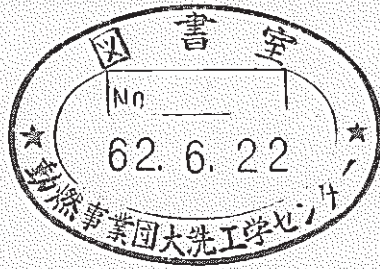


無液面型及び有液面型蒸気発生器の
大リーク・ナトリウム-水反応事象評価
—大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第15報) —



1987年4月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 9410 87-037
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

無液面型及び有液面型蒸気発生器の 大リーク・ナトリウム-水反応事象評価

—大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第15報) —

田辺裕美* 鈴木道博**

要 旨

大型高速増殖炉の蒸気発生器（以下SG）に、カバーガス空間を設置した場合と設置しない場合との、大リーク・ナトリウム-水反応事故時の圧力挙動の違いを明らかにする目的で、SWACSコードによる初期スパイク圧及び準定常圧の評価を行った。評価対象は、要素技術設計研究（Ⅱ）に基づく無液面型SG、及びそのSG頂部にカバーガス部を設置した有液面型SGである。

解析結果から次のことが判った。初期スパイク圧では、無液面型SGで自由液面部での圧力波減衰効果が無いため、ホットレグ及びIHXでの圧力が相対的に高く、最高圧は、有液面型の $16.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ に対し、 $27.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ となる。準定常圧については、有液面型ではカバーガス部の圧力開放板の破裂圧がピーク圧となるのに対し、無液面型では圧力開放板が初期スパイク圧で作動するため、準定常的な圧力ピークは不明確となる。しかしながら、無液面型でも、圧力開放系を反応域の近くに設置すれば、初期スパイク圧低減上、かなりの効果が得られる。

本解析により、実証炉のSG型式を選定する上で、SWACSコードが重要な評価手段となり得ることが明らかとなった。

* 大洗工学センター 安全工学部 プラトン安全工学室

** 茨城ソフトウェア開発（株）

**Evaluation of Large Leak Sodium-Water Reaction Events
for the Cover-Gas Type and Non-Cover-Gas Type Steam Generators
- Large Leak Sodium-Water Reaction Analysis (Report No.15) -**

Hiromi Tanabe*, Michihiro Suzuki**

Abstract

Pressure behaviors in a large scale sodium-water reaction event were analyzed using the SWACS code to clarify the effect of the cover gas region of the steam generator on the pressures as a part of the design study of the Large LMFBR plant of Japan. The non-cover-gas type steam generator handled here comes from "Key Technology Design Study (II) (1985)" and the cover-gas-type was designed by adding cover gas region to the top of the former one.

An initial spike pressure analysis, i.e. a short term analysis, revealed that due to the lack of a pressure attenuation effect in sodium free surface, pressures in hot-leg pipes and IHX in the non-cover-gas type were higher than those of the cover-gas type. The maximum pressures were 27.0 and 16.2 kg/cm²a in the gasless and gas type, respectively. Even in the gasless type, however, it is possible to reduce the short-term pressures to a certain degree by installing the rupture discs close enough to the steam generators reaction zone.

The results of a quasi-steady pressure analysis, a long term analysis, clarified that the rupture disc bursting pressure almost corresponds to the peak pressure in the gas type design while a quasi-steady pressure build-up was minor due to initial disc burst in the gasless type.

From such analyses, it revealed that the SWACS code had a sufficient potential for applying to a design evaluation study of the Large LMFBR plant design.

* FBR Plant Safety Section, Safety Engineering Division,
O-arai Engineering Center

** Ibaraki Software Development, Inc.

目 次

	P a g e
1. はじめに	1
2. 計算コードの概要	2
2.1 気泡成長モデル	4
2.2 準定常圧計算モデル	4
3. 対象とするプラント概念	5
3.1 無液面型SG	5
3.2 有液面型SG	10
4. 初期スパイク圧力解析	13
4.1 解析条件	13
4.2 計算モデル	17
4.3 計算結果	25
4.3.1 無液面型SG	25
4.3.2 有液面型SG	31
4.3.3 無液面型SGと有液面型SGとの比較	34
5. 準定常圧力評価	37
5.1 解析条件	37
5.2 計算モデル	40
5.3 計算結果	49
5.3.1 無液面型SG	49
5.3.2 有液面型SG	53
5.3.3 無液面型SGと有液面型SGとの比較	57
6. 結 論	61
7. 参考文献	64
8. 謝 辞	65

目 次

APPENDIX SWACSコードの無液面体系への適用の妥当性の検討

	Page
A.1 はじめに	67
A.2 初期スパイク圧解析モジュール	67
2.1 基本的考察	67
2.2 LLTR試験データとの比較	68
2.2.1 LLTR試験の概要	68
2.2.2 解析条件	68
2.2.3 解析結果の検討	69
2.3 結 論	70
A.3 準定常圧解析モジュール	70
3.1 基本的考察	70
3.2 無液面体系への適用上の問題	71
3.3 検 証	72

List of Tables

	Page
Table 3.1 一体貫流型蒸気発生器管束部設計主要目	8
Table 4.1 初期スパイク圧計算ケースの内容	15
Table 4.2 圧力開放板作動時刻（無液面型SG）	28
Table 4.3 主な場所での発生最高圧力（無液面型SG）	28
Table 4.4 圧力開放板作動時刻（有液面型SG）	32
Table 4.5 主な場所での発生最高圧力（有液面型SG）	32
Table 4.6 圧力開放板作動時刻（無液面型と有液面型SGとの比較）	35
Table 4.7 主な場所での発生最高圧力 （無液面型と有液面型SGとの比較）	35
Table 5.1 準定常圧計算ケースの内容	38
Table 5.2 圧力開放板作動時刻（無液面型SG）	50
Table 5.3 主な場所での発生最高圧力（無液面型SG）	50
Table 5.4 圧力開放板作動時刻（有液面型SG）	54
Table 5.5 主な場所での発生最高圧力（有液面型SG）	54
Table 5.6 圧力開放板作動時刻（無液面型と有液面型SGとの比較）	58
Table 5.7 主な場所での発生最高圧力 （無液面型と有液面型SGとの比較）	58
Table 6.1 無液面型／有液面型SG大リーク解析結果のまとめ	63
Table A.2.1 LLTRシリーズIの主な試験条件	73
Table A.2.2 LLTR SWR-1 解析に使用した主な計算パラメータ	73
Table A.2.3 圧力開放板作動時刻についての比較	74

List of Figures

	Page
Fig. 2.1 SWACS 計算モジュール相互関係	3
Fig. 3.1 2次主冷却系及び放出系系統図 (無液面型SG)	6
Fig. 3.2 無液面型SG構造図	7
Fig. 3.3 2次主冷却系及び放出系系統図 (有液面型)	11
Fig. 3.4 有液面型SG構造図	12
Fig. 4.1 水リーク率入力値 (初期スパイク圧時間領域)	16
Fig. 4.2 (a) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF0及びIRF5)	18
Fig. 4.2 (b) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF1)	19
Fig. 4.2 (c) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF2)	20
Fig. 4.2 (d) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF4)	21
Fig. 4.2 (e) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG0)	22
Fig. 4.2 (f) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG3)	23
Fig. 4.2 (g) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG4)	24
Fig. 4.3 (a) 初期スパイク圧挙動 (無液面型SG)	29
Fig. 4.3 (b) 初期スパイク圧挙動 (無液面型SG)	30
Fig. 4.4 初期スパイク圧挙動 (有液面型SG)	33
Fig. 4.5 初期スパイク圧挙動 (無液面型及び有液面型SG)	36
Fig. 5.1 水リーク率 (準定常圧時間領域)	39
Fig. 5.2 (a) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF0)	41
Fig. 5.2 (b) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF1)	42
Fig. 5.2 (c) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF2)	43
Fig. 5.2 (d) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF4)	44
Fig. 5.2 (e) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG0)	46
Fig. 5.2 (f) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG3)	47
Fig. 5.2 (g) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG4)	48

	Page
Fig. 5.2 準定常圧挙動（無液面型SG）	51
Fig. 5.3 2次系内流動状況（無液面型SG）	52
Fig. 5.5 準定常圧挙動（有液面型SG）	55
Fig. 5.6 2次系内流動状況（有液面型SG）	56
Fig. 5.7 準定常圧挙動（無液面型および有液面型SG）	59
Fig. 5.8 2次系内流動状況（無液面型および有液面型SG）	60
Fig. A. 2.1 LLTRシリーズ1試験装置（MSG）と圧力計取付け位置	75
Fig. A. 2.2 LLTR第1回試験（SWR-1）解析用モデル	76
Fig. A. 2.3 (a) 圧力開放板RD-2の取扱による圧力挙動の差（MSG頂部）	77
Fig. A. 2.3 (b) 圧力開放板RD-2の取扱による圧力挙動の差（放出系配管）	77
Fig. A. 2.4 反応部圧力（P612）と計算結果との比較	78
Fig. A. 2.5 MSG下部圧力（P612）と計算結果との比較	78
Fig. A. 2.6 MSG中部圧力（P610）と計算結果との比較	79
Fig. A. 2.7 MSG中部圧力（P608）と計算結果との比較	79
Fig. A. 2.8 MSG中部圧力（P607）と計算結果との比較	80
Fig. A. 2.9 下部放出系配管圧力（P525）と計算結果との比較	80
Fig. A. 2.10 上部放出配管圧力（P507）と計算結果との比較	81
Fig. A. 2.11 上部放出系配管圧力（P509）と計算結果との比較	81

1. はじめに

現在、大型炉設計では、主としてプラント建設コスト低減の観点から、相対的にコンパクトとなる無液面型式の蒸気発生器（以下SGと略す。）の採用が有力視されている。しかしながら、原型炉では有液面型を採用しており、また大リーク・ナトリウム-水反応時の圧力挙動の観点からは、液面での圧力減衰効果が期待できるカバーガス部を有する型（有液面型）のSGの方が有利であると考えられている。

大リーク・ナトリウム-水反応解析コードSWACSは、従来より、有液面型SGである原型炉SGの安全評価に使用されてきたが、近年は大型炉設計用に無液面型SGを対象とした解析にも適用されている。しかしながら、これらの解析ではそれぞれ対象とする体系、スケール等も異なっており、一概に液面の有無が大リーク時の圧力挙動に及ぼす影響を比較することはできない。そこで、今回、プラント工学室からの依頼により、「高速増殖大型炉の設計主要目に関する研究（I）」の一環として、SWACSを用いて液面の有無のみ異なる体系での大リーク時の圧力評価を行うこととなった。

対象とするプラントは、昭和60年度にプラント室が中心となって設計を行った要素技術設計研究(II)で検討されているものである。同設計では無液面型が採用されているため、有液面型SGのモデルとしては、前者の頂部にカバーガス部を設けて縦長の構造とした。

以下、第4章、及び5章でそれぞれ、初期スパイク圧、及び準定常圧の解析結果を述べる。

また、SWACSコードの無液面体系への適用の妥当性についての検討をAPPENDIXで行った。

2. 計算コード SWACS の概要

本解析に使用した計算コードは、動燃で開発した大リーク・ナトリウム-水反応解析コード SWACS (REG3E) である。本コードは、「もんじゅ」の安全審査等で使用された SWACS (REG3) と基本的には変わるものではない。SWACS (REG3) が 1979 年に完成して以来、更に幾つかの機能追加が行われ現在の SWACS (REG3E) に至っている。これらの新機能は入力データで指定するオプション扱いとなっており、今回の解析では後述する気泡成長モデルに関するもの以外は REG3 と同じものを選択している。^{1), 2)}

SWACS については、これまでもいろいろな機会に紹介されているので詳細は除く。本コードは、Fig. 2.1 に示すように、主として (1) 水リーク率を計算するモジュール、(2) 初期スパイク圧やその伝播圧力を計算するモジュール、及び (3) 準定常圧を計算するモジュール、の 3 つから成っている。

このうち (2) は、初期スパイク圧を計算する機能とその圧力の 2 次系内への伝播を計算する機能とに分けて使用することも可能であり、従来の「もんじゅ」についての安全解析でも前者で事故 SG 内の圧力計算を行い、後者で IHX 等、二次系全体への伝播圧力を求めた。しかし、空間分割数の上限と計算時間とを気にする必要がなければ、特に二回に分けて行う必要はなく、今回の計算でも SG を含む二次系全体をひとつのネットワークモデルで表して 200 msec までの計算を行った。

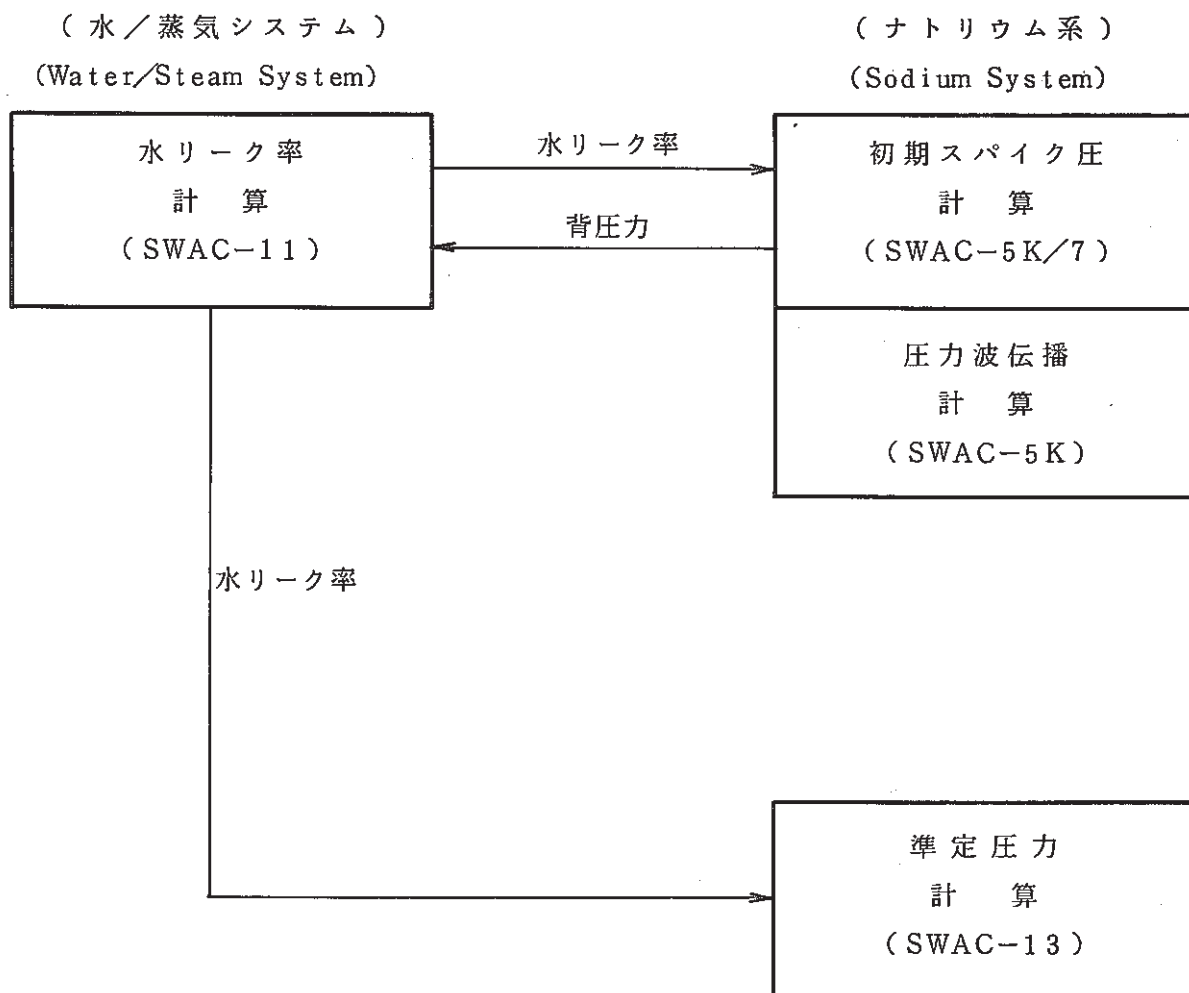


Fig. 2.1 SWACS計算モジュール相互関係

2.1 気泡成長モデル

今回初期スパイク圧計算に用いた気泡成長モデルは、原型炉安全審査の宿題項目である「伝熱管多数本破断のパラメータ・サーベイ」に対処するために、SWACSに追加された機能である。

従来モデルでは、反応部の気泡は球状として取り扱われ、気泡界面がSGの内壁に達した時点（「もんじゅ」体系では約20msec）で計算を打ち切っていたものを、新しいモデルでは、適当な時点で球状からパンケーキ状にモデルを切り換えて長時間の計算に耐えるようにしたものである。また、本モデルの計算法としては境界追跡法（BTM）と固定境界法（FBM）とがあるが、今回は簡易計算法ではあるが長時間の計算に適したFBMを使用した。

2.2 準定常圧計算モデル

準定常圧計算用には、原型炉安全審査等に使用したのと同じものを用いた。準定常圧計算は初期スパイク圧計算とは独立に行っており、特に圧力値の受け渡しなどは行っていない。

3. 対象とするプラント概念

3.1 無液面型蒸気発生器

昭和60年度に実施された要素技術設計研究(II)では、一体貫流無液面型SGが採用されている。同報告書³⁾から、2次主循環系系統図及び蒸気発生器構造図をそれぞれFig. 3.1及びFig. 3.2に、また同SGの主要目をTable 3.1に引用する。

SGは一体貫流ヘリカル型で、頂部から入ったナトリウムはヘリカル状の伝熱部で熱交換を行った後、下部プレナムからセンターパイプを通過して頂部に抜ける。また「もんじゅ」のようなダウンカム部を持たず、吸水は胴下部より行われ過熱蒸気となって胴上部から排出される。

IHXで470℃に加熱されたナトリウムは、SGで310℃まで除熱された後、循環ポンプを経て再びIHXに戻る。この設計ではSGはカバーガス空間を持たず、循環ポンプのカバーガス部が膨張タンクの役割を果たしている。

ナトリウム-水反応生成物収納施設としては、SGのナトリウム入口/出口配管部に接液型のラプチャ板がそれぞれ設置されており、更に2つの放出系配管が合流した直後に2段目のラプチャ板が設置されている。このあと放出系配管はダンプタンクに一旦入り、水素ガスはミストセパレータでナトリウムから分離されたのち大気に放出される。

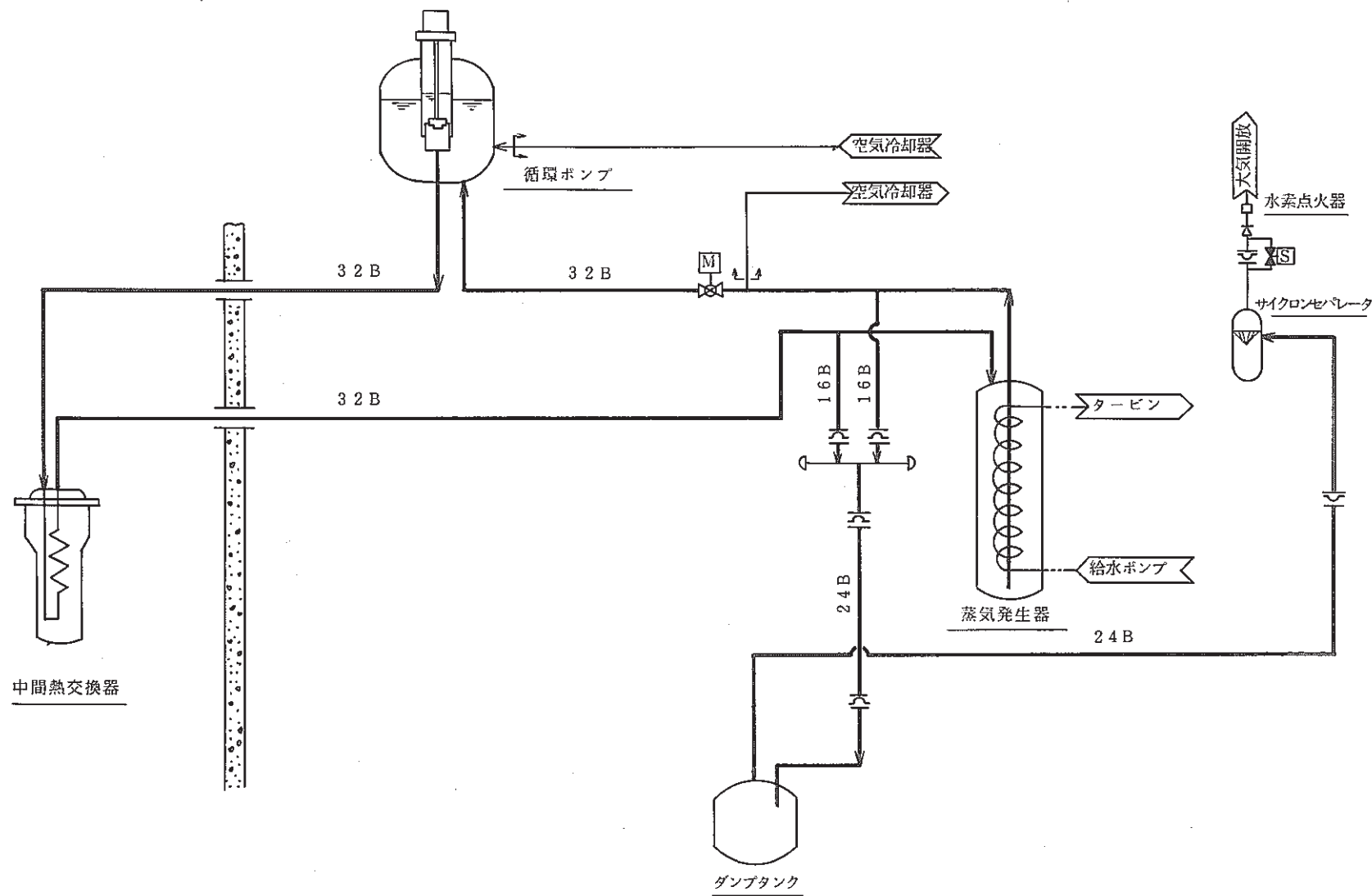


Fig. 3.1 2次主冷却系及び放出系系統図 (無液面型SG)

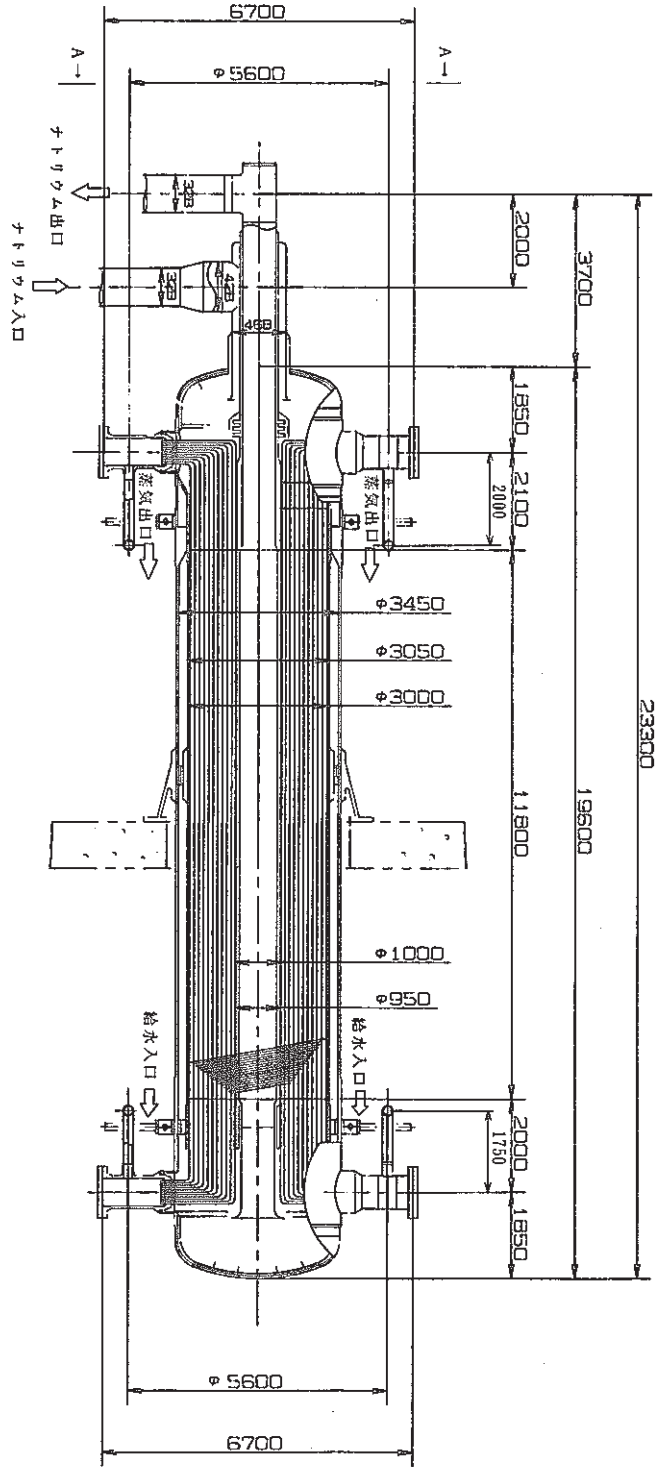


Fig. 3.2 無液面型SG構造図

Table 3.1 一体貫流型蒸気発生器管束部設計主要目

項 目	内 容	単 位	仕 様	備 考
1. 伝熱設計条件	型 式	—	一体貫流型	
	交換熱量	MWt	650	
	基 数	基/ルーフ	1	
	ナトリウム入口温度	℃	470	
	ナトリウム出口温度	℃	310	
	ナトリウム流量	kg/h	1.14×10^7	
	給水入口温度	℃	210	
	蒸気出口温度	℃	453	
	給水入口圧力	kg/cm ² a	122	オリフィス考慮せず。
	蒸気出口圧力	kg/cm ² a	108	
	給水流量	kg/h	1.0×10^6	
	水・蒸気出入口間圧力差	kg/cm ²	14	オリフィス圧損：4 kg/cm ²
	ナトリウム側圧力損失	kg/cm ²	0.66	
	最大熱流束	kcal/m ² h	3.96×10^5	
2. 伝熱 パラメータ	伝熱管 外径	mm	31.8	
	肉厚	mm	3.2	
	材質	—	1 2 - Cr-1Mo 4 鋼	
	本数	本	420	
	層数	層	21	
	配列ピッチ(軸/半径)	mm	48/50	
	傾斜角度	度	8.7	
	内部シュラウド外径	mm	950	

