) システム使用状況の自動ログ

緊急時においては情報が錯綜し、計算順序、入力データの混乱も考えられる。このため会話形式制御部を通して入力されたコマンドとそのパラメータはシステムが常時自動的にログ（記録）を取るようにした。このログはログ表示用コマンドで端末に表示することができるので過去の入力を調べることができる。現在は実験と並行しておこなうSPEEDIの運用テストなどで役立っている。

(8) 初期データ設定の自動化

会話形式コマンドの実行や計算に必要な初期データの設定は、できる限りシステムが自動的に設定するようにした。SITE コマンドでサイト名、施設名を入力すれば、放出地点の緯度、経度、放出高が自動設定されるなどはこの例である。

(9) 実用システムへの体系化

最近の集積回路技術の急速な発展を背景に、米国ローレンス・リバモア国立研究所、デュボン社サバンナ・リバー研究所などでは緊急時の予測計算コード・システム全体をスーパーミニコンへ移植しようとしている。これも時代の趨勢なので、本コード・システムも最終的にはミニコンでも動かすことができるよう計算時間、メモリ、オペレーティング・システムの機能等に留意している。以上の項目を研究、実用の両面から眺めると Fig. 4.4 のようになる。

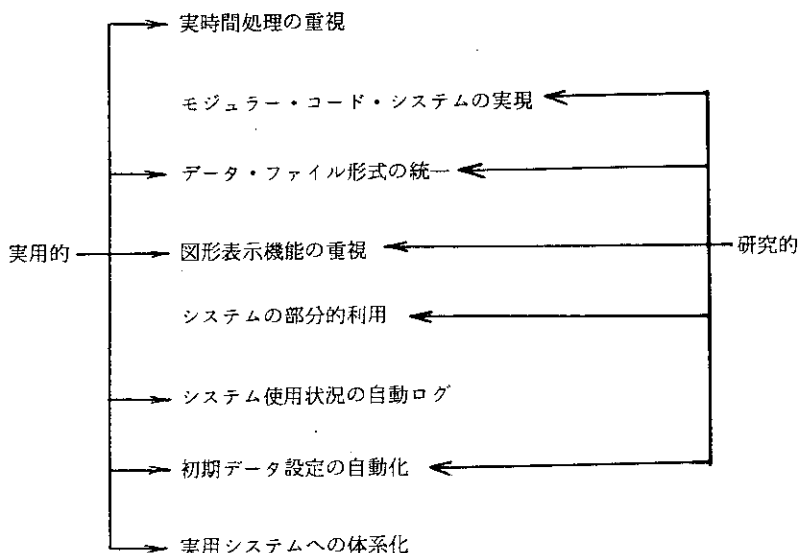


Fig. 4.4 Two sided design concepts of SPEEDI.

次に本システムで緊急時に対応する場合の概略を Fig. 4.5 に示し、そこで使用される主なコマンドとオペランドを Table 4.2 に示す。

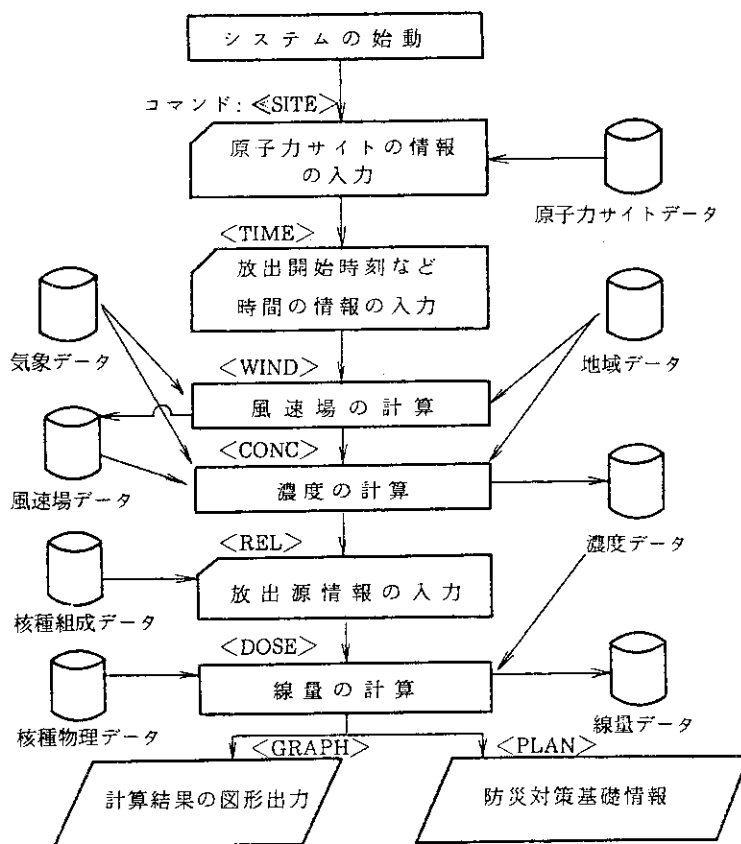


Fig. 4.5 Calculational flow of SPEEDI.

Table 4.2 Summary of major commands in SPEEDI.

会話記号	意 味	入 力 パ ラ メ ー タ
(SITE)	原子力サイト情報の入力	原子力サイト名, 施設名, など
(TIME)	時間の情報の入力	放出開始日時, 原子炉停止日時など
(WIND)	風速場の計算, 濃度の計算	モデル名, 領域指定, 予測開始日時, 予測時間幅など
(CONC)		
(REL)	放出源情報の入力	放出率決定日時, 核種名, 放出率
(DOSE)	線量の計算	モデル名, 領域指定, 濃度モデル名, 予測開始日時, 予測時間幅

始めに事故情報を受け, SITE コマンドで事故サイト, 施設を入力する。これにより, システムでは地域データ及び気象データの選択を行い, 同時に, 全国サイト位置情報のファイルからサイトの緯度, 経度等のデータを引き出す。次に原子炉にシャット・ダウンの日時と放出開始の日時の設定を TIME コマンドで行い, 予測計算に入る。ここまでの操作は, システム起動時に 1 回行えばよい。

風速場の計算は, WIND コマンドに続いてコード名, 予測時刻, 計算領域等を設定して行う。大気安定度は, 気象データから計算コード内で算出することもできるが, このコマンドのオペランドとしてシステムから設定することもできる。計算には気象データ・ファイルと地域データ・ファイルが使用され, 結果は風速場データ・ファイルに記録される。次に濃度計算を CONC コマンドにつづいてコード名, 領域等を指定して行うが, 風速場計算に引きつづき行う時は, 予測時刻は省略できる。また, ガウス・プルーム・モデルのような簡易モデルで風速場を必要としない時は, TIME コマンドのあとすぐ CONC コマンドに移ることもできる。詳細計算は, 気象データ・ファイル, 風速場データ・ファイル, 地域データ・ファイルを用いて行われ, 結果は, 空間濃度データ・ファイルと地表面沈着量ファイルに保存される。ここで, 濃度計算は, 各核種の崩壊は考慮せず, 計算対象放出物は希ガス, ヨウ素, その他の核種という分類にする。崩壊の補正は線量計算時に行う。次に線量計算を行うが放出量等に関する情報がまったく入手されない場合は, 線量計算ができないので, 放出物の分布のみ予測するために, 風速場と濃度の計算を先行させることになるが, 計算結果は, 最新時刻のものからさかのぼって 24 時間分常時保存されるので, 情報入手時点で放出開始からの線量を計算できる。また, 放出量情報値を変更して線量計算のやり直しもできる。線量計算用のパラメータ設定は, DOSE コマンドにつづきコード名, 領域, 予測時間等を設定して行われる。計算は, 空間濃度データ・ファイルの結果を用いて行われ, 結果は線量データ・ファイルに保存される。以上で, ある任意の時刻の評価を終了して GRAPH コマンドで結果を図形出力し, 次の時刻の予測のため再び風速場計算を開始する。これは, 一例であり, 上記の流れの途中で状況に応じ GRAPH コマンドにより途中の計算結果を出力したり, 入力気象データのチェックを行うこともできる。

4.3 システムの構成

本コード・システムは大別して、会話形式で入力されたコマンド命令を処理する会話形式制御部ソフトウェア、環境データ等の基本データや計算結果を一定の様式で記録しておくデータ・ファイル群、各種計算結果の図形表示用ソフトウェア、各核種の崩壊を考慮して環境中での比率を燃料棒内の核種組成比率とモニタリング情報から推定する放出比簡易推定ソフトウェア、及び計算コードとシステム間のデータやりとりのための汎用アクセス・ルーチンの5グループから構成される。これらの詳細について述べる。

4.3.1 会話形式制御部ソフトウェア

前述のようにシステムの使用はコマンド形式で行われる。コマンドとオペランドの代表的なものはTable 4.2に示した通りである。オペランドは、放出率や、計算開始の時刻等、状況や時間により値の変更されるものを中心に構成されている。オペランドで設定した値はシステム会話形式制御部のもつ現在の最新データを内容とする第Ⅰ種制御表に記録されていく。これと別にシステムは、各計算コードに必要な入力データのうち会話形式で与えられるデータの一覧表（これを第Ⅱ種制御表とよぶ）を、登録された計算コード別にもっており、WIND、CONC等のコマンドでコード名が設定され実行命令が出されると、該当コードの第Ⅱ種制御表を参照して第Ⅰ種制御表から計算コードに必要なデータだけを引き出してデータ・リストを作成して計算コードに渡す。この時、データ・リストの値は、単位変換ルーチンにより、計算コード側が要求している単位に変換される。

コマンドの入力形式は、一括入力形式と、入力促進形式がある。一括入力形式は、コマンドとオペランドを一度に入力する場合で各コマンドに対するオペランドを使用者が熟知している場合、この形式は、処理時間も速く便利である。一方入力促進形式は、コマンドのあとにQ（例えば、WINDQ）をつけてコマンドのみを入力すると、次に入力するべきオペランドを、システム側が示し、入力を促進する形式で、使用者が、コマンドとオペランドの対応関係をあまりよく知らない場合に便利である。WINDコマンドについて計算コードWIND04で83年8月10日12時の風速場計算の設定を一括入力形式と入力促進形式のそれぞれについてFig. 4.6に示す。左端に行数を示す。図中のアンダラインを引いた部分が、端末から入力された部分である。2行目は一括入力形式で、コード名WIND04、計算領域LOCAL、計算開始年月日、時分秒、計算時間巾、出力間隔、大気安定度の順にオペランドを入力して行く。5行目は、WINDコマンドにQをつけたWINDQコマンドによる入力促進タイプで、6行目のようにシステムから次に入れるべきオペランドがコード名であり、入力タイプは文字形式、必須パラメータであること等の情報が示される。これが、WINDコマンドのオペランド入力終了まで繰返されるが必須オペランド以外は省略できる。この形式では、以前に設定された値がシステムからの促進メッセージの最後にデフォルト値として表示されるので、値に変更がない場合も省略できる。ここでは時刻と、大気安定度のみを変更している。23行目のSUBコマンドは、実行命令コマンドであるが、実行前に25行目～36行目のように第Ⅱ種制御表をもとに作成された前述のデータ・リストが表示されるので、入力値をチェックして違っていれば、SETコマンドを用いて再設定できる。何も入力しなければ実行に

入る。

コマンドは、Table 4.2の他に、システムの使用法を説明するHELPコマンド、第I種制御表を表示するDPARAMコマンド等が補助コマンドとして整備されている。

```

行番号
1----- ? COMMAND
2      WIND WIND04 LOCAL 830812 120000 10000 10000 STAB=D
3      -----
4      WIND WIND04 LOCAL 830812 120000 10000 10000 STAB=D
5      ? COMMAND
6      WINDQ
7      ? WIND MODEL NAME      (CHARACTER, REQ'D) DEF.=WIND04
8      WIND04
9      WIND04
10----- ? REGIONAL/LOCAL/TEST (CHARACTER, REQ'D) DEF.=LOCAL
11      LOCAL
12      LOCAL
13      ? EST. START(YMMDD)    (INTEGER , OPT. ) DEF.=
14      ? EST. START(HHMMSS)  (INTEGER , OPT. ) DEF.=      830810
15      120000
16      120000
17      ? EST. END (HHMMSS)    (INTEGER , OPT. ) DEF.=
18      ? DUMP. INT.(HHMMSS)  (INTEGER , OPT. ) DEF.=      10000
19      ? STABILITY(A-G)      (CHARACTER, OPT. ) DEF.=B
20      D
21      D
22      ? COMMAND
23      SUB
24      SUB
25----- *** 2ND. CORE CONTROL TABLE DISPLAY ***
26      MODEL NAME = WIND04
27      VAR. NAME      ID.  DESCRIPTION      TR. TYPE      VALUE
28      MAPTP%         W02  REGIONAL/LOCAL/TEST      C              LOCAL
29      IISTAB         W08  STABILITY(A-G)          C              D
30----- Z0          W12  SRH (MEDIC)              R *****
31      ISTRD%         W03  EST. START(YMMDD)       I              830810
32      ISTRY%         W04  EST. START(HHMMSS)     I              120000
33      ITINT%         W05  EST. END (HHMMSS)      I              10000
34      IOPEN%         W06  DUMP. INT.(HHMMSS)     I              3000
35----- NAMES%      R01  SITE NAME                C              TOKAI
36      *** DISPLAY END ***
37      * IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN
    
```

Fig. 4.6 Example of conversational operation with WIND command.

4.3.2 システム・データ・ファイル

システムが保有するデータ・ファイルは、環境データ等の計算のための基礎データを収納してあるデータ・ベースと計算結果を記録するファイル群に分けられる。

(1) データ・ベース

基礎データ・ファイルは、地域情報データ、気象情報データ、サイト・データ、核種組成データ、核データの5種のファイルを保有している。データの一覧をTable 4.3に示す。

(a) 地域データ・ファイル

地域データは、国土庁の国土数値情報から、全国14サイトの地域情報を、サイト周辺25km (Local)と100km (Regional)について抽出して作成した。地域データ・ファイルに含まれるデータは、標高、海岸線、行政区界、地名、道路、鉄道、湖沼、土地利用である。標高データと土地利用データは狭域で1km×1km、広域で4km×4kmのメッシュの平均が記録されている。これらのデータは計算の他に、図形出力時に計算結果の下絵となる地図データとして利用

Table 4.3 Basic data files for SPEEDI calculation.

データの種類	データの内容
原子力サイトデータ	サイト名, 施設名, 炉型, サイト緯度, サイト経度, スタックの高さなど
地域データ	標高, 海岸線・湖沼, 行政区界(県市町村), 地名, 鉄道・道路
気象データ	風向, 風速, 雨量, 観測点位置など
核種組成データ	炉型および燃焼度ごとの希ガス・ヨウ素の同位体組成率
核種物理データ	核種名, 崩壊定数, γ 光子平均放出エネルギー, 実効 γ 光子放出エネルギー, γ 光子エネルギーとその放出率

される。ファイルは、サイト別に作成されており、Fig. 4.2の(a)に示すような構造で保存されている。したがってSITEコマンドによるサイト名の指定と各計算モード用コマンドの領域指定LOCAL/REGIONALで必要データがシステムに自動設定される。現在は、14サイト分用意されているが、国土庁の数値情報磁気テープから任意の地域の情報を抽出するためのソフトウェアも用意されているので、サイト追加や、すでにある地域データファイルの対象領域の変更等は容易に行うことができる。

(b) 気象データ・ファイル

気象データ・ファイルについては、将来は常時オンラインで入手されることを仮定して、Fig. 4.2のb)に示すように、時間別に各サイトの周辺観測点のデータを整理するように作られている。記録されるデータは観測点位置、測器高、測定項目等のサイト別の観測点データと、時系列に並べられた、風向、風速、雨量、日射量等のデータである。時系列データは、一定時間間隔でファイル内に保存される。現在は、気象データの入手はオンラインで行われておらず本計画の中で別途行われている野外実験時の茨城県公害センタの観測データや気象庁のAMeDASデータを随時端末から入力して上記の構造の気象データ・ファイルを作成している。

(c) 核種組成ファイル

核種組成ファイルは、任意の時刻における環境中の希ガス、ヨウ素の核種の比率を求めるための基礎データとなるファイルで、希ガス、ヨウ素中の各核種の炉内での比率を、燃焼度別にテーブル化してある。比率は、希ガスに属する核種の比率の和と、ヨウ素の同位体の各比率和がそれぞれ1になるように作られている。各核種の正確な放出率が入手された場合は、このファイルは使用しない。

(d) サイト・ファイル

サイト・ファイルには、全国の原子力サイトの緯度、経度、標高、メイン・スタックの高さ、炉型が記録されており、SITEコマンドでサイト名と施設名を入力すると自動的にデータが第1

種制御表に記録される。放出高度については、オペランドの施設名のあとに、値を入れると、その値が記録される。現在のサイト・ファイルには、地図等をもとに漸定的な値を入れてあるが、実用時には正確な値に置き換える必要がある。

(e) 核種データ・ファイル

被曝評価の上で重要と思われる核種として希ガス 15 核種，ヨウ素同位体 7 核種，その他の核種 40 種を選び，各核種の核データを記録してあり，各計算コードで必要に応じて引き出すことができる。対象核種と，データの種数を Table 4.4 に示す。

(2) 計算結果出力ファイル

本システムによる計算出力は，風速場の三次元分布，空間濃度の三次元分布，地表面沈着量の二次元分布，照射線量率，積算外部被曝線量，甲状腺線量，甲状腺以外の内部被曝線量の二次元分布である。データ記録法の概略を Fig. 4.7 に示す。各データは直交座標系で記録され，水平 1 メッシュが狭域計算で $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，広域計算で $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ を基本としている。鉛直方向は，25 m，50 m 等変えることができるが，風速場計算時に決定した値が濃度及び線量の計算でも用いられる。

各データは通常一時間毎に出力されるが，これらのデータは，最新計算時刻からさかのぼって 24 時間ファイル内に保存され，即時に，再使用できるようになっている。

TOUKAI

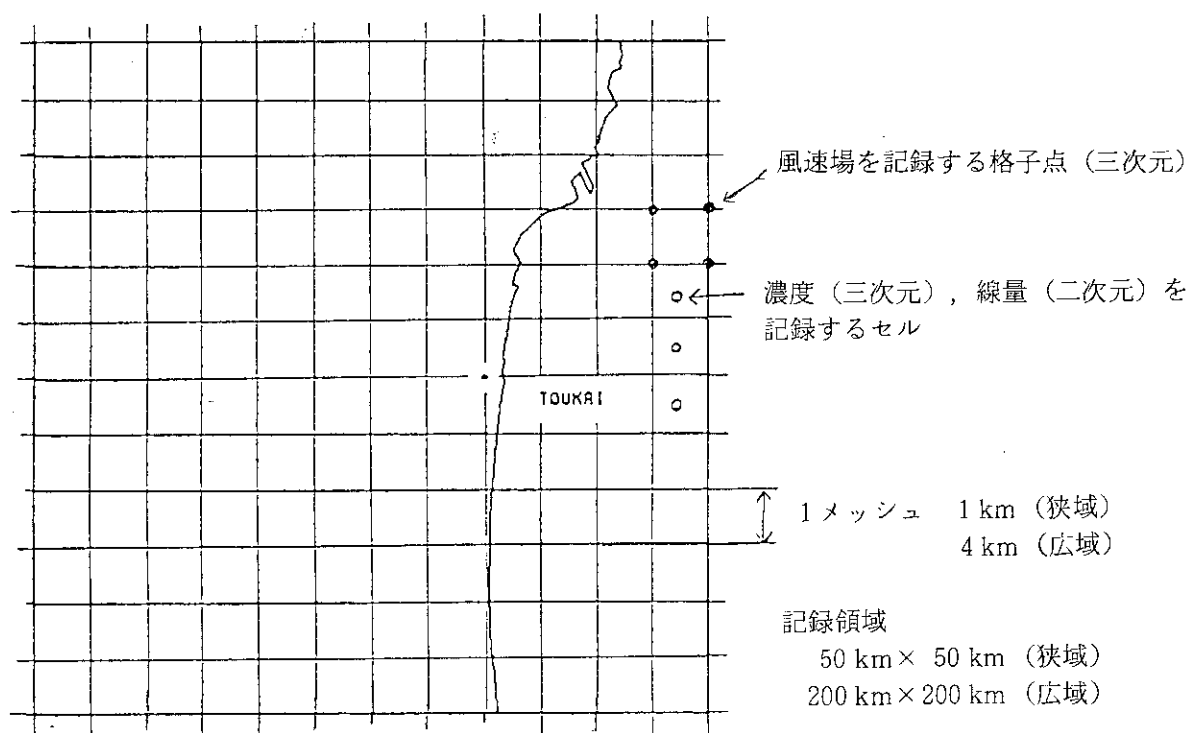


Fig. 4.7 Relation between meshes, grids and computed results.

Table 4.4 Nuclides data file in SPEEDI.

(a) Nuclides considered in SPEEDI dose calculation.

Noble gas	^{83m}Kr , ^{85}Kr , ^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{89}Kr , ^{90}Kr , ^{131m}Xe , ^{133}Xe , ^{133m}Xe , ^{135}Xe , ^{135m}Xe , ^{137}Xe , ^{138}Xe , ^{139}Xe
Iodine	^{129}I , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{136}I
Other F.P.	^{86}Rb , ^{89}Sr , ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{91}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{95m}Nb , ^{103}Ru , ^{103m}Rh , ^{106}Ru , ^{106}Rh , ^{111}Ag , ^{115}Cd , ^{117m}Sn , ^{119m}Sn , ^{123}Sn , ^{125}Sn , ^{125}Sb , ^{125m}Te , ^{127}Sb , ^{127m}Te , ^{127}Te , ^{129m}Te , ^{129}Te , ^{132}Te , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{137m}Ba , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{143}Pr , ^{144}Ce , ^{144}Pr , ^{147}Nd , ^{147}Pm , ^{151}Sm , ^{155}Eu , ^{156}Eu

(b) Physical data of the nuclides.

1. 核種名
2. 崩壊定数
3. 平均放出エネルギー
4. 実効放出エネルギー
5. 放出光子数
6. 光子 i の放出エネルギー
7. 光子 i の放出率
8. 内部被曝換算係数

4.3.3 図形表示用ソフトウェア

防災対策の指針^{4.2)}によれば、モニタリングを行うべき地域及び地点の迅速な選定のための予測として、

- ① ガンマ線最大線量とその出現地点
- ② 大気中よう素最大濃度とその出現地点
- ③ 大気中よう素濃度及びガンマ線量率の地域分布
- ④ 被曝線量の分布とその時間変化

が上げられている。また防護対策の指標のための予測線量として、全身外部線量と甲状腺線量を取り上げTable 4.5に示す数値を提案している。これらを考慮して本システムではTable 4.6に示す図形出力を用意した。地域分布の出力はカラー・ディスプレイ装置上に地図と共に、表示され同時に最大値出現地点が*で表示される。Fig. 4.8に、外部全身線量の地域分布出力例を示す。この図は複雑地形上で計算を行った例であるが、日時、放出量、放出高、気象データはすべて仮想値を与えている。図の上部がタイトル、右に日時、計算コード名、等値線の値、最大値とその位置等が記録される。この図では地図上に地名と、道路、鉄道が示されているが、要請に応じて行政区界、等高線、経緯線も表示できる。また出力する図の種類、領域、時刻、等値線の値等はすべて会話形式で指定できる。濃度分布と風速場分布については、航空機によるモニタリングに資するために、任意の高度の分布を出力できるようにしてある。なお、防災対策指針中の摂取制限のための指標濃度である葉菜中濃度、飲料水中濃度、ミルク中濃度については、実測により判断されるべきものとして出力せず、実測のための基礎データとなる地表面沈着量分布の出力のみを行っている。

これらの図形表示ソフトウェアは、原研で開発された図形表示用パッケージ・ルーチンARGUS-V4^{4.3)}を利用して作成されている。

4.3.4 放出率推定ルーチン

緊急時には放出量に関するデータが十分に得られない場合が予想され、事故初期には、線量評価のために限られた情報から希ガス、ヨウ素の各核種の放出率を推定する必要がある。本システムでは、放出情報データとして、

- ㉑ 施設側等から希ガス、ヨウ素それぞれの放出率が入手された場合、
- ㉒ モニタリング等により希ガス中1核種、ヨウ素同位体中の1核種の放出率が得られた場合、
- ㉓ 希ガス、ヨウ素中のすべての核種の放出率が得られた場合、
- ㉔ 希ガス、ヨウ素以外の核種の評価を行う場合、

を考慮している。

これらのデータはRELコマンドのオペランドとして、放出率決定日時とともに入力する。(a)、(b)の場合システムでは、これらのデータと核種組成比率ファイルをもとに、シャット・ダウンから比率決定時刻までの各核種の崩壊を考慮して、シャット・ダウン時換算の各核種の放出率を第1種制御表に記録する。(a)の場合、入力された希ガス放出量を Q_n 、決定時刻を t_1 、シャット・ダウン時刻を t_0 とすると、希ガス中のある核種 i のシャット・ダウン時換算放出率 Q_{oi} は、

Table 4.5 Criteria for the emergency preparedness issued from Japan Nuclear Safety Commission.

予測被ばく線量		防護対策の内容
全身外部線量	甲状腺線量	
1レム ~5レム	10レム ~50レム	○ 乳幼児、児童、妊婦は、自宅等の屋内へ退避すること。その際窓等を閉め気密性に配慮すること。
5レム ~10レム	50レム ~100レム	○ 乳幼児、児童、妊婦は、指示に従いコンクリート建屋の屋内に退避するか、又は、避難すること。 ○ 成人は、自宅等の屋内へ退避すること。その際、窓等を閉め気密性に配慮すること。
10レム以上	100レム 以上	○ 乳幼児、児童、妊婦、成人とも、指示に従いコンクリート建屋の屋内に退避するか、又は、避難すること。

Table 4.6 Items of print and graphic output of SPEEDI.

	計 算 出 力	図 形 出 力
(1)気象データ	—————	地上観測風ベクトル表示
(2)風 速 場	各格子点での風ベクトル(m/sec)	風速場ベクトル表示(水平・鉛直断面)
(3)濃 度	1時間平均空間濃度 (Ci/m ³) 地表面沈着量 (Ci/m ²)	核種毎の水平分布 } 等値線表示 地表面沈着量 } 任意地点での濃度時間変化表示
(4)線 量	照射線量率 (μR/h) 全身線量 (mrem) 内部被曝線量 (mrem)	照射線量率 } 全身線量 } 等値線表示 内部被曝線量 } 任意地点での線量時間変化図

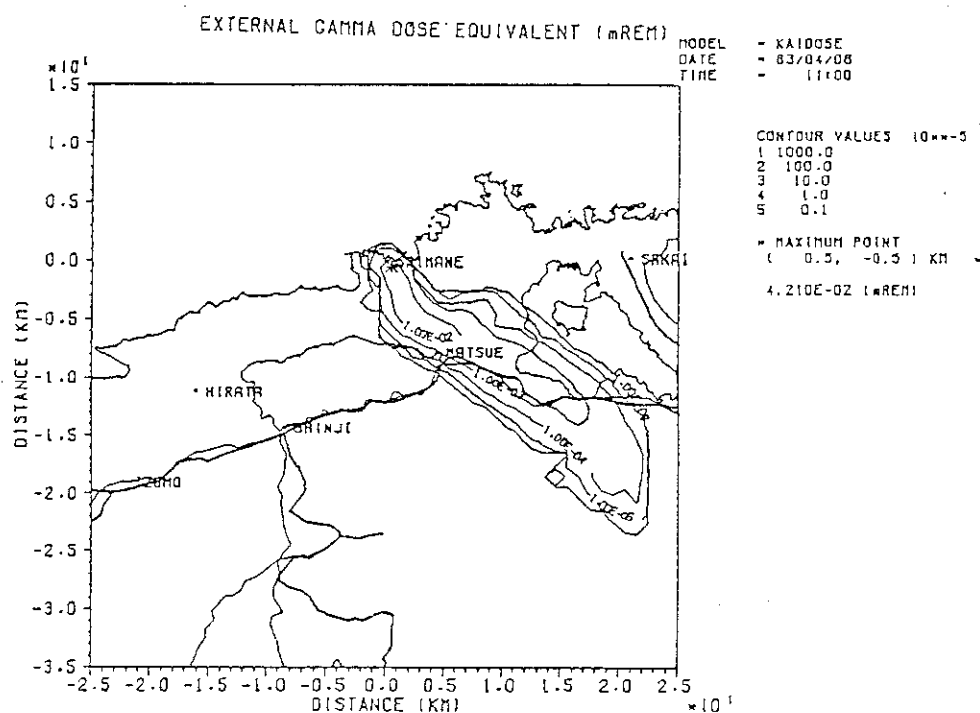


Fig. 4.8 A graphic output of external dose distribution.

$$Q_{oi} = f_i \cdot \left\{ Q_n / \left(\sum_1^N f_i e^{-\lambda_i t_2} \right) \right\} \quad (4.1)$$

で表わされる。ここで f_i は、核種組成ファイルから引き出された核種 i の燃料棒内組成比、 N は組成ファイルに登録された希ガス数、 λ_i は核種 i の崩壊定数、 $t_2 = t_1 - t_0$ である。ヨウ素についても同様に、ヨウ素同位体のシャット・ダウン時の放出率を求め第 I 種制御表に記録する。

(b) の場合、希ガス中の K_{r85} の放出率 Q_{kr85} が測定されたとすると、他の希ガスのシャット・ダウン時換算放出率 Q_{oi} は、

$$Q_{oi} = (Q_{kr85} / e^{-\lambda_{kr85} \cdot t_2}) (f_i / f_{kr85}) \quad (4.2)$$

で与えられる。又、(c)、(d) の場合、入力された各核種の放出率を Q_i とすると、シャット・ダウン時換算の放出率 Q_{oi} は、

$$Q_{oi} = Q_i / (e^{-\lambda_i t_2}) \quad (4.3)$$

で与えられる。このルーチンは、放出情報の入力がなく単位放出を仮定して濃度分布の計算を進めた場合や、正確な各核種の放出率データの入手によりデータを更新する場合に、濃度計算まで戻らず、線量計算部分のみで対応できるように作られた。第 I 種制御表に記録されたシャット・ダウン時換算放出率は次の様に用いられる。濃度計算ファイルが単位放出を仮定した結果の場合、希ガス中の核種 i の時刻 t_3 での空間濃度 $X(x, y, z, t_0)$ は、

$$X(x, y, z, t_0) = Q_{oi} \cdot e^{-\lambda_i t_4} X'(x, y, z, t_3) \quad (4.4)$$

ここで Q_{oi} は、第 I 種制御表に設定された値、 t_4 はシャット・ダウンから t_3 までの時間中、 $X'(x, y, z, t_3)$ は、データ・ファイルに記録された、時刻 t_3 の希ガス濃度分布データである。また希ガス、ヨウ素の放出率変化が考慮された濃度計算が行われている場合には、 $X'(x, y, z, t_3)$ は、

$$X(x, y, z, t_3) = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} e^{-\lambda_i t_4} X'(x, y, z, t_3) \quad (4.5)$$

で与えられる。ここで N は、登録希ガス数である。これらの補正は、図形処理や線量計算で各核種の濃度分布を必要とする時に、システム内で行われる。REL コマンドは、1 回目の線量計算より前に 1 回必ず使用すれば、それ以降はより正確な情報を入手した時に、随時更新のために使用すればよい。

4.3.5 汎用アクセスソフトウェア

本システムのデータ・ファイルのうち、地域データ・ファイル、気象データ・ファイル、計算出力ファイルは、原研開発のデータプール・システム⁴¹⁾を採用している。このファイリング・システムは、データの入出力法が簡便でありデータ管理の上でいくつかの利点をもつが、まだ一般に普及しておらず、計算コードをシステムに組み込む際、上記ファイルとのアクセスのためのコード書き換えが煩雑になる。そこで、ファイルと計算コードの間にデータやりとりのためのソ

ソフトウェアを設け、これを媒介としてファイルと計算コードを結ぶようにした。このソフトウェアは、どの計算コードにも適用できるので汎用アクセス・ソフトウェアと呼んでいるが、これにより単体コードをシステムに組み込む際のコード書き換えはかなり少なくなる。

