

JAERI-M
83-037

炉心溶融事故時原子炉格納容器温度・圧力
計算コード THALES-CV1 説明書

1983年3月

阿部 清治・西 誠・渡辺 憲夫
石黒 純一*・工藤 和夫*・中村 明*

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 日立高速印刷株式会社

炉心溶融事故時原子炉格納容器温度・圧力計算コード
THALES-CV1説明書

日本原子力研究所東海研究所安全解析部

阿部 清治・西 誠・渡辺 憲夫

石黒 純一*・工藤 和夫*・中村 明*

(1983年1月31日受理)

炉心溶融事故時の原子炉格納容器圧力・温度計算コード THALES-CV1を開発した。このコードでは、格納容器内の自由空間全体は、ジャンクションによって結びつけられた幾つかのコンパートメントに分割される。各コンパートメントは更に、水滴を含む気相領域と気泡を含む液相領域の2つの領域に分けられ、その境界は変動する水位で表わされる。

THALES-CV1は、各領域に流入したり各領域から流出したりする質量及び熱量の流れを考慮し、格納容器圧力と各領域内の質量及び温度を計算する。ただし、格納容器内で圧力一様であり、かつ、各領域内で熱平衡を仮定している。ジャンクション流量は、各コンパートメントの体積を一定に保つように計算され、それが気相流であるか液相流であるかは、ジャンクションの上流側コンパートメントの水位とジャンクション高さの関係から定められる。

このコードが考慮する質量及び熱量の伝達としては次のようなものがある——原子炉冷却系からのブローダウン流、原子炉キャビティでの水の沸騰、融体—コンクリート反応によるガスの生成、格納容器スプレーによる熱伝達及び質量付加、原子炉圧力容器メルトスルーハウジングへのECCS注入水の流入、格納容器エア・クーラーによる冷却、コンパートメント間換気、格納容器壁や内部構造物への熱伝達、水素燃焼による組成変化や燃焼熱付加、アイス・コンデンサによる冷却、格納容器から外部への漏洩。

これらの、質量及び熱量の出入に関するモデルは、いずれも極めて単純なものである。今後予定されているコードの感度解析により、モデルのあるものが格納容器の圧力・温度トランジエントにとって重要であると判明すれば、それらのモデルはより詳細なものにされる予定である。

* 日本NUS株式会社

Description of THALES-CV1 :
A Computer Code for Evaluating Containment
Temperature and Pressure during Core Meltdown
Accident

Kiyoharu ABE, Makoto NISHI, Norio WATANABE
Junichi ISHIGURO*, Kazuo KUDO* and Akira NAKAMURA*

Division of Nuclear Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 31, 1983)

THALES-CV1, a computer code for evaluating reactor containment pressure and temperature during core meltdown accident, was developed.

In the code a whole free volume inside the containment is divided into several number of compartments which are connected to each other by junctions. Each compartment is further divided into two regions - gas region and liquid region including water droplets and steam bubbles respectively - by a movable mixture surface.

THALES-CV1 evaluates mass and heat flows to/from the regions and calculates containment pressure and mass and temperature in each region, assuming uniform pressure in the containment and thermal equilibrium in each region of a compartment. A junction flow is calculated so that the volume of every compartment is kept constant and the phase of the flow is determined from the relationship between the mixture level and the junction elevation in the upstream compartment.

In this code the following mass and heat transfers are considered: Blowdown flow from reactor cooling system, water boiling in reactor cavity, gas generation by melt-concrete

* Japan NUS Co., Ltd.

interaction, heat transfer and mass addition by containment spray, ECCS flow addition to containment after reactor pressure vessel melt-through, cooling by containment air cooler, ventilation from one compartment to another, heat transfer to containment wall and internal structures, composition change and heat addition due to hydrogen burning, cooling by ice condenser, and leakage from containment to outside.

All the models for these mass and heat transfers are very simple. If the sensitivity study for the code which is going to be performed hereafter finds some models are sensitive for containment pressure and temperature transient, such models will be sophisticated.

Keywords: Core Meltdown Accident, Containment, T-Code, Thermo-hydraulics, Transient, Reactor Safety

目 次

1. はじめに	1
2. THALES-CV1コードの概要.....	4
2.1 THALES-CV1コードの基本的考え方	4
2.2 計算手順の概略	6
2.3 THALES-CV1が扱う質量・熱量の流入及び流出項目	9
2.4 プログラムの標準化・モジュール化.....	10
2.5 THALES-CV1のモジュール構造.....	13
2.6 計算に必要な記憶領域と計算時間	19
3. THALES-CV1コードの計算モデル	20
3.1 主要な入力データと初期状態の設定(INPUT).....	20
3.2 質量・熱量の流入及び流出計算モデル(CONTQM).....	23
3.3 格納容器圧力計算モデル(JPRESS)	44
3.4 ジャンクション流量計算モデル(JUNCFL)	45
3.5 相分離計算モデル(PHSEP)	46
3.6 水位計算モデル(WLEVEL)	47
4. THALES-CV1入出力マニュアル	48
4.1 入力データの概要.....	48
4.2 入力データの詳細.....	49
4.3 入力データのFORMAT	56
4.4 出力データ	76
5. サンプルラン	79
5.1 PWRサンプルケース	79
5.2 BWRサンプルケース	81
6. おわりに	96
参考文献	96

CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
2. GENERAL DESCRIPTION OF THE THALES-CV1 CODE	4
2.1 BASIC CONCEPT OF THE THALES-CV1 CODE	4
2.2 OVERALL FLOW OF THE CALCULATION	6
2.3 MASS AND HEAT TRANSFERS CONSIDERED IN THALES -CV1	9
2.4 STANDARDIZATION AND MODULIZATION OF PROGRAMS ..	10
2.5 MODULE STRUCTURE OF THALES-CV1	13
2.6 CORE REGION AND CPU TIME REQUIRED FOR CALCULATION	19
3. DESCRIPTION OF MODELS FOR THALES-CV1	20
3.1 INPUT DATA AND INITIALIZATION(INPUT)	20
3.2 MASS AND HEAT TRANSFERS CALCULATION MODEL (CONTQM)	23
3.3 CONTAINMENT PRESSURE CALCULATION MODEL (JPRESS)	44
3.4 JUNCTION FLOW MODEL(JUNCFL)	45
3.5 PHASE SEPARATION MODEL(PHSSEP)	46
3.6 WATER LEVEL CALCULATION MODEL(WLEVEL)	47
4. THALES-CV1 I/O MANUAL	48
4.1 GENERAL DESCRIPTION OF INPUT DATA	48
4.2 DETAILS OF INPUT DATA	49
4.3 FORMAT OF INPUT DATA	56
4.4 DESCRIPTION OF OUTPUT	76
5. SAMPLE RUN	79
5.1 PWR SAMPLE RUN	79
5.2 BWR SAMPLE RUN	81
6. ACKNOWLEDGEMENT	96
REFERENCES	96

1. はじめに

1979年3月28日のTMI 2号機の事故以来、原子炉の規制や安全性研究の対象は、設計基準事故だけでなく、設計限界を越すような事故にも拡がりつつある。特に、炉心が高温になって溶融・落下し、遂には原子炉容器の溶融貫通や格納容器の破損に至るような事故、いわゆる炉心溶融事故については、その物理的・化学的現象を理解し、それに起因したリスクを評価し、また、事故に対する有効な対策を考えることが、世界的関心事となっている。

炉心溶融事故に関する研究は、実験により事故時の物理的・化学的現象を明らかにする研究と、それより得られた知見を総合化して事故の安全評価を行う計算コードを開発する研究に大別されよう。実験的研究としては、燃料の溶融時挙動、溶融燃料の冷却可能性、炉心融体落下時の融体—コンクリート反応、水素爆発や水蒸気爆発、それに格納容器の健全性に関する研究等が、米国と西独を中心に行われてきた。このような実験的研究の現状に関しては、日本原子力研究所安全性試験研究センターが1981年に組織した、「炉心損傷研究に関する調査検討タスクフォース」の報告書に示すとおりである。^[1]

一方の計算コード開発についても、これまでの研究の中心は米国と西独である。米国では、事故時の物理現象を解析する計算コードとして、Reactor Safety Study (RSS) 中に冷却材ボイルオフ（沸騰による冷却材喪失）事故時の炉心溶融解析コード BOIL^[2] が作られ、RSS 終了後は Battelle Columbus 研究所により、炉心溶融時の炉心・一次系・格納容器の熱水力挙動解析コード MARCH^[4] が作られた他、幾つかの計算コードが作られている。事故時の核分裂生成物の移行を評価するコードとしては、燃料からの放出と一次系・格納容器内の移行を解析する計算コード CORRAL^[5]、環境内移行と被曝線量の評価を行う計算コード CRAC^[6] が知られている。また、西独では、炉心・一次系・格納容器の熱水力解析コード KESS^[7] が開発されている。

このような背景のもとに、原研安全解析部安全性コード開発室は、これまで、炉心溶融事故解析コードに関し、既存のコードを導入・整備してその内容分析・性能評価を行うと共に、独自のコード開発を行ってきた。炉心溶融事故解析に関する安全性コード開発室のこれまでの研究概要は、Table 1.1 に示すとおりである。

本報告書で報告するのは、炉心溶融事故時の炉心・一次系・格納容器の熱水力解析コード・システム THALES 開発の一環として開発された、格納容器温度・圧力応答解析コード THALES-CV の第1次版についてである。THALES 関連のコード開発としては、THALES-CV と並行して、PWR の小破断 LOCA 時一次系流動解析コード THALES-P と、炉心の溶融・落下解析プログラムが開発されつつある。これらの実際を模式的に示すと Fig. 1.1 のようになる。また、THALES は、熱水力計算プログラムの標準化・モジュール化構想の一環として開発されているものである。各計算コードはすべてモジュール化されており、また、それらが用いる方程式、相関式、物性値等は、可能な限り汎用のプログラム・ライブラリとして整備されている。

THALES-CVの第1次版であるTHALES-CV1の各モデルは、いずれも極めて単純なものであるが、これは現段階では事故現象を支配する重要因子が不明だからである。今後THALES-CV1の感度解析計算を実行することにより、重要なパラメータが識別されれば、それについてより詳細な計算モデルを開発していく予定である。

Table 1.1 炉心溶融事故解析に関する安全性コード開発室の研究概要

(I) 導入コードの内容分析・性能評価

コード名	研究内容	現状	文献
BOIL1	感度解析計算による重要パラメータ識別	完了	[8]
MARCH	計算モデルの分析・評価	作業完了・報告書作成中	
	PWR, BWR の標準入力データ・セット作成	作業中	
	感度解析計算による重要パラメータ識別	作業中	
CORRAL	MARCHとの結合、感度解析及び不確実さ解析	作業中	
CRAC	折れ線型プルーム・モデルの導入	完了	

(II) THALES及びその関連ライブラリの開発

コード名	研究内容	現状	文献
(燃料温度計算) (プログラム)	感度解析による燃料温度支配因子の識別	完了	[9]
THALES-P	PWRの小破断LOCA時一次系流動解析	第1次版開発中	
(炉心溶融 解析モデル)	炉心の温度上昇と溶融・落下のモデル化	第1次版開発中	
THALES-CV	炉心溶融事故時格納容器温度・圧力応答解析	第1次版完了	
(蒸気物性値) (ライブラリ)	蒸気物性値計算プログラム・ライブラリの整備	第1次版整備済	
(相関式 ライブラリ)	二相流動及び伝熱相関式ライブラリの整備	整備中	
UCL2	単位換算プログラム・ライブラリの整備	完了	[10]

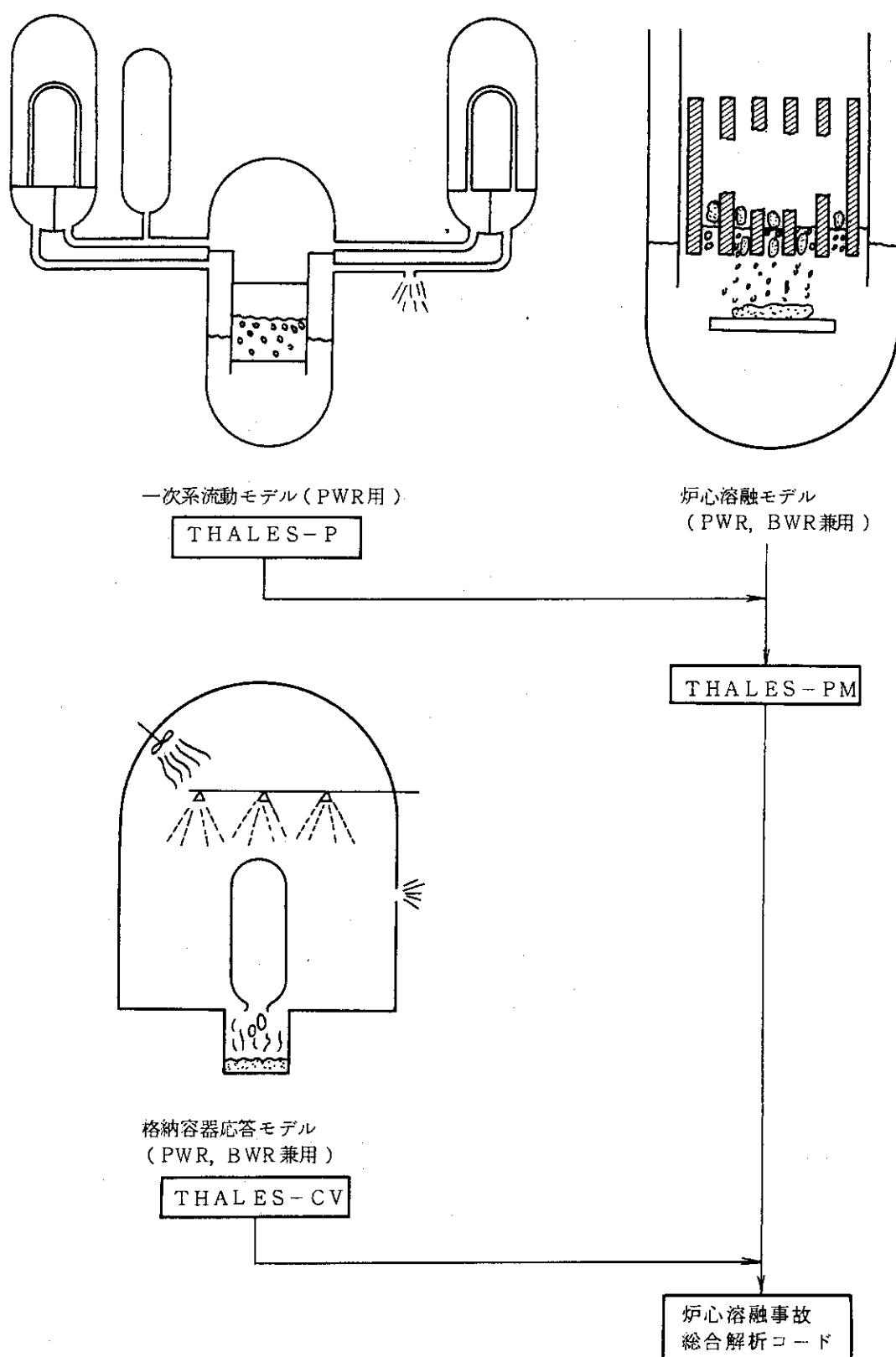


Fig. 1.1 炉心溶融事故解析コード・システム THALES の構成

2. THALES-CV1 コードの概要

2.1 THALES-CV1 の基本的考え方

THALES-CV1コードは、炉心溶融事故時の格納容器の温度・圧力変化を計算し、格納容器の健全性を評価することを目的とする。

本コードが対象とするのは、格納容器内の自由空間全体である。ただし、原子炉一次冷却系など、他のシステム内部の空間は含まない。この自由空間を、格納容器形状を考慮して、幾つかのコンパートメントに分割する。また、コンパートメント間及びコンパートメントとシステム境界外の間に、気液が自由に行き来できるようなジャンクションを考える。そして、各コンパートメントは、可変境界である自由液面によって、気相連続領域と液相連続領域の2つの領域に分割される。

Fig. 2.1 は BWR の Mark-I 型格納容器を例にとっての体系モデル化例である。コンパートメント1は原子炉キャビティ、コンパートメント2はドライウェル、コンパートメント3はウェットウェル(サプレッション・プール)を表わしており、また、ジャンクション2,3はダウンカマー(ベント管)を表わしている。また、Fig. 2.2 は PWR ドライ格納容器の体系モデル化例である。

各コンパートメントの内部には、発熱体、吸熱体、他のシステムとの質量の出入口などを考える。たとえば、ドライウェル内では、ファン・クーラーや格納容器壁が吸熱体として存在しており、一次冷却系の破断口や格納容器スプレー・ノズル等が質量流入口として存在しており、これらがドライウェル内の気相・液相と質量や熱量のやりとりを行う。THALES-CV1では、これらの質量や熱量の移送量を、各時間ステップの最初に、その時の系の状態の関数として計算する。そして、このような質量や熱量は、発熱・吸熱体の高さとその時点での水位とを考慮して、コンパートメント内の2つの領域に配分される。なお、THALES-CV1では、プローダウン流量を入力データで与えているが、これは将来 THALES-P の計算結果を用いる予定である。

このようにして、各領域に対する質量・熱量の付加量(流出は負の付加量があると考える)が与えられると、質量や熱量が増大した領域は拡大しようとして、質量や熱量が減少した領域は縮小しようとする。系全体として体積が増大しようとすれば系の圧力が上昇して体積を一定に保ち、系全体として体積が減少しようとすれば系の圧力が低下して体積を一定に保つ。THALES-CV1 は、格納容器内で圧力一様を仮定し、各領域内で熱平衡を仮定して、各時間ごとに格納容器圧力を計算する。そして、体積が増大しようとする領域から体積の縮小しようとする領域へは、ジャンクションを通じて流体が移動する。

THALES-CV1 では、ジャンクションは体積を持たず、両端の高さだけを有すると仮定している。ジャンクションを流れる流体は、その上流の端が属する領域の流体である。即ち、ジャンクションの上流の端がその時点の水位より上にあればジャンクション流れは気相連続流とな

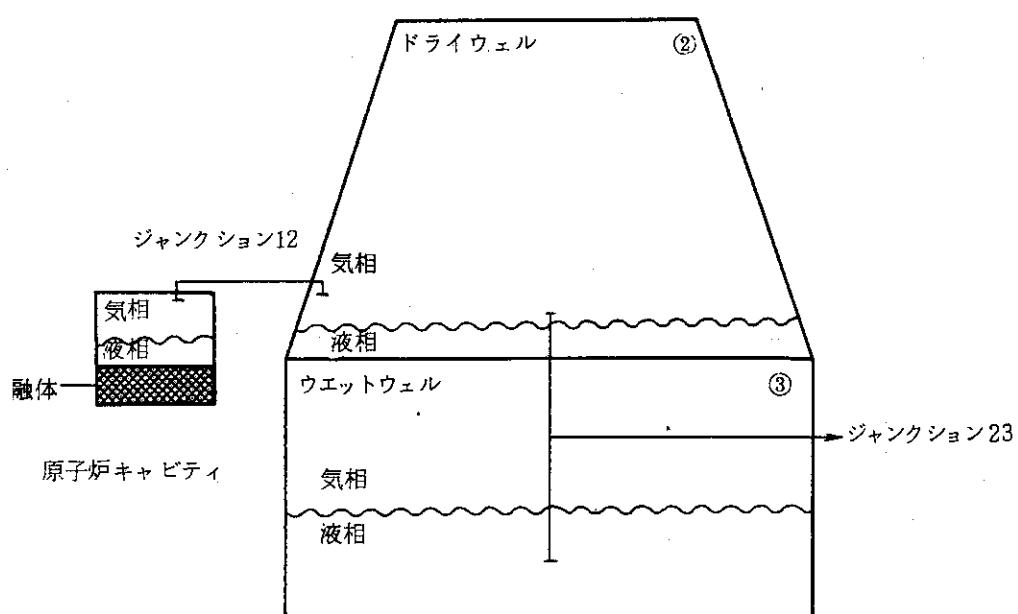


Fig. 2.1 BWR の MARK-II 型格納容器のモデル体系例

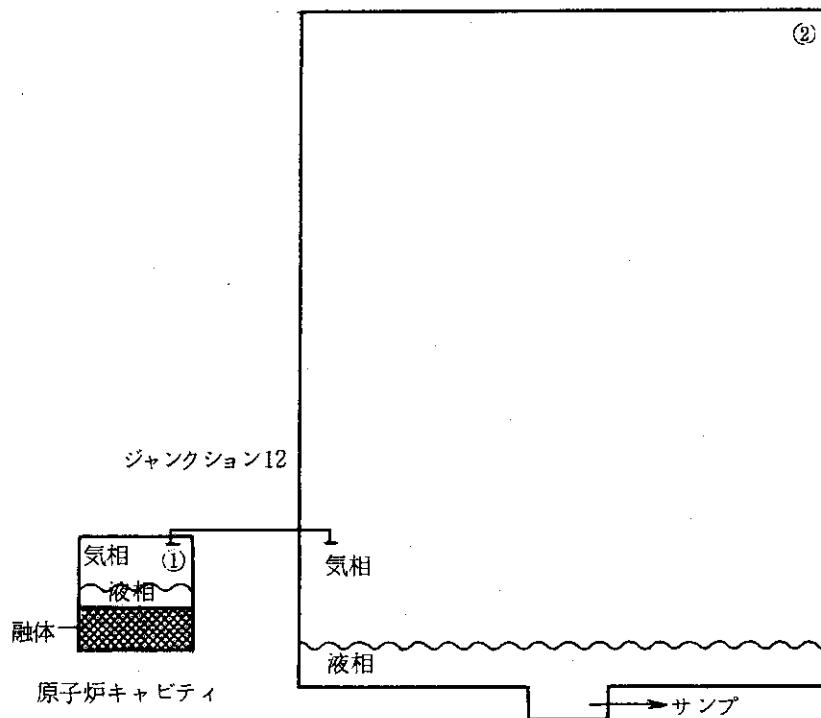


Fig. 2.2 PWR の格納容器のモデル体系例（アイス・コンデンサなし）

り、逆の場合には液相連続流となる。

Fig. 2.1 を例にとれば、今ドライウェルへの一次系からのブローダウン流だけがある場合を考えると、ドライウェル内流体の体積は質量の付加により増大しようとし、ウェットウェル内の体積は圧力上昇によって縮小しようとする。このため、ドライウェルからウェットウェルへ流れが生じる。この流れは、ジャンクション(この場合ベント管)の上端がドライウェル内水位より上であれば、気相連続流が流れ、そうでなければ液相連続流が流れる。

ジャンクションを通過した流体は、原則としてジャンクション下端が属する領域に付加される。これは、コンパートメント間ジャンクションを流れる流れだけでなく、系外からの質量流入についても同様である。(各流入口の高さを入力で与える。)ただし、系外からの流入に関しては、それぞれの流れの特徴を考慮した取り扱いがなされる。たとえば、格納容器スプレーがドライウェルに降る場合には、スプレー水滴はまず気相連続領域と熱交換し、落下中の蒸発があれば蒸発量は気相領域に加え、蒸発せずに残った水滴は液相連続領域に加えるといった操作がなされる。

このようなジャンクション流を考慮した結果、液相連続領域中に気相が、また、気相連続領域中に液相が、存在することがある。これらの気相・液相は、気液分離モデルにより、それぞれ気相連続領域、液相連続領域へと移行する。THALES-CV1では、液相連続領域中の気相の離脱は気泡離脱速度一定と仮定して計算され、また、気相連続領域中の液相は直ちに落下して液相領域に加えられる。

以上のような計算を行うと、時間ステップの最後の値として、それぞれの領域の体積が計算される。この体積から水位が計算され、水位は次の時間ステップのジャンクション流を決めるのに用いられる。

2.2 計算手順の概略

THALES-CV1の計算手順の概略は、Fig. 2.3 に示すとおりである。また、その構成をMARCHコードと対比すると Fig. 2.4 のようになる。図に示されるように、THALES-CV1は6個の主要サブルーチンによって構成されている。計算順序に従って各サブルーチンの機能を説明すると次のようになる。

- (1) INPUT : 入力データを読み込み、初期状態を設定する。入力データの種類とフォーマットは4章で説明する。主要入力データと初期状態設定法については3.1節で説明する。これにより、初期状態における系の圧力 P 、各領域の質量 M_n 、熱量 Q_n 、体積 V_n 等が与えられる。(nは領域の番号で、nの最大数Nはコンパートメントの数×2になる。)
- (2)から(6)までの手順は、各時間ステップで繰り返される。)
- (2) CONTQM : 格納容器内各領域の時間ステップ内の質量・熱量の出入量 ΔM_n , ΔQ_n を計算する。この計算にどのような項目が考慮されているかは、2.3節で紹介する。各項目についての計算モデルは3.2節で説明する。CONTQMにより、各領域の質量及び熱量が次のように変えられる。

$$M'_n = M_n + \Delta M_n$$

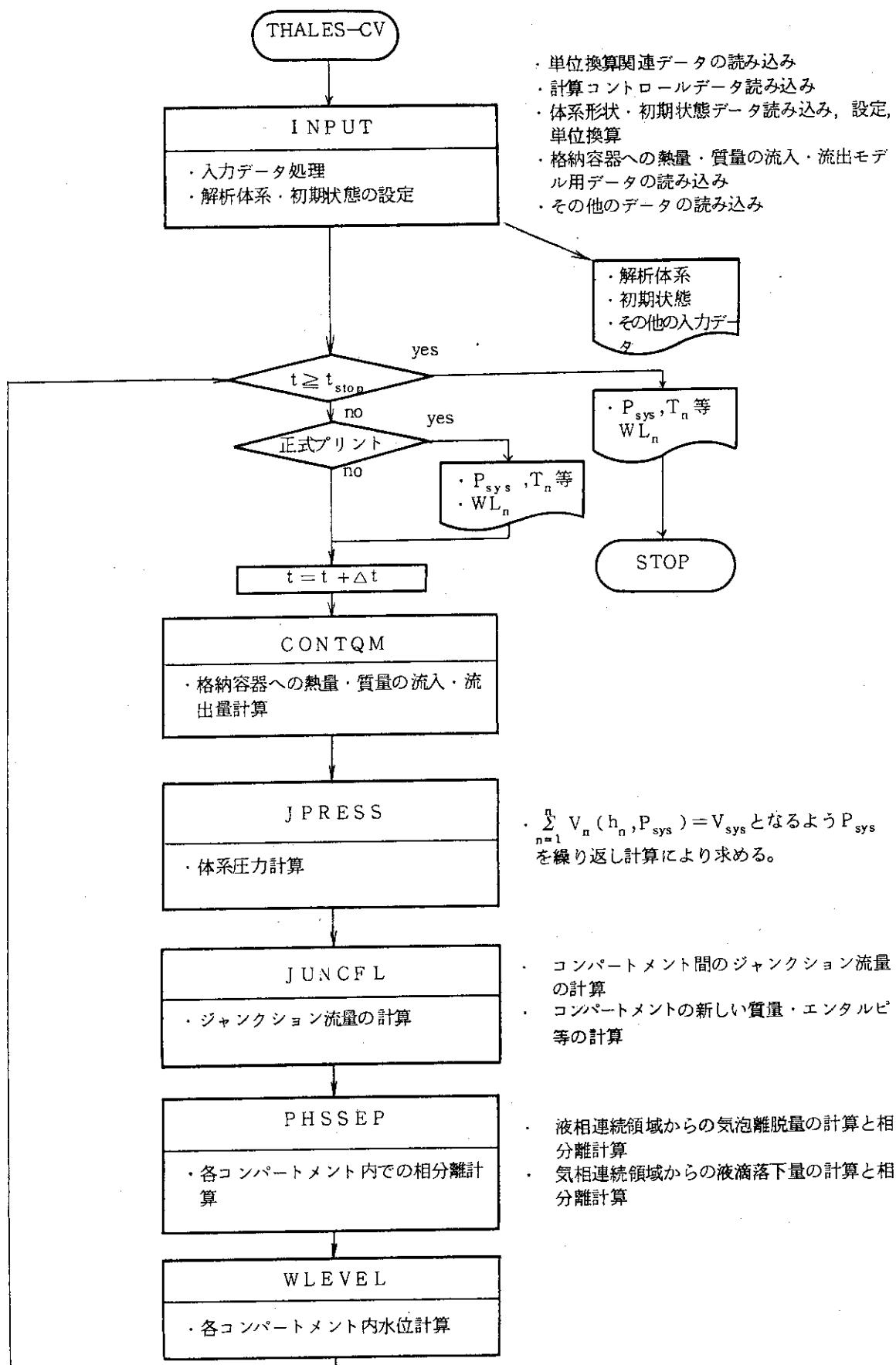


Fig. 2.3 計算手順の概略

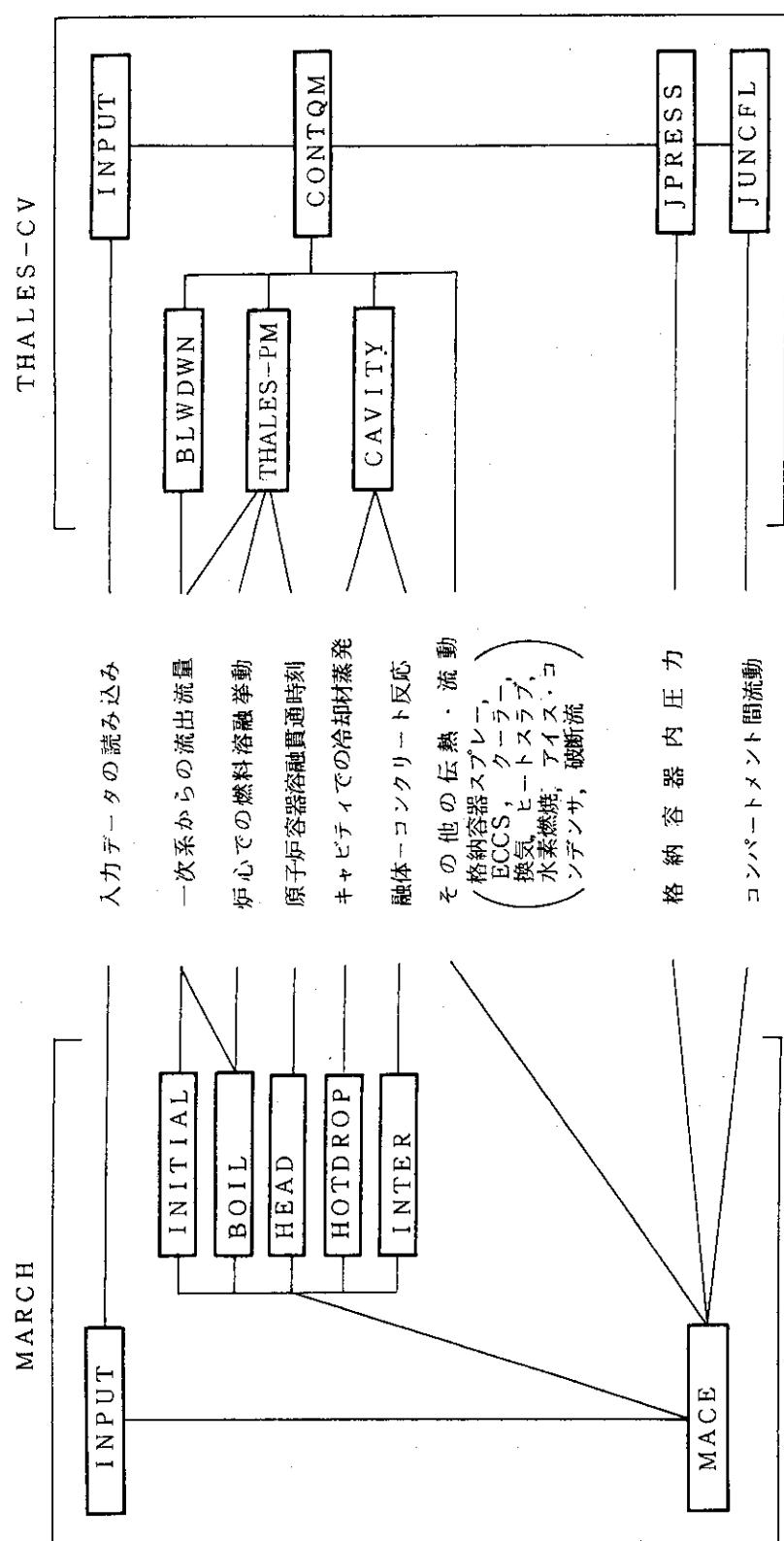


Fig. 2.4 MARCHとTHALESの比較

$$Q'n = Qn + \Delta Qn$$

- (3) JPRESS：格納容器圧力Pを計算する。系統圧Pは、Mn, Q'n, Pから計算される各領域の体積V'nの合計が、系の体積V_{SYS}に等しくなるよう、繰り返し計算によって求められる。即ち、

