

JAERI - M
88-143

核データ評価コードに関する知識構造の調査

1988年8月

上中 淳二*・神林 奨

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 Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 燃高野高速印刷

核データ評価コードに関する知識構造の調査

日本原子力研究所東海研究所計算センター

上中 淳二*・神林 奨

(1988年7月6日受理)

昭和62年度より計算センターでは、研究テーマ「原子力知能化システム技術の研究」のもと、人間動作シミュレーション・プログラム (Human Acts Simulation Program: HASP) の研究を行っている。本報告では、そのなかで命令理解 (自然言語処理) に関与する核データ評価コードの知識構造の調査結果について述べる。この調査では、既存の核データ評価コードCASTHYを手続き的に等価な日本語表現に置き換え、さらに日英機械翻訳システムによって得られた訳文に基づいて、本質的な知識(深い知識)の抽出を試みた。調査の結果、詳細な計算手続きを一般的に知識化する方法は、現象から経験則を抽出していく従来のAI的発想と逆行しており、知識の検証が困難であるという点が明らかになった。また、研究の初期段階において知識構造を推定するには、対象領域の限定によって知識の断片を繰り返し抽出・検証することが効果的であることがわかった。

Investigation of Knowledge Structure of Nuclear Data Evaluation Code

Junji UENAKA* and Shaw KAMBAYASHI

Computing Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 6, 1988)

In this report, investigation results of knowledge structure in a nuclear data evaluation code are described. This investigation is related to the natural language processing and the knowledge base in the research theme of Human Acts Simulation Program (HASP) begun at the Computing Center of JAERI in 1987. By using a machine translation system, an attempt has been made to extract a deep knowledge from Japanese sentences which are equivalent to a FORTRAN program CASTHY for nuclear data evaluation. With the knowledge extraction method used by the authors, the verification of knowledge is more difficult than that of the prototyping method in an ordinary AI technique. In the early stage of building up a knowledge base system, it seems effective to extract and examine knowledge fragments of limited objects.

Keywords: Artificial Intelligence, Knowledge Base, Machine Translation, Natural Language Processing, Natural Language Understanding, Nuclear Data Evaluation Code

* On leave from CSK Corp.

目 次

1. はじめに	1
2. 自然言語処理手法と機械翻訳システム	3
3. 核データ評価コード「CASTHY」	6
3.1 MAIN ルーチン	6
3.2 TRANCE ルーチン	6
4. 翻訳と知識構造	8
4.1 翻訳実験のねらい	8
4.2 CASTHY コードの日本語化	8
4.3 機械翻訳実験	8
4.4 翻訳文評価	9
4.5 知識構造の抽出	12
5. 知識ベースの構築	19
5.1 知識ベース	19
5.2 命令理解と知識ベース	20
5.3 今後の問題点	22
6. おわりに	26
謝 辞	26
参考文献	27
付録A 物理用語	28
付録B CASTHY コードMAIN ルーチンのサブルーチン呼び出し木構造解析図	29
付録C CASTHY コードで用いられている変数群	37
付録D CASTHY コードのソースプログラムとその日本語翻訳結果	42
付録E 辞書拡張による翻訳結果の影響	63

Contents

1. Introduction	1
2. Natural language processing in machine translation	3
3. Nuclear data evaluation code "CASTHY"	6
3.1 MAIN routine	6
3.2 TRANCE routine	6
4. Translation and knowledge structure	8
4.1 The aim of translation experiment	8
4.2 Translation of CASTHY code to Japanese sentences	8
4.3 Machine translation experiment	8
4.4 The evaluation of translated sentences	9
4.5 Extraction of knowledge structure	12
5. Construction of knowledge base	19
5.1 Knowledge base	19
5.2 Instruction understanding and knowledge base	20
5.3 Problems in the future	22
6. Conclusion	26
Acknowledgements	27
Appendix A Technical expressions	28
Appendix B The tree structure appeared in MAIN routine	29
Appendix C The variables in CASTHY code	37
Appendix D CASTHY code written in FORTRAN or Japanese language	42
Appendix E The effects on machine translation by dictionary extension	63

1. は じ め に

電子計算機を利用し日本語や英語など日常生活に使っている言葉の翻訳や、音声から文字の文章化等、様々な操作を行うことを自然言語処理と呼ぶ。その目的は、通常人間が行う言語操作、すなわち文章の作成や推敲、翻訳などの知的作業を、計算機により自動化したり能率を高めることにある。

自然言語処理の技術を利用したシステムが果たす役割は、二面性を持つ。一つは、より工学的な立場から見たもので、自然言語を計算機とのインタフェースとして利用する、あるいは、人間の作業の負荷低減のために、自然言語処理システムが必要であるとする。もう一つは、言語を理解するという人間の認知過程を、自然言語処理の研究のなかでモデル理論的に解明していこうとする立場である。機械翻訳 (Machine Translation : MT) システムや、自然言語によるデータベース照会システムなどは、前者の立場から構築されてきたものである。

後者の立場では、人間が言語を理解していくために必要な知識を扱っていくことを前提としている。このような立場からの研究には、T. WinogradのSHRDLUシステム¹⁾、R. Schankのスク립ト理論に基づく言語理解システムなどがある。²⁾

昭和62年度から計算センターで行っている、人間動作シミュレーション (HASP)の研究では、自然言語処理の果たす役割は次のようなものである。HASPの中では、ソフトウェア的に構築されたロボットに対して、自然言語による命令が与えられた際に、その内容をロボット動作言語に換言する。これは、MTシステム、データベース照会システムと同様の立場から考えられるものである。つまり、本来計算機よりのコマンド群で記述可能な命令を、自然言語で表現し、計算機と人間との間のインタフェースをより柔軟で扱い易いものにする目的である。しかし、知識ベースを自然言語で記述された文章から構築する研究もあり、一概に自然言語から、ロボット言語への翻訳機をつくれればよいという立場を取り続けていくわけにはいかない。そのために、自然言語理解の研究が歩んできたのと同様の立場、すなわち、言語理解に対してのモデル作成の視点が必要となる。

昭和62年度、計算センターでは、自然言語に関与する作業として、FORTRANプログラムから知識構造を抽出する試みを行った。この作業では、既存のFORTRANプログラムを、日本語によって表現しなおし、その結果得られた日本語をMTシステムを用いて英文に翻訳させるのである。本作業の目的は、次の2点である。

- ① 現在のMTシステムの能力
- ② FORTRANプログラムの知識の定式化

本作業で利用したFORTRANプログラムは、核データ評価のために使われているCASTHYコードである (FORTRANプログラムを日本語で表現する作業は人間が行った)。日英翻訳には、富士通のATLAS-II及び科学技術庁の試作システムGRADEを使用した。ATLAS-II (Automatic TransLation System - II) は、大型計算機上で稼働する自動翻訳システムで、概念間の関係としての世界モデルと、構文処理と意味処理が対応関係をもつ文脈自由文法を基本とした解析規則による文解析、単語間の共起関係と隣接関係に基づく言語モデルによる文生成を特徴としたシステムで、概念構造と呼ばれる中間表現を経由して翻訳が行われる。³⁾ GRADEは、科学技術庁の機械翻訳プロジェクト (日本科学技術情報センター、京都大学、工業技術院電子技術総合研究所、工業技術院筑波情報計算センターの共同研究) で試作された研究用MTシステムである。

GRADEでは、言語の解析の基本に格文法の考え方をとっている。これは日本語の解析に特に適しているだけでなく、英語その他のヨーロッパ言語の解析にも広く用いられてきつつある方法である。¹⁰⁾

本報告書の構成は次のようになっている。2章では、現在までの自然言語処理の研究の持つ視点、そして機械翻訳技術のレベルを述べる。3章では、翻訳実験の対象であるFORTRANプログラムについて短く述べる。4章では、二つの機械翻訳システムを利用した翻訳実験について述べる。そして5章で、HASPが今後取り扱っていくべき知識ベースの構築手法を検討する。

2. 自然言語処理手法と機械翻訳システム

現在のMTシステムでは、内容理解とは程遠い入力文の構文情報に強く依存したかたちで翻訳が行われる。これは、人間の翻訳過程に対し有効なモデルが発見されていないことに起因する。この翻訳という人間の持つ知的作業を定義することは非常に難しいが、大まかに次のように表現できよう：翻訳とは、ある言語（A）によって表現されている意味内容（メッセージ）を、その実質を最大限保存しながら、別の言語（B）による表現に移し換えることである。人間の翻訳者が実際に仕事をする場合、テキストから心的なイメージをもった後に、そのイメージを訳として表現し直す。しかし、この過程はイメージそのものを形式化・記号化しないかぎり、計算機処理（記号処理）を使って模倣することはできない。そのため、MTシステムが参考にする翻訳過程とは、いわゆる逐語訳（Literal Translation）である。

例)	英 文	S (主語)	+	V (動詞)	+	O (目的語)
				↑		
	日本文	S+は/が	+	O+を	+	V [する]。

ここにあげた例は、非常に簡単なものであるが、大方のMTシステムは、このような考え方を拡大、発展させたものである。この種の方法では、入力文の理解とは、その構文情報をできるだけ正確に解析・抽出することである。

構文情報を表現するために句構造文法¹⁹⁾や依存文法(格文法)²⁰⁾が利用される。句構造文法は文法カテゴリーの書換え規則で記述され、依存文法では単語間の結合関係を規定する。このような、構文情報を計算機処理に向く形で記述するために、プログラミング言語のコンパイラで使われる文脈自由文法（Context Free Grammar: CFG）を拡張したものが利用されている。CFGとは、終端記号（単語、あるいは意味素）、非終端記号（文法記号）に関する書換え規則の一つで、

$$X \rightarrow Y_1 Y_2 \dots Y_n$$

のように記述される。ここでXは非終端記号、 Y_1, Y_2, \dots, Y_n は終端記号あるいは非終端記号を表し、Xという非終端記号に遭遇した場合、その記号を $Y_1 Y_2 \dots Y_n$ なる記号列に書き換えるという操作を表現している。上述のとおり、CFGはプログラミング言語のコンパイラ等に使われるが、これはその解析アルゴリズムが完成されているからである。（ここで注意せねばならぬのは、「文脈」とは最終的に作り出された文における文脈ではなくて、非終端記号列における文脈のことである。したがって、「ある詩や句が使われている文脈」という場合の文脈とは、違ったものを指している。）CFG規則はプログラミング言語のように、語順の制約があったほうがその威力を発揮する。この性質は、英語のように比較的語順（統語順序）が安定した自然言語には有効である。しかし、日本語のように、語順の入換えが比較的ゆるやかな言語では、語句の依存関係を（依存文法に基づいて）スタックを用いて解析する手法もとられる。⁴⁾ また、構文情報を木構造（リスト構造）の形で保存し、部分木の書換えを文法記述のフレームワークとする場合もある。^{10) - 12)}

上述の文法解析の手法は、実際に計算機上にインプリメントする場合、文法記述用の人工言語を用

ることが多い。これは文法に強く依存した現在の自然言語解析システムではシステムの整合性を保つために避けられないことである。以下、文法記述言語の例を挙げる。³⁾

(1) 拡張CFGベース

- ① ATN (Augmented Transition Network) に拠点を置く文法記述では、Lisp上にATN記述言語とそのインタプリタ (パーサ) を構築する場合が多い。
- ② DCG (Definite Clause Grammar) やBUP (Bottom Up Parser) はProlog上に構築される。
- ③ 自然言語処理言語LINGOLや拡張LINGOLは、Lisp上に構築されている。
- ④ 東芝の機械翻訳システムのATN主体の文法記述言語は、Cの上に構築されている。
- ⑤ 富士通の機械翻訳システムATLAS-IIの文法記述用言語ESPERはSPLの上に構築されている。

(2) 木構造変換ベース

- ① グルノーブル大学のARIANEシステムの文法記述用言語Roblaは、アセンブラの上に構築されている。
- ② モントリオール大学のTAUMシステムの文法記述言語SYSTEM-QはFORTRAN上に構築されている。
- ③ Muプロジェクトの文法記述言語GRADEは、Lisp上に構築されている。
- ④ 日立の日英機械翻訳システムHICATS/JEの文法記述言語GDLは、PL/Iの上に構築されている。

(3) その他

- ① 日電の拡張Push-Down-Automaton型の文法記述言語は、Cの上に構築されている。

MTシステムにみられる自然言語処理手法は、極めて広範な言語現象に対処するため、統語的な情報のみをたよりに処理が進められてきた。この手法は、意味表現およびその処理手法が明らかにされていない現時点で、商用のMTシステムを提供するためにはやむをえないことである。しかし、人間の認知過程をシミュレーションするというAI技術の視点からすると、きわめて不本意なことである。Yale大学のR. C. Schank等のグループでは、一貫して自然言語の理解過程に対するシミュレーション・モデルを提案し続け、その検証にあたっている。²⁾ Schank等は、構文情報は自然言語理解の過程のなかで極く自然に現れるもので、構文に重きを置く言語学が先行するべきではないと考えている。

人間の認知過程をシミュレーションする場合、正しい意味表現を見出さなければならない。Schank等は表現すべき事柄が極めて広範なものであることを重視している。簡単な例を挙げれば、物理的事象、心理的事象、目的、物理的原因、心理的原因 (すなわち理由)、関連する事象や目的についての既知の集合それに事象の結果または反響の予測である。そして、最も基本的な構成要素として事象の表現を挙げている。この事象を表層の記述様式に影響されない形として表現するために、EVENT (事象) の記述様式を次のように定めた。

どのEVENTも、

- 一つのACTOR (行為者),
- その行為者によって遂行される一つのACTION (行為),
- その行為が遂行する一つのOBJECT (対象物),
- その行為が向けられる一つのDIRECTION (方向),

を持つ。

このEVENT記述に際して、基本的行為 (Primitive Action) を設け、EVENTのスロットを埋めていくことによって理解がなされるとした。この手法はConceptual Dependency (CD) と呼ばれる意味表現理論である。日本語に対しても同様の議論がなされている。¹⁸⁾ これについては、5章で触れることにする。このCD理論を用いて、文脈処理に対するモデルが提唱されている。これは、事象や状態を表す文表現の因果関係をあらかじめ因果連鎖として与え、そこに逐次入力されるCD表現化された文をあてはめていくのである。これはスクリプトと呼ばれている。このスクリプトでは、「あてはめ過程」を人間の認知をモデルとしているが、より進んだ形として、ゴール・プランを思考する人間の様式をモデルとし、研究が進められている。

本レポートでは、既存のMTシステムを利用して知識に対するアプローチを試みる。そのためには上述のように、対象とするテキストは構文的な制約が厳しいものが有利である。以降、MTシステムの入力として使用した、構文的に強い制約を受けているFORTRANプログラムを説明し、日本語に変換されたFORTRANプログラムがMTによってどのように英語に翻訳されるかが論じられる。

3. 核データ評価コード「CASTHY」

原子核反応の過程を知る上で、断面積という概念は重要である。^{5), 6)} 断面積は、種々の中性子-原子核間の反応の起こる確率を示すものである。そして原子炉の計算においては、断面積の情報はデータセットとして標準化され、様々に利用されている。このデータセットは核データと呼ばれる。日本の核データは、原研・物理部・核データセンターで扱われており、JENDL (Japanese Evaluated Nuclear Data Library, 評価済み核データライブラリー) と呼ばれている。

核データ評価コードCASTHY (CApture, inelastic and elastic scattering cross section with Statistical THEorY) は、中性子・原子核散乱の断面積及び角度分布を理論計算するプログラム(コード)である。^{7), 8)} CASTHYコードはFORTRANで記述されており、1つのメインルーチンと35個のサブルーチンから構成されている。

今回の調査においては、その中でも特に2つのルーチンを対象とした。一つはメインルーチンにあたるMAINであり、もう一方はサブルーチンの中でも特に重要は役割を持つTRANCEである。

3.1 MAINルーチン

MAINは文字どおり、CASTHYコードのメインルーチンであり、プログラム全体の制御を行う。CASTHYコード自体は、中性子・原子核散乱において、中性子の散乱断面積とその諸性質を与えることをねらいとしている。

MAINは主な処理の流れとして、

- ① 初期設定
- ② 透過係数・中性子強度関数(付録A参照)の計算
- ③ γ 線透過係数・ γ 幅の計算
- ④ 断面積の規格化
- ⑤ 出力・データの格納

を行っており、FORTRANにして359行のプログラムである。

また、MAINのサブルーチン呼び出しの木構造解析図を付録Bに示す。

3.2 TRANCEルーチン

TRANCEは、CASTHYコードが扱う問題の中で、中性子を入射粒子とし、原子核を標的粒子とする反応・形状弾性散乱断面積を解析している。散乱問題では、入射粒子の断面積のエネルギー分布、微分散乱断面積の角度分布が重要である。このルーチンでは、散乱問題に対して、標的粒子のポテンシャル場を「光学ポテンシャル」(付録A参照)で表現し、原子核反応の効果を統計モデルを用いて解析している。また、ポテンシャル形状の効果を見るために、光学ポテンシャルの各項に対して、ウッズ・サクソン型、ガウス型の形状を組み合わせている。

TRANCEは、FORTRANにして、164行と比較的小さなサブルーチンであるが、物理的には重要なプログラムであるといえる。TRANCEの主な処理の流れは以下のようになっている。

- ① 波動関数の漸近形である, 球ベッセル・球ノイマン関数をもとめる
(SPHBES ルーチン)
- ② 光学ポテンシャルを離散的に与える
(POTWEL ルーチン)
- ③ フォックス・グッドウィンの方法を用いて波動方程式を解く
(INTEG ルーチン)
- ④ 位相のずれ, 透過係数, 散乱断面積を計算する
(ETASIG ルーチン)
- ⑤ 微分散乱断面積の角度分布, 平均散乱角を計算する
(ELEGND ルーチン)

4. 翻訳と知識構造

4.1 翻訳実験のねらい

機械翻訳は、ある言語で記述された文を入力し、それと同値な文を他言語で生成しようというものである。それゆえ、機械翻訳を実現するためには、翻訳に必要な知識（辞書情報や句構造変換規則など）の存在が無視できない。さらに、翻訳の対象が専門的な文になるほど、知識も専門化していくものと考えられる。そこで、本調査においては、核データ評価という手続きを表現した文を機械翻訳にかけることにより、訳文を得るための本質的な知識とは何かを考えることにした。

以上に述べたことがらより、今回の翻訳実験の成り立つ前提条件としては次の2点が考えられる。

- ① 実働しているプログラムの述べていることはすべて真である。また、1行1行の手続きについても同様に真である。
- ② 真である文に対して、同言語・他言語を通して、言い回しを含めた同値な文に変換していく過程には、本質的な知識が存在している。

本調査では、CASTHY コードを日本語文で表現し、機械翻訳システムATLAS II (Automatic TransLAtion System II: 富士通)⁹⁾ 及びGRADE (GRAMmar DEscriber: 科学技術庁Muプロジェクト)^{10)・12)}を利用して専門知識の抽出を試みた。

ATLAS IIは、基本辞書5万語、科学技術用語辞書として25万語を用意しており、概念記号と文法属性と呼ばれる記号の処理により翻訳を行う。また、GRADEは辞書情報中に格ラベル、意味マーカと呼ばれる記号が存在し、意味的な対応がとりやすいように考慮されている。辞書としては5万5千語のデータが用意されている。

4.2 CASTHYコードの日本語化

CHSTHYコード(MAIN, TRANCEルーチン)を日本語で表現するために、次の手順をとった。

- ① プログラムの流れを把握するために、フローチャートとプログラムの対応をとった。^{13)・15)}
- ② 使用変数に対して、日本語表現をとらせた。(付録C)
- ③ 基本的にプログラム1行に対して、日本語文1文を与えるように努力した。ただし、宣言文・ループ指定文は含めなかった。また、どうしても数行で1つの意味をなすような処理部(例えば変数値の入れ替えなど)は、1まとめに対して1文とした。

その結果、MAINでは約100文、TRANCEでは約50文の日本語が出来上がった。(付録D)

4.3 機械翻訳実験

機械翻訳実験は主にATLAS IIにより行った。これは、GRADE実行に時間がかかるため、約150文を全文消化し、さらに再翻訳していくことが困難であるという判断によるものである。GRADEについては、MAINルーチン中の約50文のみ翻訳実験を行い、ATLAS IIとの比較材料とすること

にした。

実験の手順は次のとおりである。

- ① 4.2で得られた約150文を、文書処理システムODM/BASE及び文書編集用エディタFDMS/EDITを通じてATLAS IIで翻訳させた。1文あたりの最大翻訳時間は10秒とし、また翻訳には、ATLAS IIが所有している一般辞書のみを使用したものと、さらに技術用語辞書を加えて翻訳させたものの2通りを行った。
- ② ①で翻訳できなかった文だけをとりあげ、ATLAS IIで翻訳できるように適当な文に前編集し、再翻訳を行った。
- ③ ②を繰り返し、とにかく翻訳文が得られるまで前編集をくふうした。(Table 4.1)
 <以下、辞書拡張と再翻訳実験の手順を示す。>
- ④ ③まで得られた個々の訳文をチェックし、その特徴を解析し、翻訳時におけるATLAS IIの挙動を推察した。解析の一例をFig. 4.1に示す。
- ⑤ 注目する文を3文に絞り、加えてその言い回しを考慮した8文の計11文を対象とし(Table 4.2)、私用辞書を作成した。(Table 4.3)登録単語数は、日本語が6、英語が5である。
- ⑥ 11文に対して辞書条件を変えて翻訳を行い、その結果を比較、検討した。(付録E)

また、GRADEについては、辞書更新についてTSSセッションの制限やディスク容量などの制限上不都合が生じるため、とにかく英語に変換された文を得ることだけを行った。²¹⁾

次項では、得られた翻訳文についての評価、機械翻訳システムの挙動などについて記述する。

4.4 翻訳文評価

ATLAS IIでの訳文を評価する上で、次のことがらがポイントになる。

- ① はじめての文に対してどの程度有効なのか。(予想外の文というのが必ず存在するはずである。)
- ② 前編集としてどのような型が得意なのか。
- ③ 辞書登録により、どれだけ訳文の品質が向上するのか。

ここでは、以上の3点についてそれぞれ評価していくことにする。また、最後に、機械翻訳システムGRADEでの実験についても記述する。

① 機械翻訳システムの順応性

どういう形式で記述されているかわからない文に対して、機械翻訳システムがどれだけ対応できるものなのかを認識することは重要である。合計157の入力文に対して、今回の翻訳実験で得られた結果を、

- A 翻訳したと認められる
- B 適切とは思えないが一応訳している。
- C 未知語の置き換えによって文になる。
- D 英字への変換はしたが、英文とは思えない。
- E 翻訳不可

の5段階に分類した。(Table 4.4)

Table 4.4を見ると、一般辞書のみ使用の場合と、技術用語辞書も使用した場合の結果には、ほとんど差が生じていない。強いてあげれば、Cがやや減少し、Aが増加している。これは、ATLAS II

の技術用語辞書では、CASTHY コードから抽出した文が取り上げている専門用語を、ごくわずかしみか賄っていないということであろう。

また、結果を大雑把にみると、何らかの形で訳になったと認められる(評価A, B, C)ものが全体の約6割になっている。1文あたりの最大翻訳時間が10秒と短いにも関わらず、これだけの結果が得られるということは、機械翻訳システムとしてかなり評価できるものと思われる。また、全く翻訳できなかったもの(評価E)が全体のわずか17%ということも、同様に商用システムとしては評価できるだろう。

② 前編集についての特性

ここでは、前編集に関連して、ATLAS IIの挙動特性について記述する。ATLAS IIによって、ある程度の品質の翻訳文を得るためには、それなりの前編集が要求される。これはシステム側にそれほど融通性がないことに因るので、致し方ないことである。前編集の必要性については、ATLAS IIの使用手引書⁹⁾にも明記されている。基本的には、手引書で謳われている編集技術を適用することが望ましい。

以下、今回の機械翻訳実験で明らかになった、前編集に関する特性を列挙する。

②-a 簡潔な文

他の機械翻訳システムでも共通なことだが、文は簡潔であることが第一である。しかも主語述語を明確にすることが好結果をもたらす。ほとんどの場合、日本語から英語への単語レベルの置き換えになっているので、英語の基本文型に近い形式の日本語を使っていれば、満足のいく結果を得られるだろう。

②-b 従属節の生成

単語を説明(意味的に限定)する場合、日本語が長くなってしまう場合がある。今回試験を行った中では、次のような例が上げられる。

「2PAI*GDの決定方法の制御が“非放射性核の規格化用Sn.gに規格化”であれば、SUMの値に、Tgを断面積から求めるときのSn.gと同位体の存在度をかけた値を加えて、新たにSUMの値とする。」

(翻訳結果)

Make newly to the value of SUM adding the value by which the control of the decision method of 2PAI * GD spends the existence degree of Sn.g when Tg is requested to the value of SUM from the crosssectional in case of " of makig to the standard and the place the same body on Sn.g to make" non-radioactivity nucleus the standard.