Table 3.1 (続き) 一体貫流型蒸気発生器管束部設計主要目

項 目	内 容	単 位	仕 様	備 考
2. 伝熱パラメータ (続き)	ヘリカルコイル径 (最内層)	mm	1000	
	ヘリカルコイル径 (最内層)	mm	3000	
	外部シュラウド内径	mm	3050	
3. 伝熱面積 (コイル部)	有効伝熱部高さ	m	11.8	余裕5%含む
	有効伝熱管平均長さ	m	78.2	〃
	伝熱面積	m ²	3270	〃

3.2 有液面型蒸気発生器

本解析の対象とした有液面型SGは前記無液面型SGを基本として新たに設計したものである。無液面型を有液面型に変える場合、単にSG上部にカバーガス空間を設けるだけでなく、その影響が他の部分にも波及して来ることは避けられない。本解析でも、液面の有無以外に数点の変更点が生じた。

本解析で使用した有液面型SGの構造、及び2次冷却系系統をFig. 3.3及び3.4に図示する。このモデルで無液面型との違いは次の3点である。

- 1) カバーガス部を作るためSG胴を単純に約6.1 mだけ上に伸ばした。この結果、ナトリウムSGへの出入口流路となるセンタパイプ上部のアニュラス部も約6.1 m長くなった。
- 2) 圧力開放板をカバーガス部に設置した。但し、後述するように、圧力開放系の設置場所をパラメータ・サーベイの対象としたため、このほかに無液面型と同様に接液型としたケースや両者併設のケースも考えた。
- 3) カバーガス部を設けたのに伴い、無液面型で膨張タンクの役割を果たしていた主循環ポンプの上部空間への流路を取り除いた。

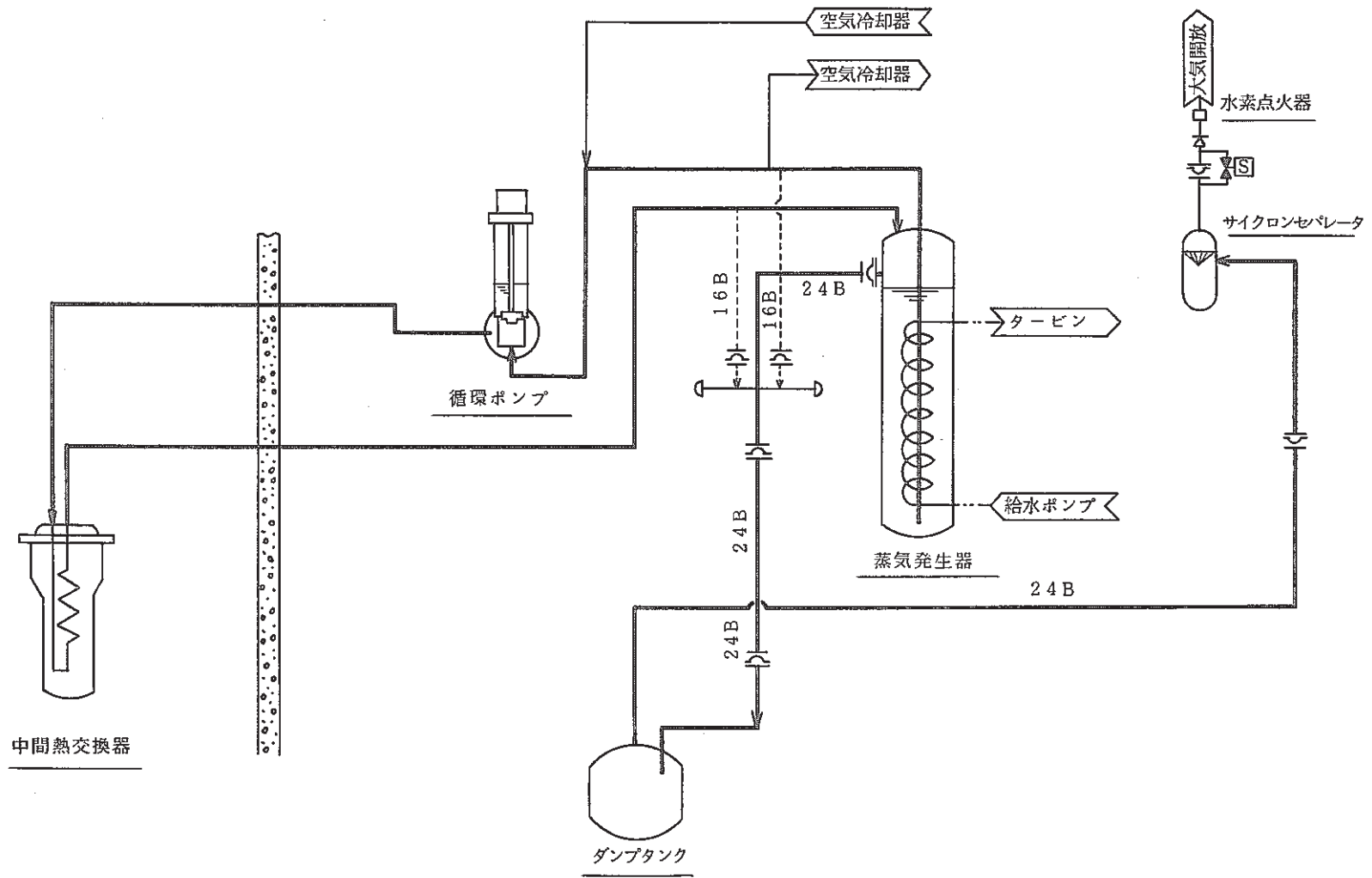


Fig. 3.3 2次主冷却系及び放出系系統図（有液面型）

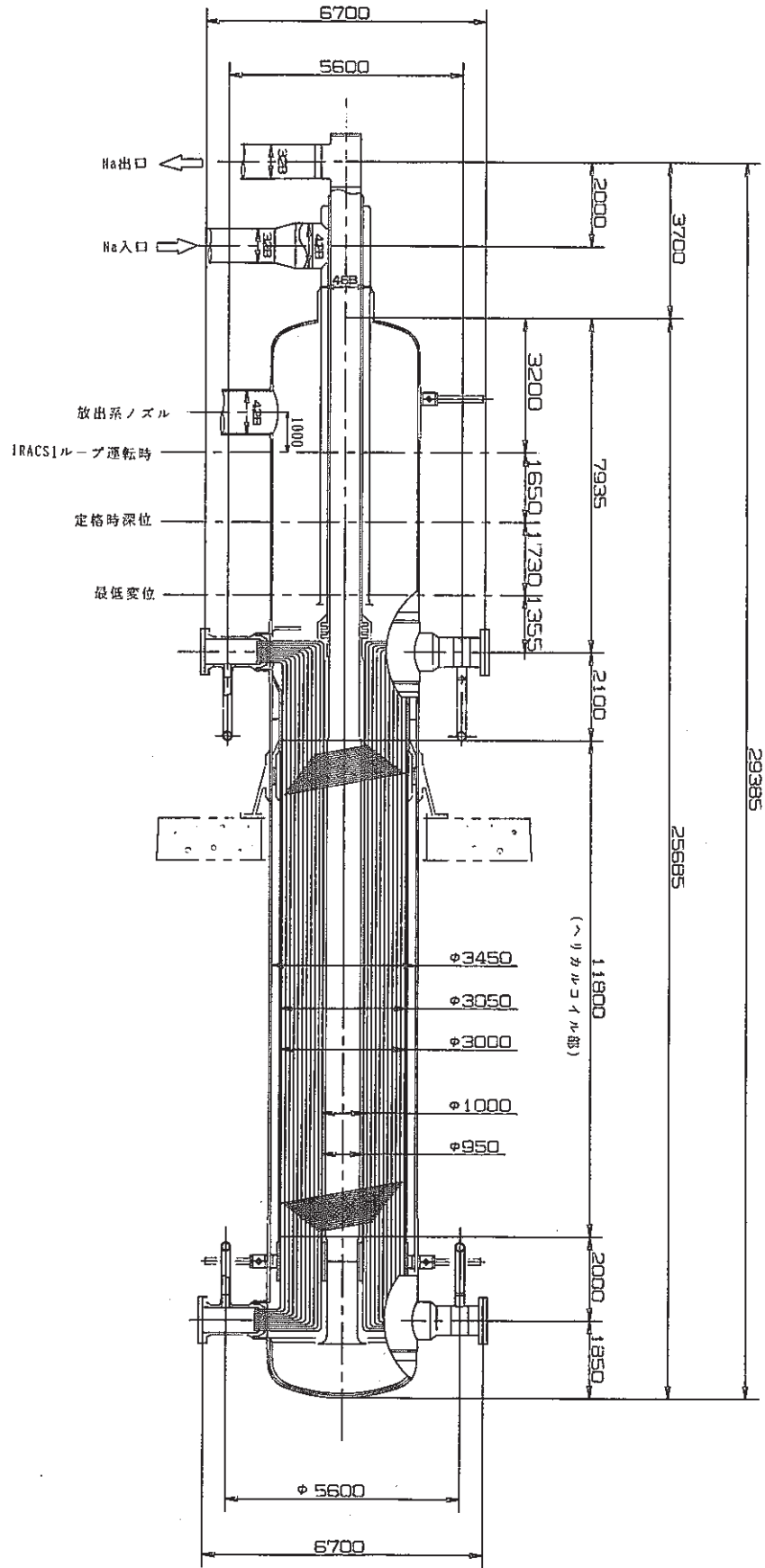


Fig. 3.4 有液面型SG構造図

4. 初期スパイク圧力解析

4.1 解析条件

(1) 水リーク率

水リーク規模としては、設計基準リーク（DBL）相当を想定した。初期スパイク圧の問題となるような時間域では、DBLとしては伝熱管1本両端ギロチン破損（1 DEG）相当の水リーク率を考えれば充分であるというのが、「もんじゅ」R&Dの成果であり世界的なコンセンサスである。従って、本解析でも1 DEGを採用した。また、伝熱管破断点は、無液面型において両方の圧力開放板から遠く、有液面型でもカバーガス部から遠いため、圧力評価上相対的に厳しいと考えられるヘリカルコイル管東部下部を選び、有効伝熱管部下端より1/6の高さの点とした。

このように、水リーク解析条件としては、要素技術設計研究（Ⅱ）のものと全く同じであるため、今回新たに計算は行わず、同計算結果（Fig. 4.1 参照）をそのまま以下の解析の入力値として用いた。

(2) 圧力開放系設置場所

本解析でパラメータとして用いたものは、まず蒸気発生器内のカバーガス部の有無であるが、このほか圧力開放系配管の設置場所についても検討対象とした。Table 4.1に各ケースの圧力開放系設置場所と破裂設定圧を示す。

まず、無液面型の場合は、現設計どおり放出系配管をホットレグ及びコールドレグ配管のSG寄りに設置するというケースをレファレンスとして、ホットレグまたはコールドレグ配管のいずれか一方に設置するというケースを選び、それぞれIRF0, IRF1, 及びIRF2とした。

更に、圧力波の効果的な減衰を狙って、圧力開放系をSGの上下プレナムに直接取り付けたケース、IRF0で主冷却系配管から圧力開放板までの距離をできるだけ短くしたケースを、それぞれIRF4及びIRF5として計算した。

有液面型ではホットレグ、コールドレグ併設型をICG0、カバーガス空間にのみ設置するケース（「もんじゅ」と同タイプ）をICG3とし、カバーガス空間のほかSG下部プレナムにも開放系を置くものをICG4とした。

また放出系配管径については、放出系が2系統からなるケース(I R F 0, I R F 4, I R F 5, I C G 0, 及び I C G 4)については、合流するまでは16B, 合流後は24Bとし、放出系が1系統である他のケースについてはすべて24Bとした。

注) ケース名 A B B C の意味は次のとおり。

A : I / Q でそれぞれ初期スパイク圧 / 準定常圧解析を表す。

B B : R F / C G で無液面型 (Reference) / 有液面型 (Cover Gas) を表し、

C = 0 : 圧力開放系をホットレグ及びコールドレグに併設。

1 : 圧力開放系をホットレグのみに設置。

2 : 圧力開放系をコールドレグのみに設置。

3 : 圧力開放系をカバーガス空間に設置。

4 : 圧力開放系を S G 上部及び下部に設置。

5 : C = 0 で主冷却系配管～圧力開放板の距離を短縮。

Table 4.1 初期スパイク圧計算ケースの内容

ケース名	液面	圧力開放板破裂設定圧力 (kg/cm ² a)		
		ホットレグ	コールドレグ	カバーガス部
IRF0	無	8.5	8.5	X
IRF1	無	8.5	—	
IRF2	無	—	8.5	
IRF4	無	SG上部 8.5	SG下部 8.5	
IRF5	無	8.5	8.5	
ICG0	有	7.4	7.4	—
ICG3	有	—	—	7.4
ICG4	有	—	SG下部 7.4	7.4

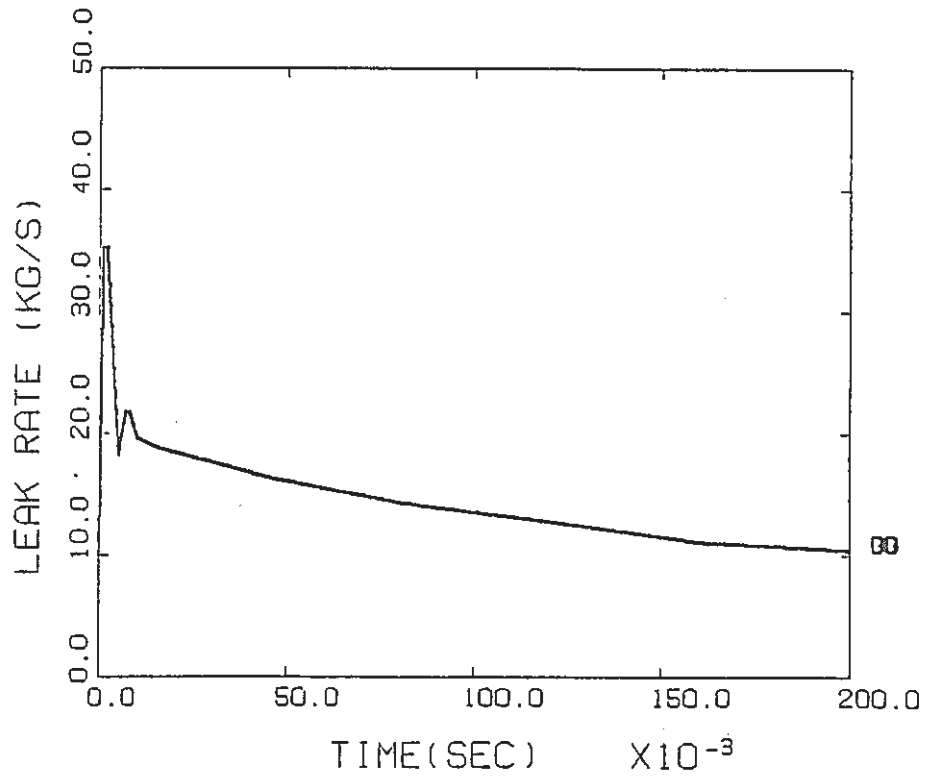


Fig. 4.1 水リーク率入力値 (初期スパイク圧時間領域)

4.2 計算モデル

先に述べたように、本解析では対象とする2次主冷却系全体をひとつのモデルで表し、初期スパイク圧の発生から、圧力波が2次系全体に充分伝わるまでの時間領域について計算を行った。各ケースの計算モデルをFig. 4.2 (a)~(g)に示す。

無液面型SGの初めの3ケースの場合は基本的に同じモデルで、使用しない圧力開放系についてはその配管径として充分小さい値を入れて絞るとともに、破裂設定圧を充分高く入力することで計算条件の違いに対応させた。

またIRF4ではIRF0を基本に開放系取付け位置を両ライン共SGに移し、IRF5では部材28と45の長さを、それぞれ2.7m及び2.8mから、共に0.76mまで短縮した。

有液面型SGのICG0及びICG3については、無液面型のモデルに上部プレナムからカバーガス液面に繋がる流路を付加した。ICG4は、ICG3のSG下部に放出系を設置した。無液面型から有液面型へのモデルの主な変更箇所は次のとおり。

- (1) 上部プレナム部に当たる接合点3からカバーガス液面に至る新たなセクションを付加した。
- (2) SG胴を伸ばした分、部材1~4及び21から23の長さの伸ばした。
- (3) 主循環ポンプの膨張タンクとしての役目がなくなるためポンプ・カバーガス部に繋がる部材32及び33の流路断面積を事実上ゼロに等しくした。

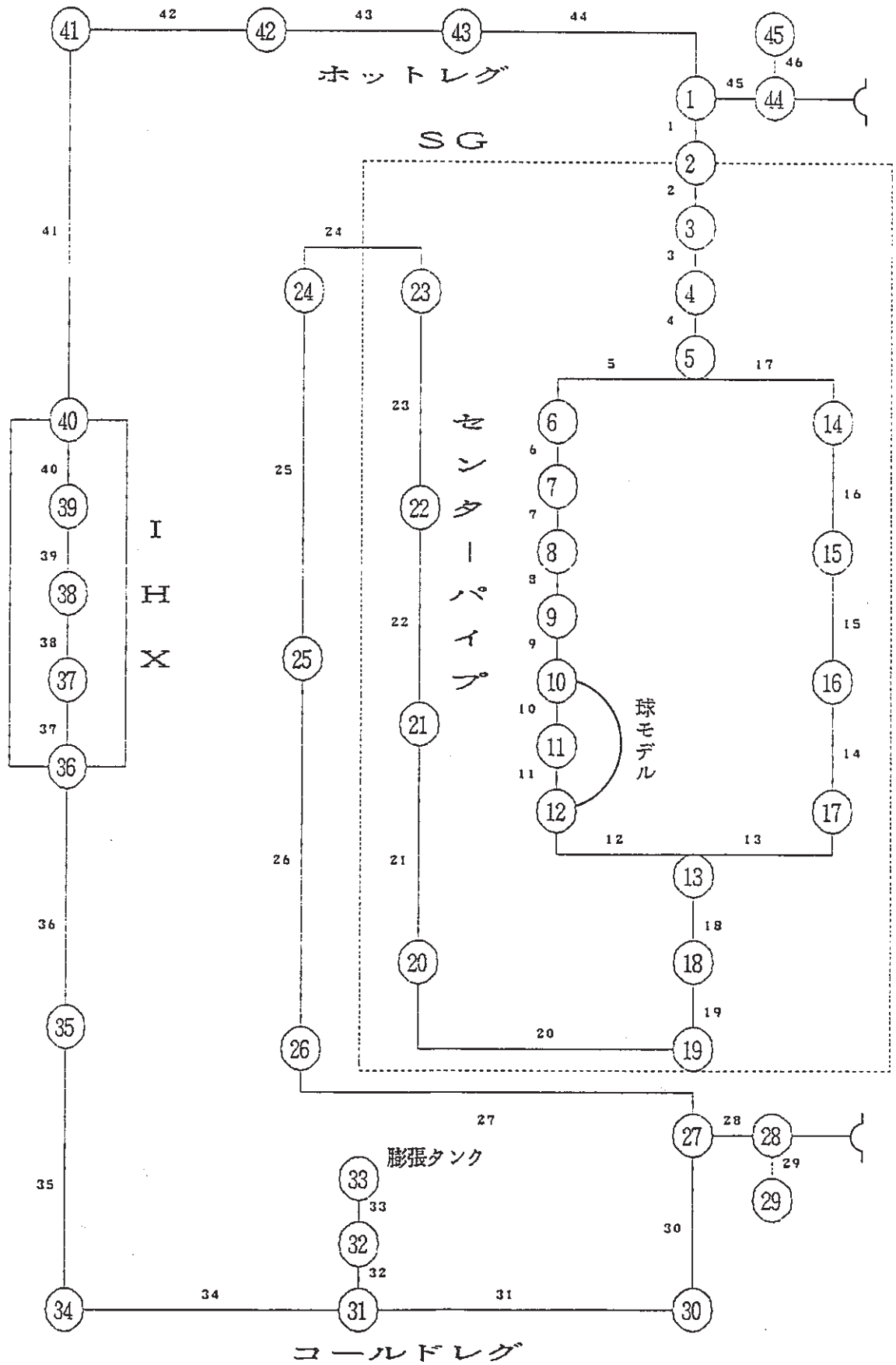


Fig. 4.2(a) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF0及びIRF5)

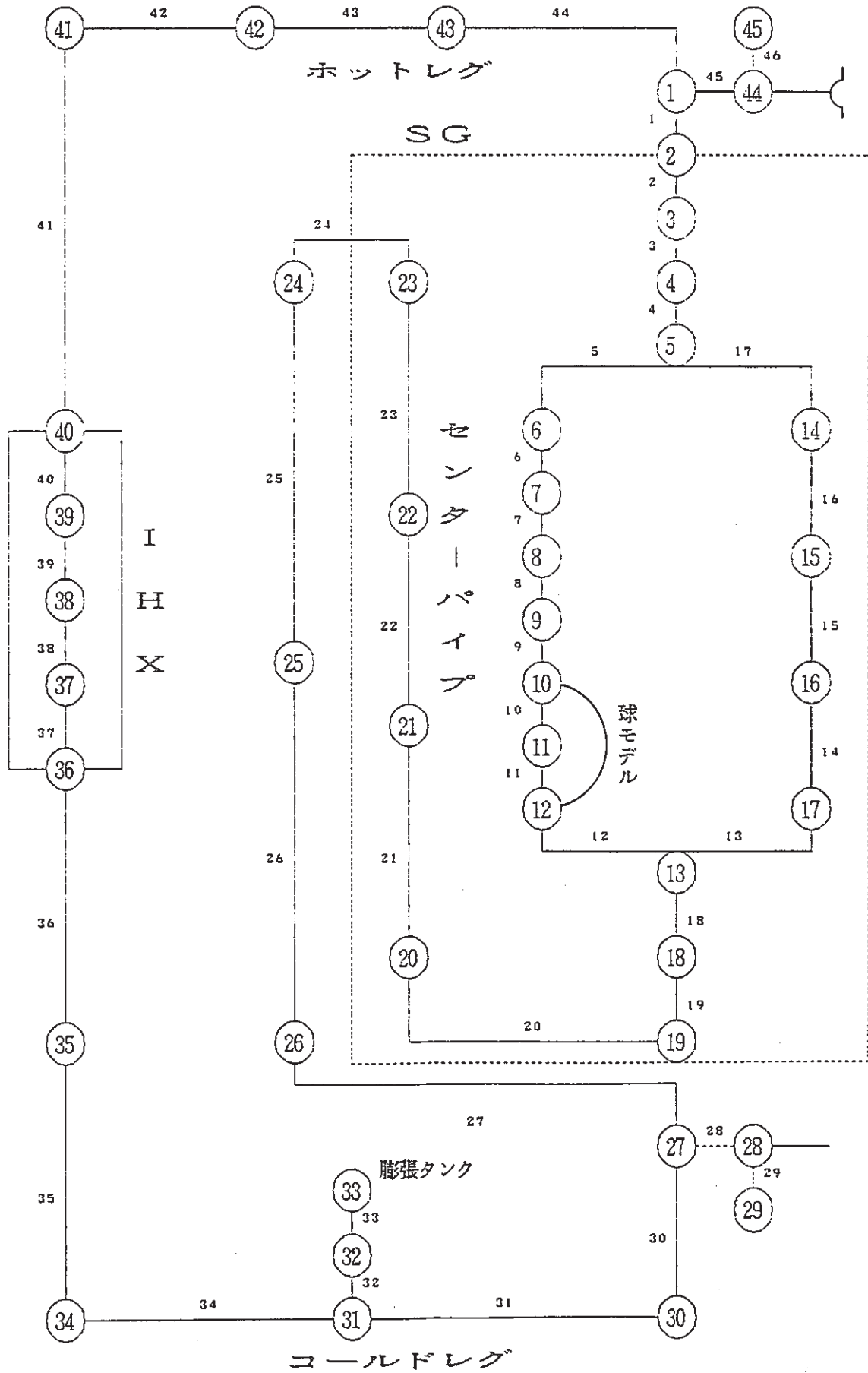


Fig. 4.2 (b) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF1)

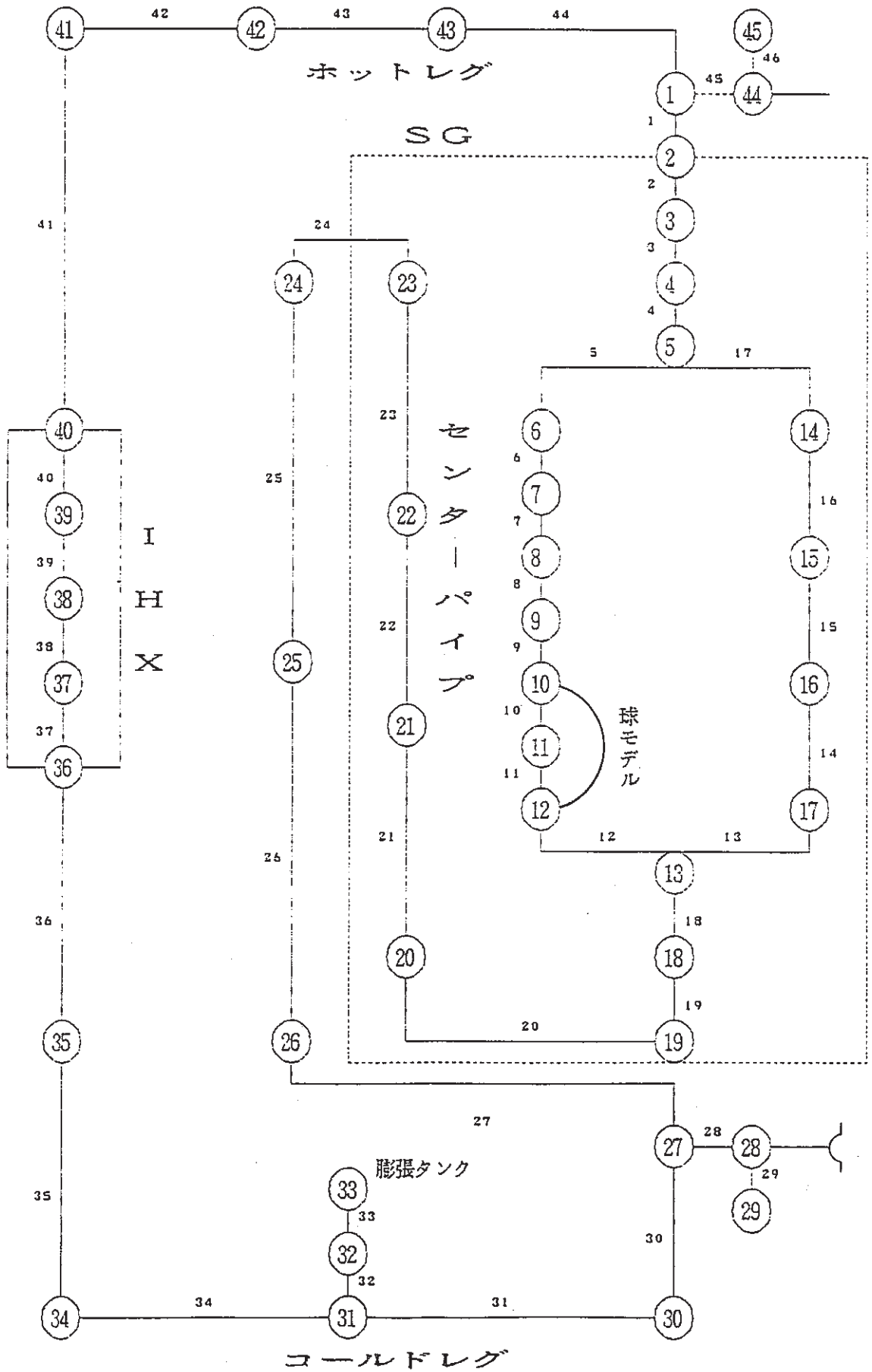


Fig. 4.2(c) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面・IRF2)

