

蒸気発生器安全性総合試験装置
(SWAT-3) の解体
(技術報告)



2001年8月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2001

2001年8月

蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）の解体

(技術報告)

下山 一仁^①、柴崎 洋一^②

要 旨

大洗工学センターの蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）は、高速炉の蒸気発生器（SG）における伝熱管からの水漏れ事故に対して蒸気発生器の安全性を確認すること、更に SG 内の損傷程度を把握し、再起動に際しての補修の必要範囲を明らかにすることを目的に建設されたナトリウムー水反応試験装置である。本書は、1996 年から 1999 年にかけて実施した SWAT-3 の解体に係わるナトリウム抜き取り作業やナトリウムー水反応生成物の処理作業についてまとめたものである。

国内で初めてとなる大型のナトリウムー水反応実験に使用した装置の解体作業は、ほぼ計画通りの工法にて安全かつ効率的に行うことができた。特に、大量のナトリウムー水反応生成物を沈殿させたダンプタンクの解体作業を通して、数多くの知見や経験を得ることができ、特殊な解体技術を構築することができた。以下に主な成果を紹介する。

- (1) タンク内カバーガス空間部でのナトリウムー水反応生成物による配管閉塞防止対策として電気ヒータ付二重配管が有効である。
- (2) ナトリウム入りタンクの壁面への配管施工技術を確立した。
- (3) タンク内に堆積するナトリウムー水反応生成物を乾燥砂で覆うことによって、タンク本体の溶断が可能となる。

また、長年にわたってナトリウムー水反応生成物と接触し続けてきたダンプタンクなどの構造材料は、解体後の材料検査で製作当時の機械加工痕が残っているなど、腐食の影響はほとんど観察されなかった。

本件で得られた知見や経験は、現在稼働中のナトリウムー水反応試験装置、あるいは不純物を多く含むナトリウムループなどを解体する際、更には実プラントの蒸気発生器で万一水リークが起こった時の事故後の措置について、作業計画や実施及び安全管理などに役立つものと思われる。

*1) 大洗工学センター 要素技術開発部 热化学安全試験グループ

*2) 現在、石川島播磨重工業株式会社

August, 2001

Disassembly of the Steam Generator Safety Test Facility (SWAT-3)
(Technical Report)

Kazuhito Shimoyama¹⁾, Youichi Shibasaki²⁾

Abstract

The Steam Generator Safety Test Facility, SWAT-3, was constructed in order to confirm the safety of the steam generator of a fast reactor against a water leakage from a heat transfer tube. And to clarify the range of the part in which the repair is required before restart by grasping the damage of the steam generator. This report describes the technical experience of extraction of sodium and removal of sodium-water reaction products from the SWAT-3, which was disassembled in 1996 through 1999.

It was the first experience in Japan to disassemble the large-scale sodium facilities containing reaction products. The disassembly work was performed safely and efficiently as planned procedures. Especially, through the disassembly of the dump tank that contained a large amount of reaction product deposits, numerous knowledge and experience were obtained and some special disassembly techniques were developed.

Main results are introduced in the following:

- (1) To prevent the blockage of the piping by sodium-water reaction products in the cover gas space division in the tank, it was clarified that the double piping with the electric heater was effective.
- (2) Welding Technique between a pipe and a sodium tank surface was established.
- (3) It was verified that the fusion cutting of tank main body was possible by covering sodium-water reaction products with dry sand.

No significant corrosion was observed in the structural material of the dump tank whose internal surfaces had been contacted with the reaction products for a long time. Even small scratches or marks during manufacturing procedure were observed to remain in the inspection.

The obtained knowledge and experience will provide useful information for planning and actual works of the similar procedures and safety management relating to future disassembly of the present sodium-water reaction test facilities and sodium loops containing certain impurities, also for planning of post accident procedures of FBR plants.

*1) Thermochemistry Safety Engineering Group, Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center

*2) Present affiliation : Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

目 次

1. まえがき	1
2. SWAT-3 試験装置の概要	2
2.1 試験装置の概略仕様	2
2.2 実験概要	2
2.3 運転履歴	3
3. 試験装置の健全性評価	4
3.1 試験検査対象部位	4
3.2 検査内容と健全性調査結果	4
3.2.1 反応容器	4
3.2.2 収納容器	4
3.2.3 ナトリウム加熱器	5
3.2.4 コールドトラップ	5
3.2.5 膨張タンク	5
3.2.6 ダンプタンク	6
3.3 健全性評価の考察	6
4. 解体記録	7
4.1 装置の現状と解体工程	7
4.2 主要機器、弁・配管類の解体撤去（1996年）	7
4.2.1 ナトリウム系設備	7
4.2.1.1 反応容器	8
4.2.1.2 模擬過熱器	8
4.2.1.3 ナトリウム加熱器	8
4.2.1.4 反応生成物収納容器	8
4.2.2 ガス気系設備	10
4.2.3 水蒸気系設備	10
4.2.4 電気制御設備	10
4.3 コールドトラップ、膨張タンクの解体撤去（1998年）	10
4.3.1 コールドトラップ	10
4.3.2 膨張タンク	11
4.4 ダンプタンクの解体撤去（1999年）	11
4.4.1 解体撤去前の状態	11
4.4.2 タンク上部の外表面欠陥の対応	11
4.4.3 ナトリウム抜き取り配管施工	12
4.4.4 ナトリウムの抜き取り	13
4.4.5 ナトリウム中不純物濃度	14
4.4.6 タンク内の反応生成物観察	15

4.4.7 タンク解体方法の検討	15
4.4.8 構造物に付着するナトリウム化合物の除去	15
4.4.9 タンクの解体	15
4.4.10 反応生成物混入砂の水処理	17
4.4.11 反応生成物に接触する構造材料表面	17
5. 反応生成物の化学組成	18
5.1 サンプリング	18
5.2 分析方法と結果	19
5.2.1 分析方法	19
5.2.2 分析結果	19
5.3 ナトリウム鉄複合酸化物と構造材料	20
5.4 分析結果とナトリウムー水反応	20
6. 結言	22
7. 謝辞	24
8. 参考文献	25

付録-A 健全性調査に係わる各種検査内容とその結果

表リスト

表 2・1 SWAT-3 構成機器の主要目一覧	26
表 2・2 (1/3)~(3/3) 主な実験条件と実験結果	27
表 2・3 SWAT-3 運転スケジュール例	30
表 2・4 SWAT-3 試験装置の運転履歴	31
表 2・5 SWAT-3 試験装置の運転記録	32
表 3・1 健全性調査のための検査項目	33
表 5・1 コールドトラップ内ナトリウム化合物分析結果	34
表 5・2 ダンプタンク内ナトリウム化合物分析結果	35

図リスト

図 2・1 SWAT-3 装置系統図 (Run-19)	36
図 2・2 SWAT-3 装置鳥瞰図 (Run-19)	37
図 2・3 反応容器構造図 (Run-19 試験体構造)	38
図 2・4 模擬過熱器構造図	39
図 2・5 模擬中間熱交換器構造図	40
図 2・6 放出系収納容器構造図	41
図 2・7 コールドトラップ構造図	42
図 2・8 ダンプタンク構造図	43
図 2・9 水加熱器構造図	44
図 4・1 反応生成物収納容器解体要領	45
図 4・2 ダンプタンクの現状	46
図 4・3 ナトリウム抜き取り配管施工方法	47
図 4・4 ナトリウム抜き取り設備系統図	48
図 4・5 ダンプタンク内反応生成物の削り出し	49
図 4・6 ダンプタンク解体と反応生成物除去方法	50

写真リスト

写真 2・1 水素ガス大気放出過程	51
写真 4・1・1 主循環系配管 (8B) 内壁のナトリウム付着状況	52
写真 4・1・2 主循環系配管 (8B) 内の反応生成物	52
写真 4・2・1 模擬過熱器内部構造物の吊り上げ	53

写真4・2・2	模擬過熱器本体胴の吊り上げ	53
写真4・3・1	ナトリウム加熱器本体胴の切断	54
写真4・3・2	ナトリウム加熱器内部ヒータ引き抜き状況	54
写真4・4・1	放出系配管内に付着する反応生成物	55
写真4・4・2	収納容器及び架台の同時吊り下ろし	55
写真4・4・3	収納容器内部への乾燥砂投入	56
写真4・4・4	本体胴及びシュラウドの切断	56
写真4・4・5	切断した本体胴上部の吊り上げ	57
写真4・4・6	収納容器下部の乾燥砂堆積状況	57
写真4・4・7	収納容器内部の反応生成物堆積状況	58
写真4・4・8	反応生成物の掘り出し状況	58
写真4・5・1	コールドトラップ内部シュラウドへの反応生成物付着状況	59
写真4・5・2	コールドトラップ本体下部胴への反応生成物付着状況	59
写真4・6・1	内挿ヒータ付2重配管の先端部組立図	60
写真4・6・2	上部フランジに施工した内挿ヒータ付2重配管	60
写真4・6・3	ダンプタンク鏡部へのナトリウム抜き取り管台溶接	61
写真4・6・4	ダンプタンク鏡部へのナトリウム抜き取り配管施工	61
写真4・6・5	反応生成物の付着するダンプタンク内部構造物	62
写真4・6・6	付着する反応生成物除去後のダンプタンク内部構造物	62
写真4・6・7	ダンプタンク内部構造物引き抜き準備（プラズマ切断跡）	63
写真4・6・8	ドレン配管保護スリーブの引き抜き	63
写真4・6・9	ダンプタンク本体の切断	64
写真4・6・10	反応生成物削り出し作業	64
写真4・6・11	削りだした反応生成物（ナトリウム混じり）の燃焼処理	65
写真4・6・12	反応生成物除去作業終了後のダンプタンク本体下部	65

1. まえがき

蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）は、1975年5月15日付で消防法に基づく危険物一般取扱所の許可を取得して使用を開始し、同年6月9日のRun-1から1985年4月4日のRun-19まで計19回のナトリウムー水反応実験を行った。その後、解体されるまでの約11年間は休止状態にあった。

1993年から高速炉の実用化に向けて、蒸気発生器（以下、SGと称す）における伝熱管破損事象を研究するための装置改造計画の検討を開始した^{1), 2)}。改造にあたり、流用する各機器の健全性評価を行った結果、全ての機器、配管とも流用することが困難であることが判明し、1996年から1999年にかけて全機器、配管を解体・撤去した。

本書は、SWAT-3を用いて行われたナトリウムー水反応実験の概要と、各機器、配管の解体、洗浄作業で得られた経験と知見に関するまとめたものである。また、改造にあたって流用出来なくなった各機器、配管の健全性調査結果、及び長期間ダンプタンク内に保有され続けたナトリウムー水反応生成物（以下、反応生成物）の化合形態、割合等の調査結果についても合わせて記述する。

2. SWAT-3 試験装置の概要

2.1 試験装置の概略仕様

SWAT-3 では、ナトリウム加熱式蒸気発生器におけるナトリウムー水反応事故の安全性確認、蒸気発生器内の損傷程度を把握し、再起動に際しての補修の必要範囲を明らかにすることを目的として、各水リーケ規模でのナトリウムー水反応による蒸気発生器水リーケ総合試験をこれまでに計 19 回実施した。装置の系統構成や試験体構造は実験目的、実験条件に合わせてその都度改造を施した。その一例として Run-19 の系統図、鳥瞰図を図 2-1、図 2-2 に示す。また、表 2-1 に SWAT-3 構成機器の主要目一覧を、図 2-3～図 2-9 に主要機器の反応容器 (EV : 蒸発器を模擬)、模擬過熱器 (SH)、模擬中間熱交換器 (IHX)、反応生成物収納容器、コールドトラップ、ダンプタンク、及び水加熱器の構造図をそれぞれ示す。なお図 2-3 の反応容器には Run-19 試験体構造が含まれており、この内部構造物だけが実験毎に交換となる。

注水実験用のナトリウム流路は、EV、SH、IHX、ナトリウム加熱器、電磁ポンプ及び弁・配管類から構成される主循環系である。この他に、ナトリウムの純化を行うためのコールドトラップ、エコノマイザ、膨張タンク、プラギング計などを有する純化系があり、注水実験時には実験系統から切り離される。

ダンプタンクはナトリウムの貯蔵に加え、反応生成物の分離タンクも兼ねており、注水実験後の反応生成物をナトリウムとともにダンプタンクにドレンし、密度差による沈殿および低温析出により反応生成物の分離を行い、上澄みのナトリウムを再使用する。

放出系はラプチャディスク付きの放出系配管および分離器一体型反応生成物収納容器で構成される。その頂部には水素ガス放出口として直径 10 インチの配管が接続され、配管途中にラプチャディスクおよびスプリング式逆止弁が設置されている。

水注入系は水加熱器（電気加熱ボイラー）、注水弁、及び注水系配管で構成され反応容器に接続されている。注水ノズル（孔）は、注水管とされる伝熱管に設けられており、その外側にラプチャ板が設置された構造となっているものが最も多く採用された。注水に先立ち、注水弁下流と注水ノズルとの間の配管内を真空引きできるように、注水管途中にガス系配管が接続されている。これは、注水弁下流の残留ガスが注水に先だってナトリウム中に噴出することを防ぐためと、注水後配管内へのナトリウム逆流を防止するための保護ガスとして用いられる。

2.2 実験概要

実験では、ダンプタンクから主循環系及び純化系ループにナトリウムを充填し、ナトリウム温度条件を成立させた後、水加熱器から反応容器内の試験体部に水・蒸気を注入して実験を行う。

ナトリウム側圧力はほぼ大気圧、水・蒸気側は約 15MPa と高圧のため、水・蒸気は伝熱管（注水管）からジェット噴流となってナトリウム中に噴出する。水・蒸気の噴出率（注水率）は実験条件で定められ、大リーケ試験 (Run-1～7) では毎秒数 kg から十数 kg、

破損伝播試験（Run-8～19）では毎秒数 g から数 kg の範囲に設定した。注水した水・蒸気はナトリウムと発熱反応を起こし、主に酸化ナトリウム（Na₂O）、水酸化ナトリウム（NaOH）、水素ガス（H₂）を発生する。Na₂O、NaOH はナトリウム中に溶解し、水素ガスはその大半が反応生成物収納容器を介して大気に放出される。水素ガスに同伴して放出されるナトリウムは収納容器の分離器により分離捕獲され、水素ガスだけが大気に放出される。放出された水素は点火器を用いて燃焼処理される。その一例として大リーク試験 Run-6 の水素ガス大気放出過程を写真 2-1 に示す。

注水時間は、大リーク試験で約十秒、破損伝播試験では数十秒から最長 1 時間以上のケースもある。

注水実験後は、全系統のナトリウムをダンプタンクにドレンするが、実験で生成した反応生成物が原因となってナトリウム配管が閉塞することもある。全系統のナトリウムがダンプタンクにドレンされた後、反応容器内の試験体を取り出し、解体・洗浄、及び外観・寸法・材料検査などを実施する。

表 2-2(1/3)～(3/3)に SWAT-3 で行われた計 19 回の実験結果をまとめた。

2.3 運転履歴

SWAT-3 の実験運転は、予熱開始から 2 日目に系統へのナトリウム充填、第 4 日目に注水実験を行い、反応容器内のナトリウム温度が低下するのを待ってダンプタンクにドレンする。実験ケースによって多少異なるが、ほとんどの場合で実験後数時間以内にドレンする。表 2-3 に運転スケジュールの一例を示す。

実験運転終了後、試験体の交換、反応容器内の洗浄作業等を行い、半年から 1 年ごとに実験を繰り返す。実験運転の前には実験のシミュレーションとして調整運転をほぼ毎回行う。そのほかに系統内のナトリウム中不純物をコールドトラップで捕獲するための反応生成物除去運転がある。過去通算して 2 回行っており、その運転期間は 1 回あたり 2～3 週間である。これら SWAT-3 の運転履歴を表 2-4 に、運転記録を表 2-5 に示す。運転記録には、実験後のナトリウムドレン状況も合わせて示す。

1975 年から 1985 年までの間、系統にナトリウムを充填した運転期間を通算すると約 128 日間である。1985 年に行った Run-19 試験後は、約 11 年間休止したのちに 1996 年から順次設備、機器の解体を行い、1999 年に最後のダンプタンクを解体した。

3. 試験装置の健全性評価

3.1 試験検査対象部位

SWAT-3 の改造にあたっては設計上流用可能な機器について、その健全性を確認して流用する方針とした。本章ではこの改造にあたって、SWAT-3 改造予備設計、及び基本設計で流用することとした反応容器、反応生成物収納容器、ナトリウム加熱器、コールドトラップ、膨張タンク、ダンプタンクの 6 種類の機器について、それぞれの検査内容と健全性調査結果について述べる。

3.2 検査内容と健全性調査結果

健全性調査に係わる各種検査の内容とその結果、及び流用可否の判断結果を以下にまとめる。なお、検査内容については表 3-1 に整理して示す。また、検査結果の詳細は付録-A に添付する。

3.2.1 反応容器

(1) 検査内容

本容器は改造 SWAT-3 において系統内のナトリウムインベントリを確保するためのナトリウムタンクとして流用する計画であった。Run-19 試験後に内部構造物を撤去し、容器内部に付着するナトリウムの洗浄も完了した状態で保管されていた。

検査は、特に反応生成物の影響で心配される内表面の腐食について行った。なお、流用しない中胴は検査対象外とした。

(2) 健全性調査結果

容器内面の鋭敏化度測定では図 A-1-2 に示す測定箇所 12 箇所の中で、上鏡を除く下部胴の 10 箇所において鋭敏化が見られた。漏洩試験では容器下部の 8B ナトリウム出口管台キャップ溶接部や 12B 大気放出管台フランジ部に漏えいが見られたが、いずれも補修可能な部位である。しかし、本体胴については素材である SUS304 が鋭敏化による応力腐食割れ (SCC) に至る可能性が否定できないことから、本容器の流用を断念した。

3.2.2 反応生成物収納容器

(1) 検査内容

本容器は改造 SWAT-3 においても同じように反応生成物の収納容器として使用する計画であった。

屋外に設置されていることから、特に塩害等の可能性を推定し外表面の損傷・亀裂及び減肉に着目した検査を実施した。なお容器内部構造物のセパレータ、内部シュラウドは、外観検査で流用可能と判断された段階で内視鏡等による観察を行い、変形、脱落等が無いことを確認する計画とした。

(2) 健全性調査結果

外観検査では図 A-2-2 (1/6)～(6/6) に示すように、上鏡及び大気放出管台に腐食（孔食）

及び減肉が多数認められ、孔食の深い部分では強度計算上の必要最小板厚を下回る部位があった。また、磁粉探傷検査では出口管台補強板と上鏡の隅肉溶接部に溶接時の治具跡と推定される線状指示模様を発見した。図 A-2-3 に示す。超音波探傷検査においても、本体溶接部に数カ所の欠陥が発見された。

以上の結果から反応生成物収納容器は新替するものとし、4.3 項に示すとおり解体・撤去した。

3.2.3 ナトリウム加熱器

(1) 検査内容

本機器も同様に改造 SWAT-3 ではナトリウム加熱器として流用する計画であった。

検査は、外観のほか心臓部である内挿ヒータの健全性確認を行った。

(2) 健全性調査結果

内部ヒータ健全性確認の結果、全体の 7 割以上が電気設備技術基準に基づき定めた社内基準 $2M\Omega$ を下回っており、ヒータの絶縁が保たれていないことが判明した。この内部ヒータは本機器構造上の理由から交換ができないため、新替するものとした。

3.2.4 コールドトラップ

(1) 検査内容

本容器は 1983 年にコールドトラップによる反応生成物除去機能確認を目的とした RECT-2 試験⁽³⁾用として純化系を改造した際に、メッシュ及びタイロッド等の内部構造物を撤去した他、導波棒、計装用管台の追加等の改造を施している。

検査は外表面の損傷・亀裂及び減肉等について調査し、特に反応生成物の蓄積が多い下部鏡板に着目した。

(2) 健全性調査結果

外観検査、肉厚測定、液体浸透探傷検査、超音波探傷検査、ヘリウムリーク試験については欠陥等は認められなかったものの、鋭敏化度測定の結果では、測定点 11箇所の全てにおいて鋭敏化度 5% 以上を示した。以上の結果から、コールドトラップの材料である SUS304 は、その鋭敏化により応力腐食割れ (SCC) に発展する可能性が否めないことから、本容器も改造 SWAT-3 への流用は行わないものとした。

3.2.5 膨張タンク

(1) 検査内容

本容器は 1983 年の純化系改造の際に、純化系のナトリウム液位調整を目的として新設したもので、流用対象の中では最も新しい機器である。流用の方法はこれまでと同じように純化系の液位調整用タンクとして使用する予定であった。

検査は、外表面の損傷・亀裂及び減肉等について実施した。

(2) 健全性調査結果

外観検査、肉厚測定では異常は認められなかったものの、液体浸透探傷検査では図

A-5-2 に示すように下鏡一本体胴の溶接部近傍（溶接熱影響部）に多数の欠陥が発見され、超音波探傷検査及びヘリウムリーク試験の結果から、これらの欠陥の幾つかは貫通していることがわかった。何れの欠陥も外表面側からの腐食による応力腐食割れ（ESCC）である。その他にも構造材料表面に鋭敏化も確認され、本容器は改造 SWAT-3 への流用に適さないことが判明したことから、本容器は解体・撤去した。

3.2.6 ダンプタンク

(1) 検査内容

改造 SWAT-3 のダンプタンクは、ナトリウム一水反応時の圧力開放、及びナトリウムとガスの粗分離機能を持たせるため、新規に製作する。既設のダンプタンクは、実験で大量に発生する反応生成物の沈殿タンクとして再利用する予定であった。

検査は、外表面側からの非破壊検査を中心に実施した。なお容器内にはナトリウム及び反応生成物が貯留されていることから、超音波探傷等の内部欠陥調査は実施していない。

(2) 健全性調査結果

外観検査では有害な変形、破損等は発見されなかったものの、液体浸透探傷検査ではタンク上側（カバーガス部に相当）に欠陥が確認された。図 A-6-1 に欠陥の位置、大きさを示す。本タンクの内部にはナトリウムを保有していることから詳細な調査を実施していないが、他の機器に見られた欠陥の発生状況から推察し SCC と考えられる。

本タンクは実験終了後から 10 年間以上 0.01~0.03MPa の圧力で不活性ガスを管理し続けており、現状において圧力が降下がないことから欠陥の貫通はない。ただ外観は全体的に老朽化が進行しており欠陥の補修も困難であるため、液体ナトリウムを常時保有するタンクとして再利用することは不可能である。よって改造 SWAT-3 には流用せず、内包するナトリウム及び反応生成物を処理した後、解体・撤去した。

3.3 健全性評価の考察

本装置の運転期間は 2.3 項に示す通り年平均 2 週間程度であり、ほとんどの期間が常温状態で保管されていた。よって、外気温の変化によって保温材中の空気が呼吸を繰り返し、空気中の湿分が保温材中に取り込まれる環境状態にあった。特に海岸に近い立地環境のため湿分中には塩分が多く含まれ、湿分が凝縮と蒸発を繰り返す際に塩分だけを保温材中に蓄積する状態にあったものと考えられる。

一方、本装置には内装板が無く保温材が直接機器に接触する状態にあることから、機器の構造材には SCC の主要因の一つである塩素成分に曝されていたことになる。特に機器や配管の上部にある保温材は自重で構造材表面に接触するため、その影響が顕著であることが健全性調査の結果からも推定できる。

従って、これらの欠陥は本装置特有の環境条件がもたらした塩害が主要な原因と推定される。また欠陥は全て外表面側からのものであり、ナトリウム一水反応が主要因とはならない。

4. 解体記録

4.1 装置の現状と解体工程

1985年に行われたRun-19試験終了後、全系統のナトリウムは全てダンプタンクにドレンし、常温状態で貯蔵保管されていた。その量は液面計の指示値からおよそ12トンである。主要容器を含む主循環系、純化系、及び放出系は、全ナトリウム弁を閉状態とし、アルゴンカバーガスで保管管理されていた。反応容器は最終実験後にナトリウム洗浄を行い、内部構造物（試験体）を取り出して主循環系統と切り離した状態にある。

解体・撤去作業は、先ず改造SWAT-3に流用できない機器・設備から実施した。流用することを検討した機器は健全性評価を行い、流用不可能と判断された後に解体・撤去した。

① 1996年：ナトリウム系設備のうち反応容器、模擬過熱器、ナトリウム加熱器、反応生成物収納容器などの主要機器と弁・配管類、ガス系設備、水蒸気系設備及び電気制御設備

② 1998年：コールドトラップ、膨張タンク

③ 1999年：ダンプタンク

これらの解体スケジュールを表2-4のSWAT-3試験装置の運転履歴に示す。

4.2 主要機器、弁・配管類の解体撤去（1996年）

ナトリウム系設備のうち模擬過熱器、反応生成物収納容器などの主要機器と弁・配管類、ガス設備、水蒸気系設備、電気制御設備を上期に、反応容器、ナトリウム加熱器などの主要機器については第3章で述べた健全性調査結果に基づき流用不適格と判断し下期に解体・撤去した。

4.2.1 ナトリウム系設備

ナトリウム系機器のうち模擬中間熱交換器、電磁ポンプ、エコノマイザについては内部構造物を持たないため、ナトリウム配管と同じ要領で解体作業を行った。切断は熱を加えないよう主にロータリーバンドソウ（電動切断機）を使用し、内部観察等の結果でナトリウムの付着が少ない場合に限りプラズマ切断を採用した。

写真4-1-1、4-1-2に切断したナトリウム配管内部の様子を示す。何れも模擬過熱器と反応容器間の主循環系8B配管で、写真4-1-1が反応容器への立ち上がり部、写真4-1-2が立ち上がる直前の水平配管である。

SWAT-3装置ナトリウム配管の多くは、写真4-1-1のように配管内表面のザラザラ感がわかる程度の付着状況であった。一般的にナトリウムの純度が高い場合はきめ細かなナトリウム粒子が配管内壁に薄く付着するが、SWAT-3のように不純物を多く含む場合は比較的粒子径が大きく付着物によるザラザラ模様がつくられ、全体的に付着量も増加する傾向にある。

一方、写真4-1-2は反応容器に立ち上がる直前のエルボ部付近の配管である。唯一多

くの残留反応生成物が観察された部位である。恐らく、垂直配管内壁の付着物が解体作業時の振動などで剥がれ落ちて集まつたものである。この様な反応生成物の処理は、出来る限り搔き出して燃焼処理した。

配管内壁に付着するナトリウムの洗浄は、蒸気と水で行った。

以下に、主要機器の解体手順の詳細を述べる。

4.2.1.1 反応容器

反応容器は内部のナトリウム洗浄が完了した状態で保管されてあることから、保温・ヒータ取り外し後、上蓋、中胴、下胴に分けて（接続部はフランジ取合いのため分割可能）撤去した。なお、これらのうち最も大きい下胴の重量は約 7.8 トンである。

4.2.1.2 模擬過熱器

本容器の撤去は以下の手順にて行った。

- ① ナトリウム入口・出口配管（8B）の切断（ロータリーバンドソウ）
- ② 目視にて内部確認、配管切断部閉止キャップ取付け
- ③ 上蓋－下胴フランジボルト・ナット取り外し
- ④ 上蓋、内部構造物吊り上げ、ビニルパッキング（写真 4-2-1 参照）
- ⑤ 上蓋、内部構造物をナトリウム洗浄エリアへ運搬し、蒸気洗浄
- ⑥ 下胴をナトリウム洗浄エリアへ運搬し、蒸気洗浄（写真 4-2-2 参照）
- ⑦ 各部蒸気洗浄
- ⑧ 廃棄

本容器内にはほとんどナトリウムの付着がなかったことから、容易に蒸気及び水にて洗浄することができた。

4.2.1.3 ナトリウム加熱器

ナトリウム加熱器は、内部ヒータ取り付け部の狭隘部に残るナトリウムに注意に注意して解体した。解体手順は以下のとおりである。

- ① 本体胴切断（プラズマ切断）（写真 4-3-1 参照）
- ② 内部ヒータ引抜き（写真 4-3-2 に管板から内部ヒータを引抜いた状況を示す）
- ③ 内部ヒータ切断
- ④ 蒸気及び水による各部洗浄
- ⑤ 廃棄

本容器内部にはほとんどナトリウムの付着が無く、容易に解体できた。内部ヒータの内外管の隙間（二重管構造）に入り込んだナトリウムは、ロータリーバンドソウを用いてヒータを 4~5cm 程度に小さく切断することで、分解洗浄が可能であった。

4.2.1.4 反応生成物収納容器

本容器は、容器内径 3000mm (胴肉厚 32mm)、高さ 8025mm、据付レベル FL+10025mm

と大型で、かつ高所に据え付けられている。接続配管は、放出系配管（8B）、ドレン配管（2B）、及びガス系配管である。内部はアルゴンガス雰囲気に保ち、実験後にドレンできなかったナトリウムと反応生成物が容器下部に残留している。図 4-1 に示した反応生成物収納容器解体要領について、以下にその手順を解説する。

(1) 吊り下ろし準備

- ① 入口配管の撤去、及び収納容器側フランジに閉止板の取付。放出系配管内部は、写真 4-4-1 に示す羽毛状の反応生成物が付着していた。実験直後に付着したナトリウム及び反応生成物が、保管中に侵入した空気中の炭酸ガスと反応して炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) を生じさせ、羽毛状に成長したものと推定される。
- ② ドレン配管の切断、閉止キャップ取付
- ③ 周辺環境整備（周辺道路封鎖、道路養生鉄板敷設、足場の設置）
- ④ 架台最上部据え付けの 0.5t ホイストクレーン吊り下ろし（20t レッカー）