$$V_{SYS} = \sum_{n=1}^N V'n (M'n, Q'n, P)$$

系統圧計算法については3.3節で述べる。

- (4) JUNCFL：領域間ジャンクション流れを計算する。この流れは、ひとつのコンパートメントに属する気相連続領域と液相連続領域の体積の和がコンパートメントの体積に等しくなるように求められる。この時流れが気相連続流であるか液相連続流であるかは、ジャンクション入口高さと水位とを考慮して定められる。ジャンクション流量の計算法については3.4節で説明する。
- (5) PHSSEP：各コンパートメントで相分離を考慮する。液相連続領域からの気泡離脱量と、気相連続領域からの液滴落下量が計算される。計算法については3.5節で説明する。
- (6) WLEVEL：相分離終了後の各領域の体積から、各コンパートメントの水位を計算する。水位計算法は3.6節で説明する。

なお、この計算手順はPWRの一次系流動解析コードTHALES-Pとほとんど同じである。相違点は次のような点である。

- (i) THALES-Pが単成分流体(水)を取り扱うのに対し、THALES-CV1は多成分流体(窒素、酸素、水素、水、……)を扱う。このため、流体の物性値計算部分が異なる。
- (ii) THALES-CV1が考慮しなければならない発熱・吸熱体や質量出入の種類は、THALES-Pと全く異なっており、またその数も多い。
- (iii) THALES-Pは体系内にループを形成する流路を考えることができるが、THALES-CV1ではループは許されない。

2.3 THALES-CV1が扱う質量・熱量の流入及び流出項目

THALES-CV1が考慮する、格納容器自由空間と系外部の間の質量・熱量の出入項目は次のとおりである。()内はそれを計算するサブルーチン名を示している。これらのサブルーチンは、前節で紹介したサブルーチンCONTQMによって呼ばれる。各計算モデルについては3.2節で説明する。

A. ブローダウン(BLWDWN)

一次系破断口からの冷却材(水及び水蒸気、水素ガスも含む)の流入量を与える。

B. キャビティ(CAVITY)

融体が原子炉キャビティに落下した時の生成蒸気量、融体一コンクリート反応により生成される蒸気及び非凝縮性ガスの量、融体から格納容器内構造物及び格納容器内気体に与えられる輻射熱量を計算する。

C. 格納容器スプレー(CSPRAY)

スプレー水の注入量、気相連続領域通過時の水滴-気相間熱伝達量と水滴の蒸発量、スプレー系再循環モード運転時の熱交換器による除熱量を計算する。

D. 非常用炉心冷却系 (ECCS)

圧力容器メルトスルー(融体のキャビティへの落下)後のECCS水注入量、ECCS再循環モード運転時の熱交換器による除熱量を計算する。

E. 格納容器クーラー (COOLER)

クーラーによる格納容器気相部の冷却量を計算する。

F. ベント (VENT)

コンパートメント気相領域間の強制換気量を与える。

G. スラブ (SLAB)

各液相領域・気相領域から格納容器壁及び格納容器内構造物への熱伝達量を計算する。

H. 可燃性気体燃焼 (H2 BURN)

可燃性気体燃焼時の気相成分変化と燃焼熱を計算する。

I. アイス・コンデンサ (ICECON)

アイス・コンデンサによる除熱量と氷の融解量を計算する。

J. リーク (BREACH)

格納容器破断口からのリーク流量を計算する。

なお、これら各サブルーチンはそれぞれモジュール化されており、今後必要に応じてより詳細な計算を行うモジュールを開発して差し替えていく予定である。

2.4 プログラムの標準化・モジュール化

THALES-CV1は、炉心溶融事故解析コード・システムTHALES開発の一環として作成されたものであるが、このTHALESコード・システムは、熱水力計算コードの標準化・モジュール化について、ひとつの指標を与えることを目標として開発されているコード・システムでもある。本報告書では、標準化構想自体については触れないが、本節でTHALESコード・システムの概要を紹介する。

Fig. 2.5は、THALESコード・システム及びその関連プログラムの関係を示すものである。図に示すように、THALESは、幾つかの計算コードと、それを支える多くのプログラム・ライブラリから成る。これらのプログラム・ライブラリは、いずれも、モジュール化されたプログラムの集合体である。各プログラムは任意の単位系で使用可能である。各計算コードは、これらの各ライブラリから必要なモジュール・プログラムを抜き出して使用する形式になっている。各ライブラリの概要は次の通りである。

- (1) 定常の保存方程式を解くプログラム・ライブラリ。BWRとPWRの定常熱水力解析コードSPL-HYDROのために開発された。
- (2) 非定常の保存方程式を解くプログラム・ライブラリ。THALES各コードが共通して利用するために開発された。
- (3) PROPMG：蒸気物性値計算のためのプログラム・ライブラリ。非凝縮性ガスと蒸気の混合気体も取り扱い可能。また、独立変数の選び方も種々の選択法が可能になっている。

- (4) PROPM : 材料物性値計算のためのプログラム・ライブラリ。
- (5) FLOWCOR : 二相流動相関式(ボイド率, 摩擦損失, 臨界流等)のプログラム・ライブラリ。
- (6) HEATCOR : 伝熱相関式(熱伝達率, 限界熱流束等)のプログラム・ライブラリ。
- (7) SPL-PLOT, SPL-EDIT : 過渡計算結果のプロッター出力用プログラム・ライブ
ラリ。^[11]
- (8) UCL2 : 単位換算計算プログラム・ライブラリ^[10]

(4)～(6)のプログラム・ライブラリは、今後必要が生じたものから作成していく予定である。UCL2の助けにより、SPL-HYDRO及びTHALESの各コードは、計算コードの使用する単位系を任意に選択することができ、従って、計算結果をユーザーの最もわかりやすい単位系で見ることができる。更に、入力データは、すべて任意単位で与えることができるようになっている。

計算 コード
プログラム・ライブライ

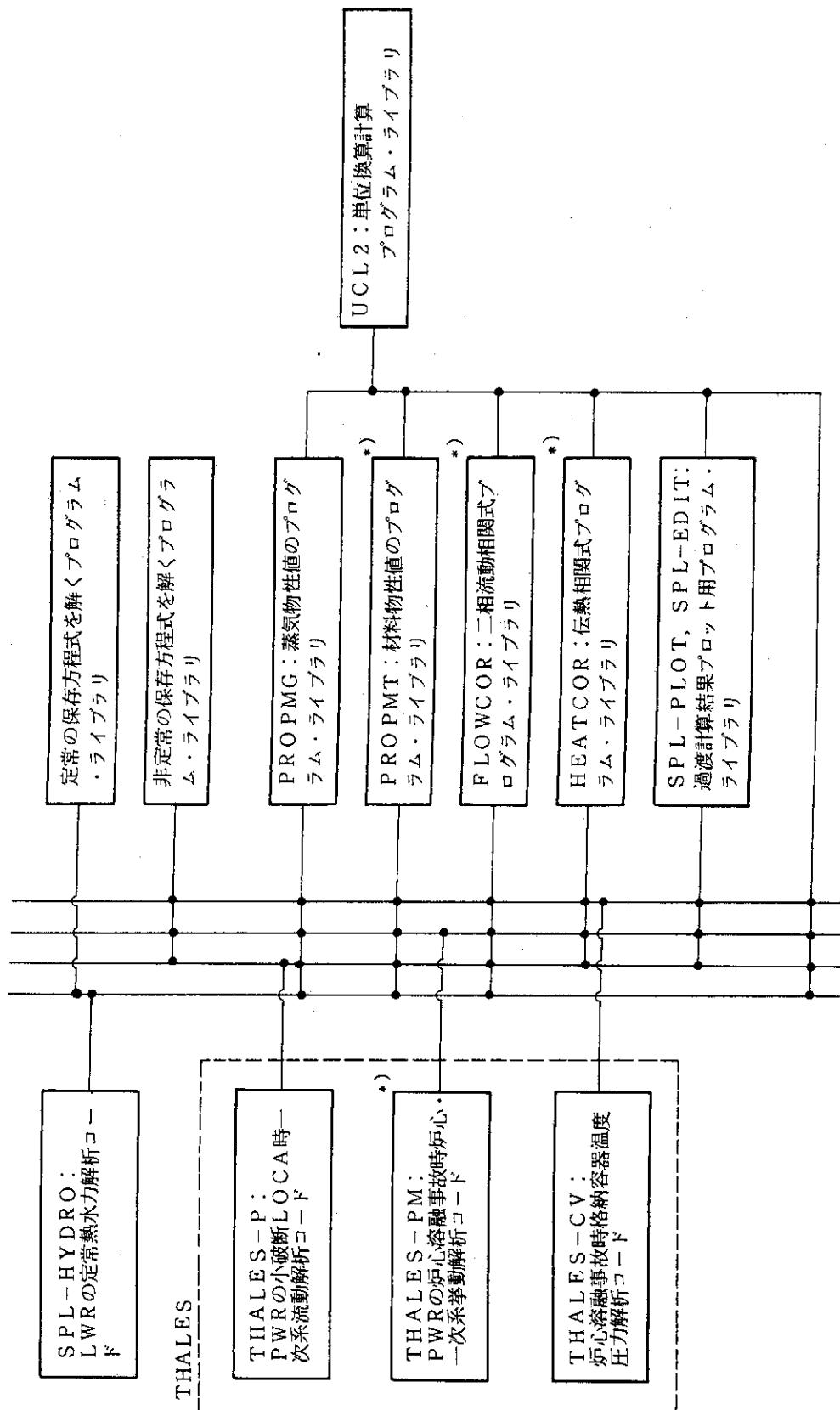


Fig. 2.5 THALES コード・システムと関連プログラム・ライブライ
*)印は第1次版未開発のもの

2.5 THALES-CV1のモジュール構造

THALES-CV1のモジュール構造は Fig. 2.6 に示すとおりである。

Fig. 2.6(a) メイン部モジュール構造図

MAIN

<u>INPUT</u>	「入力部モジュール構造図」(Fig. 2.6(b))参照、入力、初期値
<u>IFPRNT</u>	チェックライトフラグ読み込み
<u>OUTPUT</u>	正式プラント
<u>CONTQM</u>	「モデル計算部モジュール構造図」(Fig. 2.6(c))参照 格納容器への／からの質量・熱量流入流出
<u>JPRESS</u>	体系圧力
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>JPROMG</u>	混合気体物性値
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>JNCGAS</u>	非凝縮性ガス物性値
<u>STEAMU</u>	
<u>STEAM</u>	蒸気表
<u>JPROPQ</u>	圧力、領域の総熱量→領域の温度、体積
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>WNODE</u>	データの L P 出力
<u>WNODEG</u>	"
<u>JUNCFL</u>	ジャンクションフロー
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>JJUNC</u>	1 本のジャンクションフロー
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>JHOMFL</u>	体積、質量、エネルギーの更新

I F P R N T (U C L 2)

<u>PCAL</u>	比エンタルピ、比容積、ボイド率
<u>MOLCAL</u>	モル数、モル比
<u>GPCAL</u>	ガスの比エンタルピ、比容積、体積
<u>WNODE</u>	データのL P出力
<u>WNODEG</u>	"

PHSSEP 相 分 離

<u>I F P R N T (U C L 2)</u>	
<u>BUBSEP</u>	離脱気泡質量

<u>J SEP</u>	体積、質量、エネルギーの更新
<u>I F P R N T (U C L 2)</u>	

<u>PCAL</u>
<u>MOLCAL</u>
<u>GPCAL</u>
<u>WNODE</u>
<u>WNODEG</u>

WLEVEL 水位 レベル

<u>I F P R N T (U C L 2)</u>	
<u>YINTER</u>	補 間

入力部モジュール構造図

<u>INPUT</u>		
<u>AUTREG</u>	(UCL2)	コントロールルーチン
<u>AUTSYS</u>	(")	次元と単位の自動登録
<u>UCFCT</u>	(")	単位系の自動登録
<u>UCONB, UCONT</u>	(")	単位換算用データ読み込み
<u>PRNCON</u>	(")	単位変換係数の計算
<u>TSAT</u>		チェックライトフラグ登録
<u>STEAMU</u>		蒸気表ルーチン
<u>YINTER</u>	<u>STEAM</u>	"
<u>GETDT</u>		補間ルーチン
<u>GETDT2</u>		入力データの読み込み
<u>WDATA</u>		"
<u>WDTP2</u>		入力データのLP出力
<u>WDTP3</u>		"
<u>INMODL</u>		モデルデータの読み込み
	<u>GETDT</u>	入力データの読み込み
	<u>UCONB, UCONT (UCL2)</u>	単位変換係数の計算
	<u>WDTP2</u>	入力データのLP出力
	<u>WDTP3</u>	"
<u>WNODE</u>		データのLP出力
<u>WNODEG</u>		"
<u>IFPRNT</u>	(UCL2)	チェックライトフラグ読み込み

モデル計算部モジュール構造図

<u>CONTQM</u>		
	<u>IFPRNT</u>	コントロールルーチン チェックライトフラグ読み込み
	<u>BLWDWN</u>	
	<u>IFPRNT</u>	チェックライトフラグ読み込み
	<u>DMPTBL</u>	テーブルのダンプ出力
	<u>WERROR</u>	エラーメッセージ出力
	<u>PINTER</u>	一次補間ルーチン
	<u>UCONB</u>	単位変換係数の計算
	<u>STEAM</u>	蒸気表ルーチン
	<u>PROPP</u>	水, 蒸気物性値
	<u>PROPHX</u>	"
	<u>WTMSAG</u>	メッセージ出力
<u>CAVITY</u>		
	<u>IFPRNT</u>	
	<u>RAD</u>	輻射熱(コンクリート)
	<u>REACT</u>	全属一ガス化学反応
	<u>RADBB</u>	輻射熱(融体)
	<u>CONV</u>	融体一水伝熱
	<u>MLTNEW</u>	融体, 質量, 熱量, 温度更新
	<u>STEAMU</u>	蒸気表
	<u>STEAM</u>	

CSPRAY

<u>I F P R N T</u>	チェックライトフラグ読み込み
<u>D M P T B L</u>	テーブルのダンプ出力
<u>W E R R O R</u>	エラーメッセージ出力
<u>L S W I C H</u>	作動論理ルーチン
<u>S P M O D E</u>	スプレーモードルーチン
<u>P R O P P</u>	
<u>P R O P H X</u>	
<u>U C O N B</u> (U C L 2)	単位変換係数の計算
<u>S T E A M U</u>	蒸気表ルーチン
<u>T S A T</u>	"
<u>W T M S A G</u>	メッセージ出力

ECCS

<u>I F P R N T</u> (U C L 2)	チェックライトフラグ読み込み
<u>D M P T B L</u>	テーブルのダンプ出力
<u>P E R R O R</u>	エラーメッセージの出力
<u>L S W I C H</u>	作動論理ルーチン
<u>S P M O D E</u>	スプレーモードルーチン
<u>W T M S A G</u>	メッセージ出力

COOLER

<u>I F P R N T</u> (U C L 2)	チェックライトフラグの読み込み
<u>D M P T B L</u>	テーブルのダンプ出力
<u>W E R R O R</u>	エラーメッセージの出力
<u>L S W I C H</u>	作動論理ルーチン
<u>W T M S A G</u>	メッセージ出力

VENT

<u>IFPRNT</u>	(UCL2)	チェックライトフラグの読み込み
<u>DMPTBL</u>		テーブルのダンプ出力
<u>WERROR</u>		エラーメッセージの出力
<u>WTMSAG</u>		メッセージ出力
<u>L SWITCH</u>		作動論理ルーチン

SLAB

<u>IFPRNT</u>	(UCL2)	チェックライトフラグの読み込み
<u>DMPTBL</u>		テーブルのダンプ出力
<u>WTMSAG</u>		メッセージ出力
<u>WERROR</u>		エラーメッセージの出力
<u>SLABGL</u>		スラブへの伝熱量

H2BURN

<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
---------------	----------

ICECON

<u>IFPRNT</u>	(UCL2)
<u>UCONT</u>	(UCL2)
<u>STEAMU</u>	蒸 気 表
<u>STEAM</u>	"

BREACH

<u>IFPRNT</u>	(UCL2)	チェックライトフラグの読み込み
<u>DMPTBL</u>		テーブルのダンプ出力
<u>UCONB</u>	(UCL2)	単位変換係数の計算
<u>ORIFLW</u>		オリフィス流の計算
<u>CRIFLW</u>		臨界流の計算

<u>WTMSAG</u>	メッセージ出力
<u>ATOMOS</u>	大気流入
CHECK	
PCAL	
MOLCAL	
GPCAL	
WNODE	
WNO DEG	

2.6 計算に必要な記憶領域と計算時間

THALES-CV1はFORTRAN-IVで書かれており、原研のM200 計算機で使用可能である。実行時に必要な記憶領域の広さは476KB、実行時に必要なCPU時間は、5章に示すPWR、BWRのサンプル計算についてそれぞれ次のとおりである。

PWRサンプル計算

コンパートメント数	2
時間ステップ幅	30秒
物理時間	1000分(約17時間)
計算時間(CPU)	1分44秒

BWRサンプル計算

コンパートメント数	3
時間ステップ幅	30秒
物理時間	1000分(約17時間)
計算時間(CPU)	3分05秒

いづれのケースも、計算に必要なCPU時間は数分程度と短い。従って、THALES-CV1は、非常に多くのケースの計算を行うことが必要なリスク解析においても十分使用可能である。

3. THALES-CV1 コードの計算モデル

この章では、THALES-CV1の計算モデルについて説明する。THALES-CV1は、一部分を除いて、ユーザーが入力で指定した単位系でモデル計算を行う。以下のモデル説明中、単位を付記しない部分については、ユーザーが指定した単位系で計算が行われる。

3.1 主要な入力データと初期状態の設定 (INPUT)

THALES-CV1の主要な入力データは次のとおりである。

(1) タイトル及び制御パラメータ

タイトル、時間ステップ幅、出力間隔、チェック・ライト制御パラメータ等。

(2) 体系の形状及び初期状態

系の初期圧力、コンパートメント数、各コンパートメントの形状、ジャンクション数、各ジャンクションの両端高さ、各コンパートメント内の初期水位、初期成分、初期温度等。

(3) 体系外との質量・熱量出入計算用データ

- A. ブローダウン・データ
- B. キャビティ・データ
- C. 格納容器スプレー・データ
- D. 非常用炉心冷却系データ
- E. 格納容器クーラー・データ
- F. ベント・データ
- G. スラブ・データ
- H. 可燃性ガス燃焼データ
- I. アイス・コンデンサ・データ
- J. リーク・データ

各項目についてどのようなデータが必要かは、3.2節と4章で説明する。

(4) RWTデータ

ECCSと格納容器スプレーのモードが、注入モードから再循環モードに変わるとの時刻を計算するための、RWTの断面積、水位等。

THALES-CV1の計算体系

THALES-CV1では、格納容器内自由空間全体を、Fig. 3.1 に示すような一続きのコンパートメント群で表現し、各コンパートメント間はジャンクションで結ぶ。コンパートメントの最大数は5であり、従ってジャンクションの最大数は4である。

各コンパートメントは、Fig. 3.2 に示すように、垂直方向に幾つかのセグメントに分割し、セグメントごとに水平断面積を入力できるようになっており、液相連続領域の体積が判ると、

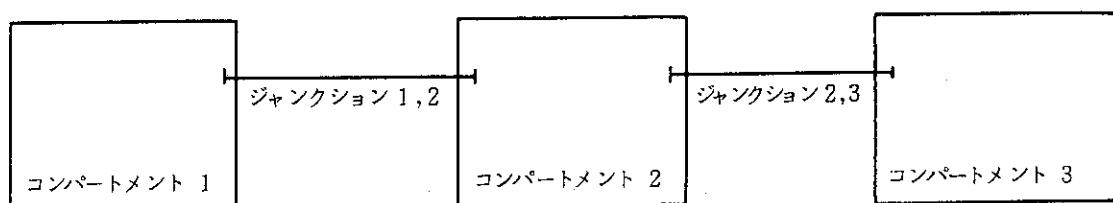


Fig. 3.1 システムのコンパートメント分割例

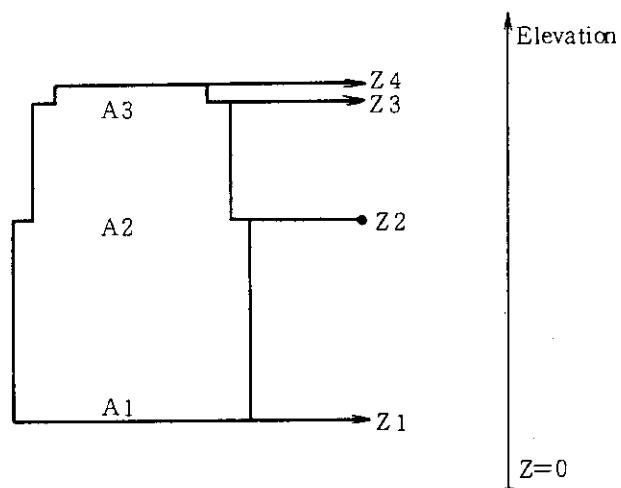


Fig. 3.2 コンパートメント形状入力例

水平断面積の軸方向変化を考慮した水位が模擬できる。

ジャンクションは体積を持たず、両端の高さだけが与えられる。

体系外との質量・熱量出入計算に必要な体系形状データは、それぞれの項目（A～J）ごとに入力される。これらのデータは、それが属するコンパートメントの番号と、コンパートメントと接続する高さ（例えば、ブローダウンの場合は破断口高さ、スラブの場合には各スラブの上端・下端高さ）を含むものである。

初期状態の設定

各コンパートメントの初期状態を設定するためのデータとして、体系の初期圧力 P_{sys} 、液相温度 $T_{l,n}$ 、気相温度 $T_{g,n}$ 、水位 $Z_{wl,n}$ 、気相の各ガス成分のモル比 $R_{molg,n,i}$ を入力で与える。これらのパラメータの値をもとにして、次の様な手順で、各コンパートメントの初期状態を決定する。なお、初期状態では、液相中の気泡及び気相中の液滴は存在しないものと仮定している。

(1) 液相の初期値設定

- ・液相の比エンタルピ $h_{l,n}$ 、比体積 $v_{l,n}$ の計算… P_{sys} 、 $T_{l,n}$ より、蒸気表（STEAM）を用いて $h_{l,n}$ 、 $v_{l,n}$ を求める。
- ・液相の体積 $V_{l,n}$ 、質量 $M_{l,n}$ 、エンタルピ $Q_{l,n}$ の計算…体系形状データと水位 $Z_{wl,n}$ から、 $V_{l,n}$ を求め、さらに、 $M_{l,n}$ 、 $Q_{l,n}$ を求める。

$$M_{l,n} = V_{l,n} / v_{l,n} \quad (3.1.1)$$

$$Q_{l,n} = M_{l,n} \cdot h_{l,n} \quad (3.1.2)$$

(2) 気相の初期値設定

- ・気相の各ガス成分の比エンタルピ $h_{g,n,i}$ の計算…蒸気については、 $T_{g,n}$ より、蒸気表から飽和蒸気の比エンタルピを求め、それを $h_{g,n,s}$ とする。ただし、原則として、初期状態では蒸気成分なしと入力するものとする。その他のガス成分については、各ガス成分の定圧比熱に気相温度を乗じて求める。

$$h_{g,n,i} = c_{pg,i} \cdot T_{g,n} \quad (3.1.3)$$

- ・気相の各ガス成分の体積 $V_{g,n,i}$ 、比体積 $v_{g,n,i}$ 、モル数 $M_{molg,n,i}$ 、質量 $M_{g,n,i}$ 、エンタルピ $Q_{g,n,i}$ の計算…気相体積は、 $V_{g,n} = V_{sys,n} - V_{l,n}$

V_{sys} : コンパートメント n の体積

各ガス成分を理想気体と仮定し、理想気体の状態方程式を用いると、気相ガス成分の全モル数は、

$$N_{tot,g,n} = (P_{sys} \cdot V_{g,n}) / (R \cdot T_{g,n}) \quad (3.1.5)$$

R : 気体定数

$$V_{g,n,i} = V_{g,n} \cdot R_{molg,n,i} \quad (3.1.6)$$

(注) 現行の圧力計算モデルでは、蒸気分圧の項を無視している。すなわち、気相温度がその時点の圧力における飽和温度より低いときには、蒸気成分は零となる。従って、初期状態での蒸気成分に零でない値を入力すると、最初の時間ステップで蒸気成分がすべて凝縮し、余った潜熱で気相温度が急上昇してしまうことになる。

$$M_{\text{olg},n,i} = N_{\text{tot},g,n} \cdot R_{\text{molg},n,i} \quad (3.1.7)$$

$$M_{g,n,i} = M_{\text{olg},n,i} \cdot MW_i \quad (3.1.8)$$

MW_i : ガス成分 i の分子量

$$Q_{g,n,i} = M_{g,n,i} \cdot h_{g,n,i} \quad (3.1.9)$$

$$v_{g,n,i} = V_{g,n,i} / M_{g,n,i} \quad (3.1.10)$$

3.2 質量・熱量の流入及び流出量計算モデル (CONTQM)