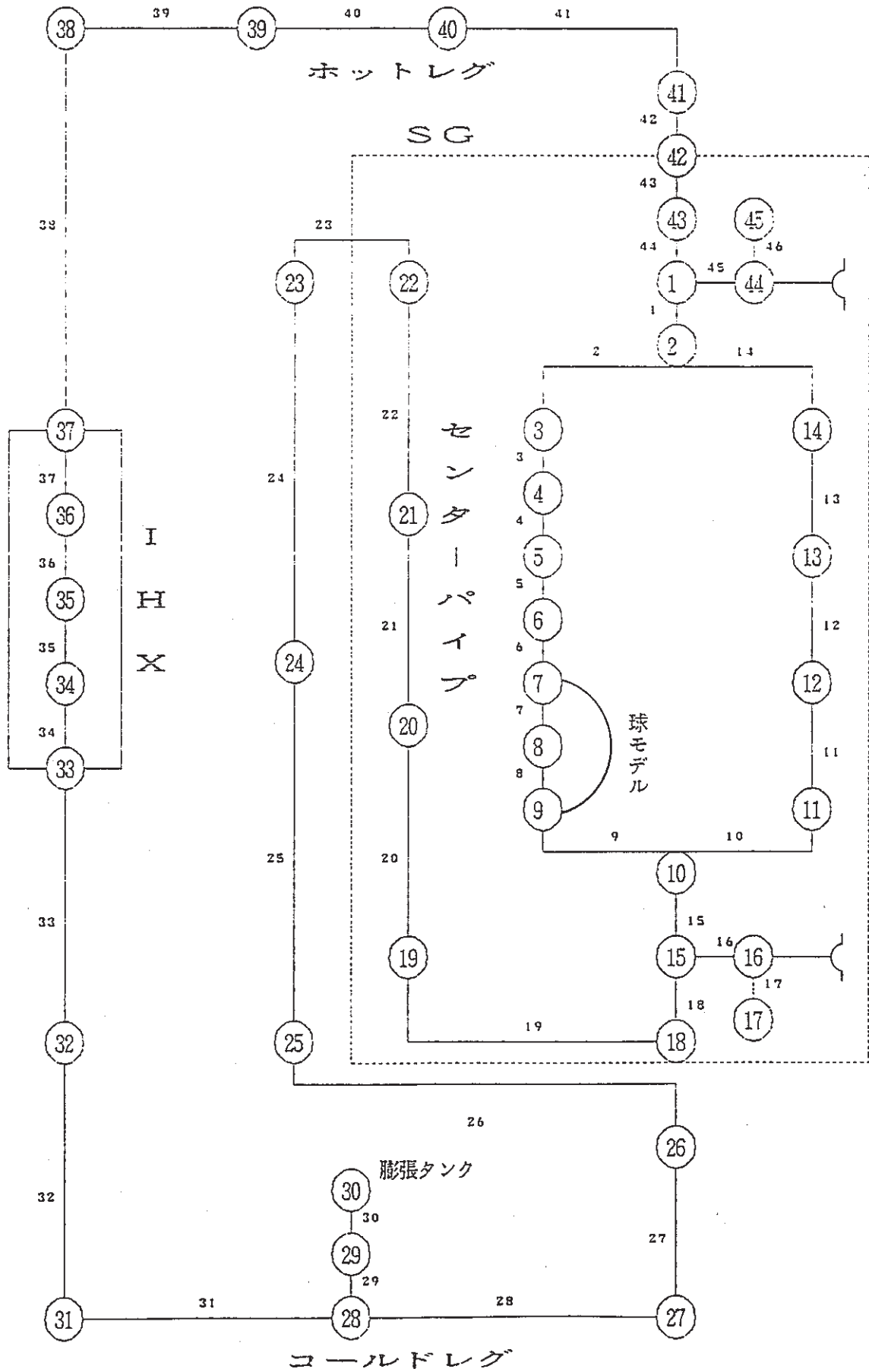


Fig. 4.2(d) 初期スパイク圧・解析モデル (無液面IRF4)

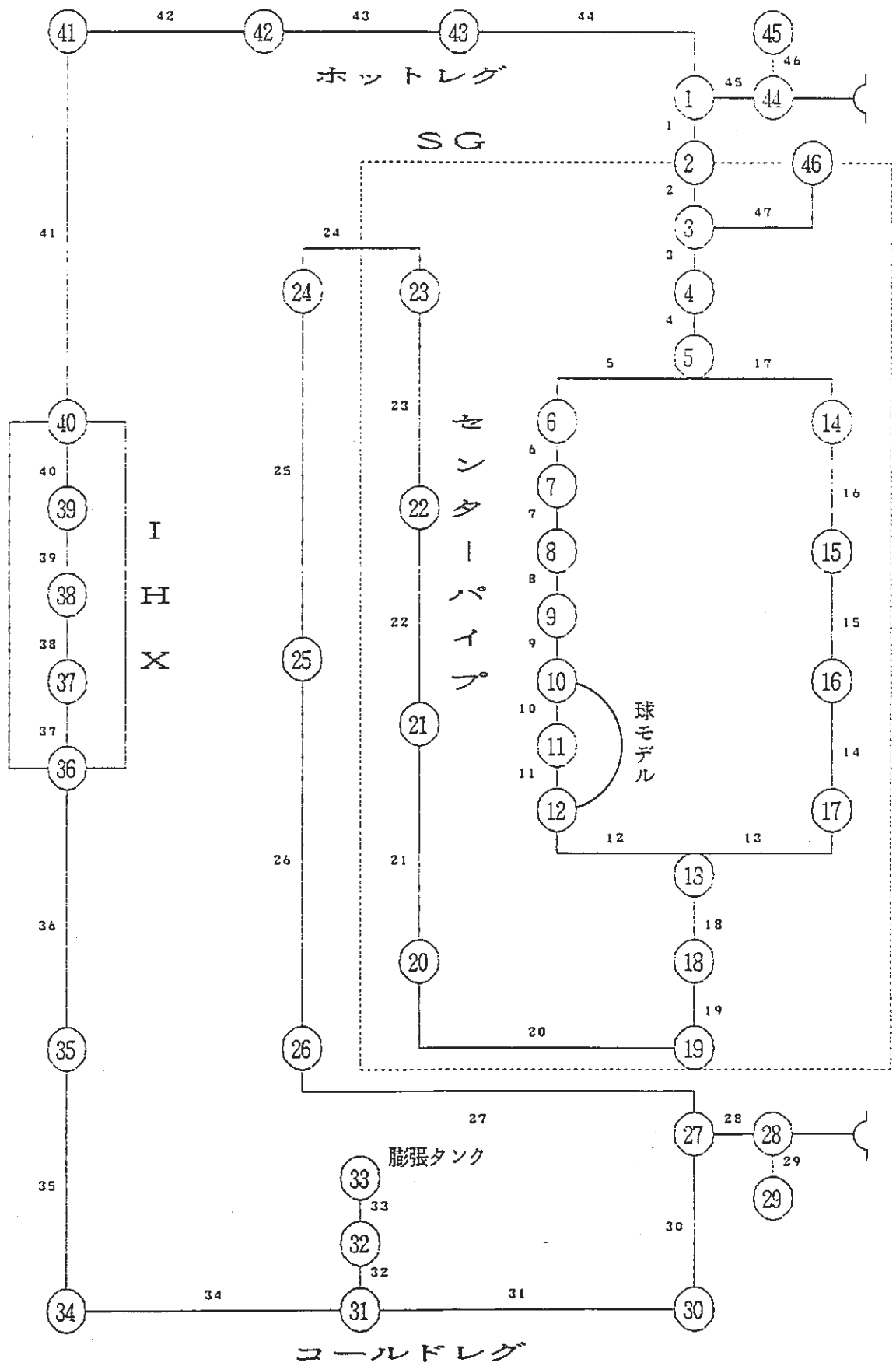


Fig. 4.2(e) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG0)

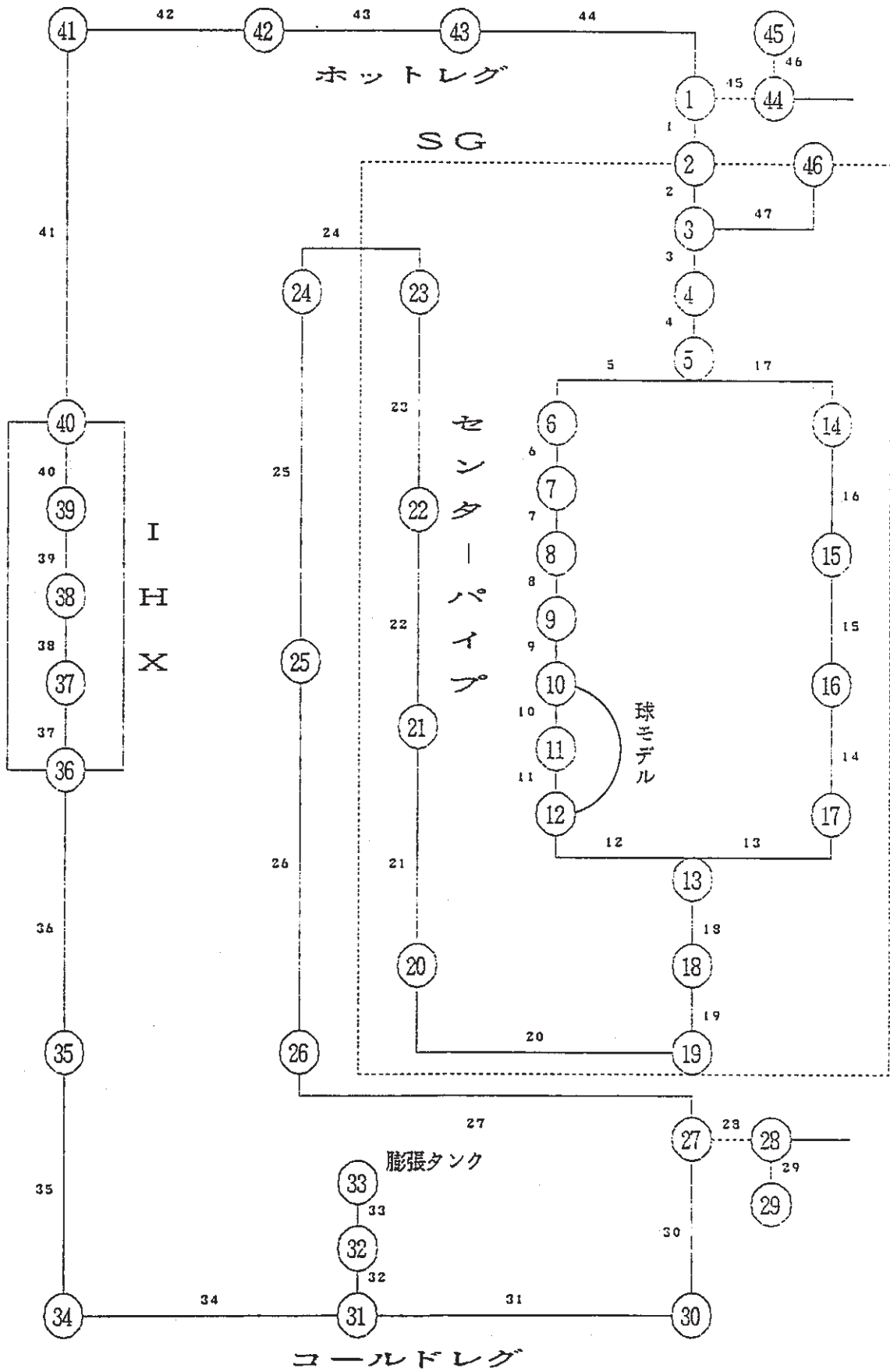


Fig. 4.2(f) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG3)

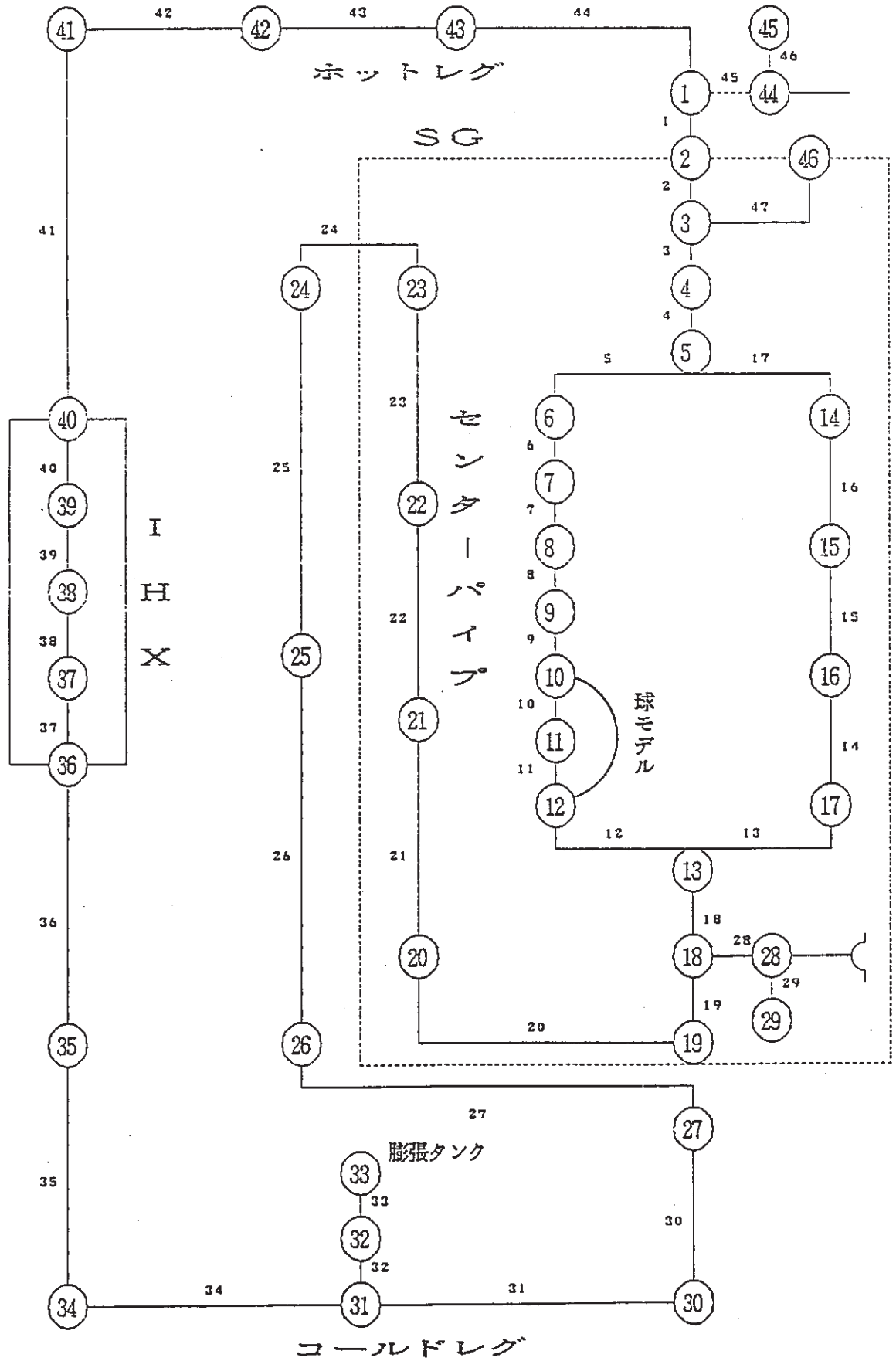


Fig. 4.2 (a) 初期スパイク圧・解析モデル (有液面・ICG4)

4.3 計算結果

4.3.1 無液面型SG

無液面型SGでの初期スパイク圧計算結果をFig. 4.3(a)及び同(b)に示す。また圧力開放板作動時刻及び各部位での発生最高圧を、それぞれTable 4.2とTable 4.3に示す。

(1) ケースIRF0, IRF1, 及びIRF2の比較

Fig. 4.3(a)では、線の太いものから順にケースIRF0, IRF1, IRF2である。同図からは、SG内での圧力差はそれほど大きいものではないが、ややIRF2（コールドレグのみに開放系を設置）が高めとなっている。SG外で見ても、SG～ポンプ間を除いてIRF2が他のケースより明らかに高くなっている。SG～ポンプ間でIRF1が最も高いのは、同ケースでここに圧力開放系が設置されていないためであり、ホットレグ側では、逆にここに圧力開放系の設置されていないIRF2が最も高くなっている。圧力開放板が作動することにより、自由液面が形成され、圧力波の減衰効果をもたらすためである。

IHXでの圧力差は次のように説明することができる。コールドレグ内を伝播する圧力波は、ポンプ内の自由液面で減衰されるためほとんどIHXには達しない。これに対し、ホットレグ側を伝播する圧力波は、特に大きく減衰される要因がないため、そのままIHXまで達する。特に、ホットレグに圧力開放板のないIRF2の場合が最も高い。このホットレグからの圧力波は、IHX～ポンプ間にまで回り込んでいることが判る。また、IRF0とIRF1との差は、放出配管径がそれぞれ16B, 24Bと異なるためで、（主循環系は32B）放出系配管径の大きなIRF1の方が、圧力減衰効果が大きい。

本解析ではリーク点をSGコイル部下部としたが、リーク点が変わる場合は圧力様相も異なってくる可能性はある。しかしながら、リーク点のSG内垂直方向位置が上げれば、もっとホットレグ圧力開放板に近づくことから、ホットレグ側の圧力開放板が一層早く破裂し、ホットレグに圧力開放系を設置したIRF0及びIRF1の圧力挙動はもっと穏やかになり、逆にIRF2の圧力は高くなると予想できる。

圧力開放板作動時刻のTable 4.2からは、ホットレグ側がコールドレグ側より先

に作動することが判るが、これは反応部からはホットレグ圧力開放板の方がより近い
ためである。またTable 4.3からは、3ケースの中でIRF2の圧力の高いこと
が明らかである。この3ケースでの最高圧は、IRF2のホットレグ配管内（部材
No.42）で発生しており、 $42.7\text{kg/cm}^2\text{a}$ である（但し水素気泡部を除く。）。

本解析結果をもとに判断すれば、本件のような設計の無液面型SGでは、初期ス
パイク圧対策としての圧力開放系の機能は、ホットレグ側がより重要であり、ホッ
トレグとコールドレグの両方に設置するよりは、ホットレグ側に大口径の圧力開放
系を設置する方がより効果的であると言える。

(2) ケースIRF0, IRF4, 及びIRF5の比較

IRF4及びIRF5は共に圧力低減を狙ったもので、前者は圧力開放系配管を
SG本体に設置したもの、後者はIRF0と同じ主冷却系配管分岐ながら、分岐点
からラプチャ板までの距離を短縮（ホットレグ： $2.8\text{m}\rightarrow 0.76\text{m}$ ；コールドレ
グ： $2.7\text{m}\rightarrow 0.76\text{m}$ ）したものである。線の太いものから順に、IRF0, IR
F4, IRF5である。

まずIRF0とIRF4とを比較すると、全般に圧力の低下が見られる。特にTa
ble 4.3にも示すように、SG内の上部プレナムや入口ノズルでは、約40%、IH
X内でも約30%の波高値の低下が見られる。

次にIRF0とIRF5とを比較すると、特にSG外で圧力の低下が顕著である
ことが判る。SG内では、第1波には大差はないが第2波以後はIRF5の方が低
くなっている。SG外では第1波からその差が顕著に現れており、特にIH X内
でのピーク圧は約30%低下していることが判る。

このように、圧力開放系をSG本体に設置することも、圧力開放板を圧力波が通
過する主冷却系配管に近い所に設置することも、共に初期スパイク圧低減上有効で
あるが、前者はSG内の圧力を下げることに効果があるのに対し、後者は主とし
て主冷却系配管部の圧力低下に効果があると言える。

更に厳密には、IRF4のSG～開放板までの距離が1mであることと、IRF4
とIRF5との減圧レベルが同程度であることを考慮すれば、圧力開放板～圧力波
通過点までの距離を短縮することの方が効果が大きいと言える。しかし、両方とも

短くできれば、圧力対策上はそれがベストと言える。

圧力開放板作動時刻を見ると、IRF4では半分以下の時刻にと早くなっており短縮化の結果が明らかとなっているが、IRF5ではホットレグ側は逆に少し遅れている。これはタイムメッシュの区切の違いに基づくものと考えられ、この程度の差は意味を持たないと言ってよい。

Table 4.2 圧力開放板作動時刻（無液面型SG）

ケース名 開放系位置	IRF0	IRF1	IRF2	IRF4	IRF5
ホットレグ側	14.4 msec	14.8 msec	不使用	6.0 msec	14.8 msec
コールドレグ側	20.0 msec	不使用	20.2 msec	10.0 msec	19.6 msec

Table 4.3 主な場所での発生最高圧力（無液面型SG）
単位：kg/cm²a

場所	部材No	IRF0	IRF1	IRF2	IRF4	IRF5
ヘリカル中部	9	35.1	35.1	35.1	31.3	35.1
SG下部プレナム	19	25.1	25.0	26.9	19.9	24.9
セントパイプ	22	20.2	24.4	21.2	18.7	20.3
ポンプ入口	31	3.0	4.0	3.2	3.2	2.8
コールドレグ	34	11.1	8.9	16.0	10.9	8.8
IHX入口	36	17.9	13.1	27.7	12.8	12.9
IHX下部	38	17.0	11.9	26.7	13.0	12.0
IHX出口	40	16.2	11.5	25.6	12.1	11.6
ホットレグ配管	42	27.0	18.6	41.5	22.2	20.7
SG入口	2	29.2	27.7	30.9	18.9	26.9
SG上部プレナム	4	31.0	30.9	31.4	19.1	30.9

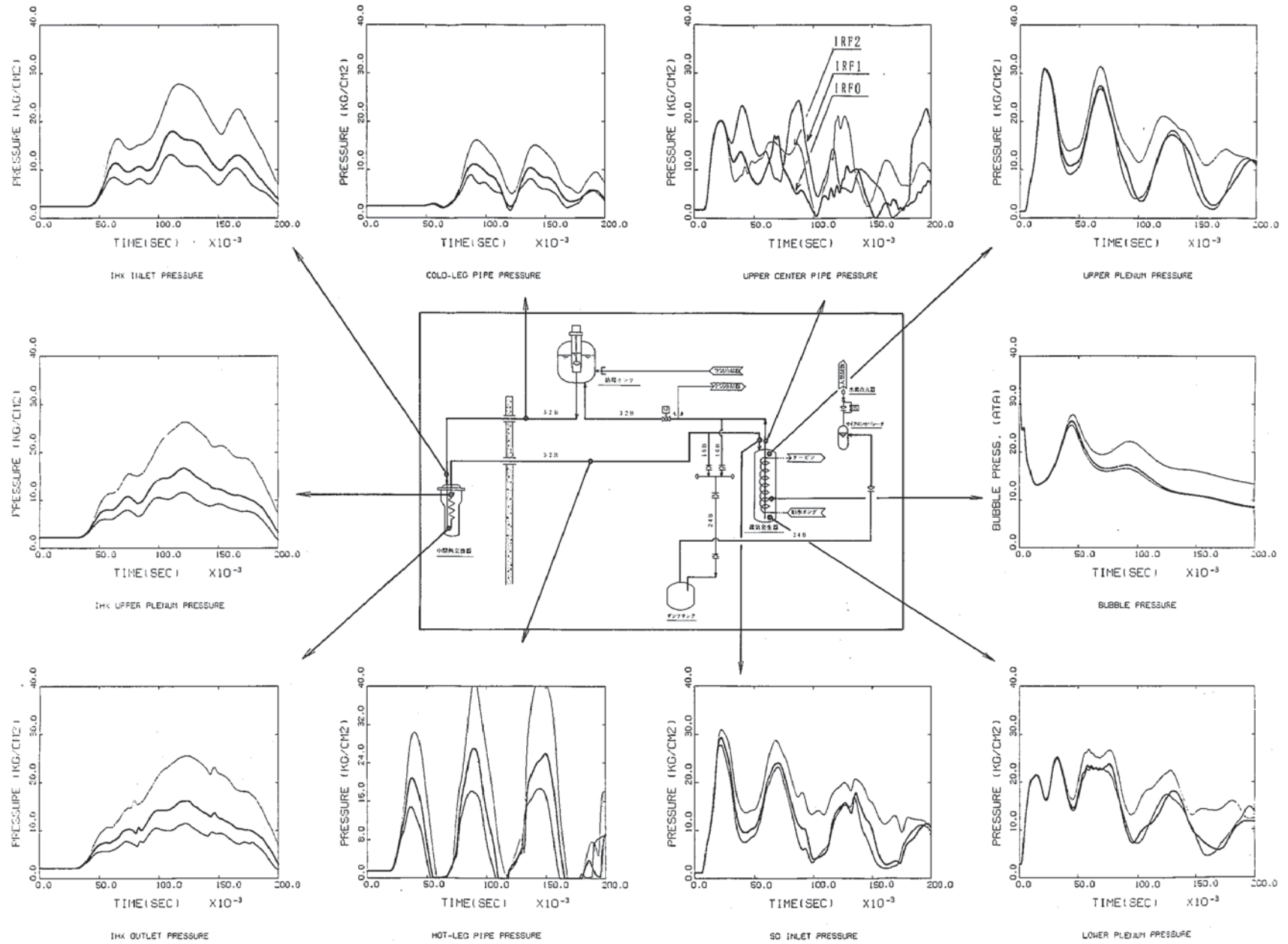


Fig. 4.3 (a) 初期スパイク圧挙動 (無液面型SG)