人間とは異なり、ATLAS IIでは、上のような例文に対して前から順に訳し落として行くという手順をとらない。②-aで触れたように、ATLAS IIでは英語の基本文型へのあてはめにより翻訳処理を展開しているように感じられる。それゆえ、ここに上げたような長い文に対しても、全体を“S+V+…”にすることで頭が一杯になってしまう。その結果、関係代名詞 which(特に by whichが目立つ)や、従属接続詞(if, thoughなど)を文中で用いる表現を多用することになっているようである。

また、従属節を作る際に、主文の主語を省略すると誤訳につながりやすい。これは、主文の主語を、従属文の主語で補ってしまうためである。無論、従属文と主文の主語が同じであれば問題はないだろう。実際に、次に示す文から誤訳が生成された。

「NOUTPTの示す値が0、もしくは負ならば、入力データ及び、計算結果を磁気テープに入れる。」

(翻訳結果)

The value shown by NOUTPT puts the input data and the calculation result in the magnetic tape if 0 or are negative.

上の翻訳結果を見ると、従属文の主語である「NOUTPTの示す値」が主文中の述語「入れる」の主語として補われたことがわかる。また、全体をS(NOUTPTの示す値)+V(入れる)+O(入力データ、計算結果)の形で捉えていることもわかりやすい。

②-c IF ~GO TO文の表記法

IF~GO TO文は、FORTRANプログラム中かなり頻繁に現れる表現といえるだろう。CASTHYコード中でもかなり使用されていた。当初、日本語訳としてはごく普通に「(もし)~ならばラベル番号〇〇へ進む」とした。しかし、ATLAS IIではこの表現が受け入れられなかった。これは、②-a、②-bと関連して「進む」の主語として適する主語を発見できなかったことに原因があるようである。「進む」という言葉がプログラムの「実行」というような意味を持っていないために、そのあたりの情報を補う手段を見つけることができなかったわけである。

この問題に対応するために、いくつかの言い回しを考えてみた。その中で、「〇〇から実行する」と表現することで、比較的満足のいく結果が得られることがわかった。

③ 辞書による品質の向上

Table 4.3に示した11個の単語を新規登録し、Table 4.2の11文について翻訳を行った。翻訳結果を付録Eに示す。付録Eでは、既にATLAS IIで用意されている他の辞書を用いた場合との比較ができるように配慮してある。

結果を見てわかるとおり、私用辞書を加えることにより、翻訳失敗(*** TIME OVER ***)が無くなった。その点では、辞書登録により品質が向上したものと捉えることができる。ただし、個々に見て行くと、辞書項目が増えた分だけ「あて字」のような表現が無くなったというだけで、構文そのものはそれほど変化していないことがわかる。すなわち、今回の辞書登録の範囲では、辞書項目と品詞の登録により単語の置き換えだけは可能になったが、本質的な品質の向上という点ではあまり効果がなかったようである。今後さらに品質を向上させるためには、動詞及び名詞情報の記述を細かくして、係り受け関係の条件を厳しくしていけば良いだろう。ただし、これはATLAS IIでの条件であり、他の機械翻訳システムを用いる場合には、そのシステムの挙動を見極めた上で、個々に適した条件限定の方法をとっていくようにしなければならないだろう。

<GRADEによる機械翻訳実験について>

CASTHYコードから得た157の日本語文のうち、MAINルーチンのほぼ半分にあたる57文についてGRADEを用いて機械翻訳実験を行った。²¹⁾

その結果から、GRADEについてもATLAS II同様にTable 4.4とかなり近い割合の結果を得ることができた。ただし、処理時間についてはATLAS IIの10倍ほど（もしくはそれ以上）かかってしまい、商用システムとの差が出ているものと思われる。

辞書については、GRADEではVSAMファイルを用いているため、他ユーザーの迷惑を考慮して拡張を断念せざるをえなかった。しかし、GRADEが所有しているサンプル文の訳がうまくいっている点を見ると、辞書拡張による訳の品質向上が期待できそうである。

構文については、GRADEではルールを書き加えることにより解決できるようになっているものの、その拡張にはかなりの熟練度が必要とされる。また、ルールの矛盾や冗長度をチェックすることはほとんど不可能に近いと思われる。

最後に、GRADE全体を通して、さらにシステムを拡張していくことは、メモリーを使うことで速度を低下させる要因になるように思われる。GRADEはいくつかのサブシステムを京都大学や電総研などの大きな機関が担当し、それらを統合して出来上がったシステムである。その結果、システム自体もかなり大規模になり、小回りが利かなくなったことも否めない。GRADEからノウハウを得て商用化されたシステムが存在しても、GRADEをそのまま拡張していこうという計画が聞かれないのは、それが一因なのではないだろうか。

4.5 知識構造の抽出

以上、ATLAS IIによりCASTHYコードの日本語表現を英訳させ、原子核理論の基礎知識の抽出を試みた。

人間は言葉を介して他人とやりとりを行っている。ここで、表層上で言葉の存在を認めることを「知る」、深層まで理解していることを「識る」と区別して表す。今回CASTHYコードを日本語に表現した上で、実際には「知る」ことしか行わなかったように感じる。また、翻訳時においてもただ訳語を「知」っていればよく、それなりの結果を得ることができる。当初翻訳実験でねらっていたことは、「識る」ということであるが、結果的には「知」った上での訳文のみ残った。以下、その原因について記述する。

① 知識抽出の目的

一般的に、知識の抽出とは、必ず利用されるイメージが存在した上で行われるものである。ただ単に、漠然と存在する知識（当然実体はない）を有限のシステム内に閉じ込めることは不可能であると思われる。人工知能研究が分化して発展してきたという経過がそれを示している。エキスパートシステムにおいても機械翻訳においても、利用することががまず検討され、各利用分野に適したデータ構造をとることで成功を納めているように感じる。

今回の調査においては、ロボットのどのような作業（詳細なシナリオが必要となるはずである）を対象とした知識を抽出するのか、が今一つ不明確だった。そのため、機械翻訳（というよりも日英変換）を目的とした知識抽出になり、「知る」だけで終わってしまったと考えられる。

② 作業上の問題点

CASTHYコードを日本語で表現した後、その日本語文に対して何らかの専門家によるチェックが

入らなかった。それゆえ、当初予定していた知識の抽出は行われなかった。このことを模式化したものが Fig. 4.2 である。

図のように、CASTHY コードの日本語化は、人手を介して知識を得ることにあるが、同時にテクニックの抽出にもあたる。今回の実験のように、日本語文に対して評価（専門家による）が行われないと、そこにはテクニックだけしか残されない。正しく知識を抽出するためには、日本語文が真であることを専門家に認めてもらう必要がある。ここに「識」まで至れなかった原因があると考えられる。

また同様に、全く真偽が判らない日本語文を機械で翻訳したところで、その結果である英文を評価することはできない。それゆえ、後に残るのは表面上存在した翻訳テクニックのみである。(Fig. 4.3)

このような結果になってしまった原因は2点考えられる。一つには、再三触れるが、評価を受けようとしなかった調査体制にあるだろう。また、もう一方は、翻訳実験のねらいとしていたことがら（4.1を参照）に対する甘さである。プログラムが正しく稼働している限り、確かにそこに記述されていることがらは事実である。しかし、別の言語に局所的に書換えを行ったといってもその整合性については何ら保証はない。プログラミング言語でないので実際に起動するわけにも行かず、チェックについても行い難いものである。この問題を回避する策は今のところ見つかっていない。ただし、今後どのような対応を行う場合においても、知識とテクニックの識別に重きを置く必要があるだろう。知識だけを集めれば良いかというところでもなく、表層のテクニックがないと不自然になってしまう。これは、人間に存在する「妥協」による産物と考えられ、この「テクニック」にこそ人間臭さが存在するのかもしれない。

Table 4.1 Example of pre-editing.

原文 (プログラム)	第 1 回 翻 訳 文	前 編 集 文
IF(K.EQ.NLEVEL) ENERGY(J) =ENERGY(K)	Kの示す値が、標的核のレベル数に等しければ、エネルギーポイント数Jに対する入射中性子エネルギー(MeV)は、Kの値の示すレベルの標的核の離散レベルのエネルギー(MeV)によって与えられる。	Kの示す値が標的核のレベル番号に等しいならば、その標的核が持つ離散レベルのエネルギー(MeV)により、エネルギーポイント番号(J)に対応する入射中性子エネルギー(MeV)は与えられる。
IF(NCOMPT.EQ.O) GO TO 260	競争過程を考慮しない場合には、ラベル番号260へ進む。	競争過程を考慮しない場合には、ラベル番号260以下を実行する。
COMPET(J) =COMPIN(M)+ (COMPIN(M)- COMPIN(I2))*(E NERGY(J)-ENGY IN(M))/(ENGYI N(M)-ENGYIN (I2))	同一同位体の1回目のランで使用した競争過程の断面積COMPINを用いて、Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を内挿する。	同一同位体の1回目のランで使用した競争過程の断面積(COMPIN)を用いて、Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を導出する。
IF(NISOTP.GT.1. OR. INELRP.NE.2) GO TO 500	NISOTPの値が1より大きいか、INELRPの値が2でない場合には、ラベル番号500へ進む。	NISOTPの示す値が1よりも大きいか、もしくはINELRPの示す値が2と等しくない場合には、ラベル番号500以下を実行する。

Table 4.2 11 sentences which were picked up for extending the dictionary

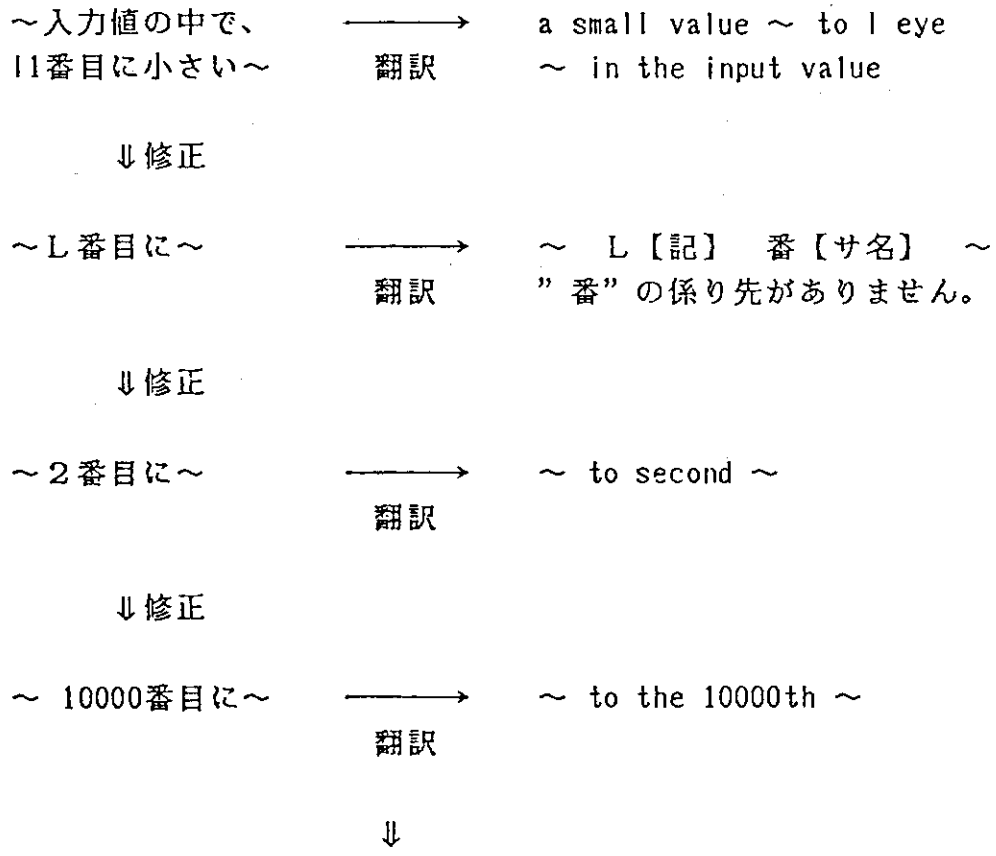
原 文	言 い 回 し 文
<ul style="list-style-type: none"> • (I-1) の階乗は $FAC(I) \exp IFAC(I)$ である。 • もしも、オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) として、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値を与える。 • 同一同位体での第 1 回目実行時に使用した競争過程の断面積 COMPIN を用いて、J の値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を内挿する。 	<ul style="list-style-type: none"> • (I-1) の階乗を $FAC(I) \exp IFAC(I)$ の形で表現する。 • $FAC(I) \exp IFAC(I)$ は (I-1) の階乗を意味する。 • オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) に、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値を与える。 • オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) を、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値で与える。 • 同一同位体での第 1 回目実行時に使用した競争過程の断面積 COMPIN を用いて、J の値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を補間する。 • J の値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を、同一同位体での第 1 回目実行時に使用した競争過程の断面積 COMPIN を用いて内挿する。 • J の値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を、同一同位体での第 1 回目実行時に使用した競争過程の断面積 COMPIN で内挿する。

Table 4.3 Recorded words into the private dictionary (English expression corresponding to "NAISOU" is assumed to be the English equivalent of "HOKAN" already recorded in the MT system)

日 本 語	日 本 語 品 詞	英 語	英 語 品 詞
オーバーラッピングレベル	名 詞	overlapping level	名 詞
階 乗	名 詞	factorial	名 詞
残留状態	名 詞	residual states	名 詞
断 面 積	名 詞	cross section	名 詞
内 挿	サ変名詞	_____	_____
和	名 詞	sum	名 詞

Table 4.4 Evaluation to the results in the machine translation test for the sentences extracted from CASTHY code. (The figure without its unit means the number of sentences)

使用辞書		一 般 の み			一般プラス技術用語		
ルーチン		MAIN	TRANCE	(合計)	MAIN	TRANCE	(合計)
評	A	2 2	9	3 1 (20%)	2 8	1 2	4 0 (25%)
	B	1 3	1 1	2 4 (15%)	1 4	9	2 3 (15%)
	C	2 2	1 4	3 6 (23%)	1 6	1 5	3 1 (20%)
価	D	2 8	1 2	4 0 (25%)	2 6	1 0	3 6 (23%)
	E	2 3	3	2 6 (17%)	2 4	3	2 7 (17%)
		1 0 8	4 9	1 5 7	1 0 8	4 9	1 5 7



(解析結果)

ATLAS IIでは「○○番目」という記法に必ず数字を用いなければならない。

Fig. 4.1 An example of analyzing the behavior of ATLASII

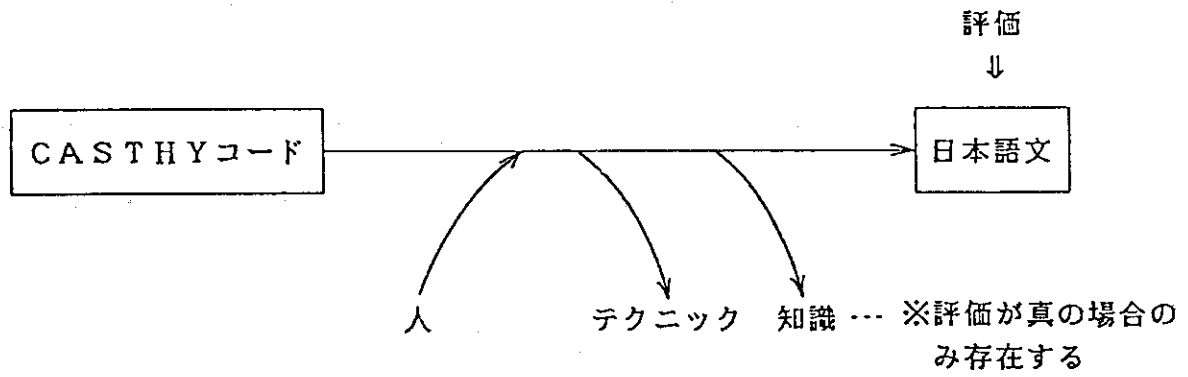


Fig. 4.2 Extraction of knowledge through the CASTHY code (1)

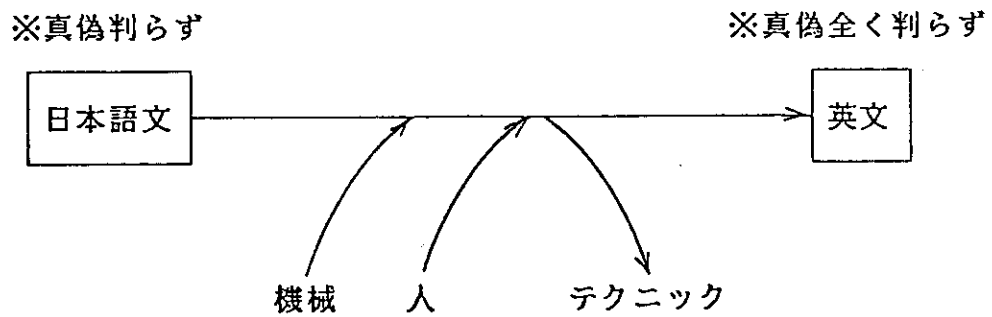


Fig. 4.3 Extraction of knowledge through the CASTHY code (2)

5. 知識ベースの構築

5.1 知識ベース

知識ベースはデータベースと対比されることが多い。筆者の考えでは、両者を明確に区別することは不可能であるように思う。というのは、知識は蓄積したデータから抽出された法則（データに関係づける手続き等）であると思われるが、さらにその知識から再帰的に新しい知識が抽出されていくものと思われるからである（Fig. 5.1）。それゆえ、知識自身がデータであることもあり、データ自身が知識でもある場合が多いはずである。このことについては、さらに深く議論されるべきものと考えられるが、これ以上禅問答にならないように、ここでは再帰的に発生するデータを全て知識であるとして議論を進めることにする。現在の知識ベースは主にデータで構成されていることが多いと思われる。しかし、本質的に知識ベースとは、単にデータを保存し、必要に応じて取り出すというだけではないのではないだろうか。

知識ベース内には現実的なデータだけでなく、データを導出するための背景的な手続きが多く含まれる必要があるだろう。ただし、この背景的な手続きを表現する手法については、未だ難解な点が多い。そのために手続きとしては、かなり表層的な色合いを持つものが多くなってしまふ。

例えば、いま自分に太郎君と次郎君という2人の甥がいるとする。そして、毎年4月の進級祝いに彼らにプレゼントを贈っているものとしよう。この時、「今年は何を贈ればよいか」という知識について考えてみる。現在の一般的な知識ベースでは、知識が表層的であるため、「まだ贈ったことのないおもちゃから選ぶ」程度の手続きにとどまっているのではないかと思う。しかし、現実問題としては、彼らの年齢、性格、関係、さらに親の教育姿勢や自分の経験、友人の体験などの様々の要素をうまく融合させて深層知識として持っているのではないだろうか。

プロダクションルールなどを考えてみると、これまで世間で定式化しようとしてきた知識がいかに表層的であるかを実感できる。これは、知識を人間の手で具体化していく以上、ある程度仕方のないことであるともいえる。それゆえ、優れた知識ベースを構築するには、より深層までを表現しなければならない。また、高度情報システムの構築にあたっては、分散システムを融合する方向に発展するのは理であり、知識ベースについても同様であろう。知識ベースを構築する際には、より深層を表現して行くことを念頭に置いて、表層の知識を統合して少しずつ深層まで掘り下げていく方法が考えられる。

そこで、これまで一般にいわれてきている知識ベースから何が得られるかを考えてみる。現在エキスパートシステムなどで広くPRされている知識ベースは、前にも触れたとおり表層の知識と考えられる。一般的に見て、それらの知識ベースに対し「そんなものが知識か」という疑問が抱かれているように感じる。少なくとも筆者はその様に感じることもある。しかし一方で、構築手法という点では、方法論として学びとる必要のある部分もあるように感じられるのは事実である。

知識自身は漠としたものである。これは万人の認めるところではないかと思う。筆者は、知識というものには実体がないのではないかと考えている。もしも、実体があるならば、コンピュータ資源上を実現するというだけでなく、全ての知識を紙上に書き出すことが可能なのではないかと思うか

らである。また、同じ1つのことがらを表現するにも様々な方法が存在し、さらに個人差、外界との関係（状況等）により一意に法則化することはできないのではないだろうか。加えて、時として人間の発想が突飛であることを考えると、何らかの働きかけと反応結果が明確になっていなければ、知識自身について説明を加えたり書き出したりすることはできないように思える。