(2) 吊り下ろし

解体作業性の向上と安全確保のため、収納容器据え付け位置より上部（架台の中間付近）を切断し、収納容器本体と共に架台を地上レベルに降ろした。

- ① 160t レッカーの設置、及び吊り具取付、玉掛け
- ② 柱、ブレス切断（収納容器と架台を合わせた総重量は約 30 トン。架台切断の確認はレッカーの荷重計で判断した。）
- ③ 架台ごと吊り上げ、仮置き（写真 4-4-2 参照）
- ④ トレーラに積載し、ナトリウム洗浄エリアに移動、吊り下ろし、固定
- ⑤ 架台下側（残部）撤去

(3) 内部確認

- ① 大気放出管台（12B）を開放し、乾燥砂を投入。（写真 4-4-3 参照）
- ② 容器本体胴側部にホールソウにより $\phi 50\text{mm} \times 4$ （うち 1箇所はシュラウドも貫通）の穴を開け、本体胴ーシュラウド間に乾燥砂を投入
- ③ CCD カメラにより乾燥砂が容器下部の反応生成物を全域にわたって覆っていることを確認
- ④ 空気の混入に伴い、湿分が内壁に付着するナトリウムを潮解させた結果、水素ガスの発生が確認されたため、窒素ガスをバージして上部開口部から水素ガスを追い出しを行った。大気放出管台部の水素濃度は 1%未満と燃焼不限よりも低い濃度ではあるが、発生が終息するまで約 1 週間窒素ガスバージを継続し、その間の解体作業は中断した。7 月の高湿度が影響したものと思われるが、水素ガスの発生が終息した頃には容器内部に付着していたナトリウムのほとんどが洗い流され、炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) あるいは水酸化ナトリウム (NaOH) となって乾燥した跡が白くなっていた。

(4) 反応生成物収納容器解体・洗浄

- ① 本体胴及びシュラウド切断（写真 4-4-4 参照）
- ② 100t レッカーにて切断した容器上部の吊り上げ、移動（写真 4-4-5 参照）

- ③ 容器底部に残留している反応生成物が湿分や雨（屋外設置のため）により、潮解あるいはナトリウム一水反応を起こさぬよう蓋を設置
- ④ 架台解体
- ⑤ 容器上部洗浄、解体、撤去
- ⑥ 容器底部の乾燥砂撤去（写真 4-4-6 参照）
- ⑦ 反応生成物掘り出し、処理（写真 4-4-7 に反応生成物の堆積状況を、写真 4-4-8 に掘り出し状況を示す。）
- ⑧ 内部シュラウドを吊り上げ、ナトリウム洗浄エリアにて洗浄、解体、撤去
- ⑨ 本体胴下鏡内、反応生成物掘り出し、処理
- ⑩ 本体胴下鏡洗浄、解体、撤去

4.2.2 ガス系設備

ガス系はナトリウムミストが付着しているベーパートラップと配管についてのみナトリウムを除去するための蒸気洗浄を施し、それ以外の配管、弁類は作業性、運搬性等を考慮した適当な大きさに切断し廃棄した。ナトリウムの付着量は、壁面に薄い膜程度であった。

4.2.3 水蒸気系設備

水蒸気系にはナトリウムの付着は無く、配管、弁等の小物は適当な大きさに解体し廃棄した。総重量約 9 トンの水加熱器はプラズマ溶断にて 3 分割し廃棄した。

4.2.4 電気制御設備

電気制御設備のうち、動力系については建屋受電設備の二次（装置）側全てのケーブルと盤を撤去し、制御系についても機器、ケーブル全てを撤去した。

4.3 コールドトラップ、膨張タンクの解体撤去（1998 年）

コールドトラップと膨張タンクは流用予定であったため単体にて保管したが、第 3 章の健全性調査結果により、1998 年 4～5 月に解体・撤去した。

4.3.1 コールドトラップ

CCD カメラによる内部観察の結果、本容器の胴壁には付着物等はほとんどないものの、下鏡には最大厚さ 1～2 cm 程度と推定される堆積物（約 1000cc）が残留していることがわかった。よって、本容器の解体は以下の手順にて実施した。

- ① 容器を吊り上げ、トラックヤード（作業エリア）に仮置き（横置き）
- ② 容器管板一外胴の溶接部直下でプラズマ切断し、内部構造物にビニルパッキングを施し、ナトリウム洗浄エリアに運搬（内部シュラウドへの反応生成物付着状況を写真 4-5-1 に示す）
- ③ 本体胴をナトリウム洗浄エリアに運搬（下部に残留している反応生成物の堆積状況

を写真 4-5-2 に示す。横置き状態に移動した後撮影したため下側に偏っている。)

④ 内部構造物及び本体胴を蒸気・水洗浄

4.3.2 膨張タンク

ファイバスコープ及び CCD カメラによる内部観察の結果、本容器の内部にはナトリウム及び反応生成物等の残留物がほとんど無いことがわかった。よって、本容器は架構から吊り上げ、ナトリウム洗浄エリアに運搬し、上鏡、胴、下鏡に分割（プラズマ切断）後、蒸気・水洗浄して廃棄した。

4.4 ダンプタンクの解体撤去（1999 年）

ダンプタンクは改造 SWAT-3 へ流用する予定で一時保管したが、第 3 章で述べたように液体浸透探傷検査でタンク外表面に SCC と思われる幾つかの欠陥が検出されて流用することが不可能となつたため、1999 年 3 月から 7 月にかけて解体撤去した。

4.4.1 解体撤去前の状態

Run-19 試験終了後、全系統のナトリウムはすべてダンプタンクにドレンし、常温固体の状態で保管されている。その量は液面計の指示値から、ナトリウムに換算しておよそ 12 トンである。その中に含まれる大量の反応生成物で代表的な NaOH や Na_2O は、融点がナトリウムに比べ高いため低温部に析出しやすい。また比重も 2 倍以上と重いため、溶解しきれず結晶化したものは底部に沈殿すると考えられる。

その状況について観察するため、タンク上部のマンホールを解放し、不活性ガス雰囲気を保ちながら固体ナトリウムのボーリング調査を行った。調査ではタンク底部より 400mm ~ 500mm 付近に堆積が確認された。これらの化合物は、常温ではコンクリートのように硬く、その堆積層より更にボーリングで進むことはできなかった。また、最終実験で閉塞したチャージ・ドレン配管（2B）以外についてもボーリング調査をした結果、内部からかなりの反応生成物が摘出され、ほぼ閉塞に等しい状態であった。図 4-2 にボーリング調査から推定した堆積状況を示す。これから推定する量は、およそ 3 トンである。

また第 3 章で述べたように、本体胴と鏡の溶接部近傍に複数の表面欠陥が液体浸透探傷検査で検出された（図 4-2 参照）。何れもタンク上側のカバーガス部で気密漏洩検査の結果から貫通には至っていないことが分かっている。

4.4.2 タンク上部の外表面欠陥の対応

図 4-2 及び図 A-6-1 に示すように、タンク上側（カバーガス部）の本体胴と鏡の溶接部近傍に発生した複数の表面欠陥は、外表面からの応力腐食割れ（ESCC）とほぼ断定しており、長期間（約 15 年間）の常温保管中に発生した。

補修の方法に、①欠陥周囲をあて板の溶接で覆う、②欠陥部を削り溶接で肉盛りする、の何れかが一般的である。

しかし、本タンク自体が古く新たな溶接を行うことで局部的にかなり加熱され新たな

亀裂が発生し貫通する可能性もある。逆に現状では亀裂が未貫通であり、ナトリウム抜き取り温度も低いことから既存の亀裂が進展貫通する可能性は溶接に比べ低い。更に、部位がカバーガス領域であることからナトリウム漏えいの可能性は無い。

これらの理由から、溶接補修は行わず、現状のままでナトリウム抜き取りを実施することとした。出来る限り熱の影響を緩和する意味で予熱温度を低く（今回は200℃以下）設定し、万一貫通した場合は、微正圧を維持し、降温してナトリウムをフリーズさせる対応とした。

4.4.3 ナトリウム抜き取り配管施工

ナトリウム抜き取り後の解体及び反応生成物処理を簡素化するためには、出来る限り多くのナトリウムを抜き取ることが必須である。しかし、タンク下部に反応生成物が堆積している状態では、タンク下部からの抜き取りはかなり難しい状況にある。また堆積物の所々に窪みがあり、ナトリウムを取り残す可能性もある。

もう一つの問題は、ナトリウム中にはその温度における飽和溶解度分の化合物が溶融していることである。これはナトリウムを抜き取る際、その温度より低い配管部（コールドポイント）が存在すると、化合物が析出し閉塞する。一度閉塞した配管を再び導通させるためには、閉塞物の融点以上の予熱が必要で、これまでの経験では500℃以上でも難しい場合がある。この構造では、タンク管台付近からカバーガス部にかけての配管に最も注意が必要である。

これら問題を解決するため、ナトリウムの抜き取り配管は、ダンプタンク上部のマンホールから予備を含めた複数本を挿入した。更にカバーガス部付近でのコールドポイント発生を防ぐため、内部電気ヒータ付きの二重配管とした。また化合物の堆積量が少ないと推定される鏡部は、タンク鏡部の外壁に貫通穴を設け、ナトリウム壁面に新たな配管を施工した。タンク下部ドレン管台については、配管閉塞によりナトリウム抜き取りは不可能と予想されるが、わずかでも多くのナトリウムを抜き取るために配管を施工した。

(1) 上部マンホールからの二重配管施工

そこで図4-3に示すように上部フランジからタンク内に新たに配管を施工し、タンク下部からの抜き取りが不可能な場合でも、最低限上部から挿入した配管レベルまではナトリウムを抜き取れるよう施工した。

4.4.1項で述べたタンク内の反応生成物堆積状況は、ドレン配管付近で盛り上がりが観察されていることから、計3本の配管を堆積物の窪み部に設置した。また、施工した配管には内挿ヒータを施工した二重配管とし、カバーガス部やフランジ接続部でのコールドポイントを無くし、反応生成物の析出による配管閉塞を防ぐ工法とした。写真4-6-1、4-6-2に内挿ヒータ付2重配管の先端部組立図及び上部フランジへの施工状態を示す。

(2) タンク鏡部、下部への配管施工

上部フランジから挿入する配管では届かないタンク鏡部のナトリウムを抜き取るため、

鏡部に抜き取り配管を施工した。この位置は、タンク内部に固体ナトリウムがあるため、特に溶接作業中のナトリウム火災に注意することが必要である。本工法は過去に実績がないため、小規模タンクを用いて事前確認を行った。その手順と注意点を以下に、管台溶接及び配管施工状態を写真 4-6-3、4-6-4 に示す。

- ① 鏡壁穴開け部にナットを点付け溶接する（ホールソーで貫通穴を開けた後、切断片を取り除くためのもの）。
- ② 管台を内外面の両側から隅肉溶接する。管台の大きさは管内面の溶接ができる程度（3B）とし、管台の長さは管台に配管を溶接する際、鏡壁面温度がナトリウムの融点以上にならない程度とする。溶接は 1/4 周ごとにある程度の冷却時間を取りながら行う。また溶接線付近に取付けた熱電対が 100°C を越えないようにする。今回の経験から、タンク内部ナトリウムへの熱伝導量が大きいことが理由で、通常の溶接に比べ温度上昇が少なく、溶接終了後の冷却時間がかなり速いことがわかった。
- ③ 管台内部の鏡壁をホールソーでくり抜く。ホールソーとは比較的口径の大きい穴開けに使用する切削工具で、円筒状に切断するものである。ここでは口径 $\phi 35\text{mm}$ を用いた。ホールソーの回転による摩擦熱でナトリウムが燃焼することを防止するため、ある程度の冷却時間を取りながら行う。
- ④ あらかじめ取り付けたナットにボルトをねじ込み、切断片を取り出す。この方法は、せん断力の大きいナトリウムから切断片を切り離すために非常に有効である。小口径の穴を開ける場合はドリルでも可能である。
- ⑤ 切断片を取り外したナトリウム表面の酸化膜を取り除き、50mm 程度削り込む。これはナトリウム溶融時に配管側にあるガスの浮力をを利用して酸化膜を破壊する効果をねらったものである。
- ⑥ 管台にレデューサー、配管を溶接し、ナトリウム抜き取り配管を施工する。タンク鏡部（反対側）及びタンク底部に管台を施工するため、①から⑤の作業を繰り返した。最終的には両鏡部 2 箇所、既設の下部ドレン配管 1 箇所の計 3 箇所を抜き取り配管施工管台とした。

なお、管台及び配管溶接部の検査は、液体浸透探傷試験（PT 検査）と耐圧・漏えい検査を行う。

4.4.4 ナトリウムの抜き取り

4.4.3 項で施工したナトリウム抜き取り配管（計 6 箇所）を用いて、ナトリウムドラム缶への抜き取り配管を施工した。図 4-4 にナトリウム抜き取り設備系統図を示す。

ナトリウム抜き取り用ドラム缶の下には荷重計を設置し、予め 165kg に達した時点でインターロックが作動し、抜き取り弁が自動で閉まるシステムとした。荷重計の不調によるインターロック未作動時の対応として、ドラム缶表面に温度チョークを塗り温度変化を外部から監視すると共に、万一のオーバーフローを考慮してナトリウム漏えい対策用の受け皿を設置した。

抜き取り温度、圧力条件を以下に示す。

- ① ダンプタンクナトリウム温度 : 約 140°C
- ② ダンプタンクガス圧力 : 約 0.05 MPa (抜き取り圧力)
- ③ ナトリウム抜き取り配管温度 : 約 180°C

上部マンホールの二重配管、鏡部ドレン配管、下部ドレン配管の順に、すべての抜き取り配管からドラム缶 68 本、約 11 トンのナトリウムを抜き取った。その内訳は、マンホール部 83%、鏡部 12%、下部 5% である。

ドラム缶 1 本当たりの抜き取り時間は 7~8 分である。ただし下部ドレン配管だけは、1 缶に約 1 日要する超スローペースであった。ほとんど閉塞に近い状態ではあったが、化合物のわずかな隙間から時間をかけて滴り落ちるようナトリウムが流れたためと考えられる。それでも下部配管から全体の 5% ものナトリウムが抜き取れたことは予想以上の出来であった。

4.4.5 ナトリウム中不純物濃度

抜き取ったナトリウムを再利用することを考えた場合、ナトリウム中に含まれる不純物濃度を把握する必要がある。

実験で注入された水約 15000kg から生成される反応生成物のうち、装置の系統内に残留するものを除いた量がダンプタンクにナトリウムと共にドレンされる。ナトリウム中には飽和溶解度分の不純物が溶解し、過飽和分の不純物はそのほとんどがタンク下部に堆積していると考えられる。

ナトリウムー水反応により生成されるものは、 Na_2O や NaOH のほかに過酸化ナトリウム (Na_2O_2)、水素化ナトリウム (NaH) などがある。それらの化合物について信頼性の高いナトリウム中飽和溶解度データは少なく、 NaOH を除き酸素 (O_2)、水素 (H_2) の飽和溶解度として示されている。 O_2 、 H_2 はその元素単体でナトリウム中に溶解している可能性は低く、それぞれ Na_2O 、 NaH の形態で存在していると考えて良い。 Na_2O_2 はナトリウムー水反応時の高温腐食環境条件下で一時的に生成され、その後の静定時には別の形態に変化している可能性が高いことから、本議論から除外して考える。

O_2 、 H_2 、 NaOH のナトリウム中における飽和溶解度 : S (ppm) は以下の式から算出される。ここで T はナトリウム温度 (K) である。

(1) O_2 の飽和溶解度⁴⁾

$$\log S = 6.2571 - 2444.5/T \quad \dots \dots \dots \quad (4-1) \text{ 式}$$

(2) H_2 の飽和溶解度⁵⁾

$$\log S = 6.92 - 3400/T \quad \dots \dots \dots \quad (4-2) \text{ 式}$$

(3) NaOH の飽和溶解度⁶⁾

$$\log S = 4.72 - 1022/T \quad (\sim 300^\circ\text{C}) \quad \dots \dots \dots \quad (4-3) \text{ 式}$$

ダンプタンクのナトリウム抜き取り温度は 140°C で、上式から算出される各不純物濃度は、 O_2 : 2.18ppm、 H_2 : 0.05ppm、 NaOH : 176ppm である。この値はこれまでと同様に再利用する場合、特段の支障を与えない程度と言える。

4.4.6 タンク内の反応生成物観察

ナトリウムの抜き取り後、タンク上部マンホールを開放して内部の様子を観察した。ドレン配管や温度計などの内部構造物にはまるで樹氷を思わせるような付着が観察された。この様な付着はナトリウム-水反応実験後の試験体にも見られ、容器壁などを伝って冷やされやすい構造物はコールドポイントとなり、ナトリウム中に溶解している不純物が析出し付着する。実験ごとにそれが繰り返され、写真 4-6-5 に示す樹氷のような付着物に成長するものと考えられる。

4.4.7 タンク解体方法の検討

解体における最大の難点は、ナトリウムを含んだ堆積物を内部に保有した状態で、肉厚 19mm の厚い鉄板を切断しなければならないことである。プラズマ法による切断が最も効率的であるが、切断時の熱により堆積物が燃焼する可能性が高い。熱の発生を極力抑えることができるジグソーやバンドソーのような機械的な切断方法もあるが、作業効率が悪く現実的ではない。またナトリウム施設の解体で実績を持つ炭酸ガス安定化処理法は、構造物等表面に付着する層の薄い場合に有効で、本タンクのように大量の堆積物がある程度の厚さを持って存在する場合は困難である。

検討の結果、タンク底部の堆積物を大量の乾燥砂で覆って作業する方法を採用することとした。まず、構造物表面に付着する化合物をマンホールから除去し、その後堆積物の表面を乾燥砂で覆い、タンク上部をプラズマ法で切断する。その後乾燥砂中から堆積物を回収する解体する方法を採用する。

4.4.8 構造物に付着するの除去

写真 4-6-5 のようにドレン配管などの構造物表面の付着物は乾燥砂で覆うことができないため、マンホールから長尺の杖を持つスコップとバケツを用いて構造物に付着する化合物を削り落とし、底部から掻き出す（図 4-5 参照）。掻き出した化合物は、化学分析用のサンプルを除いて、ナトリウム処理を行う専用の設備にて燃焼処理を行う。マンホールからアクセスすることが困難な鏡部付近は、鏡部の上側にあけた開口部を利用して付着物を削り落とし、マンホール側に寄せて掻き出す。掻き出し後のダンプタンク内部の様子を写真 4-6-6 に示す。

タンク内から取り出す反応生成物は、空気や湿分と反応し水素ガスの発生や燃焼を引き起こさぬよう基本的には燃焼処理を行う分だけをタンク内より取り出した。

作業期間中は昼夜を通して微量の窒素ガスを封入し、空気の混入を防止した。

4.4.9 タンクの解体

乾燥砂はナトリウムの消火材であり、燃焼を防止する点で特に問題はないが、その量が少ないと空気中の酸素と完全に遮断できず、再着火する可能性がある。よって、ここでは堆積物を覆う砂の厚さを安全側に 10cm 程度と設定した。

乾燥砂投入から堆積物除去まで一連の流れを図 6 に、以下にその手順と注意ポイントを

示す。

(1) タンク内への乾燥砂投入

図 4-6 に示すようにマンホールから乾燥砂を投入し、堆積物の表面を覆う。タンク内は不活性雰囲気を保つために窒素ガスを連続封入したが、砂と共に混入した空気中の湿分とナトリウムが化学反応する潮解が、マンホール入り口付近に見られた。このときに発生する水素ガスをタンク内に滞留させないよう、最も高い位置にガスブロー配管を設けて対応した。また潮解した NaOH が水和物をつくり堆積物上に落下することにより新たな反応を起こすため、素早く砂を投入して堆積物表面を覆うことも重要である。

この初期段階で投入した乾燥砂の量はおよそ 2 トンである。

(2) 内部構造物の引き抜き

タンク上部に固定されている配管や温度計などの構造物は、本体胴を切断する前にその固定部周辺をプラズマ切断し、タンクから引き抜く。写真 4-6-7 は切断箇所をステンレステープで覆い、空気の混入を防止しているところである。切り離し作業時にもタンク側に窒素ガスを封入し空気の混入を防止する。写真 4-6-8 は保護スリーブ引き抜きの様子である。

引き抜いた構造物は移動途中に付着ナトリウムなどが燃焼しないよう専用のシートで覆い、窒素雰囲気を保ちながらナトリウム洗浄エリアに運搬し、蒸気洗浄する。一方、切り出したタンク側の開口部は、薄い鉄板で覆ってステンレステープでシールする。

(3) タンク本体胴の切断

タンク内の堆積物より上側をプラズマで切断し撤去する。切断片に付着するナトリウムや化合物が移動中に燃焼しないよう、また運搬性及び洗浄作業を容易にする目的で 2m 四方以内程度に小さく分割して切断する。プラズマ切断時の熱が残留した状態で空気中に開放すると内壁に付着したナトリウムが燃焼する可能性があることから、切断部はステンレステープでシールし、あて板で切断片を固定した。切断片を取り外す時は、プラズマ切断の熱が十分冷えた後、ハンマー等であて板をたたき落としてクレーンにて吊り上げ、運搬・洗浄した。

写真 4-6-9 に切断片の撤去部から覗いたタンク内部の様子を示す。乾燥砂の上には切断時の鉱滓（溶接、溶断時のスラグで、通称ノロ）が、また反対側のタンク内面にはプラズマ切断跡が見られる。切断片の取り外し、運搬、洗浄及び切断部の処置は内部構造物の撤去時と同様である。

(4) 反応生成物の削り出し

本体胴上部をすべて取り除いた後は、写真 4-6-10 に示すように砂を部分的に取り除き、コンクリート削岩機などを利用して反応生成物を削り出す。タンクの切断部は波面が粗く擦刺の危険があるため、切れ目を入れたブレードホースをかぶせて養生する。このホースは保管時に使う鉄製蓋のシール材の役目もはたす。

取り除いた反応生成物は、ナトリウム洗浄エリアに運搬し、砂と分離して反応生成物（ナトリウム含む）だけを燃焼処理する（写真 4-6-11 参照）。当日の作業終了時には再び反応生成物を乾燥砂で覆い養生する。ここで注意すべきことは、作業期間中に乾燥砂が吸湿し、

反応生成物の粉末が燃焼することがあるため、常に乾燥した新しい砂を用意し、反応生成物を覆うことである。

この作業には1週間程度要したが、夜間の保管時は再び乾燥砂で覆い、更に鉄製蓋を設置して空気中の湿分と遮断する。鉄製蓋にはガス配管を設け、微正圧の窒素ガスを封入することで、空気の混入を防ぐと共に発生する水素ガスを排出する。

すべての堆積物を除去した後、タンク本体を水洗浄して、タンク本体の解体が終了となる（写真4-6-12参照）。作業中に追加した分も含めて本作業で使用した乾燥砂は約3トンである。

4.4.10 反応生成物混入砂の水処理

堆積物処理に用いた砂には微粒のナトリウムや反応生成物が混じり込んでいるため、水洗浄を行う。砂の洗浄はできる限り広い面積を持つ容器に砂を浅く入れて攪拌しながら水を通し、その排水が中性になるまで行う。

強アルカリの堆積物洗浄廃液は、工業用塩酸（濃度約35%）で中和した後排水する。この解体作業で処理したナトリウムとその化合物を合計した反応生成物重量は約4トン、その中和に使用した塩酸量は約13.5トンである。

因みにナトリウム漏えい火災用に採用しているナトレックス消火剤は、比重が軽いため緊急時の操作性に優れている反面、このような作業では水面に浮くために水洗浄処理し難く、また排水槽に流れ込んで水路を塞ぐなどの欠点も多い。それに比べ砂の場合は、水洗い後は一般の砂として使用して差し支えなく、再び乾燥させることでナトリウムの消火用砂としても再利用可能である。

4.4.11 反応生成物に接触する構造材表面の状態

反応生成物除去後のタンク内表面は製作当時の機械加工痕が観察された。最終的には約4トンの反応生成物をナトリウム中に含んだ状態で30年間もの長期に渡り使用してきたダンプタンクではあるが、実験が単発的であるため通算の運転期間（ダンプタンク内でナトリウムが溶融していた期間）が200日以下と短いこと、更にNaOHなど腐食をもたらす反応生成物が溶融する温度に達するような運転は実験直後のほんのわずかであることなど、反応生成物はほとんど固体状態にあったためと考えられる。また、大量の反応生成物がある場合でも、それ以上にナトリウムが多い場合には反応生成物と構造材の接触を妨げ、構造材料に与える損傷をナトリウムが和らげる効果も働いたものと推定される。

5. 反応生成物の化学組成

第4章で述べた装置解体作業において、コールドトラップとダンプタンク内部に残留する反応生成物を採取し、その化学組成を分析調査した。目的はの化学形態、組成割合を調査し、構造材料への影響検討、あるいはナトリウムー水反応現象解明の参考にすることである。

5.1 サンプリング

サンプリングは、金属ナトリウムを抜き取った後のコールドトラップとダンプタンク内に残留する反応生成物を採取して行った。以下にそれぞれのサンプリング方法の詳細を述べる。

(1) コールドトラップ

ナトリウムのドレン後容器本体胴を切断して、本体胴と内筒の隙間及び容器底部の残留物からサンプリングした。本体胴ー内筒間（隙間約40mm）で特に残留物が多かった中間付近から、容器底部は堆積する数kgの残留物からそれぞれ削りだし採取した。表5-1の上段にサンプルの特長、色等をサンプルデータとしてまとめた。

本体胴ー内筒間のサンプルは容器底部のサンプルに比較して粘り強く、グローブボックス内で行った分析前処理では粉末になり難いものであった。この粘り強さはナトリウム含有量が多いためと推定できる。

なお本体胴の切断作業は空気雰囲気中で行ったものであり、採取した残留物には特に表面層に空気中の酸素、湿分が多く取り込まれていると思われる。それらの影響を出来る限り排除するために、グローブボックス内（アルゴンガス雰囲気）でサンプル表面を削り取り、試料を作成した。しかしながら排除が完全に行われたことの確認ができないため、分析結果に対しては空気中の酸素、湿分による影響を考慮する必要がある。

(2) ダンプタンク

ダンプタンク内からのサンプリングは、上澄みナトリウムを抜き取りタンクを冷却した後に上部マンホールを開放して行った。サンプルはダンプタンク構造物に付着したものを含めた表面層付近の比較的柔らかい堆積物と、それらを除去した後の固い堆積物から採取した。

マンホール開放直後のタンク内はアルゴンガスで覆われていることから、空気中の酸素、湿分の影響がほとんど無いと考えられる。マンホール入り口部付近の酸素濃度測定結果からも明らかである。しかし、回収作業に伴い空気がタンク内に入り込み、堆積物の化学組成に影響を及ぼす可能性がある。その裏付けの一つとして、マンホール付近に付着するナトリウムが除々に潮解し、その後NaOHが炭酸ナトリウム（白い粉状、 Na_2CO_3 ）に変化した様子が観察されている。その進展はマンホールの入り口から除々にタンク内に進み、数週間後のタンク切断準備として行った乾燥砂挿入の頃にはタンク本体のマンホール管台から数十cm程度入り込んだ範囲まで広がっている。従って、特にマンホール

開放から日数を経過してサンプリングした試料に対してはコールドトラップと同様に空気中の酸素、湿分による影響を考慮する必要がある。

表 5-2 の上段にサンプルの状態とサンプリング時期をまとめる。

5.2 分析方法と結果

5.2.1 分析方法

(1) ナトリウム化合物等の化学形態（定性分析）

サンプルに含まれるナトリウム化合物及びその他の化合物について化学形態の定性分析として X 線回折法 (XRD : X-Ray Diffraction) を用いた。

(2) 金属ナトリウムの分析法（定量分析）

サンプル中の金属ナトリウム含有量を分析する方法として、サンプルを真空中で水酸化ナトリウム溶液と反応させ、発生する水素ガスを定量することによって金属ナトリウムを定量する水分解水素発生法を用いた。ただし、X 線回折で水素化ナトリウム (NaH) が検出されたサンプルについてはアマルガム法で金属ナトリウムだけを定量した。

(3) ナトリウム化合物の分析法（定量分析）

X 線回折による定性分析の結果をもとに、存在が確認された各ナトリウム化合物についてそれぞれの方法で定量した。

過酸化ナトリウム (Na₂O₂) は酸化還元滴定法を、酸化ナトリウム (Na₂O)、水酸化ナトリウム (NaOH) は中和滴定法で行った。なお Na₂O 及び NaOH の割合は連立方程式により計算で求めた。

また水素化ナトリウム (NaH) は水分解水素発生法で得た水素量をもとに、既に存在を把握している金属ナトリウムとナトリウム化合物 (Na₂O, Na₂O₂, NaOH) のナトリウム分を差し引き、計算で求めた。

5.2.2 分析結果

(1) コールドトラップ

分析結果を表 5-1 に示す。中段が X 線回折による定性分析結果で、下段が定量分析結果である。この結果から、サンプルの主成分は金属ナトリウム、酸化ナトリウム、水酸化ナトリウムであることがわかる。