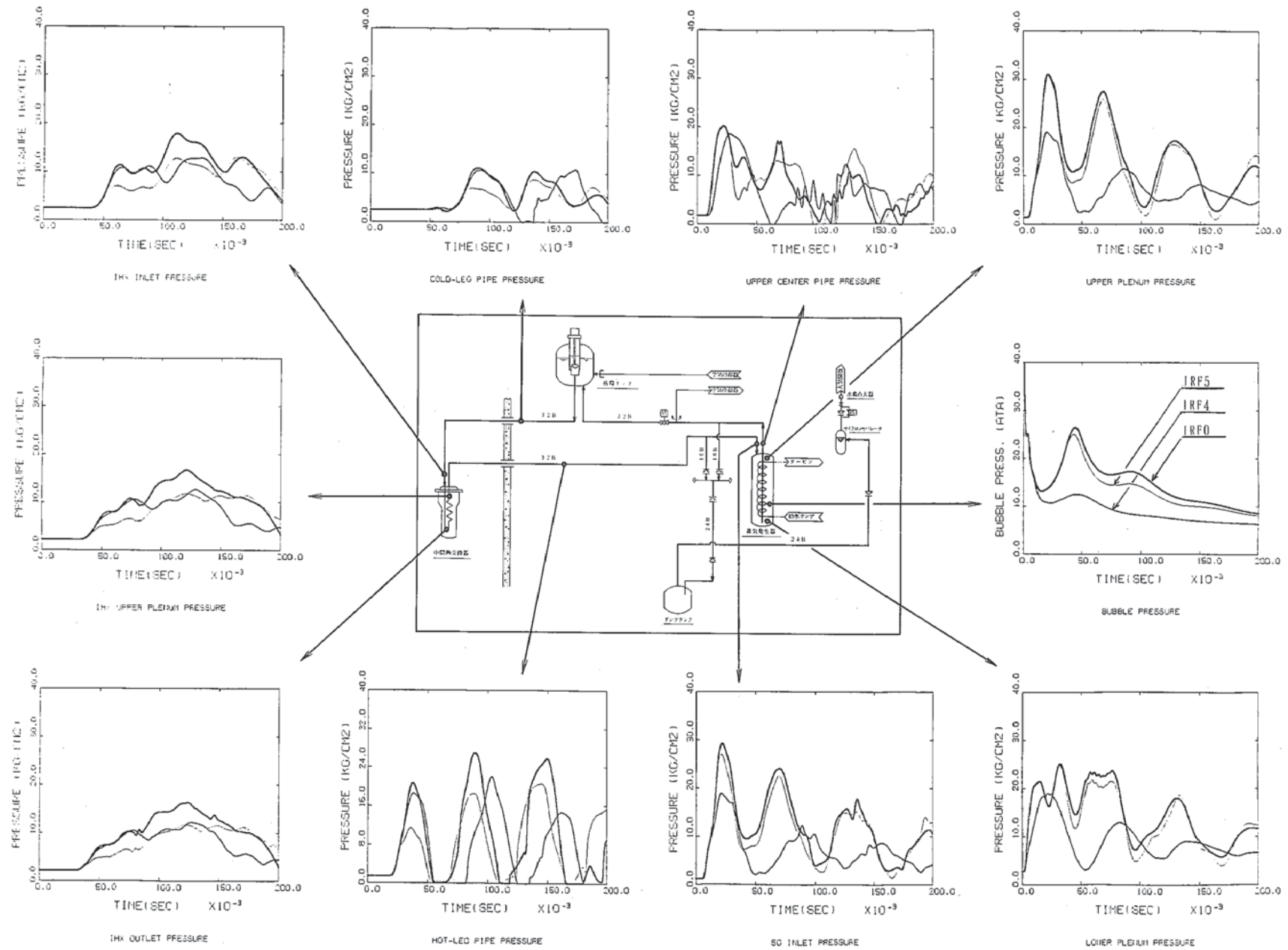


Fig. 4.3(b) 初期スパイク圧挙動 (無液面型SG)

4.3.2 有液面型SG

各ケースでの圧力開放板作動時刻をTable 4.4に示す。ICG0ではコールドレグ側の圧力開放板は26.8msecに作動しているが、ホットレグ側は結局作動していない。カバーガス中圧力開放系も、計算した200msecの間には作動していない。ホットレグ側の圧力開放板が作動しないのは、リーク点からの圧力波がSG上部プレナムを通過する際に、カバーガス液面での反射によって減衰するためである。

有液面型3ケースの圧力挙動をFig. 4.4に示す。線の太い順にICG3, ICG4, ICG0である。カバーガス空間にしか圧力開放系を持たないケースICG3を見ると、下部プレナム部で発生した約20kg/cm²aの圧力波がコールドレグからIHXを経由してホットレグに至っている様子が時間遅れと共に良く判る。無液面型と異なり、ポンプでの減圧効果も見られない。これに対し、リーク点を出て上部プレナムに向かった圧力波は、前述したようにカバーガス液面で減衰されるため、ホットレグ経由の圧力は全体の圧力挙動にはほとんど寄与していない。

従って、これら有液面型のケースでは圧力開放系の位置がコールドレグ経由の圧力にどのような影響を与えるかで全体の圧力挙動も特徴付けられる。ICG0ではコールドレグのSG近辺に圧力開放系があるために、この開放板の作動により、ICG3に比べてやや圧力の低下が見られる。ICG4では、下部プレナムに直接圧力開放系が設置されていることから、下部プレナム内で圧力は既にほとんど減衰しており、2次系全体での圧力挙動もほとんど見られない。

Table 4.5に主な場所での発生最高圧力を示す。3ケースの中での最高値は、SG内ではケースICG0の下部プレナムでの20.3kg/cm²a, SG外ではケースICG3のSG出口部での16.2kg/cm²aである。

以上の結果から、有液面型SGでは、ホットレグ側に圧力開放系を設置する意味はなく、コールドレグ側に設置する場合もSGに直接付ける方が効果的であると言える。またリーク点位置の影響と言う意味では、リーク点が管束部の上部～中部に来ると、カバーガス部に近づくため全てのケースで圧力は一層低下すると考えられる。

Table 4.4 圧力開放板作動時刻（有液面型SG）

ケース名 開放系位置	ICG 0	ICG 3	ICG 4
ホットレグ側	不破裂	不使用	不使用
コールドレグ側 （但し、ICG 4 は下部プレナム）	26.5 m sec	不使用	20.2 m sec
カバーガス部	不使用	不破裂	不破裂

Table 4.5 主な場所での発生最高圧力（有液面型SG）
単位：kg/cm²a

場所	部材No	ICG 0	ICG 3	ICG 4
ヘリカル中部	9	35.1	35.1	35.0
SG下部プレナム	19	20.3	20.3	2.8
センタパイプ	22	13.7	13.7	1.3
ポンプ入口	31	11.7	16.2	2.4
コールドレグ	34	11.2	15.7	2.4
IHX入口	36	4.7	8.7	2.4
IHX下部	38	5.3	8.8	2.4
IHX出口	40	5.0	8.5	2.1
ホットレグ配管	42	4.3	7.2	1.5
SG入口	2	3.3	5.8	0.5
SG上部プレナム	4	13.6	13.5	8.6

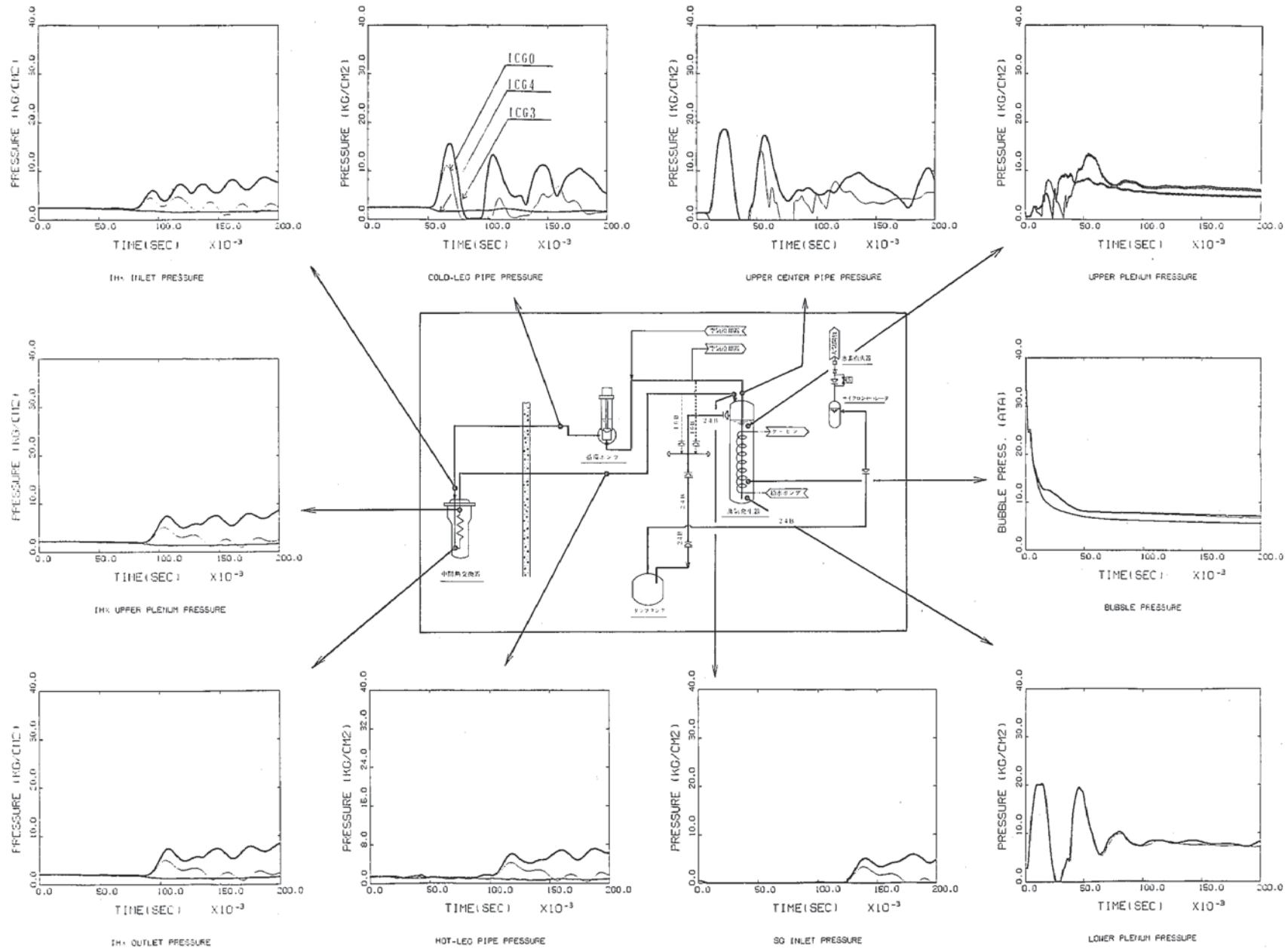


Fig. 4.4 初期スパイク圧挙動 (有液面型SG)

4.3.3 無液面型と有液面型との比較

両者の中から最も代表的なケースとして、それぞれIRF0とICG3とを選んだ。また、無液面型で、圧力開放板のホットレグ及びコールドレグ配管部からの距離を0.76mと短縮したケースIRF5についても参考のため比較した。Table 4.6及び4.7に、それぞれ圧力開放板作動時刻及び発生最高圧を示す。Fig. 4.5では太い線から順に、IRF0、ICG3、IRF5である。

IRF0とICG3とを比べると、ポンプ下流のコールドレグ配管で有液面型の方がやや高いのを除けば、ほとんどの場所で無液面型が有液面型を上回っている。これはSG及びポンプのカバーガス部での圧力減衰効果の差によるものと説明できる。すなわち、有液面型では、上部プレナムに向かった圧力波はほぼ消滅するため、下部プレナムからの圧力波が、コールドレグ、IH Xを経由してホットレグまで伝播する。これに対し、無液面型の場合は、下部プレナムからコールドレグに回った圧力波はポンプ・カバーガス液面で消滅するので、上部プレナムからホットレグを経由する圧力波が支配的となる。従って、ホットレグでは無液面型、コールドレグのポンプ下流では有液面型の圧力が高くなる。

しかしながら、有液面型のSGカバーガス液面の減圧効果は、上部プレナムはもちろんのこと、下部プレナムの圧力にも影響を与えるのに対し、リーク点から遠いポンプ・カバーガス液面にはコールドレグを経由する圧力波にしか効かない。このことは、Fig. 4.5の下部プレナム圧力を見ると、ICGの方がIRF0より低いことから明らかである。このため、ポンプ近傍を除いて、無液面型の圧力が有液面より高く現れるのである。無液面型のIRF0では、ホットレグ、コールドレグ両方に圧力開放系が設置されているが、その減衰効果もSGカバーガス部の減衰効果には及ばないと言える。

IRF5とIRF0との比較は既に4.3.1で論じたが、圧力開放板の上流配管の短縮は確かに圧力の減殺に効果がある。特にIH X内でのピーク圧はTable 4.7にも示すように、約30%低下している。有液面型のICG3に比べればまだ圧力は高いが、圧力開放板を圧力波通過点にできるだけ近づけることが、初期スパイク圧低減上、有効であることが判る。

Table 4.6 圧力開放板作動時刻（無液面型と有液面型SGとの比較）

ケース名 開放系位置	I R F 0	I C G 3	I R F 5
ホットレグ側	14.4 m sec	不使用	14.8 m sec
コールドレグ側	20.2 m sec	不使用	19.6 m sec
カバーガス部		200 m secまで 不破裂	

Table 4.7 主な場所での発生最高圧力
（無液面型と有液面型SGとの比較）単位：kg/cm²a

場所	部材No	I R F 0	I C G 3	I R F 5
ヘリカル中部	9	35.1	35.1	35.1
SG下部プレナム	19	25.2	20.3	24.9
センタパイプ	22	20.2	18.7	20.3
ポンプ入口	31	3.0	16.2	2.8
コールドレグ	35	11.1	15.7	8.8
I H X 入口	36	17.9	8.7	12.9
I H X 下部	38	17.0	8.7	12.0
I H X 出口	40	16.2	8.4	11.6
ホットレグ配管	42	27.0	7.2	20.7
SG入口	2	29.2	5.5	26.9
SG上部プレナム	4	31.0	13.5	30.9

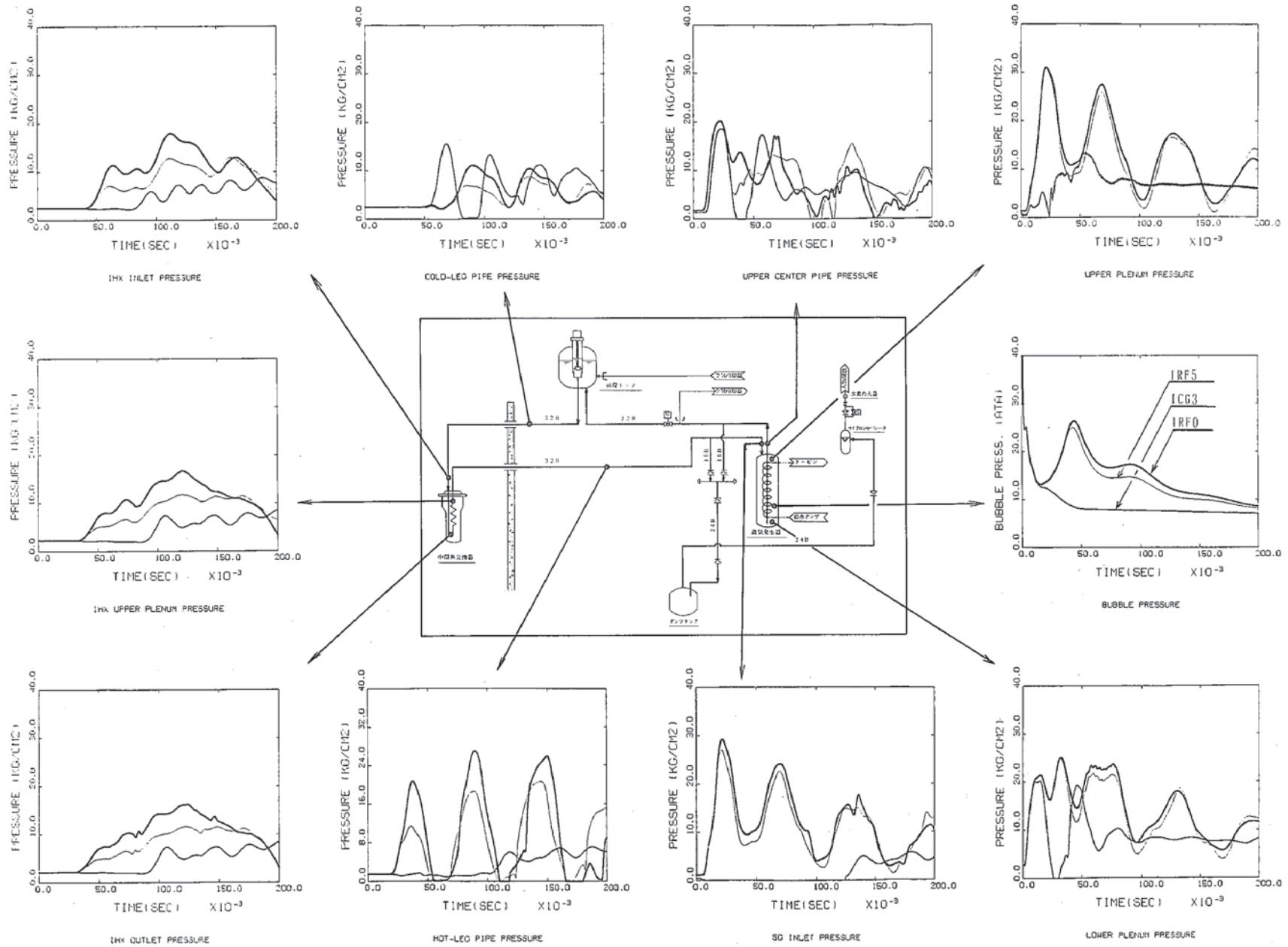


Fig. 4.5 初期スパイク圧挙動（無液面型及び有液面型SG）

5. 準定常圧力評価

5.1 解析条件

(1) 水リーク率

準定常圧力評価用の水リーク率として、「もんじゅ」では初期事象としての1 DEGのほかにその後の破損伝播による3 DEGを加えて、合計4 DEGとした。現在、大型炉のプラント設備軽減の観点から、SGのDBLについても見直しが行われている。具体的には、プラント設計の面からはオリフィスや大口径水系ブロー弁の採用であり、R & D面の側からは伝熱管内部の蒸気による冷却効果を考慮するなど実機条件を厳密に模擬することにより、従来の過度の保守性を改めようとするなどである。

要素技術設計研究(Ⅱ)では、プラント設計面での成果を活かして、準定常圧評価用DBLとして1 + 2 DEGを選んだ。これに対しR & D面での前進は、上記R & Dが現在スタート段階であるため未だ得られていないが、DBL低減に及ぼすポテンシャルは高いと推測される。従って、本報告書ではR & Dの進展を前提に準定常圧評価用DBLとして1 DEGを用いた。

伝熱管破断位置は、初期スパイク圧力計算と同様、有効伝熱管部下端より1/6の高さの点とした。Fig. 5.1に準定常圧評価で使用した水リーク率計算値を示す。

(2) 圧力開放系設置場所

準定常圧評価でも液面の有無以外のパラメータは、圧力開放系配管の設置場所である。Table 5.1に各ケースの圧力開放系設置場所とその設定圧力を示す。

同表に示すように、ほとんど初期スパイク圧計算で設定したものと同一ケースを選んだ。即ち、無液面型では、主循環系配管に設置する圧力開放系の場所に応じてQRF0, QRF1, QRF2, 及びQRF4とした。また有液面型では、接液型のもの、カバーガス中のみのも、カバーガス部と下部プレナム部とに併設のものを、それぞれ、QCG0, QCG3, 及びQCG4とした。但し、無液面型で圧力開放板までの距離を短縮したケースはQRF0と大差ないことが予想されるため、特に計算は行わなかった。

Table 5.1 準定常圧計算ケースの内容

ケース名	液面	圧力開放板破裂設定圧力 (kg/cm ² a)		
		ホットレグ	コールドレグ	カバーガス部
QRF0	無	8.5	8.5	X
QRF1	無	8.5	—	
QRF2	無	—	8.5	
QRF4	無	SG上部 8.5	SG下部 8.5	
QCG0	有	7.4	7.4	—
QCG3	有	—	—	7.4
QCG4	有	—	SG下部 7.4	7.4

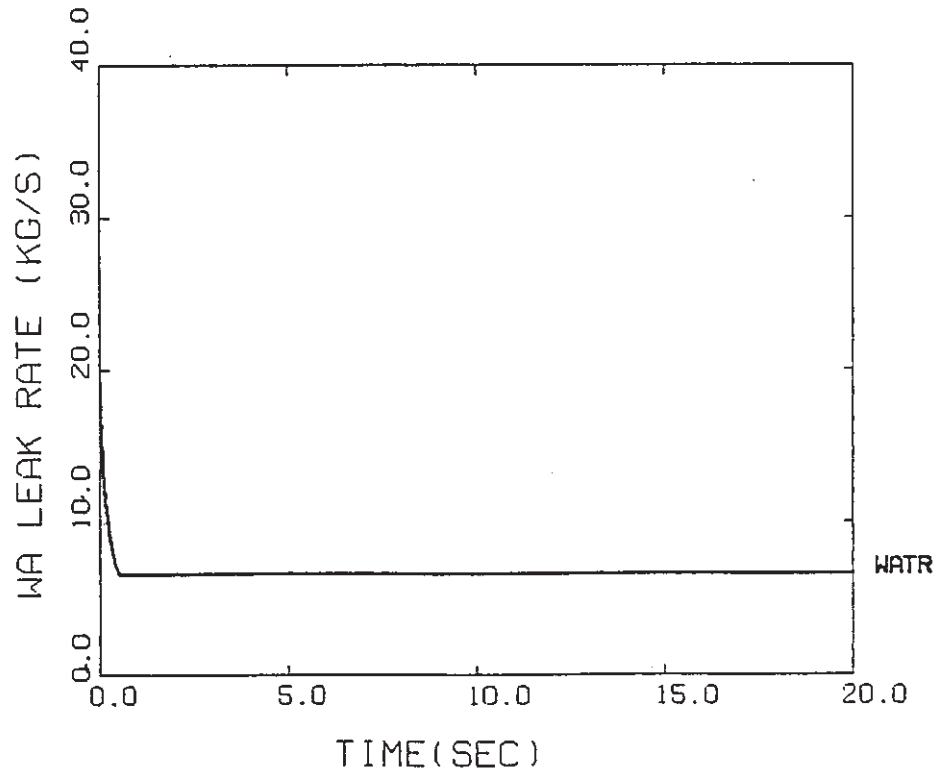


Fig. 5.1 水リーク率 (準定常圧時間領域)

5.2 計算モデル

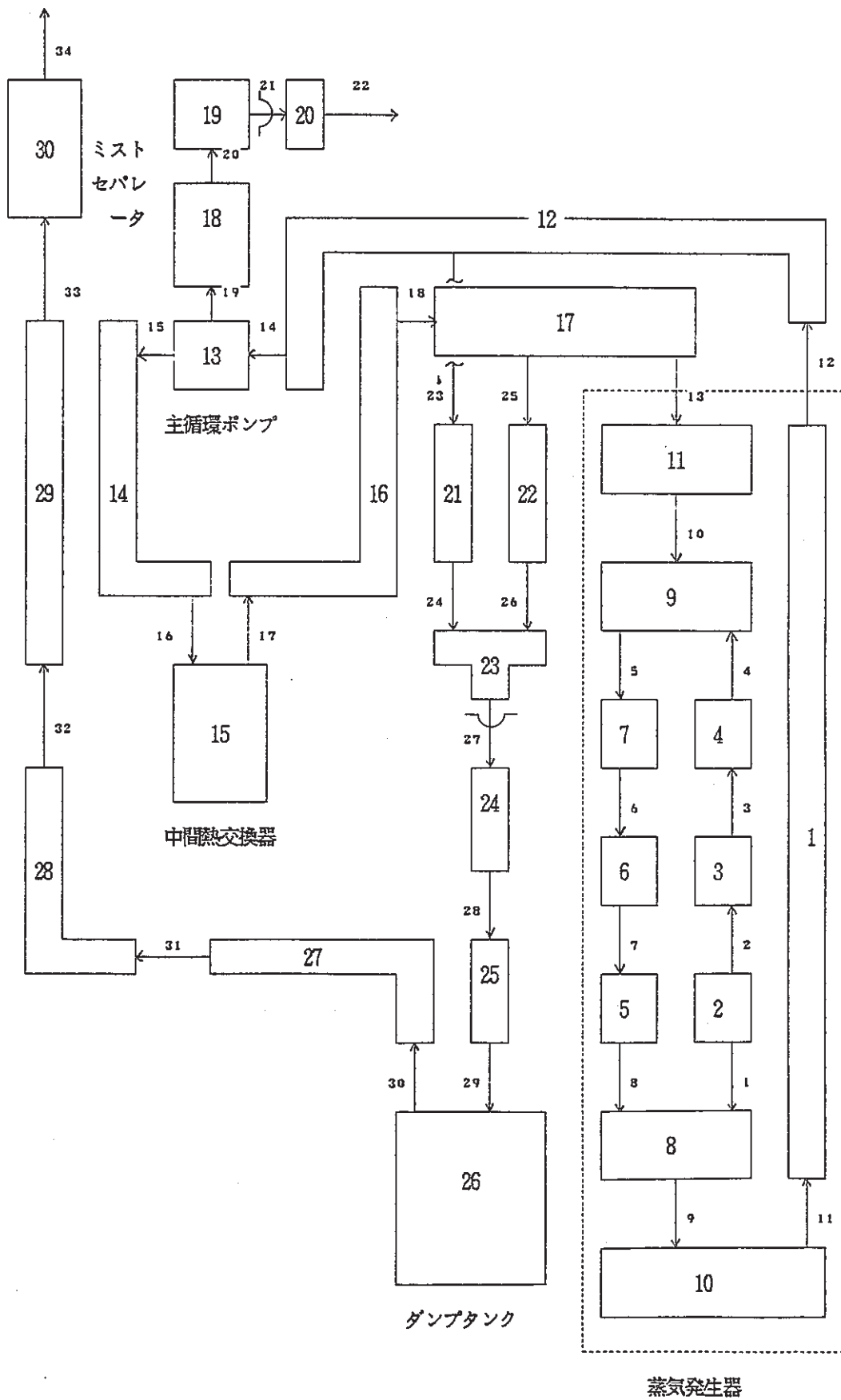
(1) 無液面型SG

無液面型の代表ケースであるQRF0で使用したネットワーク・モデルをFig. 5.2 (a)に示す。ノード1～11がSG内部に相当し、リーク点はノード2内にある。同ケースに対応する準定常圧評価は、要素技術設計研究(Ⅱ)で行われており、本解析でも基本的にその入力値を用いた。しかしながら、同研究では圧力開放系をダンプタンクまでしかモデル化してないため、本解析ではダンプタンクからミストセパレータの大気開放弁までモデル化した。このほかにもポンプ内のモデル化を簡略化するなど多少の変更を行った。