THALES-CV1は、各時間ステップごとに、2.3節で示した10項目の質量・熱量の流入及び流出量を計算し、それぞれ適当な領域に付加する。これら各モデルの内容を以下のA～Jで説明する。また、このうち、格納容器スプレー、ECCS、クーラー、ベントの、4つの動的機器については、その作動論理をKで説明する。さらに、格納容器とECCSについては、RWST（燃料取替用水貯蔵タンク）の水位低によって、注入モードから再循環モードに切り替るので、RWSTの水位計算モデルと再循環モード運転時熱交換器除熱モデルについて、Lで説明する。

A. 一次系破断口からの冷却材流入モデル BLWDWN

（機能） 一次系破断口から、入力で指定する特定のコンパートメントへ流出する冷却材（水もしくは水蒸気及び水素ガス）の流出量およびその比エンタルピを計算する。なお、逃し安全弁を通しての冷却材の放出も、逃し安全弁を破断口とみなして、BLWDWNモデルで取扱う。

（モデルの記述） 次の各項を時間依存テーブルで入力し、内挿計算によって各時刻における値を計算する。この部分に関しては、将来、ブローダウン・データを入力で与える方式と、THALES-Pの計算結果を用いる方式を併用する予定である。

・時間	$T_{BD,in}$
・水もしくは水蒸気の流出量	$W_{BD,in}$
・水もしくは水蒸気の比エンタルピ	$h_{BD,in}$
・水素ガスの流出量	$W_{BDH_2,in}$

水もしくは水蒸気の流出時温度は、その時点の格納容器圧力と水もしくは水蒸気の比エンタルピから、蒸気表を用いて計算する。また、水素ガスの流出時温度は、水もしくは水蒸気の流出時温度と等しいと仮定する。一次系破断口は、入力で指定する特定（1つ）のコンパートメントに属するとし、一次系破断口の高さ Z_{BD} が入力で与えられる。 Z_{BD} と水位レベル Z_{WL} との比較において、

① $Z_{BD} \geq Z_{WL}$ のとき ブローダウン水は入力で指定したコンパートメントの液相へ、水蒸気および水素は入力で指定したコンパートメントの気相へ加えられると仮定する。

② $Z_{BD} < Z_{WL}$ のとき ブローダウン水および水蒸気、水素は入力で指定したコンパートメントの液相へ加えられると仮定する。

流出する冷却水のうち、水蒸気になるものと水のままであるものとの割合は次のようにして求める。

$$X = (h_{H_2O} - h_{sat,l}) / (h_{sat,g} - h_{sat,l}) \quad (A.1)$$

X : クオリティ

h_{H_2O} : ブロウダウン二相流体の比エンタルピ ($h_{BD,in}$ から内挿によって求めたその時刻の値)

$h_{sat,g}$: 飽和水蒸気の比エンタルピ

$h_{sat,l}$: 飽和水の比エンタルピ

ブローダウン水蒸気質量 = (Δt 間に流出する二相流体の質量) • (X)

(A.2)

ブローダウン水質量 = (Δt 間に流出する二相流体の質量) • (1 - X)

(A.3)

BLWDWNモデルで計算されるのは、次の諸量である。

Δm_{H_2O} : ブローダウンによる水の質量増加

Δm_s : " 水蒸気 "

Δm_{H_2} : " 水素 "

Δq_{H_2O} : ブローダウンによる水のエンタルピ増加

Δq_s : " 水蒸気 "

Δq_{H_2} : " 水素 "

B. 融体落下時の原子炉キャビティ挙動モデル—CAVITY

(機能)

融体が原子炉キャビティに落下した後、各時間ステップ毎に融体の状態量（質量、熱容量、温度）の更新と、キャビティ内の気相または液相に流入する質量及び熱量の計算を行う。

(モデルの記述)

THALES-CV1では、格納容器を構成するコンパートメントのひとつを原子炉キャビティと指定し、そのコンパートメントの気相領域、液相領域に対しては、炉心融体落下後、融体からの伝熱や融体—コンクリート反応による生成ガスの付加等を考える。THALES-CV1では、融体が原子炉キャビティに落下する時刻と、その時の融体の質量、組成、温度等は、すべて入力データで与えられるが、これらの値は将来THALES-PMコード等によって計算される予定である。

2.1節で述べたように、THALES-CV1は格納容器内の自由空間全体の温度・圧力挙動を解析するものであり、3.2節のCONTQMの各モデルはそれに対する境界条件（各領域に対する質量・熱量の付加量）を与えることを目的としている。従て、キャビティ・モデルでは、融体やコンクリートは系の外にあると考え、そこから系内の2つの領域（キャビティ・コンパートメントに属する気相連続領域と液相連続領域）に流れ込む質量及び熱量を計算することがモデルの目的である。

キャビティ・モデルの計算体系は、Fig. 3.3(a)及びFig. 3.3(b)に示すとおりである。Fig. 3.3.(a)は、キャビティ内に水が残っている場合を表わしており、この場合融体からの伝熱や融体一

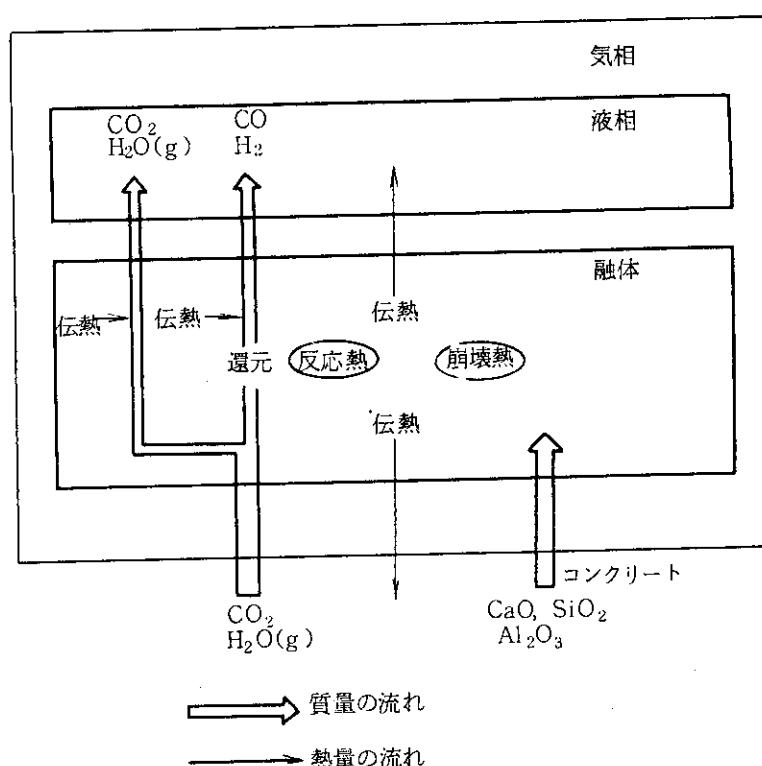


Fig. 3.3(a) CAVITY のモデル体系 (水がある場合)

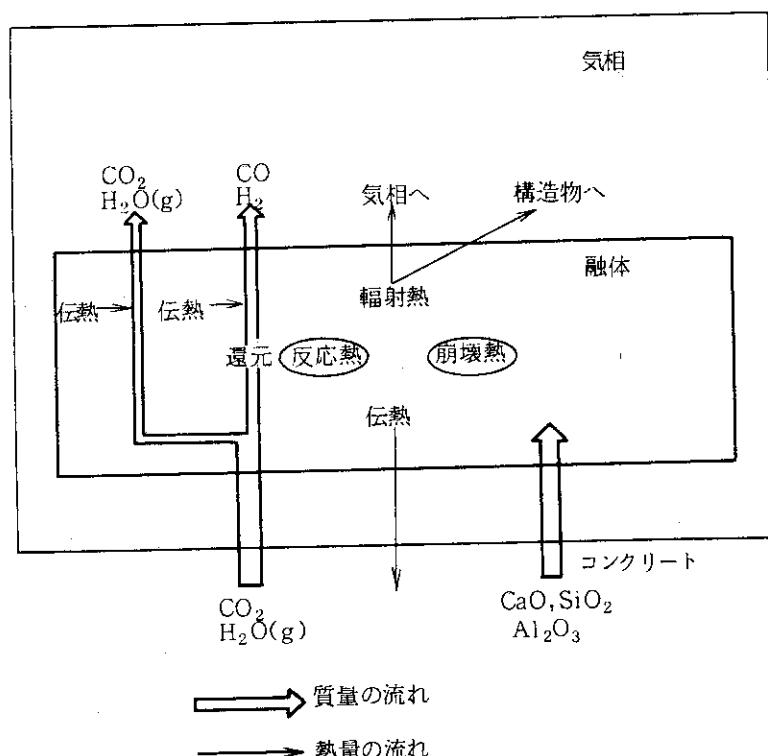


Fig. 3.3(b) CAVITY のモデル体系 (水がない場合)

コンクリート反応による生成ガスの付加等はすべて液相連続領域に対してなされる。液相連続領域から気相連続領域への生成ガスの離脱は、3.5節の相分離計算モデルによって評価される。一方、Fig. 3.3.(b)はキャビティ内に水が残っていない場合を表わしており、この場合は伝熱や生成ガスの付加等は気相連続領域に対してなされる。

キャビティ・モデルが考慮するのは以下のような項目である。

a. 融体内部での発熱

- 核分裂生成物(FP)の崩壊熱
- コンクリート分解ガスと融体中金属の化学反応熱

b. 各部間の伝熱

- 融体からコンクリートへの伝熱
- 融体から液相への伝熱(水があるとき)
- 融体から気相への伝熱(水がないとき)
- 融体から構造物への輻射(水がないとき)
- 融体から融体を通過するガスへの伝熱

c. 各部間の質量の移行

- コンクリート分解生成物(ガス以外)の融体への移行
- コンクリート分解生成物(ガス)の液相または気相への移行

以上の各項目に対する計算モデルは、いずれも極めて単純なものである。例えば、融体温度は1点であり、コンクリートの分解速度は擬定常の伝熱を仮定して計算され、また、コンクリート分解後のキャビティの形状変化については考慮していない。これらの各モデルは、今後の感度解析計算等により、重要性の判明したものに対しては、より詳細なモデルを開発して置き換えていく予定である。

キャビティ・モデルの概略の流れ図はFig. 3.4に示すとおりである。図に示すように、キャビティ・モデルは以下のようないくつかの計算ステップから成っている。

- (1) 初期状態の設定(最初だけ)
- (2) 融体からコンクリートへの伝熱量の計算
- (3) コンクリートの分解量の計算
- (4) 生成ガスと融体中金属との化学反応量及び化学反応熱の計算
- (5) 融体内のFP崩壊熱の計算
- (6) 融体から気相及び構造材への輻射伝熱量の計算(水がないとき)
- (7) 融体から液相への伝熱量の計算(水があるとき)
- (8) 融体の状態量の更新
- (9) 気相または液相に付加される質量・熱量の計算

以下、これら各項目について計算法を説明する。

(1) 初期状態の設定

入力値等をもとに、以下のデータを設定する。

- 融体の温度 T_M (初期値を入力で与える)
- 融体の各成分の質量 M_{Mi}

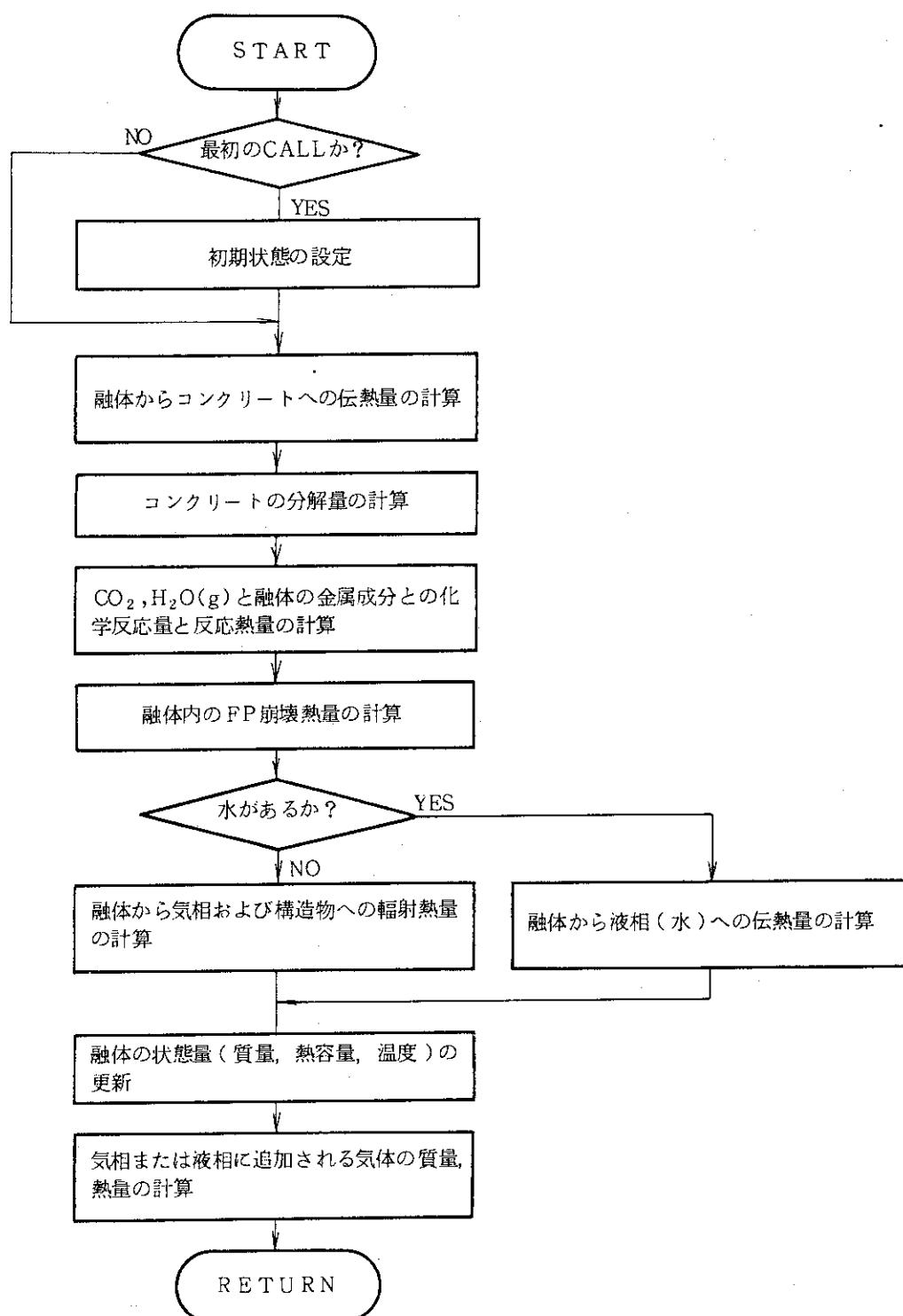


Fig. 3.4 CAVITY モデルの流れ図

$$M_{Mi} = M_M \cdot f_{Mi} \quad (B \cdot 1)$$

M_M : 融体の初期質量 (初期値を入力で与える)

f_{Mi} : 融体中に占める各成分の質量比 (初期値を入力で与える)

なお、融体の構成成分は下記の 12 種類とする。ただし、CaO, SiO₂, Al₂O₃ はコンクリートの分解によって融体中に取り込まれるものであるから、 $f_{MCaO} = f_{MSiO_2} = f_{MAI_2O_3} = 0$ と入力で指定する必要がある。

融体の成分…… Fe, Zr, Cr, Ni, UO₂, ZrO₂, FeO, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, NiO

- 融体の熱容量 (MC)_M

$$(MC)_M = \sum_i M_{Mi} \cdot C_{pi} \quad (B \cdot 2)$$

C_{pi} : 成分 i の比熱 (温度によらず一定として入力で与える)

- コンクリートが常温から分解するまでの比エンタルピ上昇 Δh_{DEC}

$$\Delta h_{DEC} = C_{PCONC} \cdot (T_{DEC} - T_{INT}) + h_{DEC} \quad (B \cdot 3)$$

C_{PCONC} : コンクリートの比熱

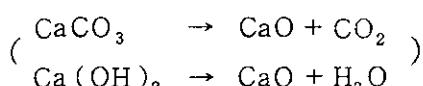
T_{DEC} : コンクリートの熱分解温度

T_{INT} : コンクリートの事故開始前の温度

h_{DEC} : コンクリートの分解に必要な比エンタルピ

C_{PCONC} , T_{DEC} , T_{INT} , h_{DEC} は入力値である。また、コンクリートの構成成分は下記の 5 種類とし、組成 (質量比) は入力で与える。

コンクリートの成分…… CaO, SiO₂, Al₂O₃, H₂O(ℓ), CO₂



- キャビティの断面積 A_{CAV} , 融体—コンクリートの接触面積 $A_{M,C}$, 融体—液相の接触面積 $A_{M,L}$

A_{CAV} を入力で与え、 $A_{M,C} = A_{M,L} = A_{CAV}$ とする。すなわち、コンクリートと融体の接触面積はキャビティ底面積に等しいと仮定する。

- 液相の質量 M_L および温度 T_L

原子炉キャビティと指定されたコンパートメントの初期値が使われる。

(2) 融体からコンクリートへの伝熱量の計算

融体からコンクリートへの伝熱機構として、擬定常の輻射および対流熱伝達を考え、伝熱量を次式で求める。

$$\Delta Q_{M,C} = A_{M,C} (q_{RAD} + q_{CONV}) \Delta t \quad (B \cdot 4)$$

$A_{M,C}$: 融体とコンクリートの接触面積

q_{RAD} : 輻射熱流束

q_{CONV} : 対流熱流束

Δt : 時間ステップ幅

輻射熱流束 q_{RAD} は、融体およびコンクリート表面を既知の輻射率を有する灰色体と仮定して、

次式で求める。

$$q_{RAD} = F \sigma_B (T_M^4 - T_{DEC}^4) \quad (B \cdot 5)$$

F : 輻射熱交換係数

σ_B : Stefan-Boltzman 定数

T_M : 融体表面温度 (融体温度は 1 点で近似)

T_{DEC} : コンクリート表面温度 (熱分解温度とする)

輻射熱交換係数 F は、無限平行平板に対する値を仮定する。

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_M} + \frac{1}{\epsilon_C} - 1} \quad (B \cdot 6)$$

ϵ_M : 融体表面の輻射率

ϵ_C : コンクリート表面の輻射率

対流熱流束 q_{CONV} は、次式で求める。

$$q_{CONV} = h_{MO} (T_M - T_{DEC}) \quad (B \cdot 7)$$

h_{MO} : 対流熱伝達係数

(3) コンクリートの分解量の計算

コンクリートの総分解量を次式で求める。

$$\Delta M_{DEC} = \Delta Q_{M,C} / \Delta h_{DEC} \quad (B \cdot 8)$$

分解生成物中の各成分の質量は次式で求める。

$$\Delta M_{CaO} = \Delta M_{DEC} \cdot f_{CaO} \quad (B \cdot 9)$$

$$\Delta M_{SiO_2} = \Delta M_{DEC} \cdot f_{SiO_2} \quad (B \cdot 10)$$

$$\Delta M_{Al_2O_3} = \Delta M_{DEC} \cdot f_{Al_2O_3} \quad (B \cdot 11)$$

$$\Delta M_{H_2O(g)} = \Delta M_{DEC} \cdot f_{H_2O(g)} \quad (B \cdot 12)$$

$$\Delta M_{CO_2} = \Delta M_{DEC} \cdot f_{CO_2} \quad (B \cdot 13)$$

f_i : コンクリート中に占める成分 i の割合 (質量比)

(4) 生成ガスと金属との化学反応量及び化学反応熱の計算

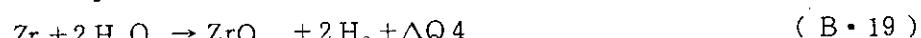
コンクリートの分解により生成したガス (CO_2 , $H_2O(g)$) のうち、入力で与える f_{CHEM} なる割合が融体中の金属成分と反応し、残りのガスは融体をバイパスし、化学反応には寄与しないものとする。この化学反応は、融体内に金属成分が存在する限り継続する。

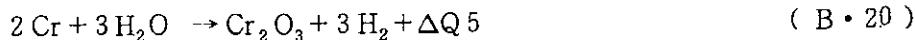
生成ガス-金属反応に用いられるガスの量は次のとおりとなる。

$$CO_2 : \Delta M_{CO_2} \cdot f_{CHEM} \quad (B \cdot 14)$$

$$H_2O(g) : \Delta M_{H_2O(g)} \cdot f_{CHEM} \quad (B \cdot 15)$$

金属の酸化反応として、下記の 5 種類の反応を考慮し、 CO_2 との反応を $H_2O(g)$ との反応より優先させる。また $H_2O(g)$ との反応は、比重の大きい金属から優先的に反応するものとする。以下に示す反応は、優先度の高い順に列記してある。





これらの化学反応による反応熱を次式で求める。この熱は融体に付加される。

$$\Delta Q_{\text{CHEM}} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5 \quad (\text{B} \cdot 21)$$

(5) 融体中のFP崩壊熱量の計算

FP崩壊熱は炉心内の全FPが融体中に存在する（すなわち、FPの炉心からの喪失は一切考えない）と仮定して、ANSの式で計算する。アクチニドの崩壊熱はSCORCH-B2の式で計算する。ただし、無限照射を仮定し、炉停止時刻は入力で与えるものとする。

崩壊熱量の増分 ΔQ_{FP} を次式で求める。

$$\Delta Q_{\text{FP}} = Q_{\text{FP}}(t) \cdot \Delta t \quad (\text{B} \cdot 22)$$

$Q_{\text{FP}}(t)$ は時刻tにおける崩壊熱レベルであり、次式で求める。

$$Q_{\text{FP}}(t) = Q_0 \cdot S^{\text{TRAN}}(t) \quad (\text{B} \cdot 23)$$

Q_0 ：運転時出力レベル

$S^{\text{TRAN}}(t)$ ：過渡時相対発熱量

$S^{\text{TRAN}}(t)$ は、FPの崩壊熱およびアクチニドの崩壊熱の2項目を考慮して、次式で求める。

$$S^{\text{TRAN}}(t) = S^{\text{FP}}(t) + S^{\text{ACT}}(t) \quad (\text{B} \cdot 24)$$

$S^{\text{FP}}(t)$ ：FP崩壊熱による相対発熱量

$S^{\text{ACT}}(t)$ ：アクチニド崩壊による相対発熱量

$S^{\text{FP}}(t)$ は次式で求める。

$$S^{\text{FP}}(t) = \alpha^{\text{FP}} \cdot A \cdot t^{-a} \quad (\text{B} \cdot 25)$$

α^{FP} ：FP崩壊熱の修正係数

A, a: SCORCH-B2での係数

time interval(sec)	A	a
$0 \leq t < 0.1$	0.0699	0
$0.1 \leq t < 7.76$	0.0603	0.0639
$7.76 \leq t < 153.7$	0.0766	0.1807
$153.7 \leq t < \infty$	0.1301	0.2834

$S^{\text{ACT}}(t)$ は次式で求まる。

$$S^{\text{ACT}}(t) = S^{\text{ACT}}(0) \cdot [0.512 e^{-4.91 \times 10^4 t} + 0.488] \quad (\text{B} \cdot 26)$$

$S^{\text{ACT}}(0)$ ：定常時のアクチニドの相対発熱量

(6) 融体から気相および構造物への輻射伝熱量の計算（水がないとき）

融体からの輻射伝熱量 ΔQ_{RAD} を次式で求める。

$$\Delta Q_{\text{RAD}} = \sigma_B \epsilon_M \cdot A_{\text{CAV}} T_M^4 \cdot \Delta t \quad (\text{B} \cdot 27)$$

輻射伝熱量のうち、入力で与える f_{MAT} なる割合が入力で指定する構造物に付加され、残りは気相に付加されるものとする。

$$\Delta Q_{\text{RAD} \cdot M} = \Delta Q_{\text{RAD}} \cdot f_{\text{MAT}}$$

$$\Delta Q_{\text{RAD} \cdot G} = \Delta Q_{\text{RAD}} (1 - f_{\text{MAT}}) \quad (\text{B} \cdot 28)$$

(7) 融体から液相への伝熱量の計算（水があるとき）

液相への伝熱量 $\Delta Q_{M,L}$ を次式で求める。

$$\Delta Q_{M,L} = A_{M,L} \cdot h_{M,L} (T_M - T_L) \cdot \Delta t \quad (B \cdot 29)$$

$h_{M,L}$: 融体一液相間の熱伝達係数

(8) 融体の状態量(質量、熱容量、温度)の更新

- ・融体の熱量の増分を次式で求める。

$$\Delta Q_M = \Delta Q_{MC} + \Delta Q_{FP} + \Delta Q_{CHEM} - \Delta Q_{M,C} - \Delta Q_{M,L} - \Delta Q_{RAD} \quad (B \cdot 30)$$

ΔQ_{MC} : コンクリート分解生成物の流入に伴うエンタルピ増分

$$\Delta Q_{MC} = [\Delta(MC)_1 + \Delta(MC)_2] (T_{DEC} - T_M) \quad (B \cdot 31)$$

$$\begin{aligned} \Delta(MC)_1 &= \Delta M'_{H_2O} \cdot C_{PH_2O} + \Delta M'_{CO_2} \cdot C_{PCO_2} \\ &\quad + \Delta M'_{CO} \cdot C_{PCO} + \Delta M'_{H_2} \cdot C_{PH_2} \end{aligned} \quad (B \cdot 32)$$

$\Delta M'_i$: 金属との反応を考慮した後のガス成分 i の流入質量

$\Delta C_{P,i}$: ガス成分 i の比熱

$$\begin{aligned} \Delta(MC)_2 &= \Delta M_{CaO} \cdot C_{PCaO} + \Delta M_{SiO_2} \cdot C_{PSiO_2} \\ &\quad + \Delta M_{Al_2O_3} \cdot C_{PAI_2O_3} \end{aligned} \quad (B \cdot 33)$$

ΔM_i : ガス以外のコンクリート分解生成物 i の流入質量

$\Delta C_{P,i}$: ガス以外の成分 i の比熱

- ・融体の熱容量(MC)_Mを更新する。(流入ガスを含めた熱容量を求める。)

$$(MC)'_M = (MC)_M + \Delta(MC)_1 + \Delta(MC)_2 \quad (B \cdot 34)$$

- ・融体の新たな温度を決定する。融体から出していくガスの温度は融体の温度と等しくなると仮定する。

$$T_M = T_M + \Delta Q_M / (MC)'_M \quad (B \cdot 35)$$

$$T_G = T_M \quad (B \cdot 36)$$

- ・融体の新たな質量、熱容量を決定する。(ガス流出後の融体質量、熱容量を求める。)

$$M_M = M_M + \Delta M \quad (B \cdot 37)$$

$$\Delta M = \Delta M_{CaO} + \Delta M_{SiO_2} + \Delta M_{Al_2O_3} \quad (B \cdot 38)$$

$$(MC)''_M = (MC)'_M - \Delta(MC)_1 \quad (B \cdot 39)$$

(9) 気相または液相に付加される質量、熱量の計算

融体から流出する気体の質量およびエンタルピは、水があれば液相に、水がなければ、気相に付加される。さらに、水があれば、融体からの伝熱量が液相に付加される。水がなければ、気相および構造物に輻射熱量が付加される。

C. 格納容器スプレー・モデル—CSpray

(機能) 格納容器スプレー作動時に、スプレー水滴が落下中に気相から奪う熱量と、落下途中で蒸発するならその蒸発量を計算する。落下中に蒸発せずに残った水滴は液相領域に加えられる。
(モデルの記述)

THALES-CV1では、格納容器を構成するコンパートメントのひとつを、格納容器スプレーの降るコンパートメントと指定することができる。スプレー・モデルの概念は、Fig. 3.5 に示すとおりである。格納容器スプレーの作動論理は、本節K項(LSWITCH)に示すとおりであり、設定時刻と設定圧力及びスプレー流量係数の組み合わせにより、作動開始・作動停止及び

スプレー流量を制御することができる。また、スプレーは、燃料取替用水貯蔵タンク（RWST）の水位低により、注入モードから再循環モードに切り換えられる。この切り換え論理と再循環モード運転時のスプレー系統除熱モデルについては、本節 L 項 (SPMODE) で説明する。

注入モードでの格納容器スプレーは、定格流量 $W_{SPI,in}$ と比エンタルピ $h_{SPI,in}$ を入力データで与える。再循環モードでのスプレーは、定格流量 $W_{SPI,in}$ は入力データで与え、比エンタルピは再循環モード・モデルで計算される。

