

JAERI - M
91-160

モデル再処理施設の高レベル廃液貯蔵タンクに
おける冷却能喪失事故のフォールトツリー解析

1991年10月

野村 靖

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

モデル再処理施設の高レベル廃液貯蔵タンクに
おける冷却能喪失事故のフォールトツリー解析

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

野村 靖

(1991年9月10日受理)

再処理施設の高レベル廃液タンクの冷却能喪失事故を取り上げ、事故シナリオの想定、フォールトツリーの構築及びその解析を通して、従来この種の解析で問題となる“シナリオの紛失”、“混同したシナリオ”を除くことのできるひとつの方法を示した。解析に用いたモデルプラント、故障率などの基礎データ及び解析コードFTLは、ドイツのNUKEM社から導入したものである。

また、モデルプラントについて想定される事故シナリオに対するフォールトツリー解析結果による事故発生確率を評価し、システム信頼性向上のためのひとつの設計改良案を示すと共に、高レベル廃液タンク冷却能喪失事故が設計基準事象として選定されるための要件、すなわち事故発生頻度及び事故影響の大きさについて考察した。

FTA of Loss of Cooling to a HALW Storage Tank

Yasushi NOMURA

Department of Fuel Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 10, 1991)

A fault tree analysis consisting of assumption of accident scenarios, construction of fault trees, and performing of analyses is given for a loss of cooling accident in a HALW (High Activity Liquid Waste) tank of a typical reprocessing facility. A systematic method is developed to avoid "missing scenarios", and "confused scenarios" which are major problems in these analyses.

Model plant data, basic failure frequency data and a fault tree analysis code named FTL have been introduced from NUKEM GmbH, Germany.

The analyzed occurrence frequencies for the assumed scenarios of the loss of cooling accident are discussed to show a design improvement measure to attain a more reliable system. These results are compared with general requirements to be selected as DBE (design basis event) used in the safety assessment of the facility design. DBE is an event which is considered to have relatively high occurrence probabilities and considerable effects on environment.

Keywords: HALW Tank, Loss of Cooling Accident, Fault Tree Analysis,
Design Basis Event, Design Improvement

目 次

1. はじめに	1
2. モデルプラントの概要	3
2.1 高レベル廃液貯蔵タンク	3
2.2 設備冷却系	3
2.3 受動的冷却系	4
2.4 オフガス系	5
2.5 各種設備系統	6
3. 信頼性データの整備	15
3.1 故障率(λ)	15
3.2 故障確率(p)	17
3.3 平均修復時間(MTTR)	17
3.4 その他のデータ	18
4. フォールトツリー解析のための前提条件	23
4.1 HALWタンクに関する前提	23
4.2 設備冷却系に関する前提	23
4.3 受動的冷却系に関する前提	24
4.4 その他装置・機器に関する前提	24
4.5 測定・制御装置及び運転員操作に関する前提	24
5. HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故のフォールトツリー解析	25
5.1 事故シナリオの想定	25
5.2 フォールトツリーの構築	27
5.3 フォールトツリー解析とその結果	32
5.4 解析結果による考察	32
6. オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析	67
6.1 事故シナリオの想定	67
6.2 フォールトツリーの構築	67
6.3 フォールトツリー解析とその結果による考察	68
7. おわりに	74
参考文献	75

- Appendix 1 HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析に用いた機器故障分類クラスデータ - 77
- Appendix 2 HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析に用いた基本事象データ
- Appendix 3 HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析におけるFTLコード出力データ
- Appendix 4 オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析に用いた機器故障分類クラスデータ
- Appendix 5 オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析に用いた基本事象データ
- Appendix 6 オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析におけるFTLコード出力データ

Contents

1. Introduction	1
2. Description of Model Plant	3
2.1 HALW (High Activity Liquid Waste) Tank	3
2.2 Service Cooling System	3
2.3 Passive Cooling System	4
2.4 Off-gas System	5
2.5 Various Services	6
3. Preparation of Reliability Data	15
3.1 Failure Rates	15
3.2 Failure Probabilities	17
3.3 Mean Time to Repair	17
3.4 Other Data	18
4. Assumptions used in the Analysis	23
4.1 Assumptions Concerning Buffer Storage Tanks	23
4.2 Assumptions Concerning Service Cooling System	23
4.3 Assumptions Concerning Passive Cooling System	24
4.4 Assumptions for Equipments	24
4.5 Assumptions Concerning Measurement and Control Equipment and Corresponding Operator Actions	24
5. Fault-tree Analysis of Loss of Cooling and Solution Boiling Accident in HALW Tank	25
5.1 Determination of Accident Scenarios	25
5.2 Construction of Fault-trees	27
5.3 Fault-tree Analyses and the Results	32
5.4 Consideration by the Analysis Results	32
6. Fault-tree Analysis of Reduction of DF Accident in Off-gas System	67
6.1 Determination of Accident Scenarios	67
6.2 Construction of Fault-trees	67
6.3 Fault-tree Analysis Results and Consideration	68
7. Conclusions	74
References	75
Appendix 1 Failure Data of Component Classes Used in Fault Tree "Loss of Cooling Accident in HALW Storage Tank"	

- Appendix 2 List of Basic Events in Fault Tree
"Loss of Cooling Accident in HALW Storage Tank"
- Appendix 3 FTL Code Output for the Quantitative Evaluation of
"Loss of Cooling Accident in HALW Storage Tank"
- Appendix 4 Failure Data of Component Classes Used in Fault Tree
"Reduction of DF in Off-gas System"
- Appendix 5 List of Basic Events in Fault Tree
"Reduction of DF in Off-gas System"
- Appendix 6 FTL Code Output for the Quantitative Evaluation of
"Reduction of DF in Off-gas System"

1. はじめに

技術的システムから成るどのような施設においても、装置あるいは系統の故障が発生する一定の確率が存在し、このような故障が発生した場合、放射性物質の閉じ込めや冷却のような施設の安全維持に係わる機能の喪失に至ることも考えられる。例えば、濃縮された高レベル放射性廃液をガラス固化処理する前に一時的に貯蔵する一連のタンク群に関して、何らかの理由で冷却系統の故障が生じて冷却能力が失われる場合は、溶液の沸騰、さらには放射性物質の環境放出に至ることも考えられる。

再処理施設では、非密封の放射性物質が多くの工程において機器・塔槽類及び配管内部に分布して存在しており、これらの工程でウランやプルトニウムのような核分裂性物質を多種多様な形態で取り扱うため臨界事故の起きる危険性があるほか、上述した高レベル廃液貯蔵タンクにおける冷却能喪失事故、有機溶媒を扱うため火災・爆発事故の発生する可能性がある。従って、再処理施設の設計にあたっては「多重防護」の基本思想に基づいて安全設計が行われており、これらの事故に結びつく異常の発生を防止するため余裕のある設計及び安全対策がとられている。例えば、安全上重要と思われる系統には、冗長システムの採用により機能の信頼性向上を図り、監視装置の装備により異常発生を即座に検出して安全対策が講じられるようにしたり、施設の設計・建設・運転の各段階において十分な品質管理の下に置くようにしている。この結果、再処理施設においては事故の発生する可能性は非常に小さいと考えられるが、これらの事故を皆無にすることは設計上困難であるばかりでなく採算を度外視した非現実的な設計となるので、現実的なレベルでできるだけ事故発生の確率が小さくなるように設計することが肝要である。

我が国の「再処理施設安全審査・指針3（安全評価）」においては、再処理施設の設計の基本方針に「多重防護」の考え方が適切に採用されていることを確認するために「設計基準事象」を選定し評価することが要求されている。「多重防護」の考え方とは、異常の発生が防止されること、仮に異常が発生したとしてもその波及、拡大が抑制されること、さらに異常が拡大すると仮定してもその影響が緩和されることをいう。「設計基準事象」としては、放射性物質が存在する再処理施設の各工程ごとに、「運転時の異常な過渡変化」及び「運転時の異常な過渡変化」を超える事象を想定し、それらの発生の可能性と影響の関連において各種安全設計の妥当性を確認するという観点から設計基準事象を選定し評価するとしている。評価すべき事例として、「運転時の異常な過渡変化」以外に、火災・爆発・臨界・漏洩などの事象が挙げられている。これらの事象は、放射性物質を外部に放出する可能性があり、しかも比較的発生頻度が高いと考えられる。

本報告においては、上記の設計基準事象の事例に挙げられていない再処理施設の高レベル廃液貯槽における冷却能喪失・溶液沸騰事故をとり上げ、フォールトツリー解析を行って事故発生確率を評価した結果について述べる。解析の対象としたモデルプラント及び機器故障率などに関する基礎データは、原研が(株)CRC総研を通してドイツのNUKEM社から導入した。フォールトツリー解析コード

としては、同様にNUKEM社から導入したFTLコードを用いた。これらのモデルプラント、データ、解析コードは、6～7年前ドイツで再処理施設等核燃料サイクル・バックエンド関連施設を対象に安全解析手法の開発を目的として実施された「PSE プロジェクト」の中で開発されたものであり、NUKEM社はこのプロジェクト遂行においてPSA(確率論的安全評価)手法の開発を中心となって行い関連する技術を蓄積している。

また、本報告においては、高レベル廃液貯槽の冷却能喪失事故に関して、オフガス系に放出された放射性物質の除去機能に関する除染係数(DF: Decontamination Factor)の低下事故をとり上げ、フォールトツリー解析を行った結果についても述べてある。これにより、環境への放射性物質の放出量が無視できなくなる、高レベル廃液貯槽の冷却能喪失事故とオフガス系DF低下事故が重なる場合の、事故発生確率がどの程度になるかについて大凡の評価が可能となる。

2. モデルプラントの概要

モデル再処理施設は、数年前ドイツの PSEプロジェクトで、核燃料サイクル・バックエンド関連施設のリスク評価のために考えられた、年間 350トンの使用済ウラン処理能力規模のものとする。¹⁾

2.1 高レベル廃液貯蔵タンク

高(放射性)レベル廃液(HALW: Highly Active Liquid Waste)貯蔵タンク(以下、略してHALWタンクという)は、Fig. 2.1に示すような各75m³の体積容量を持つ3個の水冷式タンクから成る。両側の2個のタンク A, Bのみが通常時に使用され、中央の1個は予備として保有される。この予備タンクへは、両側のいずれかの貯蔵タンクの冷却系統に故障が発生した場合に、スチームイジェクタによりHALW廃液が移送される。これら3個のタンクは ZBDと呼称する建屋内のひとつの小さなセル内に設置されている。

タンクにHALWが貯蔵されている時、溶液中の核分裂生成物の崩壊による発生熱は、タンク側面及び底部に巻いた冷却用ジャケット内を流れるポンプ循環による冷水により除去され、熱交換器を介して二次冷却される。この設備冷却系統に故障が発生し、冷却能が喪失した場合には、約16時間後に溶液温度は約105℃の沸点に達し、沸騰が開始すると予測される。

受動的冷却設備がオフガス入口に配置され、万一溶液の沸騰により水蒸気が発生しオフガス系へ流入しようとする場合には、冷却・凝縮機能が働いて水蒸気を水に戻してタンクへ環流させる設計となっている。

2.2 設備冷却系

(1) 一次冷却系

設備冷却系の一次系構成を図式的に示したのがFig. 2.2である。各HALWタンクには2系統の交互に連結した冷却系から成る一次系が配備されている。この特徴としては、次の項目がある。

- 一次系を構成する系統は、各50%の冷却容量を有する。但し、1系統のみの運転でもタンク内溶液の沸騰を妨げることができる。
- 50%運転負荷の熱交換器が各系統ごとに配備されている。
- 正常運転中の2基の熱交換器は、二次冷却系統のSB1回路に連結されている。これらの熱交換器は、二次冷却系統のSB2回路と連結することもできるようになっている。
- 100%運転負荷のポンプが一次系の各系統に配備されている。

一次冷却系保有水量が常時チェックされ、必要に応じて制御室運転員の指令により脱イオン水

が注入される。これにより、系内の微小リークによる減水を補えるようになっている。

(2) 二次冷却系

一次冷却系熱交換器へ供給される主要な二次冷却水は、他の設備の冷却にも用いられるSB1回路を利用している。このシステムの回路流量は約4000m³/hであり、そのうち約60m³/hがHALWタンク冷却のため分流している。二次冷却水の熱交換器入口温度は、25℃であり、出口温度は35℃である。SB1回路に故障が発生した時には、SB2回路に切り換えが可能である。このSB2回路の全流量は約150m³/hである。

両回路系統を流れる二次冷却水は、5基の冷却塔に導かれ、そこで放熱する(Fig. 2.3参照)。5基あるうちの1基は予備用である。各冷却塔にはファンが備えつけられている。冷却塔で冷やされた水は、4基の二次冷却水循環ポンプにより施設内の必要箇所へ送られる。これらのポンプの各々は、2100m³/hの容量を持ちZSAと称される建屋に格納されている。従って、二次冷却水流量の全負荷運転時には、2基のポンプのみが稼働し、他の2基は予備として100%容量で待機している状態となる。ポンプ用の電源供給系には、通常系統の他、遮断可能な後備系統が備えられている。

二次冷却系統の補修なしの運転続行可能な日数は、季節及び使用条件によって異なり、大略、次の3つのケースが考えられる。

- ・夏季全負荷運転のとき、ファン4基同時運転、50日
- ・冬季熱交換器運転のとき、ファン2基同時運転、185日
- ・プラント補修(停止)期間、150日

2.3 受動的冷却系

前述したように、設備冷却系統の故障によりHALWタンクの冷却能が喪失した場合には、タンク内溶液温度が上昇する。保守側の仮定によりこの溶液温度が沸点約105℃に達する時間を推定すると、約16hrsとなる。受動的冷却設備は、沸騰により発生した蒸気流をオフガス系へ流入する前に放射性物質と一緒に冷却・凝縮して、水溶成分として元のタンクに戻す働きをする。Fig. 2.4に示すように冷却側の溶媒として凍結防止のため6M硝酸溶液を用い、これをコンデンサの管側に通す。熱交換して暖められ軽くなった溶媒は上方のエアクーラに行きそこで冷やされて再びコンデンサに戻る。このような自然循環閉回路方式を用いることが、受動的冷却系と称される所以である。

各HALWタンクに備え付けられている受動的冷却系は、最大蒸気流量530kg/hまで完全に凝縮可能な設計であり、ここを通過してオフガス系へ流入する気相の温度を約60℃まで低下させる。受動的冷却系に関わる、その他の設計項目として次に示すようなものがある。

- ・タンク1基あたり発熱量は330kwとする。これは熱発生率にして4.4W/lに相当する。
- ・エアクーラの置いてある区域の周辺の平均温度は、27℃と仮定する。この温度は、日中の比較的短時間続く高温を考慮しても充分保守側の仮定である。冬季の運転に際しては、回路内の溶媒の凍結を防止するためエアクーラへの空気流を絞る操作も行える。

自然循環閉回路方式の冷却系統の機能が正常に働いていることを監視するために、冷却器入口・出口の溶媒温度、及びオフガス温度が連続的に測定されている。この冷却系統の閉塞は、次に示す事項により起こり得ないと考えられる。

- ・系統に用いられている配管の径が太い。
- ・溶媒中の腐食生成物をモニタリングしている。
- ・配管内に空気泡が混入しないように溶媒の不足が検出された場合には、直ちに補充される。
- ・溶媒の空気抜きは、回路中の最も高い位置で行われる。

上記溶媒補充系には、遮断可能な後備電源供給系が備えられている。又、回路内のレベル測定系には、非遮断の後備電源供給系が備えられている。

2.4 オフガス系

HALWタンクのオフガス系は、オフガスを洗浄し中性化する前処理系と、蒸気流及び気相に同伴される粒子を除去する精製系から構成される。

前処理系は、NO_x スクラバ及びデミスタから成る。精製系は、スタックへのガスの流れ方向の順にコンデンサ、バフ板除湿器、グラスファイバーフィルタ、加熱器、HEPAフィルタ、クーラ、ファンから構成される。このうち、バフ板除湿器、グラスファイバーフィルタは堅牢な構造の受動的装置であり、確率論的安全解析においては故障しないものとして扱われる。Fig. 2.5のオフガス系の機器構成図に示すように、NO_x スクラバ以外の装置は全て二重並列化（一系統を予備として保持）することにより、機能維持への信頼性を高めている。

2.4.1 NO_xスクラバ

HALWタンクのオフガス中に含まれるNO_xを除去するために、NO_xスクラバがオフガス処理系の入口に設けられている。ガスの流れは、Fig. 2.6に示すように循環する洗浄液の流れに対向している。この液の循環にはエアリフトが用いられる。容積1m³の中間タンクが設けられ、強制循環の系統が故障した場合には、このタンクから洗浄液が約1hr供給される。

2.4.2 コンデンサ

Fig. 2.6には2基のオフガス・コンデンサの系統図が示されている。常時運転用のコンデンサから予備用のコンデンサへの切替は、手動操作で行われる。これらのコンデンサへ供給される冷却水系統は、重複されておらず、従ってこの冷却水系統が故障した場合には両コンデンサとも機能を失うこととなる。

2.4.3 オフガス加熱器

オフガス加熱器の機能は、オフガスの相対湿度を減少させ、通過する水滴エアロゾルの水分を取ることである。予備用の加熱器への切替は、遠隔操作で行われ、入口ダンパがインタロックされ

る。加熱器への熱水流量は一定に維持され、加熱器出口のガス温度が監視されている。加熱器の系統をFig. 2.7に示す。

2.4.4 HEPAフィルタ

HEPAフィルタの配置をFig. 2.7に示す。予備用のフィルタバンクへの切替は遠隔操作により行われる。入口ダンパは機械的にインタロックされる。フィルタ機能の状態は、フィルタ前後の圧力降下の連続測定により監視されている。

2.5 各種設備系統

以下に述べる設備系統は、本報告の解析では詳細には取り扱われない。

2.5.1 水蒸気供給

高放射能廃液の移送に用いられるスチームイジェクタは、6barの加圧水蒸気により駆動される。ひとつのタンクからもうひとつのタンクへ溶液を完全に移送終了するには、約6hrsかかる。水蒸気発生系統は4個のボイラから構成され、これらには通常電源のみが接続されており、後備電源は接続されていない。

2.5.2 脱イオン水供給

脱イオン水は、設備冷却系統の一次冷却水の不足を補うため、必要に応じて供給される。この脱イオン水のバッファ供給も可能である。この場合、6時間の供給量に等しい容量の2基のタンクから水が3個のポンプにより供給される。3個のポンプのうち、ひとつは50%運転負荷の予備として用いられる。これらのポンプ電源には遮断可能な後備電源系統も用意されている。

2.5.3 冷却塔への水供給

全冷却塔の最大水損失は、78m³/hと推定される。このための水が3個のポンプ(3×50%運転負荷)により補給される。冬季の運転時のように水損失が少ない期間には、1個のポンプのみが運転される。夏季には2個のポンプが運転され1個が予備である。これらのポンプ電源には、遮断可能な後備電源系統も用意されている。

2.5.4 圧縮空気供給

圧縮空気供給系は、連続運転によりエアリフト、エアイジェクタ、HALWタンク攪拌系統及び溶液密度計測系に圧縮空気を供給する。

2.5.5 電力供給

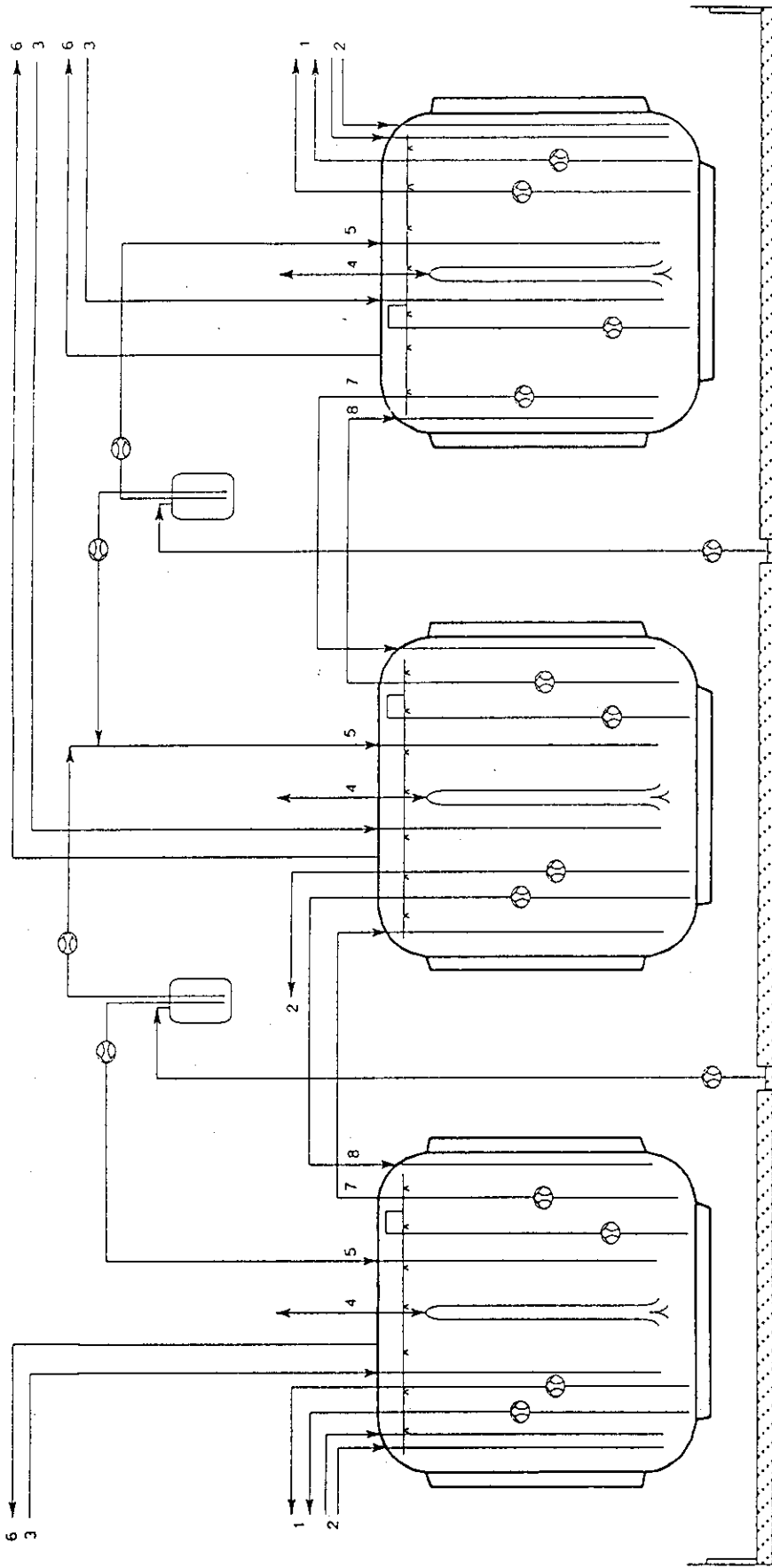
電力供給系統には、次の4つのカテゴリがある。

- カテゴリPA, 通常電源
- カテゴリPE, 遮断可能な後備電源
- カテゴリPF, 遮断不可能な後備電源
- カテゴリPG, 外部から影響されない遮断不可能な後備電源

遮断可能な後備電源は、100%負荷要請に応えられるような2基のディーゼル発電機から構成される。これらのうち1基が故障した場合には、重要な系統からの運転要請にのみ残りの1基のディーゼル発電機が応ずることとなる。

遮断不可能な後備電源は、例えば計測・制御系に接続されている。この電力供給系統は蓄電池から構成され、他の全ての電力供給が喪失した場合にも1hrの電力供給が可能な容量を有している。

外部から影響されない遮断不可能な後備電源は、例えば施設の安全性に関連した計測系統に接続されている。この電力供給系統は、蓄電池などの遮断不可能な電源により外部影響を受けないように保護された配電盤を介して行われる。



Key

- 1 HLLW outlet lines
- 2 HLLW inlet lines
- 3 HLLW return from Passive Cooling system
- 4 Tank pulsing system
- 5 Liquor return lines from sumps
- 6 Vessel vent via Passive Cooling
- 7 HLLW transfer to Reserve Buffer
- 8 HLLW return from Reserve Buffer

Fig. 2.1 Buffer Storage System Schematic Overview

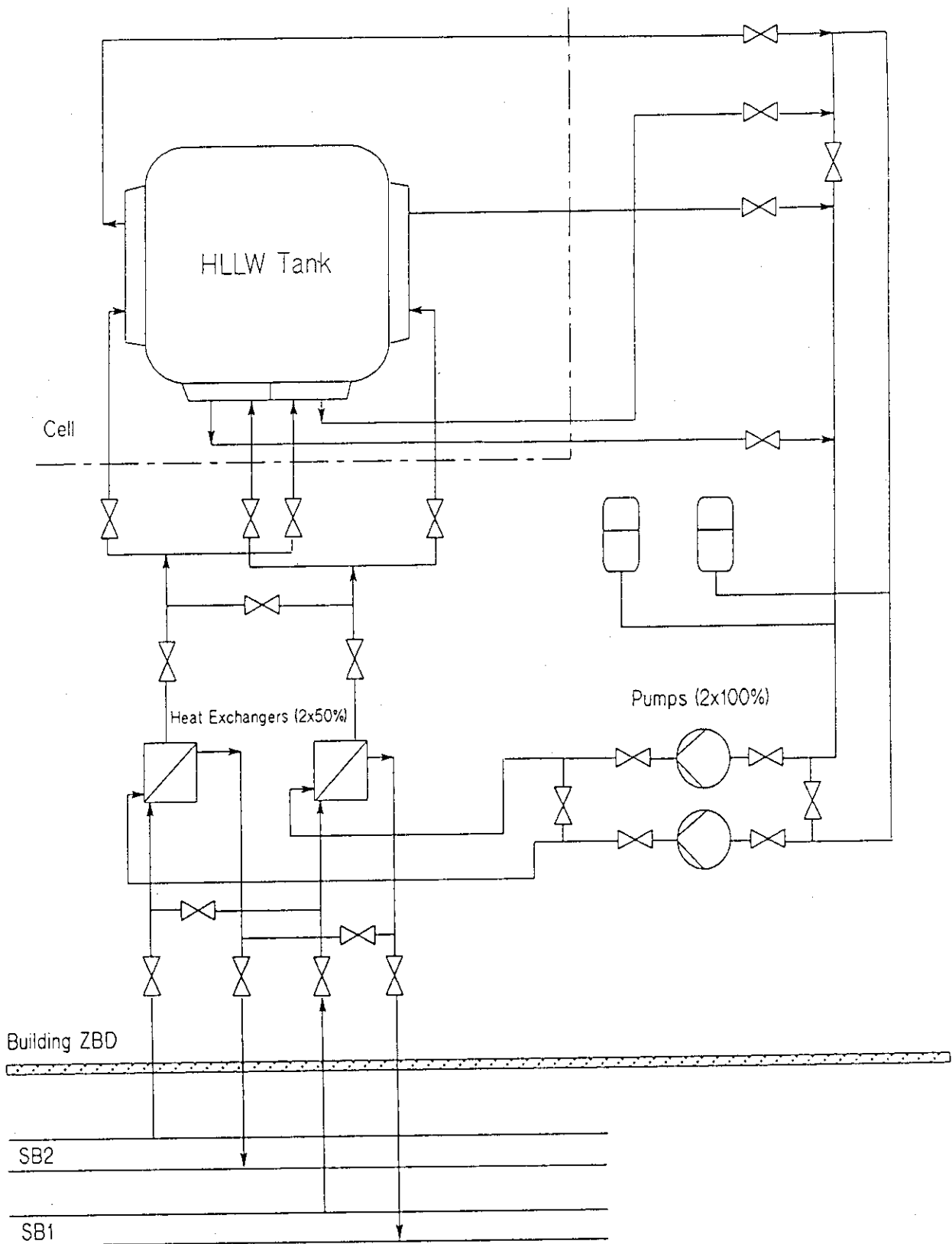


Fig. 2.2 Service Cooling System - Primary Circuit Schematic Flow Diagram

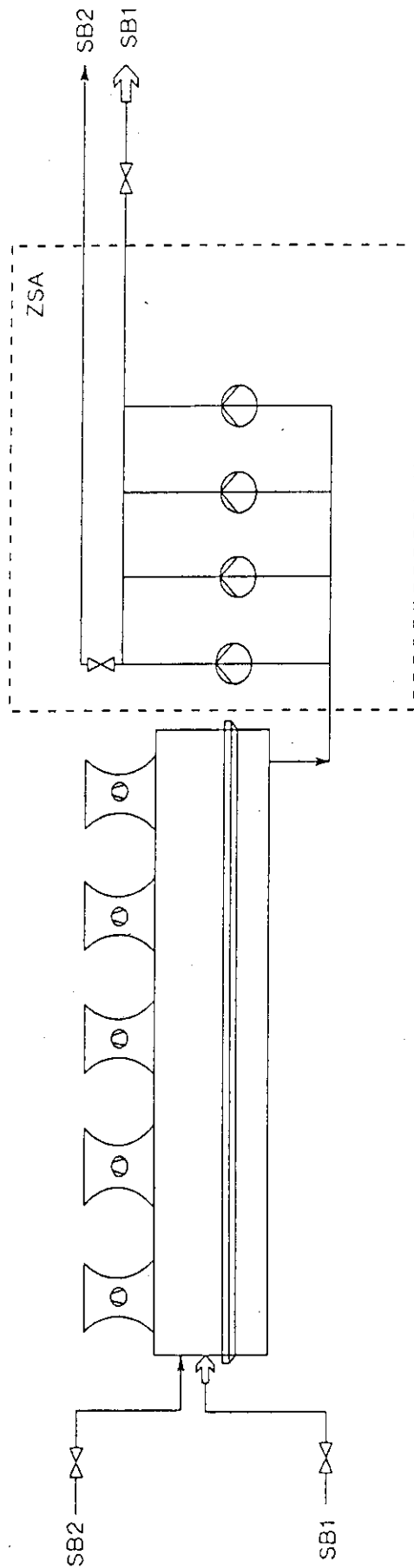
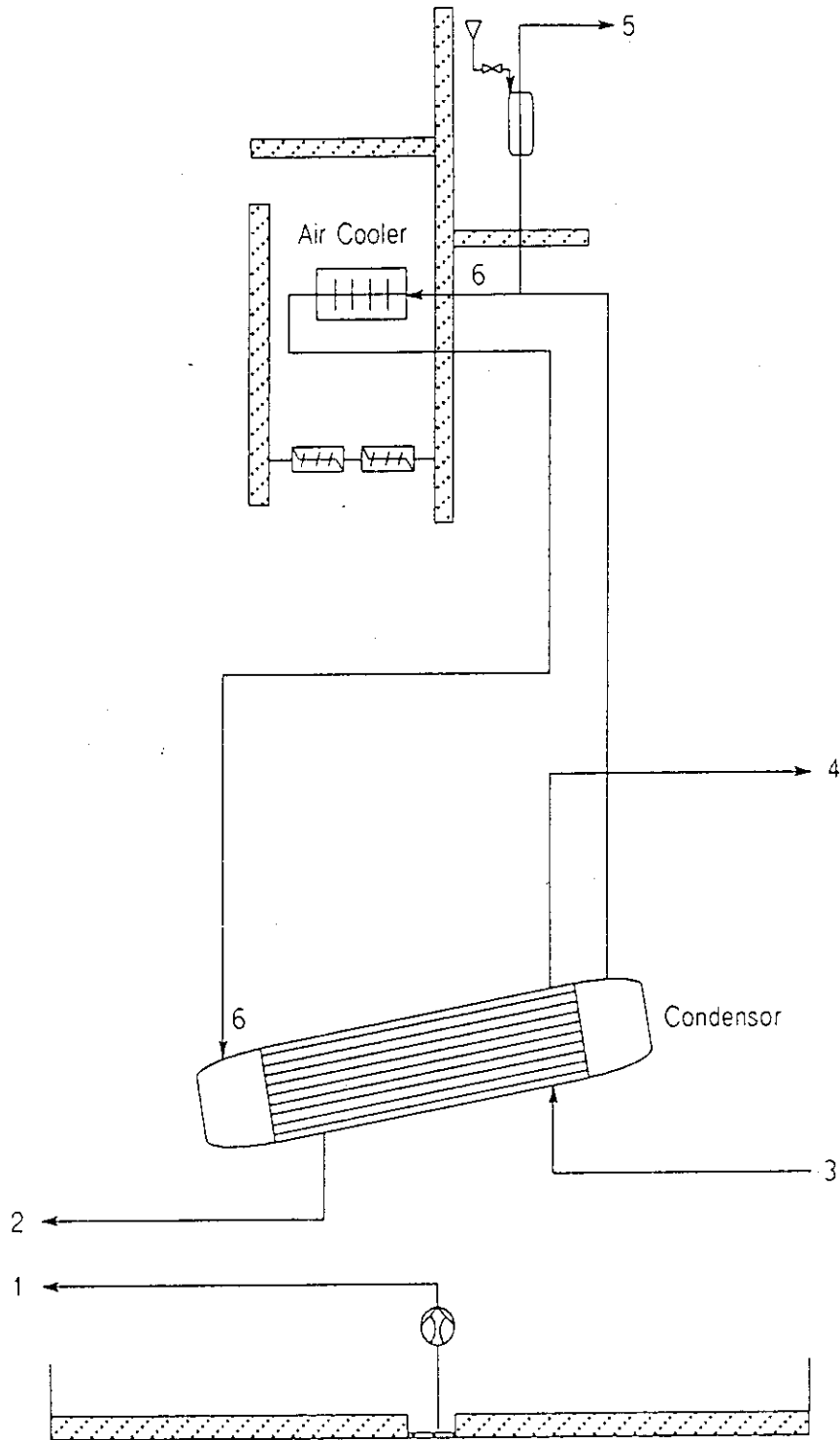


Fig. 2.3 Service Cooling - Secondary Circuit Schematic Flow Diagram



Key

- 1 Sump Return to Buffer Tank
- 2 Condensed HLLW Return to Buffer Tank
- 3 Buffer Tank Vessel Vent
(HLLW Vapour in Event of Boiling Tank)
- 4 Vessel Vent to Off-Gas Treatment
- 5 Vent line
- 6 Cooling Medium

Fig. 2.4 Passive Cooling System Schematic Flow Diagram

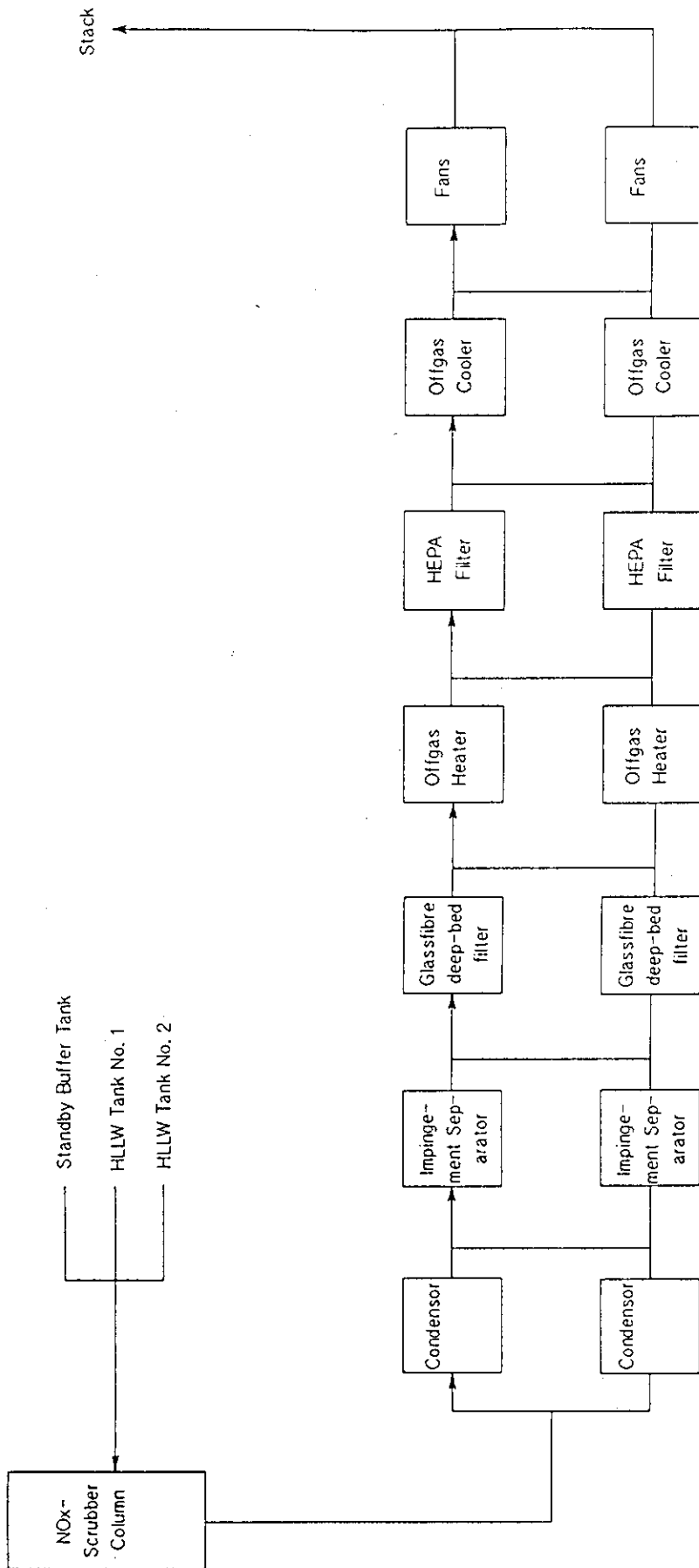
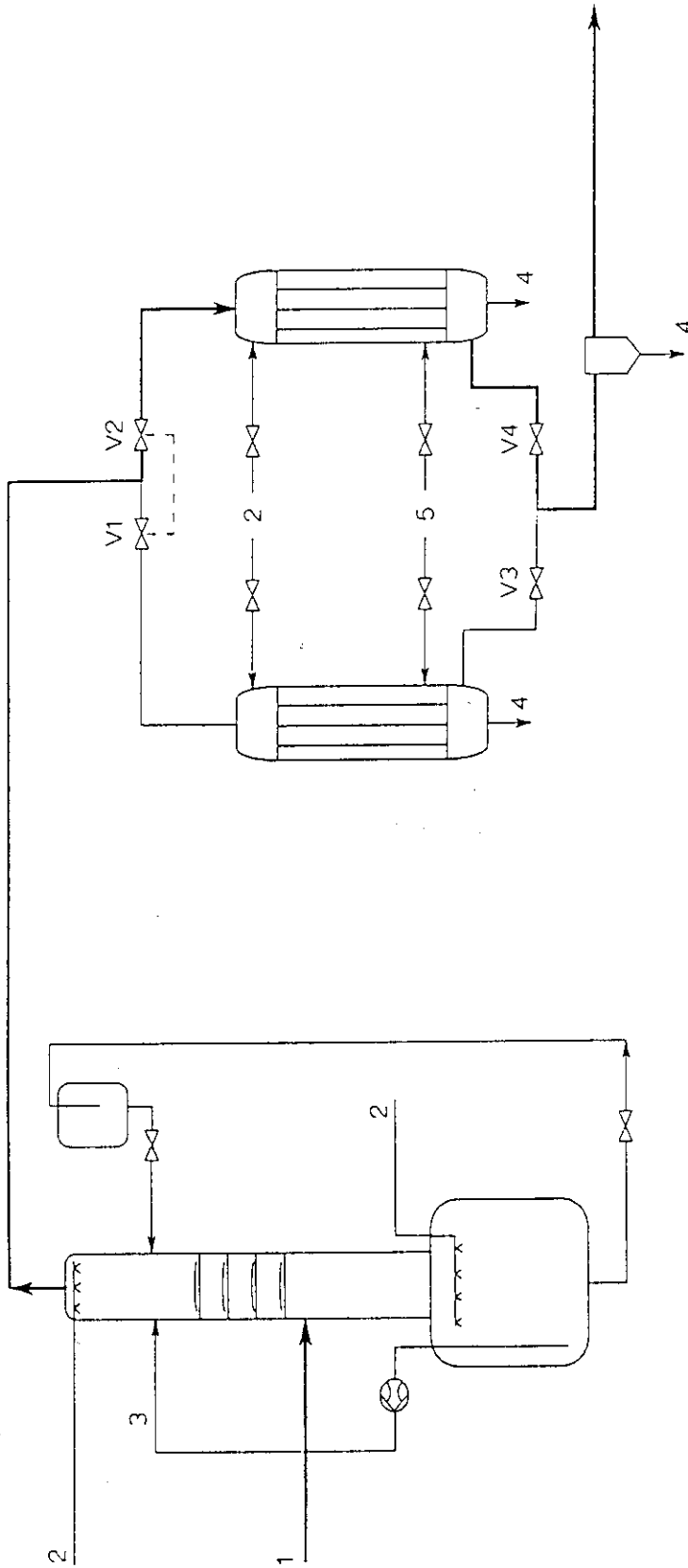


