JAERI-M
83-169

フォールト・ツリー解析コードシステム :FTA-J使用手引

１９８３年11月

石神　努・渡辺　憲夫・樋川　道弘*
金木　弘*・堀井　英雄**・佐々木　忍

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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。
入手の問合わせは，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 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㈱

JAERI－M 83－169

フォールト・ツリー解析コードシステム：FTA－J使用手引

日本原子力研究所東海研究所安全解析部
石神　努・渡辺憲夫・樋川道弘*
金木　弘*・堀井英雄**・佐々木忍

（1983年9月29日受理）

本報告書は，首尾一貫してフォールト・ツリー解析を実行できる計算コードシステムFTA－J（Fault Tree Analysis－JAERI）に関する使用手引である。原研では，公開された計算コード数種を導入し，その整備・改良を行うと共に，それら計算コードの統合化を進めてきた。統合化に際し，コンポーネントの故障率データ等に関する情報のデータベースと，関連する計算コード間のインターフェイス・ファイルを作成した。

本コードシステムでは，一連のフォールト・ツリー解析，即ちミニマル・カット・セットを求める定性的評価，及び頂上事象発生確率に関する点推定計算や不確実さ解析等の定量的評価を連続的にかつ効率よく行うことができる。

＊　日本アイビーエム㈱
＊＊　コンピューターサービス㈱

JAERI-M 83-169

Users' Manual for the FTA-J (Fault Tree Analysis - JAERI) Code System

Tsutomu ISHIGAMI, Norio WATANABE, Michihiro HIKAWA*,
Hiroshi KANEKI*, Hideo HORII** and Shinobu SASAKI

Department of Nuclear Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received September 29, 1983)

This report provides the information needed to use the FTA-J (Fault Tree Analysis - JAERI) code system, which is designed for systematic fault tree analysis and evaluation. Released several computer codes for the fault tree analysis have been introduced, modified and consolidated. The first version is completed and now in practical use. The code system has a data base for component failure data information and interface files between the computer codes.

Using the FTA-J code system, we can perform fault tree analysis including qualitative and quantitative evaluation systematically and efficiently.

Keywords : FTA-J Code System, Fault Tree Analysis, Data Base, Risk Evaluation, Reactor Safety, Effects

---

* On leave from I.B.M.-J

** On leave from CSK

目　　次

1. はじめに …… 1
2. FTA－J コードシステムの概要 …… 2
3. FTA－J の構成 …… 7
3.1 データベース準備コード群 …… 7
3.2 フォールト・ツリー構築コード群 …… 8
3.3 フォールト・ツリー解析コード群 …… 9
3.4 支援コード群 …… 14
3.5 支援コマンド群 …… 15
4. FTA－J 入出力説明 …… 18
4.1 入力データの詳細 …… 18
4.2 出力データの詳細 …… 66
5. サンプルラン …… 113
5.1 システム概要 …… 113
5.2 入出力リスト …… 113
6. おわりに …… 133
参考文献 …… 133
付録　各コードの計算論理の概要 …… 134

Contents

1. Introduction 1
2. Outline of the FTA-J Code System 2
3. Composition of the FTA-J Code System 7
3.1 A Group of Codes for Data Preparation 7
3.2 A Group of Codes for Fault Tree Construction 8
3.3 A Group of Codes for Qualitative and Quantitative Analysis 9
3.4 The Other Codes 14
3.5 The Other Commands 15
4. Description of Input/Output of FTA-J 18
4.1 Details of Input Data 18
4.2 Details of Output Data 66
5. Sample Run 113
5.1 Outline of the System 113
5.2 Input/Output List 113
6. Acknowledgement 133
References 133
Appendix General Description of Logic Used in Codes 134

1. はじめに

フォールト・ツリー解析（Fault Tree Analysis；FTA）は，確率論的安全性評価（Probabilistic Risk Assessment ；PRA）手法の一環として用いられている手法である。1960年代前半，米国のBell Telephone研究所でミニットマン計画のミサイル発射の制御系信頼性解析のために開発され，その後，NASA，ボーイング社などの宇宙・航空機産業を中心に信頼性工学の分野で使用されてきた。原子力の分野では，ラスムッセン研究として知られるWASH－1400[(1)]に採用され脚光を浴びた。この手法は，演繹的手法であり，解析対象とするシステムの望ましくない事象を頂上事象として選定することから始まる。頂上事象の発生機構を事象の進展に逆行して追い駈け，遂には基礎事象と呼ばれる最終段階に到る論理ツリーを構築する。このツリーをフォールト・ツリーと呼び，その論理構造は，因果律的に接続される「OR」と「AND」ゲートから成る。展開した論理ツリーの最終段階である基礎事象とは，それより更に詳細に分解することの不可能な，あるいは不必要な事象を指す。基礎事象の発生確率（主に，コンポーネント故障率を用いる）が与えられれば，それらの事象の論理結合で表わされる頂上事象の発生確率を求めることができる。このような手法で，WASH－1400では軽水炉の工学的安全施設など安全上重要な系統について，デマンド時に機能を果たさない確率（アンアベイラビリティ）を求めることに成功した。

WASH－1400の公刊以来，このフォールト・ツリー解析が原子力プラントのシステム信頼性評価に巾広く用いられるようになり，計算機を用いた解析も実施されている。

フォールト・ツリー解析は，定性的解析と定量的解析の２つに大別される。定性的解析では，頂上事象が発生し得るに必要かつ十分な要因(及びその組合せ),即ち，ミニマル・カット・セットを求め，システムの信頼性に重要なコンポーネント(の組合せ)を見い出す。一方，定量的解析では，頂上事象の発生確率，即ち，システム・アンアベイラビリティを算出する。定量的解析方法は，点推定法と不確実さ解析に分けられる。点推定法は，システムを構成するコンポーネントの故障率を１点で代表させ，システム・アンアベイラビリティを推定する方法であり，いわば，簡便な方法である。しかし，コンポーネントの故障率は本来確率変数であるため，データには不確実さが存在する。この不確実さの頂上事象発生確率への伝播・波及を考慮するのが不確実さ解析である。

これら各々の用途に応じて幾多の計算コードが既に開発・公開されているが，各計算コードは単独に開発されたため，一連のフォールト・ツリー解析を行うには，いくつかを組合せて何回か計算を遂行する必要がある。しかも，各計算コードには重複する入力データがあり，フォールト・ツリー解析を行うにあたって，入力データ作成に労力を要する。原研リスク評価解析室では，既存の計算コード数種を導入し，整備・改良すると共に，フォールト・ツリー解析を効率的に遂行できるよう計算コード群の統合化を進めてきた。統合化に際し実施した内容は，次の通りである。①コンポーネントの故障率や故障モードに関する情報を１つのデータベースにまとめ，各計算コードでの参照を可能にした。②関連する計算コード間にインターフェイス・ファイルを設け，コード間のデータの受け渡しができるようにした。統合化したフォールト・ツリー解析コードシ

ステムをFTA－J（Fault Tree Analysis－JAERI）と称する。本コードシステムでは，一連のフォールト・ツリー解析，即ち，ミニマル・カット・セットを求める定性的評価，及び頂上事象発生確率に関する点推定計算や不確実さ解析などの定量的評価を連続的に行うことができる。また，本コードシステムはコンポーネント故障率や故障モードに関するデータベースの作成機能と作成したデータベース中のデータを修正・変更する機能を有している。

今後，多種多様なシステムの信頼性解析を数多く行い，現バージョンでは不備な点の発堀及びその改良を進めていきたい。また，保守点検などを考慮した解析を行えるよう，時間依存のシステム・アンアベイラビリティの評価機能をもつコードの導入を行い，本コードシステムの拡充を行う予定である。

本報告書では，フォールト・ツリー解析コードシステムFTA－J の機能を，各構成コード群ごとに示すと共に，計算論理についても記述する。併せて，コードシステム全体を通しての入出力データを説明することで，FTA－Jコードシステムの使用手引となることを主目的としている。

2. FTA-Jコードシステムの概要

FTA－J コードシステムは，一連のフォールト・ツリー解析，即ち，定性的評価及び定量的評価を効率的に遂行できることを目的として，既存の計算コード数種を統合し，作成したものである。統合化に際し，計算コードは使用実績があり，原研の計算機（FACOM M－200，M－380）で稼動可能であることを前提条件とした。FTA－J コードシステムを構成するコードは，用途に則して以下に示す4種のコード群に分類できる。

(1) データベース準備コード群
(2) フォールト・ツリー構築コード群
(3) フォールト・ツリー解析コード群
(4) 支援コード群

ここで，(1)はFTA－Jコードシステム専用のデータベースを作成するコード群で，コンポーネントの故障率や故障モードに関する情報を1つのデータベースにまとめ，各計算コードでの参照を可能にした。(2)，(3)，(4)は既存の計算・処理コードを改良・整備したもので，関連コード間にインターフェイス・ファイルを設けた。これにより，各コード間のデータの受け渡しが可能になった。

FTA－Jコードシステムの概略をFig. 2. 1に示す。この図で，FTA－J コードシステム専用データベース作成機能として設けたデータベース準備コード群は，"COMP" と "DTBL" である。これらのコードで作成したデータベースから，解析対象となるフォールト・ツリーに必要なコンポーネント情報だけを参照し計算が実行される。

次に，本コードシステムによりフォールト・ツリー解析を実行する際の，各コード間の関連を述べる（Fig. 2. 1 及び Fig. 2. 2 参照）。フォールト・ツリー解析は，定性的評価と定量的評価との2つに大別され，更に定量的評価は点推定と不確実さ解析とに分けられる。これらの解析を行う前段階として，フォールト・ツリー構築コード群の実行が必要である。データベースにあるコ

ステムをFTA－J（Fault Tree Analysis－JAERI）と称する。本コードシステムでは，一連のフォールト・ツリー解析，即ち，ミニマル・カット・セットを求める定性的評価，及び頂上事象発生確率に関する点推定計算や不確実さ解析などの定量的評価を連続的に行うことができる。また，本コードシステムはコンポーネント故障率や故障モードに関するデータベースの作成機能と作成したデータベース中のデータを修正・変更する機能を有している。

今後，多種多様なシステムの信頼性解析を数多く行い，現バージョンでは不備な点の発堀及びその改良を進めていきたい。また，保守点検などを考慮した解析を行えるよう，時間依存のシステム・アンアベイラビリティの評価機能をもつコードの導入を行い，本コードシステムの拡充を行う予定である。

本報告書では，フォールト・ツリー解析コードシステムFTA－J の機能を，各構成コード群ごとに示すと共に，計算論理についても記述する。併せて，コードシステム全体を通しての入出力データを説明することで，FTA－Jコードシステムの使用手引となることを主目的としている。

2. FTA-Jコードシステムの概要

FTA－J コードシステムは，一連のフォールト・ツリー解析，即ち，定性的評価及び定量的評価を効率的に遂行できることを目的として，既存の計算コード数種を統合し，作成したものである。統合化に際し，計算コードは使用実績があり，原研の計算機（FACOM M－200，M－380）で稼動可能であることを前提条件とした。FTA－J コードシステムを構成するコードは，用途に則して以下に示す4種のコード群に分類できる。

(1) データベース準備コード群
(2) フォールト・ツリー構築コード群
(3) フォールト・ツリー解析コード群
(4) 支援コード群

ここで，(1)はFTA－Jコードシステム専用のデータベースを作成するコード群で，コンポーネントの故障率や故障モードに関する情報を1つのデータベースにまとめ，各計算コードでの参照を可能にした。(2)，(3)，(4)は既存の計算・処理コードを改良・整備したもので，関連コード間にインターフェイス・ファイルを設けた。これにより，各コード間のデータの受け渡しが可能になった。

FTA－Jコードシステムの概略をFig. 2. 1に示す。この図で，FTA－J コードシステム専用データベース作成機能として設けたデータベース準備コード群は，"COMP" と "DTBL" である。これらのコードで作成したデータベースから，解析対象となるフォールト・ツリーに必要なコンポーネント情報だけを参照し計算が実行される。

次に，本コードシステムによりフォールト・ツリー解析を実行する際の，各コード間の関連を述べる（Fig. 2. 1 及びFig. 2. 2 参照）。フォールト・ツリー解析は，定性的評価と定量的評価との2つに大別され，更に定量的評価は点推定と不確実さ解析とに分けられる。これらの解析を行う前段階として，フォールト・ツリー構築コード群の実行が必要である。データベースにあるコ

ンポーネント故障率データ等を参照して，解析対象のフォールト・ツリーに必要なコンポーネント故障率データなどを使って，フォールト・ツリーとの整合性をとる。フォールト・ツリーの構造に関する情報（ゲート情報と呼ぶ），あるいは，コンポーネント故障率に関する情報（コンポーネント情報と呼ぶ）は，インターフェイス・ファイルに格納される。このインターフェイス・ファイルに格納されたデータを入力データとしてフォールト・ツリー解析が行われる。例えば，定性的評価を行うのであれば，“CUT”コード，あるいは“PRP 1”及び“PRP 2”コードを使用してミニマル・カット・セットを求める。ここで“CUT”コード，あるいは，“PRP 1”及び“PRP 2”コードの入力データは，フォールト・ツリー構築コード“WAM”で作成したゲート情報及びコンポーネント情報である。これらは，各々，インターフェイス・ファイルNF 03及びNF 04に格納されている。また，頂上事象発生確率の点推定計算を行う場合も“WAM”コードで作成した情報を基に，点推定計算コード“BAM”で実行する。“CUT”コードでも点推定計算は行える。不確実さ解析を実施する際には，ミニマル・カット・セットの情報を必要とするため，解析前段階として“CUT”コードあるいは“PRP 1”及び“PRP 2”コードのいずれかで実行し，作成したミニマル・カット・セット情報，あるいは構造関数をインターフェイス・ファイルNF 06，NF 07に格納することが必要となる。ここで，構造関数とは，主にシステムの不信頼度を求めるための確率関数式で，ブール代数演算がその基本となっている。NF 06，NF 07に格納された情報を入力として，不確実さ解析コード“SPASM”や“BOUNDS”を実行する。また時間と共に故障率などが変化する動的な場合のシステム信頼性を点推定する“KITT”コードも，ミニマル・カット・セットの情報を必要とするため“CUT”コード，あるいは“PRP 1”及び“PRP 2”コードのいずれかの実行終了が前提となる。

以上に示した計算経路を使用する構成コード名で以下にまとめる。

① 点推定計算
- WAM→BAM
- WAM→CUT

② 定性的評価
- WAM→CUT
- WAM→PRP 1→PRP 2

③ 不確実さ解析
- WAM→CUT →SPASM
- WAM→PRP 1→PRP 2→SPASM
- WAM→CUT →BOUNDS
- WAM→PRP 1→PRP 2→BOUNDS

④ 時系列点推定計算
- WAM→CUT →KITT
- WAM→PRP 1→PRP 2→KITT

これらの計算経路の指定は，全てコード名を示すコマンド入力となっている。各々の構成コードの説明については，次章で記述する。

FTA－Jコードシステムのソース・モジュールは，一部がアセンブラ言語で書かれているが，

他は全てFORTRAN－IV言語で書かれている。コードシステム全体の大きさは約20,000ステップであり，サブプログラム約130個から形成される。ロード・モジュールの大きさは約1.5メガバイトである。

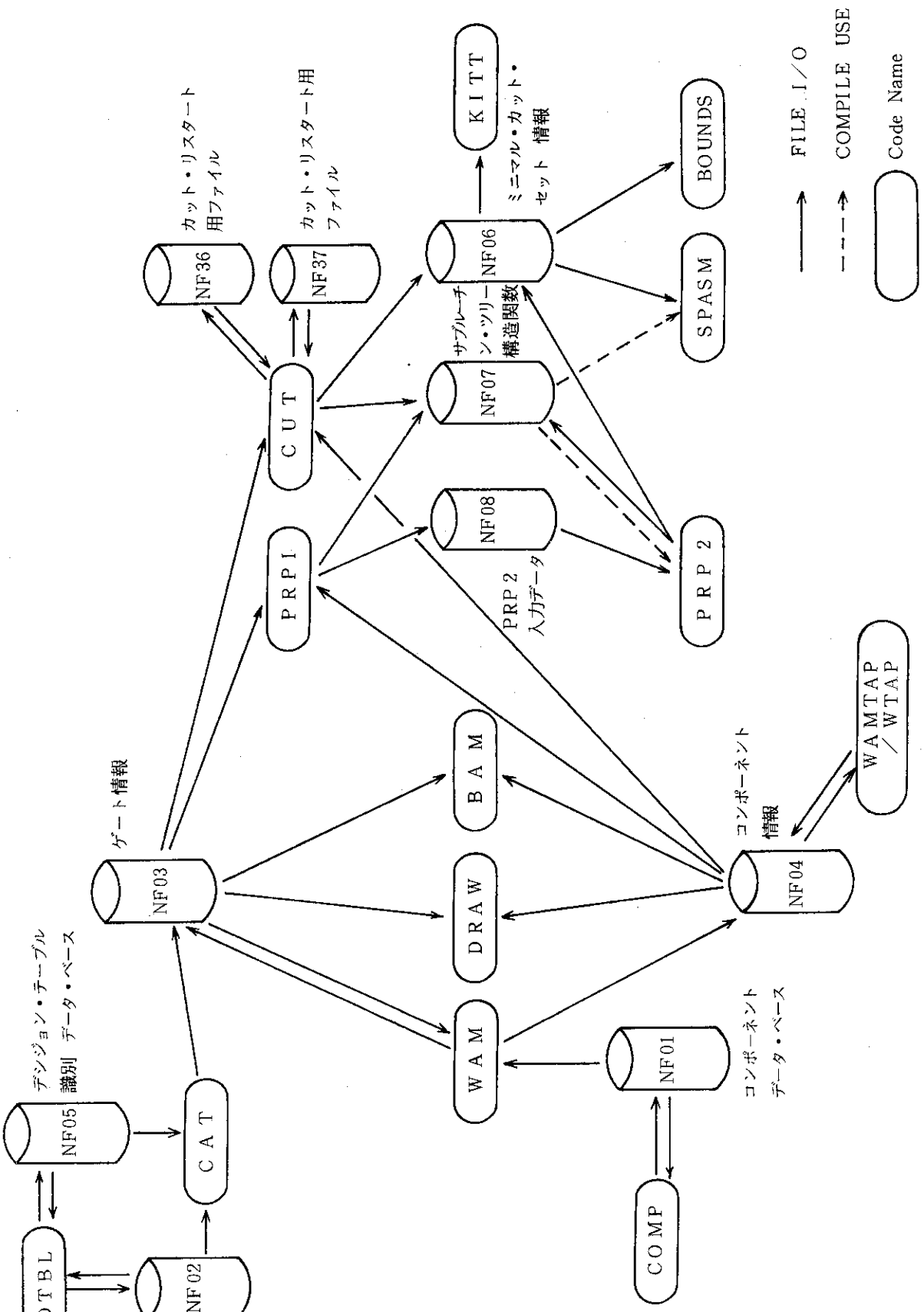


Fig. 2.1 Concept of the FTA-J Code System

FTA－J コードシステム構成図

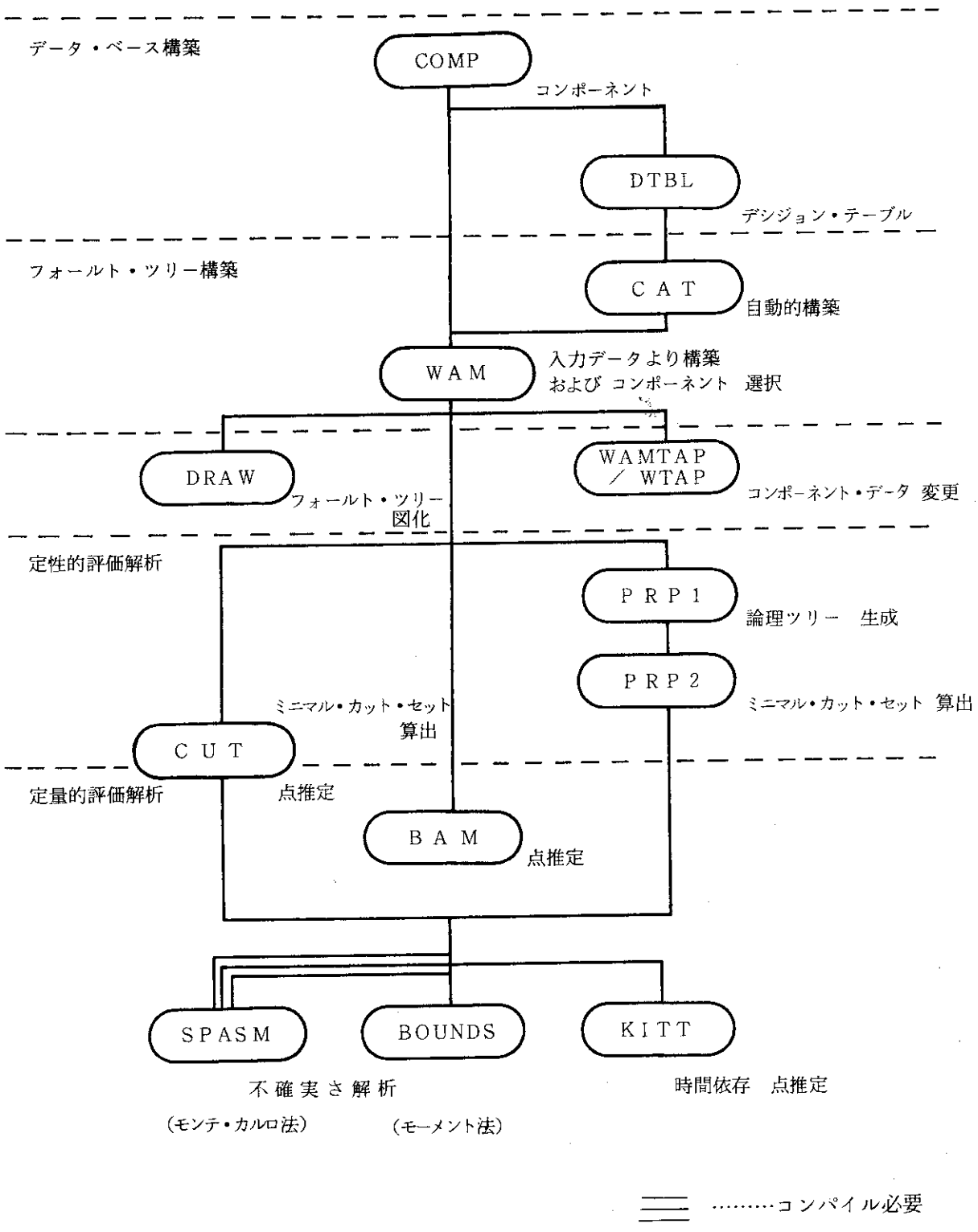


Fig. 2.2 Relationship among various codes in the FTA-J code system

3. FTA-Jの構成

前章では，FTA－Jコードシステム全体を通しての機能について記した。本章では，FTA－Jコードシステムの各構成コードについて，その機能，使用上の制限事項及び取り得るパラメータについて説明する。また，統合化に際して施した改良点についても言及する。Table 3 －1に，FTA－Jコードシステムの構成コードを一覧表として示す。

なお，各計算コードに採用される計算論理は，付録で概説する。

3.1 データベース準備コード群

FTA－Jコードシステム専用のデータベースを作成し，更新する機能を有する。これに属するコードは次の2つである。各々について簡単に説明する。

(1) " COMP "

① 機 能

コンポーネントに関する情報（コンポーネント識別名，アンアベイラビリティの平均値や分散，コンポーネントの故障率や修理時間等）を入力データとして読み込み，コンポーネント識別名をアルファベット順に並べ換えて，コンポーネント・データベースを新規作成する。コンポーネント・データベースが既成の時は，そのデータベースにコンポーネント情報を追加登録する。データベースは，Fig. 2. 1 中のNF 01ファイルに格納される。

② 制 限

1回の登録作業で登録可能なコンポーネント数は4,000個以内である。また，コンポーネント・データベースの収録総数の制限も4,000個である。したがって，追加登録時は，既に登録されている個数と追加登録する個数の合計が4,000個以内でなければならない。

(2) " DTBL "

① 機 能

各コンポーネントに対する入力の状態（入力モード），コンポーネント自身の有する状態（内部モード），コンポーネントからの出力の状態（出力モード）に関する情報を各コンポーネントごとにデシジョン・テーブル[注)]として読み込み，デシジョン・テーブル・データベースを新規作成する。データベースが既成の時は，追加登録ができる。データベースは，Fig. 2. 1 中のNF 02 ファイルに格納される。

② 制 限

1回の登録作業において，入力可能なデシジョン・テーブル数は1,000個以内である。また，デシジョン・テーブル作成上の制限は30行以内，入力モード数は各々5個以内，内部モード数は10個以内である。

注）付録参照

3.2 フォールト・ツリー構築コード群

このコード群は，“WAM”コードと“CAT”コードから成る。“WAM”コードは，フォールト・ツリー構造に関するデータを入力し，ツリーを再構築することでツリー構造とコンポーネント・データとの整合性をとる。一方，“CAT”コードは，自動的にフォールト・ツリーを作成する。

以下に，これら2つのコードに関して説明する。

(1) “CAT”

① 機 能

解析対象とするシステムについて“DTBL”コードで登録したデシジョン・テーブル・データを参照して，フォールト・ツリーを自動作成する。フォールト・ツリー構築のための入力データとして，解析対象システムのフローチャートに基づいた情報[注)]が必要である。作成されたフォールト・ツリーは，論理記号「OR」及び「AND」で結合させたもので，ゲート情報として出力される。この情報は，インターフェイス・ファイルNF03に格納される。“CAT”コード実行の前提条件としてデシジョン・テーブル・データベースが既に作成されていることが必要である。実行後，出力として自動作成されたツリー構造に関するゲート情報の他に，使用されるデシジョン・テーブルの内容，各コンポーネントの入力モード，内部モード及び出力モードに関する情報が得られる。本コードの原型版は，同名の“CAT”コード[(2)]である。

(2) “WAM”

① 機 能

解析対象とするシステムに関するゲート情報を入力とし，“COMP”コードで登録したコンポーネント・データベースより，解析対象システムに関与するコンポーネント情報を選択する。選択されたコンポーネント・データは，インターフェイス・ファイルNF04に格納される。コンポーネント・データベースは既に作成済であることが前提となる。入力データとなるゲート情報は，前述の“CAT”コードで自動作成したもの，あるいは，解析者が“WAM”コード専用の入力として作成したフォールト・ツリーの論理構造に関する情報である。“CAT”コードで自動作成されたもの，及び，解析者が作成した入力データを“WAM”コードで実行したものはNF03のインターフェイス・ファイルに格納される。

② パラメータ

NF03にあるデータを用いるか，解析者の作成したデータそのものを用いるかを指定するパラメータがある。

③ 制 限

“WAM”コード専用の入力として，ゲート情報（フォールト・ツリーの論理構造に関する情報）を作成する際，1,500個以内のゲート，及び1,500個以内のコンポーネントから構成されるツリーであることが条件となる。

注）この情報は，システムを構成するコンポーネント間の接続関係を記したものである。

3.3 フォールト・ツリー解析コード群

フォールト・ツリー解析コード群は，定性的評価用コード群と定量的評価用コード群とから成る。更に定量的評価用コードは，点推定計算コードと不確実さ解析コードとに分けられる。以下に，これら計算コードを個々に説明する。

(1) "CUT"

① 機 能

このコードは，ゲート情報（NF03ファイル）とコンポーネント情報（NF04ファイル）を基に次に示す計算を実行する。ゲート情報は，"CAT"コード，あるいは"WAM"コードで作成されたものである。コンポーネント情報は，"WAM"コードで，ゲート情報との整合性を考慮して選択されたものである。このコードの機能は以下に示す通りである。

(a) 頂上事象及びパラメータで指定したゲートに対するミニマル・カット・セットとその発生確率を算出する。併せて，頂上事象及び指定ゲートの発生確率を点推定する。

(b) 定量的評価用コード"SPASM"，"BOUNDS"及び"KITT"への入力となるミニマル・カット・セット情報及びミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントに関する情報を作成する。この情報は，インターフェイス・ファイルNF06に格納される。

(c) 定量的評価用コード"SPASM"で使用する構造関数をFORTRAN言語のソース・モジュールの形で作成する。この構造関数は，インターフェイス・ファイルNF07に収録される。なお，この"CUT"コードでミニマル・カット・セットを求めるアルゴリズムには，ブール代数を用いた最小化法を採用している。

② パラメータ

(i) ミニマル・カット・セットを求めるゲートを指定するパラメータ（頂上事象については指定不要）

(ii) ミニマル・カット・セットの次数指定パラメータ（無指定の場合，1次から5次まで算出）

(iii) ミニマル・カット・セットの発生確率に対する打ち切り確率の指定パラメータ

(iv) 指定ゲート及び頂上事象の発生確率を点推定するか否かを指定するパラメータ

(v) (iv)の発生確率に関するモーメントの次数を指定するパラメータ

(vi) 再スタート指定パラメータ（複雑，あるいは大型のフォールト・ツリーのミニマル・カット・セットを求めるのに計算時間が過大となる場合，途中までの計算結果を作成出力し，繰り返し計算を行えるようにする）

③ 制 限

指定ゲート数は最大49個，ミニマル・カット・セットの最大次数は10次，ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント総数は500個以内である。

④ 改良点など

①に記載した3つの機能のうち，(a)及び(b)は原型版"WAMCUT"コード[3]の有するものであるが，(c)については，FTA－Jコードシステム開発に際して新設した機能である。

(2) "PRP 1"

① 機 能

解析対象とするフォールト・ツリーのゲート情報（NF 03）及びツリー構造と整合性のとれたコンポーネント情報（NF 04）を入力とし，ミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セット[注1)]を求める"PRP 2"コードへの入力を作成出力する。いわゆる定性的評価用コードのための処理コードの役割を果たす。作成する情報は，入力したコンポーネント情報（NF 08 ファイル）の他に，「AND」と「OR」で構成される論理ツリー構造が，サブルーチン・プログラムとして，FORTRAN言語のソース・モジュールの形で表現される。このコードでは，ゲート情報の論理記号として「AND」と「OR」の 2 種類のみ許される。一方，前述した"CUT"コードでは，「AND」，「OR」の他に，「NOT」，「NAND」，「NOR」，「ANOT」及び「ONOT」[注2)]の 5 種，都合 7 種許される。

② 制 限

フォールト・ツリーを構成するゲート数は最大 1,500 個という制限がある。また，ミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セットを算出する"PRP 2"コードに対するパラメータもここで入力指定する必要がある（説明は次の"PRP 2"コードの節で行う）。

(3) "PRP 2"

"PRP 1"コードの作成した論理ツリー構造，サブルーチン・プログラム（NF 07 ファイル）を使用し，コンポーネント情報やパラメータ（NF 08 ファイル）を入力として，解析対象のフォールト・ツリーに関するミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セットを求める。同時に，定量的評価用コード"KITT"，"BOUNDS"及び"SPASM"への入力データとして，ミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セットに関する情報及びそれらを構成するコンポーネントに関する情報を作成する。これらの情報は，インターフェイス・ファイル NF 06 に収録される。また，"SPASM"コードで使用する構造関数を，"CUT"コードと同様 FORTRAN言語のソース・モジュールの形で作成し，インターフェイス・ファイル NF 07 に格納する。このコードでミニマル・カット・セットを求める際，2 種のアルゴリズムが選択できる。1 つは決定論的方法を，もう 1 つがモンテ・カルロ法を用いる。ミニマル・パス・セットを求めるにはモンテ・カルロ法を採用しなければならない。

② パラメータ

(i) ミニマル・カット・セットを求める際に用いるアルゴリズム指定のパラメータ

(ii) 構造関数作成の際，最大出力項数を指定するパラメータ

(iii) 決定論的方法を使用して，ミニマル・カット・セットを求める時，ミニマル・カット・セットの最大次数を指定するパラメータ（1 次から指定した次数までのミニマル・カット・セットを求める）

注 1）ミニマル・パス・セットとは，フォールト・ツリーの頂上事象を引き起こさないための事象（この事象は，フォールト・ツリー上の事象の補集合）の最小の組合せである。

注 2）A, B を事象とした時，同時に発生する場合を $A \cap B$（AND），一方が発生する場合を $A \cup B$(OR)，A が発生しない場合を $\neg A$（NOT）で表わすと，「NAND」は $\neg(A \cap B)$，「NOR」は $\neg(A \cup B)$，「ANOT」は $A \cap (\neg B)$，「ONOT」は $A \cup (\neg B)$ となる。

(Ⅳ) モンテ・カルロ法を用いる時，ミニマル・カット・セットの最少次数を指定するパラメータ（指定した次数以上のミニマル・カット・セットを求める。最大次数の制限はない。）

(Ⅴ) モンテ・カルロ法を使用する際，一様乱数の無効回数及び最大試行回数を指定するパラメータ

③ 制　限

上記のパラメータを指定してミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セットを算出するが，その際に次のような制限がある。

- ミニマル・カット・セット総数 － 1,000 個以内
- ミニマル・カット・セット最大次数 － 21 次
- ミニマル・パス・セット総数 － 500 個以内
- ミニマル・パス・セット最大次数 － 29 次
- ミニマル・カット（あるいはパス）・セットを構成するコンポーネント総数 － 400 個以内
- ミキシング・パラメータ[注)]

④ 改良点など

このコードは，前述の“PRP 1”と併せて“PREP”コード[(4)]として知られているが，FTA－Jコードシステム開発にあたって改良した点は，構造関数の作成機能を追加したことである。

以上，定性的評価用コードについて記述した。次に定量的評価用コードについて説明する。

(4) “BAM”

① 機　能

解析対象とするフォールト・ツリーのゲート情報（NF 03 ファイル）及びコンポーネント情報（NF 04 ファイル）を入力とし，ブール代数最小化法で論理式を求めて，指定ゲート及び頂上事象の発生確率を点推定する。このコードでは，コンポーネントの可能な組み合せを見つけ出す際，計算時間の短縮をはかるために，パラメータとして設定する発生確率（即ち，打ち切り確率）以下のものを削除して論理式を作成する。

② パラメータ

- 打ち切り確率を指定するパラメータ
- 発生確率を求めるゲートを指定するパラメータ

③ 制　限

指定可能なゲート数は 3,000 個以内である。

④ 改良点など

原型版は“WAM－BAM”コード[(5)]である。この原型版コードから計算前処理用のサブルーチン“WAM”をはずして点推定計算を行うサブルーチン“BAM”を取り入れている。

(5) “SPASM”

① 機　能

“CUT”コード，あるいは“PRP 2”コードで作成した構造関数（NF 07 ファイル）をロー

注）通常“Mission Length”と呼ばれるものであるが，ここではモンテ・カルロ計算を行う際，コンポーネント故障時間の上限値を規定するパラメータである。詳細は付録の“PREP”で記述する。

ド・モジュールとして使用し，ミニマル・カット・セットに関する情報及びそれらを構成するコンポーネントに関する情報を入力として，頂上事象の発生確率に対する不確実さ解析を行う。ここで，不確実さ解析とは，故障率データに付随する不確実さの頂上事象発生確率への伝播・波及を考慮した解析を指す。構造関数はロード・モジュールの形で使用するため，計算実行前にコンパイル及びリンク・エディトの処理を行う必要がある。解析対象となるフォールト・ツリーの頂上事象発生確率は，累積確率分布の形で表わされる。計算方法はモンテ・カルロ法である。まず，ミニマル・カット・セットを構成する各コンポーネントの故障率に分布形を想定し，その分布形に従って一様乱数により故障率を選び出す。選んだ故障率はランダム変数として扱われる。全てのコンポーネントについて故障率を選び出し構造関数に基づいて頂上事象の発生確率を計算する。この操作を多数回繰り返すことによって，頂上事象の発生確率に関する分布を求めることができる。ここで，コンポーネント故障率に想定し得る分布形は10種ある。このうち9種はコード独自に用意されたものであるが，残る1つは，解析者がテーブルの形で用意できる。以下にそれらの分布形を示す。

1. 正規分布（Normal）
2. 対数正規分布（Log－Normal）
3. 一様分布（Uniform）
4. ベータ分布（Beta）
5. ガンマ分布（Gamma）
6. 二項分布（Binominal）
7. カイ二乗分布（Chi－Squared）
8. インバーテッド・ベータ分布（Inverted－Beta）
9. スチューデントT分布（Student T）
10. ヒストグラム・テーブル

② パラメータ

- モンテ・カルロ・シミュレーション試行回数
- 一様乱数の初期無効回数
- 各コンポーネントの故障率に対して想定する分布形を指定するパラメータ

③ 制　限

モンテ・カルロ・シミュレーション試行回数は最大5,000回である。

④ 改良点など

このコードの原型は，WASH－1,400でも用いられた“SAMPLE”コードの拡張版である“SPASM”コード[6]である。この“SPASM”コードをそのままFTA－Jに組み込んでいる。しかし，“CUT”及び“PRP2”の両コードからの計算結果（即ち，構造関数とミニマル・カット・セット情報）を“SPASM”コードの入力データとしてファイルを介して読み込むことができるような改良を施した。

(6) “BOUNDS”

① 機　能

“CUT”コードや“PRP2”コードにより作成されたミニマル・カット・セットあるいは，

ミニマル・パス・セットの情報及びそれらを構成するコンポーネントの情報（NF06ファイル）を入力とし，モーメント法を用いて頂上事象発生確率の信頼限界区間を推定する。頂上事象発生確率を求める計算式として，上限値近似式と下限値近似式を採用している。[注1)]

頂上事象発生確率の信頼限界区間は，マルコフ（Markov）の不等式，チェビシェフ(Tchebychef）の不等式，改良したチェビシェフ（Improved Tchebychef）の不等式，カンテリ(Canteli)の不等式を適用して求められる。更に，経験的分布として，ジョンソン－S_B（Johnson－S_B）分布に基づいて頂上事象発生確率を累積確率分布の形で求める。

② パラメータ

(i) 点推定による頂上事象発生確率の下限値の算出を指定するパラメータ

(ii) ミニマル・カット・セットあるいはミニマル・パス・セットを構成するコンポーネントの故障率特性値を種別するパラメータ（次の3種のいずれかを指定する）

- コンポーネント故障率の平均値を用いる場合
- コンポーネント故障率の平均値及び分散を用いる場合
- コンポーネント故障率のメディアン値及び修理時間を用いる場合

③ 改良点など

原型は“BOUNDS”コード[(7)]であり，“SPASM”コードと同様“CUT”及び“PRP2”コードからの計算結果を入力データとしてファイルを介して読み込むことができるようにした。

(7) “KITT”

① 機 能

“CUT”コードや“PRP2”コードで求めたミニマル・カット・セットあるいは，ミニマル・パス・セットの情報及びそれらを構成するコンポーネントの情報（NF06）を入力とし，時間依存のシステム信頼度特性（即ち，頂上事象の発生確率）を点推定する。計算方法には上限近似法，あるいは，ブラケッティング法[注2)]を用いている。計算方法の選択はパラメータ指定で行う。また，ブラケッティング法を使用する場合には，点推定するシステム信頼度特性，例えばシステム・アンアベイラビリティに付随する計算上の誤差範囲をも併せて推定する。コンポーネント情報として，コンポーネントの故障率及び修理時間が入力で与えられる。故障率は時間に関して一定であると仮定しているため，コンポーネントの不信頼度は指数関数，$F(t)=1-e^{-\lambda t}$ で表わされる。ここで，$F(t)$ がコンポーネントの不信頼度，λ が故障率，t が時間を示す。初期条件として，全てのコンポーネントは正常に機能しているものと仮定している。

② パラメータ

入力パラメータとしては，計算方法を指定するものの他に，時間依存のシステム信頼度特性を決定する際の時間間隔を指定するものがある。このコードを使用する際，特に留意すべき事項は，ミニマル・パス・セットを用いてシステム信頼度特性を決定する時には上限近似法を指

注1）頂上事象発生確率をQ_{TOP}，i番目のミニマル・カット・セットMi(i=1, 2,……,N)の発生確率をP(Mi)で表わすと，Q_{TOP}の下限値は $Q_{LOWER}=\sum_{i=1}^{N} P(Mi)-\sum_{i=2}^{N}\sum_{j=1}^{i-1} P(M_i \cap M_j)$ で近似される。一方，上限値は $Q_{UPPER}=\sum_{i=1}^{N} P(Mi)$ で表わされる。詳細は付録の“BOUNDS”を参照されたし。

注2）上限近似法，ブラケッティング法については付録の“KITT”で記述する。

定するのが良いという点である。

③ 改良点など

このコードの原型は，WASH－1,400 で使用された計算コード“PREP－KITT[4]”の一部である“KITT 1”コードである。FTA－J コードシステムの開発に際して特に改良した点はない。

なお，ここで述べる信頼度特性とは，単位時間当りの平均故障回数，単位時間当りの故障確率，平均故障確率及びアンアベイラビリティを総称したものである。詳細は付録の“KITT”に記載する。

3.4 支援コード群

このコード群は，実際の解析に必要不可欠なものではないが，フォールト・ツリーの図形処理や感度解析なで解析を支援するためのものである。

(1) “WAMTAP／WTAP”

① 機 能

“WAM”コードで選択したコンポーネント情報（NF04 ファイル）を入力として，コンポーネント単位，グループ単位あるいは，全コンポーネントに対して，情報内容を一部修正する。修正モードとして，既設の数値に係数を乗ずる場合と完全に置換する場合の2通りある。修正された情報は，定性的評価及び定量的評価用コードへの入力となるインターフェイス・ファイル NF04 に，コンポーネント情報として登録される。これらは，感度解析を支援するコードである。

② パラメータ

“WAMTAP”コードでは，修正可能なコンポーネント情報の内容は，アンアベイラビリティの平均値及び分散，コンポーネントの故障率及び修理時間の4項目に限られている。入力パラメータは修正モードを指定するものだけである。

一方，“WTAP”コードでは，修正可能なコンポーネント情報の内容は，36 個の全数値項目であり，任意の項目を指定することができる。これは，修正項目を指定するパラメータがある。“WAMTAP”コード同様，修正モードを指定するパラメータもある。

③ 改良点など

“WAMTAP”コードの原型は同名の“WAMTAP”コードであり，特に改良点はない。また，“WTAP”コードは，FTA－J コードシステム開発に際して新設したサブルーチン・プログラムである。

(2) “DRAW”

① 機 能

“CAT”コードあるいは“WAM”コードで作成したゲート情報（NF03 ファイル）及び“WAM”コードで選択したコンポーネント情報（NF04 ファイル）を入力として，フォールト・ツリーを図形出力する。原型版は，“WAMDRAW”コード[8]である。

② パラメータ

(i) 図面紙1ページの大きさの指定

A4／B4／フリーサイズ

(ii) 出力フレーム数の指定（即ち，ページ数の指定）

(iii) コンポーネント情報の出力指定

- 出力しない
- アンアベイラビリティの平均値及び分散
- コンポーネントの故障率及び修理時間

(iv) 出力プロット図の倍率指定

(v) 各フレーム（各ページ）ごとの先頭ゲート番号

(vi) 各コンポーネント故障モードの指定

③ 改良点

フォールト・ツリーの図形出力を，原研の日本語ラインプリンターに出力できるようにすると共に，自動的にページ替えを行う機能を追加した。

以上にFTA－Jコードシステムを構成する計算コードを示したが，FTA－Jコードシステムでは，これら構成コードの指定は全てコマンド入力で行われる。構成コード名と対応する入力コマンド名は，前出のTable 3.1に記載する。

計算コードを指定するコマンドの他に，FTA－Jコードシステムには，次節に示すコマンドがある（Table 3.1参照)。

3.5 支援コマンド群

入力コマンドとして，以下に示す3種が用いられる。

(a) データベースの内容を消去するコマンド

- CLEA

  コンポーネント・データベース（NF01），デシジョン・テーブル・データベース(NF02)，デシジョン・テーブル識別データベース（NF05）の内容を全て消去する。各データベースを新規作成する時のみ必要である。後述するコマンドCLE1，CLE2，CLE5を全て包含するものである。

- CLE 1

  コンポーネント・データベース（NF01）の内容を消去するもので，データベースの新規作成時のみ必要となる。

- CLE 2

  デシジョン・テーブル・データベース（NF02）の内容を消去するもので，新規作成時のみ必要となる。

- CLE 5

  デシジョン・テーブル識別データベース（NF05）の内容を消去するもので，新規作成時のみ必要となる。

(b) プログラム・デバック用コマンド

- CHNG

  出力リスト用に設定されている機番を交換し，出力リストの指定を可能にする。

- TEST

  プログラム・デバック用に種々の情報を出力する。大量の情報となるので出力用パラメータ値に注意する必要がある。

(c) 終了コマンド

- STOP

  FTA－Jコードシステムの終了を示す。

Table 3.1　Codes Included in the FTA－J Coclo System

コード群		コード名	コマンド名	概略機能
データベース準備コード群		COMP	COMP	コンポーネント・データ・ベース追加登録
		DTBL	DTBL	デシジョン・テーブル・データ・ベース追加登録
フォールト・ツリー構築コード群		CAT	CAT	ゲート情報の自動作成
		WAM	WAM	コンポーネント情報の選択及びゲート情報の作成
フォールト・ツリー解析コード群	定性的評価コード群	CUT	CUT	ミニマル・カット・セットの算出及び定量的評価コードへの入力の作成
		PRP 1	PRP 1	フォールト・ツリー構造の構造関数を求める。
		PRP 2	PRP 2	ミニマル・カット・セットあるいはミニマル・パス・セットの算出，定量的評価コードの入力の作成
	定量的評価コード群	BAM	BAM	指定ゲートでのその事象の発生確率の点推定
		SPASM	SPSM	モンテ・カルロ法による頂上事象発生確率の分布推定
		BOUNDS	BNDS	モーメント法による頂上事象発生確率の信頼限界区間推定
		KITT	KITT	ミニマル・カット・セットあるいはミニマル・パス・セットに基づき，頂上事象発生確率を時系列で算出
支援コード群	感度解析支援コード群	WAMTAP	TAP	コンポーネント情報の変更（平均値，分散，故障率，修理時間）
		WTAP	WTAP	コンポーネント情報の変更（全ての数値項目）
	図形処理コード	DRAW	DRAW	フォールト・ツリーの図形作成
支援コマンド群			CLE 1	コンポーネント・データ・ベースの内容を消去
			CLE 2	デシジョン・テーブル・データ・ベースの内容を消去
			CLE 5	デシジョン・テーブル識別データ・ベースの内容を消去
			CLEA	上記3種データ・ベースの内容を同時消去
			CHNG	出力機番の変更
			TEST	ディバッグ用情報の出力
			STOP	処理終了

4. FTA-J入出力説明

4.1 入力データの詳細

本節では，各コード毎の入力データの項目と入力データ作成上の注意を記述する。説明文中〔 〕で括った番号は，フォーマットで示すデータ・レコード番号を示し，「b」は空白を示す。また，データ・レコード番号に付いた○は，該当データが複数枚のカードの入力となることを示す。図中のフォーマットの項での「A」，「L」，「I」，「E」，「F」はそれぞれ英数字表示，論理型表示，整数表示，指数での実数表示，浮動小数点での実数表示を表わす。

(1) COMP

コマンド・データ，コンポーネントに関する情報データ群（1つのコンポーネントは8レコードで構成されている），終了データの3種のデータより構成される。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……COMPと入力する。″COMP″コードの開始を示す。

②コンポーネントに関する情報データ群〔2－1，2－2，2－3，2－4，2－5，2－6，2－7，2－8〕

Fig.4.1に示すように，〔2－1〕から〔2－8〕までの8枚のデータで1つのコンポーネントの情報となる。入力時に判明していない値は空白で入力するとFig.4.1に示すデフォルト値が設定される。説明はi番目のコンポーネントについて行う。

〔2－1〕 CNAME(i) ……コンポーネント名

8桁以内の英数字で入力する。

COMS（1，i）……アンアベィラビリティの平均値

″CUT″，″DRAW″，″BAM″コードで使用される。″BAM″コードで点推定を行う時には，平均値，メディアン値，上限値，下限値等のどれかの値を入力しなければならない。

COMS（2，i）……アンアベィラビリティの分散

″CUT″，″DRAW″コードで使用される。

COMS（3，i）……故障率（故障回数／10^6 H）

″PRP 2″，″KITT″コードで使用される。

COMS（4，i）……修理時間（H）

″PRP 2″，″KITT″コードで使用される。

〔2－2〕～〔2－4〕のデータは″SPASM″コードで使用されるもので各分布形の確率密度関数のパラメータとなる。Table 4.1に各分布形の確率密度関数式を示す。

〔2－2〕 COMS（5，i）……正規分布パラメータα（平均値）

COMS（6，i）……正規分布パラメータβ（標準偏差×1.64）

COMS（7，i）……対数正規分布パラメータα（メディアン値）

COMS（8，i）……対数正規分布パラメータ β（エラーファクタ）

COMS（9，i）……一様分布パラメータ α（下限値）

COMS（10，i）……一様分布パラメータ β（上限値）

〔2－3〕 COMS（11，i）……ベータ分布パラメータ $\alpha(\alpha)$

COMS（12，i）……ベータ分布パラメータ $\beta(\beta)$

COMS（13，i）……ガンマ分布パラメータ $\alpha(\alpha)$

COMS（14，i）……ガンマ分布パラメータ $\beta(\beta)$

COMS（15，i）……二項分布パラメータ α（故障回数）

COMS（16，i）……二項分布パラメータ β（試行回数）

〔2－4〕 COMS（17，i）……インバーテッド・ベータ分布パラメータ α（分子の自由度）

COMS（18，i）……インバーテッド・ベータ分布パラメータ β（分母の自由度）

COMS（19，i）……カイ2乗分布パラメータ α（自由度）

COMS（20，i）……スチューデントT分布パラメータ α（自由度）

〔2－5〕のデータは″BOUNDS″コードで使用されるものである。

COMS（21，i）……故障率（故障回数／10^6 H）のメディアン値

COMS（22，i）……故障率（故障回数／10^6 H）のエラーファクタ

COMS（23，i）……修理時間(H)のメディアン値

COMS（24，i）……修理時間(H)のエラーファクタ

COMS（25，i）……アンアベィラビリティの平均値

COMS（26，i）……アンアベィラビリティの分散

〔2－6，2－7〕のデータはFTA－J コードシステムに今後″FRANTIC″コード(9)を統合することを前提に設けたフィールドであり，現在は未使用である。

〔2－8〕 LEVN(i) ……コンポーネント・メッセージ″DRAW″コードで使用されるもので3行表示となるので，1行には18文字以内，全体としては54文字以内のメッセージが入力可能である。

③終了データ〔3〕

〔3〕 SEND ……ENDと入力する。″COMP″コードの終了を示す。

Table 4.1　Probability Density Functions for Various Distributions

正規分布

$$N(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\frac{\beta}{1.64}}\exp\left\{-(x-\alpha)^2/2\left(\frac{\beta}{1.64}\right)^2\right\}$$

対数正規分布

$$L(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\frac{\ell n(\beta)}{1.64}\,x}\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ell n(x)-\ell n(\alpha)}{\ell n(\beta)/1.64}\right]^2\right\} \qquad (0<x)$$

一様分布

$$I(x)=\frac{1}{\beta-\alpha} \qquad (\alpha<x<\beta)$$

ベータ分布

$$B(x)=\frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} \qquad (0\leqq x<1)$$

ガンマ分布

$$G(x)=\frac{\alpha^{\beta}}{\Gamma(\beta)}x^{\beta-1}\exp(-\alpha x) \qquad (0<x)$$

二項分布

$$D(x)=\sum_{i=0}^{\alpha}\binom{\beta}{i}x^{i}(1-x)^{\beta-i} \qquad (0<x)$$

インバーテッド・ベータ分布

$$F(x)=\frac{\Gamma\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha}{2}\right)\Gamma\left(\frac{\beta}{2}\right)}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{2}}x^{\frac{\alpha}{2}-1}\left(1+\frac{\alpha}{\beta}x\right)^{-\frac{\alpha+\beta}{2}}$$

カイ２乗分布

$$C(x)=\frac{1}{2^{\frac{\alpha}{2}}\Gamma\left(\frac{\alpha}{2}\right)}x^{\frac{\alpha}{2}-1}\exp\left(-\frac{x}{2}\right) \qquad (0<x)$$

スチューデント T分布

$$S(x)=\frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{2}\right)}{\sqrt{\alpha\pi}\,\Gamma\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\left(1+\frac{x^2}{\alpha}\right)^{-\frac{\alpha+1}{2}}$$