これまで、エキスパートシステムではプロトタイプ技法で知識ベースを作っていくことを強調してきている。これは、知識が漠然としているために、その全体像をシステム内に完全に封じ込めることができないことに負うところが大きいように感じる。換言すると、明確な目的がなければ知識ベースを構築していくことが困難であることを表わしているのではないだろうか。あわせてこの場合、目的の具体性（入出力）も重要であると考えられる。ただし使用目的が決っていれば良いというわけではなく、具体的に「このように使えばこうなる」といった事例も必要である。事例によって知識ベースとして取り出すべき知識の断片が抽出されるわけである。また、その様な過程を経て表層現象を解析し、さらに掘り下げていくことにより、より深層の知識の抽出がなされていくのであろう。(Fig. 5.2)

以上、知識ベースについてまとめると、次のことがいえるのではないかと考える。

- ① 知識には実体がなく、知識ベース構築には、はじめから知識全体をシステムとしてトップダウンに閉じ込めようとする方法は好ましくない。
- ② 知識に対して何らかの働きかけ（目的プラス具体事例）を行った結果、知識の断片を抽出することができる。
- ③ 知識の一部を表層の現象と結び付けて表現したものが知識ベースとなる。
- ④ 優れた知識ベースとは、より深層までの現象を表現した知識ベースである。

新たに知識ベースを構築していく場合、これらのことがらに留意していくことが重要であると思われる。

5.2 命令理解と知識ベース

人間動作シミュレーション (HASP) 実現において、入力文となる日本語命令をコンピュータに理解させることは重要な課題である。そして、命令理解のための情報源となるソフトウェアシステムが、本調査で目指している知識ベースである。

今回の調査では、既存のプログラムからの知識の抽出を試みた。その結果、今回見落としてしまったいくつかの項目に気づくことができた。一つには、日本語の特殊性に対する考慮である。また、意味理解と機械翻訳との目的の相違を知ることもできた。さらに、知識ベースを作成していくには、対象物のモデル化が必要不可欠であることもわかった。

以下では、命令理解のための知識ベースには何が必要であるのかを記述する。

① 言語について

欧米語を中心として発展してきたコンピュータにとって、日本語は特殊な言語であるといえるだろう。漢字仮名（平仮名・片仮名）混じりに加えて横文字（アルファベット）も混在可能、さらにべた書き表示などといったことは日本語独特だろう。日本語の言語処理を考えるためには、欧米語がとっている手続きと同じに済ませるわけにはいかないはずである。

まず、構文解析がある。現在、機械翻訳のための変換方式にはトランスファ方式、直接方式、および中

間言語方式が提案されている。¹⁶⁾ 大雑把に捉えると、トランスファ方式と直接方式は2言語間だけに注目して変換パターンを押さえていく方式であり、中間言語方式は中間言語(2言語だけを意識したものではない)に1度置き換えて変換する方式である。(Fig. 5.3) 3つのうちどの方式を取り入れても、単語及び文構造の置き換えを行っているようである。いま、欧米語として英語を考え、日英及び英日の翻訳を考えてみる。単語レベルの置き換えについてはどちらの翻訳でも大きな相違があるとは考えられないが、文構造レベルの変換においてはちょっとした問題が生じる。英語の場合は基本5文型がしっかりしているので、それらに対応する日本語を限定することはそれほど困難ではない。しかし、入力文が日本語となる場合を考えると、基本文型を限定することはなかなか難しい。

また、構文解析以前に、形態素解析を考える必要がある。べた書きの日本語文を(基本的に)辞書登録されている形態素に分解できなければ、文構造の整合性を考えることもできない。特にHASPのように意味理解を必要とする場合には、状況・意味を考えた形態素解析を行っていかなければならないはずである。よく上げられる例として「彼がくるまで箱を運ぶ。」を、「車で」と「来るまで」のどちらで解釈するかという問題がある。このような文を状況によって正しく解釈していくための枠組みをどのようにしていくかが重要な課題となる。

さらに、果たして構文による変換だけで日本語の構造をうまく捉えることができるか、という問題もある。日本語には助詞が存在し、語と語を結び付ける重要な役割を持っている。日本語に対しては、助詞の介在による係り受けを考慮した解析が適しているという意見もある。¹⁷⁾ また、後で述べるように、係り受け解析を用いて視覚と言語を結び付けた意味理解システムも試作されており¹⁸⁾、係り受け解析の有効性を示しているのものと考えられる。

② 機械翻訳と意味理解

機械翻訳は言うなれば字面を追った翻訳さえ行えば良く、システム側から意識を行うようにする必要はない。ゆえに、指示語の具体的内容や曖昧表現の指す度合等を考慮しないでも機械翻訳を平常終了させることは可能である。

例えば、「町で先生に会った。」という文を考えてみる。ATLAS IIで翻訳させると、"Met the teacher in the town."という文を返す。訳文を見てみると、かなり曖昧な文ではあるが、それなりの文にはなっているように感じる。ただし、この場合、誰が主語になるのか、どこの町での出来事なのか、何先生に会ったのかについては全く触れていない。これが、機械翻訳であり、曖昧を曖昧然として訳すことを許している。

ところが、HASPで考えているような模擬人間の実現においては、意味理解、指示語の同定に重点をおいていかなければならない。そこで、既存の機械翻訳システムに意味理解のアルゴリズムを追加していけば良いのではないかということになる。しかし、先に述べたとおり、本来ならば意味理解は形態素解析時に行われることが望ましい。そこで、商用の機械翻訳システムを考えるわけだが、ソースプログラムの公開は期待できない。また、今回のように公開可能なシステムGRADEではサブシステムとして用いるには規模が大きすぎる。

早稲田大学の高木・伊東は、係り受け解析により日本語文を分解し、単語よりも細かい意味素(彼らはプリミティブと呼んでいる)の木構造情報で視覚と言語との付き合わせを行っている。¹⁸⁾ 試作システムはほぼ原研の環境と似た環境で開発されており、HASPで利用できると思われる部分が多い。今後の研究の参考になるものと考えられる。

③ 対象領域のモデル化

5.1 で述べたとおり、知識ベース構築の際には、知識に対する働きかけとして対象領域のモデル化が必要である。HASP の場合、命令理解という言語処理への考慮が入るため、通常の専門領域のモデル化だけでは不足する部分があるはずである。それゆえ、知識ベース構築にあたり、いくつかのモデルを準備していくことが望ましいだろう。例えば、簡単な言語処理を対象としたモデルと特定の作業を行うモデルを考える。そして、両者で抽出された知識ベースを融合し、検証していく。次には別のモデルを設定し、知識ベースの抽出、融合、検証を繰り返す。このように段階的なモデルにより検証を行いながらシステムと知識ベースを発展させていくことが望ましいだろう。

5.3 今後の問題点

これまでで知識ベース、特に命令理解に対する知識ベースのあり方について述べた。そこで、今回の調査の反省及びHASP の現状を踏まえ、今後の知識ベース構築での問題点を上げる。

- ① 明確（具体的）な最終目的の設定
 - ② 段階的なモデルの作成
 - ③ 意味理解方式の決定と自然言語処理プログラムの整備方法
- 以下、各々の問題点について補足する。

① 明確な最終目的の設定

4.5 で述べたとおり、無限の知識全体を知識ベース化することはできない。それゆえに、使用目的を明確にした上で使う知識の条件を限定し、知識ベースとして抽出していかなければならない。そして、それを検証するためには、必ず具体的な適用例が不可欠であることは言うまでもない。

② 段階的なモデルの作成

HASP は命令理解という広い範囲を対象としている。このような場合、始めから全体をとりまとめて考えようとする、微視的部分の調整に追われ巨視的部分の整合をとることがままならなくなる。それを避けるためには、段階的な小モデルを作成し少しずつ検証を重ねていき、知識を積み上げていくようにすることが望ましい。

③ 意味理解方式の決定と自然言語処理プログラムの整備方法

命令理解を考える場合、マンマシンインタフェースとなる自然言語処理プログラムの整備方法を考えていく必要がある。昭和62年度HASP では、GRADE システムからの拡張により自然言語プログラムを整備するための調査を行った。しかし5.2でも述べたとおり、機械翻訳と命令理解の目的はやや違ったものになっている。さらに、GRADE は規模が大きく、サブシステムとしてプログラムを拡張修正していくのは困難である。そこで自然言語処理プログラムの整備方法が問題となる。特に日本語を対象としているHASP の場合には、係り受け解析で、形態素解析時に意味解析結果を反映できるような手法を考えていくべきであろう。

以上、今後の問題点について述べてきた。現在考えられる命令理解・知識ベースの作成作業の模式をFig. 5.4に示す。

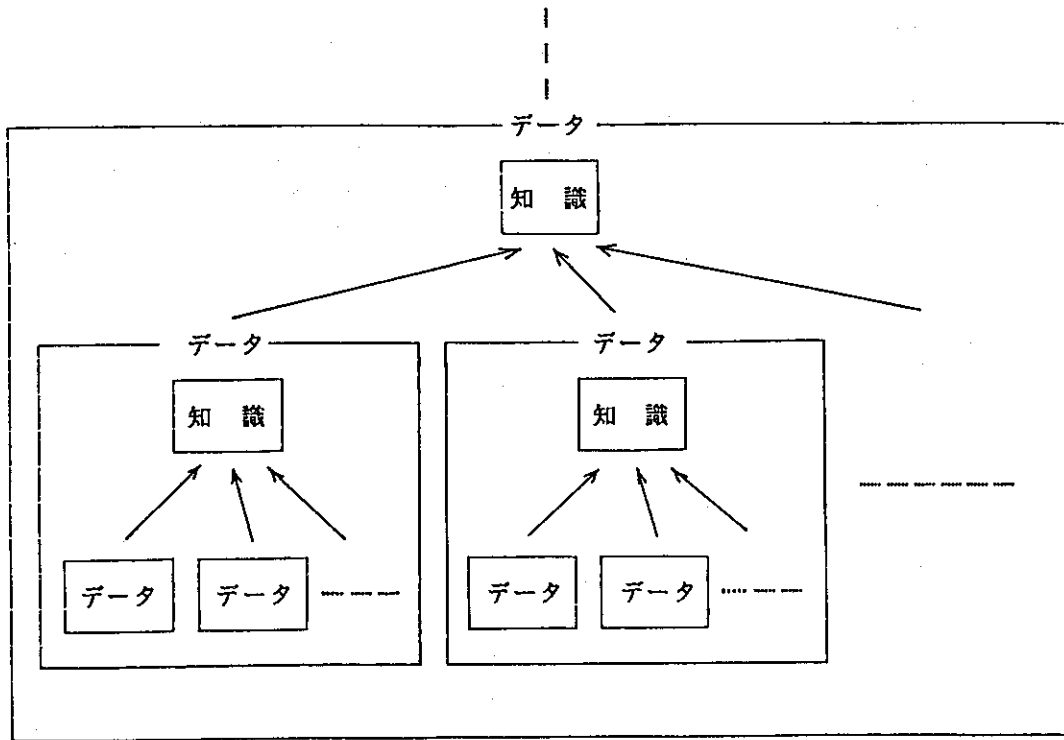


Fig. 5.1 Recursion between knowledge and data

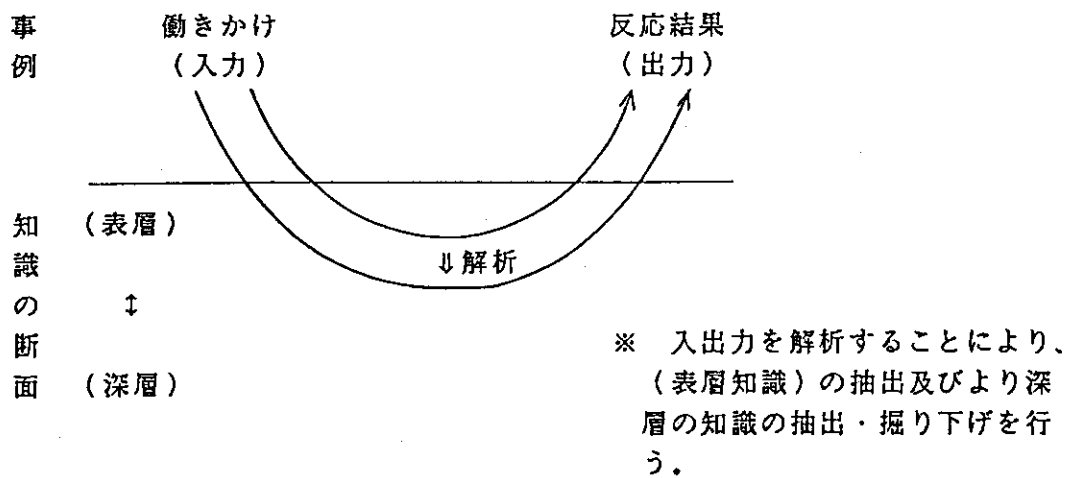
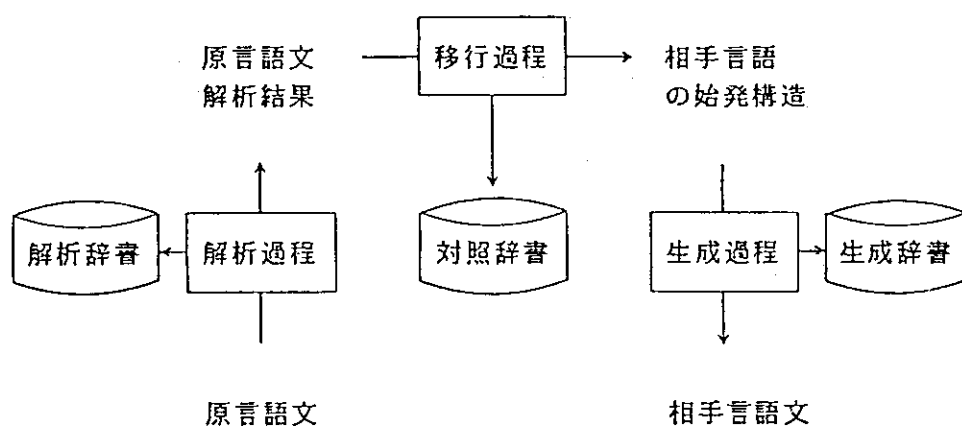
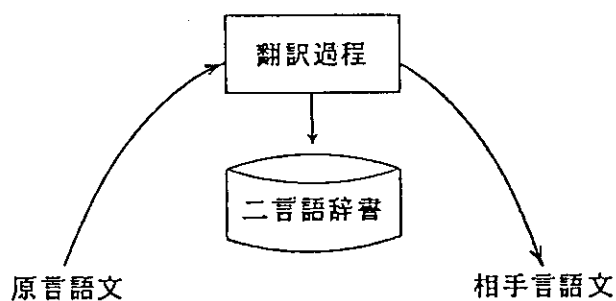


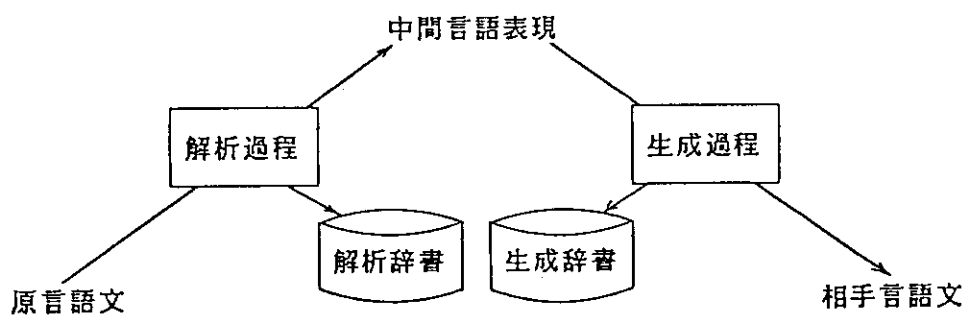
Fig. 5.2 Extraction of knowledge and tapping on knowledge



(a) トランスファ方式と辞書



(b) 直接方式と辞書



(c) 中間言語方式と辞書

Fig. 5.3 Translation methods and dictionaries¹⁶⁾

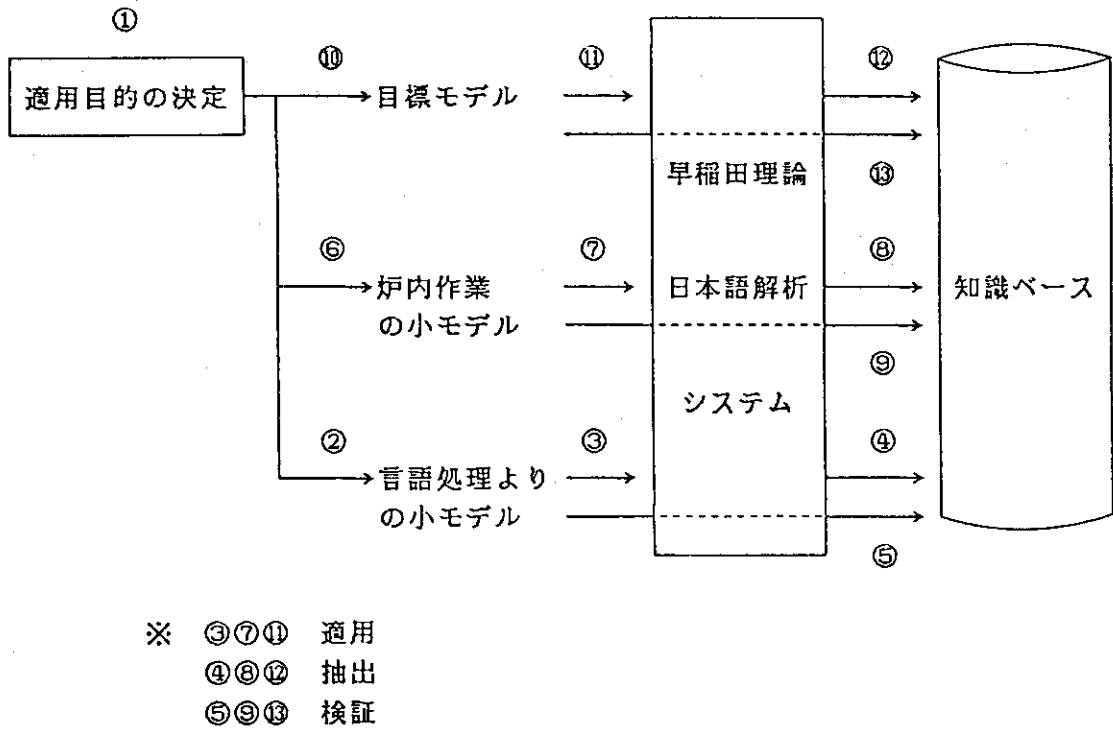


Fig. 5.4 An example of plan for building up knowledge base

6. お わ り に

核データ評価コードに関する知識構造の調査を行い、人間動作シミュレーション (HASP) への応用を考えた。当初機械翻訳システムを利用して専門的な知識を抽出することを考えていたが、実際に作業するにあたり様々な問題が生じた。意味理解と機械翻訳は似ているようでいて実は目的が異なっている。また、命令理解のように基本的な言語処理から専門的な意味の同定までをとりあげる際に、実現レベルの段階的な設定が重要であり、不可欠となる。

今回の調査の結果、新たに提案している知識ベース構築作業の手順は、これまでの作業に逆行する部分が多い。しかし、今回の調査は無駄ではなく、より良い方針が発見されたことに意義を見出すことができる。

謝 辞

最後に、核データ評価コードの解析にあたり様々な意見をいただいた物理部・核データセンターの方々に感謝の意を表す。また、GRADEの使用に際しては、CSK・AI事業本部の近藤悟氏の協力を得た。

6. お わ り に

核データ評価コードに関する知識構造の調査を行い、人間動作シミュレーション (HASP) への応用を考えた。当初機械翻訳システムを利用して専門的な知識を抽出することを考えていたが、実際に作業するにあたり様々な問題が生じた。意味理解と機械翻訳は似ているようでいて実は目的が異なっている。また、命令理解のように基本的な言語処理から専門的な意味の同定までをとりあげる際に、実現レベルの段階的な設定が重要であり、不可欠となる。

今回の調査の結果、新たに提案している知識ベース構築作業の手順は、これまでの作業に逆行する部分が多い。しかし、今回の調査は無駄ではなく、より良い方針が発見されたことに意義を見出すことができる。

謝 辞

最後に、核データ評価コードの解析にあたり様々な意見をいただいた物理部・核データセンターの方々に感謝の意を表す。また、GRADEの使用に際しては株式会社CSK・AI事業本部の近藤悟氏の協力を得た。

参 考 文 献

1. Winograd, T. : Understanding Natural Language, Academic Press, New York (1972)
2. Schank, R. C., and Abelson, R. : Scripts, Plans, Goals and Understanding, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey (1977)
3. 矢田光治 : AI 総覧, フジ・テクノシステム/エス・ディ・シー (1987)
4. 池田 : 電子技術総合研究所研究報告, 871 (1986)
5. Duderstadt, J. J., Hamilton, L. J., (訳) 成田, 藤田 : 原子炉の理論と解析 (上), 現代工芸社 (1980)
6. 菊地, 他監修 : 原子核の一般的性質, 共立出版 (1959)
7. Igarasi, S. : JAERI 1224 (1972)
8. Igarasi, S. : J. Nucl. Sci. Technol (Tokyo), 12-2, 67 (1975)
9. FACOM OS IV/F4 MSP ATLAS II 使用手引書, 富士通 (1986)
10. 長尾, 他 : 情報処理, 26-10, 1203 (1985)
11. 科学技術庁科学振興局 : 日英科学技術文献の速報システムに関する研究成果報告書 (1984)
12. 工業技術院計画課, 京都大学 : 日英科学技術文献の速報システムに関する研究 日英翻訳システム Fainal Version リリースマニュアル (1985)
13. 深堀智生 : CASTHY の解析, 私信 (1986)
14. 深堀智生 : CASTHY の変数名リスト, 私信 (1986)
15. 深堀智生 : CASTHY の flow chart, 私信 (1986)
16. 辻井潤一 : 情報処理, 26-10, 1174 (1985)
17. 吉田将, 日高達 : 情報処理, 26-10, 1157 (1985)
18. 高木朗, 伊東幸宏 : 自然言語の処理, 丸善 (1987)
19. Chomsky, N. : Syntactic Structures, Mouton, The Hague (1957)
20. Fillmore, C. J. : in "Universals in Linguistic Theory" eds. Bach, E. and Harms, R. T., Holt, Rinehart and Winston, New York (1968)
21. 近藤, 他 : 機械翻訳システム GRADE - 整備作業報告 -, 私信 (1988)