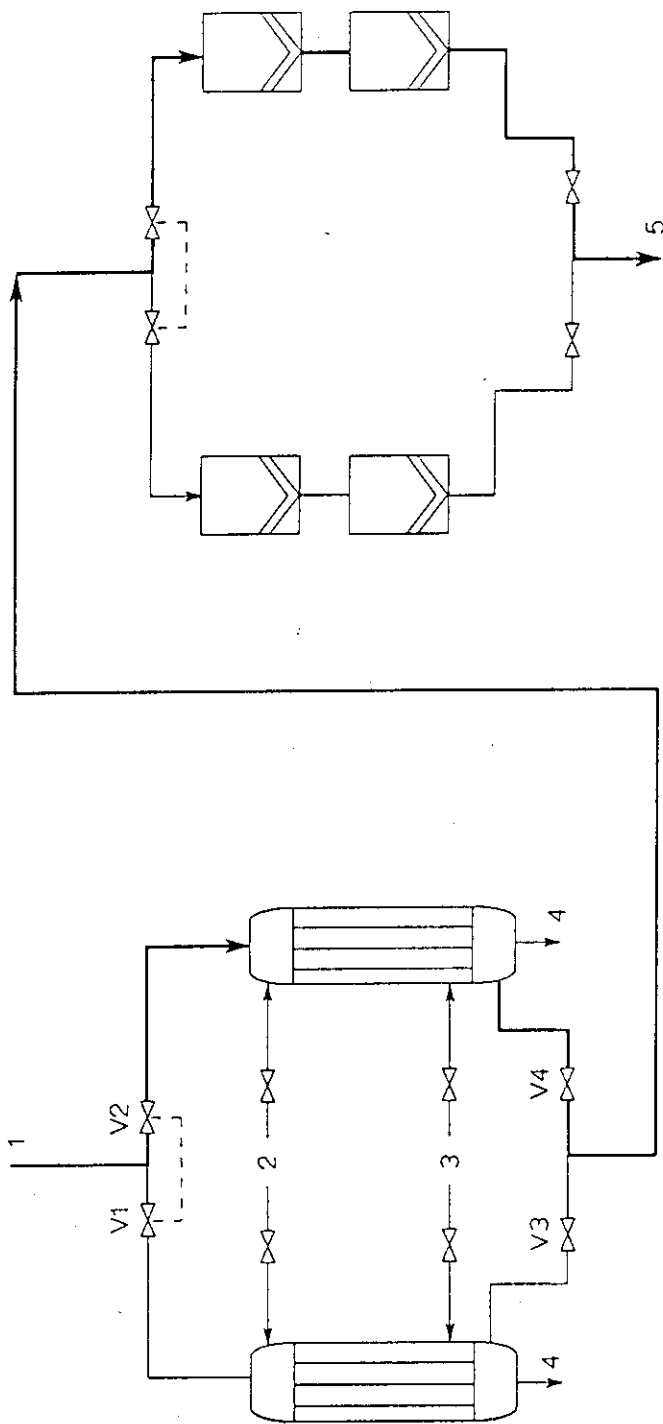
Fig. 2.5 Off-Gas Treatment System - Block Diagram



Key

- 1 Vessel Vent Offgas from Passive Cooling System Condensor
- 2 Decontamination Fluid Supply
- 3 Scrubbing Liquor Recirculation
- 4 Condensate Removal
- 5 Cold Water Supply

Fig. 2.6 NOx Scrubber Column and Condensers -
Schematic Flow Diagram



Key

- 1 Vessel Vent Offgas from Glassfibre Deep-bed Filter
- 2 Decontamination Fluid Supply
- 3 Hot Water Supply
- 4 Decontamination Fluid Removal
- 5 To Stack via Cooler and Fans

Fig. 2.7 Off-Gas Heaters and HEPA Filters - Schematic Flow Diagram

3. 信頼性データの整備

3.1 故障率 (λ)

機器・装置の故障挙動は、故障率により記述される。この場合、装置の寿命データを指数分布関数にあてはめて、一定の故障率をもとめる。すなわち、初期故障及び寿命末期の故障は考慮外として、次式により平均寿命MTTF及び故障率 λ を各装置*i*に対して求める。

$$(\text{MTTF})_i = \frac{1}{\lambda_i} \quad (3.1)$$

$$\lambda_i = \frac{N_i}{\text{Sum}_j T_{ij}} \quad (3.2)$$

ここで、 T_{ij} : タイプ*i*に属する個々の装置*j*に対する観測時間

N_i : タイプ*i*に属する全ての装置に関する故障回数

これらのデータの出典は、主として文献2)による。多くの文献から同一データの引用が可能な場合、往々にしてデータ値の分散が大きいことがあり、このようなときは対数正規分布のあてはめにより平均値を求めて用いる。

3.1.1 電源供給システムの故障率データ

フォールトツリー解析としては、電源供給システムの故障を基本事象として扱い、あるひとつの故障率を与えていることが多い。但し、二、三の電源関係の装置に関しては、次に示すように個々に故障率データを与える。

- 変圧器について

文献2)により、故障率データ $2.4 \times 10^{-6}/\text{h}$ を与える。

- 10kVケーブルについて

文献3)によると、61,931kmのケーブルに対し1年間の故障記録回数は2610回であった。従って、故障率データ $5.0 \times 10^{-6}/(\text{km} \cdot \text{h})$ とし、建屋ZSA及び建屋ZBDまでのケーブル長さを考慮して故障率データを与える。

- 主及び副配電盤について

文献3)により、主・副の区別なく、 $1.3 \times 10^{-6}/\text{h}$ を故障率データとして与える。

3.1.2 測定機器の故障率データ

文献4)により、水位及び流量の両測定機器に対して故障率データ $1.5 \times 10^{-5}/\text{h}$ を与える。同様に、オフガス系の差圧測定器に対して $1.7 \times 10^{-5}/\text{h}$ 、また温度測定器に対して $1.2 \times 10^{-5}/\text{h}$ の故障

率データを与える。

3.1.3 循環ポンプの故障率データ

文献2)で推薦されているポンプの故障率データは次に示すとおりである。

起動時の失敗に対し $1.6 \times 10^{-5}/h$,

運転中の故障に対し $5.7 \times 10^{-5}/h$ 。

3.1.4 冷却塔ファンの故障率データ

文献2), 4), 5), 6)に記載されているデータを基にして, 平均的な冷却塔ファンの故障率データとして, $6.5 \times 10^{-5}/h$ を用いる。

3.1.5 熱交換器の故障率データ

熱交換器故障の多くは, 応力または振動の問題, あるいは腐食に起因する。このうち応力または振動の問題は一般に運転の初期に故障となって現れ, 一方, 腐食による故障は一般に運転後期に起こる。従って, 仮に一定の故障率を仮定しても, 厳密には運転の時期に依存して変動すべきものである。文献7)を参照すると平均的な故障率データとして $1.0 \times 10^{-5}/h$ が得られる。

熱交換器の故障には, 軽微な漏洩から冷却機能全喪失まで規模の範囲に巾がある。ここでは, 設備冷却系の熱交換器の故障率データを次のように与える。

熱交換器の漏洩 $1.0 \times 10^{-5}/h$

熱交換器の破断 $1.0 \times 10^{-6}/h$

受動的冷却系の熱交換器には, 二次側冷媒として6モル硝酸水溶液が循環しており, 腐食による故障が考えられる。従って, 受動的冷却系の熱交換器の故障に対しては, 上記の故障率データの

$\frac{1}{2}$ の値を与える。

3.1.6 配管系の故障率データ

文献2)には, 配管系の故障率データとして $1.0 \times 10^{-9}/(m \cdot h)$ が配管破断に対して推薦されている。これは, 配管の全機能喪失に対してのデータであり, 機能を維持したままの漏洩に対しては, $1.0 \times 10^{-8}/(m \cdot h)$ のデータを与える。フォールトツリー解析に用いる故障率データとしては, 上に与えたデータに配管長さの推定値をかけて得られる。

3.1.7 弁類, フィルタ等の故障率データ

手動弁に対しては, 文献2)より故障率データとして $5.0 \times 10^{-6}/h$ を与える。

一方向弁に対しては, 文献2)より故障率データとして $2 \times 10^{-6}/h$ を与える。

制御弁に対しては, 文献2)より故障率データとして $1 \times 10^{-5}/h$ を与える。

スチーム・イジェクタに対しては, 文献5)より故障率データとして $1 \times 10^{-5}/h$ を与える。

空気流制御板に対しては, 文献2)より故障率データとして $2 \times 10^{-6}/h$ を与える。

ダンパに対しては、文献8)より故障率データとして $4.3 \times 10^{-5}/h$ を与える。

オフガス系に配置されたフィルターに対しては、文献9)により故障率データとして $1.2 \times 10^{-5}/h$ を与える。

3.2 故障確率(p)

予備用として待機させてある装置の運転要請時における故障確率 p は、平均的なアンアベイラビリティとして次式により近似的に求められる。

$$p = \lambda \cdot \frac{T_I}{2} \quad (3.3)$$

ここで、 λ : 故障率

T_I : 検査間隔

T_I として、全ての機器・装置に対して720h(1ヶ月)を与える。上式は検査により故障と判明した装置の修理時間(従ってこの期間は装置の機能が失われる)を $\frac{T_I}{2}$ と近似して導かれる。

3.3 平均修復時間(MTTR)

機器・装置が故障した際の平均修復時間は、一般に経験により推定される。ここでは文献を調査して得られたMTTRデータをTable 3.1に、また文献4)に述べられている方法により推定したMTTRデータをTable 3.2に示す。

ホットセル内部に配置された装置の修理に際しては、次に示すような作業ステップを考慮しなければならない。

- ・貯蔵タンク内の廃液を他へ移送して、タンク内部を空にする。
- ・容器及び配管系の除染
- ・セル内部の作業の放射線防護策の実施
- ・防護服を着用しての装置の修理
- ・修理後の機能試験
- ・貯蔵タンクへの廃液返還

従って、本解析においてはセル内部の装置の平均修復時間として、一律に170h(約1週間)を与える。

3.4 その他のデータ

3.4.1 組合せ事象の信頼性データ

- 予備用として待機させてあるポンプは、系統の点検・修理の終了後、手順書に反して隔離弁を開いておかなかったために、運転要請時に機能しないことがある。この場合、作業手順に違反して点検・修理後、隔離弁を閉じたままにしておく確率は、文献2)より手動弁の故障率 $5.0 \times 10^{-6}/h$ に対して10%と仮定する。従って、故障率データとしては、

$$\lambda = 5 \times 10^{-7}/h$$

が与えられる。

予備用として待機させてある装置の運転要請時における故障確率 p は、(3.3)式により次のように求められる。

$$p = \lambda \cdot \frac{T_i}{2} = 5 \times 10^{-7} \left(\frac{720}{2} \right) = 1.8 \times 10^{-4}/(\text{要請})$$

ここで、検査間隔 T_i として1箇月、すなわち720hを与えた。

- ポンプ補修は4半期に1回の割合で行われ、一次系ポンプに対して8h、二次系ポンプに対して16hを要する。従って、アンアベイラビリティは、一次系ポンプに対して運転要請あたり0.0037、二次系ポンプに対して運転要請あたり0.0073となる。以上は、個々のポンプに対して導いたものであり、実際は運転用ポンプと待機用ポンプが同時に片方の補修のため停止することが多い。従って、フォールトツリー解析用には、上記データを2倍して、一次系ポンプのアンアベイラビリティとして0.0073/(要請)、二次系ポンプのアンアベイラビリティとして0.015/(要請)を与える。
- 受動的冷却系の冷媒不足による機能喪失に対しては、2基の100%運転負荷の充填ポンプの故障率を考慮して $1.0 \times 10^{-5}/h$ とする。
- 熱交換器の補修は2年に1回行われる。所要時間は、設備冷却系あるいは受動的冷却系のいかなるを問わず48hrsと推定される。前述のポンプ補修のアンアベイラビリティを導く際と同様な注意事項が適用されるので、熱交換器に対するアンアベイラビリティとして0.0055/(要請)を与える。

3.4.2 共通要因故障

本解析では、施設あるいはその一部に対する共通要因故障を考慮するために、 β ファクタ法を用いる。これに関しては、文献15)で説明されている。本解析で用いる β ファクタの値をTable 3.3に示す。

3.4.3 許容停止時間

ある場合には、システムの一部が故障してからある時間が経過するまでは、安全上問題とならないことがある。例えば、高レベル廃液タンクの冷却能喪失事故が起きてから10数時間経過して廃液温度が沸点に達し、沸騰開始してから放射性物質を同伴した大量の蒸気流量が発生する。従って、この時点以降において、受動的冷却系が働いて蒸気流量を凝縮し、再び水に還元してタンクに戻すという機能が失われると安全上問題となる。

FTL コードでは、システムの一部が故障してから一定の時間を経過するまでの確率を計算することができ、Table 3.4にはこのようにして求めた本解析に用いる確率データを示す。

3.4.4 サービスシステムの故障

この解析の範囲内では、電源供給システム、水蒸気供給システム、水補給システムの故障については詳細な解析を行わず、単純な基本事象としてTable 3.5に示す故障率データ及びMTTRを与えて解析する。

3.4.5 運転期間による振り分け

フォールトツリーを構築するに際し、冷却システムの運転期間を夏季に対して50日、冬季に対して185日とする。従って、年間の振り分けの確率は、夏季運転に対して0.14、冬季運転に対して0.5となる。

3.4.6 運転員誤操作

全ての手動操作、例えばオフガス系ダンパを予備用のものに切り換える操作などにおける、運転員誤操作の確率として操作の複雑性・単純性の考慮なしに、安全側の値 1.0×10^{-3} を与える。

Table 3.1 MTTR's Taken from Literature

Source* Component	10	11	7	14	12	13	Value Used
.10 kV Cable			48			5	24
.10 kV Trans- former			48			10	24
.Distribution board			20	10		5	10
.Power switch				12		5	10
.Elec. fail- ure		0.25	7.8			0.3	2
.Instrumenta- tion		7				5	1
.Pumps (general)		37			24	40	24
.Pumps 1000 m3/h	72						48
.Fans					24		24
.Pipework	52				30		
.Heat ex- changer	70						48
.Non-Return Valve						20	24
.Valve (general)		24					24

* Ref. No.

Table 3.2 Estimated MTTR's

Component	MTTR (hours)	Comment
.Air-flow Control flaps	12	Category 2 accor- ding to /4-3/
.Steam ejector	24	"
.Air Cooler	72	1.5xMTTR for Heat exchanger
.Common-mode failures:		
- for 2 Heat Ex- changers	48	
- for 2 Steam ejectors	24	
- for 2 Pumps or fans	24	
- for several C/W pumps	48	
- for 2 Transfor- mers	24	
- for 2 10 kV dist. boards	24	
.Level measurement in Passive Cool- ing System	>9999	no MTTR
.False adjustment of air-control flaps not recog- nised	>9999	no MTTR
.Operating Periods	>9999	no MTTR
.Prob. of Failure > n hours	>9999	no MTTR

Table 3.3 Beta Factors Used in the Analysis

Component Class	Description	β -factor
33	Steam ejector	0.01
39	Cooling tower fans	0.01
53	Instrumentation sub-distr. boards	0.01
67	3/4 Cooling water pumps (Secondary circuit)	0.004
68	10 kV Transformers	0.01
69	Sub-Distr. Boards	0.01
71	Heat Exchangers	0.01
72	Cooling water pumps (Primary circuit)	0.01
88	C/W lines SB1 and SB2	0.01

Table 3.4 Tolerable Sub-System Down-Times

Tolerable Down-Time	Sub-System	p	Klasse
.Time to Boiling for a full Buffer Tank - 16 hours	Service Cooling System - Secondary circuit	0.35	37
	PE electrical supply system	0.36	89
.Transfer time for HLLW 6 h. - Hence tolerable down time = 10 hours	HLLW Transfer system	0.49	35

Table 3.5 Service Failure Data

Component Class	Failure Description	Failure Rate (E-6/h)	MTTR (h)
Fault Tree: "HLLW Buffer Tank without Cooling - HLLW Boils"			
6	Failure of PG elec. Supply to ZBD	5.9 E-4	9
16	Failure of PA elec. Supply to ZBD	14.0	12
54	Failure of PF elec. Supply to ZBD	0.05	12
70	Failure of 10 kV PE elec. Supply	0.07	12
34	Steam Supply Failure	30.0	14
55	Failure of Cooling Tower Make-Up Supply	0.8	13
Fault Tree: "Reduction in DF of Off-Gas System"			
3	Loss of Wash Water to NO _x column	20.0	6
13	Hot water supply failure	0.1	6
21	Cold water supply failure	10.0	6

4. フォールトツリー解析のための前提条件

与えられたモデルプラントについて、確率論的安全評価を実施するためフォールトツリーを構築しそれを解析するには、モデルプラントの運転上の制約及び作業手順などを明らかにし、解析の前提となる仮定・条件を示す必要がある。特に、解析の前提となる仮定・条件は、非現実的なものとならないよう注意が必要となる。以下に、本解析に用いるこれらの条件を述べる。

4.1 HALWタンクに関する前提

- HALWタンクの設備冷却系のうち一次冷却系が故障しタンク内溶液の除熱ができなくなった場合には、即座に予備タンクへ溶液移送が開始される。このとき、溶液移送系の故障が生じたときは、溶液は冷却能力を喪失したタンク内に留まり溶液温度は徐々に上昇して約 16h 経過後に沸点に達する。溶液移送に要する時間は約 6h と推定されるので、故障が生じてから修復されるまでの時間が 10h を超えると溶液が沸騰を開始し、以降の溶液移送は不可能となる。タンク内溶液の沸騰事象自体は受動的冷却系の故障が重ねて生じない限り、安全上問題とならない。
- HALWタンクの設備冷却系のうち二次冷却系が故障しタンク内溶液の除熱ができなくなった場合には、予備タンクへ溶液移送が行われない。この理由は、設備冷却系の二次冷却系の SB1 及び SB2 回路は、2 個の HALWタンク及び 1 個の予備タンクの設備冷却系に共通して用いられているからである。この場合、約 16h 後にタンク内溶液は、沸騰を開始するが、このこと自体は、受動的冷却系が健全に働いていれば安全上問題ない。
- HALWタンクの受動的冷却系に故障が生じた場合には速やかに溶液を予備タンクへ移送する。HALWタンクの設備冷却系の一次冷却系の軽微な故障、例えばタンク冷却ジャケットまたは回路からの漏洩などは、冷却能力を急激に損なうものではないが、故障箇所を点検し修理するためタンク内を空にしなければならず、この場合にも溶液を予備タンクへ移送することとなる。

4.2 設備冷却系に関する前提

4.2.1 一次冷却系

正常運転時には 2 系統ある設備冷却系の全てが稼働しているが、一次循環ポンプ 1 個のみの稼働でも十分な冷却水循環が維持される。

一次冷却系側熱交換器の故障は、同一系統の循環ポンプの停止を余儀なくさせるが、これは、ポンプと熱交換器を別々に隔離することのできない設計となっているからである。

4.2.2 二次冷却系

冷却塔内部では、二次冷却系水回路の SB1 及び SB2 はある長さの同一配管 (約 100m) を共有する。この共有配管の破断は、全設備への二次冷却水供給停止に繋がる。

SB1 回路が破断し、破断箇所を前後の弁操作により隔離できない事象が重ねて起きた場合にも二次冷却水供給が不可能となる。

4.3 受動的冷却系に関する前提

運転中のHALWタンクに附設されている受動的冷却系に漏洩が検出された場合には、HALWは予備タンクに移送される。

受動的冷却系は、不用意に閉止されることのない設計となっており、タンクの冷却能喪失事故時には受動的に作動する。

エアクーラへの空気流を調節するフラップは、通常正位置に調整されているが、これが間違っている場合には、受動的冷却系の冷却機能が失われる。

4.4 その他の装置・機器に関する前提

予備用に待機させてある装置の点検間隔は、一律に1箇月(720hrs)とする。いくつかの待機用装置については、常用の装置と同一設計・構造となっているので共通要因故障を考慮する。

待機用ポンプの隔離弁は開いており、正常運転時の逆流防止用に一方向弁が待機用ポンプ回路に取り付けられている。

本解析で用いる“漏洩(Leakage)”という用語は、関連する冷却系統のある点における小断面積からの漏洩を意味し、冷却能力の全喪失を意味するものではない。但し、修理期間に入るときは当然のことながら関連する冷却系統は休止する。

本解析で用いる“破断(Rupture)”という用語は、関連する冷却系統の冷却能力の全喪失を意味する。

監視用機器が豊富に設備されているので(例えば、補給タンクの水レベル測定、冷却回路の水温度及び流量測定など)、設備冷却系統の一次系回路の配管破断は容易に検出され、HALWが即座に予備用の貯蔵タンクに移送される。同様に、熱交換器の配管破断の場合には関連する熱交換器の隔離が即座に行われる。

4.5 測定・制御装置及び運転員操作に関する前提

測定・制御装置は、本解析においては限定された範囲内で考慮される。

検出信号の発生、処理及び指示が考慮される。これらの機能に対し、従来用いられてきた装置の故障率が適用される。自動制御機器については考慮されない。

貯蔵タンク内HALWの沸騰に到る故障解析において、ヒューマンエラーについては考慮されない。沸騰開始までに最小16hrsの時間を要するということから、ヒューマンエラーの影響は少ないと考えられる。

冷却塔の用水補給系統の機能喪失は、冷却池の水位を低下させる。この冷却池の水位指示計が故障すると最低水位を超える水位減少も起こり得る。

5. HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故のフォールトツリー解析

ある施設体系の確率論的安全評価を行うためには、先ず、安全上問題となる事象を想定し、それに至るいくつかの事故シナリオを列挙することから始まる。事故シナリオは、いくつかの事象のシーケンスから構成される。これをフォールトツリーで表す場合には、機器・装置の故障、運転員の誤操作などを基本事象として、これらを AND または OR ゲートで連繋する。この場合、各事象の生起の独立性が仮定される。事象間の生起の依存性を考慮するためには、通常、 β ファクター法により共通要因故障を表す事象を新たに付け加える。単なる事故シナリオの列挙においては、重要な考慮すべき事故シナリオが失われたり、混同した事故シナリオが含まれていたり、事故シナリオ相互間の依存性が見失われたりすることが起こる。上に述べたようなフォールトツリーの巧みな併用によりこのような陥穽を避けることができる。

よく構築されたフォールトツリー（あるいは事故シナリオ）においては、事象間の連繋関係が明らかであり、定性的な解析により、“抜け”や“落ち”を防ぐことができるばかりでなく、定量的な解析により事故シナリオ相互間の重要性を明らかにし投資に対する最適な設計改善法を示唆したり、体系の安全性がどこまで確保されているかを安全目標と比較することにより把握することができる。

以下、HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故に対し、いくつか事故シナリオを想定しフォールトツリーを構築して、定性的・定量的な解析を試みる。この場合、以上述べたことに留意し、各々のフォールトツリーをできるだけ簡素化し、事故シナリオとしては単一のストーリーのみを含むようにした。このようにすれば、各事故シナリオ間の重要性の比較の意味がより明瞭になると思われるからである。また各々の事故シナリオあるいはフォールトツリーには、共通した構成要素となる中間事象がいくつか存在することが認められる。これらをブロックとして扱うことにより、事故シナリオの構成をより見やすくし、シナリオ相互間の比較検討により、“抜け”がないようにすることが期待される。

5.1 事故シナリオの想定

頂上事象として、「HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故」をとり、フォールトツリーを構築するに際しいくつかの事故シナリオが考えられる。この場合、HALWタンクの一次または二次の設備冷却系が故障して冷却能が喪失しても、受動的冷却系が正常に機能していれば、たとえ大量に放射性物質を含んだ液滴エアロゾルや水蒸気がタンク内溶液から発生したとしても、これらは即座に水に凝縮還元されタンク内に戻るような設計・構造となっているので安全上問題ない。従って、上記の頂上事象に至る過程には、受動的冷却系の故障も含めて考えることとする。

HALWタンク、設備冷却系及び受動的冷却系から成る施設体系について、貯蔵タンクAに着目して

上記の頂上事象に至る単一事象の組合せから成る事故シナリオを考察すると次に示すとおりである。

- (1) 貯蔵タンク A の一次冷却系が故障して冷却機能が失われ、同時に予備タンクの一次冷却系も故障して溶液移送が行われない状態を考える。貯蔵タンク A 内の溶液は、発生する崩壊熱のため徐々に温度上昇し、約 16h 後に沸点に達し沸騰を開始する。ここで、受動的冷却系の故障が重ねて生起すれば、安全上問題となる HALW タンク冷却能喪失・溶液沸騰事故が生ずることとなる。
- (2) 貯蔵タンク A の設備冷却システムの二次冷却系が故障して冷却機能が失われる状態を考える。二次冷却系は貯蔵タンクばかりでなく予備タンクの設備冷却システムに共通して用いられているので、これが故障すると予備タンクの冷却機能も失われ、貯蔵タンク A から予備タンクへの溶液移送が行われない。従って貯蔵タンク A の溶液は発生する崩壊熱のため徐々に温度上昇し、約 16h 後に沸点に達し沸騰を開始する。安全上問題となるのは、さらに受動的冷却系の故障が重なる場合である。
- (3) 貯蔵タンク A の一次冷却系が故障し、同時にスチームイジェクタによる溶液移送システムの故障により、溶液はタンク A 内に滞り、約 16h 後に沸点に達して沸騰を開始する。さらに、受動的冷却系の故障が重なれば、頂上事象に至るシナリオが完成する。
- (4) 最初に貯蔵タンク A の受動的冷却系が故障し、予備タンクへ移送しようとしたところ溶液移送システムの故障のため溶液がタンク A 内に滞り、続いてタンク A の一次冷却系の故障が重なって、約 16h の間、修復のない状態が継続すれば、安全上問題となる頂上事象に至る。
- (5) 上記(4)の事故シナリオで、貯蔵タンク A の一次冷却系の代わりに二次冷却系の故障の生起を考える。
- (6) 貯蔵タンク A の一次冷却系あるいは受動的冷却系の軽微な故障（漏洩）の修復、または保守作業を行うため、溶液を予備タンクに移送し、一時的に貯蔵していたところ、予備タンクの受動的冷却系が故障し、さらに設備冷却系の一次冷却系の故障が生起する状態を考える。この状況が続く、故障が修復されないまま 16h 経過すれば、予備タンク内の溶液が沸騰し、安全上問題となる頂上事象に至る。
- (7) 貯蔵タンク A の一次冷却系あるいは受動的冷却系の軽微な故障（漏洩）の修復、または保守作業のため、溶液を予備タンクに移送し貯蔵している間に、予備タンクの受動的冷却系が故障し、さらに設備冷却系の二次冷却系の故障が重ねて生起し、修復されないまま 16h 経過すれば、予備タンク内の溶液の沸騰が開始し、安全上問題となる頂上事象に至る。

事故シナリオ(1), (2), (3)は、貯蔵タンク A で溶液を貯蔵中に冷却システムの故障により冷却機能が失われ、予備タンクへ移送しようとするがこれを不可能（あるいは非有効）とする他の事象が重ねて生起する状態を考慮した。すなわち、予備タンクの一次冷却系の故障、または二次冷却系の故障が起こり、溶液を移送しても意味のない状況となったり、あるいは溶液移送系が故障して機能しなくなったりすることが考えられた。

他方、貯蔵タンク A から溶液を移送しようとしたところ、予備タンクには既に貯蔵タンク B

から溶液が移送されており、タンクが満杯となっている状況も考えられる。

- (8) 貯蔵タンク B の一次冷却系に故障が生じ、タンク B の溶液が予備タンクへ移送された時、タンク A の一次冷却系が故障し、さらに受動的冷却系の故障が重なれば、安全上問題となる頂上事象に至る。
- (9) 貯蔵タンク B の受動的冷却系に故障が生じ、タンク B 内の溶液が予備タンクへ移送された時、タンク A の一次冷却系が故障し、さらに受動的冷却系の故障が重なれば、安全上問題となる事故シナリオが形成される。
- (10) 貯蔵タンク B の冷却系統に漏洩などの軽微な故障が発見され、その修理または保守点検のためタンク B 内の溶液が予備タンクに移送された時に、タンク A の一次冷却系が故障し、さらに受動的冷却系の故障が重ねて生起すれば、安全上問題となる頂上事象に至る。

上記事故シナリオ(8)、(9)、(10)においては、タンク A の冷却系統の故障として二次冷却系の故障を考慮していない。これは、二次冷却系は 2 基の貯蔵タンク及び 1 基の貯蔵タンクに共通して使用されており、この故障による事故シナリオは(2)に含めて考えることができるからである。

以上、(1)～(10)までの事故シナリオは、2 基ある貯蔵タンクのうち、一方のタンク A のみに着目して導かれた。これらの導出過程は、タンク B に着目しても同様に考えられることから、全施設体系のリスクとしては、リスクの線型性を仮定すればタンク A について解析して得られた結果の 2 倍をとればよいこととなる。

5.2 フォールトツリーの構築

Fig. 5.1 及び 5.2 は、頂上事象“HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故”に至る(1)～(10)の事故シナリオの結びつきを示したものである。

各事故シナリオは独立に生起すると仮定されており、事故シーケンスの主要部分の共通性によりグループ化されている。この 4 個のグループの特徴は、次のとおりである。

- (I) 貯蔵タンク A の設備冷却系（一次系または二次系）に故障が生ずる。
- (II) 貯蔵タンク A から予備タンクへ溶液を移送する系統に故障が生ずる。
- (III) 貯蔵タンク A に漏洩等の軽微な故障が生じ、その修理あるいは点検保守の作業のため、タンク A から予備タンクに溶液を移送する。
- (IV) 予備タンクが既に貯蔵タンク B の不調により移送された溶液で満杯となっている。

これらのグループ分類の方法は、完全なものではなく例えば、事故シナリオ(3)のように分類(I)と(II)の両方にまたがるものも存在する。しかし、頂上事象に至る事故シナリオ全体の見通しをよくし、“抜け”または重複がないかどうかをチェックするために、このように分類することは有効となると思われる。

さらに、(I)～(IV)の各々が複合的な事故シナリオと見做すことができ、フォールトツリー解析結果を比較することにより、設計としてどの点に重点を置いて改良を進めたらよいかを示すこともできる。この場合、各々の分類の中に単一ストーリーの事故シナリオを重複させて解析すること

も必要となる。例えばFig. 5.1の分類では、事故シナリオ(3)は複合的事故シナリオ(Ⅱ)に含まれているが、“貯蔵タンクAの設備冷却系の故障”を重点的に調べるためには、複合的事故シナリオ(Ⅰ)の中に事故シナリオ(3)を附加して解析する必要がある。

また、解析目的によっては複合的事故シナリオとして上に述べたものを細分した分類方法が適当になることもある。例えば、“設備冷却系の二次冷却系の故障”が“一次冷却系の故障”に比較してどの程度重要となるかを調べるために解析を実施する場合が考えられる。

事故シナリオの下部(Fig. 5.1, 5.2で△印の部分)の、フォールトツリーを構築する場合、いくつかの基本的な構成要素となる中間事象を抽出することができる。これらは、次に示すとおりである。

- (a) HALWタンクの設備冷却系の一次冷却系が故障して冷却機能が失われる。
- (b) 予備タンクの設備冷却系の一次冷却系が故障して冷却機能が失われる。予備用の装置・機器は、1ヶ月(720h)間隔の定期点検により故障が発見される点を除いて、フォールトツリーの構成は(a)と同様である。
- (c) 設備冷却系の二次冷却系が故障して冷却機能が失われる。

上記(a), (b), (c)の事象に対しては、16hr以上故障が継続するという補助事象を附加することによって始めて溶液が沸騰状態に入るという状況に至る。従って、タンク内溶液の沸騰という事象を、フォールトツリーで解析するには、上述した時間継続に関する補助事象を(a), (b), (c)のそれぞれにANDゲートで附加しなければならない。これらの補助事象に係わる確率データは、対応する(a), (b), (c)の各々の中間事象のフォールトツリーをPTLコードで解析すれば、計算出力の一部として得ることができる。

- (d) タンクの受動的冷却系が故障して、タンク内溶液の沸騰により流出する水蒸気の凝縮・還元ができなくなる。

ただし、ここでは、設備冷却系の故障が既に生起しており、タンク内溶液が沸騰して大量に流出する水蒸気を受動的冷却系が働いて水に凝縮・還元しているときに、受動的冷却系の故障が起こることを考える。この故障は、機器・装置の動作が常時監視されているため、直ちに検出される。

- (e) 前項と同様、タンクの受動的冷却系が故障する。ただし、ここでは、設備冷却系の機能は正常に働いており、タンク内溶液温度は約40℃に維持され、受動的冷却系は待機状態にあるときに故障が起こることを考える。この故障は、定期点検時に検出されるため、それまでは故障が検知されない。
- (f) タンクの一次冷却回路からの漏洩、または受動的冷却系の軽微な故障の修理、あるいは保守作業を行うため、溶液を予備タンクへ移送してありそのタンクの使用は不可能となる。
- (g) HALWタンク内の溶液をスチームイジェクタにより予備タンクへ移送する系統に故障が生起し、移送できなくなる。

移送に要する時間は約6hと算定されるため、タンク冷却系統の故障が発生して熱除去不可能となり溶液温度が上昇を開始する時点での移送系統の故障発生という最も厳しい場合を想定す

ると、移送システムの故障が 10h以上継続すると溶液が移送中に沸騰状態となり移送不可能となる。従って、移送システムに対し 10h以上故障が継続するという補助事象をフォールトツリー構築に際し附加する。

(h) 主配電盤(1,2系統)が故障し電力供給できなくなる。この場合にも、ポンプ停止のためタンク内溶液発熱の除去ができなくなる。

(a), (b), (c)と同様に、電力供給不可能状態が 16h以上継続するという補助事象を附加することによって、溶液沸騰に至る頂上事象のフォールトツリーを解析することができる。

以上述べた(a)~(h)の 8 個の基本的な要素となる中間事象及び沸騰に要する時間だけ継続するという補助事象を組合せて、前節 5.1 で想定した事故シナリオ(1)から(10)までの各々についてフォールトツリーを構築すると、Fig. 5.3~Fig. 5.12に示すようになる。これらのいずれか 1 つの事故シナリオによって頂上事象「安全上問題となる HALW タンク冷却能喪失・溶液沸騰事故」が引き起こされることになる(Fig. 5.1 及び Fig. 5.2 参照)。

Fig. 5.3~Fig. 5.12に示すフォールトツリーは、上に述べた(a)から(h)までの中間事象を用いて表されており、それらより下部のフォールトツリーの記述が省略されている。これらの下部のフォールトツリーには、4章に述べた機器・装置の故障、共通要因故障などのコンポーネントレベルまで考慮すると、多くのゲート、基本事象、定義事象が含まれることとなる。以下、(a)から(h)までの中間事象をフォールトツリーに展開して説明する。

(a) HALW タンクの一次冷却系の故障は、次に示す 4 通りのシナリオのいずれかひとつの生起によって起こる(Fig. 5.13参照)。

(i) 2 基の一次系熱交換器の共通要因による同時故障、又は、2 基の一次冷却水循環ポンプの共通要因による同時故障が生起する。

(ii) 一次冷却系の 2 系統ある冷却回路が両方共故障する。系統 1 の冷却回路の故障としては、運転中のポンプ 1 の機械的故障、ポンプ 1 への電源供給系の故障、熱交換器 1 の冷却水漏洩又は保守作業のための停止、配管からの冷却水漏洩を考慮する。系統 2 の冷却回路の故障としては、系統 1 の冷却回路の故障の場合と同様、運転中のポンプ 2 の機械的故障、ポンプ 2 への電源供給系の故障を考慮する他、系統 1 が故障して使用できなくなり系統 2 の冷却回路のみで運転する場合を考え、より厳しい停止条件として冷却水配管回路の破断、熱交換器 2 からの冷却水漏洩と回路内冷却水レベル測定系の故障の連続生起を考慮する。さらに系統 2 の故障として、始め系統 1 のポンプ 1 のみにより一次冷却系を運転していたところポンプ 1 が故障したのでポンプ 2 に切り替えて運転続行しようとして立ち上がれなかったことが考えられる。この場合、ポンプ 2 の回路の保守作業用隔離弁が閉止状態のまま放置、ポンプ 2 の起動故障、保守によるポンプ 2 の使用不可、逆止弁の固着のいずれかの原因が考えられる(Fig. 5.14及びFig. 5.15参照)。

(iii) 一次冷却系の 2 系統ある冷却回路のタンクに巻いた冷却ジャケット部分の破断が同時又は連続的に生起する。

- (iv) 通常2系統ある冷却回路の片一方が破断しても回路を切り換えて、もう片一方の回路運転でタンクの冷却機能を維持できる設計となっているが、場合によってはこの切換に必要な弁操作が故障によりうまくいかないことが考えられる。これには、弁自体の固着などによる故障、又は破断部の位置によってはその回路を弁操作によっても隔離不可能となる場合がある (Fig. 5.16参照)。
- (b) 予備タンクの一次冷却系の故障 (Fig. 5.17) は上記(a)と類似の事象であるが、HALWタンクが使用不可となった場合の予備として維持管理されているため、多くの構成機器・装置が待機状態にあり、故障が生じたとしても定期的な点検時あるいは運転要請時になって始めてその故障が露見する。従って予備タンクの一次冷却系の故障を表すG030はHALWタンクの一次冷却系の故障を表すG029と相似ではあるが、細部の構成、すなわちG048及びG049が異なる (Fig. 5.18, Fig. 5.19参照)。
- (c) 設備冷却系の二次冷却系の故障 (Fig. 5.20) は、次の4つのシナリオのいずれか1つの生起によって起こる。
- (i) 二次冷却水の温度が何らかの原因によって上昇し、最高許容運転温度を超えることによって二次循環ポンプが停止する。これらの原因としては、夏季の運転期間において全部で5基ある冷却塔のうち2基がファンの故障のため同時に動かなくなってしまうこと (ただし、ファンの故障としては各々の運転時の機械的あるいは電気的故障のほか、共通要因故障によりファン2個が同時故障することを考慮する)、また、冬季の運転期間において4基の冷却塔がファンの故障のため動かなくなってしまうことのいずれか1つが考えられる (Fig. 5.21)。
- (ii) 冷却塔下部に滞留する冷却水レベルが最低許容レベル以下となることによって二次循環ポンプが停止する。これらの原因としては、二次冷却回路の主 (共通) 配管の破断あるいは隔離できない枝配管の破断、自動制御弁の故障または計測配電盤の共通要因故障またはPF電力供給系の故障により冷却塔への給水が不十分となること、さらには冷却塔給水系ポンプの故障などにより、給水不可能となることが考えられる (Fig. 5.22)。
- (iii) 二次循環ポンプ4基のうち3基が同時に故障してしまい冷却不足となる。この二次循環ポンプは、通常2基が同時運転されており、残りの2基が待機状態にある。運転中のポンプの故障は、ポンプ自体の劣化などによるものと電力供給系の故障が考えられる (Fig. 5.23)。待機中のポンプの故障は、運転要請時の起動故障、回路の保守作業用の隔離弁が閉止状態のまま放置されてあったとき、逆止弁の固着、保守作業中の使用不可のいずれかの原因が考えられる。又、運転要請を受けて運転開始したポンプが、通常運転中のポンプと同様な原因により故障することも考えられる (Fig. 5.24)。
- (iv) 二次循環ポンプ4基のうち3基が共通要因故障により停止してしまう。
- (d) タンクの受動的冷却系が故障して、タンク内溶液の沸騰により流出する水蒸気の凝縮・還元ができなくなる事象は、凝縮 (冷却) 器の冷却能喪失あるいは漏洩による放射性物質のセル内放出のいずれかによる (Fig. 5.25)。

凝縮器における冷却能喪失は、冷媒が自然循環している回路構造、すなわち配管系、エアクーラ、凝縮器における漏洩、破断が起因となる。ただし、漏洩の場合、冷媒補給系統が正常に機能していれば問題は生じない。冷媒レベル測定系、電源系などが故障したり、冷媒補給タンクが空になったりしたときに上記の回路構造における漏洩が生ずると、凝縮器の冷却能喪失に至ることとなる。また、冬季の運転においてエアクーラへの空気流を制御するフラップの調整がうまくゆかず気付かないまま放置しておくと、エアクーラでの除熱が不十分となり凝縮器の冷却能喪失につながる(Fig. 5.26)。

タンク内溶液の沸騰により流出する放射性物質を含む水蒸气流が、受動的冷却系からオフガス系へ流れるまでに配管、タンク壁、凝縮器に生じた漏洩孔から外部（セル内）へ放出される場合も、受動的冷却系の故障となる。

- (e) 設備冷却系が正常に働いているときに、タンクの受動的冷却系が故障する事象としては、上述した(d)のように、凝縮器の冷却能喪失あるいは漏洩による放射性物質のセル内放出のいずれかが考えられる。ただし、この場合の基本事象となる装置や機器の故障は、直ぐには検出されず、定期点検時になって始めて検出されることとなる(Fig. 5.27, Fig. 5.28)。
- (f) タンクの一次冷却回路からの漏洩、または、受動的冷却回路からの漏洩が発見されて修理中のため、そのタンクが使用できない状況となる(Fig. 5.29)。受動的冷却回路からの漏洩としては、冷媒のエアクーラ、配管系、凝縮器からの漏洩、あるいはタンク・オフガスの配管系、タンク壁、凝縮器からの漏洩が考慮される。
- (g) HALWタンク内の溶液を予備タンクへ移送する系統の故障は、タンク設備を収納する ZBD建屋への電源供給停止またはその他の原因により移送に必要となるスチームが供給されなくなること、2基用意されたスチームイジェクタが漏洩もしくは閉塞のため作動しなくなること、あるいは共通要因故障によりスチームイジェクタが作動しなくなることのいずれかの生起による(Fig. 5.30)。
- (h) 主配電盤(1,2系統)の故障は、電力供給ができなくなり、設備冷却系の冷却水循環ポンプの停止、溶液移送系へのスチーム供給停止に繋がる。主配電盤には1, 2の両電源系統が重複して配備されており、1系統のみの故障は他系統によりカバーできる設計となっている。主配電盤の故障としては、両系統における10kVブス・バー、10kV変圧器及びケーブル、配電盤構成機器の故障が考えられる他、共通要因故障、外部からの電源供給の停止などが考慮される(Fig. 5.31)。

事故シナリオ(8), (9), (10)は、貯蔵タンクBの冷却系統の故障により高レベル廃液を予備タンクへ移送してある状況を考えるが、この部分のフォールトツリーの記述は、タンクAの冷却系の故障の記述と重複する可能性があるため、フォールトツリー構築の際には、別に解析して求めた故障率とMTRのデータを附与して定義した基本事象として扱うこととする。

5.3 フォールトツリー解析とその結果

前節で述べたフォールトツリーをFTLコードにより解析する。このコードはドイツのアルゼナウ市に本拠を置くNUKEM社が開発した初版を原研が導入して整備したものである。