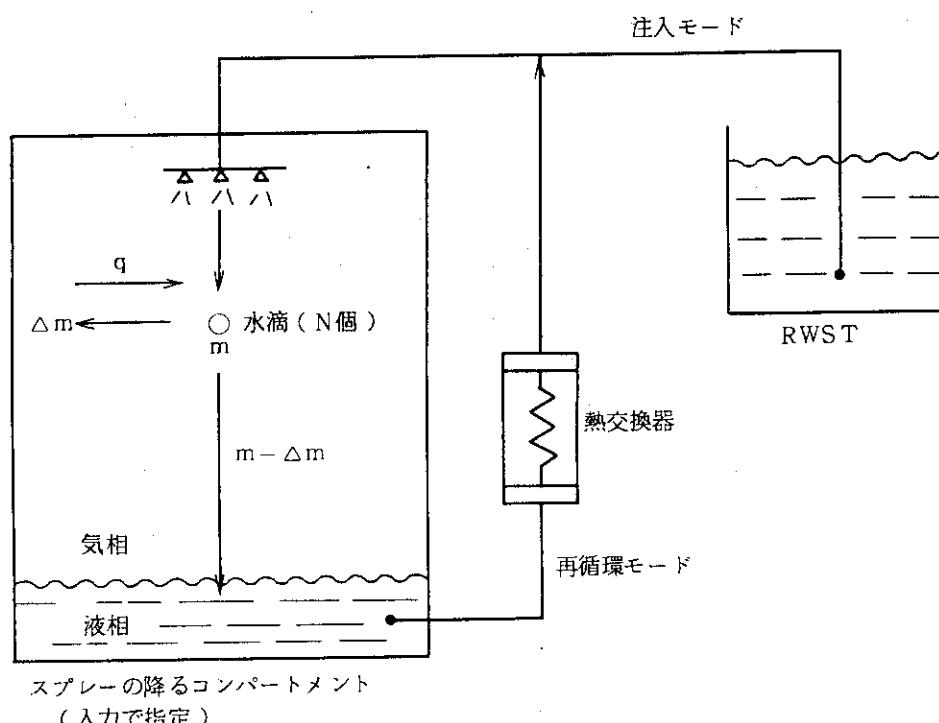


Fig. 3.5 スプレー・モデルの概念図

スプレー・モデルでは、スプレー水を多くの水滴と考え、次のような仮定によって気相領域、液相領域との質量及び熱量の交換を考える。

- すべての水滴は同じ大きさとし、直徑を入力で与える。
- 水滴同志の直接的な相互作用は考えない。
- 水滴が落下する距離は、スプレー・スパージャからスプレーが落下する床までの距離を入力で与える。
- 水滴の落下速度は一定とし、入力で与える。
- 水滴内で温度一様とする。

入力される諸量は次のとおりである。

$W_{SPI,in}$: 注入モードのスプレー定格流量

$W_{SPI,in}$: 再循環

$h_{SPI,in}$: 注入モードのスプレー水の比エンタルピ

f_{SP} : スプレー流量係数(本節 K 項参照)

D : スプレー水滴直徑

V : スプレー落下速度

H : スプレー水滴表面熱伝達率

Z : スプレーの落下距離

計算手順は次のとおりである。

1) スプレー流量W, スプレーのスパージャ出口比エンタルピー h_i および出口温度 T_i , 水滴の表面積A, 水滴の質量m, 水滴の個数Nの計算

$$W = (W_{SPI,in} \text{ or } W_{SPR,in}) \cdot f_{SP}$$

$$h_i = h_{SPI,in} \text{ or } h_{SPR,in}$$

 h_i から T_i (水滴初期温度), V_i (水滴比容積)を求める。

$$A = \pi D^2 \quad (C \cdot 1)$$

 π : 円周率

$$m = \frac{\pi}{6} D^3 \cdot \rho_\ell \quad (C \cdot 2)$$

 ρ_ℓ : 水滴の密度

$$\rho_\ell = 1/V_i \quad (C \cdot 3)$$

$$N = W \cdot \Delta t / m \quad (C \cdot 4)$$

 Δt : 時間ステップ幅

$$\lambda = \frac{H \cdot A}{m \cdot C_p} \quad (C \cdot 5)$$

 C_p : 比熱

2) 水滴の温度計算, 蒸発量の計算

$$m \cdot C_p \cdot \dot{T} = h \cdot A (T_0 - T) \quad (C \cdot 6)$$

 T_0 : コンパートメント気相温度

$$\dot{T} + \lambda T - \lambda T_0 = 0, \quad \lambda = \frac{H \cdot A}{m \cdot C_p} \quad (C \cdot 7)$$

 $T(0) = T_i$ より,

$$T = T_i + (T_0 - T_i) (1 - e^{-\lambda t}) \quad (C \cdot 8)$$

水滴が床に達したときの水滴温度 T_f は,

$$T_f = T_i + (T_0 - T_i) (1 - e^{-\lambda t_f}), \quad t_f = \frac{Z}{V} \quad (C \cdot 9)$$

$T_f \leq T_{sat}$ なら, 水滴は蒸発せず, 液相に落下する。水滴が落下中受けとったエンタルピ q , 蒸発量 Δm は,

$$q = (T_f - T_i) m \cdot C_p \quad (C \cdot 10)$$

$$\Delta m = 0$$

 $T_f > T_{sat}$ なら, 水滴は落下途中で一部蒸発する。飽和に達するまでの時間を t_{sat} とすれば,

$$t_{sat} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{T_0 - T_i}{T_0 - T_{sat}} \right) \quad (C \cdot 11)$$

$$q = (T_{sat} - T_i) m \cdot C_p + (T_0 - T_{sat}) H \cdot A (t_f - t_{sat}) \quad (C \cdot 12)$$

$$\Delta m = (T_o - T_{sat}) H \cdot A \cdot (t_f - t_{sat}) / (h_{sat,g} - h_{sat,l}) \quad (C \cdot 13)$$

結局、CSPRAYで計算されるのは次の諸量である。

Δq_l : コンパートメント液相に加えられる熱量

Δm_l : コンパートメント液相に加えられる質量

Δq_g : コンパートメント気相に加えられる熱量

Δm_g : コンパートメント気相に加えられる質量

i) $T_f \leq T_{sat}$ の場合

$$\Delta q_l = N \cdot T_f \cdot m \cdot C_p \quad (C \cdot 14)$$

$$\Delta m_l = N \cdot m \quad (C \cdot 15)$$

$$\Delta q_g = -(T_f - T_i) \cdot m \cdot C_p \quad (C \cdot 16)$$

$$\Delta m_g = 0 \quad (C \cdot 17)$$

ii) $T_f > T_{sat}$ の場合

$$\Delta q_l = N(m - \Delta m) \cdot h_{sat,l} \quad (C \cdot 18)$$

$$\Delta m_l = N(m - \Delta m) \quad (C \cdot 19)$$

$$\Delta q_g = N(\Delta m \cdot h_{sat,g} - q) \quad (C \cdot 20)$$

$$\Delta m_g = \Delta m \quad (C \cdot 21)$$

ただし、 q と Δm はそれぞれ (C・12), (C・13) 式で与えられるものである。

D. 非常用炉心冷却系モデル—ECCS

(機能) ECCS注入水の流量とエンタルピを計算する。

(モデルの記述)

ECCSモデルは、入力で原子炉キャビティと指定されたコンパートメントに水を注入する。ECCSモデルの作動論理は、本節K項に示すように、設定時刻と設定圧力及びECCS流量係数の組合せで作動開始・作動停止及び流量を制御するものである。また、ECCSモデルは、炉容器が破損し、融体がキャビティに落下した後でなければ作動しないものとする。これは、炉容器被損前のECC水の注入は、原子炉一次系モデル(例えばTHALES-PM)で考慮されるものであり、THALES-CV1は、破損後に炉容器に注入したECC水がそのまま原子炉キャビティに落下してくるものだけを対象としているからである。

入力で与えるのは、注入モードの定格流量及び比エンタルピ、再循環モードの定格流量、ECCS流量係数(本節K項参照)である。再循環モードにおける比エンタルピは、本節L項に示すモデルによって計算する。

ECCSモデルで計算されるのは次の諸量である。

Δm_{H_2O} : ECC水注入による原子炉キャビティ液相の質量増分

Δq_{H_2O} : ECC水注入による原子炉キャビティ液相のエンタルピ増分

$$\Delta m_{H_2O} = \Delta t \cdot W \quad (D \cdot 1)$$

$$W = f_{ECCS} (W_{ECCSI,in} \text{ or } W_{ECCSR,in}) \quad (D \cdot 2)$$

$W_{ECCSI,in}$: 注入モードの定格流量

$W_{ECCSR,in}$: 再循環モードの定格流量

f_{ECCS} : ECCS流量係数

$$\Delta q_{H_2O} = \Delta m_{H_2O} (h_{ECCSI,in} \text{ or } h_{ECCSR}) \quad (D \cdot 3)$$

$h_{ECCSI,in}$: 注入モードの注入水比エンタルピ

h_{ECCSR} : 再循環モードの注入水比エンタルピ

E. 格納容器エア・クーラー・モデル COOLER

(機能) 入力で指定する特定のコンパートメントの気相部の除熱量を計算する。

(モデルの記述) 除熱量は次式で計算する。

$$Q = f_c \cdot h \cdot A (T_c - T_s) \quad (E \cdot 1)$$

Q : クーラーによる除熱量

h : 热伝達率

A : 热交換器の伝热面積

T_c : コンパートメント気相温度

T_s : クーラー 2 次側温度

f_c : 除熱係数 (本節 K 項参照)

h, A, T_s は入力で与える。

クーラーの作動するコンパートメントは入力で指定する (1 つのみ)。

除熱量は、コンパートメント気相部とクーラー 2 次側との温度差及びその時点の除熱係数によって決まる。

クーラーの作動論理は、本節 K 項に示すように設定時刻と設定圧力で作動の開始・停止が自動的に行われる。

COOLERで計算されるものは、次の諸量である。

Δq_g : クーラーによって時間 Δt の間に、コンパートメントの気相全体が失うエンタルピ

$$\Delta q_g = \Delta t \cdot Q \quad (E \cdot 2)$$

F. 格納容器換気 (コンパートメント間ペント) モデル VENT

(機能) 入力で指定するコンパートメント m からコンパートメント n への換気量 (質量とエネルギーの移動量) を計算する。

(モデルの記述) このモデルは、入力で指定するコンパートメント m の気相から入力で指定する別のコンパートメント n の気相に強制的に換気を行わせるためのモデルである。体積流量は入力で与える。換気モデルは 1 組のコンパートメントのみに適用する。換気の作動論理は本節 K 項に示すように設定時刻と設定圧力及び流量係数の組合せで、作動の開始・停止及び体積流量が制御される。

コンパートメント m から n への気相質量およびエンタルピの移動量 (換気量) を次式で表わす。

$$VFR = \sum_{i=1}^8 VFR'_i \quad (F \cdot 1)$$

$$\Delta m_{i,m} = \rho_{i,m} \cdot VFR'_i \cdot f_{vent} \cdot \Delta t \quad (F \cdot 2)$$

$$\Delta q_{i,m} = h_{i,m} \cdot \Delta m_{i,m} \quad (F \cdot 3)$$

$\Delta m_{i,m}$: コンパートメント m から Δt の間に流出するガス成分 i の質量

$\rho_{i,m}$: コンパートメント m のガス成分 i の密度

VFR : コンパートメント m から n へ換気されるガスの定格体積流量

f_{vent} : 換気が起動した場合の流量係数 (本節 K 項参照)

Δt : 時間ステップ幅

$\Delta q_{i,m}$: コンパートメント m から Δt の間に流出するガス成分 i のエンタルピ

$h_{i,m}$: コンパートメント m のガス成分 i の比エンタルピ

VENT で計算されるのは、次の諸量である。

コンパートメント m について、

$\Delta m_{i,m}$: ガス成分 i の時間 Δt の間の質量減少

$\Delta q_{i,m}$: " エンタルピ減少

コンパートメント n について、

$\Delta m_{i,n}$ ($= -\Delta m_{i,m}$) : ガス成分 i の質量増加

$\Delta q_{i,n}$ ($= -\Delta q_{i,m}$) : " エンタルピ増加

i は全 8 成分 ($H_2O(g)$, H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , その他の可燃性ガス, その他の非可燃性ガス) である。

なお、VENT モデルでは、換気のある高さは特に考えず、入力で与えた体積流量 (VFR) だけ換気されるものとする。コンパートメントがほとんど水で満たされ、残りの気相体積が VFR $\cdot f_{vent} \cdot \Delta t$ より小さいときには、換気流量は VFR でなく、換気量が残りの気相体積と等しくなるような値とする。

G. 格納容器壁及び格納容器内構造物への熱伝達モデル—SLAB

(機能) コンパートメントの気相及び液相から格納容器壁及び格納容器内構造物 (スラブ) への伝熱量を計算する。さらに、この伝熱量と融体からの輻射熱量からスラブの温度を計算する。

(モデルの記述)

ヒート・スラブは、Fig. 3.6 に示すような直方体形状とし、その内部温度は 1 点で近似する。スラブは、その両側がそれぞれひとつのコンパートに接していると考え、各コンパートメントの水位を考慮してその伝熱量を計算する。

Fig. 3.6 に示したスラブは格納容器側壁を想定したものであるが、スラブ両側のコンパートメント番号を同じに指定すれば格納容器内構造物をモデル化することができる。

コンパートメント 1 の気相部及び液相部からスラブへの伝熱量は Fig. 3.7 に示すような 3 つのケースについて、それぞれ以下のような式を用いて計算する。

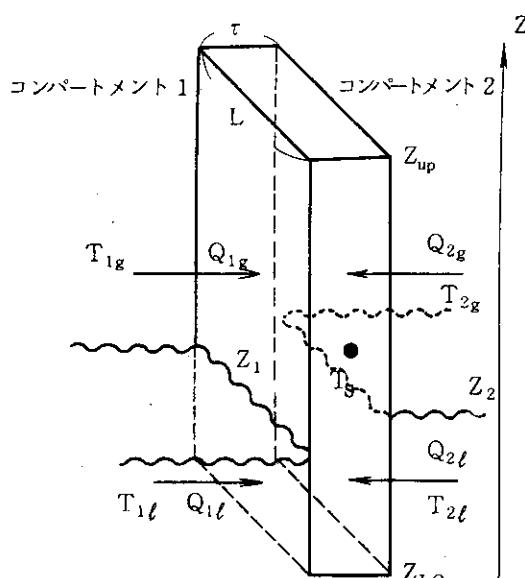


Fig. 3.6 ヒート・スラブ・モデルの概念図

① ケース1 : $Z_1 < Z_{L0}$

$$Q_{1g} = L (Z_{UP} - Z_{LO}) h'_{1g} (T_{1g} - T_s) \quad (G \cdot 1)$$

$$Q_{1f} = 0 \quad (G + 2)$$

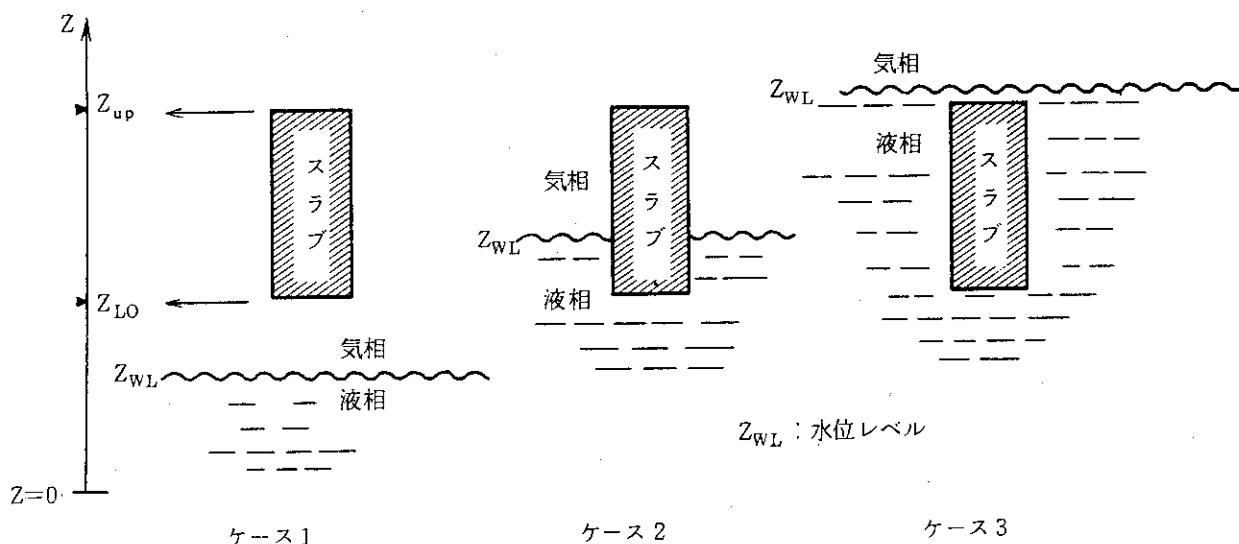


Fig. 3.7 伝熱量計算のための場合分け

② ケース2 : $Z_{L0} \leq Z_1 \leq Z_{UP}$

$$Q_{1g} = L (Z_{1P} - Z_{1g}) h'_{1g} (T_{1g} - T_S) \quad (G \cdot 3)$$

$$Q_{1\ell} = L(Z_1 - Z_{10}) h'_{1\ell}(T_{1\ell} - T_s) \quad (G \cdot 4)$$

③ ケース 3 : $Z_{up} < Z_1$

$$Q_{1g} = 0 \quad (G + 5)$$

$$Q_{lf} = L (Z_{lf} - Z_{lo}) h'_{lf} (T_{lf} - T_s) \quad (G \cdot 6)$$

ただし、

$$\frac{1}{h_{1_\sigma}} = \frac{1}{h_{1_\sigma}} + \frac{\tau}{2K_s} \quad (G+7)$$

$$\frac{1}{h'_{1f}} = \frac{1}{h'_{1f}} + \frac{\tau}{2K_s} \quad (G+8)$$

ここで、記号の意味は次のとおりである。

Q_{1-2} : コンパートメント 1 の気相からスラブへの伝熱量

$Q_{1,e}$: コンパートメント 1 の液相からスラブへの伝熱量

スラバヤ

アーチ・スラブ厚さ

T_c：スラブ温度

K : フラップ熱伝導率

3. 3軸座標を基準にしたスラブ上端位置

Z_{UP} : 上端位置
 Z_{DN} : 下端位置

Z_{LO} : ロードオフセット
 Z_1 : コンパクトメント1の水位位置

T_{1g} : コンパートメント 1 の気相温度

$T_{1\ell}$: " 液相温度

h_{1g} : コンパートメント 1 の気相からスラブへの熱伝達率

$h_{1\ell}$: " 液相 "

同様の関係はコンパートメント 2 とスラブの間でも成り立つ。

スラブ温度 T_s は次式で計算される。

$$T'_s = T_s + \frac{(Q_{1g} + Q_{1\ell} + Q_{2g} + Q_{2\ell}) \Delta t + \Delta Q_{RAD}}{\tau \cdot L (Z_{UP} - Z_{LO}) \rho_s \cdot C_{PS}} \quad (G \cdot 9)$$

Δt : 時間ステップ幅

T'_s : Δt 後のスラブ温度

ρ_s : スラブ密度

C_{PS} : スラブの比熱

ΔQ_{RAD} : 融体からの輻射熱のうちスラブに配分される熱量

表面熱伝達率 h_{1g} , $h_{1\ell}$, h_{2g} , $h_{2\ell}$ および L , τ , K_s , ρ_s , C_{PS} , Z_{UP} , Z_{LO} は入力で与える。

SLAB モデルで計算されるのは次の諸量である。

図 G. 1 のコンパートメント 1 および 2 について,

Δq_{1g} , Δq_{2g} : 時間 Δt 間の気相のエンタルピ減少

$\Delta q_{1\ell}$, $\Delta q_{2\ell}$: 時間 Δt 間の液相 "

$$\Delta q_{ig} = \Delta t \cdot Q_{ig} \quad (i=1, 2) \quad (G \cdot 10)$$

$$\Delta q_{i\ell} = \Delta t \cdot Q_{i\ell} \quad (i=1, 2) \quad (G \cdot 11)$$

H. 可燃性ガスの燃焼モデル—H2BURN

(機能) 水素及びその他の可燃性ガスが燃焼するかどうかを判断し、燃焼時には燃焼の起こるコンパートメント気相領域の成分を変えると共に燃焼熱を付加する。

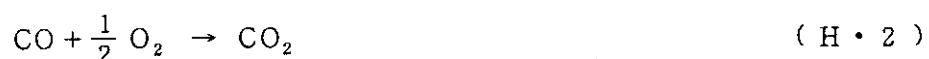
(モデルの記述)

あるコンパートメントの可燃性ガスの濃度が入力で与える一定値以上になると、そのコンパートメントもしくは全コンパートメントにおいて、可燃性ガスの燃焼が起こるとする。燃焼は瞬時に起こると仮定し、燃焼後の可燃性ガスの濃度は入力で与える値まで低下するものとする。

可燃性ガスの燃焼が起こると、そのコンパートメント内のガスの組成を変えるとともに、燃焼熱をそのコンパートメントの気相領域に加える。H2BURN モデルの計算の流れを Fig. 3.8 に示す。

コンパートメント内燃焼計算の手順は以下に示すとおりである。

H_2 , CO , O_2 , H_2O , CO_2 , N_2 , その他の可燃性ガス (X とする) 及びその他の不燃性ガス (Y とする) の 8 成分気体を考え、次の反応を考慮する。



JBURN: オプション・パラメータ

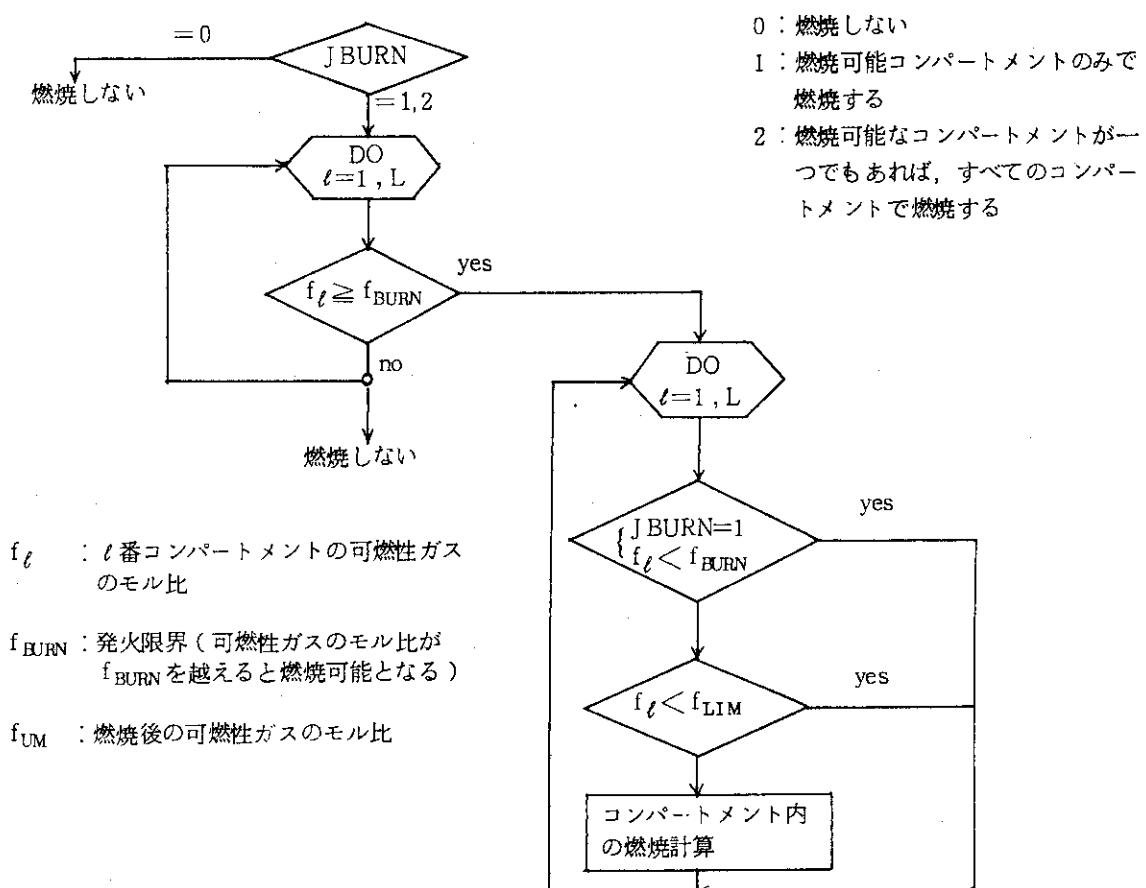
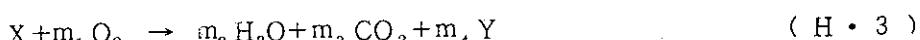


Fig. 3.8 H2BURN モデルの流れ図



成分 i のモル数を n_i とすると、燃焼前後のモル数は次のように変化する。(f は燃焼率)

$$H_2 : n_{H_2} \rightarrow (1 - f) n_{H_2} \quad (H \cdot 4)$$

$$CO : n_{CO} \rightarrow (1 - f) n_{CO} \quad (H \cdot 5)$$

$$O_2 : n_{O_2} \rightarrow n_{O_2} - f \left(\frac{1}{2} n_{H_2} + \frac{1}{2} n_{CO} + m_1 n_X \right) \quad (H \cdot 6)$$

$$H_2O : n_{H_2O} \rightarrow n_{H_2O} + f (n_{H_2} + m_2 n_X) \quad (H \cdot 7)$$

$$CO_2 : n_{CO_2} \rightarrow n_{CO_2} + f (n_{CO} + m_3 n_X) \quad (H \cdot 8)$$

$$N_2 : n_{N_2} \rightarrow n_{N_2} \quad (H \cdot 9)$$

$$X : n_X \rightarrow (1 - f) n_X \quad (H \cdot 10)$$

$$Y : n_Y \rightarrow n_Y + f m_4 n_X \quad (H \cdot 11)$$

$$\text{合計} \quad n_{TOT} \rightarrow n_{TOT}' = n_{TOT} - f \left[\frac{1}{2} n_{H_2} + \frac{1}{2} n_{CO} + (1 + m_1 - m_2 - m_3 - m_4) n_X \right] \quad (H \cdot 12)$$

これから、次の条件を満たす f の値を定める。

$$\text{酸素量による制限} : n_{O_2} = f_1 \left(\frac{1}{2} n_{H_2} + \frac{1}{2} n_{CO} + m_1 n_X \right) \quad (H \cdot 13)$$

$$f_{LIM} \text{による制限: } (1 - f_2)(n_{H_2} + n_{CO} + n_X) = f_{LIM} \cdot n_{TOT}' \quad (H \cdot 14)$$

$$f = \min(f_1, f_2) \quad (H \cdot 15)$$

このようにして f が求まれば、各成分の変化が計算できる。また、その時の燃焼熱を次のように計算できる。

$$Q_{BURN} = \sum_i f n_i q_i \quad (H \cdot 16)$$

q_i : 可燃性ガス i 1モルの燃焼熱

I. アイス・コンデンサ・モデル ICECON

アイス・コンデンサのあるコンパートメントへ、他のコンパートメントからガスが流入する場合に限り、その次の時間ステップにおいて、アイス・コンデンサのあるコンパートメントで以下の計算を行う。

1) コンパートメントの気相からの除熱量 Q を求める。

$$Q_1 = S_{ice} \cdot h_{ice} (T_{in, air} - T_{ice}) \Delta t \quad (I \cdot 1)$$

S_{ice} : 氷の表面積

h_{ice} : 氷と流入ガスとの熱伝達係数

$T_{in, air}$: 流入気体の温度

T_{ice} : 氷の温度

Δt : 時間ステップ幅

$$Q_2 = \sum_i C_{pi} \cdot M_i (T_{in, air} - T_{ice}) \quad (I \cdot 2)$$

C_{pi} : 流入ガス中の成分 i の比熱

M_i : 流入ガス中の成分 i の質量

$$Q = \min(Q_1, Q_2) \quad (I \cdot 3)$$

2) Q なる熱量を氷が吸収した時の氷の状態で次のように場合分けする。

① 氷の温度が上昇するだけで氷が溶けない場合

氷の温度を計算する。

② 氷が一部溶ける場合

氷の温度は、氷の融点とする。

氷の質量から氷の溶ける量を差し引いて、氷の質量を求める。

溶けた氷は、水となってコンパートメントの液相に加わる。

③ 氷が全部溶ける場合

全ての氷が溶けるまでに氷が吸収する熱量を除熱量として設定し直す。

氷の温度は、氷の融点とする。

氷の質量は、ゼロとする。

溶けた氷は水となってコンパートメントの液相にたまる。

3) 上記を反映して

コンパートメントの液相への質量の追加分

コンパートメントの液相への熱量の追加分

コンパートメントの気相からの熱量の除去分

を計算する。

J. 格納容器破損口からのリークモデルーBREACH

(機能) 格納容器破損時の破損口から外気へリークする質量とエネルギーを計算する。

(モデルの記述) 格納容器の圧力が入力で指定した一定値に達すると、入力で指定したコンパートメント(1つ)が破損するものとする。破損口は、入力で高さと断面積が与えられるとする。破損口の高さより水位が高いと液相流とみなし、破損口の高さより水位が低いと気相流とみなす。流出流量は、液相流と気相流の場合に、それぞれオリフィス流、臨界流で計算した値の小さい方をとる。