データ名
フォーマット
デフォルト値

デフォルト値：ブランクで入力した時にとられる値

No.								
1	CMND							
	A4							
	COMPと入力する							
2－1	CNAME(i)	COMS(1,i)	COMS(2,i)	COMS(3,i)	COMS(4,i)			
	A8	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3			
	ブランク	1.0E－5	1.0E－2	1.0E＋2	1.0E＋1			
2－2	COMS(5,i)	COMS(6,i)	COMS(7,i)	COMS(8,i)	COMS(9,i)	COMS(10,i)		
	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3		
	1.0E－5	1.0E－2	1.0E－5	1.0E－2	1.0E－7	1.0E－3		
2－3	COMS(11,i)	COMS(12,i)	COMS(13,i)	COMS(14,i)	COMS(15,i)	COMS(16,i)		
	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3		
	1.0E＋1	1.0E＋2	1.0E－5	1.0E－2	1.0E＋0	1.0E＋4		
2－4	COMS(17,i)	COMS(18,i)	COMS(19,i)	COMS(20,i)				
	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3				
	1.0E＋2	1.0E＋4	1.0E＋2	1.0E＋2				
2－5	COMS(21,i)	COMS(22,i)	COMS(23,i)	COMS(24,i)	COMS(25,i)	COMS(26,i)		
	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3	E10.3		
	1.0E－5	1.0E－2	1.0E＋1	1.0E＋2	1.0E－5	1.0E－2		

Fig. 4.1　COMP Input Data 1/2

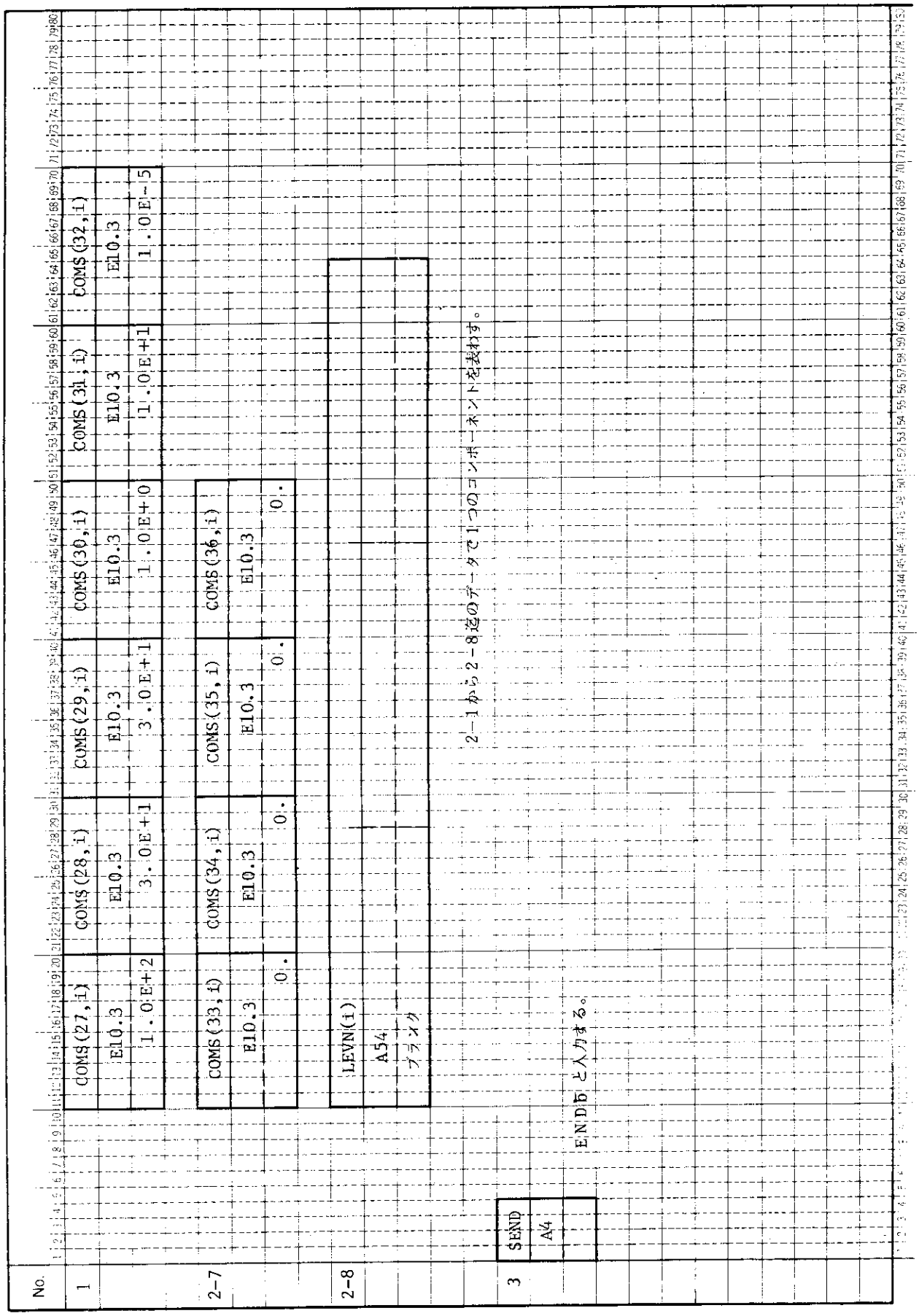


Fig. 4.1 COMP Input Data 2/2

⑵ DTBL

コマンド・データ，デシジョン・テーブルに関する情報データ群，終了データの３種のデータより構成される。Fig. 4. 2にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……DTBLと入力する。

〝DTBL〟コードの開始を示す。

②デシジョン・テーブルに関する情報データ群〔2－1，2－2，(2－3)，(2－4)，(2－5)，2－6〕

Fig. 4. 2に示すように〔2－1〕のデータはライブラリ登録の開始を示し，〔2－2〕から〔(2－5)〕までのデータで１つのデシジョン・テーブルの情報となる。

〔2－1〕 LLIB ……ライブラリに登録するデータ群の始まりを示すもので，& LIBと入力する。

〔2－2〕 MLIB(i) ……LIBR と入力する。１つのデシジョン・テーブル情報の始まりを示す。

NAMAE(i) ……登録するデシジョン・テーブル名

８桁以内の英数字で入力する。

NCA(i) ……コンポーネント名を構成する２文字を入力する。デシジョン・テーブル・識別データを作成する時に使用する。

NTYPEA(i)……登録すべきデシジョン・テーブルの登録番号

５桁以内の数値で右づめで入力する。

NINA(i)……該当コンポーネントまたは接点への入力個数

最大５個である。

NINTA(i)……該当コンポーネントまたは接点がもつ故障モードの個数

最大10個である。

NOUTA(i) ……該当コンポーネントまたは接点の出力個数

最大５個である。

NROWA(i) ……デシジョン・テーブル行数

最大30行である。

〔(2－3)〕 KMOD(i) ……ちMOD と入力する。

IFMNMA (i, 1)～IFMNMA (i, n)

……該当コンポーネントまたは接点がもつ故障モードの名前

８桁以内の英数字で入力する。 nは〔2－2〕の NINTA(i)で指定した個数 最大10個である。１枚に７個までしか入力できないので２枚になることがある。

〔(2－4)〕のデータはデシジョン・テーブルの各行に対する情報で，〔2－2〕の NROWA(i) で指定した数だけ入力する必要がある。j は行数を示す。

〔(2－4)〕 KROW (i, j)…ちROW と入力する。

JROW (i, j, 1)～JROW (i, j, n)

……デシジョン・テーブル値を入力する。

nは〔2－2〕のNINA(i)＋NINTA(i)＋NOUTA(i)個となり左からこの順にテーブル値を入力する。1行につき最大20個である。1枚に12個までのテーブル値しか入力できないので13個目以降は2枚目で入力する。

〔(2-5)〕のデータは該当コンポーネントまたは接点の入力および故障モードのデシジョン・テーブル値を定義するもので〔2－2〕のNINA(i)＋NINTA(i)個の入力が必要である。j番目の入力について示す。

〔(2-5)〕 INMA（i，j）…I／M区分を示す。

入力のデシジョン・テーブル値を定義する時はIと入力する。故障モードのデシジョン・テーブル値を定義する時はMと入力する。

IBNA（i，j） …列番号を示す。

〔(2-5)〕のINMA（i，j）のI毎またはM毎の順序番号を入力する。

IDTA(i，j)……デシジョン・テーブル値

ICNA(i，j)……コンポーネント名構成1文字

〔(2-5)〕のINMA(i，j)がMの時だけ入力する必要があり，1つのデシジョン・テーブル内ではユニークな英数字1文字でなければならない。

DIVMA(i，j)…デシジョン・テーブル値の定義を54文字以内の英数字で入力する。

〝DRAW〟コードにおいて，コンポーネント・メッセージとして1行18文字以内の構成で3行表示する。したがって入力全体を18文字以内の3分割をしておくことが必要である。

〔2－6〕 MEND(i) ……END と入力する。

1つのデシジョン・テーブル情報のライブラリ登録の終了を示す。

③終了データ〔3〕

〔3〕 LEND ……＆END と入力する。

〝DTBL〟コードの終了を示す。

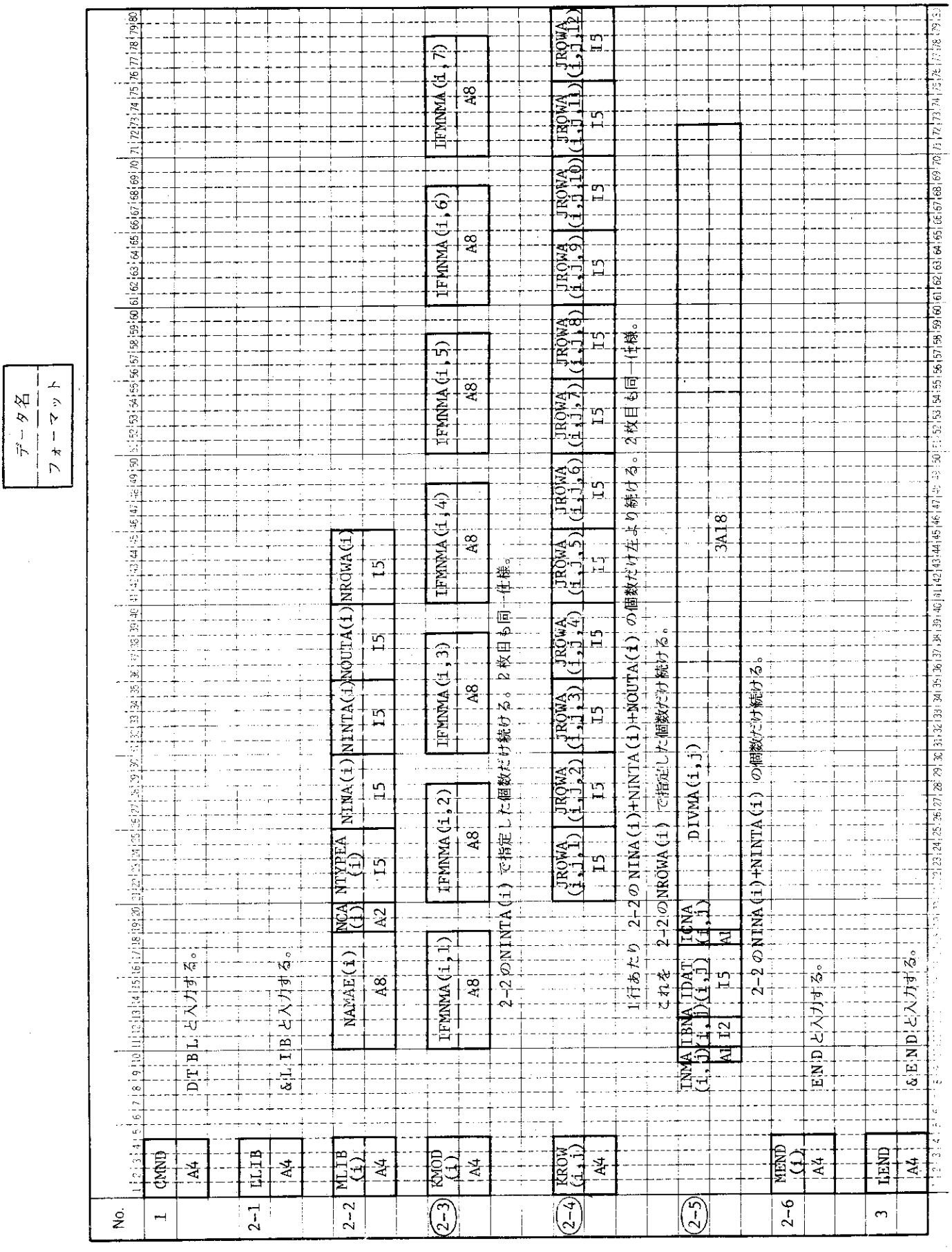


Fig. 4.2 DTBL Input Data

(3) CAT

コマンド・データ，タイトル・データ，コントロール・データ群，コンポーネント・ノード・データ群，頂上事象規定データ群，境界条件設定データ群，終了データの７種のデータより構成される。Fig. 4.3にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……CATと入力する。"CAT"コードの開始を示す。

②タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③コントロール・データ群〔3－1，3－2，3－3，3－4，3－5〕

〔3－1〕 IIDT ……＆DATと入力する。コントロール・データ群の開始を示す。

〔3－2〕 IDAT 1 ……ちDATと入力する。

IJOB ……任意のジョブ番号を5桁以内の数値で入力する。

IPRINT……出力オプション番号を入力

－1 ……最小出力

0 ……有益な情報の出力

1 or 2 ……処理ステップ毎の情報出力

3 or 4 ……途中結果の出力

IEDIT ……編集状態を規定するもの

0～97 ……完全に編集する

98 ……ツリー内のトランスファの検索を行わない。

99 ……中間編集状態を行わない。

100以上 ……編集を行わない。

〔3－3〕 IDAT 2 …… ちDATと入力する。

NNCMP……コンポーネント総数を入力する。〔(4－2)〕の枚数

NNODE ……システムにあらわれるノード番号の最大値

〔3－4〕 IDAT 3 …… ちDATと入力する。

NROW ……頂上事象のデシジョン・テーブルの最大行数を入力する。

〔3－5〕 IEND ……ENDと入力する。コントロール・データ群の終了を示す。

④コンポーネント・ノードデータ群〔4－1，(4－2)，4－3〕

〔4－1〕 ICMP……＆CMPと入力する。コンポーネント・ノード・データ群の開始を示す。

〔(4－2)〕 ICOM……ちCOMと入力する。コンポーネント・ノード・データの開始を示す。

CMPNAM(i)……コンポーネント名

8文字以内の英数字で入力する。

ITYPE(i)……デシジョン・テーブル・タイプを入力する。″DTBL″コードの直接入力データ〔2－2〕のNTYPEA(i)で指定したデシジョン・テーブル登録番号である。

NODE(j,i)……i番目のコンポーネントに対する入力および出力となるノード番号を，それぞれNINA(i)個，NOUTA(i)個だけ入力する(NINA(i)，NOUTA(i)は，″DTBL″コードの入力データ〔2－2〕である)。

〔4－3〕 JEND……ENDと入力する。コンポーネント・ノード・データ群の終了を示す。

⑤ 頂上事象規定データ群〔5－1，5－2，(5－3)，5－4〕

〔5－1〕 LTOP……&TOPと入力する。頂上事象規定データ群の開始を示す。

TPMSG……頂上事象の説明を54文字以内の英数字で入力する。″DRAW″コードで18文字ずつ3行表示をするので，18文字以内ずつ3分割して入力する必要がある。

〔5－2〕 MTOP ……TTOPと入力する。

NNAME……頂上事象名

8文字以内の英数字で入力する。

MROW ……頂上事象のデシジョン・テーブル行数

MIN ……頂上事象への入力個数

MNODE(j) ……頂上事象への入力に対するノード番号〔5－2〕のMIN で指定した個数だけ入力する。

〔(5－3)〕 NTOP……ちTOPを入力する。

JROW(i,j)……頂上事象への入力データに対して，頂上事象として定義される各ノードの状態番号を，〔5－2〕のMINで指定した数だけ左より入力する。〔5－2〕のMROWで指定した数の枚数が必要となる。

〔5－4〕 LEND ……ENDと入力する。頂上事象規定データ群の終了を示す。

⑥ 境界条件設定データ群〔6－1，(6－2)，(6－3)，6－4〕

このデータ群は，コンポーネントそれ自身の初期状態，各ノードの初期状態を指定するものである。

〔6－1〕 NBC ……&BCと入力する。境界条件設定データ群の開始を示す。

〔(6－2)〕 このデータはコンポーネントそれ自身の初期状態を設定するもので，〔3－3〕のNNCMPで指定した数の枚数だけ入力する。

NNT ……ちINTと入力する。

NNAME(i) ……コンポーネント名を入力する。

IMODE(i,j) …故障モードの初期状態を入力する。

〔(6－3)〕 このデータは，ノード番号に対する初期状態を設定するもので，1枚のデータに6組入力できる。

NEXT ……ちEXTと入力する。

NNODE(j) ……初期状態を設定したいノード番号

NSTATE ……NNODE(j)のノード番号に対し設定したい初期状態

〔6－4〕 NEND ……END と入力する。境界条件設定データの終了を示す。

⑦ 終了データ〔7〕

〔7〕 MEND ……＆END と入力する。″CAT″ コードの終了を示す。

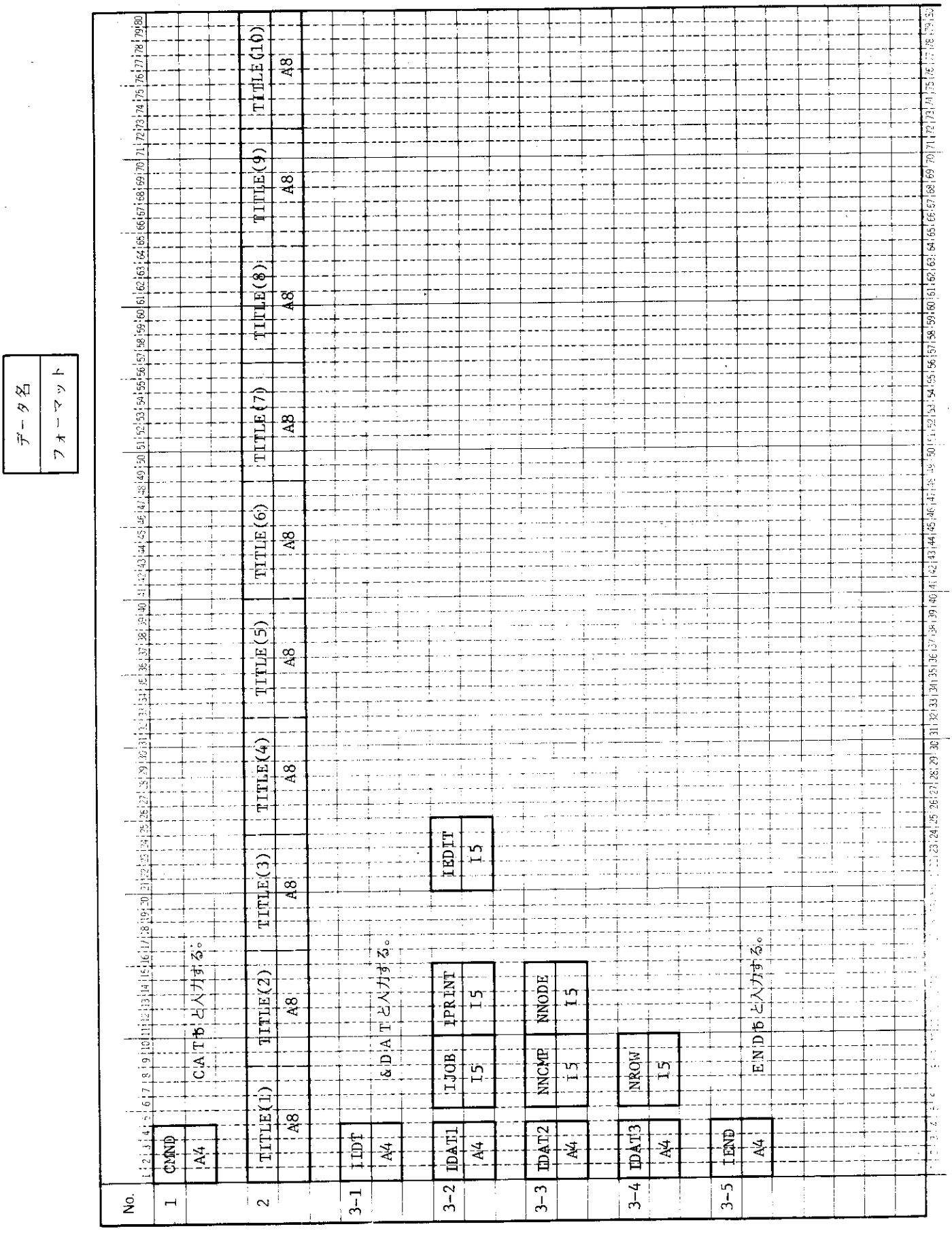


Fig. 4.3 CAT Input Data 1/3

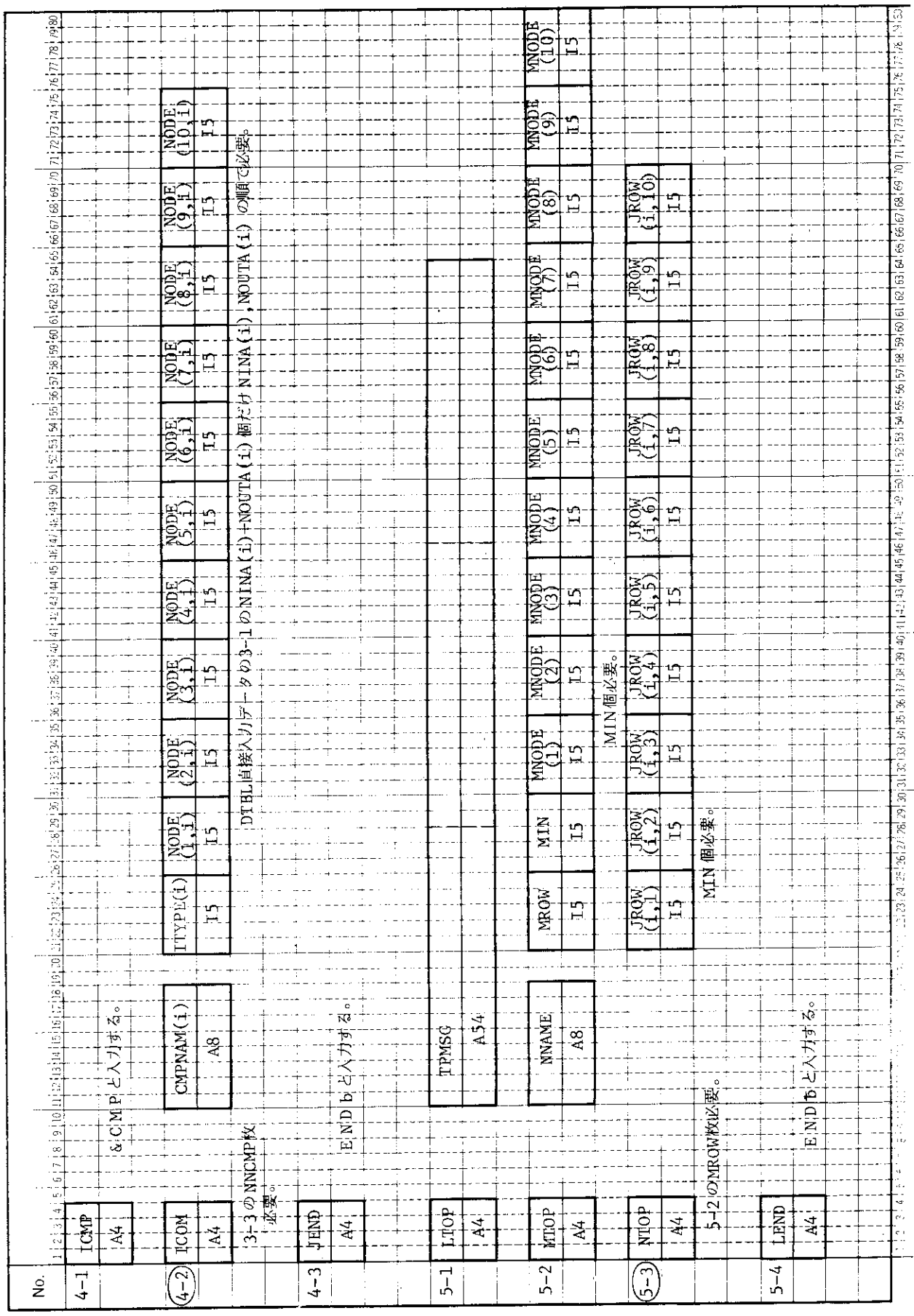


Fig. 4.3 CAT Input Data 2/3

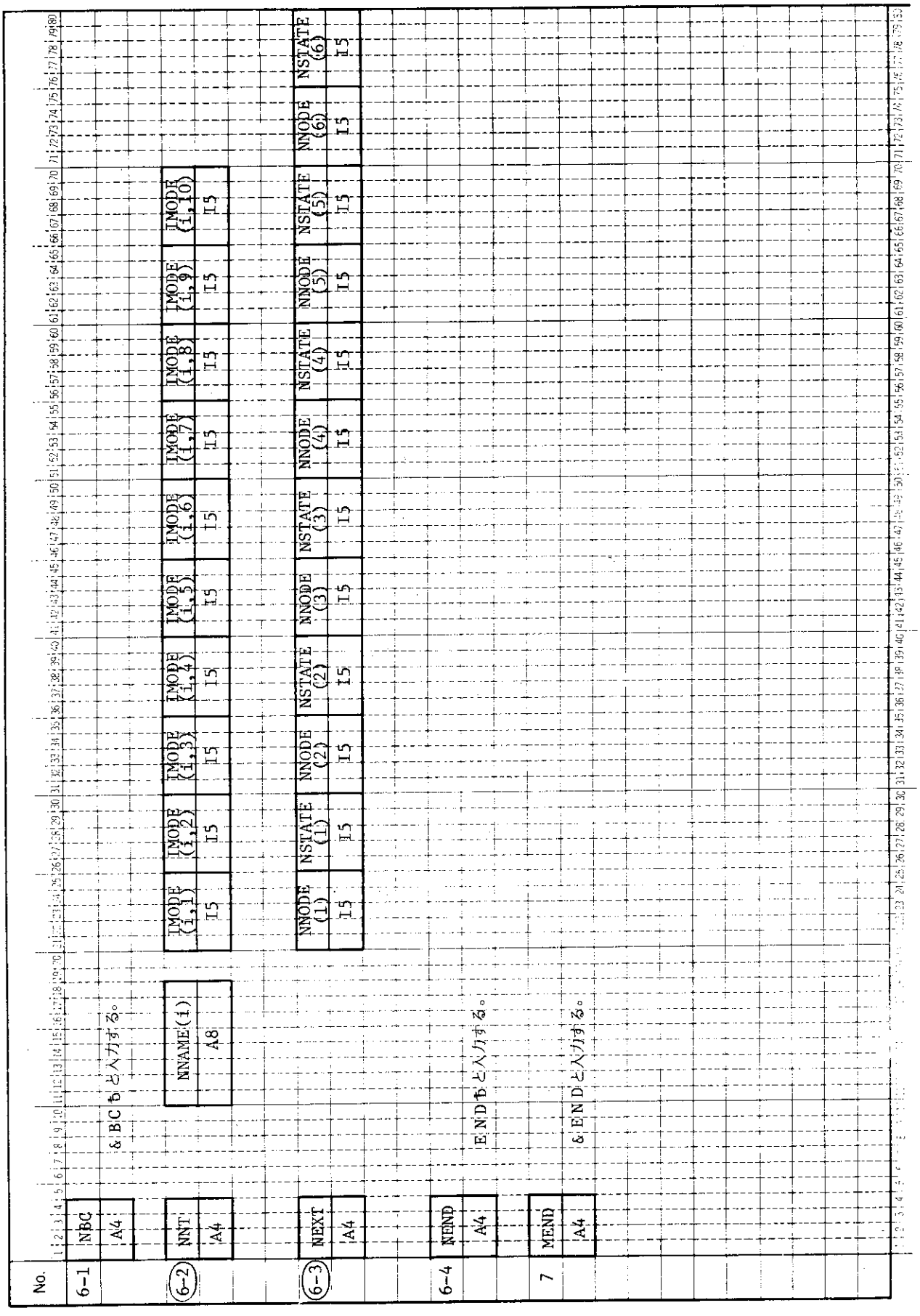


Fig. 4.3 CAT Input Data 3/3

(4) WAM

コマンド・データ，タイトル・データ，ゲート情報コントロール・データ,ゲート情報データ群，コンポーネント対応データ群，暫定的に使用する一時的コンポーネント・データ群，終了データの7種のデータより構成される。

Fig. 4. 4にデータ名，フォーマットを示す。

① コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……WAMと入力する。"WAM"コードの開始を示す。

② タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE (1)～TITLE (10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③ ゲート情報コントロール・データ〔3〕

〔3〕 IGSW ……既に作成されているゲート情報を使用するか否かのフラッグとして使用する。

0 ……既に作成されているゲート情報を使用する。

1 ……新たにゲート情報を作成する。

④ ゲート情報データ群〔4－1，4－2，4－3，4－4〕

このデータ群は〔3〕のIGSWが1の時必要となる（但し，〔4－4〕データはIGSWが0の時でも必要)。このデータ群から間接出力データのゲート情報が作成される。1つのゲートに対し，〔4－1〕，〔4－2〕，〔4－3〕のデータが必要である。(但し，〔4－2〕は〔4－1〕で入力しきれない時のみ必要である。)

〔4－1〕 GATE(i，1) …ゲート名を8文字以内の英数字で入力する。

GATE(i，2) …ゲート・タイプを入力する。ゲート・タイプとNGATE(i，1)，NGATE(i，2)の関係はTable 4. 2に示す。

Table 4. 2 GATE type Characteristics

ゲート・タイプ		AND	OR	NOT	NOR	NAND	ANOT	ONOT	COM	INH
意味		a∩b∩c	a∪b∪c	¬a	¬(a∪b)	¬(a∩b)	a∩(¬b)	a∪(¬b)	n out of m	インヒビットゲート
入力ゲート数＋入力コンポーネント数		8(BAM CUT DRAW) 7 (PRP 1)	8(BAM CUT DRAW) 7 (PRP 1)	1	2	2	2	2	8	8
使用可能ゲート・タイプ	BAM	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	CUT	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	DRAW	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PRP 1	○	○	×	×	×	×	×	×	×

NGATE（i，1)…当該ゲートに対する入力ゲートの個数

NGATE（i，2)…当該ゲートに対する入力コンポーネントの個数

NGATE（i，3)…当該ゲートがコンビネーション・ゲートの場合の条件数

GATE（i，3）～GATE（i，7）

……入力ゲート名および入力コンポーネント名を入力する。この際NGATE（i，1）で指定した個数の入力ゲート名，続いてNGATE（i，2)で指定した個数の入力コンポーネント名を順に入力する。NGATE（i，1）＋NGATE（i，2）≧６の場合は６個迄がこれで入力され，残りは〔4－2〕のデータで入力される。

〔4－2〕　このデータは〔4－1〕のNGATE（i，1）＋NGATE（i，2）＞６の場合に必要

ICONT ……継続マークで０以外の１桁の数値を入力する。

GATE（i，8）～GATE（i，10）

……〔4－1〕のGATE（i，3）～GATE（i，7）で入力しきれなかった入力ゲート名および入力コンポーネント名を入力する。

〔4－3〕　EVEN（i，1）～EVEN（i，7）

……ゲートに関する説明を54文字以内の英数字で入力する。"DRAW"コードでは，１行18文字の３行表示になるので，１行を18文字以内に３分割して入力する必要がある。

INHMSG(i)……ゲート・タイプを"INH"（インヒビット・ゲート)と指定した時に，メッセージを16文字以内の英数字で入力する。

〔4－4〕　WEND ……ENDTと入力する。ゲート情報データ群の終了を示す。ゲート情報データ群の入力がない場合でもこのデータだけは入力しなければならない。

⑤コンポーネント対応データ群〔(5－1)，5－2〕

このデータ群ではゲート情報に指定された入力コンポーネント名と，コンポーネント・データ・ベースに登録してあるコンポーネント名との対応をつける。

〔(5－1)〕　コンポーネント名の対応データを入力するもので，何枚でも入力可能である。一枚のデータに３組の対応データの入力が出来る。

DCOMP(1)～DCOMP(j)

……入力コンポーネント名

ゲート情報に指定されたコンポーネント名を使用する。

DCOMD(1)～DCOMD(j)

……コンポーネント・データ・ベースに登録されているコンポーネント名でDCOMPと対で入力する。

〔5－2〕　IENDX ……ENDXと入力する。コンポーネント対応データ群の終了を示す。データ群が１組もない時も，このデータは必要である。

⑥暫定的に使用する一時的コンポーネント・データ群〔6－1，6－2，6－3，6－4，6－5，6－6，6－7，6－8〕

このデータ群はゲート情報に指定された入力コンポーネントに対する情報を，コンポーネン

ト・データ・ベースに登録してあるものと異ったものとして指定する時に入力するものである。1つのコンポーネントに対し，〔6－1〕，〔6－2〕，〔6－3〕，〔6－4〕，〔6－5〕，〔6－6〕，〔6－7〕，〔6－8〕の8枚のデータが必要である。各データ項目の内容は〝COMP〟コードでの直接入力データのコンポーネントに関する情報データ群〔2－1〕，〔2－2〕，〔2－3〕，〔2－4〕，〔2－5〕，〔2－6〕，〔2－7〕，〔2－8〕と同一であるのでここでは説明を省略する。

⑦ 終了データ〔7〕

〔7〕 DENDC ……ENDCと入力する。〝WAM〟コードの終了を示す。

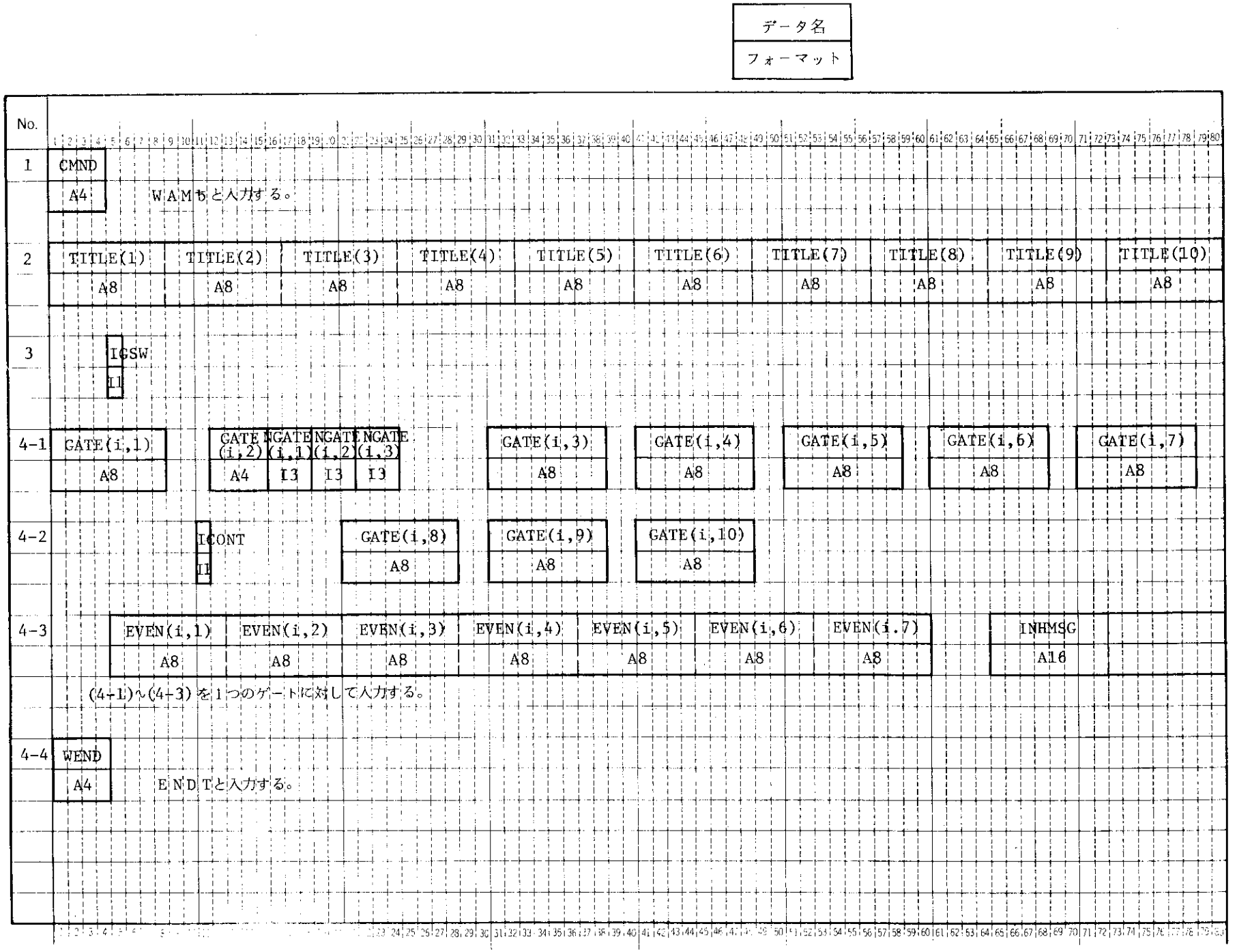


Fig. 4.4 WAM Input Data 1/3

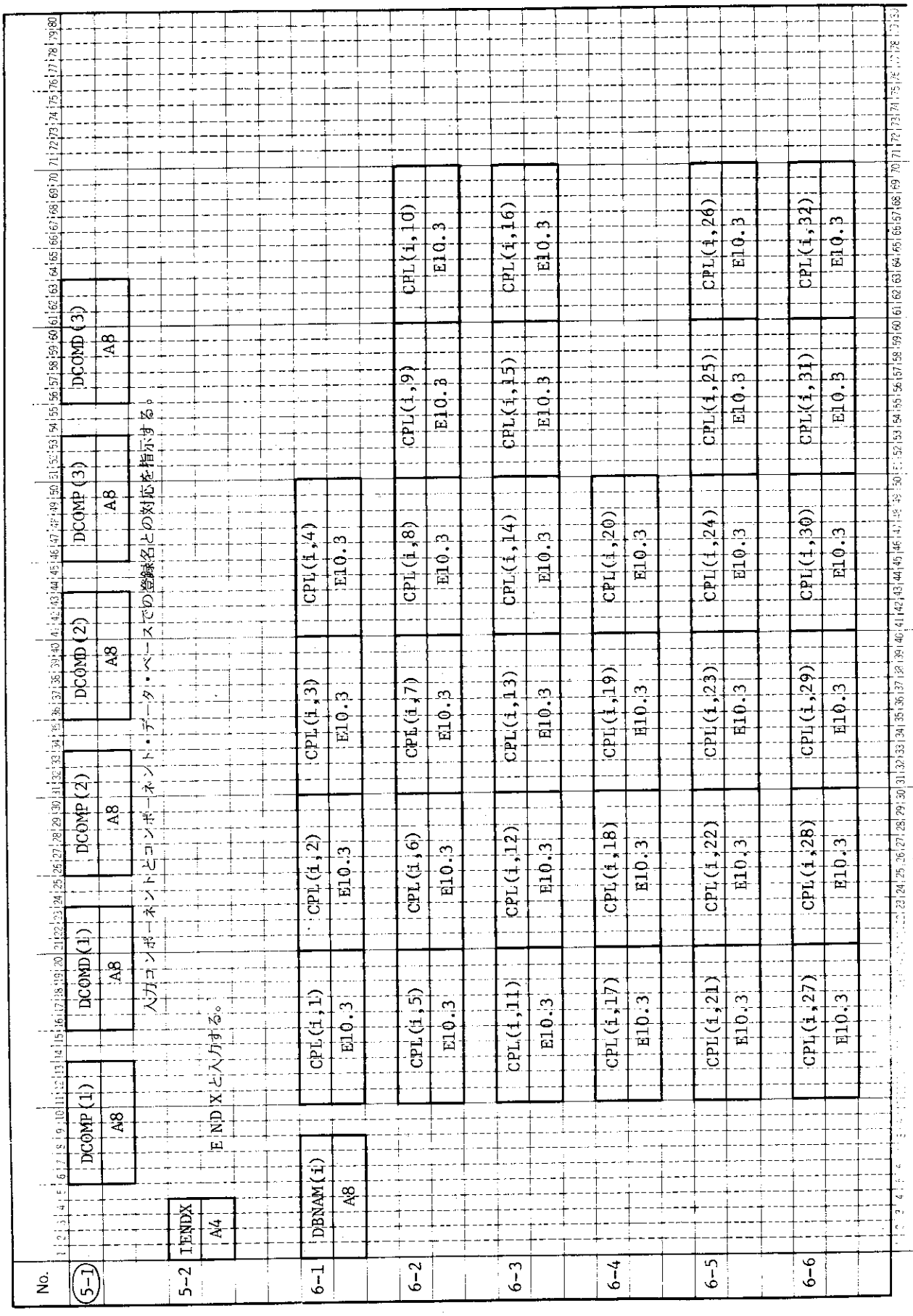


Fig. 4.4 WAM Input Data 2/3

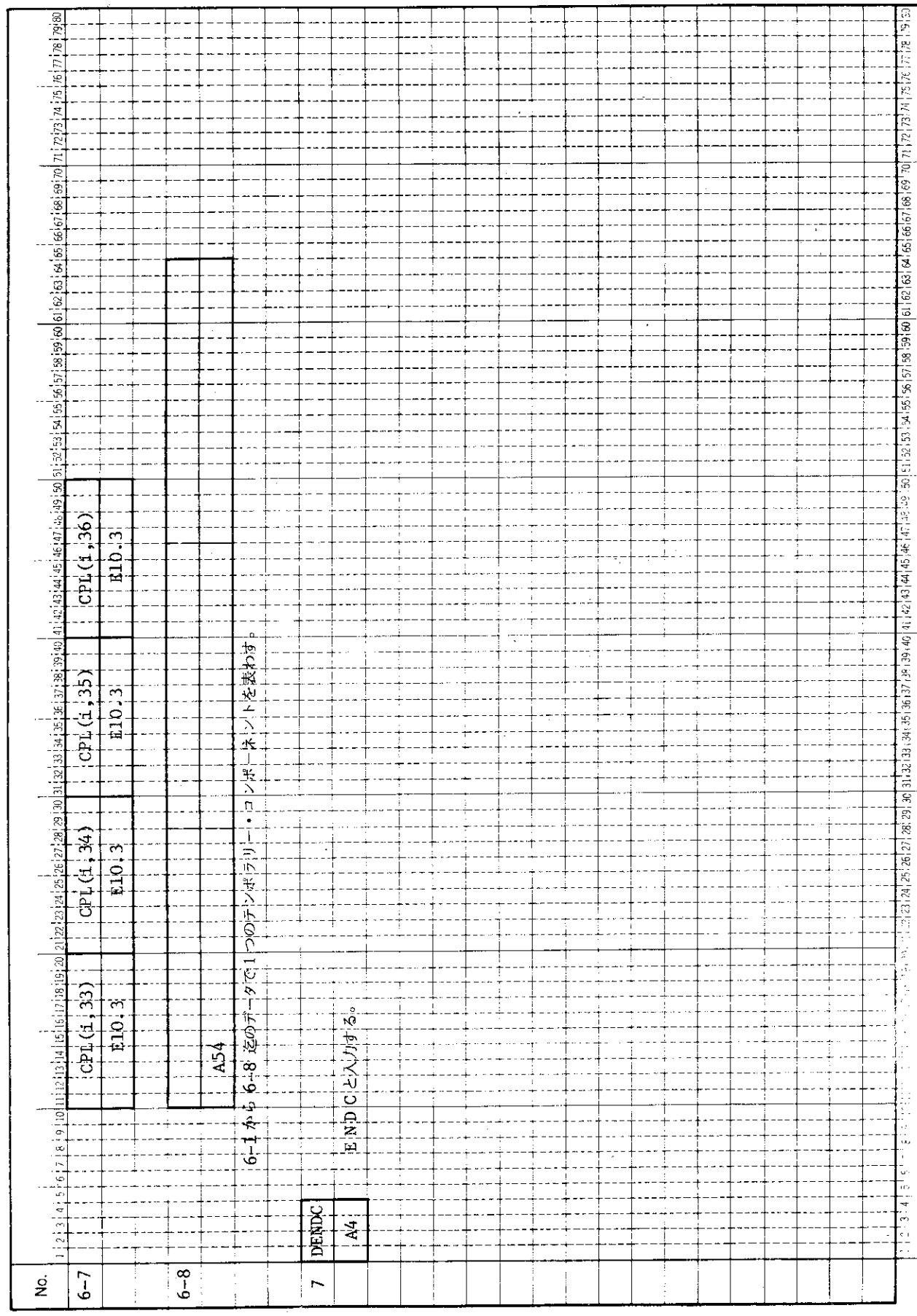


Fig. 4.4 WAM Input Data 3/3

(5) CUT

コマンド・データ，タイトル・データ，パラメータ・データ，ゲート指定データの4種のデータより構成される。Fig. 4.5に，データ名，フォーマットを示す。

① コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……CUTと入力する。"CUT"コードの開始を示す。

② タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力しているものが使用される。

③パラメータ・データ〔3〕

〔3〕 XRF ……コンポーネントのクロス・リファレンスを出力リストするか否かの指定

"X"……出力する。

"X"以外……出力しない。

RST ……再スタート計算指定

"ち"……初期状態より解析する。

"ち"以外……前回解析処理の途中より解析を続ける。1回はRST＝"ち"で処理がされていなければならない。

INND ……頂上事象以外のゲートに対するミニマル・カット・セットを出力リストしたい時，そのゲートの個数を入力する。

IPDEL ……切り捨て確率値の指定方法を指示するもの。

0……カットセットの発生確率が，PDELで指定する切り捨て確率値以下のとき，そのカット・セットを切り捨てる。

1……ゲート毎に見つけた各々のカット・セットの中で，その発生確率と最大発生確率との比がPDELで指定する値より小さいとき，そのカット・セットを切り捨てる。

PDEL……切り捨て確率値

IPDEL＝0の時は切り捨て確率値を，IPDEL＝0の時は切り捨て確率値を，IPDEL＝1の時は，切り捨て確率値の比を入力する。

IOPT ……計算処理指定

0……カット・セットだけを求め出力リストする。

1……カット・セットを求め，生起確率の1次モーメントを計算する。

2……カット・セットを求め，生起確率の1次，2次モーメントを計算する。

MCS 1 ……ミニマル・カット・セットの最小次数を指定する。ここで指定した次数以下のミニマル・カット・セットは切り捨てられる。デフォルトは1次である。

MCS 2 ……ミニマル・カット・セットの最大次数を指定する。ここで指定し

た次数以上のミニマル・カット・セットは切り捨てられる。デフォルトは5次である。

ICPU ……再スタートのタイミングを指定する。

＜0 ……再スタート用の出力をしない。

＝0 ……INND＞0で〔④〕のDNAME(1)～DNAME(j)で指定したゲート毎に再スタート用の出力をする。

＞0 ……ここで指定した時間（単位：分）内で処理した最後のゲート迄の結果を再スタート用の出力とする。

IZF1 ……構造関数として出力する項数の最大値を指定する。デフォルトは1,000である。

④ ゲート指定データ〔④〕

頂上事象以外のゲートに対するミニマル・カット・セットを出力リストに出力したいとき，そのゲート名を〔3〕のINNDで指定した個数だけ指定する。

〔④〕 DNAME(1)～DNAME(j)

……頂上事象以外のゲートに対するミニマル・カット・セットを出力リストに出力したいとき，そのゲート名を〔3〕のINNDで指定した個数だけ指定する。1枚のデータに8個のゲートが指定できる。

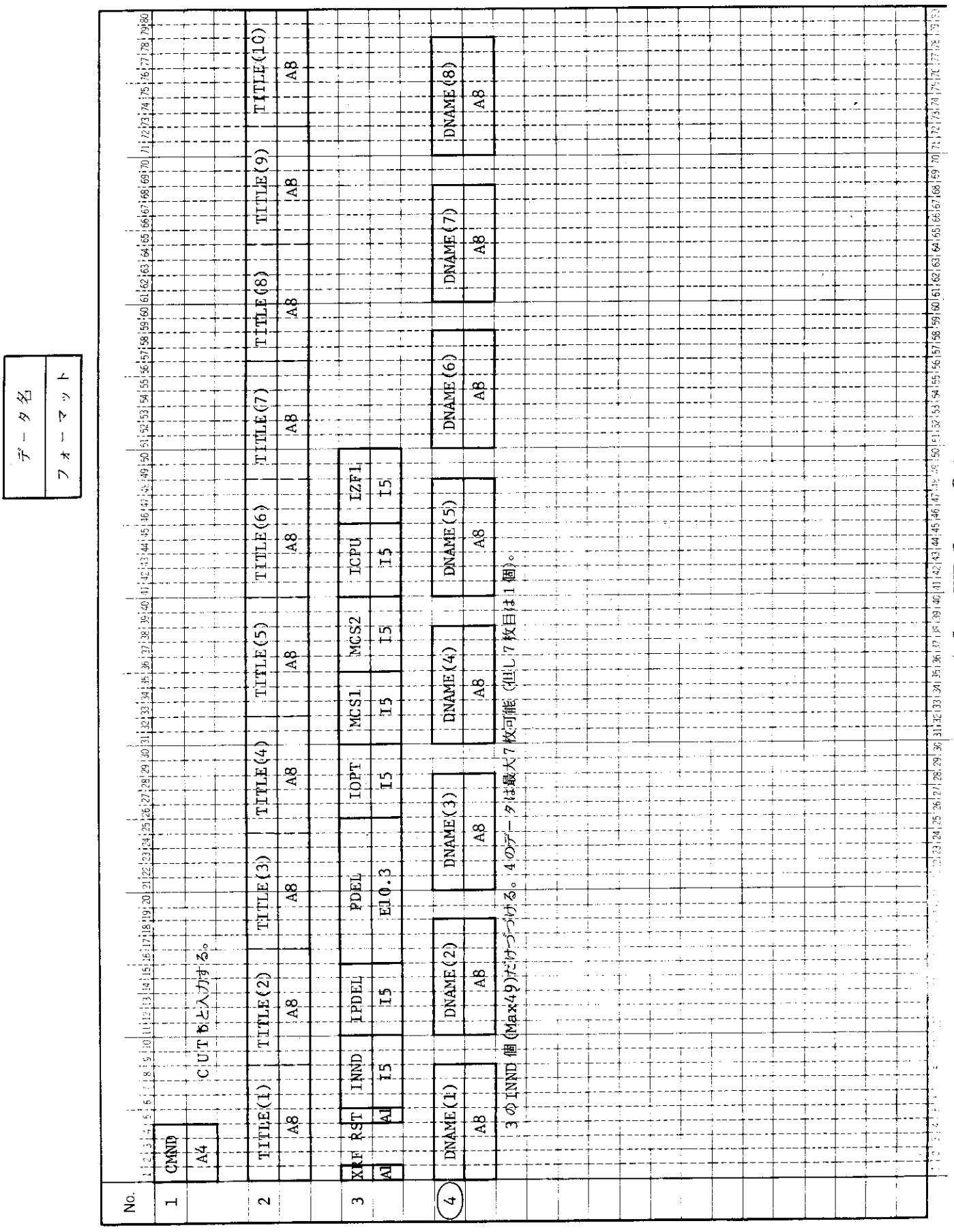


Fig. 4.5 CUT Input Data

(6) PRP 1

コマンド・データ，タイトル・データ，パラメータ・データ，終了データの４種類のデータより構成される。Fig. 4.6にデータ名，フォーマットを示す。

① コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……PRP 1と入力する。″PRP 1″コードの開始を示す。

② タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③ パラメータ・データ〔3，4〕

″PRP 2″コード用のミニマル・パス・セットまたはミニマル・カット・セットを求めるためのパラメータを入力する。

〔3〕 ASTDAT ……＊DATAと入力する。パラメータ・データの開始を示す。

〔4〕 MIN ……ミニマル・カット・セットを求める方法として「決定論的方法」を採用する場合，求めるミニマル・カット・セットの最小次数を指定するもの。1次から10次迄の値が指定できる。0を指定すると，ミニマル・カット・セットを求める方法として「モンテ・カルロ法」が採用されることになる。