QRF1及びQRF2については、圧力開放系をそれぞれホットレグ又はコールドレグの一方のみに設置するため、Fig. 5.2 (b)及び(c)に示すように他方の圧力開放系配管に対応する部分を取り除いた。また、QRF4についてはFig. 5.2 (d)に示すように、圧力開放系をSGの上部及び下部プレナムに直結させた。

ここで注意しなければならないのは、圧力開放系のモデル化である。現設計では、ホットレグ及びコールドレグ配管から分岐した圧力開放系配管のそれぞれに、まず1段目のラプチャ板があり、両方の配管が合流したのち2段目のラプチャ板がある。しかしながら、現在のSWACSの準定常圧モジュールでは2段ラプチャ板の構造は取り扱う事ができない。

従って、次のようにモデル化を行った。初期スパイク圧評価では、圧力波は液中を伝播し気中では消滅すると考えて良いので、1段目のラプチャ板までモデル化して2段目は考慮しなかった。準定常圧評価ではこれと逆に、1段目を無視して2段目をモデルに組み込んだ。これは、大リーク時は1段目は圧力波で瞬時に破れてしまうが、この時刻は準定常圧領域ではほとんど時刻ゼロと考えても差し支えない。むしろ2段目の破裂時刻の方が準定常圧挙動に影響を及ぼし得ると考えられるためである。圧力開放系をホットレグ、コールドレグのいずれか一方にしたケースについても、同様に2段目のみを考慮した。



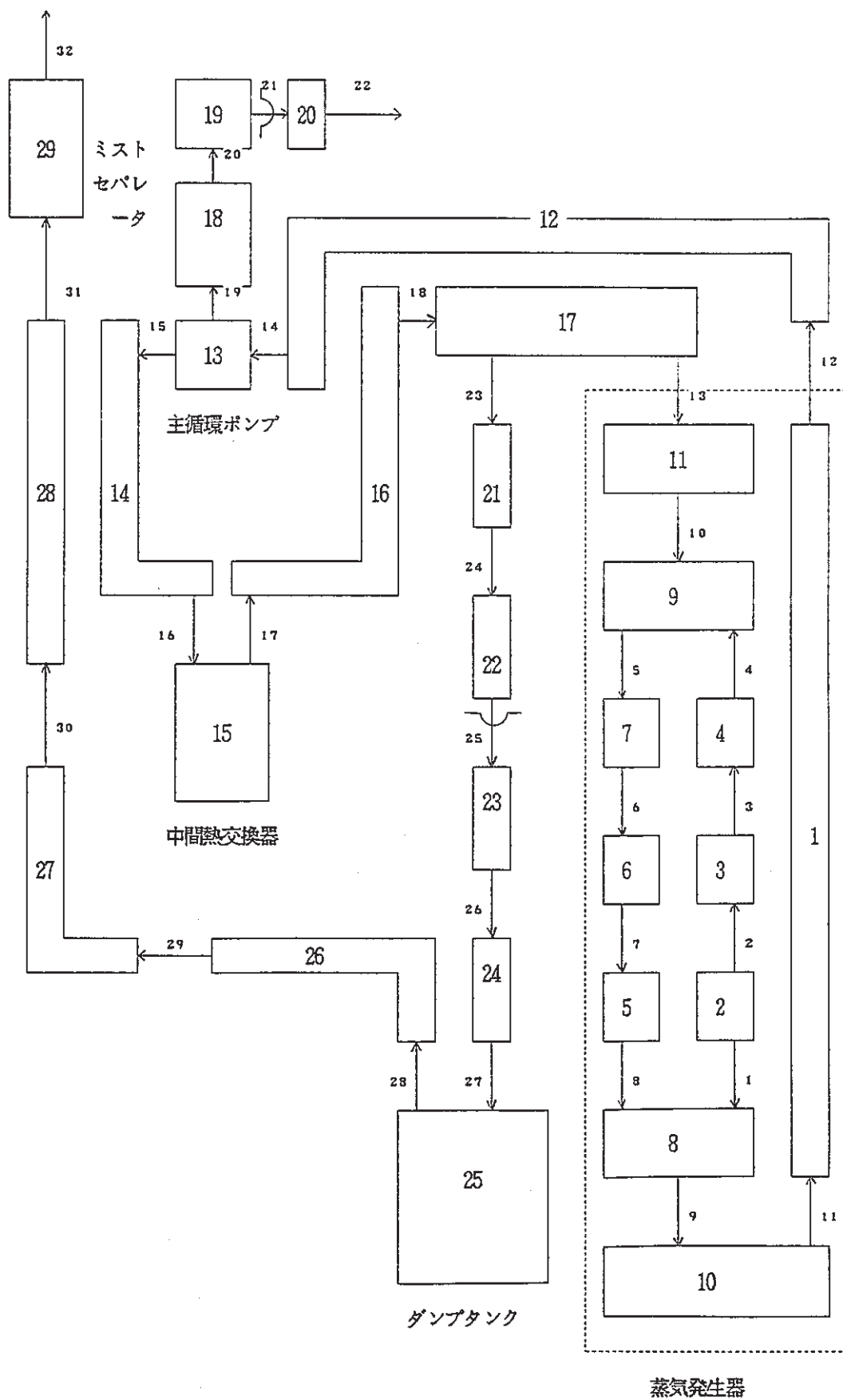


Fig. 5.2 (b) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF1)

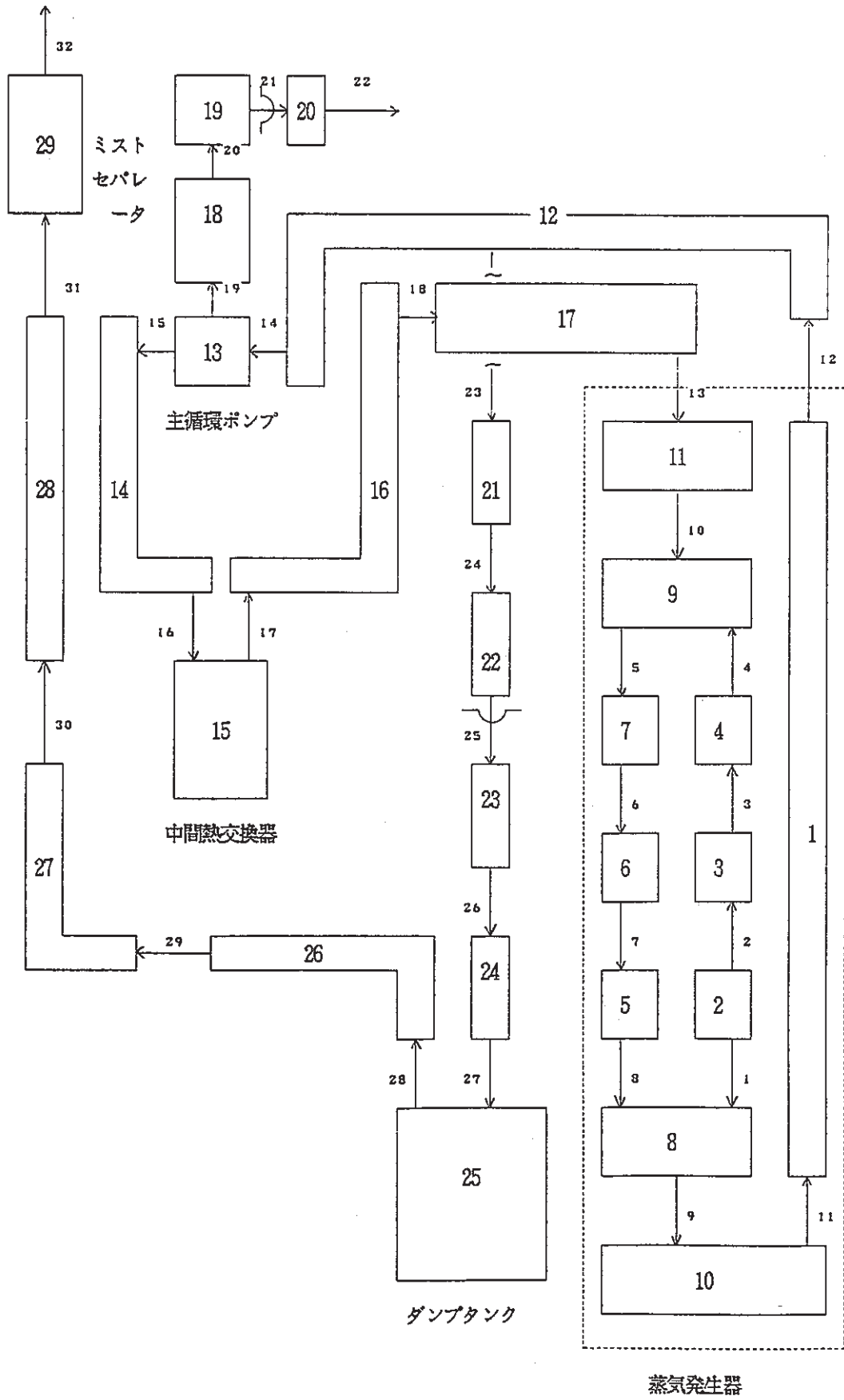


Fig. 5.2(c) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF2)

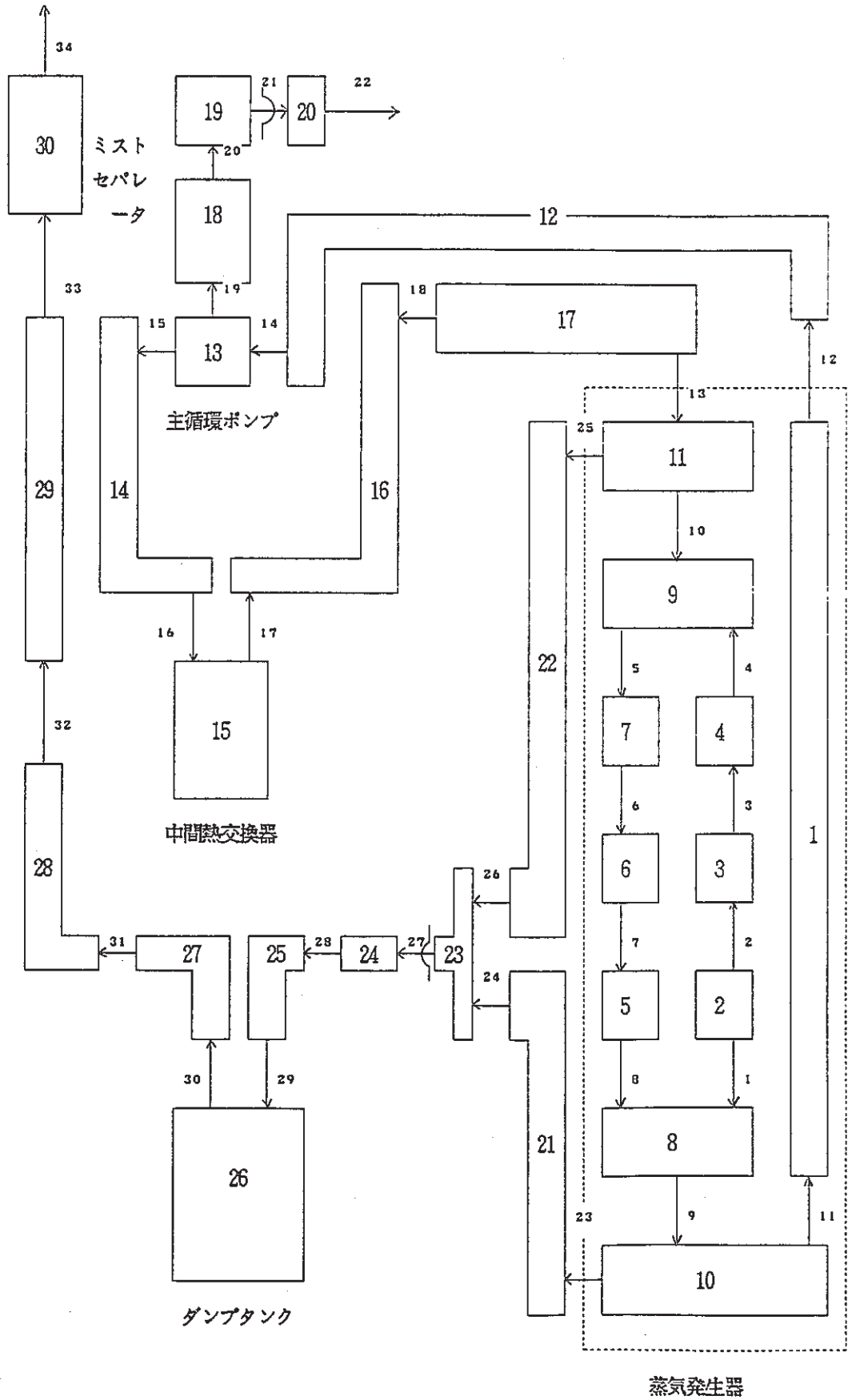


Fig. 5.2(d) 準定常圧計算・ネットワークモデル (無液面・QRF4)

(2) 有液面型 S G

有液面型 S G の場合の基本的変更点は、3.2 で説明したように①カバーガス部の設置、②圧力開放系の設置場所、③ポンプ・カバーガス液面の取扱、である。従って、それに応じてネットワーク・モデルも以下に示すように組み換えを行った。

Fig. 5.1 (a) に示した Q C G 0 は、圧力開放系レイアウトはそのまま S G にカバーガス部に相当するノード 12 を設け、ポンプ・カバーガスへの流路に当たるリンク 20 及び 21 を狭めた。

Q C G 3 は有液面型の代表的なケースと考えて良いが、Fig. 5.1 (b) に示すように、圧力開放系配管をカバーガス部のみに設置した。これに伴い主循環系からの開放系配管を取り除くとともに、評価上実質的に意味の無いポンプの上半部も除くなど、ネットワーク・モデルを大きく組み換えた。

Q C G 4 は、Q C G 3 に下部プレナムからの圧力開放系ラインを組み込んだものであるが、Fig. 5.1 (c) に示すように両方からのラインをノード 21 で合流させている。圧力開放板のモデル化については、ガス中型はもともと 1 枚構造であるためそのままモデル化し、接液型は前述したように 2 段目のラプチャ板を模擬しているが、Q C G 4 ではガス中型と接液型とが併設されているので、リンク 22 にガス中型を置き、リンク 21 に接液型の 2 段目を置くようモデル化した。

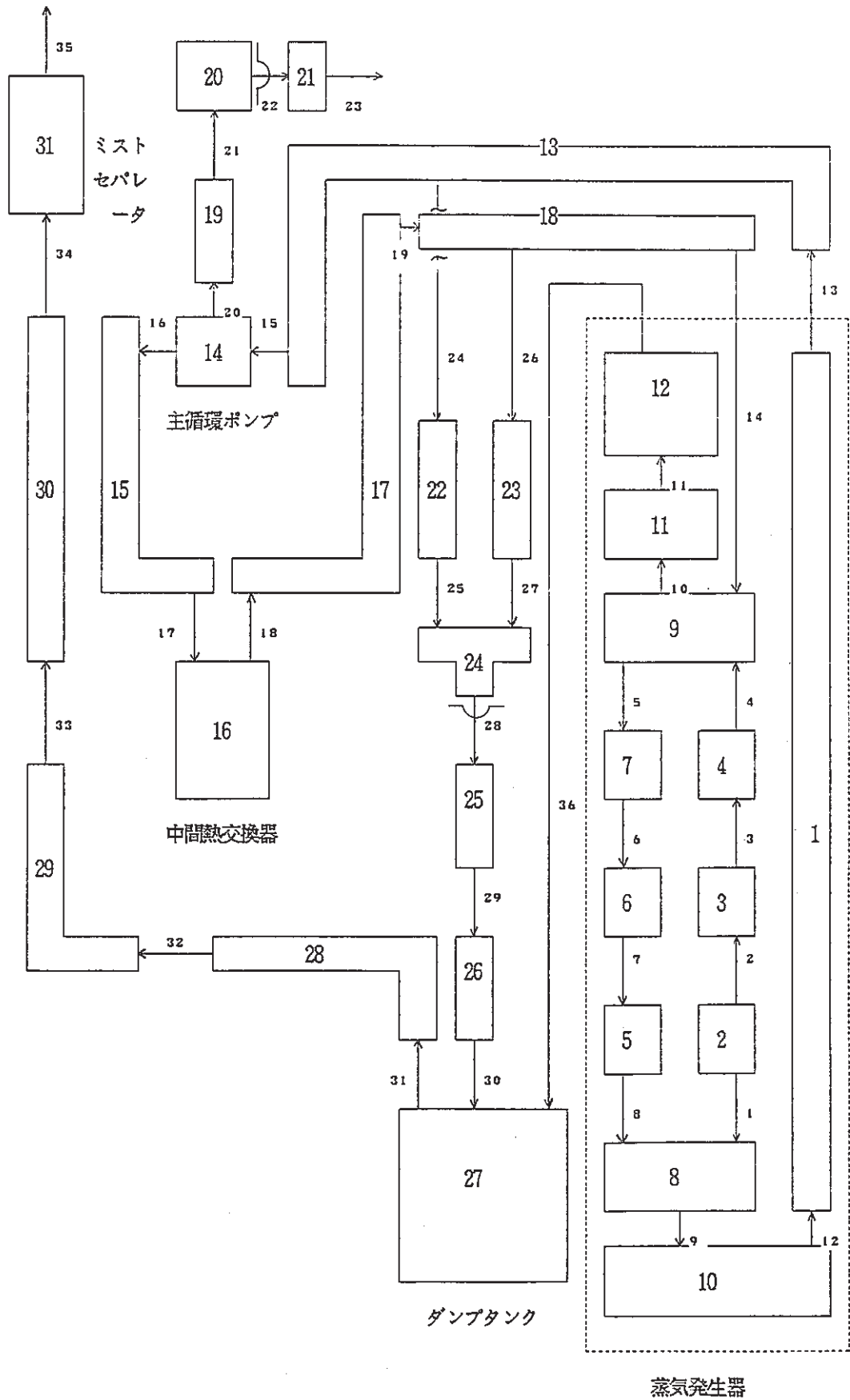


Fig. 5.2 (e) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG0)

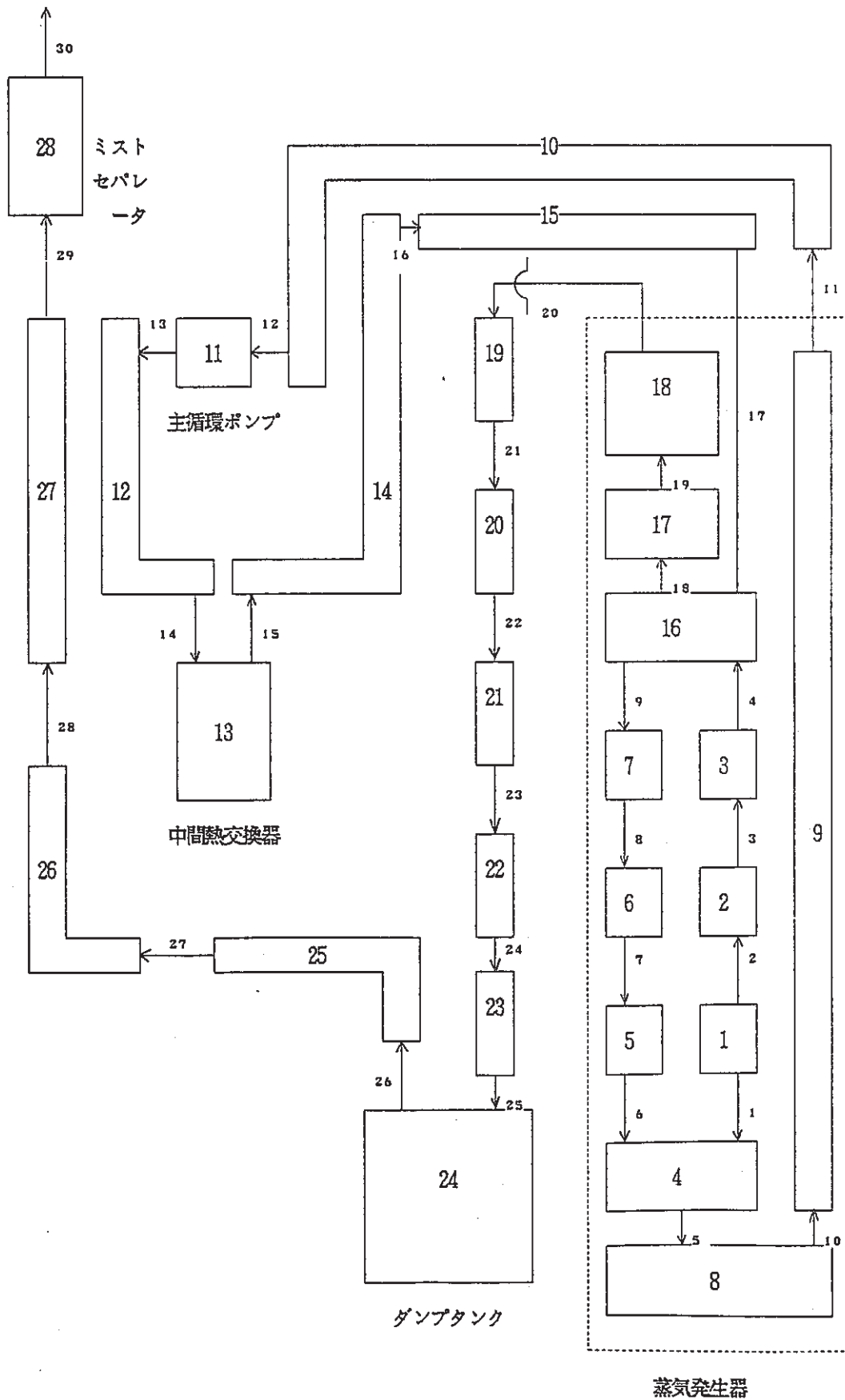


Fig. 5.2(f) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG3)

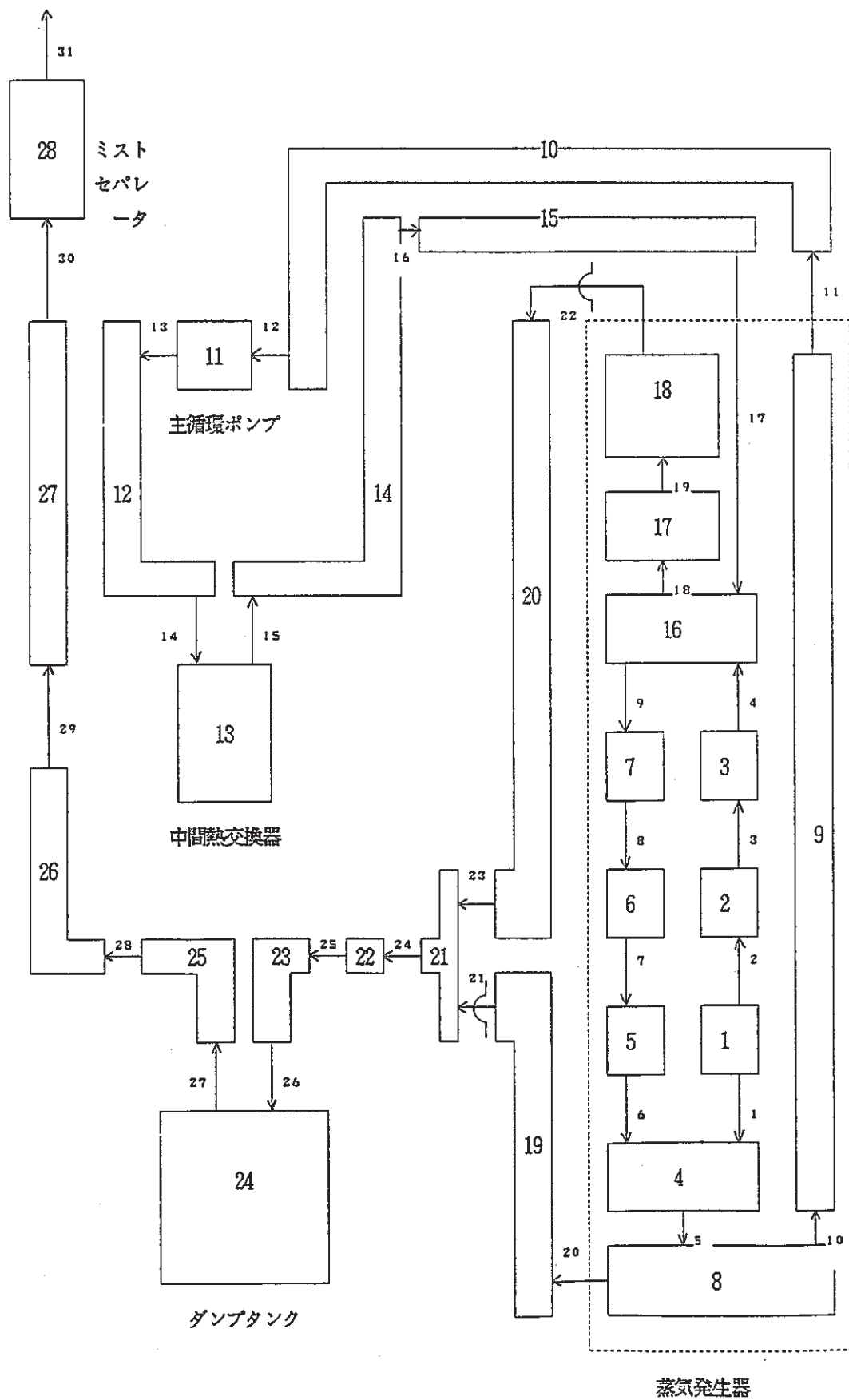


Fig. 5.2(g) 準定常圧計算・ネットワークモデル (有液面・QCG4)