気相流の場合のオリフィス流、臨界流の計算式はMARCHコードと同じものを使用する。^[4]

$$Wr = Ar \cdot G \quad (J \cdot 1)$$

$$G = \left\{ \begin{array}{l} G1 = Co \cdot 60 (2 g \cdot \rho_c \cdot \Delta P \cdot 144)^{1/2} \\ G2 = 1642 (\rho_c \cdot p_c)^{1/2} \end{array} \right. \quad (J \cdot 2)$$

$$G = \left\{ \begin{array}{l} G1 = Co \cdot 60 (2 g \cdot \rho_c \cdot \Delta P \cdot 144)^{1/2} \\ G2 = 1642 (\rho_c \cdot p_c)^{1/2} \end{array} \right. \quad (J \cdot 3)$$

Wr: コンパートメント(格納容器)気相部からの流出流量($\ell b/min$)

Ar: 破損口面積(ft^2)

G: オリフィスの場合G1, 臨界流の場合G2で計算した値の小さい方。

($\ell b/ft^2/min$)

Co: 破損口のオリフィス係数

g: 重力加速度 3.22 (ft/sec^2)

ρ_c : 破損コンパートメント気相部密度($\ell b/ft^3$)

ΔP : $P_c - 14.7$ (psia) 破損コンパートメント一大気間差圧

P_c : 破損コンパートメント圧力(psia)

Ar, Coは入力で与える。

質量の流出量は次式で計算される。

$$\Delta Mr = Wr \cdot \Delta t = \sum_{i=1}^8 \Delta m_{r,i} \quad (J \cdot 4)$$

ΔMr : リークによる Δt 間の質量流出量(ℓb)

各ガス成分の流出量は次式で計算される。

$$\Delta Vr = \Delta Mr / \rho_c \quad (J \cdot 5)$$

$$\Delta m_{r,i} = \Delta Vr \cdot \rho_{c,i} \quad (J \cdot 6)$$

ΔVr : 流出体積(ft^3)

$\Delta m_{r,i}$: ガス成分*i*の流出質量(ℓb)

$\rho_{c,i}$: 破損コンパートメントのガス成分*i*の密度($\ell b/ft^3$)

各ガス成分の流出エンタルピは次式で計算される。

$$\Delta q_{r,i} = \Delta m_{r,i} \cdot h_{c,i} \quad (J \cdot 7)$$

$$\Delta Qr = \Delta Mr \cdot h_c = \sum_{i=1}^8 \Delta q_{r,i} \quad (J \cdot 8)$$

$\Delta q_{r,i}$: ガス成分*i*の流出エンタルピ

ΔQr : リークによる Δt 間のエンタルピ流出量

$h_{c,i}$: 破損コンパートメントのガス成分 i の比エンタルピ

h_c : " 気相部の比エンタルピ

液相流の場合のオリフィス流、臨界流の計算式は、(J・2)および(J・3)式の p_c を水の密度とおきかえて計算する。

リークモデルは、格納容器圧力が入力で与えた破損設定圧力に達したとき適用される。すなわち、

$P_c \geq P_r$ のとき破損

P_r : 破損設定圧力 (Psia)

である。

ΔP が負になったとき、大気 (79% N₂, 21% O₂, 温度 70°F) が逆にコンパートメントに流入すると仮定する。すなわち、

$$\Delta P = P_c - 14.7 < 0 \text{ ならば,}$$

$$W_{in} = A_r \cdot (-G1) \quad (\text{J} \cdot 9)$$

W_{in} : 大気から破損コンパートメントへの流入量

BREACHで計算されるのは、次の諸量である。

$\Delta P \geq 0$ の場合 (破損口から流出) …… 気相流

Δm_i : ガス成分 i の質量増分 (マイナス)

Δq_i : " エンタルピ増分 (マイナス) …… 液相流

Δm_{H_2O} : 水の質量増分 (マイナス)

Δq_{H_2O} : " エンタルピ増分 (マイナス)

$\Delta P < 0$ の場合 (破損口から大気が流入)

Δm_{N_2} : 窒素の質量増分 (プラス)

Δm_{O_2} : 酸素 "

Δq_{N_2} : 窒素のエンタルピの増分 (プラス)

Δq_{O_2} : 酸素 "

K. 動的機器の作動論理—LSWICH

格納容器スプレー、ECCS、クーラー、換気系(ベント)の作動は、以下に示すような共通の論理で制御される。これらの動的機器の作動条件は、各々の機器について時刻テーブルの形で入力で指定する。

(作動論理)

以下のような時刻テーブルを、各機器について入力で与える。

TS_i(J) : J番目の作動区間の作動開始時刻

TE_i(J) : J番目の作動区間の作動終了時刻

PON_i(J) : J番目の作動区間の起動設定圧

POFF_i(J) : J番目の作動区間の停止設定圧

F_i(J) : J番目の作動区間の流量係数 (スプレー、ECCS、ベント) 又は除熱係数^(注)

(注) 定格量に対する割合を示す。入力では定格量と F_i(J) の両方を指定する必要がある。

(クーラー)

ここで、 i は機器インデックスである。

これらのテーブルをもとにして、Fig. 3.9 に示す論理で各時刻における L_i を決定する。なお、初期設定では、 $L_i = 0$ としておく。

$L_i = 0$ のとき 機器 i は停止

$L_i = 1$ のとき 機器 i は作動

時刻テーブル・データは最大10個まで指定することが可能であり、入力で $F_i(J)$ を適当に指定することにより、流量（スプレー、ECCS、ベントの場合）や除熱量（クーラーの場合）を時間依存で変化させることができる。 $TS_i(J) \leq T < TE_i(J)$ の間に機器 i が作動したときの流量（除熱量）は、 $F_i(J) \times \text{定格流量（除熱量）}$ となる。

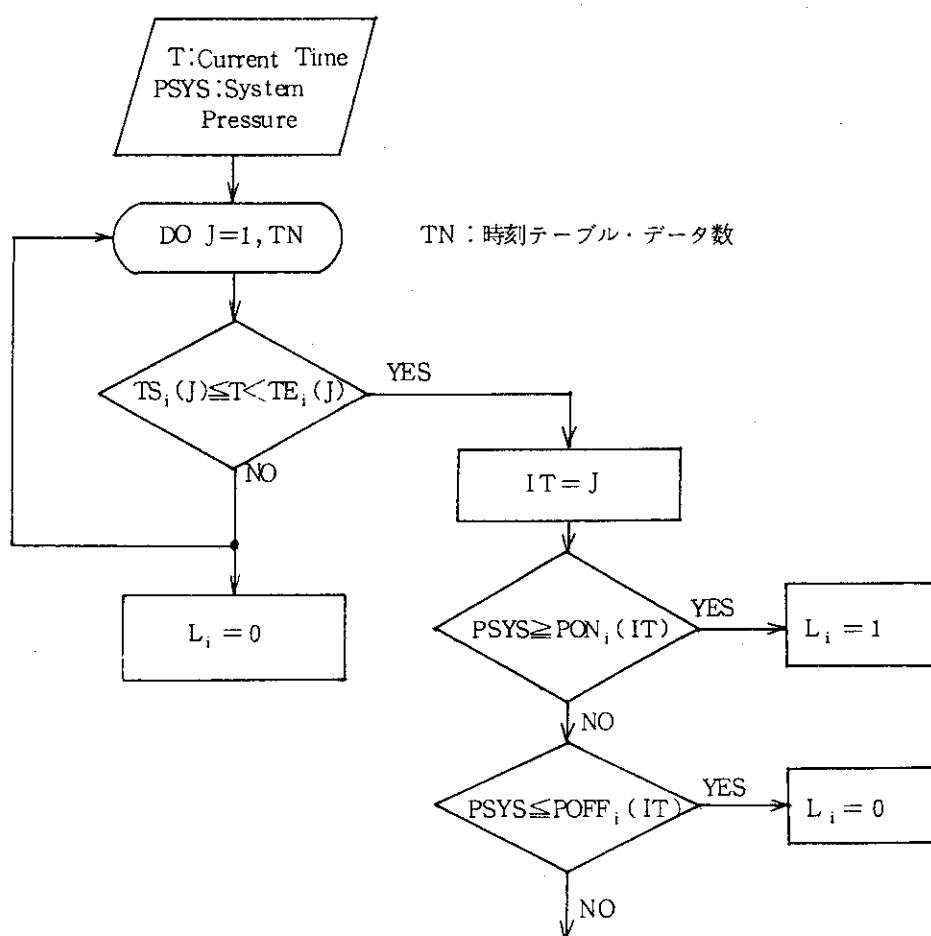


Fig. 3.9 動的機器の作動論理

L. 注入モード及び再循環モードモデル SPMODE

格納容器スプレーと ECCS については、RWST(燃料取替用水貯蔵タンク)の水位が低くなるまでは、注入モードとし、水位低により再循環モードに自動的に切り換わる。

(注入モードモデル)

格納容器スプレーと ECCS の注入モードでは、注入流量と注入水の比エンタルピーがそれぞ

れ入力で与えられる。 $(W_{ing,SPRAY}, W_{ing,ECCS}, h_{ing,RWST})$ 。注入モードの水源はRWSTである。
(RWST モデル)

RWST のモデルは、 RWST の水平断面積 A_{RWST} 、初期水位高さ $Z_{WL,RWST}$ および注入モードから再循環モードへの切換えスイッチ水位高さ $Z_{SWL,RWST}$ が入力で与えられる。したがって、 RWST の水位は Δt の間に、 $\Delta Z_{WL,RWST}$ だけ低下する。

$$\Delta Z_{WL,RWST} = \frac{(W_{ing,SPRAY} + W_{ing,ECCS})\Delta t}{P_{H_2O} \cdot A_{RWST}} \quad (L \cdot 1)$$

$W_{ing,SPRAY}, W_{ing,ECCS}$ は、各々の動的機器が作動していないときは、零とする。水位 $Z_{cur,RWST}$ は、各時間ステップごとに更新する。

$$Z'_{cur,RWST} = Z_{cur,RWST} - \Delta Z_{WL,RWST} \quad (L \cdot 2)$$

$$Z_{cur,RWST} \leq Z_{SWL,RWST}$$

となつたとき、注入モードから再循環モードに切り換える。

(再循環モードモデル)

再循環モードでは、注入流量 ($W_{rec,SPRAY}, W_{rec,ECCS}$) が入力で与えられる。

再循環モードの水源は、入力で指定したコンパートメントの液相部 (サンプ) である。この液相部の水は、再循環ラインの熱交換器で冷却されてから、格納容器内にスプレーされる (あるいはキャビティに注入される)。

再循環モード注入水の比エンタルピは、次式で計算される。

$$h = M \ln \left\{ h_{sump} - \frac{(H \cdot A)(T_{sump} - T_s)}{W} \right\} \quad (L \cdot 3)$$

$h : h_{SPR}, h_{ECCSR}$ 、スプレーまたはECCS水の比エンタルピ

h_{sump} : サンプ水の比エンタルピ

T_{sump} : サンプ水温度

H, A, T_s, W は格納容器スプレー系およびECCS系のそれぞれのシステムに対して与えられる入力データである。

$H : H_{SPR}, H_{ECCSR}$ 热交換器の热伝達率

$A : A_{SPR}, A_{ECCSR}$ " 伝热面積

$T_s : T_{s,SPR}, T_{s,ECCSR}$ " 2次側冷却水温度

$W : W_{SPR}, W_{ECCSR}$ " 冷却水流量

3.3 格納容器圧力計算モデル (JPRESS)

THALES-CV1は、格納容器内で圧力一様、各領域内で熱平衡を仮定している。体系圧力 P の計算は、各時間ステップごとに次の手順でなされる。

- (1) 前の時間ステップの最終状態として、各領域の各成分の質量 (水と蒸気は加え合わせる)
 $M_{n,i}$ と、各領域の全熱量 Q_n とが与えられる。

(2) 前の時間ステップの圧力 P に対し, $P^{(1)} = 0.99P$, $P^{(0)} = P$, $P^{(2)} = 1.01P$ なる3つの圧力を設定し、各圧力に対して、各領域の各成分の質量及び各領域の全熱量から、各領域の体積 $V_n^{(1)}$, $V_n^{(0)}$, $V_n^{(2)}$ を計算する。

(3) 各圧力に対して、各領域の体積の合計値 $V_{\text{SUM}}^{(1)}$, $V_{\text{SUM}}^{(0)}$, $V_{\text{SUM}}^{(2)}$ を計算する。

$$(V_{\text{SUM}}^{(*)} = \sum_{n=1}^N V_n^{(*)})$$

(4) $V_{\text{SUM}}^{(0)}$ の値が許容範囲内でシステム全体の体積 V_{SYS} と等しければ、 $P = P^{(0)}$ として計算終了。

(5) $V_{\text{SUM}} < V_{\text{SYS}}$ なら、 $(P^{(1)}, V_{\text{SUM}}^{(1)})$, $(P^{(0)}, V_{\text{SUM}}^{(0)})$ の直線内外挿により、 $V_{\text{SUM}} = V_{\text{SYS}}$ となるような P の値を計算する。

(5') $V_{\text{SUM}} > V_{\text{SYS}}$ なら、 $(P^{(0)}, V_{\text{SUM}}^{(0)})$, $(P^{(2)}, V_{\text{SUM}}^{(2)})$ の直線内外挿により、 $V_{\text{SUM}} = V_{\text{SYS}}$ となるような P の値を計算する。

(6) (5), (5')の場合、新たに設定した圧力 P を用いて、(2)から後の過程を繰り返す。

なお、この計算に必要な流体物性値は、多成分理想気体と水から成る流体の物性値計算プログラム・ライブラリ PROP-MG を用いて計算している。このプログラム・ライブラリは次のような機能を有している。

(i) 扱える流体の種類は、水、窒素、酸素、水素、二酸化炭素、一酸化炭素、その他の可燃性ガス（ひとまとめにする）、その他の不燃性ガス（ひとまとめにする）の8種類である。

(ii) 1領域について、次の計算をすることができる。

- M_i , P , T を与えて V , Q を計算する。
- M_i , P , Q を与えて T , V を計算する。
- M_i , V , Q を与えて P , T を計算する。

(iii) 多領域から成る系について次の計算をすることができる。

- $M_{i,n}$, Q_n , $\sum_n V_n$ を与えて、 P , T_n , V_n を計算する。

ここで、 M_i は各成分の質量、 P は圧力、 T は温度、 V は体積、 Q は熱量であり、 n は領域番号を表わしている。

3.4 ジャンクション流量計算モデル (JUNCFL)

THALES-CV1では、コンパートメント間の流れはジャンクション流として表わされる。

ジャンクション流の計算手順は次のとおりである。

(1) 各コンパートメントの余剰体積の計算

3.3節で述べた方法により、系統圧 P が計算されると、それに応じて各コンパートメントの流体の占めるべき体積 $V_k^{(c)}$ が、そのコンパートメントの液相連続領域の体積と気相連続領域の体積の和として求められる。各コンパートメントの形状体積を $V_k^{(c)}$ とすると、各コンパートメント流体の余剰体積 ΔV_k が次式で計算される。

$$\Delta V_k = V_k - V_k^{(c)} \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (3.4.1)$$

ただし、3.3節で述べたように、圧力計算終了時点で $\sum_{k=1}^K V_k = \sum_{k=1}^K V_k^{(c)} = V_{sys}$ となっているから、

$$\sum_{k=1}^K \Delta V_k = 0 \quad (3.4.2)$$

である。ここで、Kはコンパートメント数である。

(2) ジャンクション体積流量の計算

システムの端から順々に余剰体積が押し出されると考え、ジャンクション体積流量 $\Delta V_{k,k+1}^{(j)}$ を次式で計算する。

$$\Delta V_{k,k+1}^{(j)} = \sum_{i=1}^k \Delta V_i \quad (k=1, 2, \dots, K-1) \quad (3.4.3)$$

$\Delta V_{k,k+1}^{(j)} > 0$ のときは正流であり、k番コンパートメントが上流側となる。 $\Delta V_{k,k+1}^{(j)} < 0$ のときは逆流であり、(k+1)番コンパートメントが上流側となる。

(3) ジャンクション流が気相連続流か液相連続流かの判断

ジャンクション流は、上流側のジャンクション高さが上流側コンパートメント水位より高ければ気相連続流であるとし、そうでなければ液相連続流であるとする。

(4) ジャンクション流が加えられる領域の判断

ジャンクション流は、下流側のジャンクション高さが下流側コンパートメント水位より高ければ気相連続領域に加えられるとし、そうでなければ液相連続領域に加えられるとする。

(5) 質量移動量及び熱量移動量の計算

時間ステップ内にジャンクションを通過する質量移動量 $\Delta M_{k,k+1}^{(j)}$ 、熱量移動量 $\Delta Q_{k,k+1}^{(j)}$ は、それぞれ次式で計算される。

$$\Delta M_{k,k+1}^{(j)} = \Delta V_{k,k+1}^{(j)} \cdot \rho_{UP} \quad (3.4.4)$$

$$\Delta Q_{k,k+1}^{(j)} = \Delta M_{k,k+1}^{(j)} \cdot h_{UP} \quad (3.4.5)$$

ここで、 ρ_{UP} ：上流側の対応領域の密度

h_{UP} ：上流側の対応領域の比エンタルピ

である。

(6) 領域間の体積、質量、熱量の移動

(3)で定められた領域から(4)で定められた領域へ、(2)で計算された体積、(5)で計算された質量、熱量を移動させる。

3.5 相分離計算モデル (PHSSEP)

体系圧力計算後、同一コンパートメント内の液相連続領域内に含まれる気泡と気相連続領域内に含まれる液滴の相分離をする (Fig. 3.10)。

(気泡離脱)

時間ステップ内の離脱気泡質量 $M_{sep,g}$ 、体積 $V_{sep,g}$ 、熱量 $Q_{sep,g}$ は次式で求まる。

$$M_{sep,g} = V_{UP} \cdot A \cdot f \cdot \rho_g \cdot \Delta t \quad (3.5.1)$$

V_{UP} : 気泡上昇速度

本来は関数で与えるべきであるが、現在は、 $V_{UP}=0.5\text{m/s}$ である。

A : 気液境界水平面積

現在は、水平断面積の平均値を用いている。

f : ボイド率(液相中の気泡体積/液相全体積)

ρ_g : 気泡密度

Δt : 時間ステップ幅

$$V_{sep,g} = M_{sep,g} / \rho_g$$

$$Q_{sep,g} = M_{sep,g} \cdot h_g$$

h_g : 気泡比エンタルピ

(液滴落下)

気相連続領域内に含まれる液滴は、すべて液相連続領域へ落下させる。

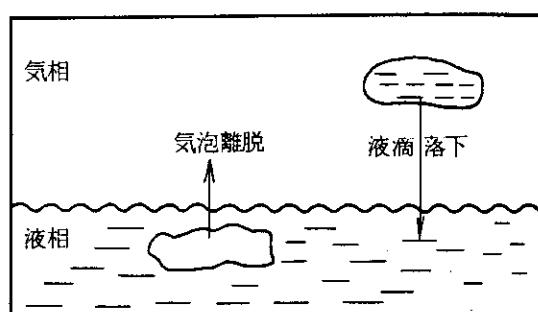


Fig. 3.10 相分離モデル

3.6 水位計算モデル (WLEVEL)

時間ステップ終了時に、各コンパートメントについて水位の計算を行う。水位計算は次のような方法で行う。

- (1) 3.1 節で述べたように、各コンパートメントは垂直方向に幾つかのセグメントに分割され、セグメント境界高さ Z_i ($i=1, 2, \dots, I, I+1$) と各水平断面積 A_i ($i=1, 2, \dots, I$) が入力される。ここで I はセグメント数である。
- (2) 入力データ読み込み終了時に、コンパートメント下端から各セグメント境界までの体積 V_i を次式で計算する。

$$V_i = 0 \quad (3.6.1)$$

$$V_i = V_{i-1} + (Z_i - Z_{i-1}) A_{i-1} \quad (i=2, 3, \dots, I, I+1) \quad (3.6.2)$$

これにより、(Z_i, V_i)の関数表が作成される。

- (3) 各時間ステップ終了時に、液相連続領域の体積が与えられた後、(Z_i, V_i)のテーブルからの内挿により、水位を計算する。

4. THALES-CV1入出力マニュアル

4.1 入力データの概要

THALES-CV1コードの入力データは、次のようなデータから構成される。

1. タイトル・データ
2. 単位系データ
3. コントロール・データ
4. チェック・ライト・フラグ・データ
5. システム圧力データ
6. 体系データ
7. コンパートメント・データ
8. ブローダウン(BLWDWN)・データ
9. キャビティ(CAVITY)・データ
10. 格納容器スプレー(CSPRAY)・データ
11. 非常用炉心冷却系(ECCS)データ
12. クーラー(COOLER)・データ
13. ベント(VENT)・データ
14. スラブ(SLAB)・データ
15. 可燃性ガス燃焼(H2BURN)データ
16. アイス・コンデンサ(ICECON)・データ
17. リーク(BREACH)・データ
18. R W S Tデータ

すべての入力データは、決められた形式で、決められた順序に入力しなければならない。

すべての入力データの第1欄から第10欄までは、1種のコメント欄とし、ここにデータ作成者の覚え書きとして、個々のデータ項目名などを書き込む事ができるが、プログラムはこの欄をデータの識別のためのヘッディングとは見なさない。

単位を必要とする物理量は、すべて一つ一つ、数値と単位名を入力しなければならない。単位名の付け方は、「汎用単位換算プログラム・ライブラリ UCL2 の使用手引」^[10]に従う。

一般データは、(値、単位名)

という組として入力するものとするが、同種物理量をいくつか入力する場合は、同じ単位名をくり返す事を避けるため、

単位名	値1	値2	値3	
()	
	値4	値5		

という形で入力するものとする。

4.2 入力データの詳細

入力データの FORMAT は 4.3 節に示すこととし、本節では、各入力データの項目と入力データ作成上の注意を記述しておく。

1. タイトル

タイトルはカード 2 枚に渡って 120 文字入力する。初めの 60 文字しか入力しない場合は、ブランクカードを入力する。

カードフォーマット (10X, 15A4/10X, 15A4)

データ名 LTITLE(30)

2. 単位系データ

使用単位系と温度の単位 LSNAM, LTEMP

3. コントロール・データ

① 計算終了時刻 TSTOP

② 判定用質量、体積及び収束判定子 MEPS, VEPS, XEPS^(注)

③ 時刻テーブルデータ数 IDT ($1 \leq IDT \leq 20$)

④ 時刻テーブル TA(20)

⑤ 時間ステップ幅テーブル DTA(20)

⑥ 出力間隔テーブル DTPNTA(20)

時刻 0.0 ~ TA(1)までの時間ステップ幅が DTA(1), 出力間隔が DTPNTA(1)である。

時刻 TA(I-1) ~ TA(I)までの時間ステップ幅が DTA(I), 出力間隔が DTPNTA(I)である。

TSTOP < TA(IDT) のとき、時刻が TSTOP に達すると計算終了となる。

TSTOP > TA(IDT) のとき、時刻 TA(IDT) に達すると計算終了となる。

4. チェック・ライト・フラグ・データ

① チェック・ライト・フラグを立てるサブルーチン数 IDEBUG ($IDEBUG \leq 20$)

② サブルーチン名とフラグ値 LNAMEX(20), LVLX(20)

③ チェック・ライト開始時刻とチェック・ライト終了時刻 TSDBG, TEDBG

$IDEBUG \leq 0$ のときには、②, ③のデータは読まない。フラグ値は、1, 2, 3 のいずれかを入力する。

1 : サブルーチンの入出力の一部

2 : サブルーチンの入出力のすべてとそのサブルーチンで使用される主要変数値

3 : 繰り返し計算の途中経過

チェック・ライトは、②で指定したサブルーチンにつき、TSDBG~TEDBG の間プリントする。

(注) プログラム中では、MEPS(VEPS) より小さい質量(体積)は零と見なされる。また、XEPS は、繰り返し計算の収束判定子であり、 10^{-4} 程度の値を指定するのが適当である。

5. システム圧力データ

システム圧力 PSYS

6. 体系データ

- ① コンパートメント数NNODEとジャンクション数NJUN
 - ② ジャンクション両端のコンパートメント番号 NOJUN(2,4)
 - ③ ジャンクション両端の高さ ZJUN(2,4)
- NJUN=NNODE-1 となる。 $1 \leq NNODE \leq 5$

NOJUN(i,j), ZJUN(i,j)については,

i=1: ジャンクション左側のコンパートメント番号

i=2: " 右側 "

jは、ジャンクション番号

である。

7. コンパートメント・データ

このデータの組は、コンパートメント数だけ繰り返して入力する。

- ① コンパートメント名LCOMP(5)とコンパートメントのセグメント数NS($1 \leq NS \leq 30$)
- ② 各セグメントの高さELS(31,5), (セグメント数+1)個入力する
- ③ 各セグメントの水平断面積 AREAS(31,5)
- ④ コンパートメントの液相と気相の温度 TEMP(2,5)
- ⑤ コンパートメントの水位 ZWL(5)
- ⑥ コンパートメントのガス成分のモル数の比 RMOLG(2,5)

TEMP(i,j), RMOLG(i,j)については,

i=1: 液相

i=2: 気相

jは、コンパートメント番号

である。

8. DLWDWNデータ

- ① ブローダウン・テーブル・データ数IBDTNとブローダウンを受けるコンパートメント番号 IBDCMP
- ② ブローダウン時刻テーブル TBLWD(20)
- ③ ブローダウン水流量テーブル WBLWD(20)
- ④ ブローダウン水素ガス流出量テーブル WBDH2(20)
- ⑤ ブローダウン水又は水蒸気の比エンタルピ HBLWD(20)
- ⑥ 破損口の高さ ZBLWD

 $Z \leq IBDTN \leq 20, 1 \leq IBDCMP \leq 5$ IBDTN ≤ 0 またはIBDCMP ≤ 0 の場合、②～⑥のデータは読まない。IBDCMP ≤ 0 の場合、ブローダウンは計算しない。ブローダウン計算中、時刻 $< TBLWD(1)$ あるいは、時刻 $> TBLWD(IBDTN)$ のとき、③～⑤までの値は、零とみなす。

9. CAVITYデータ

① 原子炉キャビティ・コンパートメント番号 ICCAV と融体からの輻射熱を受け取るスラブ番号 ISBRAD

② 融体落下時刻 TDROP と融体温度 TMLT

③ 融体質量 MMLT

④ 融体各成分の質量比 FMLT(1)~(12)

FMLT(1) : Fe

FMLT(2) : Zr

FMLT(3) : Cr

FMLT(4) : Ni

FMLT(5) : UO₂

FMLT(6) : ZrO₂

FMLT(7) : FeO

FMLT(8) : CaO

FMLT(9) : SiO₂

FMLT(10) : Al₂O₃

FMLT(11) : Cr₂O₃

FMLT(12) : NiO₂

⑤ コンクリート初期温度 TI NTC とコンクリート分解温度 TDEC

⑥ コンクリートの比熱 CPCON とコンクリートの分解熱 HDEC

⑦ コンクリート各成分の質量比 FCONC(5)

FCONC(1) : CaO

FCONC(2) : SiO₂

FCONC(3) : Al₂O₃

FCONC(4) : H₂O

FCONC(5) : CO₂

⑧ 原子炉停止時刻 TSHUT と初期原子炉出力 QZERO

⑨ FP 崩壊補正係数 ALFAFP とアクチニドの定常時の相対発熱量 SACT0

⑩ 融体各成分の比熱 CPFE, CPZR, CPCR, CPNI, CPUO2, CPZRO2,
CPFEO, CPCAO, CPSIO2, CPALO2, CPCROX, CPNIO

⑪ 金属-ガス反応の反応熱 QCHEM(5)

QCHEM(1) : Fe + CO₂ = FeO + CO - 337 J/gFe

QCHEM(2) : Fe + H₂O = FeO + H₂ + 22.9 J/gFe

QCHEM(3) : Ni + H₂O = NiO + H₂ + 22.9 J/gNi

QCHEM(4) : Zr + 2H₂O = ZrO₂ + 2H₂ + 7760 J/gZr

QCHEM(5) : 2Cr + 3H₂O = Cr₂O₃ + 3H₂ + 7760 J/gCr

⑫ 融体からコンクリートへの熱伝達係数 HIMC と融体から水への熱伝達係数 HIML

⑬ 金属-ガスの化学反応に寄与するガスの割合 FCHEM, 融体表面からの輻射熱のうち

スラブにいく割合 FMAT

融体の輻射率 EMML T

コンクリートの輻射率 EMC CONC

$I_{CCAV} \leq 0$ のとき、②～⑬のデータは読まず、CAVITYの計算もしない。時刻 $\geq TDROP$ のとき CAVITYの計算をする。ISBRADについて、原子炉キャビティ内に2つ以上のスラブがあっても、融体からの輻射熱を受け取るスラブは ISBRAD で指定したスラブのみとする。