MAX ……ミニマル・カット・セットを求める方法として「決定論的方法」を採用する場合，求めるミニマル・カット・セットの最大次数を指定する。MIN≦MAX≦10の範囲の値が指定できる。ミニマル・カット・セットを求める方法として「モンテカルロ法」を採用する時は0とする。

IDEX 1 ……ミニマル・カット・セットを求めるか，ミニマル・パス・セットを求めるかを指示する。

0 ……ミニマル・カット・セットを求める。

1 ……ミニマル・パス・セットを求める。MIN，MAX ともに0の時「モンテ・カルロ法」を採用する場合だけ有効である。

MCS ……「モンテ・カルロ法」を採用する場合，求めるミニマル・パス・セットまたはミニマル・カット・セットの最小次数を指定する。デフォルト値は1次である。

NREJEC ……「モンテ・カルロ法」を採用する場合，一様乱数初期無効回数を指定する。NTR（試行回数）より小さい値を指定する。

NTR ……「モンテ・カルロ法」を採用する場合，試行回数を指定する。5,000回以内の値を指定する。

IREN ……「モンテ・カルロ法」を採用する場合，ミキシング・パラメータ注)を指定するもの。

1 ……コンポーネント情報の故障率λ〔故障回数／10^6 H〕に無関係で

注）付録″PRP 2″の項参照

ランダムにミニマル・カット・セットを求める場合を示す。T＝0.01／λ_{max} とする場合である。

2 ……λが大きい順に，ミニマル・カット・セットを求める場合を示す。T＝ 10.／λ_{min}とする場合である。

3 ……T＝TAAとする場合を示す。

LINEX ……ミニマル・カット・セットまたはミニマル・パス・セットを構造関数として出力する場合，項数の最大値を指定する。デフォルトは 1,000 である。

TAA ……IREN ＝ 3 の場合　Tに代入する時間を指定する。

④ 終了データ〔5〕

〔5〕 PEND……ENDと入力する。″ PRP 1″コードの終了を示す。

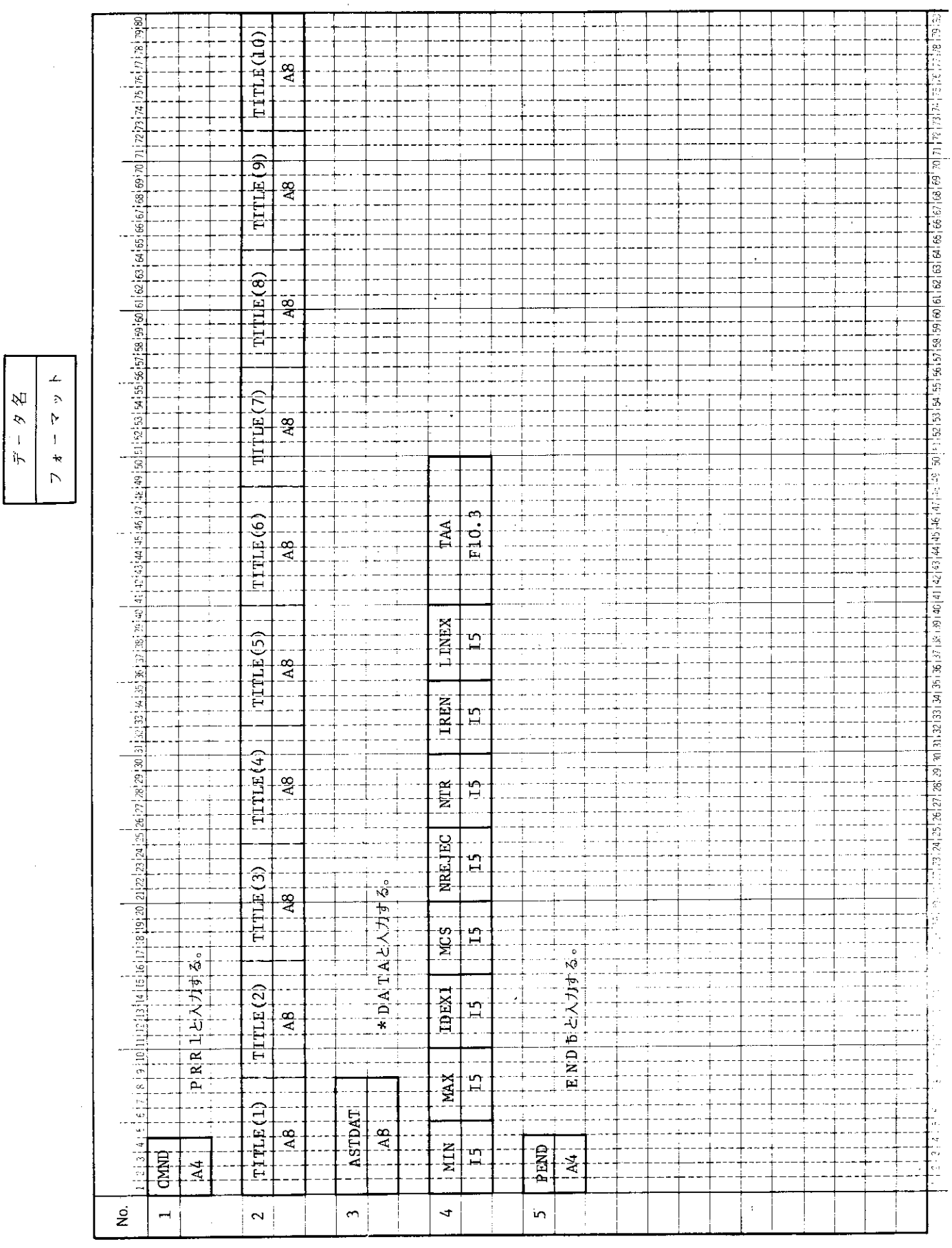


Fig. 4.6 PRP1 Input Data

(7) PRP 2

Fig. 4.7 に示すように，コマンド・データだけが入力データとなる。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……PRP 2 と入力する。″PRP 2″ コードの開始を示す。

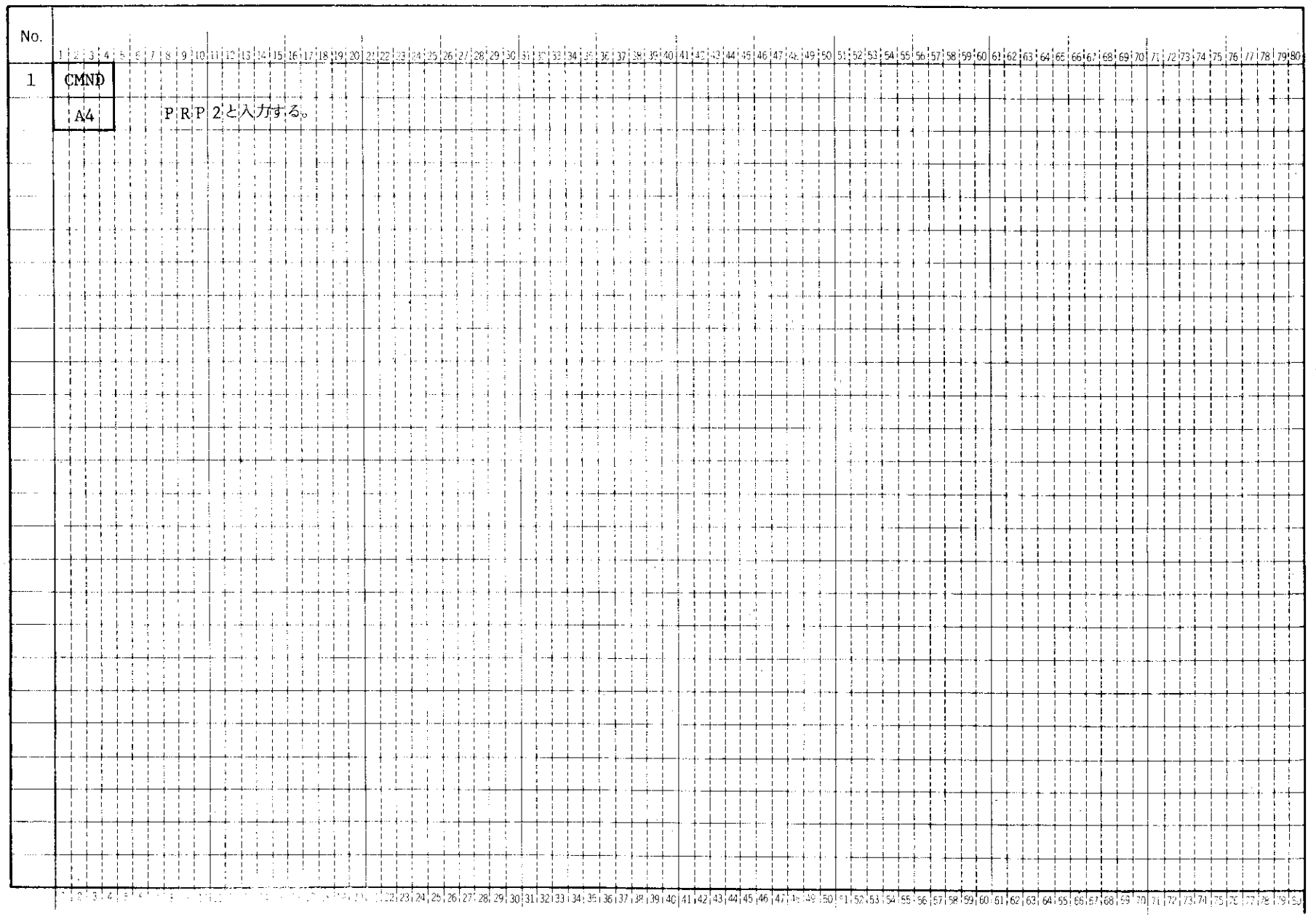


Fig. 4.7 PRP2 Input Data

(8) BAM

コマンド・データ，タイトル・データ，パラメータ・データ，ゲート指定データ，従属コンポーネント・データ，終了データの6種のデータより構成される。Fig. 4.8にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……BAMと入力する。"BAM"コードの開始を示す。

②タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③パラメータ・データ〔3〕

〔3〕 XRF ……コンポーネントのクロス・リファレンスを出力リストするか否かの指定をする。

"X"……出力する。

"X"以外……出力しない。

NND ……発生確率を求めるゲートの個数を指定する。最大299個のゲートの指定が可能である。但し頂上事象はゲートとして扱わない。

PMINT ……ブール代数を用いて確率を計算していく過程での切り捨て値を指定する。ここで指定した値以下のものは切り捨てられる。

④ゲート指定データ〔④〕

頂上事象以外のゲートに対する発生確率を求めたいとき，そのゲート名を〔3〕のNNDで指定した個数だけ指定するものである。

〔④〕 DNO(1)～DNO(j)

……頂上事象以外のゲートでの発生確率を求めたいとき，そのゲート名を〔3〕のNNDで指定した個数だけ指定する。1枚のデータに8個のゲートが指定できる。

⑤従属コンポーネント・データ〔⑤〕

従属するコンポーネントまたはゲートとの共通部分の発生確率を入力する。

〔⑤〕 CPNMWK ……従属コンポーネント名またはゲート名を指定する。

ITYD……従属する相手がコンポーネントかゲートかを指定する。

G……従属する相手がゲートの場合

C……従属する相手がコンポーネントの場合

INMWK ……従属する相手名を指定する。

ITYD＝「G」の時はゲート名を　ITYD＝「C」の時はコンポーネント名を指定する。

UNVWK ……従属するコンポーネントまたはゲートとの共通部分の発生確率を入力する。

⑥終了データ〔6〕

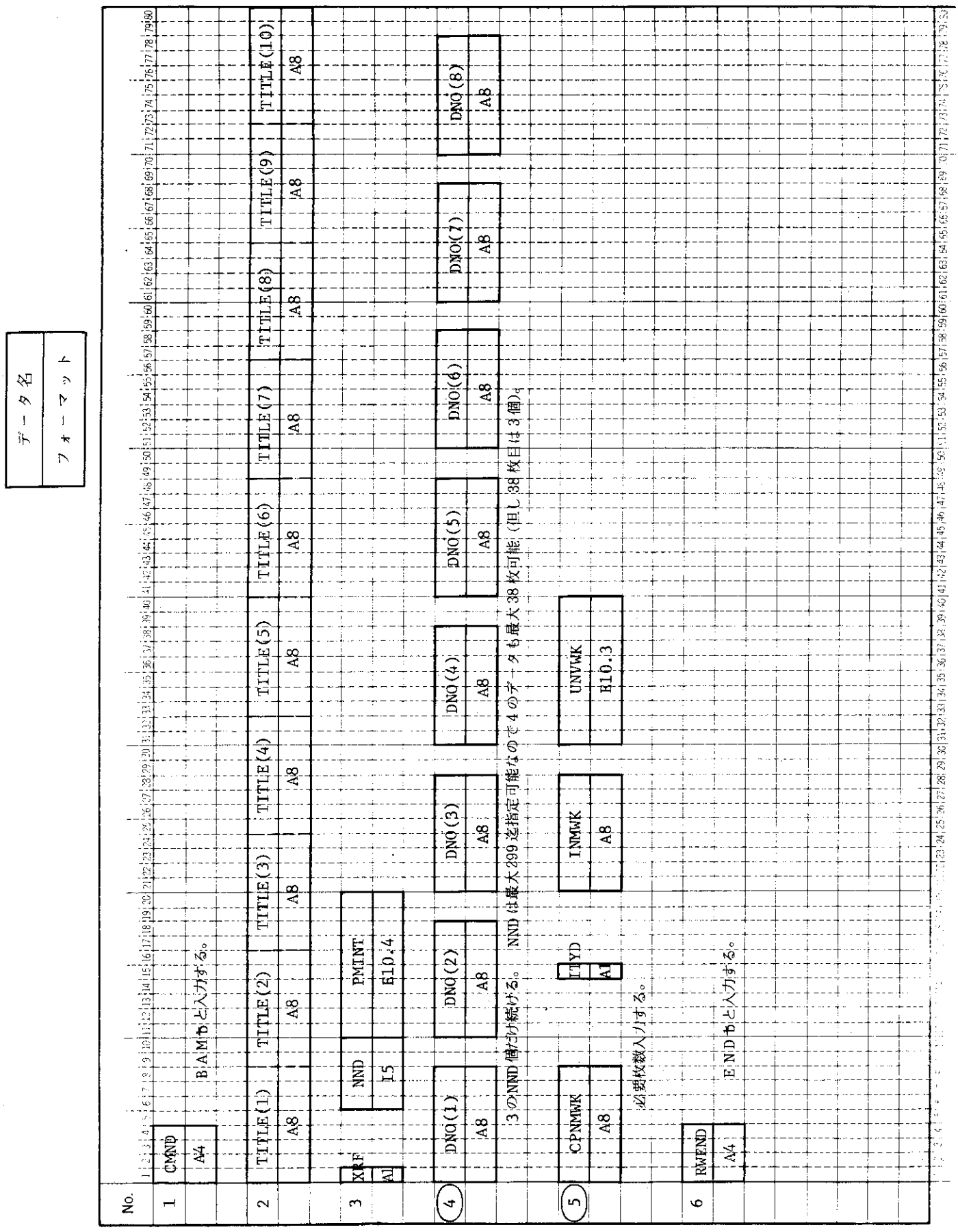


Fig. 4.8 BAM Input Data

〔6〕 RWEND……ENDと入力する。″BAM″ コードの終了を示す。

(9) SPASM

コマンド・データ，タイトル・データ，パラメータ・データ，コンポーネント分布形指定データ群の4種類のデータより構成される。Fig. 4.9に，データ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……SPSMと入力する。″SPASM″コードの開始を示す。

②タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE (10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③パラメータ・データ〔3〕

〔3〕 IN ……ミニマル・セット[注)]を構成するコンポーネント数を指定する。

IMAX……モンテ・カルロ法での試行回数を指定する。5,000回以下の値を指定する。デフォルト値は5,000回である。

NPROB ……構造関数識別番号を指示するものである。現在は「1」だけが許される。

1 ……″CUT″コードまたは″PRP 2″コードで作成した構造関数を使用する場合

n ……利用者が独自に作成した構造関数を使用する場合の構造関数の番号

NREJEC ……モンテ・カルロ法での一様乱数初期無効回数を指定する。

④コンポーネント分布形指定データ群 〔④，5－1，(5－2)〕

ミニマル・セットを構成するコンポーネントのアンアベィラビリティがどのような分布形をしているかを示す。即ち，″SPASM″ コードが用意している9種の分布形（正規分布，対数正規分布，一様分布，ベータ分布，ガンマ分布，二項分布，インバーテッド・ベータ分布，カイ2乗分布，スチューデントT分布）のどれかを指定するか，別に利用者が用意した最大5種類までの分布データ（ヒストグラムの形式）を〔5－1〕，〔(5－2)〕で与える。

〔④〕 IC(1)～IC(j) ……コンポーネント・アンアベィラビリティの分布形を指定する。英字による指定は″SPASM″ コードが用意している分布形を示し，数字による指定は利用者がヒストグラムの形式で用意した分布データを使用することを意味する。〔3〕のIN で指定した個数だけ指定する。1枚のデータには10個までが指定できる。

N……正規分布を想定して計算

L……対数正規分布を想定して計算

I ……一様分布を想定して計算

B……ベータ分布を想定して計算

注）ミニマル・セットとはミニマル・カット・セットまたはミニマル・パス・セットのことでどちらかを示す。

G……ガンマ分布を想定して計算

D……二項分布を想定して計算

F……インバーテッド・ベータ分布を想定して計算

C……カイ２乗分布を想定して計算

S……スチューデントT分布を想定して計算

１～5……利用者が用意した分布データを使用して計算

〔5－1〕　NO(i)　……用意した分布データのグループ番号を指定する。最大５グループ。

NTEMP(i)……用意した分布データの区間数（ヒストグラムの数）を指定する。

TUNI(i, 1)……１番目区間の左端値を指定する。

〔(5−2)〕　このデータは　TDIST，TUNIの組で１区間の情報を示し，〔5－1〕のNTEMP(i)で指定した区間数の入力が必要である。１枚のデータで３区間の情報を与えることができる。

〔(5−2)〕　TDIST(i, 1)～TDIST(i,j)

……区間度数を指定する。

TUNI (i, 2)～TUNI(i,j＋1)

……区間右端値を指定する。

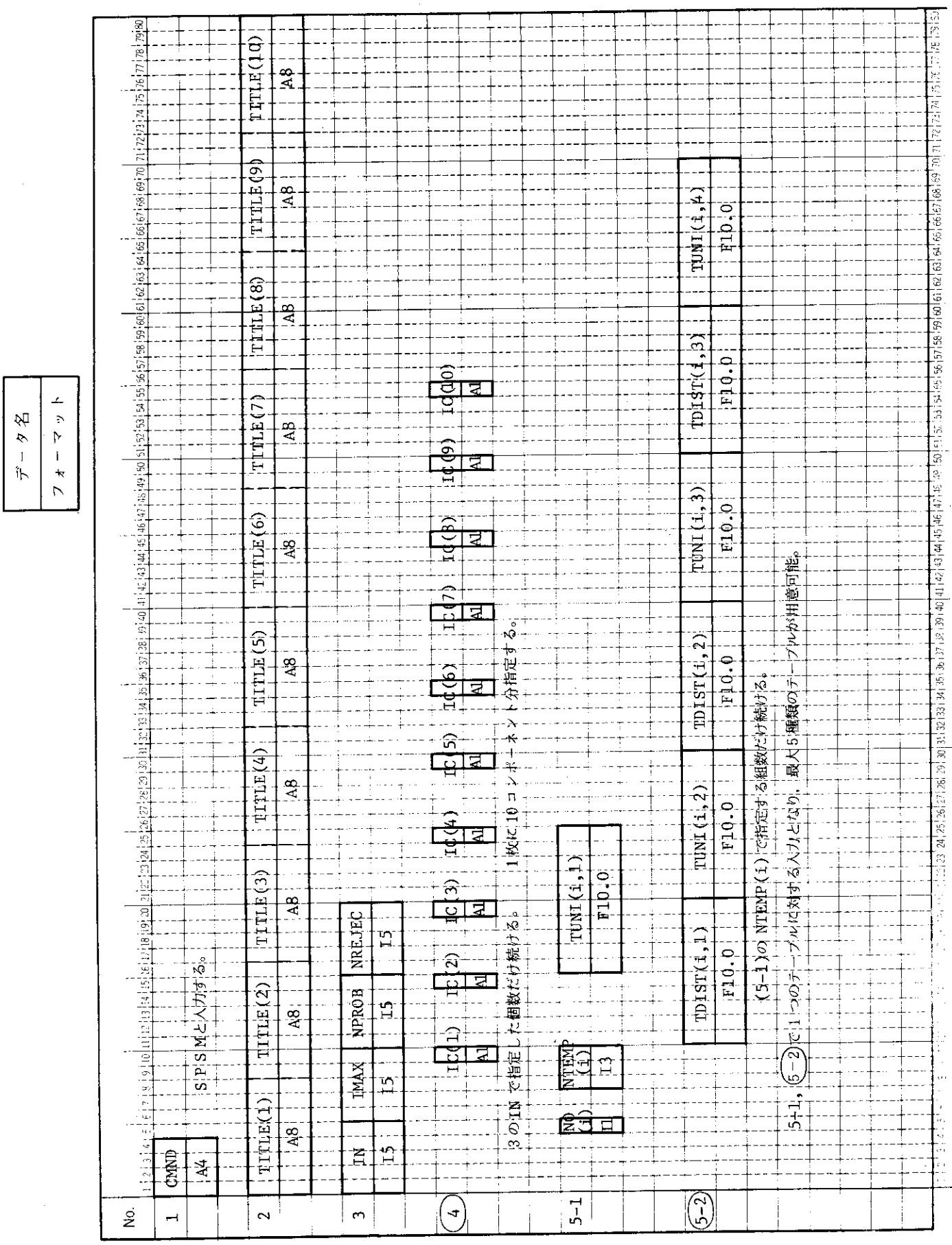


Fig. 4.9 SPASM Input Data

⑩ BOUNDS

コマンド・データ，タイトル・データ，パラメータ・データ，コンポーネント特性値指定データの４種のデータより構成される。Fig. 4.10にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……BNDSと入力する。″BOUNDS″コードの開始を示す。

②タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものが使用される。

③パラメータ・データ〔3〕

〔3〕 NC ……ミニマル・セットを構成するコンポーネント数を指定する。

LBOUND ……頂上事象発生確率の下限値を算出するか否かを指定するものである。

″TRUE″ ……上限値，下限値の算出を行う。

″TRUE″ 以外……上限値だけの算出を行う。

CONSTN ……頂上事象発生確率の下限値計算（付録の（A－36）式参照）において，２つのミニマル・カット・セットの共通部分からの寄与が，上限値×CONSTNより小さいときその項を無視する。

④コンポーネント特性値指定データ〔④〕

ミニマル・セットを構成するコンポーネントに対し分布特性を与えシステムのアンアベィラビリティを算出する際に必要な特性値を指定する。１枚のデータに10個のコンポーネントに対する特性値が指定できる。

〔④〕 ICODE(1)～ICODE(j)

……特性値コードを〔3〕のNCで指定した個数だけ指定する。特性値コード，利用データ，および採用式をTable 4.3に示す。

Table 4.3 Density Function Characteristic Identification

特性値コード	利 用 デ ー タ	″BOUNDS″ コード内採用式
0	$\lambda_{0.5}$, f_λ, $\tau_{0.5}$, f_τ	$Zi = \lambda i * \tau i$
1	$\lambda_{0.5}$, f_λ, $\tau_{0.5}$, f_τ	$Zi = \lambda i * \tau i / (1 + \lambda i * \tau i)$
2	$\bar{Z}i$, $\mu_2(Zi)$	$Zi = \bar{Z}i$, $\sigma^2 = \mu_2(Zi)$
3	$\bar{Z}i$	$Zi = \bar{Z}i$

Z_i : i 番目コンポーネントのアンアベィラビリティ
$\bar{Z}_i$: i 番目コンポーネントのアンアベィラビリティ平均値
$\mu_2(Z_i)$: i 番目コンポーネントのアンアベィラビリティ分散
λ_i : i 番目コンポーネントの故障率
$\lambda_{0.5}$: i 番目コンポーネントの故障率メディアン値
f_λ : i 番目コンポーネントの故障率エラーファクタ
τ_i : i 番目コンポーネントの修理時間
$\tau_{0.5}$: i 番目コンポーネントの修理時間メディアン値
f_τ : i 番目コンポーネントの修理時間エラーファクタ

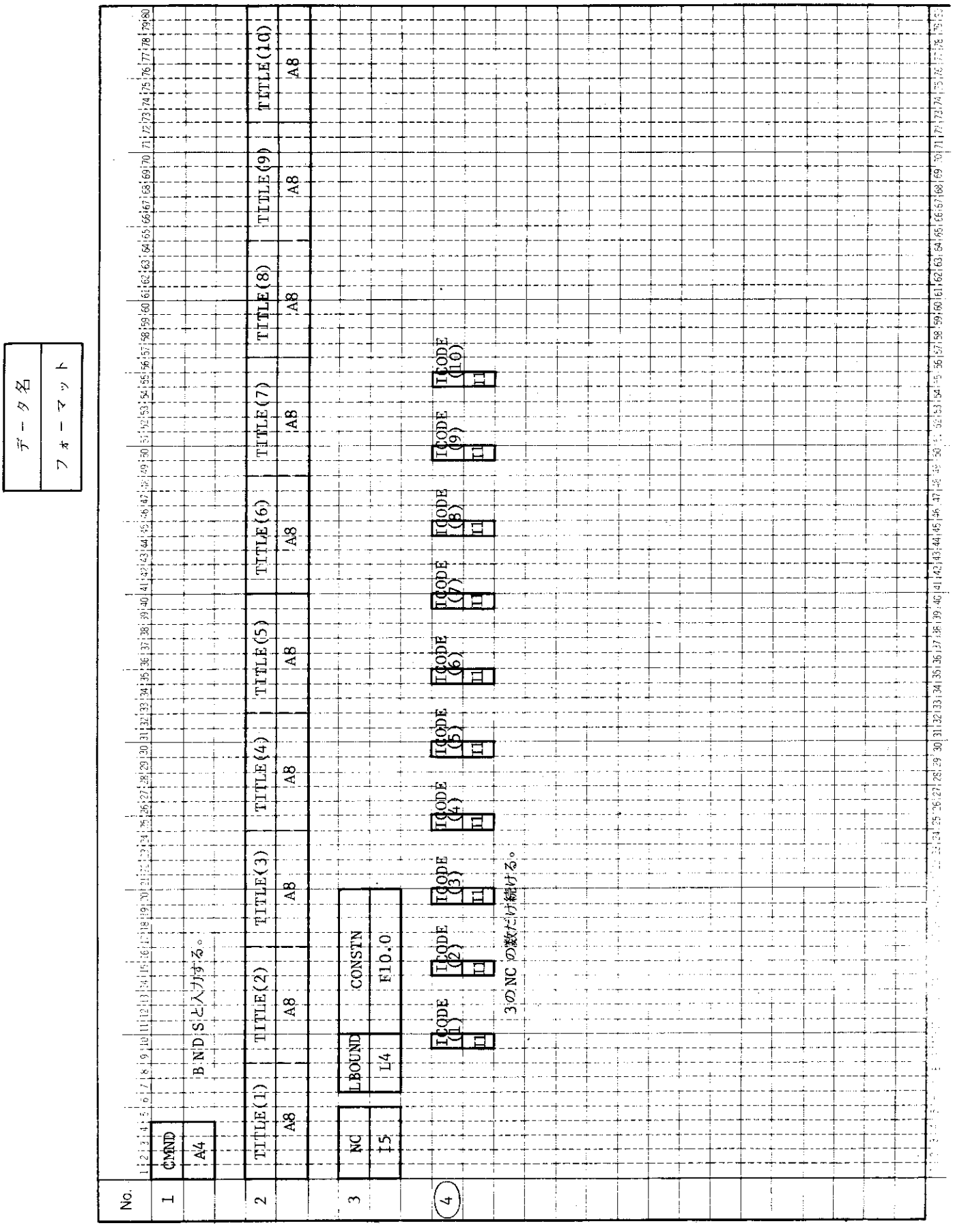


Fig. 4.10 BOUNDS Input Data

(11) KITT

コマンド・データ，タイトル・データ，区間推定指示データ，システム信頼度特性算出パラメータ・データ，区間推定パラメータ・データ，ミニマル・セット指示データの6種のデータより構成される。Fig. 4.11にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……KITTと入力する。″KITT″コードの開始を示す。

②タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……解析対象システムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードのタイトルとして入力したものが使用される。

③区間推定指示データ〔3〕

〔3〕 ISTOP ……システム信頼度特性の区間推定を行うか否かを指示する。

1……システム信頼度特性を，上限近似法で計算する。区間推定は行わない。

2……システム信頼度特性をブラケッテング法を用いて求め，区間推定を行う。

④システム信頼度特性算出パラメータ・データ〔4, ⑤〕

〔4〕 NTPT ……システム信頼度特性を算出する時点の個数を指定する。NTPTは $2 \leq NTPT \leq 50$ を満足しなければならない。

NOUT ……システム信頼度特性の出力リストを指示するもの。

1……全時点で出力リストに出力する。

n（1以外）……n回に1度出力リストに出力する。

DELTA ……時点の間隔を指定するもの。DELTA＞0.0の場合は指定した値で等間隔に時点を決める。

DELTA ≦ 0.0 の場合は〔⑤〕の TOT(j)で指定したものが時点となる。

〔⑤〕 このデータは〔4〕のDELTA ≦ 0.0 の場合，〔4〕のNTPTで指定した時点の個数だけ必要である。1枚のデータに8時点迄が指定できる。

〔⑤〕 TOT(1)～TOT(j)

……システム信頼度特性を求める時点を〔4〕のNTPTで指定した数だけ指定する。

⑤区間推定パラメータ・データ〔6，⑦〕

このデータは〔3〕のISTOP＝1の時は入力する必要はない。

〔6〕 NBMAX……求めるアウタ・ブラッケットの数を指定する。システムの故障確率（$Q_0(t)$）および故障率の主要項[注]（$\overset{\vee}{W}_0^{(1)}(t)$）を求める式で第何項目までを考慮する

注）システムの故障率$W_0(t)$（時刻tにおけるシステムの単位時間当りの平均故障回数）は，$\overset{\vee}{W}_0(t)=\overset{\vee}{W}_0^{(1)}(t)-\overset{\vee}{W}_0^{(2)}(t)$ と表わされる。$W_0(t)$をミニマル・カット・セット情報から算出する場合，第1項$\overset{\vee}{W}_0^{(1)}(t)$が主な寄与となるため，この項を主要項と呼ぶことにする。また，第2項$\overset{\vee}{W}_0^{(2)}(t)$は補正項と呼ばれる。

かを指示するものである。これはミニマル・セットの個数に等しいか，小さくなければならない。

IFLAG 2 ……システム故障率の補正項算出において区間推定を行うか否かの指示をするもの。

1 ……補正項算出において区間推定を行わない。

2 ……補正項算出において区間推定を行う。

〔⑦〕 このデータは，〔6〕のIFLAG 2＝2の時に必要で〔6〕のNBMAXで指定したアウタ・ブラケットの数より1小さい数を指定する。1枚のデータに8個まで指定できる。

NB 2 (1)～NB 2(j)

……インナ・ブラケットの数を指定する。〔6〕のNBMAXのアウタ・ブラケットとこのインナ・ブラケットとの関係は次の様になる。

補正項：$\overset{\vee}{W}_0^{(2)}(t)=W_1(t)-W_2(t)+W_3(t)+\cdots\cdots+(-1)^{NC-1}W_{NC}(t)$ (1)

$$W_n(t)=W_n^{1}(t)-W_n^{2}(t)+\cdots\cdots+(-1)^{NC-1}W_n(t) \quad (2)$$

$n=1\sim NC$

NCはミニマル・セットの個数

(1)式において第何項まで算出するかを決めるのがNBMAXで指定するアウタ・ブラケット数であり，NB 2(j)で指定するインナ・ブラケットの数は，(2)式の第何項までを算出するかを決める値である。

⑥ミニマル・セット指示データ〔8〕

〔8〕 IPATH ……ミニマル・セットとしてカット・セットを使用するのかパス・セットを使用するのかを指示する。

1 ……ミニマル・カット・セットを使用する。

2 ……ミニマル・パス・セットを使用する。

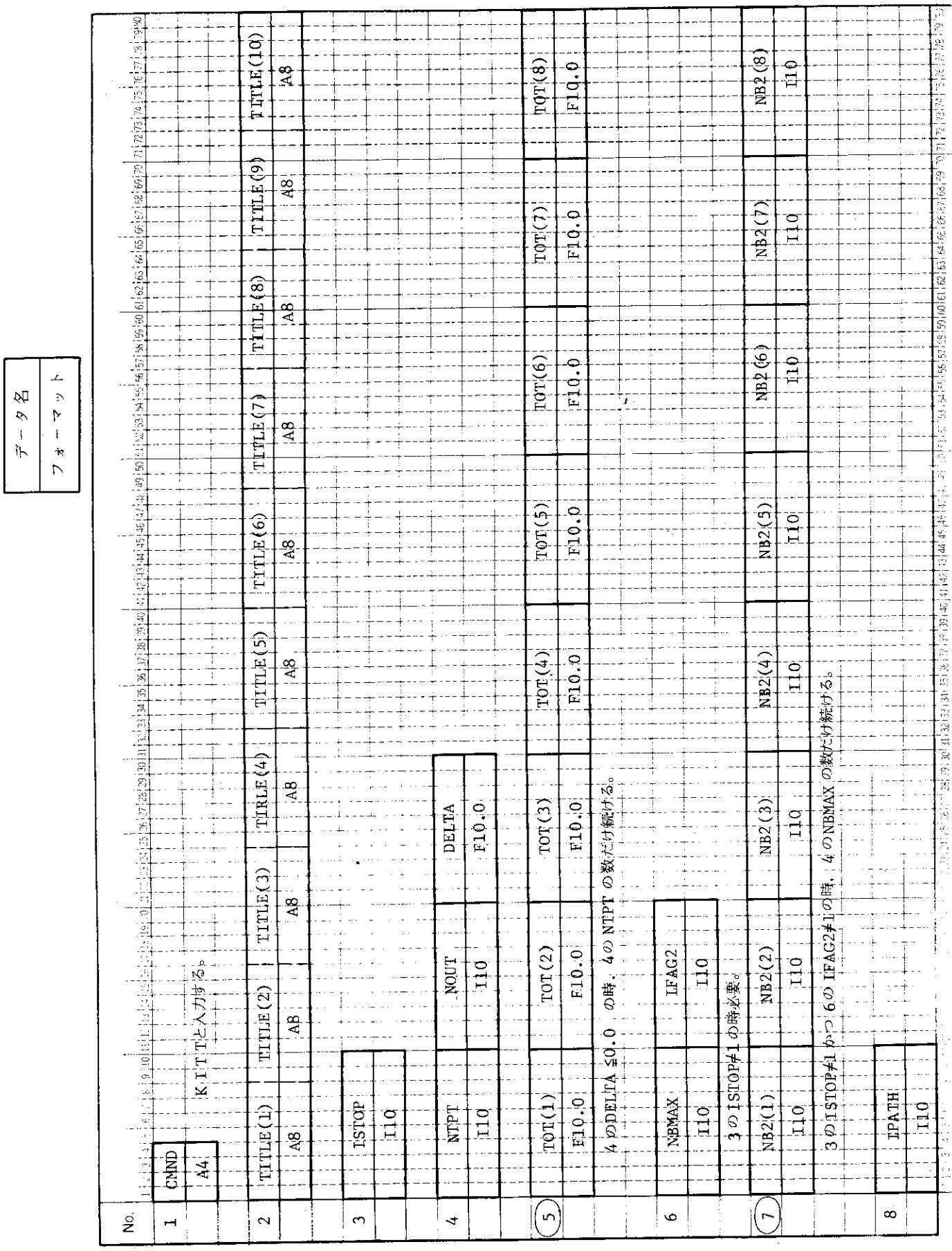


Fig. 4.11 KITT Input Data

⑫ WAMTAP

コマンド・データ，コンポーネント単位修正データ，全コンポーネント修正データの３種のデータより構成される。Fig. 4.12にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……TAPと入力する。″WAMTAP″コードの開始を示す。

②コンポーネント単位修正データ〔2〕

インターフェイス・ファイル（4.2.1節で説明する）にあるコンポーネント情報のコンポーネント名と修正すべきコンポーネント名とが一致する（完全に一致するかまたは部分的に一致するもの）データについて１レコード目の数値項目４箇所（平均値，分散，故障率，修理時間）を同時に修正できる。

〔2〕 CHANGE ……修正すべきコンポーネント名を指定する。部分的な一致を意図する時は判定カラム以外には「？」を入力する。

IMOD……修正モードを指定する。

1 ……コンポーネント情報の値へ乗数をほどこす。

2 ……コンポーネント情報の値と置換する。

PNEW 1 ……アンアベィラビリティの平均値を修正する値

PNEW 2 ……アンアベィラビリティの分散を修正する値

PNEW 3 ……故障率を修正する値

PNEW 4 ……修理時間を修正する値

③全コンポーネント修正データ〔3〕

全コンポーネントを修正する機能と″WAMTAP″コードの終了を示す機能をもつ。コンポーネント単位修正データ(〔2〕のデータ)が１枚も入力されない時は全コンポーネントを修正する。コンポーネント単位修正データが１枚でも入力されると″WAMTAP″コードの終了を示すことになる。

〔3〕 TEND ……END と入力する。

IMODT ……修正モードを指定する。〔2〕のIMODと同じである。

1 ……コンポーネント情報の値へ乗数をほどこす。

2 ……コンポーネント情報の値と置換する。

TPNEW 1～ TPNEW 4

……〔2〕の PNEW 1～ PNEW 4 と同じである。

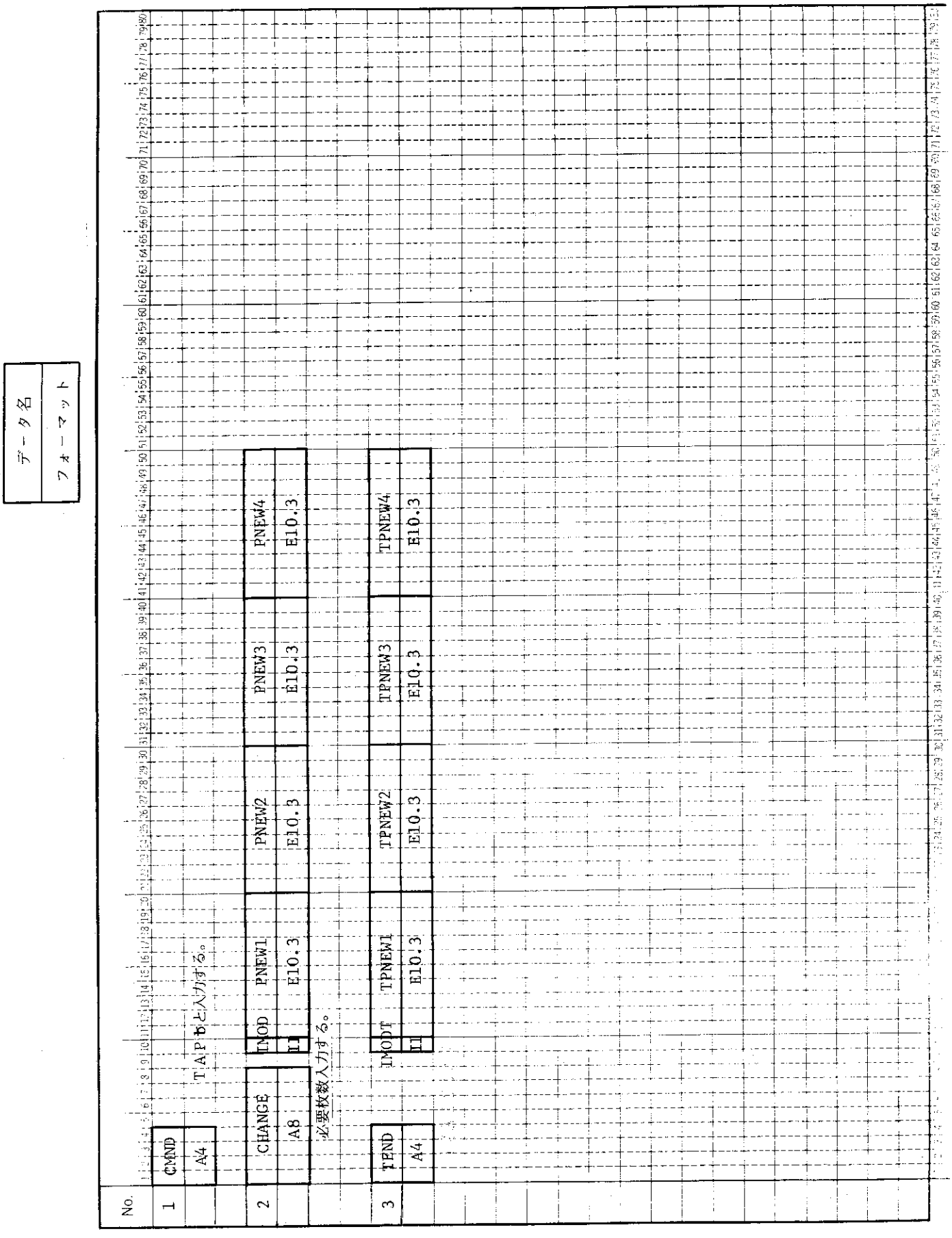


Fig. 4.12 WAMTAP Input Data

⑬ WTAP

コマンド・データ，コンポーネント単位修正データ，全コンポーネント修正データ，終了データの4種のデータより構成される。Fig. 4.13にデータ名，フォーマットを示す。

①コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……WTAPと入力する。″WTAP″コードの開始を示す。

②コンポーネント単位修正データ〔②〕

インターフェイス・ファイル（4.2.1節で説明する）にあるコンポーネント情報のコンポーネント名と修正すべきコンポーネント名とが一致する（完全に一致するか，または部分的に一致する）データについて，36個ある数値項目中の任意の項目を修正するものである。1枚のデータで該当コンポーネントに対し3項目の修正が可能である。

〔②〕 CHANGE ……修正すべきコンポーネント名を指定する。部分的な一致を意図する時は判定カラム以外には「？」を入力する。

IMOD(1)～IMOD(j)

……修正モードを指定する。

1 ……コンポーネント情報の値へ乗数をほどこす。

2 ……コンポーネント情報の値と置換する。

INUM(1)～INUM(j)

……修正すべき項目を指定する。

インターフェイスファイル（4.2.1節で説明する）であるコンポーネント情報の数値項目の番号を入力する。

PNEW(1)～PNEW(j)

……修正値

③全コンポーネント修正データ〔③〕

全てのコンポーネントに対し，INUMW(1)～INUMW(j)で指定した項目の数値を修正するものである。1枚のデータで，3項目の修正が可能である。

〔③〕 WPEND …… ENDと入力する。

IMODW(1)～IMODW(j)

……修正モードを指定する。

1 ……コンポーネント情報の値へ乗数をほどこす。

2 ……コンポーネント情報の値と置換する。

INUMW(1)～INUMW(j)

……修正すべき項目を指定する。

インターフェイス・ファイル（4.2.1節で説明する）にあるコンポーネント情報の数値項目の番号を入力する。

WPNEW(1)～WPNEW(j) ……修正値

④終了データ〔4〕

〔4〕 WTEND ……ENDENDと入力する。″WTAP″コードの終了を示す。

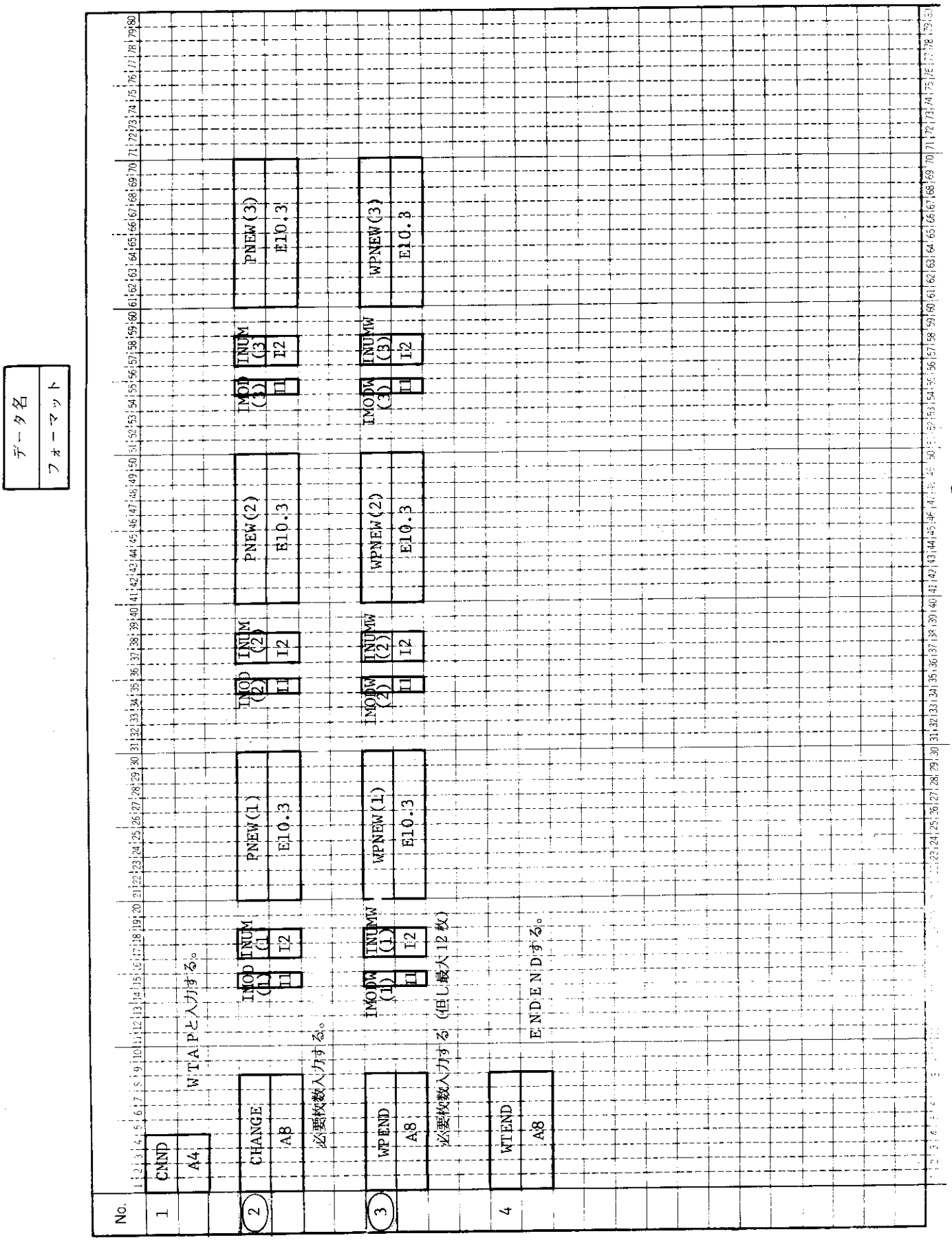


Fig. 4.13 WTAP Input Data

⑭ DRAW

コマンド・データ，タイトル・データ，プロット・コントロール・データ群，コンポーネント・タイプ指定データ，終了データの5種類のデータより構成される。Fig. 4.14にデータ名，フォーマットを示す。

① コマンド・データ〔1〕

〔1〕 CMND ……DRAWと入力する。"DRAW"コードの開始を示す。

② タイトル・データ〔2〕

〔2〕 TITLE(1)～TITLE(10)

……図化したいシステムのタイトル

80文字以内の英数字で入力する。TITLE(1)が空白の時は既に他のコードでタイトルとして入力したものを使用される。

③ プロット・コントロール・データ群〔3－1，(3－2)〕

〔3－1〕 IPG……1頁の大きさを指定する。

1 ……A4サイズ（297mm×210mm）

2 ……B4サイズ（364mm×257mm）

3 ……フリーサイズ（Xmm×257 mm）

（ ）内は横方向の長さ×縦方向の長さを示す。

横方向の長さはプロット機器の制限となる。Xは無限長を示す。

DNND ……出力フレーム数を指定する。頂上事象は指定対象外であり，最大99個のゲートを指定することが可能である。

デフォルト値は0で，1頁に平均的に情報がプロットできるよう自動的に出力フレーム数を決める。

ICSW ……コンポーネントのアンアベィラビリティの出力を指定する。

0 ……出力しない。

1 ……アンアベィラビリティの平均値および分散を出力する。

2 ……故障率と修理時間を出力する。

FACT ……プロット図の倍率を指定する。倍率1.0はプロットする事象の枠組が横28mm，縦16mmで文字スケールを1.2mmとすることを意味する。

〔(3－2)〕 このデータは，出力フレームの頂上事象とするゲート名を指定するもので〔3－1〕のDNNDで指定したフレーム数だけ入力する必要がある。1枚のデータに8個のゲート名が入力可能である。

DDNO(1)～DDNO(j)

……フレーム毎の頂上事象とするゲート名を指定する。

④ コンポーネント・タイプ指定データ〔④〕

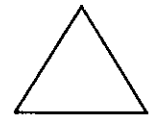
デフォルト値を採用する時はこのデータを入力する必要はない。

〔④〕 DEVN……コンポーネント名

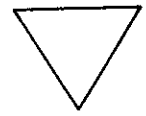
ICD……コンポーネント・タイプを指定するもの

コンポーネント・タイプ：　　採　用　図

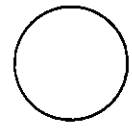
0：



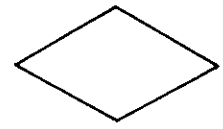
1：



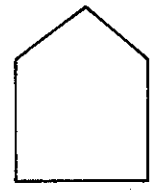
2：（デフォルト値）



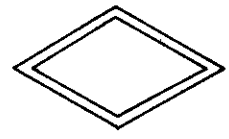
3：



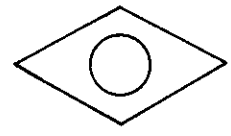
4：



5：



6：



⑤終了データ〔5〕

〔5〕　DEND……END と入力する。″DRAW″コードの終了を示す。

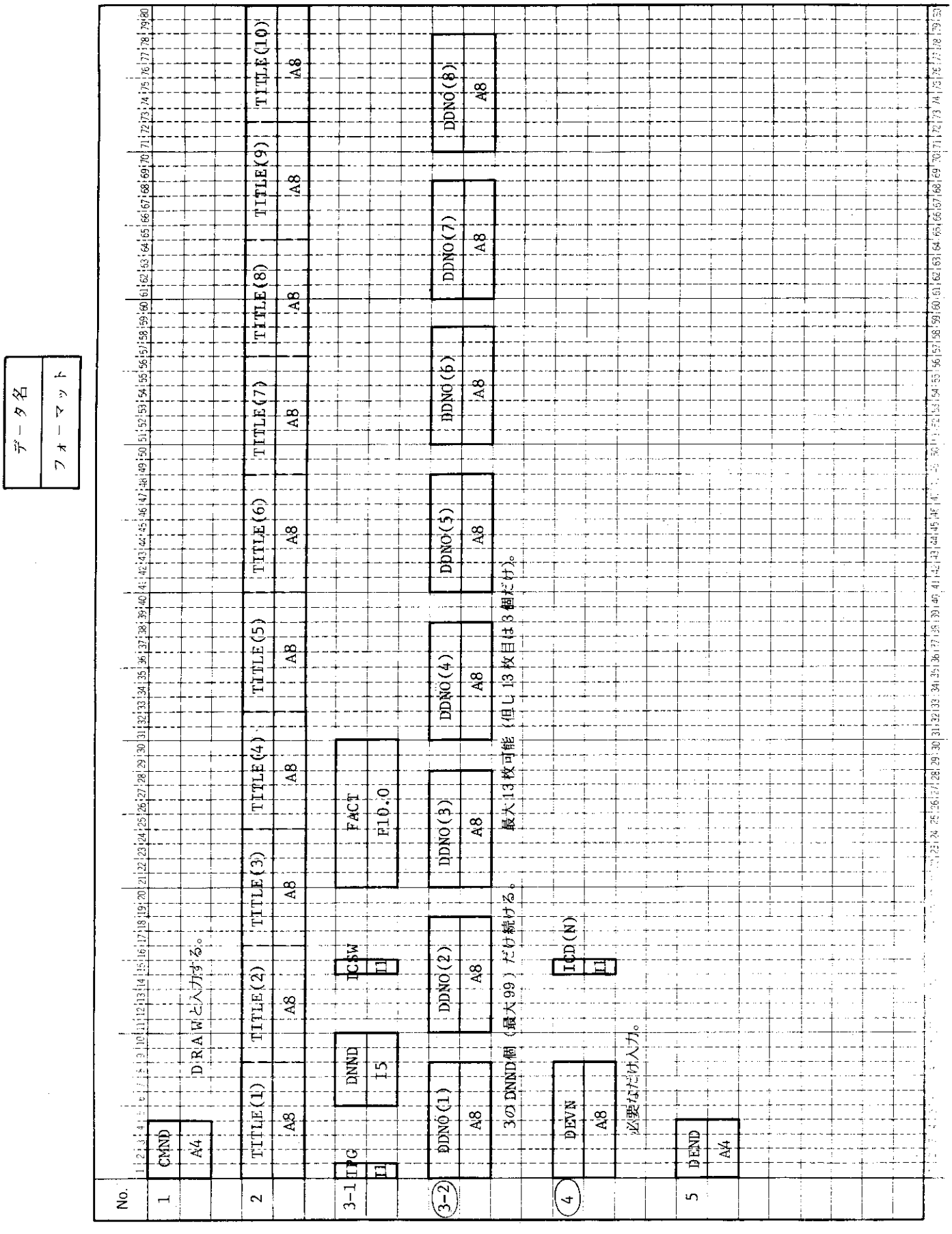


Fig. 4.14 DRAW Input Data

⑮ その他コマンド

Fig. 4.15に示すように7種のコマンドがあり，「TEST」コマンドを除いてすべて，直接入力データとしてコマンドだけの入力となる。

〔1〕 3種類のデータ・ベース（コンポーネント・データ・ベース，デシジョン・テーブル・データ・ベース，デシジョン・テーブル識別データ・ベース）の内容をすべて消去するコマンドでCLEAと入力する。