なお X 線回折の分析結果では、NaOH が少量以下と少ないと係わらず、中和滴定（定量）分析では多く検出されているのは、サンプル中の NaOH の大部分が非晶質なものであることが原因と考えられる。非晶質とは NaOH が結晶化していない、あるいは結晶構造にゆがみがあることで、吸湿性物質によくある。

(2) ダンプタンク

同様にダンプタンクの分析結果を表 5-2 に示す。コールドトラップとの大きな違いは、

20w%前後の水素化ナトリウム (NaH) が検出されていることである。また、 NaOH が全体的に少なく、特にマンホール開放直後にサンプリングした粉末状サンプルでは 1.9w% と極端に少ない結果が得られている。

サンプルの主成分は金属ナトリウム、酸化ナトリウム、水酸化ナトリウムに水素化ナトリウムを加えた4成分となる。

5.3 ナトリウム鉄複合酸化物と構造材料

X 線回折結果ではダンプタンクのサンプル中に僅かながらナトリウム鉄複合酸化物 (Na_5FeO_4) が検出されている。この酸化物の生成過程を以下に推察する。

本ダンプタンクの運転履歴の中で最も高温になったのは、実験後反応容器内の高温ナトリウムをドレンする時で最も高い時で 383°C 、平均すると約 350°C である。また、ナトリウムや反応生成物を全て除去した後のタンク内壁には、製作当時の機械加工の痕跡が観察された。

一方、ナトリウムー水反応実験時は局部的に 1000°C を越える高温域が発生し、伝熱管がウェステージ（エロージョンとコロージョンの複合作用）により減肉する現象が発生する。これまでに行った実験でも数多くの伝熱管にウェステージが観察されている。

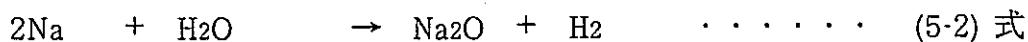
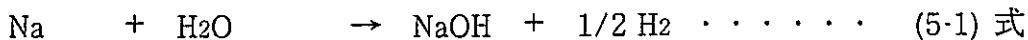
これらの理由から検出された Na_5FeO_4 は、反応容器内でナトリウムー水反応実験中に伝熱管がウェステージ（腐食損傷）された際に生成され、ナトリウムのドレン時にダンプタンクに運ばれた可能性が高い。

5.4 分析結果とナトリウムー水反応

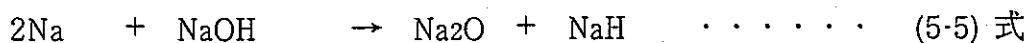
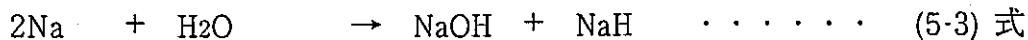
SWAT-3 装置系統内に存在するナトリウム化合物の大半は、注水実験時に生成されたものである。その他に試験体引き抜き作業や装置改造工事の際、配管等に付着するナトリウムと空気中の酸素、湿分が反応して生成する化合物もわずかながら存在する。

コールドトラップから採取した化合物は、純化運転によりナトリウム中の不純物を析出させて捕獲したものである。また、ダンプタンク内の化合物は、実験で生成したものをナトリウムと共にドレンし堆積したものである。

ナトリウムー水反応に関する化学反応式のうち、特に重要なものは次ぎの2つと言われている⁷⁾。最も一般的なナトリウムー水反応は (5-1) 式で、 NaOH の融点 (318°C) 以上では (5-2) 式の反応が起こる。

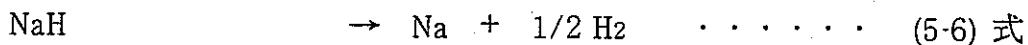


ダンプタンク内の化合物分析結果で比較的多く検出された NaH はナトリウムと水、あるいはその反応生成物との化学反応によって生成される。

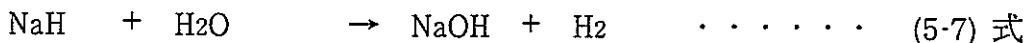


ただし、 NaH は高温で次式のようにナトリウムと水素に分解する（分解温度： 427°C ）

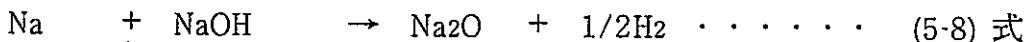
ため⁸⁾、ナトリウムー水反応時の高温状態では(5-3)式と(5-6)式から、結果的に(5-1)式となる。



また生成したNaHは水・蒸気と反応しNaOHと水素を生ずるが、これは水・蒸気が十分に存在する場合である。



それら以外に考えられる化学反応式を次式に示す。



これらをまとめると、NaHの生成メカニズムは以下の二つが考えられる。

- ① 注水中に反応領域で生成したH₂が上昇中にナトリウムに溶解し(5-6)式で生成
- ② 実験終了後、主としてナトリウム降温過程において水反応で生成したNaOHがナトリウムと(5-5)式で反応して生成

ナトリウムー水反応により発生する水素ガスの溶解割合：Φ(-)は、過去に行われた実験から次式が得られている⁹⁾。

$$\Phi = 1 - \left\{ 1 - \frac{0.02 \rho_{\text{Na}} (W_s - W_\infty) L}{G^{0.7} \rho_{\text{H}_2} (130 - v)} \right\}^3 \quad \dots \quad (5-10) \text{式}$$

ここで、G : 水リーキ率 (g/sec)

ρ_{Na} : ナトリウム密度 (g/cm³)

ρ_{H_2} : 水素ガス密度 (g/cm³)

W_s : 気泡に接しているナトリウム中水素濃度 (-)

W_∞ : 気泡からかなり離れたナトリウム中水素濃度 (-)

L : ナトリウム液面からの深さ (cm)

v : 気泡の上昇速度 (cm/sec)

水素気泡に接しているナトリウムはその温度の水素の飽和溶解度で飽和した濃度とみなし、その値は(4-2)式によって求めらる。参考までにナトリウム温度を365°C(全実験の平均値)として算出した水素の飽和溶解度は39ppmである。このようにして求める水素飽和溶解度と(5-10)式から算出する水素溶解割合は、SWAT-3で行われた中～大リーケ実験では限りなくゼロに近く、最もリーケ率の小さいRun-18の4g/secでさえ数%の溶解割合である。よって、「①」の水素気泡から生成されるNaHはかなり少ないものと言える。

一方、表5-2の分析結果では、特に粉末状サンプルのNaOHが少なく、その理由として「②」が考えられる。このことから、本ダンプタンクで検出されたNaHは、その多くが降温過程において生成された可能性が高いと言える。

6. 結 言

1996年から1999年にかけて行った蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）の解体作業では、国内で初めてとなる大量のナトリウムー水反応生成物を保有するダンプタンクのナトリウム抜き取りとその処理、及びタンク解体を経験し、特殊な解体技術を構築することができた。そのナトリウムー水反応生成物の分析結果を通して化学成分を把握すると共に、それらが構造材料に及ぼす腐食の程度についてもほとんど無いことを観察することができた。また、それに先立ち行われたナトリウム設備の健全性評価では、再利用を検討した機器全てに何らかの欠陥が発見された。

以下にそれらをまとめると。

(1) 試験装置の健全性評価結果

1975年から1985年までに計19回のナトリウムー水反応実験を行い、以後約11年間休止状態にあったSWAT-3装置は、反応容器やコールドトラップなどSUS304を母材とする機器のほとんどに銳敏化が観察され、SCCに発展する可能性が指摘された。特に膨張タンクについては、本体胴と鏡部の溶接熱影響部に無数の貫通亀裂が観察され、外面腐食による応力腐食割れ(ESCC)と断定された。

(2) ナトリウム機器の解体

ナトリウムの抜き取りが完了している機器については、内部観察などによりナトリウム付着状況を把握した上で、機械的切断あるいはプラズマなどを用いて溶断し、蒸気洗浄を行った。

約12トンのナトリウムとその中に含まれる大量のナトリウムー水反応生成物を保有するダンプタンクについては、上澄みのナトリウムを抜き取った後、タンク内に残留する反応生成物除去と解体を行った。注意すべき点は抜き取るナトリウム中に含まれる反応生成物を融解させないよう融解温度以下でナトリウムを抜き取ることである。また、なるべく多くのナトリウムを抜き取るために、上部挿入配管の他に鏡部やタンク底部の複数箇所にドレン配管を設けた方が効果的である。本解体作業ではタンク内にナトリウムを保有した状態で鏡部の2箇所に新たな配管を施工し、反応生成物により閉塞することなくナトリウムの抜き取りを行うことができた。

ナトリウム抜き取り後は、堆積する反応生成物とドレン配管や液面計などの内部構造物表面に付着が観察された。この状態で空気に接触させると非常に燃焼する可能性が高いため、不活性ガス状態を維持しながら上部マンホールより専用のジグで付着物を取り除いた。底部に堆積する反応生成物は、乾燥砂で覆うことで燃焼防止対策を施し、タンクの切断・解体を行った。

以下に、特にダンプタンクの解体において有効であった手法を箇条書きにまとめる。

- ① タンク内カバーガス空間部での反応生成物による配管閉塞防止対策として電気ヒータ付二重配管が有効である。

- ② ナトリウム入りタンクの壁面への配管溶接施工技術を確立した。
 - ③ タンク内に残留するナトリウム化合物を乾燥砂で覆うことによって、タンク本体の溶断が可能となる。
- (3) ナトリウムー水反応生成物の化学組成と構造材料への影響

長年に渡り反応生成物と接触し続けてきたダンプタンク内表面状態は、製作当時の機械加工痕がみられ、それらによる腐食がほとんど無かった。堆積物の分析結果からは、僅かながらナトリウム鉄複合酸化物 (Na_5FeO_4) が検出されたが、実験時に生成されてタンクに運び込まれた可能性が高い。このような大量の反応生成物を有するタンクでも、構造材に腐食がほとんど見られなかった要因として、通算の運転期間が短く、更に反応生成物が溶融するような温度に達することがほとんどなかったこと、また反応生成物量以上にナトリウムが多く存在することで、構造材料に与える影響を和らげる効果が働くことなどが考えられる。

またサンプリングした反応生成物の主成分は、ナトリウム、酸化ナトリウム (Na_2O)、水酸化ナトリウム ($NaOH$)、水素化ナトリウム (NaH) の4成分であった。特徴的なことは $NaOH$ と同等程度の NaH が検出されたことである。この NaH は、実験終了後、主としてナトリウム降温過程において水反応で生成した $NaOH$ がナトリウムと反応して生成された可能性が高いことが検討の結果わかった。

本件で得られた知見や経験は、現在稼働中のナトリウムー水反応試験装置、あるいは不純物を多く含むナトリウムループなどを解体する際、更には実プラントの蒸気発生器で万一水リークが起こった時の事故後の措置について、作業計画や実施及び安全管理などに役立つものと思われる。

7. 謝 辞

本解体撤去作業の解体工法検討、作業の実施、及び安全管理に関し、ご協力頂いた川田耕嗣副主任技術員、及び東興機械工業株式会社の鈴木和右氏、手塚健一氏をはじめ熱化学グループの関係者に感謝いたします。

ダンプタンクのナトリウム抜き取り、解体、及び洗浄処理作業に際し、東興機械工業株式会社の佐藤稔氏、金箱文雄氏、及び多くの関係者に感謝いたします。

またナトリウム化合物の分析に際し、熱化学グループの宮原信哉サブリーダ、原子力技術株式会社の加藤一憲氏に感謝いたします。

8. 参考文献

- 1) 大音、唐沢他、「SWAT-3 改造基本設計」、PNC TJ9164 95-006 (1995.3)
- 2) 大音、唐沢他、「SWAT-3 改造詳細設計」、PNC TJ9164 96-023 (1996.7)
- 3) 田辺、渡辺他、「コールドトラップによるナトリウム-水反応生成物除去試験
-SWAT-3 RECT-II 試験-」、PNC ZN941 85-127 (1985.9)
- 4) J. D. Noden., J. Brit. Nucl. Soc., Vol.12, No.3, p.329 (1973)
- 5) D. R. Vissers, J. T. Holmes, et al., Nucl. Tech., Vol.12, p.218 (1971)
- 6) D. D. Williams, J. A. Grand, et al., J. Phys. Chem., Vol.63, No.1, p.68 (1959)
- 7) 田辺、黒羽、「高速増殖炉用蒸気発生器の安全性試験研究の現状と今後の展開」、
動燃技報 No.56 (1985.12)
- 8) P. Roy, D. N. Rodgers, Nucl. Tech., Vol.12, p.388 (1971)
- 9) 社団法人 日本機械学会、「高速増殖炉蒸気発生器の安全性信頼性向上に関する調査
研究 (受託研究)」、PNC ZJ254 75-02 (1975.3)

表2-1 SWAT-3構成機器の主要目一覧

機器名	単位	反応容器 (EV)	模擬過熱器 (SH)	模擬中間 熱交換器 (IHX)	ナトリウム ²⁾ 加熱器 (MH)	コールド トラップ (CT)	エコノマイザ (EC)	反応生成物 収納容器 (RT)	ダンプタンク (DT)	水加熱器 (WH)
型 式	—	円筒豎置型	円筒豎置型	円筒豎置型	円筒豎置型	円筒豎置型	二重管型	円筒豎置型	円筒横置型	円筒豎置型
最高使用圧力 (設計)	kg/cm ² g	20.0	20.0	20.0	20.0	5.0	5.0	10.0	10.0	200.0
最高使用温度 (設計)	°C	535	535	535	600	535	535	535	535	500
胴外径	mm	1360	838	8B	520	820	内管：2B 外管：3.5B	3064	2538	1054
全長 ¹⁾	mm	6350	4000	4500	2881	2660	約6m	6000	4150	3474
胴肉厚	mm	30	19	8BsCh40	10	10	内：2BsCh20 外：3.5BsCh40	3.2	19	120
材質	—	SUS304	SUS304	SUS304	SUS316	SUS304	SUS304	ASME SA387gr.	SUS304	ASME SA387gr.
容 量	m ³	7.2	1.7	0.14	0.32	1.16	—	31.5	15.21	1.58
備 考	1)：管台を除く容器寸法 2)：液浸型電気抵抗加熱式									

表2-2(1/3) 主な実験条件と実験結果 (Run-1~Run-7)

試験 No.	Run - 1	Run - 2	Run - 3	Run - 4	Run - 5	Run - 6	Run - 7	
試験日	1975.6.9	1976.1.26	1976.9.16	1977.3.18	1977.9.22	1978.3.8	1978.10.26	
主目的	大リーケ・ナトリウムー水反応試験							
試験体	伝熱管材質 ／寸法 (mm)	STBA 24 ／ $25.4\phi \times 3.2t$			STBA 24 ／ $31.8\phi \times 3.8t$	STBA 24 ／ $25.4\phi \times 3.2t$		
	型式	ヘリカルコイル型				ダウンカマーモデル		
	伝熱管群層数	9層			6層	9層		
注水条件	1次リーケ孔径	15mm ϕ (disk type)	10mm $\phi \times 8$ (multihole)	10mm $\phi \times 8$ (multihole)	10mm $\phi \times 8$ (multihole)	11mm $\phi \times 18$ (multihole)	8mm $\phi \times 18$ (multihole)	19mm ϕ (disk type)
	水加熱器圧力	153 ata	154 ata	149 ata	155 ata	154 ata	154 ata	124 ata
	水加熱器温度	343 °C	260 °C	300 °C	306 °C	280 °C	305 °C	298 °C
総注水量	61.2 kg	122 kg	78 kg	83 kg	150 kg	90 kg	85 kg	
総注水時間	7.6 sec	9.9 sec	9.5 sec	9.4 sec	9.7 sec	9.5 sec	9.5 sec	
ナトリウム温度	378 °C	320 °C	398 °C	380 °C	360 °C	445 °C	245 °C	
カバーガス圧力	0.5 kg/cm ² G							

表2-2(2/3) 主な実験条件と実験結果 (Run-8~Run-13)

試験 No.	Run - 8	Run - 9	Run - 10	Run - 11	Run - 12	Run - 13
試験日	1979.8.7			1980.5.22	1980.5.20	1980.5.20
主目的	小・中リーケからの破損伝播					
試験体	伝熱管材質／寸法 (mm)	STBA 24/25.4 φ ×3.2t			STBA 24/31.8 φ ×3.8t	
	型式	直管100本での管束部模擬			直管55本での管束部模擬	直管52本での管束部模擬
	1次リーケ孔径	0.8 mm φ	0.25 mm φ	4.0 mm φ	0.3 mm φ	1.5 mm φ
	ターゲット 管内条件 (伝熱管本数)	流水 静止水 ガス加圧	0本 2本 25本	0本 2本 25本	0本 1本 9本	0本 5本 9本
	水加熱器圧力	150 ata	150 ata	153 ata	148 ata	150 ata
	水加熱器温度	341 °C	341 °C	343 °C	341 °C	342 °C
	1次水リーケ率	36 g/sec	6.8 g/sec	570 g/sec	注水機構の 故障により 注水失敗	87 g/sec
破損伝播次数		3次	無し	2次		2次
最大水リーケ率		1.5 kg/sec	—	—		1.46 kg/sec
同上発生時刻		155 sec	—	—		145 sec
総注水量		27 kg	15 kg	32 kg		39 kg
総注水時間		160 sec	2180 sec	54 sec		152 sec
ナトリウム温度		343 °C	358 °C	400 °C		334 °C
カバーガス圧力		0.5 kg/cm ² G	0.7 kg/cm ² G	0.7 kg/cm ² G		0.45 kg/cm ² G
						0.46 kg/cm ² G

表2-2(3/3) 主な実験条件と実験結果 (Run-14~Run-19)

試験 No.		Run - 14	Run - 15	Run - 16	Run - 17	Run - 18	Run - 19
試験日		1980.9.30	1981.4.1	1981.9.28	1982.5.27	1984.3.15	1985.4.4
主目的		長時間シミュレーション試験		高温ラブチャ試験	高温ラブチャ試験	過熱器条件(SUS321)	高温ラブチャ試験
試験体	伝熱管材質／寸法(mm)		STBA 24 /31.8 φ X 3.8t			SUS321HTB /31.8 φ X 3.5t	STBA 24 /31.8 φ X 3.8t
	型式		直管56本での管束部模擬	直管92本での管束部模擬	直管93本での管束部模擬	直管56本での管束部模擬	直管92本での管束部模擬
	1次リーク孔径		0.5mm φ	0.3mm φ	10mm φ	5mm φ	0.5mm φ
	ターゲット 管内条件 (伝熱管本数)	流水	0 本	0 本	0 本	4 本	0 本
		静止水	55 本	55 本	6 本	0 本	55 本
		ガス加圧	0 本	0 本	48 本	59 本	0 本
	ガス加圧		15 本				
注水条件	水加熱器圧力		149 ata	158 ata	153 ata	153 ata	141 ata
	水加熱器温度		240 °C	346 °C	340 °C	245 °C	337 °C
	1次水リーク率		18 g/sec	14 g/sec	2200 g/sec	1460 g/sec	4 g/sec
破損伝播次数		6 次	5 次	2 次	無し	3 次	無し
最大水リーク率		0.90 kg/sec	2.74 kg/sec	4.5 kg/sec	—	0.24 kg/sec	—
同上発生時刻		215 sec	253 sec	23.5 sec	—	4629 sec	32 sec
総注水量		110 kg	132 kg	228 kg	81 kg	42.5 kg	61 kg
総注水時間		293 sec	311 sec	60 sec	60 sec	4680 sec	32 sec
ナトリウム温度		341 °C	335 °C	340 °C	320 °C	468 °C	459 °C
カバーガス圧力		0.49 kg/cm ² G	0.53 kg/cm ² G	0.5 kg/cm ² G	0.5 kg/cm ² G	0.5 kg/cm ² G	0.5 kg/cm ² G

表2-3 SWAT-3運転スケジュール例

	第1日目			第2日目			第3日目			第4日目			第5日目		
	6:00	12:00	18:00	6:00	12:00	18:00	6:00	12:00	18:00	6:00	12:00	18:00	6:00	12:00	18:00
ナトリウム系 運転項目				各部点検 □			Na系真空引き ■						注水実験 □		
	ガス加圧管加圧 □				Naチャージ ■								水素加入追出し □		
				Na炉作動チェック ■			Na循環運転 ■						Naドレン※3 ■		
				ガス導通操作 ■			Na純化運転 ■						ガス導通チェック ■		
ナトリウム系 運転温度	400°C									Na系温度条件達成※1 ○				昇温	
	200°C			予熱 ○							実験※2 ○				
	0°C														
水・蒸気系 運転項目							水系点検 □	溶存酸素追出し □							
							注水配管真空引き ■								
水・蒸気系 運転温度	400°C									水系温度条件達成※1 ○			注水実験 ○		
	200°C													昇温	
	0°C														

※1：実験時のナトリウム温度及び水・蒸気温度は、実験条件による。

※2：注水実験により反応容器内のナトリウム温度が上昇する。その値は注水量、注水時間によって異なる。

※3：ナトリウムのドレン時期は、反応容器内ナトリウム温度の降温時間によって多少前後する。

表2-4 SWAT-3試験装置の運転履歴

1975				1976				1977				1978				1979				1980				1981								
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12					
建設工事																																
★危険物一般取扱所の許可(5/15)																																
Run-1				Run-2				Run-3				Run-4			Run-5		Run-6		Run-7		Run-8,9,10		Run-11,12,13	Run-14	Run-15	Run-16	Run-17					
RECT																																
1983																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
Run-18																	Na系、ガス系、水蒸気系、電気制御系設備、及び反応容器、模擬過熱器、Na加熱器、反応生成物収納容器等の主要機器解体															
																	休止期間															
RECT-II																																
1984																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
Run-19																																
1985																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
1986～1995																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
1996																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
1997																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
1998																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		
1999																																
3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9						3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9		

Na系、ガス系、水蒸気系、電気制御系設備、及び反応容器、模擬過熱器、Na加熱器、反応生成物収納容器等の主要機器解体

休止期間

コールドトラップ、膨張タンクの解体

ダンプタンクの解体

表2-5 SWAT-3試験装置の運転記録

Run No.	運転内容	運転開始日 (Naチャージ開始)	運転終了日 (Naドレン完了)	運転期間 ^{#1}	チャージ温度 (DT:T311)	トレン温度 ^{#3} (EV:T111)	トレン後の温度 (DT:T311)	トレン配管温度 (V301H:T051)	トレン配管温度 (V302H:T052)	Naドレン状況	備考
Run-1	試験	1975.6.7	1975.6.8	2.0日	150°C	352°C	332°C	*#2	—	○	
Run-2	調整	1976.1.12	1976.1.13	1.5日	191°C	358°C	317°C				
Run-2	試験	1976.1.24	1976.1.26	2.5日	175°C	333°C	308°C	380°C	—	V301ライン閉塞	
Run-3	調整	1976.8.27	1976.8.29	2.5日	218°C	*#2	*#2				
Run-3	試験	1976.9.14	1976.9.16	2.5日	*#2	395°C	305°C	402°C	—	V301ライン閉塞	
Run-4	調整	1977.3.4	1977.3.8	4.5日	236°C	374°C	332°C				
Run-4	試験	1977.3.16	1977.3.20	4.0日	*#2	281°C	278°C	394°C	—	○	
Run-5	調整	1977.9.8	1977.9.10	2.5日	243°C	365°C	*#2				
Run-5	試験	1977.9.20	1977.9.22	2.5日	283°C	381°C	286°C	320°C	—	V301ライン閉塞	急回的に温度を低く設定。409°Cまで再昇温後トレンが完了。
Run-6	調整	1978.2.17	1978.2.19	2.5日	*#2	414°C	352°C				
Run-6	試験	1978.3.6	1978.3.8	2.5日	203°C	439°C	274°C~	414°C	422°C	○	
RECT	精製運転1	1978.4.11	1978.4.17	7.0日	204°C	270°C	213°C~				
RECT	精製運転2	1978.4.18	1978.4.18	0.5日	230°C	*#2	*#2				閉塞した配管をNaで洗い流すための充填。
RECT	精製運転3	1978.4.19	1978.4.27	8.5日	227°C	418°C	359°C				
Run-7	調整	1978.10.6	1978.10.9	4.0日	218°C	266°C	280°C~				
Run-7	試験	1978.10.24	1978.10.26	2.5日	201°C	302°C	280°C~	421°C	416°C	○	
Run-8,9,10	調整	1979.7.18	1979.7.20	3.0日	250°C	*#2	*#2				
Run-8,9,10	試験	1978.8.5	1978.8.7	2.5日	198°C	370°C	346°C	401°C	424°C	○	
Run-11,12,13	調整	1980.4.26	1980.4.30	4.5日	198°C	318°C	282°C~				
Run-11,12,13	試験	1980.5.20	1980.5.22	2.5日	194°C	442°C	383°C	421°C	370°C	V302ライン閉塞	
Run-14	調整	1980.9.3	1980.9.6	3.0日	186°C	377°C	*#2				
Run-14	試験	1980.9.28	1980.9.30	2.5日	148°C	約385°C	330°C	424°C	422°C	○	
Run-15	調整	1981.3.11	1981.3.13	2.5日	177°C	339°C	320°C				
Run-15	試験	1981.3.28	1981.4.1	4.5日	180°C	428°C	379°C	422°C	415°C	○	
Run-16	調整	1981.9.6	1981.9.9	3.0日	*#2	*#2	319°C				
Run-16	試験	1981.9.26	1981.9.28	2.5日	183°C	436°C	382°C	406°C	420°C	○	DT温度上昇のため、V301ラインのトレンは一時中断。
Run-17	調整	1982.5.14	1982.5.15	1.5日	196°C	317°C	306°C				
Run-17	試験	1982.5.25	1982.5.27	2.5日	175°C	395°C	350°C	418°C	420°C	V301ライン閉塞	
Run-18	調整	1984.2.9	1984.2.9	0.5日	203°C	259°C	238°C				
Run-18	調整	1984.2.22	1984.2.29	7.0日	204°C	369°C	330°C				
Run-18	試験	1984.3.13	1984.3.18	5.0日	203°C	358°C	328°C	413°C	415°C	○	
RECT-II	精製運転	1984.4.4	1984.4.26	22.5日	199°C	369°C	314°C				
Run-19	調整	1985.2.26	1985.3.1	3.0日	188°C	371°C	300°C				V301ライン閉塞ぎみ
Run-19	試験	1985.4.2	1985.4.5	3.5日	199°C	375°C	308°C	414°C	416°C	V301,V302ライン閉塞	

※1：運転期間とはDTから系統にNaを充填してからドレンするまでの期間。0.5日単位で切り上げとした。総運転期間は128日。DTは充填前約1週間、ドレン後3~4週間の予熱及び降温期間が加えられる。

※2：過去の運転履歴で、データが未保管成りは調査できなかった箇所。

※3：ドレン後のDT温度は最高到達温度。○○○°C~とはドレン開始直前のDT内のNa温度（最高温度を調査出来なかった箇所）。

表3-1 健全性調査のための検査項目

機器名 検査項目	外観検査	液体浸透 探傷試験	超音波肉 厚測定	超音波探 傷検査	磁粉探 傷検査	鋭敏化 度測定	耐圧・漏洩 試験検査	ヘリウム リーク 試験検査	絶縁・抵抗 試験検査
(1) 反応容器	○	○ (容器内面)	○	○	—	○	○	○	—
(2) 反応生成物 収納容器	○	—	○	○	○	—	—	—	—
(3) ナトリウム 加熱器	○	—	—	—	—	—	—	—	○ (内挿ヒータ)
(4) コールド トラップ	○	○	○	○	—	○	—	○	—
(5) 膨張タンク	○	○	○	○	—	○	—	○	—
(6) ダンプタンク	○	○	—	—	—	—	—	—	—

表 5-1 コールドトラップ内ナトリウム化合物分析結果

(サンプルデータ)

試料名(採取場所)	サンプルの特長	色	採取時期
本体胴一内筒間(1)	粉碎コンクリートを焼結したようなポーラス状。脆く崩れやすい。	灰色	1998年5月
本体胴一内筒間(2)	コンクリートのような塊を含んだポーラス状。		
容器底部(1)	粉碎コンクリートを焼結したようなポーラス状。脆く崩れやすい。		
容器底部(2)	粉碎コンクリートを焼結したようなポーラス状。脆く崩れやすい。	↓	↓

(X線回折分析結果)

結晶相 試料名	Na ₂ O	NaOH	Na ₂ O ₂	NaH	Na ₄ FeO ₃	Na ₅ FeO ₄	Na
本体胴一内筒間	++++	Tr	-	-	-	-	+
容器底部	++++	+	-	-	-	-	+

(注) +++++: 非常に多い +++: 多い ++: 中程度 +: 少量 Tr: 痕跡程度 -: 不検出

(金属ナトリウム及びナトリウム化合物の定量分析結果)

(w%)

結晶相 試料名	Na ₂ O	NaOH	Na ₂ O ₂	Na
本体胴一内筒間(1)	27.4	48.8	0.1	23.7
本体胴一内筒間(2)	14.8	61.4	0.1	23.7
容器底部(1)	21.4	62.4	0.1	16.1
容器底部(2)	28.3	55.4	0.2	16.1

表 5-2 ダンプタンク内ナトリウム化合物分析結果

(サンプルデータ)

試料名(サンプル状態)	採取場所、状況	色	採取時期
粉末状	ダンプタンク内部(Ar雰囲気)の表面層から採取した粉末状	灰(青混じり)	H11年5月13日
固体(溶岩状)	ダンプタンク下部堆積物中に含まれる溶岩風の塊	灰+茶	H11年5月21日
コンクリート状	ダンプタンク下部堆積物のコンクリート状の堆積物を砕いて採取	灰	H11年5月22日

(X線回折分析結果)

結晶相 試料名	Na ₂ O	NaOH	Na ₂ O ₂	NaH	Na ₄ FeO ₃	Na ₈ FeO ₄	Na
粉末状	++++	Tr.	-	++	-	-	+
固体 (溶岩状)	++++	++	-	++	-	Tr.	+
コンクリート状	++	++++	-	+	-	-	Tr.