付録A 物理用語

A-1 透過係数・強度関数

透過係数とは、量子力学的な粒子が、ポテンシャル障壁を量子力学的効果（トンネル行か）によってすりぬける確率を表す（ < 1 ）。これは、粒子を表現する波動関数を無限遠方で観測したときに、進行波と逆行波とに展開され、それらの位相のずれを計算することによって求められる。中性子問題の場合、進行波と逆行波は、球ノイマン関数と球ベッセル関数である。

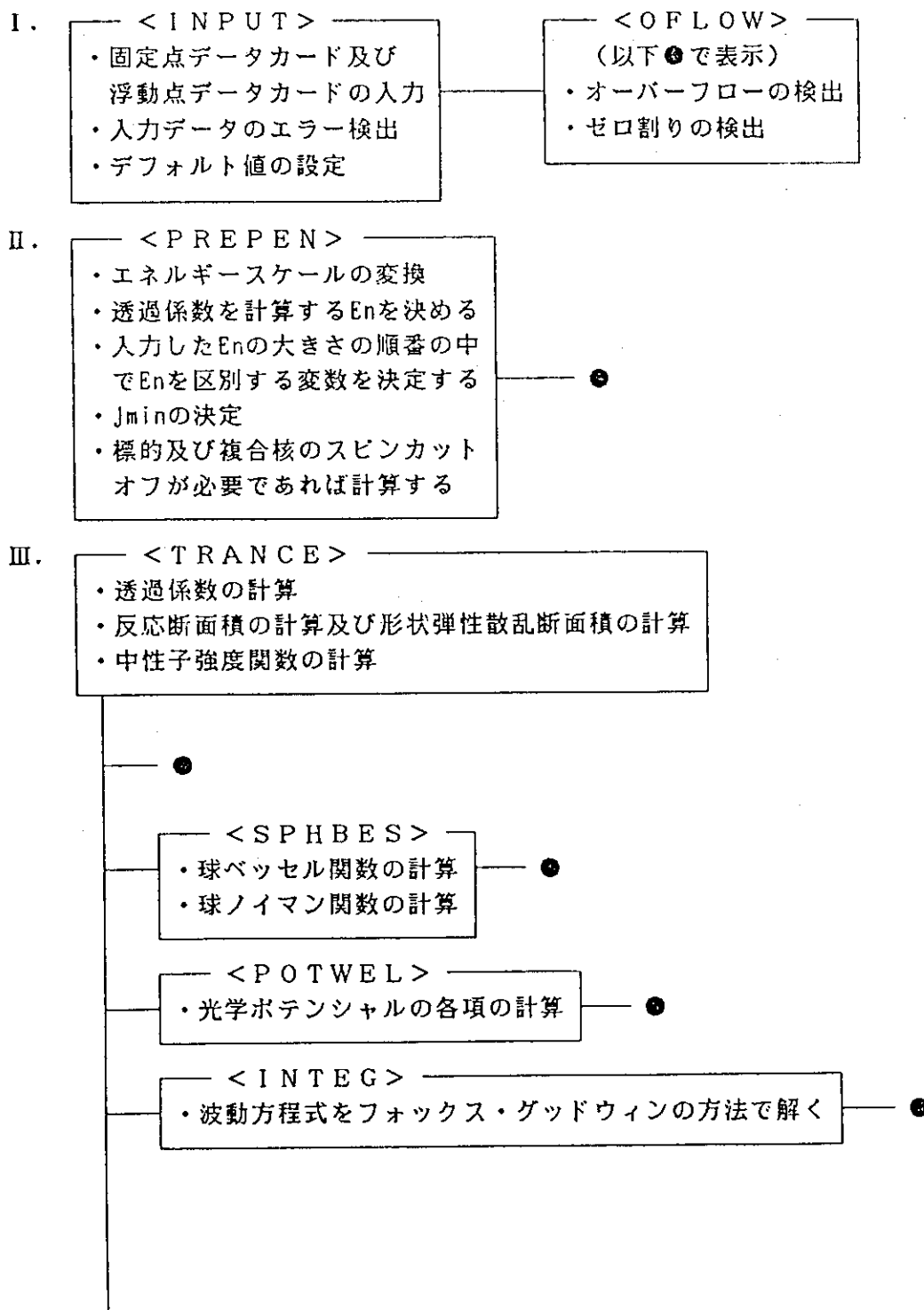
また、強度関数とは、原子核反応において入射粒子と標的核との複合系の状態を、基底状態で展開したときの展開強度を表す。これは、透過係数を用いて計算可能である。

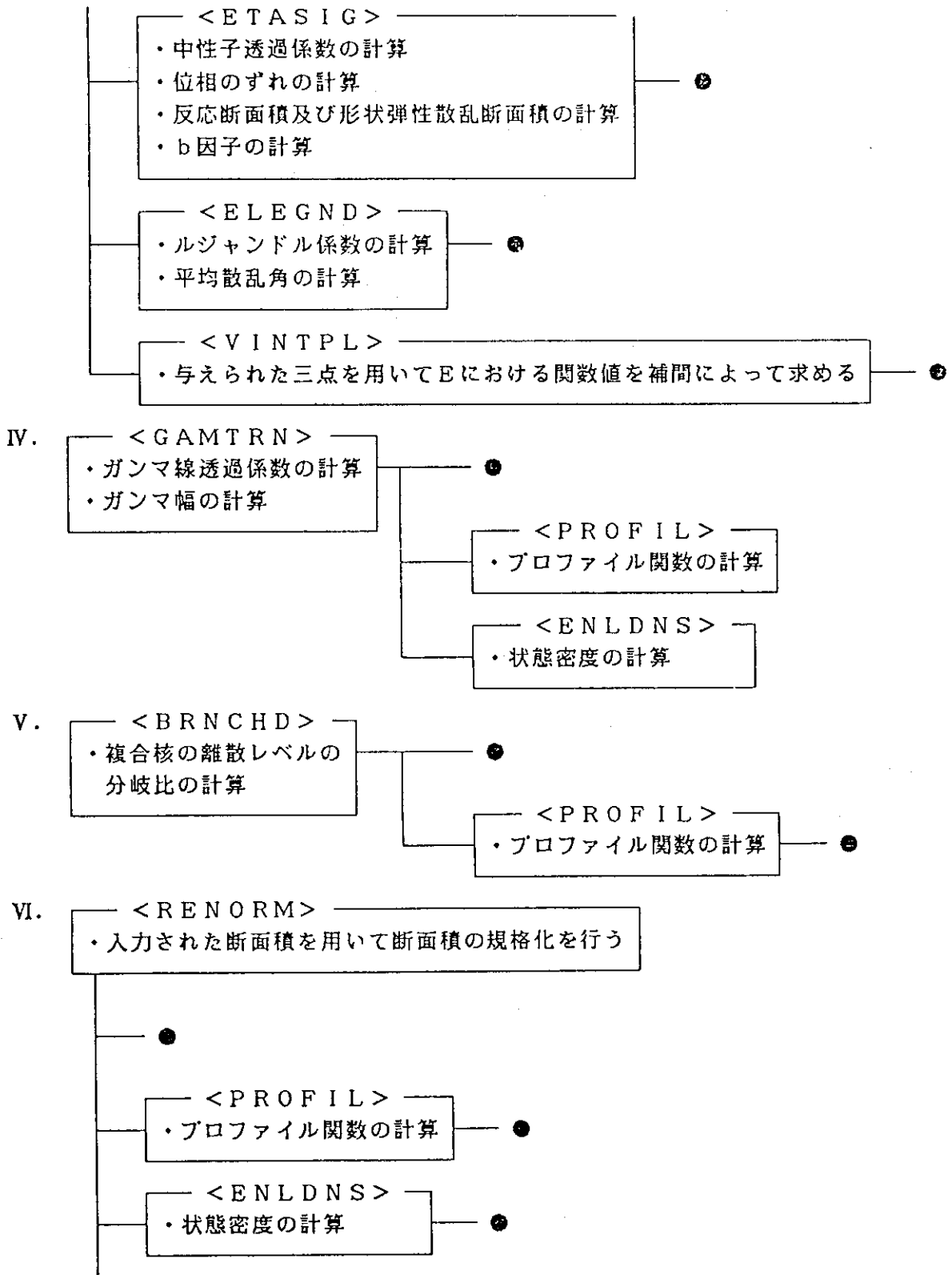
A-2 光学ポテンシャル

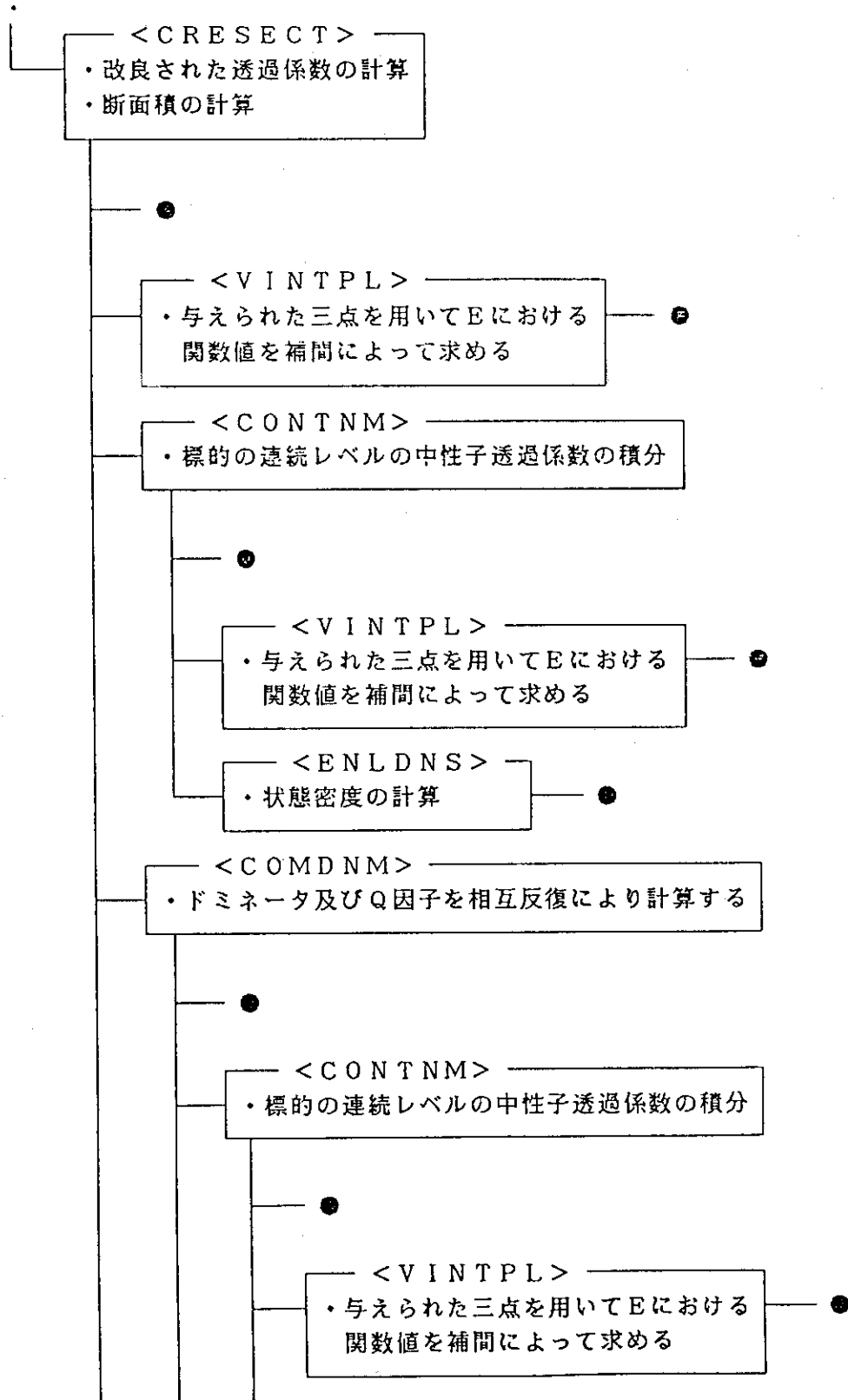
光学ポテンシャルは、複素ポテンシャルである。その虚数部分は、原子核反応によって、入射粒子が吸収される効果を表現している。このポテンシャルの形状には、井戸型、ウッズ・サクソン型、ガウス型、トーマス・フェルミ型などがある。

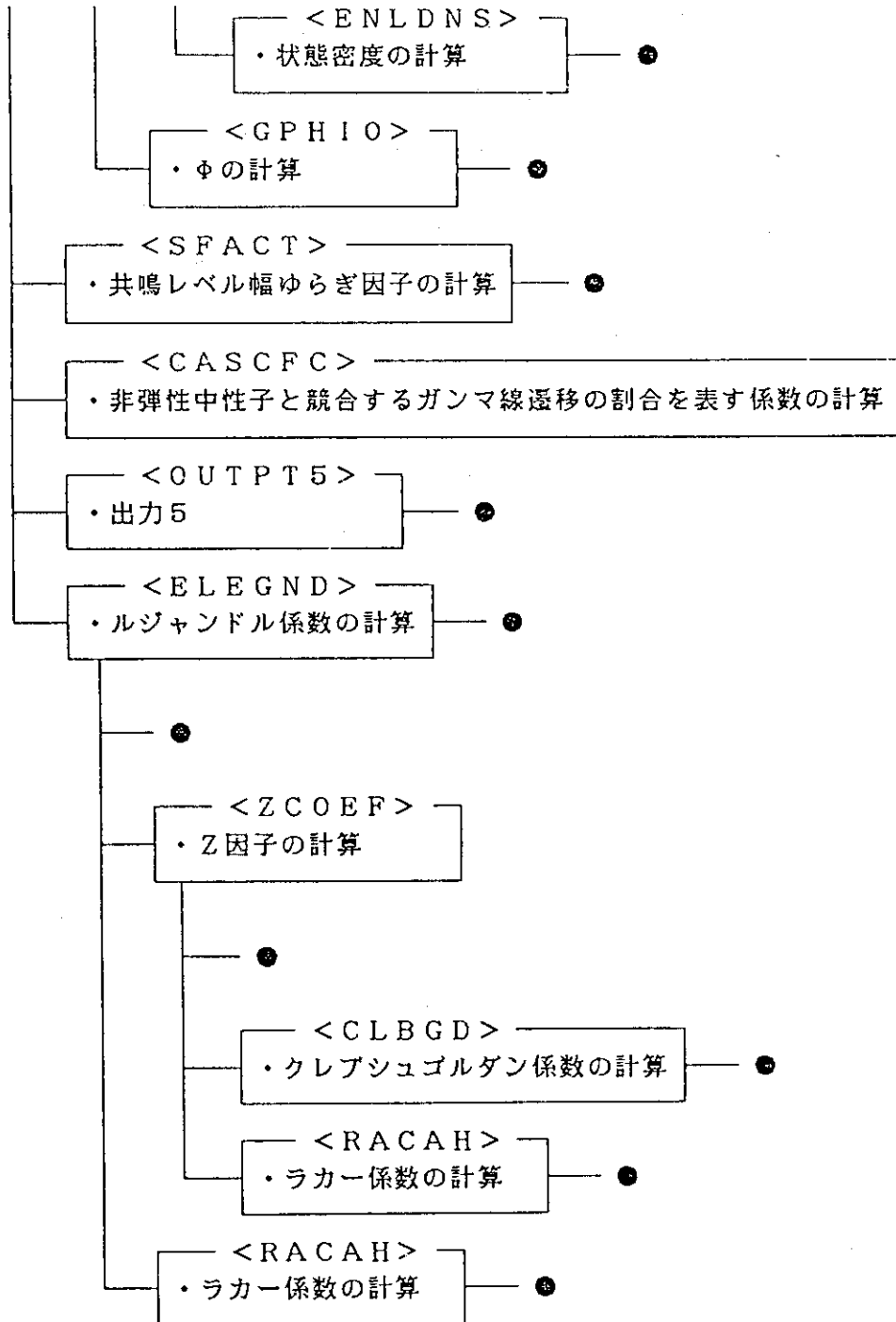
CASTHYコードでは、光学ポテンシャルの実数部をウッズ・サクソン型、スピン軌道相互作用をトーマス・フェルミ型（ウッズ・サクソン型の微分形）、虚数部についてはその内部項（Interior term）をウッズ・サクソン型、表面項（Surface term）をガウス型、またはウッズ・サクソン型の微分形を用いる。また、ポテンシャルの深さは、入射エネルギーの二次形式で表現される。