システムのモジュラー性は、この汎用アクセス・ルーチンと、前述の第Ⅰ、Ⅱ種制御表により保たれている。計算コードとシステムとのインタフェースは Fig. 4.3 に示した通りである。

4.4 ベンチマーク・テスト

緊急時の全体計画には、予測計算コードの開発に資するために、システム開発と別に、野外拡散実験^{4.4)}と風洞実験が行われている。野外実験は、昭和55年から6年計画で行われており、最初の2年間は鉛直濃度分布調査のためヘリコプタの往復運動によるライン線源を用いて行い、次の2年間は点源で行った。場所はいづれも茨城県東海村である。本システムを用いて野外実験のシミュレーションを行った例を示す。本シミュレーションでは、Fig. 4.1のうち、風速場計算コード WIND 04^{4.5)}と濃度計算コード PRWDA^{4.6)}を用いて行った。WIND 04は、気象観測データをもとに客観解析により三次元の地形を考慮した質量保存風速場を計算するコードで、1回の風速場推定計算に原研大型計算機 FACOM-M380で約90秒のCPU時間を要する。PRWDAは、大気放出物の流れを粒子群の移流、拡散で表現する計算コードで、三次元風速場を用いて地形等を考慮した複雑な拡散現象を扱うことができる。またヘリコプタの往復運動による放出のような特殊な放出形式にも対処できる。現在 PRWDAは研究用に各種のオプションをもつため計算時間は、M380機で180秒程度かかるが、コードを書き換えることにより、計算時間は約1/2になることが予想される。

昭和55年の野外実験の概略図を Fig. 4.9 に示す。トレーサのSF₆放出は、ヘリコプタを海岸線にそって約6kmの中を往復させ、高度150mから90分間行われた。サンプリングでは、海風が陸地に侵入する際に生じる内部境界層存在時の鉛直拡散を調査する目的で、風下側に、サンプルを地上から50m毎に付けた係留気球を4台配置した。また地上サンプリングを風下21地点で行った。サンプリングは90分放出の後半30分間行った。気象観測項目としては、地上風向、風速分布、鉛直風向、風速分布、鉛直温度分布の測定が行われた。

SPEEDIシステムでは、上記の風向・風速測定値と茨城県公害技術センタが収集している気象データを1時間毎に気象データプールに記録し、90分間の放出に対して放出開始から1時間分の計算を風速場、濃度の順に行い、次に残り30分間の風速場、濃度の計算を行った。昭和55年の実験は、10月15日から19日までの間に7Run行ったが、このうちのRun5の計算結果を示す。Run5は10月18日10時から放出を開始した。Fig. 4.10は放出開始時の気象データのシステム出力で、矢印の方向で風向を、矢印の長さで風速を表わしている。サイト名と日時が右上に表示されており、右下に矢印の最大長が4m/秒であることが示されている。Fig. 4.11は、Fig. 4.10の風向・風速を用いて計算した三次元風速場の放出高度での水平分布を表示している。図中の上部の破線は、等高線を示している。Fig. 4.12は、Fig. 4.11に示した10時の風速場と次の11時の風速場を用いて10時から11時30分までの拡散シミュレーションを行った結果で11時から11時30分までのサンプリング時間中の地上濃度分布を示している。図上のタイトル中の単位はシステ

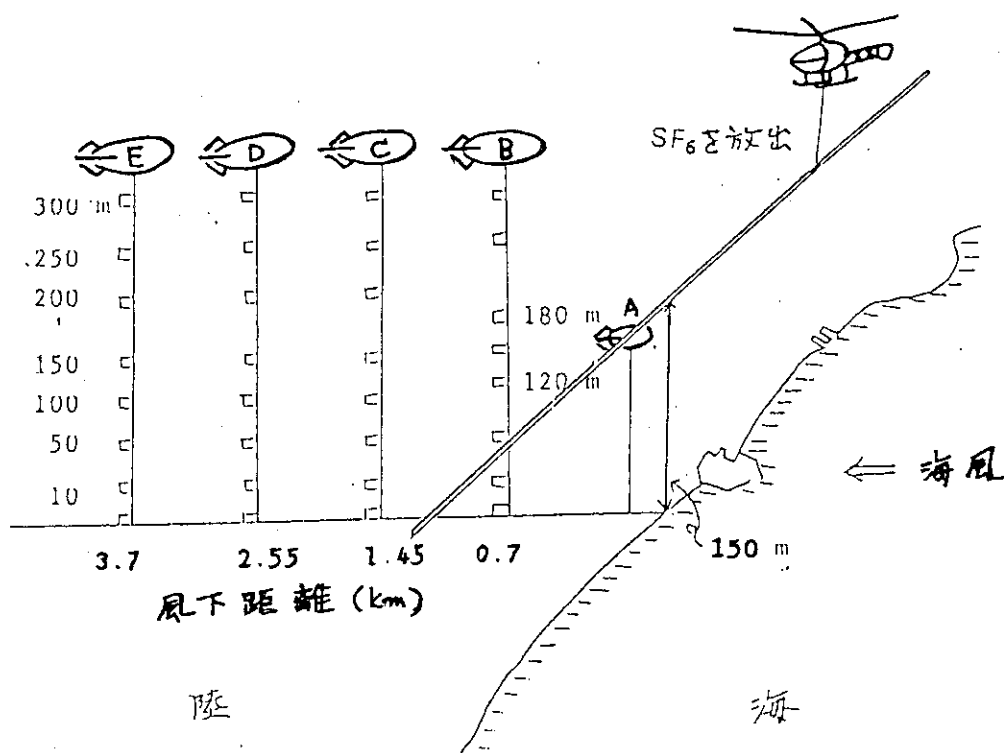


Fig. 4.9 Deployment of instruments and release line of SF_6 tracer in a field experiment.

出力では Ci/m^3 になっているが実験は非放射性的の SF_6 を用いており単位は m^3/m^3 (空気 1m^3 当りの SF_6 の体積) である。等値線の値及び、最大濃度地点の位置と最大値を図右に示してある。また日時、計算コード名は右上に示されている。Run 5 実施時には、鉛直の温度分布から内部境界層の発達が認められており、鉛直方向の大気の流れの入力は、会話形式で計算コードに渡される。Fig. 4.13 は高度 250 m の濃度分布を示しているが、Fig. 4.12 との比較でわかる様に、内部境界層外側の安定大気方向への拡散が抑制されていることがわかる。

また、他の Run のシミュレーションでは、三次元的な風速場を考慮したために、実験結果にみられる上層と下層の風向の違いによる鉛直濃度分布の変化をシミュレートでき、海岸付近特有の拡散現象をかなり計算で表わすことができることが確かめられた。

また、昭和 58 年の拡散実験では、実験の Run 2 と Run 5, 6 にあわせて運用試験を行った。気象データは茨城県公害技術センターでオンラインで収集されている県内風向・風速データを電話連絡で受け、その他に原研構内に設置した音波ドップラー・レーダーにより上層風向、風速データと 10 分平均の風向変動鉛直分布データを得た。毎正時の気象データを電話連絡で受け、端末を使用して 1 時間分の気象データ・ファイルを作成するために約 20 分を要し、さらに濃度計算終了までに、コマンド処理、図形出力も含めて 25 分を要した。計算機の CPU 時間を本システムのみが占有した場合、計算、コマンド処理、図形出力に要する時間は、約 10 分に短縮されると予想される。また計算コードは、計算時間短縮のための書き換えの余地があり、それによりさらに時間の短縮が期待できる。

システムの出力は、気象観測結果の出力から順に、実験担当者に手渡され、Run 5 の計算結果は連続して行われた Run 6 のサンプリング計画のための基礎資料として利用された。この時の濃度分布計算結果を Fig. 4.14 に示す。移動式サンプラへの情報を与えやすいように道路と地名を下絵として選択した。

WIND OBSERVATION

SITE = TOKUAI
 DATE = 80/10/18
 TIME = 10:00

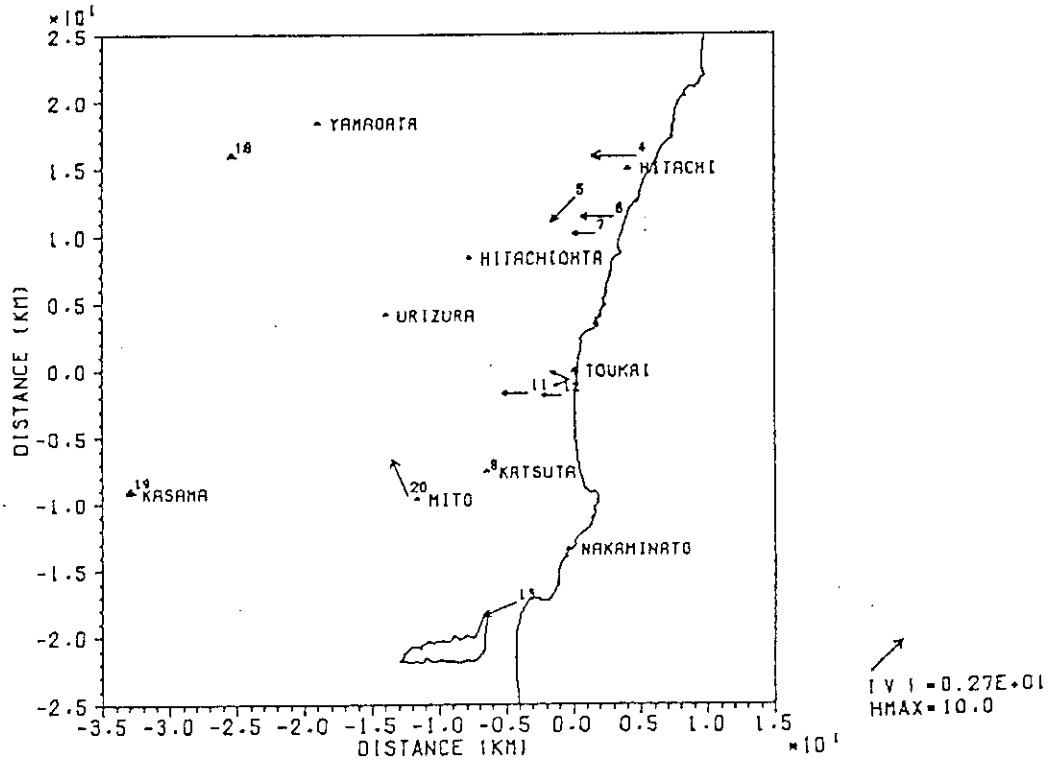


Fig. 4.10 Graphic output of measured wind data in a field experiment.
 (FY 1980, Run 5).

REGIONAL WIND FIELD
 TOP VIEW (HEIGHT = 150 M)

MODEL = WIND04
 DATE = 80/10/18
 TIME = 10:00

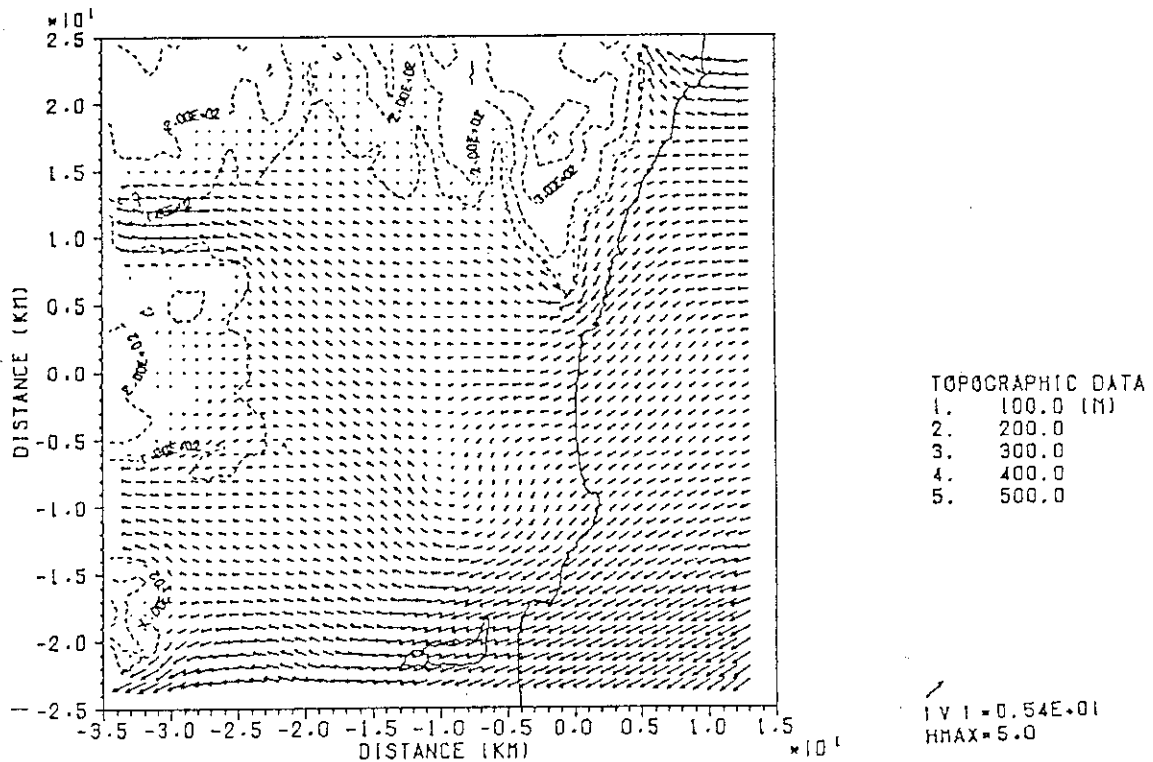
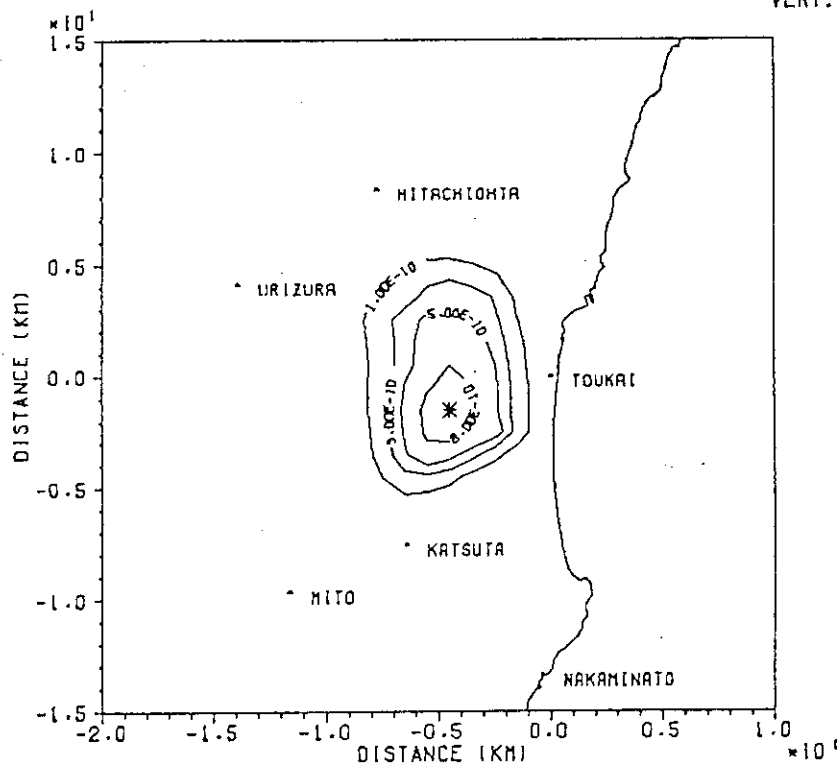


Fig. 4.11 Graphic output of wind field calculated from wind data of Fig. 4.10.

INSTANT CONCENTRATION ISOPLETH
(C1/M**3)

MODEL = PRWDA
 NUCLIDE = SF6
 DATE = 80/10/18
 TIME = 11:30
 VERT. LEVEL (C) 0.0 - 25.0 M



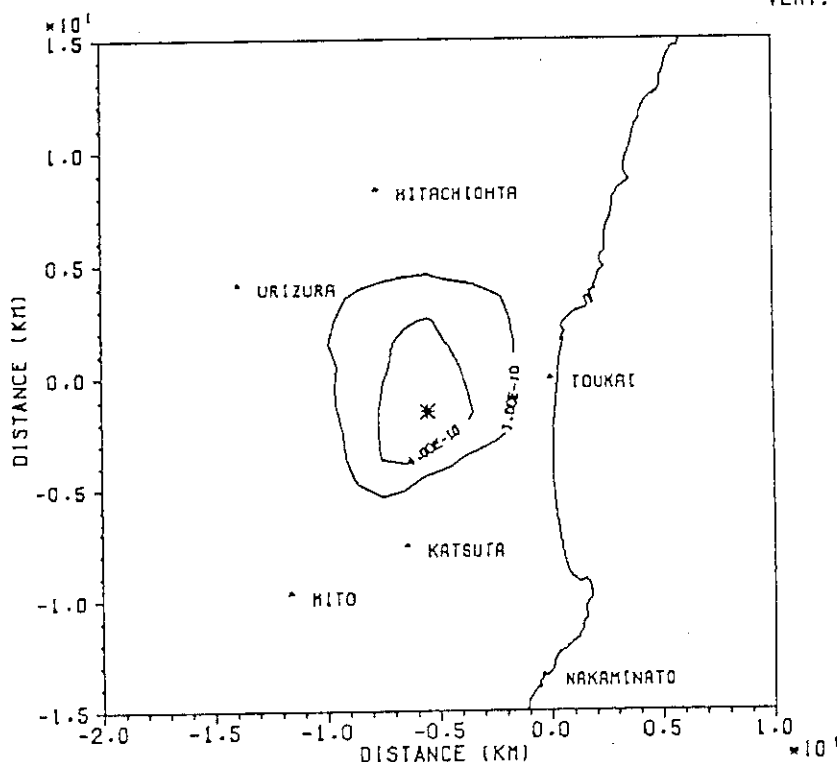
CONTOUR VALUES 10**12
 1 800.0
 2 500.0
 3 300.0
 4 100.0

* MAXIMUM POINT
 (-4.5, -1.5) KM
 9.781E-10 C1/M**3

Fig. 4.12 Graphic output of ground level concentration calculated using the wind field of Fig. 4.11.

INSTANT CONCENTRATION ISOPLETH
(C1/M**3)

MODEL = PRWDA
 NUCLIDE = SF6
 DATE = 80/10/18
 TIME = 11:30
 VERT. LEVEL (S) 235.0 - 260.0 M



CONTOUR VALUES 10**12
 1 400.0
 2 100.0

* MAXIMUM POINT
 (-5.5, -1.5) KM
 6.355E-10 C1/M**3

Fig. 4.13 Graphic output of the concentration at 240 m height.

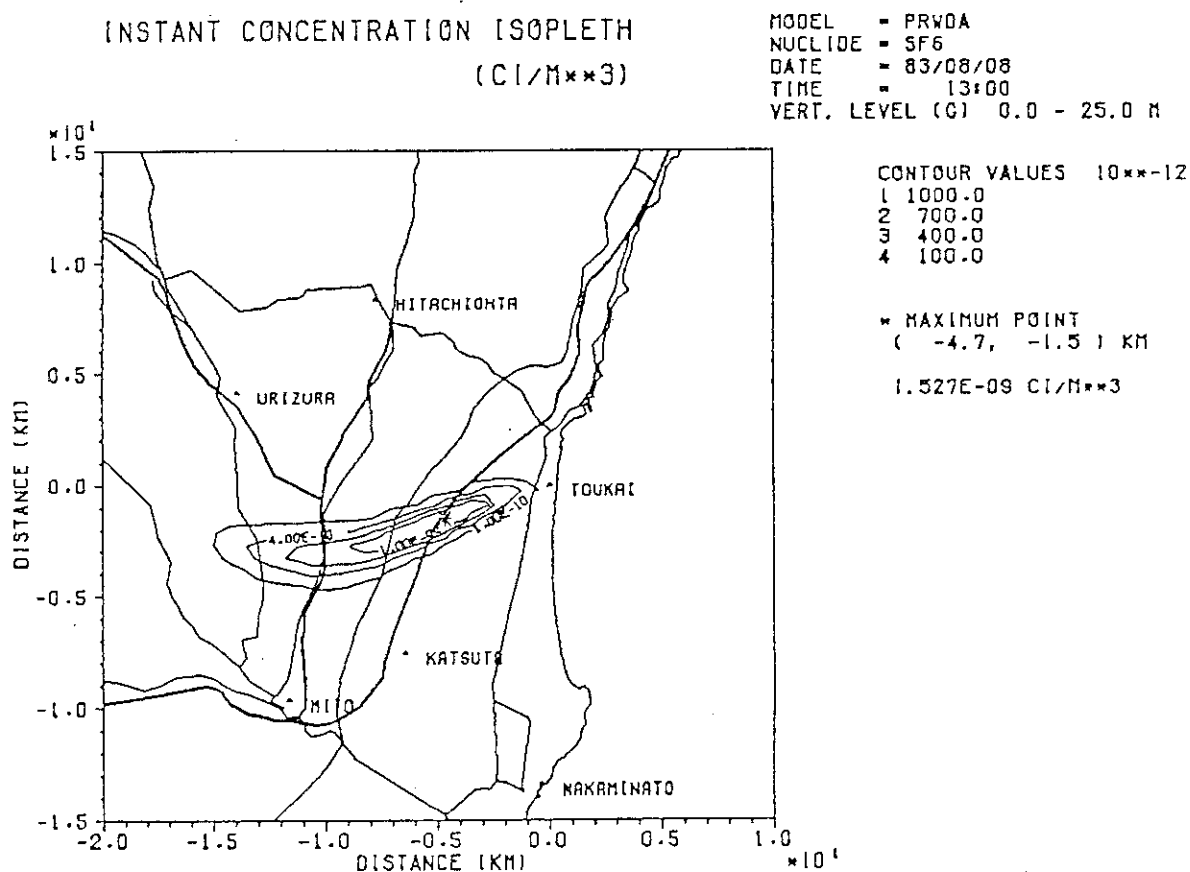


Fig 4.14 Graphic output of calculated ground level concentration of field experiment
Run 5 in FY 1983.

4.5 望ましい計算機の機能

(1) ベクトル演算機能

SPEEDI コード・システムの風速場計算コード WIND 04, 濃度計算コード PRWDA, 線量計算コード KAIDOSE のそれぞれのバックアップ・コードに MATHEW, ADPIC, GAMPUL がある。MATHEW と ADPIC は米国ローレンス・リバモア国立研究所で開発された有名なコードである。これらコードを少し書き換えてベクトル計算への適応性を調べたところ Table 4.7 の結果が得られた。^{4.7)} 緊急時における高速計算の重要性を考慮すると、ベクトル計算機能を持つ計算機を利用できることが望ましい。

(2) 高速通信回線と高性能グラフィック端末

SPEEDI コード・システムの計算結果は三次元空間の格子点における値として出力される。現在は計算結果を大型計算機のファイルに保存し、図形表示用に変換した結果を通常の通信回線 (9600 ビット/秒) でカラー・グラフィック端末に伝送し、図形で表示している。この伝送をより高速の通信回線で送れることが望ましい。また下絵となる行政界, 鉄道, 道路等の地図データは固定されたものであるから, 端末がディスク・ファイルやメモリを持つ高性能のものであれば端末で保存, 表示できて便利である。

Table 4.7 Results of vectorization of some backup codes of SPEEDI.

コード名	分野 (基礎方程式)	解法	ソース枚数	ベクトル化率	速度向上	ソース修正率	変換のレベル	メモリ増加率	ファイル数 ×容量	I/O回数	計算機	作業した年度	作業に要した人月
MATHEW	3次元風速場計算 (ポアソン方程式, 流体連続方程式)	有限差分 SOR法	3,000	98	7.6	5	3	1.7	4 MB	121	F55APU	57	2
ADPIC	汚染物質移流拡散 (拡散方程式)	セル内粒子法	3,000	51	1.5	15	3	1.1	1.2 MB	94	$\alpha = 3$ (M200)	57	2
GAMPUL	外部被曝線量計算 (線量評価積分式)	ガウス積分	2,000	90	4.0	20	3	2.7	0	0	$\alpha = 6$ (M200)	57	2

(3) 同一設計方式のスーパーミニコン

従来この種の計算で簡易なものはミニコンで処理されることが多かった。最近のスーパーミニコンは性能が高いため、詳細な計算もできる可能性が出てきている。また、気象データの連続収集、特定サイトのみに限定した SPEEDI の適用などは大型計算機よりはスーパーミニコンのほうが費用効果の点で向いている。大型計算機と同一設計のスーパーミニコンであれば、SPEEDI を容易に適用できるので、このようなミニコンが原研で利用できることが望ましい。これまでは、この種ミニコンの使用法として、ミニコンによるプログラム修正、開発、大型機によるプログラム実行というパターンが多かった。しかし、大型汎用機の良さは、その高速性によるジョブ回転時間の速さ、完備したソフトウェアに依る使い易さなどにあるから、人件費が高騰しつつある現在では、大型汎用機によるプログラム開発、ミニコンによる特定局面への応用というパターンをもっと強く意識してもよいのではないか。特に、何事につけても一般的展用を求められる原研にあっては……。

4.6 おわりに

本システムは、システムに組み込む計算コードの開発も含めて、基本システムの作成をほぼ終了し、実用化のための問題点や改良項目の調査・検討を行う段階に入りつつある。昭和58年3月までに要したマンパワーは Table 4.8 のとおりである。実用化された緊急時システムは各国に存在するが、規模の面では、ミニコンのみで処理されるような中小規模のものが多い。本システムのような大規模なソフトウェアをもつシステムとしては、米国の ARAC システム^{4.8)}が有名であるが、これについても巨大ミニコンへの移植が進められている。これらの点から本システムについても 32 ビットのミニコンコンピュータへの移植の検討を昭和58年より開始した。これと別に、気象データのオンライン入手や、結果を配布するための通信機能の検討も進めていく必要がある。

本報告で述べたモジュラー・コード・システムの作成は、環境放射能研究委員会モニタリング予測専門部会（浜田部会長）のもとにあるシステム W.G. の作業の一環として行われており、この会合は、コード作成、システム作成の担当者が集まり不定期に開かれている。会合のメンバーを欄外に記す。

本システムの作成にあたっては、各方面の方々から協力を得た。地域データ・ファイル作成には国土庁の国土数値情報を用いたが、使用にあたり国土庁国土情報整備室の協力を得た。拡散実験シミュレーションに用いた気象データの一部は、茨城県公害対策課と原子力安全対策課の御厚意で借用することができた。ここに上記の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

また本システムの核種ファイルに利用している原子炉燃焼度と生成核種に関するデータ、図形表示ソフトウェアに利用した ARGUS-V4、データ・ファイルに用いたデータプール・システムは、本研究と別に原研内で開発されたものであり、作成者の御厚意により利用させていただいた。御協力下さった核燃料施設安全解析室（核種データ・ファイル）、理論解析室（ARGUS-V4）及び計算センタ（データプール）の関係者の皆様に感謝致します。

最後に本コード・システムの作成にコード総合化専門部会（桂木部会長）のモジュラー・コード・システム作成に関する議論の蓄積が基礎となっていること、また本システム作成に関しても

Table 4.8 Manpower invested to develop SPEEDI code system

ルーチン名	計算の目的	ステップ数	プログラミン作業			比率	推定作業量		実質作業量	コメント
			内容	分類	担当者		推定法			
MATHEW	変分法による三次元風速場計算	4700	入出力パラメータ修正	変換	24%	2		2.5		
WIND 04	同上	2500	モデル検討作成	分析, 作成	100	4		6		
MESOWD	MESODIF用二次元風速場計算	1500	新規作成	作成	"	2.6		2.2		
GPCONC	三次元ガウス・ブルーム・モデルによる濃度計算	3600	"	"	"	2.4		3		
ADPIC	システムへの組込み	1000	入出力パラメータ修正	変換	28	0.4		1.5		
COARA	PIC法による三次元移流拡散計算	4900	"	"	25	2		1.5		
PRAWDA	同上	2000	モデル検討作成	分析, 作成		7		7		
	システムへの組込み	2000	入出力パラメータ修正	分析, 作成		0.8		1		
MESODIF2	PIC法による三次元移流拡散計算	2000	モデル検討作成	分析, 作成		5		5		
LSPUFF	システムへの組込み	2000				0.8		0.5		
TRPUFF	セグメント・モデルによる移流拡散	1500	新規作成	変換	25	1.4		0.7		
DOSE	パフモデルによる拡散計算	1500	新規作成	作成	100	2.6		3		
	三次元流跡線パフ・モデル	3000	"	"	"	1.5		1		
	ガウス・ブルーム・モデルによる線	1000	入出力パラメータ修正	改造	33	3		3.6		
	量計算システムへの組込み	2000	入力, 計算手法追加	"	50	2.3		1.5		
KAIDOSE	DOSEの改良	2000	入力ファイル計算手法変更	"	100	2.8		3		
EMER	DOSEを改造し分割	300	モデル検討作成	分析, 作成		1.5		1		
GRAPH	PIC法コード濃度による線量計算	3600	仕様検討作成	"	"	7		7.6		
	会話型コマンド解釈, 制御ルーチン	3000	"	"	"	6.7		6.6		
	EMERへの機能追加	9700	新規作成	作成	"	3		8		
REGIONDP	図形表示ルーチン	3900	"	"	"	3		4.5		
	図形表示機能追加	5000	仕様分析作成	"	"	8		12		
DPACCESS	地域データプール作成プログラム	1500	"	"	"	2		2		
	REGIONDP機能追加	2000	新規作成	"	"	1		1		
WINDDP	データプールへのアクセス・ルーチン	1000	REGIONDPのラン	作成	100	3		3		
	地域データプールの作成	2000	新規作成	"	"	2		2		
	気象データプール・ルーチン	67200	新規作成	"	"	1		1		
	WINDDPへの会話型機能を追加		"	"	"	2		2		
						計80.2		計93.2		

多大な援助があったことを記し、ここに感謝致します。

(環境安全研究部 茅野政道)
(計算センタ 浅井 清)

参考文献

- 4.1) 富山峯秀, 他: データプールの概念と機能, JAERI-M 8715 (1980)
- 4.2) 原子力安全委員会: 「原子力発電所周辺の防災対策について」, (1980)
- 4.3) 竹田辰興, 他: 「ARGUS-V4使用手引き」, 私信, 1983. 及び本報告の付録A.
- 4.4) 角田道生, 他: 拡散実験による沿岸地域の沿直濃度分布, 気象学会 1983 年春季大会予稿集, P 273 (1983)
- 4.5) 石川裕彦: 変分法を応用した 3 次元風連場計算コード, JAERI-M 83-113 (1983)
- 4.6) 茅野政道: DPRW法による大気中濃度分布計算モデル, JAERI-M 83-084 (1983)
- 4.7) 浅井 清, 他: 放射性物質大気中移流・拡散・外部被曝線量計算コードのベクトル計算処理, JAERI-M 82-218 (1983)
- 4.8) M.H. Dickerson, et al. : The Atmospheric Release Advisory Capability, UCRL-52802-83, (1983).