(注) ++++: 非常に多い +++: 多い ++: 中程度 +: 少量 Tr: 痕跡程度 -: 不検出

(金属ナトリウム及びナトリウム化合物の定量分析結果)

(w%)

結晶相 試料名	Na ₂ O	NaOH	Na ₂ O ₂	NaH	Na
粉末状	30.7	1.9	0.1	15.9	51.4
	30.6	1.9	0.2	15.9	51.4
固体 (溶岩状)	36.6	15.6	1.1	6.0	40.7
	36.6	15.6	1.1	6.0	40.7
コンクリート状	39.2	26.0	0.4	7.9	26.5
	39.2	26.0	0.4	7.9	26.5

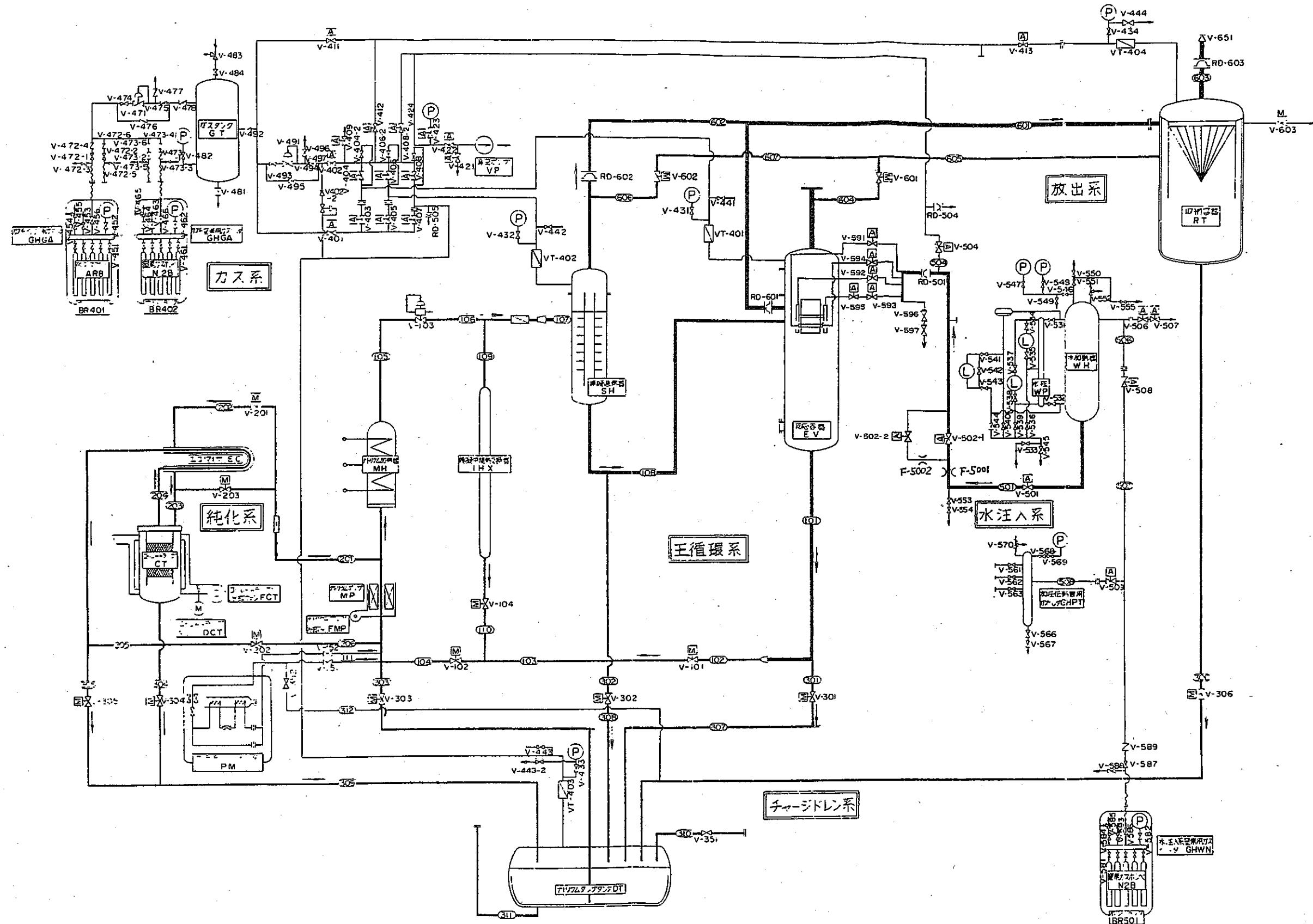
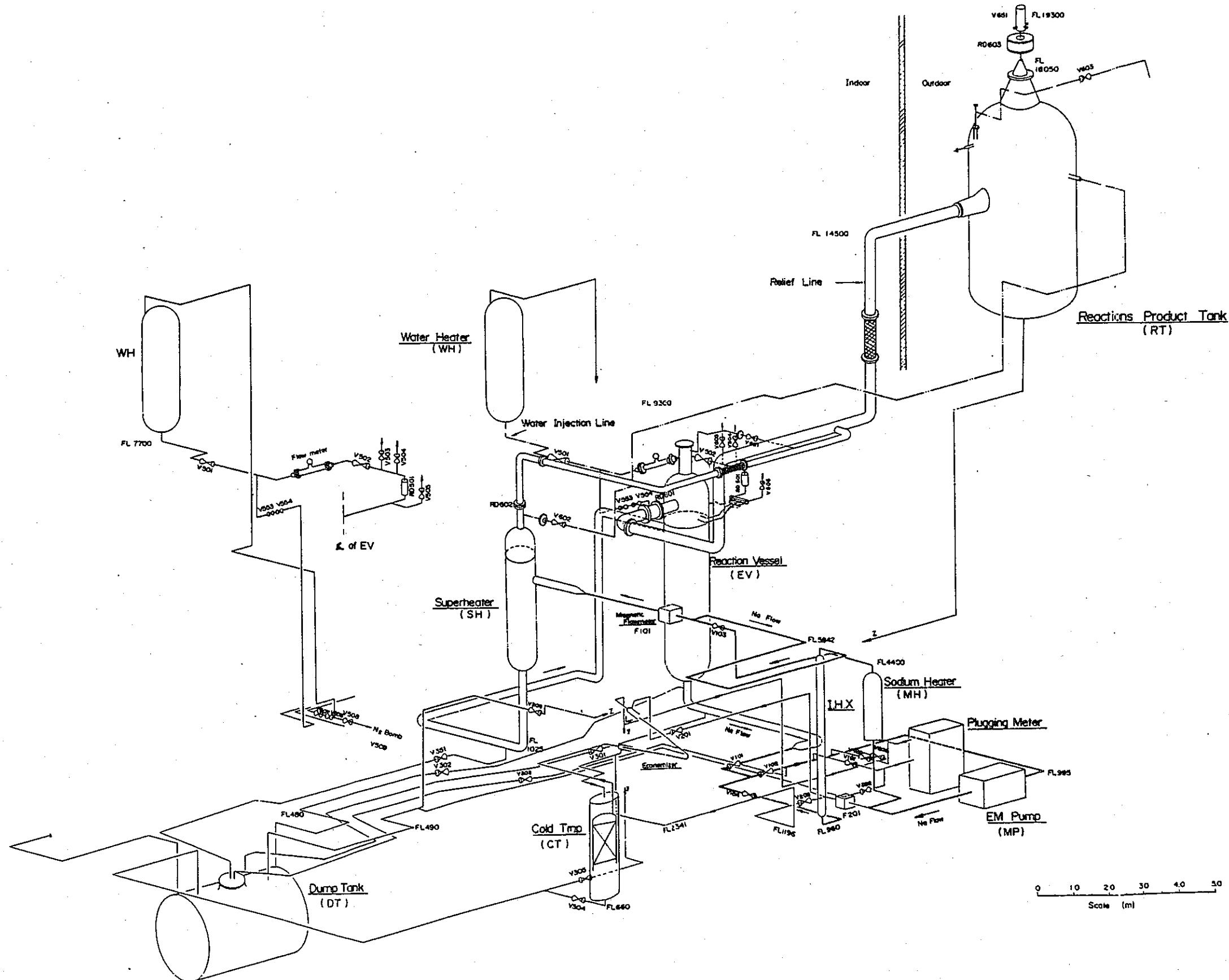
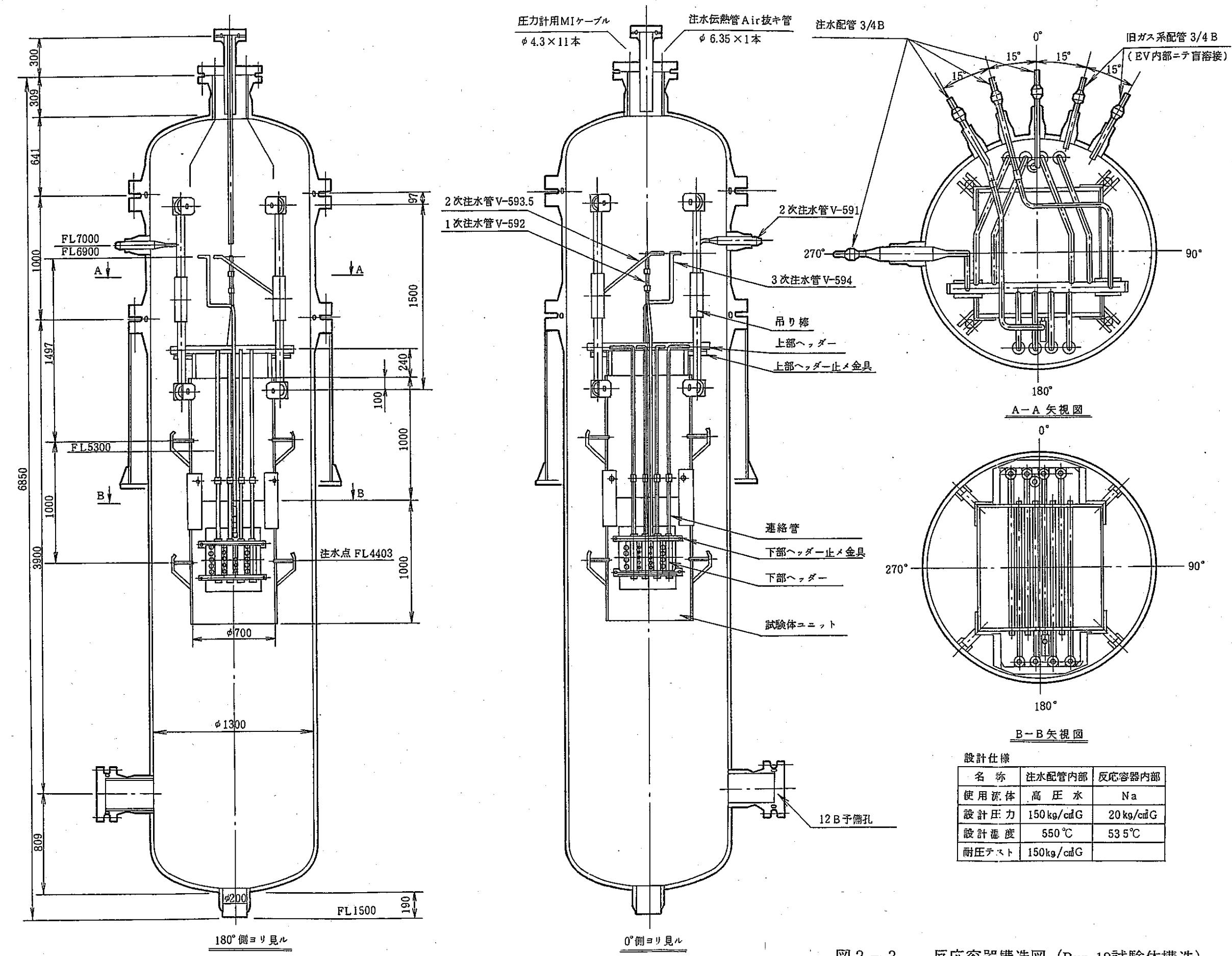


図2-1 SWAT-3装置系統図 (Run-19)





設計仕様		
名 称	注水配管内部	反応容器内部
使用流体	高 壓 水	Na
設計圧力	150 kg/cm ² G	20 kg/cm ² G
設計温度	550 °C	53.5 °C
耐圧テスト	150 kg/cm ² G	

図 2-3 反応容器構造図 (Run-19試験体構造)

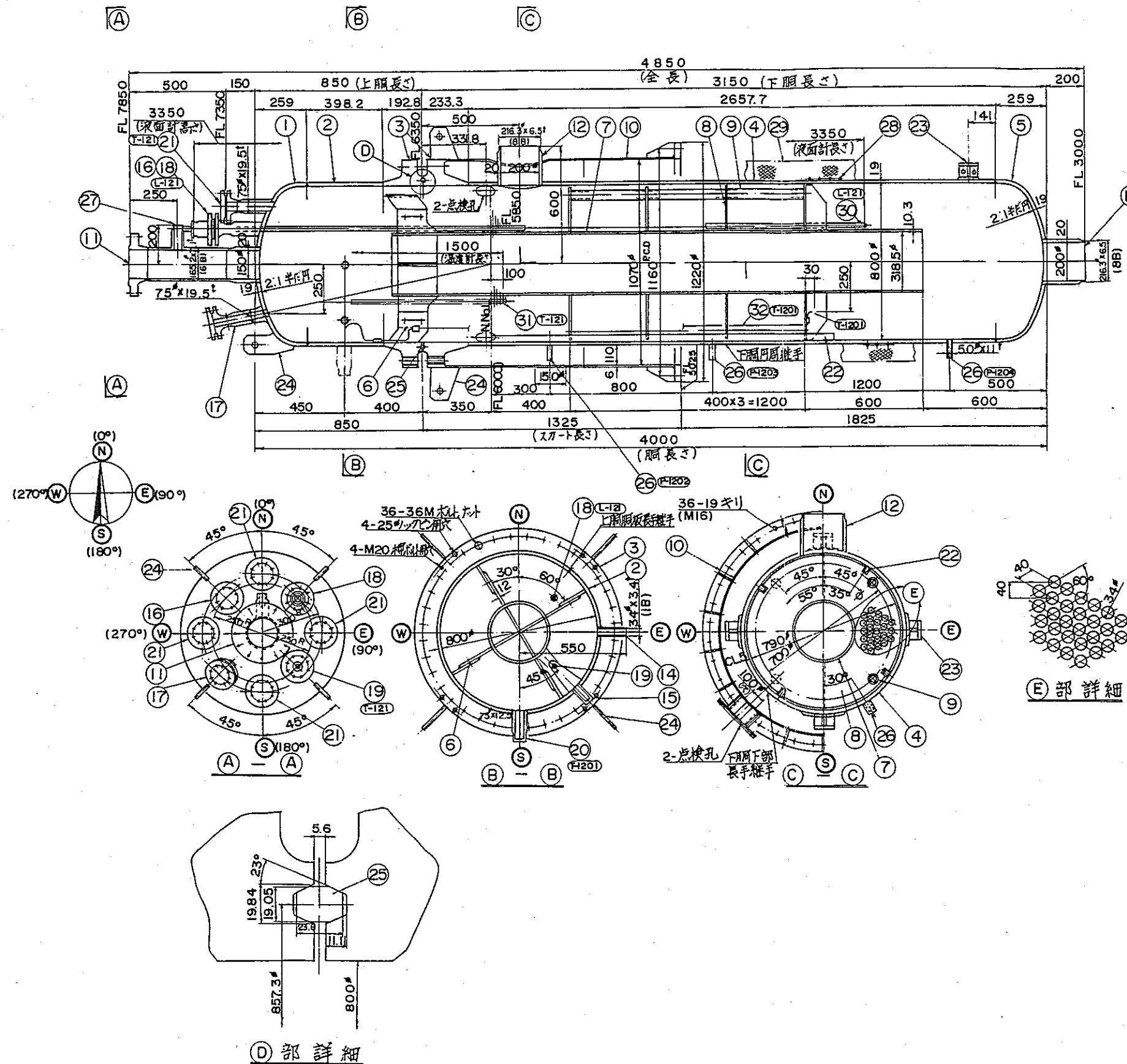


図 2-4 模擬過熱器構造図

備考

設計條件

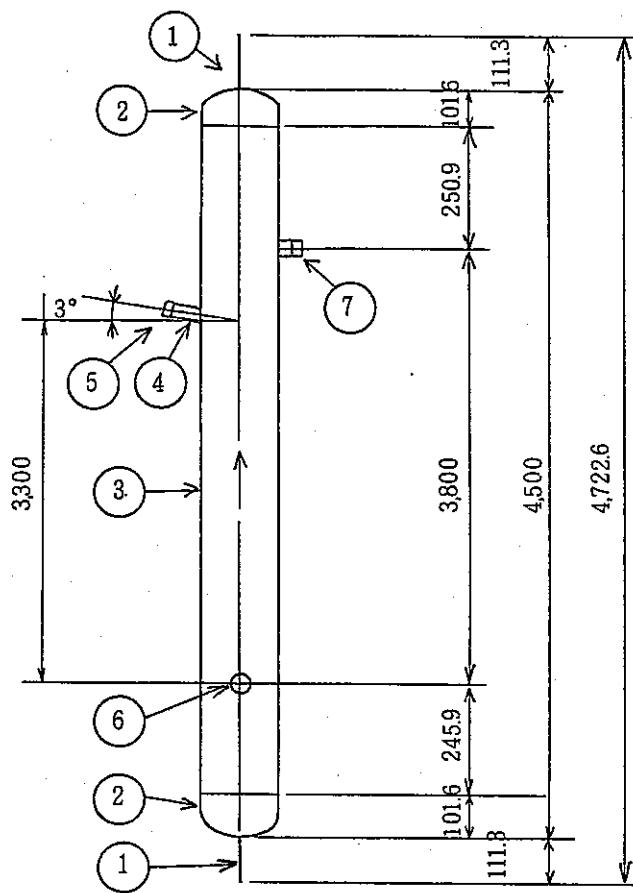
最高使用圧力 : 20 kg/cm² g
 耐圧試験圧力 : 25 kg/cm² g
 最高使用温度 : 535°C
 内部流体 = 液体金属ナトリウム、不活性ガス

適用規格 ① 自治省 消防法

N-SH-13	放出小バス管台	TIS SUS304B	1	
-12	エンジン冷却用	3	C-12D	(C-12D)
-11	試験用子備空	4		
-10	電電取出空	1	C-12D	
-09	温度計用空	1	C-12D	
-08	電線式表面用空	1	C-12D	(C-12D)
-07		1	C-12D	
-06	連続式表面用空	1	C-12D	
-05	カバー冷却用	1	C-12D	1B
-04	ハウジング入口管	TIS SUS304B	1	1B
-03	ナリウム出口管台	TIS SUS304B	1	8B
-02	ナリウム入口管台	TIS SUS304B	1	8B
N-S-H-01	放出管台	TIS SUS304B	1	6B
管台番号	名 称	材 质	数 量	備 考
	管 台	一	覽	表

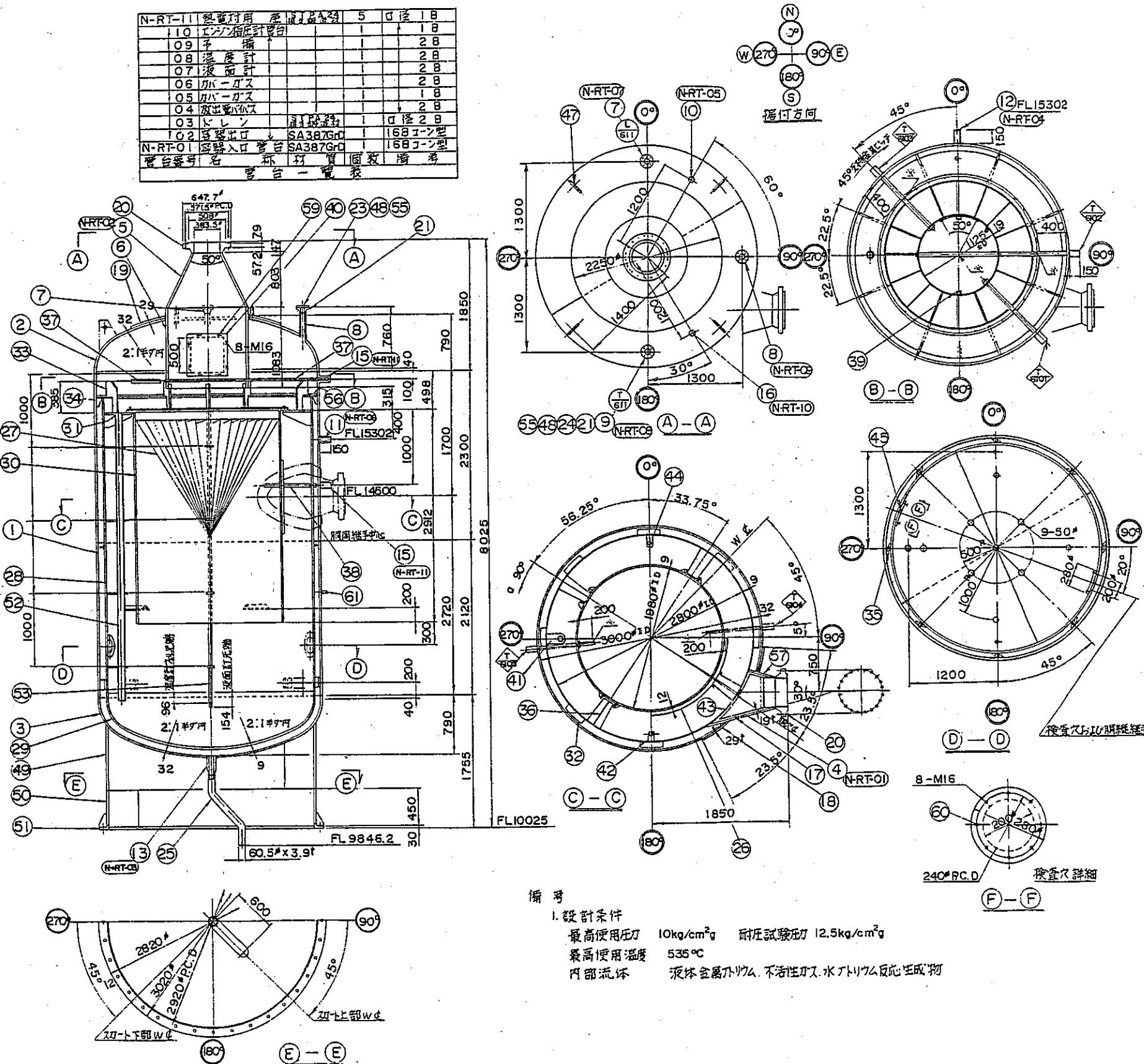
品番	名 称	材 質	数 量	備 考
32	シース型熱電対	JIS SUS 316	1組	(T-20)
31	ゲル型熱電対	JIS SUS 316他	1組	(T-12)
30	連続式液面計(L-3350)		1組	(L-2)
29	保 温 板	フライアフレックス 0.39mm		
28	予熱用シッパー	JIS SUS 304	1組	
27	バイパス放出管	JIS SUS 304B	1	放出管合付(2B)
26	エンジン指圧計用座	JIS SUS 304B	3	(E-120)~(E-200)
25	形状記憶合金スケート	JIS SUS 304L	1	本体フランジ用
24	被覆部品別リキ美	JIS SUS 304	3/4	
23	本体板工全工具		4組	
22	内鍋蓋置き内金具	JIS SUS 304	4	
21	耐震用予備座	JIS SUS 304B	4	上部鏡板付(2B)アダ
20	充電用取出座		1	上取付(T-20)
19	洗浄用取出座		1	上部鏡板付(T-12)
18	送焼式液面計用座		1	(L-2)
17	↑			(予備座)
16	送焼式液面計用座		1	上部鏡板付(予備座)
15	カバーガス圧力計用座		1	上取付(T-12)アダ
14	カバーガス入口管	JIS SUS 304B	1	上取付(1B)
13	ナトリウム出口管合	JIS SUS 304	1	下部鏡板付(6B)
12	ナトリウム入口管合		1	下取付(6B)
11	放 出 管 台	JIS SUS 304	1	上部鏡板付(6B)
10	本体支持スカート	JIS SUS 304(厚鋼)	1組	
9	ダイロッド	JIS SUS 304TP	12	
8	多 孔 板	JIS SUS 304	4	
7	内 容 壺	JIS SUS 304TF	1	
6	内部装置支持板	JIS SUS 304	4	
5	下 部 鏡 板		1	
4	下 腸	JIS SUS 304	1	
3	本 体 フランジ	JIS SUS 304	1組	
2	上 腸	JIS SUS 304	1	
1	上 部 鏡 板	JIS SUS 304	1	

蒸氣發生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) 模擬過熱器組立図

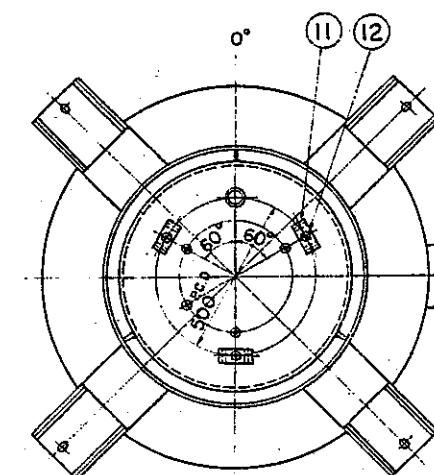
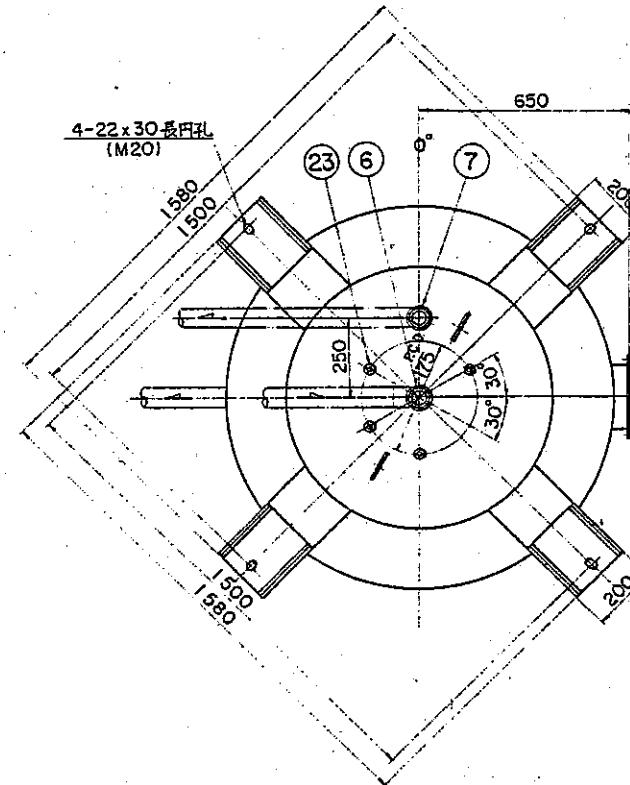


部品表	7	T 131 溫度計用座	SUS 304 TP	1	0.3			
	6	T 1301, P1301 用座		2	0.3			
	5	P 1302 圧力計用座		1	0.2			
	4	P 1302 圧力計取付管		1	0.6			
	3	8B × S/40 × 4296.8	SUS 304 TP	1	1444			
	2	8B × S/40 キャップ	SUS 304 相当	2	8.1	(JIS-B-2305)		
	1	2B × S/40 × 120	SUS 304 TP	2	1.4			
MLC	16	品名・寸法	材質	個数	重量	引当番号		