フォールトツリーをFTLコードにより解析するためには、次のようなデータを入力する必要がある。

- (イ) フォールトツリー構造、すなわち、
 - ・ANDまたはORで区別したゲートの型とその名称
 - ・直接下部に繋がるゲートまたは基本事象の名称
 - ・用いられる基本事象の名称、機器の型及び故障分類
- (ロ) ゲート及び基本事象の内容を表すテキスト
- (ハ) 基本事象に関する故障率などのデータ

大きなフォールトツリーには多くの類似の機器及び故障データが関与するようになるため、機器の故障分類(クラス)を導入して、同一の故障挙動データの機器に対しては同一の故障分類を付与する。これらの故障分類ごとのデータは、故障データファイルの中で管理されている。

FTLコードでは、次の3つの機器の型が考慮される。これをタイプ1、タイプ2、タイプ3と記述する。

- (タイプ1) 運転中交換可能であり、指示計により故障が直ちに検出される機器
- (タイプ2) 交換可能であるが、故障は定期的な点検時にのみ検出される機器
- (タイプ3) 予備用に待機しており、故障は運転要請時に検出される機器

Appendix 1に、解析に用いた故障分類クラスのデータを示し、またAppendix 2に解析に用いた基本事象データ一覧表を示す。

Appendix 3に、FTLコードによるフォールトツリーの定量的解析による出力データを示す。これらは、前節に述べた要素的事故シナリオ(a)から(h)までの各々のフォールトツリー解析したときの出力データ、及び単一事象シナリオ(1)から(10)までの各々に関する出力データから成る。これらのサマリーとしてのデータをTable 5.1及びTable 5.2に示す。

5.4 解析結果による考察

中間事象(a)~(h)のフォールトツリー解析による結果を要約したTable 5.1について考察すると、次項が帰結として得られる。

- (イ) 設備冷却系の一次冷却系の故障による冷却機能喪失のシナリオ(a), (b)に関して、運転中の貯蔵タンクに係わる(a)の発生確率： $2.34 \times 10^{-2}/a$ に対して、予備用に待機させてあるタンクに係わる(b)の発生確率は、少し大きく $3.00 \times 10^{-2}/a$ となっている。これは、予備として待機させてあるポンプなどに関しては、起動時の立ち上げ失敗の故障が運転中の故障に加えて考えられるからである。

(ロ) 設備冷却系の二次冷却系の故障による冷却機能喪失のシナリオ(c)の発生確率は、一次冷却系の故障による冷却機能喪失の事故シナリオ(a)の発生確率と同程度となる。

(ハ) 受動的冷却系の故障の発生確率は、設備冷却系の一次または二次冷却系の故障の発生確率より、やや小さく $1.5 \times 10^{-2}/a$ 程度となる。これは、設備冷却系より受動的冷却系の構造、回路構成が簡単で故障しにくくなっていることによる。受動的冷却系の活動時の故障シナリオ(d)の発生確率は、待機時の故障のシナリオ(e)の発生確率より少し小さくなっているのは、上記(1)で述べたことと同様な理由による。

(ニ) 漏洩など軽微な故障、あるいは点検のために貯蔵タンクが使用できなくなるシナリオ(f)の発生確率、及び溶液移送系の故障のシナリオ(g)の発生確率は比較的大きく $1 \times 10^{-1}/a$ の程度である。これらは、貯蔵タンク運転の安全性確保に直接関わっていないことが考慮される。

(ホ) 各系統に電力を供給する配電盤の故障は、安全上重要であり、2系統の冗長設計となっている。これのシナリオ(h)を解析すると、発生確率 $1 \times 10^{-3}/a$ が得られる。

次に、中間事象(a)~(h)及び沸騰までに要する時間を記述する補助事象を組合わせて得られる事故シナリオ(1)~(10)について、フォールトツリー解析を行った結果(Table 5.2)から、次項が帰結として得られる。

(イ) HALW貯蔵タンク A のみに注目して冷却能喪失事故のシナリオを組立てた(1)~(7)について、フォールトツリー解析を行った結果は、平均的に年間 10^{-7} オーダーの故障率を有する。

(ロ) HALW貯蔵タンク A ばかりでなく貯蔵タンク B の冷却能喪失事故も重ねて考慮する事故シナリオ(8), (9), (10)の発生確率は $10^{-9}/a$ 以下と解析され、この結果は(1)~(7)の事故シナリオの平均的発生確率 $10^{-7}/a$ と比較して無視し得る程度である。

(ハ) 最大の発生確率 $2 \times 10^{-8}/a$ を有すると解析されたものは、事故シナリオ(2)である。これは、設備冷却系のうち二次冷却系の故障による冷却能力の喪失と受動的冷却系の故障の同時生起を考えるものであり、シナリオの構造が比較的単純なため発生しやすいものと考えられる。従って、HALW貯蔵システム全体の信頼性を高めるためには、二次冷却系の信頼性向上をめざした設計改良が効果的になる。

(ニ) 一次冷却系、溶液移送系、受動的冷却系の故障の重なりを考える事故シナリオ(3), (4)のうち、(3)の事故シナリオの発生確率が $5 \times 10^{-8}/a$ と比較的に小さく解析されている。これは、事故シナリオ(3)においては受動的冷却系の故障が一連のシーケンスの後になって発生すると仮定されており、この受動的冷却系の故障確率が事故シナリオ(4)におけるものより比較して小さいことが理由として考えられる。

(ホ) (1)~(10)の全ての事故シナリオ、及びHALW貯蔵タンク B に着目した事故シナリオを考慮して、“HALWタンク冷却能喪失・溶液沸騰事故”の発生確率を算出すると、 $5.8 \times 10^{-6}/a$ となる。この値は、再処理施設の運転時の異常な過渡を超える事象の発生確率として一般的に容認されている $10^{-6}/a$ と比較して、同程度である。

Table 5.1 Summary of Results for Elemental Intermediate Events

Event	Failure Frequency	MTR
(a) Loss of Cooling by Primary Circuits for Operating Tank	2.34×10^{-2} /a	14.4 h
(b) Loss of Cooling by Primary Circuits for Reserve Tank	3.00×10^{-2} /a	14.7 h
(c) Loss of Cooling by Secondary Circuits	2.35×10^{-2} /a	13.6 h
(d) Failure of Passive Cooling during Operation Mode	1.54×10^{-2} /a	136 h
(e) Failure of Passive Cooling during Stand-by Mode	1.64×10^{-2} /a	134 h
(f) Unavailable Tank due to Repair or Maintenance	1.22×10^{-1} /a	127 h
(g) Failure of Liquid Transfer System	1.42×10^{-1} /a	14.1 h
(h) Failure of Main Distribution Board (Redundance 1 & 2)	1.07×10^{-3} /a	16.9 h

Table 5.2 Summary of Results for Accident Scenarios Leading to HLLW Boiling in Buffer Storage Tank without Passive Cooling

Scenario	Failure Frequency	MTTR
(1) Initial Failure of Primary Circuits of Buffer and Reserve Tanks, then Loss of Passive Cooling of Buffer Tank	1.13×10^{-7} /a	15.0 h
(2) Initial Failure of Secondary Circuits, then Loss of Passive Cooling of Buffer Tank	2.09×10^{-6} /a	12.6 h
(3) Failures of Primary Circuits and HLLW Transfer System, then Loss of Passive Cooling of Buffer Tank	5.02×10^{-8} /a	14.9 h
(4) Initial Losses of Passive Cooling and HLLW Transfer, then Failure of Primary Circuits of Buffer Tank	2.54×10^{-7} /a	14.3 h
(5) Initial Losses of Passive Cooling and HLLW Transfer, then Failure of Secondary Circuits	2.50×10^{-7} /a	14.5 h

Table 5.2 Summary of Results for Accident Scenarios (Continued)

Scenario	Failure Frequency	MTR
(6) Unavailable Buffer Tank due to Repair, then failures of Reserve Tank Passive and Primary Cooling Circuits	1.01×10^{-7} /a	10.1 h
(7) Unavailable Buffer Tank due to Repair, then failures of Reserve Tank Passive and Secondary Cooling Circuits	6.31×10^{-8} /a	9.5 h
(8) Reserve Tank Occupied by Another Buffer Tank Failure of Primary Circuits, then Losses of Primary and Passive Cooling	6.26×10^{-11} /a	8.4 h
(9) Reserve Tank Occupied by Another Buffer Tank Loss of Passive Cooling, then Losses of Primary and Passive Cooling	1.96×10^{-10} /a	17.3 h
(10) Reserve Tank Occupied due to Unavailable Another Buffer Tank then Losses of Primary and Passive Cooling	1.40×10^{-9} /a	17.2 h