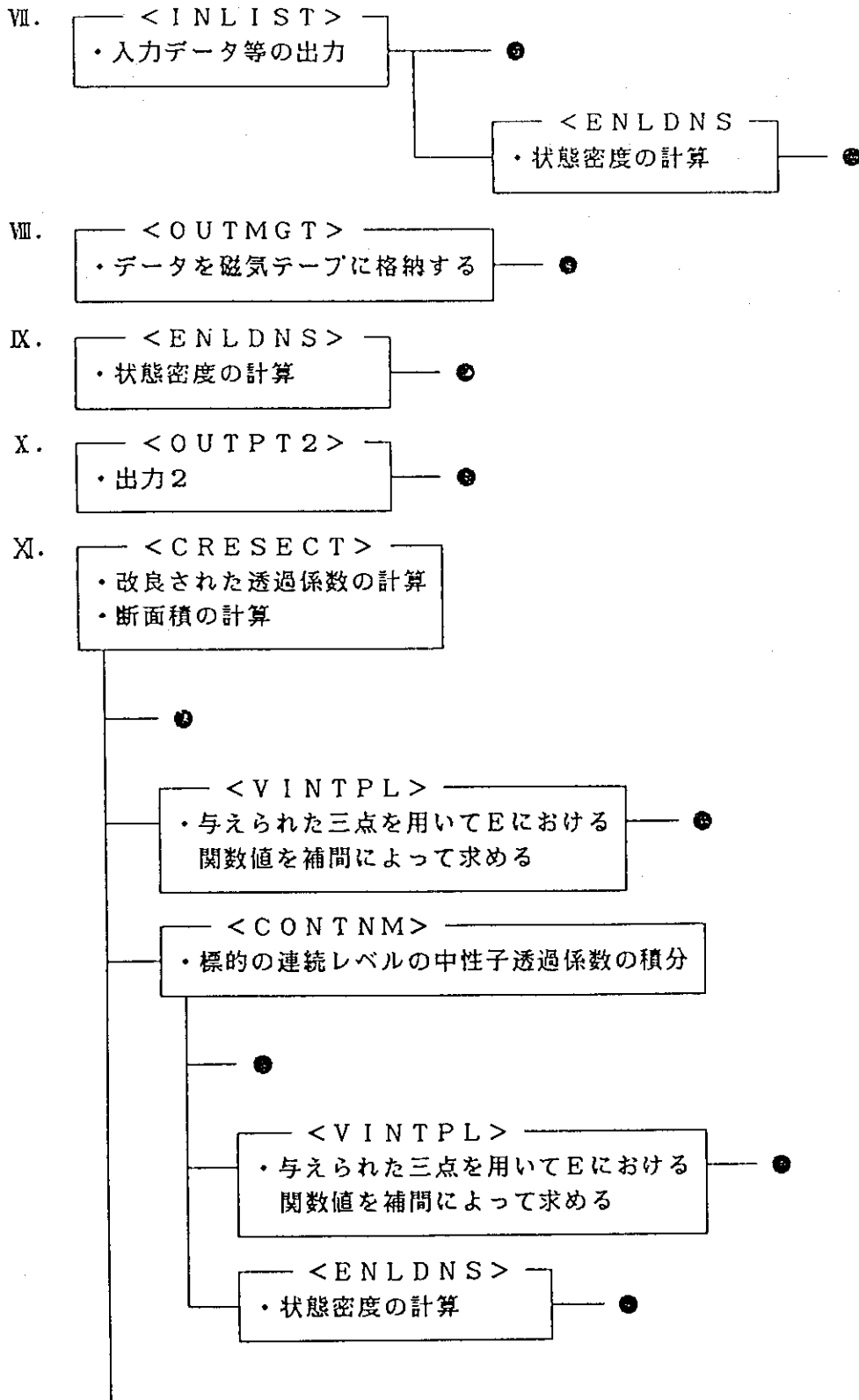
付録B CASTHYコード MAINルーチンのサブルーチン呼び出し木構造解析図

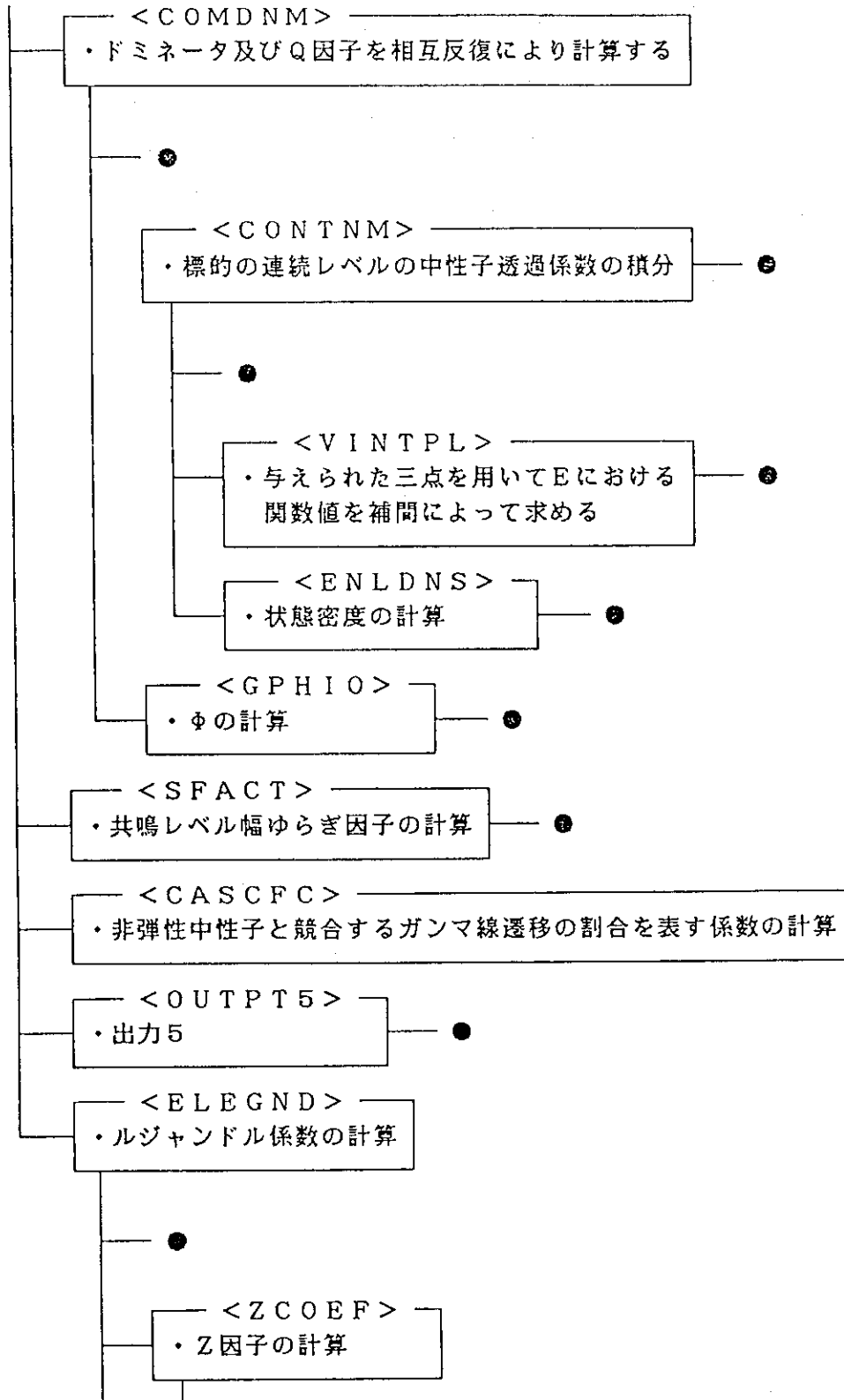


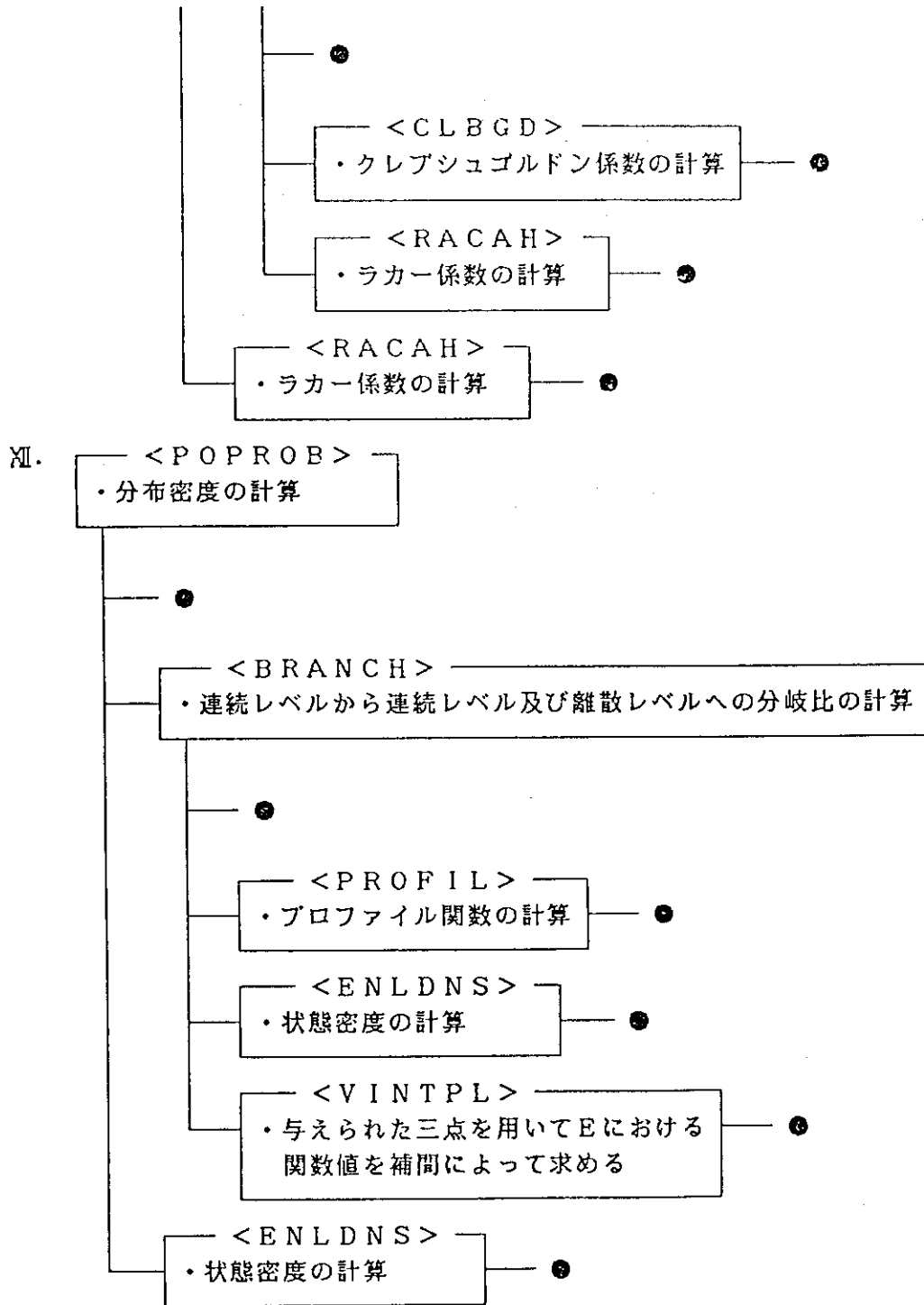




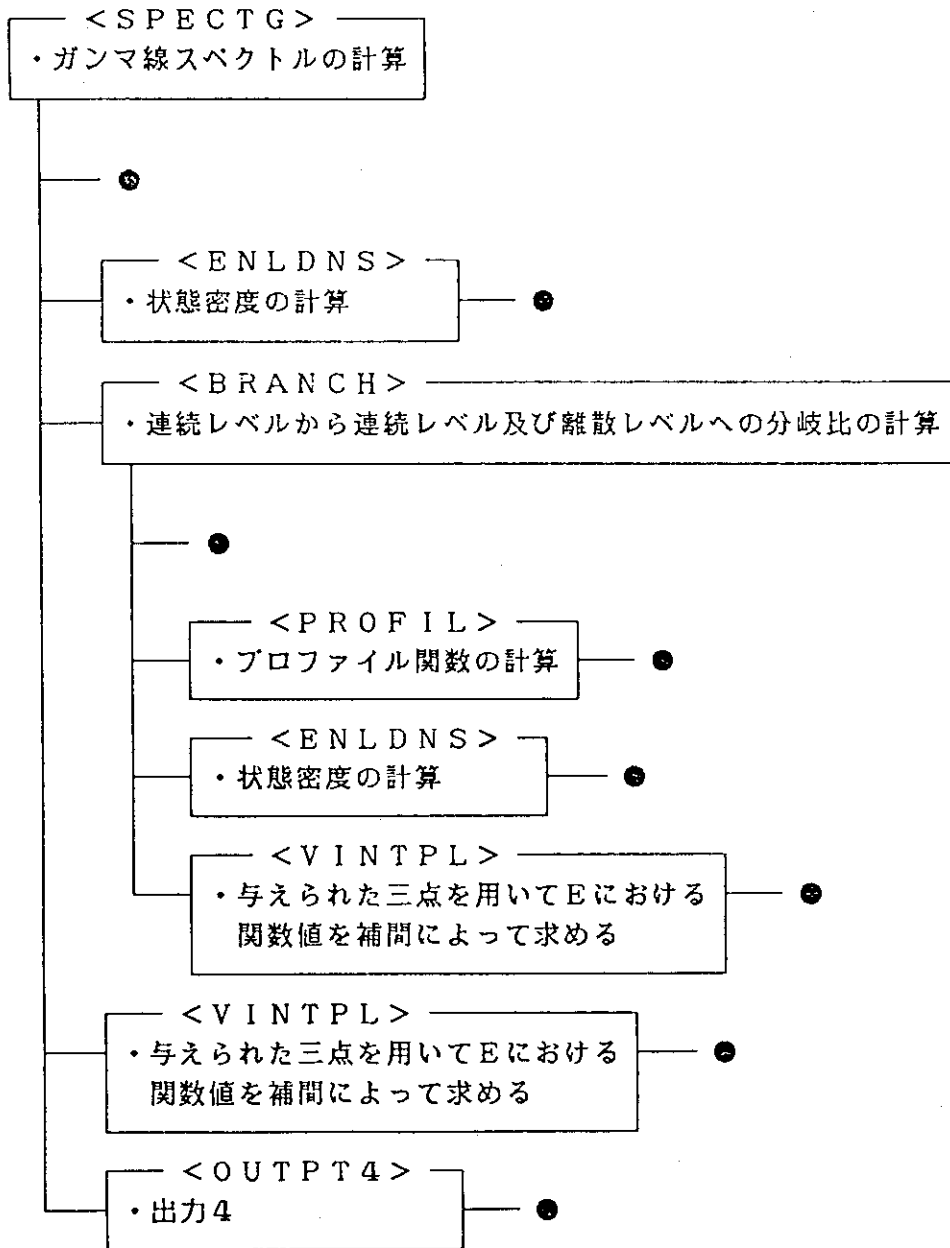




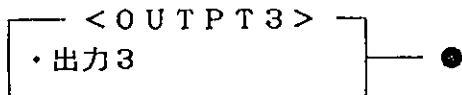




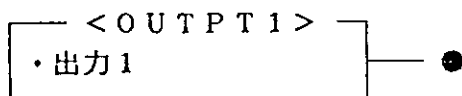
XII.



XIII.



XIV.



付録C CASTHYコードで用いられている変数群

C-1 MAINルーチンの使用変数一覧表

MAINルーチンで用いられている変数の一覧を以下に示す。

	変数名	(配列)	意味
C	CM(I)	300	入力データのうち、浮動小数点つきデータを扱うスタック (COMMON/DTFLT/ 全て)
	COMDM1	60	COMMON/COMNO1/全てのスタック
	COMDM2	2470	COMMON/COMNO2/全てのスタック
	COMDM3	17820	COMMON/COMNO3/全てのスタック
	COMDM6	1000	COMMON/COMNO6/全てのスタック
	COMPET(I)	50	CASTHYで計算できない競争過程の断面積の和 $\Delta\sigma$ (Iはエネルギーポイント番号)
	COMPIN(I)	50	同一同位元素の1回目のランのCOMPET(I)のスタック
D	DNMCJO(I,J)	50*10	同位元素J (Jは原子番号) についての $\sum \int d\epsilon \gamma \epsilon^3 \gamma f \gamma(\epsilon \gamma) \rho c l(Bn - \epsilon \gamma)$
E	ECM		入射中性子のエネルギー E_n [MeV] (重心系)
	ECMS(I)	50	E_n の重心系での値 (Iはエネルギーポイント番号)
	ECMX(I)	65	T I j 計算用 E_n (Iはエネルギーポイント番号)
	ECRITC		残留状態をオーバーラッピング・レベルと見なすエネルギー の下限
	ELAB(I)	50	E_n の実験室系での値 (Iはエネルギーポイント番号)
	ELEVEL(I)	40	標的核の離散レベルのエネルギー E_{lev} [MeV] (Iはレベル番号、I=1は基底状態)
	EMIN		入射中性子の質量 m_n [a.m.u.: 原子質量]
	EMRED		中性子の換算質量 $m_n \cdot m_T / (m_n + m_T)$
	ENERGY(I)	50	中性子の入射エネルギーの入力値 [MeV] (Iはエネルギーポイント番号)
	ENGYIN(I)	50	同一同位元素の1回目のランのENERGY(I)スタック
	ENORM		規格化用 $\sigma_{n,\gamma}(EXP)(E_0)$ の E_0 [MeV] NOMLIZ=0の場合のみ必要で、ENERGY(I)のどれかと同じ
	ENUEX(I)	51	ある特定のレベルの分布密度を計算するエネルギー (Iはエネルギーポイント番号、I=1で= $E_n + B_n$ 、I=NENOTで= E_c)
	EPCLAS		10のマイナス16乗
F	FAC(I)	100	(I-1)!の仮数部 (FAC(I)*10expI FAC(I)=(I-1)!)

	変数名	(配列)	意味
I	ICRITC		オーバーラッピング・レベルを含むか否かの制御 (0:含まない、1:含む)
	IDENG(I)	50	ENERGY(I)の小さい方からの順番
	IDENTR(I)	65	入射中性子エネルギー E_n に対応する ECMX(I)のエネルギー ポイント番号 ECMX(I) \equiv ECMS(I)のとき IDENTR(I)=J、その他は0
	IENERG		入射中性子エネルギー E_n の入力数
	IENTRC		Tl(j)(E)を用意するエネルギーポイント数 $E_n < E_c$ のとき = IENERG、 $E_n \geq E_c$ のとき = IENERG+15
	IFAC(I)	100	(I-1)!の指数部 (FAC(I)*10expIFAC(I)=(I-1)!)
	IDJMX(I)	51	イラスト準位のスピン $J_{max} * 2$ (Iはレベルもしくはエ ネルギー番号) 連続レベル
	J	JMAX	
JMIN			Jmin.0 標的核が E核: JMIN=1 O核: JMIN=0 --- Jmin#2
JOUTPT(I)		5	OUTPT1~5 のコール用制御 (IはNOUTPTの桁の大きい方から の番号)
K	KM(I)	15	COMMON/DTFIX/ のスタック
L	LEVO		断面積を求めるエネルギーポイント数 =LEV+a : a=1 (オーバーラッピングレベルを含まず) a=2 (オーバーラッピングレベルを含む)
	LEVN		非弾性散乱の断面積を求めるレベル数 =LEV+ICRITC
M	MESHIN		同一同位体の2回目のランのためのNEMESHのスタック
N	NABUND		同位体の存在度 $\times 1000$
	NCASCD		=0 : カスケード過程を近似で扱う #0 : カスケード過程を正しく扱う
	NCHAGT		標的核の原子番号
	NCOMPT		=0 : 競争過程を考慮しない #0 : 競争過程を考慮する
	NEMESH		入射中性子エネルギーの入力数 (≤ 50) >0 : 重心系で与える <0 : 実験室系で与える
	NENOT		=0 : 15点のデフォルト値をとる
	NLEVEL		分布密度を求めるエネルギーポイント数
	NOMLIZ		標的核の離散レベル数 $2\pi \Gamma \gamma_{obs} / D_{obs}$ の決定方法の制御 =0 : 非放射性要素の $\sigma_{n,\gamma}(EXP)(E_0)$ に規格化 #0 : 同位体ごとに $\sigma_{n,\gamma}(EXP)(E_0)$ に規格化 ($E_0 >> B_n$ でなければならない)

	変数名	(配列)	意味
N	NPAGE		出力シートのページ数
	NPMFIX		パラメータ固定の制御 (=1: $Tl(j)$ =2: $T\gamma$ =3: $Tl(j), T\gamma$ を固定)
	NTEMP1		MT格納データのID番号
O	OUTNGN(I, J)	32*50	存在度による断面積の荷重和 $\sigma n.\gamma$ (I=1), σin (I=2), $\sigma el.c$ (I=3), σc (I=4), $\sigma el.s$ (I=5), $\sigma el.s+\sigma el.c$ (I=6), $\Delta\sigma$ (I=7), $\sigma el.s+\sigma c$ (I=8) Iはエネルギーポイント番号
	OUTSIN(I, J)	32*50	=SINELA(J) (Iはレベル番号、Jはエネルギーポイント番号)
P	PMESH		波動方程式を解く際の区切り(メッシュ)幅の予測値
R	ROEXP		中性子強度関数計算用透過係数を求める際に使用する核半径 パラメータ(デフォルト値は 1.4fm)
	RATIO		規格化の許容誤差 $ \sigma n.\gamma(EXP)(EO) - \sigma n.\gamma(CAL)(EO) / \sigma n.\gamma(EXP)(EO)$ < RATIO
	REACT(I)	65	反応断面積 σc (Iはエネルギーポイント番号)
	RENFACT(I)	10	$T\gamma$ の規格化定数 $c0w$ GAM : $\{(I+1)T\gamma^2w(0) + T\gamma^2(w-1)(0)\} / 2(I+S)$ REN : $2\pi\Gamma\gamma.obs/Dobs$ (Iは同位体番号)
S	SEPAR		中性子分離エネルギー Bn
	SIGAMM(I)	50	捕獲断面積 $\sigma n.\gamma$ (Iはエネルギーポイント番号)
	SIGEL(I)	65	共鳴弾性散乱断面積 $\sigma el.s$ (Iはエネルギーポイント番号)
	SIGELC(I)	50	複合核弾性散乱断面積 $\sigma el.c$ (Iはエネルギーポイント番号)
	SIGGAM		$T\gamma$ を断面積から求めるときの $\sigma n.\gamma(CAL)(EO)(mb)$
	SIGNRN		規格化用 $\sigma n.\gamma(EXP)(EO)(mb)$
	SINELA(I)	50	非弾性散乱断面積 σin (Iはエネルギーポイント番号)
	SLMAX(I)	65	$lmax$ (Iはエネルギーポイント番号)
	SPIN		中性子のスピン = 1/2
	SPINL(I)	31	標的核の離散レベルのスピン (Iはエネルギーポイント番号)
	STRFNC	30*2*	中性子強度関数 $S1(j)$
	(I, J, K)	65	(IはI+1, Jはj, Kはエネルギーポイント番号)
	SYMELM(I)	105	元素記号 (Iは原子番号)
T	TITLE(I)	15	計算のタイトル (Iは1~15, 4*15=60 文字表現)

C-2 TRANCEルーチンの使用変数一覧表

TRANCEルーチンで用いられている変数の一覧を以下に示す。ただし、MAINルーチンでも使用されている変数については、重複して説明しない。

	変数名	(配列)	意味																		
A	A0		光学ポテンシャルの実数部のディフューズネスパラメータa0																		
	A1		光学ポテンシャルの虚数部のディフューズネスパラメータa1																		
	AS0		光学ポテンシャルのスピン軌道項のディフューズネスパラメータaS0																		
B	B		光学ポテンシャルの虚数表面項の幅パラメータas																		
C	CEK		$h^{**2}/2\mu_0=20.90098eV\cdot barn$																		
	CMESH		波動方程式を解くメッシュ幅 Δr																		
	CMESH2		$CMESH^{**2}=\Delta r^{**2}$																		
	COPTMA		$4ln10=9.2103404$																		
	CSP0		$(h/m\pi c)^{**2}=2.04553 [\times 10exp(-7) barn]$																		
F	F(I)	31	球ノイマン関数F1 (I=I+1)																		
	FMASST		標的核のA (=NMASS)																		
	FT(I)	31	$\Sigma F1$ (I=I+1)																		
G	G(I)	31	球ベッセル関数J1 (I=I+1)																		
	GT(I)	31	$\Sigma J1$ (I=I+1)																		
H	HALFAJ		=0.5 (四捨五入用)																		
L	LMAXC		$\sigma_c = \Sigma \sigma_{c,l}$ とすると、 $(\Sigma \sigma_{c,l}) * 10exp(-4) > \sigma_{c,l}$ となった所のL (=I+1)。すなわち σ_c が収束した所のL																		
N	NIMAG		光学ポテンシャルの虚数部の選択 <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td></td> <td>表面項</td> <td>内部項</td> </tr> <tr> <td>=1:</td> <td>ガウス</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>=2:</td> <td>ウッズ・サクソン</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>=3:</td> <td>---</td> <td>ウッズ・サクソン</td> </tr> <tr> <td>=4:</td> <td>ガウス</td> <td>ウッズ・サクソン</td> </tr> <tr> <td>=5:</td> <td>ウッズ・サクソン</td> <td>ウッズ・サクソン</td> </tr> </table>		表面項	内部項	=1:	ガウス	---	=2:	ウッズ・サクソン	---	=3:	---	ウッズ・サクソン	=4:	ガウス	ウッズ・サクソン	=5:	ウッズ・サクソン	ウッズ・サクソン
	表面項	内部項																			
=1:	ガウス	---																			
=2:	ウッズ・サクソン	---																			
=3:	---	ウッズ・サクソン																			
=4:	ガウス	ウッズ・サクソン																			
=5:	ウッズ・サクソン	ウッズ・サクソン																			
	NINT		波動方程式用メッシュ幅 (≤ 297)																		
P	PIE		$\pi=3.141593$																		
R	ROHMA		マッチング半径の ρM $\rho M = krmat$ $= \sqrt{\{(mn \cdot mT) \cdot E \cdot 2\mu_0 / (mn + mT) \cdot h \cdot h\} \cdot ROEXP \cdot Aexp(1/3)}$																		
	RIMI		$= r1 \cdot Aexp(1/3)$																		

	変数名	(配列)	意味
R	RIMS		$=rS \cdot A \exp(1/3)$
	RMAT		マッチング半径 r_{mat} : $\Delta V/E_n = 10 \exp(-4)$ とする r
	RRE		$=r0 \cdot A \exp(1/3)$
	RRSO		$=rS0 \cdot A \exp(1/3)$
	RS		虚数表面項の核半径パラメータ rS
	RSO		スピン軌道項の核半径パラメータ $rS0$
S	SIGELS		形状弾性散乱断面積 $\sigma_{el.s}$ (I はエネルギーポイント番号)
T	TENN(I, J, K)	30*2* 65	中性子透過係数 $T(I, J) = 1 - \eta(I, J) ^2$ ($I: I+1, J: j, K: \text{エネルギーポイント番号}$)
V	V		リアル・ポテンシャルの定数項 V
	VE		リアル・ポテンシャル E_n の係数 $V1$
	VESQ		リアル・ポテンシャル E_n^{**2} の係数 $V1$
	VSO		スピン軌道項の定数項 VSO
	VSOE		スピン軌道項の E_n の係数 $VSO1$
	VSOESQ		スピン軌道項の E_n の係数 $VSO2$
	VSP0		$= (VSO + VSO1 \cdot E_n + VSO2 \cdot E_n^{**2}) \cdot A$ $aS0 = 0: A = 1$ $aS0 \neq 0: A = \{ mn \cdot mT / (mn + mT) \} \cdot (2 \mu 0 / h^{**2}) \cdot (h / m \pi c)^{**2} \cdot (1 / aS0)$
	VSYM		リアル・ポテンシャルの対称項の係数 $Vsym$
W	WI		虚数体積項の定数項 WI
	WIE		虚数体積項の E_n の係数 $WI1$
	WIESQ		虚数体積項の E_n^{**2} の係数 $WI2$
	WS		虚数表面項の定数項 WS
	WSE		虚数表面項の E_n の係数 $WS1$
	WSESQ		虚数表面項の $\sqrt{E_n}$ の係数 $WS2$
	WSO		虚数スピン軌道項の定数項 WSO
	WSOE		虚数スピン軌道項の E_n の係数 $WSO1$
	WSOESQ		虚数スピン軌道項の E_n^{**2} の係数 $WSO2$
	WSPO		虚数スピン軌道項 $= (WSO + WSO1 \cdot E_n + WSO2 \cdot E_n^{**2}) \cdot A$ $aS0 = 0: A = 1$ $aS0 \neq 0: A = \{ mn \cdot mT / (mn + mT) \} \cdot (2 \mu 0 / h^{**2}) \cdot (h / m \pi c)^{**2} \cdot (1 / aS0)$
	WVNO		$= k = \sqrt{ \{ mn \cdot mT / (mn + mT) \} \cdot E \cdot (2 \mu 0 / h^{**2}) } (= \sqrt{ (2EM / h^{**2}) })$
	WVSQG(I)	65	$= k I^{**2} = \{ mn \cdot mT / (mn + mT) \} \cdot E_n I \cdot (2 \mu 0 / h^{**2})$ (I はエネルギーポイント番号)