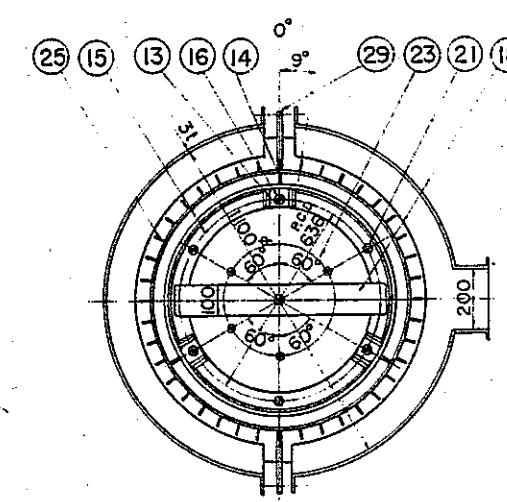
図 2-5 模擬中間熱交換器構造図



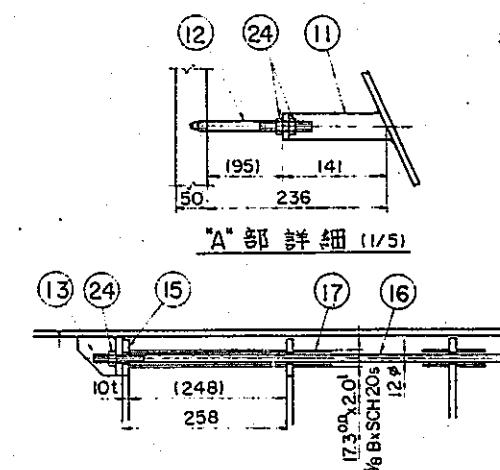
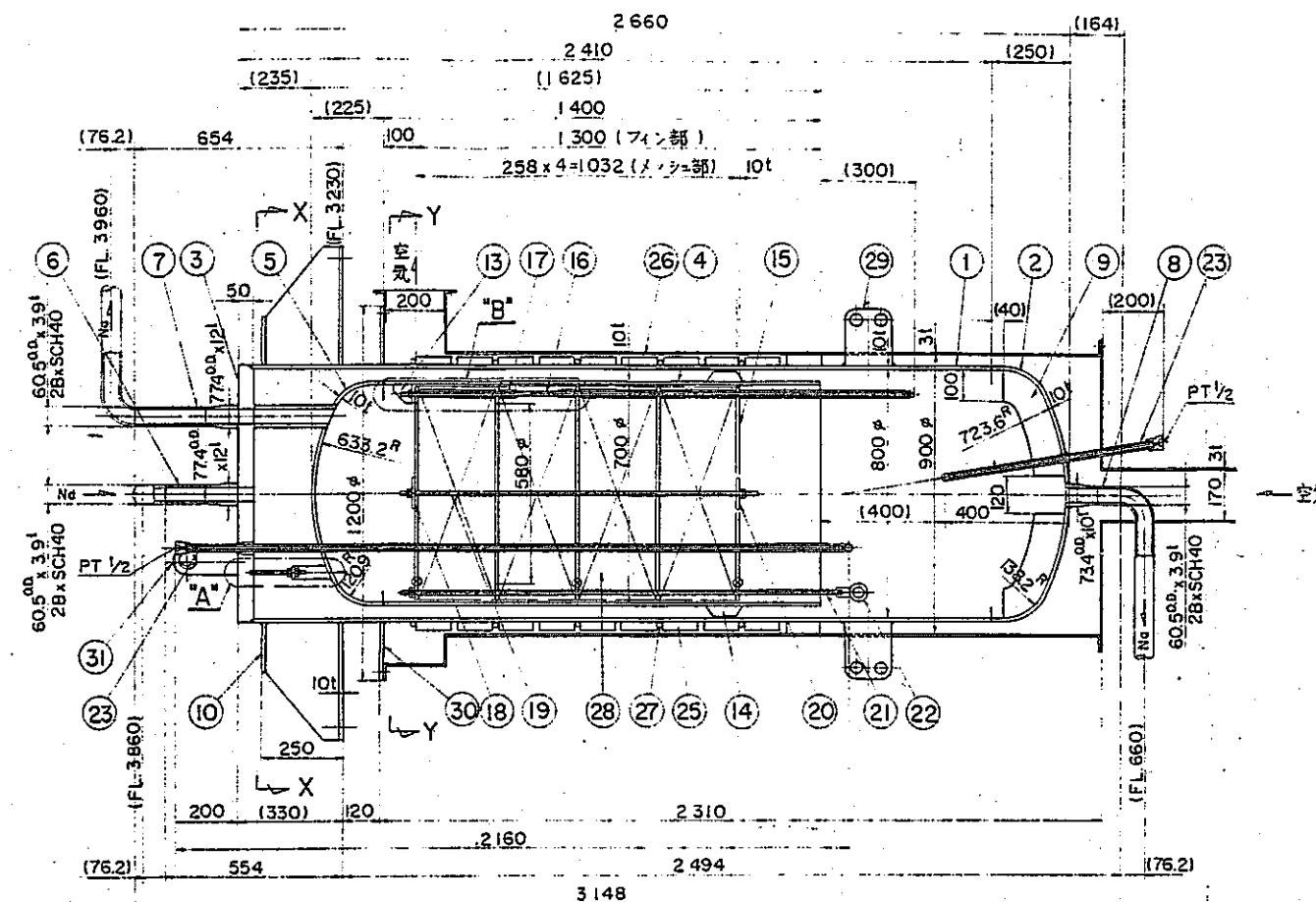
品番	部材名	規格	備考
61	ヒータ正金具	SA182F22	381
60	溶接支承用ナット	SCM3	16
59	出口管台アボルト		8
58	ローベル取付用ナット	SCM3	32
57	ケーブルストラップ用ナット	SA387GrD	1
56	シールアーリート	SA387GrD	1s
55	2Bフランジ用ナット	SCM3	24
54	熱電対温度計用ナット	STPA24	1
53	液面計	SUS304	1
52	内部ドレン管	STPA24	1
51	ベースアーリート	SS41	1s
50	本体支持切口(下部)	SS41	1s
49	本体支持切口(上部)	SA387GrD	1s
48	2B179ガタ用ナット	5Cr-1Mo	3
47	本体支持金具	SA387GrD	4
46	ライナ入口アーリート		1
45	液穴蓋	SA387GrD	2
44	液面計支持金具	SUS304	4
43	ケーブルストラップ用ナット	SA387GrD	4
42	熱電対用支持金具	SA387GrD	4
41	内部センサ支持金具		4
40	マンホール蓋		1
39	マンホール足場金具		4
38	熱電対取付ハーフ		2
37	熱電対取付ハーフ(外)		3
36	内筒振止め金具		4
35	ライナ振止め金具		8
34	内部振止め金具		7
33	内部振止め金具		8
32	ライナスペーサー		8s
31	隔壁板(リブ付)		1s
30	内筒		1
29	ライナ鋼板		1
28	ラバーナット	SA387GrD	1s
27	セパレート	SUS304	1s
26	内筒補強板	SA387GrD	1
25	ドレン管(外部用)	SUS321HTP	1
24	温度計用蓋板	SA182F22	1
23	液面計用蓋板		1
22	液面計用蓋板		1
21	液面計用蓋板		3
20	容器出口用ナット	SA182F22	81
19	出口管台補強板	SA387GrD	1
18	入口管台補強板	SA387GrD	1
17	入口管台アーリート	SA387GrD	1
16	エンジン圧計用管台	SA182F22	1
15	熱電対用座		5
14	—		1
13	ドレン管		1
12	放出管ハーバス用管		1
11	不活性ガス用管		1
10	不活性ガス用管		1
9	温度計用座		1
8	液面計用管		1
7	液面計用管	SA182F22	1
6	容器出口用管	SA387GrD	1
5	容器出口用管(元)		1
4	容器入口管		1
3	下部鋼板		1
2	上部鋼板		1
1	隔壁板	SA387GrD	1s
品番	部材名	規格	備考
基	蒸気発生器安全性総合試験装置		
	(SWAT-3)		
	放出系収納容器組立図		



X-X断面



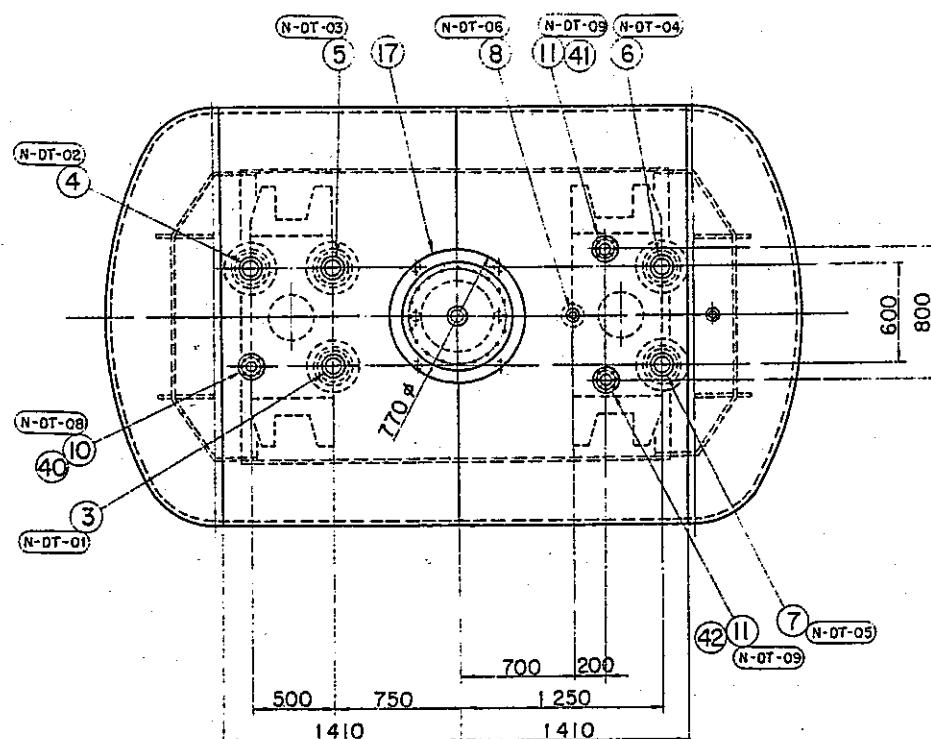
Y-Y 断面

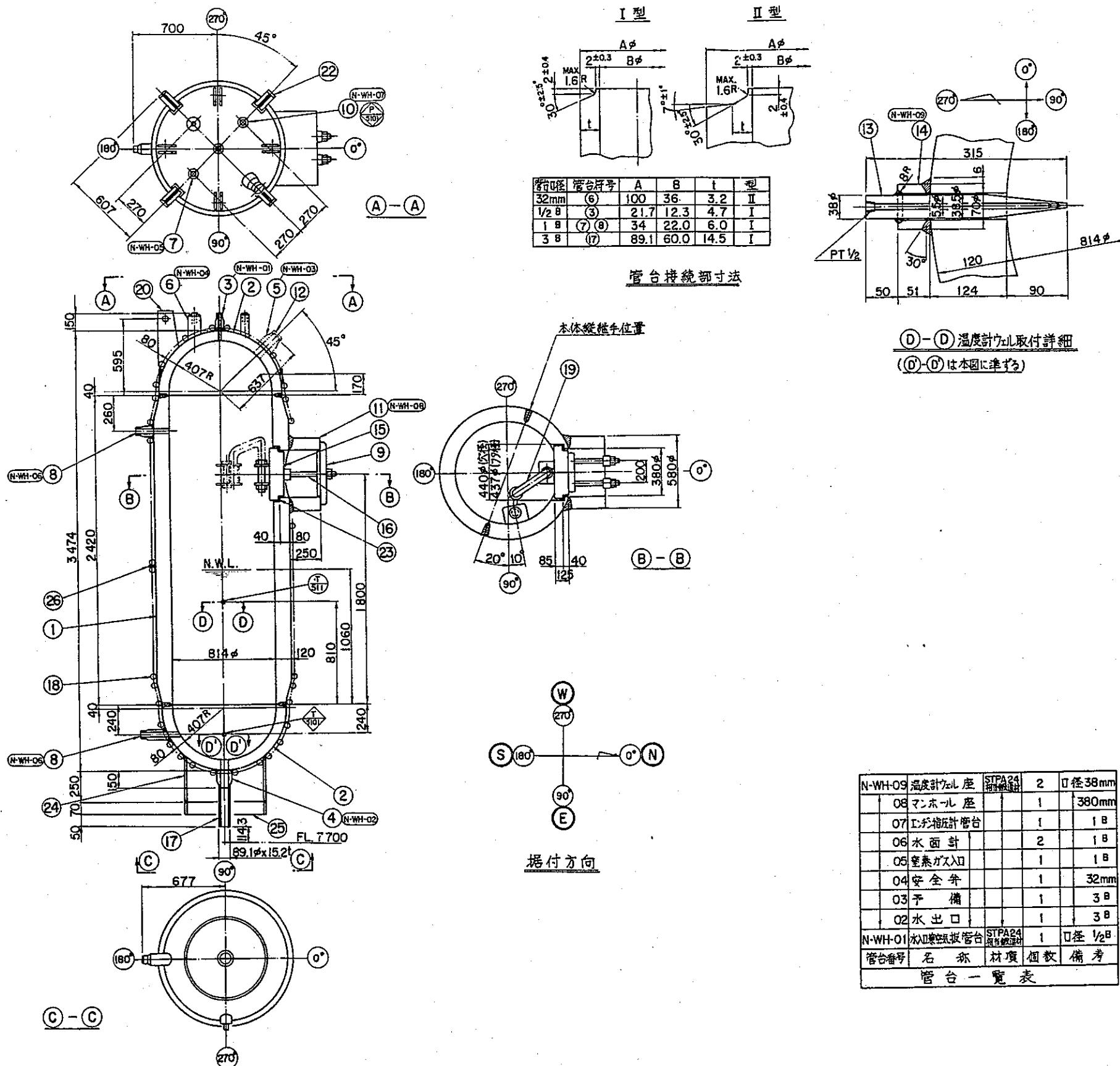


"B" 部 詳細 (1/5)

品番	部品名	材質	規格	備考
31	アイフレート	JIS SUS304	2	
30	本体空気ダクト取付座	JIS SUS304	1	
29	本体振れ止め金具	JIS SUS304	2	
28	ノンシュー	JIS SUS304 A3ME SA192 F304H	4個	
27	予熱ヒータ			7組
26	本体空気ダクト	JIS SUS304	1	
25	ファン	JIS SUS304	40枚 10枚	
24	M12 ナット	JIS SUS304	25	
23	熱電対ケル	JIS SUS304TP	5	
22	メッシュ引抜用ワイヤ	JIS SUS304	3	
21	メッシュ引抜棒	JIS SUS304	3	
20	メッシュ固定用座金			1
19	メッシュ固定用棒			1
18	上部メッシュ固定板	JIS SUS304	1	
17	スペーサー	JIS SUS304TP	15	
16	ワイヤンド	JIS SUS304	3	
15	ノンシュー仕切板			5
14	内胴振れ止め金具			3
13	メッシュサポート			3
12	内胴サポート用ダクト			3
11	内胴サポート			3
10	本体サポート			4
9	内部ファン	JIS SUS304	8	
8	ナトリウムドレンノズル	A3ME SA192 F304H	1	
7	ナトリウム出口ノズル	JIS SUS304TP	1	
6	ナトリウムヘロノズル	A3ME SA192 F304H	1	
5	内胴焼	JIS SUS304	1	2:1半橋円
4	内 脊	JIS SUS304	1	
3	管 板	A3ME SA192 F304H	1	
2	下 燃	JIS SUS304	1	2:1半橋円
1	外 脊	JIS SUS304	1	
品番 部品名 材質 規格 備考				
名前	蒸気発生器安全性検査装置 (SWAT-3)			
特徴	コールドトラップ組立図			
動力炉核燃料開発事業団大洗工場センター				

図2-7 コールドトラップ構造図





N-WH-09	温度計付レバ座	STPA24 接合部材	2	口径38mm
08	マンホール座		1	380mm
07	エレベーター指計管台		1	18
06	水面計		2	18
05	空蒸ガス入口		1	18
04	安全弁		1	32mm
03	予備		1	38
02	水出口		1	38
N-WH-01	木板取扱い管台	STPA24 接合部材	1	口径1/2"
管台番号	名称	材質	個数	備考

26	ヒーター止金具	SA387GrD	1式
25	復止用スカート(SST)	SS41	1
24	振止め用ヒート(Cr-Mo)	SA387GrD	1
23	マンホールバッキン	SUS32	1
22	水体上部復止金具	SA387GrD	4本
20	水体吊金具	SA387GrD	4本
19	マンホール開閉装置	STPA24組合	1式
18	ヒーター	—	1式
17	水出口管合連接管	STPA24	1
16	マンホール締付ホルト	SCM3	2
15	マンホール蓋	STPA24構造	1
14	温度計用ウル空	—	2
13	温度計用ウェル	—	2
12	準備管台首蓋	—	1
11	マンホール座	—	1
10	Iシングル形管台	—	1
9	マスルブリッヂ	—	2
8	水面上計用管台	—	2
7	緊急ガス入口管台	—	1
6	安全弁管台	—	1
5	備管台	—	1
4	水出口管台	—	1
3	水入口排空氣抜管台	STPA24構造	1
2	水体鍵板	SA387GrD	2
1	水体 脊	SA387GrD	1
品番 部品名 材質 個数 備考			
蒸気発生器安全性統合試験装置 (SWAT-3) 水加熱器組立図			
動力炉核燃料開発事業団大洗工学センター			

図 2-9 水加熱器構造図

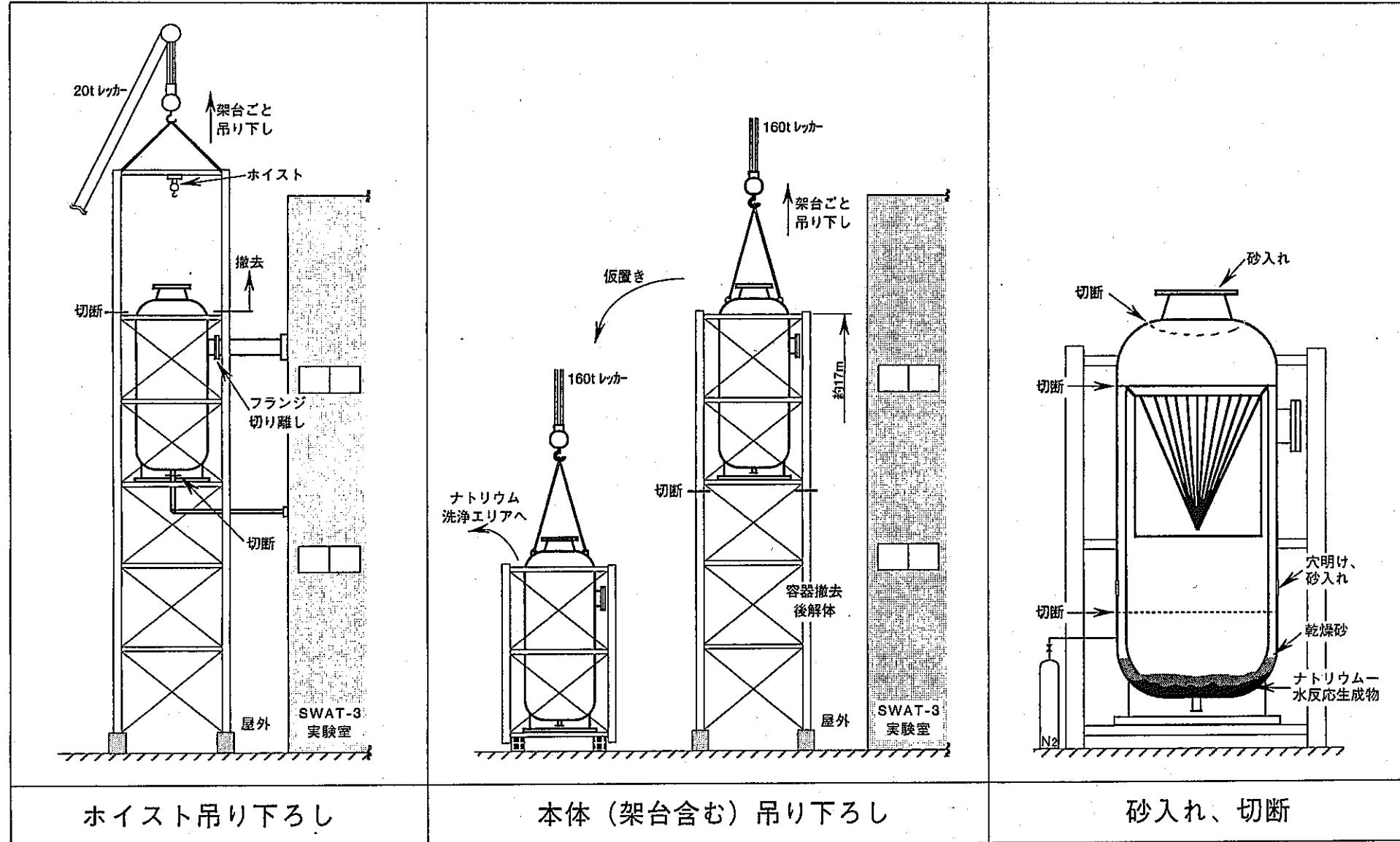
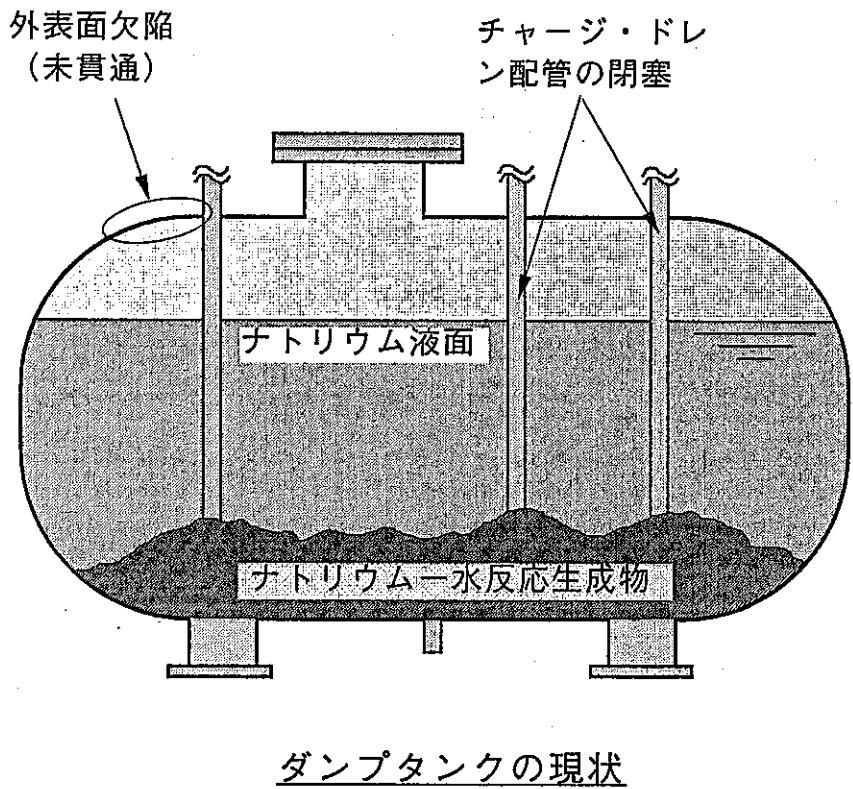


図4-1 反応生成物収納容器解体要領



ダンプタンク主要目	
全長	4150 mm
胴径	2500 mm
ナトリウム量 (現在)	15トン (約12トン)
最高使用圧力	10 kg/cm ² g
最高使用温度	535 °C
材質	SUS304