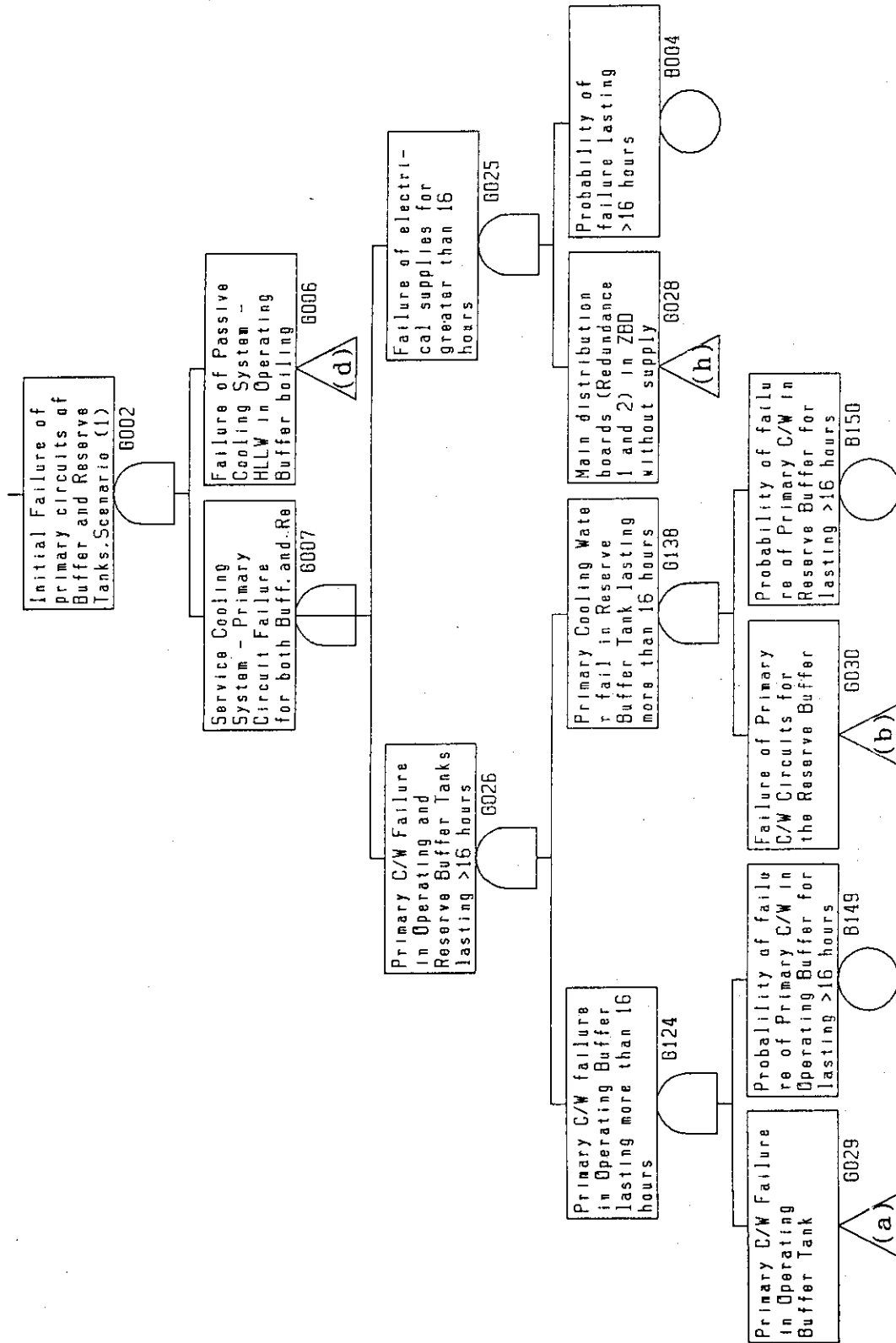


Fig. 5.3 Initial Failure of Primary Circuit of B and R

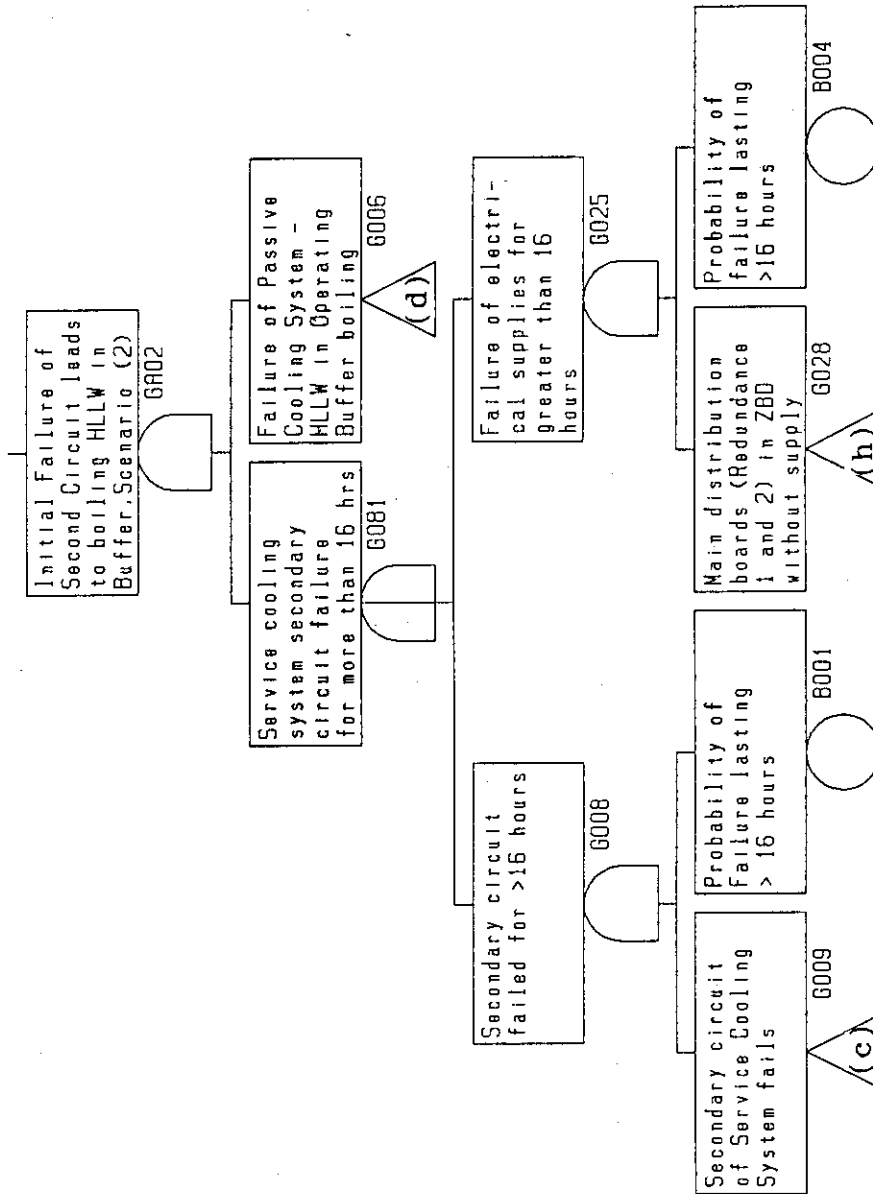


Fig. 5.4 Initial Failure of Secondary with Loss of Passive

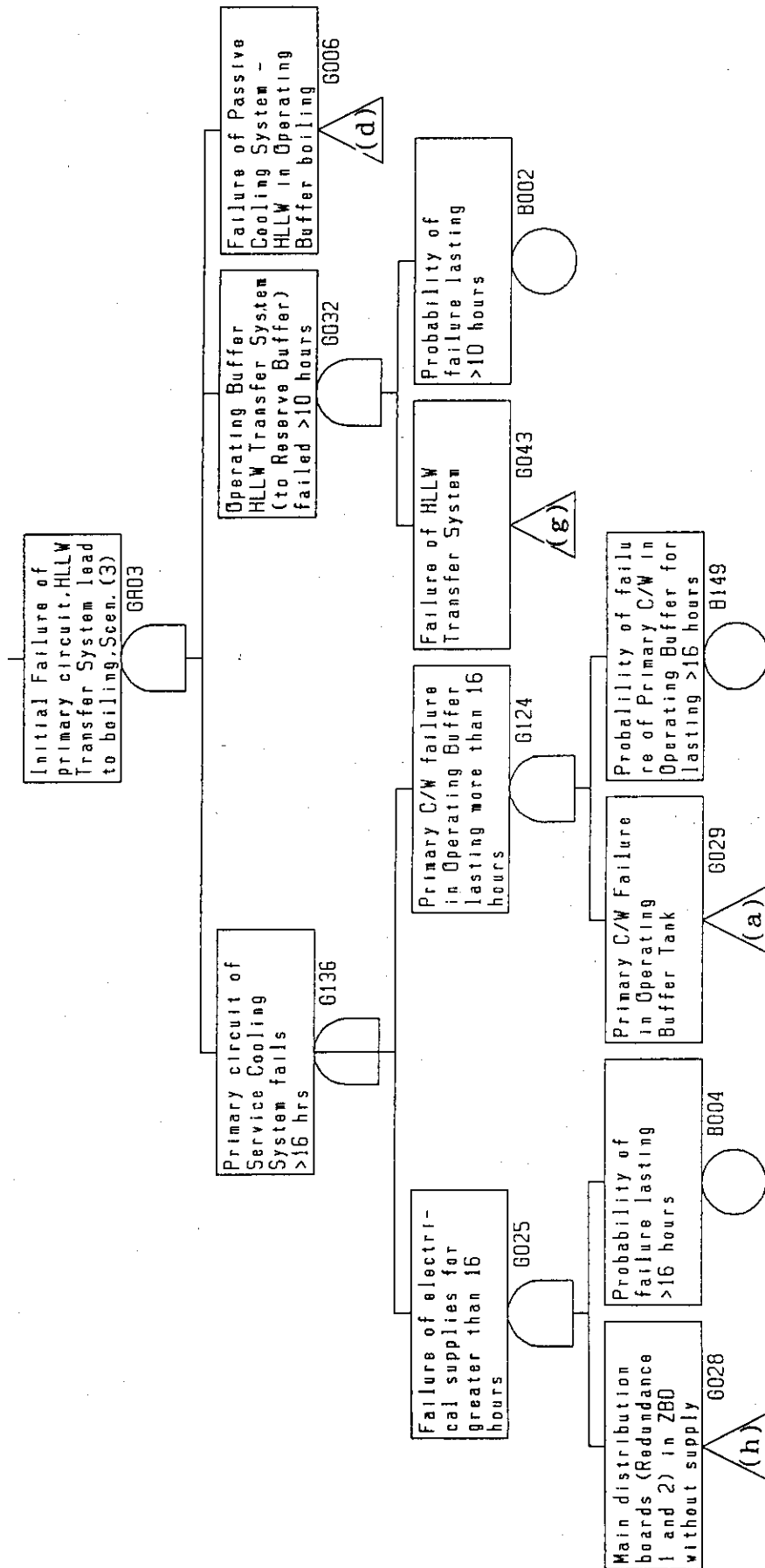


Fig. 5.5 Initial Failure of Primary Circuit then Transfer

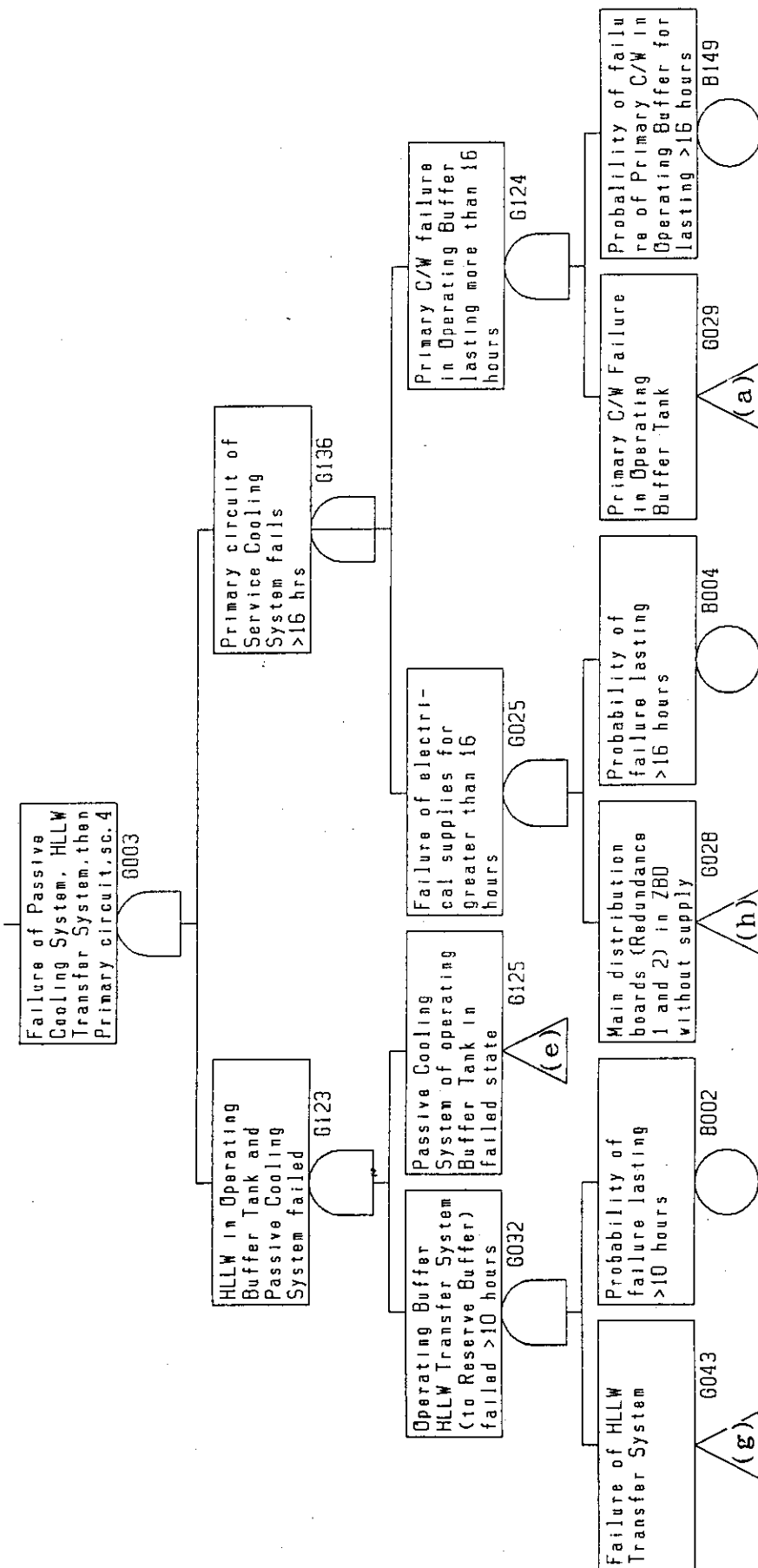


Fig. 5.6 Initial Failure of Passive Cooler then Transfer

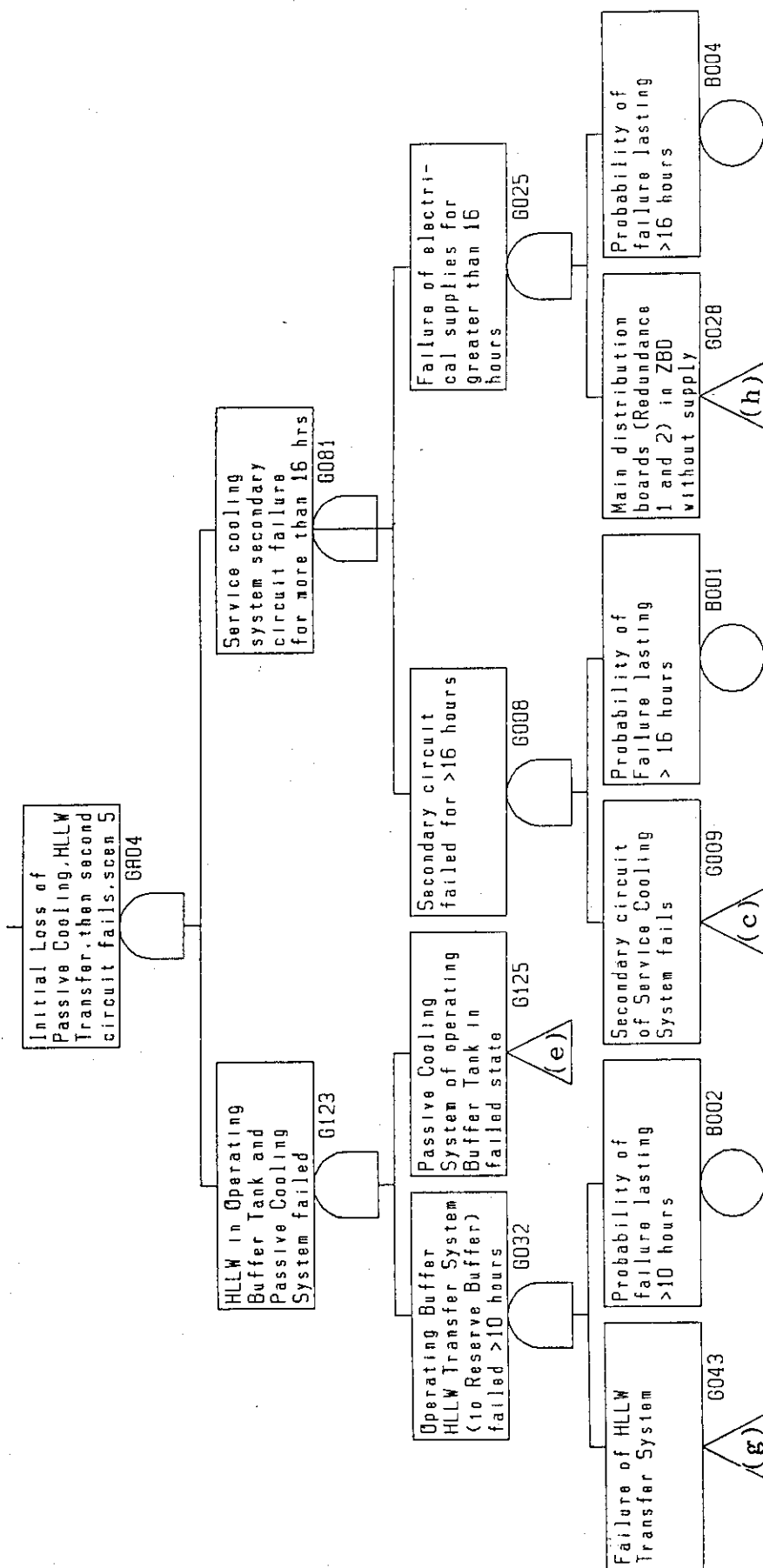


Fig. 5.7 Initial Failure of Passive and Transfer then Sec

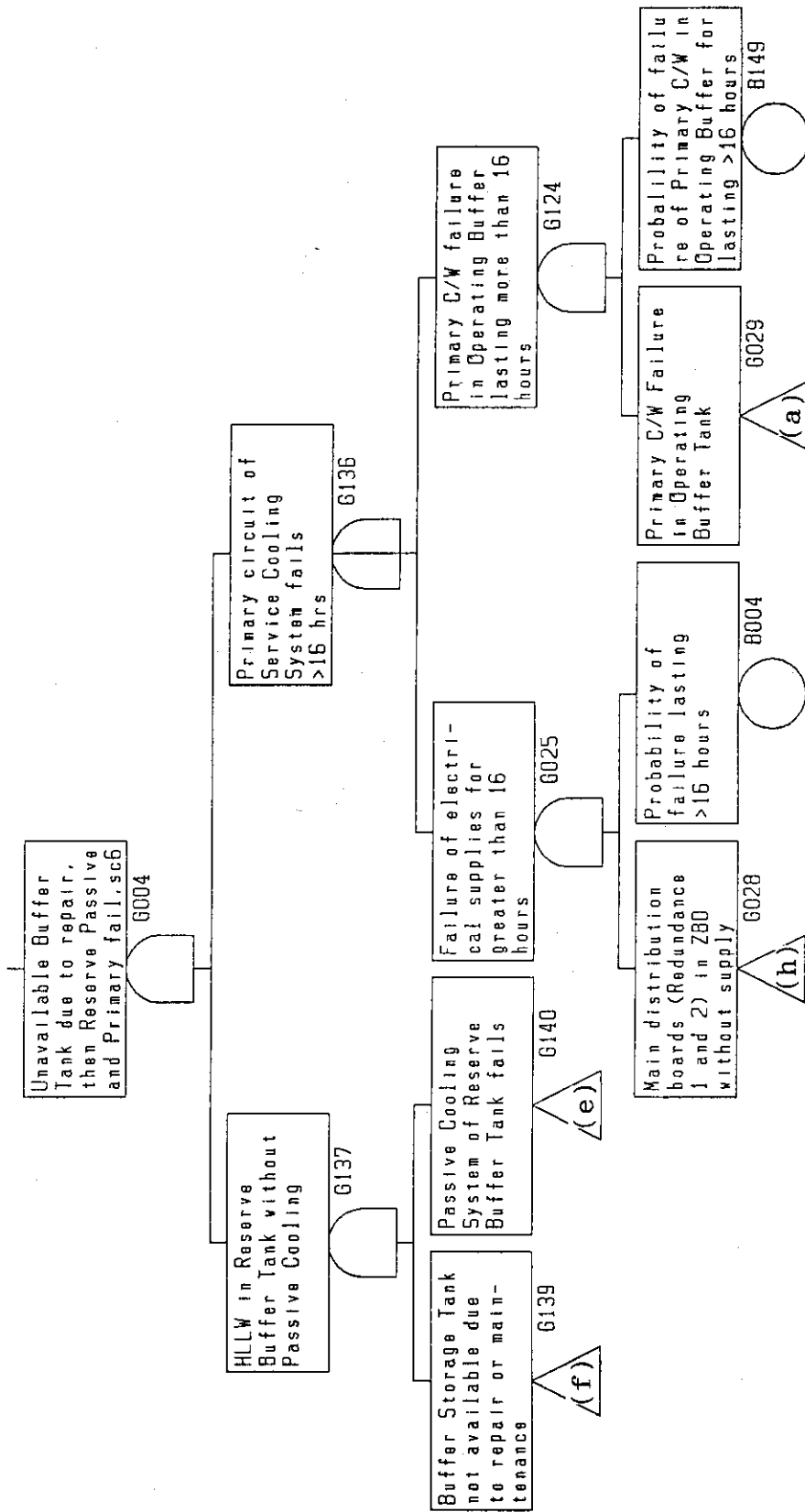


Fig. 5.8 Unavailable B Tank with R Primary C/W Failure

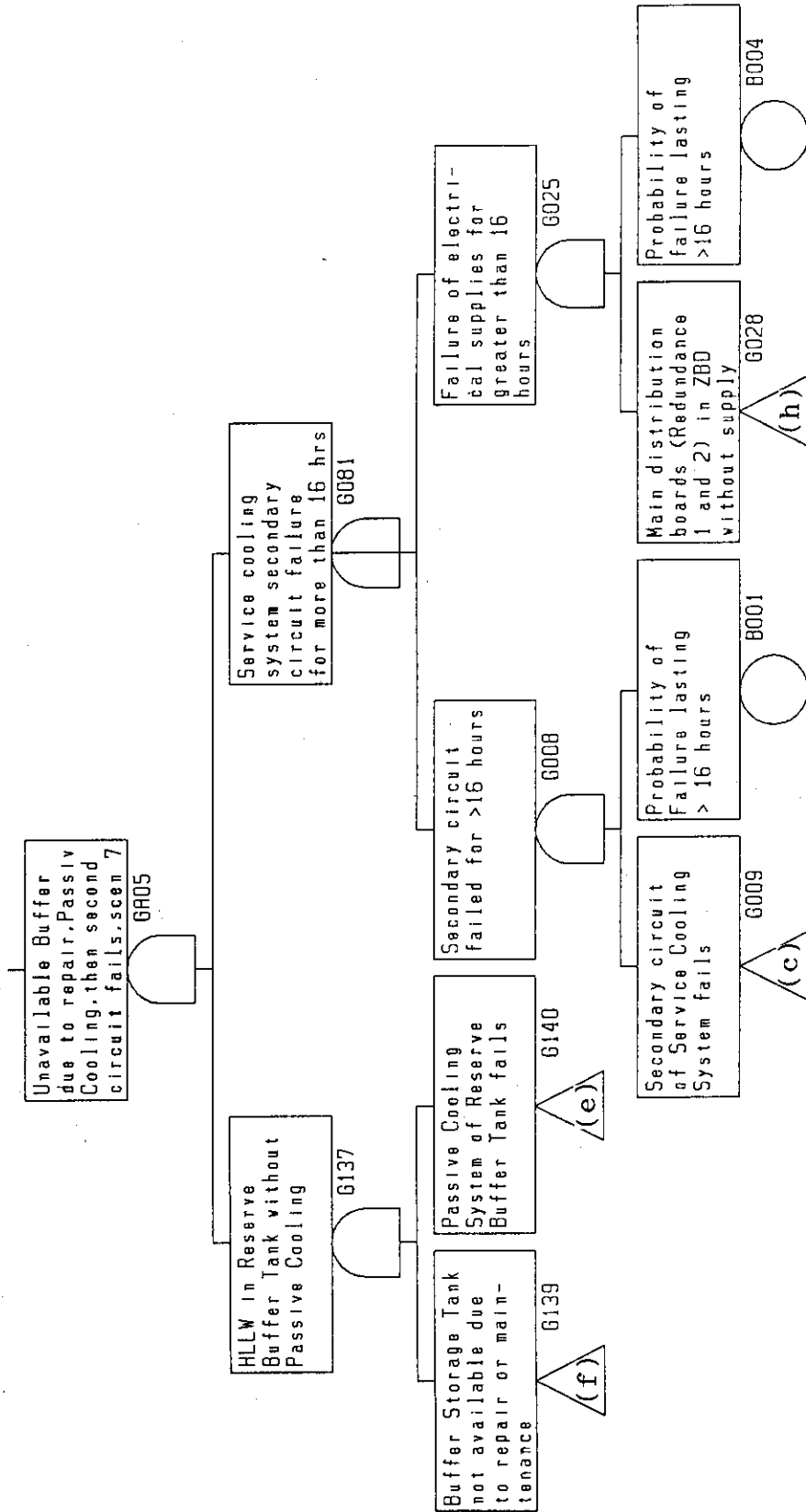


Fig. 5.9 Unavailable Buffer without Passive then Secondary

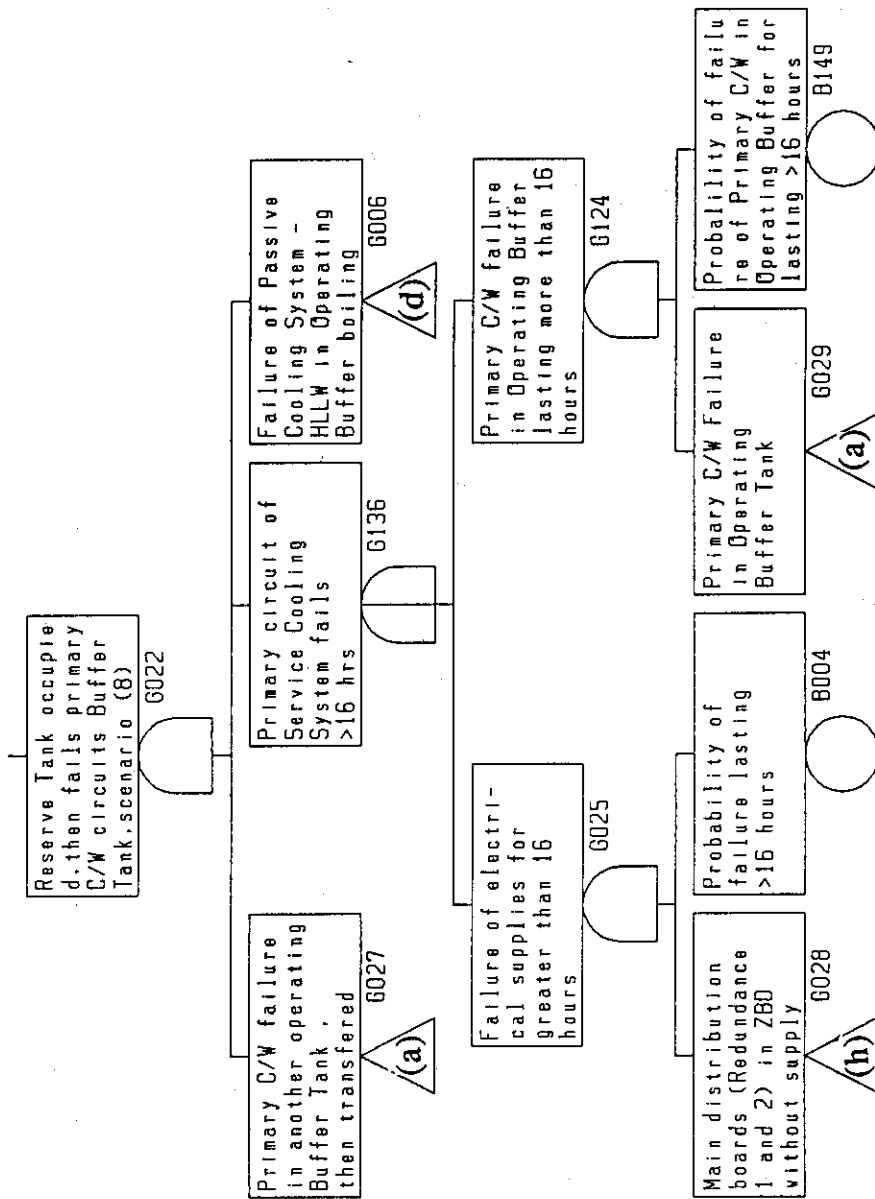


Fig. 5.10 Reserve Tank occupied by another Buffer, Scen 8

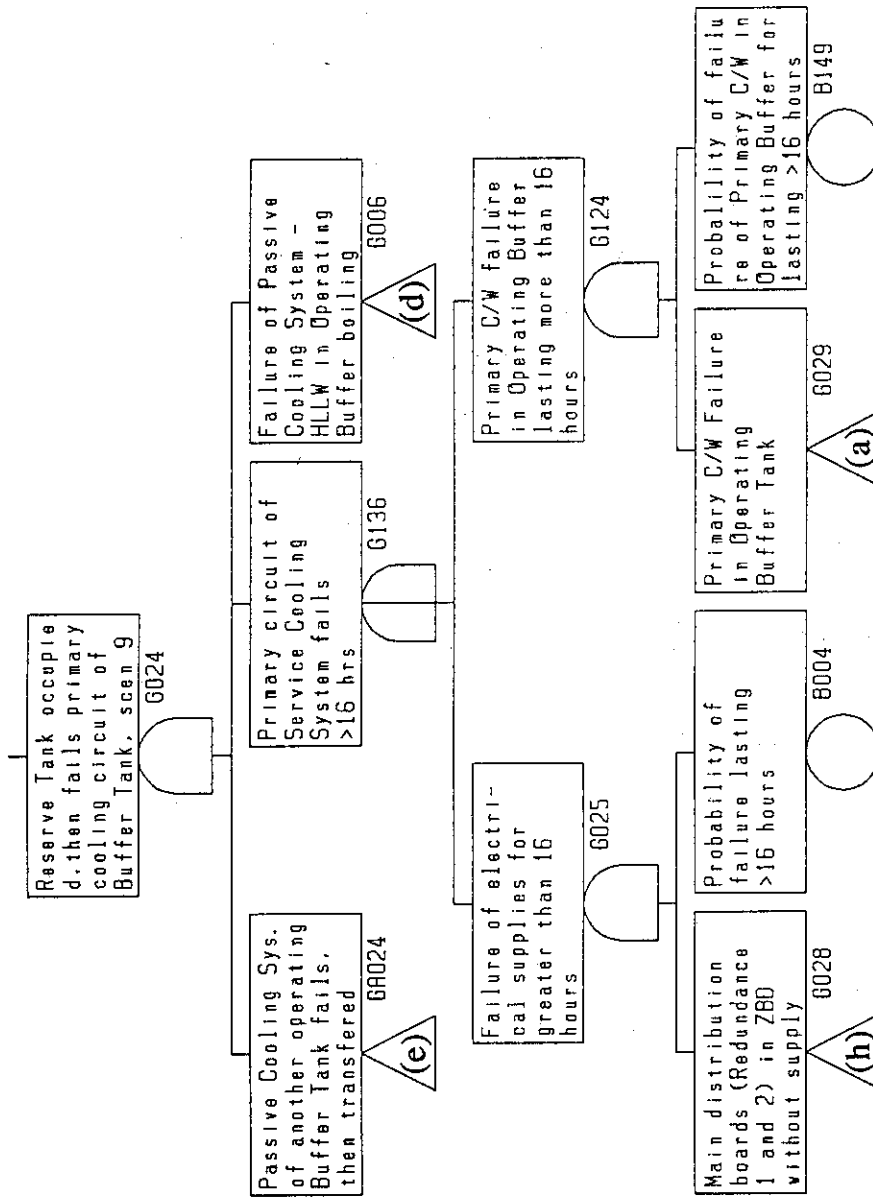


Fig. 5.11 Reserve Tank occupied by another Buffer, Scen 9

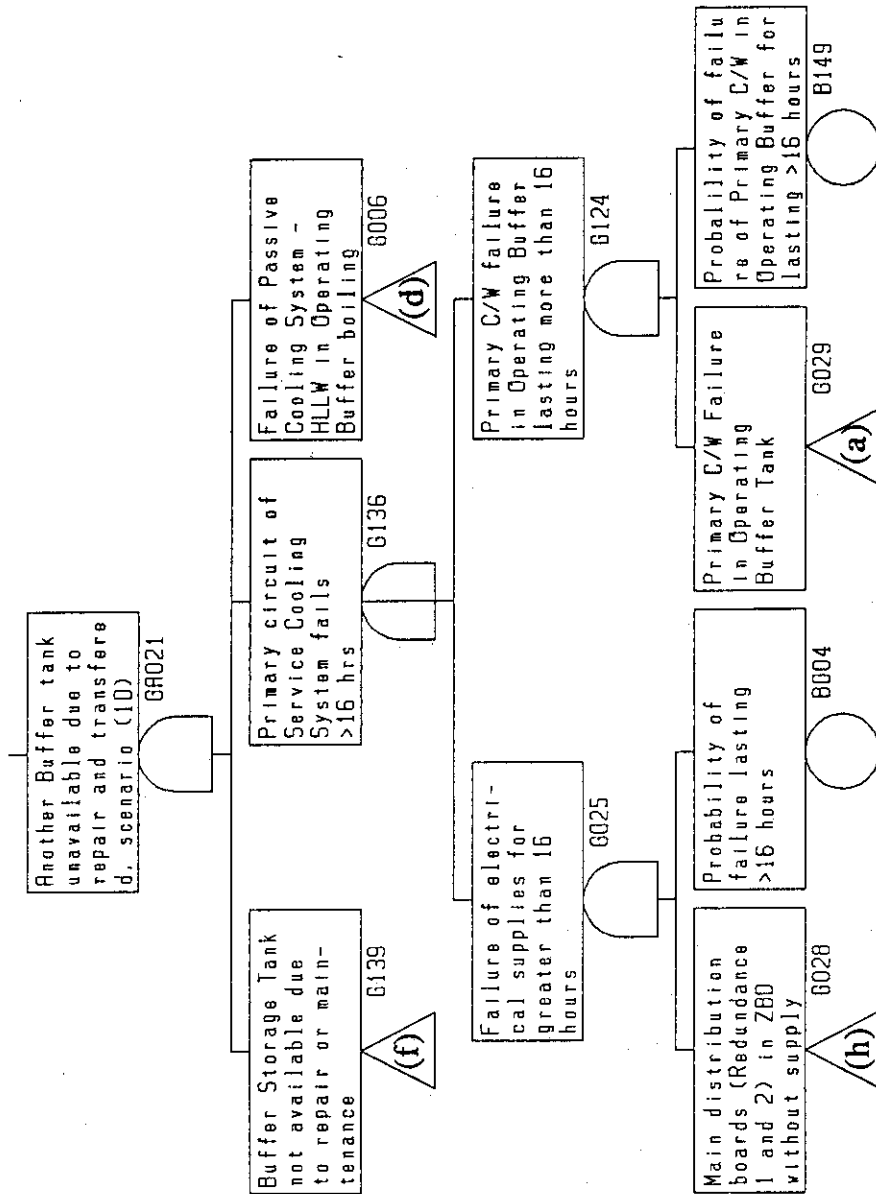


Fig. 5.12 Reserve Tank occupied by another Buffer, Scen 10

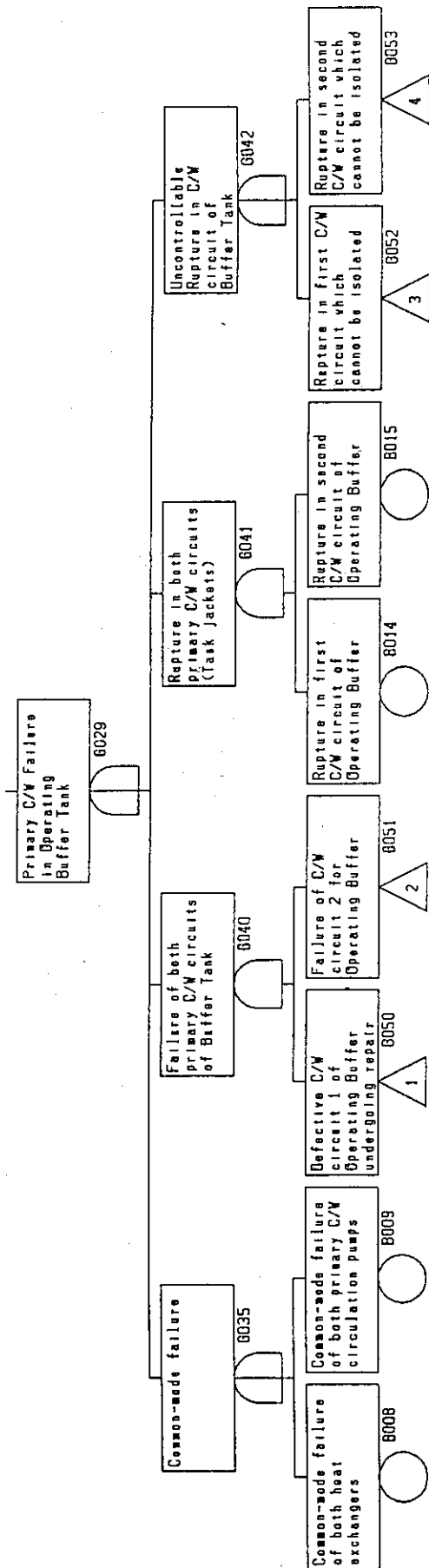


Fig. 5.13 Failure of Primary C/W Circuits of Buffer Tank

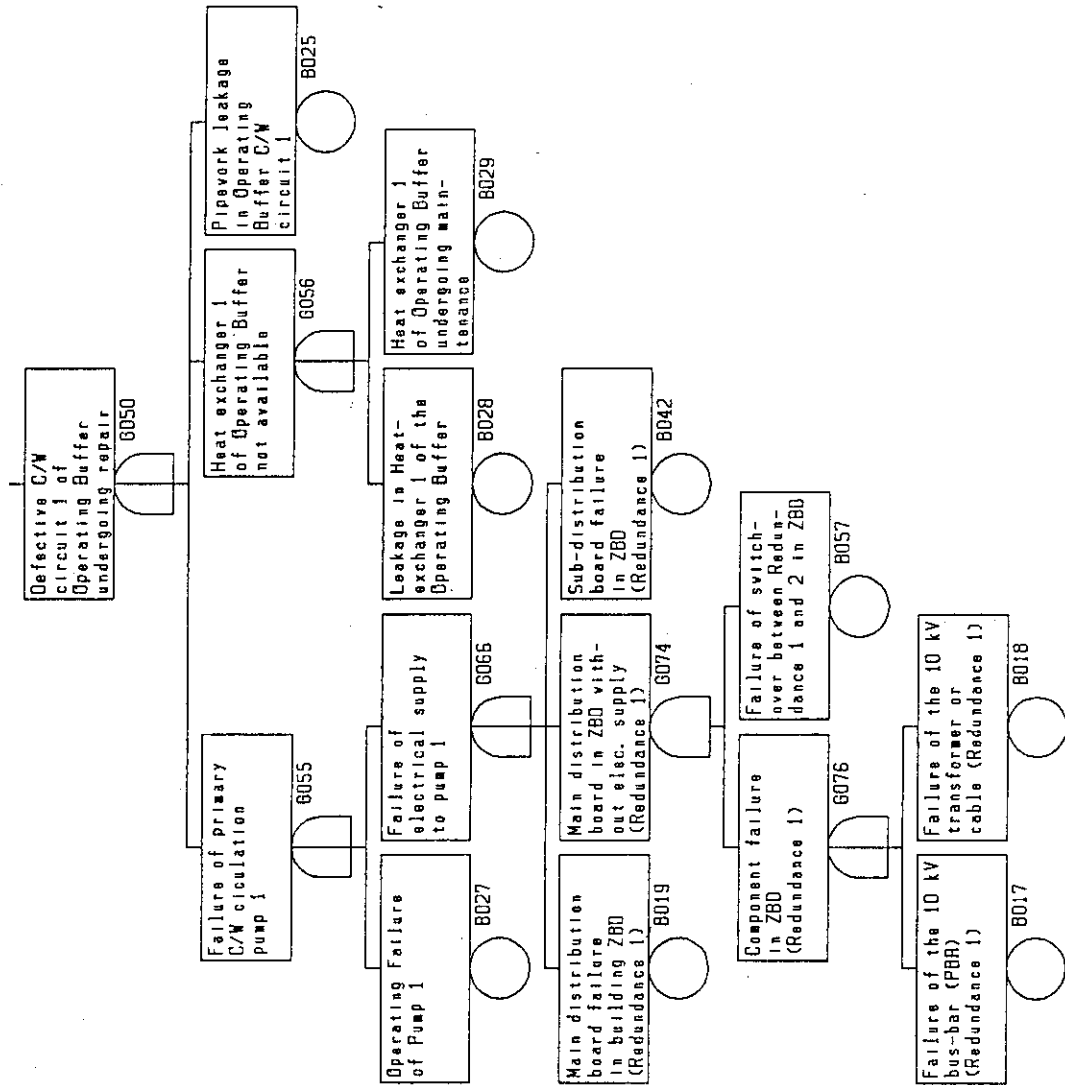


Fig. 5.14 Defective C/W Circuit 1 of Buffer Tank to Repair

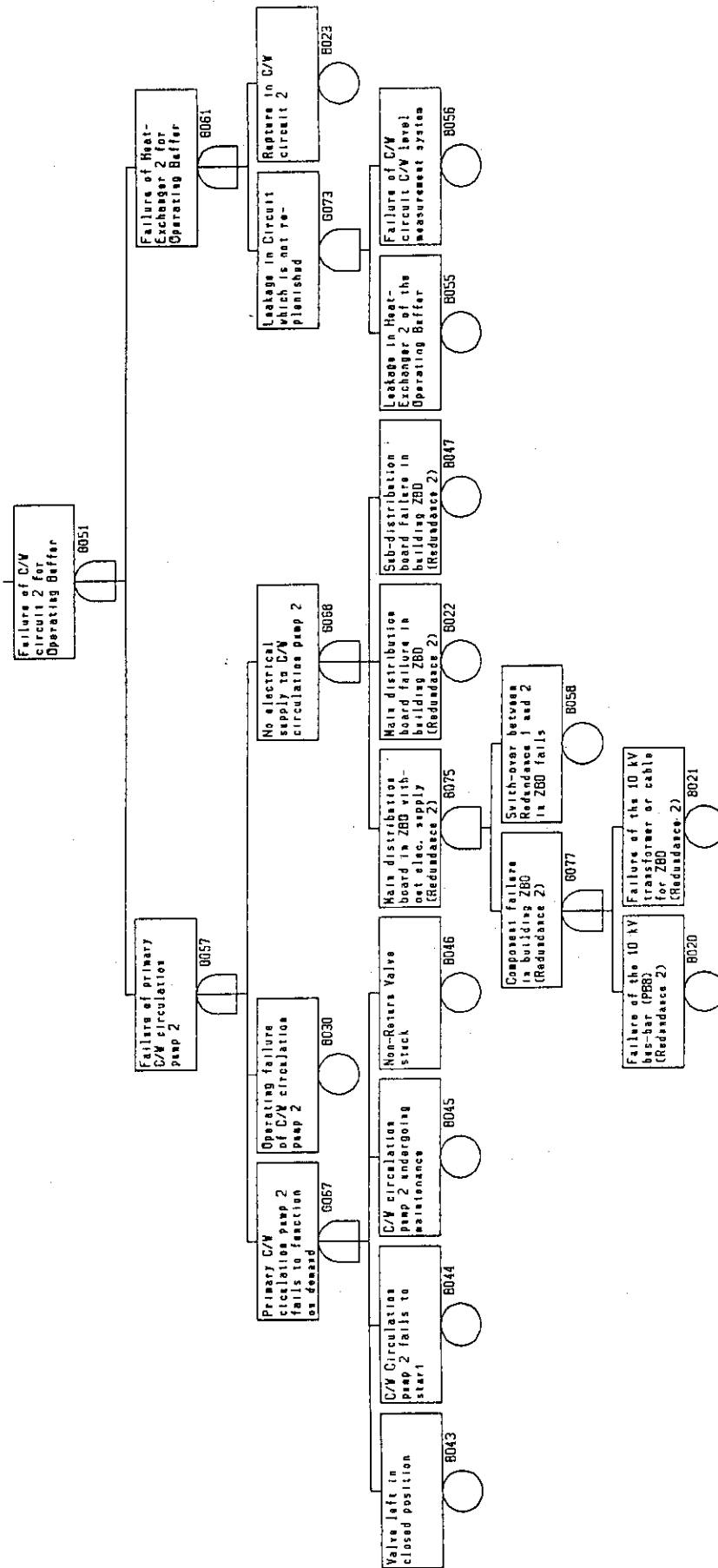


Fig. 5.15 Failure of C/W Circuit 2 of Operating Buffer

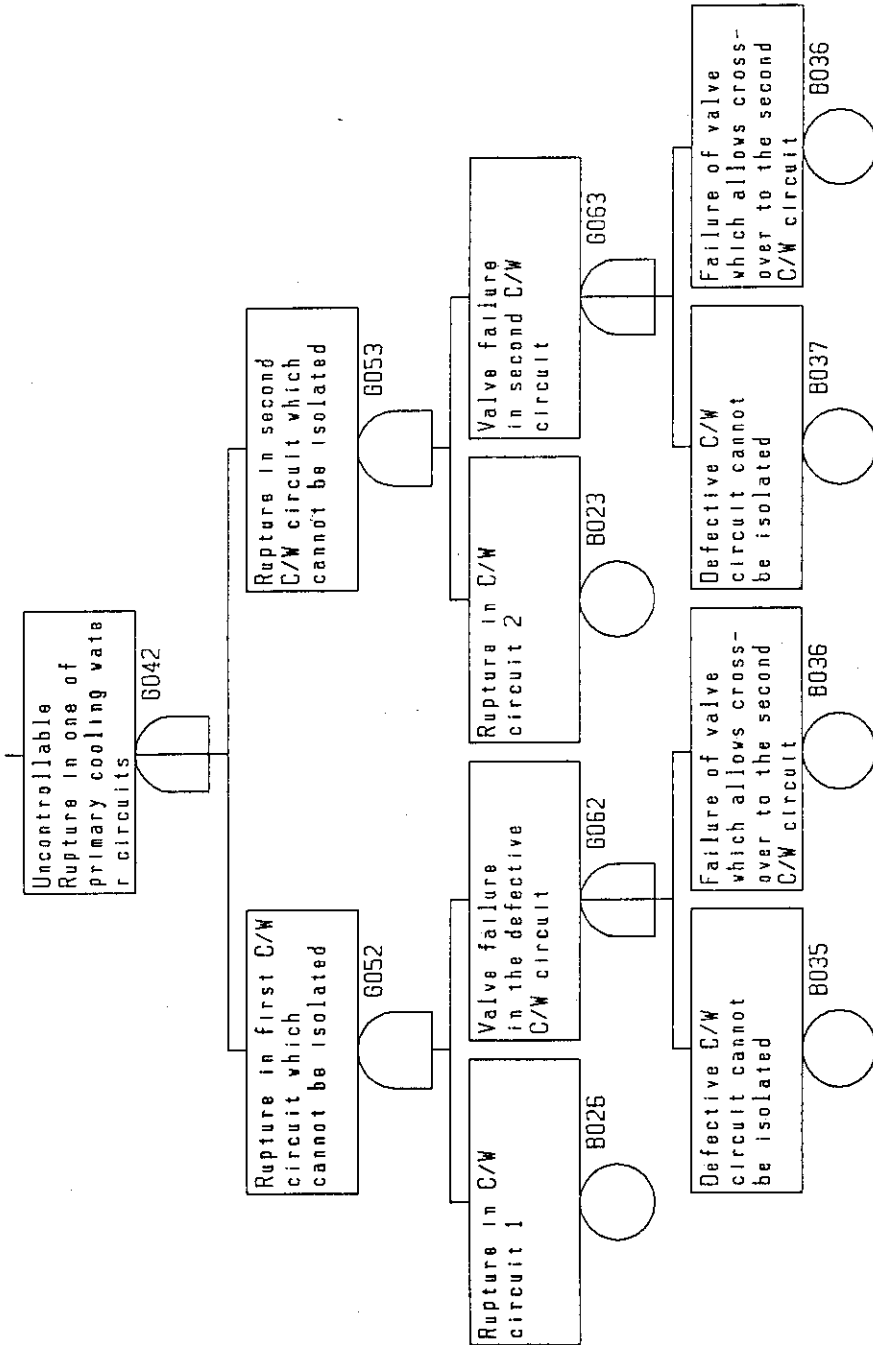


Fig. 5.16 Uncontrollable Rupture in One of C/W Circuits

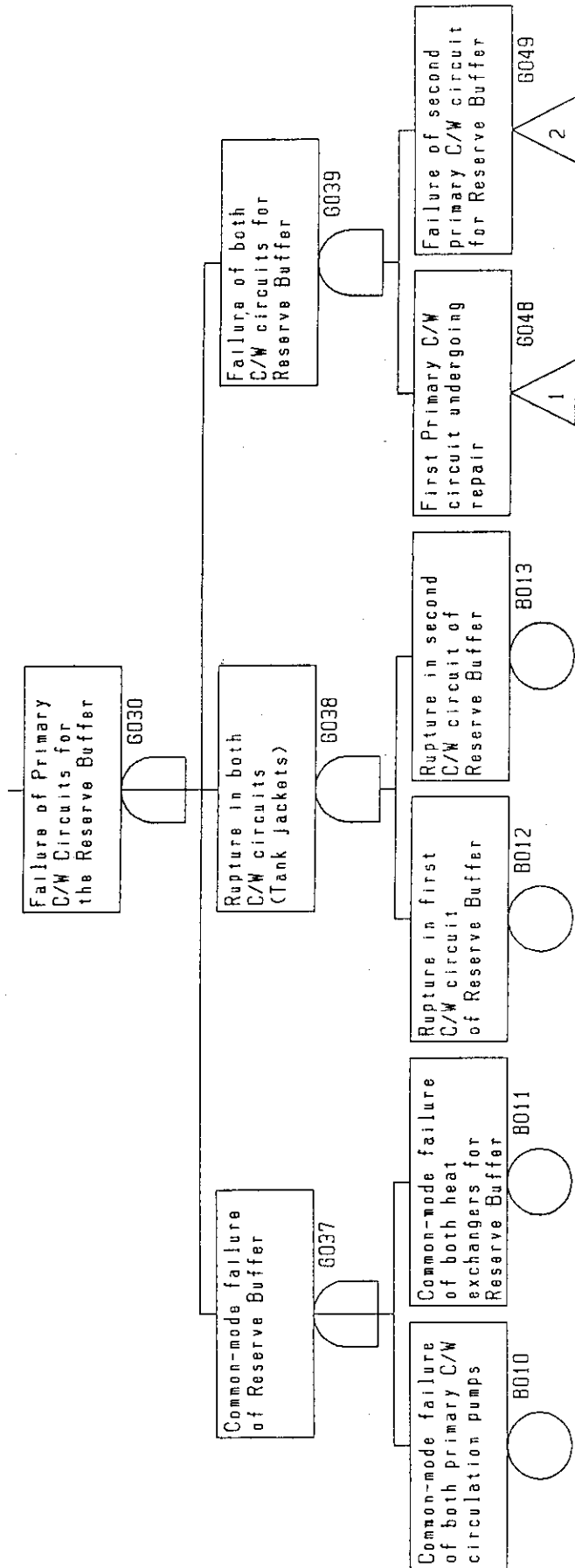


Fig. 5.17 Failure of Primary C/W Circuits for Reserve Tank

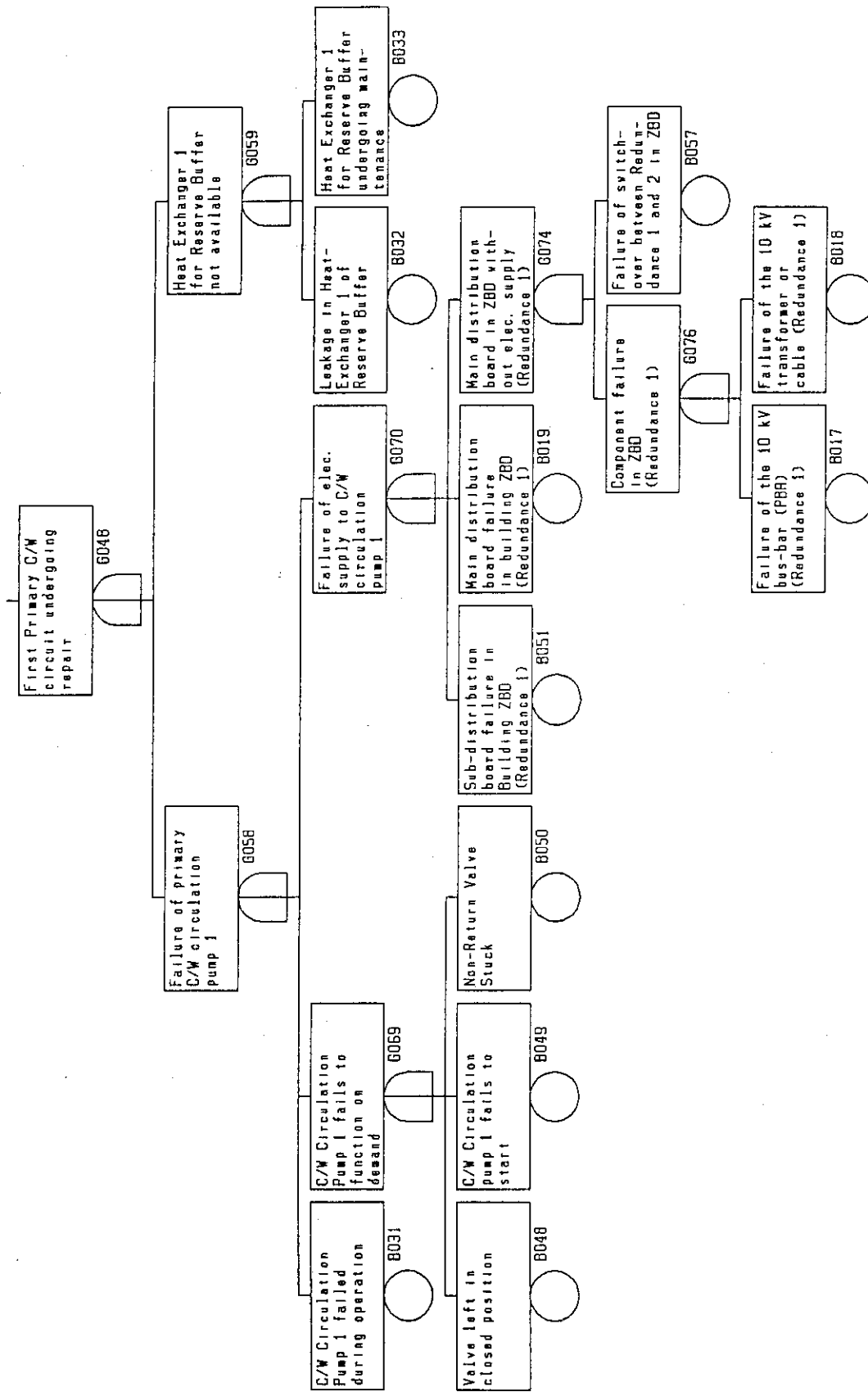


Fig. 5.18 First Primary C/W Circuit Undergoing Repair

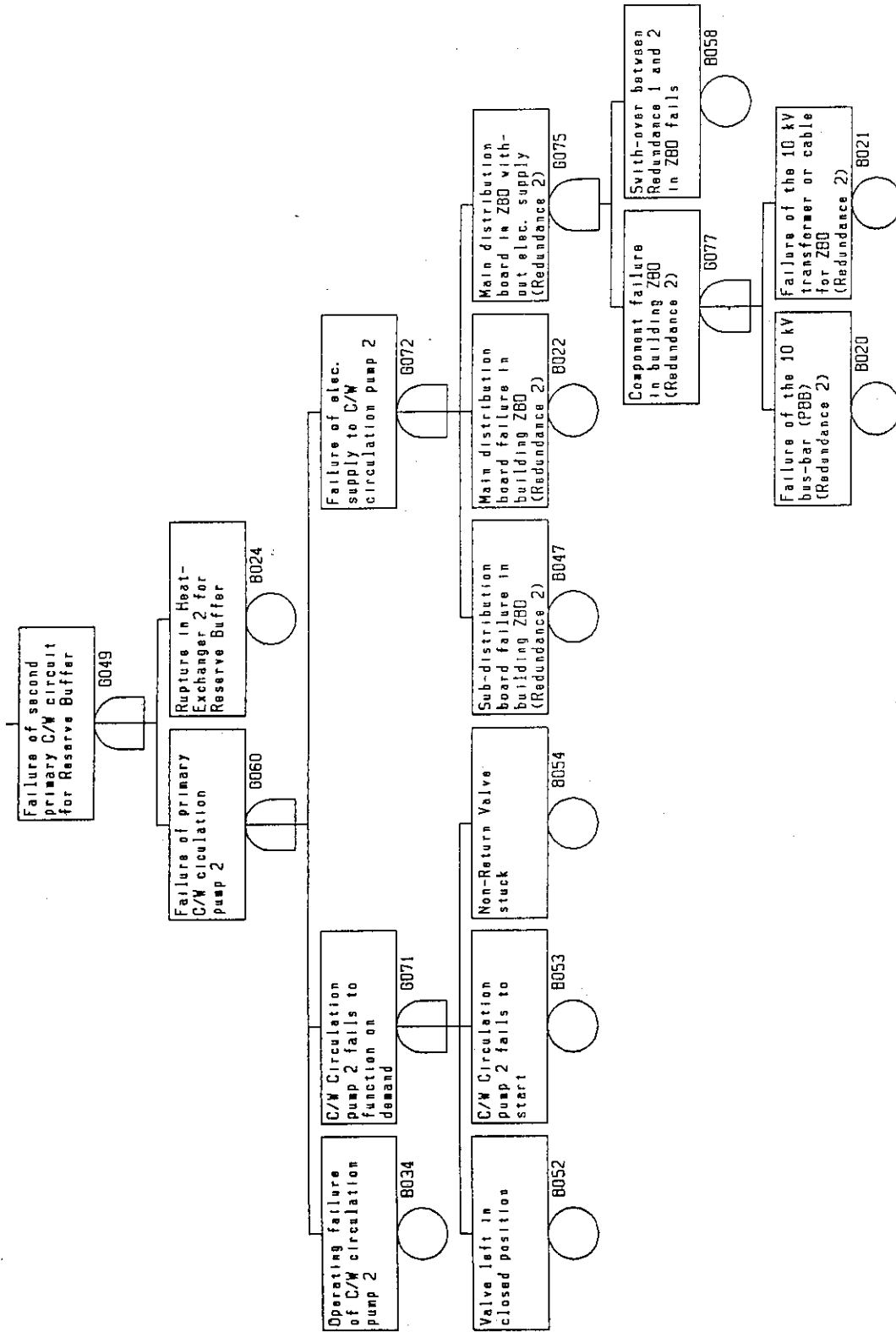


Fig. 5.19 Failure of Second Primary C/W Circuit for R Tank

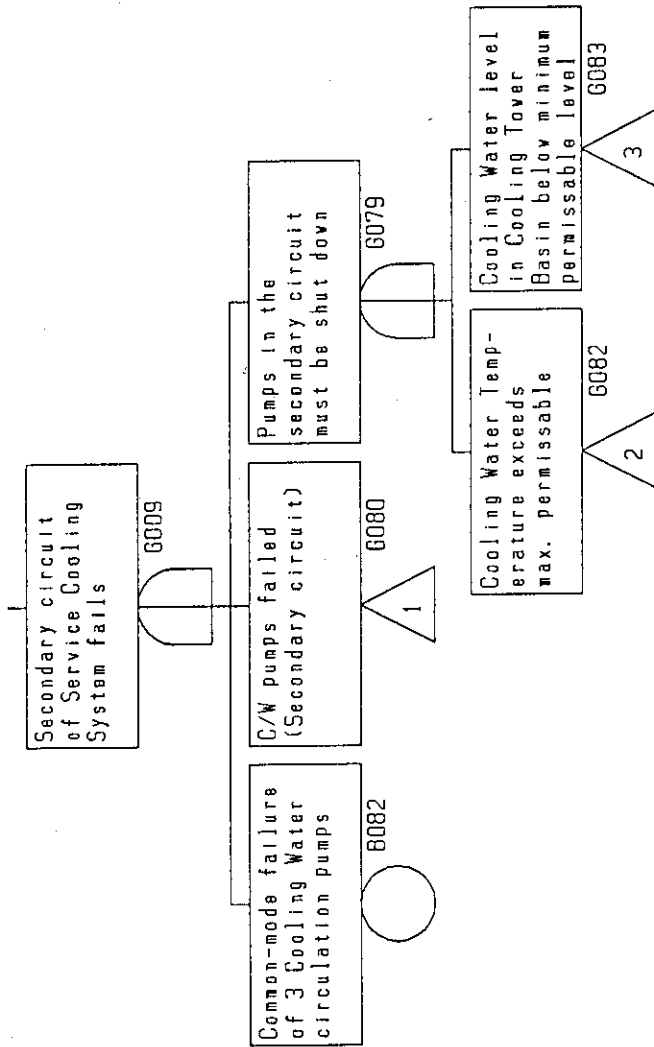


Fig. 5.20 Failure of Secondary Circuit of Service Cooling

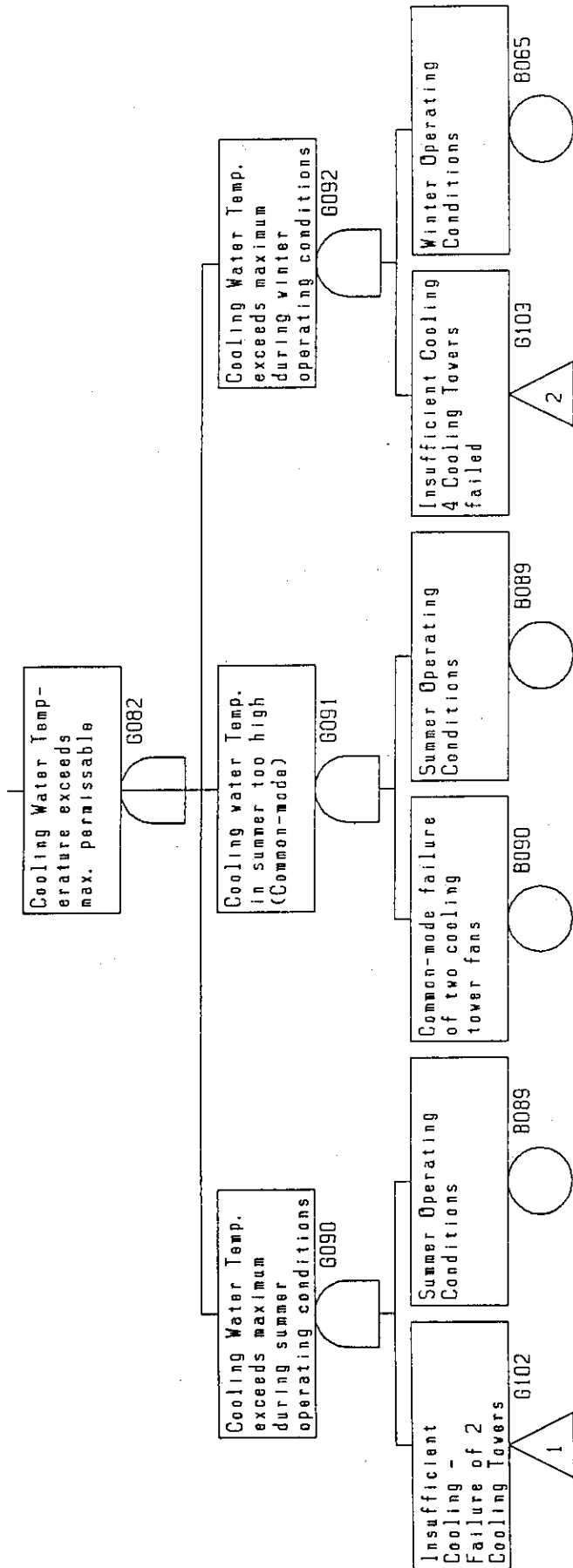


Fig. 5.21 Cooling Water Temperature Exceeds Max. Permissible.