システム W.G. 構成員

吉川友章, 荒川正一 (昭 57 まで), 木村富士男, 小出 孝 (以上気象研), 佐藤 貞 (安全解析所), 今井和彦, 森内 茂, 石川裕彦, 甲斐倫明, 浅井 清, 中村康弘, 篠沢尚久, 飯島敏哲, 本間俊充, 日高昭秀, 茅野政道 (以上原研)

5. RADHEAT-V4 遮蔽安全解析コード・システム

5.1 計算の目的と用途及び開発スケジュール

RADHEAT コードシステムは放射線施設における中性子及びガンマ線の遮蔽安全評価を行う目的で開発が進められている詳細輸送計算システムである。一般に放射線施設と言っても、その線源及び幾何学的条件は多種多様であり、廃棄物取扱施設、再処理施設から原子炉、核融合炉までの広範囲な問題を取扱う事が要求される。

これらの遮蔽解析を個々のデータ及び計算コードを用いて行うことは、それらの手法の精度及び適用性が互いに異なるため統一した安全評価が困難となる。また多くのデータ、計算コードの開発はそれぞれの精度及び適用性評価が必要となり、開発費用及びマンパワーの点で望ましくない。そのため RADHEAT システムの開発においては、可能な限り精度が高く、かつ広範囲な適用性を持つ手法を採用すると共にデータの流れを系統的に分類、整理することにより、汎用性が高く、かつ誤った使用を避けるように設計されている。従って、本システムでは多種多様なデータを使用しているにもかかわらず、使用者から見ると非常に簡単な入力でシステムを取扱えるのが特徴の一つである。

システムは7つの処理モジュールと1つのデータプール及びデータプール管理パッケージから構成されており処理範囲は以下のようになっている。

- 1) 核データの群定数化処理,
- 2) 1～3次元形状による中性子及びガンマ線輸送計算,
- 3) 群定数縮約処理,
- 4) 会話型図形処理。

また用途としては以下の問題を取扱う事が可能である。

- 1) 核データ積分評価,
- 2) 核融合炉、高速及び熱中性子炉、再処理施設、核燃料輸送容器、廃棄物取扱施設における中性子及びガンマ線遮蔽解析及びスカイライン解析,
- 3) 上記施設における中性子及びガンマ線発熱及び照射損傷計算。

また、関連した計算コードとして燃焼計算により中性子及びガンマ線の線源強度、スペクトルを計算する ORIGEN-JR^{5.1)}、COMRAD^{5.2)}、臨界安全コード・システム JACS^{5.3)}がある。

RADHEAT システムは昭和 49 (1974) 年に原型が整備され^{5.4)}種々の改良・拡張作業が行われ昭和 52 年には RADHEAT-V3^{5.5)}が完成した。現在開発している RADHEAT-V4 は RADHEAT シリーズの最新版であり、プログラム整備はほぼ完了している。現在はベンチマーク・テストによる精度及び適用性を評価する作業とシステム使用マニュアル整備作業が併行して行われている。これらの作業が終了した段階で公開を予定しており、一部は昭和 58 年度末に公開する予定である。ベンチマーク・テストはシグマ研究委員会核融合炉・遮蔽ワーキング・グループ及び原子力コード委員会 RADHEAT 評価ワーキング・グループで行われており、後者の評価作業は昭和 61 年度まで継続して行われる予定となっている。

5.2 RADHEAT システムの概要

RADHEAT-V4 システムはデータと処理プログラムを明確に分離した構成となっており、その階層構造を Fig. 5.1 に示す。システムは7つの処理モジュールと1つのデータプール及びデータプール管理パッケージより構成されている事を前節で述べたが、この階層構造の特徴としては、種々のデータ格納、検索が Node 名指定による簡単な方法で行える事にある。従って、将来システム機能の追加が必要になっても処理モジュールを追加してゆく事が容易に行える。このことは汎用システム開発には重要な点であり、柔軟なシステム開発を可能とするものである。プログラムはすべて FORTRAN 言語で書かれており、公開した際に異種計算機への変換トラブルを生じさせないように配慮している。

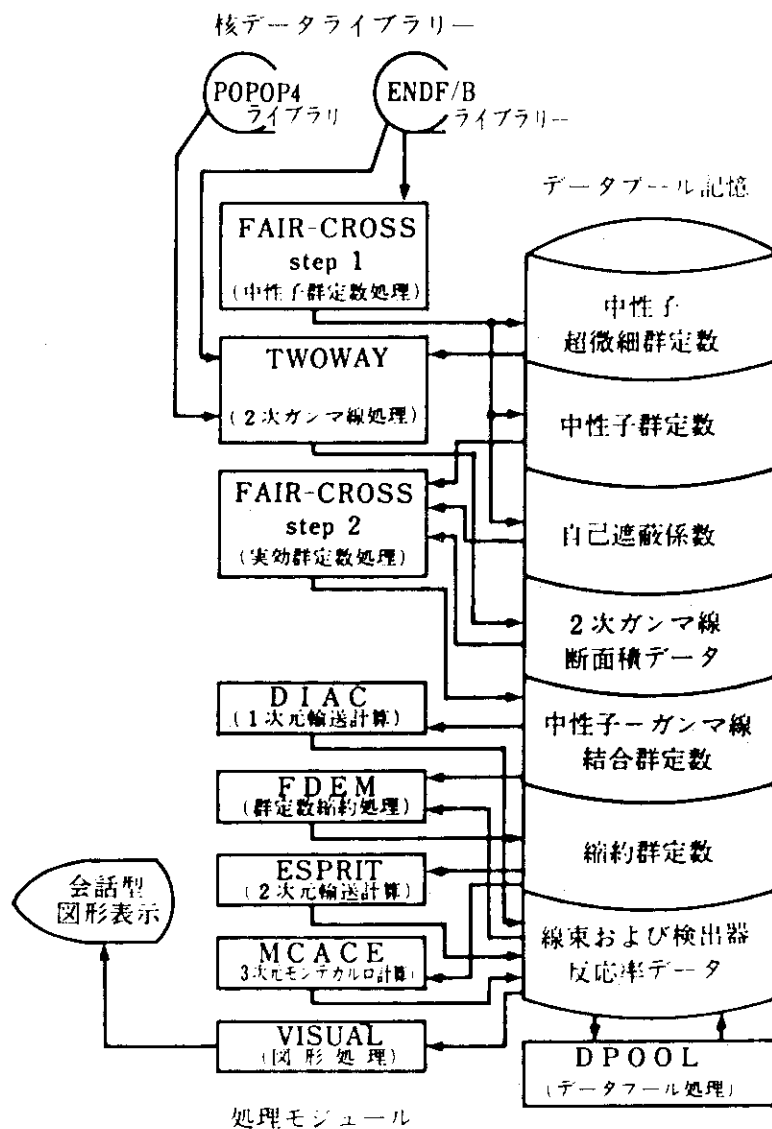


Fig. 5.1 Hierarchy of RADHEAT-V4 code system

各処理モジュールの簡単な機能の説明を以下に示す。

1) FAIR-CROSS

このモジュールは3つの機能を持っており、step-1では核データ・ファイルを読み込んで超微細群定数、無限希釈群定数及び自己遮蔽係数を作成する。step-2ではガンマ線群定数の作成と実効巨視的群定数の作成を行う。step-3では従来の輸送計算法に使用されるANISN-typeの形式に群定数を変換する。この機能は本システムにRADHEAT-V3の上位互換性を持たせるためのものである。

2) TOWAY

中性子輸送問題で重要となる二次ガンマ線生成断面積を2種類の核データ及びFAIR-CROSS step-1で作成された超微細群数を用いて作成する。作成されたデータはFAIR-CROSS step-2で使用される。

3) DIAC

一次元形状での中性子及びガンマ線の S_N 輸送計算を行う。FAIR-CROSS step-2で作成された実効巨視的群定数を読み込み、中性子束、ガンマ線束及び線量率などの反応率を計算し出力する。

4) FDEM

群定数縮約処理を行う。FAIR-CROSS step-1で作成された無限希釈群定数、自己遮蔽係数及びDIACで作成された中性子束、ガンマ線束を使用すると実効微視的群定数の縮約が可能であり、またFAIR-CROSS step-2で作成された実効巨視的群定数のみの縮約も可能である。

5) ESPRIT

二次元形状での中性子及びガンマ線の S_N 輸送計算を行う。

6) MCACE

三次元形状での中性子及びガンマ線のモンテカルロ法による輸送計算を行う。

7) VISUAL

群定数、自己遮蔽係数、二次ガンマ線生成データ、中性子束、ガンマ線束及び線量率分布などデータプールに格納されたデータを会話型処理により一次元、三次元化一次元、等高線図に表示する。このモジュールによってデータの迅速な検討、評価が可能である。

本システムの持つ特徴を以下に簡単に示す。

1) 超微細群定数の採用

超微細群定数は16.5 MeV \sim 2.21 $\times 10^{-4}$ eVの範囲を3824群に分割して作成する。(321群まで27 m/secの等速度間隔、それ以上は0.005 lethargy 等間隔となる。)この群構造においてはp, d-wave共鳴を除く共鳴自己遮蔽係数はほぼ1.0であるため、基本的な群定数ライブラリの性格を持つ。散乱マトリクス及び二次ガンマ線生成断面積作成に必要な中性子反応断面積、無限希釈群定数はすべてこの超微細群定数より作成される。超微細群定数の作成には、RESEND-D^{5, 6, 5, 7)}のアルゴリズムを採用しており核データを可能な限り正確に処理するよう配慮している。

2) 二次ガンマ線生成断面積処理

二次ガンマ線生成断面積は中性子透過問題に重要であるにもかかわらず核データの精度が不十分である。そのため、これらの積分評価を行う目的を兼ねて ENDF/B-format^{5,8)} 及び POPOP4^{5,9)} ライブラリの両者を処理可能としている。断面積は各反応チャンネル毎に作成されるため感度解析にも応用できる。

3) 原子はじき出し (DPA) 断面積処理

照射損傷評価に用いられる原子はじき出し断面積処理に対して各反応別に Dorantの手法^{5,10)}を改良している。この断面積はKERMA係数と共に群定数に結合され、輸送解析ではActivationとして計算される。

4) Direct Angular Representation (直接角度表示法) の採用

群定数の角度依存性は従来の有限項 Legendre 展開法に変えて上記の直接角度表示法を新たに採用した。遮蔽解析は放射線の流れ (Current) がもっとも基本的な物理量である。そのため散乱の角度依存性を厳密に処理する手法を群定数作成より輸送計算まで統一して用いている。これにより異方性の強い透過問題に対しても正確な角度線束を評価する事が可能である。また断面積の角度依存性も正確に評価できるため核融合における DDX 評価に応用が可能である。

5) データプールの採用

RADHEAT-V4 システムでは上記のように多種多様なデータを処理するため、データ・ファイルの入出力の効率化を図り、かつデータ検索を容易にするため RADHEAT 専用の直接アクセス・データベースを開発し統一的に使用している。RADHEAT データプールの詳細については後述するが、データの誤操作を防止し、かつ入力データも簡素化する事が可能となっている。さらにデータ格納形式が統一されていることによりデータ・ファイルの一元化及び管理の集中化を行える長所を持っている。このデータプールの管理には専用のデータプール管理パッケージ POOL が用意されておりデータの Node 構造、ディレクトリ表示、データの修正・削除、圧縮、テープ退避、複写、追加等が会話型処理で行えるようになっている。またこのデータプール・パッケージはすべて FORTRAN 言語で書かれており、異種計算機への変換が容易である。さらに RADHEAT システムで使用するデータの特徴に合せた最適設計を行っているため、非常に効率良くデータの入出力が行える。

6) 会話型図形処理の採用

RADHEAT-V4 システムで作成処理されたすべてのデータを会話型処理により図形化表示することが可能である。表示図形は二次元、三次元化二次元、等高線図が選択でき CRT 端末 (TEKTRONIX) で簡単に表示出来る。また図形データをプロッター、COM 35 及び NLP に出力することも可能である。多量のデータを迅速に検討・評価する上で図形表示は重要である。さらに RADHEAT データプールの採用により、データの選択は Node 名を CRT 端末より指定するのみで簡単に行うことができる。図形表示に必要なパラメータはほとんど設定値 (Default 値) が内蔵されており、使用者は変更したいパラメータのみ入力することにより端末からの入力数を減らすよう配慮している。なお、等値線表示は ARGUS-V4^{5,11)}、三次元化二次元表示は PLOT-3DC^{5,12)} のプログラムの機能の一部を使用している。また表示文字は原研版 LETTER ルーチンを採用し、報告書等に挿入可能な高品位の図形表示となるよう考慮している。

以上のように RADHEAT-V4 システムではデータ格納の統一化、新手法の採用により多彩な機能を有しながら非常に簡素化したシステム構成となっており、使用に際しても入力データの簡易化により取扱いの容易なものとしている。

RADHEAT-V4 で使用する繁度の高いデータに関してはデータ・ライブラリ JSD1000 として作成、格納されており、使用者はデータの Node 名を指定するだけで任意に情報を読み出すことができる。またデータはすべてデータプールに格納されているため、ファイル容量の問題さえ解決できると一つのファイル名 (DSN 名) のデータとして利用可能である。

JSD 1000 には以下に示すデータが格納されている。

- 1) 超微細群定数,
- 2) 無限希釈群定数,
- 3) 自己遮蔽係数,
- 4) 二次ガンマ線生成データ,
- 5) 散乱マトリクス,
- 6) 実効巨視的群定数。

このうち(1)~(5)については核種数 43, 温度 3 点 (300°K, 560°K, 900°K) について格納しており, (6)については使用繁度の高い 32 物質について作成されている。格納核種及び物質名を Table 5.1, 5.2 にそれぞれ示した。なお作成に際して用いた重み関数は 3 種の関数の重ね合せであり, 以下に示す通りである。

- 1) Maxwell-Boltzmann 分布 ($10^{-5} \leq E \leq 0.125 \text{ eV}$),
- 2) $1/E$ 分布 ($0.125 \text{ eV} \leq E \leq 820.8 \text{ keV}$),
- 3) Fission spectrum ($\theta = 1.4 \text{ MeV}$) ($820.8 \text{ keV} \leq E \leq 16.5 \text{ MeV}$).

5.3 ベンチマーク・テスト

RADHEAT-V4 システムの処理モジュールはすべて新たに開発したものであるため、詳細な評価作業が必須である。そのため群定数処理から輸送計算に至る広範囲の評価作業を昭和 55 年度より継続して行っている。現在までに多くのベンチマーク解析を行っているがその問題の一部を Table 5.3 に示した。ここではすべての結果を示すことは不可能であるため、本システムに採用した直接角度表示法 (DAR method) の有効性と 1 つのベンチマーク解析結果を示す。

DAR 法の特徴を理解するために、2 つのテスト計算を行い、従来の有限項 Legendre 展開法を用いたコードとの比較を行った^{5, 13)}。最初の問題は Fig. 5.2 (a) に示すようにパラフィンの両側に鉄をサンドイッチ状に配置した中心に検出点を置き、両側の鉄全体に 14 MeV 中性子の体積線源を一様に考慮している。この形状では中性子の流れは左右とも同じであり検出点で均衡状態となる。そのため従来の手法 (ANIS N-JR P5 S16 近似) と DAR 法 (DIAC S16 近似) による角度線束は完全に一致する。しかし Fig. 5.2 (b) に示すパラフィンの左端より垂直に入射する一方向の線源を与えた問題では、体系内に強い非等方性の中性子流が存在するため従来の手法では角度線束に強い振動が現れ、物理的に矛盾した負値が生じている。この原因は有限項 Legendre 展開による散乱線源の誤差によるものである。一方 DAR 法で計算された角度線束は

Table 5.1 Nuclides contained in JSD1000 Library

NODE NAME	NUCLIDE NAME	NODE NAME	NUCLIDE NAME
1130	W-184 FROM ENDF/B-IV	1192	FE FROM ENDF/B-IV
1128	W-182 FROM ENDF/B-IV	1193	AL FROM ENDF/B-IV
1129	W-183 FROM ENDF/B-IV	1191	CR FROM ENDF/B-IV
1131	W-186 FROM ENDF/B-IV	1197	MN FROM ENDF/B-IV
1272	LI-7 FROM ENDF/B-IV	1295	CU FROM ENDF/B-IV
1261	U-235 FROM ENDF/B-IV	1287	MO FROM ENDF/B-IV
1262	U-238 FROM ENDF/B-IV	1280	MG FROM ENDF/B-IV
1264	PU-239 FROM ENDF/B-IV	1273	B-10 FROM ENDF/B-IV
1274	C FROM ENDF/B-IV	1271	LI-6 FROM ENDF/B-IV
1266	PU-241 FROM ENDF/B-IV	1160	B-11 FROM ENDF/B-IV
1050	PU-238 FROM ENDF/B-IV	1269	I-H-1 FROM ENDF/B-IV
1150	K FROM ENDF/B-IV	1289	BE FROM ENDF/B-IV
1194	SI FROM ENDF/B-IV	1195	CA FROM ENDF/B-IV
1161	PU-242 FROM ENDF/B-IV	1156	NA FROM ENDF/B-IV
1265	PU-240 FROM ENDF/B-IV	1275	N FROM ENDF/B-IV
1263	NP-237 FROM ENDF/B-IV	1276	O FROM ENDF/B-IV
1283	AU FROM ENDF/B-IV	1199	CO-59 FROM ENDF/B-IV
1288	PB FROM ENDF/B-IV	1281	CD FROM ENDF/B-IV
1189	NB FROM ENDF/B-IV	1284	ZR FROM ENDF/B-IV
1056	AM-241 FROM ENDF/B-IV	1277	F FROM ENDF/B-IV
131	KR-80 FROM ENDF/B-IV	1190	NI FROM ENDF/B-IV

Table 5.2 Typical materials and the atomic number densities
in JSD1000 library

RADHEAT-V4 DATA POOL (J3679. FNSPOOL2. DATA) : REVISED JULY 14 '82						
MATERIAL NAME	STANDARD AIR (20 CENT.)	PARTICULAR AIR	SOIL (N. T. S.)	IRON (7.87 G/CM3)	HIROSIMA AIR (EXCLUDE AR)	
NODE NAME	160	161	170	200	162	
NUCLIDE	ATOM DENSITY (n/barn·cm)	ATOM DENSITY (n/barn·cm)	ATOM DENSITY (n/barn·cm)	ATOM DENSITY (n/barn·cm)	ATOM DENSITY (n/barn·cm)	
1- H- 1	7.1990×10 ⁻⁹	1.1926×10 ⁻⁶	9.7700×10 ⁻³		1.1770×10 ⁻⁶	
6- C- 12	7.5846×10 ⁻⁹					
7- N- 14	3.9099×10 ⁻⁵	3.7248×10 ⁻⁵			3.6760×10 ⁻⁵	
8- O- 16	1.0538×10 ⁻⁵	1.0629×10 ⁻⁵	3.4800×10 ⁻²		1.0490×10 ⁻⁵	
13-AL- 27			4.8800×10 ⁻³			
14-SI			1.1600×10 ⁻²			
26-FE				8.4869×10 ⁻²		

Table 5.3 Benchmark problems analyzed in 1982

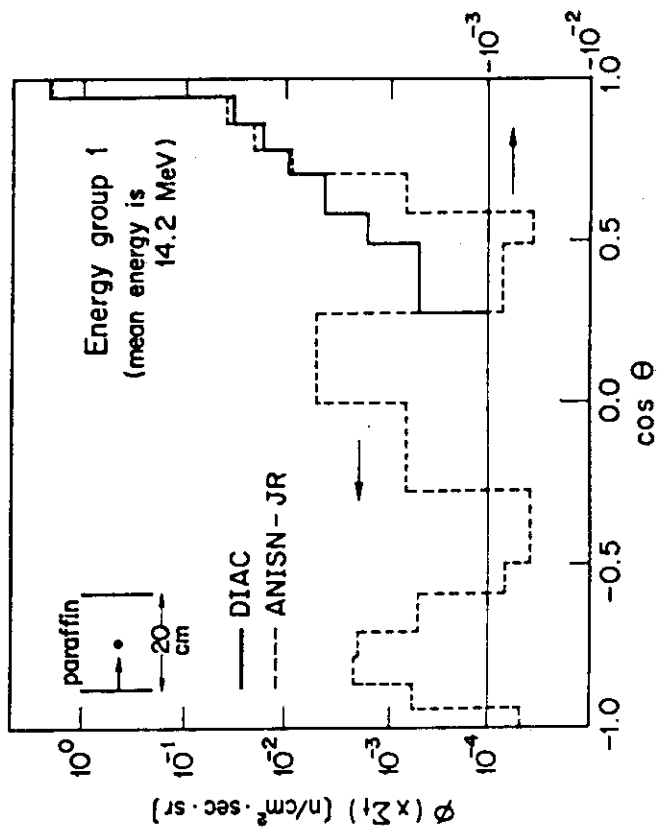
The benchmark problems analyzed by RADHEAT-V4 in 1982

- 1) Leakage Neutron Spectra from Spheres of Some Materials Bombarded with 14 MeV Neutrons.
- 2) Attenuation of Neutrons in a Shielding of Na and Stainless Steel Simulated the FFTF Radial Shield.
- 3) Neutron and Gamma-ray Penetrations in Thick Iron.
- 4) Neutron Streaming through Two-Legged Concrete Duct of Rectangular Geometry.
- 5) Neutron Spectra Originating from a 14 MeV Neutron Source in Liquid Air.
- 6) Attenuation of Fission Neutrons in Iron-Water Configuration.
- 7) Benchmark Gamma-Ray Skyshine Experiment.
- 8) Gamma-ray Attenuation in Iron, Lead and Concrete.
- 9) Neutron Attenuation in Primary Shield Tank of OTTO HAHN.
- 10) Neutron Spectrum from a Fission Source in Graphite.
- 11) Angular Neutron Spectra from a Photoneutron Source in Iron Sphere.
- 12) Gamma-ray Spectra through Water, Iron and Lead.
- 13) Gamma-ray Streaming in Concrete Ducts Model Development and Benchmark Experiments.
- 14) Measurement of Neutron Leakage Spectra from Iron Spheres with a 252Cf Source in the Center.
- 15) Absolute Fission-Rate Distributions in Lithium and Hybrid Fusion Blanket Assemblies.

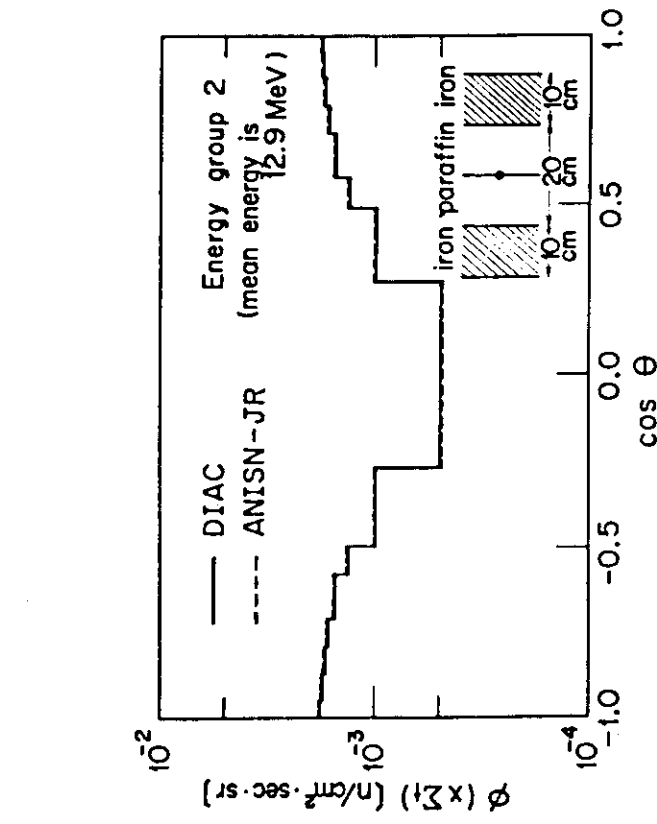
振動も負値も生じないことが理解できる。

Fig. 5.3にはRADHEAT-V4システム FAIR - CROSS step-2で作成したパラフィンの群定数及びFAIR - CROSS step-3で作成したP5展開の群定数より変換した散乱角依存の断面積を示している。DAR法により作成された断面積は全ての散乱角において負値が生じていないが、有限項Legendre近似を用いて作成された断面積は 60° 、 150° 近傍で負値となっていることが示されている。

Fig. 5.2(b)に示す問題と条件が同一であるが、物質のみ水に変更した問題の二次輸送計算結果^{5, 14)}をFig. 5.4に示した。従来の手法(DOT 3.5 P5S96近似)ではANISN - JRと同じように角度線束は振動し負値が生じている。しかしながらDAR法(ESPRIT S96近似)では全方向において正しい結果を与える。



(a) For iron-paraffin-iron configuration



(b) For paraffin slab with plane monodirectional source incident normally to left surface of slab

Fig. 5.2 Comparison between angular fluxes at center of paraffin calculated by DIAC and ANISN-JR

(a) For iron-paraffin-iron configuration

(b) For paraffin slab with plane monodirectional source incident normally to left surface of slab

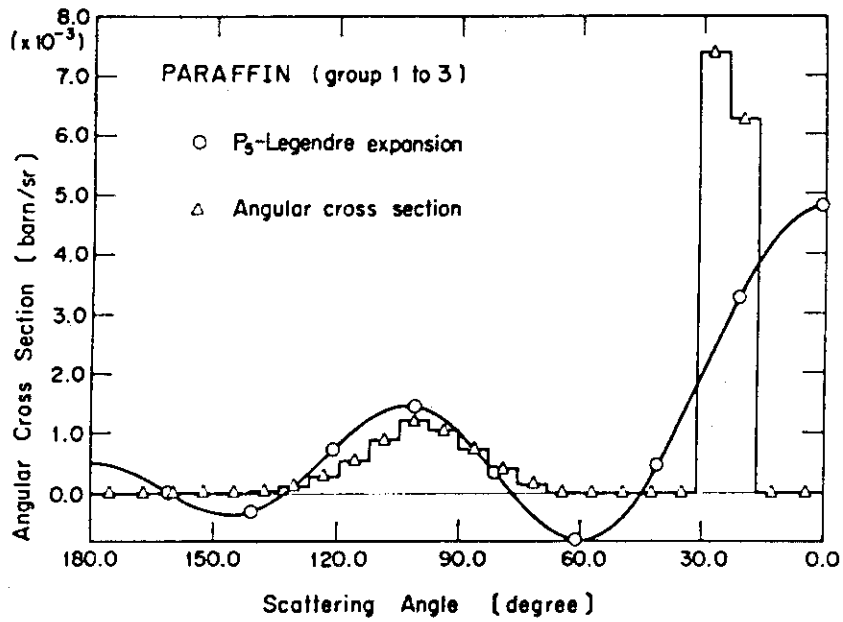


Fig. 5.3 Comparison between angular cross sections of paraffin produced by RADHEAT-V4 and P_5 -Legendre expansion

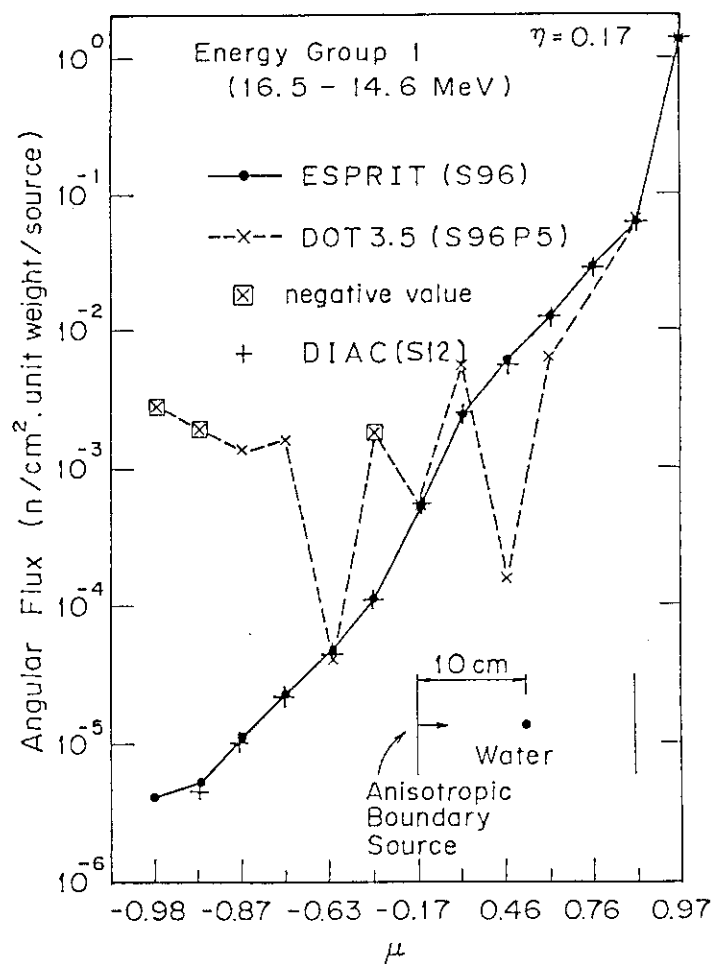


Fig. 5.4 Comparison between angular fluxes at center of water calculated by ESPRIT and DOT3.5

以上に示すように、RADHEAT-V4システムに採用されたDAR法は非等方性の強い輸送計算に対して、角度線束の振動及び負値を除去可能な有効な方法であることが理解できる。

次に高速炉体系の遮蔽解析の精度を評価し、合せて核データによる差異を検討するためKFKで行われたCf-252を線源とした鉄球表面より漏洩する中性子エネルギー・スペクトル実験^{5,15)}を解析^{5,16)}した。鉄球の直径は15, 20, 25, 30, 35, 40 cmの6種類である。

RADHEAT-V4システムDIACを用いた結果と測定値の比較をFig. 5.5に示す。核データはENDF/B-M及びJENDL-2を使用している。ここで注意する点は、³He測定値は相対値であり、反跳陽子カウンター（PRC 1~3）は絶対値測定となっていることであり、計算値は絶対値で求められているため³Heとの比較はスペクトルの傾きしか議論できない。全体的に計算値と測定値の一致は良いことが示されている。63.25keVから5.328MeVの範囲の中性子束の積分値はENDF/B-Mの場合C/E値として1.07~1.09（15~40 cm）が得られており、JENDL-2では1.09~1.12（15~40 cm）と若干ながら一致が悪い。

他のベンチマーク問題の解析結果を含めた評価では、RADHEAT-V4の適用性は広く、核融合炉解析にも十分対応できることが確認されている。今後、より詳細な評価を系統的に行うことにより、総合的な精度評価を継続して行っていく予定である。

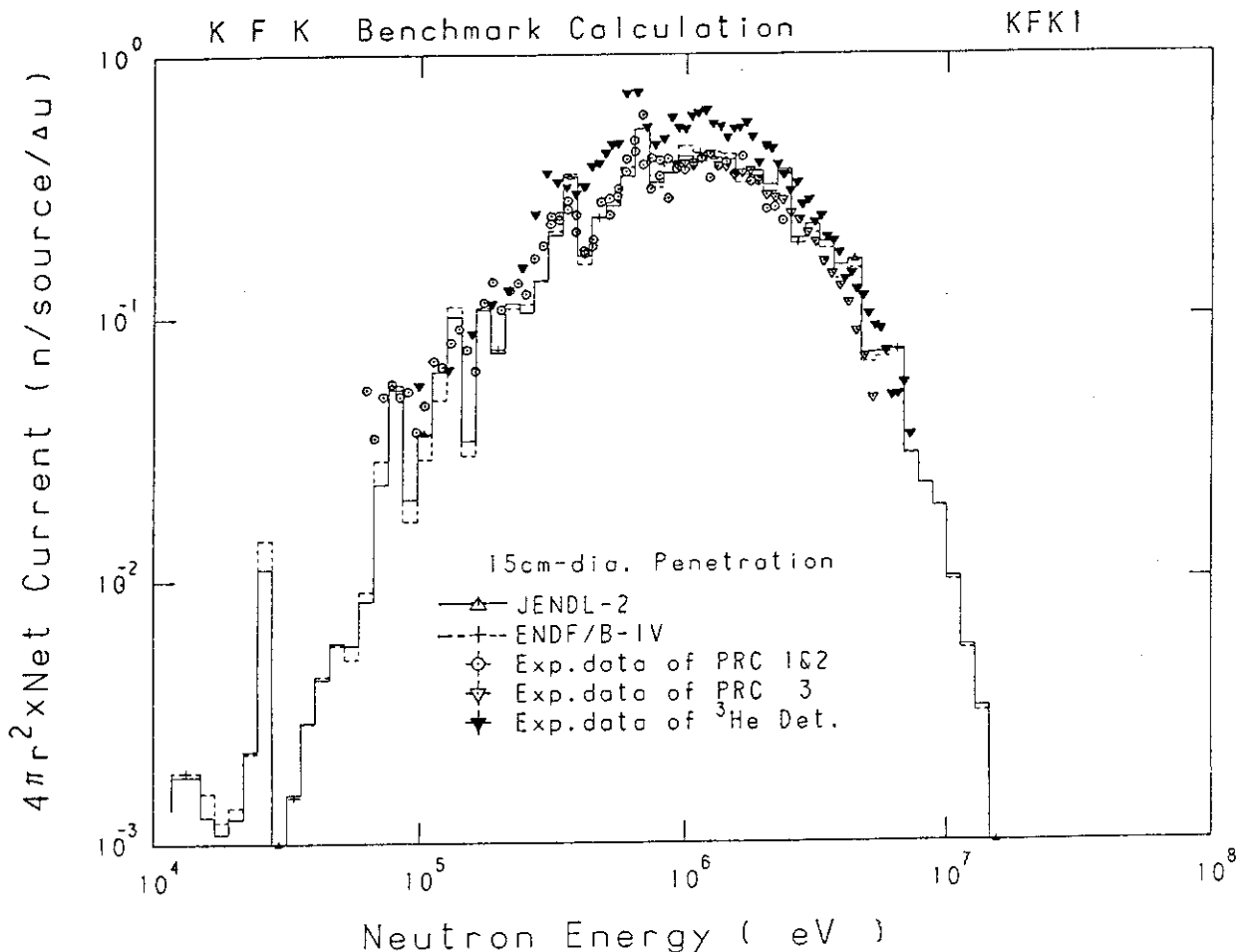


Fig. 5.5 Comparison between measured and calculated values for leakage current of the KFK benchmark experiment