10. CSPRAY データ

- ① スプレー時刻テーブルのデータ数 ISPTN, スプレーを降らすコンパートメント番号 ISPCMP, サンプ・コンパートメント番号 ISPSMP
- ② スプレー作動開始時刻テーブル TS PON(10)
- ③ スプレー作動終了時刻テーブル TS POF(10)
- ④ スプレー起動設定圧テーブル PS PON(10)
- ⑤ スプレー停止設定圧テーブル PS POF(10)
- ⑥ スプレー流量係数 SPF ACT(10)
- ⑦ 注入モードでのスプレー定格流量 WSPIN と再循環モードでのスプレー定格流量 WSPRE
- ⑧ 注入モードでのスプレー水の比エンタルピ HSPIN
- ⑨ 热交換器の熱通過率 HC NV SP と伝熱面積 ACNVSP
- ⑩ 热交換器の2次側冷却水温度 TCNVSP と冷却水流量 WCNVSP
- ⑪ スプレー水滴直径 DSPRAY とスプレー水落下速度 VSPRAY
- ⑫ スプレー水滴表面熱伝達率 HSPCND
- ⑬ スプレーの落下距離 ZSPRY

$1 \leq ISPTN \leq 10, 1 \leq ISPCMP \leq 5, 1 \leq ISPSMP \leq 5, ISPTN \leq 0$ または $ISPCMP \leq 0$ の場合、
②～⑬のデータは読まない。また、 $ISPCMP \leq 0$ の場合、CSPRAYの計算はしない。 $TS PON(I) \leq T < TS POF(I)$ でスプレーが作動するときの流量は、 $WSPIN * SPF ACT(I)$ または $WSPRE * SPF ACT(I)$ となる。

11. ECCS データ

- ① ECCS時刻テーブル・データ数 IECTN とサンプ・コンパートメント番号 IECSMP
- ② ECCS作動開始時刻 TECON(10)
- ③ ECCS作動終了時刻 TECOF(10)
- ④ ECCS起動設定圧 PECON(10)
- ⑤ ECCS停止設定圧 PECOF(10)
- ⑥ ECCS流量係数 ECFACT(10)
- ⑦ 注入モードでのECCS定格流量 WECCSI と再循環モードでのECCS定格流量 WECCSR
- ⑧ 注入モードのECC水の比エンタルピ HECCSI
- ⑨ 热交換器の熱通過率 HC NV EC と伝熱面積 ACNVEC
- ⑩ 热交換器2次側冷却水温度 TCNVEC と冷却水流量 WCNVVEC

$1 \leq IECTN \leq 10, 1 \leq IECSMP \leq 5$

9.のCAVITYデータのICCAVで指定されたコンパートメントにECC水は注入される。
同じく、9.のCAVITYデータのTDROPに時刻が達するまではECCSは計算しない。

IECTN ≤ 0 の場合、②～⑩のデータは読まない。また、ICCAV ≤ 0 の場合、ECCSは計算しない。

TECON(I) $\leq T < TECOF(I)$ でECCSが作動するときの流量は、WECCSI * ECFACT(I)またはWECCSR * ECFACT(I)となる。

12. COOLER データ

- ① クーラー時刻テーブル・データ数 ICLTNとコンパートメント番号 ICLCMP
- ② クーラー作動開始時刻テーブル TCLON(10)
- ③ クーラー作動終了時刻テーブル TCLOF(10)
- ④ クーラー起動設定圧テーブル PCLON(10)
- ⑤ クーラー停止設定圧テーブル PCLOF(10)
- ⑥ クーラー除熱係数 CLFACT(10)
- ⑦ 热交換器の熱通過率 HCLCNDと伝熱面積 ACLCND
- ⑧ 热交換器の2次側冷却水温度 TCLCND

$$1 \leq ICLTN \leq 10, 1 \leq ICLCMP \leq 5$$

ICLTNまたはICLCMP ≤ 0 の場合、②～⑧のデータは読まない。また、ICLCMP ≤ 0 の場合、COOLERは計算しない。

13. VENT データ

- ① ベント時刻テーブル・データ数 IVNTNとコンパートメント番号 IVNCMP(2)
- ② ベント作動開始時刻テーブル TVNON(10)
- ③ ベント作動終了時刻テーブル TVNOF(10)
- ④ ベント起動設定圧 PVNON(10)
- ⑤ ベント停止設定圧 PVNOF(10)
- ⑥ ベント流量係数 VNFACT(10)
- ⑦ ベント定格流量 VFR

$$1 \leq IVNTN \leq 10, 1 \leq IVNCMP(1), IVNCMP(2) \leq 5$$

IVNTN ≤ 0 またはIVNCMP(1) ≤ 0 またはIVNCMP(2) ≤ 0 の場合、②～⑦のデータは読まない。また、IVNCMP(1) ≤ 0 またはIVNCMP(2) ≤ 0 の場合、VENTは計算しない。

TVNON(I) $\leq T < TVNOF(I)$ でVENTが作動するときの流量は、VFR * VNFACT(I)となる。

14. SLAB データ

- ① スラブ数 NSLAB
- ② スラブ材料名 LMATS(4, 20)
- ③ スラブに接するコンパートメント番号 ISBCMP(2, 20)
- ④ スラブ温度テーブル TSLB(20)
- ⑤ スラブ長さテーブル SBLNG(20)
- ⑥ スラブ下端位置テーブル ZLOSSB(20)
- ⑦ スラブ上端位置テーブル ZUPSB(20)

- ⑧ スラブ熱伝導率テーブル SBKCN(20)
- ⑨ スラブ厚さテーブル TICSB(20)
- ⑩ スラブ比熱テーブル CPSLB(20)
- ⑪ スラブ密度テーブル RHOSB(20)
- ⑫ 液相からスラブへの熱伝達係数テーブル HLCON(20)
- ⑬ 気相からスラブへの熱伝達係数テーブル HGCON(20)

$1 \leq N_{SLAB} \leq 20, 1 \leq ISBCMP(i, j) \leq 5$

$N_{SLAB} \leq 0$ の場合、②～⑬のデータは読まない。

$N_{SLAB} \leq 0$ の場合、SLABは計算しない。

$N_{SLAB} \geq 1$ でかつ、 $ISBCMP(i, j) < 1$ または $ISBCMP(i, j) > 5$ の場合、SLABは計算しない。

15. H2BURN データ

- ① 燃焼パラメータ JBURN, 燃焼するための可燃性ガスの下限モル分率 FBURN, 燃焼後に残る可燃性ガスのモル分率 FLIM
燃焼するための酸素の下限モル分率 FLIMO2, 燃焼するための水蒸気の上限モル分率 FLIMS
- ② その他の可燃性ガス 1 モルが、酸素 X O2 モルと反応し、水 X H2O モル、二酸化炭素 X CO2 モル、その他の不燃性ガス XY モルが生成する。
- ③ その他の可燃性ガスの分子量 MWOCG とその他の不燃性ガスの分子量 MWONCG
- ④ 水素、一酸化炭素、その他の可燃性ガスのそれぞれ 1 キロモルが燃焼したときの発熱量 QHZ, QC0, QX

$JBURN \leq 0$ の場合、H2BURNは計算しない。②～④のデータを読まない。

$JBURN = 1$ の場合、そのコンパートメントの可燃性ガスのモル分率 $\geq FBURN$ かつ酸素のモル分率 $> FLIMO2$ かつ水蒸気のモル分率 $\leq FLIMS$ となったとき、そのコンパートメントの可燃性ガスのみ燃焼する。

$JBURN = 2$ の場合、あるコンパートメントの可燃性ガスのモル分率 $\geq FBURN$ となったとき、酸素のモル分率 $> FLIMO2$ かつ水蒸気のモル分率 $\leq FLIMS$ であるすべてのコンパートメントの可燃性ガスが燃焼する。

16. ICECON データ

- ① アイス・コンデンサのあるコンパートメント番号 ICICE
- ② 氷の質量 MICE と氷の温度 TICE
- ③ 氷の融解熱 QMLTIC と氷の融点 TMLTIC
- ④ 氷の比熱 CPICE と氷の表面積 SICE
- ⑤ 氷とアイス・コンデンサ気相との熱伝達係数 HCICE

$ICICE \leq 0$ の場合、②～⑤のデータは読まず、ICECONの計算はしない。また、 $MICE \leq 0$ の場合も、ICECONの計算はしない。

17. BREACH データ

- ① 破損の起こるコンパートメント番号 IBRCMP

② 破損口面積 BRAREA と、オリフィス係数 COCEF

③ 破損圧力 PBREAK と破損口高さ ZBRCH

$$1 \leq IBRCMP \leq 5$$

IBRCMP ≤ 0 の場合、②～③のデータは読まず、BREACHの計算はしない。

18. RWST データ

① 初期水位 ZCRWST とモード切換え水位 ZWLST

② 水平断面積 ARWST

CSPRAY データの ISPTN ≤ 0 かつ ECCS データの IECTN ≤ 0 の場合、①～②のデータは読まない。

4.3 入力データのFORMAT

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
DTA
(A15)
DTA (E 0.0) 時間ステップ幅テーブル
DTPNTA
(A15)
DTPNTA (E 10.0) 出力間隔テーブル
DEBUG
チェック・ライト・フラグを立てるサブルーチン数 (I 2)
サブルーチン名(A8) フラグ・レベル(I 1)
单 位
(A15)
TSDBG TEDBG
チェック・ライト開始時刻 チェック・ライト終了時刻
SYSPRES
PSYS (E 1 0.0) (A15)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	AREA	单 位 (A15)	各セグメントの水平断面積 (E10.0)
TEMP	温 度 液相温度 (E10.0)	单 位 (A15)	温 度 气相温度 (E10.0) (A15)
ZWL	水 位 ZWL (E10.0)	单 位 (A15)	
RMOLG	RMOLG(1,1,1) ガス成分のモル数の比 (E10.0) RMOLG(8,1,1)	RMOLG(1,2,1) RMOLG(8,2,1)	
BLWDWN	ブローダウン	ブローダウンを受けるコンパートメント番号 (II) IBDCMP ブローダウン・データ数 (II) BDIN	
TIME	单 位 (A15)	ブローダウン時刻テーブル (E10.0) TBLWD	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80			

CSPRAY 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 50 61 59 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 70

CSS GRID

ISPCMF 第1回会議

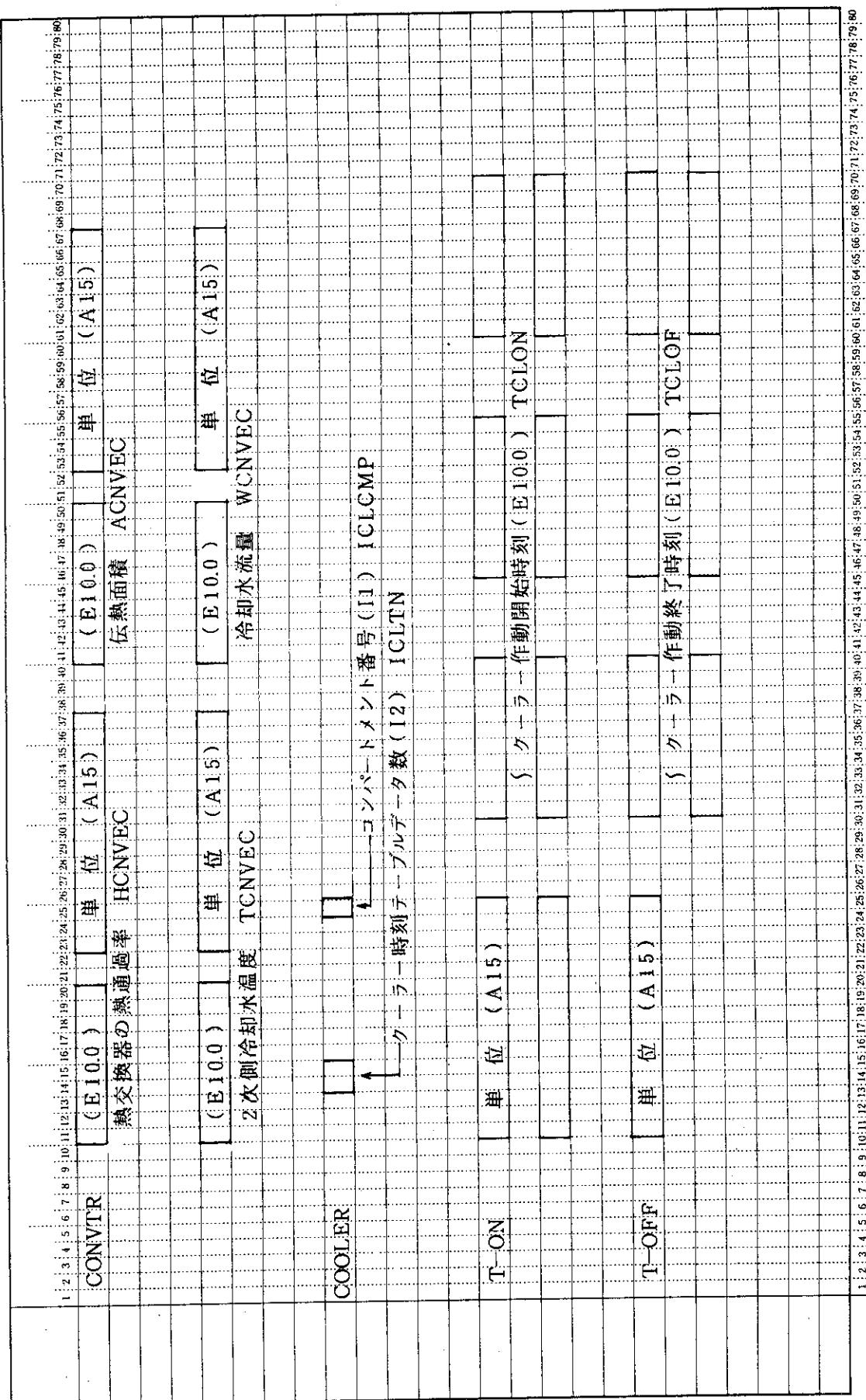
一時刻データ数(12) ISPTN

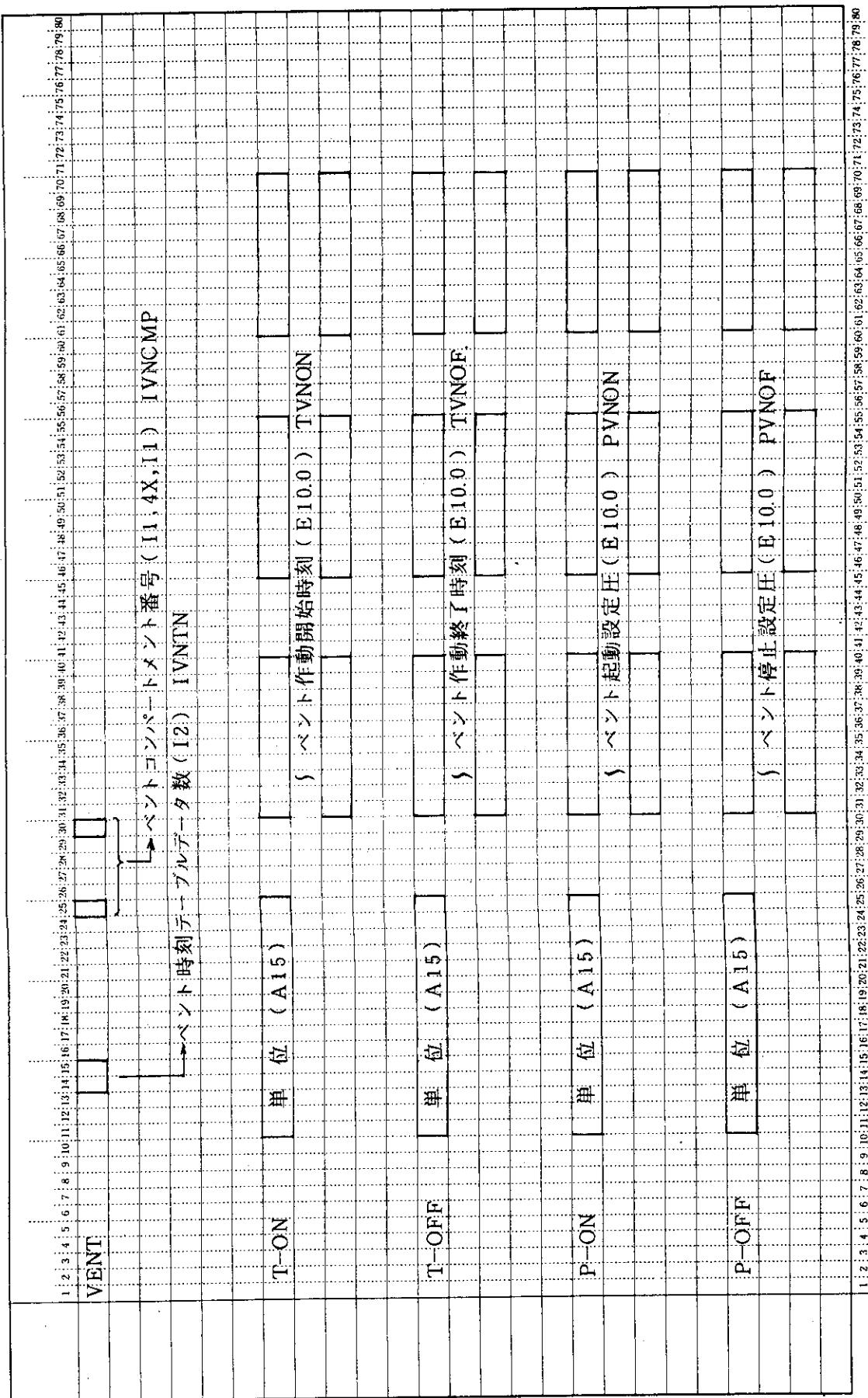
スプレー作動開始時刻 (E 10.0) TSPON

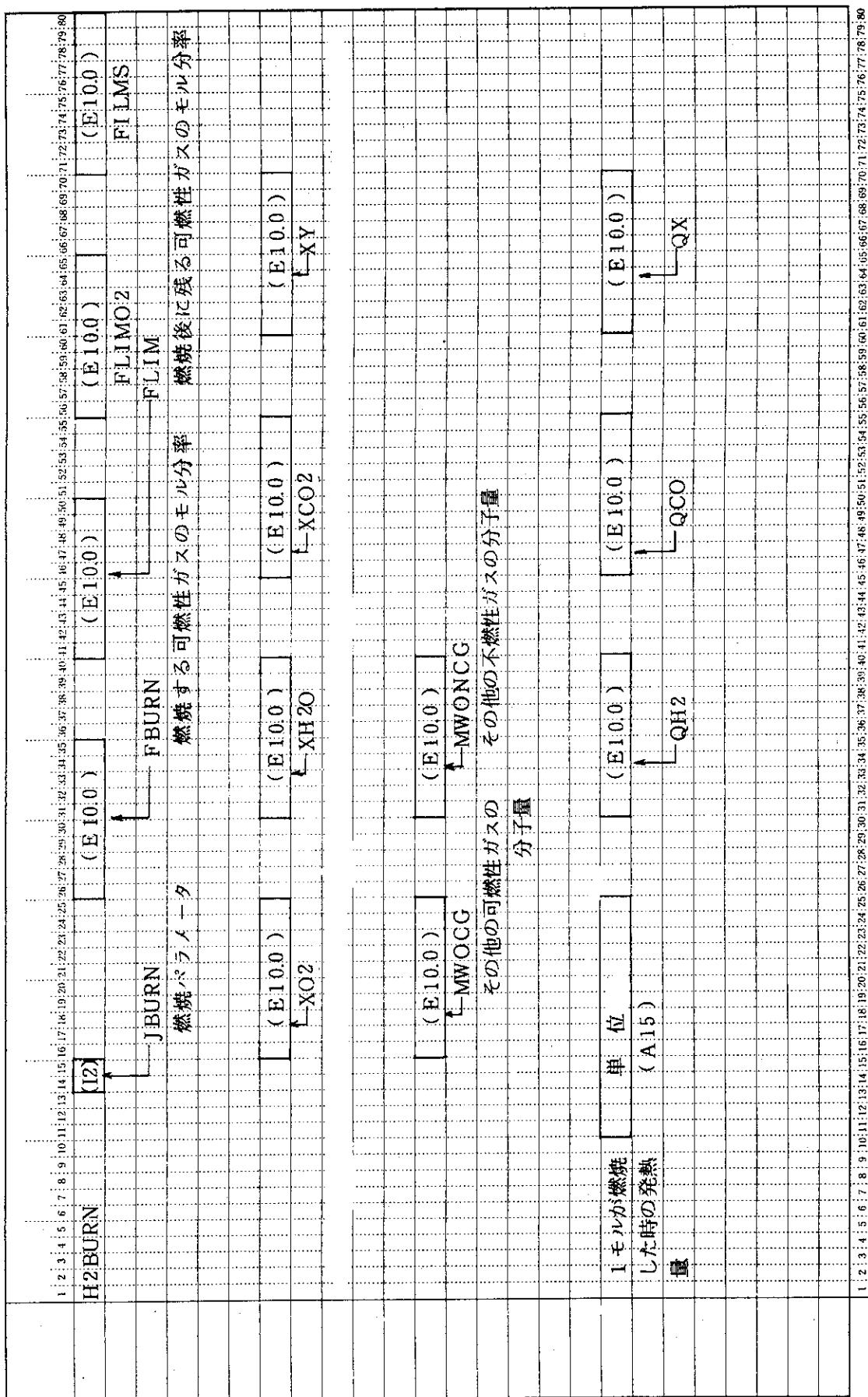
T-OFF	P-ON	単位	(A15)	スプレーワーク終了時刻(E10.0)	TSPOF	SPSPOF
					スプレーワーク起動設定時刻(E10.0)	SPSPOF

P-OFF 単位 (A15) { スプレー停止設定圧 (E10.0) PSPOF

	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
FACTOR	
	{ スプレー流量係数 (E10.0) SPFACT
	FLOW 単位 (A15) (E10.0) WSPIN 再循環モードでのスプレー定格流量 WSPRE
	注入モードでのスプレー定格流量 WSPIN 単位 (A15) (E10.0)
	(E10.0) 単位 (A15) HSPIN 注入モードのスプレー水の比エネルギー
	CONVTR 単位 (A15) (E10.0) HGNVSP 热交換器の熱通過率 HGNVSP 伝熱面積 ACNVSP
	(E10.0) 单位 (A15) (E10.0) (E10.0) WCNVSP 冷却水流量 WCNVSP
	2次側冷却水温度 TCNVSP
DROPLT	(E10.0) (E10.0) (E10.0) VSPRY
	スプレー水滴直径 DSPRY
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80







4.4 出力データ

正式プリントで出力するデータは以下のとおりである。

- ① 時刻 TMIN(分), 時間ステップ幅DTMIN(分), プリント間隔DTPMIN(分), 時刻テーブル
・インデックス I, その時刻テーブル・インデックス中での時間ステップ数 J
- ② 体系圧力 PSYS
- ③ コンパート名LCOMP, コンパートメント番号
- ④ コンパートメント液相の体積 VOLMM(1,N)
" 質量 MASSM(1,N)
" エネルギー HEATM(1,N)
" 温度 TEMP(1,N)
- ⑤ コンパートメント気相の体積 VOLMM(2,N)
" 質量 MASSM(2,N)
" エネルギー HEATM(2,N)
" 温度 TEMP(2,N)
- ⑥ 離脱気泡質量MSEPG(N), 落下液滴質量MSEPL(N)
- ⑦ 水位レベルZWL(N)
- ⑧ ジャンクション番号 NJ, 移動体積 VJFW(NJ)
移動質量 MJFW(NJ)
移動エネルギー QJFW(NJ)

Fig. 4.1 に出力例を示す。この例では、MK S 常用単位系を用いている。

***** RESULTS OF TRANSIENT CALCULATION *****

TIME = 6.5000E+02 DT = 5.0000E-01 DTPRN = 2.0000E+01 I 2 J - 1200

*** SYSTEM PRESSURE = 1.98947E+05 EVENT = 10000020 COMPARTMENT NUMBER = 1
COMPARTMENT NAME = REACTOR CAVITY HEAT TEMP
MIXTURE VOLUME MASS MASS

LIQUID	0.0	0.0	0.0
GAS	1.37325E+02	2.93012E+02	1.90786E+05
MASS OF SPERATED BUBBLE	= 0.0		
MASS OF SPERATED DROPLET	= 0.0		
WATER LEVEL	= 1.82380E+00		

COMPARTMENT NAME = DRYWELL COMPARTMENT NUMBER = 2

MIXTURE VOLUME	MASS	MASS	HEAT TEMP
LIQUID	5.17354E+01	4.56445E+02	8.42154E+04
GAS	4.33161E+03	2.42568E+04	1.13046E+07

MASS OF SPERATED BUBBLE = 7.01039E+01

MASS OF SPERATED DROPLET = 0.0

WATER LEVEL = 6.09642E+00 COMPARTMENT NUMBER = 3

COMPARTMENT NAME = WETWELL

MIXTURE VOLUME	MASS	MASS	HEAT TEMP
LIQUID	3.94567E+03	3.48047E+06	6.42145E+08
GAS	3.33416E+03	3.12357E+04	1.80334E+07

MASS OF SPERATED BUBBLE = 0.0

MASS OF SPERATED DROPLET = 0.0

WATER LEVEL = 3.88217E+00 JUNCTION FLOW --- NUM. OF JUNC.

1	(2,1) ----> (1,2)	3.20553E+01	7.01039E+01	4.56459E+04
2	(2,2) ----> (2,3)	8.35139E+00	6.69924E+01	2.18733E+04

MASS AND ENERGY MODEL COMP. NO. M. INCREM. Q. INCREM. M. INTEG. Q. INTEG.