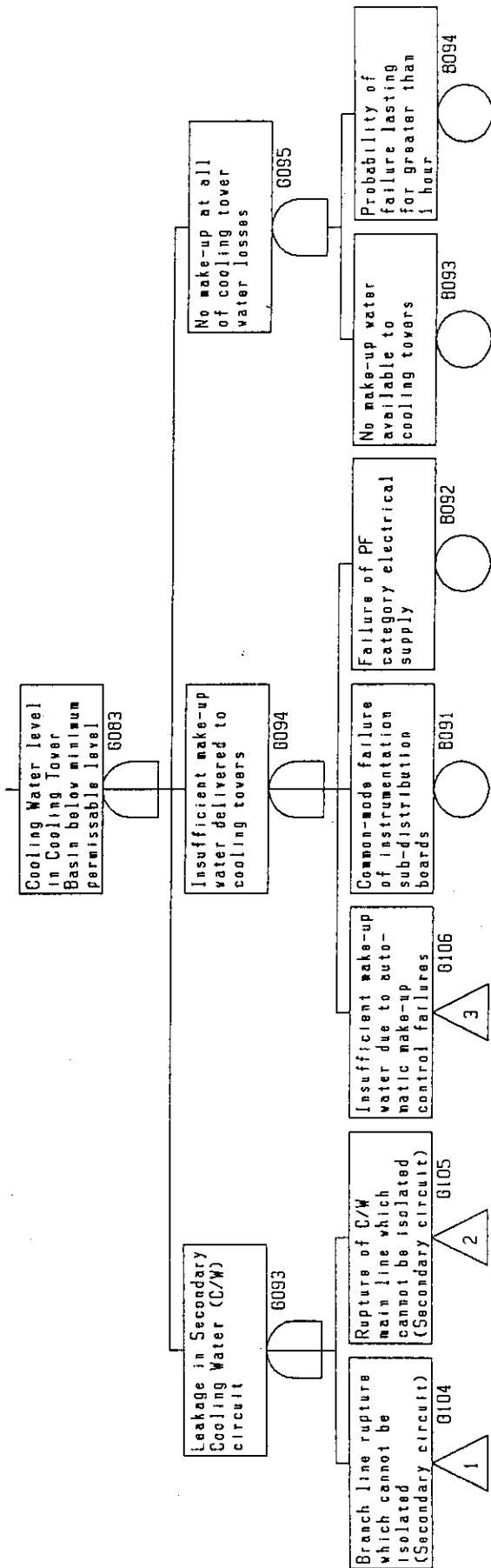


Fig. 5.22 C/W Level in Cooling Tower Basin Below Minimum

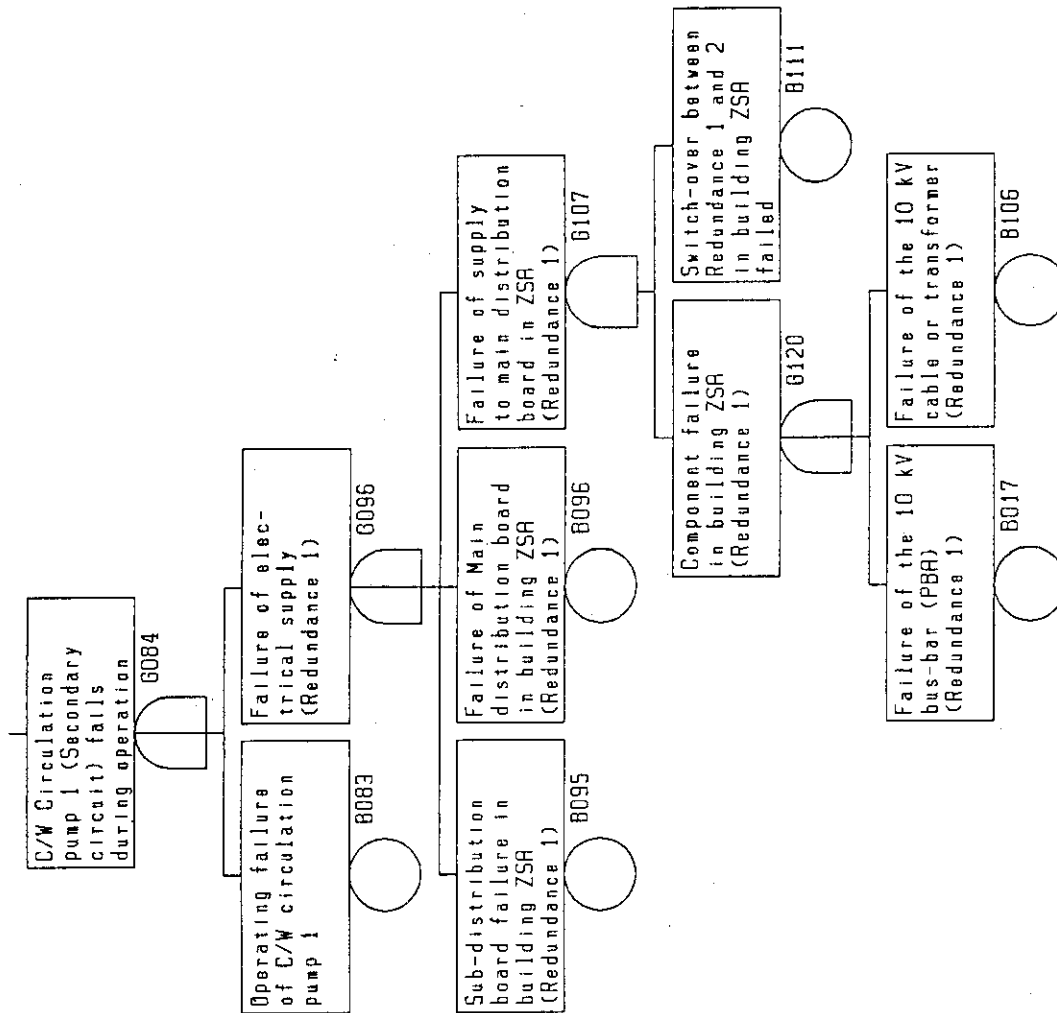


Fig. 5.23 C/W Circulation Pump 1 (Secondary) Fails

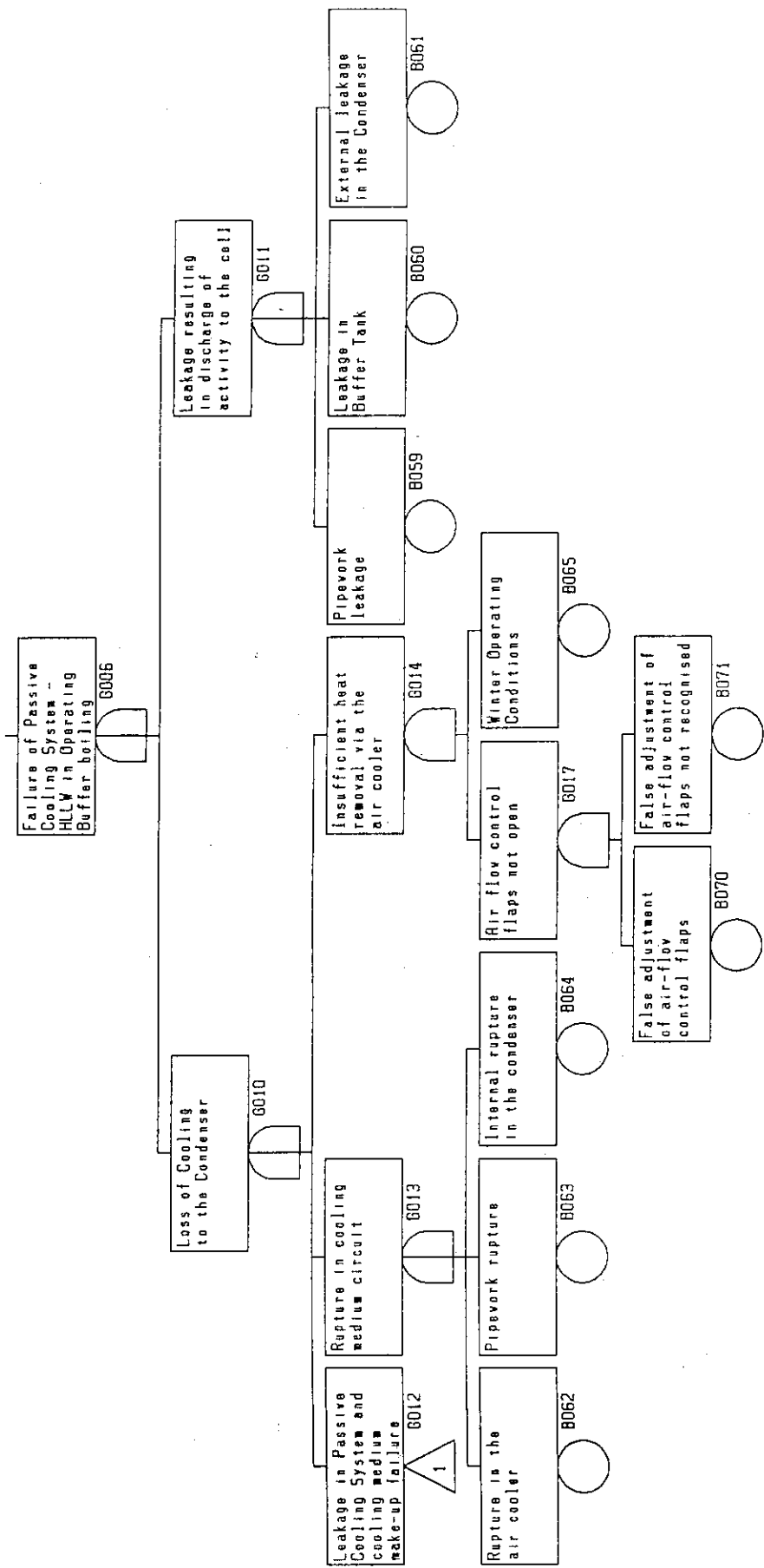


Fig. 5.25 Failure of Passive Cooling in Operating Buffer

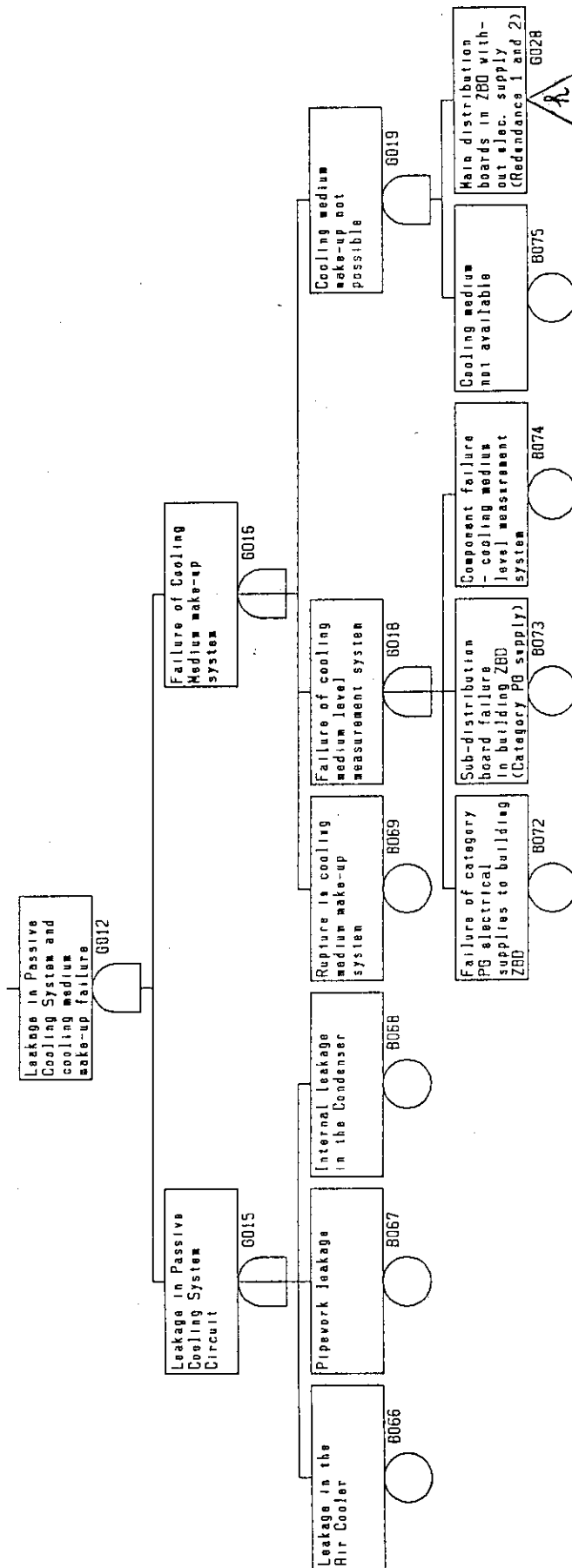


Fig. 5.26 Leakage in Passive Cooling and Makeup Failure

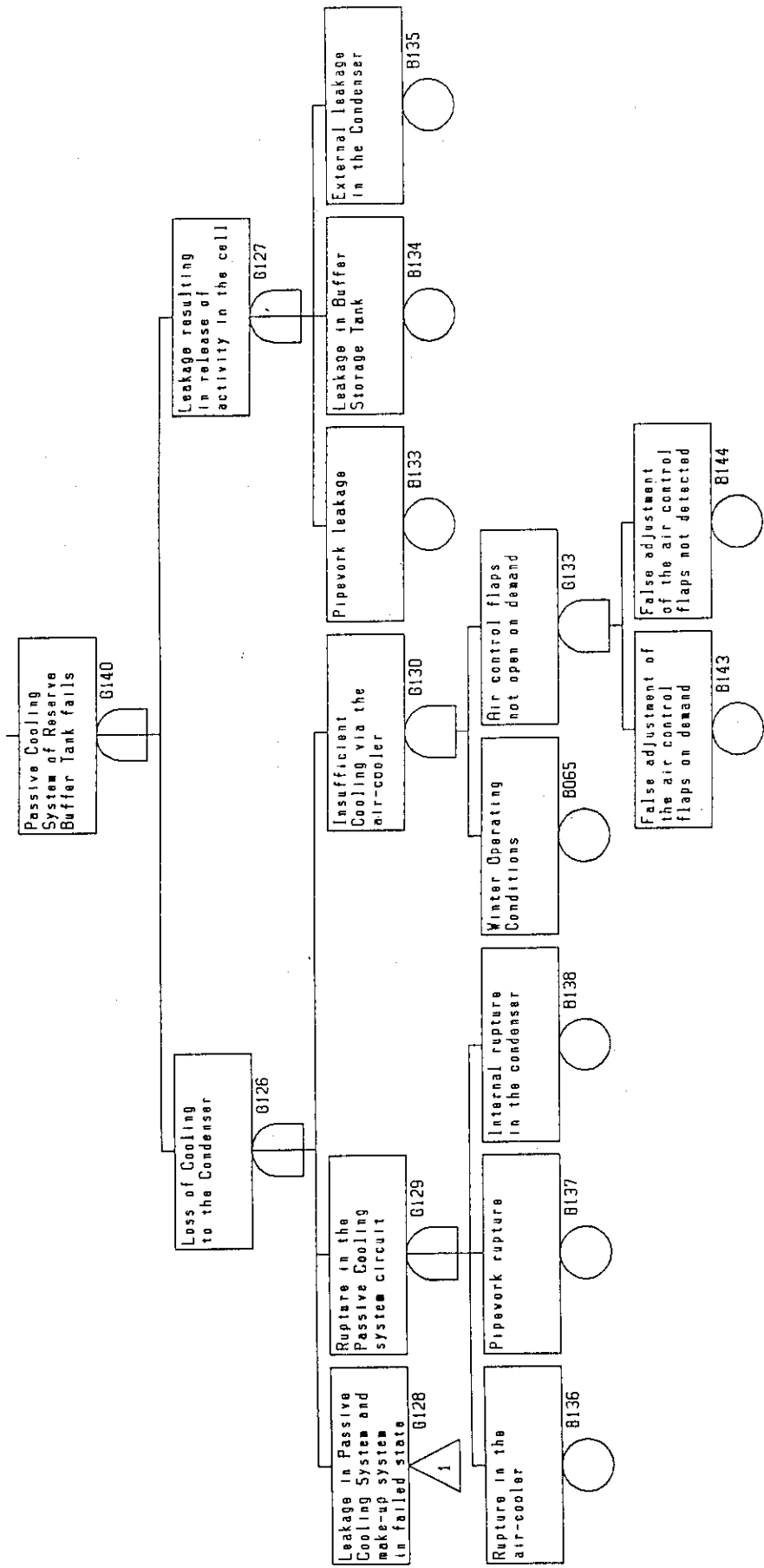


Fig. 5.27 Failure of Passive Cooling of Reserve Buffer Tank

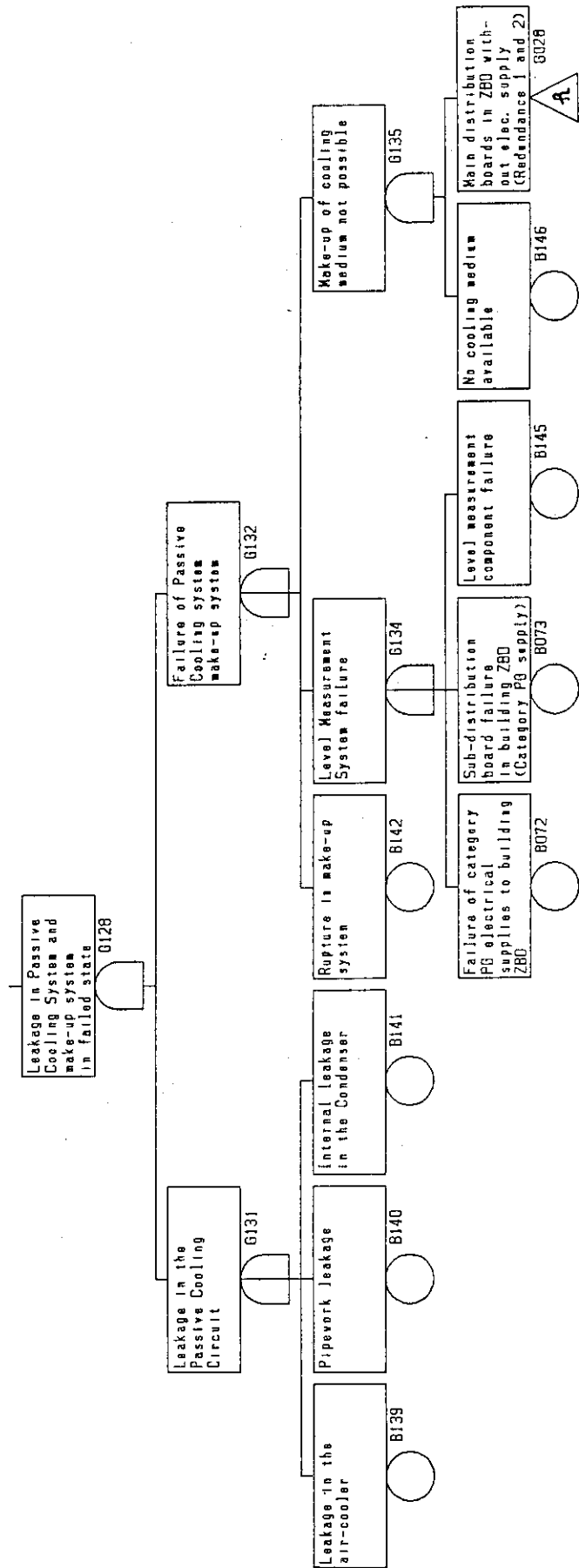


Fig. 5.28 Leakage in Passive Cooling and Makeup Fails

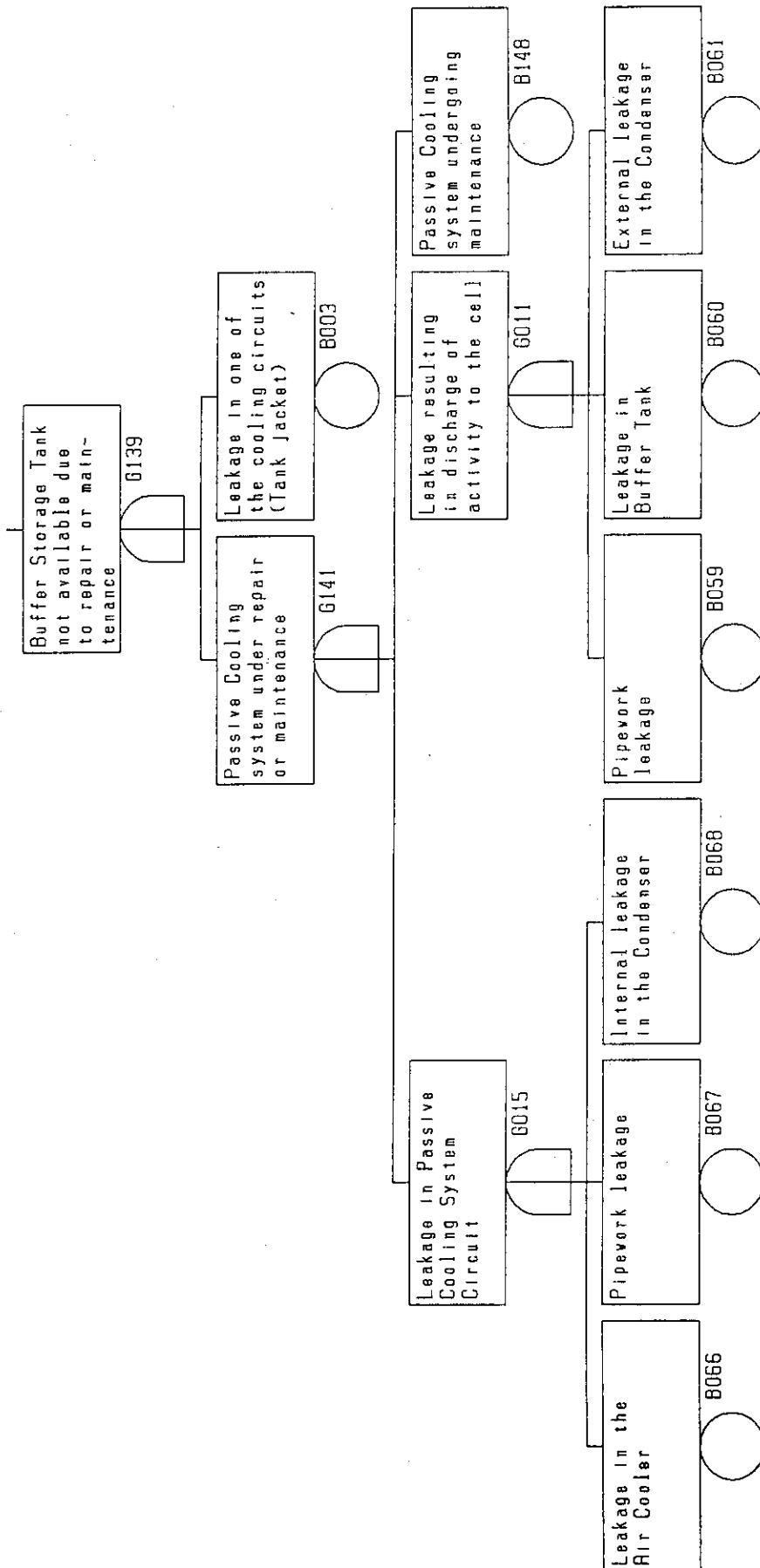


Fig. 5.29 Buffer Storage Tank not Available due to Repair

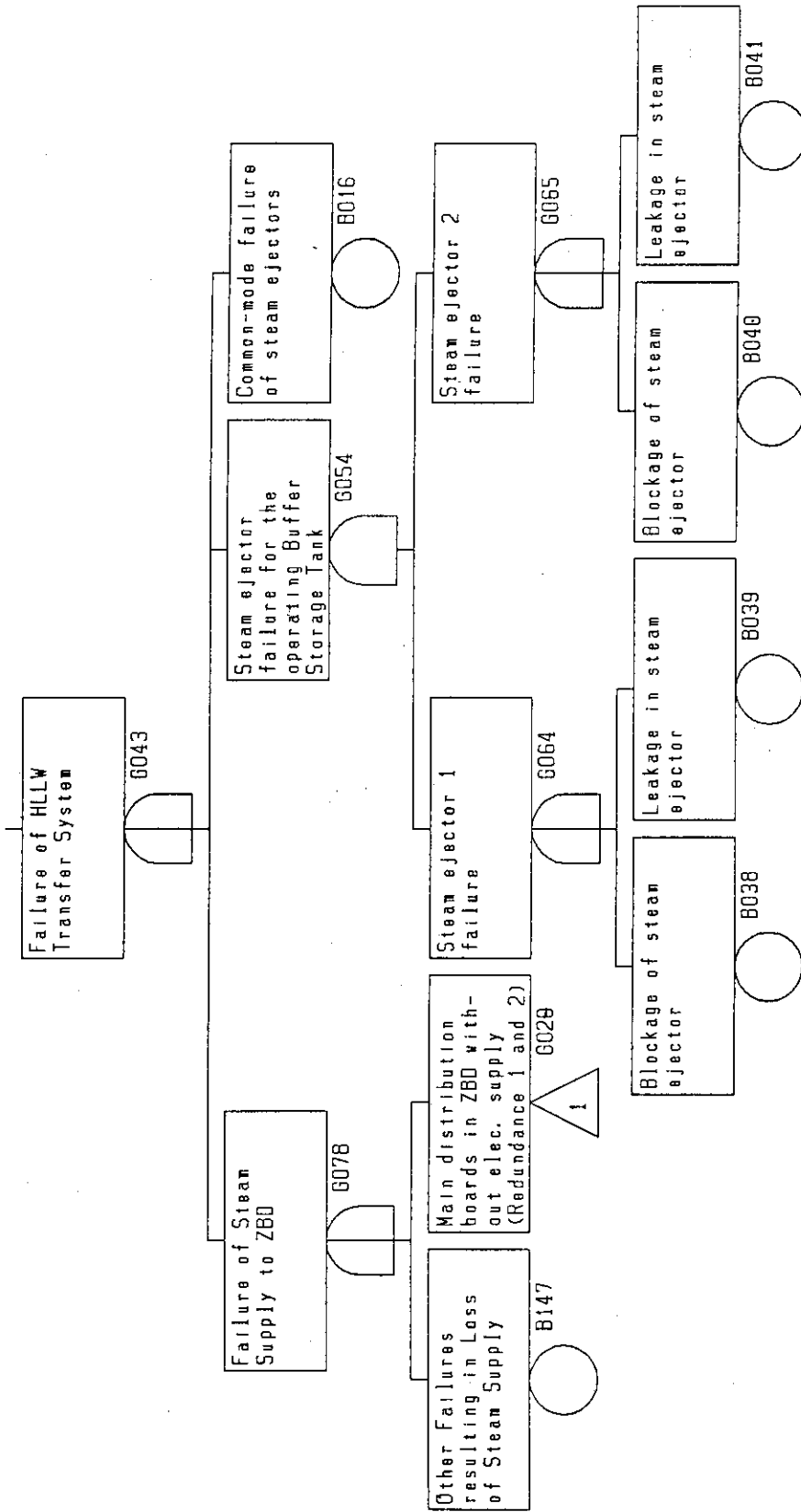


Fig. 5.30 Failure of HLLW Transfer System

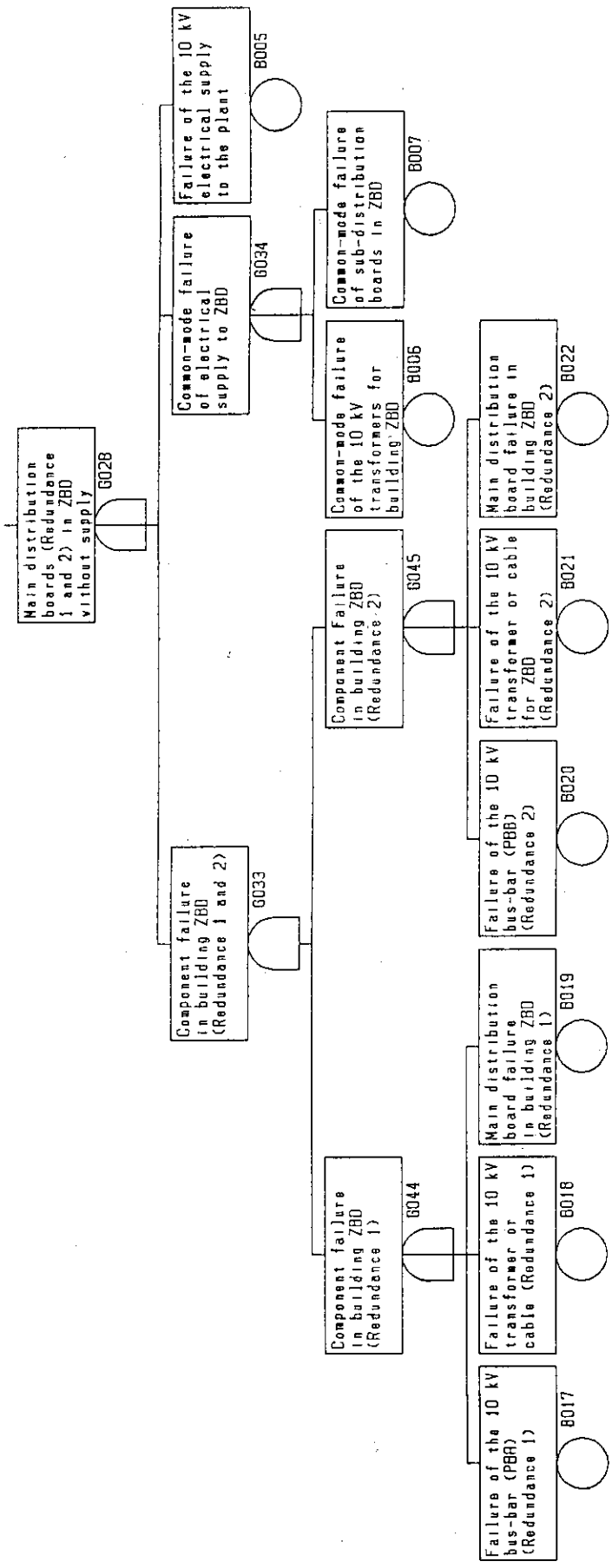


Fig. 5.31 Main Distribution Boards <Redun 1&2> in ZBO Fail

6. オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析

6.1 事故シナリオの想定

頂上事象として、「オフガス系DF低下事故」をとりフォールトツリーを構築するに際し、事故シナリオの種類としては次の4項目を考える。

- (1) NO_xスクラバの故障
- (2) コンデンサの故障
- (3) オフガス加熱器の故障
- (4) HEPAフィルタの故障

上記の4項目のそれぞれがオフガス系DFの低下に繋がる事故となる(Fig. 6.1 参照)。

6.2 フォールトツリーの構造

- (1) NO_xスクラバの故障

配管の破断によりNO_xスクラバの機能停止となることが考えられる。または、洗浄水の放射能増大あるいは水量の減少によってもスクラバの運転が停止となる。この原因としては、水位測定系の故障、洗浄水供給の喪失または水位制御弁の故障が考えられる(Fig. 6.2 参照)。

- (2) コンデンサの故障

オフガス系コンデンサの故障としては、冷却器自体の故障と予備用冷却器への切換え失敗が重なって生起することが考えられる。冷却器自体の故障には、配管漏洩、冷却水供給系の故障、冷却器本体からの漏洩が考えられ、フォールトツリー構築においてはこれらは基本事象として与えられる。予備用冷却器への切換え失敗には、入口ダンパの故障、出口ダンパの故障、運転員誤操作、温度測定系の故障のいずれかが考えられ、これらは基本事象として与えられる。(Fig. 6.3 参照)。

- (3) オフガス加熱器の故障

これには加熱器からの漏洩または加熱水供給系の故障が考えられ、いずれの事象にも予備用加熱器への切換え失敗が重なることによってオフガス加熱器の故障に繋がる(Fig. 6.4 参照)。ただし、加熱水供給系故障の場合の予備用加熱器への切換え失敗には、切換え弁V1及びV2の切換えミス、入口ダンパの故障、出口ダンパの故障、温度測定系の故障のいずれかによるのに対し、加熱器からの漏洩の場合の予備用加熱器への切換え失敗には、上記の他に漏洩を起こした加熱器ラインの隔離弁V3またはV4の締め忘れが加わる。

- (4) HEPAフィルタの故障

これは、基本事象として与えるフィルタ自体の故障と、予備用フィルバンクへの切換え失敗が

重なることによって生起する。この切換え失敗の事象としては、予備用のフィルタ準備不足、入口ダンパ切換えミス、フィルタ差圧測定系の故障、運転員誤操作、出口ダンパの故障のいずれかが考えられ、これらは基本事象として与えられる(Fig. 6.5 参照)。

6.3 フォールトツリー解析とその結果による考察

前節で述べたフォールトツリーをFTLコードにより解析する。フォールトツリーをFTLコードで解析するためには、5.3節で述べたと同様に、フォールトツリー構造、ゲート及び基本事象の内容を表すテキスト、故障率などのデータを用意する必要がある。

Appendix 4に、解析に用いた故障分類クラスのデータを示し、Appendix 5に、解析に用いた基本事象データ一覧表を示す。また、Appendix 6に、FTLコードによるフォールトツリーの定量的解析による出力データを示す。これらは6.2節で述べたオフガス系DF低下事故に係わる(1)～(4)の事故シナリオの各々のフォールトツリーについて解析したときの出力データからなる。これらのサマリーとしてのデータをTable 6.1に要約する。

Table 6.1のデータから、(1)～(4)までの事故シナリオの発生確率の全てを総計すると $4.4 \times 10^{-1}/a$ となり、このうち事故シナリオ(1)の発生確率 $3.9 \times 10^{-1}/a$ の占める割合が大きい。従って、オフガス系の機能維持に係わる信頼性向上のためには、NO_x スクラバの設計の改良が効果的となる。特に、Appendix 6のFTLコード出力データを見るとわかるように、スクラバに洗浄水を供給する系統及び水位制御系の安定化または信頼性向上が効果的となる。ただし、オフガス系を流れる気流中の放射性物質除去に係わるDFとしては、HEPAフィルタ及びオフガス加熱器の役割が重要となる。これらの故障に関する事故シナリオ(2)及び(3)の発生確率は、 $10^{-2}/a$ のオーダーであり、スクラバの故障発生確率よりひと桁小さいことがわかる。

Table 6.1 Summary of Results for Accident Scenarios Leading to Reduction in DF of Off-Gas Treatment System

Scenario	Failure Frequency	MTR
(1) Loss of DF in the Scrubber System	3.94×10^{-1} /a	10.1 h
(2) Loss of DF in the Filter Block	9.74×10^{-3} /a	4.8 h
(3) Loss of DF Resulting From the Off-Gas Heater Failure	5.84×10^{-3} /a	15.6 h
(4) Loss of DF Resulting From the Off-Gas Cooler Failure	3.31×10^{-2} /a	7.6 h

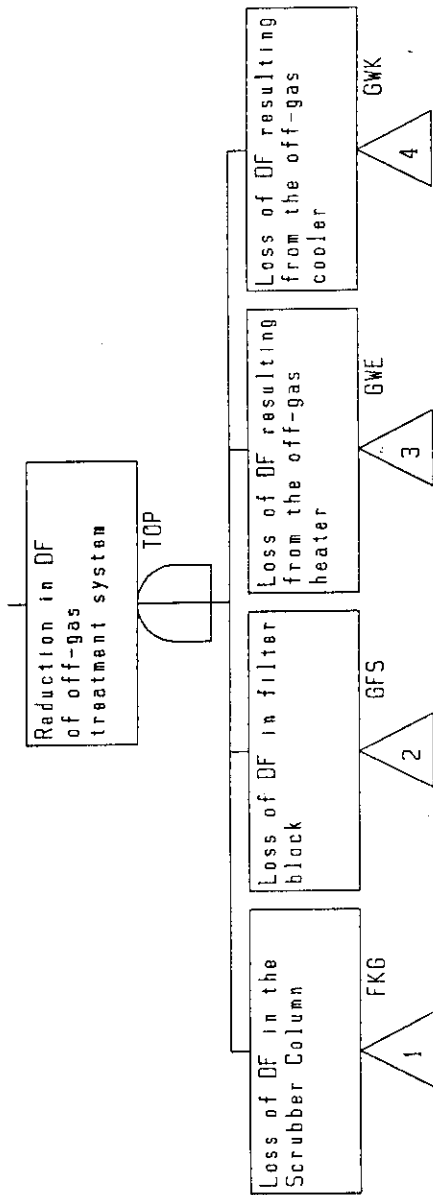


Fig. 6.1 Reduction in DF of Off-gas Treatment System

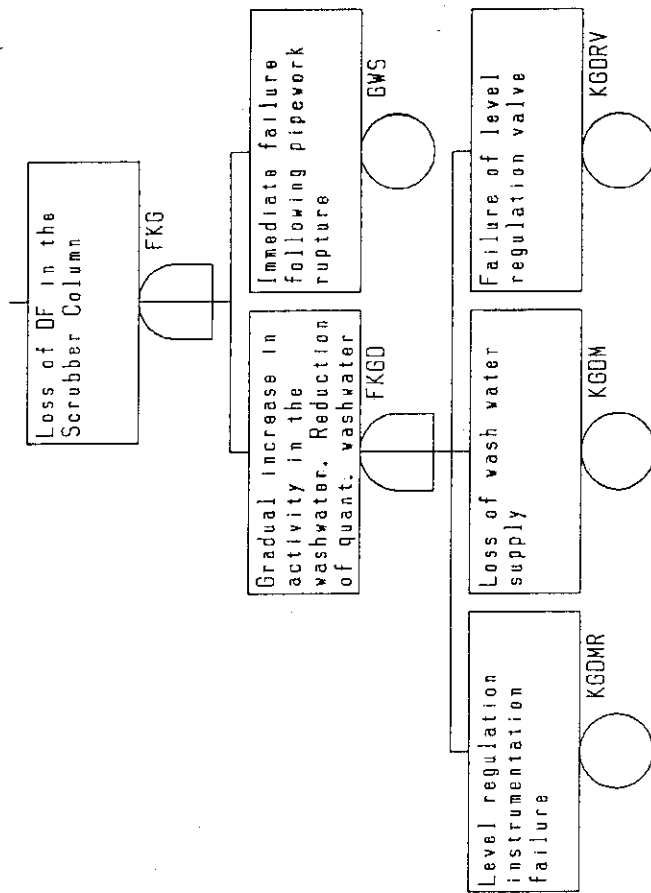


Fig. 6.2 Loss of DF in the Scrubber Column

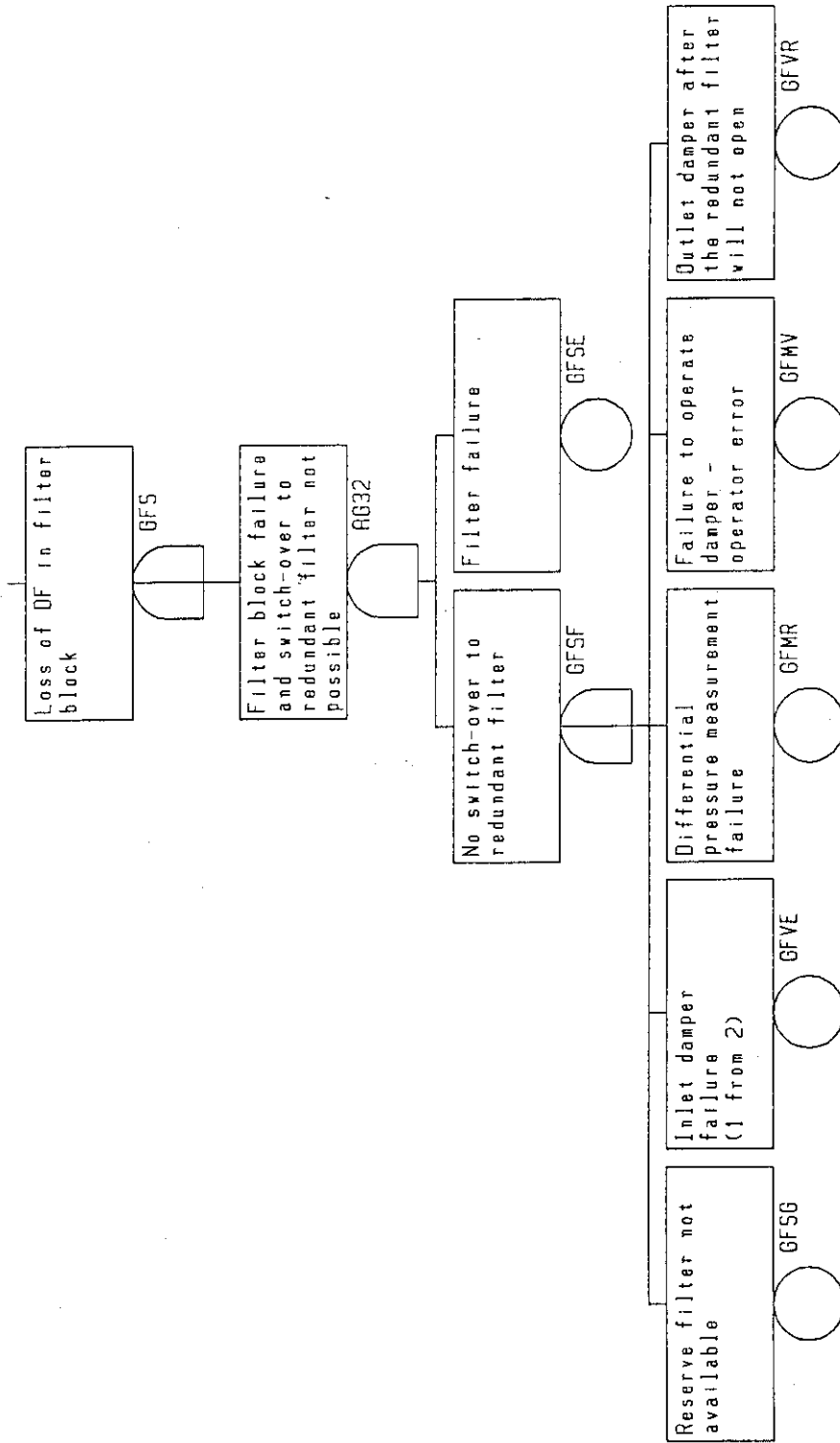


Fig. 6.3 Loss of DF in Filter Block

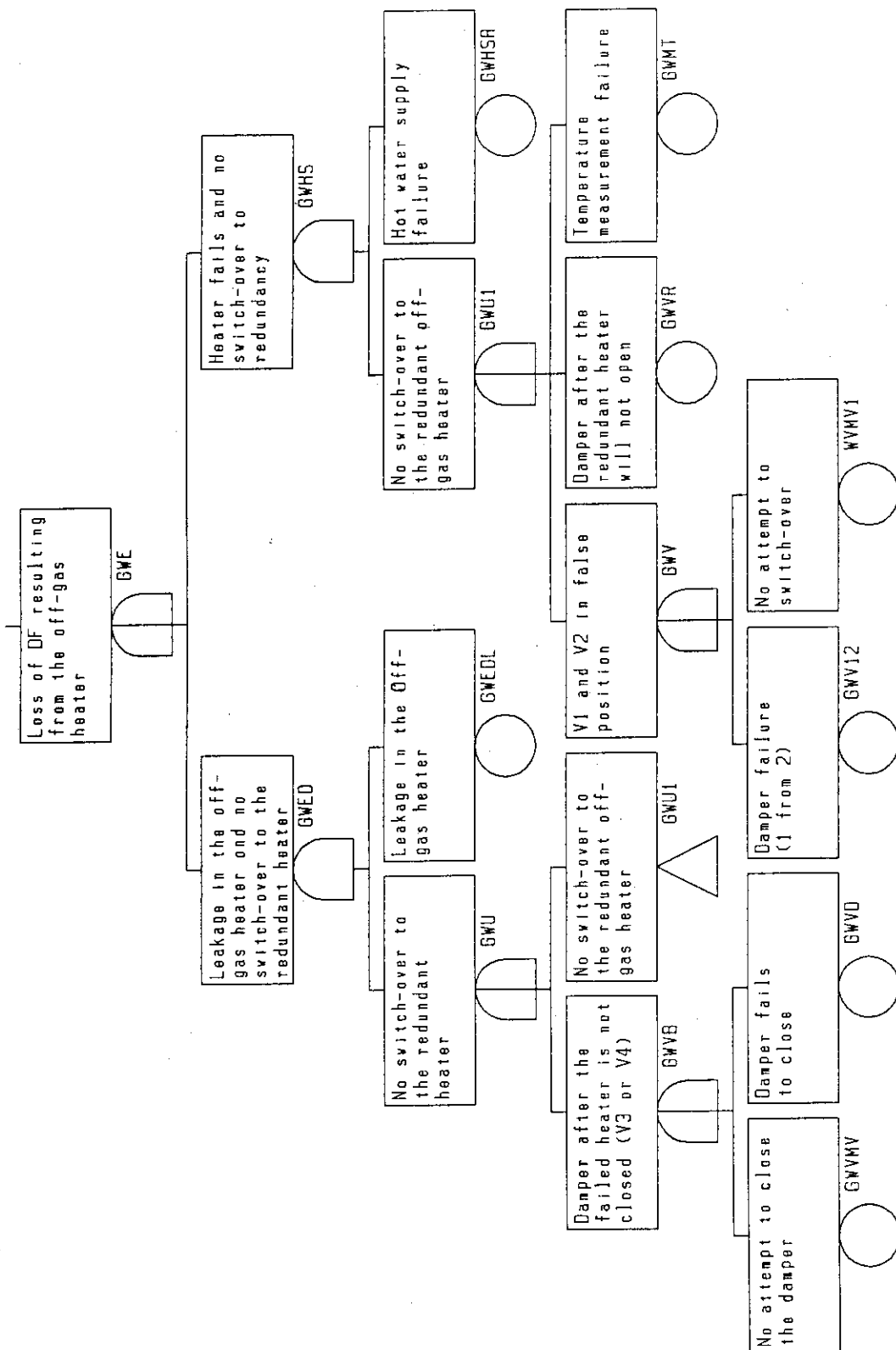


Fig. 6.4 Loss of DF Resulting from the Off-gas Heater

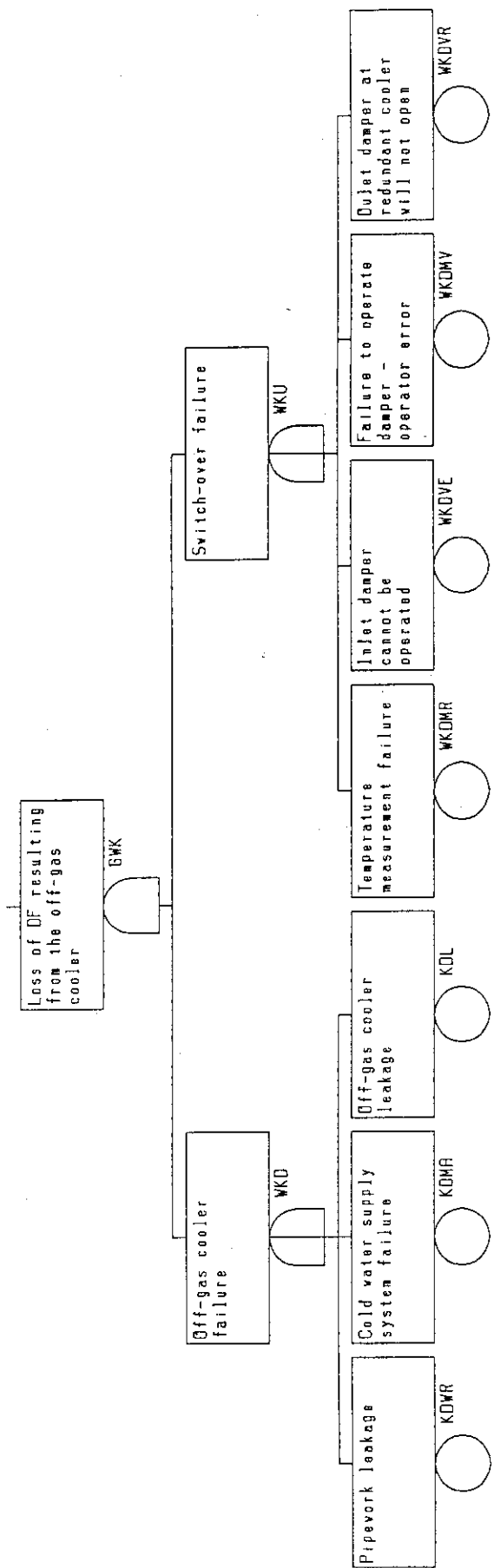


Fig. 6.5 Loss of DF Resulting from the Off-gas Cooler

7. おわりに

以上述べたように、再処理施設のモデル高レベル廃液貯蔵タンクの冷却能喪失・溶液沸騰事故のフォールトツリー解析の結果では、事故発生確率は $10^{-6}/a$ のオーダーであることがわかった。この事故発生確率の大きさは、「再処理安全審査指針・指針3」に述べられている設計基準事象の選定の基準のひとつの、事故発生の可能性の観点からは無視し得ないものと思われる。しかしながら、設計基準事象として選定するためには、もうひとつの基準すなわち事故影響の観点から評価する必要があり、冷却能喪失事故が生起しても約16hかけて緩慢に温度上昇した挙句に溶液沸騰に至るといふ事象については、運転員が事故収束に向けて対応策を取れる十分な時間的余裕があることを考慮すべきであると思われる。ただし本解析ではこの時間的因子の影響も考慮して発生確率が求められている。また仮に、冷却能喪失・溶液沸騰に至る事故が生起したとしても、発生エネルギーは他の想定される火災・爆発・臨界事故におけるより格段に小さく、放出される放射性物質の量も少ないと予測され、タンクのオフガス系に配置されたフィルター等の捕集装置により除去され、スタックから放出される放射性物質量を基準値以下にすることは容易であろう。ただし、事故影響の評価及び他の火災・爆発・臨界事故のフォールトツリー解析を含むPSAの比較については、本報告の対象外であり、近い将来の研究課題としたい。

また、本報告においては、原子炉施設と異なり非密封の放射性物質が多くの工程において多種多様な機器・装置・配管内部に分布して存在するという特徴を持った再処理施設の一例として、高レベル廃液タンクを取り上げ、事故シナリオの想定・フォールトツリー構築を“抜け”がないように効果的に行えるひとつの手順を示した。これにより、フォールトツリー解析による施設設計の弱点の指摘、信頼性改善も行える可能性を示した。

最後に、本報告書を取りまとめるにあたり、日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部核燃料施設安全評価研究室の内藤倅孝室長をはじめ、多くの方々の貴重な御助言・御協力をいただいたことに対し深く感謝します。また、(株)CRC総研の高田友幸氏には、フォールトツリー解析コードFTLの整備について協力していただいたことに感謝します。