5.4 使用されている計算機の機能

ここではRADHEAT-V4 システムの特徴であるRADHEAT データプールについて述べる。このソフトウェア・パッケージはすべて FORTRAN 言語で書かれたサブルーチンの集合となっているため、使用者はユーザー・プログラムの中で必要な機能を持つサブルーチンを呼び出すことによって、任意のデータをデータプールに格納あるいは取出すことができる。データプールは現在1レコードの長さを3600 bytes に固定した構造を持つ Direct Access ファイルであり、FORTRAN 言語機能の DEFINE FILE 文で定義されている。

RADHEAT システムのようにデータの種類の多様性が文献検索システムのように多様でなく、しかも一つの index に多量の情報を格納する性格のシステムであれば、RADHEAT データプールの記録長をそのシステムに合せて変更するだけで効率の良い計算システムを作成することが可能である。

データプールの基本構造は Fig. 5.6 に示すように、3つの部分により構成されている。これらはコントロール・セクション、ディレクトリ・セクション及びデータ・セクションと呼ばれそれぞれ異った記録形式を持つ。

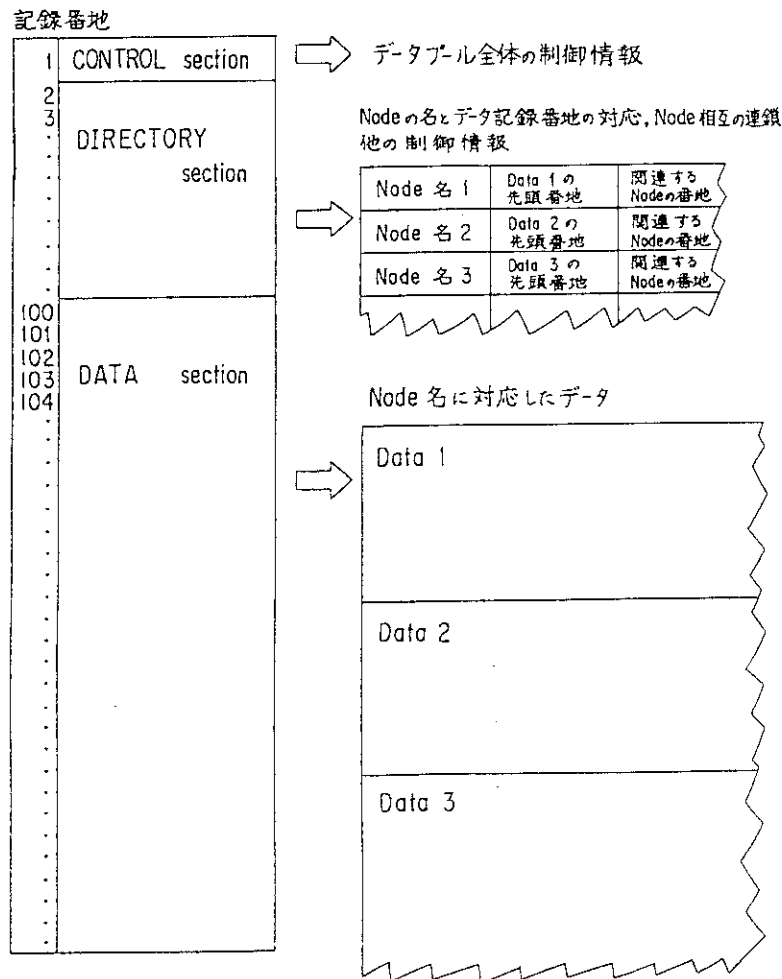


Fig. 5.6 Basic structure of DATA-POOL

コントロール・セクションはデータプールの第1記録番地に作成され、データプールの1物理記録長を持つ。現在はこのうち31語のみ使用しておりFig. 5.7に示すような構造となっている。コントロール・セクションにはデータプールの属性、ディレクトリ・セクションの大きさ、データ・セクションの大きさ、空き領域の番地、後述する排他制御のためのフラグ等が記録され、データプールの基本的な制御情報が格納される。

No.	Variable	Data Identification
1	TITLE(1)	Title of the DATA-POOL
}	}	Data set name, Revised date, Contents of the DATA-POOL et al.
20	TITLE(20)	
21	NA1	Address for the directory of the first level node
22	NA2	Head address of the vacant directory section
23	NA3	Head address of the vacant data section
24	KEY1	Write flag for the exclusive control
25	KEY2	Read flag for the exclusive control (not used)
26	LREC	Length of a physical record (words)
27	MAX1	Maximum number of the same level node
28	MAX2	Size of the directory section
29	MAX3	Size of the data section
30	NREAL1	Number of used records in the directory section
31	NREAL2	Number of used records in the data section
32	--	For future use
}	}	For future use
40	--	For future use
}	}	Dummy (not used)
LREC	--	

Fig. 5.7 Structure of the control section in DATA-POOL

ディレクトリ・セクションは後述するNodeの樹木構造を決定し、データ記録番地とNode名を対応させる重要な部分である。RADHEATデータプールでは1つのNodeに多数の下位Nodeを並列して関連させるために、多くのサブディレクトリ・セクションを持っている。Fig. 5.8にその構造を示すが、一つのNode名に対応した一つのディレクトリを読むことによって、その一つ下のNode情報を全て検索できる。

すなわち、Node構造を一つ一つ順を追って検索する必要がないため、検索効率の良いのが特徴である。但し、一つのディレクトリは1物理記録長以内である制限があるため一つのディレクトリに関連する一つ下のNode数は以下に示す値を超えることができない。

$$N_{\max} = \text{tranc} \left\{ \frac{(1 \text{ 物理記録長 (words)} - 4)}{12} \right\}$$

No.	Variable	Data Information
1	NODE1	1st node name
2	NODE2	2nd node name (not used)
3	NAUP	Address of the upper node directory
4	ITEM	Number of the lower node directory
5	NODE1S	1st node name of the first lower node
6	NODE2S	2nd node name of the first lower node (not used)
7	NADWN	Address for the directory of the lower node (zero means not exist)
8	NADAT	Address for the data set of the lower node (zero means not exist)
9	NDASET	Number of the sub data set (zero means not exist)
10	NDATE (1)	Date of creation (year,month)
11	NDATE (2)	Date of creation (month,day)
12	INFOM (1)	Information defined by the user
13	INFOM (2)	Information defined by the user
14	INFOM (3)	Information defined by the user
15	INFOM (4)	Information defined by the user
16	INFOM (5)	Information defined by the user
17	NODE1S	1st node name of the second lower node
18	NODE2S	2nd node name of the second lower node
19	.	
.	.	
.	.	
LREC		

Fig. 5.8 Structure of the directory section in DATA-POOL

従って、非常に多くの下位 Nodeを持つ樹木構造（例えば文献検索システム等）には RADHEAT データプールは適さない。

サブディレクトリ・セクションにはそれぞれ 5 word の記録領域があり、この部分にユーザーが任意の情報を格納することができる。これは一つの Node 名に多量のデータが附属する RADHEAT データプールの性格を考慮しているもので、この部分に異なったデータの有無などのユーザー制御情報を与えることにより、プログラムが必要としているデータがデータ・セクションに存在しない場合には実際にデータ・セクションを読み込まずに次の処理に移るなどのアルゴリズムを可能とする。これは不必要なファイル・アクセスを防止できるため I/O 効率を向上させることになる。RADHEAT-V4 システムはこの 5 つの情報領域を有効に利用するアルゴリズムが採用されている。

データ・セクションの記録形式は Fig. 5.9 に示すようになっており複数のサブデータ・セットより構成される。このサブデータ・セットにはそれぞれ種類の異ったデータが格納され、データの追加格納が行えるようになっている。

以上のような構成を持つデータプールにデータを格納した時の例を Fig. 5.10 に示す。これは実効巨視的群定数（Node 名：FX32）及び実効自己遮蔽係数（Node 名：SELF）のデータを格納したものであるが、このように 4 文字の Node 名をデータの属性を考慮して任意の樹木

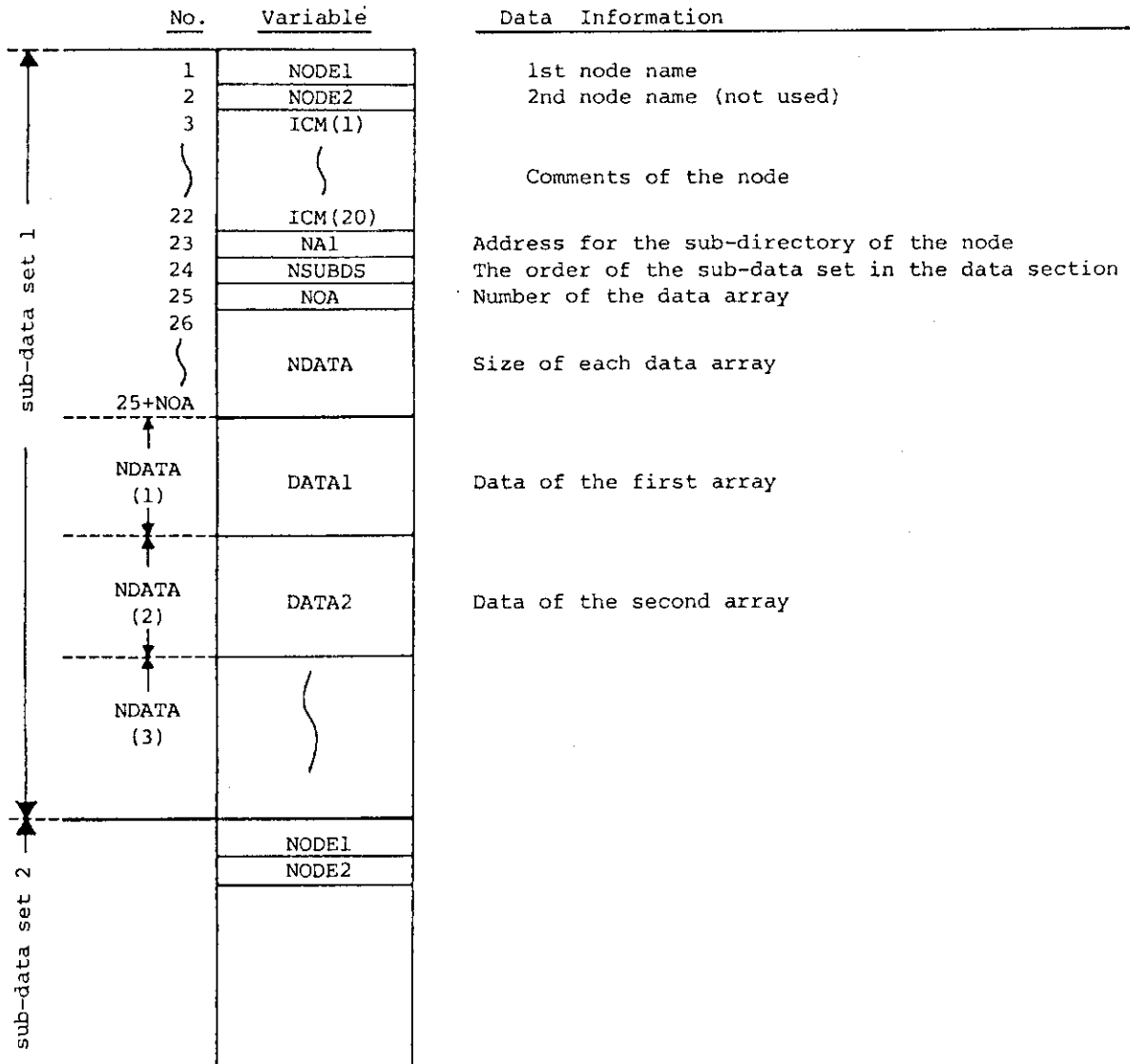


Fig. 5.9 Structure of the data section in DATA-POOL

```

EGRP ( NEUTRON AND GAMMA-RAY ENERGY STRUCTURE
I
I-----SELF (SELF-SHIELDING FACTOR LIBRARY
I
I-----160 (STANDARD AIR (20 CENT.) DENSITY:1.2049 KG/M3
I
I-----1269 ( 1269 1-H-1 FROM ENDF/B-IV
I
I-----1274 ( 1274 C FROM ENDF/B-IV
I
I-----1275 ( 1275 N FROM ENDF/B-IV
I
I-----1276 ( 1276 O FROM ENDF/B-IV
I
I-----161 ( PARTICULAR AIR DENSITY:1.1503 KG/M3
I
I-----1269 ( 1269 1-H-1 FROM ENDF/B-IV
I
I-----1275 ( 1275 N FROM ENDF/B-IV
I
I-----1276 ( 1276 O FROM ENDF/B-IV
I
I-----170 ( SOIL (N.T.S.) DENSITY:1.7 G/CM3 AT NEVADA TEST SITE
I
I-----1269 ( 1269 1-H-1 FROM ENDF/B-IV
I
I-----1276 ( 1276 O FROM ENDF/B-IV
I
I-----1193 ( 1193 AL FROM ENDF/B-IV
I
I-----1194 ( 1194 SI FROM ENDF/B-IV
I
I-----FX32 (D.A.R. CROSS SECTION SETS 32 ANGULAR POINTS
I
I-----160 (STANDARD AIR (20 CENT.) DENSITY:1.2049 KG/M3
I
I-----161 ( PARTICULAR AIR DENSITY:1.1503 KG/M3
I
I-----170 ( SOIL (N.T.S.) DENSITY:1.7 G/CM3 AT NEVADA TEST SITE

```

Fig. 5.10 Typical node tree structure of DATA-POOL

構造として関連させることができる。使用者はこの Node 名を指定することにより簡単にデータを格納・取出すことができる。

RADHEAT データプール・ソフトウェア・パッケージには下記に示す汎用のアクセス・サブルーチンが用意されている。使用者はこれらのサブルーチンを必要に応じて呼ぶことにより、データ・アドレス設定などを自動的に行うようになっている。

- PINIT : データプールの初期化を行う。
- POPEN : データプール・アクセスの宣言。
- PWSTAT : データプールの書き込み開始を宣言する。これにより排他制御が働き他のプログラムによる同一データプールへの書き込みが禁止される。
- PWEND : データプール排他制御を解除する。
- PSET : Node 名の設定とデータセット・アドレス設定を行う。同一 Node 名が既に存在する場合は設定条件によりデータ更新の有無を決定する。
- PRITE : }
 - PRITE 1 : }
 - PRITE 2 : } データの書き込みを行う。
 - PRITE 3 : }
 - PRITE 4 : }

PFIND : 指定された Node 名の検索を行う。
 PREAD :
 PREAD 1 : }
 PREAD 2 : } データの読み込みを行う。
 PREAD 3 : }
 PREAD 4 : }
 PASTO : アドレスの直接設定を行う。
 PDELT : 指定した Node 名の削除及びデータの削除を行う。
 PDGET : 指定した Node 名の下位 Node 名の検索を行う。
 CATLST : ディレクトリ・セクションの表示を行う。

さらに、データプールのユーティリティ・パッケージ POOL が用意されており、会話型処理で以下の機能がある。

DPCATL : データプールのコントロール・セクション及びディレクトリ・セクションを表示する。
 DPINIT : データプールの初期化を行う。
 DPUPDT : データプールの Node 名及びデータの削除を行う。
 WFLAG : データプールの排他制御を解除する。
 NODE : データプールの樹木構造を表示する。
 DPCOND : データプールの Node 消去によって生じたデータ非使用領域を解放しデータの最密充填を行う。
 BACKUP : データプールを MT にバックアップする。
 MTCOPY : データプールに MT からデータを復元させる。
 POOLCOPY : データプールの複写を行う。
 ADDCOPY : データプールに他のデータプールのデータを追加する。
 MERGE : 2つのデータプールより任意の Node 名のデータを取り出し編集する。
 DPMEND : 何らかの原因でデータプールのコントロール・セクションあるいはディレクトリ・セクションが破壊された時に修復を行う。

以上が RADHEAT データプールの簡単な説明である。RADHEAT データプールは約 4 年間の使用実績があり、その間特別なトラブルなどは生じていないことから他のシステムに応用しても十分安定に働くものと考えられる。

5.5 開発に要したマンパワー

5.1 節でも述べたが、RADHEAT システムの基本概念は昭和 49 年に開発された原型版 RADHEAT とほぼ同じである。その後システムの使用経験、遮蔽解析法の発展により処理手法の拡張、改良が行われ RADHEAT-V3 が開発された。改良版が原型版完成後 3 年間と言う比較的短期間で作成された理由は処理プログラムの大部分が米国で開発されたコードを採用し、大きなアルゴリズム変更を行わずに入出力形式を変更してシステム化されたことによる。RADHEAT

-V3 開発には研究者3名、技術者2名が主として従事した。しかし、システム開発は、その計算精度及び適用性が総合的に評価された時点で終了するものであると定義すると、その後2年間のベンチマーク・テストとプログラムの細かな修正作業を要した。その時点では研究者2名、プログラマー3名が主として従事しているが、委員会作業等によるベンチマーク・テストを含めると総数として10名以上となる。従って、システム開発はコード作成時よりも評価作業時に多くのマンパワーが必要となる。

RADHEATシステムの最新版であるRADHEAT-V4の開発では、処理プログラム及びデータ型式を大きく変更したため、より多くのマンパワーを必要とする。システム基本設計、計算手法の全面的見直しには研究者2名が1年間従事した。またプログラム開発及びテストには研究者2名、上級プログラマー2名、プログラマー2名が2年間従事している。現在システム評価段階において、研究者1名、上級プログラマー1名、プログラマー1名が主として従事しているが、外部委員会作業として約12名が評価作業に加わっている。この評価作業は4年間継続して行う予定となっているが、研究者及びプログラマー各1名ずつの増員が必要と考えられる。

5.6 今後望まれる計算機の機能

計算機の機能拡張とシステム開発は表裏一体の関係にある。大規模システム開発には最低でも5年程度の開発期間を必要とするため、常に未来の計算機の機能を予測して設計を行わねばならない。そのため開発途中では現状の機能、処理速度では不満足な点が多く発生するため、いくつかの点で妥協しながら開発を進めることとなる。RADHEAT-V4開発に際しても、種々の計算機機能の制約を受けているのが現状である。

RADHEAT-V4は原研大型計算機システムの運用管理のもとで開発されており、他の計算機システムでの実績はないため、主に原研の計算機システムに対して今後望まれる機能を運用管理を含めて述べる。

1) 大型計算処理のターン・アラウンド改善

RADHEAT-V4システムは将来の計算機の処理能力で十分実用化可能な範囲となるように処理規模を設計している。従って現状の計算機の処理能力では大規模計算にならざるを得ない。しかしながら現行の運用管理は中小ジョブ優先となっており、大規模計算のターン・アラウンドは非常に悪い。従って現行の中小ジョブ最優先を改めて、大規模計算も昼間に2~3件程度処理するように変更する必要があると考えられる。大型計算機を導入する最大の利点は、中小ジョブのターン・アラウンド改善ではなく、大型でなければ不可能なジョブを実行できることにあると考える。この観点から、中小ジョブ専用機と大規模ジョブ専用機の併用が最も望ましい。

2) 会話型処理能力の拡大

現在、会話型処理が行えるプログラムサイズは1024KB、CPU 60 secであるが、会話型図形処理ではこの制限を超える場合が多い。将来、より複雑な図形処理等を会話型プログラムを用いて行うことが予想されるため処理能力の制限をコアサイズを3倍、CPU時間を2倍程度に引き上げることが望ましい。

3) グラフィック端末及びソフトウェアの充実

原研におけるグラフィック処理機能の整備は非常に遅れており、そのためグラフィック処理を採用したシステムの開発が不可能となっている。シュミレーション等のシステムにはグラフィック処理が不可欠であり、かつリフレッシュ型の大型カラー・ディスプレイ及びグラフィック・ソフトウェアの整備が望まれる。処理言語についてもファームウェアを十分活用できる言語を新しく導入することにより表示速度の早いシステム開発を促すことが望ましい。また周辺機器としてグラフィック端末に表示した図形をカラー・フィルムに複写する装置、ディジタイザを整備することにより、リアルタイムでのシュミレーションを行うシステムを開発できるであろう。

4) 通信衛星による国内外研究機関とのデータ交換

将来、データベースの国際的統一が図られると、各研究機関に特有のデータ等を通信衛星を通して交換し、研究の国際協力の迅速化を図ることが可能となる。このような機能は各研究機関が重複したデータを保持する必要がなく、必要なデータを最適な研究機関より参照することとなる。その結果、各研究機関のデータセンターはその研究機関の特徴を持ったデータを保守管理する傾向となり、データ管理の簡素化、省力化を図ることにつながるであろう。

(安全解析部 山野 直樹)

参考文献

- 5.1) K. Koyama, N. Yamano and S. Miyasaka : "ORIGEN-JR : A Computer Code for Calculating Radiation Sources and Analyzing Nuclide Transmutations", JAERI-M 8229 (1979).
- 5.2) Y. Naito et al. : private communication.
- 5.3) Y. Naito et al. : "MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multigroup Constants Library MGCL", JAERI-M 9396 (1981).
- 5.4) S. Miyasaka et al. : "Code System for the Radiation-Heating Analysis of Nuclear Reactor, RADHEAT", JAERI-M 5794 (1974).
- 5.5) K. Koyama et al. : "RADHEAT-V3, A Code System for Generating Coupled Neutron and Gamma-Ray Group Constants and Analyzing Radiation Transport", JAERI-M 7155 (1977).
- 5.6) O. Ozer : "Program RESEND", BNL-17134 (1972).
- 5.7) T. Nakagawa : private communication.
- 5.8) D. Garber, C. Dunford and S. Pearlstein : "ENDF102 Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File, ENDF", BNL-NCS-50496 (1975).
- 5.9) W.E. Ford III : "The POPOP4 Library of Neutron-Induced Secondary Gamma-Ray Yield and Cross Section Data", CTC-42 (1970).
- 5.10) Dorant : HEDL-TME 7670 (1976).
- 5.11) T. Takeda : private communication.
- 5.12) T. Sasaki : private communication.
- 5.13) N. Yamano et al. : J. Nucl. Sci. Technol. 16 (1979) 919.
- 5.14) N. Yamano et al. : Fall Meeting of AESJ, C4 (1981).
- 5.15) H. Werle, F. Kappler and D. Kuhn : "Measurement of Neutron Leakage Spectra from Iron Spheres with a ^{252}Cf Source in the Center", NEACRP-U-73, p.8 (1976).
- 5.16) M. Kawai et al. : "Integral Test of Iron Data in JENDL-2 for Fast Reactor Shielding Analysis", 6th Int. Conf. on Radiation Shielding, May 16, 1983, Tokyo, 4b-4, (1983).

6. おわりに

原子力コード・システム化の問題点（第1章），例（第2～5章）について述べてきた。第1章の内容はそれ自身で完結している感もあるので，ここでは第2～5章で見られるシステム化の傾向を6.1節で，6.2節ではシステム化のために望ましい計算機機能，6.3節では計算機運用に関する要望をまとめる。

6.1 例に見られるシステム化の傾向

(1) 体系化の推進と計算コードの選択的使用機能

体系化についていえば当該分野の計算コードを系統的に集大成したのみならず，計算に必要な基本的ライブラリを整備して持っている。例えば

SRACは群定数ライブラリ，
SPEEDIは標高，行政区界，湖沼等地域データプール，
RADHEATは自己遮蔽係数，2次ガンマ線断面積データ
などである。

コードの選択的使用についていえば，いずれのコード・システムも持っているがSPEEDIでは特に会話形式でそれを行うようになっている。これからはこの方式が増える見込みである。

(2) 計算コードとデータ・ファイルの分離

従来は計算コードとデータは一体に考えられていたが，システム化にともなって，各計算コードに共通する変数，データは計算コードから分離独立させて取扱うほうが論理的にもわかりやすく，実用上も便利である。また，各コードの出力も，次のコードの入力となるため，出力ファイルの形式もシステム全体で統一的に取扱う必要が出てきた。SRAC，SPEEDI，RADHEATなどはPDSファイル，データプール・ファイルで大量入出力の統一取扱いをはかっている。

(3) 計算出力の保存，検索，図形表示のための専用ソフトウェアの開発

計算機の性能向上につれて計算結果の出力量が大きくなる傾向があり，また結果を図形表示することによって瞬時に判断できることが望まれる時代となった。TRITONシステムのARGUSはこのような要請に基づいてTRITONシステムのユーザのために開発されたものであるが，その機能は他のコード・システムの図形表示にも適用できて，本報告のSPEEDI，RADHEATコード・システムでも利用されている。特に複雑地形を含む3次元空間内の風速場，放射性物質の移流拡散，線量の予測計算結果は図形表示によらなければ短時間で判断することは不可能に近いので，SPEEDIでは図形表示が主要な出力手段となっている。また，本報告では述べられていないが，SRACでも指定された物質番号とそれに対応する原子炉幾何形状をグラフィック端末上に図形表示し，入力の正しさをチェックする機能を有している。

(4) システム維持を容易にするためのユーティリティ・ソフト（ソース・プログラム修正・解析，データ・ファイル作成等）の開発

TRITON システムでは計算コードの版の違いは、即ち物理条件或いは数値計算法の違いであるから、どの版も等しく重要な意味を持つ。したがってこのシステムではコード群を管理するために HARMONIA, PLUTO, EOS などのユーティリティから成る PEGASUS が用意されている。SRAC, RADHEAT, SPEEDI などでは核データあるいは国土数値データ・ライブラリなどの基礎的データ・ファイルから特定のデータ・ライブラリを作成するユーティリティが使われている。また、同じく本報告では言及されていないが、FORTRAN ソース・プログラムの解析では、第 1.2 節 Table 1.1 の解析用ユーティリティ ANALYSIS がしばしば使用されている。またファイル管理システムとして PDS ファイル、汎用データプール、簡略化したデータプール・システムなどが SRAC, SPEEDI, RADHEAT で使用されている。

(5) 1 研究室としては大規模な投資（予算，人員，期間）

SRAC, TRITON, SPEEDI, RADHEAT のいずれのシステムもこれまでに、小は 100 人月から大は 400 人月程度のマンパワーを消費している。これらは原研の主として 1 研究室が投資した量としては大きい。しかもいずれのシステムでも主として 2～3 名の研究者と数名の技術者によって作業がおこなわれている。したがってその作業期間は長い。

(6) 現在実用可能な状態にあるが、さらに拡充が予定されている

いずれのコード・システムも現在実用可能な状態にあるが、さらに新しい物理モデルを取込むこと、あるいはベンチマーク・テスト、実用問題などを通して機能の論理的、物理的妥当性のチェックをおこなおうとしている。

以上の特徴から次のような教訓を引き出すことができよう。

(イ) 慎重な計画の必要性

システム化されたコード群の体系的構築と利用には多大の人月、期間（費用も）を要する。したがって安易にシステム化をはかることは危険である。

(ロ) ソフトウェア共用の励行

単体コード群の開発に必要な作業量と同等、あるいはそれ以上の作業量がシステム化のために、あるいは周辺ユーティリティ開発のために必要となる。この故に図形処理、ファイル管理等の共用可能なユーティリティはできるかぎり既成品を流用することが望ましい。

(ハ) システム共用の励行

システム化に多大の作業量が必要であるから、物理モデルを表現している計算コード群を除いた、システム化された体系そのものも同一研究分野で共用することが望ましい。そのために SPEEDI に見られるようなモジュラー・コード・システムの構築を心がけるべきである。

6.2 要求されている計算機の機能

本報告のなかで必要とされている計算機の機能は Table 6.1 のようになる。ハードウェアに関しては演算装置（CPU）、入出力装置、通信回線の高速性、大容量の記憶装置、及び高性能のカラー・グラフィック端末が求められている。これは 10 年前の大規模コード・システムの開発、利用者の要求と同じである。このことから、高速性と見やすい出力表示に関する技術の進歩の範囲は未だ科学技術計算ユーザーの必要とする域に達していないことがうかがえる。

Table 6.1

項 目	必 要 理 由 等
(1) 高速CPU	1 ケース 10 ~ 50 時間の計算あり。 大次元高速行列計算では特に必要。 計算結果の高速伝送と 3 次元カラー表示に必要。 ソフト開発に有用、ただし既に利用している。 すべての会話形式処理に有用。ただし既に利用している。 範囲をひとつのプログラム単位に限らず複数のサブルーチンの最適化を計る。 あれば便利。ただし、メモリ安くなれば重要度は低下する。 必要。ただし、ひとつのプログラム単位では良くなっている。
(2) 大容量メモリ	
(3) 高速入出力装置	
(4) 高速通信回線	
(5) 高性能グラフィック端末	
(6) フルスクリーン機能端末	
(1) IPF	
(2) 最適化範囲の拡大	
(3) ダイナミック・リンク機能	
(4) コンパイラの最適化	

Table 6.2

項 目	理 由
(1) ジョブ回転時間の短縮	4 ~ 5 年先の計算機システムで実用可能なコード開発をおこなっているので、現在の計算センタの運用では大型ジョブになる。回転時間短縮必要。
(2) TSS 処理制限の緩和	TSS の制限が現在はメモリ 1MB, CPU 1 分である。これを 3MB, 2 分に引上げよ。図形処理が必要。
(3) 通信衛星によるデータ交換	これによって国内外研究機関の独自性も出やすくなる。

ソフトウェアについては、フル・スクリーン端末の登場によって使い易いテキスト・エディタの要求が無くなり、タイムシェアリング専用機の設置によって、タイムシェアリング・システムへの要求も少なくなった。ソフトウェアに関しては要求がよりアプリケーション寄りになり、計算機（メーカ）への要求が弱くなっているように見える。あるいは要求がデータベースやローカル・エリア・ネットワークがらみのソフトウェアに移りつつある。しかしそれらについて述べることは本報告の範囲外である。

6.3 その他

その他運用に関する要望として Table 6.2 が挙げられた。Table 6.2 項目(1)については Fig. 1.2 に見られるように大型コード専用機が設置されているが、その処理速度が要求に見合うほど速くないということになる。(2)については一部運用面で制限緩和がおこなわれている。(3)は現在のところ実現されていない。大規模コードの開発に関しては、Table 6.2 の備考欄に述べられている如く、何年先に実用化を狙ってコードを開発するかがコードの開発作業を円滑におこなうためのキー・ポイントになる。現時点であまりにも大量の計算機資源を必要とするコードの開発を計画しても事実上実行はできないからである。したがって大規模コード（システム）も年次に応じて段階的開発をおこなう一方、計算機運用管理者と密接な連絡を保つことが望ましいといえる。