5.3 計算結果

5.3.1 無液面型SG

ここでは、特にQRF0～2の比較を行い、QRF4の評価については5.3.3で述べる。2段目の圧力開放板の作動時刻をTable 5.2に示す。1段目は時刻ゼロに作動したと仮定している。ホットレグ側のみ使用したQRF1の作動時刻が最も早く、コールドレグ側のみを使用したQRF2がやや遅れているが、これは初期スパイク圧計算での第1段目のラプチャ板作動時刻(Table 4.2)の傾向とも良く一致している。

圧力挙動をFig. 5.2に示す。線の太いものから順にQRF0, QRF1, QRF2である。三者とも良く似た挙動をしており、全体的特徴としては、まず、ポンプ・カバーガス部で緩やかなピストンの振動が見られる。これは水素気泡部とポンプ・カバーガス部とが交互に圧縮／膨張を繰り返すためである。このほか、初期7秒頃までに圧力開放系配管では鋭い圧力振動が発生しているのが見られる。これは、高速の2相流の中で、水素ガスがナトリウムに圧縮されるため発生しているものと考えられる。

三者のなかでは、QRF1の圧力降下が最もスムーズである。これについては、次のように説明できる。すなわち、リーク点で発生した水素気泡は管束部を上昇するため、センタパイプ→コールドレグのパスよりも上部プレナム→ホットレグのパスが水素排出路として有効に機能し、従ってホットレグに24Bの開放系配管を用いたQRF1が他のケースより良い開放特性を示したものである。本解析ではリーク点をヘリカルコイル部下部としたが、リーク点が同上部もしくは下部の場合にはこの傾向は一層強まるものと言える。しかし厳密には、初期条件としての定常流動を考慮する必要がある。

各リンクでの質量流量をFig. 5.3に示す。QRF1は、ヘリカルコイル部の流量は他に比べ最も小さく、コールドレグ流量は逆に最も大きいことから、上述したように、QRF1は管束部でのポイド率の高い流れであったことが判る。

Table 5.3に各部での発生最高圧力を示す。放出系の鋭い振動を除いて、全般にQRF1の圧力が低いことが判る。

Table 5.2 圧力開放板作動時刻（無液面型SG）
（但し、全て2段目のラプチャ板）

ケース名 開放系位置	QRF 0	QRF 1	QRF 2	QRF 4
ホットレグ側 （但し、QRF 4 は上部プレナム）	0.95 sec	0.89 sec	不使用	0.35 sec
コールドレグ側 （但し、QRF 4 は下部プレナム）		不使用	1.28 sec	

Table 5.3 主な場所での発生最高圧力（無液面型SG）
単位：kg/cm²a

場所	NodeNo	QRF 0	QRF 1	QRF 2	QRF 4
リーク点	2	5.3	5.1	5.0	4.2
上部プレナム	11	4.6	4.3	4.8	3.6
下部プレナム	10	5.7	5.5	5.3	4.5
センタパイプ	1	5.6	4.9	5.0	4.3
コールドレグ 1	12	5.1	3.7	4.4	2.8
ポンプ下部	13	4.0	3.4	3.4	2.7
コールドレグ 2	14	4.2	4.4	4.9	3.3
IHX	15	5.1	6.2	6.2	4.0
ホットレグ配管	17	4.4	6.2	6.8	3.5
圧力開放板上流	23/22	4.6	29.9	13.9	1.6
圧力開放板下流	24/23	3.7	6.4	17.1	0.4
圧力開放板下流	25/24	1.0	3.8	10.4	0.4
ダンプタンク	26/25	2.0	2.2	1.5	2.2

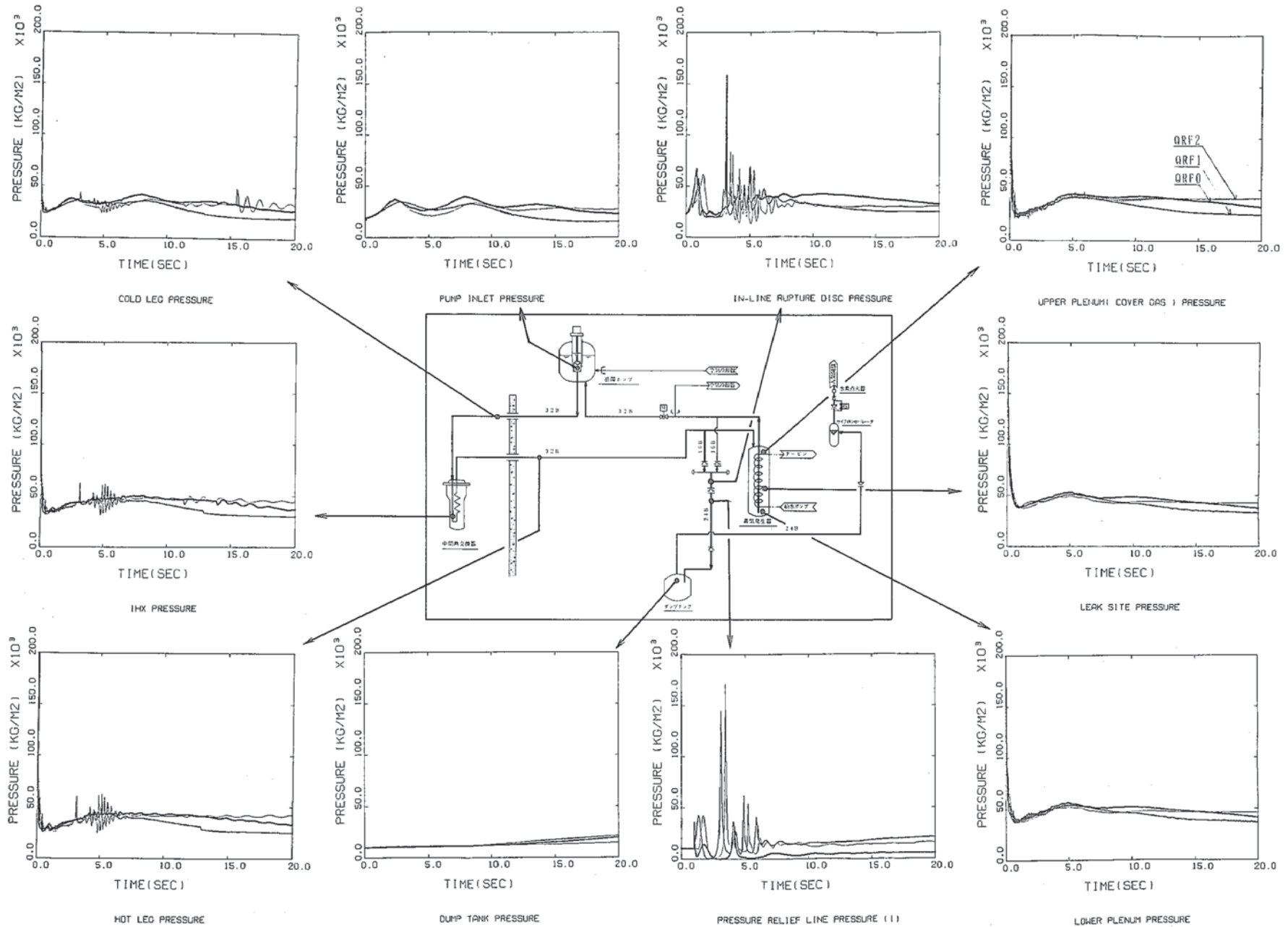


Fig. 5.2 準定常圧挙動 (無液面型SG)

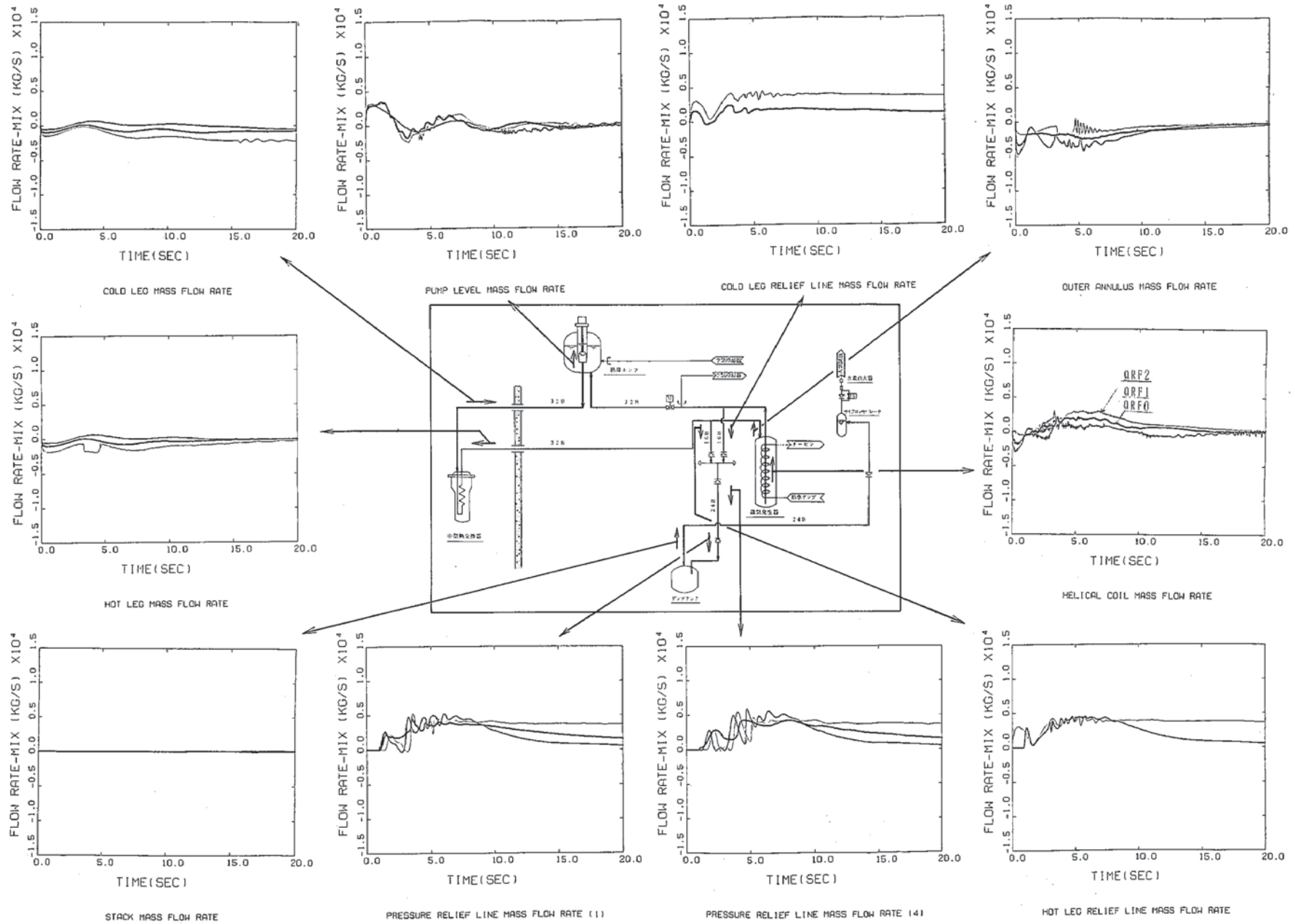


Fig. 5.3 2次系内流動状況 (無液面型SG)

5.3.2 有液面型SG

圧力開放系作動時刻（但し、接液型は2段目）をTable 5.4に示す。接液型の作動時刻は、1 sec 前後とQCG3の約11sec と比べて相当早い。これは、ガス空間容積の違いに基づくものである。また、QCG4では下部プレナムの接液型が初期に破裂したため、上部のカバーガス部ラプチャ板は遂に作動しなかった。

Fig. 5.5に圧力挙動を示す。線の太いものからQCG3, QCG4, QCG0である。ケース間での違いは大きい、ケース毎に見ると小さな振動を除けば圧力波形は各ノード間でよく似ており、空間分布がほとんどないことが判る。これは無液面型と異なり、水素気泡部以外にガス空間がないため圧力差を生み出す流れの振動が発生しないからである。

カバーガス部のみに開放系を設置したQCG3の波形にはその特徴がよく現れている。すなわち、カバーガス部圧力が破裂設定圧に達する11sec までは単調増加し、開放板作動後は単調に減少するという傾向が見られる。そのため、発生最高圧は圧力開放板破裂設定圧で規定されることになる。IHXや配管部には脈動が見られるが、これは開放板破裂後の開放系での圧力振動の影響によるものである。

QCG4では、下部プレナム側の圧力開放板が初期に作動したものの、このため却って発生水素がカバーガス部にこもる形となって単調な圧力増加という現象が見られる。

Fig. 5.6に各リンクでの質量流量を示す。

Table 5.5に発生ピーク圧をまとめて示す。但し、これらのピーク圧は1 sec以後に現れたものに限定し、初期スパイク圧領域の高い圧力は除いている。

Table 5.4 圧力開放板作動時刻（有液面型SG）
（但し、接液型は2段目のラプチャ板）

開放系位置		ケース名		
		QCG0	QCG3	QCG4
接液型	ホットレグ側	1.40 sec	不使用	0.35 sec
	コールドレグ			
カバーガス中		不使用	10.97 sec	不破裂

Table 5.5 主な場所での発生最高圧力（有液面型SG）
単位：kg/cm²a

場所	NodeNo	QCG0	QCG3	QCG4
リーク点	2 / 1	5.1	8.3	6.2
カバーガス部	12/18	4.2	7.4	5.8
下部プレナム	10/ 8	5.4	8.8	6.6
センタパイプ	1 / 9	4.6	7.8	5.7
コールドレグ1	13/10	3.3	6.5	4.8
ポンプ下部	14/11	3.5	6.7	5.4
コールドレグ2	15/12	3.9	7.3	6.2
IHX	16/13	5.0	8.6	6.5
ホットレグ配管	18/15	4.0	7.3	5.8
圧力開放板上流	24/19	2.2	6.8	1.1
圧力開放板下流	25/21	0.9	6.2	0.9
圧力開放系下流	26/23	0.1	3.2	0.9
ダンプタンク	27/24	1.7	2.0	1.2

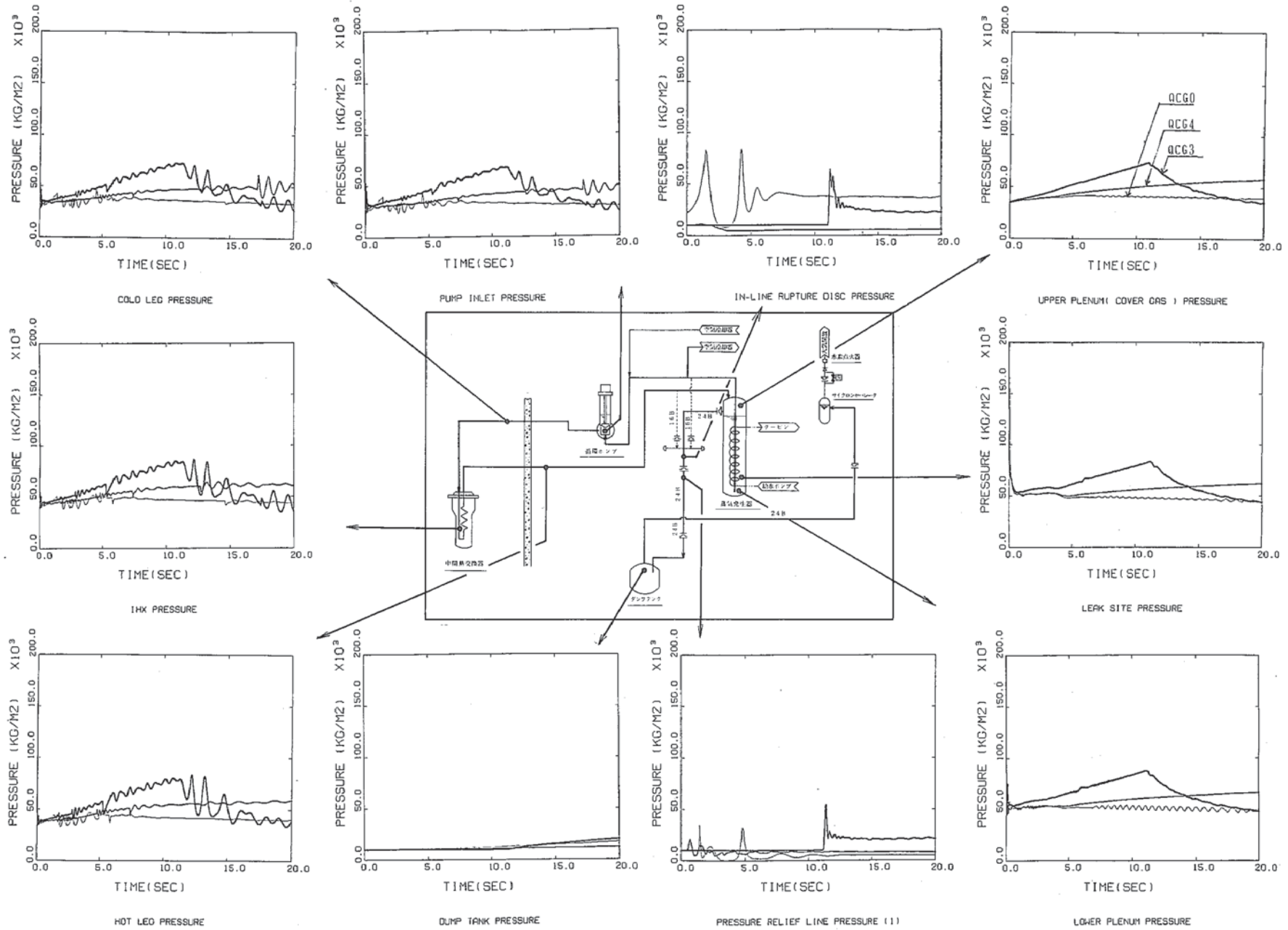


Fig. 5.5 準定常圧挙動 (有液面型 SG)

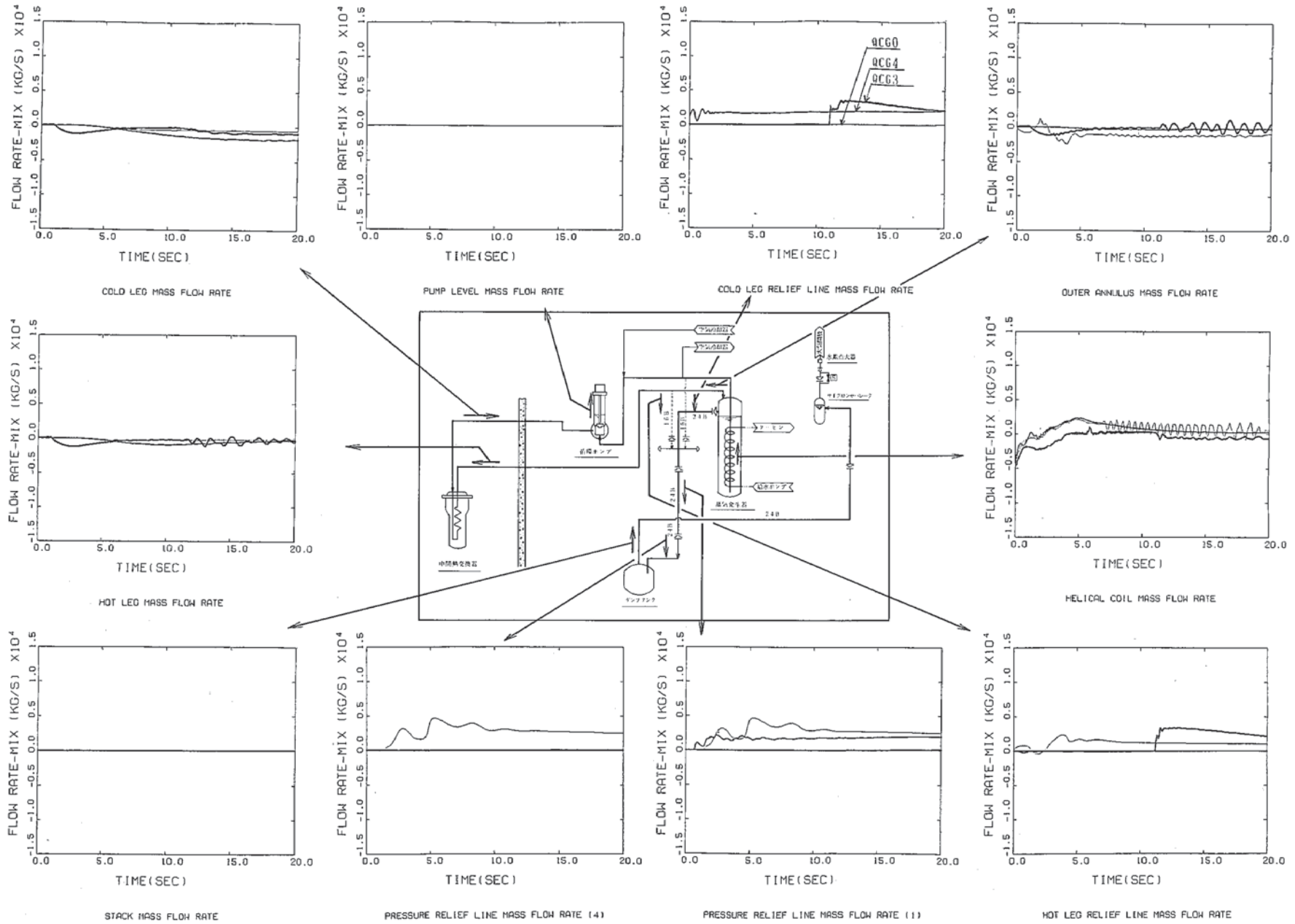


Fig. 5.6 2次系内流動状況 (有液面型SG)

5.3.3 無液面型と有液面型との比較

両者の代表ケースとして、それぞれQRF0とQCG3を選び、また参考ケースとして無液面型で圧力開放系をSG本体に設置したQRF4を合わせて比較する。Fig. 5.7に圧力挙動を示す。線の太いものから順に、QRF0, QRF4, QCG3である。

同図からは、有液面型より無液面型の方が全般に圧力が低いことが判る。これは、両タイプのSGとも系内の圧力は圧力開放板の作動圧までは上がる訳であるが、接液型ラブチャ板を用いた無液面型では10 m secオーダーの初期スパイク圧で作動するため、準定常圧な圧力のビルドアップは生じないのに対し、カバーガス部のみに開放系を設置したQCG3のような有液面型のケースでは、10 secオーダーの準定常圧で開放板が作動するためである。このため、準定常圧評価上は、有液面型の方が高めの結果となる。

次にQRF0とQRF4との比較では、圧力開放板近辺を除けばQRF4の方が一般に穏やかであると言える。これは、反応点から圧力開放系までの距離の短いQRF4の方が、効率良く水素ガスを排出できることを示している。

Table 5.6 圧力開放板作動時刻（無液面型と有液面型SGとの比較）

ケース名 開放系位置	QRF0	QCG3	QRF4
ホットレグ側 （但し、QRF4 は上部プレナム）	0.95 sec	不使用	0.35 sec
コールドレグ側 （但し、QRF4 は下部プレナム）		不使用	
カバーガス部	不使用	10.97 sec	不使用

Table 5.7 主な場所での発生最高圧力
（無液面型と有液面型SGとの比較）単位：kg/cm²a

場所	NodeNo.	QRF0	QCG3	QRF4
リーク点	2 / 1	5.3	8.3	4.2
カバーガス部	11/18	4.6	7.4	3.6
下部プレナム	10 / 8	5.7	8.8	4.5
センタパイプ	1 / 9	5.6	7.8	4.3
コールドレグ1	12/10	5.1	6.5	2.8
ポンプ下部	13/11	4.0	6.7	2.7
コールドレグ2	14/12	4.2	7.3	3.3
IHX	15/13	5.1	8.6	4.0
ホットレグ配管	17/15	4.4	7.3	3.5
圧力開放板上流	23/19	4.6	6.8	1.6
圧力開放板下流	24/21	3.7	6.2	0.4
圧力開放系下流	25/23	1.0	3.2	0.4
ダンプタンク	26/24	2.0	2.0	2.2

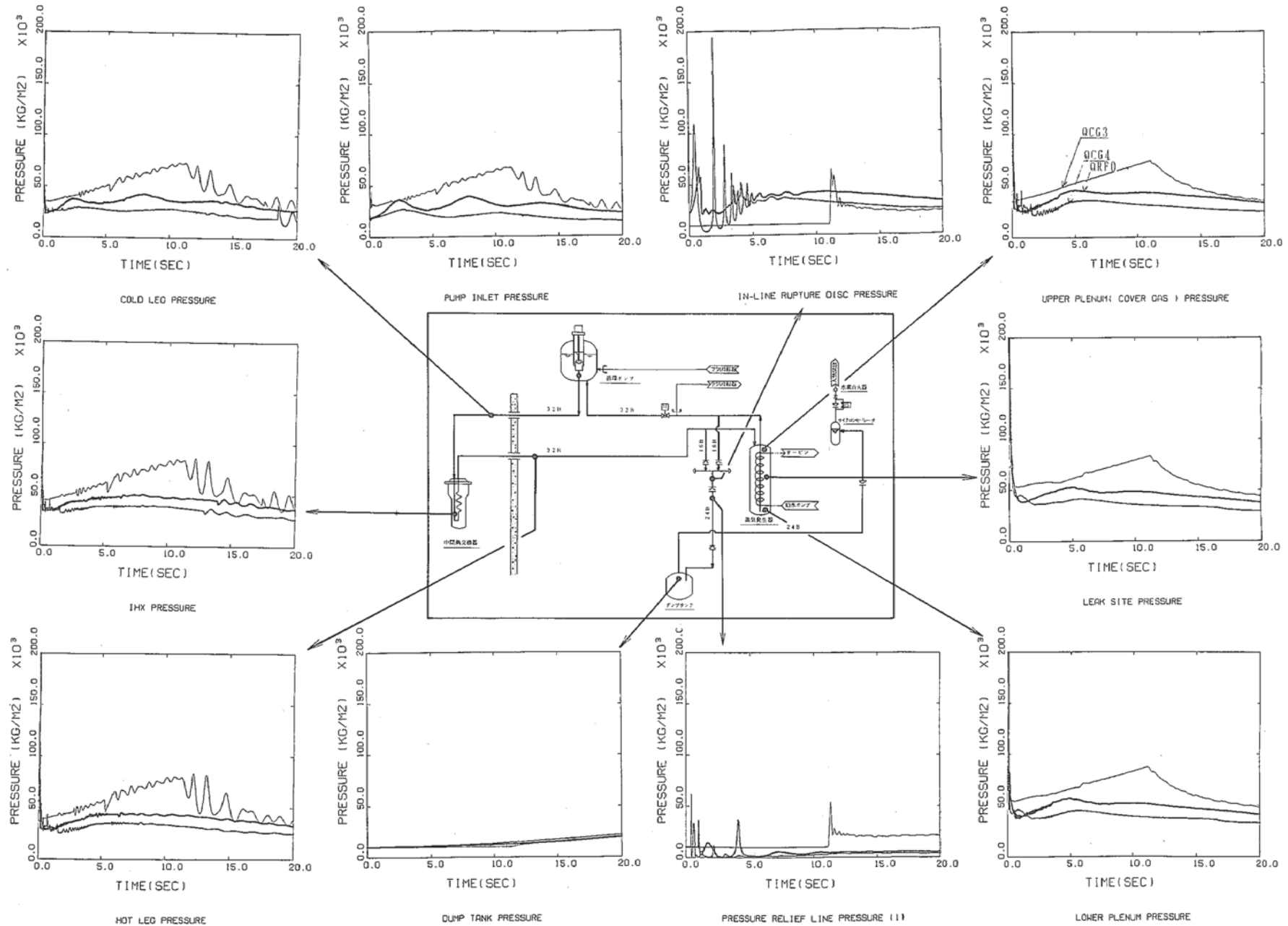


Fig. 5.7 準定常圧挙動 (無液面型および有液面型SG)