参 考 文 献

- 1) Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE),
Fachband 5 Anwendung der Sicherheitsanalyse auf oberirdische
Anlagen des "Integrierten Entsorgungskonzepts", Berlin, January
1985
- 2) Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Fachband 3:
Zuverlässigkeitskenngrößen und Betriebserfahrungen, Verlag TÜV
Reinland, 1980
- 3) VDEW Störungs- und Schadensstatistik, 1974
- 4) Weyman, J.: Empfehlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für
Fehlerbaumrechnungen im "Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung",
PSE-Interner Arbeitsbericht 83/1 A (TU Berlin)
- 5) SRS Reliability Data Bank,
AEA Technology, Culcheth, England
- 6) IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Elec-
tronic and Sensing Component Reliability Data for Nuclear Power
Generating Stations,
IEEE Standard 500, revised 1984
- 7) Lahmeyer International, Analyse der Zuverlässigkeit von
Wärmetauscheren in Not-kühlsystemen, 1981
- 8) Grün, M., Weymann, J.:
PSE-interner Arbeitsbericht Nr. 80/20
- 9) NUKEM report FuE - 84037,
Anwendung der Sicherheitsanalyse auf oberirdische Anlagen des
"Integrierten Entsorgungskonzepts" - Sicherheitsanalyse des HAW-
Tanklagers, November 1984
- 10) NUKEN, Ergänzung zur Sicherheitsanalyse des Be-Naßlagers des NEZ
Ergebnisbericht im Rahmen des Vorhabens für PSE, Sept. 1982
- 11) Reactor Safety Study,
An assessment of accidental risk in US commercial nuclear power
plants (WASH 1400)
Appendix III: Failure Data,
Nuclear Regulatory Commission, 1975
- 12) AIPA; HTGR Accident initiation and progression,

Analysis status report,
Phase II risk assessment,
General Atomic Project 3273, 1978

13) Genehmigungsverfahren BIBLIS,

R. Storck:

Empfehlung von Ausfallraten für einige mechanische Komponenten
der technischen Systeme in PSE nach Auswertung englischer
Betriebserfahrungen,

Institut für Kerntechnik, Technische Universität Berlin

Project Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE Nr. 80/2)

14) Berndt, W.:

Zuverlässigkeitsanalysen der Stromversorgung der WA Hessen, 1982

15) Edwards, G.T., Watson, I.A.:

A Study of Common-Mode-Failures,

UKAEA-SRD-R-146, July 1979

Appendix 1

HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析に用いた機器故障分類クラスデータ

Class	Type	Description	
1	1	self indicating repairable rate: 3.60000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Leakage in one of the cooling circuits (Tank jacket) source:::
2	1	self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 72.00 h TI : 0.00 h	Air-Cooler leakage - Passive Cooling System source:::
3	1	self indicating repairable rate: 0.30000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Pipework leakage source:::
4	1	self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Internal leakage in the Condenser source:::
5	1	self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Passive Cooling - Rupture in cooling medium top-up system source:::
6	1	self indicating repairable rate: 0.00060E-6/h MTTR: 9.00 h TI : 0.00 h	Failure of PG electrical supplies to building ZBD source:::
7	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Failure of the PG electrical distribution board source:::
8	2	not self indicating repairable rate: 15.00000E-6/h MTTR: 9999.99 h TI : 720.00 h	Component failure in level measurement system source:::
9	1	self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	No make-up cooling medium supplied source:::

Class	Type	Description	
10	2	not self indicating repairable rate: 16.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	Pump fails to start (Secondary circuit) source:::
11	1	self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 72.00 h TI : 0.00 h	Air-Cooler rupture - Passive Cooling System source:::
12	1	self indicating repairable rate: 0.03000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Pipework rupture source:::
13	1	self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Internal rupture in Condenser source:::
14	1	self indicating repairable rate: 2.00000E-6/h MTTR: 12.00 h TI : 0.00 h	False adjustment of air-flow control flaps source:::
15	2	not self indicating repairable rate: 6.00000E-6/h MTTR: 9999.99 h TI : 720.00 h	False adjustment of air-flow control flaps not recognised source:::
16	1	self indicating repairable rate: 14.00000E-6/h MTTR: 12.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV Category PA electrical supply to ZBD source:::
17	1	self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Pipework Leakage source:::
18	1	self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	External Leakage in the Con- denser source:::

Class	Type	Description	
19	2	not self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 72.00 h TI : 720.00 h	Air-Cooler leakage - Passive Cooling System source:::
20	2	not self indicating repairable rate: 0.30000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	Pipework leakage source:::
21	2	not self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 720.00 h	Internal leakage in the Con- denser source:::
22	2	not self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	Passive Cooling - Rupture in cooling medium top-up system source:::
23	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	No cooling medium available source:::
24	2	not self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 72.00 h TI : 720.00 h	Air-Cooler rupture - Passive Cooling System source:::
25	2	not self indicating repairable rate: 0.03000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	Pipework rupture source:::
26	2	not self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 720.00 h	Internal rupture in Condenser source:::
27	2	not self indicating repairable rate: 2.00000E-6/h MTTR: 12.00 h TI : 720.00 h	False adjustment of air-flow control flaps source:::

Class	Type	Description	
28	2	not self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 720.00 h	Pipework Leakage (in cell) source:::
29	2	not self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 720.00 h	External leakage in the Con- denser source:::
30	3	prob. of failure on demand P : 0.00550/dem MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Passive Cooling circuit under maintenance:::
31	1	self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Steam ejector blocked source:::
32	1	self indicating repairable rate: 0.30000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Leakage in steam ejector source:::
33	1	self indicating repairable rate: 0.10000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of both steam ejectors source:::
34	1	self indicating repairable rate: 16.00000E-6/h MTTR: 14.00 h TI : 0.00 h	Steam supply failure (excluding elec. failures) source:::
35	3	prob. of failure on demand P : 0.49000/dem MTTR: 9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of failure > 10 hours:::
36	1	self indicating repairable rate: 65.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Failure of Cooling Tower Fan during operation source:::

Failure Data of Component Classes in: HLLWFTD.DBF

Page 5

Class	Type	Description	
37	3	prob. of failure on demand P : 0.35000/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of Failure lasting more than 16 hours:::
38	3	prob. of failure on demand P : 0.14000/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Summer Operating Conditions:::
39	1	self indicating repairable rate: 0.65000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of 2 Cooling Tower Fans source:::
40	3	prob. of failure on demand P : 0.50000/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Winter Operating Conditions:::
41	1	self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture of Cooling Water Branch line to Buffer Tank source:::
42	1	self indicating repairable rate: 0.50000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture of an alternative branch line source:::
43	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Valve in Supply or Return Branch fails to close source:::
44	1	self indicating repairable rate: 0.10000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture in the part of the C/W line common to SB1 and SB2 source:::
45	1	self indicating repairable rate: 1.20000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture in SB1 C/W line to the Buffer Storage Tank Building source:::

Class	Type	Description	
46	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Valves in C/W Supply or Return line fail to close source:::
47	2	not self indicating repairable rate: 40.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Valves in alternative SB1 branch lines fail to close source:::
48	1	self indicating repairable rate: 4.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture of SB1 C/W line in other user buildings source:::
49	2	not self indicating repairable rate: 1.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 720.00 h	Rupture in SB2 C/W line to the Buffer Storage Tank Building source:::
50	1	self indicating repairable rate: 15.00000E-6/h MTTR: 1.00 h TI : 0.00 h	Level Measurement failure in Cooling Tower Basin source:::
51	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Failure of instrumentation sub-distribution board source:::
52	1	self indicating repairable rate: 15.00000E-6/h MTTR: 1.00 h TI : 0.00 h	Flow Measurement component failure for make-up water source:::
53	1	self indicating repairable rate: 0.02600E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of instr- umentation sub-dist. boards source:::
54	1	self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 12.00 h TI : 0.00 h	Failure of PF electrical supplies to building ZBD source:::

Failure Data of Component Classes in: HLLWFTD.DBF

Page 7

Class	Type	Description	
55	1	self indicating repairable rate: 0.80000E-6/h MTTR: 13.00 h TI : 0.00 h	Failure of Cooling Tower make-up water supply source:::
56	3	prob. of failure on demand P : 0.90000/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of failure lasting greater than 1 hour:::
57	1	self indicating repairable rate: 57.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	C/W Pump operating failure source:::
58	1	self indicating repairable rate: 2.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Sub-distribution board failure in Building ZSA (Red. 1 or 2) source:::
59	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Main distribution board fail- ure in ZBD (Redundance 1 or 2) source:::
60	3	prob. of failure on demand P : 0.00080/dem MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Switch-over failure between redundance 1 and 2 for ZSA:::
61	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV bus-bar (Redundance 1) source:::
62	1	self indicating repairable rate: 4.40000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV cable or transformer (Redundance 1) source:::
63	3	prob. of failure on demand P : 0.01500/dem MTTR: 16.00 h TI : 0.00 h	Pump undergoing maintenance (secondary circuit):::

Class	Type	Description	
64	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Main dist. board failure for ZSA (Redundance 1 or 2) source:::
65	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV bus-bar (Redundance 2) source:::
66	1	self indicating repairable rate: 4.40000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV cable or transformer (Redundance 2) source:::
67	1	self indicating repairable rate: 0.02500E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of 3 C/W pumps source:::
68	1	self indicating repairable rate: 0.02400E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure for the 10 kV transformers source:::
69	1	self indicating repairable rate: 0.02600E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of the sub-distribution boards source:::
70	1	self indicating repairable rate: 0.07000E-6/h MTTR: 12.00 h TI : 0.00 h	Failure of the 10 kV electri- cal supply source:::
71	1	self indicating repairable rate: 0.01000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of both heat exchangers source:::
72	1	self indicating repairable rate: 0.57000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of both primary c/w pumps source:::

Class	Type	Description	
73	1	self indicating repairable rate: 2.40000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Leakage in a cooling circuit (Buffer tank jacket) source:::
74	1	self indicating repairable rate: 57.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	C/W Pump fails whilst in operation source:::
75	1	self indicating repairable rate: 1.30000E-6/h MTTR: 10.00 h TI : 0.00 h	Sub-distribution board failure in ZBD (Redundance 1 & 2) source:::
76	1	self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Leakage in the heat exchanger source:::
77	3	prob. of failure on demand P : 0.00550/dem MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Heat exchanger undergoing maintenance.:::
78	1	self indicating repairable rate: 1.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Rupture of heat exchanger source:::
79	3	prob. of failure on demand P : 0.00018/dem MTTR: 24.00 h TI : 0.00 h	Valve left in closed position:::
80	2	not self indicating repairable rate: 16.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Pump fails to start (Primary circuit) source:::
81	3	prob. of failure on demand P : 0.00730/dem MTTR: 8.00 h TI : 0.00 h	Pump undergoing maintenance (primary circuit):::

Failure Data of Component Classes in: HLLWFTD.DBF

Page 10

Class	Type	Description	
82	2	not self indicating repairable rate: 2.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Non-return valve stuck source:
83	1	self indicating repairable rate: 0.12000E-6/h MTTR: 170.00 h TI : 0.00 h	Rupture in a cooling circuit source:
84	1	self indicating repairable rate: 0.05000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Pipework leakage in a c/w circuit source:
85	2	not self indicating repairable rate: 15.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Defective cooling circuit cannot be isolated source:
86	2	not self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Valve to allow cross-over to second circuit closed source:
87	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Heat exchanger cannot be isolated - valves do not close source:
88	1	self indicating repairable rate: 0.01200E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Common-mode failure of both C/W lines SB1 and SB2 source:
89	3	prob. of failure on demand P : 0.36000/dem MTTR: 9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of electrical supply failure >16 hours
90	2	not self indicating repairable rate: 2.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Non-Return Valve stuck source:

Class	Type	Description	
91	3	prob. of failure on demand P : 0.43760/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of failure of Prim C/w in Operating Buff.>16hrs:::
92	3	prob. of failure on demand P : 0.50750/dem MTTR:9999.99 h TI : 0.00 h	Probability of failure of Prim C/w in Reserve Buffer >16hrs:::
93	1	self indicating repairable rate: 2.67000E-6/h MTTR: 14.40 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (a) source:::
94	1	self indicating repairable rate: 3.42000E-6/h MTTR: 14.70 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (b) source:::
95	1	self indicating repairable rate: 2.68000E-6/h MTTR: 13.60 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (c) source:::
96	1	self indicating repairable rate: 1.76000E-6/h MTTR: 136.00 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (d) source:::
97	1	self indicating repairable rate: 1.87000E-6/h MTTR: 134.00 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (e) source:::
98	1	self indicating repairable rate: 13.93000E-6/h MTTR: 127.00 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (f) source:::
99	1	self indicating repairable rate: 16.21000E-6/h MTTR: 14.10 h TI : 0.00 h	Elemental scenario (g) source:::

Appendix 2

HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析に用いた基本事象データ

No.	Name	Type	Description	Failure Data
1	AAAA	B 1	Intermediate event representing elemental scenario (a) for another Tank	Class: 93 RATE : 2.67000E-6/h MTTR : 14.40 h TI : 0.00 h
2	B001	B 3	Probability of Failure lasting > 16 hours	Class: 37 P : 0.35000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
3	B002	B 3	Probability of failure lasting >10 hours	Class: 35 P : 0.49000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
4	B003	B 1	Leakage in one of the cooling circuits (Tank jacket)	Class: 73 RATE : 2.40000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
5	B004	B 3	Probability of failure lasting >16 hours	Class: 89 P : 0.36000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
6	B005	B 1	Failure of the 10 kV electrical supply to the plant	Class: 70 RATE : 0.07000E-6/h MTTR : 12.00 h TI : 0.00 h
7	B006	B 1	Common-mode failure of the 10 kV transformers for building ZBD	Class: 68 RATE : 0.02400E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
8	B007	B 1	Common-mode failure of sub-distribution boards in ZBD	Class: 69 RATE : 0.02600E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
9	B008	B 1	Common-mode failure of both heat exchangers	Class: 71 RATE : 0.01000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
10	B009	B 1	Common-mode failure of both primary C/W circulation pumps	Class: 72 RATE : 0.57000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 2

No.	Name	Type	Description	Failure Data
11	B010	B 1	Common-mode failure of both primary C/W circulation pumps	Class: 72 RATE : 0.57000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
12	B011	B 1	Common-mode failure of both heat exchangers for Reserve Buffer	Class: 71 RATE : 0.01000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
13	B012	B 1	Rupture in first C/W circuit of Reserve Buffer	Class: 83 RATE : 0.12000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
14	B013	B 1	Rupture in second C/W circuit of Reserve Buffer	Class: 83 RATE : 0.12000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
15	B014	B 1	Rupture in first C/W circuit of Operating Buffer	Class: 83 RATE : 0.12000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
16	B015	B 1	Rupture in second C/W circuit of Operating Buffer	Class: 83 RATE : 0.12000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
17	B016	B 1	Common-mode failure of steam ejectors	Class: 33 RATE : 0.10000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
18	B017	B 1	Failure of the 10 kV bus-bar (PBA) (Redundance 1)	Class: 61 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
19	B018	B 1	Failure of the 10 kV transformer or cable (Redundance 1)	Class: 62 RATE : 4.40000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
20	B019	B 1	Main distribution board failure in building ZBD (Redundance 1)	Class: 59 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 3

No.	Name	Type	Description	Failure Data
21	B020	B 1	Failure of the 10 kV bus-bar (PBB) (Redundance 2)	Class: 65 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
22	B021	B 1	Failure of the 10 kV transformer or cable for ZBD (Redundance 2)	Class: 66 RATE : 4.40000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
23	B022	B 1	Main distribution board failure in building ZBD (Redundance 2)	Class: 59 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
24	B023	B 1	Rupture in C/W circuit 2	Class: 78 RATE : 1.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
25	B024	B 1	Rupture in Heat-Exchanger 2 for Reserve Buffer	Class: 78 RATE : 1.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
26	B025	B 1	Pipework leakage in Operating Buffer C/W circuit 1	Class: 84 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
27	B026	B 1	Rupture in C/W circuit 1	Class: 83 RATE : 0.12000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
28	B027	B 1	Operating Failure of Pump 1	Class: 74 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
29	B028	B 1	Leakage in Heat-exchanger 1 of the Operating Buffer	Class: 76 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
30	B029	B 3	Heat exchanger 1 of Operating Buffer undergoing maintenance	Class: 77 P : 0.00550/dem MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 4

No.	Name	Type	Description	Failure Data
31	B030	B 1	Operating failure of C/W circulation pump 2	Class: 74 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
32	B031	B 1	C/W Circulation Pump 1 failed during operation	Class: 74 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
33	B032	B 1	Leakage in Heat-Exchanger 1 of Reserve Buffer	Class: 76 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
34	B033	B 3	Heat Exchanger 1 for Reserve Buffer undergoing maintenance	Class: 77 P : 0.00550/dem MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
35	B034	B 1	Operating failure of C/W circulation pump 2	Class: 74 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
36	B035	B 2	Defective C/W circuit cannot be isolated	Class: 85 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
37	B036	B 2	Failure of valve which allows cross-over to the second C/W circuit	Class: 86 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
38	B037	B 2	Defective C/W circuit cannot be isolated	Class: 85 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
39	B038	B 1	Blockage of steam ejector	Class: 31 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
40	B039	B 1	Leakage in steam ejector	Class: 32 RATE : 0.30000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 5

No.	Name	Type	Description	Failure Data
41	B040	B 1	Blockage of steam ejector	Class: 31 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
42	B041	B 1	Leakage in steam ejector	Class: 32 RATE : 0.30000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
43	B042	B 1	Sub-distribution board failure in ZBD (Redundance 1)	Class: 75 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
44	B043	B 3	Valve left in closed position	Class: 79 P : 0.00018/dem MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
45	B044	B 2	C/W Circulation pump 2 fails to start	Class: 80 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
46	B045	B 3	C/W circulation pump 2 undergoing maintenance	Class: 81 P : 0.00730/dem MTTR : 8.00 h TI : 0.00 h
47	B046	B 2	Non-Return Valve stuck	Class: 82 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
48	B047	B 1	Sub-distribution board failure in building ZBD (Redundance 2)	Class: 75 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
49	B048	B 3	Valve left in closed position	Class: 79 P : 0.00018/dem MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
50	B049	B 2	C/W Circulation pump 1 fails to start	Class: 80 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 6

No.	Name	Type	Description	Failure Data
51	B050	B 2	Non-Return Valve Stuck	Class: 82 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
52	B051	B 1	Sub-distribution board failure in Building ZBD (Redundance 1)	Class: 75 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
53	B052	B 3	Valve left in closed position	Class: 79 P : 0.00018/dem MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
54	B053	B 2	C/W Circulation pump 2 fails to start	Class: 80 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
55	B054	B 2	Non-Return Valve stuck	Class: 82 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
56	B055	B 1	Leakage in Heat- Exchanger 2 of the Operating Buffer	Class: 76 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
57	B056	B 2	Failure of C/W circuit C/W level measurement system	Class: 8 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 9999.99 h TI : 720.00 h
58	B057	B 3	Failure of switch- over between Redun- dance 1 and 2 in ZBD	Class: 60 P : 0.00080/dem MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
59	B058	B 3	Swith-over between Redundance 1 and 2 in ZBD fails	Class: 60 P : 0.00080/dem MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
60	B059	B 1	Pipework leakage	Class: 17 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 7

No.	Name	Type	Description	Failure Data
61	B060	B 1	Leakage in Buffer Tank	Class: 17 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
62	B061	B 1	External leakage in the Condenser	Class: 18 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
63	B062	B 1	Rupture in the air cooler	Class: 11 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 72.00 h TI : 0.00 h
64	B063	B 1	Pipework rupture	Class: 12 RATE : 0.03000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
65	B064	B 1	Internal rupture in the condenser	Class: 13 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
66	B065	B 3	Winter Operating Conditions	Class: 40 P : 0.50000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
67	B066	B 1	Leakage in the Air Cooler	Class: 2 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 72.00 h TI : 0.00 h
68	B067	B 1	Pipework leakage	Class: 3 RATE : 0.30000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
69	B068	B 1	Internal leakage in the Condenser	Class: 4 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 0.00 h
70	B069	B 1	Rupture in cooling medium make-up system	Class: 5 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h

No.	Name	Type	Description	Failure Data
71	B070	B 1	False adjustment of air-flow control flaps	Class: 14 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 12.00 h TI : 0.00 h
72	B071	B 2	False adjustment of air-flow control flaps not recognised	Class: 15 RATE : 6.00000E-6/h MTTR : 9999.99 h TI : 720.00 h
73	B072	B 1	Failure of category PG electrical supplies to building ZBD	Class: 6 RATE : 0.00060E-6/h MTTR : 9.00 h TI : 0.00 h
74	B073	B 1	Sub-distribution board failure in building ZBD (Category PG supply)	Class: 7 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
75	B074	B 2	Component failure - cooling medium level measurement system	Class: 8 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 9999.99 h TI : 720.00 h
76	B075	B 1	Cooling medium not available	Class: 9 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
77	B082	B 1	Common-mode failure of 3 Cooling Water circulation pumps	Class: 67 RATE : 0.02500E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
78	B083	B 1	Operating failure of C/W circulation pump 1	Class: 57 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
79	B084	B 1	Operating failure of C/W circulation pump 2	Class: 57 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
80	B085	B 1	Pump 3 fails during operation	Class: 57 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 9

No.	Name	Type	Description	Failure Data
81	B086	B 1	Pump 4 fails during operation	Class: 57 RATE : 57.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
82	B087	B 1	Common-mode failure of the 10 kV transformers	Class: 68 RATE : 0.02400E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
83	B088	B 1	Common-mode failure of sub-distribution boards	Class: 69 RATE : 0.02600E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
84	B089	B 3	Summer Operating Conditions	Class: 38 P : 0.14000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
85	B090	B 1	Common-mode failure of two cooling tower fans	Class: 39 RATE : 0.65000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
86	B091	B 1	Common-mode failure of instrumentation sub-distribution boards	Class: 53 RATE : 0.02600E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
87	B092	B 1	Failure of PF category electrical supply	Class: 54 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 12.00 h TI : 0.00 h
88	B093	B 1	No make-up water available to cooling towers	Class: 55 RATE : 0.80000E-6/h MTTR : 13.00 h TI : 0.00 h
89	B094	B 3	Probability of failure lasting for greater than 1 hour	Class: 56 P : 0.90000/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
90	B095	B 1	Sub-distribution board failure in building ZSA (Redundance 1)	Class: 58 RATE : 2.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 10

No.	Name	Type	Description	Failure Data
91	B096	B 1	Failure of Main distribution board in building ZSA (Redundance 1)	Class: 64 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
92	B097	B 1	Sub-distribution board failure in building ZSA (Redundance 2)	Class: 58 RATE : 2.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
93	B098	B 1	Main distribution board failure in building ZSA (Redundance 2)	Class: 64 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
94	B099	B 2	Pump 3 fails to start	Class: 10 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
95	B100	B 3	Valves left in closed position	Class: 79 P : 0.00018/dem MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
96	B101	B 2	Non-Return valve stuck	Class: 90 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
97	B102	B 3	Pump undergoing maintenance	Class: 63 P : 0.01500/dem MTTR : 16.00 h TI : 0.00 h
98	B103	B 2	Pump 4 fails to start	Class: 10 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
99	B104	B 3	Valve left in closed position	Class: 79 P : 0.00018/dem MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
100	B105	B 2	Non-Return Valve stuck	Class: 90 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 11

No.	Name	Type	Description	Failure Data
101	B106	B 1	Failure of the 10 kV cable or transformer (Redundance 1)	Class: 62 RATE : 4.40000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
102	B107	B 1	Failure of the 10 kV cable or transformer (Redundance 2)	Class: 66 RATE : 4.40000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
103	B108	B 2	Valve in Supply or Return Branch lines cannot be closed	Class: 43 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
104	B109	B 1	Rupture in common pipework of C/W lines SB1 and SB2	Class: 44 RATE : 0.10000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
105	B110	B 1	Common-mode failure of both C/W lines	Class: 88 RATE : 0.01200E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
106	B111	B 3	Switch-over between Redundance 1 and 2 in building ZSA failed	Class: 60 P : 0.00080/dem MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
107	B112	B 1	Failure of Fan during operation	Class: 36 RATE : 65.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
108	B113	B 1	Failure of fan during operation	Class: 36 RATE : 65.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
109	B114	B 1	Failure of fan during operation	Class: 36 RATE : 65.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
110	B115	B 1	Failure of fan during operation	Class: 36 RATE : 65.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 12

No.	Name	Type	Description	Failure Data
111	B116	B 1	Failure of fan during operation	Class: 36 RATE : 65.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 0.00 h
112	B117	B 1	Rupture in the branch lines to the Reserve Buffer (Secondary circuit)	Class: 41 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
113	B118	B 1	Rupture in the branch lines to the Operating Buffer (Secondary circuit)	Class: 41 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
114	B119	B 1	Rupture in one of the alternative branch lines (Secondary circuit)	Class: 42 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
115	B120	B 1	Rupture in the SB1 C/W line to building ZBD	Class: 45 RATE : 1.20000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
116	B123	B 1	Rupture of SB1 C/W line in other user buildings	Class: 48 RATE : 4.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
117	B124	B 2	Valves in SB1 C/W line in other areas fail to close	Class: 46 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
118	B125	B 2	Rupture in the C/W line SB2 to building ZBD	Class: 49 RATE : 1.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
119	B126	B 1	Failure of instrumentation sub-distribution board (Redundance 1)	Class: 51 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
120	B127	B 1	Level measurement failure in cooling tower basin	Class: 50 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 1.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 13

No.	Name	Type	Description	Failure Data
121	B128	B 1	Flow Measurement component failure for make-up water	Class: 52 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 1.00 h TI : 0.00 h
122	B129	B 1	Failure of instrumentation sub-distribution board (Redundance 2)	Class: 51 RATE : 1.30000E-6/h MTTR : 10.00 h TI : 0.00 h
123	B130	B 2	Control valves in the second C/W line SB2 fails to open	Class: 46 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
124	B131	B 2	Control valves in first C/W line SB1 fails to close	Class: 46 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
125	B132	B 2	Valves in other SB1 branch lines cannot be closed	Class: 47 RATE : 40.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
126	B133	B 2	Pipework leakage	Class: 28 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 720.00 h
127	B134	B 2	Leakage in Buffer Storage Tank	Class: 28 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 720.00 h
128	B135	B 2	External leakage in the Condenser	Class: 29 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 720.00 h
129	B136	B 2	Rupture in the air-cooler	Class: 24 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 72.00 h TI : 720.00 h
130	B137	B 2	Pipework rupture	Class: 25 RATE : 0.03000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h

No.	Name	Type	Description	Failure Data
131	B138	B 2	Internal rupture in the condenser	Class: 26 RATE : 0.50000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 720.00 h
132	B139	B 2	Leakage in the air-cooler	Class: 19 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 72.00 h TI : 720.00 h
133	B140	B 2	Pipework leakage	Class: 20 RATE : 0.30000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
134	B141	B 2	Internal leakage in the Condenser	Class: 21 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 170.00 h TI : 720.00 h
135	B142	B 2	Rupture in make-up system	Class: 22 RATE : 0.05000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
136	B143	B 2	False adjustment of the air control flaps on demand	Class: 27 RATE : 2.00000E-6/h MTTR : 12.00 h TI : 720.00 h
137	B144	B 2	False adjustment of the air control flaps not detected	Class: 15 RATE : 6.00000E-6/h MTTR : 9999.99 h TI : 720.00 h
138	B145	B 2	Level measurement component failure	Class: 8 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 9999.99 h TI : 720.00 h
139	B146	B 2	No cooling medium available	Class: 23 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 720.00 h
140	B147	B 1	Other Failures resulting in Loss of Steam Supply	Class: 34 RATE : 16.00000E-6/h MTTR : 14.00 h TI : 0.00 h

List of Basic Events in FTD File: HLLWFTD.DBF

Page 15

No.	Name	Type	Description	Failure Data
141	B148	B 3	Passive Cooling system undergoing maintenance	Class: 30 P : 0.00550/dem MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
142	B149	B 3	Probability of failure of Primary C/W in Operating Buffer for lasting >16 hours	Class: 91 P : 0.43760/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
143	B150	B 3	Probability of failure of Primary C/W in Reserve Buffer for lasting >16 hours	Class: 92 P : 0.50750/dem MTTR : 9999.99 h TI : 0.00 h
144	EEE	B 1	Intermediate event representing elemental scenario (e)	Class: 97 RATE : 1.87000E-6/h MTTR : 134.00 h TI : 0.00 h
145	FFF	B 1	Intermediate event representing elemental scenario (f)	Class: 98 RATE : 13.93000E-6/h MTTR : 127.00 h TI : 0.00 h

Appendix 3

HALWタンク冷却能喪失事故のフォールトツリー解析におけるFTLコード出力データ

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 16:21:06 page 1

=====

System Structure found
Failure Data found

=====

Module SYSIN : Identification of Gates

G001	G002	G003	G004	G005	G006	G007	G008	G009	G010
G011	G012	G013	G014	G015	G016	G017	G018	G019	G020
G021	G022	G023	G024	G025	G026	G027	G028	G029	G030
G031	G032	G033	G034	G035	G036	G037	G038	G039	G040
G041	G042	G043	G044	G045	G046	G047	G048	G049	G050
G051	G052	G053	G054	G055	G056	G057	G058	G059	G060
G061	G062	G063	G064	G065	G066	G067	G068	G069	G070
G071	G072	G073	G074	G075	G076	G077	G078	G079	G080
G081	G082	G083	G084	G085	G086	G087	G088	G089	G090
G091	G092	G093	G094	G095	G096	G097	G098	G099	G100
G101	G102	G103	G104	G105	G106	G107	G108	G109	G110
G111	G112	G113	G114	G115	G116	G117	G118	G119	G120
G121	G122	G123	G124	G125	G126	G127	G128	G129	G130
G131	G132	G133	G134	G135	G136	G137	G138	G139	G140
G141	GA02	GA021	GA024	GA03	GA04	GA05	GA10	GA11	GA12
GA13	GA14	GA15	GA16	GA160	GA161	GA17	GA18	GA19	GA20
GA21	GA22	GA23	GA24	GA81	GA82	GA83	GA84		

Number of Gates : 168

Module SYSIN : Identification of Basic Events

B001	B082	B059	B060	B061	B062	B063	B064	B065	B066
B067	B068	B069	B070	B071	B072	B073	B074	B075	AAAA
EEE	B004	B005	B003	B002	B006	B007	B008	B009	B010
B011	B012	B013	B014	B015	B016	B017	B018	B019	B020
B021	B022	B023	B024	B025	B026	B027	B028	B029	B030
B031	B032	B033	B034	B035	B036	B037	B038	B039	B040
B041	B042	B043	B044	B045	B046	B047	B048	B049	B050
B051	B052	B053	B054	B055	B056	B057	B058	B147	B083
B084	B085	B086	B087	B088	B089	B090	B091	B092	B093
B094	B095	B096	B097	B098	B099	B100	B101	B102	B103
B104	B105	B106	B107	B108	B109	B110	B111	B112	B113
B114	B115	B116	B117	B118	B119	B120	B123	B124	B125
B126	B127	B128	B129	B130	B131	B132	B149	B133	B134
B135	B136	B137	B138	B139	B140	B141	B142	B143	B144
B145	B146	B150	B148	FFF					

Number of Basic Events : 145

Module SYSIN finished

Module time : 00:00:35

=====

Module RATEIN : Read and Relate Failure Data

Number of Component Classes : 92

Reliability Data of the Basic Events

-----			A	R	U	H	-----		
Class	Type	Event(s)							
1	1	F	3.60E-06 (3.63E-11)	5.88E-03 (2.10E-04)	6.12E-04 (3.32E-06)	3.60E-06 (3.63E-11)			
2	1	F	5.00E-06 (7.01E-11)	1.39E-02 (1.17E-03)	3.60E-04 (1.15E-06)	5.00E-06 (7.00E-11)			
		B066							
3	1	F	3.00E-07 (2.52E-13)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.44E-05 (1.84E-09)	3.00E-07 (2.52E-13)			
		B067							
4	1	F	5.00E-06 (7.01E-11)	5.88E-03 (2.10E-04)	8.49E-04 (6.39E-06)	5.00E-06 (7.00E-11)			
		B068							
5	1	F	5.00E-08 (7.01E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.40E-06 (5.11E-11)	5.00E-08 (7.01E-15)			
		B069							
6	1	F	6.00E-10 (1.01E-18)	1.11E-01 (7.50E-02)	5.40E-09 (2.59E-16)	6.00E-10 (1.01E-18)			
		B072							
7	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)			
		B073							
8	2	F	1.50E-05 (6.31E-10)	1.00E-04 (6.08E-08)	1.07E-02 (3.20E-04)	1.48E-05 (6.17E-10)			
		B056							
9	1	F	1.00E-05 (2.80E-10)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-04 (2.04E-06)	1.00E-05 (2.80E-10)			
		B074							
		B145							
10	2	F	1.60E-05 (7.18E-10)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.15E-02 (3.64E-04)	1.58E-05 (7.01E-10)			
		B075							
		B099							
11	1	F	5.00E-07 (7.01E-13)	1.39E-02 (1.17E-03)	3.60E-05 (1.15E-08)	5.00E-07 (7.01E-13)			
		B103							
		B062							
12	1	F	3.00E-08 (2.52E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.44E-06 (1.84E-11)	3.00E-08 (2.52E-15)			
		B063							
13	1	F	5.00E-07 (7.01E-13)	5.88E-03 (2.10E-04)	8.50E-05 (6.41E-08)	5.00E-07 (7.01E-13)			
		B064							
14	1	F	2.00E-06 (1.12E-11)	8.33E-02 (4.22E-02)	2.40E-05 (5.11E-09)	2.00E-06 (1.12E-11)			
		B070							

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
15	2	F	6.00E-06 (1.01E-10)	1.00E-04 (6.08E-08)	4.31E-03 (5.19E-05)	5.97E-06 (1.00E-10)
		B071 B144				
16	1	F	1.40E-05 (5.49E-10)	8.33E-02 (4.22E-02)	1.68E-04 (2.50E-07)	1.40E-05 (5.49E-10)
17	1	F	5.00E-08 (7.01E-15)	5.88E-03 (2.10E-04)	8.50E-06 (6.42E-10)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B059 B060				
18	1	F	5.00E-07 (7.01E-13)	5.88E-03 (2.10E-04)	8.50E-05 (6.41E-08)	5.00E-07 (7.01E-13)
		B061				
19	2	F	5.00E-06 (7.01E-11)	1.39E-02 (1.17E-03)	3.59E-03 (3.61E-05)	4.98E-06 (6.96E-11)
		B139				
20	2	F	3.00E-07 (2.52E-13)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.16E-04 (1.31E-07)	3.00E-07 (2.52E-13)
		B140				
21	2	F	5.00E-06 (7.01E-11)	5.88E-03 (2.10E-04)	3.59E-03 (3.61E-05)	4.98E-06 (6.96E-11)
		B141				
22	2	F	5.00E-08 (7.01E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	3.60E-05 (3.63E-09)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B142				
23	2	F	1.00E-05 (2.80E-10)	2.08E-02 (2.64E-03)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
		B146				
24	2	F	5.00E-07 (7.01E-13)	1.39E-02 (1.17E-03)	3.60E-04 (3.63E-07)	5.00E-07 (7.00E-13)
		B136				
25	2	F	3.00E-08 (2.52E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.16E-05 (1.31E-09)	3.00E-08 (2.52E-15)
		B137				
26	2	F	5.00E-07 (7.01E-13)	5.88E-03 (2.10E-04)	3.60E-04 (3.63E-07)	5.00E-07 (7.00E-13)
		B138				
27	2	F	2.00E-06 (1.12E-11)	8.33E-02 (4.22E-02)	1.44E-03 (5.80E-06)	2.00E-06 (1.12E-11)
		B143				
28	2	F	5.00E-08 (7.01E-15)	5.88E-03 (2.10E-04)	3.60E-05 (3.63E-09)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B133 B134				
29	2	F	5.00E-07 (7.01E-13)	5.88E-03 (2.10E-04)	3.60E-04 (3.63E-07)	5.00E-07 (7.00E-13)
		B135				
30	3	F	5.50E-03 (8.48E-05)	2.08E-02 (2.64E-03)	5.50E-03 (8.48E-05)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B148				
31	1	F	1.00E-05 (2.80E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	2.40E-04 (5.11E-07)	1.00E-05 (2.80E-10)
		B038 B040				
32	1	F	3.00E-07 (2.52E-13)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.44E-05 (1.84E-09)	3.00E-07 (2.52E-13)
		B039 B041				

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
33	1	F	1.00E-07 (2.80E-14)	4.17E-02 (1.06E-02)	2.40E-06 (5.11E-11)	1.00E-07 (2.80E-14)
		B016				
34	1	F	1.60E-05 (7.18E-10)	7.14E-02 (3.10E-02)	2.24E-04 (4.45E-07)	1.60E-05 (7.17E-10)
		B147				
35	3	F	4.90E-01 (6.73E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	4.90E-01 (6.73E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B002				
36	1	F	6.50E-05 (1.18E-08)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.56E-03 (2.15E-05)	6.49E-05 (1.18E-08)
		B112	B113	B114	B115	B116
37	3	F	3.50E-01 (3.43E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	3.50E-01 (3.43E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B001				
38	3	F	1.40E-01 (5.49E-02)	1.00E-04 (6.08E-08)	1.40E-01 (5.49E-02)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B089				
39	1	F	6.50E-07 (1.18E-12)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.56E-05 (2.16E-09)	6.50E-07 (1.18E-12)
		B090				
40	3	F	5.00E-01 (7.01E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	5.00E-01 (7.01E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B065				
41	1	F	5.00E-08 (7.01E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.40E-06 (5.11E-11)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B117	B118			
42	1	F	5.00E-07 (7.01E-13)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.40E-05 (5.11E-09)	5.00E-07 (7.01E-13)
		B119				
43	2	F	1.00E-05 (2.80E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
		B108				
44	1	F	1.00E-07 (2.80E-14)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-06 (2.05E-10)	1.00E-07 (2.80E-14)
		B109				
45	1	F	1.20E-06 (4.04E-12)	2.08E-02 (2.64E-03)	5.76E-05 (2.95E-08)	1.20E-06 (4.04E-12)
		B120				
46	2	F	1.00E-05 (2.80E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
		B124	B130	B131		
47	2	F	4.00E-05 (4.48E-09)	4.17E-02 (1.06E-02)	2.84E-02 (2.19E-03)	3.89E-05 (4.24E-09)
		B132				
48	1	F	4.00E-06 (4.48E-11)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.92E-04 (3.27E-07)	4.00E-06 (4.48E-11)
		B123				
49	2	F	1.00E-06 (2.80E-12)	2.08E-02 (2.64E-03)	7.20E-04 (1.45E-06)	9.99E-07 (2.80E-12)
		B125				

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 18:56:05 page 5

=====

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
50	1	F	1.50E-05 (6.31E-10)	1.00E+00 (6.08E+00)	1.50E-05 (2.00E-09)	1.50E-05 (6.31E-10)
		B127				
51	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B126				
52	1	F	1.50E-05 (6.31E-10)	1.00E+00 (6.08E+00)	1.50E-05 (2.00E-09)	1.50E-05 (6.31E-10)
		B128				
53	1	F	2.60E-08 (1.89E-15)	1.00E-01 (6.08E-02)	2.60E-07 (6.00E-13)	2.60E-08 (1.89E-15)
		B091				
54	1	F	5.00E-08 (7.01E-15)	8.33E-02 (4.22E-02)	6.00E-07 (3.20E-12)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B092				
55	1	F	8.00E-07 (1.79E-12)	7.69E-02 (3.60E-02)	1.04E-05 (9.60E-10)	8.00E-07 (1.79E-12)
		B093				
56	3	F	9.00E-01 (2.27E+00)	1.00E-04 (6.08E-08)	9.00E-01 (2.27E+00)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B094				
57	1	F	5.70E-05 (9.11E-09)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.73E-03 (6.58E-05)	5.68E-05 (9.06E-09)
		B083				
58	1	F	2.30E-06 (1.48E-11)	1.00E-01 (6.08E-02)	2.30E-05 (4.70E-09)	2.30E-06 (1.48E-11)
		B085				
		B086				
59	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B095				
		B097				
60	3	F	8.00E-04 (1.79E-06)	1.00E-01 (6.08E-02)	8.00E-04 (1.79E-06)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B019				
		B022				
		B079				
		B081				
61	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B057				
		B058				
		B111				
62	1	F	4.40E-06 (5.43E-11)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.06E-04 (9.90E-08)	4.40E-06 (5.43E-11)
		B017				
63	3	F	1.50E-02 (6.31E-04)	6.25E-02 (2.37E-02)	1.50E-02 (6.31E-04)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B018				
		B078				
		B106				
64	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B102				
65	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B096				
		B098				
66	1	F	4.40E-06 (5.43E-11)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.06E-04 (9.90E-08)	4.40E-06 (5.43E-11)
		B020				
		B021				
		B080				
		B107				