BLDOWN 3 LIQUID IN LIQ. PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

3	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	4.46055E+05	5.9716E+08
3	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0

CAVITY 1 LIQUID IN LIQ. PHASE 0.0 0.0 0.0 1.48344E+06

1	DROPLET IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
1	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	4.33810E+01	2.35538E+04
1	GAS IN GAS PHASE	7.06711E+01	4.60340E+04	1.34346E+04	8.38467E+06

CSPRAY 2 LIQUID IN LIQ. PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

2	DROPLET IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
2	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
2	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0

COOLER 1 LIQUID IN LIQ. PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

2	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
---	------------------	-----	-----	-----	-----

VENT 1 GAS IN GAS PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

2	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
---	------------------	-----	-----	-----	-----

SLAB 1 LIQUID IN LIQ. PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

1	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	2.66696E+01	2.15908E+03
2	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	-1.60545E+04	-6.00072E+06
3	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	2.23745E+03	-3.3383E+06
3	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	-2.73276E+03	-4.24829E+05

SLAB 1 GAS IN GAS PHASE 0.0 0.0 0.0 0.0

2	GAS IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0
---	------------------	-----	-----	-----	-----

Fig. 4.1 Sample Output List

BREACH	3	GAS	IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	2	GAS IN GAS PHASE	-2.57925E+01	-1.20226E+04	-7.02558E+03	-3.36846E+06		
TOTAL - MASS AND ENERGY								
	1	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0	1.48344E+06	
	1	DROPLET IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	1	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	4.33810E+01	2.35530E+04		
	1	GAS IN GAS PHASE	7.06711E+01	4.60340E+04	1.34346E+04	6.38467E+06		
	1	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	2.66696E+01	0.0	2.15908E+03		
	2	DROPLET IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0		
	2	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0		
	2	GAS IN GAS PHASE	-2.57925E+01	-2.80769E+04	-7.02558E+03	-7.36929E+06		
	3	LIQUID IN LIQ. PHASE	0.0	2.23744E+03	0.0	-3.33883E+06		
	3	DROPLET IN GAS PHASE	0.0	0.0	0.0	0.0		
	3	BUBBLE IN LIQ. PHASE	0.0	0.0	4.46055E+05	5.49716E+08		
	3	GAS IN GAS PHASE	0.0	-2.73276E+03	0.0	-4.24629E+05		
	TEMPERATURE OF MELT = 1.64255E+03	MASS OF MELT = 4.43517E+05						
MLT RAD. SLAB NO.= 2	GAS	IN GAS PHASE	Q.INCREM. OF MLT RAD. = 4.40117E+02	Q.INTEG. OF MLT RAD. = 8.16861E+04				
NUM. OF SLABS= 3	SLAB TEMP.	4.06893E+02	6.88048E+01	1.88072E+02				

Fig. 4.1 Sample Output List (Continued)

5. サンプルラン

THALES-CV1のサンプル計算として、PWRとBWR各1ケースづつ挙げておく。必要な入力データの中で、BLWDWNデータとCAVITYデータは、炉心・一次系の熱水力計算の結果与えられるものである。これらの入力データについては、将来はTHALES-P(又は-B)の計算結果を用いる予定であるが、ここでは、MARCHコードの計算結果を用いている。又、計算結果のプロッター出力には、SPLPACK^[12]を用いた。以下に、サンプルケースの想定する事故シーケンス及び計算結果の概要について述べる。

5.1 PWRサンプルケース

PWRサンプルケースは、Indion Point Unit 3を対象として体系をモデル化し、S₂Dシーケンス(small LOCA, no ECCS)の解析を行ったものである。このシーケンスは、一次系の小破断LOCA(気相破断)を起因事象とし、ECCSの不作動により、炉心溶融に至るものであり、格納容器の除熱機構として、格納容器スプレー及びクーラーの作動を想定している。

5.1.1 入力データの概要

Table 5.1に入力値のリストを示し、以下に簡単に説明を加える。

- (1) 体系データ…Fig. 5.1に示すように、主コンパートメントと原子炉キャビティの2コンパートメントにモデル化する。初期状態では、両コンパートメント共に、水はないものとする。
- (2) BLWDWNデータ…このケースは、破断口位置が圧力容器内初期水位よりも高い気相破断であり、事故直後は、蒸気のみが主コンパートメントへ流出する。ブローダウンは事故開始後210分(1.26×10^4 秒)まで続く。
- (3) CAVITYデータ…融体落下時刻は事故開始後219分(1.31×10^4 秒)である。
- (4) CSPRAYデータ…スプレーは常にスタンバイ状態にあるとし、圧力が38 psi(2.67×10^4 kgf/m²)を越えると起動するものとする。スプレーは計算終了時まで作動し続けるものとする。水源は注入モードではRWST、再循環モードではサンプ(主コンパートメントの液相)であり、スプレーは主コンパートメントに注入される。
- (5) ECCSデータ…ECCSは一切作動しないものとする。ただし、炉容器破損時には、アクチュエータの水が瞬時にキャビティに注入される。
- (6) COOLERデータ…クーラーは事故開始と同時に起動し、計算終了時まで作動し続けるものとする。なお、クーラーの位置するのは主コンパートメントである。
- (7) SLABデータ…Fig. 5.1に示すような4つのスラブを考える。スラブ1とスラブ2は、それぞれ格納容器ドームと格納容器シリンドラに対応し、材質は共にコンクリートである。また、スラブ3は格納容器内の雑多なスチール構造物に、スラブ4は雑多なコンクリート

構造物に対応している。

- (8) H2 BURN データ…格納容器雰囲気中の可燃性ガスの濃度が 10% を越えると可燃性ガスの燃焼が起こるものとする。
- (9) BREACH データ…格納容器の破損圧力 900 psi ($6.3 \times 10^5 \text{ kgf/m}^2$) とし、格納容器は実質上破損しないものとする。

5.1.2 計算結果の概要

Fig. 5.2(a)～(e)に計算結果のプロッター出力を示す。Fig. 5.2(a)は体系圧力の時間変化をプロットしたものである。事故開始後 50 分 (3.0×10^3 秒) ぐらいまでは、一次系からの蒸気の流入によって体系圧力は上昇し続ける。この間、クーラーは作動しているが、クーラーとスラブによる除熱だけでは圧力上昇を抑えきれない。体系圧力が 38 psi ($2.67 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$) に達すると、格納容器スプレーが始動する。スプレー始動後は、主コンパートメントの気相が十分に除熱されるため、圧力は徐々に低下していく。事故開始後 219 分 (1.3×10^4 秒) になると、融体がキャビティに落下し、キャビティに存在していた水が瞬時に蒸発するため、体系圧力は急上昇する。その後、気相に蒸気の存在するうちは蒸気の凝縮によって再び体系圧力は低下していく。この間、キャビティでは、融体-コンクリート反応によって非凝縮性ガスが発生し続ける。事故開始後 300 分 (1.8×10^4 秒) 前後で、気相から蒸気成分がなくなり、非凝縮性ガスのみで占められるようになる。以後は、非凝縮性ガスの質量増加に伴って、体系圧力も上昇していく。

Fig. 5.2(b)は主コンパートメントの気相及び液相温度の時間変化をプロットしたものである。格納容器スプレーが始動するまでは気相温度の方が液相温度よりも高い。スプレー始動後しばらくすると気相・液相ともに水の飽和温度となり、蒸気の凝縮によって、飽和温度に保たれながら圧力が低下していく。融体がキャビティに落下すると、キャビティからの蒸気の流入によって一時的に気相温度が高くなるが、約 100 分後には再び飽和温度まで低下し、蒸気が凝縮し始める。その後約 20 分で気相の蒸気成分はすべて凝縮し、水の潜熱の寄与がなくなるため、気相の温度は急速に低下していく。THALES-CV1 の体系圧力計算モデルでは、蒸気分圧の項を考慮していないため、飽和温度より低い温度では、気相中に蒸気は存在しない。

Fig. 5.3(c)はコンパートメントの水位の時間変化をプロットしたものである。ただし、ここでの水位とは、キャビティ底面を零としたときの水面の高さである。事故開始時には、主コンパートメント、原子炉キャビティとともに水は存在しない。主コンパートメントでは、格納容器スプレーの始動後、水位はほぼ直線的に増加する。キャビティには、主コンパートメントから流入する水が溜まるが、融体落下時に瞬時に蒸発し、その後は液相は存在しない。

Fig. 5.2(d)は、融体の温度及び質量の時間変化をプロットしたものである。キャビティへの融体の落下後、融体の質量は、コンクリート分解生成物の流入により、単調に増加していく。融体の温度が単調に低下せず、曲線に凹凸があるのは、金属-ガス反応の影響である。THALES-CV1 の金属-ガス反応モデルによれば、最初に Fe が CO_2 及び H_2O と反応し、続いて、Ni, Zr, Cr の順に H_2O と反応していく。Fe と CO_2 の反応は吸熱反応であり、Fe と H_2O 及び Ni と H_2O の反応は発熱量が小さい。従って、Fe と Ni が反応している間は、融体温度はほと

んど変化しない。Zr, Cr と H_2O の反応は発熱量が大きく、Zr と Cr が反応している間は、融体の温度は上昇する。金属を消費し尽した後は、融体の温度は単調に低下していく。

Fig. 5.2(e)は、主コンパートメント気相の各ガス成分モル分率の時間変化をプロットしたものである。融体のキャビティへの落下直後から O_2 のモル分率が急に低下し、遂にはなくなっているのは、この部分で可燃性ガスの燃焼が起こっていることを示している。また、この図からキャビティへの融体の落下後、コンクリートの分解後及び金属-ガス反応によって生成した非凝縮性ガスの流入によって、気相の組成が大きく変化していくようすが良く分かる。事故開始後約 300 分 (1.8×10^4 秒) で気相から蒸気がなくなり、前述のように、体系圧力が下降から上昇に転ずる。又、事故開始後約 460 分 (2.76×10^4 秒) で、融体中の金属を消費し尽し、金属-ガス反応は起こらなくなる。従って、以後は CO_2 のみが増加していく。

5.2 BWR サンプルケース

BWR サンプルケースは、Browns Ferry Unit 1 を対象として体系をモデル化し、TB' (Station Blackout Initiated Transient) シーケンスの解析を行ったものである。このケースは、所内／所外 AC 電源の完全喪失を起因事象として、除熱機能の喪失、冷却材の蒸発と逃し安全弁からの放出、炉心の溶融・崩壊に至るシーケンスを模擬している。

5.2.1 入力データの概要

Table 5.2 に入力値のリストを示し、以下に簡単に説明を加える。

- (1) 体系データ … Fig. 5.3 に示すように、ドライウェル、ウェットウェル、原子炉キャビティの 3 コンパートメントにモデル化する。
- (2) BLWDWN データ … このケースでは、一次系からのブローダウンは、逃し安全弁を通してウェットウェル水中への放出であり、事故開始後 490 分 (2.94×10^4 秒) まで続く。
- (3) CAVITY データ … 融体落下時刻は、事故開始後 541 分 (3.25×10^4 秒) である。
- (4) CSPRAY データ … 格納容器スプレーは作動しない。
- (5) ECCS データ … キャビティへの ECC 水の注入はない。
- (6) COOLER データ … クーラーは作動しない。
- (7) SLAB データ … Fig. 5.3 に示すような 3 つのスラブを考える。スラブの材質は、スラブ 1 とスラブ 3 がスチールであり、スラブ 2 はコンクリートである。
- (8) H2BURN データ … 可燃性ガスの燃焼は起らないものとする。
- (9) BREACH データ … 体系圧力が、 139.7 psi ($9.82 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$) を越えると、ドライウェルに面積 0.00694 ft^2 ($6.48 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) の微小な穴があくこととする。

5.2.2 計算結果の概要

Fig. 5.4(a)～(e) に計算結果のプロッター出力を示す。Fig. 5.4(a) は体系圧力の時間変化をプロットしたものである。このシーケンスでは、格納容器スプレー、クーラー等の除熱機構は全く作動しない。従って、炉心融体がキャビティに落下する以前には、コンパートメントへの質

量、熱量の出入は、遮し安全弁を通してサプレッションプール水中への蒸気の放出とスラブによる除熱のみである。サプレッションプールの水温が飽和温度に達するまでは、流入蒸気はサプレッションプールで凝縮するため、体系圧力はほとんど上昇しない。事故開始後約180分(1.1×10^4 秒)でサプレッションプールの水温が飽和温度に達し、沸騰が始まるため、徐々に圧力は上昇していく。事故開始後490分(2.94×10^4 秒)になると、溶融炉心の炉容器底部ヘッドへの落下に伴って、サプレッションプールに急激に蒸気及び水素が流入し、圧力は急上昇する。ここで、体系圧力は格納容器の破損圧力を越え、格納容器が破損する。一次系からのプローダウンはこの時点で終了し、かつ、格納容器破損口からの放出があるため、一次的に圧力は上昇しなくなる。しかし、破損口径が小さく、放出流量がそれ程大きくなないので、圧力が下降する程の効果はない。事故開始後541分(3.25×10^4 秒)に炉心融体がキャビティに落下後は、コンクリートの分解及び金属一ガス反応によって生成する非凝縮性ガスがキャビティからドライウェル、ウェットウェルに流入するため、再び体系圧力は上昇していく。

Fig. 5.4(b)はウェットウェルの液相及び気相の温度の時間変化をプロットしたものである。プローダウン蒸気はウェットウェル液相に入るため、沸騰が始まるまでは、液相の温度の方が気相の温度よりも高い。沸騰が始まると圧力が上昇し始めて以降、融体がキャビティに落下するまでは、液相・気相共に飽和温度に保たれる。融体落下以後は、高エンタルピの非凝縮性ガスの流入によって、気相温度の方が高くなっていく。

Fig. 5.4(c)は、各コンパートメントの水位の時間変化をプロットしたものである。キャビティ及びドライウェルは、初期状態では水ではなく、ジャンクションを通して流入する水及び蒸気の凝縮により液相が形成される。キャビティの液相は融体落下直後に消滅する。ウェットウェルの液相へは一次系から蒸気が流入するため、水位は徐々に上昇していく。液相温度が飽和温度に達した後もボイド率は0であり、水位が大きく上昇することはない。これは、現バージョンの相分離モデルでは、気泡離脱速度が 0.5 m/sec とかなり大きく、実質上、時間ステップの終りには、気泡は全て気相に移動するためである。

キャビティへの融体落下後の挙動についてはPWRの場合と大差ないので、説明を省略する。

Table 5.1 Input Cards for PWR Sample Case

JOB CARD PWR SAMPLE PROBLEM REFERENCE CASE : SEQUENCE - S20 ,
 SMALL LOCA , NO ECC , CONT. SPRAY & FAN/COOLER WORK

MKSC	DEGC		
TSTOP	1000. MIN	1.0E-4 KGM	
VEPS	1.0E-4 M3	1.0E-4	
IDT	2		
TA	MIN	10.0	1000.
DTA	MIN	0.5	0.5
DTPNTA	MIN	1.0	20.0
DEBUG	1		
	INPUT 3		
	MIN	0.0	2.0
SYS PRES	11.7 PSI		
GEOMETRY	2 NNODE 1 NJUN		
NOJUN	1 2		
ZJUN	FT	18.16	18.12
LCOMP	MAIN COMPARTMENT		1
ELS	FT	18.12	200.09
AREAS	FT2	14310.0	
TEMP	70.0 DEGF	120.0	DEGF
ZWL	18.12 FT		
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.21	
RMOLG	0.0	0.79	
RMOLG	0.0	0.0	
LCOMP	REACTER CAVITY		1
ELS	FT	0.0	18.12
AREAS	FT2	321.2	
TEMP	70.0 DEGF	120.0	DEGF
ZWL	0.0 FT		
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.21	
RMOLG	0.0	0.79	
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.0	
RMOLG	0.0	0.0	
BLWDN	7	1 (NUREG/CR-2540	FIG.C.1,2,3 -- B.D. TABLE)
TBLWD	MIN	0.0	100.0
		160.0	209.0
		210.0	
WBLWD	LBH/MIN	2400.0	4200.0
		3000.0	500.0
		2400.0	
WBHD2	LBH/MIN	0.0	0.0

Table 5.1 (Continued)

HBLWD	KCAL/KGM		0.0 160.0 1140.0 1160.0 1290.0	0.0 1130.0 1240.0	28.0 1120.0 1630.0
ZBLWD	40.0	FT			
CAVITY	2	1			
TDROP,TMLT	219.0	MIN		3410.0	DEGF
MMLT	565200.0	LBM			
FMLT	0.4372 0.3818 0.0		0.0039 0.0704 0.0	0.0685 0.0 0.0	0.0382 0.0 0.0
TINTC,TDEC	293.0	DEGK		796.0	DEGK
CPCONCHDECO	0.996	J/GM.DEGK		0.0	KCAL/KGM
FCONC	0.5617 0.3518		0.01	0.01	0.0665
TSHUTQZERO	0.0	MIN		1.032E10	BTU/HR
ALFAFPSACT	1.2		0.0038		
CP	KCAL/KGM.DEGC		0.11 0.105 0.23 0.26	0.072 0.056 0.23 0.16	0.10 0.11 0.18 0.14
QCHEM	J/GM		-377.0 7760.0	22.29 7760.0	22.29
HIMC,HIML	0.01	W/CM2.DEGK		0.515G	W/CM2.DEGK
	1.0		0.5	0.5	0.5
CSPRAY	1	1	1	(SPRAY - PRES DEPENDENT,NOT TIME	
TSPON	MIN		0.0		
TSPOF	MIN			1.0E6	
PSPON	PSI		38.0		
PSPDF	PSI		0.0		
SPFACT			1.0		
H FLOW	152.0	KGM/SEC		162.0	KGM/SEC
ENTHALP	49.0	KCAL/KGM			
CONVTR	1000.0	BTU/FT2.HR.F		840.3	FT2
T,W	94.0	DEGF		30000.0	LBM/MIN
DROPLT	700.0E-6	M		2.0	M/SEC
H	6000.0	KCAL/M2.HR.DEGC			
HEIGHT	190.0	FT			
ECCS	1	1			
TECON	MIN		219.0		
TECOF	MIN		220.0		
PECON	PSI		0.0		
PECOF	PSI		0.0		
ECFACT			1.0		
H FLOW	1.73E5	LBM/MIN		1.73E5	LBM/MIN
ENTHALP	52.6	KCAL/KGM			
CONVTR	1000.0	BTU/FT2.HR.F		840.3	FT2
T,W	94.0	DEGF		30000.0	LBM/MIN
COOLER	1	1		(COOLER WORK)	
TCLDN	MIN		0.0		
TCLOF	MIN			1.0E6	
PCLDN	PSI		0.0		
PCLOF	PSI		0.0		
FACTOR			1.0		
H,A	1000.0	BTU/FT2.HR.F		1387.0	FT2
T	85.0	DEGF			
VENT	1	1	2	(VENT NOT WORK)	
TVNON	MIN			1.0E6	

Table 5.1 (Continued)

TYNOF	MIN		1.0E6	
PVN0N	PSI		0.0	
PVN0F	PSI		0.0	
VFACT		1.0		
VFR	0.0	LBM/MIN		
SLA8	NSLAB	4		
LMATSB	CONCRETE		CONCRETE	STEEL
	CONCRETE			
ISBCMP	1 1	1 1	1 1	
TSLAB	DEGF		110.0	110.0
			110.0	
SBLNG	FT		301.4	244.1
			157.6	
ZLOS8	FT		150.09	18.12
			18.12	
ZUPSB	FT		200.09	200.09
			200.09	
SBKCN	BTU/FT.HR.F		0.8	25.0
			0.8	
TICSB	FT		7.0	0.13
			2.0	
CPSLB	BTU/LBM.DEGF		0.233	0.113
			0.238	0.238
RHOSB	LBM/FT3		157.0	487.0
			157.0	
HLCN	BTU/FT2.HR.F		100.0	100.0
			100.0	
HGCON	BTU/FT2.HR.F		10.0	10.0
			10.0	
H2BURN	2	0.1	0.0	0.0
X	0.0		0.0	0.0
MX,MY	1.0		1.0	
Q	KCAL		57797.9	67636.1
ICECON	0	(NO ICE CONDENSER)		
BREACH	CMP.	1		
A,DFC	7.0	FT2	0.583	
P,Z	900.0	PSI	100.0	FT
RWST	14.06	M	0.0	M
	100.0	M2		

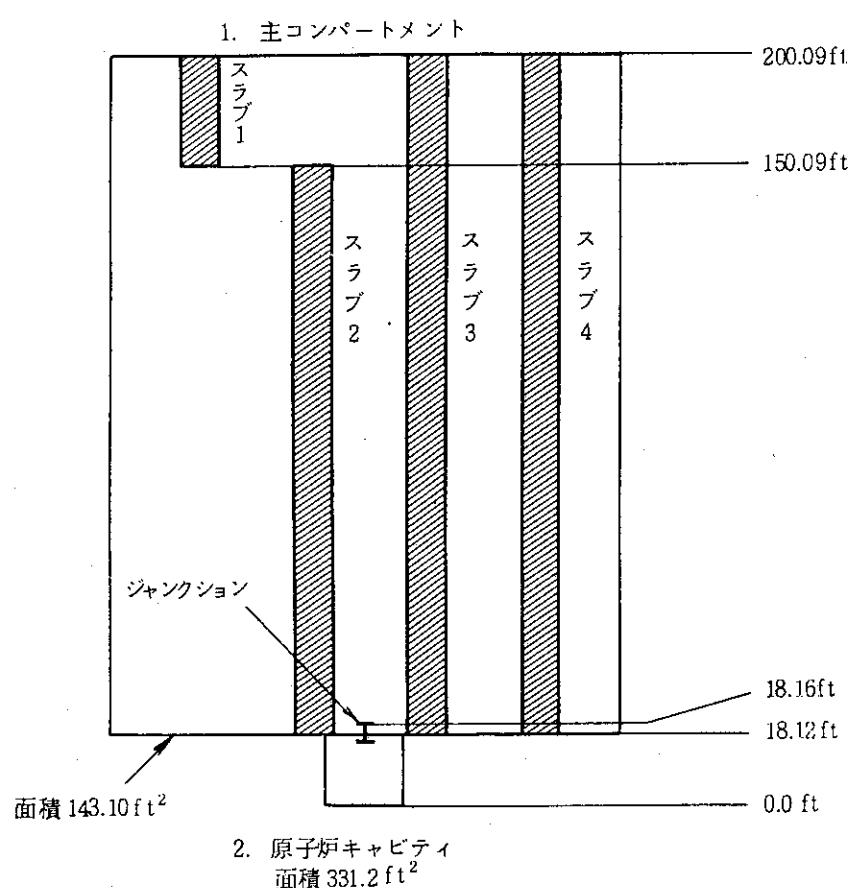


Fig. 5.1 Model System for PWR Sample Case

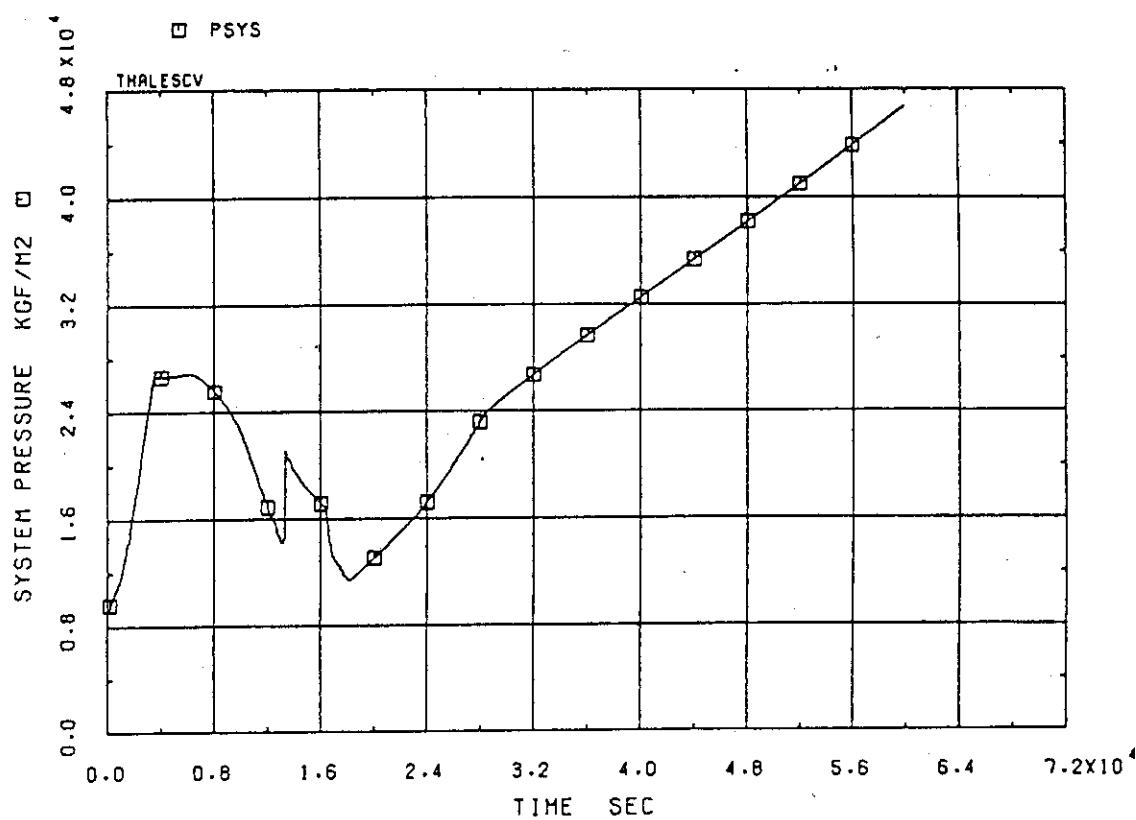


Fig. 5.2 (a) SYSTEM PRESSURE

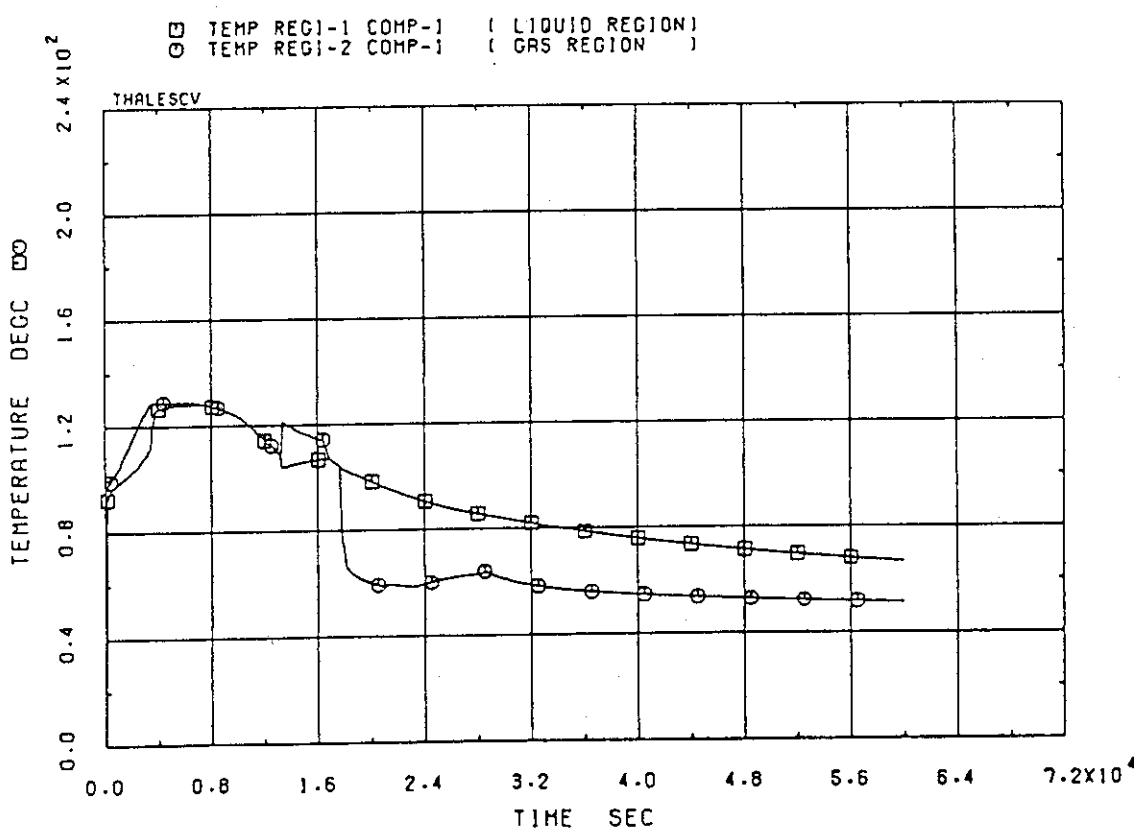


Fig. 5.2 (b) TEMPERATURE (MAIN COMP.)