原子力コードを総合的に利用するためには、制度的な面についても考慮が必要であるが、本報告では既存のコード・システムを紹介し、合せてコードのシステム化に必要とされる作業量、計算機の機能等について述べた。大規模コード・システムを開発しようとしてされている方々が本報告を参考に計画を遂行されることを期待する。

最後に、本報告の編集をおこなった原子力コード総合化専門部会のメンバは下記のとおりである。原稿を執筆していただいたメンバでない研究者の方々の好意に感謝する。

部 会 名	氏 名	機 関 名
原子力コード総合化専門部会	桂 木 学	原研 安全工学部
	下 桶 敬 則	(財)原子力工学試験センター原子力安全解析所
	近 藤 悟	動力炉・核燃料開発事業団
	佐 藤 一 男	"
	荒 井 長 利	原研 多目的高温ガス実験炉設計室
	常 松 俊 秀	理論解析研究室
	浅 井 清	計算センター
	竹 田 辰 興	理論解析研究室
	内 藤 倅 孝	原子炉データ解析室
	鴻 坂 厚 夫	安全性コード開発室
	茅 野 政 道	環境第1研究室
	中 村 康 弘	計算センター
	樋 口 健 二	"
	米 倉 徹	(財)原子力データセンター

(計算センター-浅井 清, 安全性試験センター-桂木 学)

付録 A. ARGUS

A.1 ARGUS の設計思想

ARGUS は、図形出力のみならず、図形入力、動画出力を含む一般的図形入出力システムとして計画されたものであるが、現在までに開発が進んでいるのは、図形出力を目的とした ARGUS - V 1, -V 2, -V 3, -V 4 および、TSS 図形処理プログラム ARGUS - TSS (ARIS) である。こゝでは、これらのコードのうち最も一般的な ARGUS - V 4 についての記述を中心とする。

図形処理コード ARGUS は、本文にも記したように次のような点に対処するために開発が進められた。

- (1) 3次元図形等複雑な図形表示が簡単に行えること。
- (2) 画面の尺度変換、フレーム、軸、目盛等の表示のような複雑な作業が簡単に行えること。
- (3) プログラムを作成することなく、表示データの引用とコマンドの組合せだけで図形表示が可能なこと。

上記各項に対する機能のうち、第3項に対応するものは現在、ARGUS - TSS として開発されているが、制限事項が多いため、実用的なコードとして利用するには付録Cで述べる GAEA の完成を待たねばならない。

ARGUS - V 4 は、基本的には、図形表示用サブルーチン・パッケージで、次のような特長を持つ。

- ① 表示可能な図形の種類を限定し、その範囲内の図形ならば、用意されたサブルーチンを組合せて呼ぶだけで簡単に表示できる。但し、利用者作成の図形を同時に同一画面に同一尺度で表示するためのユーティリティ等も用意されている。
- ② 図形表示を行う上で必要な機能を5つに分類し、サブルーチン群は、それぞれの機能毎に用意してある。即ち、
 - i) GDS (Graphic Data Set) サブルーチン
 - ii) CDS (Control Data Set) サブルーチン
 - iii) DSP (DiSPlay) サブルーチン
 - iv) SYS (SYStem) サブルーチン
 - v) UTL (UTi Lity) サブルーチン

これらのうち、i) ~ iii) のサブルーチン群が ARGUS の特長をなすもので、図形表示のためには、図形登録機能を持つ GDS サブルーチンを一つ、図形表示機能を持つ DSP サブルーチンを一つ、更に制御データ登録機能を持つ CDS サブルーチンを任意個選んで呼ばばよい。

CDS サブルーチンは呼ばなくともよい。例えば、透視図を作成する場合には、GDS の STORE2N によって3次元図形データを登録しておけば、DSP サブルーチンの BRDEYE を呼べばスケール、軸、視点の位置、隠線処理の仕方等々はデフォルト値をとって透視図が作成される。これらの制御パラメータを積極的に指定したい場合には、対応する CDS サブルーチンを呼ばば

よい。

A.2 ARGUSの機能とサブルーチン

ARGUS-V 4の, GDS, CDS, SYS, UTL サブルーチンについて, Table A・1 ~ A・4 に示す。これらサブルーチンの機能の記述は膨大になるので省略する。DSP サブルーチンによって表示できる図形は, 次のとおりである。

のとおりである。

(1) ONEDIM . . . 1次元図

$y = f(x; \alpha)$ の形のデータを作図する。 α で指定される数の1次元図を表示する。

(2) ONED3D . . . 1次元図形の3次元表示

$y = f(x; \alpha)$ の形のデータを (x, α, y) 空間の3次元図形と見なして, 無限遠から見た透視図を隠線処理を行って作図する。

(3) MESH 2D . . . 2次元メッシュ構成図

節点座標 (x_i, y_i) , $i = 1 \sim N$ と節点-要素関係テーブル $nh(j, m)$, $j = 1 \sim 4$, $m = 1 \sim M$ をデータとして与えてメッシュ構成図を作図する。

(4) FLOW 2D . . . 2次元流れ図

節点座標 (x_i, y_i) および節点上での流れベクトル (v_i, w_i) を与えて流れ図を描く。

(5) CONTOR . . . 等高線図

$Z = f(x, y)$ なる曲面の等高線図を作図。扱えるデータは, ランダム・データ, $x-y$ 格子データおよび $r-\theta$ 格子データである。

(6) BRDEYE . . . 鳥瞰図

等高線図と同じデータに対して鳥瞰図を作図する。

(7) MESH 3D . . . 3次元メッシュ構成図

ある3次元物体を五面体または六面体(混在可)の要素に分割した時のデータをもとにして, 3次元物体を再構成し隠線消去を行って作図する。作図にあたっては鳥瞰図と同じ透視変換を行う。作図例を Fig. A・1 に示す。

(8) CMDISP . . . コメントのみの図

(9) HIST 3D . . . 3次元柱状グラフ

2次元領域 R 上で定義された2変数 x, y の1価関数 $Z = f(x, y)$ の値が規則的に有限個与えられた時に3次元柱状グラフを作図する。透視変換, 隠線処理を含む, また, 柱状上面にシンボルの作図が可能である。作図例を Fig. A・2 に示す。

(核融合研究部 竹田辰興, 常松俊秀)

Table A.1 The GDS subroutine group.

Subroutine name	Graphic data
STOR1D	Data for a 1D graph
STMS2D	Data for a 2D mesh structure
STFL2N	Data for a 2D flow diagram (Lattice data)
STFL2R	Data for a 2D flow diagram (Random data)
STOR2N	Data for a contor or birdeye view (Lattice data)
STOR2R	Data for a contor or birdeye view (Random data)
STMS3D	Data for a 3D mesh structure
STORE7	Data for a comment frame
STOR3H	Data for a 3D histogram

Table A.2 The CDS subroutine group.

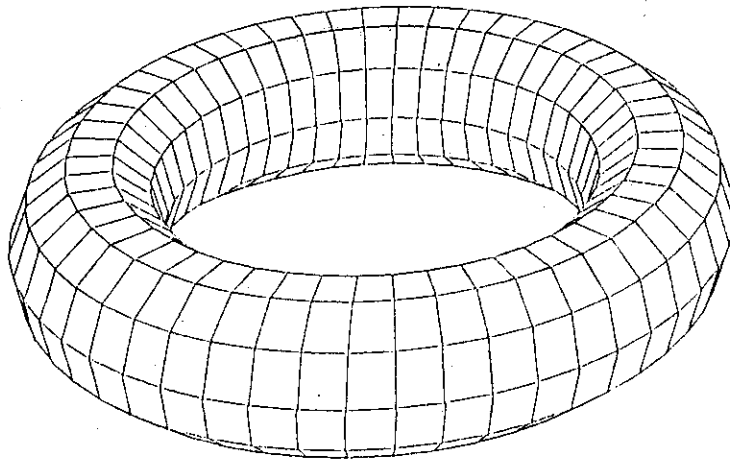
No	Subgroup	CDS routines
1	SCREEN:FRAME control CDS (5)	SCSIZE XWYWH ORIGIN GRSIZE REALGH
2	AXIS:SCALE control CDS (18)	XSCALE XAXSNO ZSCALE YSCALE MLTSC L ZAUTO XAUTO MLTAUT ZAXIS YAUTO MLTAXS YBASE XAXIS ASCALE GRID YAXIS AAXIS AAUTO
3	LINE attribute CDS (4)	ATTACH APPROX KLINE EXPDWD
4	3D GRAPH attribute CDS (14)	VIEWP INIPLT CNVERT VIEWP1 HVALUE ELMTBL VIEWPH HKIND ELMERS OBJECT CVKIND CRSCTN ALPHA BLANK2
5	COMMENT:SYMBOL CDS (6)	COMENT DATAPT ARROW VALUE DATAP2 SYMB3H
6	User-defined CDS (1)	AFUNC

Table A.3 The SYS subroutine group.

No	Subgroup	Name	Remarks
1	Basic group	ARGUS	ARGUS(0) : Initialization ARGUS(999) : Termination ARGUS(666) ARGUS(777) ARGUS(888)
2	Display control	CMTOPT CONNECT DIVIDE	Basic comments Connect two graphs Divide a screen

Table A.4 The UTL subroutine group.

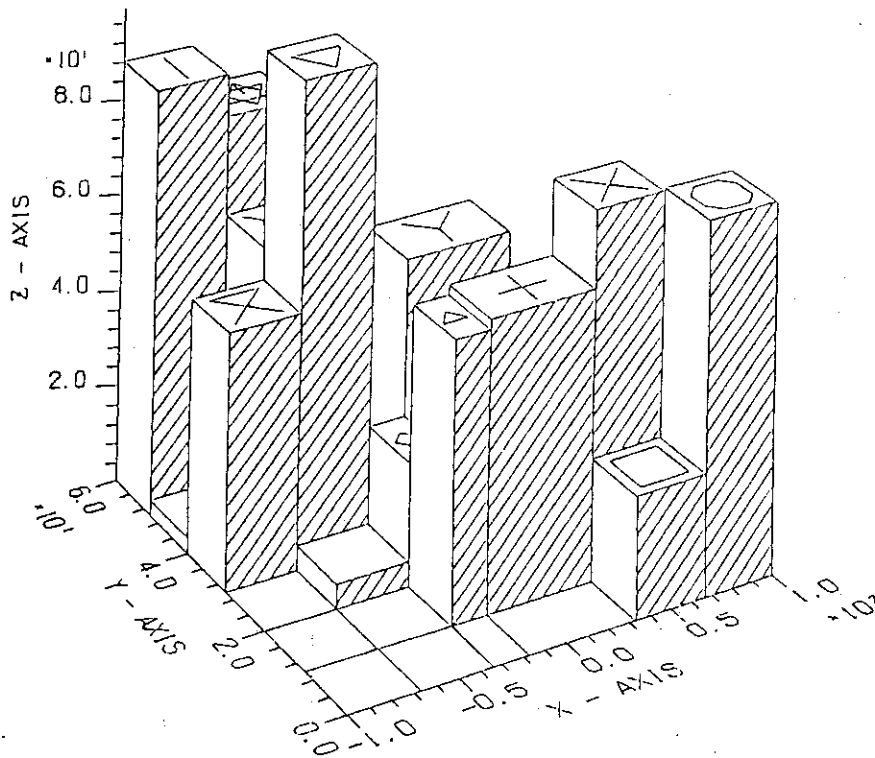
No	Subgroup	UTL routines	Remarks
1	Default value UTL	DLEVEL CLEAR	Set default values
2	Graphic data UTL	CATLG CATLGP PICKUP FETCH DLEVEL	Store or fetch graphic data Delete identifier
3	Date UTL	DATEUP	Date of registration
4	Conversion UTL	IDCONV	Convert number to characters
5	Plot UTL	UPLOT SELECT USYMB VSYMB UNUMB DEFSYM UNUMB BCNVPR	Special plotting utility for users



ARGUS-V4 ID=MESH1004 82-04-02 6 PAGE

Fig.A.1 An example of MESH3D graphs.

3-DIMENSIONAL HISTGRAM



ARGUS-V4 ID=HIST3D 82-03-26 1 PAGE

Fig.A.2 An example of HIST3D graphs.

付録 B. HARMONIA

B.1 HARMONIA の設計思想

次のような背景のもとに HARMONIA コードが開発され、TRITON-I システムのコード管理コードとしての役割を果たしている。

- (1) 核融合計算コードが大規模、複雑化して来たので開発に要する投資量が増大してきた。従って既開発コードやコードのノウハウを有効に利用することが必要になって来た。
- (2) コード開発要員、利用者の数が増大して来たので、必要なコードの所在、内容等の情報を得ることが困難になって来た。
- (3) 膨大な数のバージョンが作られるようになって来たため、各バージョンの記録、管理を能率的に行う必要がでて来た。

開発にあたっては、HARMONIA の基本機能として次の 2 点に留意した。

- (1) コードの記録をとる。また、この記録の参照を行う。
- (2) 実際のコードを MT 上に自由に出し入れする。
これはコードの保存と利用を容易にする。また、ソースプログラムのみならず、JCL、テスト・データ、ロード・モジュール、出力結果等の付属情報も含めて保管する。

B.2 HARMONIA の構成

HARMONIA の構成図を Fig. B. 1 に、用語説明を Table B. 1 に示す。

B.3 HARMONIA の機能およびコマンド体系

HARMONIA の機能とコマンド体系を、それぞれ Table B. 2, B. 3 に示す。HARMONIA の補助機能として、DOCUMENT 機能がある。これは、あるコード開発プロジェクトで、コード・システム、コード群を作った時にそのコード・システムまたはコード群のカタログを作成する機能である。

B.4 HARMONIA 利用の例

TRITON システムのコード群は HARMONIA によって登録されている。これらの一部について HARMONIA の機能を例示する。

コマンド TREE によって登録コード相互の関係図が表示される。Fig. B. 2 にコードの TREE

図を示す。コマンドDUMPによってINDEXファイルに登録されている情報がすべて出力される (Fig.B.3)。また、DOCUMENT機能によりINDEXファイルの情報が整理された形でNLPに出力される (Fig.B.4)。

(核融合研究部 竹田 辰興, 常松 俊秀)

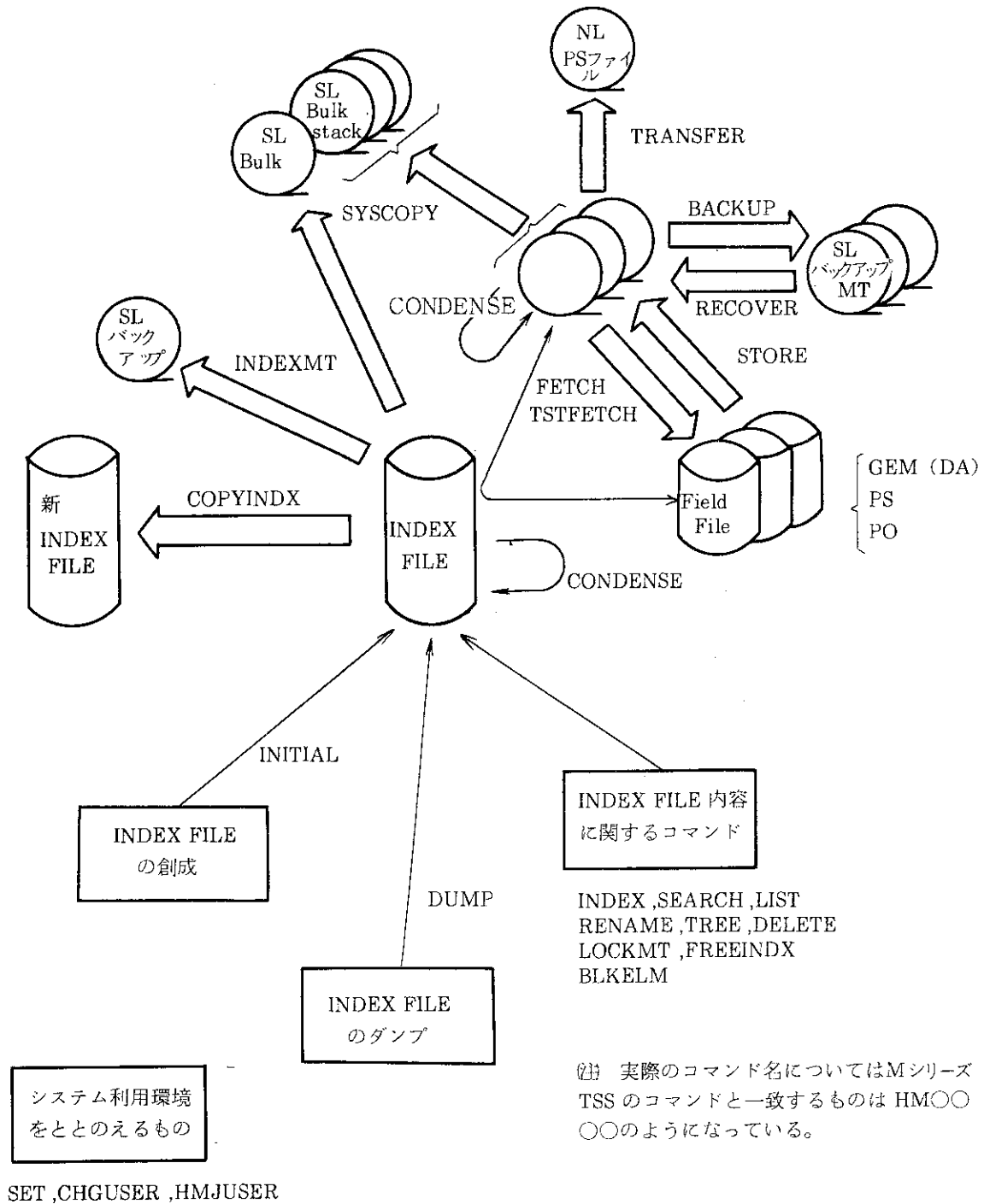


Fig.B.1 System structure of the HARMONIA code.

Table B.1 The technical terms for the HARMONIA code.

(1) INDEX FILE

HARMONIAにおいて最も重要なファイルである。登録要素管理, Bulk Storage (後述)の状態管理等, 諸機能が動作するためのマスターファイルである。

(2) Field File

ディスクバック上の管理対象になる使用者ファイル

(3) Bulk Storage

要素に対応するファイルを保存管理するための媒体 (9トラック, 1600 BPI, 標準ラベルの磁気テープ)

(4) Bulk Storage File

1要素に対応するBulk Storage内のファイル

(5) 要素

HARMONIAシステムが管理しようとするField FileをINDEX FILEに要素として登録し, 統一的に管理する最小単位で, 実要素とブランク要素がある。

(6) ブランク要素

INDEXコマンドによって要素名およびINDEX項目等のみ登録しただけの要素を言う。つまり, 対応するBulk Storage Fileが存在しないものを言う。

(7) 実要素

Field FileがBulk Storageに保存され, 対応するBulk Storage Fileが存在するブランク要素は実要素となる。つまりField FileがBulk Storageに保存されている要素のことを言う。

(8) index 項目 (index)

要素に対する説明あるいはキーワードなどの情報設定項目を言う。

(9) 要素名

要素につけられた名前で, 使用者はこの名前で利用する。要素名は以下の3つで構成されている。

- ① プログラム名 (8文字以内)
- ② 内容修飾子 (6文字以内で後述する規約がある)
- ③ バージョン番号 (4文字以内の数字)

例えば

$$\underbrace{\text{HARMONIA}}_{\text{①}} \cdot \underbrace{\text{FORT}}_{\text{②}} \cdot \underbrace{100}_{\text{③}}$$

である。

Table B.2 The functions of the HARMONIA code.

(1) ファイル管理機能

ファイルとしては、プログラム関係、データ等であり、任意のファイル形式である。これらのファイルを管理するには、特別な管理ファイル「INDEX FILE」を作製し、各ファイルに対して、indexを設定し、以後この「INDEX FILE」をもとにファイル群を統一的に取り扱うことを意味する。

この時の各ファイルを格納する媒体はMT（磁気テープ）であり、それを「Bulk Storage」という。

(2) 要素のindex設定機能

INDEX FILEに注目するファイルを要素として登録しそのindexを設定する。

(3) 「Field File」 \rightleftharpoons 「Bulk Storage File」のファイル転送機能

注目するファイルを要素として扱い、実際のファイルの転送をする。

(4) 検索機能

設定されたindexをもとにファイルの所在、内容等を検索。

(5) リスト機能

指定あるいは検索された要素のindex内容をリストする。

(6) 要素間の関係を出力する機能

indexにより設定された要素関係をリストする。

(7) バックアップ機能

HARMONIAシステムの保守のためにINDEX FILE, Bulk Storageのバックアップを行う。

(8) INDEX FILE自身に関して

i) INDEX FILEの初期設定機能

HARMONIAシステム運用のためのINDEX FILEの作成

ii) 変更機能

ファイル名（データセット名）、大きさ等の変更を行う

iii) ダンプ機能

内容のダンプを行う。

(9) コンデンス（圧縮）機能

要素の消去（実要素でそのBulk Storage Fileが不要となったとき）を行ったとき、Bulk Storage Fileはその場で消去することは処理上このましくないため、後にまとめてコンデンス（不要ファイル、不要要素等）する。

(10) システムコピー

利用しているINDEX FILE, Bulk Storageを、磁気テープにコピーする機能。

Table B.3 The HARMONIA command system.

HARMONIAシステムにおいて使用されるコマンドには、利用環境整備コマンド、INDEX FILEコマンド、Index項目コマンド、ファイル移行コマンド、一般コマンドがある。

SET	CHGUSER	}	利用環境整備コマンド
	HMJUSER		
	INITIAL	}	Index File コマンド
	INDEXMT		
	COPYINDX		
	FREEINDX		
	INDEX	}	Index 項目コマンド
	HMRENAME		
	HMDELETE		
	HMLIST		
	HMSEARCH		
	TREE		
	DUMP		
	BLKELM	}	ファイル移行コマンド
	STORE		
	FETCH		
	TSTFETCH		
	HMTRANS		
	BACKUP		
	RECOVER	}	一般コマンド
	VOLUME		
	LOCKMT		
	HMCOND		
	SYSCOPY		
	HMHELP		

(1) 利用環境整備コマンド

- ① SET TSS コマンドプロセッサの定義
- ② CHGUSER 当システム管理者からのコマンドプロセッサの複写
- ③ HMJUSER JUSER カードの変更 (年度変りに利用)

(2) INDEX FILE コマンド

- ① INITIAL INDEX FILEの創成

- ② INDEXMT INDEX FILE のディスクと MT 間の移行
- ③ COPYINDX INDEX FILE の複写
- ④ FREEINDX 書き込み禁止フラグの解除

(3) Index 項目コマンド

- ① INDEX 要素の登録, index 項目の設定
- ② HMRENAME 要素名の変更
- ③ HMDELETE 要素の消去
- ④ HMLIST 要素名, グループ名で検索し, index 情報の出力
- ⑤ HMSEARCH 情報検索とその index 情報の出力
- ⑥ TREE 要素間関係図の出力
- ⑦ DUMP INDEX FILE の内容の出力
- ⑧ BLKELM 実要素のブランク要素化

(4) ファイル移行コマンド

- ① STORE Field File を Bulk Storage File にする
- ② FETCH Bulk Storage File を Field File にする
- ③ TSTFETCH Bulk Storage File の一時的利用
- ④ HMTRANS Bulk Storage File を PS ファイルとしてシステム外の MT へ複写
- ⑤ BACKUP Bulk Storage の退避を行う
- ⑥ RECONER Bulk Storage の復元を行う
- ⑦ VOLUME 当システムが利用する MT の登録を行う
- ⑧ LOCKMT 現在使用中の Bulk Storage を格納不可とする

(5) 一般コマンド

- ① HMCOND 当システムの圧縮を行う
- ② SYSCOPY 当システムをそのまま MT へ退避する
- ③ HMHELP 当システム利用の情報を得る

```

LISTING OF TREE STRUCTURE NO. 1.....ENTRY POINT<TRITON
*TRITON-----+--ASTRAEA-----+--AEOLUS-----+--AEOLUSP-----+--AEOLUSP1-----+--ALS3PRE
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALS3PRE
I                                                     (LOAD )
I                                                     I
I                                                     +--AEOLUSR-----+--AEOLUSR1-----+--ALSR1
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALSR1
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--AEOLUSRT-----+--ALSRT01-----+--ALSRT01
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRT01
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRT02-----+--ALSRTA
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRTA
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRT03-----+--ALSRT0
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRT0
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--ALSRT04-----+--ALS3TE
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALS3TE
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--AEOLUSI-----+--AEOLUSI1-----+--ALS11
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALS11AP
I                                                     (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--ALS11AP
I                                                     (CLIST )
I                                                     I
I                                                     +--ALS11AP
I                                                     (DATA )
I                                                     I
I                                                     +--AEOLUSU-----+--ALSTRNS1-----+--DMTE75
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--DMTE75
I                                                     (CNTL )
I                                                     I
I                                                     +--ALSTRNS2-----+--DMTE200
I                                                     I (FORT )
I                                                     I
I                                                     +--DMTE200
I                                                     I

```

Fig.B.2 An example of TREE diagrams by the HARMONIA code.

Fig.B.3 An example of DUMP lists of the INDEX file of the HARMONIA

M 2 0 0 H A R M O N I A I N D E X F I L E D U M P L I S T D A T E : 8 2 - 1 0 - 1 4

(1) GENERAL INFORMATIONS

 TRITON SYSTEM
 TAKEDA

(2) INDEX FILE CONTROL INFORMATIONS

MAXIMUM ELEMENTS : 600 ACTUAL ELEMENTS : 447 (452)
 MAXIMUM RECORDS : 10000 ACTUAL RECORDS : 4746
 MAXIMUM VOLUMES : 19 ACTUAL VOLUMES : 5

CONTROL TABLE START ADDRESS : 11
 BULK STORAGE CONTROL TABLE START ADDRESS : 21
 ELEMENT CONTROL TABLE START ADDRESS : 41
 INDEX FILE LOCK STATUS : 0

(3) BULK STORAGE CONTROL INFORMATIONS

MT-SEQ.	VOLUME SER.	NO OF ED	FILL NO OF FILES	USED INCHES	USED RATE(%)	BACKUP SIZE VOLUME (F)	COND. VOLUME (F)	SIZE (F)
1	021273	1	102	20118	70	TRBKM1 2400		0
2	031272	1	77	20218	70	TRBKM2 2400		0
3	041268	1	82	20574	71	TRBKM3 2400		0
4	031503	1	74	20879	72	TRBKM4 2400		0
5	031517	0	7	2202	8	TRBKM4 2400		0

(4) ELEMENT CONTROL INFORMATION									
SEQ	ELEMENT NAME (PRG-MOD-ID)	VER- SION	ORDER ()	MT POS.	MT SEQ.	BLANK DATE	ACTUAL DATE	INDEX 1	INDEX 2
1	AEOLUS	0	(	9)	0	0	82-02-19	1331	1338
2	AEOLUS1	0	(	30)	0	0	82-02-25	1548	1557
3	AEOLUS11	0	(	31)	0	0	82-02-25	1558	1567
4	AEOLUSP	0	(	8)	0	0	82-02-19	1323	1330
5	AEOLUSP1	0	(	12)	0	0	82-02-19	1357	1363
6	AEOLUSR	0	(	13)	0	0	82-02-22	1364	1371
7	AEOLUSRT	0	(	17)	0	0	82-02-22	1421	1428
8	AEOLUSR1	0	(	16)	0	0	82-02-22	1406	1420
9	AEOLUST1	0	(	83)	1	1	82-02-26	1985	1993
10	AEOLUSU	0	(	36)	0	0	82-02-25	1612	1619
11	AEOLUSZ	0	(	82)	0	0	82-02-26	1979	1984
12	AEOR1Z	0	(	84)	2	1	82-02-26	1994	1999
13	ALSCOPY1	0	(	52)	0	0	82-02-25	1747	1752
14	ALS11.FORT	0	(	32)	93	1	82-02-25	1568	1578
15	ALS11AP.FORT	0	(	33)	94	1	82-02-25	1579	1589
16	ALS11AP.DATA	0	(	35)	95	1	82-02-25	1601	1611
17	ALS11AP.CLIST	0	(	34)	47	2	82-02-25	1590	1600
18	ALSOUTO.FORT	0	(	56)	28	2	82-02-25	1776	1784
19	ALSOUTO.CNTL	0	(	57)	50	2	82-02-25	1785	1793
20	ALSOUTO	0	(	53)	0	0	82-02-25	1789	1775
21	ALSOULT1.FORT	0	(	59)	29	2	82-02-25	1802	1811
22	ALSOULT1.CNTL	0	(	60)	51	2	82-02-25	1812	1821
23	ALSOULT1	0	(	58)	0	0	82-02-25	1794	1801
24	ALSOULT2.FORT	0	(	62)	30	2	82-02-25	1829	1837
25	ALSOULT2.CNTL	0	(	63)	52	2	82-02-25	1838	1846
26	ALSOULT2	0	(	61)	0	0	82-02-25	1822	1828
27	ALSOULTP.FORT	0	(	65)	31	2	82-02-26	1853	1860
28	ALSOULTP.CNTL	0	(	66)	53	2	82-02-26	1861	1868
29	ALSOULTP	0	(	64)	0	0	82-02-26	1847	1852
30	ALSOULT3.FORT	0	(	68)	32	2	82-02-26	1874	1880
31	ALSOULT3.CNTL	0	(	69)	54	2	82-02-26	1881	1888
32	ALSOULT3	0	(	67)	0	0	82-02-26	1869	1873
33	ALSOULT4	0	(	70)	0	0	82-02-26	1889	1893
34	ALSOULT5	0	(	76)	0	0	82-02-26	1910	1915
35	ALSOULT6	0	(	76)	0	0	82-02-26	1932	1938
36	ALSOULT7	0	(	79)	0	0	82-02-26	1957	1962
37	ALSRIA.FORT	0	(	22)	72	3	82-02-22	1465	1475
38	ALSRIA.CNTL	0	(	23)	7	4	82-02-22	1476	1485
39	ALSRTIO.FORT	0	(	25)	73	3	82-02-25	1495	1505
40	ALSRTIO.CNTL	0	(	26)	8	4	82-02-25	1506	1516
41	ALSRTIO1.FORT	0	(	18)	71	3	82-02-22	1429	1438
42	ALSRTIO1.CNTL	0	(	19)	6	4	82-02-22	1439	1447
43	ALSRTIO1	0	(	20)	0	0	82-02-22	1448	1455
44	ALSRTIO2	0	(	21)	0	0	82-02-22	1456	1464
45	ALSRTIO3	0	(	24)	0	0	82-02-25	1486	1494
46	ALSRTIO4	0	(	27)	0	0	82-02-25	1517	1525
47	ALSRI1.FORT	0	(	14)	92	1	82-02-22	1372	1388
48	ALSRI1.CNTL	0	(	15)	0	0	82-02-22	1389	1405
49	ALSTE.FORT	0	(	71)	33	2	82-02-26	1894	1901
50	ALSTE.CNTL	0	(	72)	55	2	82-02-26	1902	1909
51	ALSTRNS1	0	(	37)	0	0	82-02-25	1620	1626
52	ALSTRNS2	0	(	40)	0	0	82-02-25	1645	1651
53	ALSTRNS3	0	(	43)	0	0	82-02-25	1670	1676
54	ALSTRNS4	0	(	46)	0	0	82-02-25	1697	1703
55	ALSTRNS5	0	(	49)	0	0	82-02-25	1722	1728
56	ALS3PRE.FORT	0	(	10)	91	1	82-02-19	1339	1347
57	ALS3PRE.LOAD	0	(	11)	0	0	82-02-19	1348	1356


```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| | SEQ# | ELEMENT NAME | BLANK DATE | ACTUAL DATE | IMT VOL | IPOS | IKIND | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| | 94 | APLDJR.CNTL | 82-02-26 | 82-03-18 | 1031272 | 57 | IPO | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<AUTHOR | >> |
| AZUMI M |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<KEY WORDS | >> |
| APOLLO , FCT EQUILIBRIUM , MHD EQUILIBRIUM , 1.5D |
| JCL |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<H-POINTER | >> |
| APLDJR.CLIST , APLDJ.LOAD , APLRUN.DATA |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<V-POINTER | >> |
| APOLLO4 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<GENERAL DESCRIPTION >> |
| *FCT SEQUENCE OF MHD EQUILIBRIUM IS OBTAINED. HIGH SPEED |
| CALCULATION IS ATTAINED BY ADOPTING BUNEMAN SOLVER. |
| ACCURACY IS HIGH ENOUGH TO BE USED FOR THE ERATO CALCULATION. |
| *OUTPUT DATA ARE APLEQ1, APLEQ2, APLEQ3 AND APLEQ4. |
| |
| |
| |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| | SEQ# | ELEMENT NAME | BLANK DATE | ACTUAL DATE | IMT VOL | IPOS | IKIND | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| | 95 | APLDJR.CLIST | 82-02-26 | | | | OIPO | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<AUTHOR | >> |
| AZUMI M |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<KEY WORDS | >> |
| APOLLO , FCT EQUILIBRIUM , MHD EQUILIBRIUM , 1.5D |
| JCL |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<H-POINTER | >> |
| APLDJR.CNTL , APLDJ.LOAD , APLRUN.DATA |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<V-POINTER | >> |
| APOLLO4 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| <<GENERAL DESCRIPTION >> |
| *FCT SEQUENCE OF MHD EQUILIBRIUM IS OBTAINED. HIGH SPEED |
| CALCULATION IS ATTAINED BY ADOPTING BUNEMAN SOLVER. |
| ACCURACY IS HIGH ENOUGH TO BE USED FOR THE ERATO CALCULATION. |
| *OUTPUT DATA ARE APLEQ1, APLEQ2, APLEQ3 AND APLEQ4. |
| |
| |
| |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

(50)

Fig.B.4 Examples of the DOCUMENT outputs.

(a) Main text.

SEQ	ELEMENT NAME	BLANK DATE	ACTUAL DATE	MT VOL	POS	KIND	PAGE
200	SELENE50.FORT	82-03-05	82-03-16	021273	101	GEM	104
*207	SELENE7	82-03-05				GEM	108
208	SELENE70.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	59	GEM	108
209	SELENE71.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	60	GEM	109
210	SELENE72.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	61	GEM	109
*211	SELENE8	82-03-05				GEM	110
212	SELENE80.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	62	GEM	110
213	SELENE81.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	63	GEM	111
*214	SELENE82.FORT	82-03-05				GEM	111
206	SELPLOS.F.FORT	82-03-17	82-03-17	031272	37	GEM	107
422	SYMBTRTN.FORT	82-03-05	82-03-10	021273	19	GEM	215
423	SYSTEMV3.FORT	82-03-24	82-03-24	041268	14	PO	216
*424	SYSTEMV4.FORT	82-03-24				GEM	216
*215	ITHALIA	82-03-05				GEM	112
*216	ITHALIAD	82-03-05				GEM	112
*218	ITHALIAD.CNTL	82-03-05				PO	113
217	ITHALIAD.FORT	82-03-05	82-03-16	031272	19	PO	113
*102	TOKACODE	82-02-26				PO	54
*1	TRITON	82-02-19				PO	1
425	WFTACJ.FORT77	82-03-05	82-03-17	031272	42	GEM	217
426	WFTARJ.FORT77	82-03-05	82-03-17	031272	43	GEM	217

(249)

(b) Summary

AUTHOR NAME	<<< ELEMENT NUMBER >>>																																																																																																											
IACOTT D S	170																																																																																																											
IAMANO T	102	103	104	105																																																																																																								
IAND	158																																																																																																											
I AZUMI M	1	5	6	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	74	75	76	79	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	116	117	123	124	125	195	196	197	198	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	284	285	286	289	390	393	394	395	396
ICRPP	158																																																																																																											
I EPFL	158																																																																																																											
IGRUBER R	157	167	168	169	170	171	174	217	218	258	259	260	261																																																																																															
IGRUBER R(CRI)	162																																																																																																											
IPP-LAUSANNE																																																																																																												
I))																																																																																																												
IPP GARCHINI	156																																																																																																											
IG GROUP																																																																																																												
IJAERI	1	2	3	4	8	12	25	31	77	82	115	126	127	158	159	164	167	179	187	193	215	216	238	239	243	249	267	268	269	270	271	288	293	294	408	409	410																																																																							
IKURIA G	20																																																																																																											
IKURITA G	1	5	6	7	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	68	69	70	71	72	73	74	75	76	78	272	273	274	276	277	279	280	281	282	283																																																							
ILASMA THEORI	410																																																																																																											
IY LABORATORI																																																																																																												
IY																																																																																																												
IMATSUURA T	262																																																																																																											
INARAOKA K	157	258	259	260	261																																																																																																							
I OKAMOTO M	102	103	104	105																																																																																																								
I PLASMA THEORI	1	2	3	4	8	12	31	77	82	115	126	127	158	159	164	179	187	193	215	216	238	239	243	249	267	268	269	270	271	288	293	294	408	409																																																																										
I RY LABORATO																																																																																																												
I RY																																																																																																												
I PLASMA THEO	25																																																																																																											

(250)

(c) Author index.