〔2〕 コンポーネント・データ・ベースの内容を消去するコマンドでCLE 1と入力する。

〔3〕 デシジョン・テーブル・データ・ベースの内容を消去するコマンドで，CLE 2と入力する。

〔4〕 デシジョン・テーブル識別データ・ベースの内容を消去するコマンドで，CLE 5と入力する。

〔5〕 "COMP"コード，"WAM"コード，"CUT"コード，"BAM"コードの出力リストを機番を変えて出力する機能をもちCHNGと入力する。

〔6－1〕，〔6－2〕 プログラム・デバッグ用の出力リストを指定する。

〔6－1〕 TESTと入力する。

〔6－2〕 ICHKの該当箇所を1にする。Table 4.4にICHKと各コードとの対応を示す。"CUT"コード，"BOUNDS"コードに対する指定をすると多量に出力リストが出力されるので出力ラインの制限に特に注意が必要である。

〔7〕 プログラム終了を示すものでSTOPと入力する。

Table 4.4 ICHK Suffix for Code Identification

ICHKの添字番号	コ ー ド 名
1	COMP
2	DTBL
3	CAT
4	CAT
5	未使用
6	未使用
7	未使用
8	BOUNDS
9	未使用
10	未使用
11	PRP 1
12	PRP 2
13	未使用
14	CUT
15	CUT

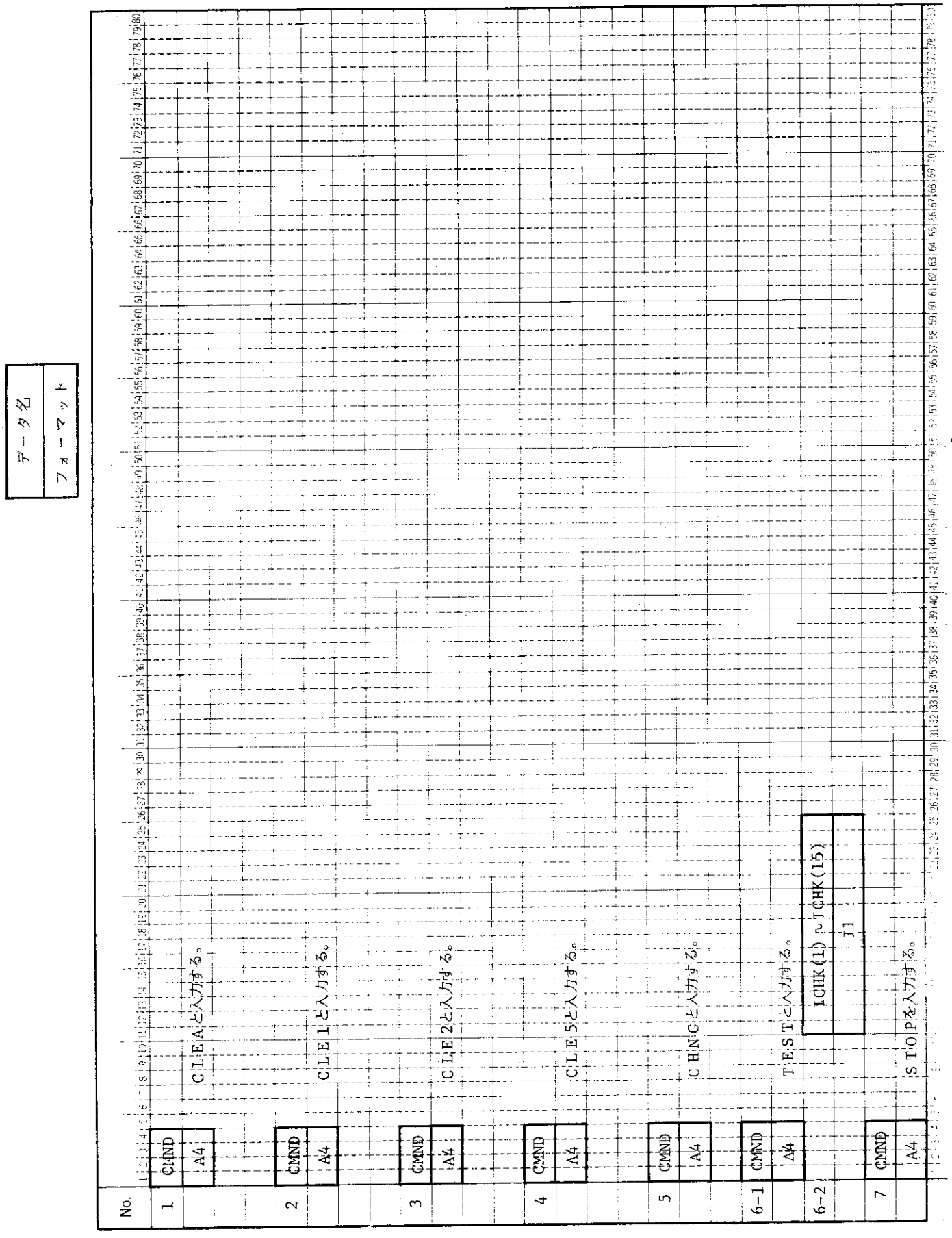


Fig. 4.15 Other Command

4.2 出力データの詳細

4.2.1 インターフェイス・ファイル

前述したように，FTA−J では各コードの統合をするに当ってインターフェイス・ファイルを媒体としている。インターフェイス・ファイルの概要と，各コードとの関係をTable 4.5 に示す。ここでは，Table 4.5 の(1)から(7)の主要なインターフェイス・ファイルについて記述する。

(1) コンポーネント・データ・ベース

コンポーネントに関する情報のファイルで，1つのコンポーネントは8レコードより構成されている。このファイルは〝COMP〟コードの入力データであるコンポーネントに関する情報群から作成され，〝WAM〟コードにより参照される。レイアウトおよび項目の内容をFig. 4.16に示す。

(2) デシジョン・テーブル・データ・ベース

デシジョン・テーブルに関する情報のファイルで，1つのデシジョン・テーブルは3ないしは4レコードより構成されている。このファイルは，〝DTBL〟コードの入力データであるデシジョン・テーブルに関する情報データ群から作成され，〝CAT〟コードによる参照される。レイアウトおよび項目の内容をFig. 4.17に示す。

(3) ゲート情報

解析対象とするシステムのフォールト・ツリーを表わすファイルで，1つのゲート情報は2レコードより構成される。このファイルは〝CAT〟コードにより自動的に作成されるか，〝WAM〟コードの入力データであるゲート情報データ群から作成され，〝CUT〟，〝PRP 1〟，〝BAM〟，〝DRAW〟の各コードにより参照される。レイアウトをFig. 4.18に示す。〝WAM〟コードから作成される時は入力データと同じ項目内容となるので，ここでは〝CAT〟コードから作成される時の項目内容を以下に記述する。

GATE(i, 1) ……英数字8桁のゲート名，GATEnnnn（nnnnは0001から順につけていく）として表示する。

GATE(i, 2) ……ゲートのタイプを英字で示す。行を「OR」，列を「AND」とし左づめで示す。

NGATE(i, 1)……入力ゲートの数を示す。

NGATE(i, 2)……入力コンポーネントの数を示す。

NGATE(i, 3)……コンビネーション・ゲートの条件数を示す。ここでは0となる。

GATE(i, 3)～GATE(i, 10)

……ゲート名およびコンポーネント名

左からNGATE(i, 1)で指定した個数だけゲート名が入り次にNGATE(i, 2)で指定した個数だけコンポーネント名が続いて入る。最大NGATE(i, 1)＋NGATE(i, 2)個で8個以内である。

EVEN(i, 1)～EVEN(i, 7)

……ゲートに関する説明を，54文字以内の英数字で示す。ここでは空白となる。

INHMSG(i)……インヒビット・ゲートに関してのメッセージを16文字の英数字で

示す。ここでは空白となる。

(4) コンポーネント情報

解析対象となるシステムのフォールト・ツリーで使用するコンポーネントの情報ファイルで，1つのコンポーネントは8レコードより構成されている。このファイルは"WAM"コードにおいて，ゲート情報のコンポーネント名をもとに，コンポーネント・データ・ベースより作成される。または，"WAM"コードの直接入力データである暫定的に使用する一時的コンポーネント・データ群より作成される。"CUT"，"PRP 1"，"BAM"，"DRAW"の各コードで参照され，"WAMTAP"，"WTAP"の各コードで参照更新される。レイアウトおよび項目の内容をFig. 4.19に示す。

(5) ミニマル・カット・セット情報

解析対象となるシステムの定性的評価の結果として求めたミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント情報およびミニマル・カット・セットを示すファイルである。"CUT"，"PRP 1"の各コードで作成され，定量的解析コード群の"SPASM"，"BOUNDS"，"KITT"の各コードで参照される。レイアウトをFig. 4.20に示す。

1番目のレコードからm－1番目のレコード迄は"SPASM"コード用のデータで，m番目のレコード以降は"BOUNDS"コードおよび"KITT"コード用のデータである。

1番目のレコード……"SPASM"コード用データの開始を示す。「GENERATED FOR SPSM」と出力する。

2番目のレコード……ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント数を示す。

3, 4, 5番目のレコード……3つのレコードで，ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント1つの情報を示す。

CNAME……コンポーネント名

SCX(1) ……正規分布パラメータ α（平均値）

SCX(2) ……正規分布パラメータ β（標準偏差＊1.64）

SCX(3) ……対数正規分布パラメータ α（メディアン値）

SCX(4) ……対数正規分布パラメータ β（エラー・ファクタ）

SCX(5) ……一様分布パラメータ α（下限値）

SCX(6) ……一様分布パラメータ β（上限値）

SCX(7) ……ベータ分布パラメータ $\alpha(\alpha)$

SCX(8) ……ベータ分布パラメータ $\beta(\beta)$

SCX(9) ……ガンマ分布パラメータ $\alpha(\alpha)$

SCX(10) ……ガンマ分布パラメータ $\beta(\beta)$

SCX(11) ……二項分布パラメータ α（故障回数）

SCX(12) ……二項分布パラメータ β（試行回数）

SCX(13) ……インバーテッド・ベータ分布パラメータ α（分子の自由度）

SCX(14) ……インバーテッド・ベータ分布パラメータ β（分母の自由度）

SCX(15) ……カイ二乗分布パラメータ α（自由度）

SCX(16) ……スチューデントT分布パラメータ α（自由度）

m番目のレコード……″BOUNDS″コード，″KITT″コード用データの開始を示す。
「GENERATED FOR BNDS／KITT」と出力する。
m＋1番目のレコード……ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント数を示す。
m＋2，m＋3番目のレコード
……2つのレコードで，ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント1つの情報を示す。
CNAME ……コンポーネント名
SCY (1) ……故障率（10^6時間当りの故障回数）
SCY (2) ……修理時間（単位：時間）
SCY (3) ……故障率のメディアン値
SCY (4) ……故障率のエラー・ファクタ
SCY (5) ……修理時間のメディアン値
SCY (6) ……修理時間のエラー・ファクタ
SCY (7) ……アンアベィラビリティの平均値
SCY (8) ……アンアベィラビリティの分散
n番目のレコード……ミニマル・カット・セット数
n＋1番目のレコード……各ミニマル・カット・セットの情報を示す。nレコードで指定した数の枚数が必要
IT ……ミニマル・カット・セットの次数
IA (1) ……1次目のコンポーネント名
IA (2) ……2次目のコンポーネント名
IA (3) ……3次目のコンポーネント名
IA (4) ……4次目のコンポーネント名
IA (5) ……5次目のコンポーネント名

(6) 構造関数

頂上事象の発生確率を求めるために″SPASM″コードで使用する計算式（各ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントのアンアベィラビリティの和と積の形で表わされる）をFORTRAN言語で表わしたファイルである。″CUT″，″PRP 2″の各コードで作成される。″SPASM″コードで使用する前に，ロード・モデュールにしておかなければならない。フォーマットをFig. 4.21に示す。

1番目のレコード……FORTRAN FUNCTION PROGRAMの開始文で「FUNCTION SAMPLE（X, IFLAG, NPROB）」と出力する。
2番目のレコード……FORTRAN文法における配列を定義するもので「DIMENSION X(1)」と出力する。
3番目のレコード……FORTRAN文法におけるコメント文としタイトルを出力する。
4番目のレコード以降……FORTRAN文法に基づいて，演算式を出力する。例をTable 4.6に示す。
最後の前のレコード……FORTRAN文法における戻り文で「RETURN」と出力する。

最後のレコード……FORTRAN 文法における終了文で「END 」と出力する。

(7) サブルーチン・ツリー

〝PRP 2〟コードで頂上事象の発生をテストするために使用する「サブルーチン」をFORTRAN言語で表わしたファイルである。このファイルは，ゲート情報の各ゲートをA(n)，コンポーネントをX(m)，結合状態を論理演算子「OR 」および「AND 」で示す。〝PRP 1〟コードで作成される。〝PRP 2〟コードで使用する前に，ロード・モデュールにしておかなければならない。フォーマットをFig. 4.22に示す。

1番目のレコード……FORTRAN SUBROUTINE PROGRAN の開始文で「SUBROUTINE TREE」と出力する。

2番目のレコード……FORTRAN 文法における論理定義文で「LOGICAL TOP, A（1500），X（1500）」と出力する。

3番目のレコード……FORTRAN 文法におけるコモン文で「COMMON ／TREE 2／A，X，TOP」と出力する。

4番目のレコード以降……FORTRAN 文法に基づいて，ゲート情報を論理演算式で出力する。例をTable 4. 7 に示す。

最後の前の前のレコード……FORTRAN 文法における代入式で「TOP＝A(n)」と出力する。nは最終ゲートの番号である。

最後の前のレコード……FORTRAN 文法における戻り文で「RETURN」と出力する。

最後のレコード……FORTRAN 文法における終了文で，「END」と出力する。

Table 4.5 Interface File List

	ファイル名		関連コード		ファイル特性	
	内容	変数名	出力	入力	論理レコード長	形式
(1)	コンポーネント・データ・ベース	NF01	COMP	WAM	80	FB
(2)	デシジョン・テーブル・データ・ベース	NF02	DTBL	CAT	80	FB
(3)	ゲート情報	NF03	WAM, CAT	CUT, PRP 1, BAM, DRAW, WAMTAP, WTAP	80	FB
(4)	コンポーネント情報	NF04	WAM, WAMTAP, WTAP	CUT, PRP 1, BAM, DRAW, WAMTAP, WTAP	80	FB
(5)	ミニマル・カット・セット情報	NF06	CUT, PRP 2	BOUNDS, SPASM, KITT	80	FB
(6)	構造関数	NF07	CUT, PAP 2	SPASM	80	FB
(7)	サブルーチン・ツリー	NF07	PRP 1	PRP 2	80	FB
(8)	デシジョン・テーブル識別データベース	NF05	DTBL	CAT	80	FB
(9)	PRP 2 入力データ	NF08	PRP 1	PRP 2	2496	FT
(10)	CAT 入力データ	NF09	CAT	CAT	80	FB
(11)	CAT デシジョン・テーブル・ワーク	NF10	CAT	CAT	80	FB

(6), (7)は同一ファイルを使用する。

この内容は，FORTRAN 言語のソース・モジュールで

ロード・モジュールにして使用する必要がある。

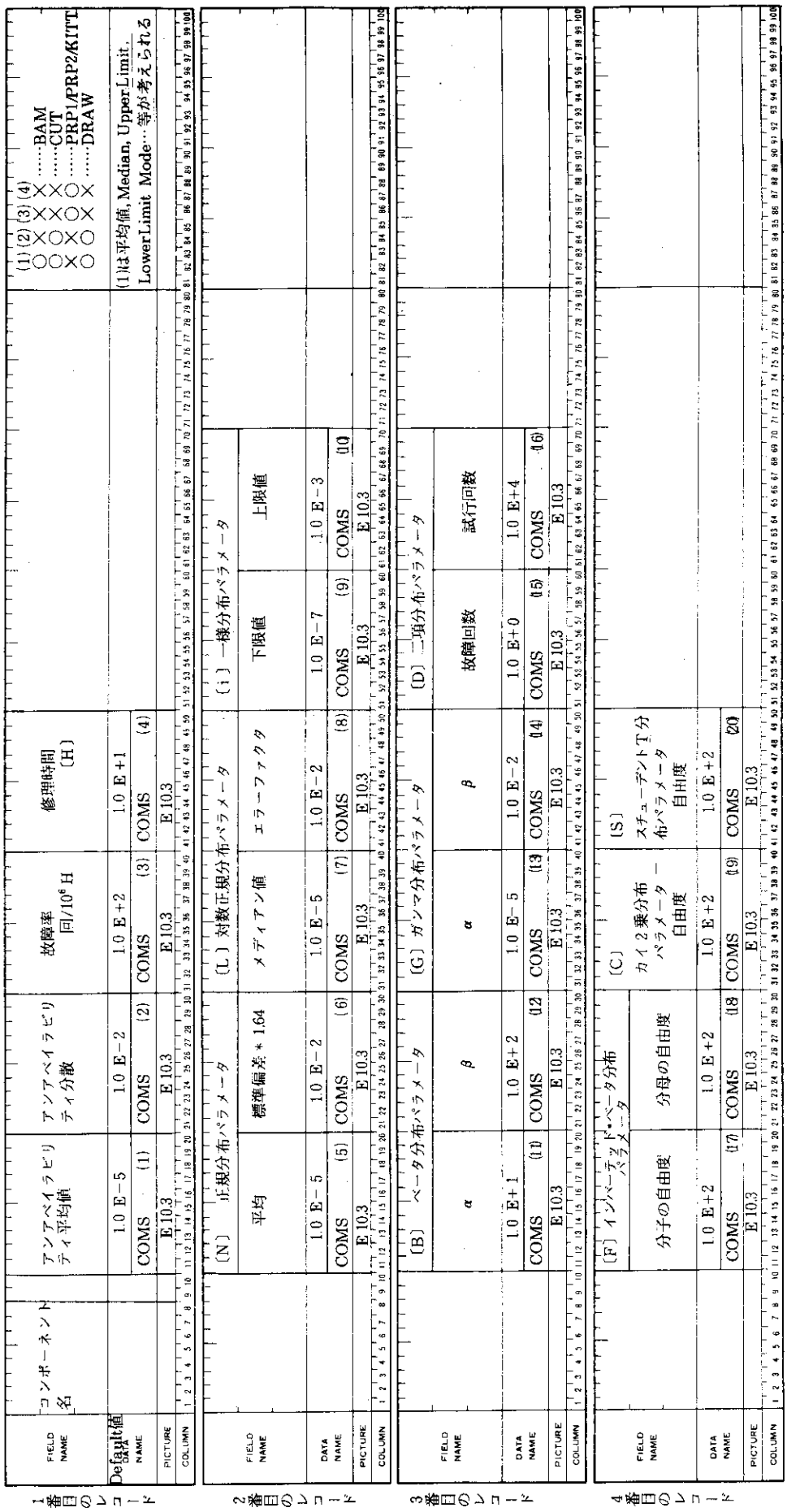


Fig. 4.16 Component Data Base File (1/2)

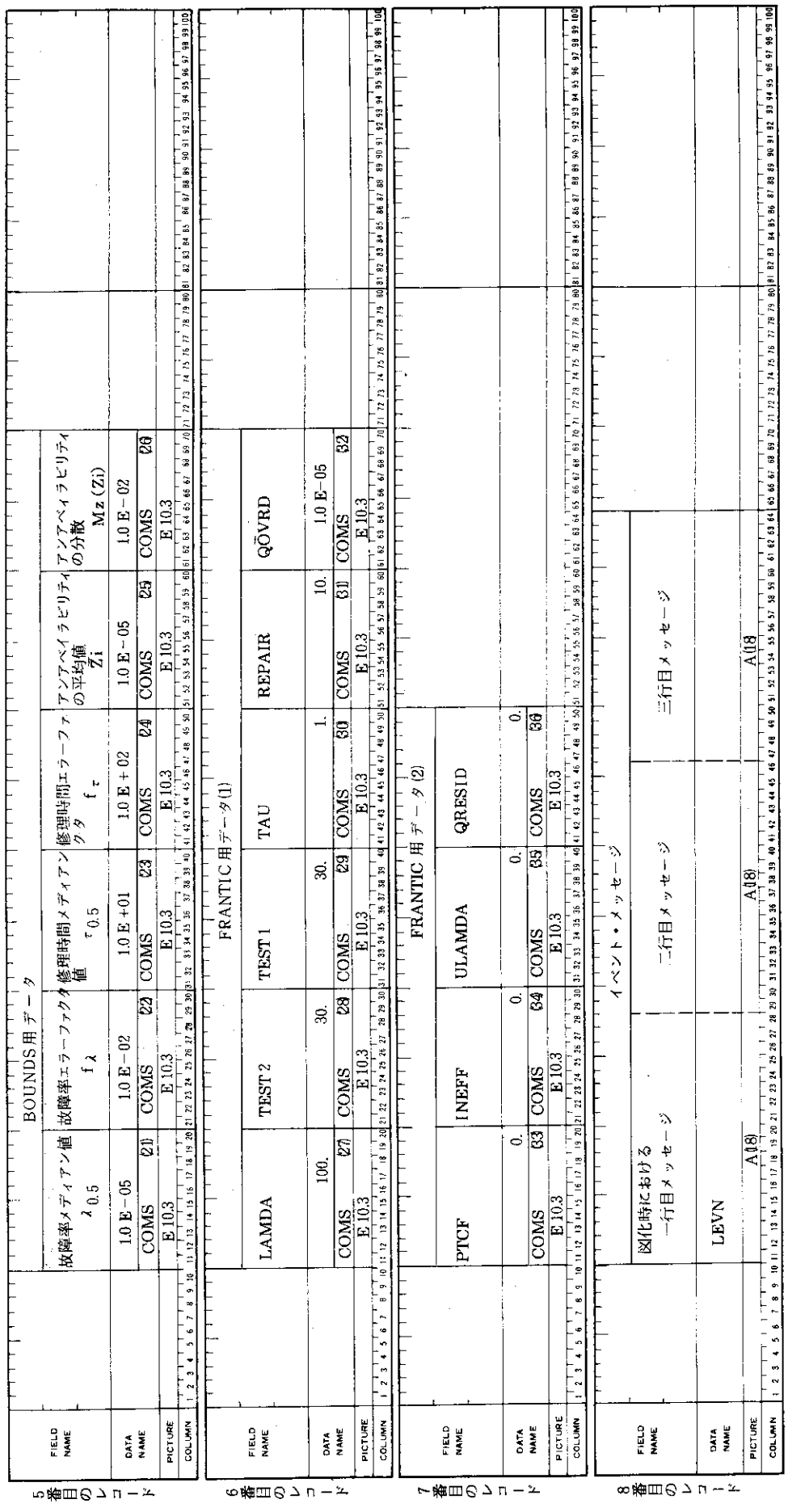


Fig. 4.16 Component Data Base File (2/2)

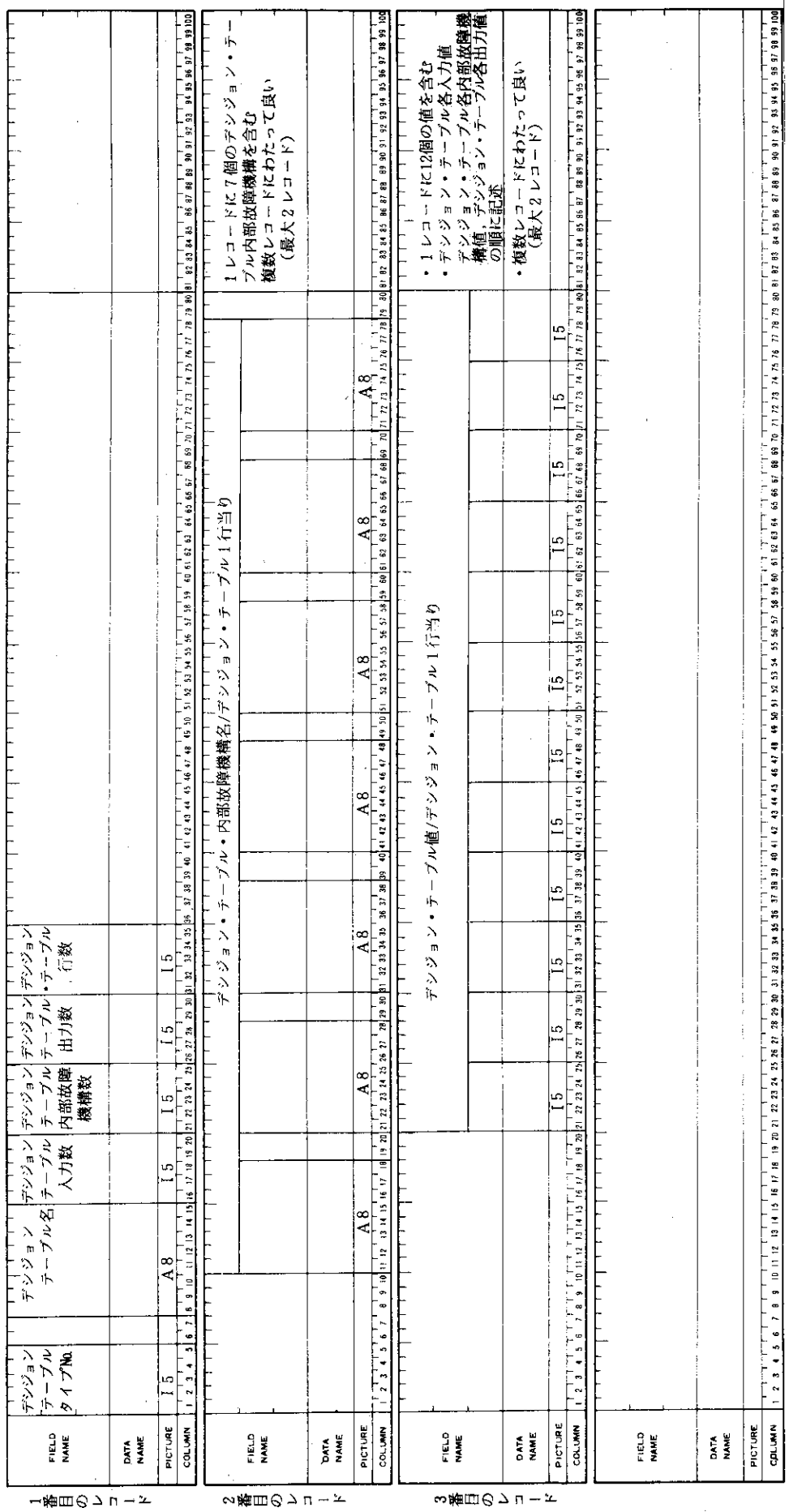


Fig. 4.17 Decision Table Data Base File

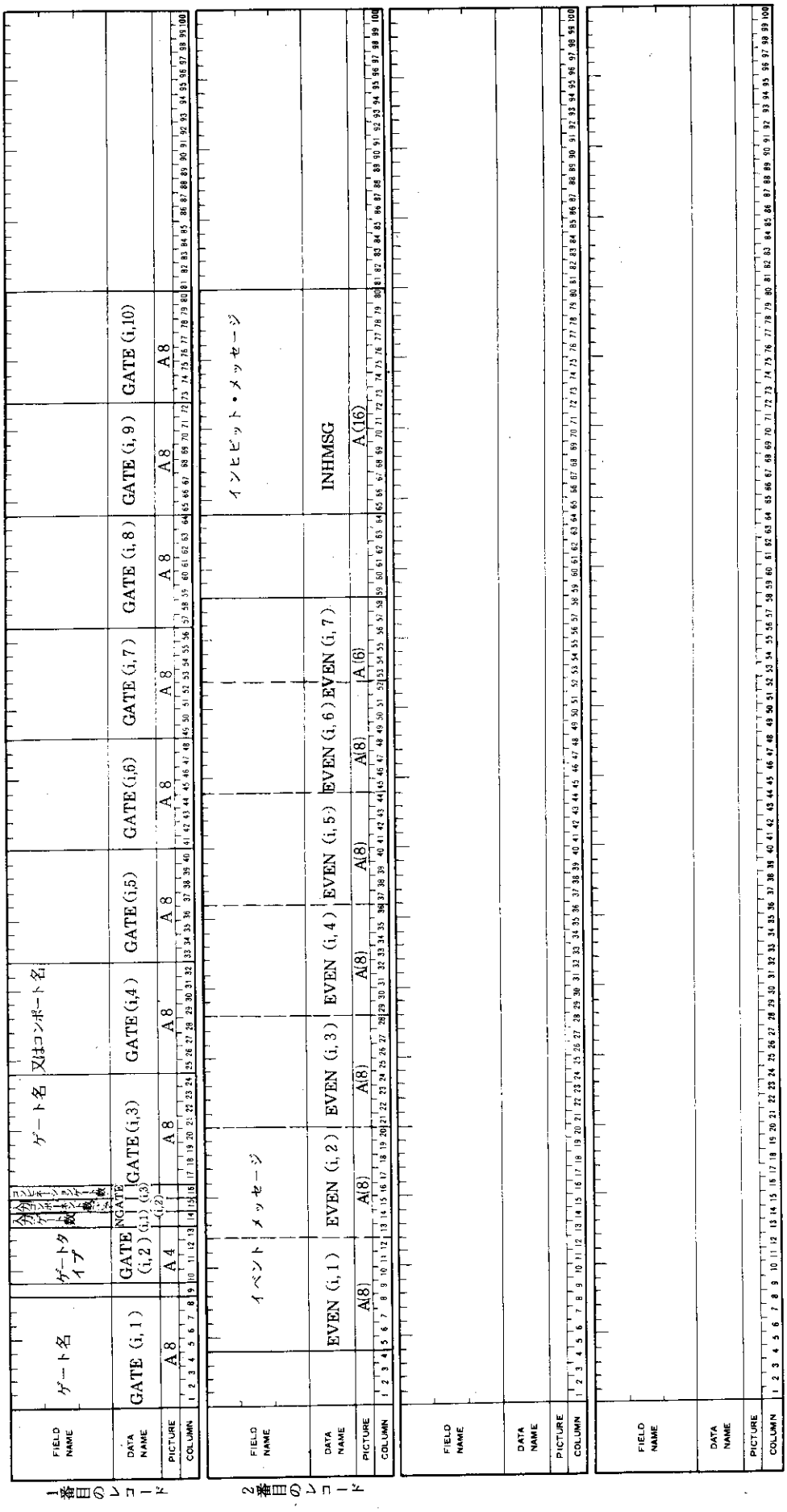


Fig. 4.18 Gate Information File

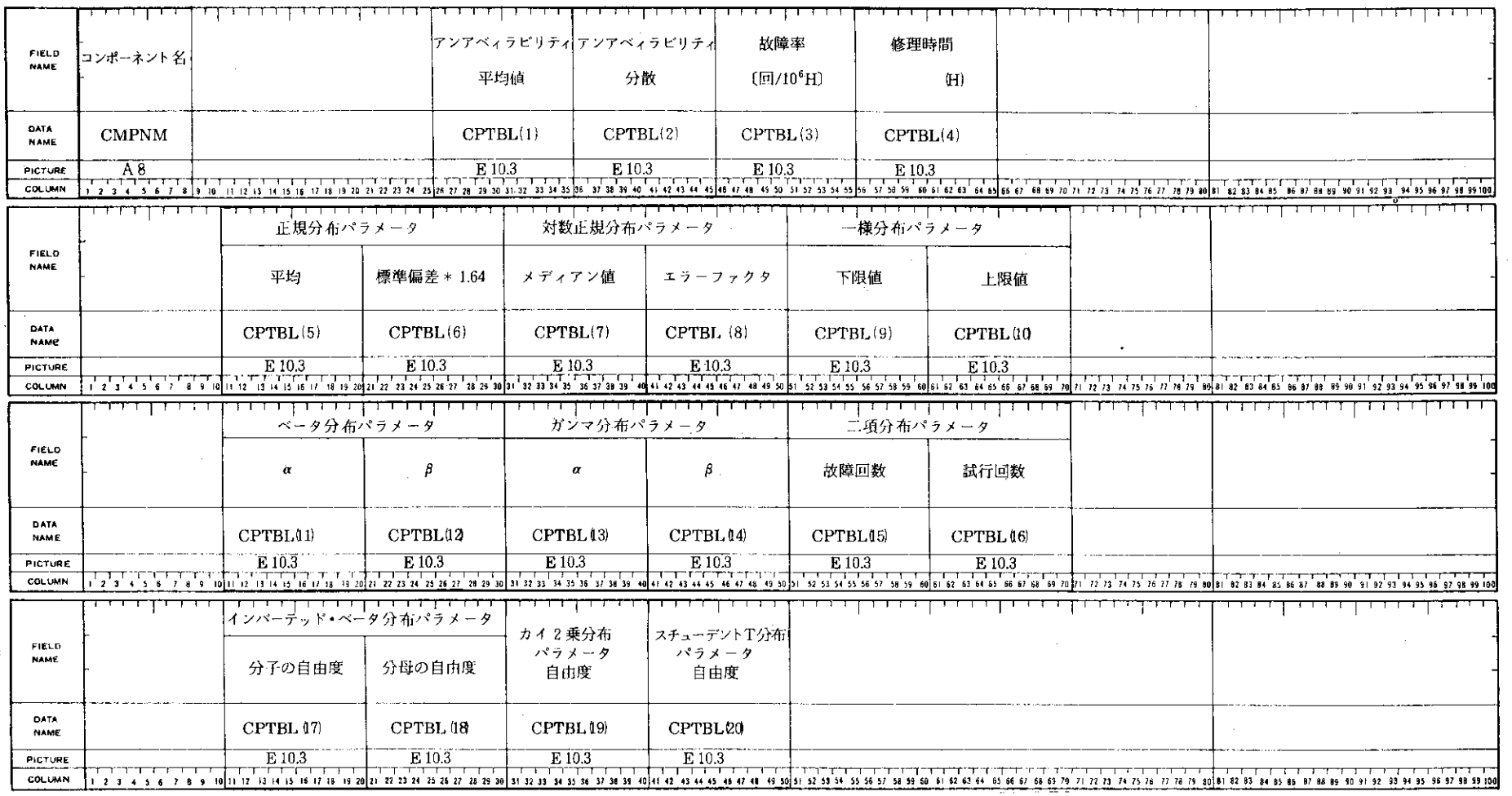


Fig. 4.19 Component Information File (1/2)

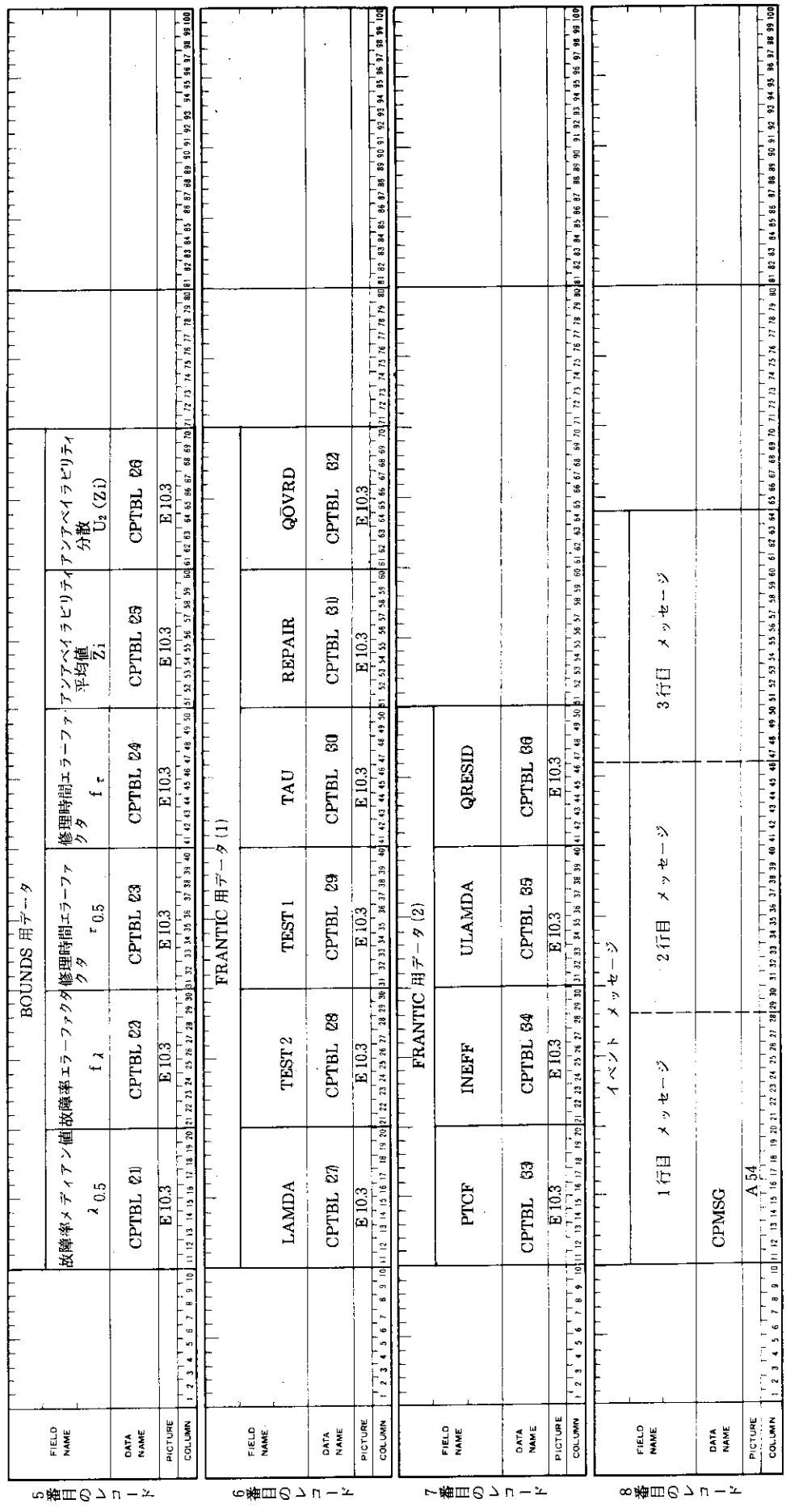


Fig. 4.19 Component Information File (2/2)

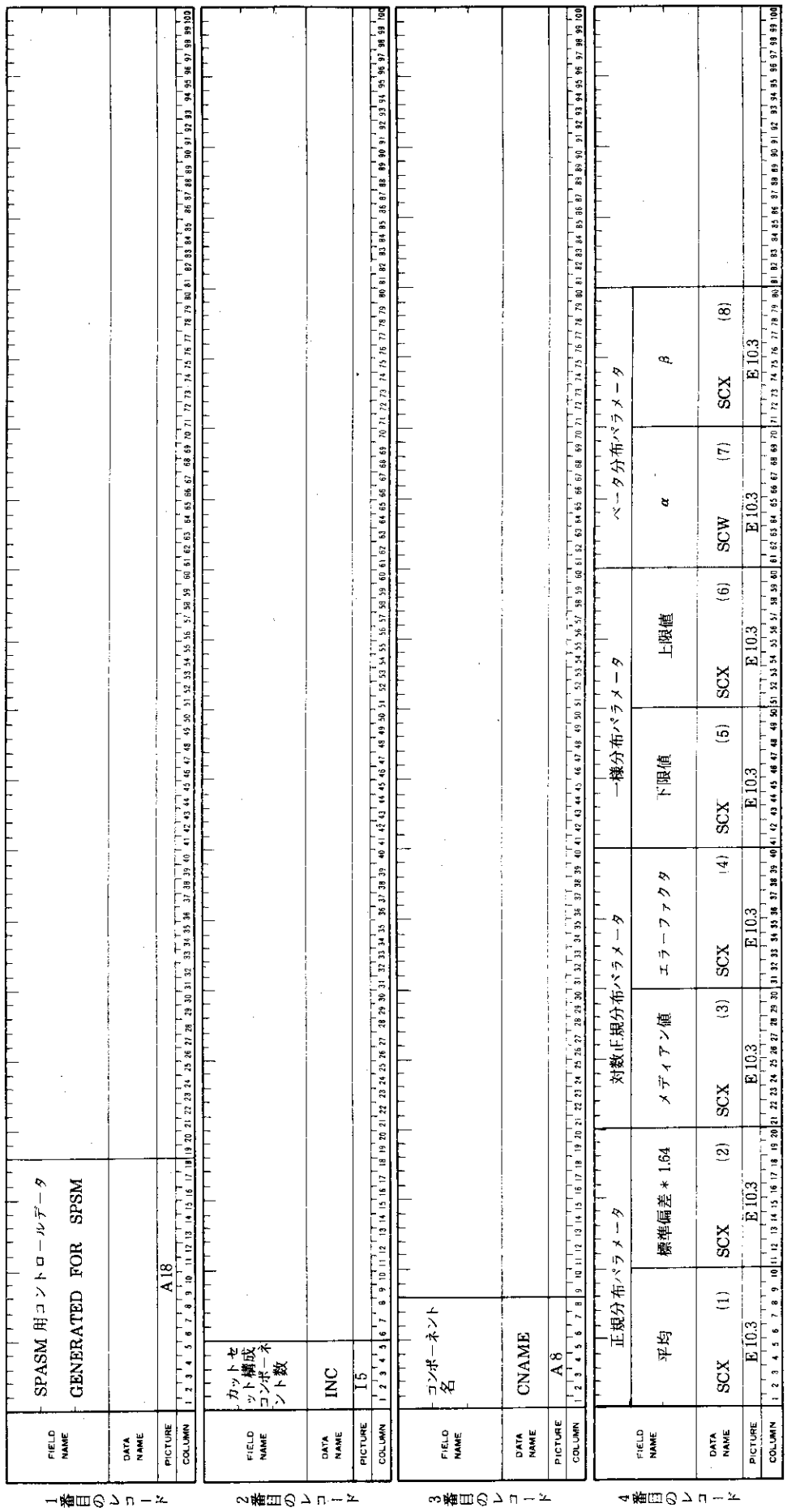


Fig. 4.20 Minimal Cut Set Information File (1/4)

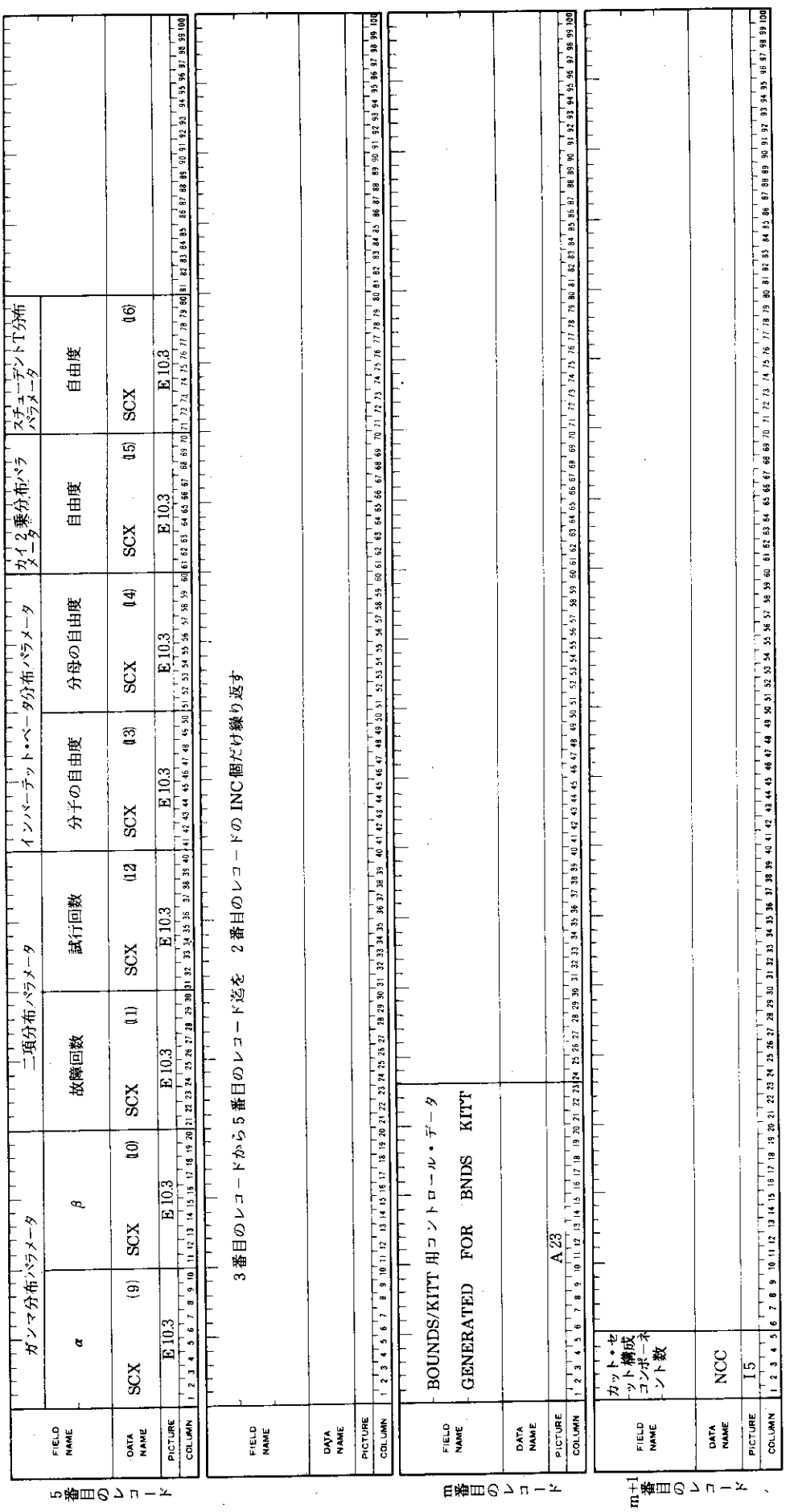


Fig. 4.20 Minimal Cut Set Information File (2/4)

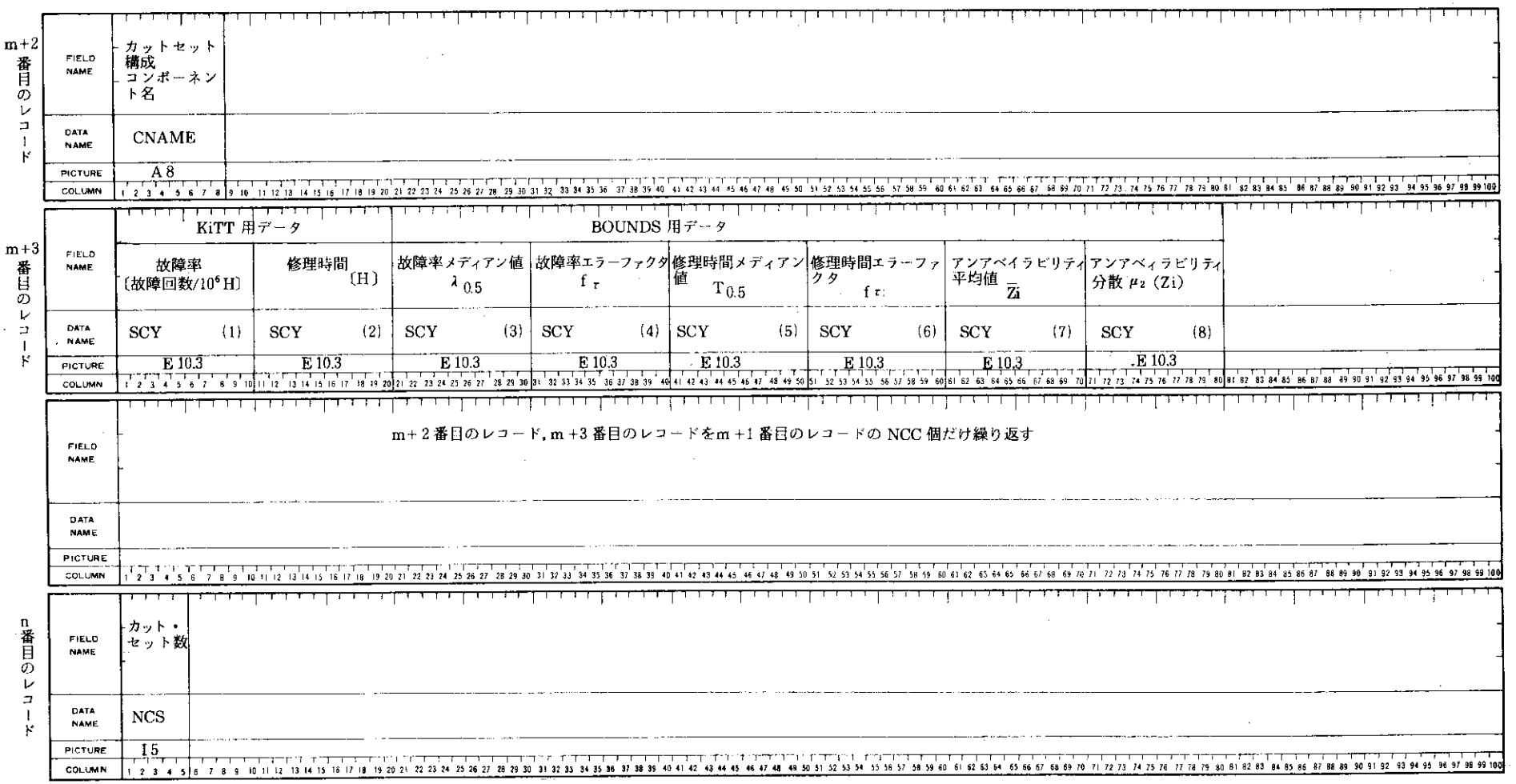


Fig. 4.20 Minimal Cut Set Information File (3/4)