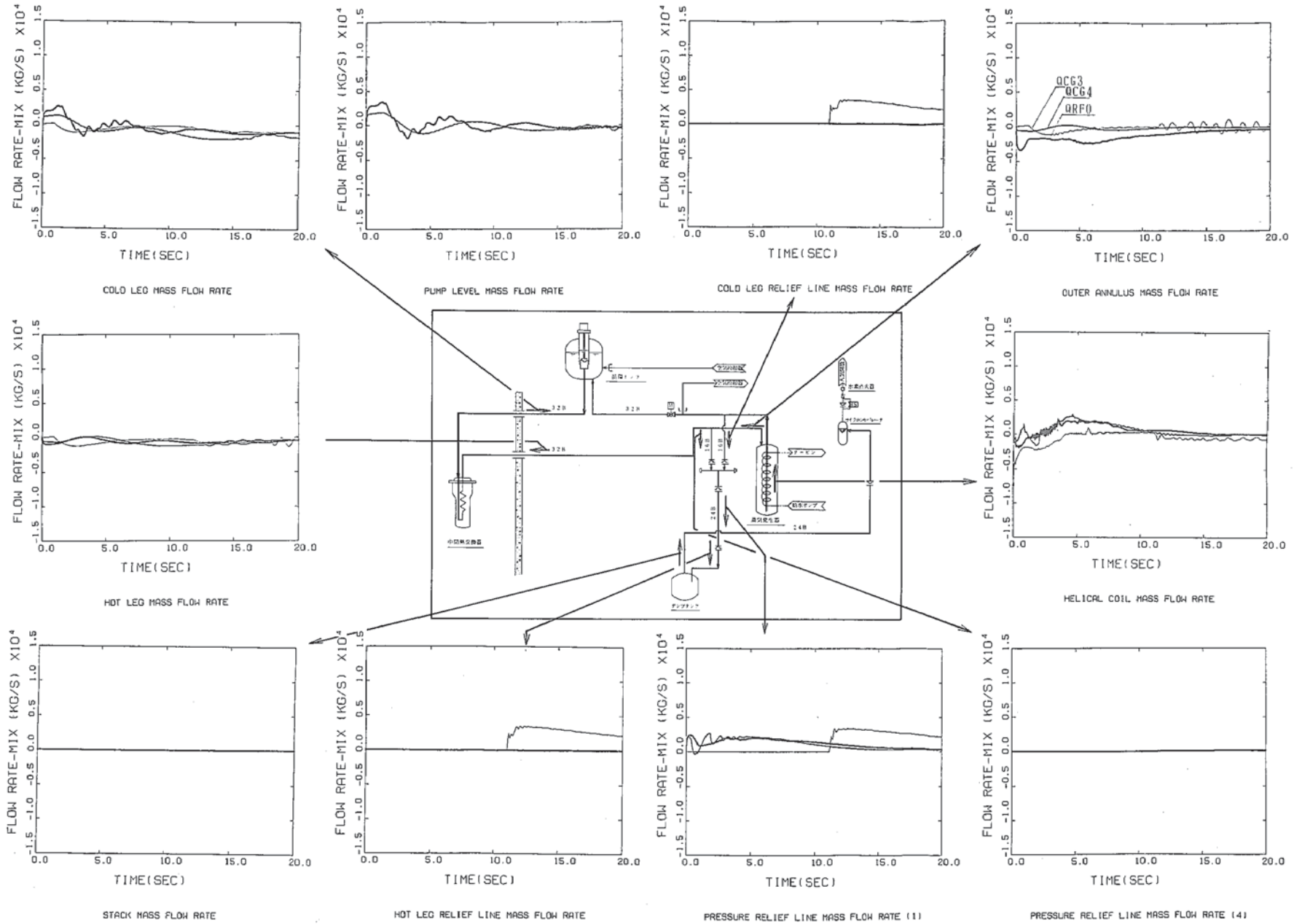


Fig. 5.8 2次系内流動状況 (無液面型および有液面型SG)

6. 結 論

大リーク・ナトリウム-水反応時の圧力挙動に及ぼすSGカバーガスの有無の影響を明らかにするため、要素技術設計研究(Ⅱ)で検討されている無液面型SGとそれを基に新たに設計した有液面型SGについて、SWACSコードによる解析を行った。また無液面型、有液面型SGのそれぞれについて、圧力開放系の設置場所を変えた場合の影響評価も行った。SG内外での発生最高圧力をTable 6.1に示し、以下にその結果を要約する。

(1) 無液面型は圧力開放系をホットレグとコールドレグとに設置したケース、有液面型はカバーガス部のみに圧力開放系を設置したケースをそれぞれの代表ケースとして両者を比較し次の結果を得た。

- ・ 初期スパイク圧評価結果からは、SGまたは主循環ポンプのカバーガス液面での圧力波減衰効果の有無により、無液面型ではホットレグ及びIHXの、有液面型ではコールドレグ側(ポンプ～IHX)の圧力が相対的に高くなるという傾向を得た。SG外でのピーク圧は、無液面型、有液面型それぞれ、27.0及び16.2kg/cm²aである。
- ・ 準定常圧評価結果からは、有液面型ではカバーガス圧力開放板の破裂圧がピーク圧となるのに対し、無液面型では圧力開放系が初期に作動するため、準定常的な圧力上昇はほとんど見られない。2相流による圧力脈動の激しい圧力開放系内を除くと、最高圧はいずれの型とも下部プレナムで発生し、無液面型、有液面型でそれぞれ、5.7及び8.8 kg/cm²aである。

(2) 無液面型で圧力開放系の設置場所を変えた場合の解析では、次の結果を得た。

- ・ 初期スパイク圧評価上は、ホットレグとコールドレグとの両方に16Bの配管を設置するよりも、ホットレグ側のみに24Bの配管を設置した方が有効である。
- ・ 準定常圧評価でも、開放系をホットレグ側に設置することが発生水素の排出機能上最も効果大きい。

(3) 無液面型で、圧力を軽減するための対策として、圧力開放系配管をSG本体に直接設置した場合と、圧力開放板～主冷却系配管の距離を短縮した場合との評価を行い、次の結果を得た。

- ・ 圧力開放系をSGに直接つけた場合は、初期スパイク圧は $27.0 \rightarrow 22.2 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ に、準定常圧は $5.7 \rightarrow 4.5 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ と顕著に低下し、軽減効果が大きい。
- ・ 圧力開放板までの距離を短くしたケースでは、ホットレグで $27.0 \rightarrow 20.7 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ と同様の低下が見られたが、SG内での低下は小さい。

(4) 有液面型で圧力開放系の設置場所を変えた場合の解析では、

- ・ 下部プレナムかコールドレグ内に接液型ラブチャ板を設置することは、コールドレグ側での初期スパイク圧力軽減を図る上での効果が大きい。
- ・ 準定常圧上は、圧力開放系設置場所による圧力挙動の違いは大きいですが、いずれのケースでも破裂設定圧以下に収まっており、特に問題はない。

このように、無液面型では有液面型に比べて、一般的に初期スパイク圧の波高値が高いというこれまでの知見を確認することができた。しかし無液面型SGでも、圧力開放系をリーク発生点に近づけることや、圧力開放板の上流配管の長さを短くすることで、かなりの程度まで圧力を低減できるし、また、今回は解析しなかったが、無液面型SGの内部にそれほど大きくないガス溜を作ること、圧力低減上の効果が大きいことは、本解析から充分推察できる。従って、もし無液面型SGを採用する上で、大リーク時の圧力波の高さが設計基準として影響するようならば、その具体的対策の有効性についてSWACSコードで評価することは充分可能である。

Table 6.1 無液面型/有液面型SG大リーク解析結果のまとめ
(圧力の単位: kg/cm²a)

SG型式		無液面型		有液面型
開放系場所		Hot & Cold leg	SG上下プレナム	カバーガス部
圧力 開放板	1 段目	H : 14.4 m sec	上 : 6.0 m sec	10.97 sec
		C : 20.0 m sec	下 : 10.0 m sec	
作動 時刻	2 段目	0.95 sec	0.35 sec	
反応域 近傍 圧力	初 ¹⁾	35.1	35.1	35.1
	準 ²⁾	5.3	4.2	8.3
SG内 最高圧	初	31.0	19.9	20.3
	準	5.7	4.5	8.8
SG外 最高圧 3)	初	27.0	22.2	16.2
	準	5.1	4.0	8.6

1) 初期スパイク圧

2) 準定常圧

3) 但し、放出系配管内での短い圧力パルスは無視。

7. 参考文献

1. 三宅 収、進藤 嘉久、佐藤 稔、「大リーク・ナトリウム—水反応解析コード—SWACS/REG3—（概要説明書）—大リーク・ナトリウム—水反応解析（第3報・改訂版）—」 PNC SN952 79-19 （1979年 9月）
2. 三宅 収、進藤 嘉久、佐藤 稔、「大リーク・ナトリウム—水反応解析コード—SWACS/REG3—（使用説明書）—大リーク・ナトリウム—水反応解析（第7報）—」 PNC SN952 79-20 （1979年 9月）
3. 「要素技術設計研究（Ⅱ） 大型化に関する設計研究に伴う設備設計役務（2）—2次熱輸送系設備等—」 PNC SJ2124 86-009 (2) （1986年 3月）

8 . 謝 辞

本研究は、「高速増殖大型炉の設計主要目に関する研究（I）」の一環として行ったものであり、その過程で適切な指導と助言とを戴いたプラント工学室の小杉敏夫氏、及びプラント安全工学室の姫野嘉明室長に謝意を表す。

A P P E N D I X

SWACSコードの無液面型

SGへの適用の妥当性の検討

SWACSコードを用いた無液面型/有液面型SGの大リーク時の圧力挙動の比較評価に際して、同コードの無液面体系への適用の妥当性について検討を加えた。

初期スパイク圧計算モジュールについては、無液面体系に適用する上でのモデル化上の問題点は何も無かった。米国LLTRの試験データとの比較を行い、次のような結果を得た。

- (1) 第1波については、波形もよく似ており5～80%過大評価している。
- (2) 第2波以後は時間とともにずれて来、両者の一致は必ずしも良いとは言えない。
- (3) 圧力評価上は第1波の重要性が最も大きいので、無液面体系にSWACSコードを適用することに問題はない。
- (4) 圧力開放板作動時刻も、計算値と実験値の一致は極めて良好である。

準定常圧計算モジュールについては、比較できる試験データがないので考察に止めた。無液面体系への同モジュールの適用に際しては、接液型ラプチャ板の取扱等、モデル化の際に対処しなければならない点がある点があり、今後のSWACSコードの無液面バージョン作成過程での課題といえる。

A. 1. はじめに

SWACSコードの検証は、これまで主としてSWAT-3でのナトリウム-水反応試験結果との比較という形で行われてきたが、SWAT-3は有液面型である「もんじゅ」SGの縮小モデルであるため、今回、無液面型大型炉SGの大リーク評価にSWACSを適用するに際して、無液面型体系に対して未検証であるとして、適用の妥当性についての議論が出た。そこで、この問題に対して以下に示すような考察を行った。なお本解析で使用した計算コードは、初期スパイク圧用、準定常圧用とそれぞれ別個のモジュールであるため、以下の議論も分けて行う。

A. 2. 初期スパイク圧計算モジュール

2. 1 基本的考察

初期スパイク圧計算モジュールは、もともと液体中の1次元的な圧力波伝播挙動を計算するためのプログラムであり、対象範囲としては液体のみを取り扱う。従って、FBRのナトリウム-水反応解析では、ナトリウム中の圧力挙動がその対象となる。もちろん固体である構造材やカバーガス等の気体は境界条件として考慮することができる。このように圧力波伝播現象自体は、第一義的にはSGが無液面型か有液面型かには依存せず、単に境界条件を変えることで液面の有無を考慮できる。またプログラム開発の段階においても、液面の有無を含めてSGの型式に依存することのないよう配慮して行われたため、本来、無液面型SGへの適用は問題がないはずである。

しかしながら、このことを確認するためには、SWACSを現実に無液面型SG体系での試験体系に適用して、その結果と比較してみるのが早道である。次節では、このことを無液面型体系での大リーク・ナトリウム-水反応試験である米国LLTRの試験データと比較して確認する。

2.2 LLTR試験データとの比較

2.2.1 LLTR試験の概要

米国では、DOEの指導の下に1976～1982年にかけて、ETECのLLTR (Large Leak Test Rig)試験装置を用いたナトリウム-水反応試験が実施された。この試験データは、日米情報交換により我が国に入っているなのでそのデータとSWACS計算値との比較を行う。

LLTR試験は、CRBRP用ホッケー・スティック型SGのナトリウム-水反応時の健全性確認並びに計算コード検証用データ、放出系特性データ、洗浄、修復に関するデータ、伝熱管二次破損に関するデータ等を得ることを目的として行われた。シリーズI、シリーズIIと2つのフェーズからなり、試験装置の寸法を、前者では実機蒸発器の容器長に、後者では同容器径に合わせ実験を行った。ここでは、主として大リークを対象したシリーズIの中から、第1回試験(SWR1)を解析との比較に選んだ。

シリーズIで試験体として用いられた模擬SGはMSG (Modular Steam Generator)と呼ばれるもので、AI社がCRBRPの熱流動特性評価のために製作した30MWSGをナトリウム-水反応試験用に改造したものである。Fig. A. 2.1にMSG本体と圧力計取付け位置を示す。SWR1は、MSGの下部管板から1470mm上方の、ナトリウム出口ノズル付近でのサブクール水による1本ギロチン破断試験であった。Table A. 2.1にLLTRシリーズIの主な試験条件を示す。

2.2.2 解析条件

対象とする体系をFig. A. 2.2に示すようにモデル化し、接合点④が反応水素気泡の中心で、初め球状に等温膨張し続け、気泡界面が容器壁に達する以前にパンケーキ状の気泡モデルに切り換えるという手法を用いている。圧力開放板はRD-1及び-2がそれぞれ②⑧及び②⑤から分岐しているが、試験ではRD-2は注水直後に変形したものの開口には至らなかったため、その取扱について、作動したと解釈した場合/不作動と解釈した場合の両ケースの計算を行った。その他の主な解析パラメータの値をTable A. 2.2に示す。これらの値は過去に実施

したパラメータ・サーベイの結果から妥当なものを選んだものである。

2.2.3 解析結果の検討

(1) 圧力開放板 RD-2 の取扱

RD-2 が作動しなかったと解釈した場合の計算値（一点鎖線）と作動したと解釈した場合の計算値（実線）とを、実験値（破線）と比較した結果を Fig. A. 2.3 (a) 及び (b) に示す。圧力点位置はホッケースティック頂部の P 6 0 3、及び RD-2 に最も近い P 5 1 0 を選んだ。この比較から次のことがいえる。

- ・ P 6 0 3 を見ると、特に第 2 波以後の違いが明らかで、作動と解釈したケースは実験値と不作動の計算値とのほぼ中間に位置し、不作動と解釈すると実験値との差が大きくなり過ぎる。

- ・ P 5 1 0 を見ると、不作動のケースは明らかに過大評価で、作動のケースが実験値とよく似ていることが判る。

以上の結果から、RD-2 は作動したものと解釈して以下の解析を行った。

(2) 実験値との比較

・反応部圧力 - P 6 1 2 (Fig. A. 2.4 参照)

反応点の圧力は、初期 10 msec 頃までの降下部はまずまずであるが、それ以降は合っていない。実験値の 60 msec 付近の降下は反応熱によるドリフトと考えられる。

・MSG 下部 - P 6 1 3 (Fig. A. 2.5 参照)

計算値は大きく振動しているのに対し実験値はそれほどではない。ここでも初期 10 msec 頃までの降下部は良いが、それ以後は合っていない。

・MSG 中部 - P 6 1 0, P 6 0 8, P 6 0 7 (Fig. A. 2.6 ~ 8 参照)

概して 25 msec までの振動はよく似ている。それ以後は過大評価となっているが、これは気泡部での不一致と対応していると考えられる。

・MSG 上部 - P 6 0 3 (Fig. A. 2.3 (a) 参照)

ピーク圧そのものは実験値を約 80% 過大評価しているが、第 1 波の波形は実験値に良く似ている。第 2 波以後は周期が実験値より短めである。

- ・下部ナトリウム配管-P 5 2 5 (Fig. A. 2.9 参照)

実験値に比べ過少評価であり、あまり良い一致とはいえない。

- ・上部ナトリウム配管-P 5 0 7, P 5 0 9, P 5 1 0 (Fig. A. 2.10, 11、及びFig. A. 2.3 (b)参照)

傾向は良く似ている。但し、ピーク圧は1.4倍ほど過大評価となっている。

(3) 圧力開放板作動時刻

圧力開放板作動時刻の計算値と試験結果との比較をTable 2.3に示す。特にRD-2の方は、試験結果と極めて良い一致が得られている。

2.3 結論

以上、SWACSの初期スパイク圧計算モジュールによる計算結果を総合すると、第1波は傾向的にも良く似ているが、第2波以後は気泡部を初めとしほとんどの場所で次第にずれてきて過大評価となっている。一般に初期スパイク圧の最大値は第1波によって決まると考えて良く、ここで比較の対象としたLLTR試験データでも、一部に極めて時間幅の短いパルス状の圧力波が見られたほかは、第1波がピーク圧を発生していることから、安全評価上、本プログラムを使用することは問題ないといえる。

A.3 準定常圧計算モジュール

3.1 基本的考察

準定常圧計算モジュールの場合は、初期スパイク圧計算モジュールとはやや状況が異なる。初期スパイク圧がナトリウムの圧縮性に基づくミリ秒オーダーの早期の現象であるのに対し、準定常圧は圧力波伝播現象が減衰した後に水素ガスの蓄積によって顕著となる、秒オーダーの比較的ゆっくりした現象である。このため、取り扱う対象としてはナトリウムばかりでなく、水素ガス、カバーガスなどの気体や気液2相流も含まれる。従って、カバーガスの有無や圧力開放板の設置場所などは、モデル化の上で重要な意味を持つ。このような事情から、解析コードの開発段階でも「もんじゅ」と同じ有液面型SGを主対象として、圧力開放板もカバーガス中にあることを前提として

プログラム化がなされた。

この度、無液面型SG体系での準定常圧計算を行うに際して、最も腐心したのは、このような本来馴染まない接液型の圧力開放系のモデル化であった。詳細は以下に紹介する。但し、このモデル化さえ適切に行えば、圧力挙動という現象については、質量保存則、運動量保存則、気体の状態方程式を適用する上で、液面の有無が本質的な差とはならないことは言うまでもない。

3.2 無液面型への適用上の問題

(1) 問題点と対策

SWACSコードを無液面型SGに適用するに際しての問題点としては、次の3つをあげることができる。すなわち、

- ①全てのSGはカバーガスを有することを前提としている。
- ②ナトリウムの圧縮性を考慮していないので、接液型ラプチャ板が取りえない。
- ③2段ラプチャ方式が扱えない。

これらについて次のように対処した。まず、①のような前提を置いた理由は、「もんじゅ」のような有液面型SGでは、反応後或る時間がたつとセンタパイプやヘリカルコイル部の破損/非破損チャンネルからカバーガス空間にナトリウムが流入するが、流入前後で計算モデルを変えた方が現象評価上有利であるため、このような特殊な取扱を要する部分を指定できるようにしたものである。すなわち、本コードでいうところのSGとは、背後にラプチャ板を持ったガス部と解釈することができる。従って、この問題は本文Fig. 5.2(a)の今回の計算モデル例に示すように、ポンプ・カバーガス部もSGカバーガス部と読み替えて入力データを作成することにより十分対処出来る。

②と③については、一緒に対策を講ずることができる。ナトリウムの圧縮性を考慮していないため、仮に接液型ラプチャ板をモデルに組み込んだとしても、計算の第1ステップでラプチャ板が作動するという結果となる。従って、第1段目のラプチャ板を始めから無視してやることにより、同時に③の問題も解決することができる。

この場合の第2段目のラプチャ板の取扱であるが、2段目のラプチャ板の一つ上流側のノードは、正に上記定義でいうところのSGカバーガス部であるところから、本文Fig. 5. 2 (a)でも、ノード23はSGと解釈してモデル化を行った。従って、同図では、入力データ作成時のSGカバーガス・ノードとして19及び23の2つを用いている。

(2) 妥当性の検討

上で述べた対処法の妥当性について考えてみる。①は単に解釈だけの問題であり、ポンプをSGと言っても何ら障害はない。次に②及び③の1段目/2段目のラプチャ板の取扱であるが、そもそも準定常圧計算モジュールは、ナトリウムの圧縮性が問題とならないような長時間の領域を対象としており、圧縮性を問題とするような領域は、初期スパイク圧計算モジュールでカバーしている。従って、1段目の破裂時刻等の挙動は初期スパイク圧計算結果から求めることができ、準定常圧計算領域では、始めから時刻0で1段目のラプチャ板が作動したものと考えても何ら問題はない。

3.3 検証

最後に、本モジュールの検証について述べる。残念ながら、LLTR試験では秒オーダーのような長時間の現象についてのデータはほとんどない。これは、無液面型SGでは、圧力開放板が初期スパイク圧で破壊してしまうと、圧力開放系配管口径等の寸法にもよるが、その後の準定常的な圧力の上昇はほとんど見られないと考えられたため、興味の対象を主としてミリ秒オーダーの初期事象に置いたためである。この推測は、今回の解析でも、圧力開放系配管内で2相流挙動に基づくとみられる鋭い圧力パルスの存在を除けば、概ね妥当と言える。いずれにせよ、このような事情で準定常圧計算結果と比較できるような無液面型の試験データは乏しい。このため、本コードの妥当性の議論は、今後我が国で実施する予定である無液面型SG体系での大リーク・ナトリウム-水反応試験結果との比較を待つことになる。

Table A. 2.1 LLTRシリーズIの主な試験条件

試験No.		SWR-1	SWR-2	SWR-3	SWR-4	SWR-5	SWR-6	
破断規模		1 DEG	1 DEG	1 DEG	1 DEG	1 DEG	3 DEG	
破断位置		下部管板	下部管板	上部管板	上部管板	上部管板	上部管板	
Na 温度	℃	315	331	427	427	430	427	
Na 圧力	ata	8.6	5.7	8.2	6.2	6.3	8.2	
水・蒸気	温度	℃	290/328	281/328	295/343	352/331	263/285	338/360
	圧力	ata	135/133	131/124	138/134	134/135	135/134	134/135
	状態		Subcool	Subcool	Subcool	過熱蒸気	窒素	過熱蒸気
水リーク率	kg/s	4.31	4.21	4.35	1.56	1.79	5.0	
R/D 設定圧	ata	14/14	14/14	14/14	--/23	--/23	--/23	

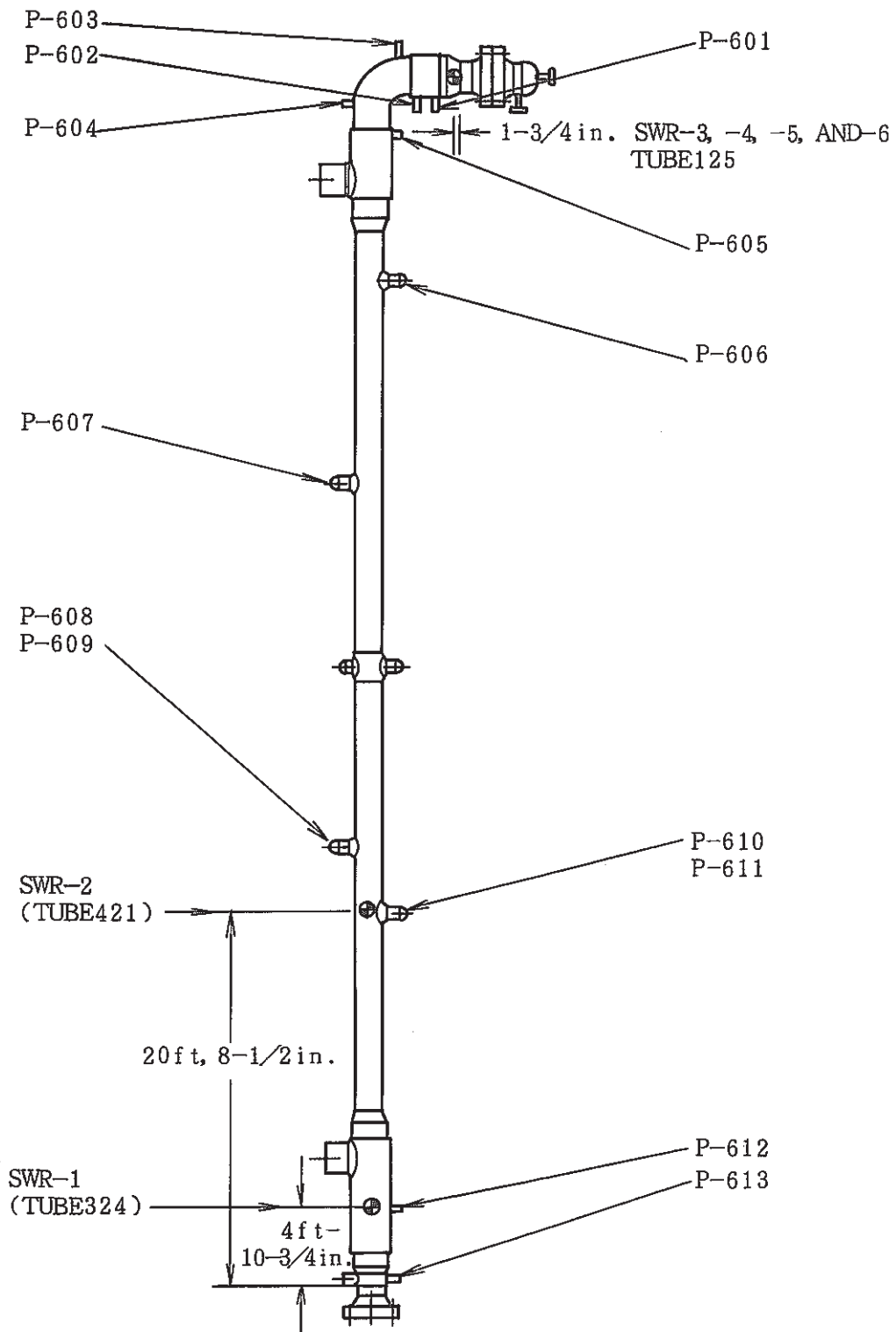
Table A. 2.2 LLTR SWR-1解析に使用した主な計算パラメータ

パラメータ	単位	値
水リーク率	kg/sec	4.31
H ₂ /H ₂ O転換比	—	0.5
水素ガス温度	K	1273
初期気泡半径	m	0.005
初期気泡圧	ata	8.57
Na 圧力	ata	8.57
Na 温度	℃	315
Na 比重量	kg/m ³	876
Na 動粘性係数	m ² /sec	3.81 × 10 ⁻⁷
Na 音速	m/sec	1830
R/D作動圧	ata	22.2 / 17.4