付録D CASTHYコードのソースプログラムとその日本語翻訳結果

D-1 CASTHYコード (MAINルーチン)

```

C   CASTHY ... NEW VERSION                                00000100
C   PROGRAM CASTHY *** CAPTURE, INELASTIC AND ELASTIC SCATTERING CROSS 00000200
C   SECTIONS WITH STATISTICAL THEORY *** BY S. IGARASI      00000300
      DIMENSION CM(300), KM(15)                             00000400
      DIMENSION COMDM1(60), COMDM2(2470), COMDM3(17820), COMDM6(1000) 00000500
      COMMON /DTMAN/ ENORM, NOMLIZ                          00000600
      COMMON /DTFIX/ NCHAGT, NMASS, NABUND, NLEVEL, NIMAG, NPROF, NFLCR, 00000700
1     NLEVC, NCASCD, NEMESH, NLVDNT, NLVDNC, NPMFIX, NCOMPT, NTEMP1    00000800
      COMMON /DTFLT/ EMTARG, EMIN, SEPAR, ROEXP, PMESH, RO, RI, 00000900
1     RS, RSO, TEMP1, AO, A1, B, ASO, TEMP2, V, 00001000
2     WI, WS, VSO, WSO, VE, WIE, WSE, VSOE, WSOE, 00001100
3     VESQ, WIESQ, WSESQ, VSOESQ, WSOESQ, VSYM, ECRITC, RATIO, SPCTIN, 00001200
4     SPCIN, ELESFN(30), DNPART, SPINCT, PAIRNT, CNORMT, EJOINT, DNPART, 00001300
5     SPINCC, PAIRNC, CNORMC, EJOINC, ENORML, SIGNRN, TGMNRN, DOBSRN, WDGMRN, 00001400
6     EGIANT, WGIANT, PARA1, PARA2, EXCHNG, EGBERM, WGBERM, SIGBM1, SIGBM2, 00001500
7     ECRIT, TEMX(10), ENERGY(50), COMPET(50), TEMPDT(100) 00001600
      COMMON /CMDATA/ A(10), CEK, CSPO, CPOTMA, EPLMA1, EPLMA2, EPWRFN, 00001700
1     EPCLAS, ENDATA(15), ENGAMR(50), HCNEM, HBARC2, HALFAJ, PIE, 00001800
2     PIEE2, SPIN, SYMELM(105), U(10)                      00001900
      COMMON /COMNO1/ AVEGME, CNPROF, CMESH, CSMH2, CMS12, DOBSCL, ECM, 00002000
1     EMRED, FCHAGT, FMASS, FACTSG, FISPIN, IENTRC, IENERG, IELEV, ICRITC, 00002100
2     IEGMAX, JMIN, JJMAX, JMAX, LMAXC, LMAX, LEV, LEVO, LEVN, 00002200
3     NPAGE, NMASSC, NINT, NINTG, NPARTY, NENOT, RRE, RIMI, RIMS, 00002300
4     RRSO, RMAI, RHOMA, SIGGAM, SSIGR, SIGELS, SJMAXO, TGMNCL, VRE, 00002400
5     VSPD, VSYMM, WDGMC, WVNOSQ, WIMI, WIMS, WKE1EN, WKE1WD, WSPD, 00002500
6     SPCCEX, SPCTEX, CPTRT, SPINCG, SPINEC               00002600
      COMMON /COMNO2/ DNMCJO(50,10), ECMS(50), ECMX(65), 00002700
1     EMBAR(50), ELEVEL(40), ELAB(50), ENUEX(51), 00002800
2     FAC(100), IDENG(50), IDENTR(65), IFAC(100), 00002900
3     JOUTPT(5), PSLMAX(32), PARITY(31), RENFCT(10), 00003000
4     REACT(65), SLMAX(65), SIGEL(65), SINELA(50), 00003100
5     SINELL(32), SIGAMM(50), SIGELC(50), SPCTGM(51), 00003200
6     SPINL(31), SPINRM(50,10), WVSQG(65), WIDGAM(65), 00003300
7     TITLE(15), TNRATE(65), CLEVEL(40), SPINC(31), 00003400
8     CPRITY(31)                                           00003500
      COMMON /COMNO3/ BFACT(30,2,65), TRGAM(65,30,2), TENN(30,2,65), 00003600
1     THGAM(30,2), THGAMD(30,2), BLCMS(40,50), SIGSP(50,2) 00003700
      COMMON /COMNO4/ DENOM(30,2,65), PENN(30,2,32), POPULP(51,50,2), 00003800
1     QFACT(30,2), THETA(30,2,32)                         00003900
      COMMON /COMNO5/ PENNOV(30,2,30,2), OUTSIN(32,50), OUTNGN(32,50) 00004000
      COMMON /COMNO6/ POPULD(30), DBRNCH(30,30), LCMAX, NBRNCH, IDJMX(51), 00004100
1     ENHE1, ENHM1, ENHE2, DSIGL, ENHSHR, BIN, KIBRD(30,30) 00004200
      COMMON /COMNO7/ GAMENG(400), DINTST(400), MAXDLI, EMINGM(400), 00004300
1     EMAXGM(400), GAMSUM(400), ENGSUM(400), MAXSUM        00004400
      COMMON CENTFG(300), DPHI(2,2), ENEGW(65), F(31), FP(30), FT(31), G(31), 00004500
1     GP(30), GT(31), PHI(7,2,2), PHIJ(2,300), VRER(300), VSPOR(300), 00004600
2     WIMR(300), WSPOR(300), STRFNC(30,2,65), YETAR(30,2), YETA1(30,2), 00004700
3     ENGYIN(50), COMPIN(50)                              00004800
      EQUIVALENCE (EMTARG, CM(1)), (NCHAGT, KM(1))         00004900
      EQUIVALENCE (AVEGME, COMDM1(1)), (DNMCJO(1), COMDM2(1)), 00005000
1     (BFACT(1,1,1), COMDM3(1)), (POPULD(1), COMDM6(1))    00005100
      COMPLEX BFACT                                         00005200
      CHARACTER SYMELM*4                                    00005300
C   EXTERNAL DBGPRN                                        00005400
      CALL CLOCKM (ITIME1)                                  00005500
      DO 111 IDD=1,51                                       00005600
        ENUEX(IDD)=0.0                                       00005700
        IDJMX(IDD)=0                                         00005800
111  CONTINUE                                              00005900
      NENOT=0                                               00006000
      REWIND 1                                              00006100
      REWIND 2                                              00006200
      AFAC=1.0                                              00006300
      JFAC=0                                                00006400
      FAC(1)=1.0                                            00006500
      IFAC(1)=0                                             00006600
      DO 100 I=1,300                                        00006700
        CM(I)=0.0                                           00006800
        IF(I .LE. 15) KM(I)=0                               00006900
        IF(I .GE. 100) GO TO 100                            00007000
        AFAC=AFAC*FLOAT(I)                                  00007100
        IF(AFAC .LT. 1.0E+3) GO TO 110                     00007200
        JFAC=JFAC+3                                         00007300
        AFAC=AFAC*1.0E-3                                    00007400
110  FAC(I+1)=AFAC                                         00007500
      IFAC(I+1)=JFAC                                        00007600
100  CONTINUE                                              00007700

```

	PMESH=0.25	00007800
	ROEXP=1.40	00007900
1000	NPAGE=0	00008000
	INELRP=0	00008100
	READ (5,10,END=9000) NISOTP,NOMLIZ,NOUTPT,NFOLLOW,TITLE	00008200
10	FORMAT(4I5,15A4)	00008300
	IF(NOMLIZ .EQ. 0)	00008400
1	READ (5,20) ENORM,SIGNRN,RATIO	00008500
20	FORMAT(8E10.4)	00008600
	M=NOUTPT	00008700
	IF(NOUTPT .LE. 0) M=11	00008800
	K=10000	00008900
	DO 120 J=1,5	00009000
	N=M/K	00009100
	JOUTPT(6-J)=N	00009200
	M=M-N*K	00009300
	K=K/10	00009400
120	CONTINUE	00009500
	IF(NOUTPT .GT. 0) GO TO 130	00009600
	IF(NOUTPT .LT. 0) END FILE 10	00009700
	NOUTPT=0	00009800
	REWIND 10	00009900
130	IDSK1=1	00010000
	IDSK2=2	00010100
	REWIND 3	00010200
	IF(NFOLLOW .GT. 0) INELRP=1	00010300
	IF(INELRP .EQ. 1) NFOLLOW=0	00010400
2000	IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 230	00010500
	IF(INELRP .EQ. 2) GO TO 210	00010600
	KDSK1=1	00010700
	KDSK2=0	00010800
	WRITE (IDSK1) KDSK1	00010900
	WRITE (IDSK2) KDSK2	00011000
210	REWIND 1	00011100
	REWIND 2	00011200
	READ (IDSK1) KDSK1	00011300
	READ (IDSK2) KDSK2	00011400
	IF(KDSK1 .GT. KDSK2) GO TO 220	00011500
	ID=IDSK1	00011600
	IDSK1=IDSK2	00011700
	IDSK2=ID	00011800
220	REWIND IDSK2	00011900
	KDSK=MAX0(KDSK1,KDSK2)+1	00012000
	WRITE (IDSK2) KDSK	00012100
230	DO 300 I=1,NISOTP	00012200
	J=0	00012300
	IF(NISOTP .GT. 1 .AND. INELRP .EQ. 2)	00012400
1	READ (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00012500
2	COMPIN,COMDM6	00012600
	IF(INELRP .NE. 2) GO TO 270	00012700
	IF(ICRITC .NE. 0) ENERGY(NLEVEL)=ECRITC	00012800
	NEMESH=NLEVEL-1+MIN0(1,ICRITC)	00012900
	DO 260 K=1,NEMESH	00013000
	IF (ELEVEL(K+1) .LE. 0.0) GO TO 260	00013100
	J=J+1	00013200
	IF (J .LT. NLEVEL) ENERGY(J)=ELEVEL(K+1)	00013300
	IF (K .EQ. NLEVEL) ENERGY(J)=ENERGY(K)	00013400
	IF (MESHIN .LE. 0) ENERGY(J)=ENERGY(J)*EMIN/EMRED	00013500
	IF(NCOMPT .EQ. 0) GO TO 260	00013600
	DO 150 L=1,IENERG	00013700
	M=IDENG(L)	00013800
	IF(ABS(ENERGY(J)-ENGYIN(M)) .LT. EPCLAS*ENERGY(J)) GO TO 190	00013900
	IF(ENGYIN(M) .GT. ENERGY(J)) GO TO 180	00014000
150	CONTINUE	00014100
	I1=IENERG-1	00014200
	GO TO 200	00014300
180	I1=L-1	00014400
	IF(L .EQ. 1) I1=L+1	00014500
	GO TO 200	00014600
190	COMPET(J)=COMPIN(M)	00014700
	GO TO 260	00014800
200	I2=IDENG(I1)	00014900
	COMPET(J)=COMPIN(M)+((COMPIN(M)-COMPIN(I2))*(ENERGY(J)-ENGYIN(M)))/	00015000
1	(ENGYIN(M)-ENGYIN(I2))	00015100
260	CONTINUE	00015200
	NEMESH=J	00015300
	IF(MESHIN .LE. 0) NEMESH=-NEMESH	00015400
	WRITE (6,999) NEMESH	00015500
999	FORMAT (5X,'MAIN NEMESH=',I5)	00015600

270	IF(INELRP .NE. 2) CALL INPUT	00015700
	IF(NPMFIX .EQ. 3) GO TO 280	00015800
	CALL PREPEN	00015900
	IF(NPMFIX .EQ. 1) GO TO 250	00016000
	CALL TRANCE	00016100
250	IF(NPMFIX .EQ. 2) GO TO 280	00016200
	K=INELRP	00016300
	CALL GAMTRN(I,K)	00016400
	IF(JOUTPT(4) .NE. 0 .AND. INELRP .NE. 2) CALL BRNCHD	00016500
280	IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 300	00016600
	WRITE (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00016700
1	COMPIN,COMDM6	00016800
300	CONTINUE	00016900
	J=1	00017000
340	IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 310	00017100
	REWIND 1	00017200
	REWIND 2	00017300
	READ (IDSK2) KDSK	00017400
	KDSK=KDSK-1	00017500
	WRITE (IDSK1) KDSK	00017600
310	SUM=0.0	00017700
	IF(INELRP .EQ. 2) GO TO 380	00017800
	DO 320 I=1,NISOTP	00017900
	IF(NISOTP .GT. 1)	00018000
1	READ (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00018100
2	COMPIN,COMDM6	00018200
	CALL RENORM (J,I)	00018300
	IF(NISOTP .GT. 1)	00018400
1	WRITE (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00018500
2	COMPIN,COMDM6	00018600
	IF(NOMLIZ .EQ. 0) SUM=SUM+FLOAT(NABUND)*SIGGAM/1000.0	00018700
320	CONTINUE	00018800
	IF(NOMLIZ .NE. 0) GO TO 350	00018900
	IF(ABS(SIGNRN-SUM) .LE. RATIO*SIGNRN) GO TO 350	00019000
	IF(J .GE. 20) GO TO 350	00019100
	IF(J .GE. 2) GO TO 290	00019200
	SUM0=SUM	00019300
	ACSFCT=1.0	00019400
	GO TO 390	00019500
290	ACSFCT=	00019600
1	ALOG(AMAX1(((SIGNRN-SUM)/(SUM-SUM0))*2,2.718281828))	00019700
390	J=J+1	00019800
	CO=(SIGNRN/SUM)**ACSFCT	00019900
	SUM0=SUM	00020000
	IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 240	00020100
	REWIND 1	00020200
	REWIND 2	00020300
	READ (IDSK1) KDSK	00020400
	KDSK=KDSK+1	00020500
	WRITE (IDSK2) KDSK	00020600
240	DO 330 I=1,NISOTP	00020700
	IF (NISOTP .GT. 1)	00020800
1	READ (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00020900
2	COMPIN,COMDM6	00021000
	RENFC(I)=CO*RENFC(I)	00021100
	IF (NISOTP .GT. 1)	00021200
1	WRITE (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00021300
2	COMPIN,COMDM6	00021400
330	CONTINUE	00021500
	GO TO 340	00021600
350	IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 380	00021700
	REWIND 1	00021800
	REWIND 2	00021900
	READ (IDSK1) KDSK	00022000
	KDSK=KDSK+1	00022100
	WRITE (IDSK2) KDSK	00022200
	DO 360 I=1,NISOTP	00022300
	READ (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00022400
1	COMPIN,COMDM6	00022500
360	WRITE (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00022600
1	COMPIN,COMDM6	00022700
	REWIND 1	00022800
	REWIND 2	00022900
	READ (IDSK2) KDSK	00023000
	KDSK=KDSK-1	00023100
	WRITE (IDSK1) KDSK	00023200
380	DO 500 I=1,NISOTP	00023300
	IF(NISOTP .GT. 1)	00023400
1	READ (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,	00023500
2	COMPIN,COMDM6	00023600

```

CALL INLIST(I)
IF(NOUTPT .LE. 0) CALL OUTMGT (1,0)
E=SEPAR
JJ=2.0*(SPINL(1)+SPIN)+0.1
IT=0
X=ENLDNS(E,JJ,3,1,IT)
IF(JJ .GT. 1) X=X+ENLDNS(E,JJ-2,3,1,1)
DO 510 J=1,IENTRC
JMAX=2.0*(SLMAX(J)+SPINL(1)+SPIN)+0.1
DO 410 JJ=JMIN,JMAX,2
JP=JJ/2+1
Y=RENFC(I)*ENLDNS(E,JJ,3,1,1)/(X*DNMCJO(JP,1))
TRGAM(J,JP,1)=TRGAM(J,JP,1)*Y
TRGAM(J,JP,2)=TRGAM(J,JP,2)*Y
410 CONTINUE
510 CONTINUE
IF(JOUTPT(2) .NE. 0) CALL OUTPT2
IF(NCASC .EQ. 0 .AND. JOUTPT(4) .EQ. 0) GO TO 420
DO 400 J=1,IENTRC
ECM=ECMX(J)
CALL CRSECT (1,J)
400 CONTINUE
DO 450 J=1,IENTRC
IF(INELRP .NE. 1 .OR. J .GT. IENERG) GO TO 430
ENGYIN(J)=ENERGY(J)
COMPIN(J)=COMPET(J)
430 IF(IDENTR(J) .EQ. 0) GO TO 450
ECM=ECMX(J)
IF(NCASC .NE. 0 .OR. JOUTPT(4) .NE. 0) CALL POPROB (J,I)
IF(JOUTPT(1) .NE. 0) CALL CRSECT(2,J)
IF(NOUTPT .GT. 0) GO TO 370
CALL OUTMGT (2,J)
370 IF(JOUTPT(4) .EQ. 0) GO TO 450
CALL SPECTG (I)
450 CONTINUE
IF(JOUTPT(3) .EQ. 0) GO TO 470
DO 460 J=1,IENERG
DO 440 K=2,LEVN
440 OUTNGN(LEVO,J)=OUTNGN(LEVO,J)+OUTNGN(K,J)
460 OUTSIN(LEVO,J)=SINELA(J)
CALL OUTPT3
470 IF(JOUTPT(1) .NE. 0) CALL OUTPT1
IF(INELRP .EQ. 1) MESHIN=NEMESH
IF(NISOTP .GT. 1)
1 WRITE (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,
2 COMPIN,COMDM6
IF(NOUTPT .LE. 0) CALL OUTMGT (3,0)
490 IF(NISOTP .GT. 1 .OR. INELRP .NE. 2) GO TO 500
INE=IABS(MESHIN)
DO 480 J=1,INE
COMPET(J)=COMPIN(J)
480 ENERGY(J)=ENGYIN(J)
500 CONTINUE
IF(INELRP .EQ. 2) NEMESH=MESHIN
IF(NISOTP .EQ. 1) GO TO 680
REWIND IDSK1
REWIND IDSK2
READ (IDSK1) K
K=K+1
WRITE (IDSK2) K
DO 520 I=1,8
DO 520 J=1,50
520 OUTNGN(I,J)=0.0
DO 600 I=1,NISOTP
READ (IDSK1) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,
1 COMPIN,COMDM6
IF(INELRP .EQ. 2) NEMESH=MESHIN
AB=FLOAT(NABUND)/1000.0
DO 550 J=1,IENTRC
IF(INELRP .NE. 2 .OR. J .GT. IABS(MESHIN)) GO TO 570
ENERGY(J)=ENGYIN(J)
COMPET(J)=COMPIN(J)
570 K=IDENTR(J)
IF(K .EQ. 0) GO TO 550

```

```

OUTNGN(1,K)=OUTNGN(1,K)+AB*SIGAMM(K)          00031100
OUTNGN(2,K)=OUTNGN(2,K)+AB*SINELA(K)         00031200
OUTNGN(3,K)=OUTNGN(3,K)+AB*SIGELC(K)         00031300
OUTNGN(4,K)=OUTNGN(4,K)+AB*REACT(J)          00031400
OUTNGN(5,K)=OUTNGN(5,K)+AB*SIGEL(J)         00031500
OUTNGN(6,K)=OUTNGN(6,K)+AB*(SIGEL(J)+SIGELC(K)) 00031600
DO 560 M=1,IENERG                             00031700
IF(ABS(ECMS(M)-ECMX(J)) .LT. EPCLAS*ECMS(M)) GO TO 530 00031800
560 CONTINUE                                   00031900
GO TO 540                                       00032000
530 OUTNGN(7,K)=OUTNGN(7,K)+AB*COMPET(IDENG(M)) 00032100
540 OUTNGN(8,K)=OUTNGN(8,K)+AB*(SIGEL(J)+REACT(J)) 00032200
550 CONTINUE                                   00032300
WRITE (IDSK2) KM,CM,COMDM1,COMDM2,COMDM3,STRFNC,MESHIN,ENGYIN,
1 COMPIN,COMDM6                                00032400
600 CONTINUE                                   00032500
NPAGE=NPAGE+1                                  00032600
WRITE (6,30) TITLE,NPAGE,SYMELM(NCHAGT)       00032700
30 FORMAT( 1H1/3X,15A4,45X,'PAGE',15//5X,'CROSS SECTIONS OF NATURAL 00032800
1',1X,A3,'(MILLI-BARNS)'/7X,'ENERGY(MEV)',6X,'CAPTURE',4X,'INELAST00032900
2IC',3X,'ELASTIC(C)',5X,'COMPOUND',3X,'ELASTIC(S)',6X,'ELASTIC',6X,00033000
3 'COMPETE',8X,'TOTAL'//)                    00033100
DO 650 I=1,IENTRC                             00033200
K=IDENR(I)                                     00033300
IF(K .EQ. 0) GO TO 650                        00033400
ECMLAB=ELAB(K)                                00033500
IF(NEMESH .GT. 0) ECMLAB=ECMS(K)             00033600
WRITE (6,50) ECMLAB,(OUTNGN(L,K),L=1,8)      00033700
650 CONTINUE                                   00033800
580 IF(INELRP .NE. 1) GO TO 700               00033900
INELRP=2                                       00034000
NFOLLW=1                                       00034100
IF(NOUTPT .GT. 0) GO TO 2000                 00034200
MTEMP1=NTEMP1                                  00034300
REWIND 10                                      00034400
NTEMP1=IABS(NTEMP1)+100                       00034500
GO TO 2000                                     00034600
50 FORMAT (5X,1P9E13.4)                       00034700
700 IF(INELRP .EQ. 0) GO TO 800              00034800
INELRP=0                                       00034900
IF(NOUTPT .LE. 0) NTEMP1=MTEMP1              00035000
800 CALL CLOCKM (ITIME2)                      00035100
TIME=FLOAT(ITIME2-ITIME1)/1000.0             00035200
ITIME1=ITIME2                                  00035300
WRITE (6,40) TIME                             00035400
40 FORMAT(1H0,5X,'RUNNING TIME .....',F8.2,2X,'SEC.') 00035500
GO TO 1000                                     00035600
9000 STOP                                     00035700
END                                             00035800