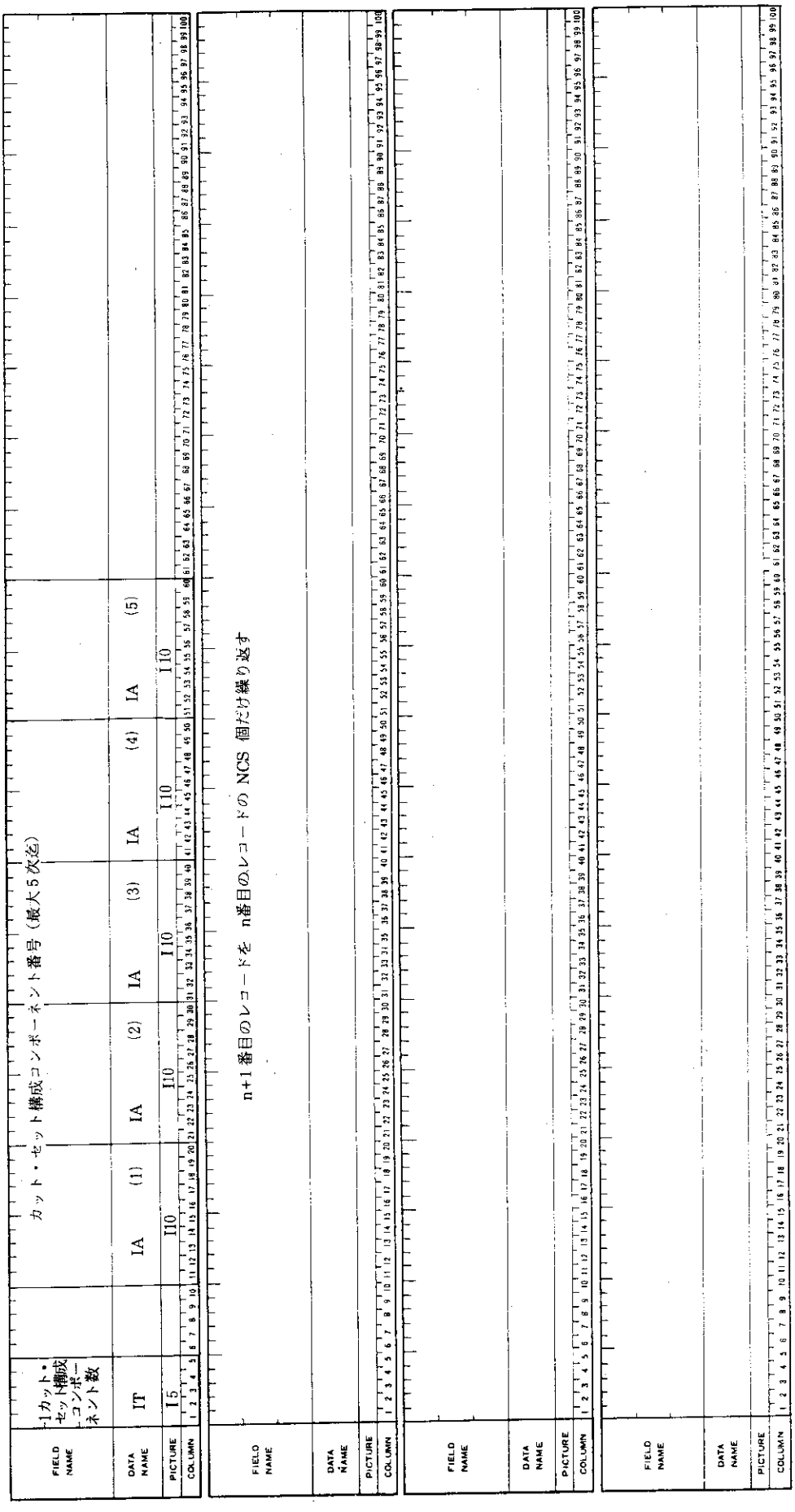


Fig. 4.20 Minimal Cut Set Information File (4/4)

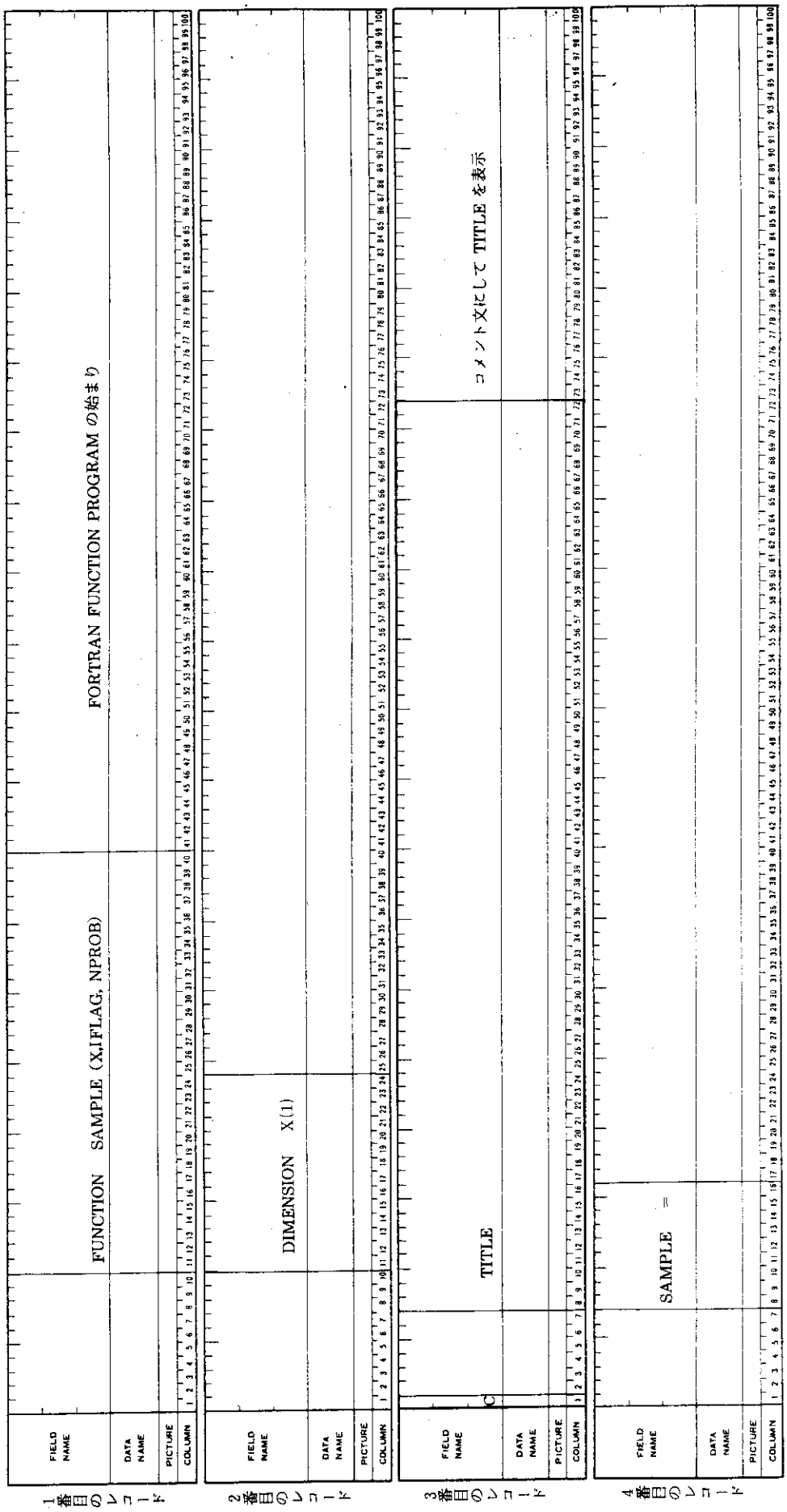


Fig. 4.21 Function Program File (1/3)

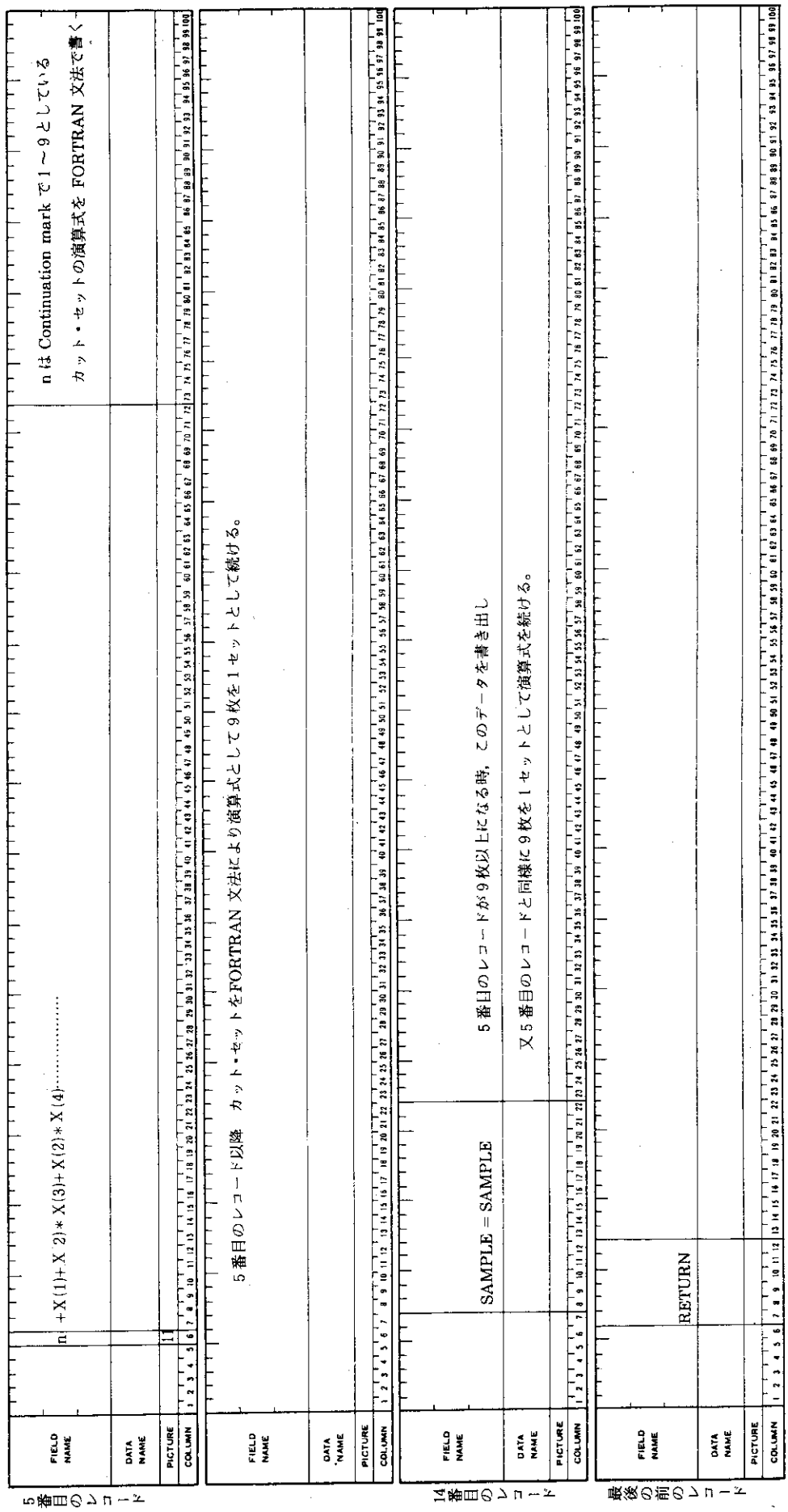


Fig. 4.21 Function Program File (2/3)

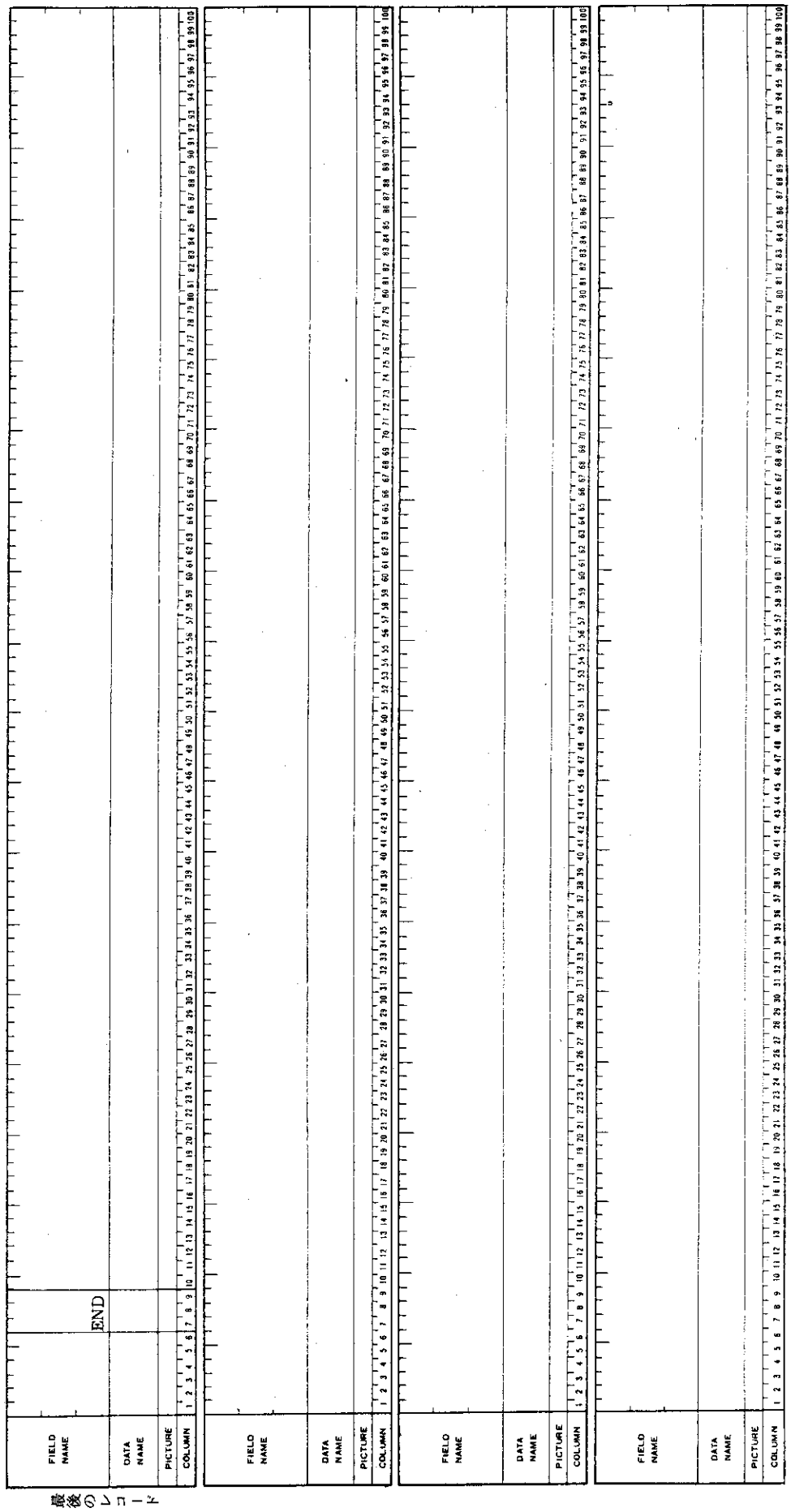


Fig. 4.21 Function Program File (3/3)

Table 4.6 Function Sample

```
      FUNCTION SAMPLE(X,IFLAG,NPROB)
      DIMENSION X(1)
C     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM)
      SAMPLE =
     1+ X(1)+ X(2)+ X(3)+ X(4)+ X(5)+ X(6)+ X(7)+ X(8)+ X(9)+ X(10)
     2 + X(11)*X(12)+ X(11)*X(13)+ X(14)*X(12)+ X(14)*X(13)- X(1)
     3 *X(2)- X(1)*X(3)- X(1)*X(4)- X(1)*X(5)- X(1)*X(6)- X(1)
     4 *X(7)- X(1)*X(8)- X(1)*X(9)- X(1)*X(10)-X(1)*X(11)*X(12)
     /
     9 *X(5)
      SAMPLE = SAMPLE
     1+ X(3)*X(6)- X(3)*X(7)- X(3)*X(8)- X(3)*X(9)- X(3)*X(10)
     (
     )
     9 *X(11)*X(13)
       (
       )
      SAMPLE = SAMPLE
     1+ X(3)*X(4)*X(8)*X(9)
      RETURN
      END
```

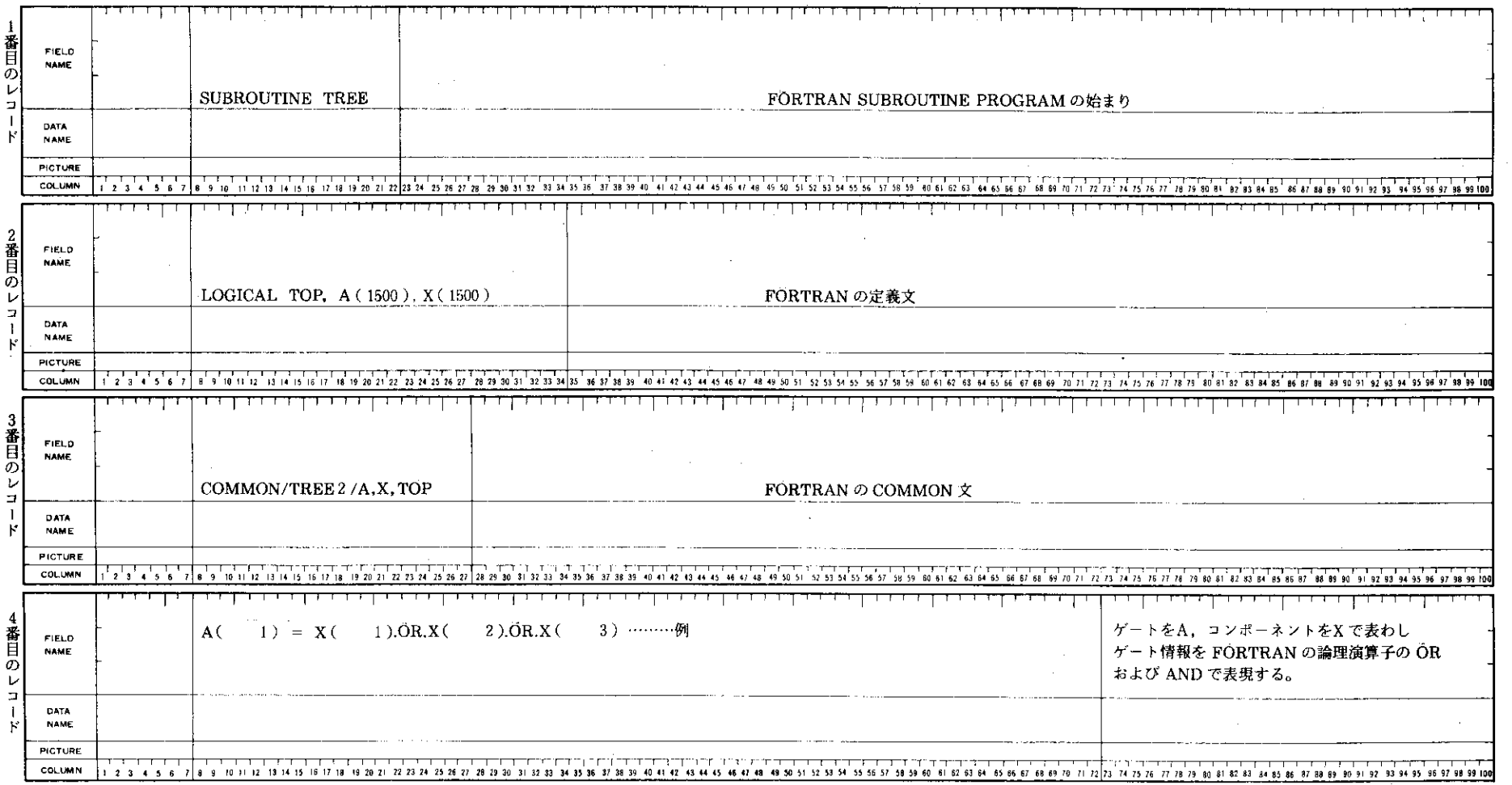


Fig. 4.22 Subroutine Tree Program File (1/2)

Fig. 4.22 Subroutine Tree Program File (2/2)

Table 4.7 Subroutine Tree Sample

```
      SUBROUTINE TREE
      LOGICAL TOP,A(1500),X(1500)
      COMMON/TREE2/A,X,TOP
      A(   1) = X(   1).OR.X(   2).OR.X(   3)
      A(   2) = X(   4).OR.X(   5)
      A(   3) = A(   2)
     *           .OR.X(   6).OR.X(   7)
      A(   4) = A(   3).OR.A(   1)
     *           .OR.X(   8)
      A(   5) = A(   4)
     *           .OR.X(   9).OR.X(  10)
      A(   6) = A(   4)
     *           .OR.X(  11).OR.X(  12)
      A(   7) = A(   6).AND.A(   5)
      A(   8) = A(   7)
     *           .OR.X(  13)
      A(   9) = A(   8)
     *           .OR.X(  14)
      TOP = A(   9)
      RETURN
      END
```

4.2.2　出力リスト

FTA－Jにおける出力リストの一覧をTable 4.8に示す。ここでは，その中の主要な出力リストについて例を用いて説明する。

Table 4.8　LIST of Output Data （1／2）

コード	主要出力リスト		チェック用出力リスト	
	リスト名	概要	リスト名	概要
COMP	(1) COMPONENT LIST	コンポーネント名順のコンポーネント・データ・ベースの一覧表		
DTBL	(2) DECISION TABLE LIST	デシジョン・テーブル・データ・ベースの一覧表		
CAT	(3) COMPONENT NODES LIST	コンポーネントまたは接点の入力，故障モード，出力のノード情報を示す。	－DECISION TABLE LIST －TOP EVENT AND BOUNDARY CONDITION LIST	・デシジョン・テーブル・データ・ベースより使用されるデシジョン・データ・ベースの内容を示す。 ・頂上事象，境界条件に関する入力データを示す。
	(4) GATE INFORMATION LIST	自動作成したゲート情報		
WAM	(5) DATA LISTING FAULT TREE	ゲート情報（入力データがある場合）		
	(6) UNAVAILABILITY OF COMPONENT USED IN TREE	解析対象フォルト・ツリーで使用するコンポーネントの情報		
CUT	(7) INPUT PARAMETERS	入力パラメータのリスト	－INPUT FAULT TREE BUILD BOTTOM－UP TREE FOR CUTSETS CALCULATION －INPUT COMPONENT LIST －INPUT FAULT TREE DESCRIPTION －COMPONENT CROSS REFERENCE LIST	・頂上事象に至るまでのゲート情報をBottom－upで再作成したものの内容を示す。 ・入力コンポーネント情報の1次，2次モーメントを示す。 ・入力ゲート情報の内容を示す。 ・コンポーネントがどのゲートで使用されるかを示す。（パラメータでクロス・リファレンスを出力すると指定した時だけ出力される。）
	(8) CUTSET FOR GATE ×××××××× ORDERD BY PROBABILITY GE. nnnn	ミニマル・カット・セット情報を発生確率順に示したリスト		
	(9) COMPONENT LIST FOR SPASM INPUT	″SPASM″コードへの入力となるミニマル・カット・セット情報を構成するコンポーネントを示す。		
	(10) COMPONENT LIST FOR BOUNDS／KITT INPUT	″BOUNDS″コードまたは″KITT″コードの入力となるミニマル・カット・セット情報を構成するコンポーネントを示す。		
PRP 1	(11) パラメータ・リスト	入力パラメータのリスト	－ゲート情報 －コンポーネント情報 －BOTTOM－UP TREE －COMPONENT CROSS REFERENCE LIST	・入力ゲート情報の内容を示す。 ・コンポーネントの故障率，修理時間を示す。 ・ゲート情報をBottom－upで再作成したものの内容を示す。 ・コンポーネントがどのゲートで使用されるかを示す。
	(12) サブルーチン・ツリー・リスト	インターフェイスファイルであるサブルーチン・ツリーの内容を示す。		
PRP 2	(13) MINIMAL SETS FOR THIS TREE	求めたミニマル・セットを次数順に示す。	－MINIMAL YYYY SETS FOUNDS BY XXXX YYYY はカット・セットの時はCUT パス・セットの時はPATH XXXX は決定論的方法の場合はCOMBO モンテカルロ法の場合はFATE	・ミニマル・セットを求められた順に示す。
	(14) COMPONENT LIST FOR SPASM INPUT	″CUT″コードの出力リスト(9)に同じ		
	(15) COMPONENT LIST FOR BOUNDS／KITT IUPUT	″CUT″コードの出力リスト(10)に同じ		
BAM	(16) パラメータ・リスト	入力パラメータのリスト	－INPUT FAULT TREE DESCRIPTION －INPUT COMPONENT LIST －CROSS REFERENCE LISTING －RESTRUCTURED TREE BUILT FROM BOTTOM－UP －TREE CODED FOR EVALUATION BY BAM	・入力ゲートの内容を示す ・コンポーネントのアンアベィラビリティを示す。 ・コンポーネントがどのゲートで使用されるかを示す。 ・ゲート情報をBottom－upで再作成したものの内容を示す。 ・Bottom－upで再作成したゲート情報をGO手法で表わしたものの内容を示す。
	(17) RESULTS	計算結果（点推定値）を示す。		

Table 4.8 LIST of Output Data (2／2)

コード	主要出力リスト		チェック用出力リスト	
	リスト名	概要	リスト名	概要
SPASM	(18) コンポーネント分布指定リスト	ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントに対し，想定した分布形および分布パラメータを示す。		
	(19) OUTPUT EVALUATIONS	システム・アンアベィラビリティの分布に対するパラメータ値，確率分布に対するアンアベィラビリティを示す。		
	(20) PROB. DENCITY FUNCTION	確率密度分布図を示す。		
	(21) CUMULATIVE PROBABILITY	累積確率図を示す。		
BOUNDS	(22) SYSTEM INPUT INFORMATION SUMMARY	入力パラメータのリスト	−THE MOMENTS OF THE PRIMARY INPUTS	・コンポーネントの1次，2次モーメントを示す。
	(23) INPUT FAILURE DATA CHECK	コンポーネントの1次，2次モーメント，及び特性値を示す。	−MINIMAL CUT SET INFORMATION	・ミニマル・カット・セットの情報を示す。
	(24) SYSTEM UNAVAILABILITY SUMMARY	システム・アンアベィラビリティの平均，分散を示す。		
	(25) CONSERVATIVE BOUNDS FROM INEQUALITIES	システム・アンアベィラビリティに対し，4種の不等式の結果を示す。		
	(26) SYSTEM DISTRIBUTION ESTIMATION	ジョンソン分布に従ったシステム・アンアベィラビリティの累積確率を示す。		
KITT	(27) INPUT LIST	入力パラメータおよびコンポーネントの故障率，修理時間を示す。	−SET INFORMATION	・ミニマル・セット情報の内容を示す。
	(28) COMPONENT AND INHIBIT INFORMATION	コンポーネントの時間依存の特性を示す。		
	(29) MINIMAL SET INFORMATION	ミニマル・セットの時間依存の特性を示す。		
	(30) SYSTEM INFORMATION−UPPER BOUNDS	システム・リライビリティの時間依存の特性を示す。		
WAMTAP			−MAINTENANCE LIST (TAP)	・入力変更データおよび変更後の内容を示す。
WTAP			−MAINTENANCE LIST (WTAP)	・入力変更データおよび変更後の内容を示す。
DRAW	(31) プロット図	フォールト・ツリーをプロットしたものを示す。	−INPUT FAULT TREE DESCRIPTION	・入力ゲート情報の内容を示す。
			−EVENT DESCRIPTION	・ゲートに関する説明，コンポーネントのメッセージを示す。
			−フレーム情報リスト	・フレーム毎の情報を示す。

```
(1) COMPONEST LIST

*****     COMP  CREATED  NF1  FILE   *****     << 83-04-14 >>

NAME     ( 1)UNAV.1     ( 2)UNAV.2     ( 3)FAIL,INTN.( 4)REPAIR.TM.
         ( 5)NORMAL.P1  ( 6)NORMAL.P2  ( 7)LOG-N.P1   ( 8)LOG-N.P2   ( 9)UNI.LOWER (10)UNI.UPPER
         (11)BETA.P1    (12)BETA.P2    (13)GAMMA.P1   (14)GAMMA.P2   (15)BINOMI.P1 (16)BINOMI.P2
         (17)INV-BT.P1  (18)INV-BT.P2  (19)CHISQ      (20)STUDENT
         (21)FAIL.MED.  (22)FAIL.FACT.(23)REP.MED.    (24)REP.FACT.  (25)UNAV.MEAN (26)UNAV.VARI.
         (27)LAMBDA     (28)TEST2      (29)TEST1      (30)TAU        (31)REPAIR
         (32)QOVRD      (33)PTCF       (34)INEFF      (35)U-LAMBDA   (36)QRESID
         (37)EVENT-DESCRIPTION

CHV      ( 1) 1.250E-02( 2) 8.780E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 1.250E-02( 6) 8.780E-09( 7) 1.000E-02( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-02(26) 8.780E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  CHECK VALVE        FAILS CLOSED
```

ヘディング

NAME……コンポーネント名

SPASM用データ

(1) UNAV.1……アンアベィラビリティ平均値
(2) UNAV.2……アンアベィラビリティ分散
(3) FAIL.INTN.……故障率（故障回数/10^6H）
(4) REPAIR.TM.……修理時間(H)
(5) NORMAL.P1……正規分布パラメータの（平均値）
(6) NORMAL.P2……正規分布パラメータβ（分散）
(7) LOG-N.P1……対数正規分布パラメータα（メディアン値）
(8) LOG-N.P2……対数正規分布パラメータα（エラーファクタ）
(9) UNI.LOWER……一様分布パラメータα（下限値）
(10) UNI.UPPER……一様分布パラメータβ（上限値）
(11) BETA.P1……ベータ分布パラメータα(α)
(12) BETA.P2……ベータ分布パラメータβ(β)
(13) GAMMA.P1……ガンマ分布パラメータ
(14) GAMMA.P2……ガンマ分布パラメータβ(β)
(15) BINOMI.P1……二項分布パラメータα（故障回数）
(16) BINOMI.I2……二項分布パラメータβ（試行回数）
(17) INV-BT.P1……インバーテッド・ベータ分布パラメータα（分子の自由度）
(18) INV-BT.P2……インバーテッド・ベータ分布パラメータβ（分母の自由度）
(19) CHISQ……カイ2乗分布パラメータα（自由度）
(20) STUDENT……スチューデントT分布パラメータα（自由度）

BOUNDS用データ

(21) FAIL.MED.……故障率（回/10^6H）のメディアン値
(22) FAIL.FACT.……故障率（回/10^6H）のエラーファクタ
(23) REP.MED.……修理時間(H)のメディアン値
(24) REP.FACT.……修理時間(H)のエラーファクタ
(25) UNAV.MEAN……アンアベィラビリティの平均値
(26) UNAV.VARI.……アンアベィラビリティの分散

FRANTIC用データ

(27) LAMDA
(28) TEST 2
(29) TEST 1
(30) TAU
(31) REPAIP
(32) QOVRD
(33) PTCF
(34) INEFF
(35) U-LAMDA
(36) QRESID
(37) EVENT-DESCRIPTION……コンポーネントメッセージ

(2) Decision Table List

```
   *****   DTBL CREATE NF2 FILE   *****  << 83-04-13 >>}……ヘディング
1001  SPRAY  ③ AA  ④ 1  ⑤ 1  ⑥ 1  ⑦ 3
①    ②  NOZZELE                ⑩
          ⑧                ⑨ 0   -1   ⑪ 0
                              -1  3001    0
                               1    0    1
      ⑭      ⑮   ⑯
⑫ I ⑬ 1    0    1001 (    0)
  I  1    1    1001 (    1)
  M  1    0B   1001 (    0)
  M  1 3001C   1001 (3001)
```

① デシジョン・テーブル・登録番号

② デシジョン・テーブル名

③ コンポーネント名構成２文字

④ 該当コンポーネントまたは接点への入力個数

⑤ 該当コンポーネントまたは接点がもつ故障モードの個数

⑥ 該当コンポネントまたは接点からの出力個数

⑦ デシジョン・テーブル行数

⑧ 該当コンポーネントまたは接点がもつ故障モード名　⑤で指定された数だけ並ぶ

⑨ 該当コンポーネントまたは接点への入力デシジョン・テーブル値

　　－１は「Don't Care」を示す

⑩ 該当コンポーネントまたは接点がもつ故障モードのデシジョン・テーブル値

　　－１は「Don't Care」を示す

⑪ 該当コンポーネントまたは接点からの出力デシジョン・テーブル値

　　１は正常，０は異常を示す

⑫ Iとあるものは入力のデシジョンテーブル値の定義

Mとあるものは故障モードのデシジョン・テーブル値の定義を示す。

⑬ 列番号

⑭ デシジョン・テーブル値

⑮ コンポーネント名構成１文字

　　⑫がMのものだけにつけられる

⑯ デシジョン・テーブル値の説明

(3) COMPONENT NODES LIST

SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM) ……タイトル

COMPONENT INDEX INPUT PRINTOUT ……ヘディング

COMPONENT CARD PRINTOUT

INDEX ①	CODE ②	NAME ③	TYPE ④	INPUT/OUTPUT NODES ⑤		
1	COM	TOP EVNT	1050	1	18	
2	COM	SPRAY	1001	2	1	
3	COM	CHV	1002	3	2	
4	COM	AND GT10	1040	4	5	3
5	COM	MOV1	1004	6	11	4
6	COM	S1	1003	11		
7	COM	MOV2	1024	7	12	5
8	COM	S2	1013	12		
9	COM	AND GT1I	1030	8	6	7
10	COM	PUMP	1005	9	15	8
11	COM	MOTOR	1009	14	16	15
12	COM	S4	1015	14		
13	COM	EP	1008	16		
14	COM	MOV3	1034	10	13	9
15	COM	S3	1014	13		
16	COM	TANK	1006	17	10	
17	COM	VENT	1007	17		

END

① 入力データであるコンポーネント・ノード・データの通し番号を示す

② 入力データであるコンポーネント・ノード・データの ICOMの内容を示す

③ コンポーネントまたは接点名で
入力データであるコンポーネント・ノード・データの,CMPNAMの内容を示す

④ デシジョン・テーブル・タイプで
入力データであるコンポーネント・ノード・データのITYPEの内容を示す

⑤ デシジョン・テーブルに連絡しているノード番号で
入力データであるコンポーネント・ノード・データのNODE の内容を示す
コンポーネントまたは接点に対する入力のノード，出力のノードの順に示される

見方の例：TOP EVNT は入力ノードとして1をもち出力ノードとして18ををもつ
AND GT1O は入力ノードとして4,5をもち出力ノードとして3をもつ
S1 は入力ノードはなく出力ノードとして11をもつ

(4) GATE INFORMATION LIST

```
-----------------------------------------------------------
- PROGRAM CAT, OUTPUT REGION
- OUTPUT TO I/O DEVICE 13 IN FORMAT FOR PREP-KITT CODES
-
-     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM)    ........タイトル
-----------------------------------------------------------
                                                          ...ヘディング

*** PREP DATA MISSING ***
      &END      READ BY SUBROUTINE STEVE.
FAULT TREE WILL BE OUTPUT WITHOUT FAILURE DATA.
```

```
   ①        ②    ③ ④          ⑤
TOP        OR    1 1 GATE0002 00203001
GATE0002   OR    1 1 GATE0003 00213002
GATE0003   AND   2 0 GATE0004 GATE0005
GATE0004   OR    1 2 GATE0006 00240001 00233004
GATE0005   OR    1 2 GATE0006 00260001 00253024
GATE0006   OR    2 1 GATE0007 GATE0009 00283005
GATE0007   OR    1 2 GATE0008 00330001 00323034
GATE0008   OR    0 2 00350001 00343006
GATE0009   OR    0 3 00300001 00310001 00293009
```

① ゲート名で頂上事象をTOPと名付けそれ以外は GATEnnnn と名付ける
nnnn は 0002 からの通し番号である

② ゲートタイプで「OR」か「AND」で示される
「OR」はデシジョン・テーブルの行を示し，「AND」はデシジョン・テーブルの列を示す

③ 該当データに直接連結するデート数を示す

④ 該当ゲートに直接連結するコンポーネント数を示す

⑤ 該当ゲートに直接連結するゲート名，コンポーネント名を順に示す
左より③で示した個数のゲート名が続き，その後に④で示した個数のコンポーネント名が続く
又コンポーネント名はiiiijjjj で示され
iiii はコンポーネントまたは接点の故障モードに対するノード番号（“CAT”コードが自動的に作成する）をjjjj はコンポーネントまたは接点の故障モードを示す

```
      *****  WAM CREATE NF3 FILE  *****
(5) DATA LISTING FAULT TREE

    FAULT TREE DESCRIPTION

          ① GATE NUMBER
          ② GATE NAME
          ③ GATE TYPE
          ④ NUMBER OF GATES INPUT
          ⑤ NUMBER OF COMPONENTS INPUT
          ⑥ NUMBER OF EVENTS IN COM GATE TO BE CONSIDERED AT ONE TIME
          ⑦-⑭ NAMES OF THE INPUTS
```

ヘディング

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
1	G1	OR	1	1	0	G2	SPRAY						
2	G2	OR	1	1	0	G3	CHV						
3	G3	AND	2	0	0	G4	G5						
4	G4	OR	2	0	0	G6	G8						
5	G6	OR	0	2	0	MOV2	S2						
6	G5	OR	2	0	0	G7	G8						
7	G7	OR	0	2	0	MOV1	S1						
8	G8	OR	2	0	0	G9	G12						
9	G9	OR	1	1	0	G10	PUMP						
10	G10	OR	1	1	0	G11	EP						
11	G11	OR	0	2	0	MOTOR	S4						
12	G12	OR	1	2	0	G13	TANK	VENT					
13	G13	OR	0	2	0	MOV3	S3						

```
NODE-NAME                EVENT DESCRIPTION                INHIBIT DESCRIPTION
   ⑮                          ⑯                                ⑰
*GATES
 G1
 G2
 G3
 G4
 G6
 G5
 G7
 G8
 G9
 G10
 G11
 G12
 G13
```

① 入力データであるデート情報データの通し番号である。

② ゲート名で入力データであるゲート情報データの GATE(i,1) の内容を示す。

③ ゲートタイプで入力データであるゲート情報データの GATE (i,2)の内容を示す。

④ 当該ゲートに対する入力ゲートの個数で入力データであるゲート情報データのNGATE(i,1) の内容を示す。

⑤ 当該ゲートに対する入力コンポーネントの個数で入力データであるゲート情報データの NGATE (i,2) の内容を示す。

⑥ 当該ゲートがコンビネションゲートの場合の条件数で，入力データであるゲート情報データのNGATE (i,3) の内容を示す。

⑦〜⑭ 当該ゲートへの入力となるゲート名，コンポーネント名を順に示すもので，入力データであるゲート情報データの GATE (i,3) 〜GATE (i,10) の内容を示す。

⑮ ゲート名

⑯ ゲートに関する説明で入力データであるゲート情報データの EVEN(i,1) 〜EVEN(i,7) の内容を示す。

⑰ インヒビット・ゲートに関するメッセージで入力データであるゲート情報データの INHMSG(i) の内容を示す。

```
(6) UNAVAILABILITY OF COMPONENTS USED IN TREE

     NAME     ( 1)UNAV.1     ( 2)UNAV.2     ( 3)FAIL.INTN.( 4)REPAIR TM.
              ( 5)NORMAL.P1 ( 6)NORMAL.P2 ( 7)LOG-N.P1  ( 8)LOG-N.P2  ( 9)UNI.LOWER (10)UNI.UPPER
              (11)BETA.P1    (12)BETA.P2    (13)GAMMA.P1   (14)GAMMA.P2  (15)BINOMI.P1 (16)BINOMI.P2
              (17)INV-BT.P1 (18)INV-BT.P2 (19)CHI-SQ     (20)STUDENT
              (21)FAIL.MED. (22)FAIL.FACT.(23)REP.MED.   (24)REP.FACT.  (25)UNAV.MEAN (26)UNAV.VARI.
              (27)LAMBDA     (28)TEST2      (29)TEST1      (30)TAU        (31)REPAIR
              (32)QOVRD      (33)PTCF       (34)INEFF      (35)ULAMBDA    (36)QRESID

   SPRAY      ( 1) 1.100E-03( 2) 8.610E-05( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
              ( 5) 1.100E-03( 6) 8.610E-05( 7) 1.300E-04( 8) 3.000E+01( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
              (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 9.090E+02(14) 1.000E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
              (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
              (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.100E-03(26) 8.610E-05
              (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
              (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
              (37) NOZZELES          PLUGGED
```

……ヘディング

"COMP"コードの出力リスト(1)と同じ

```
*****************************************************
*        CUT  COMMAND EXECUTE                       *
*****************************************************


 SAMPLE CASE 5 (SPRAY INJECTION SYSTEM *** CUT *** )      ……タイトル          << 83-04-13 >>
(7) << INPUT PARAMETERS  >>                                ……ヘディング

      * INPUT FAULT TREE COMPOSED
①     * COMPONENT CROSS REFERENCE LISTING REQUESTED
②     *  1 GATES OUTPUT  REQUESTED GATE-NAMES :
              TOP-GATE  ONLY
③     * MINIMAM PROBABILITY =  1.000E-08   AS GATE DEPENDENT
④     * CUTSETS ORDER REQUESTED   BETWEEN    1  AND     5
⑤     * NOT REQUESTED FILE OUT TIME
⑥     * OUTPUT REQUEST IS  1ST MOMENT CALCULATED
```

入力であるパラメータ・データの内容を解析し示したものである。

① パラメータ・データの XRF で「X」と指定したことを示す。

② ミニマル・カット・セットを求めるゲート名を示す。
パラメータ・データのINNDとゲート指定データの DNAME(1)～DNAME(j)の内容をリストする。
この例は INND=0 としているので頂上事象に対するミニマル・カット・セットを求めることになる。

③ ミニマル・カット・セットの切り捨て確率値および切り捨て方法を示す。
パラメータ・データの PDEL と，IPDEL の内容を示す。
この例では IPDEL=0（PDEL 以下のカット・セットを切り捨てる。）
PDEL= 1,000 E- 08 と指定している。

④ 求めるミニマル・カット・セットの最小次数および最大次数を示す。
パラメータ・データの MCS 1,MCS 2 の内容を示す。
この例は指定していないのでデフォルト値（最小= 1,最大= 5）が適用されている。

⑤ 再スタートのタイミングを示す。
パラメータ・データのICPUの内容を示す。
この例では ICPU=- 1 と指定し，再スタート用のファイルは作成しないことを示している。

⑥ 計算処理方法を示す。
パラメータ・データのIOPTの内容を示す。
この例では，IOPT= 1 と指定し，ミニマル・カット・セットを求めその 1 次モーメントを計算することを示している。

```
      SAMPLE CASE 5 (SPRAY INJECTION SYSTEM *** CUT *** )                    ……タイトル
(8) << CUTSET FOR GATE  G1        ORDERD BY PROBABILITY GE.  1.000E-08  >>  ……ヘディング
     NO.   PROBABILITY          NAMES OF CUTSET BUILD COMPONENTS
            OF CUTSET
     ①        ②                      ③
  (   1)    1.2500E-02          CHV
  (   2)    5.7500E-03          S3
  (   3)    5.7500E-03          S4
  (   4)    1.2500E-03          PUMP
  (   5)    1.1000E-03          SPRAY
  (   6)    7.9900E-04          MOTOR
  (   7)    1.2500E-04          MOV3
  (   8)    5.1200E-05          EP
  (   9)    3.3063E-05          S1          S2
  (  10)    3.7300E-06          VENT
  (  11)    7.1875E-07          MOV1        S2
  (  12)    7.1875E-07          MOV2        S1
  (  13)    1.5625E-08          MOV1        MOV2

④
 1ST MOMENT =  2.7103E-02
```

① 求められたミニマル・カット・セットの通し番号

② ミニマル・カット・セットの発生確率

例……(1)はコンポネント：CHV だけがミニマル・カット・セットとなりCHVのアンアベイラビリティの値

(9)はコンポーネントS1，S2の2つがミニマル・カット・セットとなり(9)の値はP(S1) +P(S2) －P(S1)P(S2)で算出される。

③ ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント名

④ 指定したゲートの1次モーメント値

この例では頂上事象の1次モーメントとなる（特別にゲートを指定していないため）

```
      SAMPLE CASE 5 (SPRAY INJECTION SYSTEM *** CUT *** )  ……タイトル
                                                           ……ヘディング
(9) << COMPOMENT LIST FOR SPASM INPUT >>
     ①      ②
  (   1)   MOV1
  (   2)   MOV2
  (   3)   S1
  (   4)   S2
  (   5)   MOTOR
  (   6)   S4
  (   7)   EP
  (   8)   PUMP
  (   9)   MOV3
  (  10)   S3
  (  11)   VENT
  (  12)   CHV
  (  13)   SPRAY
```

ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント名を示す。

① コンポーネント名の通し番号

"SPASM"コードの入力となる構造関数に表われる変数Xの添字に対応する。

② コンポーネント名

```
      SAMPLE CASE 5 (SPRAY INJECTION SYSTEM *** CUT *** )  ……タイトル
(10) <<  COMPONENT LIST FOR   BOUNDS / KITT   INPUT >>      ……ヘディング
     ①      ②
  (   1)   MOV1
  (   2)   MOV2
  (   3)   S1
  (   4)   S2
  (   5)   MOTOR
  (   6)   S4
  (   7)   EP
  (   8)   PUMP
  (   9)   MOV3
  (  10)   S3
  (  11)   VENT
  (  12)   CHV
  (  13)   SPRAY
                          .....  USED  CPU-TIME        0.68100  SEC.  .....
```

ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント名を示す

①コンポーネント名の通し番号

"BOUNDS"コード及び"KITT"コードの入力となるインターフェイス・ファイル（BOUNDS/KITT,SPASM 用ミニマル・カット・セット情報ファイル）のm+1番目のレコードのカット・セット構成コンポーネント番号に対応する

② コンポーネント名

```
**********************************************************************************************
*TREBIL FAULT TREE BUILDING PROGRAM                                                          *
**********************************************************************************************
```

(11) パラメータ・リフト

```
      SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** PRP1 CAT GATE ***)

① COMBO STARTING VALUE,MIN------------------    1

② COMBO ENDING VALUE,MAX--------------------    5

③ CUT SET - PATH SET SWITCH,IDEX1------------    0

④ MONTE CARLO STARTER,MCS-------------------    0

⑤ NO. OF RANDOM NUMBERS TO REJECT,NREJEC-----    0

⑥ NO. OF MONTE CARLO TRIALS,NTR--------------    0

⑦ MIXING PARAMETER SWITCH,IREN---------------    0

⑧ MONTE CARLO MIXING PARAMETER,TAA----------- 0.0
```

① "PRP 2 "コードで決定論的方法によりミニマルカット・セットを求める時の最小次数を示す。
入力データであるパラメータ・データのMINの内容を示す。

②"PRP 2 "コードで決定論的方法によりミニマル・カット・セットを求める時の最大次数を示す。
入力データであるパラメータ・データの MAXの内容を示す。

③ "PRP 2 "コードでモンテ・カルロ法により求めるのがミニマル・パス・セットなのか，ミニマル・パス・セットなのかを示す入力データである。パラメータ・データの IDEX 1 の内容を示す。

④ "PRP 2 "コードでモンテ・カルロ法によりミニマル・セットを求める時の最小次数を示す。
入力データであるパラメータ・データの MCSの内容を示す。

⑤ "PRP 2 "コードでモンテ・カルロ法によりミニマル・セットを求める時の一様乱数初期無効回数を示す。
入力データであるパラメータ・データの NERJEC の内容を示す。

⑥ "PRR 2 "コードでモンテ・カルロ法によりミニマル・セットを求める時の試行回数を示す。
入力データであるパラメータ・データの NTR の内容を示す。

⑦ "PRP 2 "コードでモンテカルロ法によりミニマル・セットを求める時のミキシング・パラメータを示す。
入力データであるパラメータ・データの IREN の内容を示す。

⑧ "PRP 2 "コードでモンテ・カルロ法によりミニマル・セットを求める時の T を示す。
入力データであるパラメータ・データのTAAの内容を示す。

```
**********************************************************************************************
*TREBIL FAULT TREE BUILDING PROGRAM                                                          *
**********************************************************************************************
```

(12) サブルーチン・ツリー・リフト

```
CONTAINMENT SPRAY INJECTION SYSTEM
```

……タイトル

```
          THIS IS THE SUBROUTINE GENERATED BY TREBIL
      SUBROUTINE TREE
      LOGICAL TOP,A(1500),X(1500)
      COMMON/TREE2/A,X,TOP
      A(    1) = X(    1).OR.X(    2)
      A(    2) = X(    3).OR.X(    4)
      A(    3) = X(    5).OR.X(    6)
      A(    4) = X(    7).OR.X(    8)
      A(    5) = A(    1)
     *           .OR.X(    9).OR.X(   10)
      A(    6) = A(    2)
     *           .OR.X(   11)
      A(    7) = A(    6)
     *           .OR.X(   12)
      A(    8) = A(    7).OR.A(    5)
      A(    9) = A(    3).OR.A(    8)
      A(   10) = A(    4).OR.A(    8)
      A(   11) = A(   10).AND.A(    9)
      A(   12) = A(   11)
     *           .OR.X(   13)
      A(   13) = A(   12)
     *           .OR.X(   14)
      TOP = A(   13)
      RETURN
      END
```

サブルーチン・ツリーの内容

```
THERE WERE    14 COMPONENTS INDEXED IN THIS TREE
```

```
   ******************************
(13) * MINIMAL SETS FOR THIS TREE *
   ******************************
```

……ヘディング

```
     **  MINMAL CUT SET  **
      ①        ②
(    1)    ZMM     B
(    2)    ZHH     B
(    3)    ZIIR    C
(    4)    ZGG     B
(    5)    ZFF     C
(    6)    ZLL     B
(    7)    ZQQ     C
(    8)    ZEE     C
(    9)    ZBB     C
(   10)    ZAAY    C
(   11)    ZCC     B   ZKK     B
(   12)    ZCC     B   ZPP     C
(   13)    ZDD     C   ZKK     B
(   14)    ZDD     C   ZPP     C

********** END OF OUTPUT FROM MINSET **********
```

①求められたミニマル・セットの次数順の通し番号
②ミニマル・セットを構成するコンポーネント名

この例ではミニマル・セットはミニマル・カット・セットである。

```
      SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** PRP1 CAT GATE ***)……タイトル
(14) <<  COMPONENT LIST FOR SPASM INPUT >>                          ……ヘデッング

(    1)    ZMM     B
(    2)    ZHH     B
(    3)    ZIIR    C
(    4)    ZGG     B
(    5)    ZFF     C
(    6)    ZLL     B
(    7)    ZQQ     C
(    8)    ZEE     C
(    9)    ZBB     C
(   10)    ZAAY    C
(   11)    ZCC     B
(   12)    ZKK     B
(   13)    ZPP     C
(   14)    ZDD     C
```

"CUT"コードの出力リスト(9)と同じ

```
      SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** PRP1 CAT GATE ***)……タイトル
(15) <<  COMPONENT LIST  FOR  BOUNDS / KITT  INPUT  >>                ……ヘディング

(    1)    ZMM     B
(    2)    ZHH     B
(    3)    ZIIR    C
(    4)    ZGG     B
(    5)    ZFF     C
(    6)    ZLL     B
(    7)    ZQQ     C
(    8)    ZEE     C
(    9)    ZBB     C
(   10)    ZAAY    C
(   11)    ZCC     B
(   12)    ZKK     B
(   13)    ZPP     C
(   14)    ZDD     C
```

"CUT"コードの出力リスト(10)と同じ

```
        SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM GATE INPUT ***)
⑯パラメータ・リスト
      ①    XRF = X

      ②    NND =   0

      ③  PMINT =  0.0
```

① コンポーネントのクロス・リファレンスを出力するか否かを示す。
入力データであるパラメータ・データの XRF の内容を示す。

② 発生確率を求めるゲート数を示す。
入力データであるパラメータの NND の内容を示す。

③ ブール代数を用いて確率を計算していく過程での切り捨て値を示す。
入力データであるパラメータ・データの PMINT の内容を示す。

```
    SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM GATE INPUT ***)  ……タイトル


⑰                    ***RESULTS***                              ……ヘディング

 SIGNAL NO.     EVENT          TOTAL PROBABILITY
                  ①                    ②
      1                          1.000000000D+00
     29          G1              2.71031D-02


...     USED CPU TIME =        0.66 SEC.    ...
```

① ゲート名
入力データであるパラメータ・データの NND 個だけ，ゲート指定データの $\overline{\text{DNO}}(1)$～$\overline{\text{DNO}}(j)$ が表現される。
この例では NND＝0 なので頂上事象だけとなる。

② 各ゲートの発生確率の点推定値

```
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
                                  SPASM     S      P            A           S        M
********************************  SPASM   >>SYSTEM PROBABALISTIC ANALYSIS BY SAMPLING METHODS<<   ********************************
```

……ヘディング

(18) コンポーネント分布指定リスト

```
          SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** SPSM DIST.=L ***)
     FUNCTION NO.   1
```