```

+-----+-----+
| KEY WORDS | <<< ELEMENT NUMBER >>> |
+-----+-----+
| TABLES | |
+-----+-----+
| CONDENSE | 354 368 |
+-----+-----+
| CONVERGENCE | 153 154 155 |
| CHECK | |
+-----+-----+
| COPYINDEX | 309 329 355 |
+-----+-----+
| COPY ROUTINE | 31 |
| E | |
+-----+-----+
| CORRELATION | 56 57 58 |
+-----+-----+
| CREATION OF | 168 |
| MATRICES | |
+-----+-----+
| CURRENT | 71 72 73 |
+-----+-----+
| CYLINDER PL | 9 11 |
| ASMA | |
+-----+-----+
| CYLINDRICAL | 79 |
| GEOMETRY | |
+-----+-----+
| CYLINDRICAL | 26 27 28 29 30 226 227 228 |
| PLASMA | |
+-----+-----+
| DATA EDITOR | 294 |
+-----+-----+
| DATA FILE | 294 |
+-----+-----+
| DATA FILE C | 47 48 49 |
| OPY | |
+-----+-----+
| DATA | 267 |
+-----+-----+
| DELETE | 310 330 356 |
+-----+-----+
| DEPOSITION | 113 114 |
+-----+-----+
| DIAGNOSTICS | 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 |
| | 65 66 67 171 172 |
+-----+-----+
| DIARY FILE | 153 154 155 268 269 270 288 |
+-----+-----+
| DIRECT ACCE | 170 |
| SS | |
+-----+-----+
| DISK TO MT | 32 33 34 35 36 37 41 42 43 |
+-----+-----+
| DISRUPTION | 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 |
+-----+-----+
| DOCUMENTATI | 410 411 412 413 414 415 418 419 420 421 |
+-----+-----+

```

(254)

(d) Subject index.

BULK STORAGE INFORMATION

SEQ	VOLUME	FILLED	NO. OF	USED	USED	BACKUP	SIZE	COND.	SIZE
NO.	SER. NO.	OR NOT	FILES	INCHES	RATE	VOLUME	(F)	VOLUME	(F)
1	021273	1	102	20118	70	TRBKM1	12400		01
2	031272	1	77	20218	70	TRBKM2	12400		01
3	041268	1	82	20574	71	TRBKM3	12400		01
4	031503	0	63	14168	49	TRBKM4	12400		01
5	031517	0	0	0	0		12400		01

(267)

(e) MT information.

付録C. GAEA

C.1 GAEAの設計思想

核融合研究の進展と計算機システムの発達により、核融合計算の出力データが大量に得られるようになって来ている。多くの場合、これらのデータは、更に何段階かの処理を経て解析が進められ最終的な結論が得られる。従って、これら大量のデータは計算機システムのファイル上に適切に保管され、必要に応じて検索・利用されることが望ましい。正しいデータが必要に応じて取り出されるための条件は、計算結果のデータの他に索引用の情報が正しく記録されていなければならない。また、検索データの処理・出力が容易に行われるものであることが重要である。

このような観点から、GAEAが開発された。このシステムを使うと、GAEA文法で書かれた計算プログラムの出力データは予め用意されたファイルに必要情報と共に記録される。このデータ・ベース・ファイルは各種のパラメータについて検索ができ、対話型ARGUSによって図形表示が容易にできる。特に重要なのは、計算結果が変数単位で参照可能なので、TSSコマンドだけで種々の変数の関係についての図形表示が直接できることである。なお、GAEAは、通常の計算データを対象としてディスク・ファイル保管を原則とする部分と、極端に大量のデータを対象として磁気テープを記憶媒体とするGAEAMTからなる。

C.2 GAEAの構成と機能

GAEAは、計算データを収集してデータ・ベース・ファイルを作成するためのプリプロセッサとデータ・ベース・ファイルに保存されているデータの処理を行うためのエディターから構成される。データ・ベース・ファイルの作成は、Fig. C. 1の、また、データ・ベース・ファイルの利用は、Fig. C. 2の流れ図に従って行われる。

中小規模計算データを対象とするGAEAの機能について以下に記す。

(1) データ収集部

フォートラン形式のユーザー・プログラムに埋めこまれたGAEA出力コマンドをプリプロセッサによって通常のフォートラン文に直す。このフォートラン文をコンパイルし、リンクする時データ・ベース作成用ライブラリを結合、実行に際してデータは、データ・ベース・ファイルに登録される。

(2) データ・ベース・ファイルおよびデータ・ベース・マスター・ファイル

ユーザーは、データ出力した計算コードの内容（出力形式や出力順序等）を知らなくとも任意にアクセス可能。データ・ベース・アクセスの作業は対話式で行われる。

(3) データ処理部

ユーザーとデータ・ベース・ファイルとのインターフェイスをとる支援機能を持っており簡単なコマンドの入力によりデータ・ベース中の種々の情報出力、データ検索、抽出、加工、図

形出力, 作製, ファイル操作などの試行錯誤的作業が容易に行える。

(核融合研究部 竹田辰興, 常松俊秀)

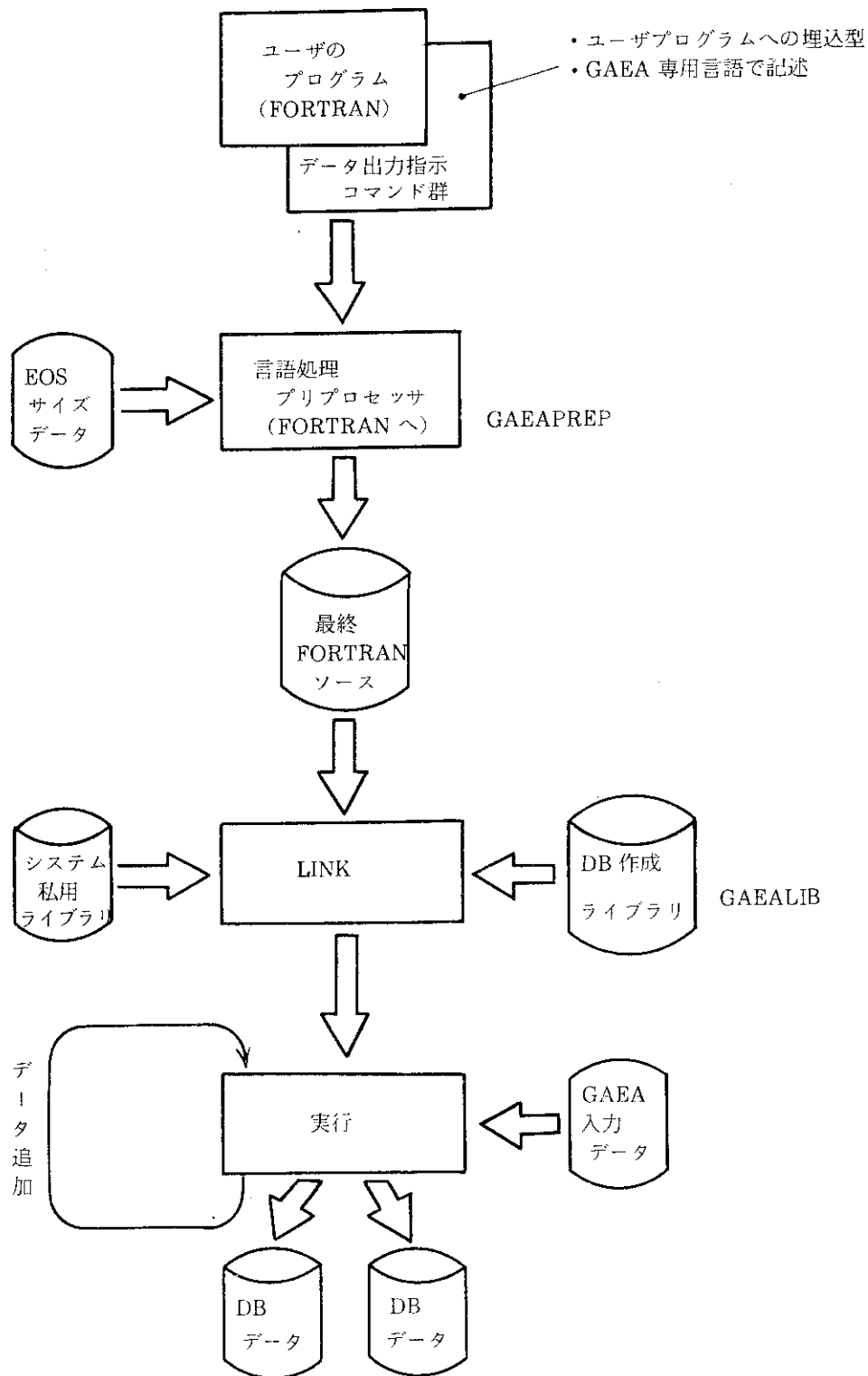


Fig.C.1 Construction of a GAEA data base.

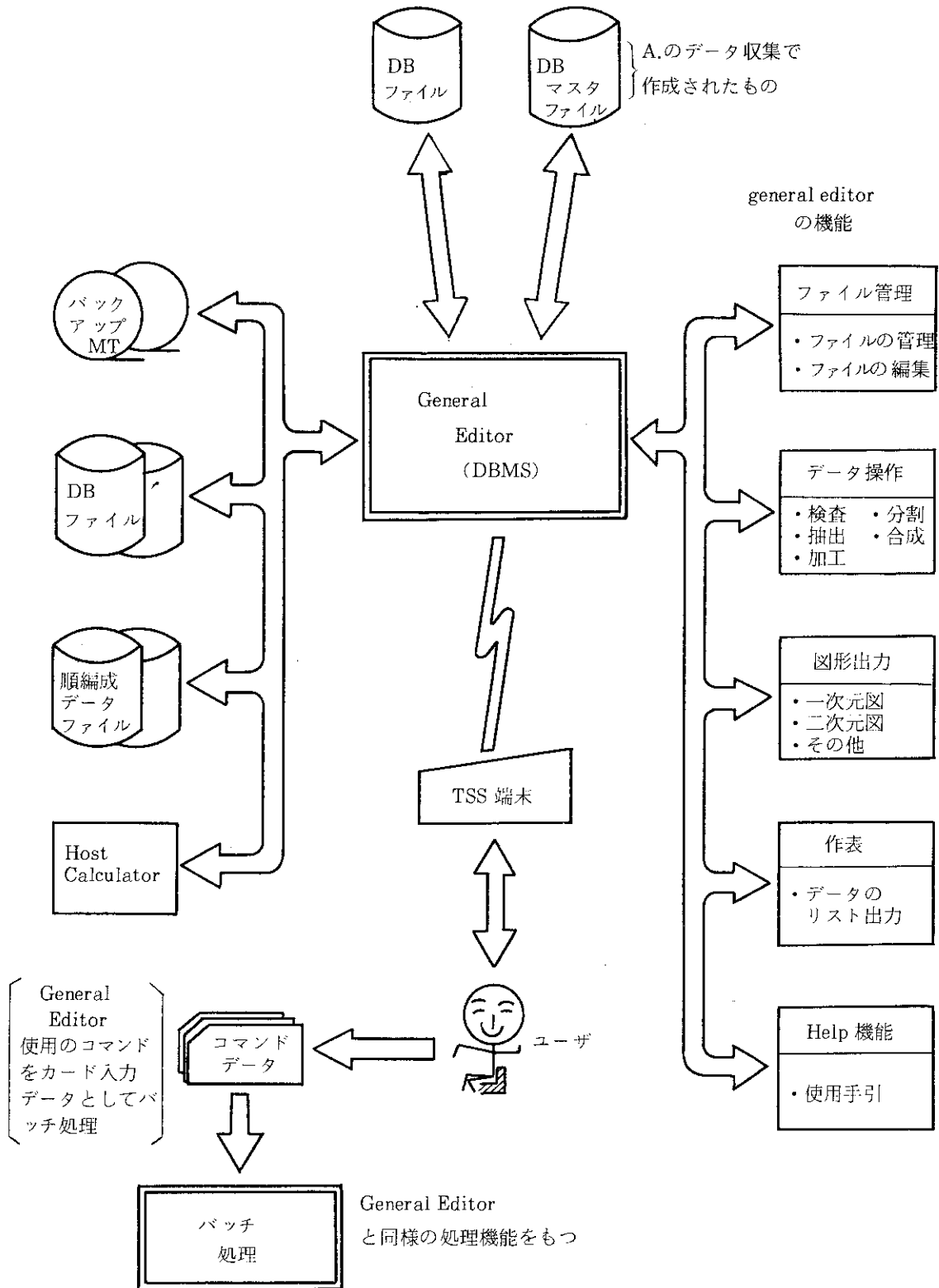


Fig.C.2 Use of the GAEA data base.

付録D. PLUTO

D.1 PLUTOの設計思想

計算コードはかなり一般的に開発したつもりでも、解析対象となる現象に応じてめまぐるしく変化する。このため、コードの説明を開発者が文書化していたのではコードの変化に対処できない。PLUTOは、ソース・プログラムから機械的に取り出せる情報と、開発者（或は利用者）の入力する情報を有機的に結合してコード説明書の自動作成を目指して開発された文書化システムである。

D.2 機能

PLUTOの機能は下記のように個別機能と文書化機能に分類できる。

(1) 個別機能

1. プログラム構造の解析 (STRUCT)
2. コモン・ブロックの相互参照解析 (COMREF)
3. 副プログラムの入出力解析 (SUBANL)
4. 一部モジュールの取り出し (MVSUBS)
5. 副プログラム引数の相互参照解析 (ARGREF)
6. 複数プログラムの比較 (COMPAR)

(2) 文書化機能

1. 各ルーチン毎へコメント文作成 (DOCMNT)
2. マニュアル印刷
3. 参考文献整理

D.3 機能説明

- (1) STRUCT : 入力ファイル内のプログラムの樹構造を解析し、プリンタに出力 (Fig.D.1)
- (2) COMREF : 入力ファイル内のプログラムのコモンプロックの参照関係および変数への代入関係を出力 (Fig.D.2 (a), (b), (c))。
- (3) SUBANL : 引数, コモン変数, 入出力リストの変数の解析 (Fig.D.3)。
- (4) MVSUBS : プログラムの一部の構造的転送 (Fig.D.4)。
- (5) ARGREF : 仮引数と実引数の対応関係の解析 (Fig.D.5 (a), (b))。
- (6) COMPAR : 複数プログラムの比較 (Fig. D.6)。
- (7) DOCMNT : (1)–(5)の解析結果をコメント文としてプログラムの先頭につくり出す。(Fig. D.7(a)–(d))。

(8) マニュアルの自動作成 (Fig. D. 8(a) - (d))。

D.4 参考文献整理

文書化機能のうち参考文献の整理は、PLUTO の中でも特殊な機能である。これは、登録項目を利用者が自由に設定でき、IPF機能を使い画面上で入力ができ、登録された文献を適当なキーを使って検索できる機能を持っている。この機能を使い、核融合関係新着文献の速報を配布している。Fig. D. 9, Fig. D. 10 にそれぞれ入力画面と出力例を示す。

(核融合研究部 竹田辰興, 常松俊秀)

```

<<::: TRITON SYSTEM PLUTO | PROGRAM NEST LIST | (STRUCT) :::>>
0--1--2--3--4--5--6--7--8--9--0--1--2--3--4--5--6--7--8--9

* MAIN01 -
  - GAUS :
  - PAR :
  - DSNEUT :
    - (PLDNS ):
    - (PLSTE ):
    - (PLSTI ):
    - (PTAU ):
    - NUTRAL :
      - GSDIV :
    - EDSNUT :
      - GSDIV :
    - DSNUTR :
    - FDSNUT :
      - (SPTYLD):
  - FFXM :
  - AMOM :
  - TABRA :
    - FIELD :
  - CROSS :
    - (PLSTI ):
    - (PLSTE ):
    - (PLDNS ):
    - (PLNUT ):
    - POSTX :
    - (SIGT ):
    - (PLDNS ):
    - (PLSTE ):
    - (PLSTI ):
  - INIT :
    - POSTX :
    - DIVBMN :
    - INPT :
      - (RADI ):
      - EQSMPL :
    - (RADI ):
    - (FINTD ):
  - OUT :
    - ENDSTB :
    - VLDSTB :
      - (SPTYLD):
      - (DPANG ):
  - POSTX :
  - ORBIT :
    - FIELD :
    - CLPST :
  - SCAT :
  - CXPR :
    - POSTX :
    - (FINTD ):
    - CLPST :

```

Fig.D.1 Analysis of a program structure.

```

:::<< TRITON SYSTEM PLUTO | COMMON CROSS REFERENCE LIST | (COMREF) >>:::
-----
C-NAME | A O C P P P P C C T C G L C P C D D P P F P P T B D O O S
M R R R A A A A S O A R A O X S L S T L L X A A S R F W P B L
O B O R R R R R G N B O U S S S N T F W F M R R T D L M T T O
M 0 0 1 4 X T T R 1 S V S O B L R L 3 2 X O X W
0 K
-----
P-NAME
-----
* AMOM * | 0 0
* CLPST * |
* CROSS * | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
* CXPR * | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
* DIVBMN * | 0
*(DPANG)* |
* DSNEUT * | 0 0 0 0
* DSNUTR * | 0
* EDSNUT * |
* ENDSTB * | 0 0 0 0 0 0 0 0
* EQSMPL * |
* FDSNUT * |
* FFXM * | 0 0 0
* FIELD * |
*(FINTD)* |
* GAUS * | 0
* GSDIV * |
* INIT * | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
* INPT * | 0
* MAIN01 * | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
* NUTRAL * | 0
* ORBIT * | 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Fig.D.2(a) Cross reference of COMMON blocks.

```

::: << TRITON SYSTEM PLUTO | COMMON CORRESPONDING LIST |
-----
COMMON /AMOMO /
-----
      0      0      0
* AMOM *  TMOMO /IAM /AMOMF
* CXPR *  TMOMO /IAM /AMOMF
* ORBIT *  TMOMO /IAM /AMOMF
* OUT  *  TMOMO /IAM /AMOMF
* PAR  *  TMOMO /IAM /AMOMF
-----

COMMON /ORB /
-----
      0      0      0      0      0      *
* AMOM *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR
* CXPR *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR
* ORBIT *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR
* OUT  *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR
* PAR  *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR /IEFL
* SCAT *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR
* TABRA *  RO  /PL  /DT  /DTT /ICUR /IEFL
-----

COMMON /CROO /
-----
      0      0      0      0      0      0      0
* CROSS *  CRCX /CRIN /DNUM /DUIN /DEBM /NDUX /NEBM
* CXPR  *  CRCX /CRIN /DNUM /DUIN /DEBM /NDUX /NEBM
* INIT  *  CRCX /CRIN /DNUM /DUIN /DEBM /NDUX /NEBM
* MAINO1 *  CRCX /CRIN /DNUM /DUIN /DEBM /NDUX /NEBM
* PAR   *  CRCX /CRIN /DNUM /DUIN /DEBM /NDUX /NEBM
-----

COMMON /PARO /
-----
      0      0      0      0
* CROSS *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* CXPR  *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* ENDSTB *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* INIT  *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* MAINO1 *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* ORBIT *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* OUT  *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* PAR  *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* SCAT *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* TABRA *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
* VLDSTB *  IRMAX /IP  /INUM /IMESH
-----

COMMON /PAR1 /
-----
      0      0      0      0      0      0
* CROSS *  DEO  /PDEO /PDE1 /RDEB /DIO  /ZEFF
* DSNEUT *  DEO  /PDEO /PDE1 /RDEB /DIO  /ZEFF
-----

```

Fig.D.2(b) Correspondence tables of COMMON variables.

```

<<::: TRITON_SYSTEM_PLUTO | COMMON DEFINITION LIST | (COMREF) :::>>

COMMON /SUBA01/

* SUBADE * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00055000 STKIND=STK
00056000 STLEN=STL
00057000 STBUF(1)=STMTC(1)
00059000 STBUF(11)=STMTC(11)

* SUBANL * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00017500 TERMTB(1,1)=0
00017600 TERMTB(2,1)=' '
00017700 TERMTB(3,1)=' '
00017800 TERMTB(4,1)=' '
00017900 TERMTB(5,1)=' '
00018000 TERMTB(6,1)=' '
00018100 TERMTB(7,1)=' '
00018200 DELMTB(1,1)=0
00018300 DELMTB(2,1)=' '
00018700 PARM(1)=IP1(1)
00018900 PRTIND=IP2
00019000 SYSIND=IP3

* SUBCAA * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00005360 STBUF(SW1)='('
00005370 STBUF(1)=STBUF(1)+1

* SUBCRE * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00009200 STKIND=STK
00009300 STLEN=STL
00009600 STBUF(11)=STMTC(11)

* SUBCRF * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00004930 FLG=0

* SUBGEM * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00015200 STK=STKIND
00015300 STL=STLEN
00015600 STMTC(11)=STBUF(11)

* SUBIOA * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00003390 STBUF(SK)='/'

* SUBSCM * -(ID,SEQ)- ----- STATEMENT -----
00005500 STMTC(7)='/'

```

Fig.D.2(c) Extraction of statements including COMMON variables.

```

<<<< TRITON SYSTEM PLUTO | INTERFACE ANALYSIS LIST | (SUBANL) >>>>
-----
| INIT |
-----
INPUT ARG
-----
      BDEN  IPMAX
-----
INPUT COM
-----
      CK      CRINO  EMAX  EMIN  EX  EY  EZ  IMESH
      INUM  IRMAX  PA1   PA12  RP  RT  TEO  TVO
      VVO    VO     WSPTT  XO    YO  ZO
-----
OUTPUT ARG
-----
      BDEN  IR      RIRP  RR  V  VR  VV  VVR
      VVZ   VZ     ZZ
-----
OUTPUT COM
-----
      ATIP  DEFV  ONFOV  EMAX  EMIN  IP  TNIP  WSPTT
      XO    YO    ZO
-----
PARAMETER
-----
      CRIN  : FINTD
      DEBM  : POSTX
      DUIN  : POSTX
      IMESH : INPT
      NDUX  : FINTD
      NEBM  : FINTD
      XO    : INPT
      YO    : INPT
      ZO    : INPT
      WWY   : POSTX
      WWW   : POSTX  FINTD
      JW1   : POSTX  FINTD
      JW2   : POSTX  FINTD
      XB    : DIVBMN
      YB    : DIVBMN
      ZB    : DIVBMN
      MDIVB : DIVBMN
      NDIVB : DIVBMN
      RADBM : DIVBMN
      THT1  : DIVBMN INPT
      THT2  : DIVBMN INPT
      XI    : DIVBMN
      YI    : DIVBMN
      ZI    : DIVBMN
      NPBH  : DIVBMN
      SLO   : INPT
      DSL   : INPT

```

Fig.D.3 Analysis of subroutine arguments.

```

<<<< TRITON SYSTEM PLUTO | PROGRAM MOVEMENT LIST | (MVSUBS) >>>>
-----
INCLUDED PROGRAM
-----
  * MVSHOP *      48RECORDS
  * MVSHOO *      58RECORDS
  * MVSPAR *     200RECORDS
  * MVSPRS *     244RECORDS
  * MVSSTM *     112RECORDS
  * MATN01 *     166RECORDS
  * MVSUTC *     103RECORDS
  * MVSUTL *     119RECORDS
  * MVSUTO *     129RECORDS
  * ICHCHK *      43RECORDS
  * ICHCMP *      55RECORDS
  * ICHTRX *      43RECORDS
  * ICHMOV *      30RECORDS
-----
EXCLUDED PROGRAM
-----
  * ICHBIN *      32RECORDS
  * ICHCCN *      45RECORDS
  * ICHSBD *      38RECORDS
  * ICHSBS *      43RECORDS

```

Fig.D.4 Extraction and transfer of subroutines by keeping their tree structure in the program.

```

<<<< TRITON SYSTEM PCUID ARGUMENT TRANSFER LIST (ARGREF) >>>> DATE 81-03-31 PAGE 4
-----
|-----|
| CMPLRR | SUBROUTINE
|-----|
REF-SUB NAME LINE NO DUMMY ARGUMENTS / ACTUAL ARGUMENTS
MSPP MRCP MLPP MXP NSPP NKCP NLPP NMXP
* CMPSRT # 39 (02) (01) (03) (04)
* CMPSRT # 41 (02) (01) (03) (04)
* CMPPTS # 47 (01) (02)
* CMPPTS # 48 (01) (02)
* CMPPTS # 65 (01) (02)
* CMPPTS # 73 (01) (02)

```

Fig.D.5(a) Correspondence table of actual versus dummy arguments.

The example shows that actual argument MSPP in the subroutine CMPLRR corresponds to the second dummy argument in the called subroutine CMPSRT.


```

<<<< TRITON SYSTEM PLUTO I ARGUMENT CORRESPONDING LIST I (ARGREF) :>>> DATE 81-03-31 PAGE 19
-----
|-----|
| CMPUSC | SUBROUTINE
|-----|
-----
PROG NAME  LINE NO  DUMMY ARGUMENTS / ACTUAL ARGUMENTS
-----
* CMPUNL #   53  MSPP  MRCP  MLPP  MXXP  MPF  M  MEF
* CMPUNL #   54  MSPP  NRCP  NLPP  NXXP  NPF  N  NEF
* CMPUNL #   58  MSPP  MRCP  NLPP  MXXP  NPF  M  MEF
* CMPUNL #   66  MSPP  MRCP  MLPP  MXXP  MPF  N  MEF
* CMPUNL #   67  MSPP  NRCP  NLPP  NXXP  NPF  N  NEF
* CMPUNL #   69  MSPP  NRCP  NLPP  NXXP  NPF  N  MEF
-----

```

Fig.D.5(b) Correspondence table of dummy versus actual arguments.
 The subroutine CMPUSC is called from the subroutine CMPUNL
 and the dummy argument KSP appearing in the 53rd line,
 for example, corresponds to the actual argument MSPP
 of the calling subroutine CMPUNL.

```

<<<: TRITON SYSTEM PLUTO | PROGRAM COMPARE LIST | (COMPAR) | :>>> DATE 81-05-21 PAGE 1
* GRAPH * 1 ST
MARK LINE NO SOURCE CODE LINE NO SOURCE CODE
R ( 1) SUBROUTINE GRAPH(XX,N,ICMT,IGRID)
R ( 2)C GRAPHIC OUTPUT BY ARGUS SUBSYSTEM
R ( 3)C
R ( 4) REAL*8 ONP,ONC,OAL,XX
R ( 5)C
R ( 6) COMMON /COMOBS/ ONP(100),ONC(100),OAL(100),M
R ( 7) COMMON /COMTYP/ NTPY,IWGT
R ( 8)C
R ( 9) DIMENSION XX(1)
R (10) DIMENSION NNC(100),XNNC(100)
R (11) DIMENSION XNP(100),XNC(100),ALP(100)
R (12) DIMENSION XSCL1(100),XSCL2(100)
R (13) DIMENSION Y(100)
R (14) DIMENSION ILINE(50),ICENTR(50)
I (15) LOGICAL*1 ICMT(80)
R (16) LOGICAL*1 ITYP(9)
R (17) DATA ITYP/NTYP=1/
D (18) CALL IDCONV(NTYP,ITYP(6))
R (19)C
R (20) MIN=30
R (21) MAX=100
R (22)C
R (23) MAXP=MIN
R (24) DO 5 J=1,MOBS
R (25) IONP=ONP(J)+0.2
R (26) IF(IONP.GT.MAXP) MAXP=IONP
R (27) 5 CONTINUE
R (28) K=1
R (29) DO 20 I=MIN,MAX
R (30) DO 10 J= 1,MOBS
R (31) IONC=ONC(J)+0.2
R (32) IF(IONC.NE.1) GO TO 10
R (33) NNC(K)=I
R (34) KMAX=K
R (35) IMAX=I
R (36) K=K+1
R (37) GO TO 20
R (38) 10 CONTINUE
R (39) 20 CONTINUE
R (40) IF(CMAX.GT.MAXP) MAX=MAXP
R (41) IF(CMAX-MIN+1.LT.MOBS) MAX=MIN+MOBS-1
R (42) AMAX=0.0
R (43) DO 25 I=1,MOBS
R (44) IF(OAL(I).GT.AMAX) AMAX=OAL(I)
R (45) 25 CONTINUE
R (46) AMIN=XX(1)+XX(2)
D (47) IF(NTYP.EQ.4.OR.NTPY.EQ.5) AMIN=XX(1)
D (48) IF(AMIN.GT.0.0) AMIN=0.0
D (49) YMAX=1.2*AMAX

```

Fig.D.6 Comparison of two programs. The right program is compared with the left program.