※ 履歴等

- 用 途 Na—水反応実験用
- 製造年月 1974年8月
- 運転期間 1975年～1985年
- 実験回数 計19回
- 注 水 量 約1.5m³

図4-2 ダンプタンクの現状

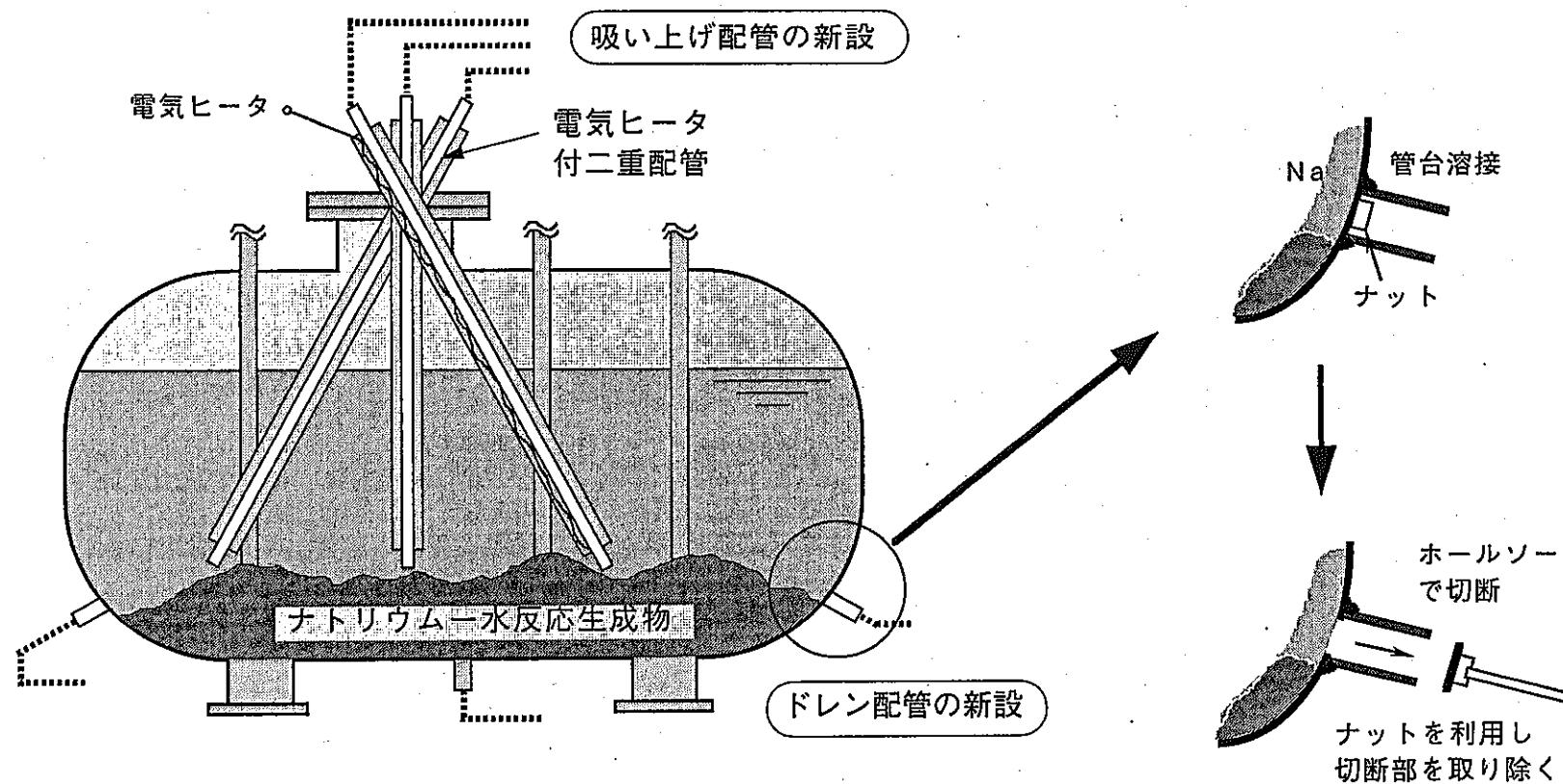


図4-3 ナトリウム抜き取り配管施工方法

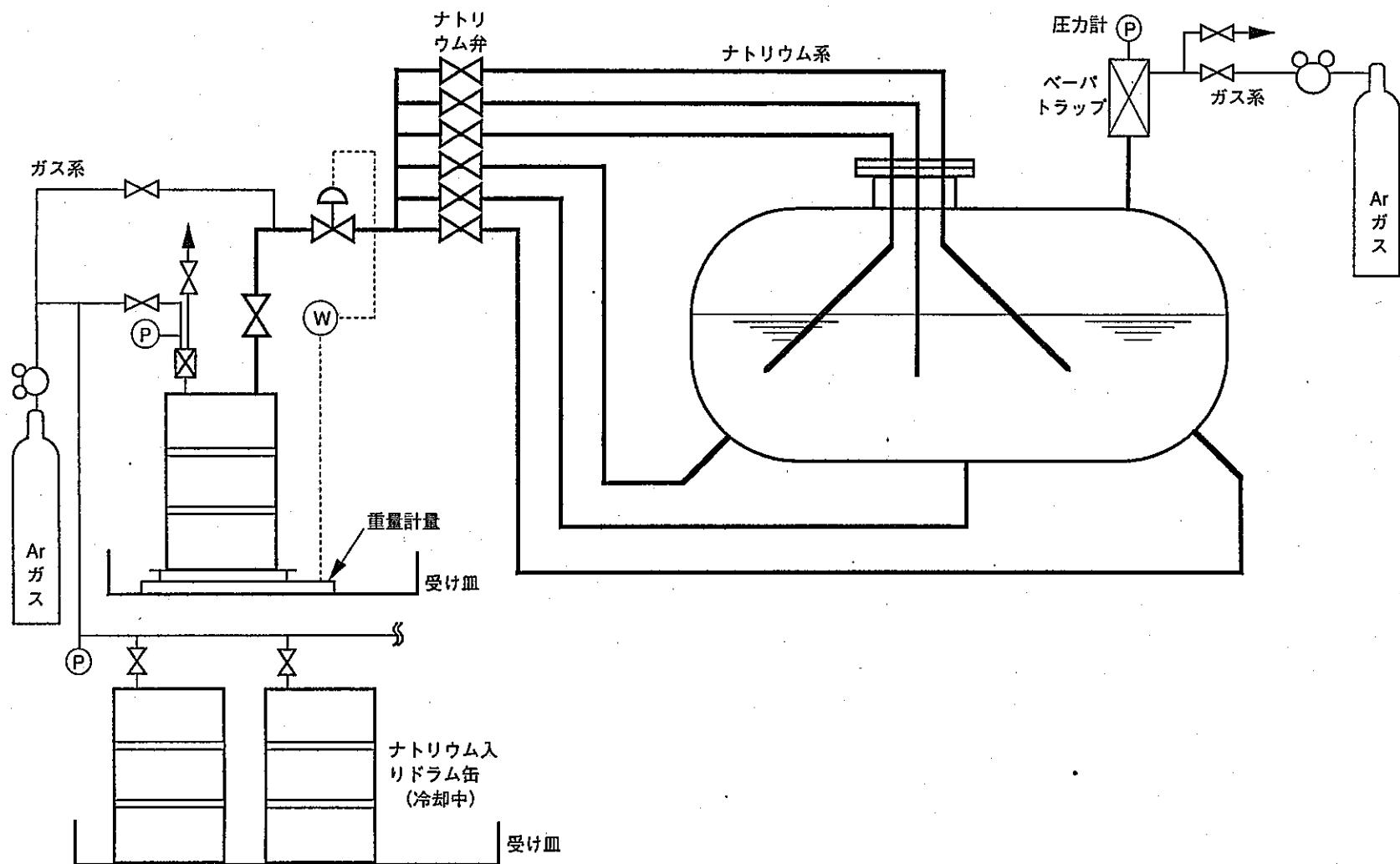


図4-4 ナトリウム抜き取り設備系統図

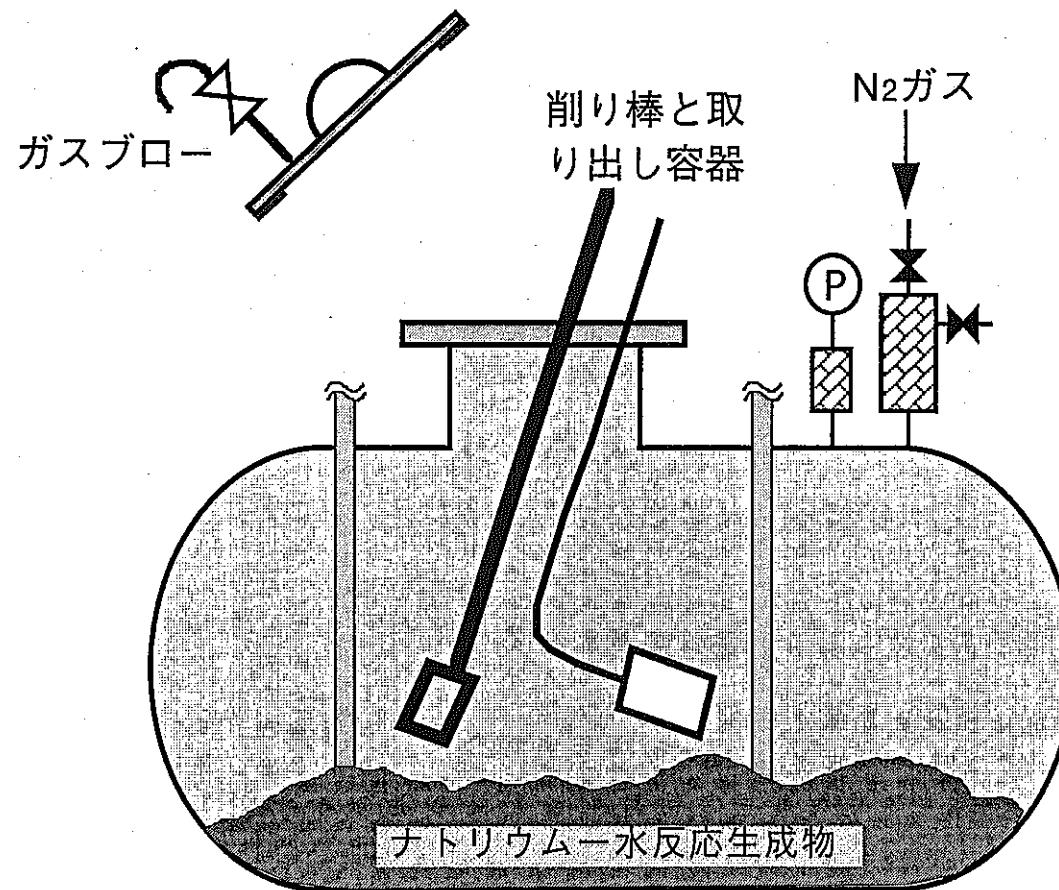
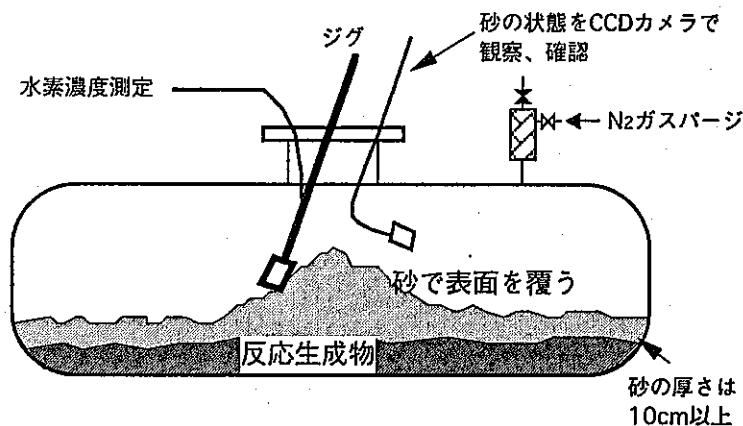
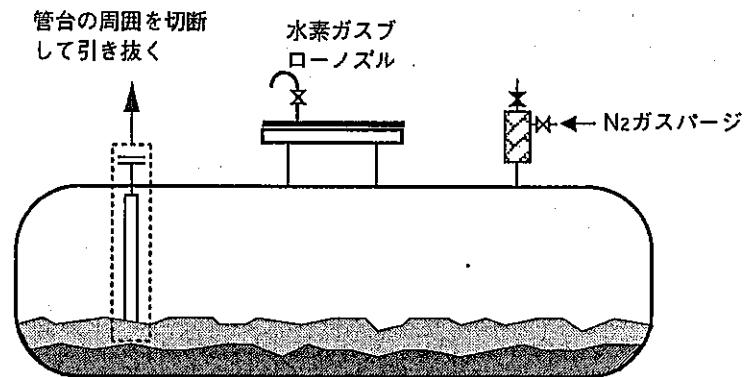