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
67	1	F	2.50E-08 (1.75E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	1.20E-06 (1.28E-11)	2.50E-08 (1.75E-15)
		B082				
68	1	F	2.40E-08 (1.61E-15)	4.17E-02 (1.06E-02)	5.76E-07 (2.95E-12)	2.40E-08 (1.61E-15)
		B006 B076				
		B087				
69	1	F	2.60E-08 (1.89E-15)	4.17E-02 (1.06E-02)	6.24E-07 (3.46E-12)	2.60E-08 (1.89E-15)
		B007 B077				
		B088				
70	1	F	7.00E-08 (1.37E-14)	8.33E-02 (4.22E-02)	8.40E-07 (6.27E-12)	7.00E-08 (1.37E-14)
		B005				
71	1	F	1.00E-08 (2.80E-16)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-07 (2.05E-12)	1.00E-08 (2.80E-16)
		B008 B011				
72	1	F	5.70E-07 (9.11E-13)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.37E-05 (1.66E-09)	5.70E-07 (9.11E-13)
		B009 B010				
73	1	F	2.40E-06 (1.61E-11)	5.88E-03 (2.10E-04)	4.08E-04 (1.48E-06)	2.40E-06 (1.61E-11)
		B003				
74	1	F	5.70E-05 (9.11E-09)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.37E-03 (1.65E-05)	5.69E-05 (9.08E-09)
		B027 B030				
		B031 B034				
75	1	F	1.30E-06 (4.74E-12)	1.00E-01 (6.08E-02)	1.30E-05 (1.50E-09)	1.30E-06 (4.74E-12)
		B042 B047				
		B051				
76	1	F	1.00E-05 (2.80E-10)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-04 (2.04E-06)	1.00E-05 (2.80E-10)
		B028 B032				
		B055				
77	3	F	5.50E-03 (8.48E-05)	2.08E-02 (2.64E-03)	5.50E-03 (8.48E-05)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B029 B033				
78	1	F	1.00E-06 (2.80E-12)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-05 (2.05E-08)	1.00E-06 (2.80E-12)
		B023 B024				
79	3	F	1.80E-04 (9.08E-08)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.80E-04 (9.08E-08)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B043 B048				
		B052 B100 B104				
80	2	F	1.60E-05 (7.18E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.15E-02 (3.64E-04)	1.58E-05 (7.01E-10)
		B044 B049				
		B053				
81	3	F	7.30E-03 (1.49E-04)	1.25E-01 (9.50E-02)	7.30E-03 (1.49E-04)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B045				
82	2	F	2.00E-06 (1.12E-11)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.44E-03 (5.80E-06)	2.00E-06 (1.12E-11)
		B046 B050				
		B054				
83	1	F	1.20E-07 (4.04E-14)	5.88E-03 (2.10E-04)	2.04E-05 (3.70E-09)	1.20E-07 (4.04E-14)
		B012 B013				
		B014 B015 B026				

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
84	1	F	5.00E-08 (7.01E-15)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.40E-06 (5.11E-11)	5.00E-08 (7.01E-15)
		B025				
85	2	F	1.50E-05 (6.31E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.07E-02 (3.20E-04)	1.48E-05 (6.17E-10)
		B035				
		B037				
86	2	F	5.00E-06 (7.01E-11)	4.17E-02 (1.06E-02)	3.59E-03 (3.61E-05)	4.98E-06 (6.96E-11)
		B036				
87	2	F	1.00E-05 (2.80E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
88	1	F	1.20E-08 (4.04E-16)	2.08E-02 (2.64E-03)	5.76E-07 (2.95E-12)	1.20E-08 (4.04E-16)
		B110				
89	3	F	3.60E-01 (3.63E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	3.60E-01 (3.63E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B004				
90	2	F	2.00E-06 (1.12E-11)	4.17E-02 (1.06E-02)	1.44E-03 (5.80E-06)	2.00E-06 (1.12E-11)
		B101				
		B105				
91	3	F	4.38E-01 (5.37E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	4.38E-01 (5.37E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B149				
92	3	F	5.07E-01 (7.22E-01)	1.00E-04 (6.08E-08)	5.07E-01 (7.22E-01)	0.00E+00 (0.00E+00)
		B150				
93	1	F	2.67E-06 (2.00E-11)	6.94E-02 (2.93E-02)	3.84E-05 (1.31E-08)	2.67E-06 (2.00E-11)
		AAA				
		AAAA				
94	1	F	3.42E-06 (3.28E-11)	6.80E-02 (2.81E-02)	5.03E-05 (2.24E-08)	3.42E-06 (3.28E-11)
		BBB				
95	1	F	2.68E-06 (2.01E-11)	7.35E-02 (3.29E-02)	3.64E-05 (1.18E-08)	2.68E-06 (2.01E-11)
		CCC				
96	1	F	1.76E-06 (8.68E-12)	7.35E-03 (3.29E-04)	2.39E-04 (5.08E-07)	1.76E-06 (8.68E-12)
		DDD				
97	1	F	1.87E-06 (9.80E-12)	7.46E-03 (3.38E-04)	2.51E-04 (5.57E-07)	1.87E-06 (9.80E-12)
		EEE				
98	1	F	1.39E-05 (5.44E-10)	7.87E-03 (3.77E-04)	1.77E-03 (2.76E-05)	1.39E-05 (5.42E-10)
		FFF				
99	1	F	1.62E-05 (7.37E-10)	7.09E-02 (3.06E-02)	2.29E-04 (4.63E-07)	1.62E-05 (7.36E-10)
		GGG				
100	1	F	1.22E-07 (4.17E-14)	5.92E-02 (2.13E-02)	2.06E-06 (3.77E-11)	1.22E-07 (4.17E-14)
		HHH				

Module RATEIN finished

Module time : 00:00:23

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 18:59:47 page 8

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G029

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

30 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.35E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.52E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 6.48E-03

Repeating cutoff procedure

6 additional cut set(s) rejected
24 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.34E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.40E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 1.03E-02

24 out of 85 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:09

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:00:06 page 9

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G029

No.	Freq.	Unavall.	Basic Events	
1	5.90E-03	1.56E-05	B027	B044
2	4.99E-03	1.37E-05	B009	
3	3.64E-03	9.97E-06	B027	B045
4	2.74E-03	7.51E-06	B029	B030
5	1.36E-03	1.87E-06	B027	B030
6	1.07E-03	5.50E-06	B028	B044
7	7.62E-04	6.30E-05	B029	B044
8	7.41E-04	1.97E-06	B027	B046
9	6.39E-04	3.50E-06	B028	B045
10	3.59E-04	6.55E-07	B028	B030
11	1.34E-04	6.90E-07	B028	B046
12	1.32E-04	1.49E-07	B019	B044
13	1.32E-04	1.49E-07	B042	B044
14	1.00E-04	5.16E-07	B023	B037
15	9.62E-05	7.91E-06	B029	B046
16	8.98E-05	2.46E-07	B027	B043
17	8.76E-05	4.80E-07	B008	
18	8.31E-05	9.49E-08	B019	B045
19	8.31E-05	9.49E-08	B042	B045
20	6.26E-05	7.15E-08	B029	B047
21	6.26E-05	7.15E-08	B022	B029
22	4.82E-05	2.64E-07	B023	B029
23	3.59E-05	6.56E-08	B023	B027
24	3.36E-05	1.72E-07	B023	B036

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:00:11 page 10

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G029

annual failure frequency : 2.339E-02
variance : 3.949E-04

asymptotic unavailability: 1.343E-04
variance : 3.454E-03

mean failure duration (h): 1.443E+01
variance : 3.626E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:02

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/12 19:00:25 page 11

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G030

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

36 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.02E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.45E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 8.13E-03

6 additional cut set(s) rejected
30 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.01E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 3.39E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 1.13E-02

30 out of 89 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:09

=====

=====
 FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:00:45 page 12
 =====

=====
 Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G030
 =====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events	
1	5.90E-03	1.56E-05	B031	B053
2	5.90E-03	1.56E-05	B034	B049
3	4.99E-03	1.37E-05	B010	
4	3.17E-03	1.31E-04	B049	B053
5	2.74E-03	7.51E-06	B033	B034
6	1.36E-03	1.87E-06	B031	B034
7	1.07E-03	5.50E-06	B032	B053
8	7.62E-04	6.30E-05	B033	B053
9	7.41E-04	1.97E-06	B034	B050
10	7.41E-04	1.97E-06	B031	B054
11	4.00E-04	1.65E-05	B050	B053
12	4.00E-04	1.65E-05	B049	B054
13	3.59E-04	6.55E-07	B032	B034
14	1.34E-04	6.90E-07	B032	B054
15	1.32E-04	1.49E-07	B022	B049
16	1.32E-04	1.49E-07	B051	B053
17	1.32E-04	1.49E-07	B019	B053
18	1.32E-04	1.49E-07	B047	B049
19	1.07E-04	5.50E-07	B024	B049
20	1.00E-04	5.16E-07	B023	B037
21	9.62E-05	7.91E-06	B033	B054
22	8.98E-05	2.46E-07	B034	B048
23	8.98E-05	2.46E-07	B031	B052
24	8.76E-05	4.80E-07	B011	
25	6.26E-05	7.15E-08	B022	B033
26	6.26E-05	7.15E-08	B033	B047
27	5.03E-05	2.07E-06	B050	B054
28	4.82E-05	2.64E-07	B024	B033
29	3.59E-05	6.56E-08	B024	B031
30	3.36E-05	1.72E-07	B023	B036

Module CSDISP finished
 =====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/12 19:00:52 page 13

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G030

annual failure frequency : 3.007E-02
variance : 5.326E-04

asymptotic unavailability: 3.055E-04
variance : 5.825E-03

mean failure duration (h): 1.474E+01
variance : 2.705E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:07

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:01:11 page 14

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G009

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

87 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.37E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 5.34E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 2.25E-02

Repeating cutoff procedure

31 additional cut set(s) rejected
56 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.35E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 7.57E-04
ratio rejected to dominant cut sets < 3.22E-02

56 out of 1005 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:01:56

=====

=====
 FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:08:42 page 15
 =====

=====
 Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G009
 =====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events		
1	6.31E-03	9.36E-06	B093	B094	
2	2.82E-03	3.22E-06	B089	B097	
3	2.82E-03	3.22E-06	B089	B095	
4	1.59E-03	1.82E-06	B089	B098	
5	1.59E-03	1.82E-06	B089	B096	
6	8.76E-04	4.80E-06	B109		
7	7.97E-04	2.18E-06	B089	B090	
8	4.38E-04	6.00E-07	B092		
9	3.18E-04	1.64E-06	B120	B132	
10	3.02E-04	3.45E-07	B097	B102	
11	2.68E-04	1.38E-06	B123	B124	
12	2.48E-04	3.40E-07	B089	B113	B116
13	2.48E-04	3.40E-07	B089	B114	B115
14	2.48E-04	3.40E-07	B089	B114	B116
15	2.48E-04	3.40E-07	B089	B115	B116
16	2.48E-04	3.40E-07	B089	B112	B115
17	2.48E-04	3.40E-07	B089	B112	B116
18	2.48E-04	3.40E-07	B089	B113	B114
19	2.48E-04	3.40E-07	B089	B113	B115
20	2.48E-04	3.40E-07	B089	B112	B113
21	2.48E-04	3.40E-07	B089	B112	B114
22	2.34E-04	2.63E-07	B097	B099	
23	2.34E-04	2.63E-07	B095	B103	
24	2.28E-04	2.60E-07	B091		
25	2.19E-04	1.20E-06	B082		
26	1.71E-04	1.95E-07	B098	B102	
27	1.32E-04	1.49E-07	B096	B103	
28	1.32E-04	1.49E-07	B098	B099	
29	1.05E-04	5.76E-07	B110		
30	9.12E-05	4.69E-07	B084	B102	B103
31	9.12E-05	4.69E-07	B083	B102	B103
32	8.04E-05	4.13E-07	B120	B131	
33	8.04E-05	4.13E-07	B108	B120	
34	8.04E-05	4.13E-07	B120	B130	
35	7.40E-05	3.58E-07	B084	B099	B103
36	7.40E-05	3.58E-07	B083	B099	B103
37	6.64E-05	6.28E-08	B086	B095	
38	6.64E-05	6.28E-08	B085	B097	
39	6.64E-05	6.28E-08	B083	B097	
40	6.64E-05	6.28E-08	B084	B095	
41	4.08E-05	1.12E-07	B083	B086	B102
42	4.08E-05	1.12E-07	B084	B086	B102
43	4.08E-05	1.12E-07	B083	B084	B102
44	3.75E-05	3.55E-08	B086	B096	
45	3.75E-05	3.55E-08	B084	B096	
46	3.75E-05	3.55E-08	B083	B098	
47	3.75E-05	3.55E-08	B085	B098	
48	3.35E-05	1.72E-07	B108	B119	
49	3.22E-05	8.53E-08	B084	B085	B103
50	3.22E-05	8.53E-08	B083	B084	B103
51	3.22E-05	8.53E-08	B083	B085	B103
52	3.22E-05	8.53E-08	B083	B084	B099
53	3.22E-05	8.53E-08	B083	B086	B099
54	3.22E-05	8.53E-08	B084	B086	B099
55	2.94E-05	3.31E-08	B097	B101	
56	2.94E-05	3.31E-08	B095	B105	

=====
 Module CSDISP finished
 =====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:08:52 page 17

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G009

annual failure frequency : 2.347E-02
variance : 3.546E-04

asymptotic unavailability: 4.120E-05
variance : 3.110E+00

mean failure duration (h): 1.360E+01
variance : 2.282E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:02

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:09:06 page 18

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G006

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

14 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.55E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 7.49E-07
ratio rejected to dominant cut sets < 4.85E-05

Repeating cutoff procedure

4 additional cut set(s) rejected
10 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.54E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.59E-05
ratio rejected to dominant cut sets < 1.03E-03

10 out of 37 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:04

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:15:52 page 19

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G006

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events		
1	4.38E-03	3.60E-05	B062		
2	4.38E-03	8.50E-05	B064		
3	4.38E-03	8.50E-05	B061		
4	5.80E-04	9.12E-06	B068	B074	
5	5.17E-04	3.87E-06	B066	B074	
6	4.38E-04	8.50E-06	B060		
7	4.38E-04	8.50E-06	B059		
8	2.63E-04	1.44E-06	B063		
9	3.84E-05	5.17E-08	B065	B070	B071
10	3.01E-05	1.55E-07	B067	B074	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:15:53 page 20

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G006

annual failure frequency : 1.544E-02
variance : 1.652E-04

asymptotic unavailability: 2.376E-04
variance : 7.018E-01

mean failure duration (h): 1.361E+02
variance : 4.585E+04

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:16:04 page 21

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G140

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
 absolute cutoff limit : 1.00E-10

16 dominant cut sets found
 preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.64E-02
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.63E-06
 ratio rejected to dominant cut sets < 1.61E-04

Repeating cutoff procedure

4 additional cut set(s) rejected
 12 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.64E-02
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.14E-05
 ratio rejected to dominant cut sets < 6.99E-04

12 out of 39 treated cut sets were
 identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:04

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:16:30 page 22

=====

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G140

No.	Freq.	Unavall.	Basic Events		
1	4.38E-03	3.60E-04	B136		
2	4.38E-03	3.60E-04	B138		
3	4.38E-03	3.60E-04	B135		
4	9.36E-04	3.86E-05	B141	B145	
5	9.36E-04	3.86E-05	B139	B145	
6	4.38E-04	3.60E-05	B134		
7	4.38E-04	3.60E-05	B133		
8	2.63E-04	2.16E-05	B137		
9	7.54E-05	3.10E-06	B065	B143	B144
10	5.63E-05	2.32E-06	B140	B145	
11	4.15E-05	4.67E-08	B073	B139	
12	4.15E-05	4.67E-08	B073	B141	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:16:34 page 23

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G140

annual failure frequency : 1.636E-02
variance : 1.674E-04

asymptotic unavailability: 1.256E-03
variance : 7.019E-01

mean failure duration (h): 1.341E+02
variance : 4.137E+04

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/12 19:16:42 page 24

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G139

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

8 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.22E-01
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected
8 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.22E-01
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

8 out of 8 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

```
=====
FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc  90/07/12  19:16:58  page 25
=====
```

```
-----
Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G139
-----
```

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events
1	4.38E-02	3.60E-04	B066
2	4.38E-02	8.49E-04	B068
3	2.10E-02	4.08E-04	B003
4	5.50E-03	5.50E-03	B148
5	4.38E-03	8.50E-05	B061
6	2.63E-03	1.44E-05	B067
7	4.38E-04	8.50E-06	B060
8	4.38E-04	8.50E-06	B059

```
Module CSDISP finished
=====
```

```
=====
FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc  90/07/12  19:16:59  page 26
=====
```

```
-----
Module QUANTI : Asymptotic Quantification
-----
```

TOP-Event : G139

annual failure frequency : 1.219E-01
variance : 1.214E-02

asymptotic unavailability: 7.233E-03
variance : 9.388E-05

mean failure duration (h): 1.267E+02
variance : 4.700E+04

Probability of exceeding tolerable failure duration

```
Module QUANTI finished
```

```
Module time : 00:00:01
=====
```

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:33:47 page 8

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G043

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
 absolute cutoff limit : 1.00E-10

5 dominant cut sets found
 preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.42E-01
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.20E-05
 ratio rejected to dominant cut sets < 4.37E-04

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected
 5 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.42E-01
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.20E-05
 ratio rejected to dominant cut sets < 4.37E-04

5 out of 18 treated cut sets were
 identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:02

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:34:07 page 9

=====

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G043

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events
1	1.40E-01	2.24E-04	B147
2	8.76E-04	2.40E-06	B016
3	6.13E-04	8.40E-07	B005
4	2.28E-04	6.24E-07	B007
5	2.10E-04	5.76E-07	B006

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:34:14 page 10

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G043

annual failure frequency : 1.421E-01
variance : 5.504E-02

asymptotic unavailability: 2.284E-04
variance : 4.452E-07

mean failure duration (h): 1.408E+01
variance : 1.694E+03

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:34:22 page 11

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G028

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

12 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.07E-03
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

Repeating cutoff procedure

4 additional cut set(s) rejected
8 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.07E-03
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.18E-06
ratio rejected to dominant cut sets < 1.11E-03

8 out of 12 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:02

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:34:33 page 12

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G028

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events	
1	6.13E-04	8.40E-07	B005	
2	2.28E-04	6.24E-07	B007	
3	2.10E-04	5.76E-07	B006	
4	8.14E-06	1.11E-08	B018	B021
5	1.70E-06	1.37E-09	B019	B021
6	1.70E-06	1.37E-09	B018	B020
7	1.70E-06	1.37E-09	B017	B021
8	1.70E-06	1.37E-09	B018	B022

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 11:34:35 page 13

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G028

annual failure frequency : 1.066E-03
variance : 1.324E-06

asymptotic unavailability: 2.057E-06
variance : 5.999E-07

mean failure duration (h): 1.690E+01
variance : 8.554E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 12:14:36 page 20

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G002

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

45 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.13E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.37E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 5.65E-01

Repeating cutoff procedure

2 additional cut set(s) rejected

43 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.13E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.38E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 5.67E-01

43 out of 11646 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:28:04

=====

=====
 FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 13:23:31 page 21
 =====

 Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G002

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
1	2.01E-08	2.57E-11	B064	B004	B005		
2	2.01E-08	2.57E-11	B061	B004	B005		
3	9.27E-09	1.09E-11	B062	B004	B005		
4	7.95E-09	1.91E-11	B061	B004	B007		
5	7.95E-09	1.91E-11	B064	B004	B007		
6	7.34E-09	1.76E-11	B061	B004	B006		
7	7.34E-09	1.76E-11	B064	B004	B006		
8	3.94E-09	8.09E-12	B062	B004	B007		
9	3.63E-09	7.46E-12	B062	B004	B006		
10	2.40E-09	9.73E-12	B061	B023	B037	B149	B150
11	2.40E-09	9.73E-12	B064	B023	B037	B149	B150
12	2.19E-09	2.76E-12	B068	B074	B004	B005	
13	2.01E-09	2.57E-12	B060	B004	B005		
14	2.01E-09	2.57E-12	B059	B004	B005		
15	1.30E-09	4.12E-12	B062	B023	B037	B149	B150
16	1.01E-09	1.17E-12	B066	B074	B004	B005	
17	8.78E-10	2.05E-12	B068	B074	B004	B007	
18	8.11E-10	1.89E-12	B068	B074	B004	B006	
19	8.01E-10	3.26E-12	B061	B023	B036	B149	B150
20	8.01E-10	3.26E-12	B064	B023	B036	B149	B150
21	7.95E-10	1.91E-12	B059	B004	B007		
22	7.95E-10	1.91E-12	B060	B004	B007		
23	7.34E-10	1.76E-12	B059	B004	B006		
24	7.34E-10	1.76E-12	B060	B004	B006		
25	4.76E-10	4.14E-12	B064	B026	B035	B149	B150
26	4.76E-10	4.14E-12	B061	B026	B035	B149	B150
27	4.36E-10	1.38E-12	B062	B023	B036	B149	B150
28	4.33E-10	8.68E-13	B066	B074	B004	B007	
29	4.00E-10	8.02E-13	B066	B074	B004	B006	
30	3.97E-10	4.35E-13	B063	B004	B005		
31	3.25E-10	1.75E-12	B062	B026	B035	B149	B150
32	2.70E-10	1.04E-12	B068	B074	B023	B037	B149 B150
33	2.67E-10	3.41E-13	B064	B004	B018	B021	
34	2.67E-10	3.41E-13	B061	B004	B018	B021	
35	2.40E-10	9.73E-13	B059	B023	B037	B149	B150
36	2.40E-10	9.73E-13	B060	B023	B037	B149	B150
37	1.77E-10	3.23E-13	B063	B004	B007		
38	1.63E-10	2.99E-13	B063	B004	B006		
39	1.59E-10	1.38E-12	B061	B026	B036	B149	B150
40	1.59E-10	1.38E-12	B064	B026	B036	B149	B150
41	1.45E-10	4.43E-13	B066	B074	B023	B037	B149 B150
42	1.23E-10	1.44E-13	B062	B004	B018	B021	
43	1.19E-10	1.23E-13	B068	B075	B004	B005	

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 13:23:42 page 22

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G002

annual failure frequency : 1.125E-07
 variance : 1.452E-14

asymptotic unavailability: 2.230E-10
 variance : 2.906E+01

mean failure duration (h): 1.504E+01
 variance : 3.041E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:03

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 13:23:57 page 23

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GA02

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
 absolute cutoff limit : 1.00E-10

344 dominant cut sets found
 preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.23E-06
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 4.09E-07
 ratio rejected to dominant cut sets < 1.84E-01

Repeating cutoff procedure

208 additional cut set(s) rejected
 136 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.08E-06
 annual failure frequency of the rejected cut sets < 5.50E-07
 ratio rejected to dominant cut sets < 2.64E-01

136 out of 9662 treated cut sets were
 identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:23:35

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GA02

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
1	2.02E-07	2.78E-10	B001	B064	B093	B094	
2	2.02E-07	2.78E-10	B001	B061	B093	B094	
3	9.38E-08	1.18E-10	B001	B062	B093	B094	
4	8.88E-08	9.58E-11	B001	B061	B089	B097	
5	8.88E-08	9.58E-11	B001	B064	B089	B095	
6	8.88E-08	9.58E-11	B001	B061	B089	B095	
7	8.88E-08	9.58E-11	B001	B064	B089	B097	
8	5.02E-08	5.41E-11	B001	B061	B089	B098	
9	5.02E-08	5.41E-11	B001	B064	B089	B096	
10	5.02E-08	5.41E-11	B001	B061	B089	B096	
11	5.02E-08	5.41E-11	B001	B064	B089	B098	
12	4.05E-08	4.06E-11	B001	B062	B089	B097	
13	4.05E-08	4.06E-11	B001	B062	B089	B095	
14	3.34E-08	1.43E-10	B001	B061	B109		
15	3.34E-08	1.43E-10	B001	B064	B109		
16	2.71E-08	6.50E-11	B001	B061	B089	B090	
17	2.71E-08	6.50E-11	B001	B064	B089	B090	
18	2.29E-08	2.29E-11	B001	B062	B089	B098	
19	2.29E-08	2.29E-11	B001	B062	B089	B096	
20	2.20E-08	2.99E-11	B001	B068	B074	B093	B094
21	2.02E-08	2.78E-11	B001	B060	B093	B094	
22	2.02E-08	2.78E-11	B001	B059	B093	B094	
23	2.01E-08	2.57E-11	B064	B004	B005		
24	2.01E-08	2.57E-11	B061	B004	B005		
25	1.84E-08	6.05E-11	B001	B062	B109		
26	1.39E-08	1.78E-11	B001	B064	B092		
27	1.39E-08	1.78E-11	B001	B061	B092		
28	1.34E-08	2.75E-11	B001	B062	B089	B090	
29	1.20E-08	4.86E-11	B001	B061	B120	B132	
30	1.20E-08	4.86E-11	B001	B064	B120	B132	
31	1.02E-08	1.27E-11	B001	B066	B074	B093	B094
32	1.01E-08	4.10E-11	B001	B061	B123	B124	
33	1.01E-08	4.10E-11	B001	B064	B123	B124	
34	9.66E-09	1.03E-11	B001	B068	B074	B089	B097
35	9.66E-09	1.03E-11	B001	B068	B074	B089	B095
36	9.52E-09	1.03E-11	B001	B061	B097	B102	
37	9.52E-09	1.03E-11	B001	B064	B097	B102	
38	9.27E-09	1.09E-11	B062	B004	B005		
39	8.88E-09	9.58E-12	B001	B059	B089	B097	
40	8.88E-09	9.58E-12	B001	B060	B089	B097	
41	8.88E-09	9.58E-12	B001	B060	B089	B095	
42	8.88E-09	9.58E-12	B001	B059	B089	B095	
43	8.35E-09	3.57E-11	B001	B082	B064		
44	8.35E-09	3.57E-11	B001	B082	B061		
45	7.95E-09	1.91E-11	B061	B004	B007		
46	7.95E-09	1.91E-11	B064	B004	B007		
47	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B112	B114
48	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B112	B114
49	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B112	B113
50	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B112	B115

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/13 13:50:55 page 25

=====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
51	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B112	B115
52	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B112	B116
53	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B112	B116
54	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B113	B114
55	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B113	B116
56	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B113	B116
57	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B114	B115
58	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B114	B115
59	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B114	B116
60	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B114	B116
61	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B115	B116
62	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B115	B116
63	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B113	B114
64	7.90E-09	1.01E-11	B001	B064	B089	B113	B115
65	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B113	B115
66	7.90E-09	1.01E-11	B001	B061	B089	B112	B113
67	7.36E-09	7.84E-12	B001	B064	B095	B103	
68	7.36E-09	7.84E-12	B001	B061	B095	B103	
69	7.36E-09	7.84E-12	B001	B064	B097	B099	
70	7.36E-09	7.84E-12	B001	B061	B097	B099	
71	7.34E-09	1.76E-11	B061	B004	B006		
72	7.34E-09	1.76E-11	B064	B004	B006		
73	7.17E-09	7.73E-12	B001	B064	B091		
74	7.17E-09	7.73E-12	B001	B061	B091		
75	6.51E-09	2.06E-11	B001	B062	B120	B132	
76	6.44E-09	7.56E-12	B001	B062	B092		
77	5.49E-09	1.74E-11	B001	B062	B123	B124	
78	5.46E-09	5.81E-12	B001	B068	B074	B089	B096
79	5.46E-09	5.81E-12	B001	B068	B074	B089	B098
80	5.38E-09	5.80E-12	B001	B061	B098	B102	
81	5.38E-09	5.80E-12	B001	B064	B098	B102	
82	5.02E-09	5.41E-12	B001	B059	B089	B096	
83	5.02E-09	5.41E-12	B001	B060	B089	B096	
84	5.02E-09	5.41E-12	B001	B059	B089	B098	
85	5.02E-09	5.41E-12	B001	B060	B089	B098	
86	4.60E-09	1.51E-11	B001	B082	B062		
87	4.40E-09	4.36E-12	B001	B066	B074	B089	B097
88	4.40E-09	4.36E-12	B001	B066	B074	B089	B095
89	4.34E-09	4.35E-12	B001	B062	B097	B102	
90	4.16E-09	4.43E-12	B001	B061	B098	B099	
91	4.16E-09	4.43E-12	B001	B064	B096	B103	
92	4.16E-09	4.43E-12	B001	B061	B096	B103	
93	4.16E-09	4.43E-12	B001	B064	B098	B099	
94	4.04E-09	4.72E-12	B001	B063	B093	B094	
95	4.01E-09	1.71E-11	B001	B064	B110		
96	4.01E-09	1.71E-11	B001	B061	B110		
97	3.94E-09	8.09E-12	B062	B004	B007		
98	3.77E-09	1.53E-11	B001	B068	B074	B109	
99	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B113	B114
100	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B115	B116

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
101	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B113	B116
102	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B112	B113
103	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B112	B116
104	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B114	B115
105	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B113	B115
106	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B112	B115
107	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B114	B116
108	3.64E-09	4.28E-12	B001	B062	B089	B112	B114
109	3.63E-09	7.46E-12	B062	B004	B006		
110	3.43E-09	1.39E-11	B001	B064	B084	B102	B103
111	3.43E-09	1.39E-11	B001	B064	B083	B102	B103
112	3.43E-09	1.39E-11	B001	B061	B083	B102	B103
113	3.43E-09	1.39E-11	B001	B061	B084	B102	B103
114	3.35E-09	3.32E-12	B001	B062	B095	B103	
115	3.35E-09	3.32E-12	B001	B062	B097	B099	
116	3.34E-09	1.43E-11	B001	B059	B109		
117	3.34E-09	1.43E-11	B001	B060	B109		
118	3.27E-09	3.28E-12	B001	B062	B091		
119	3.03E-09	1.23E-11	B001	B061	B120	B130	
120	3.03E-09	1.23E-11	B001	B064	B120	B131	
121	3.03E-09	1.23E-11	B001	B061	B120	B131	
122	3.03E-09	1.23E-11	B001	B064	B108	B120	
123	3.03E-09	1.23E-11	B001	B061	B108	B120	
124	3.03E-09	1.23E-11	B001	B064	B120	B130	
125	2.99E-09	6.97E-12	B001	B068	B074	B089	B090
126	2.75E-09	1.06E-11	B001	B064	B083	B099	B103
127	2.75E-09	1.06E-11	B001	B061	B083	B099	B103
128	2.75E-09	1.06E-11	B001	B064	B084	B099	B103
129	2.75E-09	1.06E-11	B001	B061	B084	B099	B103
130	2.71E-09	6.50E-12	B001	B059	B089	B090	
131	2.71E-09	6.50E-12	B001	B060	B089	B090	
132	2.49E-09	2.46E-12	B001	B066	B074	B089	B098
133	2.49E-09	2.46E-12	B001	B066	B074	B089	B096
134	2.45E-09	2.46E-12	B001	B062	B098	B102	
135	2.21E-09	7.26E-12	B001	B062	B110		
136	2.19E-09	2.76E-12	B068	B074	B004	B005	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 13:51:17 page 27

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GA02

annual failure frequency : 2.085E-06
variance : 2.175E-12

asymptotic unavailability: 3.250E-09
variance : 6.860E+01

mean failure duration (h): 1.256E+01
variance : 9.631E+01

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:02

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 13:51:35 page 28

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GA03

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

29 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 5.02E-08
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.55E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 3.08E-01

Repeating cutoff procedure

1 additional cut set(s) rejected
28 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 5.02E-08
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.55E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 3.08E-01

28 out of 2940 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:06:51

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 14:21:32 page 29

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GA03

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events						
1	9.84E-09	1.26E-11	B064	B004	B005	B002			
2	9.84E-09	1.26E-11	B061	B004	B005	B002			
3	4.54E-09	5.33E-12	B082	B004	B005	B002			
4	3.90E-09	9.36E-12	B061	B004	B002	B007			
5	3.90E-09	9.36E-12	B064	B004	B002	B007			
6	3.60E-09	8.64E-12	B061	B004	B002	B006			
7	3.60E-09	8.64E-12	B064	B004	B002	B006			
8	1.93E-09	3.96E-12	B062	B004	B002	B007			
9	1.78E-09	3.66E-12	B062	B004	B002	B006			
10	1.07E-09	1.35E-12	B068	B074	B004	B005	B002		
11	9.84E-10	1.26E-12	B060	B004	B005	B002			
12	9.84E-10	1.26E-12	B059	B004	B005	B002			
13	4.95E-10	5.73E-13	B066	B074	B004	B005	B002		
14	4.30E-10	1.00E-12	B068	B074	B004	B002	B007		
15	3.97E-10	9.27E-13	B068	B074	B004	B002	B006		
16	3.90E-10	9.36E-13	B059	B004	B002	B007			
17	3.90E-10	9.36E-13	B060	B004	B002	B007			
18	3.60E-10	8.64E-13	B059	B004	B002	B006			
19	3.60E-10	8.64E-13	B060	B004	B002	B006			
20	2.12E-10	4.26E-13	B066	B074	B004	B002	B007		
21	1.96E-10	3.93E-13	B066	B074	B004	B002	B006		
22	1.95E-10	2.13E-13	B063	B004	B005	B002			
23	1.77E-10	2.57E-13	B064	B002	B029	B044	B147	B149	
24	1.77E-10	2.57E-13	B061	B002	B029	B044	B147	B149	
25	1.31E-10	1.67E-13	B064	B004	B002	B018	B021		
26	1.31E-10	1.67E-13	B061	B004	B002	B018	B021		
27	1.11E-10	1.64E-13	B064	B002	B029	B045	B147	B149	
28	1.11E-10	1.64E-13	B061	B002	B029	B045	B147	B149	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/13 14:21:39 page 30

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GA03

annual failure frequency : 5.023E-08
variance : 4.111E-15

asymptotic unavailability: 8.631E-11
variance : 2.971E+01

mean failure duration (h): 1.494E+01
variance : 4.097E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:01:23

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 14:00:08 page 8

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : G003

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

69 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.58E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.66E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 6.45E-02

Repeating cutoff procedure

25 additional cut set(s) rejected
44 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.54E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.00E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 7.86E-02

44 out of 2955 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:06:46

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 14:08:04 page 1

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G003

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
1	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B136	
2	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B138	
3	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B135	
4	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B136	
5	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B138	
6	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B135	
7	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B136	
8	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B138	
9	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B135	
10	4.31E-09	5.72E-12	B004	B005	B002	B141	B145
11	4.31E-09	5.72E-12	B004	B005	B002	B139	B145
12	3.96E-09	5.33E-12	B004	B005	B002	B134	
13	3.96E-09	5.33E-12	B004	B005	B002	B133	
14	2.88E-09	3.82E-12	B004	B005	B002	B141	B146
15	2.88E-09	3.82E-12	B004	B005	B002	B139	B146
16	2.37E-09	3.20E-12	B004	B005	B002	B137	
17	1.65E-09	4.25E-12	B004	B002	B007	B141	B145
18	1.65E-09	4.25E-12	B004	B002	B007	B139	B145
19	1.53E-09	3.92E-12	B004	B002	B006	B139	B145
20	1.53E-09	3.92E-12	B004	B002	B006	B141	B145
21	1.49E-09	3.96E-12	B004	B002	B007	B134	
22	1.49E-09	3.96E-12	B004	B002	B007	B133	
23	1.38E-09	3.66E-12	B004	B002	B006	B133	
24	1.38E-09	3.66E-12	B004	B002	B006	B134	
25	1.10E-09	2.84E-12	B004	B002	B007	B141	B146
26	1.10E-09	2.84E-12	B004	B002	B007	B139	B146
27	1.02E-09	2.62E-12	B004	B002	B006	B139	B146
28	1.02E-09	2.62E-12	B004	B002	B006	B141	B146
29	8.96E-10	2.38E-12	B004	B002	B007	B137	
30	8.27E-10	2.19E-12	B004	B002	B006	B137	
31	7.08E-10	1.09E-12	B002	B029	B044	B147	B149 B136
32	7.08E-10	1.09E-12	B002	B029	B044	B147	B149 B138
33	7.08E-10	1.09E-12	B002	B029	B044	B147	B149 B135
34	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B136
35	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B138
36	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B135
37	4.43E-10	6.94E-13	B002	B029	B045	B147	B149 B138
38	4.43E-10	6.94E-13	B002	B029	B045	B147	B149 B136
39	4.43E-10	6.94E-13	B002	B029	B045	B147	B149 B135
40	3.47E-10	4.60E-13	B065	B004	B005	B002	B143 B144
41	2.75E-10	2.70E-13	B002	B027	B044	B147	B149 B136
42	2.75E-10	2.70E-13	B002	B027	B044	B147	B149 B138
43	2.75E-10	2.70E-13	B002	B027	B044	B147	B149 B135
44	2.59E-10	3.44E-13	B004	B005	B002	B140	B145

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 14:08:16 page 10

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G003

annual failure frequency : 2.542E-07
variance : 6.549E-14

asymptotic unavailability: 4.777E-10
variance : 4.786E+01

mean failure duration (h): 1.433E+01
variance : 2.572E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:03

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 09:20:27 page 8

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GA04

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

54 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.52E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 5.89E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 2.34E-01

Repeating cutoff procedure

19 additional cut set(s) rejected
35 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 2.50E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.12E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 2.45E-01

35 out of 15251 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:36:39

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/15 10:03:14 page

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GA04

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events					
1	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B136		
2	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B138		
3	3.96E-08	5.33E-11	B004	B005	B002	B135		
4	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B136		
5	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B138		
6	1.49E-08	3.96E-11	B004	B002	B007	B135		
7	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B136		
8	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B138		
9	1.38E-08	3.66E-11	B004	B002	B006	B135		
10	4.31E-09	5.72E-12	B004	B005	B002	B141	B145	
11	4.31E-09	5.72E-12	B004	B005	B002	B139	B145	
12	3.96E-09	5.33E-12	B004	B005	B002	B134		
13	3.96E-09	5.33E-12	B004	B005	B002	B133		
14	2.88E-09	3.82E-12	B004	B005	B002	B141	B146	
15	2.88E-09	3.82E-12	B004	B005	B002	B139	B146	
16	2.37E-09	3.20E-12	B004	B005	B002	B137		
17	1.65E-09	4.25E-12	B004	B002	B007	B141	B145	
18	1.65E-09	4.25E-12	B004	B002	B007	B139	B145	
19	1.53E-09	3.92E-12	B004	B002	B006	B139	B145	
20	1.53E-09	3.92E-12	B004	B002	B006	B141	B145	
21	1.49E-09	3.96E-12	B004	B002	B007	B134		
22	1.49E-09	3.96E-12	B004	B002	B007	B133		
23	1.38E-09	3.66E-12	B004	B002	B006	B133		
24	1.38E-09	3.66E-12	B004	B002	B006	B134		
25	1.10E-09	2.84E-12	B004	B002	B007	B141	B146	
26	1.10E-09	2.84E-12	B004	B002	B007	B139	B146	
27	1.02E-09	2.62E-12	B004	B002	B006	B139	B146	
28	1.02E-09	2.62E-12	B004	B002	B006	B141	B146	
29	8.96E-10	2.38E-12	B004	B002	B007	B137		
30	8.27E-10	2.19E-12	B004	B002	B006	B137		
31	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B136	
32	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B138	
33	5.25E-10	7.08E-13	B004	B002	B018	B021	B135	
34	3.47E-10	4.60E-13	B065	B004	B005	B002	B143	B144
35	2.59E-10	3.44E-13	B004	B005	B002	B140	B145	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:03:22 page 10

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GA04

annual failure frequency : 2.499E-07
variance : 6.546E-14

asymptotic unavailability: 4.715E-10
variance : 3.697E+01

mean failure duration (h): 1.447E+01
variance : 2.660E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:03:32 page 11

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G004

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

156 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.01E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 4.84E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 4.80E-01

Repeating cutoff procedure

1 additional cut set(s) rejected
155 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 1.01E-07
annual failure frequency of the rejected cut sets < 4.84E-08
ratio rejected to dominant cut sets < 4.80E-01

155 out of 5758 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:12:40

=====

=====
 FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/15 10:20:22 page 12
 =====

=====
 Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G004
 =====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
1	5.28E-09	1.36E-11	B027	B044	B149	B136	B148
2	5.28E-09	1.36E-11	B027	B044	B149	B138	B148
3	5.28E-09	1.36E-11	B027	B044	B149	B135	B148
4	4.47E-09	1.19E-11	B009	B149	B136	B148	
5	4.47E-09	1.19E-11	B009	B149	B135	B148	
6	4.47E-09	1.19E-11	B009	B149	B138	B148	
7	3.26E-09	8.64E-12	B027	B045	B149	B136	B148
8	3.26E-09	8.64E-12	B027	B045	B149	B138	B148
9	3.26E-09	8.64E-12	B027	B045	B149	B135	B148
10	2.46E-09	6.51E-12	B029	B030	B149	B138	B148
11	2.46E-09	6.51E-12	B029	B030	B149	B136	B148
12	2.46E-09	6.51E-12	B029	B030	B149	B135	B148
13	1.32E-09	5.46E-11	B029	B044	B149	B138	B148
14	1.32E-09	5.46E-11	B029	B044	B149	B135	B148
15	1.32E-09	5.46E-11	B029	B044	B149	B136	B148
16	1.20E-09	1.62E-12	B027	B030	B149	B135	B148
17	1.20E-09	1.62E-12	B027	B030	B149	B138	B148
18	1.20E-09	1.62E-12	B027	B030	B149	B136	B148
19	9.84E-10	4.76E-12	B028	B044	B149	B135	B148
20	9.84E-10	4.76E-12	B028	B044	B149	B136	B148
21	9.84E-10	4.76E-12	B028	B044	B149	B138	B148
22	9.23E-10	2.09E-12	B068	B027	B044	B149	B136
23	9.23E-10	2.09E-12	B068	B027	B044	B149	B138
24	9.23E-10	2.09E-12	B068	B027	B044	B149	B135
25	7.85E-10	1.83E-12	B068	B009	B149	B136	
26	7.85E-10	1.83E-12	B068	B009	B149	B135	
27	7.85E-10	1.83E-12	B068	B009	B149	B138	
28	6.63E-10	1.70E-12	B027	B046	B149	B136	B148
29	6.63E-10	1.70E-12	B027	B046	B149	B135	B148
30	6.63E-10	1.70E-12	B027	B046	B149	B138	B148
31	6.39E-10	8.43E-12	B068	B029	B044	B149	B136
32	6.39E-10	8.43E-12	B068	B029	B044	B149	B138
33	6.39E-10	8.43E-12	B068	B029	B044	B149	B135
34	5.91E-10	3.03E-12	B028	B045	B149	B135	B148
35	5.91E-10	3.03E-12	B028	B045	B149	B136	B148
36	5.91E-10	3.03E-12	B028	B045	B149	B138	B148
37	5.83E-10	1.45E-12	B027	B044	B149	B141	B145 B148
38	5.83E-10	1.45E-12	B027	B044	B149	B139	B145 B148
39	5.72E-10	1.33E-12	B068	B027	B045	B149	B138
40	5.72E-10	1.33E-12	B068	B027	B045	B149	B136
41	5.72E-10	1.33E-12	B068	B027	B045	B149	B135
42	5.28E-10	1.36E-12	B027	B044	B149	B134	B148
43	5.28E-10	1.36E-12	B027	B044	B149	B133	B148
44	5.21E-10	3.57E-12	B066	B029	B044	B149	B138
45	5.21E-10	3.57E-12	B066	B029	B044	B149	B135
46	5.21E-10	3.57E-12	B066	B029	B044	B149	B136
47	4.95E-10	1.27E-12	B009	B149	B139	B145	B148
48	4.95E-10	1.27E-12	B009	B149	B141	B145	B148
49	4.53E-10	8.87E-13	B066	B027	B044	B149	B136
50	4.53E-10	8.87E-13	B066	B027	B044	B149	B135