……タイトル

①		②	③	④	⑤
ZGG	B	COMPONENT(1)	LOG-NORMAL	4.4000E-07	3.0000E+01
ZFF	C	COMPONENT(2)	LOG-NORMAL	1.0000E-10	1.0000E+01
ZLL	B	COMPONENT(3)	LOG-NORMAL	4.6000E-03	3.0000E+00
ZQQ	C	COMPONENT(4)	LOG-NORMAL	1.0000E-04	3.0000E+00
ZMM	B	COMPONENT(5)	LOG-NORMAL	4.6000E-03	3.0000E+00
ZHH	B	COMPONENT(6)	LOG-NORMAL	4.1000E-05	3.0000E+00
ZIIR	C	COMPONENT(7)	LOG-NORMAL	3.0000E-04	1.0000E+01
ZEE	C	COMPONENT(8)	LOG-NORMAL	1.0000E-03	3.0000E+00
ZCC	B	COMPONENT(9)	LOG-NORMAL	4.6000E-03	3.0000E+00
ZKK	B	COMPONENT(10)	LOG-NORMAL	4.6000E-03	3.0000E+00
ZPP	C	COMPONENT(11)	LOG-NORMAL	1.0000E-04	3.0000E+00
ZDD	C	COMPONENT(12)	LOG-NORMAL	1.0000E-04	3.0000E+00
ZBB	C	COMPONENT(13)	LOG-NORMAL	1.0000E-02	3.0000E+00
ZAAY	C	COMPONENT(14)	LOG-NORMAL	1.3000E-04	3.0000E+01

① コンポーネント名

② コンポーネント名の通し番号

③ コンポーネントに想定した分布形名

入力データであるコンポーネント分布形指定データのIC(1)～IC(j)の内容により出力する。

④ 分布形パラメータのα, β値

“COMP”コードの出力リスト(1)で説明した分布パラメータのα, β

09 OUTPUT EVALUATIONS, SAMPLE SIZE= 5000

DISTRIBUTION PARAMETERS. MEAN = 2.7427E-02 STANDARD DEVIATION = 1.3341E-02
BETA1 = 2.221844E+01 BETA2 = 7.699997E+01

DISTRIBUTION CONFIDENCE LIMITS

CONFIDENCE (PER CENT)	FUNCTION VALUE
0.5	9.7973E-03
1.0	1.0756E-02
2.5	1.2033E-02
5.0	1.3588E-02
10.0	1.5400E-02
20.0	1.7926E-02
25.0	1.9046E-02
30.0	2.0131E-02
40.0	2.2380E-02
50.0	2.4579E-02
60.0	2.7145E-02
70.0	3.0374E-02
75.0	3.2525E-02
80.0	3.4969E-02
90.0	4.2460E-02
95.0	4.9852E-02
97.5	5.6900E-02
99.0	7.1855E-02
99.5	8.5205E-02

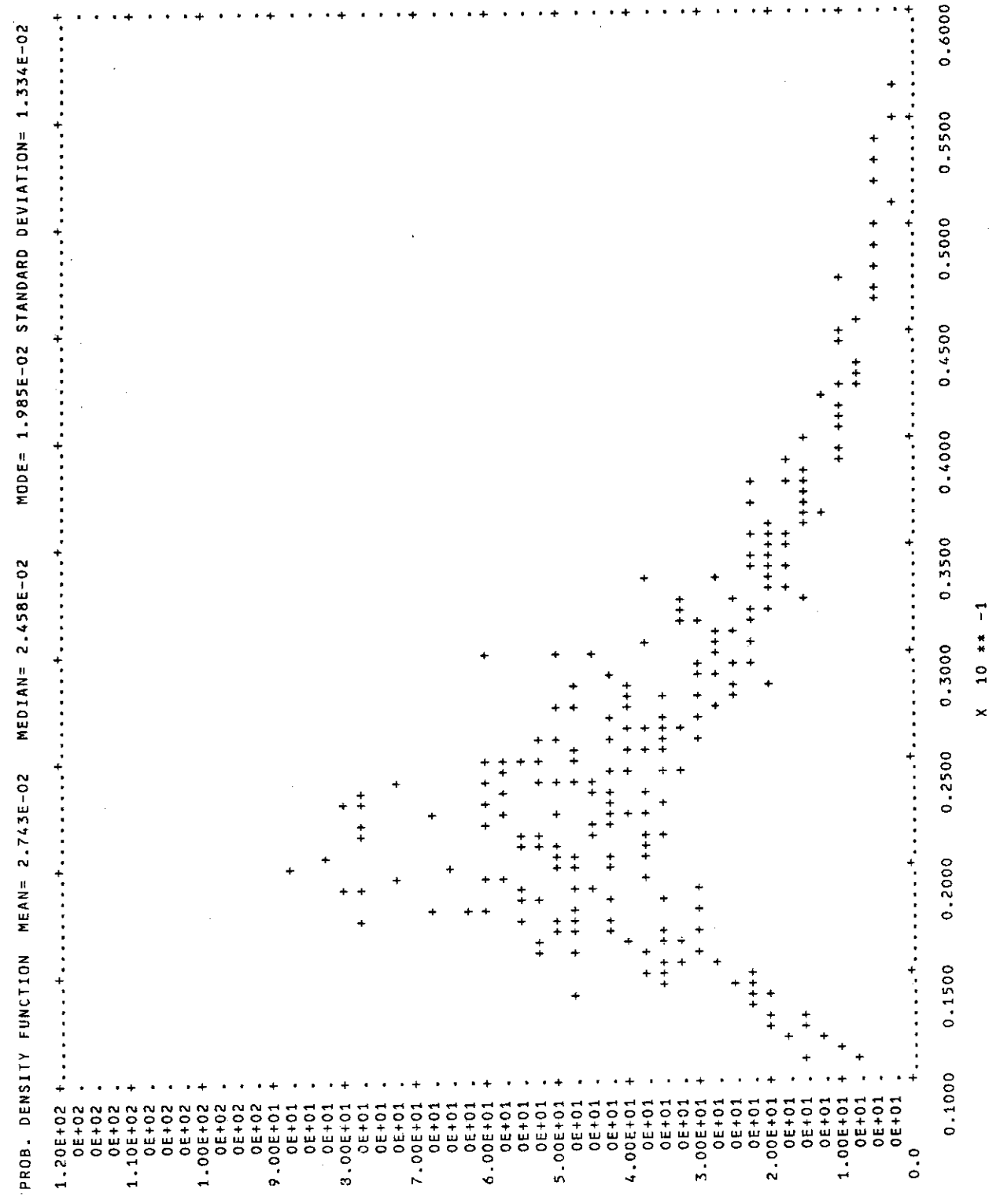
99 PER CENT CONFIDENCE BOUNDS ON SIMULATION RESULTS

UPPER	LOWER
9.71	9.49
8.61	8.42
7.41	7.26
6.26	6.14
5.22	5.12
4.11	4.04
3.71	3.66
3.37	3.33
2.77	2.74
2.28	2.27
1.82	1.82
1.86	1.84
1.91	1.89
1.96	1.93
2.08	2.04
2.16	2.11
2.22	2.16
2.31	2.23
2.36	2.28

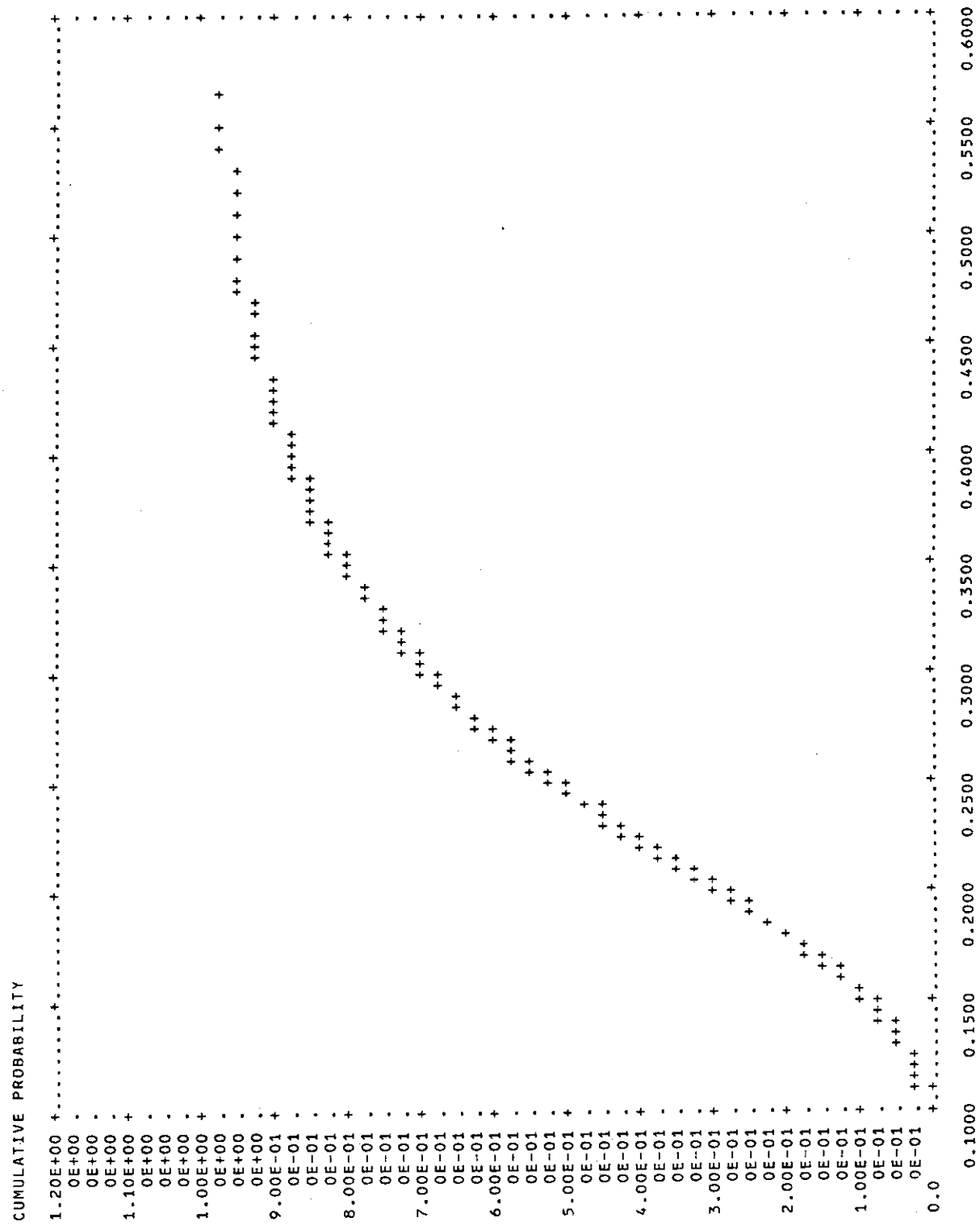
99 PER CENT CONFIDENCE BOUNDS ON SIMULATION MOMENTS

	UPPER	LOWER
MEAN (PER CENT)	1.7718	1.7718
STANDARD DEVIATION (PER CENT)	2.6389	2.5161

(20)


PROB. DENSITY FUNCTION MEAN= 2.743E-02 MEDIAN= 2.458E-02 MODE= 1.985E-02 STANDARD DEVIATION= 1.334E-02
1.20E+02
1.10E+02
1.00E+02
9.00E+01
3.00E+01
7.00E+01
6.00E+01
5.00E+01
4.00E+01
3.00E+01
2.00E+01
1.00E+01
0.0
0.1000
0.1500
0.2000
0.2500
0.3000
0.3500
0.4000
0.4500
0.5000
0.5500
0.6000
X 10 ** -1

(21)


CUMULATIVE PROBABILITY
1.20E+00
1.10E+00
1.00E+00
9.00E-01
8.00E-01
7.00E-01
6.00E-01
5.00E-01
4.00E-01
3.00E-01
2.00E-01
1.00E-01
0.0
0.1000
0.1500
0.2000
0.2500
0.3000
0.3500
0.4000
0.4500
0.5000
0.5500
0.6000
X 10 ** -1
--- USED CPU TIME = 9.79100 SEC.

```
SYSTEM NUMBER 1 OF  1

****************************************
*                                      *
(22) * SYSTEM INPUT INFORMATION SUMMARY   *
*                                      *
****************************************


SYSTEM   :   TEST   (LOWER BOUND CALC.)                    ……タイトル

(1)  NUMBER OF COMPONENTS                    =    14

(2)  THE FIRST UPPER AND LOWER BOUNDS WILL BE EVALUATED
```

① ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネント総数
入力データであるパラメータ・データの NCの内容を示す。

② 解析は上限値だけか下限値も行うのかを示す
入力データであるパラメータ・データの LBOUNDを判断して出力する。

```
****************************
*                          *
(23) * INPUT FAILURE DATA CHECK *
*                          *
****************************


SYSTEM   :   TEST   (LOWER BOUND CALC.)                    ……タイトル


COLUMNS
12345678901234567890123456789012345678901
```

①	②	③
0.125D-03	0.878D-08	2
0.125D-03	0.878D-08	2
0.575D-02	0.186D-06	2
0.575D-02	0.186D-06	2
0.799D-03	0.389D-05	2
0.575D-02	0.186D-06	2
0.512D-04	0.148D-08	2
0.125D-02	0.878D-06	2
0.125D-03	0.878D-08	2
0.575D-02	0.186D-06	2
0.266D-09	0.432D-18	2
0.373D-05	0.986D-09	2
0.125D-01	0.878D-08	2
0.110D-02	0.861D-04	2

① 入力コンポネットの1次モーメント（平均値）
インターフェイス・ファイルである BOUNDS/KITT,SPASM 用ミニマル・カット・セット情報ファイルの SCY(7)の内容を示す。

② 入力コンポーネントの2次モーメント（分散）
インターフェイス・ファイルである BOUNDS/KITT, SPASM用ミニマル・カットセット情報ファイルの SCY(8)の内容を示す。

③ コンポーネントに対し与えた分布特性指示値
入力データであるコンポーネント特性値指定データの ICODE(1)～ICODE(j)の内容を示す。

(24), (25), (26) は上限値について出力され下限値の計算を指示すると，下限値について同様に出力される。

```
**********************************
*                                *
* SYSTEM UNAVAILABILITY SUMMARY  *
*                                *
**********************************
```

(24)

```
SYSTEM   :   TEST   (LOWER BOUND CALC.)


THE MEAN   IS   =  2.7363446D-02
THE VARIANCE IS =  9.1260039D-05
```

```
******************************************
*                                        *
* CONSERVATIVE BOUNDS FROM INEQUALITIES  *
*                                        *
******************************************
```

(25)

	80 %	90 %	95 %
MARKOV :	1.368172D-01	2.736345D-01	5.472689D-01
TCHEBYCHEFF :	4.872463D-02	5.757272D-02	7.008581D-02
IMPROVED TECHEBYCHEFF:	4.646947D-02	5.602248D-02	6.900406D-02
CANTELLI :	4.646947D-02	5.602248D-02	6.900406D-02

```
**********************************
*                                *
* SYSTEM DISTRIBUTION ESTIMATION *
*                                *
**********************************
```

(26)

```
MU    =    3.62206
SIGMA =    0.34540
```

PERCENT	Q
1.00	1.18273D-02
5.00	1.49168D-02
10.00	1.68758D-02
20.00	1.95913D-02
25.00	2.07305D-02
50.00	2.60319D-02
75.00	3.26437D-02
80.00	3.45151D-02
90.00	3.99538D-02
95.00	4.50503D-02
99.00	5.63239D-02
99.50	6.10734D-02

```
*****************************************************************************************************************************
* PROBLEM TITLE FOR THIS ANALYSIS BY KITT-1.      SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** KITT CAT GATE ***)          00004910    *
*****************************************************************************************************************************
(27) INPUT LIST
   NO. OF PARAMETER RUNS (NPROB) =    1

① NO. OF COMPONENTS AND INHIBIT CONDITIONS (NCOMP) =  14
```

COMPONENT DATA (LAMBDA AND TAU)
(NON-POSITIVE TAU DENOTES NON-REPAIR)
(NON-POSITIVE LAMBDA DENOTES INHIBIT CONDITION)

②	③ COMPONENT INDEX		④ LAMBDA	⑤ TAU
1	ZMM	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
2	ZHH	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
3	ZIIR	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
4	ZGG	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
5	ZFF	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
6	ZLL	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
7	ZQQ	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
8	ZEE	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
9	ZBB	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
10	ZAAY	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
11	ZCC	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
12	ZKK	B	1.00000000D-04	1.00000000D+01
13	ZPP	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01
14	ZDD	C	1.00000000D-04	1.00000000D+01

```
   BRACKET FLAG (ISTOP). IF ISTOP=2 SYSTEM INFORMATION IS OBTAINED FROM BRACKETING. IF ISTOP=1 IT IS NOT.
⑥ FOR THIS PROBLEM ISTOP = 1

⑦ NO. OF TIME POINTS (NTPT) =    5
⑧ PRINT OUT MULTIPLE (NOUT) =    1
⑨ MESH SIZE (DELTA) = 1.00000000D+00 HOURS

   SET FLAG (IPATH). IF IPATH=1 MINIMAL CUT SETS ARE USED. IF IPATH=2 MINIMAL PATH SETS ARE USED.
⑩ FOR THIS PROBLEM IPATH = 1
```

① ミニマル・セットを構成するコンポーネントの総数を示す。

② ミニマル・セットを構成するコンポーネットの通し番号を示す。

③ コンポーネント名を示す。

④ コンポーネント故障率を示す。

⑤ コンポーネント修理時間を示す。

⑥ システム・信頼度特性の区間推定を行うか否かを示すもので入力データである区間推定指示データのISTOPの内容を示す。
この例では ISTOP= 1 なので区間推定は行わない。

⑦ システム・信頼度特性を算出する時点数を示すもので入力データであるシステム信頼度特性算出パラメータ・データの NTPT の内容を示す。

⑧ システム信頼度特性の出力時点を示すもので入力データであるシステム信頼度特性算出パラメータ・データの NOUTの内容を示す。

⑨ 時点間隔を示すもので
入力データであるシステム信頼度特性算出パラメータ・データのDELTAの内容を示す。

⑩ ミニマル・カット・セットで計算するのかミニマル・パス・セットで計算するのかを示すもので入力データであるミニマル・セット指示データの IPATH の内容を示す。
この例では IPATH= 1 なのでミニマル・カット・セットで計算することを表わしている。

COMPONENT AND INHIBIT INFORMATION ……ヘディング

CHARACTERISTICS FOR COMPONENT NO. = 1

① T (HOURS)	② Q	③ W	④ L	⑤ WSUM	⑥ FSUM
0.0	0.0	1.0000000D-04	1.0000000D-04	0.0	0.0
1.0000000D+00	9.9975004D-05	9.9990002D-05	1.0000000D-04	9.9995001D-05	9.9995000D-05
2.0000000D+00	1.9995001D-04	9.9980005D-05	1.0000000D-04	1.9998000D-04	1.9998000D-04
3.0000000D+00	2.9992501D-04	9.9970007D-05	1.0000000D-04	2.9995501D-04	2.9995500D-04
4.0000000D+00	3.9990002D-04	9.9960010D-05	1.0000000D-04	3.9992002D-04	3.9992001D-04

① T……時間メッシュを示す。
0時より入力データであるシステム信頼度特性算出パラメータ・データのDELTAの間隔でNTPTで指定した時点かTOT(1)～TOT(j)で指定した時点を示す。

② Q……コンポーネントが時刻tで故障している確率を示す。

③ W……時刻tにおけるコンポーネントの単位時間当りの平均故障回数を示す。

④ L……時刻tで正常状態にあるコンポーネントがその時刻tで単位時間当り故障する確率を示す。

⑤WSUM……$\int_0^t w(t')dt'$で時刻oからtまでの間のコンポーネントの平均故障回数を示す。

⑥FSUM……$1-\exp(-\lambda t)$でコンポーネントが時刻oからtまでの間に1回以上故障する確率を示す。

MINIMAL SET INFORMATION ……ヘディング

CHARACTERISTICS FOR SET NO. = 1

① T (HOURS)	② Q	③ W	④ L	⑤ WSUM	⑥ FSUM
0.0	0.0	1.0000000D-04	1.0000000D-04	0.0	0.0
1.0000000D+00	9.9975004D-05	9.9990002D-05	1.0000000D-04	9.9995001D-05	9.9995000D-05
2.0000000D+00	1.9995001D-04	9.9980005D-05	1.0000000D-04	1.9998000D-04	1.9998000D-04
3.0000000D+00	2.9992501D-04	9.9970007D-05	1.0000000D-04	2.9995501D-04	2.9995500D-04
4.0000000D+00	3.9990002D-04	9.9960010D-05	1.0000000D-04	3.9992002D-04	3.9992001D-04

ミニマル・セットがミニマル・カット・セットの時をMCS,ミニマル・パス・セットの時をMPSとする。

① T……時間メッシュを示す。
0時より入力データであるシステム信頼度特性算出パラメータ・データのDELTAの間隔でNTPTで指定した時点かTOT(1)～TOT(j)で指定した時点を示す。

② Q……MPSが時刻tで正常である確率を示す。（MPS情報の時）

③ W……時刻tにおけるMCSの単位時間当りの平均故障回数を示す。（MCS情報の時）
時刻tにおけるMPSの単位時間当りの平均故障回数を示す。（MPS情報の時）

④ L……時刻tで正常状態にあるMCSがその時刻tで単位時間当り故障する確率を示す。（MCS情報の時）
時刻tで正常状態にあるMPSがその時刻tで単位時間当り故障する確率を示す。（MPS情報の時）

⑤ WSUM……$\int_0^t w(t')dt'$で時刻oからtまでの間のMCSの平均故障回数を示す。（MCS情報の時）
$\int_0^t w(t')dt'$で時刻oからtまでの間のMPSの平均故障回数を示す。（MPS情報の時）

⑥ FSUM……$1-\exp\left(-\int_0^t L(t')\,dt'\right)$でMCSが時刻oからtの間に1回以上故障する確率を示す。（MCS情報の時）
$\exp\left(-\int_0^t L(t')\,dt'\right)$でMPSが時刻oからtの間に故障しない確率を示す。（MPS情報の時）

(30)

```
                    SYSTEM INFORMATION-UPPER BOUNDS                    } ……ヘディング
                 DIFFERENTIAL CHARACTERISTICS-UPPER BOUNDS
 ①                    ②                    ③                    ④
   T (HOURS)                Q                    W                    L
0.0                  0.0                  1.00000000D-03       1.00000000D-03
1.00000000D+00       9.99340327D-04       9.99979997D-04       1.00098032D-03
2.00000000D+00       1.99786154D-03       9.99959978D-04       1.00196176D-03
3.00000000D+00       2.99556413D-03       9.99939943D-04       1.00294433D-03
4.00000000D+00       3.99244856D-03       9.99919892D-04       1.00392802D-03

                 INTEGRAL CHARACTERISTICS-UPPER BOUNDS
 ⑤                    ⑥                    ⑦
   T (HOURS)                WSUM                 FSUM
1.00000000D+00       9.99989999D-04       9.99989835D-04
2.00000000D+00       1.99995999D-03       1.99995861D-03
3.00000000D+00       2.99990995D-03       2.99990550D-03
4.00000000D+00       3.99983986D-03       3.99982970D-03

                *****CONCLUSION OF OUTPUT FROM KITT-1*****
```

① T……時間メッシュを示す。
0時より入力データであるシステム・信頼度特性算出パラメータ・データの DELTA の間隔で NTPT で指定した時点か.TOT(1)～TOT(j)で指定した時点を示す。

② Q……システムが時刻 t で故障している確率を示す。

③ W……時刻 t におけるシステムの単位時間当りの平均故障回数を示す。

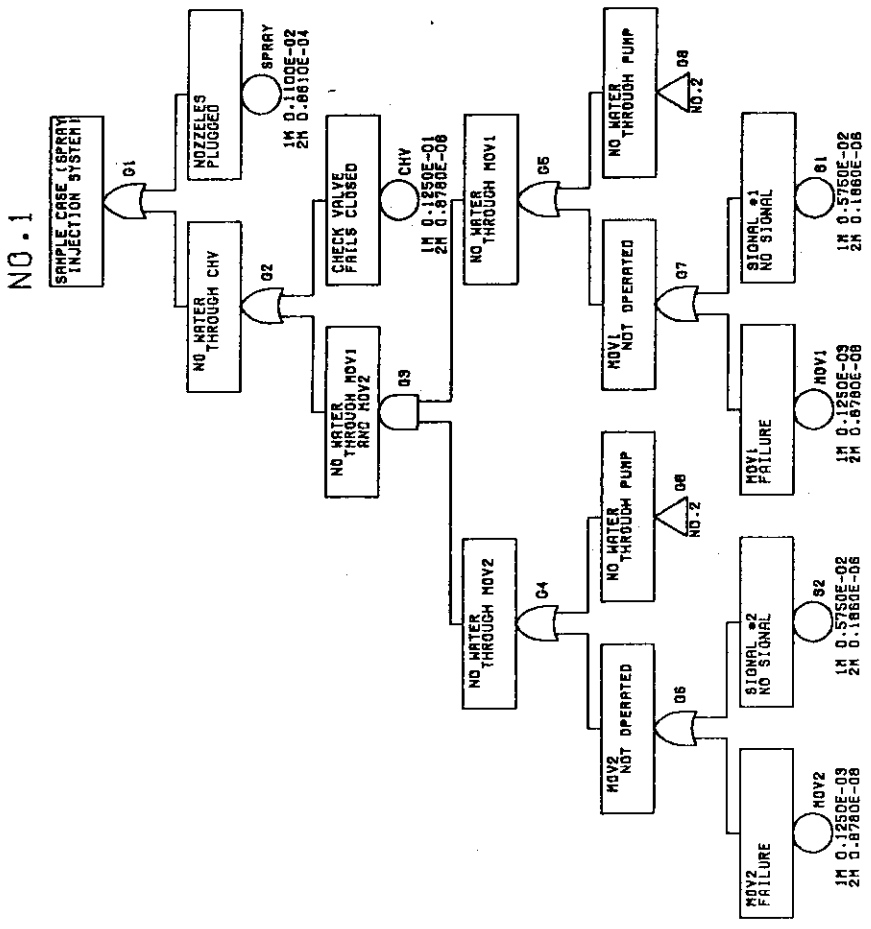
④ L……時刻 t で正常状態にあるシステムがその時刻 t で単位時間当りに故障する確率

⑤ T……時間メッシュを示す。① と同じ

⑥ WSUM……$\int_0^t W(t')\,dt'$で時刻 o から t までの間のシステムの平均故障確率

⑦ FSUM……$1-\exp[-\int_0^t L(t')\,dt']$ でシステムが時刻 o から t の間に 1 回以上故障する確率

(31) プロット図


NO.1
SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM)
G1
NOZZELES PLUGGED
SPRAY
1M 0.1100E-02
2M 0.8610E-04
NO WATER THROUGH CHV
G2
CHECK VALVE FAILS CLOSED
CHV
1M 0.1250E-01
2M 0.8780E-08
NO WATER THROUGH MOV1 AND MOV2
G3
NO WATER THROUGH MOV1
G5
NO WATER THROUGH PUMP
G8
NO.2
MOV1 NOT OPERATED
G7
SIGNAL #1 NO SIGNAL
S1
1M 0.5750E-02
2M 0.1860E-08
MOV1 FAILURE
MOV1
1M 0.1250E-03
2M 0.8780E-08
NO WATER THROUGH MOV2
G4
NO WATER THROUGH PUMP
G8
NO.2
MOV2 NOT OPERATED
G6
SIGNAL #2 NO SIGNAL
S2
1M 0.5750E-02
2M 0.1860E-08
MOV2 FAILURE
MOV2
1M 0.1250E-03
2M 0.8780E-08

5. サンプルラン

ここでは，PWRの格納容器スプレイ系を簡略化したシステムに対して，FTA－Jコード・システムを適用したサンプルランを示す。FTA－Jコード・システムではフォールト・ツリー解析目的に応じて，2章で述べたようにいくつかの使用経路が考えられる（Fig.2.2参照)。その中で

(1) フォールト・ツリーの構築及び図化：

ケース1　COMP→DTBL→CAT→WAM→DRAW

(2) フォールト・ツリーの定性的評価：

ケース2　COMP→WAM→PRP 1→PRP 2

(3) フォールト・ツリーの定量的評価：

ケース3　COMP→WAM→BAM（点推定）

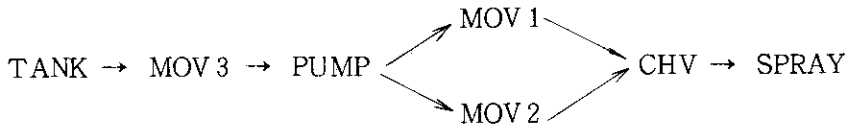
ケース4　COMP→WAM→CUT→SPASM（誤差伝播解析）

の各経路についてのサンプルランを示す。

はじめにシステムの概要を述べ，次に各サンプルランの主な入出力リストを示す。

5.1 システム概要

フォールト・ツリー解析の例として，Fig.5.1に示すような簡略化したPWR格納容器スプレイ系を対象とする。このシステムは，デマンド時に起動信号により各コンポーネントが正常に作動し燃料取替用水貯蔵タンク（RWST）にある水をスプレイを通じて格納容器内に注入することを使命としている。Fig.5.1において，S1，S2，S3，S4はそれぞれに対応するコンポーネントへの起動信号，EPは駆動電源，CHVは逆止弁，MOVは電動弁を表わす。RWSTからスプレイまでの水の流路としては，



の2通りがあり，このシステムはいずれか1つの流路が正常に機能すればその使命を果すものとする。

5.2 入出力リスト

前節で述べたシステムのフォールト・ツリー解析にあたり，頂上事象として「スプレイより十分な水が格納容器に注入されない」という事象を選ぶ。また，基礎事象として14個のコンポーネント（SPRAY，CHV，S1，MOV 1，S2，MOV 2，PUMP，MOTOR，S4，EP，S3，MOV 3，TANK，VENT）を対象とする。これらのコンポーネントに関する情報は，“COMP”コードを使用して，コンポーネント・データ・ベース（ファイル名：NF01）に登録される。"COMP"

コードの直接入力データをTable 5.1（数値項目で空欄になっている箇所はデフォルト値を使用する）に，出力リストをTable 5.2に示す。

各々の使用経路に対する各コードの主な入出力リストを以下に示す。

5.2.1　ケース1：COMP→DTBL→CAT→WAM→DRAW

このケースでは，“DTBL”及び“CAT”コードによりフォールト・ツリーが自動作成され，“DRAW”コードによりそれが図化出力される。COMPを除いた各コードの入力リストをTable 5.3に，DRAWの出力プロット図をFig. 5.2に示す。

CATの入力リストに出ているノード番号は，Fig.5.1に示すノード番号に対応する。フォールト・ツリーは，“DTBL”及び“CAT”コードにより自動作成されるため，WAMの入力リストの中でゲート・ファイル作成に関するオプション・パラメータ（IGSW）は，0（ゲート・ファイルを作成しない）となる。

5.2.2　ケース2：COMP→WAM→PRP1→PRP2

このケースでは，フォールト・ツリーの頂上事象に対するミニマル・カット・セットがモンテカルロ法で求まる例を示す。COMPを除いた各コードの入力リストをTable 5.4に，PRP2の出力リストをTable 5.5に示す。

ミニマル・カット・セットを求めるに際し，モンテカルロ法の試行回数を5,000，一様乱数の初期無効回数を2,000とした。また，ミキシング・パラメータは，各コンポーネントの故障率に関係なくランダムにミニマル・カット・セットを求める値に設定した。

5.2.3　ケース3：COMP→WAM→BAM

このケースでは，フォールト・ツリーの頂上事象発生確率を点推定で求める。BAMの入力リストをTable 5.6に，出力リストをTable 5.7に示す。

5.2.4　ケース4：COMP→WAM→CUT→SPASM

このケースでは，コンポーネントの故障率データに付随した不確実さの伝播による頂上事象発生確率の確率分布を求める。CUT及びSPASMの入力リストをTable 5.8にSPASMからの出力リスト及び出力プロット図をそれぞれTable 5.9及びFig. 5.3（a），（b）に示す。

“CUT”コードによりミニマル・カット・セットを求めるに際し，カット・セットの打切り次数を5次とした。また，ゲート毎に求められる各々のカット・セットの中で最大の発生確率をもつカット・セットと比べて発生確率が10^{-8}倍以上のカット・セットを無視した。“SPASM”コードのモンテカルロ計算においては，モンテカルロ試行回数を5,000，一様乱数の初期無効回数を2,000とした。また，各コンポーネントの故障率データの確率分布に対数正規分布を想定した。

なお，参考までにこのケースに対するジョブ制御文（JCL）をFig. 5.4に示す。

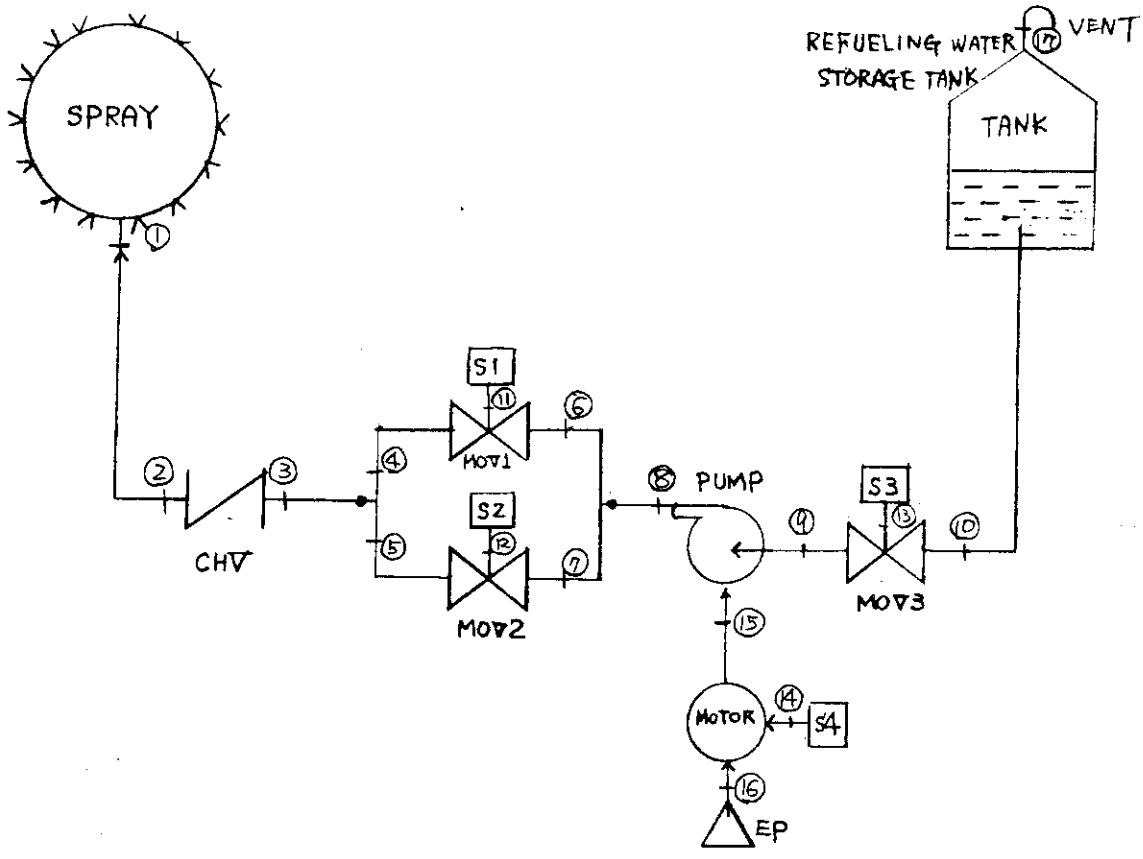


Fig. 5.1 Simplified Flow Diagram of PWR Containment Spray Injection System.

Table 5.1 List of COMP Input Data

```
CLE1
COMP
SPRAY       1.102E-03 8.610E-05
            1.102E-03 8.610E-05 1.300E-04 3.000E+01
                                9.088E+02 1.002E+00

                                                      1.102E-03 8.610E-05

            NOZZELES            PLUGGED
CHV         1.250E-02 8.780E-09
            1.250E-02 8.780E-09 1.000E-02 3.000E+00
                                1.640E+04 2.050E+00

                                                      1.250E-02 8.780E-09

            CHECK VALVE         FAILS CLOSED
S1          5.749E-03 1.858E-07
            5.749E-03 1.858E-07 4.600E-03 3.000E+00
                                3.566E+02 2.050E+00

                                                      5.749E-03 1.858E-07

            SIGNAL #1           NO SIGNAL
S2          5.749E-03 1.858E-07
            5.749E-03 1.858E-07 4.600E-03 3.000E+00
                                3.566E+02 2.050E+00

                                                      5.749E-03 1.858E-07

            SIGNAL #2           NO SIGNAL
S3          5.749E-03 1.858E-07
            5.749E-03 1.858E-07 4.600E-03 3.000E+00
                                3.566E+02 2.050E+00

                                                      5.749E-03 1.858E-07

            SIGNAL #3           NO SIGNAL
S4          5.749E-03 1.858E-07
            5.749E-03 1.858E-07 4.600E-03 3.000E+00
                                3.566E+02 2.050E+00

                                                      5.749E-03 1.858E-07

            SIGNAL #4           NO SIGNAL
```

Table 5.1 (Continued)

```
MOV1        1.250E-04 8.780E-09
            1.250E-04 8.780E-09 1.000E-04 3.000E+00
                                1.640E+04 2.050E+00

                                                      1.250E-04 8.780E-09

            MOV1                FAILURE
MOV2        1.250E-04 8.780E-09
            1.250E-04 8.780E-09 1.000E-04 3.000E+00
                                1.640E+04 2.050E+00

                                                      1.250E-04 8.780E-09

            MOV2                FAILURE
MOV3        1.250E-04 8.780E-09
            1.250E-04 8.780E-09 1.000E-04 3.000E+00
                                1.640E+04 2.050E+00

                                                      1.250E-04 8.780E-09

            MOV3                FAILURE
PUMP        1.250E-03 8.780E-07
            1.250E-03 8.780E-07 1.000E-03 3.000E+00
                                1.640E+03 2.050E+00

                                                      1.250E-03 8.780E-07

            PUMP                FAIL (NOT START)
TANK        2.664E-10 4.323E-19
            2.664E-10 4.323E-19 1.000E-10 1.000E+01
                                3.964E+09 1.056E+00

                                                      2.664E-10 4.323E-19

            TANK                FAIL (RUPTURE)
EP          5.124E-05 1.476E-09
            5.124E-05 1.476E-09 4.100E-05 3.000E+00
                                4.001E+04 2.050E+00

                                                      5.124E-05 1.476E-09

            ELECTRIC POWER      NOT SUPPLY
MOTOR       7.991E-04 3.891E-06
            7.991E-04 3.891E-06 3.000E-04 1.000E+01
                                1.321E+03 1.056E+00

                                                      7.991E-04 3.891E-06

            MOTOR               FAILURE
VENT        3.730E-06 9.863E-10
            3.730E-06 9.863E-10 4.400E-07 3.000E+01
                                2.685E+05 1.002E+00

                                                      3.730E-06 9.863E-10

            VENT                FAIL (PLUGGED)
END
STOP
```

Table 5.2 List of COMP Output Data

```
*****    COMP  CREATED  NF1  FILE   *****     << 83-02-25 >>

 NAME    ( 1)UNAV.1     ( 2)UNAV.2     ( 3)FAIL.INTN.( 4)REPAIR.TM.
         ( 5)NORMAL.P1  ( 6)NORMAL.P2  ( 7)LOG-N.P1   ( 8)LOG-N.P2   ( 9)UNI.LOWER (10)UNI.UPPER
         (11)BETA.P1    (12)BETA.P2    (13)GAMMA.P1   (14)GAMMA.P2   (15)BINOMI.P1 (16)BINOMI.P2
         (17)INV-BT.P1  (18)INV-BT.P2  (19)CHISQ      (20)STUDENT
         (21)FAIL.MED.  (22)FAIL.FACT.(23)REP.MED.    (24)REP.FACT.  (25)UNAV.MEAN (26)UNAV.VARI.
         (27)LAMBDA     (28)TEST2      (29)TEST1      (30)TAU        (31)REPAIR
         (32)QOVRD      (33)PTCF       (34)INEFF      (35)U-LAMBDA   (36)QRESID
         (37)EVENT-DESCRIPTION

CHV      ( 1) 1.250E-02( 2) 8.780E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 1.250E-02( 6) 8.780E-09( 7) 1.000E-02( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-02(26) 8.780E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  CHECK VALVE        FAILS CLOSED

EP       ( 1) 5.124E-05( 2) 1.476E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 5.124E-05( 6) 1.476E-09( 7) 4.100E-05( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 4.001E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 5.124E-05(26) 1.476E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  ELECTRIC POWER     NOT SUPPLY

MOTOR    ( 1) 7.991E-04( 2) 3.891E-06( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 7.991E-04( 6) 3.891E-06( 7) 3.000E-04( 8) 1.000E+01( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.321E+03(14) 1.056E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 7.991E-04(26) 3.891E-06
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  MOTOR              FAILURE

MOV1     ( 1) 1.250E-04( 2) 8.780E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 1.250E-04( 6) 8.780E-09( 7) 1.000E-04( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-04(26) 8.780E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  MOV1               FAILURE

MOV2     ( 1) 1.250E-04( 2) 8.780E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 1.250E-04( 6) 8.780E-09( 7) 1.000E-04( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-04(26) 8.780E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  MOV2               FAILURE

MOV3     ( 1) 1.250E-04( 2) 8.780E-09( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
         ( 5) 1.250E-04( 6) 8.780E-09( 7) 1.000E-04( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
         (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+04(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
         (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
         (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-04(26) 8.780E-09
         (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
         (32) 1.000E-05(33) 0.0       (34) 0.0       (35) 0.0       (36) 0.0
         (37)  MOV3               FAILURE
```

Table 5.2 (Continued)

```
PUMP    ( 1) 1.250E-03( 2) 8.780E-07( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 1.250E-03( 6) 8.780E-07( 7) 1.000E-03( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 1.640E+03(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.250E-03(26) 8.780E-07
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  PUMP              FAIL (NOT START)

SPRAY   ( 1) 1.102E-03( 2) 8.610E-05( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 1.102E-03( 6) 8.610E-05( 7) 1.300E-04( 8) 3.000E+01( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 9.088E+02(14) 1.002E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 1.102E-03(26) 8.610E-05
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  NOZZELES          PLUGGED

S1      ( 1) 5.749E-03( 2) 1.858E-07( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 5.749E-03( 6) 1.858E-07( 7) 4.600E-03( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 3.566E+02(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 5.749E-03(26) 1.858E-07
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  SIGNAL #1         NO SIGNAL

S2      ( 1) 5.749E-03( 2) 1.858E-07( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 5.749E-03( 6) 1.858E-07( 7) 4.600E-03( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 3.566E+02(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 5.749E-03(26) 1.858E-07
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  SIGNAL #2         NO SIGNAL

S3      ( 1) 5.749E-03( 2) 1.858E-07( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 5.749E-03( 6) 1.858E-07( 7) 4.600E-03( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 3.566E+02(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 5.749E-03(26) 1.858E-07
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  SIGNAL #3         NO SIGNAL

S4      ( 1) 5.749E-03( 2) 1.858E-07( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 5.749E-03( 6) 1.858E-07( 7) 4.600E-03( 8) 3.000E+00( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 3.566E+02(14) 2.050E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 5.749E-03(26) 1.858E-07
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  SIGNAL #4         NO SIGNAL

TANK    ( 1) 2.664E-10( 2) 4.323E-19( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 2.664E-10( 6) 4.323E-19( 7) 1.000E-10( 8) 1.000E+01( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 3.964E+09(14) 1.056E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 2.664E-10(26) 4.323E-19
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  TANK              FAIL (RUPTURE)

VENT    ( 1) 3.730E-06( 2) 9.863E-10( 3) 1.000E+02( 4) 1.000E+01
        ( 5) 3.730E-06( 6) 9.863E-10( 7) 4.400E-07( 8) 3.000E+01( 9) 1.000E-07(10) 1.000E-03
        (11) 1.000E-02(12) 1.000E+01(13) 2.685E+05(14) 1.002E+00(15) 1.000E-02(16) 1.000E-04
        (17) 1.000E+02(18) 1.000E+04(19) 1.000E+02(20) 1.000E+02
        (21) 1.000E-02(22) 1.000E+01(23) 1.000E+00(24) 1.000E+00(25) 3.730E-06(26) 9.863E-10
        (27) 1.000E+02(28) 3.000E+01(29) 3.000E+01(30) 1.000E+00(31) 1.000E+01
        (32) 1.000E-05(33) 0.0      (34) 0.0      (35) 0.0      (36) 0.0
        (37)  VENT              FAIL (PLUGGED)

                                +++ A NUMBER OF   14 COMPONENTS
                                        STORED TO    NF1    FILE      +++
```

Table 5.3 Input Data List of DTBL, CAT, WAM and DRAW

```
CLE2
CLE5
DTBL
&LIB
LIBR     SPRAY   AA 1001    1    1    1    3
 MODE    NOZZELE
 ROW1                  0   -1    0
 ROW2                 -1 3001    0
 ROW2                  1    0    1
        I 1   -1   1001 (  -1)
        I 1    0   1001 (   0)
        I 1    1   1001 (   1)
        M 1   -1A  1001 (  -1)
        M 1    0B  1001 (   0)
        M 1 3001C  1001 (3001)
END
LIBR     CHV     BB 1002    1    1    1    3
 MODE    CLOSED
 ROW1                  0   -1    0
 ROW2                 -1 3002    0
 ROW2                  1    0    1
        I 1   -1   1002 (  -1)
        I 1    0   1002 (   0)
        I 1    1   1002 (   1)
        M 1   -1A  1002 (  -1)
        M 1    0B  1002 (   0)
        M 1 3002C  1002 (3002)
END
LIBR     SIGNAL1 CC 1003    0    1    1    2
 MODE    NO SIGN
 ROW1                  0    1
 ROW2                  1    0
        M 1    0C  1003 (   0)
        M 1    1B  1003 (   1)
END
LIBR     SIGNAL2 KK 1013    0    1    1    2
 MODE    NO SIGN
 ROW1                  0    1
 ROW2                  1    0
        M 1    0C  1013 (   0)
        M 1    1B  1013 (   1)
END
LIBR     SIGNAL3 LL 1014    0    1    1    2
 MODE    NO SIGN
 ROW1                  0    1
 ROW2                  1    0
        M 1    0C  1014 (   0)
        M 1    1B  1014 (   1)
END
LIBR     SIGNAL4 MM 1015    0    1    1    2
```

Table 5.3 (Continued)

```
FACOM OSIV/F4 GEM  V02L32  DATE 83.04.13  TIME 17.59.14  LIB=J9327.FTADAT.DATA

----*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7-R--*----I
 MODE      NO SIGN
 ROW1                      0     1
 ROW2                      1     0
         M 1     0C  1015 (    0)
         M 1     1B  1015 (    1)
END
LIBR       MOV1     DD 1004     2     1     1     4
 MODE      FAIL
 ROW1                     0    -1    -1     0
 ROW2                    -1     0    -1     0
 ROW3                    -1    -1  3004     0
 ROW4                     1     1     0     1
         I 1    -1    1004 (   -1)
         I 1     0    1004 (    0)
         I 1     1    1004 (    1)
         I 2    -1    1004 (   -1)
         I 2     0    1004 (    0)
         I 2     1    1004 (    1)
         M 1    -1A   1004 (   -1)
         M 1     0B   1004 (    0)
         M 1 3004C   1004 (3004)
END
LIBR       MOV2     PP 1024     2     1     1     4
 MODE      FAIL
 ROW1                     0    -1    -1     0
 ROW2                    -1     0    -1     0
 ROW3                    -1    -1  3024     0
 ROW4                     1     1     0     1
         I 1    -1    1024 (   -1)
         I 1     0    1024 (    0)
         I 1     1    1024 (    1)
         I 2    -1    1024 (   -1)
         I 2     0    1024 (    0)
         I 2     1    1024 (    1)
         M 1    -1A   1024 (   -1)
         M 1     0B   1024 (    0)
         M 1 3024C   1024 (3024)
END
LIBR       MOV3     QQ 1034     2     1     1     4
 MODE      FAIL
 ROW1                     0    -1    -1     0
 ROW2                    -1     0    -1     0
 ROW3                    -1    -1  3034     0
 ROW4                     1     1     0     1
         I 1    -1    1034 (   -1)
         I 1     0    1034 (    0)
         I 1     1    1034 (    1)
         I 2    -1    1034 (   -1)
         I 2     0    1034 (    0)
         I 2     1    1034 (    1)
         M 1    -1A   1034 (   -1)
         M 1     0B   1034 (    0)
         M 1 3034C   1034 (3034)
END
LIBR       PUMP     EE 1005     2     1     1     4
 MODE      NOT STRT
 ROW1                     0    -1    -1     0
 ROW2                    -1     0    -1     0
 ROW3                    -1    -1  3005     0
```

Table 5.3 (Continued)

```
FACOM OSIV/F4 GEM  V02L32  DATE 83.04.13  TIME 17.59.14  LIB=J9327.FTADAT.DATA

----*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7-R--*----8
 ROW4                        1     1     0     1
          I 1    -1    1005 (  -1)
          I 1     0    1005 (   0)
          I 1     1    1005 (   1)
          I 2    -1    1005 (  -1)
          I 2     0    1005 (   0)
          I 2     1    1005 (   1)
          M 1    -1A   1005 (  -1)
          M 1     0B   1005 (   0)
          M 1 3005C    1005 (3005)
END
LIBR      TANK     FF 1006     1     1     1     3
 MODE     INTERNAL
 ROW1                       0    -1     0
 ROW2                      -1  3006     0
 ROW3                       1     0     1
          I 1    -1    1006 (  -1)
          I 1     0    1006 (   0)
          I 1     1    1006 (   1)
          M 1    -1A   1006 (  -1)
          M 1     0B   1006 (   0)
          M 1 3006C    1006 (3006)
END
LIBR      VENT     GG 1007     0     1     1     2
 MODE     PLUGGED
 ROW1                       0     1
 ROW2                       1     0
          M 1     0C   1007 (   0)
          M 1     1B   1007 (   1)
END
LIBR      EP       HH 1008     0     1     1     2
 MODE     NO POWER
 ROW1                       0     1
 ROW2                       1     0
          M 1     0C   1008 (   0)
          M 1     1B   1008 (   1)
END
LIBR      MOTOR    II 1009     2     1     1     4
 MODE     INTERNAL
 ROW1                       0    -1    -1     0
 ROW2                      -1     0    -1     0
 ROW3                      -1    -1  3009     0
 ROW4                       1     1     0     1
          I 1    -1    1009 (  -1)
          I 1     0    1009 (   0)
          I 1     1    1009 (   1)
          I 2    -1    1009 (  -1)
          I 2     0    1009 (   0)
          I 2     1    1009 (   1)
          M 1    -1A   1009 (  -1)
          M 1     0B   1009 (   0)
          M 1 3009C    1009 (3009)
END
LIBR      AND GT1INN 1030     1     0     2     2
 MODE     INTERNAL
 ROW1                       0     0     0
 ROW2                       1     1     1
          I 1     0C   1030 (   0)
          I 1     1B   1030 (   1)
```

Table 5.3 (Continued)

```
FACOM OSIV/F4 GEM  V02L32  DATE 83.04.13  TIME 17.59.14  LIB=J9327.FTADAT.DA

----*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7-R--*-
END
LIBR       AND GT1000 1040     2     0     1     3
 MODE      INTERNAL
 ROW1                          0     0     0
 ROW2                          1    -1     1
 ROW3                         -1     1     1
          I 1    -1    1040 (   -1)
          I 1     0    1040 (    0)
          I 1     1    1040 (    1)
          I 2    -1    1040 (   -1)
          I 2     0    1040 (    0)
          I 2     1    1040 (    1)
END
LIBR       TOP EVNTTT 1050     1     0     1     2
 MODE      INTERNAL
 ROW1                          0     0
 ROW2                          1     1
          I 1     0C   1050 (    0)
          I 1     1B   1050 (    1)
END
&END
CAT
     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM)
&DAT
 DAT1     1    -1          0
 DAT2    17    18
 DAT3     1
END
&CMP
 COM01     TOP EVNT    1050     1    18
 COM02     SPRAY       1001     2     1
 COM03     CHV         1002     3     2     -
 COM04     AND GT10    1040     4     5     3
 COM05     MOV1        1004     6    11     4
 COM06     S1          1003    11
 COM07     MOV2        1024     7    12     5
 COM08     S2          1013    12
 COM09     AND GT11    1030     8     6     7
 COM10     PUMP        1005     9    15     8
 COM11     MOTOR       1009    14    16    15
 COM12     S4          1015    14
 COM13     EP          1008    16
 COM14     MOV3        1034    10    13     9
 COM15     S3          1014    13
 COM16     TANK        1006    17    10
 COM17     VENT        1007    17
END
&TOP       SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM)
TTOP       TOP EVNT       1     1    18
 TOP1                     0
END
&END
STOP
WAM
     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM *** )
    0
ENDT
     ZAAY    C  SPRAY      ZBB     C  CHV        ZDD     C  MOV1
     ZCC     B  S1         ZPP     C  MOV2       ZKK     B  S2
     ZEE     C  PUMP       ZIIR    C  MOTOR      ZMM     B  S4
     ZHH     B  EP         ZQQ     C  MOV3       ZLL     B  S3
     ZFF     C  TANK       ZGG     B  VENT
ENDX
ENDC

 DRAW
      SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM GATE INPUT ***)
 2              1              1.0
 END
```

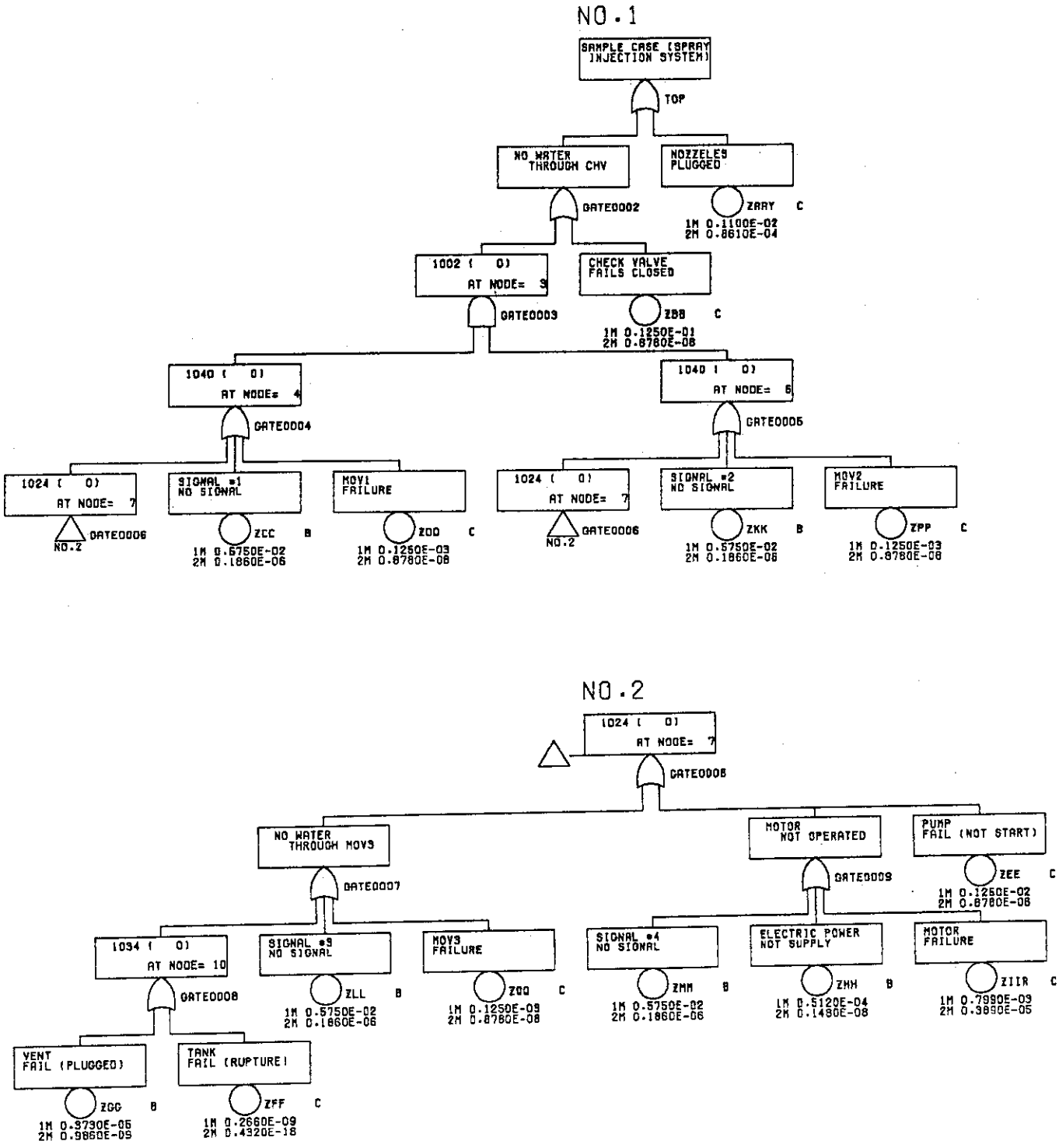


Fig. 5.2 Sample Problem Fault Tree Drawn by the "DRAW" Code.