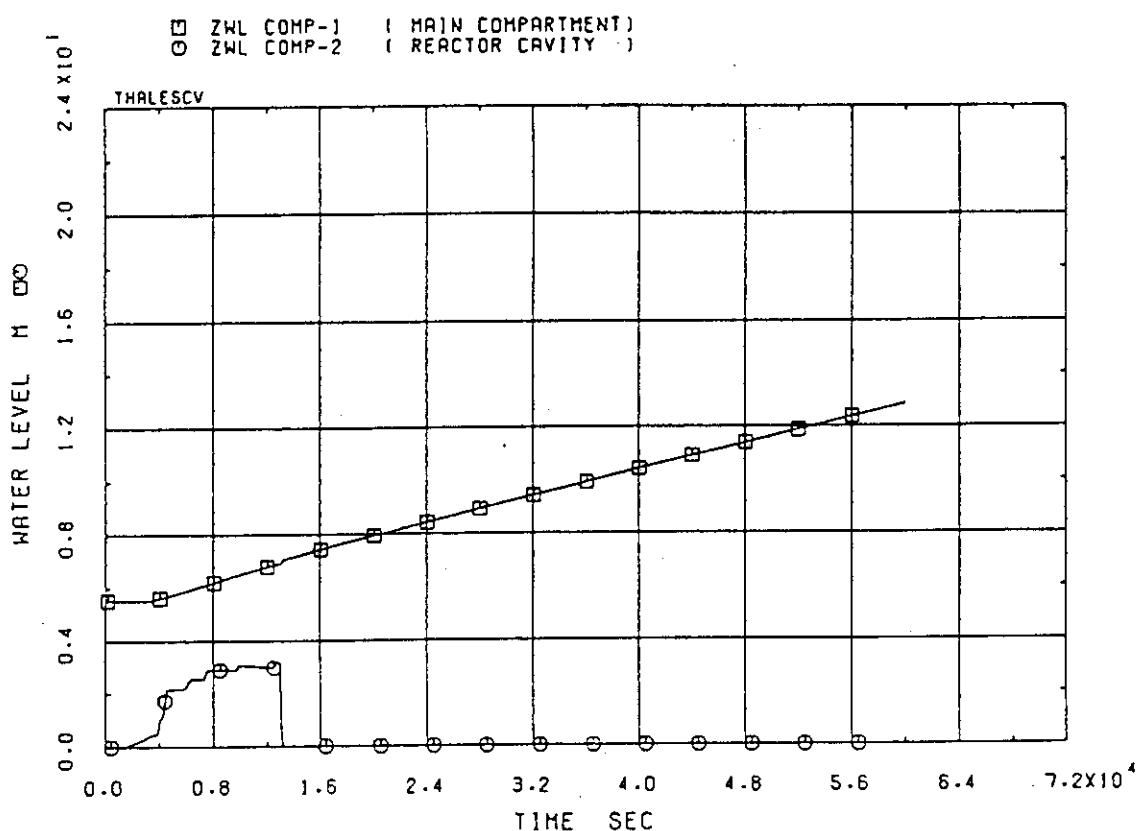


Fig. 5.2(c) WATER LEVEL OF MIXTURE REGION

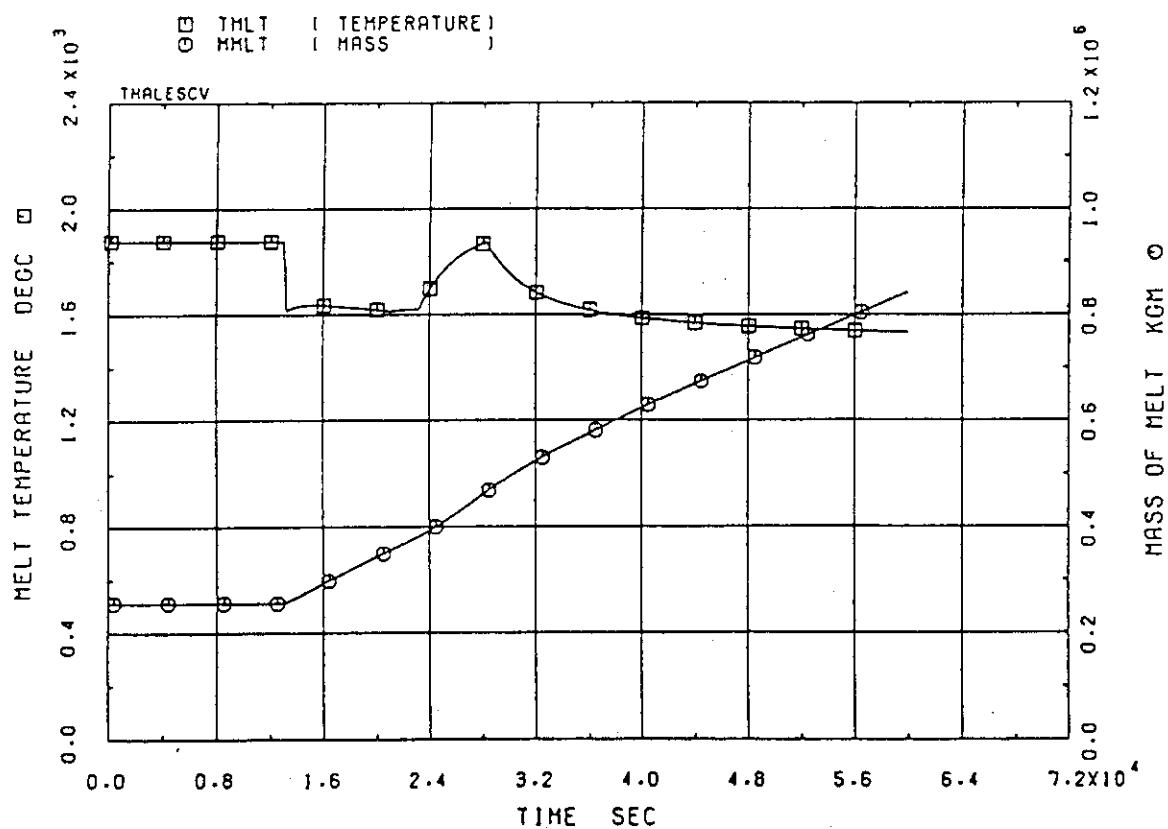


Fig. 5.2(d) TEMPERATURE AND MASS OF MELT

▷	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-1	(	STERM	)	X	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-5	(	CO)
+	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-2	(	H ₂	)	◊	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-6	(	CO ₂)
	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-3	(	O ₂	)	↑	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-7	(	OCG)
	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-4	(	N ₂	)	×	RMOLO	REGI-2	COMP-1	ELEM-8	(	ONCO)

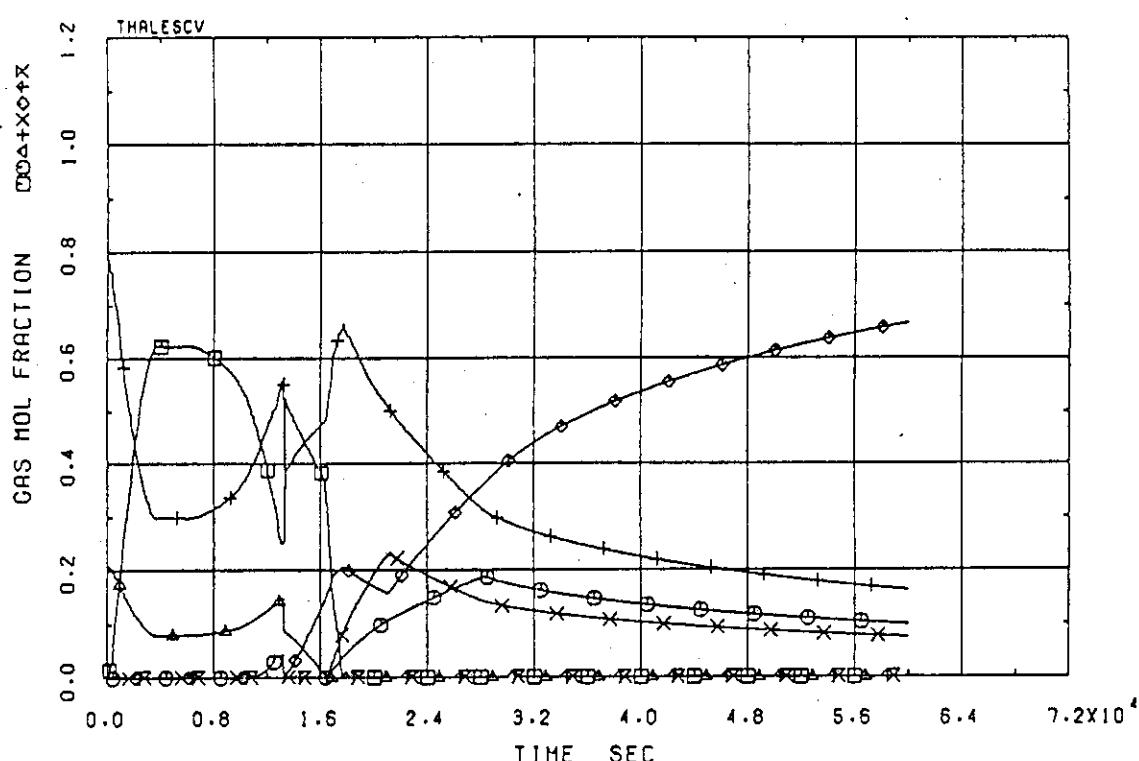


Fig. 5.2 (e) MOL FRACTION OF EACH GAS ELEMENT (2.1)

Table 5.2 Input Cards for BWR Sample Case

JOB CARD BWR SAMPLE PROBLEM REFERENCE CASE ; SEQUENCE - TB" ,
 STATION BLACKOUT-INITIATED TRANSIENT

MKSC	DEGC			
TSTOP	1000.	MIN	1.0E-4	KGM
VEPS	1.0E-4	M3	1.0E-4	
IDT	2			
TA	MIN		1000.	
DTA	MIN		0.5	0.5
DTPNTA	MIN		2.0	20.0
DEBUG	1			
	INPUT	3		
	MIN		2.0	:
SYS PRES	14.7	PSI		
GEOMETRY	3 NNODE	2 NJUN		
	NOJUN	1 2 2 3		
ZJUN	FT		20.0	-20.0066
LCOMP	REACTOR CAVITY		1	20.01
ELS	FT		6.0	23.5
AREAS	FT2		346.4	
TEMP	70.0	DEGF	150.0	DEGF
ZWL	6.0	FT		
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.21	
RMOLG	0.0		0.79	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
LCOMP	DRYWELL		2	
ELS	FT		20.0	70.0
AREAS	FT2		2290.0	855.3
TEMP	70.0	DEGF	150.0	DEGF
ZWL	20.0	FT		
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.21	
RMOLG	0.0		0.79	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
LCOMP	WETWELL		1	
ELS	FT		0.0	23.5
AREAS	FT2		10940.0	
TEMP	95.0	DEGF	95.0	DEGF
ZWL	11.44	FT		
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.0	
RMOLG	0.0		0.21	

Table 5.2 (Continued)

RHOLG	0.0		0.79	
RHOLG	0.0		0.0	
RHOLG	0.0		0.0	
RHOLG	0.0		0.0	
RHOLG	0.0		0.0	
BLWDN	7	3	BROWNS FERRY-1 TB' CASE	
TBLWD	MIN		0.0 15.0 25.0	
			350.0 425.0 490.0	
			491.0	
WBLWD	LBM/MIN		0.0 10000. 2000.	
			2000. 1000. 100.	
			65000.	
WBDH2	LBM/MIN		0.0 0.0 0.0	
			25.0	
			760.0	
HBLWD	KCAL/KGM		1190. 1190. 1190.	
			1190. 1400. 1900.	
			1300.	
ZBLWD	3.0	FT		
CAVITY	1	2		
TDROP,TMLT	541.0	MIN	2520.0	DEGF
MMLT	8.0491E5	LBM		
FMLT	0.3023		0.1197	0.0474 0.0263
	0.4495		0.0548	0.0 0.0
	0.0		0.0	0.0 0.0
TINTC,TDEC	308.16	DEGK	796.0	DEGK
CPCONCHDEC	1.30	J/GM.DEGK	0.0	KCAL/KGM
FCONC	0.3288		0.357	0.067 0.0533
	0.1939			
TSHUTQZERO	0.0	MIN	1.1242E10	BTU/HR
ALFAFFPSACT	1.2		0.0038	
CP	KCAL/KGM.DEGC		0.11 0.072 0.10	
			0.105 0.056 0.11	
			0.23 0.23 0.18	
			0.25 0.16 0.14	
QCHEM	J/GM		-337.0 22.29 22.29	
			7760.0 7760.0	
HIMC,HIML	0.01	W/CM2.DEGK	0.5153	w/CM2.DEGK
	1.0		0.5 0.5 0.5	
CSPRAY	1	2	3	(SPRAY NO WORK)
TSPOON	MIN		1.0E6	
TSPOF	MIN		1.0E6	
PSPON	PSI		0.0	
PSPOF	PSI		0.0	
SPPFACT			1.0	
M FLOW	467.2	KGM/SEC	467.2	KGM/SEC
ENTHALP	35.0	KCAL/KGM		
CONVTR	1000.0	BTU/FT2.HR.F	2639.0	FT2
T,W	95.0	DEGF	65833.0	LBM/MIN
DROPLT	400.0E-6	M	2.0	M/SEC
H	6000.0	KCAL/M2.HR.DEGC		
HEIGHT	105.0	FT		
ECCS	1	3		(ECCS NO WORK)
TECON	MIN		1.0E6	
TECOF	MIN		1.0E6	
PECON	PSI		0.0	
PECOF	PSI		0.0	
ECFACT		1.0		
M FLOW	313.5	KGM/SEC	313.5	KGM/SEC

Table 5.2 (Continued)

ENTHALP	35.0	KCAL/KGM		
CONVYTOR	1000.0	BTU/FT2.HR.F	4000.0	FT2
T,W	95.0	DEGF	1328000.0	LBM/MIN
COOLER	1	2	(COOLER NO WORK)	
TCLOLON	MIN		1.0E6	
TCLOF	MIN		1.0E6	
PCLOLON	PSI		0.0	
PCLOF	PSI		0.0	
FACTOR			1.0	
H,A	1000.0	BTU/FT2.HR.F	29.45	FT2
T	95.0	DEGF		
VENT	1	1 2	(VENT NO WORK)	
TVNON	MIN		1.0E6	
TVNOF	MIN		1.0E6	
PVNNON	PSI		1.0	
PVNOF	PSI		1.0	
VNFACT			1.0	
VFR	0.0	LBM/MIN		
SLAB	NSLAB	3		
LMATSB	STEEL		CONCRETE	STEEL
ISBCMP	2 2	2 2	3 3	
TSLAB	DEGF		150.0	95.0
SBLNG	FT		95.3	340.0
ZL0SB	FT		20.0	0.0
ZUPSB	FT		115.0	23.5
SBKCN	BTU/FT.HR.F		25.001	25.001
TICSB	FT		0.04166	0.125
CPSLB	BTU/LBM.DEGF		0.1137	0.1137
RHOSB	LBM/FT3		486.924	486.924
HLCON	KCAL/M2.HR.DEGC		100.0	100.0
HGCON	KCAL/M2.HR.DEGC		10.0	10.0
H2BURN	1	2.0	0.0	0.001 0.95
X	0.0		0.0	0.0
MX,MY	1.0		1.0	
Q	KCAL		57797.9	57636.1 0.0
ICECON	0	(NO ICE CONDENSER)		
BREACH CMP.	2			
A,DFC	0.00697	FT2	5.9297	
P,Z	139.7	PSI	100.0	FT
RWST	14.19	M	9.08	M
	100.0	M2		

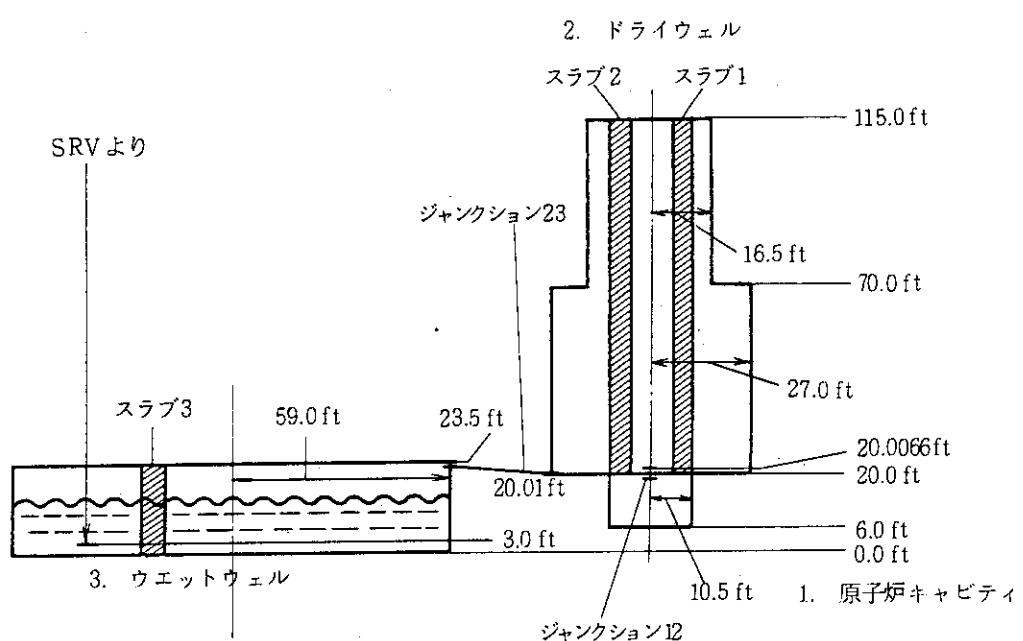


Fig. 5.3 Model System for BWR Sample Case

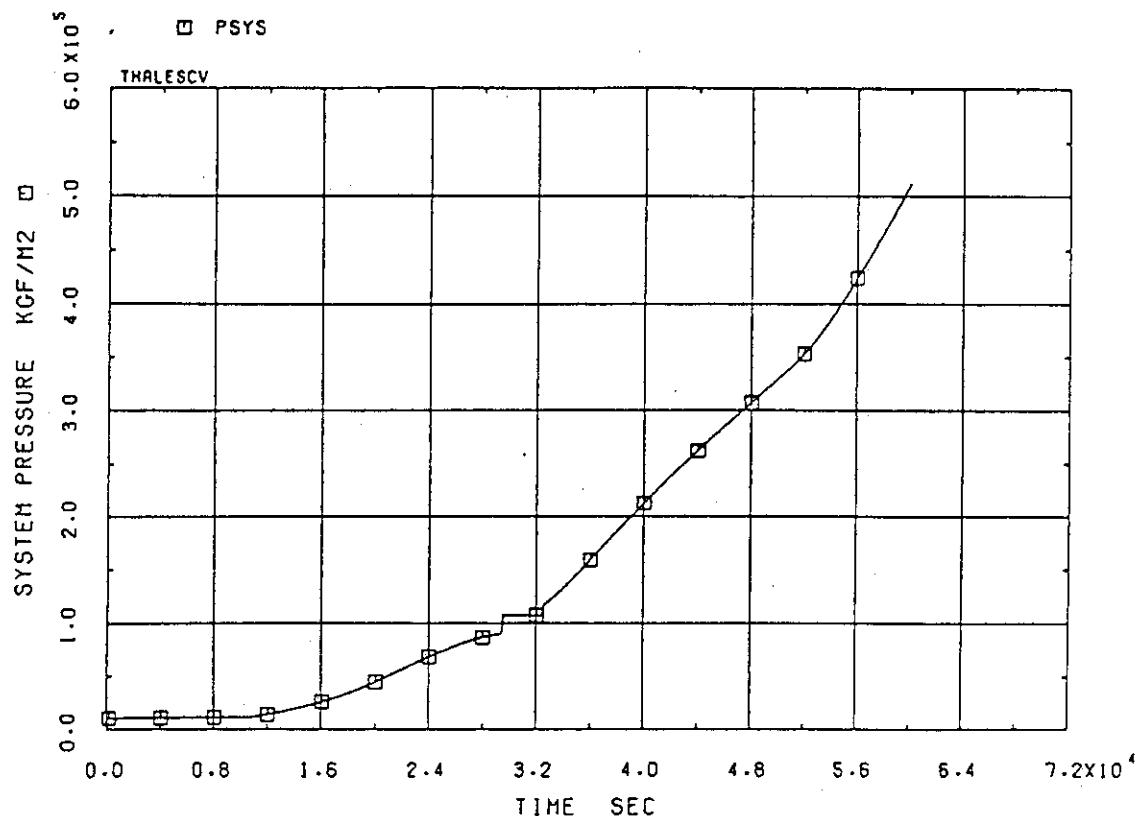


Fig. 5.4(a) SYSTEM PRESSURE

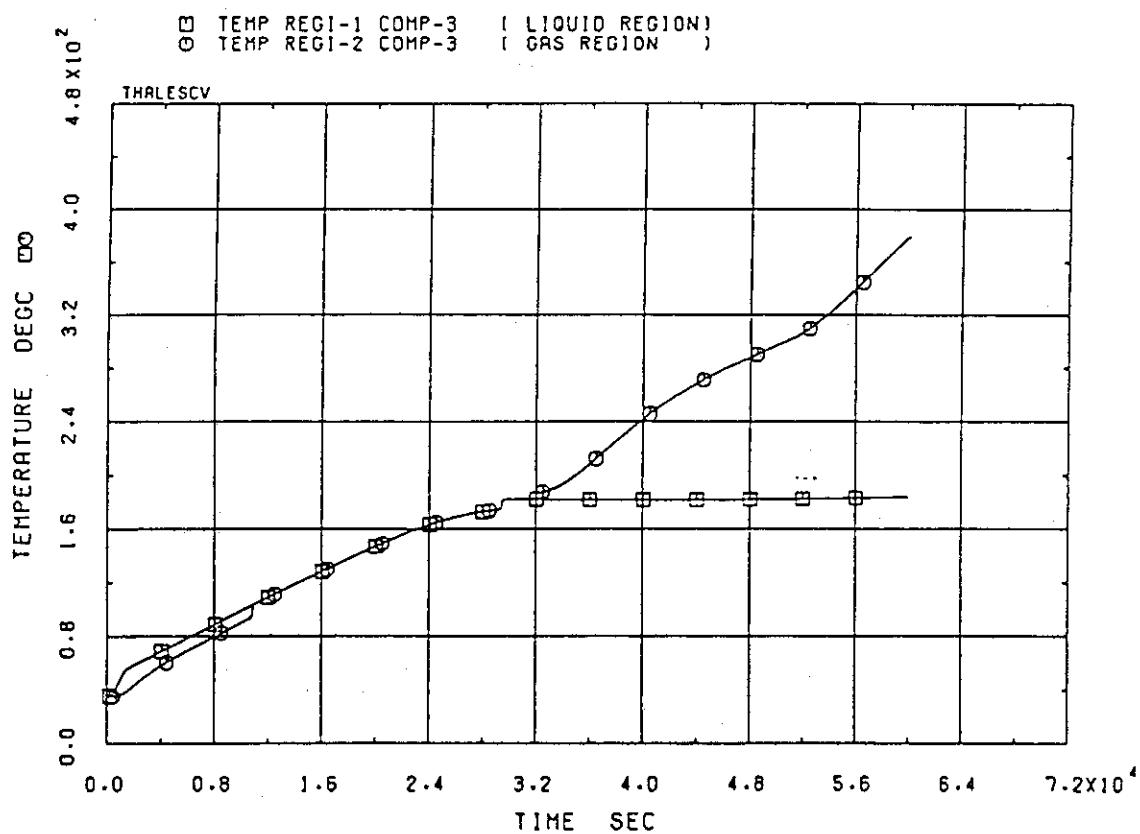


Fig. 5.4(b) TEMPERATURE (WETWELL)

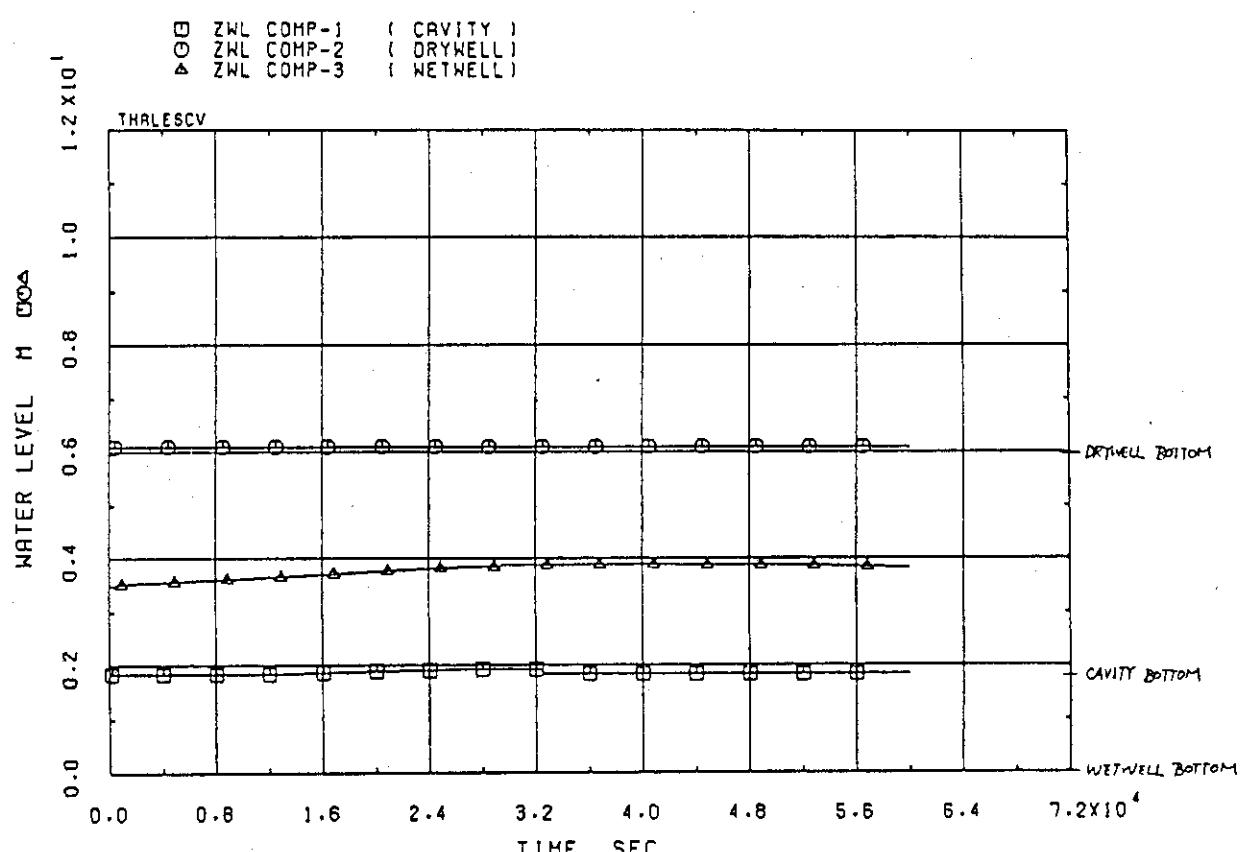


Fig. 5.4 (c) WATER LEVEL OF MIXTURE REGION

6. おわりに

THALES-CVは、炉心溶融事故時の炉心・一次系・格納容器の熱水力解析コード・システムTHALES開発の一環として開発された、格納容器温度・圧力応答解析コードである。今回の報告は、その第1次版THALES-CV1の完成に当って、計算モデルの説明、サンプル計算等をまとめて、使用説明書としたものである。THALES-CV1の各モデルはいずれも極めて単純なものであり、計算結果の解釈も容易である。従って、感度解析によって格納容器の温度・圧力トランジェントにとって重要な因子を識別するには適している。今後、感度解析の結果、重要であることが判明した因子については、より詳細なモデルを開発していく予定である。なお、本報告書の作成に当っては、安全解析部安全性コード開発室の飛岡利明副主任研究員から多大なる御指導をいただいた。また、汎用プロッティング・ライブラリ SPLPACK の利用に当って、同じく安全性コード開発室の村松健研究員の援助をいただいた。両氏には心から謝意を表します。

参考文献

- (1) 炉心損傷研究に関する調査検討タスクフォース，“炉心損傷に関する研究の現状と課題”，JAERI-M82-039(1982年5月)
- (2) NRC, "Reactor Safety Study - An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants," WASH-1400(NUREG-75/014)(October 1975)
- (3) Roger O.Wooton, "BOIL1, A Computer Program to Calculate Core Heatup and Meltdown in a Coolant Boiloff Accident" (March 1975)
- (4) R.O. Wooton and H.I.Avcı, "MARCH (Meltdown Accident Response Characteristics) Code Description and Users Manual," NUREG/CR-1711(October 1980)
- (5) R.J. Burian and P. Cybulskis, "CORRAL 2 Users Manual," Battelle's Columbus Laboratories, Ohio(January 1977)
- (6) Appendix VI, in Reference (2)
- (7) W.Gulden, et al., "KESS, A Program System for the Analysis of Hypothetical Core Meltdown Accidents," NRC Translation 837A(1980)
- (8) 岡崎俊二, "炉心溶融事故解析コード: BOIL1の感度解析," JAERI-M9858(1982年1月)
- (9) 阿部清治, "冷却材ボイルオフ時の燃料温度上昇に関する検討," JAERI-M9710(1982年10月)
- (10) 阿部清治, "汎用単位換算プログラム・ライブラリ UCL2の使用手引," JAERI-M9592(1981年7月)
- (11) 阿部清治, 佐藤一男, "SCORCH-B2: LOCA時の原子炉炉心ヒートアップのシミュレーション: コード, BWR用, 第2版," JAERI-M6676(1976年8月)
- (12) 村松健, 私信

6. おわりに

THALES-CVは、炉心溶融事故時の炉心・一次系・格納容器の熱水力解析コード・システムTHALES開発の一環として開発された、格納容器温度・圧力応答解析コードである。今回の報告は、その第1次版THALES-CV1の完成に当って、計算モデルの説明、サンプル計算等をまとめて、使用説明書としたものである。THALES-CV1の各モデルはいずれも極めて単純なものであり、計算結果の解釈も容易である。従って、感度解析によって格納容器の温度・圧力トランジェントにとって重要な因子を識別するには適している。今後、感度解析の結果、重要であることが判明した因子については、より詳細なモデルを開発していく予定である。なお、本報告書の作成に当っては、安全解析部安全性コード開発室の飛岡利明副主任研究員から多大なる御指導をいただいた。また、汎用プロッティング・ライブラリ SPLPACK の利用に当って、同じく安全性コード開発室の村松健研究員の援助をいただいた。両氏には心から謝意を表します。

参考文献

- (1) 炉心損傷研究に関する調査検討タスクフォース，“炉心損傷に関する研究の現状と課題”，JAERI-M82-039(1982年5月)
- (2) NRC, "Reactor Safety Study—An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants," WASH-1400(NUREG-75/014)(October 1975)
- (3) Roger O.Wooton, "BOIL1, A Computer Program to Calculate Core Heatup and Meltdown in a Coolant Boiloff Accident" (March 1975)
- (4) R.O. Wooton and H.I.Avcı, "MARCH (Meltdown Accident Response Characteristics) Code Description and Users Manual," NUREG/CR-1711(October 1980)
- (5) R.J. Burian and P. Cybulskis, "CORRAL 2 Users Manual," Battelle's Columbus Laboratories, Ohio(January 1977)
- (6) Appendix VI, in Reference (2)
- (7) W.Gulden, et al., "KESS, A Program System for the Analysis of Hypothetical Core Meltdown Accidents," NRC Translation 837A(1980)
- (8) 岡崎俊二, "炉心溶融事故解析コード: BOIL1の感度解析," JAERI-M9858(1982年1月)
- (9) 阿部清治, "冷却材ボイルオフ時の燃料温度上昇に関する検討," JAERI-M9710(1982年10月)
- (10) 阿部清治, "汎用単位換算プログラム・ライブラリ UCL2の使用手引," JAERI-M9592(1981年7月)
- (11) 阿部清治, 佐藤一男, "SCORCH-B2: LOCA時の原子炉炉心ヒートアップのシミュレーション: コード, BWR用, 第2版," JAERI-M6676(1976年8月)
- (12) 村松健, 私信