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:20:28 page

=====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
51	4.53E-10	8.87E-13	B066	B027	B044	B149	B138
52	4.47E-10	1.19E-12	B009	B149	B133	B148	
53	4.47E-10	1.19E-12	B009	B149	B134	B148	
54	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B138	B148	
55	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B136	B148	
56	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B135	B148	
57	4.43E-10	1.01E-12	B003	B027	B044	B149	B136
58	4.43E-10	1.01E-12	B003	B027	B044	B149	B138
59	4.43E-10	1.01E-12	B003	B027	B044	B149	B135
60	4.31E-10	1.01E-12	B068	B029	B030	B149	B135
61	4.31E-10	1.01E-12	B068	B029	B030	B149	B136
62	4.31E-10	1.01E-12	B068	B029	B030	B149	B138
63	4.23E-10	3.48E-11	B029	B045	B149	B138	B148
64	4.23E-10	3.48E-11	B029	B045	B149	B135	B148
65	4.23E-10	3.48E-11	B029	B045	B149	B136	B148
66	3.87E-10	7.75E-13	B066	B009	B149	B138	
67	3.87E-10	7.75E-13	B066	B009	B149	B135	
68	3.87E-10	7.75E-13	B066	B009	B149	B136	
69	3.77E-10	8.79E-13	B003	B009	B149	B136	
70	3.77E-10	8.79E-13	B003	B009	B149	B135	
71	3.77E-10	8.79E-13	B003	B009	B149	B138	
72	3.61E-10	9.27E-13	B027	B045	B149	B141	B145 B148
73	3.61E-10	9.27E-13	B027	B045	B149	B139	B145 B148
74	3.42E-10	5.37E-12	B068	B029	B045	B149	B135
75	3.42E-10	5.37E-12	B068	B029	B045	B149	B138
76	3.42E-10	5.37E-12	B068	B029	B045	B149	B136
77	3.26E-10	8.64E-13	B027	B045	B149	B134	B148
78	3.26E-10	8.64E-13	B027	B045	B149	B133	B148
79	3.18E-10	5.68E-13	B028	B030	B149	B138	B148
80	3.18E-10	5.68E-13	B028	B030	B149	B136	B148
81	3.18E-10	5.68E-13	B028	B030	B149	B135	B148
82	3.16E-10	8.13E-13	B027	B044	B149	B137	B148
83	3.07E-10	4.05E-12	B003	B029	B044	B149	B136
84	3.07E-10	4.05E-12	B003	B029	B044	B149	B138
85	3.07E-10	4.05E-12	B003	B029	B044	B149	B135
86	3.05E-10	2.28E-12	B066	B029	B045	B149	B136
87	3.05E-10	2.28E-12	B066	B029	B045	B149	B135
88	3.05E-10	2.28E-12	B066	B029	B045	B149	B138
89	2.82E-10	5.65E-13	B066	B027	B045	B149	B136
90	2.82E-10	5.65E-13	B066	B027	B045	B149	B138
91	2.82E-10	5.65E-13	B066	B027	B045	B149	B135
92	2.75E-10	6.41E-13	B003	B027	B045	B149	B136
93	2.75E-10	6.41E-13	B003	B027	B045	B149	B135
94	2.75E-10	6.41E-13	B003	B027	B045	B149	B138
95	2.72E-10	6.98E-13	B029	B030	B149	B141	B145 B148
96	2.72E-10	6.98E-13	B029	B030	B149	B139	B145 B148
97	2.68E-10	7.10E-13	B009	B149	B137	B148	
98	2.46E-10	6.51E-13	B029	B030	B149	B133	B148
99	2.46E-10	6.51E-13	B029	B030	B149	B134	B148
100	2.13E-10	5.85E-12	B029	B044	B149	B141	B145 B148

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:20:32 page 14

=====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events					
101	2.13E-10	5.85E-12	B029	B044	B149	B139	B145	B148
102	2.12E-10	4.26E-13	B066	B029	B030	B149	B135	
103	2.12E-10	4.26E-13	B066	B029	B030	B149	B138	
104	2.12E-10	4.26E-13	B066	B029	B030	B149	B136	
105	2.07E-10	4.83E-13	B003	B029	B030	B149	B136	
106	2.07E-10	4.83E-13	B003	B029	B030	B149	B138	
107	2.07E-10	4.83E-13	B003	B029	B030	B149	B135	
108	1.98E-10	2.50E-13	B068	B027	B030	B149	B135	
109	1.98E-10	2.50E-13	B068	B027	B030	B149	B136	
110	1.98E-10	2.50E-13	B068	B027	B030	B149	B138	
111	1.95E-10	5.18E-13	B027	B045	B149	B137	B148	
112	1.90E-10	7.35E-13	B068	B028	B044	B149	B138	
113	1.90E-10	7.35E-13	B068	B028	B044	B149	B136	
114	1.90E-10	7.35E-13	B068	B028	B044	B149	B135	
115	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B136	B148		
116	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B138	B148		
117	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B135	B148		
118	1.67E-10	6.86E-12	B029	B046	B149	B136	B148	
119	1.67E-10	6.86E-12	B029	B046	B149	B135	B148	
120	1.67E-10	6.86E-12	B029	B046	B149	B138	B148	
121	1.64E-10	2.58E-12	B003	B029	B045	B149	B136	
122	1.64E-10	2.58E-12	B003	B029	B045	B149	B135	
123	1.64E-10	2.58E-12	B003	B029	B045	B149	B138	
124	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B135	B148		
125	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B136	B148		
126	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B138	B148		
127	1.47E-10	3.90E-13	B029	B030	B149	B137	B148	
128	1.32E-10	5.46E-12	B029	B044	B149	B133	B148	
129	1.32E-10	5.46E-12	B029	B044	B149	B134	B148	
130	1.31E-10	1.73E-13	B027	B030	B149	B141	B145	B148
131	1.31E-10	1.73E-13	B027	B030	B149	B139	B145	B148
132	1.24E-10	5.98E-13	B028	B046	B149	B135	B148	
133	1.24E-10	5.98E-13	B028	B046	B149	B138	B148	
134	1.24E-10	5.98E-13	B028	B046	B149	B136	B148	
135	1.20E-10	1.62E-13	B027	B030	B149	B133	B148	
136	1.20E-10	1.62E-13	B027	B030	B149	B134	B148	
137	1.16E-10	1.29E-13	B019	B044	B149	B138	B148	
138	1.16E-10	1.29E-13	B042	B044	B149	B138	B148	
139	1.16E-10	1.29E-13	B019	B044	B149	B135	B148	
140	1.16E-10	1.29E-13	B042	B044	B149	B135	B148	
141	1.16E-10	1.29E-13	B019	B044	B149	B136	B148	
142	1.16E-10	1.29E-13	B042	B044	B149	B136	B148	
143	1.16E-10	2.63E-13	B068	B027	B046	B149	B136	
144	1.16E-10	2.63E-13	B068	B027	B046	B149	B138	
145	1.16E-10	2.63E-13	B068	B027	B046	B149	B135	
146	1.15E-10	4.69E-13	B068	B028	B045	B149	B136	
147	1.15E-10	4.69E-13	B068	B028	B045	B149	B135	
148	1.15E-10	4.69E-13	B068	B028	B045	B149	B138	
149	1.12E-10	5.11E-13	B028	B044	B149	B139	B145	B148
150	1.12E-10	5.11E-13	B028	B044	B149	B141	B145	B148

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:20:39 page 15

=====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events						
151	1.02E-10	3.11E-13	B066	B028	B044	B149	B136		
152	1.02E-10	3.11E-13	B066	B028	B044	B149	B138		
153	1.02E-10	3.11E-13	B066	B028	B044	B149	B135		
154	1.02E-10	2.24E-13	B068	B027	B044	B149	B139	B145	
155	1.02E-10	2.24E-13	B068	B027	B044	B149	B141	B145	

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 10:20:58 page 16

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G004

annual failure frequency : 1.009E-07
variance : 2.668E-15

asymptotic unavailability: 6.170E-10
variance : 8.168E+01

mean failure duration (h): 1.011E+01
variance : 3.426E+01

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:02

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/S1T/Lc 90/07/15 10:21:17 page 17

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

=====

Evaluation for TOP Gate : GA05

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

150 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 6.31E-08
annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.19E-07
ratio rejected to dominant cut sets < 3.46E+00

Repeating cutoff procedure

1 additional cut set(s) rejected
149 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 6.31E-08
annual failure frequency of the rejected cut sets < 2.19E-07
ratio rejected to dominant cut sets < 3.46E+00

149 out of 30893 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 01:10:18

=====

=====
 FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/15 11:32:31 page 18
 =====

=====
 Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GA05
 =====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events				
1	4.45E-09	6.49E-12	B001	B093	B094	B136	B148
2	4.45E-09	6.49E-12	B001	B093	B094	B138	B148
3	4.45E-09	6.49E-12	B001	B093	B094	B135	B148
4	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B095	B138	B148
5	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B097	B138	B148
6	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B097	B136	B148
7	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B095	B135	B148
8	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B097	B135	B148
9	1.98E-09	2.23E-12	B001	B089	B095	B136	B148
10	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B098	B136	B148
11	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B096	B138	B148
12	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B096	B135	B148
13	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B096	B136	B148
14	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B098	B135	B148
15	1.12E-09	1.26E-12	B001	B089	B098	B138	B148
16	7.39E-10	1.00E-12	B001	B068	B093	B094	B136
17	7.39E-10	1.00E-12	B001	B068	B093	B094	B138
18	7.39E-10	1.00E-12	B001	B068	B093	B094	B135
19	6.47E-10	3.33E-12	B001	B109	B136	B148	
20	6.47E-10	3.33E-12	B001	B109	B135	B148	
21	6.47E-10	3.33E-12	B001	B109	B138	B148	
22	5.71E-10	1.51E-12	B001	B089	B090	B135	B148
23	5.71E-10	1.51E-12	B001	B089	B090	B136	B148
24	5.71E-10	1.51E-12	B001	B089	B090	B138	B148
25	4.86E-10	6.96E-13	B001	B093	B094	B141	B145 B148
26	4.86E-10	6.96E-13	B001	B093	B094	B139	B145 B148
27	4.45E-10	6.49E-13	B001	B093	B094	B134	B148
28	4.45E-10	6.49E-13	B001	B093	B094	B133	B148
29	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B138	B148	
30	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B136	B148	
31	4.44E-10	5.99E-13	B004	B005	B135	B148	
32	3.55E-10	4.81E-13	B001	B003	B093	B094	B136
33	3.55E-10	4.81E-13	B001	B003	B093	B094	B138
34	3.55E-10	4.81E-13	B001	B003	B093	B094	B135
35	3.43E-10	4.24E-13	B001	B066	B093	B094	B138
36	3.43E-10	4.24E-13	B001	B066	B093	B094	B135
37	3.43E-10	4.24E-13	B001	B066	B093	B094	B136
38	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B097	B138
39	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B097	B136
40	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B095	B135
41	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B097	B135
42	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B095	B136
43	3.24E-10	3.45E-13	B001	B068	B089	B095	B138
44	3.09E-10	4.16E-13	B001	B092	B135	B148	
45	3.09E-10	4.16E-13	B001	B092	B136	B148	
46	3.09E-10	4.16E-13	B001	B092	B138	B148	
47	2.67E-10	3.89E-13	B001	B093	B094	B137	B148
48	2.34E-10	1.13E-12	B001	B120	B132	B136	B148
49	2.34E-10	1.13E-12	B001	B120	B132	B135	B148
50	2.34E-10	1.13E-12	B001	B120	B132	B138	B148

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 11:32:36 page 19

=====

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events					
51	2.15E-10	2.39E-13	B001	B089	B095	B139	B145	B148
52	2.15E-10	2.39E-13	B001	B089	B095	B141	B145	B148
53	2.15E-10	2.39E-13	B001	B089	B097	B141	B145	B148
54	2.15E-10	2.39E-13	B001	B089	B097	B139	B145	B148
55	2.12E-10	2.39E-13	B001	B097	B102	B138	B148	
56	2.12E-10	2.39E-13	B001	B097	B102	B135	B148	
57	2.12E-10	2.39E-13	B001	B097	B102	B136	B148	
58	1.98E-10	2.23E-13	B001	B089	B097	B134	B148	
59	1.98E-10	2.23E-13	B001	B089	B097	B133	B148	
60	1.98E-10	2.23E-13	B001	B089	B095	B133	B148	
61	1.98E-10	2.23E-13	B001	B089	B095	B134	B148	
62	1.97E-10	9.54E-13	B001	B123	B124	B138	B148	
63	1.97E-10	9.54E-13	B001	B123	B124	B136	B148	
64	1.97E-10	9.54E-13	B001	B123	B124	B135	B148	
65	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B098	B135	
66	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B098	B138	
67	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B098	B136	
68	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B096	B138	
69	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B096	B135	
70	1.83E-10	1.95E-13	B001	B068	B089	B096	B136	
71	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B115	B116	B136	B148
72	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B115	B136	B148
73	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B115	B138	B148
74	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B116	B138	B148
75	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B114	B138	B148
76	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B115	B138	B148
77	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B113	B135	B148
78	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B114	B135	B148
79	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B116	B136	B148
80	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B114	B136	B148
81	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B115	B135	B148
82	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B116	B135	B148
83	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B114	B135	B148
84	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B115	B135	B148
85	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B116	B138	B148
86	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B115	B138	B148
87	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B116	B135	B148
88	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B115	B135	B148
89	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B116	B135	B148
90	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B115	B116	B135	B148
91	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B116	B138	B148
92	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B115	B116	B138	B148
93	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B115	B136	B148
94	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B113	B136	B148
95	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B114	B136	B148
96	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B113	B116	B136	B148
97	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B115	B136	B148
98	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B114	B116	B136	B148
99	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B113	B138	B148
100	1.75E-10	2.35E-13	B001	B089	B112	B114	B138	B148

No.	Freq.	Unavall.	Basic Events					
101	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B138	B148		
102	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B135	B148		
103	1.68E-10	4.45E-13	B004	B007	B136	B148		
104	1.64E-10	1.83E-13	B001	B095	B103	B136	B148	
105	1.64E-10	1.83E-13	B001	B095	B103	B138	B148	
106	1.64E-10	1.83E-13	B001	B097	B099	B135	B148	
107	1.64E-10	1.83E-13	B001	B097	B099	B136	B148	
108	1.64E-10	1.83E-13	B001	B095	B103	B135	B148	
109	1.64E-10	1.83E-13	B001	B097	B099	B138	B148	
110	1.62E-10	8.31E-13	B001	B082	B136	B148		
111	1.62E-10	8.31E-13	B001	B082	B135	B148		
112	1.62E-10	8.31E-13	B001	B082	B138	B148		
113	1.60E-10	1.80E-13	B001	B091	B138	B148		
114	1.60E-10	1.80E-13	B001	B091	B135	B148		
115	1.60E-10	1.80E-13	B001	B091	B136	B148		
116	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B095	B138	
117	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B097	B138	
118	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B097	B136	
119	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B095	B135	
120	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B097	B135	
121	1.55E-10	1.65E-13	B001	B003	B089	B095	B136	
122	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B135	B148		
123	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B138	B148		
124	1.55E-10	4.11E-13	B004	B006	B136	B148		
125	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B097	B138	
126	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B097	B136	
127	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B095	B135	
128	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B097	B135	
129	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B095	B136	
130	1.47E-10	1.46E-13	B001	B066	B089	B095	B138	
131	1.26E-10	5.14E-13	B001	B068	B109	B135		
132	1.26E-10	5.14E-13	B001	B068	B109	B138		
133	1.26E-10	5.14E-13	B001	B068	B109	B136		
134	1.22E-10	1.35E-13	B001	B089	B096	B141	B145	B148
135	1.22E-10	1.35E-13	B001	B089	B096	B139	B145	B148
136	1.22E-10	1.35E-13	B001	B089	B098	B141	B145	B148
137	1.22E-10	1.35E-13	B001	B089	B098	B139	B145	B148
138	1.20E-10	1.35E-13	B001	B098	B102	B138	B148	
139	1.20E-10	1.35E-13	B001	B098	B102	B135	B148	
140	1.20E-10	1.35E-13	B001	B098	B102	B136	B148	
141	1.19E-10	1.34E-13	B001	B089	B095	B137	B148	
142	1.19E-10	1.34E-13	B001	B089	B097	B137	B148	
143	1.12E-10	1.26E-13	B001	B089	B098	B134	B148	
144	1.12E-10	1.26E-13	B001	B089	B098	B133	B148	
145	1.12E-10	1.26E-13	B001	B089	B096	B134	B148	
146	1.12E-10	1.26E-13	B001	B089	B096	B133	B148	
147	1.00E-10	2.34E-13	B001	B068	B089	B090	B138	
148	1.00E-10	2.34E-13	B001	B068	B089	B090	B135	
149	1.00E-10	2.34E-13	B001	B068	B089	B090	B136	

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/15 11:33:04 page 21

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GA05

annual failure frequency : 6.312E-08
variance : 1.363E-15

asymptotic unavailability: 9.842E-11
variance : 9.491E+01

mean failure duration (h): 9.465E+00
variance : 3.633E+01

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:07

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:21:27 page 18

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G022

Cutoff criterion is cut set order
Maximum number of cut set elements : 4

30 out of 768 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:01:15

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:24:11 page 19

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G022

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events			
1	2.00E-11	1.96E-14	B064	AAAA	B009	B149
2	2.00E-11	1.96E-14	B061	AAAA	B009	B149
3	9.07E-12	8.29E-15	B062	AAAA	B009	B149
4	2.00E-12	1.96E-15	B060	AAAA	B009	B149
5	2.00E-12	1.96E-15	B059	AAAA	B009	B149
6	1.37E-12	9.88E-16	B061	AAAA	B004	B005
7	1.37E-12	9.88E-16	B064	AAAA	B004	B005
8	7.52E-13	7.34E-16	B061	AAAA	B004	B007
9	7.52E-13	7.34E-16	B064	AAAA	B004	B007
10	6.94E-13	6.78E-16	B061	AAAA	B004	B006
11	6.94E-13	6.78E-16	B064	AAAA	B004	B006
12	6.11E-13	4.19E-16	B062	AAAA	B004	B005
13	5.78E-13	6.86E-16	B061	AAAA	B008	B149
14	5.78E-13	6.86E-16	B064	AAAA	B008	B149
15	3.83E-13	3.31E-16	B063	AAAA	B009	B149
16	3.40E-13	3.11E-16	B062	AAAA	B004	B007
17	3.14E-13	2.87E-16	B062	AAAA	B004	B006
18	2.65E-13	2.91E-16	B062	AAAA	B008	B149
19	1.37E-13	9.88E-17	B059	AAAA	B004	B005
20	1.37E-13	9.88E-17	B060	AAAA	B004	B005
21	7.52E-14	7.34E-17	B060	AAAA	B004	B007
22	7.52E-14	7.34E-17	B059	AAAA	B004	B007
23	6.94E-14	6.78E-17	B059	AAAA	B004	B006
24	6.94E-14	6.78E-17	B060	AAAA	B004	B006
25	5.78E-14	6.86E-17	B060	AAAA	B008	B149
26	5.78E-14	6.86E-17	B059	AAAA	B008	B149
27	2.55E-14	1.67E-17	B063	AAAA	B004	B005
28	1.44E-14	1.24E-17	B063	AAAA	B004	B007
29	1.33E-14	1.15E-17	B063	AAAA	B004	B006
30	1.13E-14	1.16E-17	B063	AAAA	B008	B149

Module CSDISP finished

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G022

annual failure frequency : 6.263E-11
variance : 1.005E-20

asymptotic unavailability: 5.980E-14
variance : 1.298E+01

mean failure duration (h): 8.357E+00
variance : 2.326E+02

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:00

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:24:45 page 21

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : G024

Cutoff criterion is cut set order
 Maximum number of cut set elements : 4

30 out of 768 treated cut sets were
 identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:01:15

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:26:14 page 22

=====

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate G024

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events			
1	6.14E-11	1.27E-13	B064	EEE	B009	B149
2	6.14E-11	1.27E-13	B061	EEE	B009	B149
3	2.98E-11	5.40E-14	B062	EEE	B009	B149
4	6.14E-12	1.27E-14	B060	EEE	B009	B149
5	6.14E-12	1.27E-14	B059	EEE	B009	B149
6	5.45E-12	6.44E-15	B061	EEE	B004	B005
7	5.45E-12	6.44E-15	B064	EEE	B004	B005
8	2.50E-12	2.73E-15	B062	EEE	B004	B005
9	2.30E-12	4.78E-15	B064	EEE	B004	B007
10	2.30E-12	4.78E-15	B061	EEE	B004	B007
11	2.13E-12	4.42E-15	B064	EEE	B004	B006
12	2.13E-12	4.42E-15	B061	EEE	B004	B006
13	1.34E-12	4.47E-15	B061	EEE	B008	B149
14	1.34E-12	4.47E-15	B064	EEE	B008	B149
15	1.32E-12	2.16E-15	B063	EEE	B009	B149
16	1.12E-12	2.03E-15	B062	EEE	B004	B007
17	1.03E-12	1.87E-15	B062	EEE	B004	B006
18	7.00E-13	1.89E-15	B062	EEE	B008	B149
19	5.45E-13	6.44E-16	B059	EEE	B004	B005
20	5.45E-13	6.44E-16	B060	EEE	B004	B005
21	2.31E-13	4.78E-16	B060	EEE	B004	B007
22	2.31E-13	4.78E-16	B059	EEE	B004	B007
23	2.13E-13	4.42E-16	B059	EEE	B004	B006
24	2.13E-13	4.42E-16	B060	EEE	B004	B006
25	1.34E-13	4.47E-16	B060	EEE	B008	B149
26	1.34E-13	4.47E-16	B059	EEE	B008	B149
27	1.07E-13	1.09E-16	B063	EEE	B004	B005
28	4.97E-14	8.10E-17	B063	EEE	B004	B007
29	4.58E-14	7.48E-17	B063	EEE	B004	B006
30	3.26E-14	7.58E-17	B063	EEE	B008	B149

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:26:20 page 23

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : G024

annual failure frequency : 1.965E-10
variance : 1.193E-19

asymptotic unavailability: 3.897E-13
variance : 1.298E+01

mean failure duration (h): 1.734E+01
variance : 1.246E+03

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:00

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:26:40 page 24

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GA021

Cutoff criterion is cut set order
 Maximum number of cut set elements : 4

30 out of 768 treated cut sets were
 identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:01:15

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 90/07/18 15:28:12 page 25

=====

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GA021

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events			
1	4.36E-10	8.99E-13	B064	B009	B149	FFF
2	4.36E-10	8.99E-13	B061	B009	B149	FFF
3	2.11E-10	3.81E-13	B062	B009	B149	FFF
4	4.36E-11	8.99E-14	B060	B009	B149	FFF
5	4.36E-11	8.99E-14	B059	B009	B149	FFF
6	3.86E-11	4.54E-14	B061	B004	B005	FFF
7	3.86E-11	4.54E-14	B064	B004	B005	FFF
8	1.77E-11	1.92E-14	B062	B004	B005	FFF
9	1.64E-11	3.37E-14	B064	B004	B007	FFF
10	1.64E-11	3.37E-14	B061	B004	B007	FFF
11	1.51E-11	3.11E-14	B064	B004	B006	FFF
12	1.51E-11	3.11E-14	B061	B004	B006	FFF
13	9.55E-12	3.15E-14	B061	B008	B149	FFF
14	9.55E-12	3.15E-14	B064	B008	B149	FFF
15	9.38E-12	1.52E-14	B063	B009	B149	FFF
16	7.94E-12	1.43E-14	B062	B004	B007	FFF
17	7.32E-12	1.32E-14	B062	B004	B006	FFF
18	4.98E-12	1.34E-14	B062	B008	B149	FFF
19	3.86E-12	4.54E-15	B059	B004	B005	FFF
20	3.86E-12	4.54E-15	B060	B004	B005	FFF
21	1.64E-12	3.37E-15	B060	B004	B007	FFF
22	1.64E-12	3.37E-15	B059	B004	B007	FFF
23	1.51E-12	3.11E-15	B059	B004	B006	FFF
24	1.51E-12	3.11E-15	B060	B004	B006	FFF
25	9.55E-13	3.15E-15	B060	B008	B149	FFF
26	9.55E-13	3.15E-15	B059	B008	B149	FFF
27	7.55E-13	7.69E-16	B063	B004	B005	FFF
28	3.52E-13	5.71E-16	B063	B004	B007	FFF
29	3.25E-13	5.27E-16	B063	B004	B006	FFF
30	2.32E-13	5.34E-16	B063	B008	B149	FFF

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 90/07/18 16:23:53 page 10

=====

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GA021

annual failure frequency : 1.395E-09
variance : 5.944E-18

asymptotic unavailability: 2.747E-12
variance : 1.298E+01

mean failure duration (h): 1.721E+01
variance : 1.214E+03

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

Appendix 4

オフガス系のDP低下事故のフォールトツリー解析に用いた機器故障分類クラスデータ

Class	Type	Description	
8	1	self indicating repairable rate: 12.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Reserve Filter not available source:::
1	1	self indicating repairable rate: 0.10000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Immediate failure following pipework rupture source:::
2	1	self indicating repairable rate: 15.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Level regulation instrumentation failure source:::
3	1	self indicating repairable rate: 20.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Loss of wash water supply source:::
4	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Failure of level regulation valve source:::
6	1	self indicating repairable rate: 5.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Leakage in the off-gas heater source:::
7	1	self indicating repairable rate: 12.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Filter failure source:::
9	2	not self indicating repairable rate: 86.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Inlet damper failure (1 from 2) source:::
10	1	self indicating repairable rate: 17.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Differential pressure measurement failure source:::

Class	Type	Description	
11	3	prob. of failure on demand P : 0.00100/dem MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Failure to operate damper - operator error
12	2	not self indicating repairable rate: 43.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Outlet damper after the redundant filter will not open source:
13	1	self indicating repairable rate: 0.10000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Hot water supply failure source:
14	2	not self indicating repairable rate: 43.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Damper after the redundant heater will not open source:
15	1	self indicating repairable rate: 12.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Temperature measurement failure source:
16	2	not self indicating repairable rate: 86.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Damper failure (1 from 2) source:
17	3	prob. of failure on demand P : 0.00100/dem MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	No attempt to switch-over
18	3	prob. of failure on demand P : 0.00100/dem MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	No attempt to close the damper
19	2	not self indicating repairable rate: 43.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Damper fails to close source:

Failure Data of Component Classes in: OFFGFTD.DBF

Page 3

Class	Type	Description	
20	2	not self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 720.00 h	Pipework leakage source:
21	1	self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Cold water supply system failure source:
22	1	self indicating repairable rate: 10.00000E-6/h MTTR: 48.00 h TI : 0.00 h	Off-Gas Condenser leakage source:
23	2	not self indicating repairable rate: 86.00000E-6/h MTTR: 24.00 h TI : 720.00 h	Inlet damper cannot be operated source:
24	1	self indicating repairable rate: 1.20000E-6/h MTTR: 6.00 h TI : 0.00 h	Common cause failure source:

Appendix 5

オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析に用いた基本事象データ

List of Basic Events in FTD File: OFFGFTD.DBF

Page 1

No.	Name	Type	Description	Failure Data
1	GFMR	B 1	Differential pressure measurement failure	Class: 10 RATE : 17.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
2	GFMV	B 3	Failure to operate damper - operator error	Class: 11 P : 0.00100/dem MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
3	GFSE	B 1	Filter failure	Class: 7 RATE : 12.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
4	GFSG	B 1	Reserve filter not available	Class: 8 RATE : 12.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
5	GFVE	B 2	Inlet damper failure (1 from 2)	Class: 9 RATE : 86.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
6	GFVR	B 2	Outlet damper after the redundant filter will not open	Class: 12 RATE : 43.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
7	GWEDL	B 1	Leakage in the Off-gas heater	Class: 6 RATE : 5.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
8	GWHSA	B 1	Hot water supply failure	Class: 13 RATE : 0.10000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
9	GWMT	B 1	Temperature measurement failure	Class: 15 RATE : 12.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
10	GWS	B 1	Immediate failure following pipework rupture	Class: 1 RATE : 0.10000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h

No.	Name	Type	Description	Failure Data
11	GWV12	B 2	Damper failure (1 from 2)	Class: 16 RATE : 86.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
12	GWVD	B 2	Damper fails to close	Class: 19 RATE : 43.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
13	GWVMV	B 3	No attempt to close the damper	Class: 18 P : 0.00100/dem MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
14	GWVR	B 2	Damper after the redundant heater will not open	Class: 14 RATE : 43.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
15	KDL	B 1	Off-gas cooler leakage	Class: 22 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 48.00 h TI : 0.00 h
16	KDMA	B 1	Cold water supply system failure	Class: 21 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
17	KDWR	B 2	Pipework leakage	Class: 20 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 720.00 h
18	KGDM	B 1	Loss of wash water supply	Class: 3 RATE : 20.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
19	KGDMR	B 1	Level regulation instrumentation failure	Class: 2 RATE : 15.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
20	KGDRV	B 2	Failure of level regulation valve	Class: 4 RATE : 10.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h

List of Basic Events in FTD File: OFFGFTD.DBF

Page 3

No.	Name	Type	Description	Failure Data
21	WKDMR	B 1	Temperature measurement failure	Class: 15 RATE : 12.00000E-6/h MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
22	WKDMV	B 3	Failure to operate damper - operator error	Class: 11 P : 0.00100/dem MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h
23	WKDVE	B 2	Inlet damper cannot be operated	Class: 23 RATE : 86.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
24	WKDVR	B 2	Outlet damper at redundant cooler will not open	Class: 12 RATE : 43.00000E-6/h MTTR : 24.00 h TI : 720.00 h
25	WVMV1	B 3	No attempt to switch-over	Class: 17 P : 0.00100/dem MTTR : 6.00 h TI : 0.00 h

Appendix 6

オフガス系のDF低下事故のフォールトツリー解析におけるFTLコード出力データ

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:35:32 page 1

=====

System Structure found
 Failure Data found

=====

Module SYSIN : Identification of Gates

AG32	FKG	FKGD	GFS	GFSF	GWE	GWED	GWHS	GWK	GWU
GWU1	GWV	GWVB	TOP	WKD	WKU				

Number of Gates : 16

Module SYSIN : Identification of Basic Events

GFSE	GWS	KGDMR	KGDM	KGDRV	GFSG	GFVE	GFMR	GFMV	GFVR
GWEDL	GWHS	GWVR	GWMT	GWV12	WVMV1	GWVMV	GWVD	KDWR	KDMA
KDL	WKDMR	WKDVE	WKDMV	WKDVR					

Number of Basic Events : 25

Module SYSIN finished

Module time : 00:00:02

=====

Module RATEIN : Read and Relate Failure Data

Number of Component Classes : 23

Reliability Data of the Basic Events

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
1	1	F	1.00E-07 (2.80E-14)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-06 (2.05E-10)	1.00E-07 (2.80E-14)
		GWS				
2	1	F	1.50E-05 (6.31E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	9.00E-05 (7.19E-08)	1.50E-05 (6.31E-10)
		KGDMR				
3	1	F	2.00E-05 (1.12E-09)	1.67E-01 (1.69E-01)	1.20E-04 (1.28E-07)	2.00E-05 (1.12E-09)
		KGDM				
4	2	F	1.00E-05 (2.80E-10)	4.17E-02 (1.06E-02)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
		KGDRV				
5	1	F	5.00E-06 (7.01E-11)	2.08E-02 (2.64E-03)	2.40E-04 (5.11E-07)	5.00E-06 (7.00E-11)
		GWEDL				
6	1	F	1.20E-05 (4.04E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	7.20E-05 (4.60E-08)	1.20E-05 (4.04E-10)
		GFSE				
7	1	F	1.20E-05 (4.04E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	7.20E-05 (4.60E-08)	1.20E-05 (4.04E-10)
		GFSG				
8	2	F	8.60E-05 (2.07E-08)	4.17E-02 (1.06E-02)	6.00E-02 (9.50E-03)	8.08E-05 (1.84E-08)
		GFVE				
9	1	F	1.70E-05 (8.10E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	1.02E-04 (9.24E-08)	1.70E-05 (8.10E-10)
		GFMR				
10	3	F	1.00E-03 (2.80E-06)	1.67E-01 (1.69E-01)	1.00E-03 (2.80E-06)	0.00E+00 (0.00E+00)
		GFMV				
11	2	F	4.30E-05 (5.18E-09)	4.17E-02 (1.06E-02)	3.05E-02 (2.53E-03)	4.17E-05 (4.88E-09)
		GFVR				
12	1	F	1.00E-07 (2.80E-14)	1.67E-01 (1.69E-01)	6.00E-07 (3.20E-12)	1.00E-07 (2.80E-14)
		GWWSA				
13	2	F	4.30E-05 (5.18E-09)	4.17E-02 (1.06E-02)	3.05E-02 (2.53E-03)	4.17E-05 (4.88E-09)
		GWVR				

Class	Type	Event(s)	A	R	U	H
14	1	F	1.20E-05 (4.04E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	7.20E-05 (4.60E-08)	1.20E-05 (4.04E-10)
15	2	GWMT F	8.60E-05 (2.07E-08)	4.17E-02 (1.06E-02)	6.00E-02 (9.50E-03)	8.08E-05 (1.84E-08)
16	3	GWV12 F	1.00E-03 (2.80E-06)	1.67E-01 (1.69E-01)	1.00E-03 (2.80E-06)	0.00E+00 (0.00E+00)
17	3	WVMV1 F	1.00E-03 (2.80E-06)	1.67E-01 (1.69E-01)	1.00E-03 (2.80E-06)	0.00E+00 (0.00E+00)
18	2	GWVMV F	4.30E-05 (5.18E-09)	4.17E-02 (1.06E-02)	3.05E-02 (2.53E-03)	4.17E-05 (4.88E-09)
19	2	GWVD F	1.00E-05 (2.80E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	7.17E-03 (1.43E-04)	9.93E-06 (2.76E-10)
20	1	KDWR F	1.00E-05 (2.80E-10)	1.67E-01 (1.69E-01)	6.00E-05 (3.20E-08)	1.00E-05 (2.80E-10)
21	1	KDMA F	1.00E-05 (2.80E-10)	2.08E-02 (2.64E-03)	4.80E-04 (2.04E-06)	1.00E-05 (2.80E-10)
22	2	KDL F	8.60E-05 (2.07E-08)	4.17E-02 (1.06E-02)	6.00E-02 (9.50E-03)	8.08E-05 (1.84E-08)
23	1	WKDVE F	1.20E-06 (4.04E-12)	1.67E-01 (1.69E-01)	7.20E-06 (4.60E-10)	1.20E-06 (4.04E-12)

Module RATEIN finished

Module time : 00:00:00

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:35:52 page 4

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : TOP

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03

absolute cutoff limit : 1.00E-10

16 dominant cut sets found

preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 4.42E-01

annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.70E-04

ratio rejected to dominant cut sets < 1.51E-03

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected

16 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 4.42E-01

annual failure frequency of the rejected cut sets < 6.70E-04

ratio rejected to dominant cut sets < 1.51E-03

16 out of 31 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:36:01 page 5

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate TOP

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events
-----	-------	----------	--------------

1	1.75E-01	1.20E-04	KGDM
2	1.31E-01	9.00E-05	KGDMR
3	8.70E-02	7.17E-03	KGDRV
4	1.03E-02	4.31E-04	KDWR WKDVE
5	6.36E-03	4.32E-06	GFSE GFVE
6	5.60E-03	2.88E-05	KDL WKDVE
7	5.30E-03	3.60E-06	KDMA WKDVE
8	5.27E-03	2.19E-04	KDWR WKDVR
9	3.23E-03	2.19E-06	GFSE GFVR
10	2.84E-03	1.46E-05	KDL WKDVR
11	2.80E-03	1.44E-05	GWEDL GWV12
12	2.69E-03	1.83E-06	KDMA WKDVR
13	1.42E-03	7.31E-06	GWEDL GWVD
14	1.42E-03	7.31E-06	GWEDL GWVR
15	8.76E-04	4.80E-06	GWS
16	7.60E-04	5.17E-07	KDWR WKDMR

Module CSDISP finished

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:36:02 page 6

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : TOP

annual failure frequency : 4.424E-01
variance : 1.567E-01

asymptotic unavailability: 8.123E-03
variance : 6.321E-02

mean failure duration (h): 9.845E+00
variance : 2.768E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:36

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : FKG

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03

absolute cutoff limit : 1.00E-10

4 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.94E-01
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected
4 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.94E-01
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

4 out of 4 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:00

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:36:58 page 8

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate FKG

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events
1	1.75E-01	1.20E-04	KGDM
2	1.31E-01	9.00E-05	KGDMR
3	8.70E-02	7.17E-03	KGDRV
4	8.76E-04	4.80E-06	GWS

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:36:58 page 9

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : FKG

annual failure frequency : 3.944E-01
variance : 1.556E-01

asymptotic unavailability: 7.389E-03
variance : 1.434E-04

mean failure duration (h): 1.006E+01
variance : 3.474E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:37:13 page 10

=====

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GFS

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03
absolute cutoff limit : 1.00E-10

5 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 9.73E-03
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected

5 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 9.73E-03
annual failure frequency of the rejected cut sets < 0.00E+00
ratio rejected to dominant cut sets < 0.00E+00

5 out of 5 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:37:20 page 11

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GFS

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events	
1	6.36E-03	4.32E-06	GFSE	GFVE
2	3.23E-03	2.19E-06	GFSE	GFVR
3	1.05E-04	7.20E-08	GFSE	GFMV
4	2.14E-05	7.34E-09	GFSE	GFMR
5	1.51E-05	5.18E-09	GFSE	GFSG

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SIT/Lc 91/08/05 10:37:20 page 12

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GFS

annual failure frequency : 9.735E-03
variance : 2.733E-04

asymptotic unavailability: 6.602E-06
variance : 1.202E-02

mean failure duration (h): 4.774E+00
variance : 1.176E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

=

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:37:33 page 13

=====

=

=====

=

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GWE

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03

absolute cutoff limit : 1.00E-10

8 dominant cut sets found

preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 5.84E-03

annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.00E-06

ratio rejected to dominant cut sets < 1.72E-04

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected

8 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 5.84E-03

annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.00E-06

ratio rejected to dominant cut sets < 1.72E-04

8 out of 10 treated cut sets were

identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:01

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:37:44 page 14

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GWE

No. Freq. Unavail. Basic Events

1	2.80E-03	1.44E-05	GWEDL	GWV12
2	1.42E-03	7.31E-06	GWEDL	GWVD
3	1.42E-03	7.31E-06	GWEDL	GWVR
4	5.30E-05	3.60E-08	GWHSA	GWV12
5	4.38E-05	2.40E-07	GWEDL	GWVMV
6	4.38E-05	2.40E-07	GWEDL	WVMV1
7	2.84E-05	1.73E-08	GWEDL	GWMT
8	2.69E-05	1.83E-08	GWHSA	GWVR

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:37:44 page 15

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GWE

annual failure frequency : 5.840E-03
variance : 5.782E-05

asymptotic unavailability: 2.959E-05
variance : 2.657E-02

mean failure duration (h): 1.563E+01
variance : 7.348E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

=====

FTE Module EVA : Evaluation of Cut Sets

Evaluation for TOP Gate : GWK

Cutoff criterion is frequency density

relative cutoff limit : 1.00E-03

absolute cutoff limit : 1.00E-10

11 dominant cut sets found
preliminary reliability data :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.31E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.26E-05
ratio rejected to dominant cut sets < 3.81E-04

Repeating cutoff procedure

0 additional cut set(s) rejected
11 dominant cut sets found :

annual failure frequency of the dominant cut sets = 3.31E-02
annual failure frequency of the rejected cut sets < 1.26E-05
ratio rejected to dominant cut sets < 3.81E-04

11 out of 12 treated cut sets were
identified to be minimum cut sets

Module EVA finished

Module time : 00:00:00

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:38:11 page 17

=====

Module CSDISP : Output of sorted minimum cut sets for top gate GWK

No.	Freq.	Unavail.	Basic Events	
1	1.03E-02	4.31E-04	KDWR	WKDVE
2	5.60E-03	2.88E-05	KDL	WKDVE
3	5.30E-03	3.60E-06	KDMA	WKDVE
4	5.27E-03	2.19E-04	KDWR	WKDVR
5	2.84E-03	1.46E-05	KDL	WKDVR
6	2.69E-03	1.83E-06	KDMA	WKDVR
7	7.60E-04	5.17E-07	KDWR	WKDMR
8	8.76E-05	6.00E-08	KDMA	WKDMV
9	8.76E-05	4.80E-07	KDL	WKDMV
10	8.70E-05	7.17E-06	KDWR	WKDMV
11	5.67E-05	3.45E-08	KDL	WKDMR

Module CSDISP finished

=====

=====

FTL 2.3 FAULT TREE EVALUATION (C) NUKEM/SiT/Lc 91/08/05 10:38:11 page 18

=====

Module QUANTI : Asymptotic Quantification

TOP-Event : GWK

annual failure frequency : 3.309E-02
variance : 7.543E-04

asymptotic unavailability: 7.066E-04
variance : 3.665E-02

mean failure duration (h): 7.609E+00
variance : 1.024E+02

Probability of exceeding tolerable failure duration

Module QUANTI finished

Module time : 00:00:01

=====