Table 5.4 Input Data List of WAM, PRP1 and PRP2

```
WAM
CONTAINMENT SPRAY INJECTION SYSTEM
    1
G1          OR    1  1        G2        SPRAY
G2          OR    1  1        G3        CHV
G3          AND   2  0        G4        G5
G4          OR    2  0        G6        G8
G6          OR    0  2        MOV2      S2
G5          OR    2  0        G7        G8
G7          OR    0  2        MOV1      S1
G8          OR    2  0        G9        G12
G9          OR    1  1        G10       PUMP
G10         OR    1  1        G11       EP
G11         OR    0  2        MOTOR     S4
G12         OR    1  2        G13       TANK      VENT
G13         OR    0  2        MOV3      S3
ENDT
ENDX
ENDC

PRP1
CONTAINMENT SPRAY INJECTION SYSTEM
* DATA
    0    0    0    1 2000 5000    1
END
PRP2
```

Table 5.5 List of PRP2 Output Data

```
**********************************************************************************
MINIMAL SETS FOR COTAINMENT SPRAY INJECTION SYSTEM                          000043
**********************************************************************************

MINIMAL CUT SET       1       TANK
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      1
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     5     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       2       VENT
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      2
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     5     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       3       S3
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      4
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     1     5     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       4       MOV3
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      5
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     1     5     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       5       CHV
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      6
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
    12    13

MINIMAL CUT SET       6       MOTOR
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL      7
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     2     6     7     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       7       S1         S2
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     15
SET FAILURE PROBABILITY =  3.99576E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     3     4     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       8       S1         MOV2
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     16
SET FAILURE PROBABILITY =  3.99576E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     3     4     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET       9       EP
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     21
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     6     7     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET      10       SPRAY
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     23
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
```

Table 5.5 (Continued)

```
    13

MINIMAL CUT SET      11       S4
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     38
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     2     6     7     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET      12       PUMP
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     52
SET FAILURE PROBABILITY =  6.32121E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     7     8     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET      13       MOV1       MOV2
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     75
SET FAILURE PROBABILITY =  3.99576E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     3     4     9    10    11    12    13

MINIMAL CUT SET      14       MOV1       S2
THIS SET WAS FOUND ON TRIAL     89
SET FAILURE PROBABILITY =  3.99576E-01
CORRESPONDING GATE FAILURES-
     3     4     9    10    11    12    13

*******************************************************************************


**** SUCH IS FATE *****


*******************************************************************************
```

Table 5.6 List of BAM Input Data

```
BAM
     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** BAM *** )
X
END
```

Table 5.7 List of BAM Output Data

```
     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM GATE INPUT *

                    ***RESULTS***

SIGNAL NO.    EVENT          TOTAL PROBABILITY

     1                          1.000000000D+00
    29        G1                2.71031D-02

   ...    USED CPU TIME =        0.66 SEC.    ...
```

Table 5.8 Input Data List of CUT and SPASM

```
CUT
     SAMPLE CASE  (SPRAY INJECTION SYSTEM *** CUT *** )
X        0    1   1.0E-08    1    0    0   -1
SPSM
     SAMPLE CASE (SPRAY INJECTION SYSTEM *** WAM GATE INPUT **
   14 5000    1 2000
         L    L    L    L    L    L    L    L    L    L
         L    L    L    L
STOP
```

Table 5.9 SPASM Output List

OUTPUT EVALUATIONS, SAMPLE SIZE= 5000

DISTRIBUTION PARAMETERS. MEAN = 2.6886E-02 STANDARD DEVIATION = 1.2231E-02
BETA1 = 7.162114E+00 BETA2 = 1.909410E+01

DISTRIBUTION CONFIDENCE LIMITS		99 PER CENT CONFIDENCE BOUNDS ON SIMULATION RESULTS	
CONFIDENCE (PER CENT)	FUNCTION VALUE	UPPER	LOWER
0.5	9.2513E-03	9.85	9.61
1.0	1.0540E-02	8.32	8.13
2.5	1.2101E-02	6.91	6.76
5.0	1.3439E-02	5.96	5.83
10.0	1.5311E-02	4.90	4.81
20.0	1.7961E-02	3.79	3.73
25.0	1.9013E-02	3.44	3.39
30.0	2.0044E-02	3.12	3.08
40.0	2.2367E-02	2.53	2.50
50.0	2.4447E-02	2.09	2.07
60.0	2.6789E-02	1.67	1.67
70.0	2.9531E-02	1.75	1.73
75.0	3.1517E-02	1.80	1.78
80.0	3.3680E-02	1.86	1.83
90.0	4.1033E-02	2.00	1.95
95.0	4.8446E-02	2.09	2.04
97.5	5.7474E-02	2.18	2.11
99.0	6.9015E-02	2.26	2.18
99.5	7.5778E-02	2.29	2.21

99 PER CENT CONFIDENCE BOUNDS ON SIMULATION MOMENTS

	UPPER	LOWER
MEAN (PER CENT)	1.6572	1.6572
STANDARD DEVIATION (PER CENT)	2.6389	2.5161

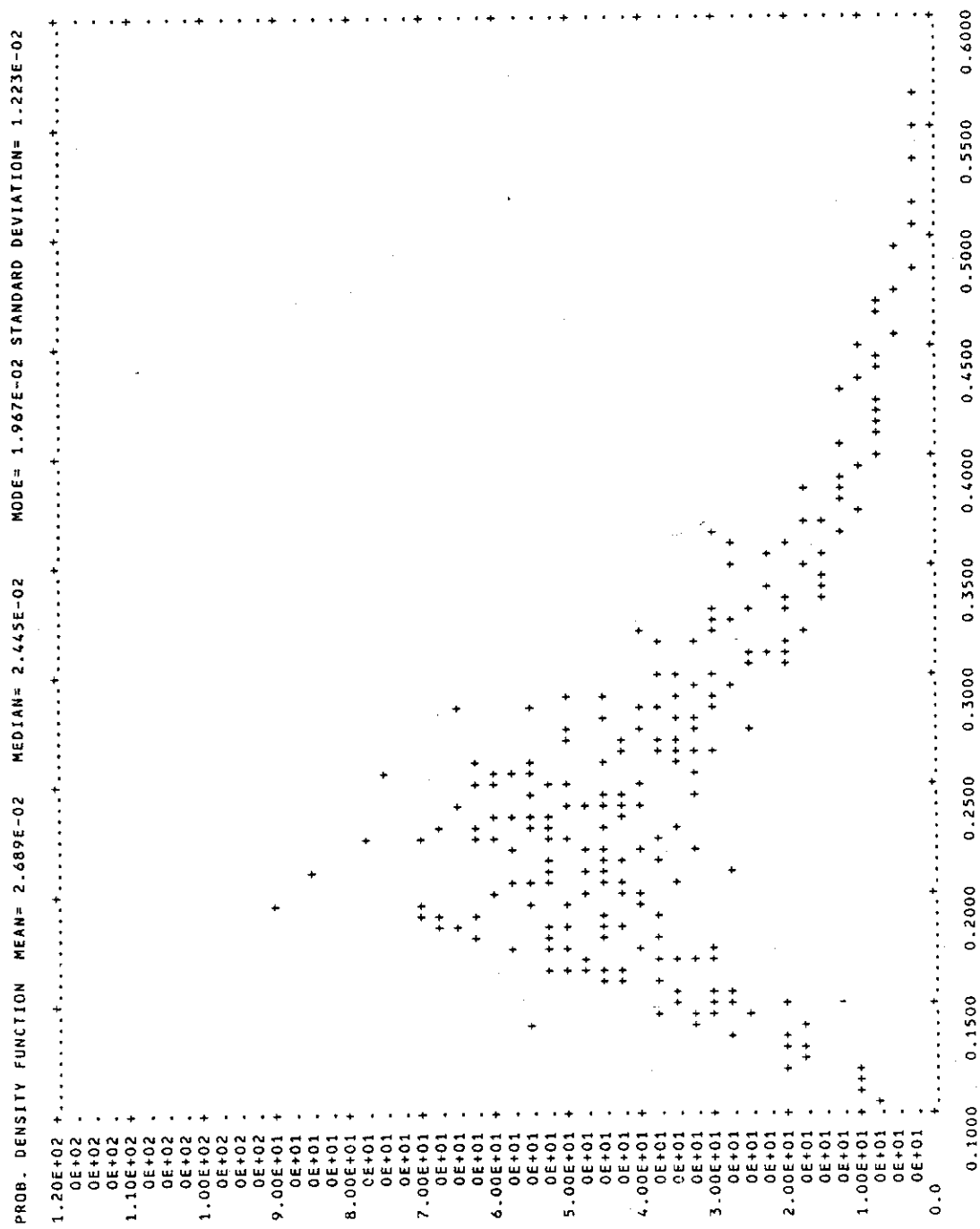


Fig. 5.3(a) Probability Density Function (SPASM Output).

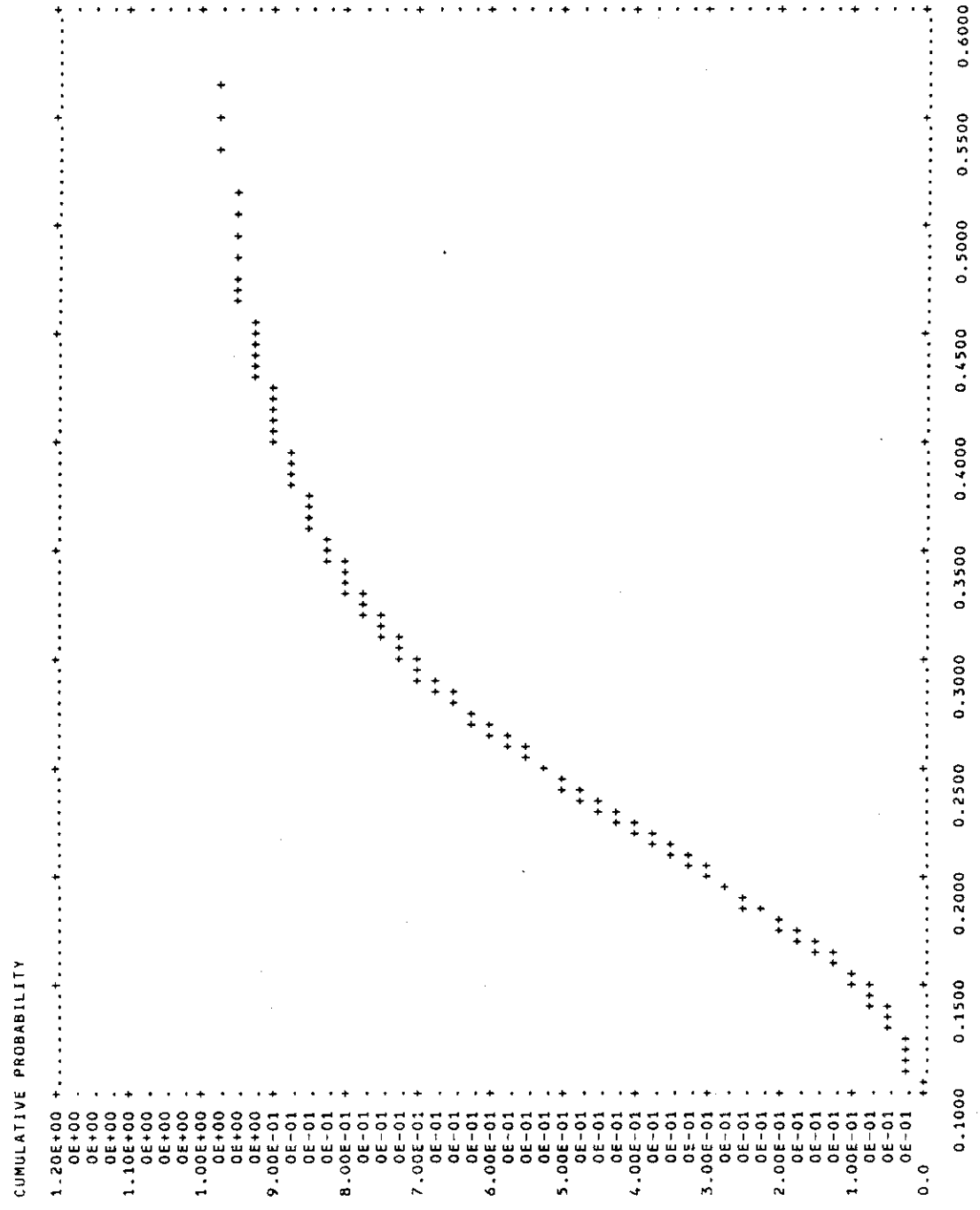


Fig. 5.3(b) Cumulative Probability (SPASM Output).

```
//S01 EXEC LMGO,LM=J3525.FTA5,PNM=FTA5B,A='COND=(4,LT)'
//FT11F001  DD DSN=J9327.NF01.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT12F001  DD DSN=J9327.NF02.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT13F001  DD DSN=J9327.NF03.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT14F001  DD DSN=J9327.NF04.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT15F001  DD DSN=J9327.NF05.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT16F001  DD DSN=J9327.NF06.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT17F001  DD DSN=J9327.NF07.FORT,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT18F001  DD DSN=J9327.NF08.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT19F001  DD DSN=J9327.NF09.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT30F001  DD DSN=J9327.NF10.DATA,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT31F001  DD DSN=&&NWF1,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(CYL,(2,1),RLSE),DISP=(NEW,DELETE),
//          DCB=(LRECL=200,BLKSIZE=1604,RECFM=VBS,DSORG=PS)
//FT32F001  DD DSN=&&NWF2,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(CYL,(2,1),RLSE),DISP=(NEW,DELETE),
//          DCB=(LRECL=200,BLKSIZE=1604,RECFM=VBS,DSORG=PS)
//FT33F001  DD DSN=&&NWF3,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(CYL,(2,1),RLSE),DISP=(NEW,DELETE),
//          DCB=(LRECL=200,BLKSIZE=1604,RECFM=VBS,DSORG=PS)
//FT34F001  DD DSN=&&NWF4,UNIT=TSSWK,
//          SPACE=(TRK,(50,10),RLSE),DISP=(NEW,DELETE),
//          DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1040,RECFM=FB,DSORG=PS)
//FT36F001  DD DSN=J9327.NSV1.DATA,DISP=(NEW,CATLG),
//          SPACE=(TRK,(300,100),RLSE),UNIT=TSSWK,
//          DCB=(RECFM=F,DSORG=DA,BLKSIZE=16040,BUFNO=2)
//FT37F001  DD DSN=J9327.NSV2.DATA,DISP=(NEW,CATLG),
//          SPACE=(TRK,(100,50),RLSE),UNIT=TSSWK,
//          DCB=(RECFM=VBS,LRECL=1000,BLKSIZE=4004,DSORG=PS)
// EXPAND GRNLP
//FT07F001  DD SYSOUT=I,DCB=(RECFM=FA,BLKSIZE=137)
//SYSIN  DD DSN=J9327.FTADAT.DATA(CASE4A),DISP=SHR
//S02 EXEC FORTHE,SO=J9327.NF07
//S03 EXEC LKEDIT,LM=J3525.FTA5,A='OVLY,MAP',GRLIB=PNL,CNTL=NO
//SYSIN    DD DSN=J3525.FTA5.LINKD(LINK2),DISP=OLD
//S04 EXEC GO,PNM=FTA5B
//FT16F001 DD DSN=J9327.NF06.DATA,DISP=OLD
// EXPAND GRNLP
//FT07F001  DD SYSOUT=I,DCB=(RECFM=FA,BLKSIZE=137)
//SYSIN  DD DSN=J9327.FTADAT.DATA(CASE4B),DISP=SHR
```

Fig. 5.4 Example of JCL used in the FTA-J code system.

6. おわりに

フォールト・ツリー解析用コードシステムFTA－Jは，確率論的安全性評価の一環であるシステム信頼性評価のために開発された。既存の計算コード数種を整備改良し，一連のフォールト・ツリー解析が行えるよう統合したシステムである。本報告書は，FTA－Jコードシステムの使用手引として，計算論理や入出力説明等をまとめたものである。システムの信頼性評価にあたって，リスク評価解析室が開発したGO－UAコードシステムと並行して実施できるようになった。また，米国でもフォールト・ツリー解析が一連に行えるよう新しい計算コードが開発されているようである。今後，数多くのシステムを対象にフォールト・ツリー解析を行うと共に，現バージョンでは不備な点の改善を図りたい。なお，本報告書作成にあたって，リスク評価解析室長・飛岡利明氏から多大なる御指導をいただいた。また，FTA－Jコードシステムの整備開発にあたって，㈱構造計画研究所の三矢直城氏の援助をいただいた。両氏には心から謝意を表したい。

参考文献

(1) U.S. Nuclear Regulatory Comission, "Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plant", WASH-1400, October 1975.

(2) S.L. Salam, G.E. Apostolakis and D. Okrent, "A Computer-Oriented Approach to Fault Tree Construction", EPRI NP-288, November 1976.

(3) R.C. Erdmann, F.L. Leverenz and H. Kirch, "WAMCUT : A Computer Code for Fault Tree Evaluation", EPRI NP-803, June 1978.

(4) W.E. Vesely and R.E. Narum, "PREP and KITT Computer Codes for the Automatic Evaluation of a Fault Tree", IN-1349, 1970.

(5) F.L. Leverenz and H. Kirch, "Users' Guide for the WAM-BAM Computer Code", EPRI 217-2-5, January 1976.

(6) F.L. Leverenz, "SPASM, A Computer Code for Monte Carlo System Evaluation", EPRI NP-1685, January 1981.

(7) Y.E. Lee and G.E. Apostolakis, "Probability Interval for the Top Event Unavailability of Fault Trees", UCLA-ENG-7663, June 1976.

(8) R.C. Erdmann, Private Notes

(9) W.E. Vesely and F.F. Goldberg, "FRANTIC - A Computer Code for Time Development Unavailability Analysis", NUREG-0193, 1977.

6. おわりに

フォールト・ツリー解析用コードシステムFTA－Jは，確率論的安全性評価の一環であるシステム信頼性評価のために開発された。既存の計算コード数種を整備改良し，一連のフォールト・ツリー解析が行えるよう統合したシステムである。本報告書は，FTA－Jコードシステムの使用手引として，計算論理や入出力説明等をまとめたものである。システムの信頼性評価にあたって，リスク評価解析室が開発したGO－UAコードシステムと並行して実施できるようになった。また，米国でもフォールト・ツリー解析が一連に行えるよう新しい計算コードが開発されているようである。今後，数多くのシステムを対象にフォールト・ツリー解析を行うと共に，現バージョンでは不備な点の改善を図りたい。なお，本報告書作成にあたって，リスク評価解析室長・飛岡利明氏から多大なる御指導をいただいた。また，FTA－Jコードシステムの整備開発にあたって，㈱構造計画研究所の三矢直城氏の援助をいただいた。両氏には心から謝意を表したい。

参考文献

(1) U.S. Nuclear Regulatory Comission, "Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plant", WASH-1400, October 1975.

(2) S.L. Salam, G.E. Apostolakis and D. Okrent, "A Computer-Oriented Approach to Fault Tree Construction", EPRI NP-288, November 1976.

(3) R.C. Erdmann, F.L. Leverenz and H. Kirch, "WAMCUT : A Computer Code for Fault Tree Evaluation", EPRI NP-803, June 1978.

(4) W.E. Vesely and R.E. Narum, "PREP and KITT Computer Codes for the Automatic Evaluation of a Fault Tree", IN-1349, 1970.

(5) F.L. Leverenz and H. Kirch, "Users' Guide for the WAM-BAM Computer Code", EPRI 217-2-5, January 1976.

(6) F.L. Leverenz, "SPASM, A Computer Code for Monte Carlo System Evaluation", EPRI NP-1685, January 1981.

(7) Y.E. Lee and G.E. Apostolakis, "Probability Interval for the Top Event Unavailability of Fault Trees", UCLA-ENG-7663, June 1976.

(8) R.C. Erdmann, Private Notes

(9) W.E. Vesely and F.F. Goldberg, "FRANTIC - A Computer Code for Time Development Unavailability Analysis", NUREG-0193, 1977.

付録　各コードの計算論理の概要

ここでは，FTA－Jコードシステムを構成する主な計算コード

(1) "CAT"コード

(2) "BAM"コード

(3) "CUT"コード

(4) "PRP 2"コード

(5) "SPASM"コード

(6) "BOUNDS"コード

(7) "KITT"コード

について，各コードの参考文献に基づいてその計算論理の概要を示す。

(1) "CAT"コード[1]

原型版"CAT"コード（Computed Automated Tree）は，デシジョン・テーブルを作成する部分と解析対象システムのフォールト・ツリーに関するゲート情報を作成する部分から成る。FTA－Jコードシステムでは，前半の部分にデータ・ベース作成を可能にする機能を追加・改良し，"DTBL"コードとした。そして，後半の部分を"CAT"コードと呼び，分けて使用している。

"DTBL"コードへの入力となるデシジョン・テーブル・データの作成について

デシジョン・テーブルの作成方法として，帰納法と演繹法がある。ここでは簡単のために，コンポーネントとしてポンプを例にとり演繹法による作成方法を説明する。

まず第1段階として，コンポーネントの物性，設計目的を十分調べ，機能を果さない要因を見つけ出す。ポンプの例で示すと，ポンプの"吐出圧正常"な状態とは，ポンプ自身が正常であり，ポンプへの"電源入力"があり，ポンプへの"入口圧正常"の状態である。ポンプの種々の機能を表わす内部モードとして"GOOD"，"FAILS TO START"及び"FAILS TO RUN"を考慮する。

第2段階として，コンポーネントに対するすべて可能な入力状態，内部モード，及び出力状態を定義する。ポンプの例で示すと，Table A.1に示すようになる。

第3段階として，最小のフォールト／サクセス・ツリーを作成する。同例で示すとFig.A.1，Fig. A.2のようになる。

第4段階として，最小のフォールト／サクセス・ツリーよりデシジョン・テーブルを作成する。同例で示すとTable A. 2のようになる。

最後に，デシジョン・テーブルの完全性を調べる。コンポーネントの動作モードがデシジョン・テーブルに含まれているかを確認する。

このようにして作成したコンポーネントに対するデシジョン・テーブルを，"DTBL"コードの入力フォーマットに合わせ，デシジョン・テーブル・データベースに追加登録していく。

フォールト・ツリーのゲート情報の自動作成について

FTA－Jコードシステムの“CAT”コードは，“DTBL”コードで作成されたデシジョン・テーブルを基にフォールト・ツリーに関するゲート情報を自動作成する。この作成過程を，前述した例を用いて説明する。

初めに，「ポンプの吐出圧不足」という事象の解析例を示す。“DTBL”コードで作成されるデシジョン・テーブル（Table A.2）の中から「ポンプの吐出圧不足」の出力状態を与える行を探す。この例では，出力0の状態が対応し，そのような行は，行1から行4である。この4つの行を“OR”ゲートで結ぶ（各行が1個の入力となる）。全ての行において，3列のうち2列が任意状態（“dont care”state）[注]であるから，各行は単一事象に置き換えられる。すなわち，行2は事象“NO POWER”に，行3は事象“PUMP FAILS TO START”に置き換えられる。Fig. A.2がこの結果を示す。

次に，「ポンプの吐出圧正常」という事象の解析例を示す。このとき，Table A.2の中でOutput の行に着目する。この事象に対応する出力を与えるのは行5だけである。行5は3列とも意味のある数値をもつので，この3列の状態を“AND”ゲートで結ぶ。Fig. A.1がこの結果を示す。

このように，システムを構成するコンポーネントのデシジョン・テーブルをデータ・ベースより選定し連結していくとフォールト・ツリーのゲート情報が自動的に作成されていく。

(2) “BAM”コード

“BAM”コードの原型版“WAM-BAM”コードは，WAM，WAMTAP，及びBAMの3つのコードから成る。FTA－Jコードシステムでは，これら3つのコードをそれぞれ“WAM”コード，“TAP”コード，及び“BAM”コードとして独立させて使用している。ここでは，“BAM”コードについて説明する。

“BAM”コードはブール代数の最小化手法（Boolean Algebra Minimization Technique）を用いて，入力したフォールト・ツリー情報からフォールト・ツリーの構造を論理式で表現し，頂上事象発生確率を点推定で計算している。まず，可能な事象の組み合せを全て作り，これらの組み合せの関数として各事象やゲートを示す真理表（Truth Table）を作成する。このコードの計算論理をFig. A.3に示すような簡単なフォールト・ツリーを例に説明する。

このフォールト・ツリーの頂上事象を表わす論理式は，$F(G1) = (X_1 + X_2)\cdot(X_1 + X_3)$ となる。このフォールト・ツリーを構成するコンポーネントから可能な組み合せを全て探し出し真理表を作成する。これをTable A.3に示す。この真理表より，頂上事象が発生するためのコンポーネントの組み合せは，$X_1X_2X_3$，$X_1X_2\bar{X}_3$，$X_1\bar{X}_2X_3$，$\bar{X}_1X_2X_3$，及び$X_1\bar{X}_2\bar{X}_3$の5つとなる（$\bar{X}$はXの補集合）。X_1，X_2，X_3がそれぞれ独立であるとすると，頂上事象の発生確率は次式で与えられる。

$$P(G1) = P(X_1)P(X_2)P(X_3) + P(X_1)P(X_2)P(\bar{X}_3) + P(X_1)P(\bar{X}_2)P(X_3) + P(\bar{X}_1)P(X_2)P(X_3) + P(X_1)P(\bar{X}_2)P(\bar{X}_3) \quad (A-1)$$

以下に，（A－1）式が，前述した$F(G1) = (X_1 + X_2)\cdot(X_1 + X_3)$に基づく確率計算式に一致することを示す。ブール代数の演算法則により，$F(G1) = X_1 + X_2\cdot X_3$となり，対応

注） デシジョン・テーブルの中で着目した状態がどのような状態であっても，対応する出力が同じであるとき，その状態を任意状態と呼ぶことにする。

する確率計算式は

$$P'(G1) = P(X_1) + P(X_2)P(X_3) - P(X_1)P(X_2)P(X_3) \qquad (A-2)$$

となる。一方，自明な式，$P(X_i) + P(\overline{X}_i) = 1$ を用いて（A－1）式を変形すると

$$\begin{aligned} P(G1) &= P(X_1)P(X_2)\{P(X_3) + P(\overline{X_3})\} + P(X_2)P(X_3)\{P(X_1) + P(X_1)\} \\ &= P(X_1)P(\overline{X_2})\{P(X_3) + P(\overline{X_3})\} - P(X_1)P(X_2)P(X_3) \\ &= P(X_1)P(X_2) + P(X_2)P(\overline{X_2}) + P(X_1)P(X_3) - P(X_1)P(X_2)P(X_3) \\ &= P(X_1) + P(X_2)P(X_3) - P(X_1)P(X_2)P(X_3) \\ &= P'(G1) \end{aligned} \qquad (A-3)$$

が得られる。

(3) "CUT"コード[3]

"CUT"コードの原型版"WAM-CUT"コードは，フォールト・ツリーのゲート情報の入力を処理する部分と頂上事象に対するミニマル・カット・セットを求める部分から成る。FTA-Jコードシステムでは，後半の部分だけを"CUT"コードとした。ここでは，"CUT"コードの計算論理の概要を説明する。

"CUT"コードでは，ミニマル・カット・セットを求める方法として決定論的方法を用いる。この方法は，まず，個々のコンポーネントを故障状態に想定し1次のミニマル・カット・セットを求め，次に2つのコンポーネントの全て可能な組み合せを故障状態に想定して2次のミニマル・カット・セットを求める（この時，1次のミニマル・カット・セットに含まれる2次のミニマル・カット・セットは棄却していく）。このようにコンポーネントの個数分の全て可能な組み合せを故障状態に想定し，その次数までのミニマル・カット・セットを求めていく方法である。全ての可能な組み合せの数は${}_nC_i$で表わされる。Table A.4に${}_nC_i$の値の一例を示す。ここに，nはシステムを構成するコンポーネント数，iは求めるミニマル・カット・セットの次数を示す。この方法はコンポーネントの全ての可能な組み合せが論理的に調べられるので，ミニマル・カット・セットを得るのに極めて信頼性が高いといえよう。しかし，フォールト・ツリーが複雑で大きくなる（コンポーネント数がふえる）につれて，組み合せの数が非常に大きくなる（Table A.4参照）ため，多大の計算処理時間を要す。

次に，"CUT"コードにおける確率計算論理をFig. A.4で示すフォールト・ツリーを例に説明する。ゲートAは，2つのカット・セット，a・b及びcから成る。ゲートBは3つのカット・セット，d・e，$\overline{f}$・c及びa・bから成る。ゲートA及びBをブール代数式で表わすと，

$$A = (a \cdot b) + c \qquad (A-4)$$

$$B = (d \cdot e) + (\overline{f} \cdot c) + (a \cdot b) \qquad (A-5)$$

となる。ここで，これら2つのゲートを更にANDゲートあるいはORゲートで結合させると，それぞれ

$$A \cdot B = (a \cdot b \cdot d \cdot e) + (a \cdot b \cdot \overline{f} \cdot c) + (a \cdot b \cdot a \cdot b) + (c \cdot d \cdot e)$$

$$+(c\cdot\bar{f}\cdot c)+(c\cdot a\cdot b)$$
$$=(a\cdot b)+(c\cdot d\cdot e)+(c\cdot\bar{f}) \qquad (A-6)$$

$$A+B=(a\cdot b)+c+(d\cdot e)+(\bar{f}\cdot c)+(a\cdot b)$$
$$=(a\cdot b)+c+(d\cdot e) \qquad (A-7)$$

となる。このように，A・Bに対するミニマル・カット・セットは，（a・b），（c・d・e）及び（c・$\bar{f}$）であり，A＋Bに対しては（a・b），c，及び（d・e）となる。

これらのミニマル・カット・セットから，頂上事象の発生確率の1次モーメント（平均値）が求められる。a，b，c，d，e，$\bar{f}$ がそれぞれ独立であると仮定すると，A・B及びA＋Bの発生確率は次式で求められる。

$$P(A\cdot B)=P(a\cdot b+c\cdot d\cdot e+c\cdot\bar{f})$$
$$=P(a\cdot b)+P(c\cdot d\cdot e)+P(c\cdot\bar{f})-P(a\cdot b)P(c\cdot d\cdot e)-P(a\cdot b)P(c\cdot\bar{f})$$
$$-P(c\cdot d\cdot e\cdot\bar{f})+\cdots\cdots$$
$$=P(a)\cdot P(b)+P(c)P(d)P(e)+P(c)P(\bar{f})$$
$$-P(a)P(b)P(c)P(d)P(e)-P(a)P(b)P(c)P(\bar{f})-P(c)P(d)P(e)P(\bar{f})$$
$$+\cdots\cdots\cdots \qquad (A-8)$$

$$P(A+B)=P(a\cdot b+c+d\cdot e)$$
$$=P(a\cdot b)+P(c)+P(d\cdot e)-P(a\cdot b)P(c)-P(c)P(d\cdot e)-P(a\cdot b)P(d\cdot e)$$
$$+\cdots\cdots$$
$$=P(a)P(b)+P(c)+P(d)P(e)-P(a)P(b)P(c)-P(c)P(d)P(e)$$
$$-P(a)P(b)P(d)P(e)+\cdots\cdots\cdots \qquad (A-9)$$

ここに示したような計算式が構造関数として“SPASM”コードへの入力となる。

(4) “PRP 2”コード[4]

原型版“PREP”コードでは，解析対象システムに関するゲート情報を入力とし，フォールト・ツリーの論理式を生成する“TREBIL”と呼ばれる部分と，フォールト・ツリーのミニマル・カット・セット又はミニマル・パス・セットを求める“MINSET”の2つの部分から構成されている。FTA－Jコード・システムでは，“TREBIL”の部分を“PRP1”コードに，“MINSET”の部分を“PRP2”コードに分けて使用している。ここではフォールト・ツリーのミニマル・カット・セット又はミニマル・パス・セットを求める方法について説明する。

このコードでは，決定論的方法（サブルーチン：COMBO）とモンテ・カルロ法（サブルーチン：FATE）のどちらかが選択できるようになっている。決定論的方法については付録の(3)“CUT”コードの項で述べてあるので，ここではモンテ・カルロ法による求め方を記述する。

カット・セットを求める“MINSET”の中で，モンテ・カルロ法を用いるサブルーチンFATEでは，全てのコンポーネントは修復不可能でかつ独立であると仮定する。モンテ・カルロ法によるミニマル・カット・セットの求め方は，次のような手続きで行われる。

① 各コンポーネントの故障確率分布に基づき，モンテ・カルロ法により故障コンポーネントを選ぶ。

② ①で選んだコンポーネント以外は正常であるとして，対象としているフォールト・ツリーの頂上事象が発生するか否かをチェックする。

③ ②のチェックでフォールト・ツリーの頂上事象が発生したときは，①で選ばれた1組のコンポーネントをカット・セットとし，それまでに見つかっているミニマル・カット・セットと照合する。その結果，重複しているものは捨て，新しいものはミニマル・カット・セットとして登録する。

決定論的方法では，上の手続①における故障したコンポーネントの選び方を，全ての組合せについて行うため，コンポーネントの個数が増大するにつれて組合せの数が非常に大きくなる。(Table A.4 参照)。このために，計算時間が多大となり大きなフォールト・ツリーではミニマル・カット・セットが求まりにくくなる。モンテ・カルロ法では，コンポーネントの故障率（λ；入力で与える）を基に故障したコンポーネントの選び方に優先順位を与える。以下に，その方法を述べる。

故障率λのコンポーネントの故障確率密度関数として，指数分布をとる。このとき，コンポーネントが時刻Tまでに故障する確率は，

$$P(T) = \int_0^T \lambda e^{-\lambda t}\, dt$$

$$= 1 - e^{-\lambda T} \qquad (A-10)$$

で与えられる。上式は，

$$P(T=0) = 0 \qquad (A-11)$$

$$\lim_{T\to\infty} P(T) = 1 \qquad (A-12)$$

なる性質をもつ。これは，全てのコンポーネントは時刻0では正常に機能し，無限時間経過すれば故障することを意味する。コンポーネントの故障時間は，入力として与えるTに基づき上の指数分布に従ってモンテ・カルロ法より決められる。FATEでは，時刻Tのことを〝ミキシング・パラメータ（mixing parameter）と呼ぶ。その理由は，この時刻Tのとり方により，ミニマル・カット・セットを求める際に，手続①における故障したコンポーネントの選び方が変わってくるからである（後述）。

各コンポーネントの故障時間t_0（$\leqq T$）は，時刻t におけるコンポーネントの故障確率分布

$$a(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda T}} \qquad (A-13)$$

からモンテ・カルロ法により決められる。

各コンポーネントの故障時間t_0が求まると，まず，最小の故障時間をもつコンポーネントが故障したコンポーネントに選ばれ，サブルーチン TREEがチェックされる。このとき，システムが故障状態にならないと，次に故障時間の小さいコンポーネントが故障したコンポーネントに選ばれ，再びTREE がチェックされる。この手続きがシステム故障に到るまで繰り返される。システムが故障状態になると，故障状態として選んだコンポーネントのセットが，カット・セットと

なる。このように，FATEでは，ミニマル・カット・セットを求めるのに，故障時間の小さいコンポーネントから順に選んでいく。この故障時間は，ミキシング・パラメータの与え方で変わってくる。これをみるために次式

$$q(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda T}} \qquad (A-14)$$

を考える。Tが非常に大きくなるとq(t)は，真の指数分布

$$a(t) = \lambda e^{-\lambda t} \qquad (A-15)$$

に近づく。このとき，モンテ・カルロ計算による故障時間は，真の故障時間を近似したものになる。一方，各コンポーネントに対し，$\lambda T \ll 1$が成立するような小さなTのとき，a(t)は一様分布に近づく。

すなわち，

$$a(t) = \frac{1}{T} \quad , \quad 0 < t < T \qquad (A-16)$$

となる。

（A－15）式からわかるように，Tが大きな値に設定されると，故障率λの大きなコンポーネントの故障時間は小さくなり，故障率λの小さなコンポーネントの故障時間は大きくなる。このことは，FATEがミニマル・カット・セットをシステム故障に対し重要度の高い順に見つけていくことを意味している。一方，Tが$\lambda T \ll 1$となるように設定されると，故障時間が一様になる傾向があり，FATEはミニマル・カット・セットをランダムに見つけることになる。

(5) "SPASM"コード[5]

"SPASM"コードは，モンテ・カルロ・シミュレーションによりシステム・アンアベイラビリティに関する累積確率分布を求める。この手順を示したフローチャートをFig.A.5に示す。次に具体的な例題を使ってこの手法を説明する。

（a）"SPASM"コードの具体的計算例

Fig.A.6に示すような非常に簡単なフォールト・ツリーを例として考えよう。ブール代数を使って頂上事象の発生確率をコンポーネント故障率で表わすと次式のようになる。SAMPLE（X，Y）＝X＋Y－X・Yここで，X，Yは，コンポーネントA，Bの故障率であり，互いに独立である。次に，コンポーネントA，Bの故障率に関する分布形をFig.A.7に示す。FTA－Jコードシステムでは，コンポーネント故障率に想定可能な分布として9種類内蔵されている。実際の"SPASM"コードの計算手順をFig.A.8の番号に沿って説明する。

① コンポーネントA，Bのランダム変数を選ぶ。X_1，Y_1

② 頂上事象の発生確率を構造関数を使って求める。

$$Z_1 = \mathrm{SAMPLE}(X_1, Y_1) = X_1 + Y_1 - X_1 \cdot Y_1$$

③ ①と②を試行回数n回繰り返し，頂上事象の発生確率をn個求める。

④ 各試行ごとに，頂上事象の発生確率Z_i（$i = 1, \cdots\cdots, n$）をプロットする。（これは，以後の説明をするために書いたもので実際のプログラムには，このような図示はない）

⑤ 頂上事象の発生確率Ziを小さい順に並べる。この時，横軸は順に番号をつけただけで，i回目の試行ということを意味しているのではない。

⑥ n個の頂上事象の発生確率を等間隔ごとに250個取り出す。例えば，n＝750であれば，2つおきに取り出すことになる。

⑦ ⑦図は，iとi＋1番目付近を拡大して書いたものである。ここで，250個の各点間の間隔での平均の発生確率と平均の傾きを次式で求める。

区間i～i＋1に対して，

平均の発生確率：$\bar{Z}_i = (Z_i + Z_{i+1}) / 2$

平均の傾き　　：$Q_i = (Z_{i+1} - Z_i) / (i+1) - i = (Z_{i+1} - Z_i)$

とする。

⑧ ⑧図は，平均の発生確率$\bar{Z}_i$を図示したものである。ここで，例えば，発生確率がZ_0に対応する個数200は，頂上事象の発生確率Z_iがZ_0よりも小さい割合が，全個数250に対して200個ある。即ち，全体の80％であることを示している。従って，横軸は，規格化することで発生確率に関する累積確率を示すことになる。

⑨ ⑨図は，平均の傾き$\bar{Q}_i$の逆数($\bar{P}_i$とする）を図示したものである。⑧図において，横軸（個数）が累積確率を表わしていると考えれば，$\bar{Q}_i$は，累積確率の増分に対する発生確率（確率変数）の増分となる。したがって$\bar{Q}_i$の逆数，即ち，$\bar{P}_i$は確率密度を表わしている。

⑩ ⑩図は，⑧図の横軸を規格化し，縦軸と横軸を変換して図示したものであり，頂上事象のの発生確率に対する累積確率分布関数を表わしている。

⑪ ⑪図は，⑧図と⑨図より求めた頂上事象の発生確率に対する確率密度を表わす。

このようにして，累積確率分布関数（⑩図）と確率密度関数（⑪図）を求めることができる。ただし，ここでの問題点として，確率密度関数が滑らかな曲線にならないことが挙げられる。例えば，この関数はFig.A.9に示すようになる。

(b) ランダム変数の作り方

"SPASM"コードでは，コンポーネント故障率に分布を想定し，その分布形に従って故障率を一様乱数を用いてランダム変数として選び出しているのは，前にも述べた通りである。では，一様乱数を使ってランダム変数を作るための一般的方法を以下に示そう。

(i) 乱数2個を用いて求める方法

Fig.A.10に示されるような分布が与えられ，f(x)という頻度でランダム変数xを抽出するものとする。この時，まず，xとf(x)の最大値を1に規格化する。次に，2個の乱数R_1，R_2を取り，それぞれをx，y座標と考え，点（R_1，R_2)が分布の中（Fig.A.10の斜線部分に入っているか否かを見る。もし，入っていれば，R_1に対応するxをランダム変数として採用する。また，その点が分布の外にある場合は，もう一度2個の乱数を出し，分布の中にあるか否かを見る。このような操作を繰り返すことによってランダム変数xを作ることができる。換言すれば，分布が内接するような長方形を考え，その中から一様に点を抽出し，その点が分布の中に入っていた時のみ，その時のxの値をランダム変数として選べば良い。その結果ランダム変数xは，f(x)という分布を持つことになる。

（ii） 乱数1個による方法

Fig.A.10と同じ分布が与えられた時，もし，この分布の累積確率分布，即ち

$$g(x) = \int_{x_{Min}}^{x} f(x')dx' \qquad x_{Min} : \text{変数} x \text{の最小値} \qquad (A-17)$$

が求まるならば，乱数1個でランダム変数xを選ぶことができる。つまり，累積確率分布g(x)に対して，範囲（0, 1）の一様乱数R_0を出し，これに対応する値x_0をランダム変数として採れば良い（Fig.A.11参照）。この理由は，Fig.A.12のように分布を離散的に採ると解り易い。このような離散的分布を考えた場合，ランダム変数xがx_1という値を採る割合は，離散分布の全面積に対する斜線の部分の面積で与えられる。また，Fig.A.13のような規格化した累積確率分布を求め，$g_0(x)$に対して，範囲（0, 1）の一様乱数を出す。この時，ランダム変数xがx_1となる確率がFig.A.12を用いて考えた時の値と同じになる。

（c） 統計的ゆらぎ

モンテ・カルロ法は，パラメータを概算するために乱数を使うので，その結果には統計的ゆらぎが生ずる。したがって，"SPASM" コードによる計算結果は，ある大きさの統計誤差を持つことになる。この誤差範囲を見積るため，"SPASM"コードでは，99％信頼性限界を計算している。例えば，平均値$\bar{x}$のもつ誤差範囲の上限，下限を$\bar{X}_U$，$\bar{X}_L$とすると

$$\bar{X}_U = \bar{X}(1 + \delta_U / 100) \qquad (A-18)$$

$$\bar{X}_L = \bar{X}(1 - \delta_L / 100) \qquad (A-19)$$

$$\delta_U = \delta_L = 100 \cdot \omega \cdot \sigma / \sqrt{n} \cdot \bar{x}$$

と表わすことができる。ここで，$\omega = 2.5758$（99％信頼性限界の場合），nは試行回数，σは分散であり，この値はデータを採るごとに変化する。

上式より，誤差範囲Δは，

$$\Delta = \bar{X}_U - \bar{X}_L = 2 \cdot \omega \cdot \sigma / \sqrt{n} \qquad (A-20)$$

となり，試行回数nの平方根に反比例することが判る。

(6) "BOUNDS" コード[6]

"BOUNDS" コードは，モーメント法と呼ばれる手法を用いてフォールト・ツリーの頂上事象発生確率（システム・アンアベイラビリティ）の区間推定を行う。まず，基礎事象に付随した不確実さを表わすデータに基づき，頂上事象発生確率のモーメントが計算される。モーメントが与えられると，信頼性解析で一般に用いられている不等式（マルコフ，チェビシェフの不等式等）あるいは，経験的に得られている分布（ジョンソン分布）を適用することにより頂上事象発生確率の不確実さに関する情報が得られる。以下，モーメント法による確率区間(probability interval）の算出法について述べる。

（a） 信頼性解析で一般に用いられている不等式

ランダム変数xの確率密度関数f(x)が既知であれば，変数xの累積確率分布の計算は自明である。例えば，ランダム変数xがdより小さい値をとる確率cは，

$$c = \int_{-\infty}^{d} f(x)\,dx \qquad (A-21)$$

で与えられる。

しかし，実際には f(x) は未知であり，確率区間を決めるためにいろいろな近似が使われてる。ここでは，確率区間を決めるのに，モーメントを用いて不等式で表わす方法と，f（x）に対し近似式を用いる方法について述べる。

ランダム変数 x のモーメントを用いる方法は，マルコフ（Markov）の不等式

$$P_r\ (-d < x - x_0 < d) \geqq 1 - \frac{M_r}{d^r} \qquad (A-22)$$

に基づく。ここに，上式の左辺は，変数 x が $x_0 - d < x < x_0 + d$（d は任意の正数）の間の値をとる確率を表わす。また，M_r は x_0 のまわりの x の r 次のモーメント，即ち $M_r = E(|x - x_0|^r)$[注)] である。 $r = 2$ のとき，（A－22）式はチェビシェフ（Tchebycheff）の不等式

$$P_r\ (-d < x - x_0 < d) \geqq 1 - \frac{M_2}{d^2} \qquad (A-23)$$

になる。マルコフの不等式は，2つのモーメントの関数としても表現される。まず,（A－22）式において，$d = \xi\sqrt[r]{M_r}$（ξ は正数）とおくと，次式

$$P_r\ (-\xi\sqrt[r]{M_r} < x - x_0 < \xi\sqrt[r]{M_r}) > 1 - \frac{1}{\xi^r} \qquad (A-24)$$

が得られる。次に，r の代りに S，ξ の代りに $\gamma\frac{\sqrt[r]{M_r}}{\sqrt[s]{M_s}}$ と置きかえると，

$$P_r\ (-\gamma\sqrt[r]{M_r} < x - x_0 < \gamma\sqrt[r]{M_r}) \geqq 1 - \frac{1}{\gamma^s}\frac{M_s}{M_r^{s/r}} \qquad (A-25)$$

となる。ここに，r と s は正の整数，γ は任意の正数である。

チェビシェフの不等式（A－23）は，2つのモーメントを用いて,次式のように表わされる。

$$P_r\ (x < d) \leqq \frac{M_2 - M_1^2}{M_2 - M_1^2 + (M_1 - d)^2}, \quad d \leqq M_1 \qquad (A-26)$$

$$P_r\ (x < d) \geqq 1 - \frac{M_2 - M_1^2}{M_2 - M_1^2 + (M_1 - d)^2}, \quad d \geqq M_1 \qquad (A-27)$$

但し，（A－23）式の x_0 を 0 とおく。

これらの不等式は，分布に関する情報が付加されればさらに改良される。例えば，$x > 0$ であれば，チェビシェフの不等式（A－26），（A－27）は，領域 $M_1 \leqq d \leqq \frac{M_2}{M_1}$ に対して，

$$P_r\ (x < d) \geqq 1 - \frac{M_1}{d}, \quad M_1 \leqq d \leqq \frac{M_2}{M_1} \qquad (A-28)$$

となる。上式は，（A－26），（A－27）式と合わせてカンテリ（Cantelli）の不等式として知られている。

次に，ランダム変数 x の分布を経験的分布（ジョンソン分布）で近似する方法について述べる。ランダム変数に対する近似的分布関数を決めるのに，高次のモーメントが用いられる。分布の特徴を表わす歪度（skewness）β_1 と尖度（kurtosis）β_2 は， x の m 次のモーメント

注）E(z) は，変数 Z の期待値を表わす。

$\mu_m(x)$ を用いて

$$\sqrt{\beta_1} = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \qquad (A-29)$$

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \qquad (A-30)$$

と表わされる。ランダム変数 x の分布の様子は，β_1，β_2 の値から近似的に予想される。いくつかの分布に対する β_1，β_2 の値を Fig. A. 14 に示す。この図から，β_1 と β_2 の値が与えられれば，x に対する適当な分布を決めることが可能となる。Fig. A. 15 は，3 種類のジョンソン分布に対する β_1 と β_2 の値である。