```

D-2 CASTHYコード (TRANSEルーチン)

```

SUBROUTINE TRANCE
COMMON /DTFIX/ NCHAGT,NMASST,NABUND,NLEVEL,NIMAG,NPROF,NFLCR, 00000100
1 NLEVCM,NCASCD,NEMESH,NLVDNT,NLVDNC,NPMFIX,NCOMPT,NTEMP1 00000200
COMMON /DTFLT/ EMTARG,EMIN,SEPAR,ROEXP,PMESH,RO,RI, 00000300
2 RS,RSO,TEMP1,AO,A1,B,ASO,TEMP2,V, 00000400
3 WI,WS,VSO,WSO,VE,WIE,WSE,IFAC,VSOE,WSOE, 00000500
4 VESQ,WIESQ,WSESQ,VSOESQ,WSOESQ,VSYM,ECRITC,RATIO,SPCTIN, 00000600
5 SPCCIN,ELESPN(30),DNPART,SPINCT,PAIRNT,CNORMT,EJOINT,DNPARC, 00000700
6 EGIANT,WGIANT,PARA1,PARA2,EXCHNG,EGBERM,WGBERM,SIGBM1,SIGBM2, 00000800
7 ECCRIT,TEMX(10),ENERGY(50),COMPET(50),TEMPDT(100) 00000900
COMMON /CMDATA/ A(10),CEK,CSPO,CPOTMA,EPLMA1,EPLMA2,EPWRFN, 00001000
1 EPCLAS,ENDATA(15),ENGAMR(50),HCENM,HBARC2,HALFAJ,PIE, 00001100
2 PIEE2,SPIN,SYMELM(105),U(10) 00001200
COMMON /COMNO1/AVEGME,CNPROF,CMESH,CMESH2,CMS12,DOBSCL,ECM, 00001300
1 EMRED,FCHAGT,FMASST,FACTSG,FISPIN,IENTRC,IENERG,IELEV,ICRITC, 00001400
2 IEGMAX,JMIN,JJMAX,JMAX,LMAXC,LMAX,LEV,LEVO,LEVN, 00001500
3 NPAGE,NMASSC,NINT,NINTG,NPARTY,NENOT,RRE,RIMI,RIMS, 00001600
4 RRSO,RMAT,RHOMA,SIGGAM,SSIGR,SIGELS,SJMAXO,TGMNCL,VRE, 00001700
5 VSPQ,VSymm,WDGMCL,WVNSQ,WIMI,WIMS,WKE1EN,WKE1WD,WSPQ, 00001800
6 SPCCEX,SPCTEX,CPTRT,SPINCG,SPINEC 00001900
COMMON /COMNO2/DNMCJO(50,10),ECMS(50),ECMX(65), 00002000
1 EMBAR(50),ELEVEL(40),ELAB(50),ENUEX(51), 00002100
2 FAC(100),IDENG(50),IDENR(65),IFAC(100), 00002200
3 JOUTPT(5),PSLMAX(32),PARITY(31),RENFCT(10), 00002300
4 REACT(65),SLMAX(65),SIGEL(65),SINELA(50), 00002400
5 SINELL(32),SIGAMM(50),SIGELC(50),SPCTGM(51), 00002500
6 SPINL(31),SPINRM(50,10),WVSQG(65),WIDGAM(65), 00002600
7 TITLE(15),TNRATE(65),CLEVEL(40),SPINC(31), 00002700
8 CPRITY(31) 00002800
COMMON /COMNO3/BFACT(30,2,65),TRGAM(65,30,2),TENN(30,2,65), 00002900
1 THGAM(30,2),THGAMD(30,2),BLCMS(40,50),SIGSP(50,2) 00003000
COMMON CENTFG(300),DPHI(2,2),ENEGW(65),F(31),FP(30),FT(31),G(31), 00003100
1 GP(30),GT(31),PHI(7,2,2),PHIJ(2,300),VRER(300),VSPOR(300), 00003200
2 WIMR(300),WSPOR(300),STRFNC(30,2,65),YETAR(30,2),YETAI(30,2), 00003300
3 ENGIN(50),COMPIN(50) 00003400
COMPLEX BFACT 00003500
DATA DUMMY/'TRANSE'/ 00003600
CHARACTER DUMMY*6,SYMELM*4 00003700
C CALCULATIONS OF NEUTRON TRANSMISSION COEFFICIENTS 00003800
CALL OFLOW(DUMMY,1) 00003900
LLMAX=0 00004000
LN=1 00004100
DO 1000 I=1,IENTRC 00004200
ECM=ECMX(I) 00004300
DO 50 L=1,30 00004400
DO 50 M=1,2 00004500
TENN(L,M,I)=0.0 00004600
50 STRFNC(L,M,I)=0.0 00004700
WVNSQ=EMRED*ECM/CEK 00004800
WVNO=SQRT(WVNSQ) 00004900
WVSQG(I)=WVNSQ 00005000
A13=FMASST*(0.33333333) 00005100
RRE=RO*A13 00005200
RIMI=RI*A13 00005300
RIMS=RS*A13 00005400
RRSO=RSO*A13 00005500
ECMSQ=ECM*ECM 00005600
DVRE=V+VE*ECM+VESQ*ECMSQ 00005700
DWIMI=WI+WIE*ECM+WIESQ*ECMSQ 00005800
DWIMS=WS+WSE*ECM+WSESQ*SQRT(ECM) 00005900
VSPQ=VSO+VSOE*ECM+VSOESQ*ECMSQ 00006000
WSPQ=WSO+WSOE*ECM+WSOESQ*ECMSQ 00006100
VSymm=VSym*(FMASST-2.0*FCHAGT)/FMASST 00006200
T1=EMRED/CEK 00006300
IF(ASO.EQ.0.0) GO TO 100 00006400
T2=T1*CSPO/ASO 00006500
VSPQ=VSPQ*T2 00006600
WSPQ=WSPQ*T2 00006700
100 VSymm=VSymm*T1 00006800
VRE=DVRE*T1 00006900
WIMI=DWIMI*T1 00007000
WIMS=DWIMS*T1 00007100
POTMAR=RRE+AO*CPOTMA+AO*ALOG(DVRE/ECM) 00007200
X=AMAX1(VSPQ,WSPQ) 00007300
IF(X.NE.0.0) X=RRSO+ASO*(CPOTMA+ALOG(2.0*X/WVNO)) 00007400
POTMAR=AMAX1(POTMAR,X) 00007500
00007600
00007700

```

	IF(NIMAG .LT. 3) GO TO 150	00007800
	POTMAI=RIMI+A1*CPOTMA+A1*ALOG(DWIMI/ECM)	00007900
	GO TO 200	00008000
150	POTMAI=POTMAR	00008100
200	GO TO (110,120,130,110,120),NIMAG	00008200
120	POTMAS=RIMS+B*CPOTMA+B*ALOG(4.0*DWIMS/ECM)	00008300
	GO TO 250	00008400
130	POTMAS=0.0	00008500
	GO TO 250	00008600
110	POTMAS=RIMS+B*SQRT(CPOTMA+ALOG(DWIMS/ECM))	00008700
250	RMAT=AMAX1(POTMAR,POTMAI,POTMAS)	00008800
	NINT=RMAT/PMESH+HALFAJ	00008900
	IF(NINT .GT. 297) NINT=297	00009000
	CMESH=RMAT/FLOAT(NINT)	00009100
	CMSH2=CMESH**2	00009200
	CMS12=CMSH2/12.0	00009300
	RHOMA=WVNO*RMAT	00009400
280	SSIGR=0.0	00009500
	SIGELS=0.0	00009600
	LMAXC=0.0	00009700
	CALL SPHBES	00009800
	CALL POTWEL	00009900
	DO 300 L=1,LMAX	00010000
	CALL INTEG (L)	00010100
	CALL ETASIG(L,1)	00010200
	GT(L)=G(L)	00010300
	FT(L)=F(L)	00010400
	IF(LMAXC .GT. 0) GO TO 350	00010500
300	CONTINUE	00010600
	EPLMA1=EPLMA1*100.0	00010700
	GO TO 280	00010800
350	LMAXI=LMAXC-1	00010900
	LLMAX=MAXO(LLMAX,LMAXI)	00011000
	EPLMA1=1.0E+6	00011100
	SLMAX(I)=FLOAT(LMAXI-1)	00011200
	IF(IDENTR(I) .NE. 0)	00011300
1	CALL ELEGND (J,FJ,M,FJ1,FL1,FJ2,FL2,X,Y,Z,B,I,LN,1)	00011400
	REACT(I)=SSIGR	00011500
	SIGEL(I)=SIGELS	00011600
	XR=RHOMA	00011700
	RHOMA=WVNO*ROEXP*RRE/RO	00011800
	IF(ROEXP .LE. 0.0) RHOMA=XR	00011900
380	CALL SPHBES	00012000
	IF(LMAX .GE. LMAXI) GO TO 400	00012100
	EPLMA1=EPLMA1*100.0	00012200
	GO TO 380	00012300
400	EPLMA1=1.0E+6	00012400
	DO 420 L=1,LMAXI	00012500
	FL=L-1	00012600
	Y=(FL+1.0)*TENN(L,1,I)	00012700
	IF(L .GT. 1) Y=Y+FL*TENN(L,2,I)	00012800
	Y=Y/(2.0*PIE*(2.0*FL+1.0))	00012900
	STRFNC(L,1,I)=Y*(G(L)**2+F(L)**2)/SQRT(ECM*1.0E+6)	00013000
	STRFNC(L,2,I)=Y*(GT(L)**2+FT(L)**2)/(2.0*XR)	00013100
420	CONTINUE	00013200
	RHOMA=XR	00013300
1000	CONTINUE	00013400
	JJMAX=(FLOAT(LLMAX)+SPINL(1)+SPIN+0.1)*2.0	00013500
	IF(IENTRC .EQ. 1) GO TO 2000	00013600
	DO 500 L=1,LLMAX	00013700
	DO 490 K=1,2	00013800
	IF(K .EQ. 2 .AND. L .EQ. 1) GO TO 490	00013900
	DO 450 I=1,IENTRC	00014000
	IF(TENN(L,K,I) .GT. EPCLAS) GO TO 460	00014100
450	CONTINUE	00014200
	I=IENTRC	00014300
460	IF(I .EQ. 1) GO TO 490	00014400
	II=I-1	00014500
	X1=ECMX(I)	00014600
	Y1=TENN(L,K,I)	00014700
	IF(I .LT. IENTRC) GO TO 470	00014800
	DO 510 I=1,II	00014900
510	TENN(L,K,I)=ECMX(I)**(ALOG(Y1)/ALOG(X1))	00015000
	GO TO 490	00015100
470	X2=ECMX(I+1)	00015200
	Y2=TENN(L,K,I+1)	00015300
	X3=X2	00015400
	Y3=Y2	00015500

	DO 520 I=1,II	00015600
	E=ECMX(I)	00015700
	520 TENN(L,K,I)=VINTPL(X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,E)	00015800
	490 CONTINUE	00015900
	500 CONTINUE	00016000
C		00016100
	2000 CALL OFLOW (DUMMY,2)	00016200
	RETURN	00016300
	END	00016400

D-3 CASTHYコード (MAINルーチン) の日本語文

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
100~300		コメント文
400~5400		宣言文
5500~6200		計算の為の変数群の初期化
6300		作業領域AFACの初期値は1.0である。
6400		作業領域JFACの初期値は0である。
6500~6600		$(i-1)!$ はFAC(i)かける10のIFAC(i)乗である。
6700		繰り返し指定文 (行番号100まで)
6800		スタックCM(i)の初期値は0.0である。 (i=1~300)
6900		スタックKN(i)の初期値は0である。 (i=1~15)
7000		繰り返し制御文 (行番号100へ進む)
7100		$i!$ は $(i-1)!$ と i の積である。
7200		FAC(i)の有効数字は3桁である。
7300		JFACの値を3増やす。
7400		AFACの値を1000で割った値を新たにAFACの値とする。
7500	110	FAC(i+1)の値はAFACの値である。
7600		IFAC(i+1)の値はJFACの値である。
7700	100	繰り返し制御文
7800		波動方程式を解くためのメッシュ幅の予測値は0.25である。
7900		中性子強度関数計算用の透過係数を求める際に用いる核半径パラメータのデフォルト値は1.40fmである。
8000	1000	出力シートのページ数を0にセットする。
8100		INELRPは0である。
8200		TITLEカードとNORMARIZATIONカードのデータを読み込む。
8300	10	FORMAT文
8400~8500		NOMLIZが0 (非放射性的な元素の $\sigma_{n,\gamma}(\text{EXP})(E_0)$ に規格化して $2\pi\Gamma_{\gamma} \cdot \text{obs}/\text{Dobs}$ を決定する場合の事) ならば, $E_0[\text{MeV}]$, $\sigma_{n,\gamma}(\text{EXP})(E_0)[\text{mb}]$, 許容誤差を読み込む。
8600	20	FORMAT文
8700		Mの初期値はNOUTPTの値である。
8800		NOUTPTの値が0または負であれば, Mの初期値は11である。
8900		Kの初期値は10000である。
9000		繰り返し指定文
9100		Nの値は, MをKで割った値である。
9200		OUTPT1~5のコール用制御の値は, Nの値から決定する。
9300		Mから $N \times K$ の値を引いて新たにMの値とする。
9400		Kを10でわり, 新たにKの値とする。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
9500	120	繰り返し制御文
9600		NOUTPTの値が正ならば、ディスクの設定の準備を行う。
9700		NOUTPTの値が負ならば、装置10のファイルは終了である。
9800		NOUTPTの値を新たに0とする。
9900		装置10のファイルに戻す。
10000	130	IDSK1の値は1である。
10100		IDSK2の値は2である。
10200		装置3のファイルに戻す。
10300		NFOLLWの値が正ならば、INELRPの値は1である。
10400		INELRPの値が1ならば、NFOLLWの値を新たに0とする。
10500	2000	NISOTPの値が1ならば、ディスク設定は終了。(相対行番号10600～12100がディスク設定)
10600		INELRPの値が2ならば、相対行番号10700～11000の処理は行わない。
10700		KDSK1の値は1である。
10800		KDSK2の値は2である。
10900		IDSK1の示すディスクにKDSK1の値を書き込む。
11000		IDSK2の示すディスクにKDSK2の値を書き込む。
11100	210	装置1のファイルに戻す。
11200		装置2のファイルに戻す。
11300		IDSK1の示すディスクからKDSK1を読み込む。
11400		IDSK2の示すディスクからKDSK2を読み込む。
11500		KDSK1の値がKDSK2の値より大きければ、相対行番号11600～11800の処理は行わない。
11600～11800		IDSK1の値とIDSK2の値を交換する。
11900		IDSK2の示す装置のファイルに戻す。
12000		KDSKの値は、KDSK1とKDSK2の値の大きい方の値よりも1大きい。
12100		IDSK2の示すディスクに、KDSKの値を書き込む。
12200	230	繰り返し指定文(行番号300まで)
12300		Jの値は0である。
12400～12600		もしも、NISOTPの値が1以上で、INELRPの値が2に等しいならば、IDSK1の示すディスクから、1回目のデータを読み込む。
12700		もしも、INELRPの値が2でないならば、行番号270へ進む。
12800		もしもオーバーラッピング・レベルを含む場合には、標的核の離散レベル数(エネルギーポイント番号)に対応する入射中性子のエネルギー(MeV)として残留状態(residual states)をオーバーラッピング・レベルとみなす下限値ECRITCの値を与える。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
12900		入射中性子エネルギーの入力数については、標的核の離散レベル数から1をひいた値と、オーバーラッピング・レベルについての制御を行う値ICRITCと1の小さい方の値との和によって与えられる。
13000		繰り返し指定文（行番号260まで）
13100		Kの値に1を加えた値に相当するレベルでの標的核の離散レベルのエネルギー [MeV] が0.0以下ならば行番号260へ進む。
13200		Jの値に1を加えて新たにJの値とする。
13300		Jの値が標的核のレベル数より小さければ、Jの値のエネルギーポイント数に対する入射中性子エネルギー [MeV] は、Kの値に1を加えたレベルの標的核の離散レベルのエネルギー [MeV] によって与えられる。
13400		Kの値が標的核のレベル数に等しければ、Jの値のエネルギーポイント数に対する入射中性子エネルギー [MeV] は、Kの値の示すレベルの標的核の離散レベルのエネルギー [MeV] によって与えられる。
13500		同一同位体の2回目のランのための入射中性子エネルギーの入力数を与えるスタックにより、重心系で与えられないものと指定されているならば、Jの値のエネルギーポイント数に対する入射中性子エネルギー [MeV] は、同じJに対する標的核の離散レベルのエネルギー [MeV] に、入射中性子の質量 [a.m.u] をかけて中性子の換算質量 [a.m.u] でわった値で与えられる。
13600		競争過程を考慮しない場合には、行番号260へ進む。
13700		繰り返し指定文（行番号150まで）
13800		Mの値として入射中性子エネルギーの入力値でL番目に小さいあたりのエネルギーポイント番号を与える。
13900		Jの値が示すエネルギーポイント番号の入射中性子エネルギーの入力値と、Mの値が示す同一同位元素の1回目のランの入射中性子エネルギーのスタックとの差の絶対値が、前者に10の-16乗をかけた値よりも小さいならば行番号190へ進む。
14000		Mの値が示すエネルギーポイント番号の同一同位元素1回目のランの入射中性子エネルギーのスタックが、Jの値が示す入射中性子エネルギーの入力値よりも大きければ、行番号180へ進む。
14100	150	繰り返し制御文
14200~14300		I1の値として、入射中性子エネルギーの入力数から1を引いた値を与え、行番号200へ進む。
14400	180	I1の値としてLの値から1引いたものを与える。
14500		Lの値が1の場合は、I1の値として2を与える。
14600		行番号200へ進む。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
14700~14800	190	エネルギーポイント番号がJの値に相当する、CASTHYコードで計算できない競争過程の断面積の和 $\Delta\sigma$ に対して、エネルギーポイント番号がMの値に相当する同一同位体の1回目のランでのスタック値を与え、行番号260へ進む。
14900	200	I2の値として入射中性子エネルギーの入力値でI1番目に小さい値に対応するエネルギーポイント番号を与える。
15000~15100		同一同位体の1回目のランで使用した競争過程の断面積COMPINを用いて、Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和 $\Delta\sigma$ を内挿する。
15200		繰り返し制御文
15300		Jの値を入射中性子エネルギーの入力数として与える。
15400		同一同位体の2回目のランのための入射中性子エネルギーの入力数スタックの値が負または0ならば、その値の符号を反転して与えなおす。
15500		入射中性子エネルギーの入力数の値を出力する。
15600	999	FORMAT文
15700	270	INELRPの値が2でなければ（同一同位体の2回目のランでなければ）、入力データを読み込む。
15800		透過係数 $T_I(j)$ 及び T_γ を固定する場合には行番号280へ進む。
15900		各計算の準備計算を行う。
16000		透過係数 $T_I(j)$ を固定する場合には、行番号250へ進む。
16100		透過係数 $T_I(j)(E)$ 、 σ_c 、 $\sigma_{el.s}$ 、および中性子強度関数 $S_I(E)$ の計算を行う。
16200		透過係数 T_γ を固定する場合には行番号280へ進む。
16300		INELRPの値をKの値に与える。
16400		γ 線透過係数 $T_{\gamma W}(E)$ 及びガンマ幅の計算を行う。
16500		JOUTPT(4)の値が0でなく、同一同位体の2回目のランでない場合— γ 線スペクトルを出力する場合—には、離散レベルの分岐比率の計算を行う。
16600	280	NISOTPの値が1ならば行番号300へ進む。
16700~16800		IDSK2が示すディスクへ計算結果を出力する。
16900	300	繰り返し制御文
17000		変数Jに1を代入する。
17100	340	NISOTPの値が1ならば行番号310へ進む。
17200		装置1のファイルに戻す。
17300		装置2のファイルに戻す。
17400		IDSK2の示すファイルからKDSKの値を読み込む。
17500		KDSKの値から1をひき、新たにKDSKの値とする。
17600		IDSK1の示すファイルに、KDSKの値を書き込む。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
17700	310	SUMの初期値は0.0である。
17800		INELRPの値が2ならば、行番号380へ進む。
17900		繰り返し指定文（行番号320まで）
18000～18200		NISOTPの値が1より大きいならば、IDSK2の示すディスクよりデータを読み込む。
18300		入力された規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ を用いて断面積の再規格化を行う。
18400～18600		NISOTPの値が1より大きいならば、IDSK1の示すディスクに計算結果を出力する。
18700		$2\pi \Gamma \gamma .obs/Dobs$ の決定方法の制御が『非放射核の規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ に規格化』であれば、SUMの値に、 $\Gamma \gamma$ を断面積から求めるときの $\sigma n. \gamma (CAL)(EO)$ と同位体の存在度をかけたものを加えて新たにSUMの値とする。
18800	320	繰り返し制御文
18900		$2\pi \Gamma \gamma .obs/Dobs$ の決定方法の制御が『同位体ごとに規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ に規格化』であれば、行番号350へ進む。
19000		規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ とSUMの値の差が許容誤差内に収まる（すなわちSUMの値が収束している）ならば、行番号350へ進む。
19100		Jの値が20以上ならば、行番号350へ進む。
19200		Jの値が2以上ならば、行番号290へ進む。
19300		SUM0にSUMの値を代入する。
19400		ACSFCTの値を1.0とする。
19500		行番号390へ進む。
19600～19700	290	規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ とSUMの値の差をSUMの値とSUM0の値の差でわった値の2乗と $e(=2.718281828)$ の大きい方の値の自然対数を取り、ACSFCTの値とする。
19800	390	Jの値に1を加え、新たにJの値とする。
19900		規格化用 $\sigma n. \gamma (EXP)(EO)$ をSUMの値でわったものをACSFCT乗した値がC0に代入される。
20000		SUMの値をSUM0に代入する。
20100		NISOTPの値が1ならば、行番号240へ進む。
20200		装置1のファイルに戻す。
20300		装置2のファイルに戻す。
20400		IDSK1の示すファイルから、KDSKの値を読み込む。
20500		KDSKの値に1を加え、新たにKDSKの値とする。
20600		IDSK2の示すファイルにKDSKの値を書き込む。
20700	240	繰り返し指定文（行番号330まで）