Characters R, I, and D denote replacement, insertion, and deletion of statements, respectively.

<<::: TRITON SYSTEM PLUTO | INSERTED DOCUMENT LIST | (DOCMT) :::>>

PROGRAM NAME = 'MAIN01' MODE = UPD

.....*

C*DOC*/S	===== DOCUMENTATION BY PLUTO =====	=====
C*		00000100
C*		00000200
C*		00000300
C*	* MAIN01 -	00000400
C*	- GAUS :	00000500
C*	- PAR :	00000600
C*	- DSNEUT :	00000700
C*	- (PLDNS):	00000800
C*	- (PLSTE):	00000900
C*	- (PLSTI):	00001000
C*	- (PTAU):	00001100
C*	- NUTRAL :	00001200
C*	- GSDIV :	00001300
C*	- EDSNUT :	00001400
C*	- GSDIV :	00001500
C*	- DSNUTR :	00001600
C*	- FDSNUT :	00001700
C*	- (SPTYLD):	00001800
C*	- FFXM :	00001900
C*	- AMOM :	00002000
C*	- TABRA :	00002100
C*	- FIELD :	00002200
C*	- CROSS :	00002300
C*	- (PLSTI):	00002400
C*	- (PLSTE):	00002500
C*	- (PLDNS):	00002600
C*	- (PLNUT):	00002700
C*	- POSTX :	00002800
C*	- (SIGT):	00002900
C*	- (PLDNS):	00003000
C*	- (PLSTE):	00003100
C*	- (PLSTI):	00003200
C*	- INIT :	00003300
C*	- POSTX :	00003400
C*	- DIVBMN :	00003500
C*	- INPT :	00003600
C*	- (RADI):	00003700
C*	- EQSMPL :	00003800
C*	- (RADI):	00003900
C*	- (FINTD):	00004000
C*	- OUT :	00004100
C*	- ENDSTB :	00004200
C*	- VLDSTB :	00004300
C*	- (SPTYLD):	00004400
C*	- (DPANG):	00004500
C*	- POSTX :	00004600
C*	- ORBIT :	00004700
C*	- FIELD :	00004800
C*	- CLPST :	00004900
C*	- SCAT :	00005000

Fig.D.7(a) Insertion of TREE diagram in the main program.

<<::: TRITON SYSTEM PLUTO | INSERTED DOCUMENT LIST | (DOCMT) :::>>

PROGRAM NAME = 'MAIN01' MODE = UPD

.....*

C*	- CXPR :									00005100
C*	- POSTX :									00005200
C*	-(FINTD) :									00005300
C*	- CLPST :									00005400
C*										00005500
C*	C-NAME	GDPPPPLOCTCDPAOPCCPCDPFPPTBOSI								00005600
C*		I A W A A A A O P R A O T L M R A S R X S L S L X A S R F B L I								00005700
C*		I U M R R R R S T O B N F F O B R G O S S N T W M R T D L T O I								00005800
C*		0 3 4 X S O O R T L L M 1 T 1 V S O B R 2 X X W I								00005900
C*			0			K				00006000
C*	P-NAME									00006100
C*										00006200
C*	* MAIN01	*| 00000000000000								00006300
C*	* AMOM	*| 00								00006400
C*	* CLPST	*|								00006500
C*	* CROSS	*| 0 00 000 000								00006600
C*	* CXPR	*| 0 0 0 00 00 00								00006700
C*	* DIVBMN	*|				0				00006800
C*	*(DPANG)	*|								00006900
C*	* DSNEUT	*| 0 0 0 0 0								00007000
C*	* DSNUTR	*| 0								00007100
C*	* EDSNUT	*|								00007200
C*	* ENDSTB	*| 0 00 00 00								00007300
C*	* EQSMPL	*|								00007400
C*	* FDSNUT	*|								00007500
C*	* FFXM	*| 0 0 0								00007600
C*	* FIELD	*|								00007700
C*	*(FINTD)	*|								00007800
C*	* GAUS	*| 0								00007900
C*	* GSDIV	*|								00008000
C*	* INIT	*| 0 00 0 0 0 0 0 0 0000								00008100
C*	* INPT	*|						0		00008200
C*	* NUTRAL	*| 0								00008300
C*	* ORBIT	*| 00 0 0 00 0								00008400
C*	* OUT	*| 00 000 0000 0 0								00008500
C*	* PAR	*| 0000 00 0 000000 00 00								00008600
C*	*(PLDNS)	*| 0								00008700
C*	*(PLNUT)	*| 0								00008800
C*	*(PLSTE)	*| 0								00008900
C*	*(PLSTI)	*| 0								00009000
C*	* POSTX	*|								00009100
C*	*(PTAU)	*|								00009200
C*	*(RADI)	*|						000		00009300
C*	* SCAT	*| 000 0 0 0								00009400
C*	*(SIGT)	*|								00009500
C*	*(SPTYLD)	*|								00009600
C*	* TABRA	*| 0 00 0 0 0								00009700
C*	* VLDSTB	*| 0 00 000 00 0 0								00009800
C*										00009900
C*										00010000

Fig.D.7(b) Insertion of the COMMON cross reference table in the main program.

<<::: TRITON SYSTEM PLUTO | INSERTED DOCUMENT LIST | (DOCMNT) :::>>

PROGRAM NAME = 'CXPR ' MODE = UPD

..........*.....*.....*.....*.....*.....*.....*.....*

```

C*DOC*/S===== DOCUMENTATION BY PLUTO =====00000100
C*                                00000200
C*                                00000300
C*      INPUT ARG                00000400
C*      ANJ      BD      INEUT  R      W      WR      WW      WWR      00000500
C*      WWZ      WZ      ZNEUT                                00000600
C*      INPUT COM                00000700
C*      AMOMF  CRIN1  DLCX  DLCXH  DNUM  IAM  IRION  IRMAX      00000800
C*      LSCXF  NDUX1  NEBM  ROCXH  TCOS  TLDCX  TLECX  TLMCX      00000900
C*      TSINF                                00001000
C*      OUTPUT ARG              00001100
C*      ANJ      JR      R      WR      WWR  WWZ      WZ      Z      00001200
C*      OUTPUT COM              00001300
C*      LSCX  TLDCX  TLECX  TLMCX      00001400
C*      PRAMETER                00001500
C*      CRCX   : FINTD          00001600
C*      CRIN   : FINTD          00001700
C*      DEBM   : POSTX          00001800
C*      DUIN   : POSTX          00001900
C*      JU1    : POSTX  FINTD    00002000
C*      JU2    : POSTX  FINTD    00002100
C*      NDUX   : FINTD  FINTD    00002200
C*      NEBM   : FINTD  FINTD    00002300
C*      R      : CLPST  FINTD    00002400
C*      UX     : POSTX  FINTD    00002500
C*      WW     : POSTX  FINTD    00002600
C*      Z      : CLPST  FINTD    00002700
C*      U      : POSTX  FINTD    00002800
C*      WWX    : POSTX  FINTD    00002900
C*      JW1    : POSTX  FINTD    00003000
C*      JW2    : POSTX  FINTD    00003100
C*      R1     : CLPST  FINTD    00003200
C*      RN     : CLPST  FINTD    00003300
C*      Z1     : CLPST  FINTD    00003400
C*      ZN     : CLPST  FINTD    00003500
C*      DS     : CLPST  FINTD    00003600
C*                                00003700
C*DOC*/E===== CREATED DATE 81-05-23 =====00003800
C*                                00003900
C*                                00004000
C*                                00004100
C*      SUBROUTINE  CXPR (JR,R,Z,W,WW,WZ,WWZ,WR,WWR,BD,ANJ,INEUT) 00004200
C*                                00004300
C*****                                00004400
C*****  SIMULATION OF CHARGE EXCHANGE ***** 00004500
C*****  WITH BACKGROUND COLD NEUTRALS ***** 00004600
C*****                                00004700
C*                                00004800
C*****                                00004900
COMMON /CROO/ CRCX(51,101),CRIN(51,101),DNUM,DUIN,DEBM,NDUX,NEBM 00005000
    
```

Fig.D.7 (d) Insertion of various information in subprograms.

TITLE : MAIN01

P R O G R A M M A N U A L

SUB-TITLE :

DATE : 1983-08-22

JAPAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE

Fig.D.8(a) Cover of the document. Code name is automatically printed at the title column. The subtitle column is prepared by the users.

C O N T E N T S

1. FUNCTION	1
2. PROGRAM STRUCTURE	2
3. COMMON	5
4. FILE	23
5. PROGRAM	81

Fig.D.8(b) Contents with automatic pagination. Brief description of the code should be supplied by the users in section 1(Function) and in sections 2 - 5 the results of analyses of the code are printed after editing.

2.1 PROGRAM LIST

ENTRY NAME	TYPE	DESCRIPTION
ASSIGN	SUBR	
BUFIN	SUBR	
BUFOUT	SUBR	
CAPS	SUBR	
CLEARI	SUBR	
CLEARC	SUBR	
DIVIDE	SUBR	
DOCMNT	SUBR	
EDIT	SUBR	
FILCHK	SUBR	
GETFIL	SUBR	
IDREAD	SUBR	
KOMP	FUNC	
LPFIL	SUBR	
MAIN01	MAIN	
MATCH	FUNC	
MERGE	SUBR	
MERGE2	SUBR	
NEW	SUBR	
PLUTOS	SUBR	
SAVE	SUBR	
SELECT	SUBR	
SEQCHK	SUBR	
SETUP	SUBR	
SORT	SUBR	

NOTE	BY	DATE
		PAGE 3

Fig.D.8(c) List of subroutines. Description columns are filled by the users.

BLK. NAME	NUMBER			
	1	3-102		
DESCRIPTION				
DECLARE FORM. NUMSEQ(0:MAXC),NDATA,MAXMEM,NZEROX,MASTER,OU,NFILE,XFILE(2,11:22) ,INF2,NDFILI,IDUNIT,LOCS(-8:MAXADD),LOCE(-8:MAXADD),LENGTH(-8:10) ,NADD,UFILIN,LARGE,RESRVE,UPDATE,SAVCHK,FILSAV				
NO.	NAME()	TYP	ENTRY/ ID-SEQ.	DESCRIPTION / DEFINE STATEMENT
1	NUMSEQ()	I*4	BUFIN 00000490 SAVE 00000260 00000470	READ(UNIT=DECK(3:10),FMT='(BN,I8)')NUMSE NUMSEQ(1)=ISEQ NUMSEQ(SEQ)=ISEQ
2	NDATA	I*4	BUFIN 00000290 00000400 00000440 DIVIDE 00000280 00000340 00000380 PLUTOS 00000390 SAVE 00000250 00000450	NDATA=0 NDATA=0 NDATA=NDATA+1 NDATA=0 NDATA=0 NDATA=NDATA+1 NDATA=0 NDATA=0 NDATA=NDATA+1
3	MAXMEM	I*4	PLUTOS 00000260	MAXMEM=MAXC
4	NZEROX	I*4	FILCHK 00000610 GETFIL 00000260 00000340	NZEROX=1 NZEROX=NZEROX+1 NZEROX=0
5	MASTER	I*4	SETUP 00000220	MASTER=1
6	OU	I*4	SETUP 00000260	OU=10
NOTE			BY	DATE
				PAGE 20

Fig.D.8(d) An example of the results of analyses of the COMMON block NUMBER.

FSEDIT(PF13) END(PF15) SAVE(PF18) NEW(PF21) FETCH(PF24) 1181 - 3180			
DATE	83-08-03	SEQ. NO. : 1328	FILE NO.:
HEADER	UTX-IFS		
REP. NO.	IFSR-94	YEAR : 1983	
PUBLISH	UTX-IFS		
TITLE			
Loop coalescence in flares and coronal x-ray brightening			
AUTHORS			
TAJIMA T, BRUNEL F			
KEYWORDS			
SOLAR FLARE, CORONAL BRIGHTENING			
ABSTRACT			
Characteristics of solar flares such as their impulsive nature, time scale, heating, high energy particle spectrum, gamma-ray oscillations a			
□A□	2		□-03

Fig.D.9 The frame of the CRT display for the information system PLUTOR.

83-08-25 15:19

*****PLUTOR V01*****

--PUBLISH-- <ORNL>

```
# REPORT NO. : ORNL-TM-8364
DATE : 83-08-25
SEQUENCE NO. : 00001343
YEAR : 1983
TITLE : Thermal/stress analyses of the EBT-SA
split mirror coil
AUTHORS : MAYHALL J A, BYINGTON G A, FORSEMAN J W,
HAMMONDS C J, HASTE G R, JOHNSON R L,
LIVINGSTON J L
KEYWORDS : THERMAL ANALYSIS, STRESS ANALYSIS,
EBT-SA, MIRROR COIL
ABSTRACT : A proposal was made in December 1978 to
replace some of the standard mirror
coils on ELMO Bumpy Torus-Scale (EBT-S)
with coils which had the center
windings removed, called split-mirror
coils. The advantages of such a
replacement were: diagnostic
measurements could be made in regions in
real space and in velocity space which
not otherwise be accessible, and
experiments could be carried out in the
high magnetic field region. ....
OMITTED .... In order to perform a
fracture mechanics analysis, the normal
stress (without flaws) has to be known,
and since the thermal stress is the
dominant stress, the temperature must
be known in order to perform a stress
analysis. .... OMITTED ....
```

--PUBLISH-- <UTX-IFS>

```
# REPORT NO. : IFSR-98
DATE : 83-08-25
SEQUENCE NO. : 00001341
YEAR : 1983
TITLE : Energetic particle stabilization of
ballooning modes in tokamaks
AUTHORS : ROSENBLUTH M N, TASI ST, VAN DAM J W,
ENGQUIST M G
KEYWORDS : ENERGETIC PARTICLE, BALLOONING MODE,
HIGH-BETA, SECOND STABILITY, FISHBONE
ABSTRACT : Introduction of an anisotropic, highly
energetic trapped particle species into
a tokamak may allow direct stable
access to the high-beta regime of
second stability. Under certain
conditions, the mode at marginal
stability acquires a real frequency
close to the precessional drift
frequency of the energetic particles,
perhaps correlating with recent
```

"fishbone" observations on PDX.

```
# REPORT NO. : IFSR-99
DATE : 83-08-25
SEQUENCE NO. : 00001342
YEAR : 1983
TITLE : Collective ion acceleration by a
reflexing electron beam: model and
scaling
AUTHORS : MAKI F, TAJIMA T
KEYWORDS : COLLECTIVE ION ACCELERATION, REFLEXING
ELECTRON BEAM
ABSTRACT : Analytical and numerical calculations
are presented for a reflexing electron
beam type of collective ion accelerator.
These results are then compared to
those obtained through experiment. By
constraining one free parameter to
experimental conditions, the
self-similar solution of the ion energy
distribution agrees closely with the
experimental distribution. Hence the
reflexing beam model appears to be a
valid model for explaining the
experimental data. Simulation shows in
addition to the agreement with the
experimental distribution that
synchronization between accelerated
ions and electric field is phase
unstable. This instability seems to
further restrict the maximum ion energy
to several times the electron energy.
```

Fig.D.10 An example of output of the information system PLUTOR.

付録 E. EOS

E.1 EOS の設計思想

次のような背景に対処するため EOS が開発された。

- (1) 大記憶容量を必要とする計算が増えている。
- (2) 同一プログラムを用いた一連の計算で大記憶容量を必要とするものと小記憶でよいものが共存する時、いずれの場合も計算機システム資源の無駄使いをしないで計算したい。
- (3) 各種プログラムが大規模、複雑になって来ているので、プログラム構成はなるべく見やすいものにしたい。

EOS の基本機能は次のとおりである。

- (1) 各サブプログラムの外に用意した FORTRAN 文を必要な所に挿入できる。COMMON 文の配列の修正は 1 ケ所だけですむ。
- (2) COMMON 文や DIMENSION 文の配列サイズに変数や算術式を許す。少ない数の基本量から必要な配列サイズが決る。

E.2 機能概要と文法

EOS プリプロセッサの機能は、EOS ソース・プログラム（サイズ・ブロック付またはサイズ・ブロック無し）から FORTRAN ソース・プログラムを作成することである。各ソース・プログラムの例を Fig. E. 1 ~ E. 3 に示す。EOS 文法を Table E. 1 に示す。

E.3 逆 EOS

EOS には、補助機能として、逆 EOS プリプロセッサの機能がある。これは通常の FORTRAN ソース・プログラムから EOS ソース・プログラムを作成する機能である。

（核融合研究部 竹田辰興, 常松俊秀）

```

C***MAIN PROGRAM***
COMMON/COMA/V1(10),V2(20)
COMMON/COMB/V3(100,120)
.
.
END

SUBROUTINE SUBA
COMMON/COMA/V1(10),V2(20)
COMMON/COMB/V3(100,120)
.
.
END

SUBROUTINE SUBB(X,Y)
COMMON/COMA/V1(10),V2(20)
COMMON/COMB/V3(100,120)
.
.
END
    
```

(プログラム・ブロック)

Fig.E.1 A fortran program.

```

*COMDECK COMA
COMMON/COMA/V1(10),V2(20)
*COMDECK COMB
COMMON/COMB/V3(100,120)
    
```

(テキスト・ブロック)

```

*DECK MAIN
C***MAIN PROGRAM***
*CALL COMA
*CALL COMB
.
.
END
*DECK SUBA
SUBROUTINE SUBA
*CALL COMA
*CALL COMB
.
.
END
*DECK SUBB
SUBROUTINE SUBB(X,Y)
*CALL COMA
*CALL COMB
.
.
END
    
```

(プログラム・ブロック)

Fig.E.2 An EOS source program without a size block.

<pre>N =10 N1=N N2=2*N N3=N*N</pre>	(サイズ・ブロック)
<pre>*COMDECK COMA COMMON/COMA/V1(N1),V2(N2) *COMDECK COMB COMMON/COMB/V3(N3,N2+N3)</pre>	(テキスト・ブロック)
<pre>*DECK MAIN C***MAIN PROGRAM*** *CALL COMA *CALL COMB . . END *DECK SUBA SUBROUTINE SUBA *CALL COMA *CALL COMB . . END *DECK SUBB SUBROUTINE SUBB(X,Y) *CALL COMA *CALL COMB . . END</pre>	(プログラム・ブロック)

Fig.E.3 An EOS source program with a size block.

ブロック名	例
サイズブロック	<pre>C==BLOCK1=== N=5, M=100 * N C==BLOCK2=== L=20, LL=N+1</pre>
テキストブロック	<pre>*COMDECK TEXT1 COMMON /A/ X(L+M, N) INTEGER Y(L**2) KK=¥(L+M+200)</pre>
プログラムブロック	<pre>*DECK SUB1 SUBROUTINE SUB2 *CALL TEXT1</pre>

Table E. 1 Blocks in EOS language

付録 F. DATAPOOL

F.1 はじめに

この概説は既に公刊されている報告 JAERI-M 8715 の一部を再録したものである。JAERI-M 8715 で報告した以後も、データプールについて様々の改良がおこなわれた。それらの改良は主としてバッチ処理でデータプールを使用する際に便利な機能を付け加えるためのものである。この概説のデータプール機能一覧表はそれらの改良結果を含んでいる。

なお、F.2.5 の情報検索機能はあまり利用されていない。また、F.2.6 の図形表示機能はタイムシェアリング端末でデータを表示する機能であるが、現在は使用できず、昭和 59 年 3 月に利用可能とする予定である。データプール初版では使用可であったが、費用と人手の不足から現在の版に組込むことができなかつた。次版で利用可能とする予定である。なお、このデータプールは、第 1 章で説明した如く、第 5 章 SPEEDI コード・システムで利用されているものと同じで、第 5 章 RADHEAT-V4 のものとは異なる。

一般に科学技術計算のプログラム・ファイルは、計算の状況によってデータ長や書込み順序が変化する場合はほとんどである。このために作成済のデータ・ファイルを使用するときは、関連あるプログラムの調査を、その入力データまで含めて必要とすることが多い。すなわち、データ・ファイルは計算プログラムから独立ではない。一方原研においては大量のデータを取扱う大型プログラムが多数使用されており、研究者はこれらプログラム間のデータの整合作業に多大の時間を費やしてきた。Fortran プログラムとそのデータ・ファイルの持つこの難点を解消し、データ・ファイルのモジュラリティを高め、データの標準化と共用を容易にすることがデータプール開発の目的である。

この目的に合致するデータプール・ファイルのもつべき機能を、

樹状階層構造の命名法、データおよびデータ属性の保存、データの内容、用途などについての注釈文の保存、

とした。また、このファイルについて

データおよび属性の検索、表示、修正、消去、保管と管理などの操作が容易におこなえる、ことをファイル処理ユーティリティの持つべき機能とした。さらに、これらの機能がすべて Fortran 語の枠を出ないこと、この処理系がすべて Fortran 語で書かれていることを条件とした。

F.2 データプールの機能

F.2.1 プリプロセッサ

Fortran プログラム中においてデータの入出力をおこなうデータプール入出力文を定め、このデータプール入出力文を通常の Fortran 入出力文へ自動的に変換するプリプロセッサを用意した

(Fig. F. 1, ブロック 1)。これによってデータプールを使用する場合に、プログラム変換の手間を最小限にとどめることができる。プリプロセッサは、ソース・プログラム・カードの第 1, 2 カラムから C J ではじまる文 (以後 C J 文と呼ぶ) を解読し、これを通常の Fortran 文に展開する。展開例を Fig. F. 2 に示す。例からわかるとおり、入出力は Fortran の直接 アクセス文を利用しておこなう。

F. 2.2 入出力アクセス法

データプール・プロセッサのデータへのアクセスはつぎのようにしておこなわれる。

(i) データプール・プロセッサは、空白 (ブランク) の文字列のノード名に出会ったとき、あるいは木構造の終端のノードに到着したときに指定されたデータ名の探索を終了する。この機能を利用すると、データプール・ファイルのすべてのデータ名をひとつの入出力文でアクセスすることができる。

つぎの出力文

```
C J WRITE ( A . B . C . . . . X ) ( DATA ( I ) , I = 1 , N )
```

において、データ名の変数 C, ..., X のすべてが空白 (ブランク) 文字なら上記の出力文はと

```
C J WRITE ( A . B ) ( DATA ( I ) , I = 1 , N )
```

と同じである。

(ii) 利用者はデータプール・ファイルの木構造を水平、あるいは垂直に探索することができる。

つぎの例

```
C J POINT ( A . B . C , MAXD , ND , DNAME , NRC )
```

```
C J NEXTV ( ND , DNAME , NRC )
```

```
C J READ ( * , ERR = 1 2 3 ) U , V
```

```
C J NEXTH ( ND , DNAME , NRC )
```

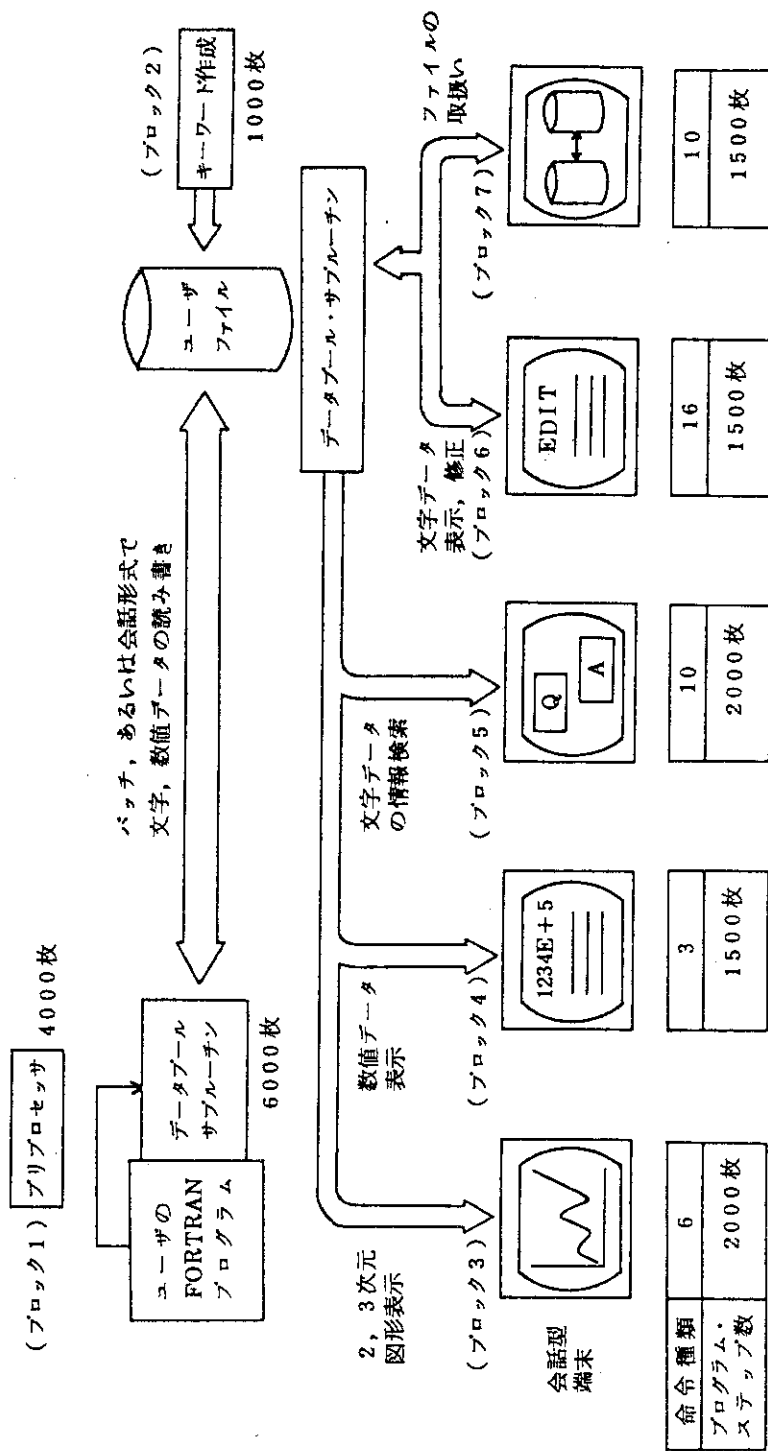
```
C J READ ( * , ERR = 1 2 3 ) U , V
```

において POINT 文は探索開始点となるデータ名を示す。この場合は A.B.C. である。どのデータ名が探索の対象となっているかはノード位置設定ポインタが示している。NEXTV はデータ名 A.B.C のひとつ下の階層で先頭のデータ名に位置設定ポインタを移し、そのデータ名が配列変数 DNAME に格納される。READ 文の * 印指定によって、このデータ名のデータを読むことができる。NEXTH 文は位置設定ポインタを水平右方向に移し、そのデータ名配列 DNAME に格納する。

F. 2.3 入出力並びの保存

データプール・プロセッサは、データプール・ファイルの入出力時にデータの入出力並びとその並びに現われた変数の型、値などの属性を自動的に記録する (Fig. F. 3)。

データプール中のデータを読み書きするとき、前回の入出力並びと今回使用する入出力並びとの整合性のチェックはおこなわれない。データが書込まれたときは、そのデータの出力並び変数の型、値に更新される。



注

プログラムはすべてFORTRANで書かれている。プログラム・ステップ数は実行文のみで、コメント文は含まない。

Fig. F.1 Schematic view of Datapool System

```

SUBROUTINE DPW(A,B,C,D,X,N)
DOUBLE PRECISION A,B,C,D
DIMENSION X(100)
CJ WRITE(A,B,C,D,ERR=200) (X(I),I=1,N)
RETURN
200 STOP
END
    
```



```

SUBROUTINE DPW(A,B,C,D,X,N)
DOUBLE PRECISION A,B,C,D
DIMENSION X(100)
C=====
CJ WRITE(A,B,C,D,ERR=200) (X(I),I=1,N)
C=====
      ILENGTH=(1*(N-1+1)+0)
      CALL QOPEN(4,2,ILENGTH,IUNIT,IRECRD,0,4,1,0,A,1,0,B,1,0,C,1,0,D,1,0,
1200)
      CALL QWRITE(IRETCO,0,12,'(X(I),I=1,N)',4,510,100,400,N,1,&200)
      WRITE(IUNIT,IRECRD,ERR=200) (X(I),I=1,N)
      CALL QCLOSE(IRETCO)
C=====
RETURN
200 STOP
END
    
```

Fig. F.2 Expansion of CJ Statement

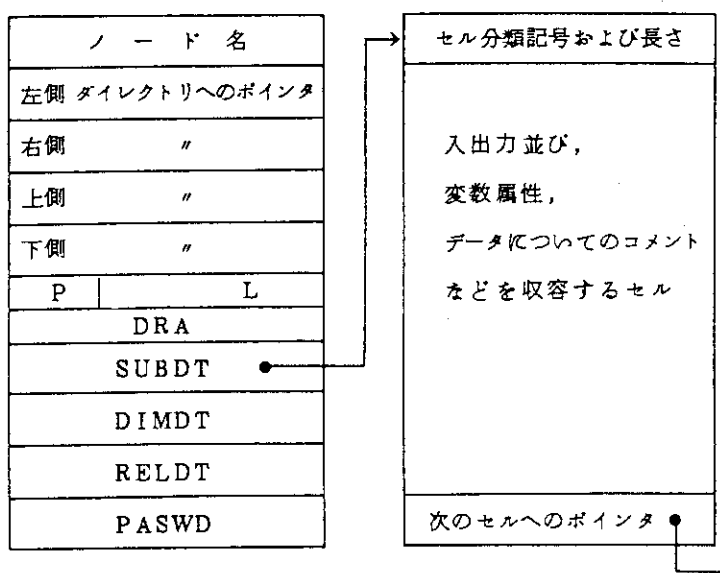


Fig. F.3 Cells for Data Name and Data Attributes

F.2.4 注 釈

データプールの利用者は、バッチあるいはタイムシェアリング処理でデータに注釈を与えることができる。注釈は Fig. F. 3 に示すようにデータのダイレクトリに結合されている。注釈は 18 語 (72 バイト) 単位で伸縮自在となっており、タイムシェアリング端末で編集することができる。注釈の文字列の形式を F. 2.5 で述べる情報検索の様式に合わせておけば、データについての情報検索システムを容易に作ることができる。