ここで問題にしているランダム変数 x は，頂上事象の発生確率であり 0 から 1 の間の値をとる。したがって，x に対する経験的分布として，有限の変数域で定義される S_B 分布を使用するのが妥当であろう。x の変数域として，$0 < x < 1$ をとる S_B 分布は次式で表わされる。

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ \sigma x(1-x)} \exp\left\{ -\frac{\left(\ell n \frac{1-x}{x} + \mu\right)^2}{2\sigma^2} \right\}. \qquad (A-31)$$

分布のパラメータ σ，μ は変数 x の 1 次及び 2 次モーメント（即ち平均と分散）を，g(x) の平均，分散に一致させることによって決められる。

上述のように，このコードでは，頂上事象発生確率の区間推定を行うのに，不等式を使う方法と，ジョンソン S_B 分布に合わせる方法とが用いられる。そのために，頂上事象発生確率のモーメントを求める必要がある。

(b) 頂上事象発生確率のモーメントの計算

フォールト・ツリーの頂上事象発生確率 Q_{TOP} は，基礎事象あるいはサブシステムのアンアベイラビリティ Y_i の関数として

$$Q_{TOP} = f(Y_1, Y_2, \cdots\cdots, Y_n) \qquad (A-32)$$

と表わされる。関数 f を Y_i の平均値 $\bar{Y}_i$ のまわりにテイラー展開すると，上式は

$$Q_{TOP} = f(\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \cdots\cdots, \bar{Y}_n) + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial f}{\partial Y_i}(Y_i - \bar{Y}_i) + \frac{1}{2}\left\{ \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial^2 f}{\partial Y_i^2}(Y_i - \bar{Y}_i)^2 + 2\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \frac{\partial^2 f}{\partial Y_i \partial Y_j}(Y_i - \bar{Y}_i)(Y_j - \bar{Y}_j) \right\} + \cdots\cdots \qquad (A-33)$$

となる。ここに，$\frac{\partial f}{\partial Y_i}$，$\frac{\partial^2 f}{\partial Y_i^2}$ 等は，Y_i の平均値における関数 f の微分値である。今，フォールト・ツリーが n 個のミニマル・カット・セット(MCS) から構成されているとすると，システム・アンアベイラビリティは

$$Q_{TOP} = \sum_{i=1}^{n} Y_i - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} Y_{ij} + \cdots\cdots + (-1)^{n+1} Y_{12\cdots n} \qquad (A-34)$$

と表わされる。ここに，Y_i はi番目のMCSの発生確率，Y_{ij} はi番目とj番目のMCSの共通部分の発生確率を意味する。Q_{TOP} の上限値と下限値に対する第一近似式は，

$$Q_{TOP}\ (\text{上限値}) = \sum_{i=1}^{n} Y_i \qquad (A-35)$$

$$Q_{TOP}\ (\text{下限値}) = \sum_{i=1}^{n} Y_i - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} Y_{ij} \qquad (A-36)$$

となる。Q_{TOP} のモーメントは，Q_{TOP} に対し（A－33）式を適用することにより得られる。例えば，Q_{TOP} の上限値（(A－35)式）の1次及び2次モーメントは

$$\bar{Q}_{TOP} = \sum_{i=1}^{n} \bar{Y}_i \qquad (A-37)$$

$$\mu_2(Q_{TOP}) = \sum_{i=1}^{n} \mu_2(Y_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} E\{(Y_i - \bar{Y}_i)(Y_j - \bar{Y}_j)\} \qquad (A-38)$$

となる。但し，E(Z)はZの平均値である。

MCSの発生確率 Y_i は，MCSを構成するコンポーネントの発生確率 Z_i の積で表わされる。すなわち，

$$\bar{Y}_j = \prod_{i=1}^{n_j} Z_i \qquad (A-39)$$

ここに，n_j は，MCSを構成するコンポーネントの個数であり，各コンポーネントは独立とする。Y_j のモーメントも（A－33）式の展開式を適用することにより得られる。例えば，$n_j = 2$ に対する Y_j の1次及び2次モーメントは

$$\bar{Y}_j = \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2 \qquad (A-40)$$

$$\mu_2(Y_j) = \bar{Z}_1^2 \cdot \mu_2(Z_2) + \bar{Z}_2^2 \cdot \mu_2(Z_1) + \mu_2(Z_1) \cdot \mu_2(Z_2) \qquad (A-41)$$

である。

(c) 各コンポーネント・データの入力形式

当コードでは，各コンポーネントのアンアベイラビリティ Z_i の分布特性を決めるために以下の4種類の入力形式が用意されている。

イ) 故障率 λ と修理時間 τ がそれぞれ対数正規分布をしているとし，そのメディアン値 $\lambda_{0.5}$，$\tau_{0.5}$ およびエラー・ファクタ f_λ，f_τ をデータとして入力する。コンポーネントのアンアベイラビリティは，$Z_i = \lambda_i \tau_i$ の式で表わされ，対数正規分布をしている。

ロ) コンポーネントのアンアベイラビリティを $Z_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1+\lambda_i \tau_i}$ として求める時で，直接入力データとして $\lambda_{0.5}$，f_λ，$\tau_{0.5}$，f_τ を用いる。この場合 Z_i はジョンソン S_B 分布となる。

ハ) 入力データとして，コンポーネントのアンアベイラビリティ Z_i の平均 $\bar{Z}_i$ と分散 $\mu_2(Z_i)$ を入力とする場合。

ニ) コンポーネントのアンアベイラビリティは一定であるとし，分散＝0とする場合

(7) "KITT"コード[4]

"KITT"コードは，原型版では，KITT1，KITT2の2つのコードから構成されており，

KITT 2はKITT 1の機能に多重フェイズ（multiphase）[注1)]の処理を追加したものである。FTA－Jコードシステムでは，KITT 1（単一フェイズの処理）をKITTとした。

KITTは，Kinetic Tree Theoryを適用し開発された計算コードであり時間依存のシステム信信頼度特性を点推定で行う。"KITT"コードでは，修復不可能なあるいは一定の修復時間τで修復できる機器から成るシステムを解析対象とする。このコードでは，次のことが仮定されている。

① 各機器の故障率λ（failure intensity）は，時間に関して一定である。

② 各機器は，互いに独立である。

③ 全ての機器は，時刻t＝0で正常状態にある。

"KITT"コードは，入力として各機器の故障データ（λとして）の他に，フォールト・ツリーのミニマル・カット・セットあるいはミニマル・パス・セットを必要とする。システムの信頼性に関して全く同じ情報が，ミニマル・カット・セット又はミニマル・パス・セットから得られる。結果は，上限値近似あるいはブラケッティング法で与えられる。ブラケッティング法では，いくつかの上限値及び下限値が得られる。これらの値は近似の度合を上げることにより正しい値に近づく。

"KITT"コードで得られる信頼度特性は，次のとおりである。

① コンポーネント情報

$q(t)$ ；コンポーネントが時刻tで故障している確率

$w(t)$ ；時刻tにおけるコンポーネントの単位時間当りの平均故障回数

$\int_0^t w(t')\,dt'$ ；時刻0からtまでの間のコンポーネントの平均故障回数

$1-\exp(-\lambda t)$ ；コンポーネントが時刻0からtの間に1回以上故障する確率

② ミニマル・カット・セット情報[注2)]

$\overset{\vee}{Q}(t)$ ；ミニマル・カット・セットが時刻tで故障状態にある確率

$\overset{\vee}{W}(t)$ ；時刻tにおけるミニマル・カット・セットの単位時間当りの平均故障回数

$\overset{\vee}{\lambda}(t)$ ；時刻tで正常状態にあるミニマル・カット・セットがその時刻tで単位時間当り故障する確率

$\int_0^t \overset{\vee}{W}(t')dt'$ ；時刻0からtまでの間のミニマル・カット・セットの平均故障回数

$1-\exp\left[-\int_0^t \overset{\vee}{\lambda}(t')\,dt'\right]$ ；ミニマル・カット・セットが時刻0からtの間に1回以上故障する確率

③ ミニマル・パス・セット情報[注3)]

$\hat{P}(t)$ ；ミニマル・パス・セットが時刻tで正常である確率

注1）解析で対象とする時間を幾つかの時間領域に分け，機器の故障率，修復時間等を各時間領域ごとに与えることができる。

注2）ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントの全てが，同時に故障状態にあるとき，そのミニマル・カット・セットは故障状態にあると呼ぶことにする。

また，ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントのうちの少なくとも1つが正常状態にあるとき，そのミニマル・カット・セットは正常状態にあると呼ぶことにする。

注3）ミニマル・パス・セットを構成する全てのコンポーネントが正常状態にあるとき，そのミニマル・パス・セットは正常状態にあると呼ぶことにする。

また，ミニマル・パス・セットを構成するコンポーネントのうちの少なくとも1つが故障状態にあるとき，そのミニマル・パス・セットは故障状態にあると呼ぶことにする。

$\hat{W}(t)$ ；時刻tにおけるミニマル・パス・セットの単位時間当りの平均故障回数

$\hat{\Lambda}(t)$ ；時刻tで正常状態にあるミニマル・パス・セットがその時刻tで単位時間当り故障する確率

$\int_0^t \hat{W}(t')dt'$ ；時刻0からtまでの間のミニマル・パス・セットの平均故障回数

$\exp\left[-\int_0^t \hat{\Lambda}(t')dt'\right]$ ；ミニマル・パス・セットが時刻0からtの間に故障しない確率

④ システム情報

$Q_0(t)$ ；システムが時刻tで故障している確率

$W_0(t)$ ；時刻tにおけるシステムの単位時間当りの平均故障回数

$\Lambda_0(t)$ ；時刻tで正常状態にあるシステムがその時刻tで単位時間当り故障する確率

$\int_0^t W_0(t')dt'$ ；時刻0からtまでの間のシステムの平均故障回数

$1-\exp\left[-\int_0^t \Lambda_0(t')dt'\right]$ ；システムが時刻0からtの間に1回以上故障する確率

以下に，上に挙げた諸量の算出式，システムの信頼度特性を求める際の上限値近似及びブラケッティング法の概要を述べる。

コンポーネントについて

時刻t'に正常状態にあるコンポーネントが，時刻t(＞t')からt＋dtの間に初めて故障する確率は，

$$a(t', t)dt = \exp\left[-\int_{t'}^{t}\lambda(t'')dt''\right]\lambda(t)dt \qquad (A-42)$$

となる。一定の修理時間τを有するコンポーネントに対するW(t)は，

$$W(t) = a(0, t) + \int_0^{t-\tau} W(t')\,a(t'+\tau, t)dt' , \qquad (A-43)$$

但し，$W(t) = 0$ ； $t < 0$

で与えられる。(A－43)式の右辺第1項は，修復不可能なコンポーネントに対する値である。W(t)が求まると，時刻tでの故障確率q(t)は，

$$q(t) = 1 - \frac{W(t)}{\lambda(t)}$$

$$= 1 - P(t)$$

と表わされる。ここに，P(t)は，時刻tにおいてコンポーネントが正常に働いている確率である。特に，修復不可能なコンポーネントに対しては，

$$q(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda dt'\right] \qquad (A-44)$$

となる。

ミニマル・カット・セットについて

ミニマル・カット・セット情報は，各コンポーネント情報から得られる。$\check{Q}(t)$，$\check{\Lambda}(t)$，$\check{W}(t)$に対する表式は次のようになる。

$$\check{Q}(t) = \prod_{j=1}^{m} q_j(t)$$

$$\equiv 1 - \check{P}(t) \qquad (A-45)$$

$$\check{\lambda}(t) = \sum_{j=1}^{m} P_j(t)\,\lambda_j(t) \prod_{\substack{\ell=1 \\ \ell \neq j}}^{m} q_\ell(t) \,/\, [\,1-\check{Q}(t)\,] \qquad (A-46)$$

$$\check{W}(t) = \sum_{j=1}^{m} P_j(t)\,\lambda_j(t) \prod_{\substack{\ell=1 \\ \ell \neq j}}^{m} q_\ell(t) \qquad (A-47)$$

但し，コンポーネントの識別を添字 j，ℓ 等で示し，ミニマル・カット・セットを構成するコンポーネントの個数を mとする。

システムについて

システムの信頼度特性を近似なしに求めようとすると，計算が非常に複雑になるため，近似計算としてブラケッティング法あるいは上限値計算が用いられる。

ブラケッティング法による近似計算では，確率論における次の不等式

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{n} A_i\right) \leqq \sum_{i=1}^{n} P(A_i)$$

$$\geqq \sum_{i=1}^{n} P(A_i) - \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} P(A_i \cap A_j)$$

$$\leqq \sum_{i=1}^{n} P(A_j) - \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} P(A_i \cap A_j) + \sum_{i=3}^{n} \sum_{j=2}^{i-1} \sum_{k=1}^{j-1} P(A_i \cap A_j \cap A_k)$$

$$\vdots \qquad (A-48)$$

を，システムの信頼度特性の計算に適用する。ここに，P(A)は事象Aの発生する確率を意味する。今，i 番目のミニマル・カット・セットが時刻 t で故障する事象を d で表わすと，時刻 t における頂上事象の発生確率 $Q_0(t)$ は，

$$Q_0(t) = \sum_{i=1}^{N} P(d_i) - \sum_{i=2}^{N} \sum_{j=1}^{i-1} P(d_i \cap d_j) + \cdots\cdots + (-1)^{N-1} P(d_1 \cap d_2 \cap \cdots \cap d_N) \qquad (A-49)$$

で与えられる。但し，ミニマル・カット・セットの数をNとする。フォールト・ツリーが複数で大きくなると，(A－49) 式を直接計算するのは困難になる。(A－49) 式に (A－48) 式を適用することにより，$Q_0(t)$ に対する上限値及び下限値が得られる。次に i 番目のミニマル・カット・セットが時刻 t から t＋dt の間に故障する事象を e_i で表わす。頂上事象が時間間隔 t ～ t＋dt で発生するためには，全てのミニマル・カット・セットが時刻 t で正常状態にあり，それらのうち 1 個以上が時刻 t から t ＋ dt の間に故障する必要がある。従って，時刻 t から t+ dt の間におけるシステムの平均故障回数は

$$W_0(t)\,dt = P\left(A \bigcup_{i=1}^{N} e_i\right) \qquad (A-50)$$

で与えられる。ここに，Aは全てのミニマル・カット・セットが時刻 t で正常状態にあるという事象を表わす。次の等式

$$P(A\bigcup_{i=1}^{N}e_i)=P(\bigcup_{i=1}^{N}e_i)-P(B\bigcup_{i=1}^{N}e_i)\ , \qquad (A-51)$$

$$B=\bar{A}=\bigcup_{i=1}^{N}d_i$$

を用いて，（A－50）式は

$$W_0(t)dt=P(\bigcup_{i=1}^{N}e_i)-P(B\bigcup_{i=1}^{N}e_i)\ , \qquad (A-52)$$

$$W_0(t)=\overset{\vee}{W}_0^{(1)}(t)-\overset{\vee}{W}_0^{(2)}(t) \qquad (A-53)$$

となる。（A－53）式の右辺第1項は，1個以上のミニマル・カット・セットが時刻tからt＋dtの間に故障する事象（それ以外のMCSがどういう状態にあるかは問わない）からの寄与である。また第2項は，それ以外のミニマル・カット・セットが時刻tですでに故障しており修復されないという状況下において，1個以上のミニマル・カット・セットが時刻tからt＋dtの間に故障する事象からの寄与である。この項は，2次の補正項と呼ばれている。（A－52）式の計算においても，（A－48）式のブラケッティング法が適用される。

次に，上限値近似について述べる。$Q_0(t)$の上限値は，Esary & Prochan[7]により導出された関係式に基づき，次式で与えられる。

$$Q_0(t)\leqq 1-\prod_{i=1}^{N}\overset{\vee}{P}_i(t) \qquad (A-54)$$

ここに，$\overset{\vee}{P}_i(t)$はi番目のミニマル・カット・セットが正常状態にある確率である。また，システムの故障率 $\Lambda_0(t)$に対する上限値は，

$$\Lambda_0(t)=\frac{W_0(t)}{1-Q_0(t)}$$

$$\leqq\frac{\sum_{i=1}^{N}\overset{\vee}{W}_i(t)}{\prod_{i=1}^{N}\overset{\vee}{P}_i(t)}$$

が得られる。

上では，システムの信頼度特性をミニマル・カット・セット情報を基に算出する計算式を示した。一方，システムの信頼度特性を，ミニマル・パス・セット情報を基に得ることもできる。但し，この場合，ブラケッティング法を用いる際に，（A－49）式に対応する式の各項の寄与が大きいため，全部の項を考慮する必要がある。従って，大きなフォールト・ツリーの解析では計算機の処理時間が過大となり実用的でないと思われる。システム情報をミニマル・カット・セット情報を基に，ブラケッティング法により求めるときは，（A－49）式の収束性がよく実用的である。

参考文献

(1) G.E. Apostolakis, S.L. Salem and J.S. Wu, "CAT : A Computer Code for the Automated Construction of Fault Trees", EPRI-NP-705 (1978).

(2) F.L. Leverenz and H. Kirch, "User's Guide for the WAM-BAM Computer Code", EPRI-217-2-5 (1976).

(3) R.C. Erdmann, F.L. Leverenz and H. Kirch, "WAMCUT, A Computer Code for Fault Tree Evaluation", EPRI-NP-803 (1978).

(4) W.E. Vesely and R.E. Narum, "PREP and KITT : Computer Codes for the Automatic Evaluation of a Fault Tree", IN-1349 (1970).

(5) F.L. Leverenz, "SPASM, A Computer Code for Monte Carlo System Evaluation", EPRI-NP-1685 (1981).

(6) Y.T. Lee and G.E. Apostolakis, "Probability Intervals for the Top Event Unavailability of Fault Trees", UCLA-ENG-7663 (1976).

(7) J.D. Esary and F. Proschan, "Coherent Structures of Non-Identical Components", Technometrics, 5, (May 1963).

Table A.1 All Possible Input States and Internal Modes for Pump

Input 1 : Main Flow (Pressure) Input
0 - no pressure in or pressure too low
1 - normal pressure

Input 2 : Power Input
0 - no power in
1 - power in

Internal Mode : Condition of Pump
0 - pump in good condition
4 - pump fails to start
5 - pump fails to run normally

Output : Main Flow (Pressure) Output
0 - no pressure out or pressure out too low
1 - pressure out

Table A.2 Decision Table for Pump

Row	Input 1 Main Flow	Input 2 Power	Internal Mode	Output
1	0	-1	-1	0
2	-1	0	-1	0
3	-1	-1	4	0
4	-1	-1	5	0
5	1	1	0	1

-1 : "don't care" state

Table A.3　Truth Table

	X_1	X_2	X_3	$F(G1) = (X_1+X_2)\cdot(X_1+X_3)$
$X_1\ X_2\ X_3$	1	1	1	1
$X_1\ X_2\ \bar{X}_3$	1	1	0	1
$X_1\ \bar{X}_2\ X_3$	1	0	1	1
$\bar{X}_1\ X_2\ X_3$	0	1	1	1
$X_1\ \bar{X}_2\ \bar{X}_3$	1	0	0	1
$\bar{X}_1\ X_2\ \bar{X}_3$	0	1	0	0
$\bar{X}_1\ \bar{X}_2\ X_3$	0	0	1	0
$\bar{X}_1\ \bar{X}_2\ \bar{X}_3$	0	0	0	0

ここで　1 はその事象が発生することを意味する。
0 はその事象が発生しないことを意味する。

Table A.4　Values of ${}_nC_i$

n \ i	1	2	3	4
10	10	45	120	210
50	50	1,225	19,600	230,300
100	100	4,950	161,700	3,921,225
200	200	19,900	1,313,400	64,684,950

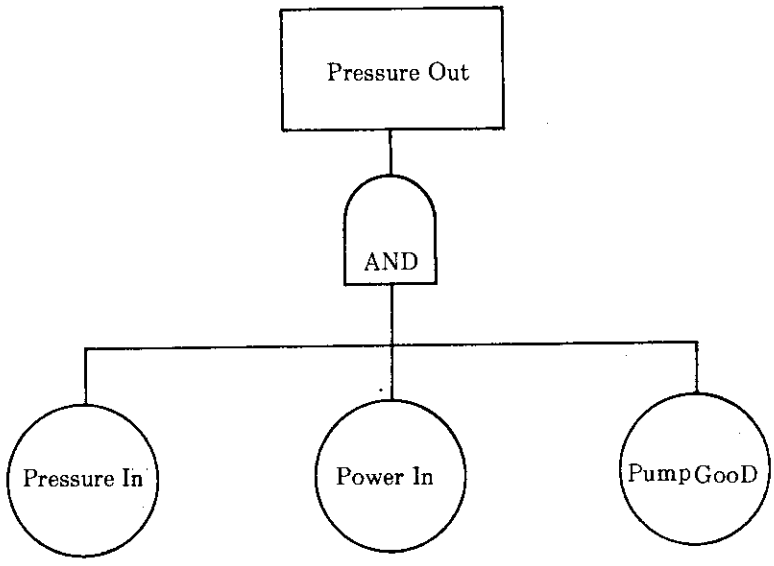


Fig. A.1 Mini Success Tree for Pump.

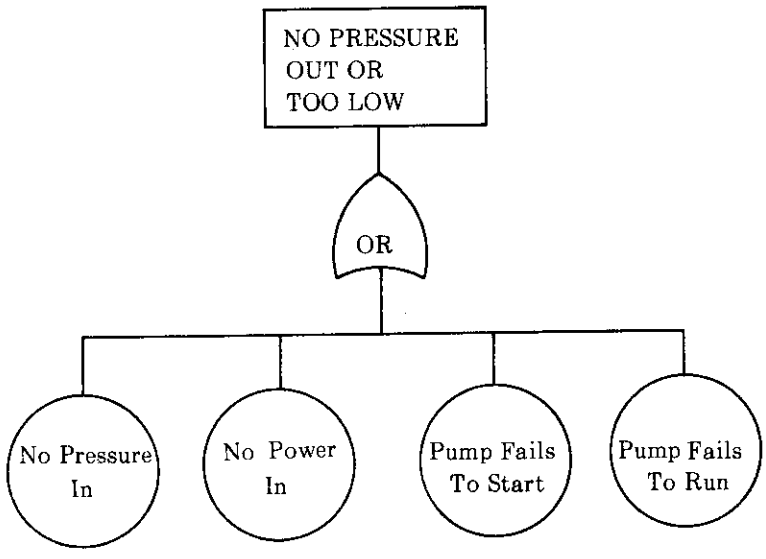


Fig. A.2 Mini Fault Tree for Pump.

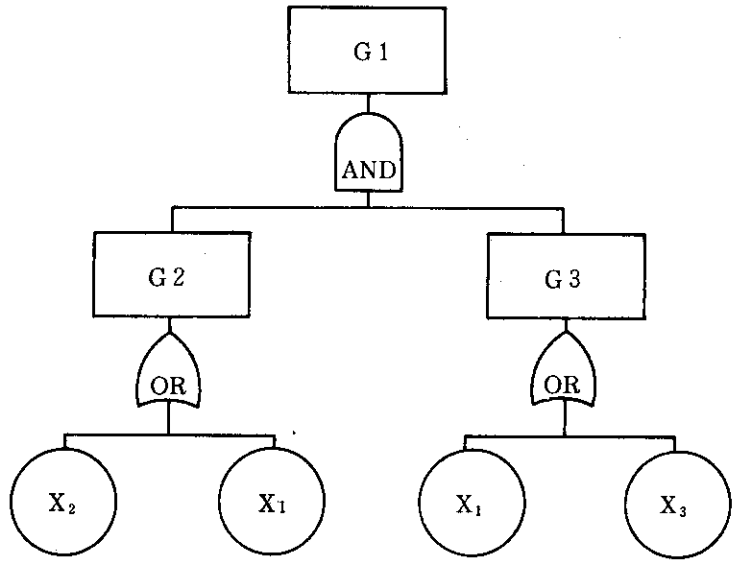
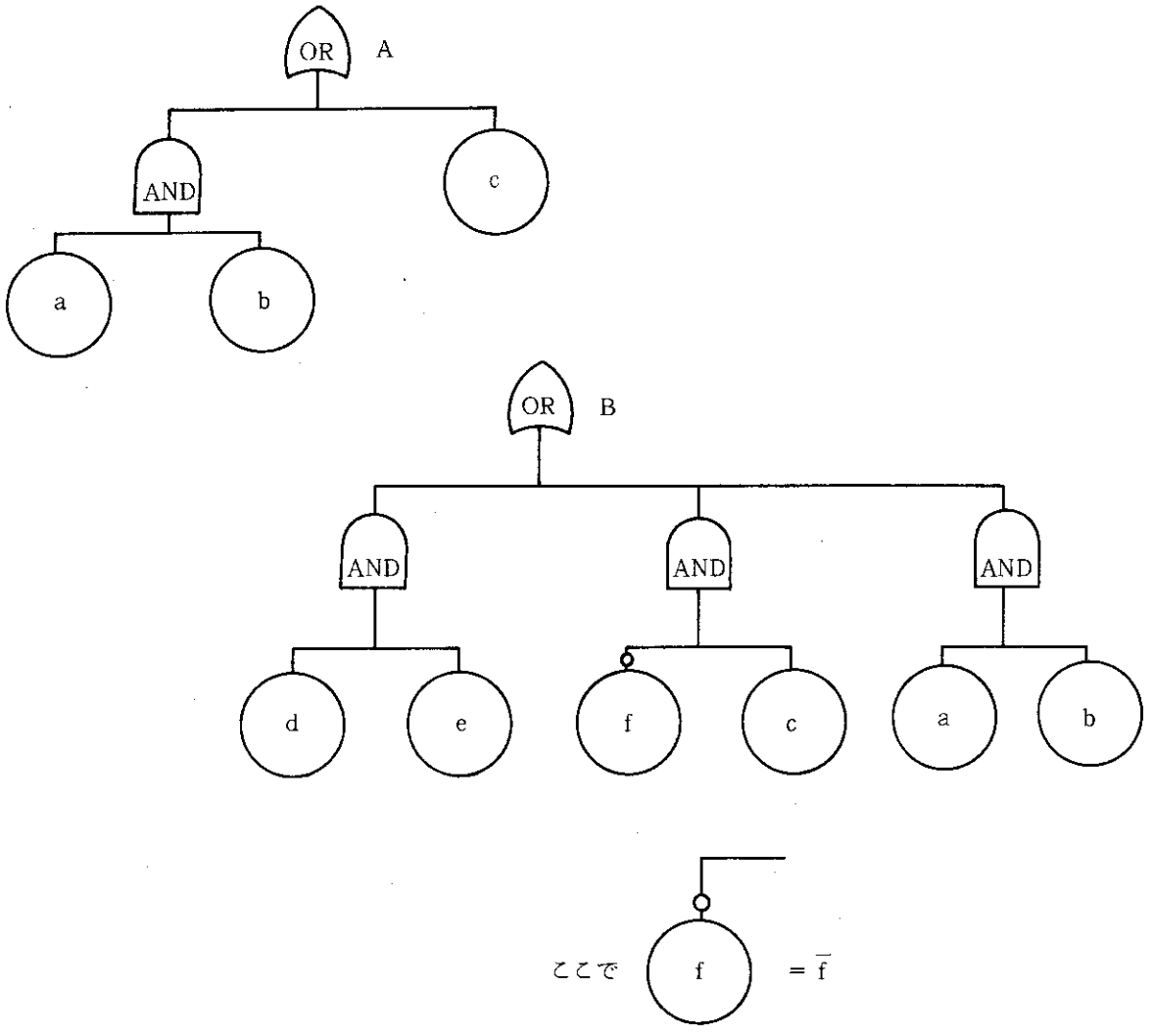
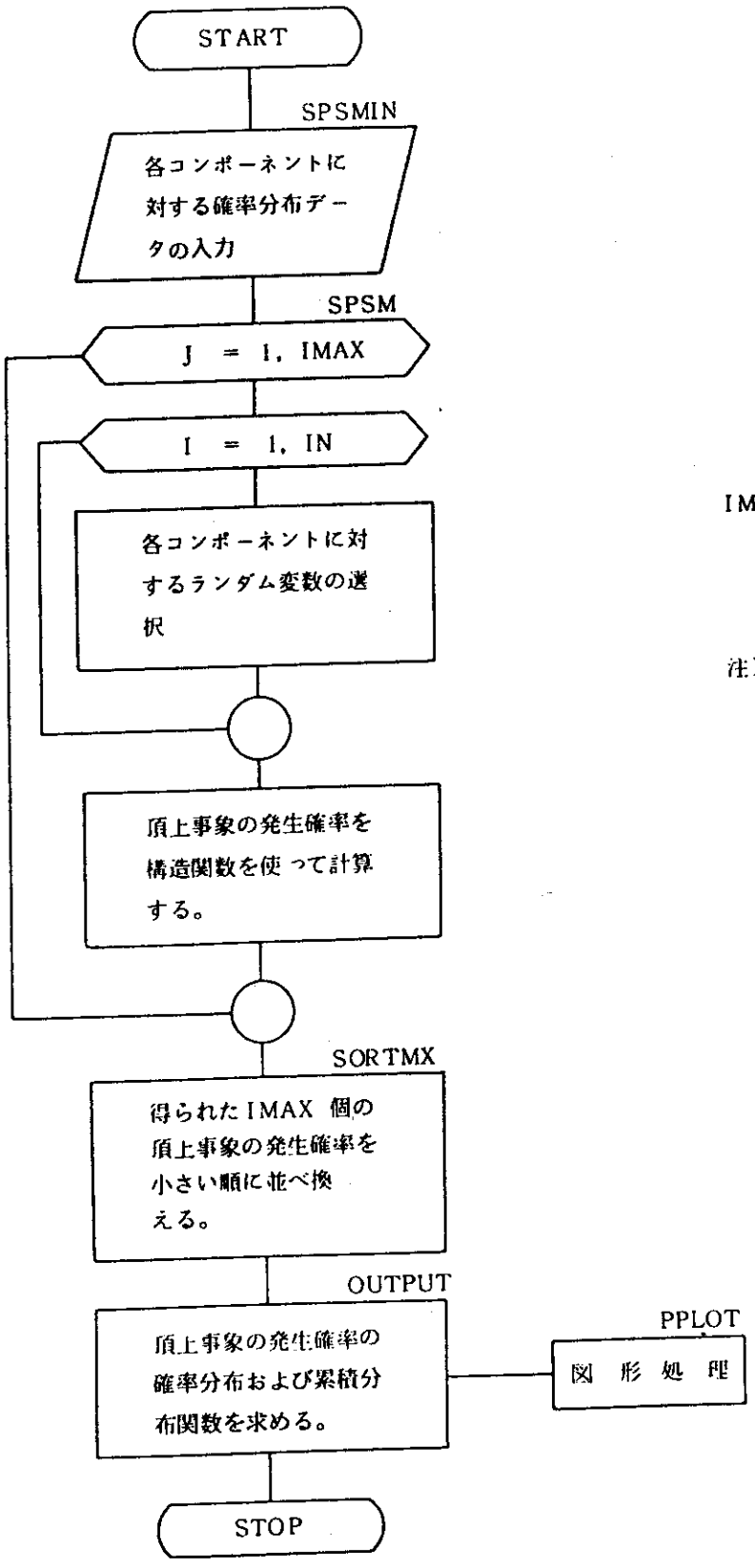


Fig. A.3　Fault Tree Example.



つまり「fという事象が起らない」ことを示している。

Fig. A.4　Illustration of Example Cut Set Gates.



IMAX : 試行回数
IN : コンポーネント数

注) 処理記号の右上の添字は，サブルーチン名を示している。

Fig. A.5 Logic Flow Chart of the "SPASM" Code.

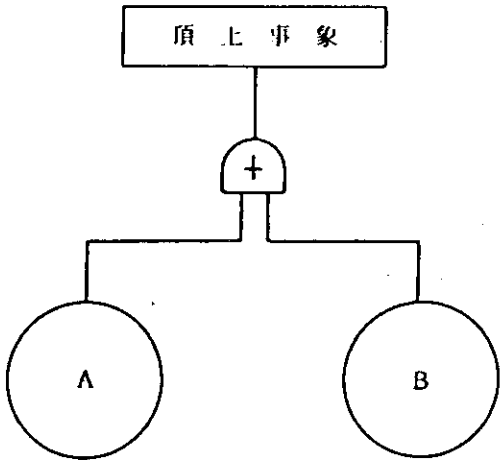


Fig.A.6 Simple Fault Tree Example

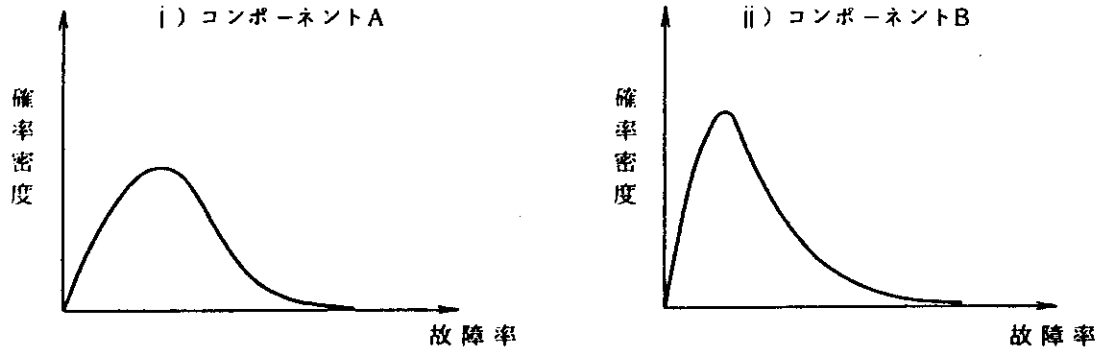


Fig.A.7 Distribution of Component Failure Rate

① 試行回数	コンポーネントAの故障率	コンポーネントBの故障率	頂上事象の発生確率 ②
1回目	X_1	Y_1	Z_1
③ 2回目	X_2	Y_2	Z_2
⋮	⋮	⋮	⋮
n回目	Xn	Yn	Zn

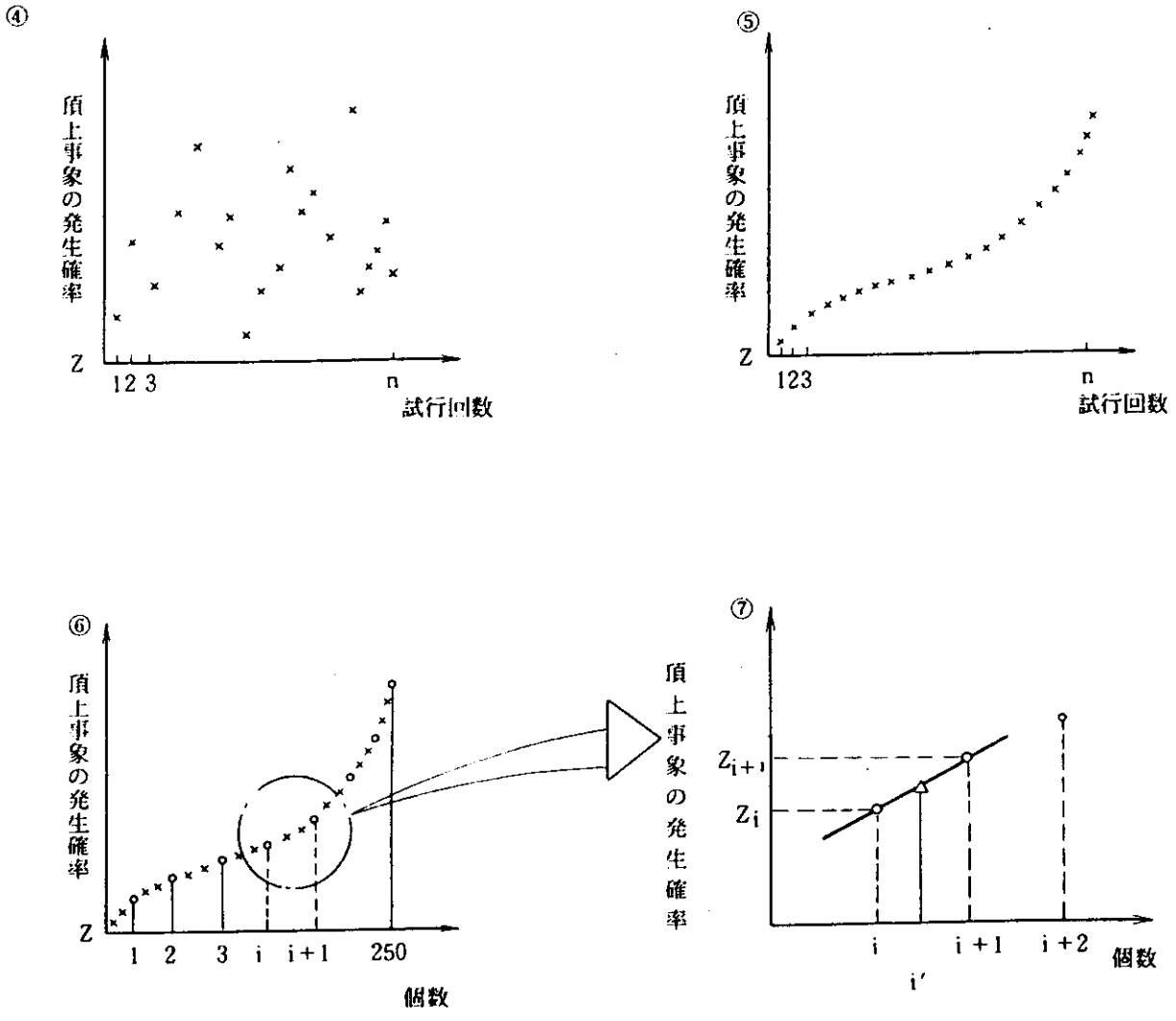


Fig. A.8 Calculation Step of the "SPASM" Code.

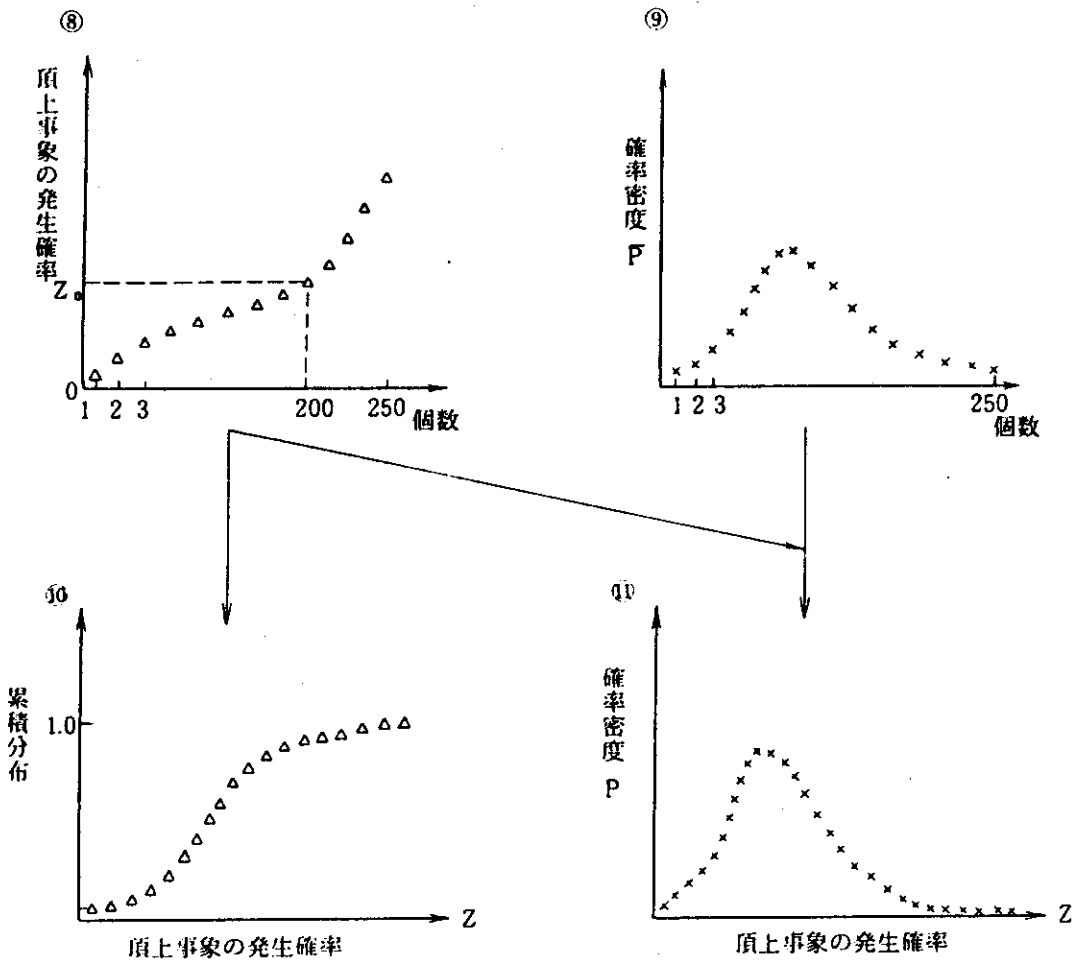

⑧
頂上事象の発生確率
Z
0
1 2 3
200
250
個数
⑨
確率密度
P
1 2 3
250
個数
⑩
累積分布
1.0
Z
頂上事象の発生確率
⑪
確率密度
P
Z
頂上事象の発生確率

Fig.A.8 (Cont'd)

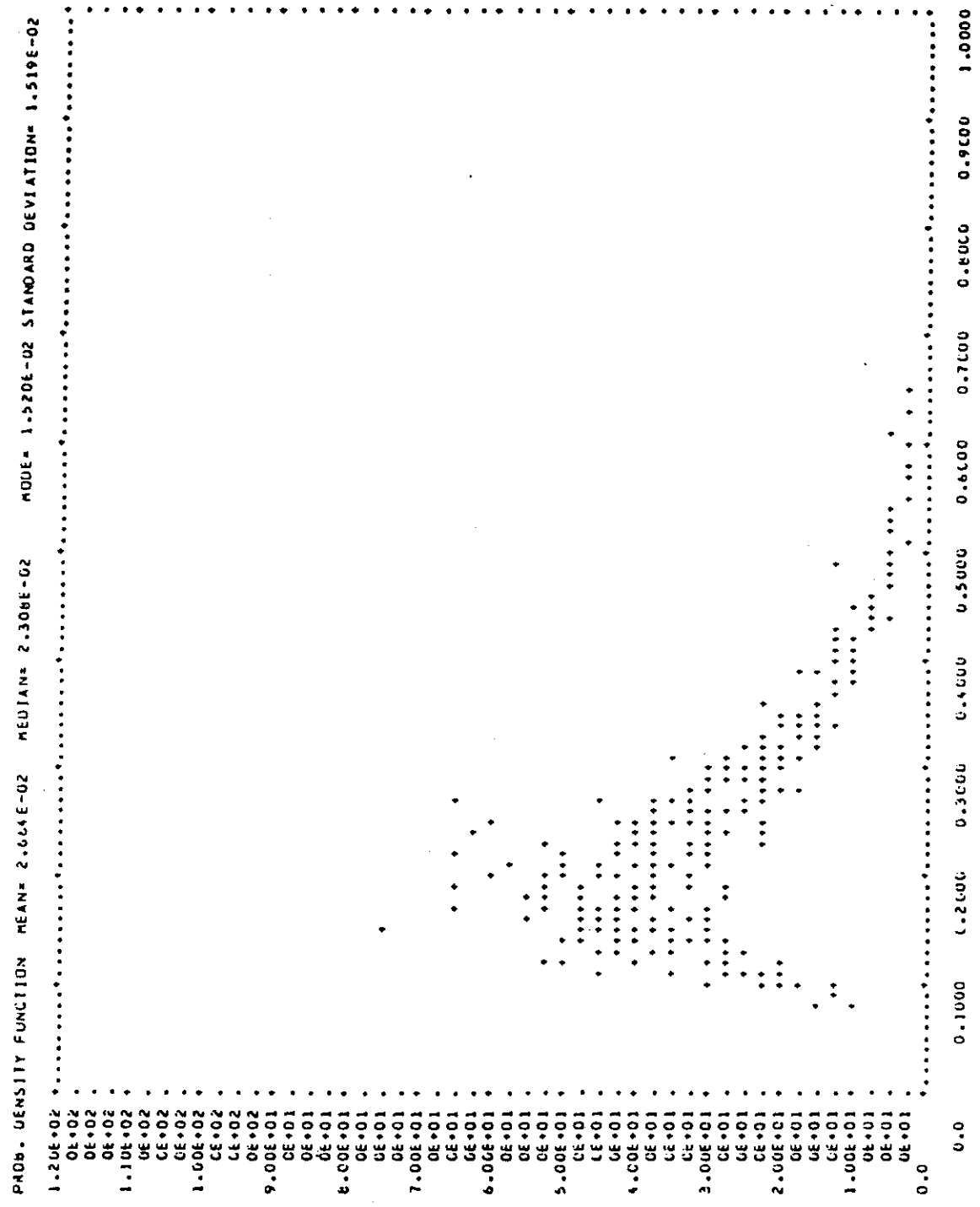


Fig.A.9 Probability Density Function

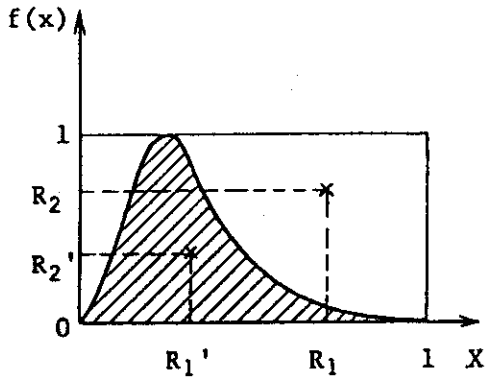


Fig.A.10 Probability Density Function ; f(x)

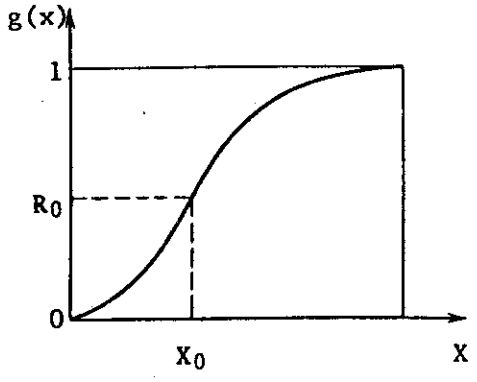


Fig.A.11 Cumulative Probability Function ; g(x)

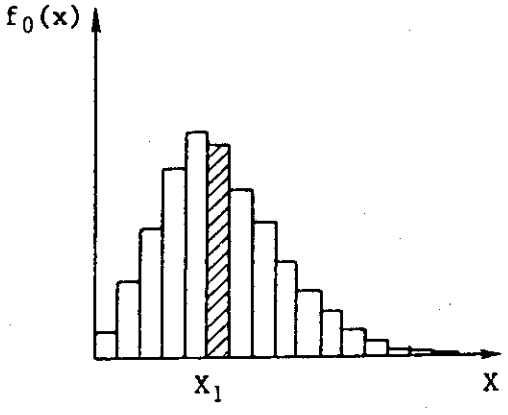


Fig.A.12 Discrete Probability Density Function ; $f_0(x)$

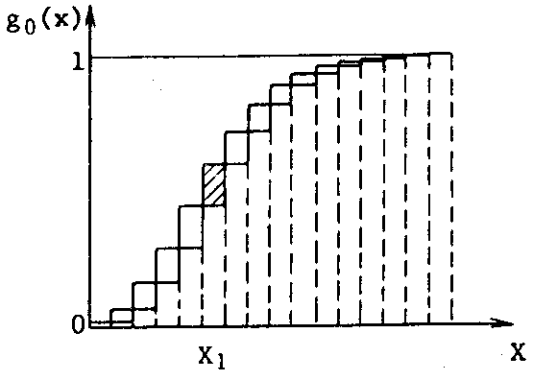


Fig.A.13 Discrete Cumulative Probability Function ; $g_0(x)$

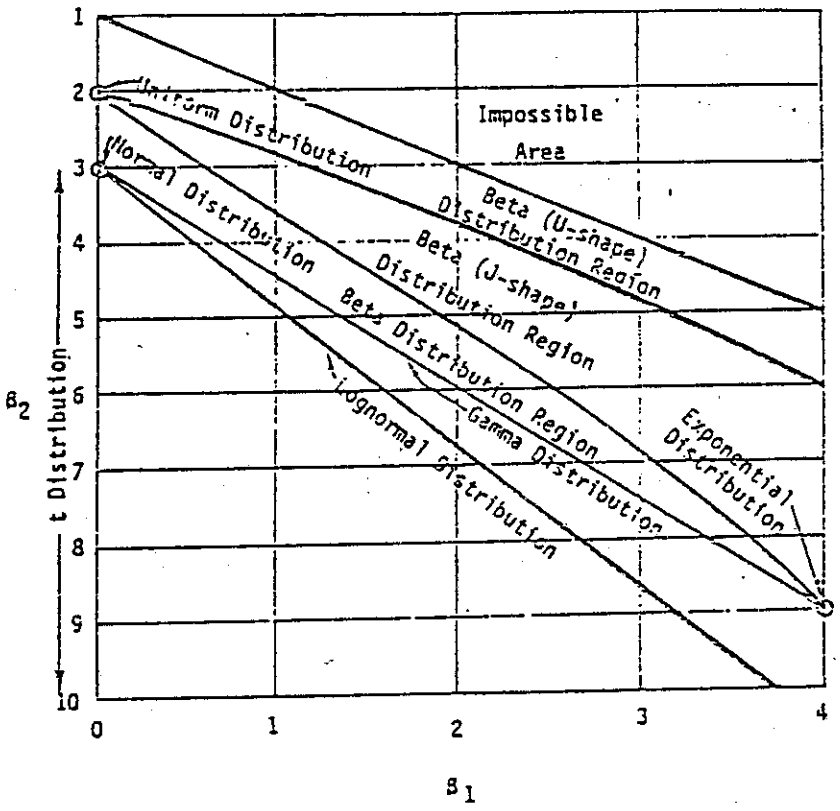


Fig. A.14 Regions in (β_1, β_2) Plane for Various Distributions.

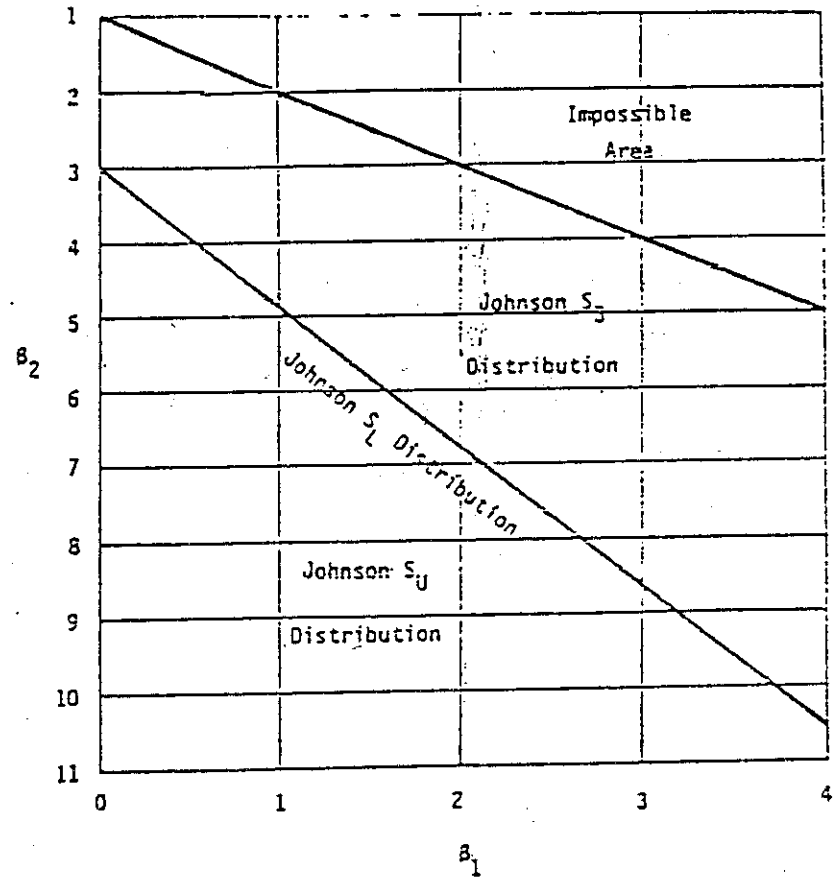


Fig. A.15 Regions in (β_1, β_2) Plane for Various Types of Johnson Distributions.