図4-5 タンク内反応生成物の削り出し

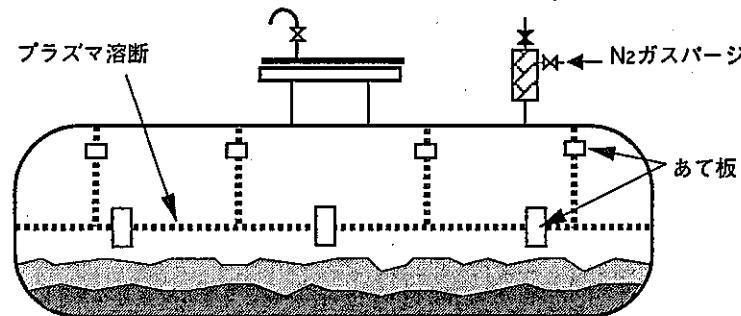
① タンク内への乾燥砂投入



② ノズル等構造物の引き抜き



③ 本体胴切断



④ 反応生成物の削り出し

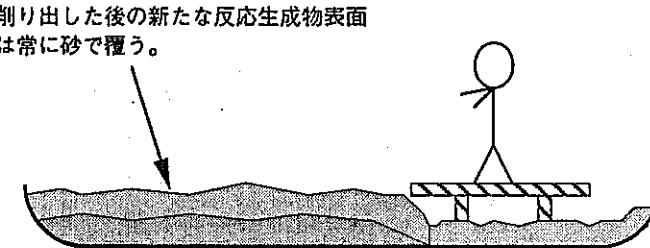


図4-6 ダンプタンク解体と反応生成物除去方法

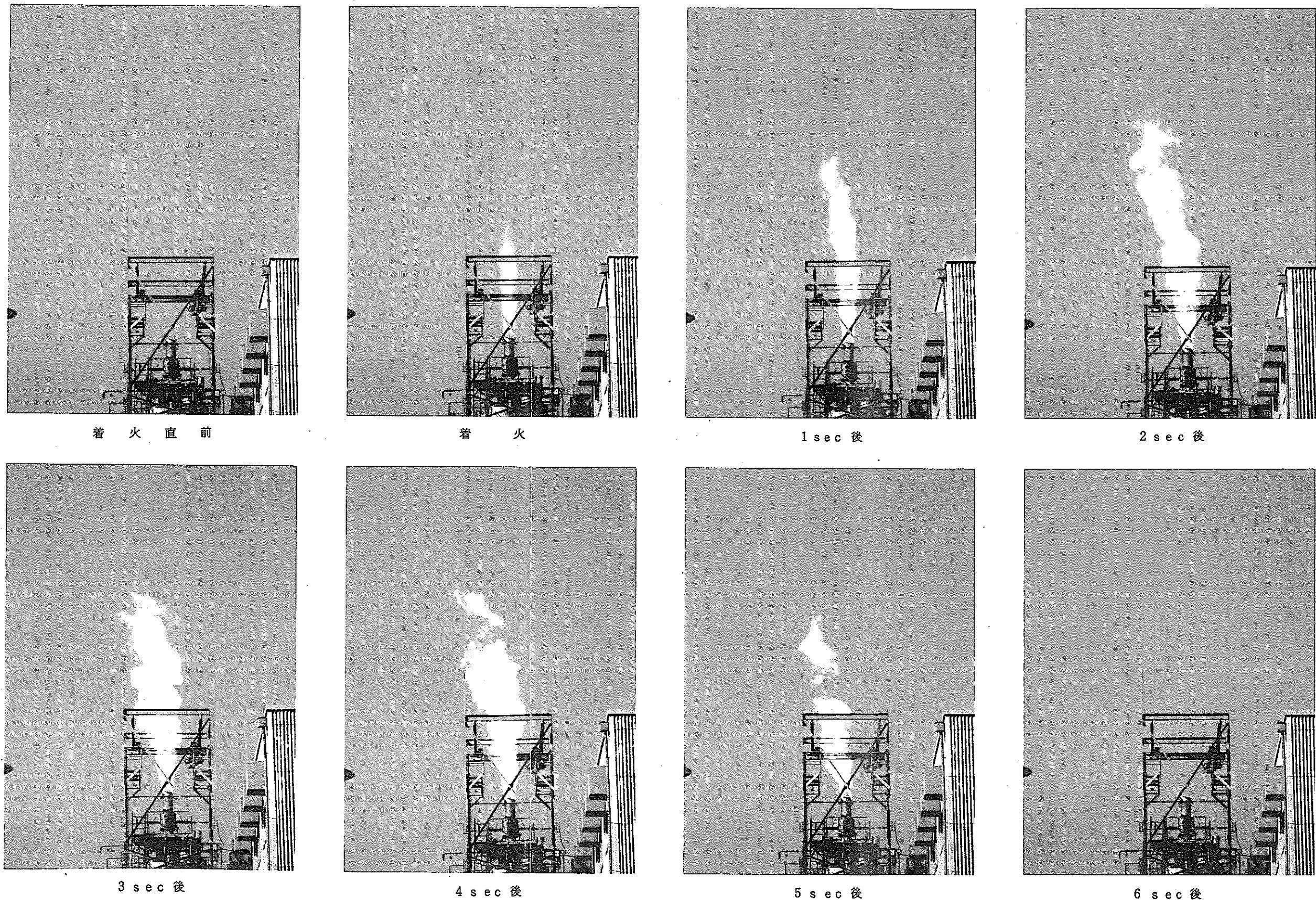


写真2-1 水素ガス大気放出過程

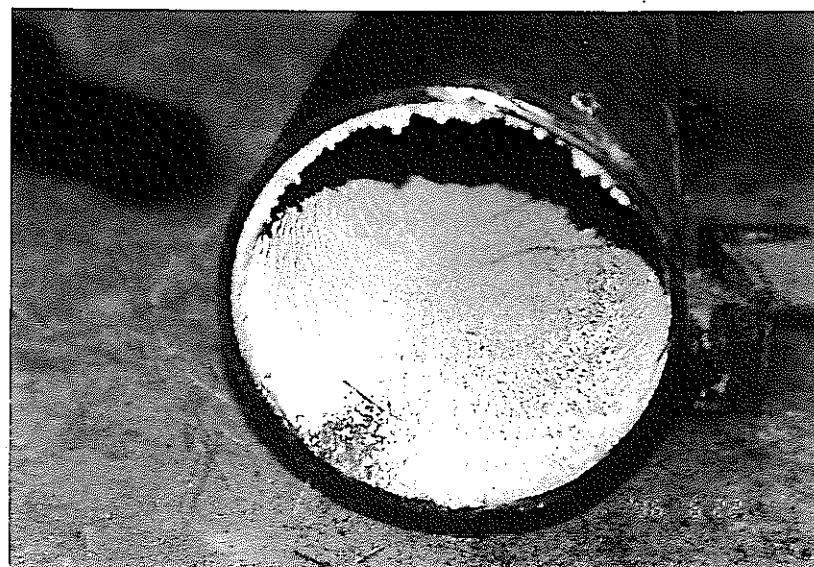


写真4-1-1 主循環系配管（8B）内壁のナトリウム付着状



写真4-1-2 主循環系配管（8B）内の反応生成物



写真4-2-1 模擬過熱器内部構造物の吊り上げ

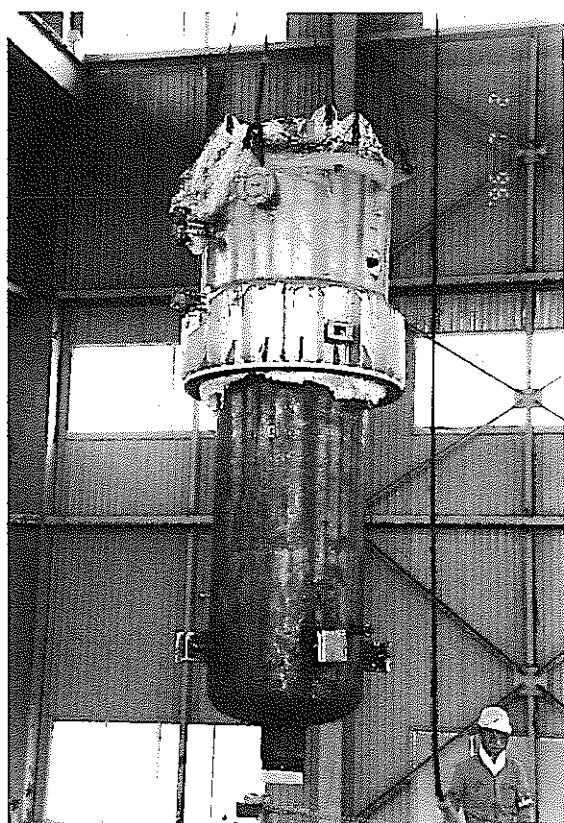


写真4-2-2 模擬過熱器本体胴の吊り上げ

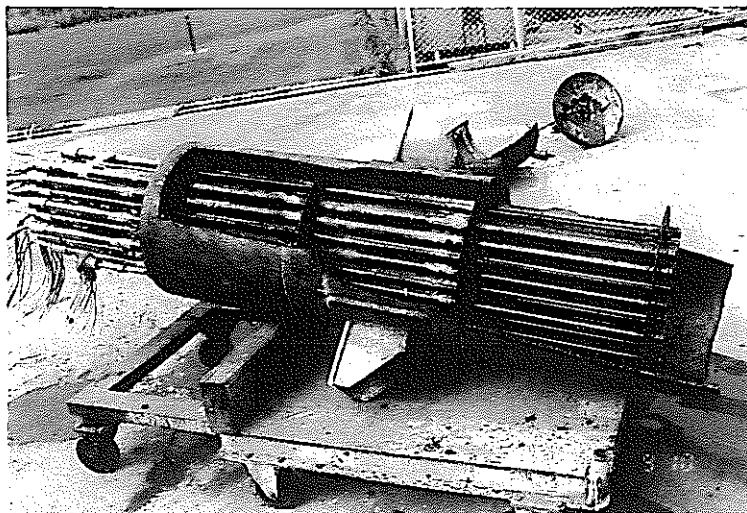


写真4-3-1 ナトリウム加熱器本体胴の切断

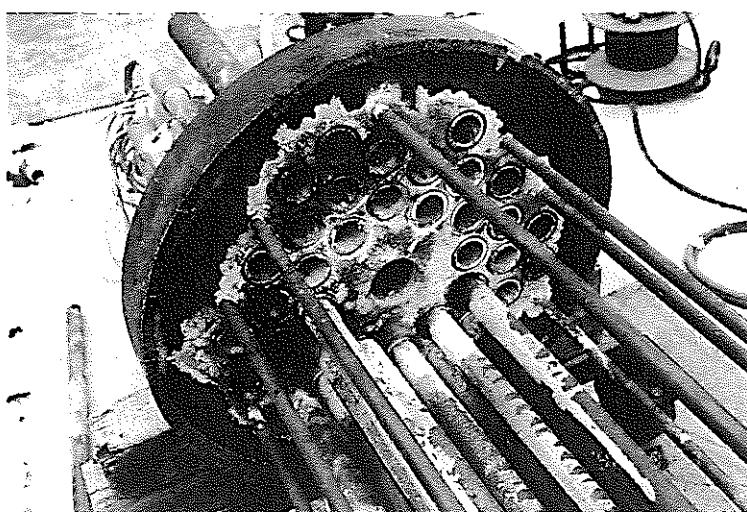


写真4-3-2 ナトリウム加熱器内部ヒータ引き抜き状況

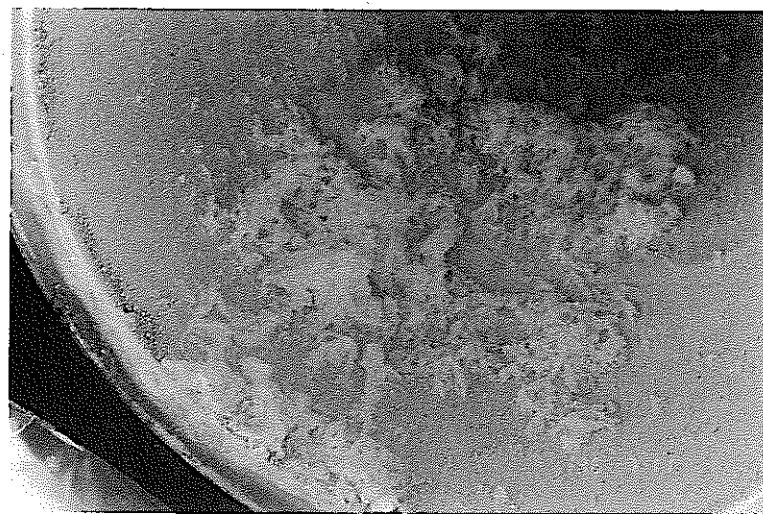


写真4-4-1 放出系配管内に付着する反応生成物

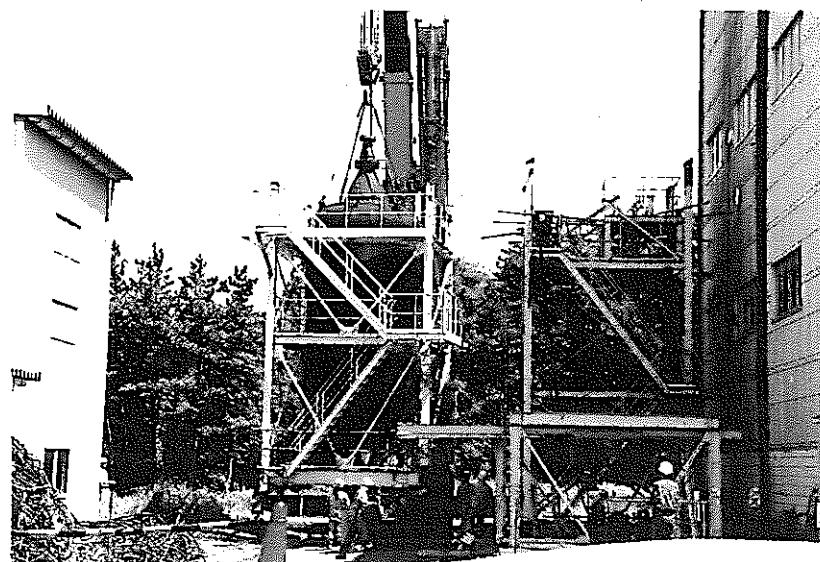


写真4-4-2 収納容器及び架台の同時吊り下ろし

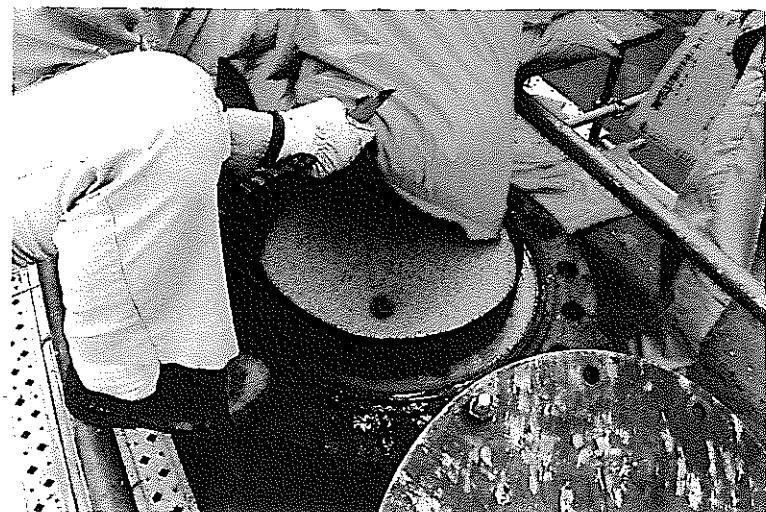


写真4-4-3 収納容器内部への乾燥砂投入

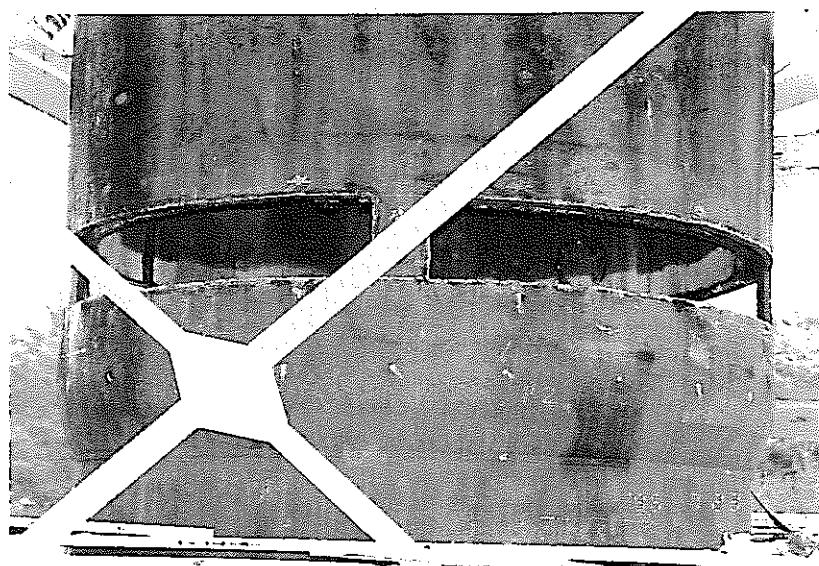


写真4-4-4 本体胴及びシュラウドの切断

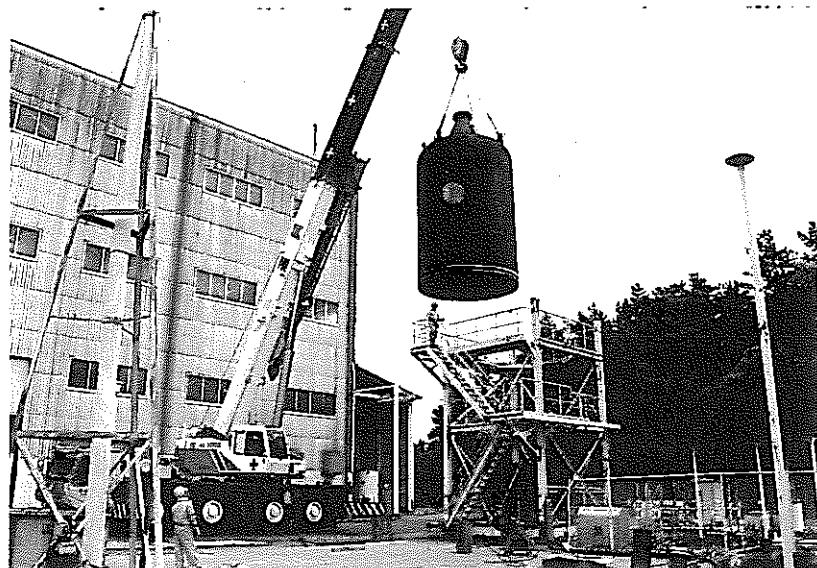


写真4-4-5 切断した本体胴上部の吊り上げ



写真4-4-6 収納容器下部の乾燥砂堆積状況

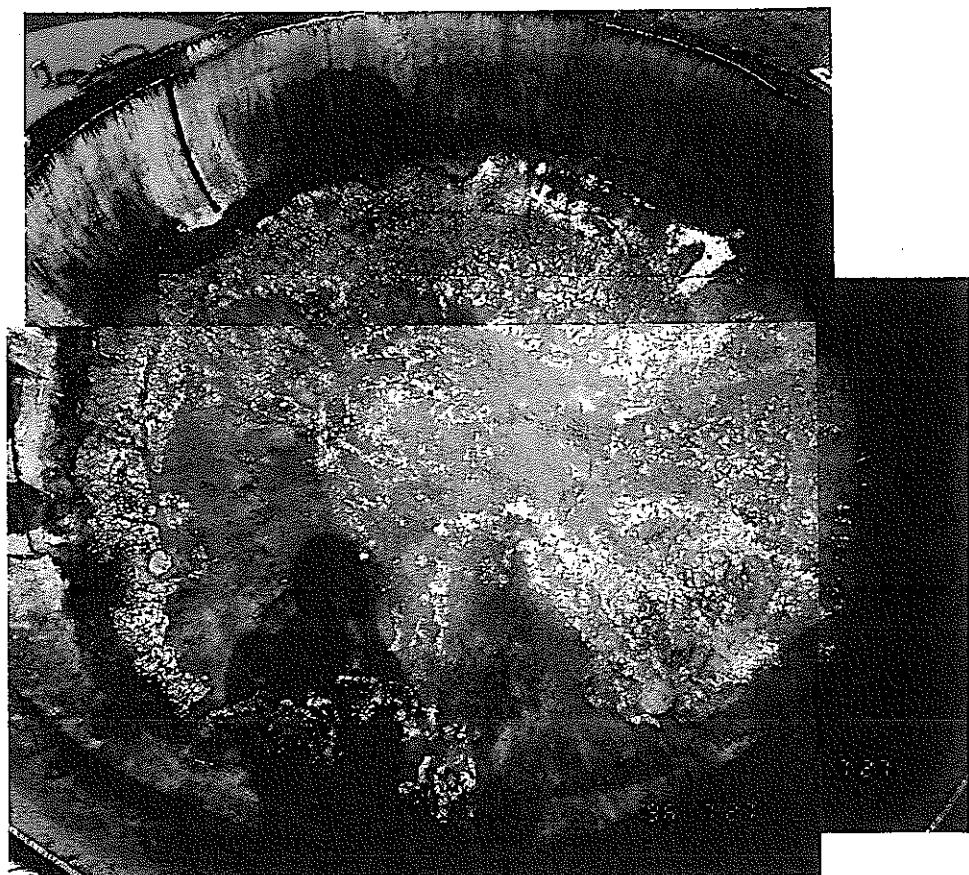


写真4-4-7 収納容器内部の反応生成物堆積状況



写真4-4-8 反応生成物の掘り出し状況

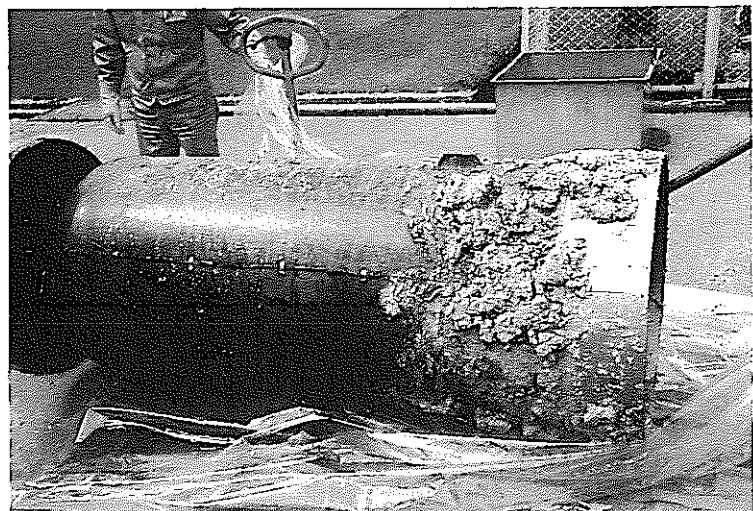


写真4-5-1 コールドトラップ内部シュラウドへの
反応生成物付着状況

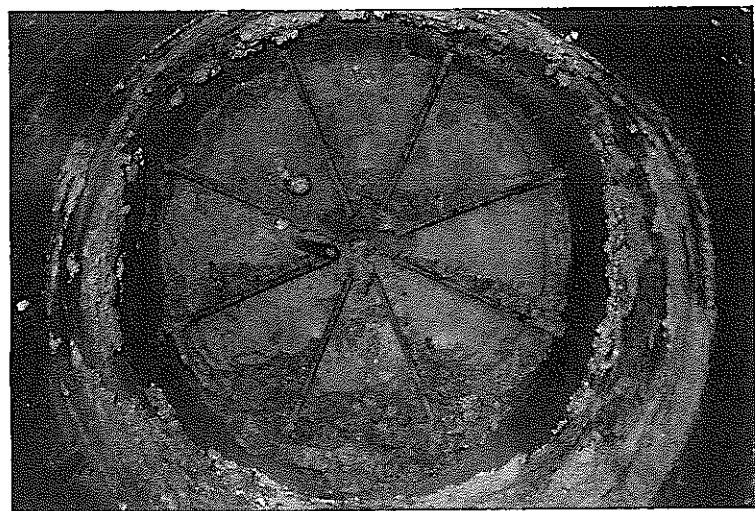


写真4-5-2 コールドトラップ本体下部胴への反応
生成物付着状況



写真4-6-1 内挿ヒータ付2重配管の先端部組立図

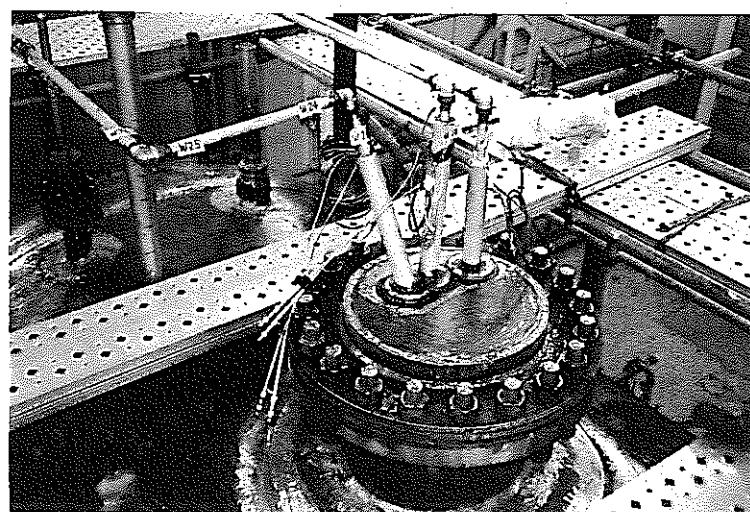


写真4-6-2 上部フランジに施工した内挿ヒータ付2重配管

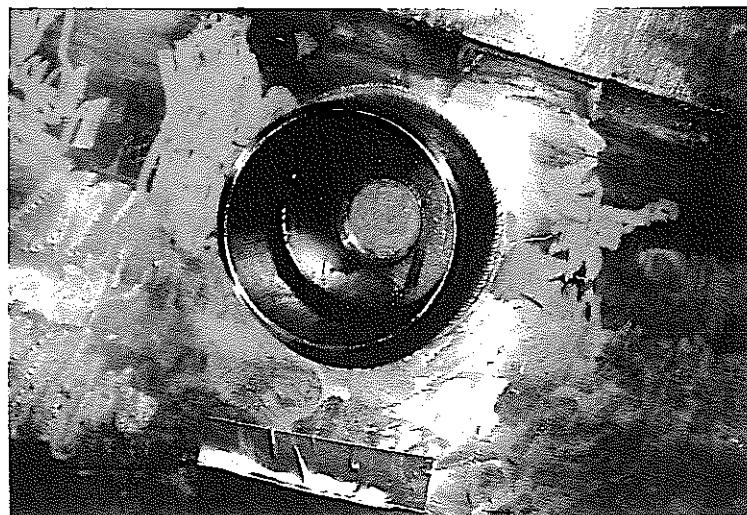


写真4-6-3 ダンプタンク鏡部へのナトリウム抜き取り
管台溶接

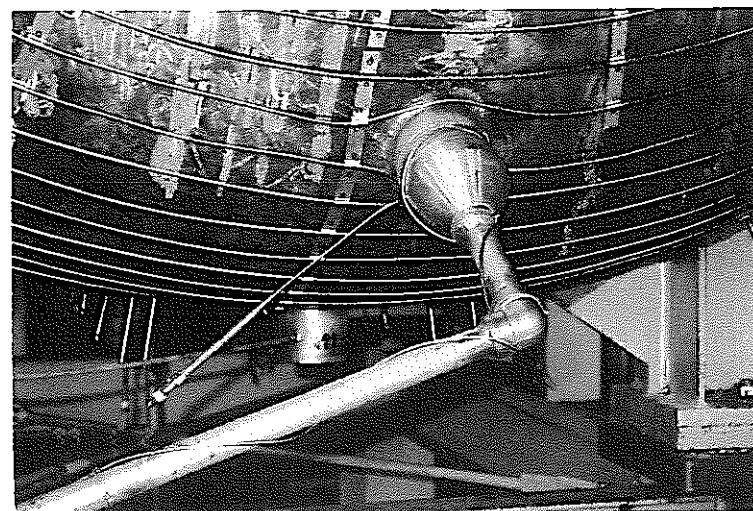


写真4-6-4 ダンプタンク鏡部へのナトリウム抜き取り
配管施工

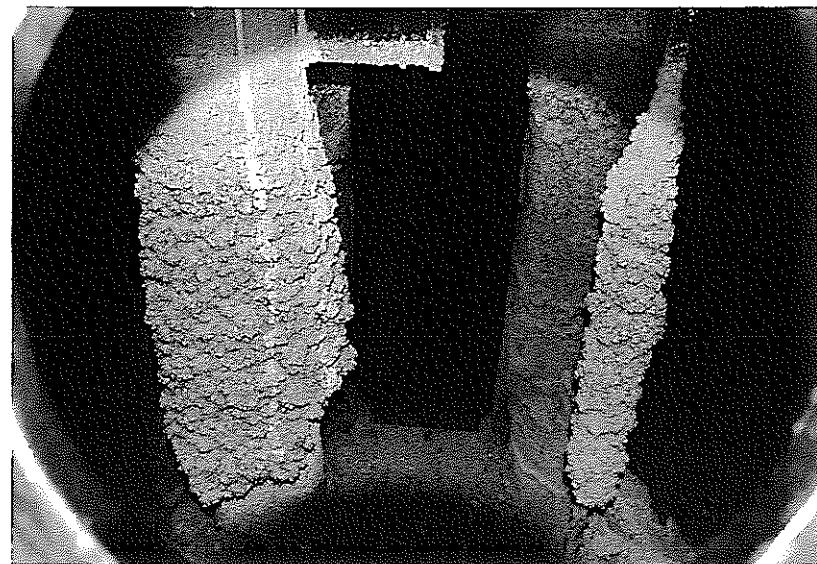


写真4-6-5 ナトリウム抜き取り直後のダンプタンク
内部様相

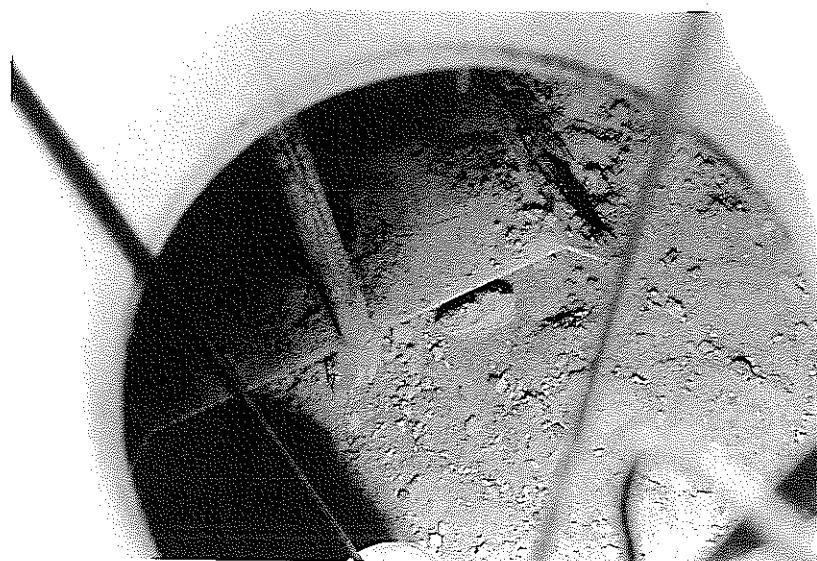


写真4-6-6 付着する反応生成物除去後のダンプタンク
内部構造物

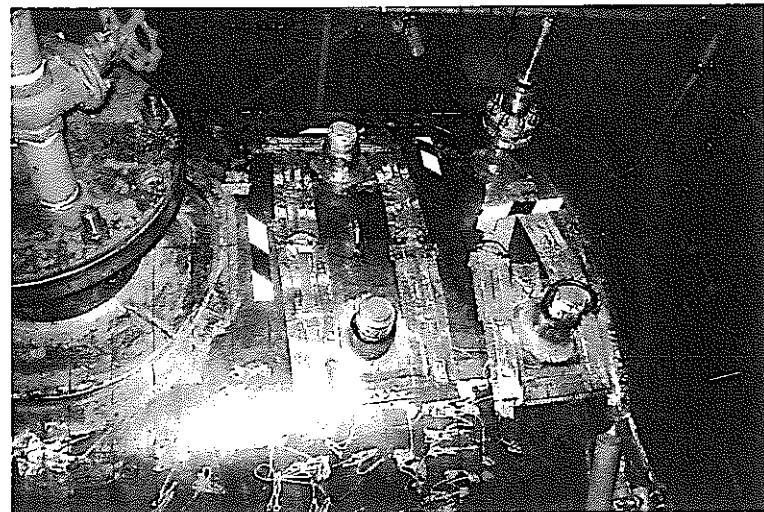


写真4-6-7 ダンプタンク内部構造物引き抜き準備
(プラズマ切断跡)

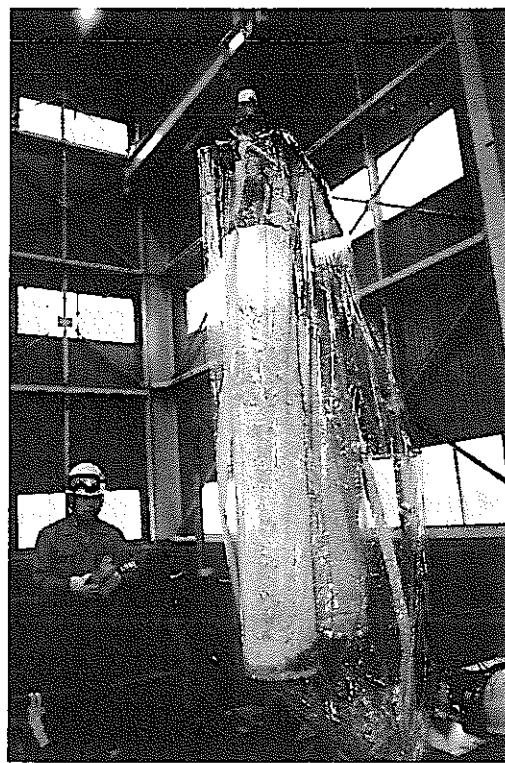


写真4-6-8 ドレン配管保護スリーブの引き抜き



写真4-6-9 ダンプタンク本体の切断

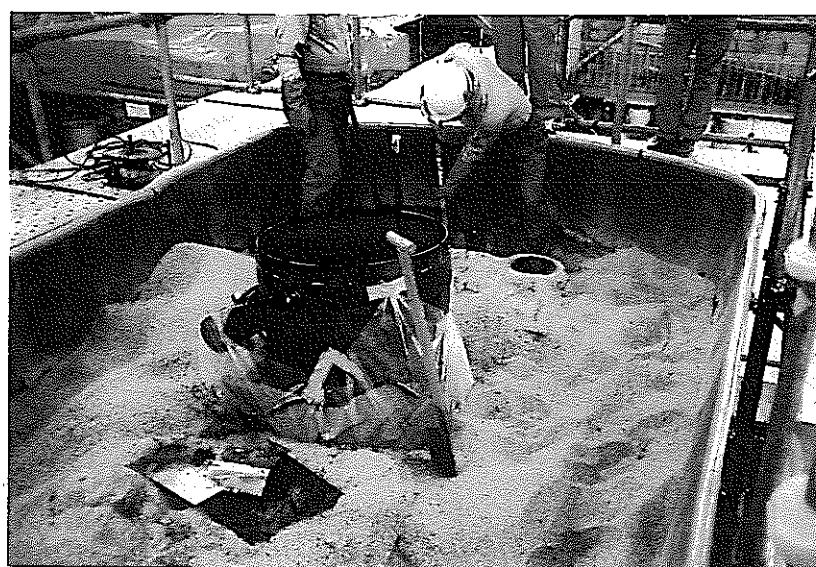


写真4-6-10 反応生成物削り出し作業

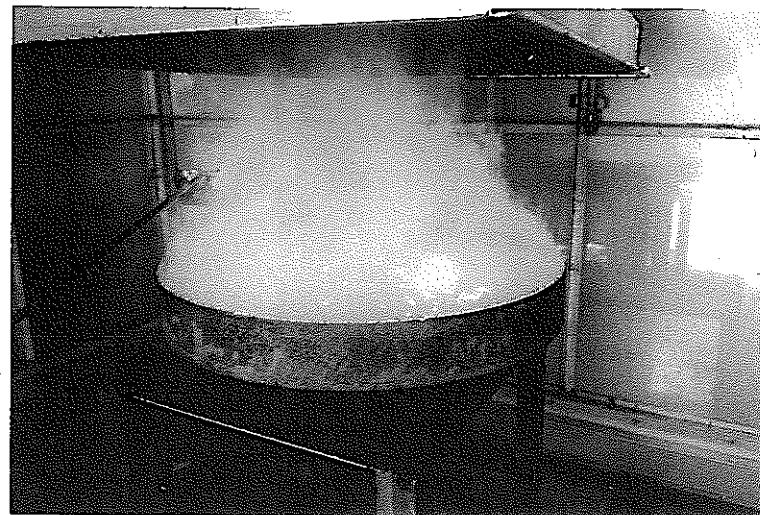


写真4-6-11 削りだした反応生成物（ナトリウム混じり）
の燃焼処理

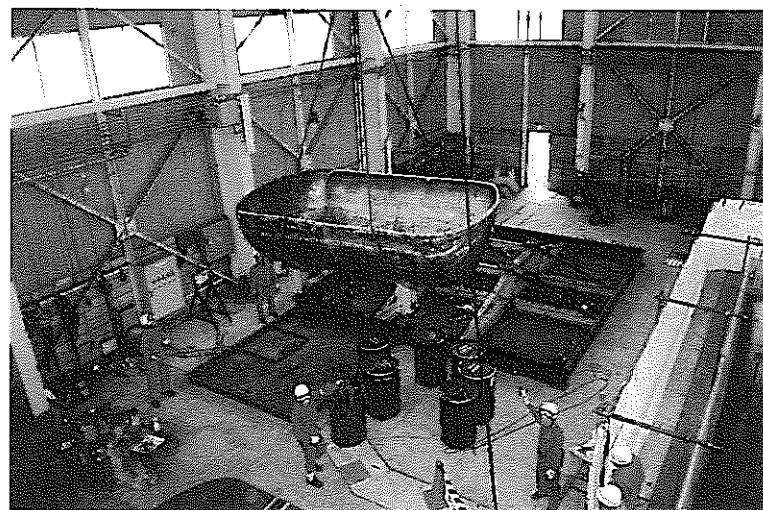


写真4-6-12 反応生成物除去作業終了後のダンプタンク
本体下部

付録－A

健全性調査に係わる各種検査内容とその結果

目 次

1. 反応容器	
1.1 外観検査	A-1
1.2 容器内面液体浸透探傷検査	A-1
1.3 超音波肉厚測定	A-1
1.4 超音波探傷検査	A-1
1.5 銳敏化度測定	A-1
1.6 耐圧・漏洩試験	A-2
1.7 ヘリウムリーク試験	A-2
2. 収納容器	
2.1 外観検査	A-2
2.2 磁粉探傷検査	A-3
2.3 超音波探傷検査	A-3
2.4 板厚測定	A-3
3. ナトリウム加熱器	
3.1 外観検査	A-4
3.2 内部ヒータ健全性確認	A-4
4. コールドトラップ	
4.1 外観検査	A-4
4.2 超音波肉厚測定	A-4
4.3 液体浸透探傷検査	A-5
4.4 超音波探傷検査	A-5
4.5 銳敏化度測定	A-5
4.6 ヘリウムリーク試験	A-5
5. 膨張タンク	
5.1 外観検査	A-6
5.2 超音波肉厚測定	A-6
5.3 液体浸透探傷検査	A-6
5.4 超音波探傷検査	A-6
5.5 銳敏化度測定	A-7
5.6 ヘリウムリーク試験	A-7
6. ダンプタンク	
6.1 外観検査	A-7
6.2 液体浸透探傷検査	A-7

表リスト

表 A-1-1	反応容器 錐敏化度測定結果	A-9
表 A-2-1	収納容器 エリア別腐食状況	A-10
表 A-2-2	収納容器 腐食深さと必要最小肉厚	A-11
表 A-2-3	収納容器 板厚測定結果	A-12
表 A-3-1	ナトリウム加熱器 内部ヒータ健全性確認	A-13
表 A-4-1	コールドトラップ 錐敏化度測定結果	A-14
表 A-5-1	膨張タンク 錐敏化度測定結果	A-15

図リスト

図 A-1-1	反応容器 超音波肉厚測定位置と結果	A-16
図 A-1-2	反応容器 錐敏化度測定位置	A-17
図 A-2-1	収納容器 エリア別番号図	A-18
図 A-2-2(1/6)～(6/6)	収納容器 腐食深さ測定結果	A-19
図 A-2-3	収納容器 磁粉探傷検査結果	A-25
図 A-2-4	収納容器 定点厚み測定位置	A-26
図 A-4-1	コールドトラップ 超音波肉厚測定位置と結果	A-27
図 A-4-2	コールドトラップ 錐敏化度測定位置	A-28
図 A-5-1	膨張タンク 超音波肉厚測定位置と結果	A-29
図 A-5-2	膨張タンク 液体浸透探傷検査結果	A-30
図 A-5-3	膨張タンク 錐敏化度測定位置	A-31
図 A-6-1	ダンプタンク 液体浸透探傷検査結果	A-32

1. 反応容器

1.1 外観検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：目視検査（肉眼による直接観察）
- ② 検査範囲：反応容器内外面（全面）

(2) 検査結果

有害な傷、変形、摩耗、腐食等の異状なし。

1.2 容器内面液体浸透探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：溶剤除去性染色浸透探傷法+速乾式現像法
- ② 使用探傷剤：浸透液：R-1A、現像液：R-1S、洗浄液：R-1M（栄進化学製）
- ③ 検査範囲：容器内面全面

(2) 検査結果

有害な傷、割れ等の異状なし。（欠陥指示模様なし）

1.3 超音波肉厚測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：超音波パルス反射法
- ② 測定箇所：反応容器上蓋、下胴（28点）
- ③ 使用装置：超音波厚さ計 UTM100（トキメック製）
- ④ 接触媒質：グリセリン

(2) 測定結果

図 A-1-1 に測定結果を示す。減肉化傾向はなし。

1.4 超音波探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：パルス反射法 直接接触 斜角法、垂直法
- ② 検査範囲：反応容器上蓋、下胴溶接部
- ③ 使用装置：パルス反射式超音波探傷器（Aスコープ） USK7S（クラウトクラマー製）
- ④ 使用探触子：斜角法 2 MHz 45°、垂直法 2 MHz 2 振動子
- ⑤ 接触媒質：グリセリン

(2) 測定結果

評価レベルを超えるエコーなし。

1.5 鋭敏化度測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：EPR法（電気化学式再活性化法）

② 測定箇所：反応容器上蓋、下胴（12 箇所。図 A-1-2 参照）

③ 使用装置：DOS テスター（石川島検査計測株製）

④ 電解液：チオシアン酸カリウム溶液

(2) 測定結果

12 箇所のうち測定位置番号③～⑫の 10 箇所に再活性化率 5 % 以上の鋭敏化領域が認められた。表 A-1-1 にその結果を示す。

1.6 耐圧・漏洩試験

(1) 試験条件

① 試験方法：気圧試験

② 試験圧力：耐圧試験 2.55 MPa·g (25.0 kg/cm²g)
漏洩試験 2.04 MPa·g (20.0 kg/cm²g)

③ 試験媒体：窒素ガス

④ 耐圧保持時間：30 分以上

⑤ 漏洩試験方法：漏えい検知液による発泡試験

(2) 試験結果

① 耐圧試験：破損、歪み等の有害な異状なし

② 漏洩試験：

以下の箇所から漏洩が確認された。

- ・ 12B 大気放出管台フランジ 全周（カニ泡程度）
- ・ 2B バイパス放出ラインエルボ溶接部 2 箇所
(1 箇所はカニ泡程度、1 箇所は検知液が飛散する程度)

・ 下胴ナトリウム出口管台 (8B) キャップ溶接部約半周（カニ泡程度）

1.7 ヘリウムリーク試験

(1) 試験条件

① 試験方法：加圧積分法

② 試験範囲：反応容器上蓋・下胴溶接部、フランジ部

③ 試験圧力：0.31 MPa·g (3 kg/cm²g)

④ ヘリウムガス濃度：75 % 以上

⑤ 試験装置：ヘリウムリークディテクタ UL 100 PLUS (LEYBOLD 製)

(2) 試験結果

耐圧漏洩試験で漏えいが確認された 3 箇所で判定基準を超える漏洩量が確認された。

2. 収納容器

2.1 外観検査

(1) 検査条件

① 検査方法：目視検査（肉眼による直接観察）及びノギスによる腐食（孔食）深さの

測定

- ② 検査範囲：収納容器外面全面

(2) 検査結果

容器各部に腐食が確認された。表 A-2-1 にエリア別の腐食状況を示す（エリア番号は図 A-2-1 参照）。これらの腐食により著しく減肉している箇所が多数確認されたため、腐食深さと必要最小肉厚の比較を行った。その結果、表 A-2-2 に示す通り、容器上部の反応生成物出口管台円錐部 (CN-3)、上鏡 (UC-3,-4)、本体胴上部 (US-2) については必要最小肉厚を満足していない。それらの場所の詳細、及び外観写真を図 A-2-2(1/6)～(6/6) に示す。

2.2 磁粉探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査範囲：本体溶接部、管台溶接部、保温用スタッドボルト溶接部（約 400 箇所）、
定点板厚測定箇所（100 箇所）、吊金物溶接部、スカート溶接部

- ② 使用装置：A-2（栄進化学製）

- ③ 使用磁粉：SY-7000（栄進化学製）蛍光・湿式

- ④ 対比試験片：JIS G 0565 A1-15/100

- ⑤ 磁化方法：極間法

- ⑥ 磁化間隔／時間／電流：50～100mm／連続法／AC 5 A 2600AT

- ⑦ 磁粉比重：0.5～2.0g/㎗

(2) 検査結果

図 A-2-3 に検査結果を示す。上鏡母材部に線状指示模様（指示長さ 7 mm）検出した。その検出位置から、鏡板と管台補強板の溶接時に使用した治具の跡と推定される。

2.3 超音波探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：パルス反射法 直接接触 斜角法

- ② 検査範囲：収納容器本体胴溶接部（完全溶込部）全線、反応生成物入口・出口管台の完全溶込溶接部

- ③ 使用装置：SM-100（トキメック製）

- ④ 使用探触子：5 MHz 70°

- ⑤ 接触媒質：グリセリン

(2) 検査結果

製造時の溶接施工記録がないため欠陥種別の特定は困難であるが、指示エコーの発生位置からスラグ巻き込みまたは融合不良と推定される欠陥が溶接線 3 箇所に発見された。

2.4 板厚測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：超音波パルス反射法
- ② 測定箇所：収納容器定点測定位置（図 A-2-4 参照）、管台、管台フランジ
- ③ 使用装置：超音波厚さ計 UTM100（トキメック製）
- ④ 接触媒質：グリセリン

(2) 測定結果

表 A-2-4 に測定結果を示す。本検査は経年変化を把握する上で実施したもので、1983 年の測定結果を比較した。本検査でも減肉化傾向が確認された。

3. ナトリウム加熱器

3.1 外観検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：目視検査（肉眼による直接観察）
- ② 検査範囲：ナトリウム加熱器外面（全面）

(2) 検査結果

有害な傷、変形、摩耗、腐食等の異状なし。

3.2 内部ヒータ健全性確認

(1) 測定条件

- ① 測定方法：抵抗値測定及び絶縁抵抗値測定
- ② 測定機器：R6341A（アドバンテスト製）、
TYPE3213（横河電気製 500V/100MΩ）

(2) 測定結果

表 A-3-1 に示す。絶縁抵抗低下が顕著である。

4. コールドトラップ

4.1 外観検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：目視検査（肉眼による直接観察）
- ② 検査範囲：コールドトラップ外面（全面）

(2) 検査結果

有害な傷、変形、摩耗、腐食等の異状なし。

4.2 超音波肉厚測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：超音波パルス反射法
- ② 測定箇所：コールドトラップ本体胴、鏡板（35 点）
- ③ 使用装置：超音波厚さ計 TM-4（石川島検査計測製）
- ④ 接触媒質：グリセリン

(1) 測定結果

図 A-4-1 に測定結果を示す。減肉化傾向はなし。

4.3 液体浸透探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：溶剤除去性染色浸透探傷法＋速乾式現像法
- ② 使用探傷剤：浸透液：IKS-PAU、現像液：IKS-RAU、洗浄液：IKS-DAU
(石川島検査計測(株)製 IKS チェック)
- ③ 検査範囲：コールドトラップ本体胴溶接部及び管台溶接部

(2) 検査結果

有害な傷、割れ等の異状なし。(欠陥指示模様なし)

4.4 超音波探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：パルス反射法 直接接触 斜角法
- ② 検査範囲：コールドトラップ本体胴溶接部及び管台溶接部
- ③ 使用装置：USL32 (クラウトクレーマー製)
- ④ 使用探触子：5 MHz 70°
- ⑤ 接触媒質：グリセリン

(2) 検査結果

記録すべきエコーなし

4.5 鋭敏化度測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：E P R 法 (電気化学式再活性化法)
- ② 測定箇所：コールドトラップの母材部、熱影響部 (11 点。図 A-4-2 参照)
- ③ 使用装置：D O S テスター (石川島検査計測製)
- ④ 電解液：チオシアン酸カリウム溶液

(2) 測定結果

表 A-4-1 に測定結果を示す。測定箇所 11 点全てで再活性化率 5 % 以上の鋭敏化度が認められた。

4.6 ヘリウムリーク試験

(1) 試験条件

- ① 試験方法：加圧積分法
- ② 試験範囲：コールドトラップ本体胴及び管台溶接部
- ③ 試験圧力：0.31 MPa·g (3 kg/cm²g)
- ④ ヘリウムガス濃度：75 % 以上

⑤ 試験装置：ヘリウムリークディテクタ 938-41型 (Varian 製)

(2) 試験結果

検出器の変化なし。(最小可検リーク量 3.7×10^{-8} atm·cc/sec 以下)

5. 膨張タンク

5.1 外観検査

(1) 検査条件

① 検査方法：目視検査 (肉眼による直接観察)

② 検査範囲：膨張タンク外面 (全面)

(2) 検査結果

有害な傷、変形、摩耗、腐食等の異状なし。

5.2 超音波肉厚測定

(1) 測定条件

① 測定方法：超音波パルス反射法

② 測定箇所：膨張タンク本体胴、鏡板 (28 点)

③ 使用装置：超音波厚さ計 TM-4 (石川島検査計測製)

④ 接触媒質：グリセリン

(2) 測定結果

図 A-5-1 に測定結果を示す。減肉化傾向はなし。

5.3 液体浸透探傷検査

(1) 検査条件

① 検査方法：溶剤除去性染色浸透探傷法 + 速乾式現像法

② 使用探傷剤：浸透液：IKS-PAU、現像液：IKS-RAU、洗浄液：IKS-DAU
(石川島検査計測株製 IKS チェック)

③ 検査範囲：膨張タンク本体胴溶接部及び管台溶接部

(2) 検査結果

下鏡周溶接部の母材部全周に多数の線状欠陥が確認された。図 A-5-2 に当該部の検査結果図を示す。

5.4 超音波探傷検査

(1) 検査条件

① 検査方法：パルス反射法 直接接触 斜角法

② 検査範囲：膨張タンク本体胴溶接部及び管台溶接部

③ 使用装置：USL32 (クラウトクレーマー製)

④ 使用探触子：5 MHz 70°

⑤ 接触媒質：グリセリン

(2) 検査結果

溶接部については記録すべきエコーは確認されなかったが、液体浸透探傷検査にて欠陥が確認された下鏡周溶接部の母材部については、内面まで貫通していると思われる線状欠陥が確認された。

5.5 鋭敏化度測定

(1) 測定条件

- ① 測定方法：E P R 法（電気化学式再活性化法）
- ② 測定箇所：膨張タンクの母材部、熱影響部（8点。図 A-5-3 参照）
- ③ 使用装置：D O S テスター（石川島検査計測製）
- ④ 電解液：チオシアン酸カリウム溶液