Table A. 2. 3 圧力開放板作動時刻についての比較

	LLTR SWR-1 試験結果1	SWACS 計算結果
RD-1	3 m sec	1.1 m sec
RD-2	注1) 27 m sec	26.4 m sec

注1) RD-2は開口していないが、変形したと思われる時刻を指す。



ETEC-38336

Fig. A.2.1 LLTRシリーズ1試験装置 (MSG) と圧力計取付け位置

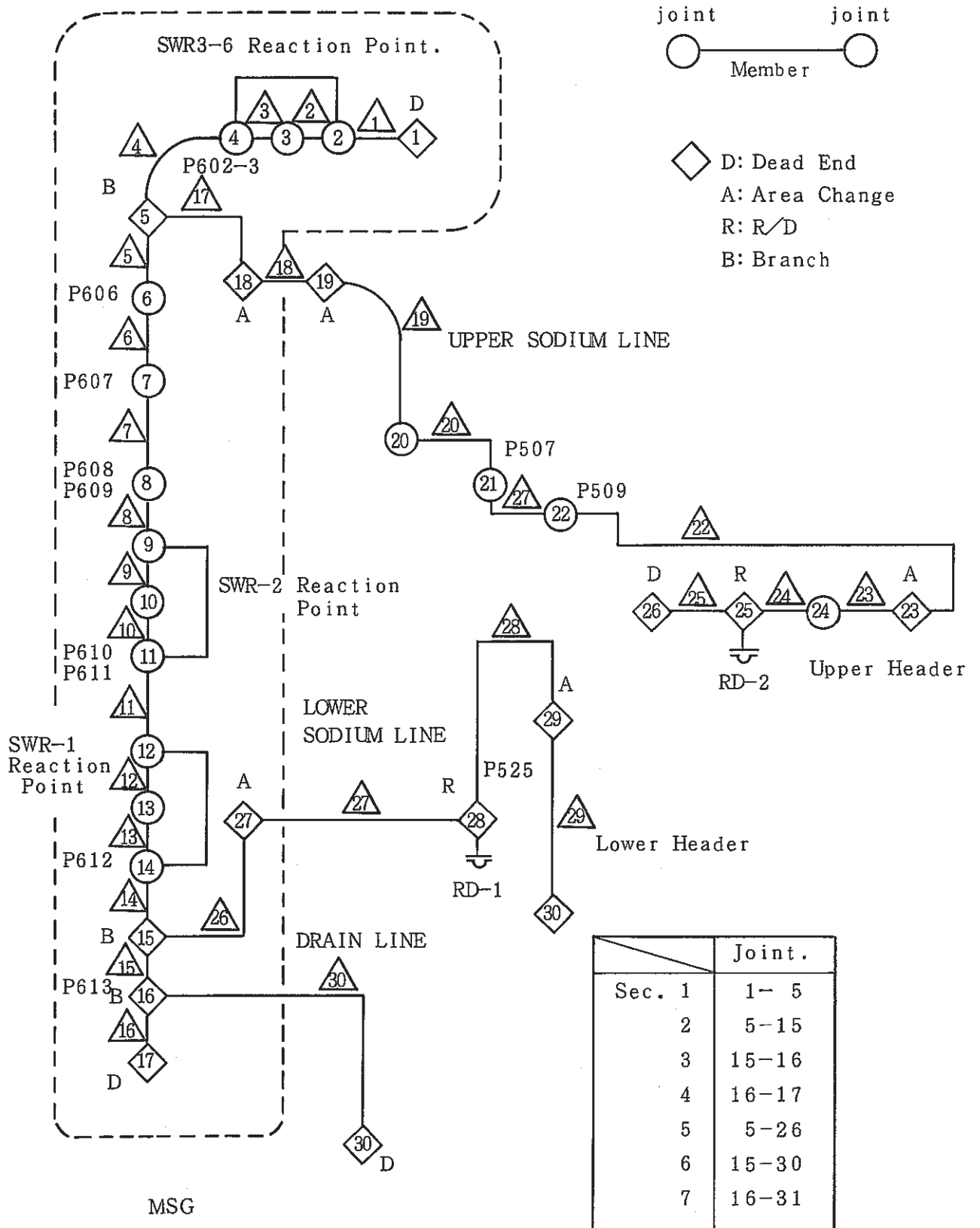


Fig. A.2.2 LLTR第1回試験 (SWR-1) 解析用モデル

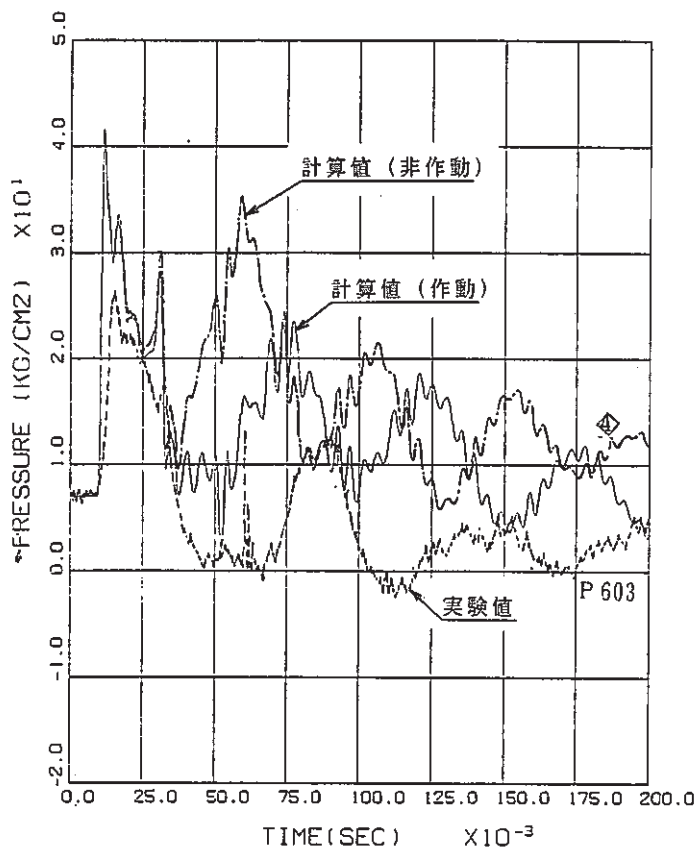


Fig. A. 2. 3 (a) 圧力開放板 R D - 2 の取扱による圧力挙動の差 (MSG 頂部)

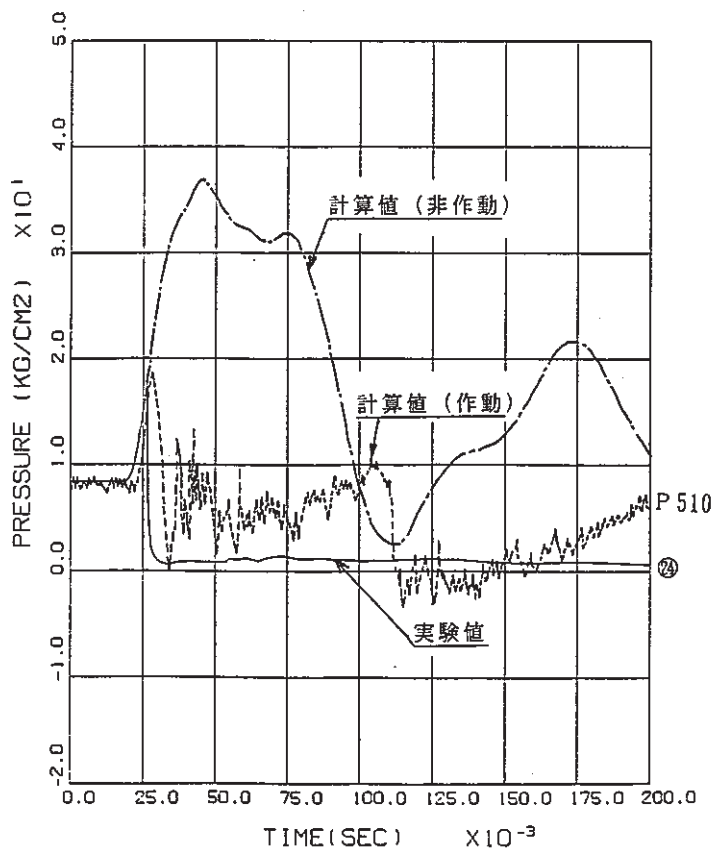


Fig. A. 2. 3 (b) 圧力開放板 R D - 2 の取扱による圧力挙動の差 (放出系配管)

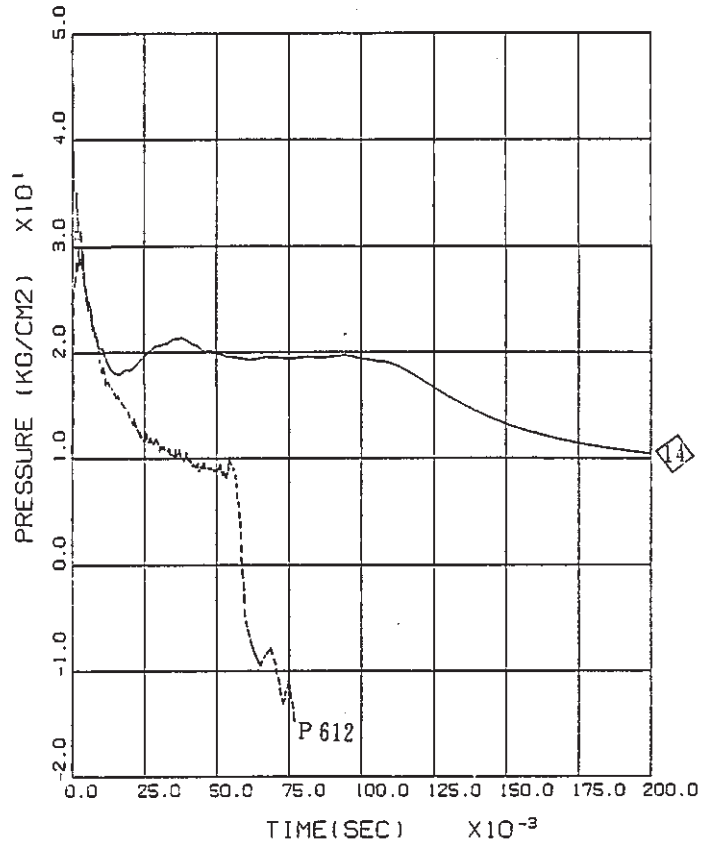


Fig. A. 2. 4 反応部圧力 (P 6 1 2) と計算結果との比較

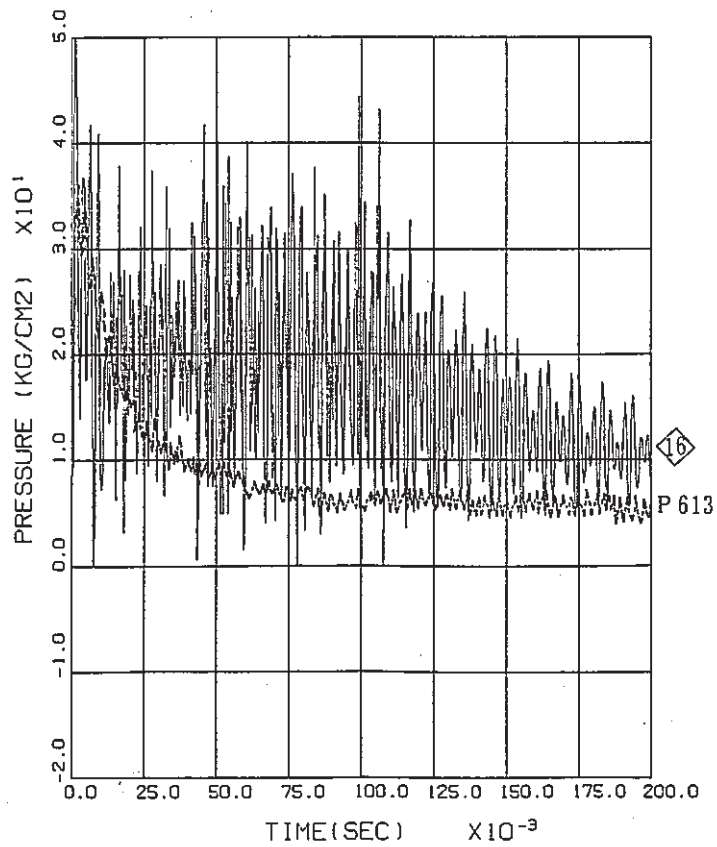


Fig. A. 2. 5 MSG下部圧力 (P 6 1 2) と計算結果との比較

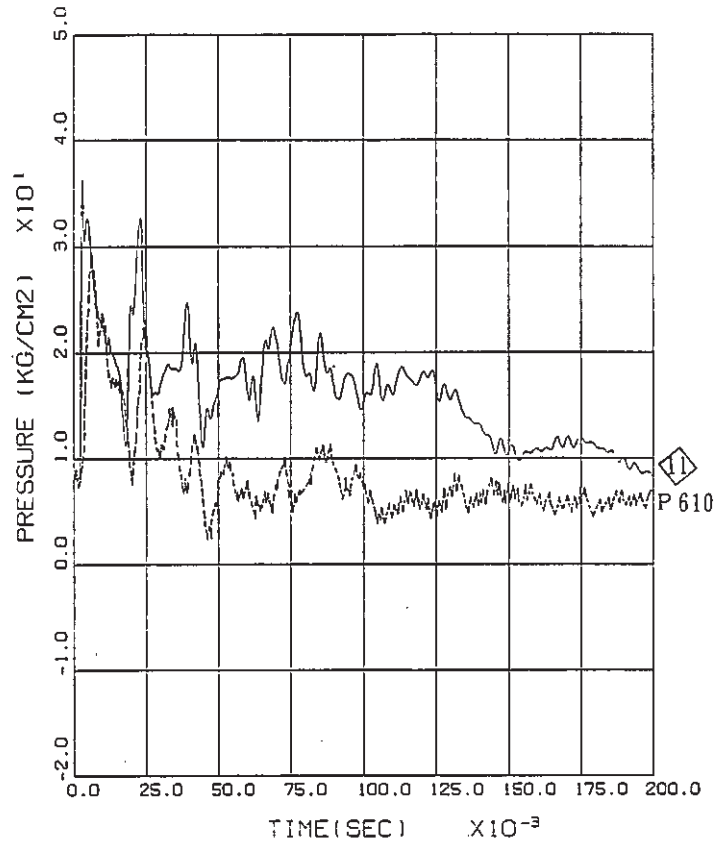


Fig. A. 2. 6 MSG中部圧力 (P 6 1 0) と計算結果との比較

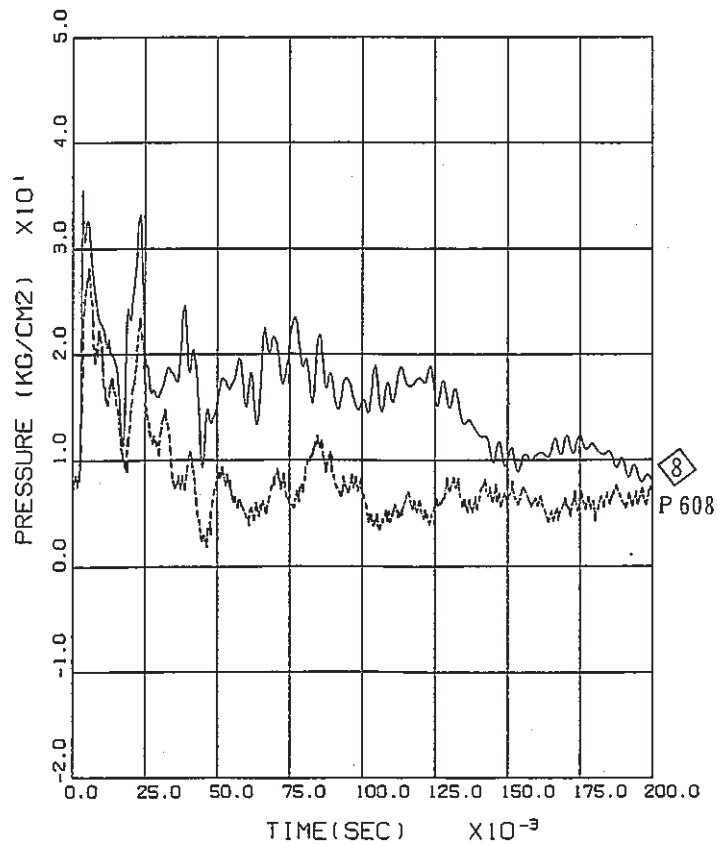


Fig. A. 2. 7 MSG中部圧力 (P 6 0 8) と計算結果との比較

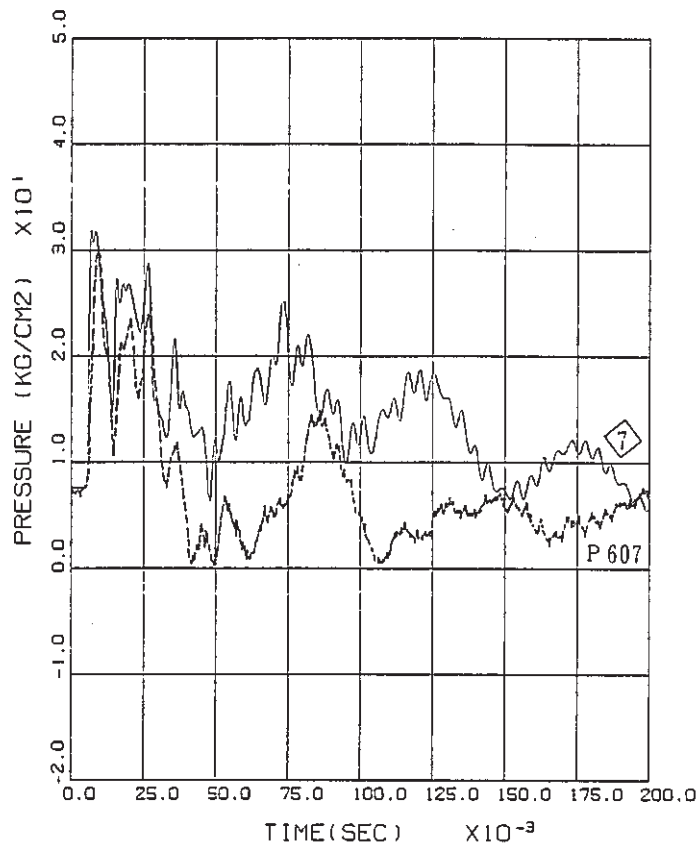


Fig. A.2.8 MSG中部圧力 (P607) と計算結果との比較

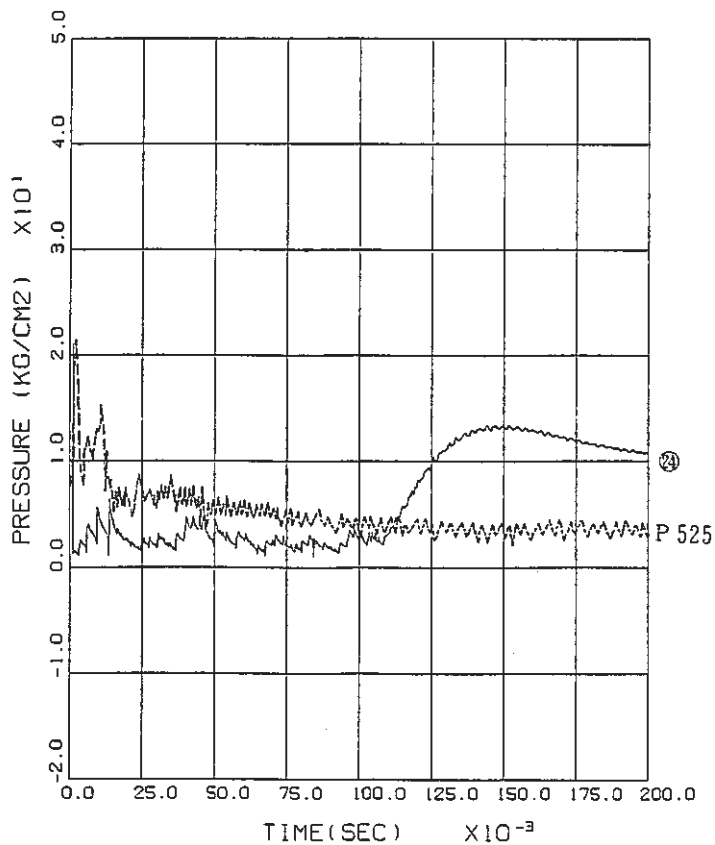


Fig. A.2.9 下部放出系配管圧力 (P525) と計算結果との比較

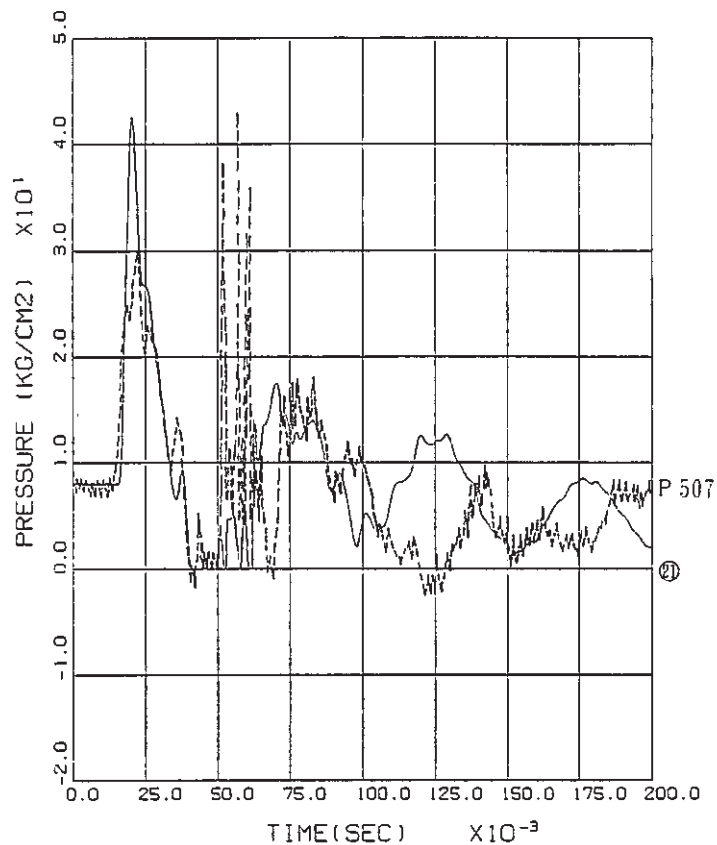


Fig. A. 2.10 上部放出配管圧力 (P 5 0 7) と計算結果との比較

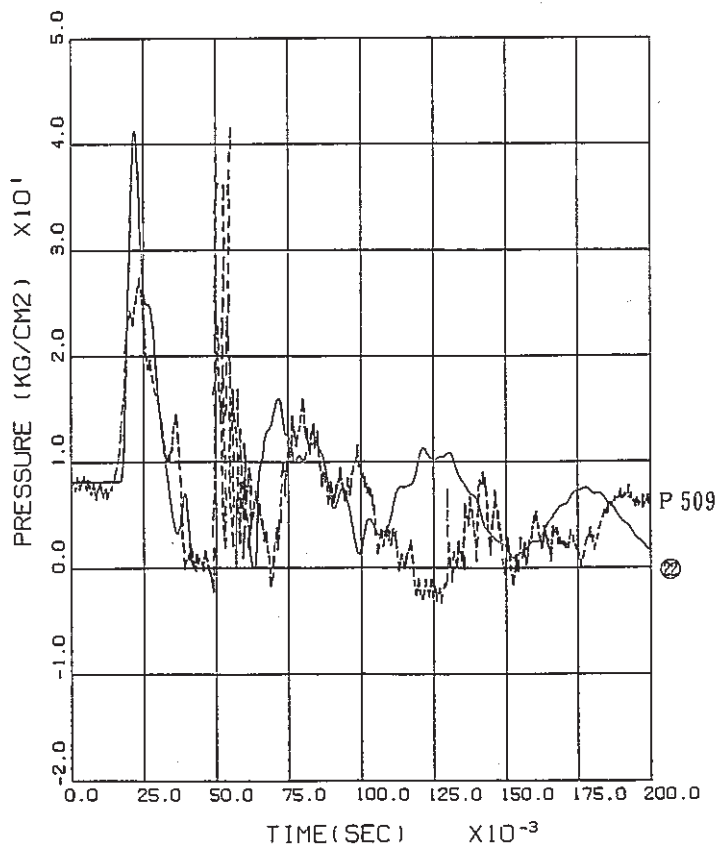


Fig. A. 2.11 上部放出系配管圧力 (P 5 0 9) と計算結果との比較