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
20800~21000		NISOTPの値が1より大きければ、IDSK1の示すファイルよりデータを読み込む。
21100		T γ の規格化定数C0mにC0の値をかけて、新たにC0mの値とする。
21200~21400		NISOTPの値が1より大きければ、IDSK2の示すファイルへ結果を書き出す。
21500	330	繰り返し制御文
21600		行番号340へ進む。
21700	350	NISOTPの値が1ならば、行番号380へ進む。
21800		装置1のファイルに戻す。
21900		装置2のファイルに戻す。
22000		IDSK1の示すファイルからKDSKの値を読み込む。
22100		KDSKの値に1を加え、新たにKDSKの値とする。
22200		IDSK2の示すファイルにKDSKの値を書き込む。
22300		繰り返し指定文(行番号360まで)
22400~22500		IDSK1の示すファイルからデータを読み込む。
22600~22700	360	IDSK2の示すファイルへデータを書き込む。
22800		装置1のファイルに戻す。
22900		装置2のファイルに戻す。
23000		IDSK2の示すファイルからKDSKの値を読み込む。
23100		KDSKの値から1をひき、新たにKDSKの値とする。
23200		IDSK1の示すファイルへKDSKの値を書き込む。
23300	380	繰り返し指定文(行番号500まで)
23400~23600		NISOTPの値が1より大きければ、IDSK2の示すファイルから1回目のランのデータを入力する。
23700		入力データの出力を行う。
23800		NOUTPTの値が0もしくは負ならば、入力データ及び計算結果を磁気テープに入れる。
23900		Eに中性子分離エネルギーBnを代入する。
24000		標的核の離散レベルのスピンの(レベル番号1)に中性子のスピン(=1/2)の値を加えたものを2倍して0.1を加えた値をJJの値とする。
24100		ITの値を0とする。
24200		レベル密度 $\rho(U)$ の計算を行い、値をXに代入する。
24300		JJの値が1より大きければ再度レベル密度 $\rho(U)$ の計算を行いXの値を修正する。
24400		繰り返し指定文(行番号510まで)
24500		エネルギーポイント番号がJであるImaxと標的核の離散レベルのスピンの(レベル番号1)及び中性子のスピン(=1/2)を加えた値の2倍に0.1を加えた値をJMAXに代入する。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
24600		繰り返し指定文(行番号410まで)
24700		JPをJJ/2+1とおく.
24800		$T\gamma$ の規格化定数 C_{0w} とレベル密度 $\rho(U)$ 及び $\Sigma[0\sim Bn]d\epsilon\gamma\epsilon 3\gamma f$ $\gamma(\epsilon\gamma)\rho c(Bn-\epsilon\gamma)$ の値(DNMCJO)から C_{0w} を再設定する.
24900~25000		求まった C_{0w} を使用してTRGAM(J,JP,1)を再設定する.
25100	410	繰り返し制御文
25200	510	繰り返し制御文
25300		JOUTPT(2)の値が0でなければ σ_{tot} , $\sigma_{el.s}$, σ_c , $Tl(j)$, ガンマ幅 及び中性子強度関数の出力を行う.
25400		カスケード過程を近似で扱い, JOUTPT(4)の値が0である場合には行 番号420へ進む.
25500		繰り返し指定文(行番号400まで)
25600		エネルギーポイント番号Jにおける Tl_j 計算用 E_n を入射中性子のエネ ルギー E_n [MeV]とする.
25700		変形透過係数 Θ_{nljw} , $\sigma_{n.n}$, $\sigma_{n.\gamma}$, $\sigma_{el.c}$ の断面積を計算する.
25800	400	繰り返し制御文
25900	420	繰り返し指定文(行番号450まで)
26000		INELRPの値が1でないか, Jの値が入射中性子エネルギー E_n の入力数 より多い場合行番号430へ進む.
26100		同一同位元素の1回目のランの時の中性子の入射エネルギーの入力値 [MeV]をスタックへ移す.
26200		同一同位元素の1回目のランの時のCASTHYで計算できない競争過程の 断面積の和 $\Delta\sigma$ をスタックへ移す.
26300	430	入射中性子のエネルギーについて, エネルギーポイント番号Jに対す る E_n の重心系での値と Tl_j 計算用の値が近い値をとらない場合行番号 450へ進む.
26400		エネルギーポイント番号Jにおける Tl_j 計算用 E_n を入射中性子のエネ ルギー E_n [MeV]とする.
26500		カスケード過程を正しく扱う, もしくはJOUTPT(4)の値が0でない場 合, 分布密度の計算を行う.
26600		JOUTPT(1)の値が0でない場合, 変形透過係数 Θ_{nljw} , $\sigma_{n.n}$, $\sigma_{n.\gamma}$, $\sigma_{el.c}$ の断面積の計算を行う.
26700		NOUPTの値が正ならば行番号370へ進む.
26800		入力データ及び計算データを磁気テープへ入れる.
26900	370	JOUTPT(4)の値が0ならば, 行番号450へ進む.
27000		ガンマ線スペクトルの計算をする.
27100	450	繰り返し制御文
27200		JOUTPT(3)の値が0ならば行番号470へ進む.

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
27300		繰り返し指定文 (行番号460まで)
27400		繰り返し指定文 (行番号440まで)
27500	440	LEVOの値に対する存在度による断面積の荷重和をKの値に対するそれに基づき修正する.
27600	460	エネルギーポイント番号Jの非弾性散乱断面積 σ_{in} をOUTSIN(LEVO, J)の値とする.
27700		離散及び連続レベルの $\sigma_{in}(j)(E)$, $\sigma_{in(over)}$ 及び σ_{in} の出力を行う.
27800	470	JOUTPT(1)の値が0でなければ, $\sigma_{n.\gamma}$, σ_{el} , $\sigma_{n.n}$, σ_c , σ_{tot} , μ , $\sigma_{in.s}$, $\sigma_{in.p}$ の出力を行う.
27900		INELRPの値が1ならば, 入射中性子エネルギーの入力数を, 同一同位体の2回目のランのためのスタックへ移す.
28000~28200		NISOTPの値が1より大きければ, IDSK1の示すファイルからデータを読み込む.
28300		NOUTPTの値が0または負ならば, 入力データ及び計算結果を磁気テープへ入れる.
28400	490	NISOTPの値が1より大きいか, INELRPの値が2でない場合には行番号500へ進む.
28500		スタックMESHINの値の絶対値をとり, INEの値とする.
28600		繰り返し指定文 (行番号480まで)
28700		エネルギーポイント番号Jにおける同一同位元素の1回目のランでのCASTHYで計算できない競争過程の断面積の和 $\Delta\sigma$ のスタック値を元のCOMPET(J)へ移す.
28800	480	エネルギーポイント番号Jにおける同一同位元素の1回目のランでの入射中性子エネルギーの入力値のスタック値を元のENERGY(J)へ移す.
28900	500	繰り返し制御文
29000		INELRPの値が2ならば入射中性子エネルギーの入力数のスタック値をNEMESHに移す.
29100		NISOTPの値が1ならば, 行番号680へ進む.
29200		IDSK1の示すファイルに戻す.
29300		IDSK2の示すファイルに戻す.
29400		IDSK1の示すファイルからKの値を読み込む.
29500		Kの値に1を加え, 新たにKの値とする.
29600		IDSK2の示すファイルへKの値を書き込む.
29700		繰り返し指定文 (行番号520まで)
29800		繰り返し指定文 (行番号520まで)
29900	520	存在度による断面積の荷重和を0.0に設定する.
30000		繰り返し指定文 (行番号600まで)

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
30100~30200		IDSK1の示すファイルから前回のランの結果を入力する。
30300		INELRPの値が2ならば、入射中性子エネルギーの入力数のスタック値をNEMESHへ移す。
30400		同位体の存在度をABに与える。
30500		繰り返し指定文（行番号550まで）
30600		INELRPの値が2でないか、もしくはJの値が入射中性子エネルギーの入力数スタック値の絶対値より大きければ、行番号570へ進む。
30700		同一同位元素の1回目のランの入射中性子エネルギー入力値[MeV]のスタック値をENERGY(J)へ戻す。
30800		同一同位元素の1回目のランの競争過程断面積の和 $\Delta\sigma$ のスタック値をCOMPET(J)へ戻す。
30900	570	入射中性子エネルギー E_n に対応するT γ J計算用 E_n のエネルギーポイント番号をKに与える。
31000		Kが0（ E_n の重心系での値とT γ J計算用 E_n の値がほぼ等しい）ならば、行番号550へ進む。
31100~31600		同位体ごとの断面積を一般値（natural）に変換し、存在度による断面積の荷重和として与える。
31700		繰り返し指定文（行番号560まで）
31800		エネルギーポイント番号JでのT γ J計算用 E_n が E_n の重心系での値に十分近づいていれば、行番号530へ進む。
31900	560	繰り返し制御文
32000		行番号540へ進む。
32100~32200	530	同位体ごとの断面積を一般的（natural）な断面積に変換し、存在度
	540	による断面積の荷重和として与える。
32300	550	繰り返し制御文
32400~32500		IDSK2の示すファイルへ結果を出力する。
32600	600	繰り返し制御文
32700		ページカウントを1回入れる。
32800		プリンタにタイトル、ページ、元素記号を出力する。
32900~33200	30	FORMAT文
33300		繰り返し制御文
33400		入射中性子エネルギー E_n に対応するT γ J計算用 E_n のエネルギーポイント番号をKに与える。
33500		Kの値が0（ E_n の重心系での値とT γ J計算用 E_n の値がほぼ等しい）の場合、行番号650へ進む。
33600		エネルギーポイント番号Jに対する E_n の実験室系での値をECMLABに与える。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
33700		入射中性子エネルギーの入力数を重心系で与える場合には、重心系での E_n の値をECMLABに与える。
33800		プリンタにECMLABの値と存在度による断面積の荷重和を出力する。
33900	650	繰り返し制御文
34000	680	INELRPの値が1でないならば、行番号700へ進む。
34100		INELRPの値を2とおく。
34200		NFOLLOWの値を1とおく。
34300		NFOLLOWの値が正ならば、行番号2000へ進む。
34400		MT格納データのID番号をMTEMP1に与える。
34500		装置10のファイルを戻す。
34600		MT格納データのID番号の絶対値に100を加えて、ID番号を与え直す。
34700		行番号2000へ進む。
34800	50	FORMAT文
34900	700	INELRPの値が0ならば、行番号800へ進む。
35000		INELRPの値を0とおく。
35100		NOUTPTの値が0または負ならば、MTEMP1の値をMT格納データのID番号とする。
35200	800	計時する。
35300		処理にかかった時間を算出する。
35400		ITIME1を設定する。
35500~35600	40	処理時間をプリンタに出力する。
35700		行番号1000へ進む。
35800~35900	9000	終了

D-4 CASTHYコード (TRANCLルーチン) の日本語文

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
100~3900		宣言文, データ文
4000		(コメント文) このルーチンは中性子の透過係数を計算します.
4100		オーバー・フローおよびゼロ割の検出を行う.
4200		軌道量子数の最大値をゼロに設定する.
4300		LNの値を1に設定する.
4400		繰り返し指定文 (行番号1000まで)
4500		中性子エネルギーを設定する.
4600~4700		繰り返し指定文 (行番号50まで)
4800~4900	50	中性子透過係数と中性子強度関数を, その変数 (軌道量子数とスピン量子数) について初期化する.
5000~5200		中性子の換算質量と入射エネルギーから, 中性子の波数を計算する.
5300~5700		標的核の質量数から, 光学ポテンシャル各項について形状関数の各半径パラメータを計算する.
5800~6400		光学ポテンシャルの深さは, 中性子エネルギーの二次形式で表現される. 入力された二次形式パラメータと中性子エネルギーとから, 光学ポテンシャルの深さを計算する.
6500~6900		この計算は, ポテンシャルの実数部, 虚数部 (内部項・表面項), スピン軌道相互作用の各項についてなされる.
7000~7300	100	実数部には, アイソ・スピン相互作用を示す対称項を含む. 光学ポテンシャルは, ①形状を与える関数, ②ポテンシャル井戸の深さを与えるパラメータから表現されている.
7400~8700	150 200,120 130,110	中性子エネルギーとポテンシャルの比が10のマイナス4乗になる点をマッチング半径とする. つまり, 入射エネルギーに対して, ポテンシャルの効果が無視できるような点をいう.
8800~9400	250	このマッチング半径を, 光学ポテンシャルの実数部, 虚数部, スピン軌道部について, それぞれ計算し, その最大値を光学ポテンシャルのマッチング半径とする. そして, 入射中性子の波動方程式を $\nabla^2\psi + \text{GOODWIN}$ の方法で解くために使う動径変数のメッシュサイズを, マッチング半径から求める. メッシュ数の上限は, $300-3=297$ としてある.

これから, 波動関数の計算にはいる. 波動方程式を解いて, 波動関数を離散的に求める (変数は角運動量). そして, マッチング半径付近の値を用いて, その点の波動関数を決定する.

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
9500~9700	280	まず、反応断面積・形状弾性散乱断面積を初期化する。また、断面積の計算に用いる軌道量子数の上限を初期化する。これは、断面積の収束判定のためである。
9800~9900		原子核の透過能が、波動関数の絶対値に反比例することから、球ノイマン関数に対して、軌道量子数の上限を決定する。マッチング半径における球ノイマン関数と球ベッセル関数を、その漸化式から計算する。そして、軌道量子数の上限を決定する。
10000		繰り返し指定文（行番号300まで）
10100~10200		光学ポテンシャルをメッシュごとに与える。光学ポテンシャルを使って、波動方程式をFOX・GOODWINの方法で解く。各量子数について、中性子の波動関数を計算する。得られた波動関数を、球ノイマン関数・球ベッセル関数を使って展開し、進行波と逆行波の位相のずれを計算する。位相のずれより、中性子透過係数を計算する。そして、中性子透過係数から反応断面積と形状弾性散乱断面積を求める。
10300~10400		理論計算に使った球ノイマン関数・球ベッセル関数を記録する。
10500~10800	300	断面積が収束していない場合には、軌道量子数の上限を拡張して再度計算する。
10900~11200	350	収束したら、軌道量子数の上限を記録し、各断面積を記録する。
これから、微分断面積の角度分布と平均散乱角を計算する。		
11300~11400		実験室系と質量中心系とのエネルギーの対応がとれる場合、微分反応断面積と微分弾性散乱断面積の角度分布をルジャンドル係数として与える。なお、微分反応断面積についてはMoldauerの公式を用いる。
これから、中性子強度関数を計算する。		
11500~11900		実験に基づいた核半径パラメータをもちいて、マッチング半径を計算する。
12000~12300	380	これを使って球ノイマン関数と球ベッセル関数を計算する。このとき理論計算の軌道量子数の上限を下回らないようにする。
12400~13400	400	理論・実験の双方のデータを用いて、軌道量子数の上限までの中性子強度関数を計算する。（スピン自由度についても計算する。）
	420	
	1000	して、結果を記録する。全角運動量の上限を記録する。

相対行番号	行番号	プログラムに対応する日本語文
13500~16000	450	各量子数について、中性子透過係数が10のマイナス16乗より小さい
	460,510	場合、以下の処理を行う。エネルギーの対数と透過係数の対数とが
	470,520	ほぼ比例関係にあるとして、その点の透過係数を求める。(外挿に
	490,500	よって求める。)
16100		(空白行)
16200	2000	(計算後の処理)数値計算の信頼性を高める。
16300~16400		終了

付録E 辞書拡張による翻訳結果の影響

以下、ATLAS II 基本用語辞書のみを使用した場合と、加えて技術用語辞書を使用した場合、さらに私用辞書をも使用した場合の訳の影響を対比させて示す。

原文	基本辞書のみ	(プラス) 技術辞書	(プラス) 私用辞書
(I-1) の階乗は $FAC(I) \exp I FAC(I)$ である。	The floor multiplication is $FAC(I) \exp I FAC$ of (I-1) (I).	The floor multiply is $FAC(I) \exp I FAC$ of (I-1) (I).	The factorial is $FAC(I) \exp I FAC$ of (I-1) (I).
(I-1) の階乗を $FAC(I) \exp I FAC(I)$ の形で表現する。	The floor multiplication is expressed by the shape of $FAC(I) \exp I FAC(I)$ about (I-1).	The floor multiply is represented by the form of $FAC(I) \exp I FAC(I)$ about (I-1).	The factorial is represented by the form of $FAC(I) \exp I FAC(I)$ about (I-1).
$FAC(I) \exp I FAC(I)$ は (I-1) の階乗を意味する。	The floor multiplication of $FAC(I) (I-1)$ is meant.	The floor multiply of $FAC(I) \exp I FAC(I) (I-1)$ is meant.	The factorial of $FAC(I) \exp I FAC(I) (I-1)$ is meant.
もしも、オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) として、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値を与える。	If, the value of lower bound value ECRITC which regards the state of remaining as the incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the break-up level of the target nucleus when contain o-ba-rappingureberu as o-ba-rappingu-	If, the value of lower bound value ECRITC which regards the residual state as the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus as the excess wrapping level is given to the ex-	If, the value of lower bound value ECRITC which regards the residual states as the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus as the overlapping level is given to the overlapping level in-

原文	基本辞書のみ	(プラス) 技術辞書	(プラス) 私用辞書
<p>オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) として、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値を与える。</p>	<p>reberu is given.</p> <p>The value of lower bound value ECRITC which regards the state of remaining as the incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the break-up level of the target nucleus when contain o-ba-rappingureberu as o-ba-rappingureberu is given.</p>	<p>cess wrapping level involve scene combination.</p> <p>The value of lower bound value ECRITC which regards the residual state as the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus as the excess wrapping level is given to the excess wrapping level involve scene combination.</p>	<p>volve scene combination.</p> <p>The value of lower bound value ECRITC which regards the residual states as the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus as the overlapping level is given to the overlapping level involve scene combination.</p>
<p>オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) に、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値を与える。</p>	<p>The incidence neutron energy (MeV) which regards the state of remaining as o-ba-rappingureberu is given to the incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the break-up level of the target nucleus when contain o-ba-rappingureberu.</p>	<p>The value of lower bound value ECRITC which regards the residual state as the excess wrapping level is given to the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus in the excess wrapping level involve</p>	<p>The value of lower bound value ECRITC which regards the residual states as the overlapping level is given to the incident neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus in the overlapping level involve scene combination.</p>

原文	基本辞書のみ	(プラス) 技術辞書	(プラス) 私用辞書
<p>オーバーラッピングレベルを含む場合には、標的核の離散レベル数に対応する入射中性子エネルギー (MeV) を、残留状態をオーバーラッピングレベルと見なす下限値 ECRITC の値で与える。</p>	<p>The incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the break-up level of the target nucleus when contain o-ba-rappingureberu is given by the value of lower bound value ECRITC which regards the state of remaining as o-ba-rappingureberu.</p>	<p>scene combination. The incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of the discrete level of the target nucleus is given to the excess wrapping level involve scene combination by the value of lower bound value ECRITC which regards the residual state as the excess wrapping level.</p>	<p>The incidence neutron energy (MeV) which corresponds to the number of discrete level of the target nucleus is given to the overlapping level involve scene combination by the value of lower bound value ECRITC which regards the residual states as the overlapping level.</p>
<p>同一同位体での第 1 回目実行時に使用した競争過程の断面積 COMPIN を用いて、J の値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を内挿する。</p>	<p>*** TIME OVER *** 同一【形動】 同【接頭】 位【名】 体【名】 での【助】 第【接頭】 1【数】 回【単】 実行【サ名】 時【名】 に【助】 使用【サ名】 した【尾】 競争【サ名】 過程【名】 の【助】 断面積【名】 COMPIN【名】 を【助】 用い【動】 て【助】 、 J【記】 の【助】 値【名】 が【助】 示【動】 す【尾】 エネルギー【名】 -【付】 ポイント【名】 番号【名】 に【助】 対応【サ名】 する【尾】 断面積【名】 の【助】 和【サ名】 を【助】 内【名】 挿する【未】 。 ”和を” の係り先がありません。</p>	<p>The sum of the cross section which corresponds to the energy point number shown by the value of J by using cross section COMPIN of the competing process used when the first times were activated in the same isotope is interpolated.</p>	

原文	基本辞書のみ	(プラス) 技術辞書	(プラス) 私用辞書
<p>同一同位体での第1回目実行時に使用した競争過程の断面積COMPINを用いて、Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を補間する。</p>	<p>The harmony of the crosssectional which corresponds to the energy point number shown by the value of J by using crosssectional COMPIN of the competing process used when the first times were executed in the body of the same place the same is interpolated.</p>	<p>The harmony of the cross-sectional area which corresponds to the energy point number shown by the value of J by using cross-sectional area COMPIN of the competing process used when the first times were activated in the same isotope is interpolated.</p>	<p>The sum of the cross section which corresponds to the energy point number shown by the value of J by using cross section COMPIN of the competing process used when the first times were activated in the same isotope is interpolated.</p>
<p>Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を、同一同位体での第1回実行時に使用した競争過程の断面積COMPINを用いて内挿する。</p>	<p>*** TIME OVER *** J【記】 の【助】 値【名】 が【助】 示【動】 す【尾】 エネルギー【名】 ー【付】 ポイント【名】 番号【名】 に【助】 対応【サ名】 する【尾】 断面積【名】 の【助】 和【サ名】 を【助】 、同一【形動】 同【接頭】 位【名】 体【名】 での【助】 第【接頭】 1【数】 回【単】 実行【サ名】 時【名】 に【助】 使用【サ名】 した【尾】 競争【サ名】 過程【名】 の【助】 断面積【名】 COMPIN【名】 を【助】 用い【動】 て【助】 内【名】 挿する【未】 。 ”用いて” の係り先がありません。</p>		<p>Interpolate by using cross section COMPIN of the competing process by which the sum of the cross section which corresponds to the energy point number shown by the value of J was used when the first times were activated in the same isotope.</p>
<p>Jの値が示すエネルギーポイント番号に対応する断面積の和を、同一同位体での</p>	<p>Crosssectional COMPIN of a competing process by which the harmony</p>	<p>Cross-sectional area COMPIN of the competing process by which the har-</p>	<p>Cross section COMPIN of the competing process by which the sum of the cross</p>

原文	基本辞書のみ	(プラス) 技術辞書	(プラス) 私用辞書
<p>第1回実行時に使用した競争過程の断面積COMPINで内挿する。</p>	<p>of the cross-sectional which corresponds to the energy point number shown by the value of J was used when the first times were executed in the body of the same place the same and are 挿する inside.</p>	<p>mony of the cross-sectional area which corresponds to the energy points number shown by the value of J was used when the first times were activated in the same isotope and are 挿する inside.</p>	<p>section which corresponds to the energy point number shown by the value of J was used when the first times were activated in the same isotope interpolated.</p>