F.2.5 情報検索

データプールは保存するデータについての簡易な検索機能をもつ (Fig. F. 1, ブロック 5)。情報検索機能は、検索用キーワード表の作成をバッチ処理でおこなうプログラムと、会話形式で情報検索をおこなうプログラムとから成る。検索は、キーワードをオペランド (文字列, またはキーワード番号) とする論理式を端末から入力することによっておこなう。使用例を Fig. F. 4 に示す。Fig. F. 4 の論理式オペランドのキーワード番号は、前述の検索用キーワード表作成プログラムによって作成される (Fig. F. 1, ブロック 2)。この検索システムは、ごく小規模なキーワードの集合を検索の対象としており、取扱えるキーワード総数は現在のところ 2000 程度としている。データの大きさ、データ名 (ノード名) の数は、これに関係なく大きくとることができる。

```
KEY(P)
>PADE*APPROXIMANT +3
  ABUE          ACRS          ACRT          ACWF          ACWG
LIST(P)
>ACRS
**V:09,1975,46-50          C:ACRS,ICL1430,343,EBCDIC
T:A SUBROUTINE AND PROCEDURE FOR THE RAPID CALCULATION OF SIMPLE OFF-
  DIAGONAL RATIONAL APPROXIMANTS
A:P.R.G.MORRIS,D.E.ROBERTS
K:GENERAL,RATIONAL,APPROXIMANT,CHISHOLM,SIMPLE OFF-DIAGONAL,PRONG,
  PERTURBATION SERIES,PADE
AC:PROGRAM ACRS IS A FORTRAN VERSION OF SODS
LIST(P)
>#END
```

Fig. F.4 Example of Information Retrieval

F.2.6 データの図形表示

データプール・ファイルに保存されているデータを図形表示端末に出力することができる (Fig. F. 1, ブロック 3)。Fortran の出力並び中の任意の変数について 2 次元, 3 次元の表示をおこなうことができる。配列変数は表示の際に初期値, 終値, 増分値を指定することができる。またグラフに複数本のタテ軸の追加, 軸ラベルの設定, タイトルの記入などもできる。2 次元図形の場合には, X, Y 軸はそれぞれ 2350 点まで一度に表示でき, 3 次元図形の場合には X, Y 軸は 50 点, Z 軸は 2500 点まで一度に表示できる。端末装置はいずれもテクトロニクス T4000 シリーズを対象にしている。使用例を Fig. F. 5 に示す。

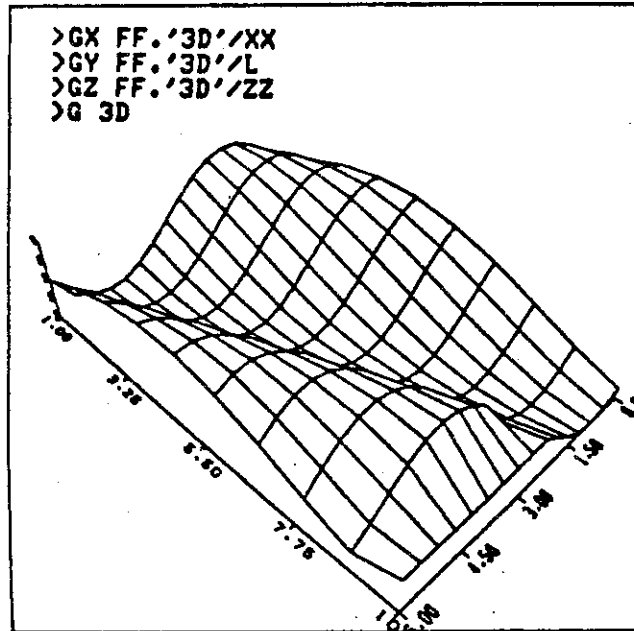


Fig. F.5 Example of Graphical Display

F.2.7 データの数値表示

データプールに保存されているデータを端末に数値表示することができる (Fig. F. 1, ブロック 4)。図形表示と同じく, Fortran の出力並び中の任意の変数を表示することができる。これらの表示はデータがファイルに書込まれるときに同時に記録された入出力並びを解釈することによっておこなわれる。表示の対象となる変数の型は, 現在のところ整数, 実数, 倍精度実数, 虚数に限られる。出力の対象となったデータ名 (ノード名) の入出力並びも同時に出力する。配列変数は, 図形表示の場合と同様に, 初期値, 終値, 増分を指定することができる。表示例を Fig. F. 6 に示す。

F.2.8 注釈の入力, 表示, 修正

データプールでは, データに注釈をつけて保存することができる (Fig. F. 1, ブロック 6)。注釈は, データプールを使用しているプログラムの実行中にデータプール・ファイルに書込むことができる。また, 会話形式でも注釈の入力, 表示, 修正などが可能である。

```
>XYA= 'XYALL'
>LISTD FF.XYA/XX
*** I/O LIST ***
Y2, N, (YY(I), I=1, N), I1, I2, (XX(J), J=I1, I2)
*** CONTROL VARIABLES ***
*** SYMBOLS ***
XX
*** DATA ***
0.0          0.4000000E-01  0.8000000E-01
0.3200000E+00 0.3600000E+00  0.4000000E+00
0.6400000E+00 0.6800000E+00  0.7200000E+00
0.9600000E+00 0.1000000E+01  0.1040000E+01
```

Fig. F.6 Example of Numesical Display

F. 2. 9 データプール・ファイルの保守と管理

データプール・プロセッサは次のような保守と管理の機能をもっている。

(i) RECOVER コマンド

データプールにデータを書込み中のプログラムが不測の障害により実行打ち切りとなったときは、データプール・ファイルのクローズが完了せず、データプールの管理テーブルが乱れデータの追加不可能となる場合がある。RECOVER機能はデータプール・ファイル内の管理テーブルを補修し、当該データプール・ファイルを再使用可能とする。

(ii) SORT コマンド

データプールの樹状階層構造はデータ名の保存順に構成される。SORTはデータ名を単位として昇ベキ、あるいは降ベキの順に並べかえる。

(iii) CONDENSE コマンド

データ名の消去などにより使用不可となったデータ領域を集め1つの使用可能領域とする。

F. 3 ファイルとプロセッサの内部構造

F. 3.1 プリプロセッサの機能

プリプロセッサは、Fortran ソース・カードの第1, 2欄に文字C, Jを穿孔してあるCJ文で記述されたデータプール・ファイルへの入出力文をFortran文に展開する。展開された入出力文などはデータプール・アクセスのためのサブルーチン呼出し文のパラメータ数が、データ名の長さによって違ってくる。

プリプロセッサもFortranで記述されている。このプリプロセッサは、もともとは会話形Fortranの構文解析、およびBackus形式テキストの生成用に作られたプログラムから、DO文、IF文、代入文、書式文などの解析機能を取去り、残った部分にCJ文解釈部とその展開部をつけ加えたものである (Fig. F. 1, ブロック1)。

F. 3.2 データプール・ファイル

データプール・ファイルは、本質的にはFortranのランダム・アクセス・ファイルである。したがって利用者は、1つのプログラム中で任意本数のデータプール・ファイルを使用することができる。各データプール・ファイルは、そのファイルに収められるべきデータの入出力処理にもっとも都合のよいブロック長 (利用者指定) で仕切られ、その先頭部分にファイル制御情報が収められている。ファイル制御情報のおもなものは、ファイルの属性を記述するファイル制御表、およびデータの属性を記述するダイレクトリ群の2つである。ファイル制御表は1本のデータプール・ファイルについて1個作られ、50語 (200バイト) の大きさを持ち、そのおもな内容はTable F. 1のとおりである。

Table F.1 DPCTL - Datapool File Control Table

1	'19'	21	RECORD SIZE	41	MAX CASE NO.
2	'31'	22	MAX RECORDS	42	CURRENT CASE NO.
3	} DATA SET NAME	23	USED RECORDS	43	) POINTER FOR CASE NO. ROOT
4		24	POINTER FOR UNUSED RECORDS	44	
5	} CREATOR'S NAME	25	MAX DIRECTORIES	45	) BYTE OR WORD
6		26	USED DIRECTORIES	46	
7	} CREATION DATE	27	POINTER FOR DIRECTORY ROOT	47	) BYTE OR WORD
8		28	POINTER FOR UNUSED DIRECTORIES	48	
9	} EXPIRATION DATE	29	POINTER FOR SHARABLE USERS	49	) BYTE OR WORD
10		30	HASH TABLE SIZE	50	
11	} PASS WORD	31	PTR FOR HASH TABLE		
12		32	HASH CLUSTER SIZE		
13	} COMPUTER NAME	33	PTR FOR HASH CLUSTER		
14		34			
15	} DD SET DEVICE NAME	35			
16		36			
17		37			
18		38			
19		39			
20		40			

F.3.3 ディレクトリ

ひとつのディレクトリは20語(80バイト)から成るセルで、データ名、データ属性、注釈の保存などに使用される。利用者はデータプール・ファイルの創成時に、これらの情報を保存するに十分なディレクトリ個数を指定しなければならない。

ディレクトリの内容を示す Fig. F.3 において

- (1) P : データの優先順位(利用者指定)を示し、その値は、データの破壊防止、出力抑制などに利用される。
- (2) L : 書込まれたデータ長(ブロック数)を示す。一度書込まれたデータの上に新しいデータを重ねて書く場合には、データプールのプロセッサは新しいデータの長さとしてとを比較する。Lが大きければ古いデータの上に新しいデータが書かれ、Lが小さければデータプール・プロセッサは連続する新しいブロックを用意し、新しいデータをそこに書込む。新しいブロックが用意された場合は、古いデータ・ブロックはCONDENSE機能を使用することにより再使用可能なデータ領域としてファイル制御表に登録される。いずれの場合もLは更新される。
- (3) DRA : 磁気ディスク上のデータの先頭番地(ブロック番号)。
- (4) SUBDT : 入出力並び、注釈などを保存するディレクトリへのポインタ。
- (5) DIMDT : データ名に1次元の添字を与え、この添字によってデータを識別することができる。DIMDTは、この添字名を保存するディレクトリへのポインタである。この機能を利用すると、ひとつのデータプール・ファイルに対し、ランダム・アクセス、シーケンシャル・アクセスの両方のアクセス法が可能となる。添字つきデータ名使用の1例をあげると次のようになる。

```
DO 10 I = J, K, M
CJ WRITE (A,B, #I) I/O list
10 CONTINUE
```

ここで、A,BとA,B,#Iとは異ったデータを指し、またIの内容はそれが正整数であれば何でもよい。

- (6) RELDT : このデータ(ノード)名と関連あるディレクトリへのポインタである。データプール・ファイルは樹状階層構造を採用しているため、異った分岐ノード間相互の関連づけ機能がない。この欠点を補うために用意されたポインタである。
- (7) PASWD : このデータの読み書きに関するパスワード。現在はデータ追加書き情報が格納されている。

F.3.4 データ名へのアクセス

データへの速いアクセスを第1義に考えれば、ディレクトリは主記憶上に常駐していることがのぞましい。しかし実用上はディレクトリが数万個になることもある。この問題を解決するために筆者らのデータプール・プロセッサでは Fig. F.7 のようなLRU (Least Recently Used) テーブル、DT (ディレクトリ) テーブル、DTバッファを設けている。LRU テーブルとDT テーブルはそれぞれ30個のセルから成り、複数のデータプール・ファイルに共通して使用される。DT テーブル上のディレクトリはディスク上のディレクトリのコピーに加えて、さらに5個のポ

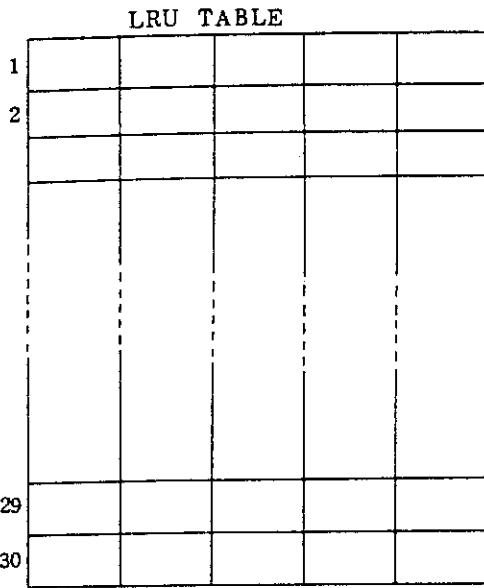


Fig. F.7 LRU Table and Buffer

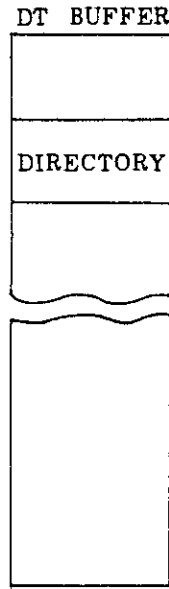
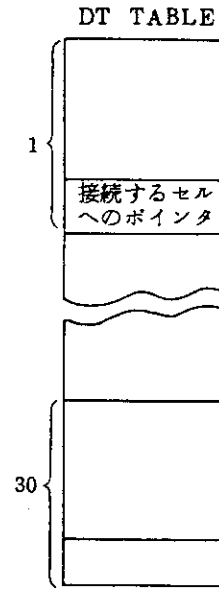


Fig. 8 Directory Table



インタが追加される (Fig. F.8)。このポインタはDTセルの番地を指しており、これによって現在アクセス中のノード群の局所的な木構造を保存することができる。DTバッファは各データプール・ファイルに1個用意され、ダイレクトリを含む1ブロックが読込まれる。LRUテーブルの第*i*番目のセルにDTテーブルの第*i*番目のセルが対応し、これらのセルはLRU方式で管理される。管理の方法は、

(i) 一番最近参照されたノードに最大の参照頻度値30を与える。LRUテーブルの他のノードについての参照カウンタの値を1だけ減ずる。値がゼロとなっているカウンタはそのまましておく。

(ii) LRUテーブルにない新しいノードが参照されたときは、参照頻度カウンタの値が最小のノードを追出す。参照頻度カウンタの値が同じノードなら階層の一番深いノードを追出す。

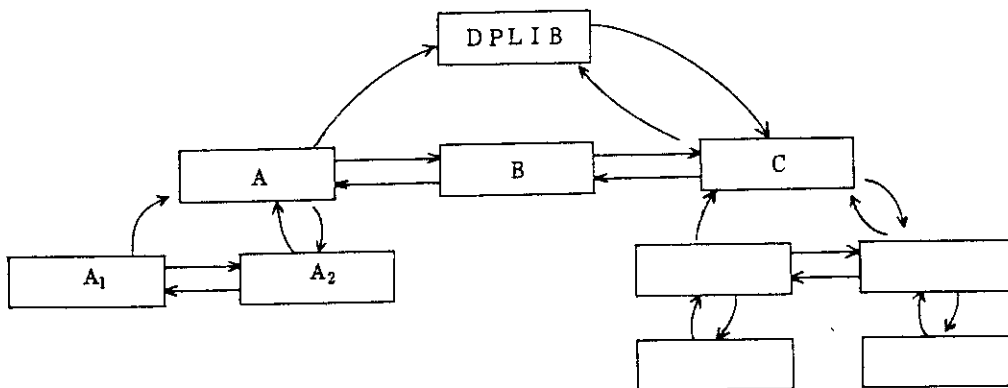


Fig. F.9 Example of Datapool File Structure

このようなアルゴリズムでは Fig. F. 9 においてノード A, C はLRUテーブルに残りやすく, $A_1, A_2 \dots, B$ などは消去されやすい。データプール利用者の希望するデータ・アクセス方法について検討した結果, このようなノード管理の方式を採用することになった。科学技術計算の分野ではこの種のデータ・アクセス法が多いのではないかと筆者らは考えている。

F. 3. 5 検索用論理式の計算

(1) 検索式のチェック

会話形端末から入力された文字列をチェックし, 入力演算子のスタック SOP, キーワードの表 SKWを作る (Fig. F. 10)。これら SOP, SKW の内容を, Table F. 2 にもとづいて検査し, 演算式やキーワードの隣接状態が正しいかどうかをみる。これとは別に入力された左右のカッコのバランス, 順序についてもしらべる。このときSKWの各キーワードが, 登録されている正規のものかどうかについても同時にしらべる。Table F. 2で *は理論積を, +は論理和を, <は入力文の始端を, >は終端を示す。×は間違った組合せを, Oは正しい組合せを示す。

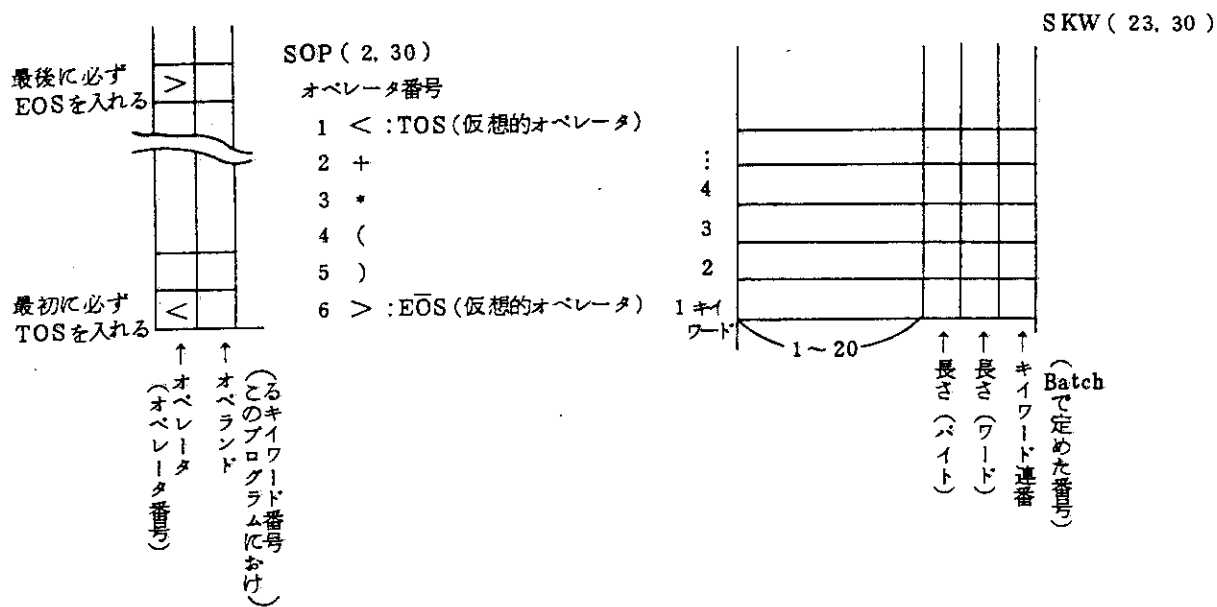


Fig. F.10 SOP Stack and SKW Table

Table F.2 Syntax Check Table for Logical Expression

TBLS (7, 7)

左側 \ 右側		1	2	3	4	5	6	7
		<	+	*	(	)	>	キーワード
1	<	×	×	×	○	×	×	○
2	+	×	×	×	○	×	×	○
3	*	×	×	×	○	×	×	○
4	(×	×	×	○	×	×	○
5)	×	○	○	×	○	○	×
6	>	×	×	×	×	×	×	×
7	キーワード	×	○	○	×	○	○	×

(2) 検索用論理式の実行

前項(1)のチェックの結果エラーが発見されなかったときは演算を実行する。演算は Table F.3 の指定に従っておこなう。Table F.3 において×は起り得ない組合せを、S は左側の演算子に関する操作のスキップを、E は演算子の実行を、O は式についての演算の終了を示す。

Table F.3 Execution Instruction Table for Logical Operation

		TBLP (6, 6)					
		右側	1	2	3	4	5	6
左側		<	+	*	()	>	
	1	<	×	S	S	S	×	O
2	+	×	E	S	S	E	E
3	*	×	E	E	S	E	E
4	(	×	S	S	S	O	×
5)	×	×	×	×	×	×
6	>	×	×	×	×	×	×

F.4 データプールの機能一覧

バッチ処理で使用するデータプールのコマンドを Table F.4 で、TSS 処理で使用するコマンドを Table F.5 で示す。

(計算センタ 浅井清, 富山 秀)

Table F.4 Fortran Extended Statements for Datapool (1/2)

区分	FORTAN 拡張文名	パラメータ	機能概要
定義文	FD	$Fnn = \text{データプール名}, LRECR = \text{レコードサイズ} / \left\{ \begin{matrix} L \\ 0 \\ R \end{matrix} \right\}, \text{MAXRCD} = \text{最大レコード数}$ $[, \text{MODE} = \left\{ \begin{matrix} \text{OLD} \\ \text{NEW} \end{matrix} \right\}, \text{OWNER} = \text{所有者名}, \text{DIRECT} = \text{ディレクトリの個数}$	使用するデータプールの属性を定義する。
	WRITE	$\left(\left\{ \begin{matrix} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{matrix} \right\} [, P = \text{優先権} [, \text{ERR} = \text{文番号}] \right) \text{出力並び}$	データプールにデータを格納する。
入力文	READ	$\left(\left\{ \begin{matrix} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{matrix} \right\} [, \text{ERR} = \text{文番号}] \right) \text{入出並び}$	データプールからデータを読む。
	COMMW	$\left(\left\{ \begin{matrix} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{matrix} \right\} [, P = \text{優先権} [, \text{ERR} = \text{文番号}] \right) \left\{ \begin{matrix} \text{文字列} \\ n, \text{変数名} \end{matrix} \right\}$	注釈文を格納する。
出力文	COMMR	$\left(\left\{ \begin{matrix} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{matrix} \right\} [, \text{ERR} = \text{文番号}] \right) n, \text{変数名}$	格納されている注釈文を読む。
	SEARCH	$\left(\text{データ名}, \text{データ長} [, \text{ERR} = \text{文番号}] \right)$	指定されたデータ名をさがす。
ノード位置設定文	POINT	$\left(\text{データ名}, D_{\text{max}}, D, v, rc \right)$	ノード名探索の開始点を指定する。
	NEXTH	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントを水平方向右側に移動する。
	NEXTV	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントを下方左端に移動する。
	PRIORH	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントを水平方向左側に移動する。
	PRIORV	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントを上のノードに移動する。

Table F.4 Fortran Extended Statements for Datapool (2/2)

区分	FORTAN 拡張文名	パ ラ メ ー タ	機 能 概 要
ノ ー ド 位 置 設 定 文	CONNECT	(データ名1, データ名2, rc)	二つのノードを結びつける。
	DISCON	(データ名1, データ名2, rc)	CONNECT 文で作られた結びつきを解く。
	RNEXT	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントを現在の位置からCONNECT文で結びつけられているノードに移す。
	FIND	(D, v, rc)	ノード位置設定ポイントが示しているノードのノード名を知る。
	DNEXT	(変数名 D, v, rc)	一次元インデックス位置設定ポイントを現在の位置から次の位置へ移す。
	CONDENSE	(データプール名, WF=nn)	データプール内の各所に散在する使用不可領域を集め、使用可能領域とする。
保 守 管 理 文	SORT	(データ名 {, LEVEL={ALL} } (WF=nn) {, SR=m})	指定されたレベルのノード名を並べかえる。
	RECOVER	(データプール名 {, TYPE={ ^W S, WF=nn } }) ({ * # } , rc)	使用不可となったデータプールを再使用可能にする。
	DELETE	({ * # } , rc)	指定されたデータ名の最後のノードの消去とデータの消去を行う。
	RENAME	({ * # } , ノード名, rc)	指定されたデータ名の最後のノード名を指定されたノード名に変更する。
宜 言 文	OPTION	(BUFFER = 作業用領域サイズ / { _L }) (MAXUDDP = 最大使用データプール数,) ({ * # } ,)	データプール・アクセス・ルールの動作環境を設定する。
	SYN	v 1 = データ名1 {, v 2 = データ名2, })	同義語を定義する。
	ALIAS	v 1 = 予約語1 {, v 2 = 予約語2, })	予約語を変更する。

Table F.5 Datapool Command for TSS Use (1/4)

コマンド	オペランド	機能
>ALLOCATE	データセット名 $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{OLD} \\ \text{NEW} \end{array} \right\} \right]$ $\left[\text{MODE } \left\{ \begin{array}{l} \text{OLD} \\ \text{NEW} \end{array} \right\} \right] \left[\text{MAXRCD} () \right]$ $\left[\text{DIRECT} () \right] \left[\text{LRECL} () \right]$ $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{UNIT } \left\{ \begin{array}{l} \text{TSSWK} \\ \text{TDS} \\ \text{USER} \end{array} \right\} \right\} \right] \left[\text{ACCESS } \left\{ \begin{array}{l} \text{READ} \\ \text{UPDATE} \end{array} \right\} \right]$ $\left[\text{MSVGP} () \right] \left[\text{OWNER} () \right]$	データセットの動的割付を行い、データプールとしてオープンする。
>LISTALLOC		現時点で割付けられているデータセットの一覧表を出力する。
>CATLIST or LISTCAT	データプール名	データプールの属性を表示する。
>TREE	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名} \\ \text{データ名} \\ * \end{array} \right\} \left[\text{DEPTH} (6) \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NODIMC} \\ \text{DIMC} \end{array} \right\} \right]$ $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NOCON} \\ \text{CONCAT} \end{array} \right\} \right] \left[\text{SYSPRINT } \left\{ \begin{array}{l} * \\ \text{I} \\ \text{A} \\ \text{H} \\ \text{データセット名} \end{array} \right\} \right]$	格納されているデータの樹状階層構造を表示する。
>LIST	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{array} \right\} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{ONLY} \\ \text{ALL} \\ \text{CHILD} \\ \text{DEPTH} () \end{array} \right\} \right] \left[\text{ITEM} (\left\{ \begin{array}{l} \text{ALL} \\ \text{DATA} \\ \text{COMMENT} \\ \text{IOLIST} \\ \text{SBLIST} \\ \text{PRIORITY} \end{array} \right\}) \right]$ $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NODIM} \\ \text{DIMC} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NOCON} \\ \text{CONCAT} \end{array} \right\} \right]$ $(\text{SYMBOL} ()) (\text{CHARA} ()) (\text{INTE} ()) (\text{REAL} (\left\{ \begin{array}{l} \text{OFF} \\ \text{ON} \end{array} \right\}))$ $(\text{SYSPRINT} (*))$	格納されているデータを表示する。
>COPY	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名1} \\ \text{データ名1} \\ * \\ \# \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名2} \\ \text{データ名2} \end{array} \right\} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{ONLY} \\ \text{ALL} \\ \text{CHILD} \\ \text{DEPTH} () \end{array} \right\} \right]$ $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{DIMC} \\ \text{NODIM} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{CONCAT} \\ \text{NOCON} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NOREP} \\ \text{REPL} \end{array} \right\} \right]$	データを複写する
>MOVE	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データ名1} \\ * \\ \# \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名2} \\ \text{データ名2} \end{array} \right\} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{ONLY} \\ \text{ALL} \\ \text{CHILD} \\ \text{DEPTH} () \end{array} \right\} \right]$ $\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{DIMC} \\ \text{NODIM} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{CONCAT} \\ \text{NOCON} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{NOREP} \\ \text{REPL} \end{array} \right\} \right]$	指定されたデータのもつ全情報を移動する。

Table F.5 Datapool Command for TSS Use (2/4)

コマンド	オ ペ ラ ン ド	機 能
>RENAME	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名} \\ * \\ \# \\ (\text{データ名1}) \end{array} \right\}$ 単純ノード名又は#数字 (データ名2)	データプール名またはデータ名を変更する。
>DELETE	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データ名} \\ * \\ \# \end{array} \right\}$	データを消去する
>COMPARE	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名1} \\ \text{データ名1} \\ * \\ \# \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名2} \\ \text{データ名2} \end{array} \right\} \left[\begin{array}{l} \text{ONLY} \\ \text{ALL} \\ \text{CHILD} \\ \text{DEPTH}() \end{array} \right]$ $\left[\begin{array}{l} \text{NODIM} \\ \text{DIMC} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{NOCON} \\ \text{CONCAT} \end{array} \right] \text{ITEM} \left(\begin{array}{l} \text{ALL} \\ \text{DATA} \\ \text{COMMENT} \\ \text{IOLIST} \\ \text{SBLIST} \\ \text{PRIORITY} \end{array} \right) (\text{SYSPRINT} (*))$	データを比較し、不一致箇所を表示する。
>CHAP	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データ名1} \\ * \\ \# \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} m \\ +m \\ -m \end{array} \right\} \left[\begin{array}{l} \text{LT}(n) \\ \text{LE}(n) \\ \text{GT}(n) \\ \text{GE}(n) \\ \text{EQ}(n) \\ \text{NE}(n) \end{array} \right]$ $\left[\begin{array}{l} \text{ONLY} \\ \text{ALL} \\ \text{CHILD} \\ \text{DEPTH} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{NODIM} \\ \text{DIMC} \end{array} \right]$	データのプライオリティを変更する。
>SYNONYM	同義語名 ノード名1 [・ノード名2 [・ノード名3 [〜]]]	同義語を定義する。
>FREESYN	{ 同義語名 } ALL	同義語の定義を解消する。
>LISTSYN	同義語名 ALL	同義語をリストする。
>x	TSS コマンド	TSSコマンドを実行する。
>HELP	{ ALL コマンド名 }	コマンドの機能を説明する。
>CONDENSE	データプール名	データの消去等により生じた使用不可領域を使用可能にする。
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{データプール名} \\ \text{データ名} \\ * \end{array} \right\} \left[\begin{array}{l} \text{CHILD} \\ \text{ALL} \\ \text{DEPTH}() \end{array} \right]$	指定されたデータ名の下位につながるノードをアルファベット順に並べかえる。
>RECOVER	データプール名	マシンドアダウン等の原因により使用不可となったデータプールを修復する。
	$\left[\begin{array}{l} \text{WRITE} \\ \text{CONDENSE} \\ \text{SORT} \end{array} \right]$	

Table F.5 Datapool Command for TSS Use (3/4)

コマンド	オペランド	機能
>COMEDIT	{ データ名 } * [{ OLD } NEW]	コメントの作成または修正を行う。
>SAVE	{ データ名 }	作成, 修正したコメントを格納する。
>> END	[{ SAVE NOSAVE }]	コメントの作成, 修正を終了する。
>COMDEL	{ データ名 } *	コメントを消去する。
>POINT	データ名	ノード位置設定ポイントの位置を指定する。
>NEXTV (NV)		ノードの深さが1つ深い左端のノードにポイントを移動する。
>NEXTH (NH)		現在の位置から右側に接続されているノードにポイントを移動する。
>PRIORL (PH)		現在の位置から左側に接続されているノードにポイントを移動する。
>PRIORV (PV)		現在の位置から1つ上のレベルのノードにポイントを移動する。
>DNEXT (DN)		一次元インデックス上のポイントを移動する。
>RNEXT (RN)		リレーショナル・ポイントで接続されるノードにポイントを移動する。
>FIND		現在ノード位置設定ポイントの指しているデータ名を表示する。
>CONNECT	{ データ名 } * データ名2	2つのノードをリレーショナル・ポイントで接続する。
>DISCON	{ データ名1 } * データ名2	ノード間のリレーショナルポイントの接続を切る。
>STOP >END		システムを終了させる。
GRAPHX (GX)	データ名 [/変数名 (, 初期値, 終値, 増分値 [, T])]	xデータの読み込み

Table F.5 Datapool Command for TSS Use (4/4)

コマンド	オペランド	機能
GRAPHY [GY]	データ [/変数名 [, 初期値, 終値, 増分値 [, T]]]	yデータの読み込み
GRAPHZ [GZ]	同上	zデータの読み込み
GRAPH [G]	OPEN [O]	グラフィック・オープン
同上	2D [省略]	2次元図形のプロット
同上	ADD [A]	重ね図
同上	ADDA	重ね図, Y軸を追加
同上	3D	3次元図形のプロット
同上	ERASE [E]	画面消去, パラメータ・リセット
同上	CLOSE [C]	グラフィック・クローズ
GRAPHSET [GS]	LBLK [LX]	x軸ラベルの読み込み
同上	LBLY [LY]	y軸ラベルの読み込み
同上	LBLZ [LZ]	z軸ラベルの読み込み
同上	TITLE [TL]	図のタイトル読み
同上	LIMS [LIM]	xmin, xmax, ymin, ymaxを読み
同上	SIZE [SIZ]	x軸, y軸の分割数読み込み
同上	LOG	軸スケールの読み込み
同上	3D	3次元パラメータの読み込み