

数式処理言語の核融合計算への応用

日本原子力研究所核融合研究部

常松 俊秀

竹田 辰興

核融合研究の分野で必要とされる計算は、解析的なもの、数値的なものを問わず、最近特に巨大化し、複雑化してきている。これは、一つには核融合研究におけるプラズマがきわめて複雑な諸現象を含んでいるためであり、また、一つには核融合研究が工学的研究の段階に近づくに従って、種々の解析に高い精度が必要とされるようになったためである。理論解析の分野においても、大規模な汎用コードを開発する際には、数値計算はもとよりコード作成の前処理における解析的計算においても複雑な計算が必要とされる。このような複雑な解析的計算を人力のみで行えば誤りが生じるし、また、時には人力のみで行うことが實際上不可能なこともある。

現在実用に供されている数式処理言語のうち、実際に一般利用者に広く有効に利用されているものは、MITで開発されたMACSYMAとHearnによって開発されたREDUCE

である。これらの言語が普及しているのは、その製作者達が言語システムの改良に熱心で、新機能の追加やアルゴリズムの改良を常におこなわない事と、この言語の普及に熱心な事による。

MACSYMAに関して言えば、これは、現在のところ最も広い範囲の機能を備えた最大規模の数式処理言語システムで、核融合研究の分野でも広く利用されている。特に、数式処理言語利用の重要性の認識のもとに1974年にERDA (Energy Research and Development Administration) に設けられたパネル委員会は、計算機における数式処理の重要性を確認し、ERDAがMACSYMAシステムを支援するように勧告している¹²⁾。

一方、REDUCEは、Utah大学のHearnによって開発され、Hearnの個人的な努力によって世界各地の研究機関に普及している。我々では、東京大学の後藤英一教授らによって開発されたHLISPをシステム記述言語としたHLISP-REDUCE-2がやはり後藤教授らによってつくられ、日本原子力研究所にも提供されている。このHLISP-REDUCE-2は、通常のLISP言語をもとにしたREDUCEに比べて演算速度が速くなるように工夫された言語である。

最近の核融合, プラズマ物理における数式処理は, ほとんどがMACSYMAがREDUCEを用いて行われている。核融合, プラズマ物理において数式処理が行われ始めたのは1970年代に入ってからで, FORMACなどを利用した計算も含めると次のようなものがある。FORMACを使った計算としては, Rosen¹⁾やTakeda²⁾らによるトカマク輸送コード作成の前処理とRosenによるプラズマ分散式^{3), 4)}がある。また, 記号処理ALGOLを利用した例としては, Robertsらによるmhd方程式を差分式に翻訳する仕事⁶⁾がある。さらにREDUCEを使った計算には, Kernerによるmhd安定性解析に現われる積分計算⁷⁾, 筆者らによるmhd安定性解析コード作成のための前処理やプラズマ位置制御のための磁場計算⁸⁾がある。また, MACSYMAを使った計算には, Bersらの線形および非線形分散式の計算がある。利用の実態は, おそらく, 上記の例以外にも多くの研究の場で数式処理の利用が行われているものと思われる。

核融合研究における数式処理の応用は, 欧米において特に熱心で, 米国においては既に述べたERDAへの勧告があり, また, ヨーロッパにおいては, 物理学会の計算物理グループによる普及の努力が目立っている¹³⁾。日本において, Takedaらの仕事の後, 核融合研究において本格的に数式処理言語を

使った計算が余りなされなかった理由には、研究者が大規模で複雑な計算をはじめからあきらめていたことや、一般に公開され気軽に使える言語がなかったことなどがあげられる。しかしながら、現在、核融合研究においては、汎用シミュレーションコードの開発や装置の設計等で、数値計算以前の前処理部分で複雑な計算が必要とされる。また、一方では、後藤教授によって提供されたREDUCEが、当研究所ではかなりの利用者によって利用されている。核融合研究における数式処理の利用は今後更に増大すると思われるが、今後新たに生まれる利用者により一層便利なシステムを提供するためには、情報科学者、利用者、計算機メーカー間の一層の協力が必要となる。

REFERENCES

(1) FORMAC

- 1). Rosen, B., Hoboken, N.J. and Okabayashi, M., "A new approach to the generation of tokamak fluid codes using the PL/I-FORMAC interpreter", Nucl. Fusion, **13**, 3(1973).
- 2). Takeda, T. and Itoh, S., "Numerical simulation of the tokamak plasma with a movable boundary", JAERI-M 5697 (1974).
- 3). Rosen, B., "Automation of the derivation of dispersion relations:I", J. Comp. Phys., **15**, 98(1974).
- 4). Rosen, B., "Automation of the derivation of dispersion relations:II", J. Comp. Phys., **20**, 22(1976).
- 5). McCormach, F.J., "FORMAC routine for computing the matrix elements of the linearized cross-collision operators of gaseous mixture", Comput. Phys. Commun., **9**, 1(1975).

(2) SYMBOLIC ALGOL

- 6). Roberts, K.V. and Boris, J.P., "The solution of partial differential equations using a symbolic style of ALGOL", J. Comp. Phys., **8**, 83(1971)

(3) REDUCE

- 7). Kerner, W. and Steuerwald, J., "A contribution to the efficient solution of extensive symbolic computations", Comput. Phys. Commun., **9**, 337(1975).
- 8). Tsunematsu, T., Kurita, G., Ninomiya, H. and Takeda, T., "Application of REDUCE-2 to the computations in CTR", in Japanese, JAERI-M 7179 (1977).

(4) MACSYMA

- 9). Bers, A., Kulp, J.L. and Watson, D.C., Bull. Amer. Phys. Soc., Series 2, 17, 991(1972).
- 10). Bers, A., Kulp, J.L. and Watson, D.C., *Books of Abstract-International Congress on Waves and Instabilities* (Institute of Theoretical Physics, Innsbruck University, Innsbruck, Austria), 13(1973).
- 11). Bers, A., Kulp, J.L. and Karney, C.F.F., "Symbolic computation of nonlinear wave interaction on MACSYMA", Comput. Phys. Commun., 12, 81(1976).

(5) SUMMARY

- 12). "Symbolic computation in controlled thermonuclear research", USERDA, Washington, D.C. (1974). (A report to USERDA division of controlled thermonuclear research).
- 13). Nardchal, J., "Summer school on computing technique in physics", Comput. Phys. Commun., 10, 260(1975).