(2) 測定結果

表 A-5-1 に測定結果を示す。測定箇所 8 点全てで再活性化率 5 % 以上の鋭敏化度が認められた。

5.6 ヘリウムリーク試験

(1) 試験条件

- ① 試験方法：加圧積分法
- ② 試験範囲：膨張タンク本体胴及び管台溶接部
- ③ 試験圧力： $0.31 \text{ MPa} \cdot \text{g}$ ($3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$)
- ④ ヘリウムガス濃度：75 % 以上
- ⑤ 試験装置：ヘリウムリークディテクタ 938-41 型 (Varian 製)

(2) 試験結果

液体浸透探傷検査及び超音波探傷検査で欠陥が確認された本体胴一下鏡溶接部では測定範囲 $3.7 \times 10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{cc/sec}$ 以上の漏えいが確認された。

6. ダンプタンク

6.1 外観検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：目視検査（肉眼による直接観察）
- ② 検査範囲：ダンプタンク外面（全面）

(2) 検査結果

有害な傷、変形、摩耗、腐食等の異状なし。

6.2 液体浸透探傷検査

(1) 検査条件

- ① 検査方法：溶剤除去性染色浸透探傷法 + 速乾式現像法

② 使用探傷剤：浸透液：R-1A、現像液：R-1S、洗浄液：R-1M（栄進化学(株)製）

③ 検査範囲：膨張タンク本体胴溶接部及び管台溶接部

(2) 検査結果

検査結果を図 A-6-1 に示す。本体胴と鏡板の溶接部及び溶接部近傍の母材部に複数の欠陥が確認された。

表A-1-1 反応容器 鋭敏化度測定結果

測定位置	部 位	測定結果 %	判 定	測定位置	部 位	測定結果 %	判 定
①	HAZ	2.72	非鋭敏化領域	⑧	HAZ	16.50	鋭敏化領域
	母材	4.53	非鋭敏化領域		母材	22.98	鋭敏化領域
②	HAZ	3.68	非鋭敏化領域	⑨	母材	23.16	鋭敏化領域
	母材	0.43	非鋭敏化領域		HAZ	19.74	鋭敏化領域
③	HAZ	18.47	鋭敏化領域	⑩	母材	17.20	鋭敏化領域
	母材	18.23	鋭敏化領域		HAZ	12.41	鋭敏化領域
④	HAZ	10.55	鋭敏化領域	⑪	母材	13.67	鋭敏化領域
	母材	11.23	鋭敏化領域		HAZ	16.46	鋭敏化領域
⑤	HAZ	14.19	鋭敏化領域	⑫	母材	14.10	鋭敏化領域
	母材	12.29	鋭敏化領域		判 定： 再活性化率 \leq 5 % 非鋭敏化領域 再活性化率 $>$ 5 % 鋭敏化領域		
⑥	母材	25.55	鋭敏化領域				
	HAZ	11.94	鋭敏化領域				
⑦	母材	14.04	鋭敏化領域				

表A-2-1 収納容器 エリア別腐食状況

単位：mm

エリア番号		孔蝕深さ分布	最大腐食深さ	腐食形態及び分布状況
出 口 管	円 錐 部	CN-1	0.1d~5.2d	5.2d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CN-2	0.1d~6.5d	6.5d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CN-3	0.1d~7.7d	7.7d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CN-4	0.1d~5.5d	5.5d 深さと面積を有しほば全面に散存
	円 筒 部	CC-1	0.1d~5.3d	5.3d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CC-2	0.1d~6.6d	6.6d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CC-3	0.1d~4.5d	4.5d 深さと面積を有しほば全面に散存
		CC-4	0.1d~6.1d	6.1d 深さと面積を有しほば全面に散存
管 台 補 強 板	管 台	CD-1-1	0.1d~7.3d	7.3d 深さと面積を有しほば全面に散存
		1-2	0.1d~6.8d	6.8d 深さと面積を有しほば全面に散存
	補 強	CD-2-1	0.1d~7.2d	7.2d 深さと面積を有しほば全面に散存
		2-2	0.1d~5.0d	5.0d 深さと面積を有しほば全面に散存
	強 板	CD-3-1	0.1d~6.0d	6.0d 深さと面積を有しほば全面に散存
		3-2	0.1d~5.6d	5.6d 深さと面積を有しほば全面に散存
	強 板	CD-4-1	0.1d~6.2d	6.2d 深さと面積を有しほば全面に散存
		4-2	0.1d~5.6d	5.6d 深さと面積を有しほば全面に散存
上 鏡	UC-1	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食はほぼ全面に散存 深さと面積を有する腐食が局部的に発生
	UC-2	0.1d~3.2d	3.2d	軽微な腐食はほぼ全面に散存 深さと面積を有する腐食が局部的に発生
	UC-3	0.1d~3.8d	3.8d	軽微な腐食はほぼ全面に散存 深さと面積を有する腐食が局部的に発生
	UC-4	0.1d~4.9d	4.9d	軽微な腐食はほぼ全面に散存 深さと面積を有する腐食が局部的に発生
上 胴	US-1	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	US-2	0.1d~4.6d	4.6d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	US-3	0.1d~4.3d	4.3d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	US-4	0.1d~2.9d	2.9d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
下 胴	LS-1	0.1d~2.6d	2.6d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LS-2	0.1d~3.9d	3.9d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LS-3	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LS-4	0.1d~2.7d	2.7d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
入口 管台	IN-1~4	0.1d~4.0d	4.0d	深さと面積を有しほば全面に散存
	ID-1~4	0.1d~2.0d	2.0d	深さと面積を有しほば全面に散存
下 鏡	LC-1	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LC-2	0.1d~2.3d	2.3d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LC-3	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的
	LC-4	0.1d~2.0d	2.0d	軽微な腐食は散存しているが深さを有する集中腐食範囲は局部的

表A-2-2 収納容器 腐食深さと必要最小肉厚

単位：mm

エリア番号		最大腐食深さ (A)	最大腐食部近傍 最小板厚 (B)	推定残存板厚 (C) = B-A	必要最小 板厚 (D)	余裕値 C-D	
出 口 管 管 台 補 強 板	円 錐 部	CN-1	5.2	26.6	21.4	12.02	+9.38
		CN-2	6.5	26.1	19.6	12.02	+7.58
		CN-3	7.7	17.8	10.1	12.02	-1.92
		CN-4	5.5	25.8	20.3	12.02	+8.28
	円 筒 部	CC-1	5.3	19.6	14.3	12.02	+2.28
		CC-2	6.6	19.9	13.3	12.02	+1.28
		CC-3	4.5	19.9	14.5	12.02	+2.48
		CC-4	6.1	19.9	13.8	12.02	+1.78
	管 台 補 強 板	CD-1-1	7.3	29.4	22.1	—	—
		1-2	6.8	29.6	22.8	—	—
上 鏡	UC-1	2.0	31.0	29.0	27.32	+1.68	
	UC-2	3.2	32.5	29.3	27.32	+1.98	
	UC-3	3.8	30.4	26.6	27.32	-0.72	
	UC-4	4.9	32.2	27.3	27.32	-0.02	
上 胴	US-2	4.6	31.6	27.0	27.41	-0.41	
	US-3	4.3	32.4	28.1	27.41	+0.69	
	US-4	2.9	31.1	28.2	27.41	+0.79	
下 胴	LS-1	2.6	32.5	29.9	27.41	+2.49	
	LS-2	3.9	32.8	28.9	27.41	+1.49	
	LS-4	2.7	31.7	29.0	27.41	+1.59	
入口 管台	IN-2	4.0	19.5	15.5	12.02	+3.48	
	IN-4	2.8	19.8	17.0	12.02	+4.98	
下鏡	LC-2	2.3	33.0	30.7	27.32	+3.38	

注記：1 上胴US-1,下胴LS-3は腐食深さ2.0d以下ため、本対比表より除外

2 入口管台IN-1,IN-3は腐食深さ2.5d以下ため、本対比表より除外

3 下鏡LC-1,LC-3,LC-4は腐食深さ2.0d以下ため、本対比表より除外

4 □部は強度上の必要最小板厚を割っている箇所を示す

表A-2-3 収納容器 板厚測定結果

単位：mm

測定位置	公称板厚	必要最小板厚	測定値 S58/H7	測定位置	公称板厚	必要最小板厚	測定値 S58/H7	測定位置	公称板厚	必要最小板厚	測定値 S58/H7
1	25.0	12.02	26.5/24.2	36	32.0	27.32	30.9/30.5	71	32.0	27.32	32.5/31.9
2			26.4/24.2	37			33.3/33.0	72			32.4/31.3
3			25.9/26.0	38			31.6/30.7	73			32.6/31.8
4			26.1/26.0	39			32.3/30.7	74			32.5/29.8
5	19.0	12.02	19.3/19.0	40	32.0	27.32	32.8/30.1	75	32.0	27.32	32.4/32.5
6			19.5/19.0	41			32.5/30.7	76			32.4/31.8
7			19.6/18.9	42			32.4/31.6	77			32.5/31.8
8			18.7/18.6	43			32.4/31.6	78			32.5/32.6
9	29.0	—	29.6/28.8	44	32.0	27.41	32.5/31.7	79	32.0	27.41	32.4/32.5
10			29.5/29.4	45			32.5/32.0	80			32.4/31.0
11			29.6/28.8	46			32.0/31.4	81			32.6/31.8
12			29.5/29.3	47			32.4/31.6	82			32.4/31.6
13			29.6/29.3	48			31.9/30.0	83			32.2/32.0
14			29.8/28.9	49			32.5/32.6	84			32.3/31.8
15			29.6/29.4	50			32.3/31.3	85			32.3/32.4
16			29.8/29.1	51			32.3/32.0	86			32.2/32.3
17	32.0	27.32	31.5/30.7	52	29.0	—	32.4/32.5	87	32.0	27.32	31.9/31.2
18			30.8/30.5	53			32.4/32.5	88			32.3/32.0
19			32.6/31.8	54			32.2/32.3	89			31.7/31.8
20			32.4/31.3	55			32.1/31.8	90			32.0/31.5
21			31.3/30.7	56			32.5/32.5	91			31.4/30.1
22			31.5/31.0	57			29.2/28.9	92			30.6/29.9
23			32.8/32.4	58			29.3/28.7	93			31.0/29.5
24			31.1/30.9	59			29.2/29.0	94			29.7/29.5
25	32.0	27.32	33.1/32.9	60	19.0	12.02	29.1/29.1	95	32.0	27.32	29.9/30.0
26			32.8/32.8	61			20.4/18.5	96			30.7/30.2
27			32.0/31.9	62			19.7/18.3	97			31.9/30.6
28			31.1/30.1	63			19.8/19.7	98			29.5/29.8
29			32.6/30.2	64			19.7/19.0	99			29.7/29.2
30			31.5/31.0	65			31.0/30.6	100			31.6/30.9
31			32.2/32.2	66	32.0	27.41	31.5/31.7		32.0	27.32	
32			31.4/31.2	67			31.8/30.0				
33			30.1/29.8	68			32.4/31.2				
34			30.0/29.5	69			32.2/32.0				
35			32.0/32.0	70			32.1/31.5				

表A-3-1 ナトリウム加熱器 内部ヒータ健全性確認

ヒータNO.	抵抗 (Ω)	絶縁抵抗 (MΩ)	ヒータNO.	抵抗 (Ω)	絶縁抵抗 (MΩ)
NO.1	5.03	1.5	NO.21	5.08	0.9
NO.2	5.13	2.6	NO.22	5.11	1.7
NO.3	5.12	0.8	NO.23	5.13	1.9
NO.4	5.09	2.0	NO.24	5.10	0.9
NO.5	5.09	3.0	NO.25	5.10	1.9
NO.6	5.08	2.0	NO.26	5.09	0.8
NO.7	5.01	1.4	NO.27	5.10	0.9
NO.8	5.06	0.7	NO.28	5.10	1.2
NO.9	5.12	1.1	NO.29	5.15	0.9
NO.10	5.12	1.2	NO.30	5.12	2.8
NO.11	511	30.0	NO.31	5.08	1.1
NO.12	5.15	1.3	NO.32	5.10	0.4
NO.13	5.12	0.6	NO.33	5.10	2.0
NO.14	5.09	0.3	NO.34	5.14	0.8
NO.15	5.12	1.3	NO.35	5.11	0.8
NO.16	5.10	1.0	NO.36	5.13	0.9
NO.17	4.99	100以上	NO.37	5.10	0.3
NO.18	5.10	2.1	NO.38	5.10	0.9
NO.19	5.12	1.1	NO.39	5.07	0.7
NO.20	5.16	0.4			

表A-4-1 コールドトラップ 錐敏化度測定結果

測定位置	部 位	測定結果 %	判 定
①	母材	7.12	錐敏化領域
②	熱影響部	11.15	錐敏化領域
③	熱影響部	18.47	錐敏化領域
④	母材	13.81	錐敏化領域
⑤	熱影響部	18.61	錐敏化領域
⑥	母材	19.58	錐敏化領域
⑦	熱影響部	22.33	錐敏化領域
⑧	熱影響部	18.18	錐敏化領域
⑨	母材	12.76	錐敏化領域
⑩	熱影響部	21.22	錐敏化領域
⑪	熱影響部	24.75	錐敏化領域

判 定：再活性化率 \leq 5% 非錐敏化領域再活性化率 $>$ 5% 錐敏化領域

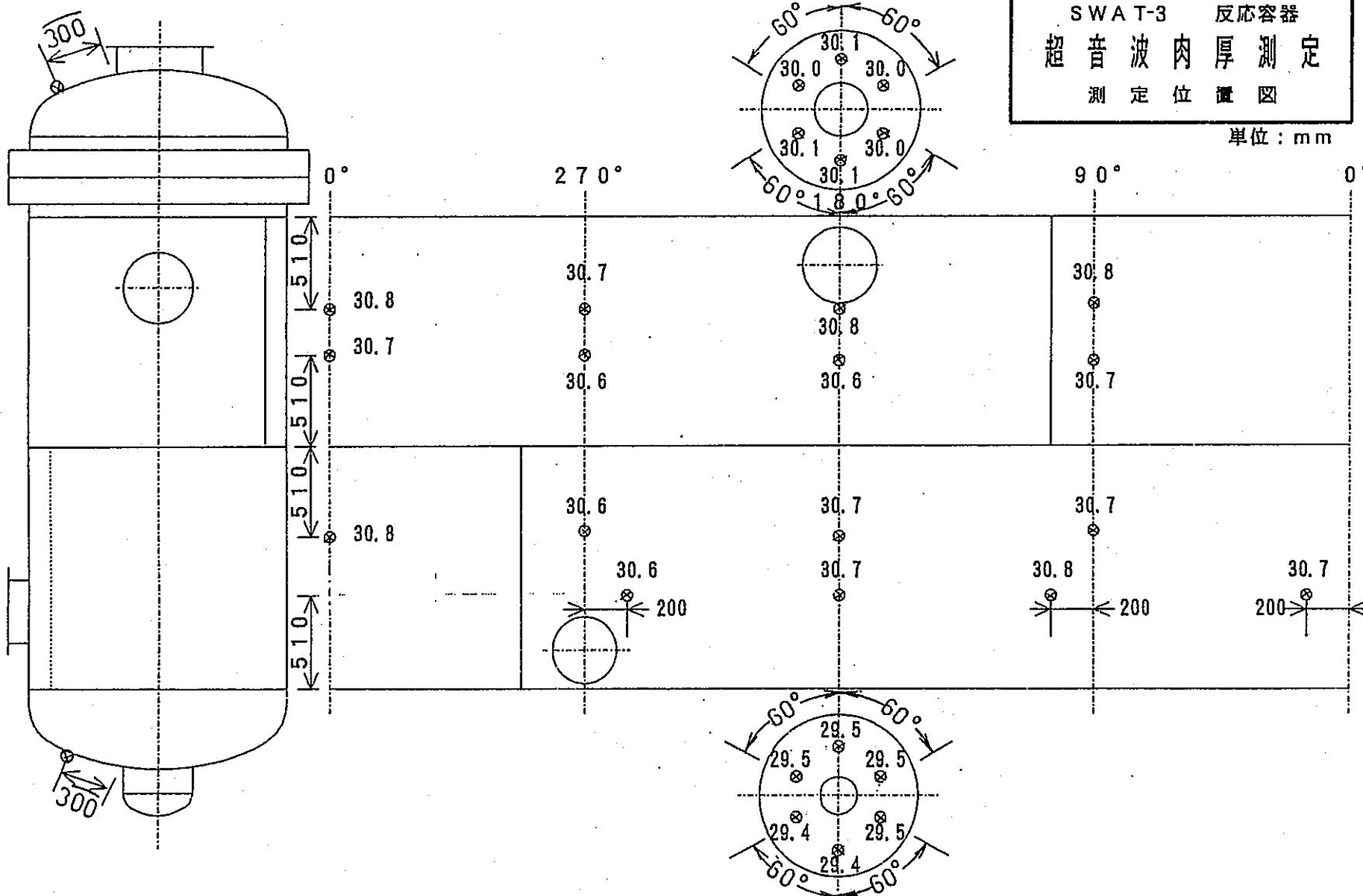
表A-5-1 膨張タンク 鋭敏化度測定結果

測定位置	部 位	測定結果 %	判 定
①	母材	6.00	鋭敏化領域
②	熱影響部	6.47	鋭敏化領域
③	熱影響部	18.81	鋭敏化領域
④	母材	23.31	鋭敏化領域
⑤	熱影響部	18.57	鋭敏化領域
⑥	熱影響部	21.23	鋭敏化領域
⑦	熱影響部	19.81	鋭敏化領域
⑧	母材	16.97	鋭敏化領域

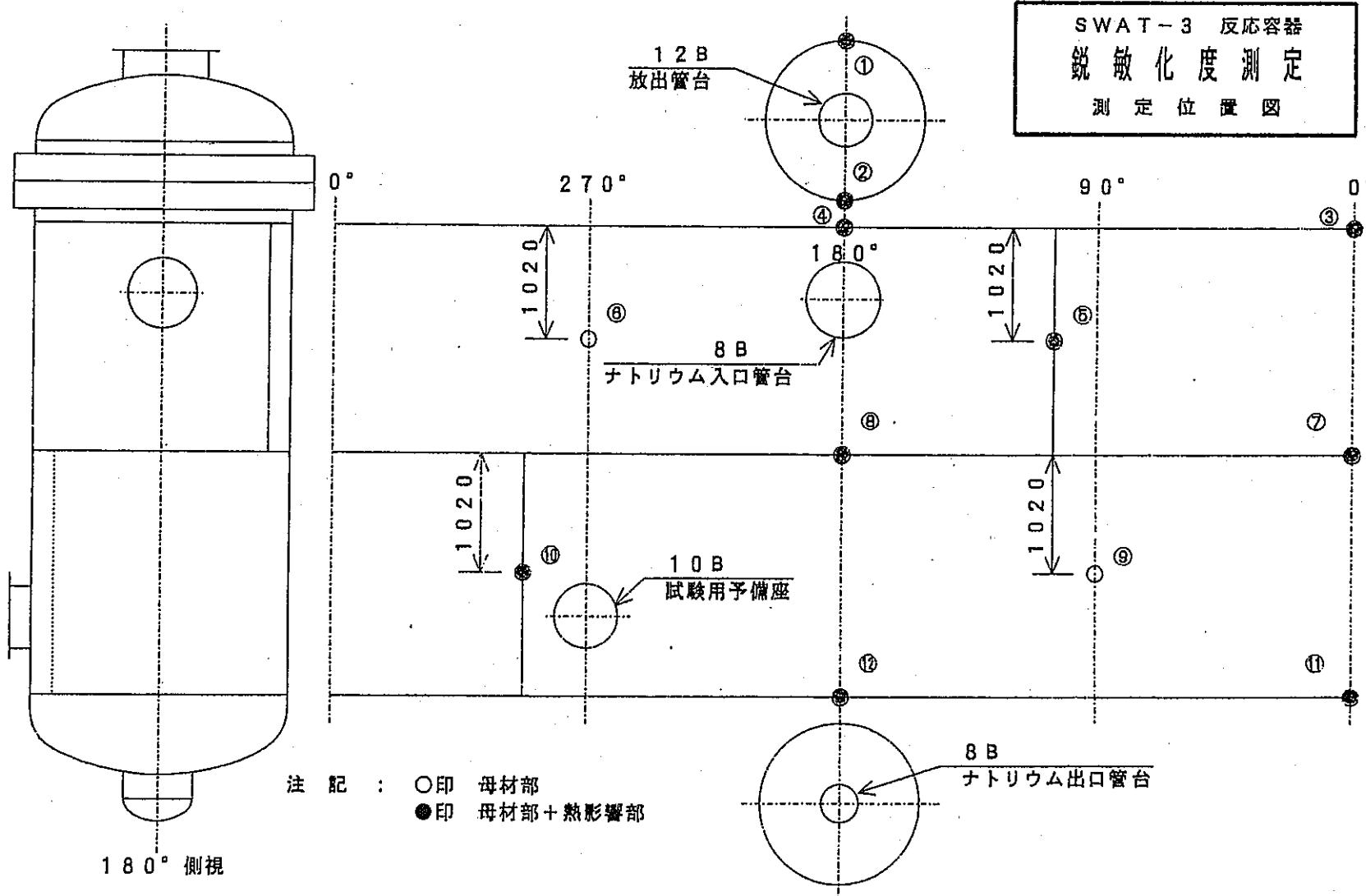
判 定：再活性化率 \leq 5 % 非鋭敏化領域再活性化率 $>$ 5 % 鋭敏化領域

反応容器 SWAT-3 超音波肉厚測定位置図

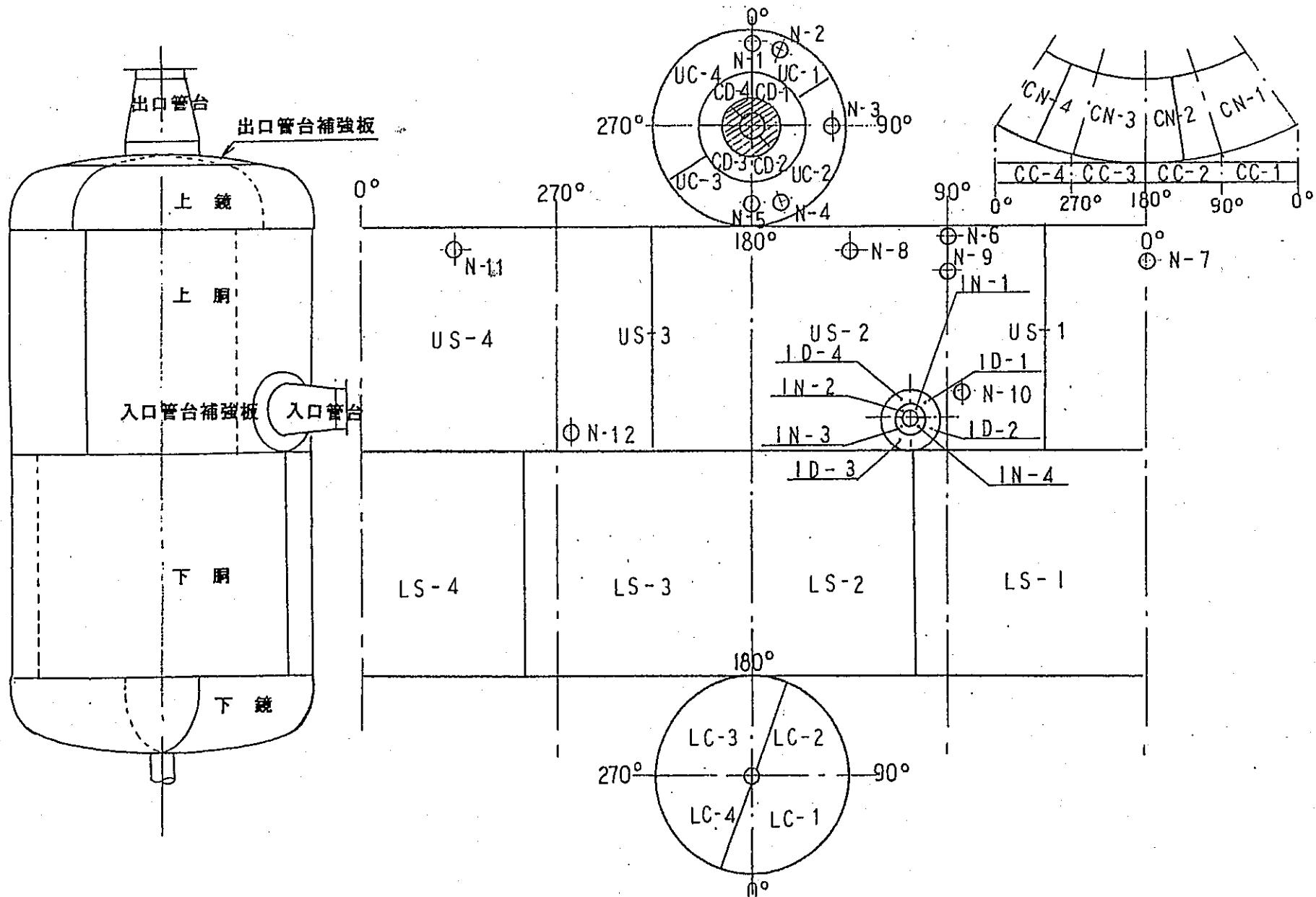
単位: mm



図A-1-1 反応容器 超音波肉厚測定位置と結果

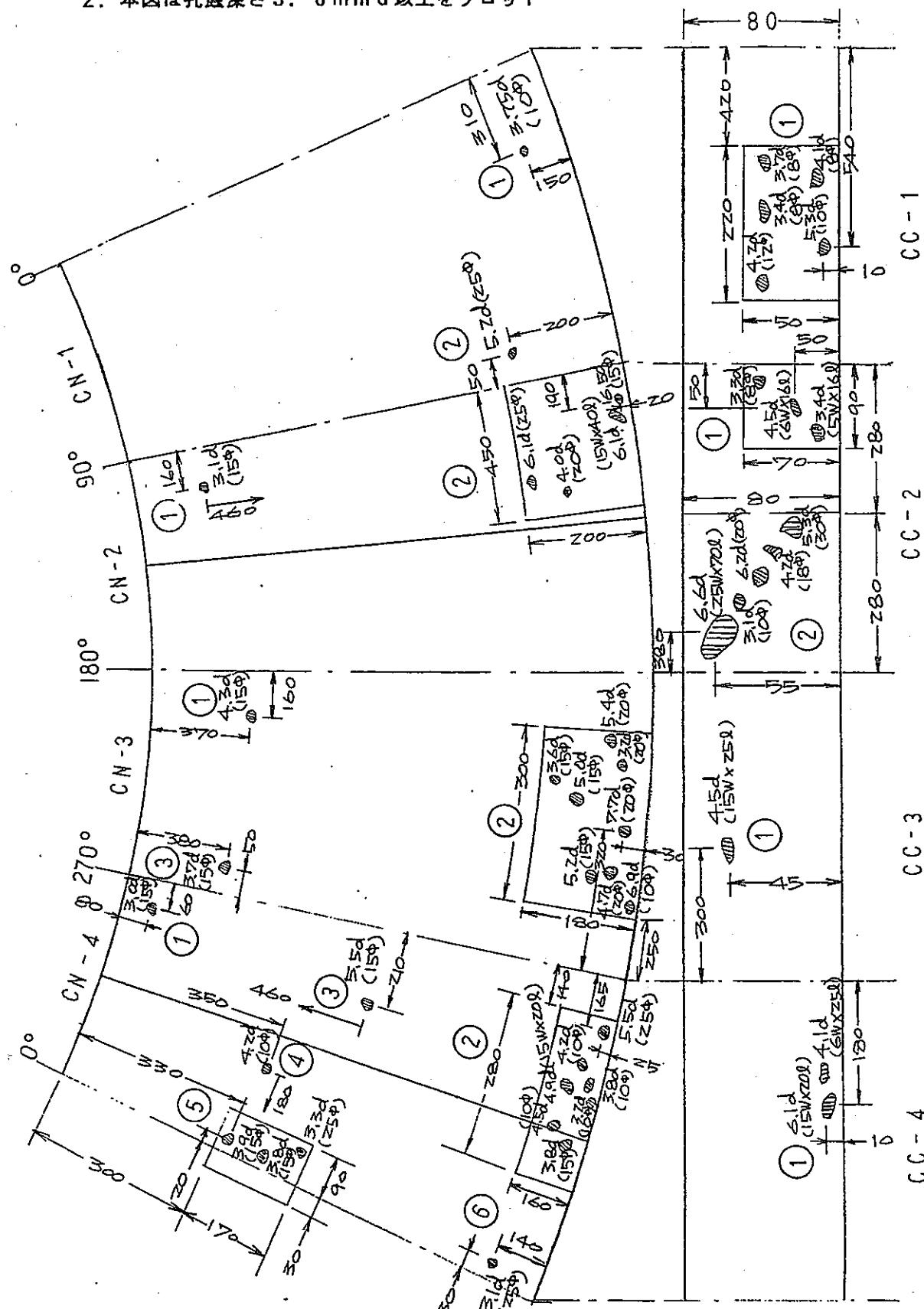


図A-1-2 反応容器 銳敏化度測定位置



図A-2-1 収納容器 エリア別番号図

注記 1. □ : 孔歛深さ 3.0 mm d 以上が集中している範囲を示す
 2. 本図は孔歛深さ 3.0 mm d 以上をプロット



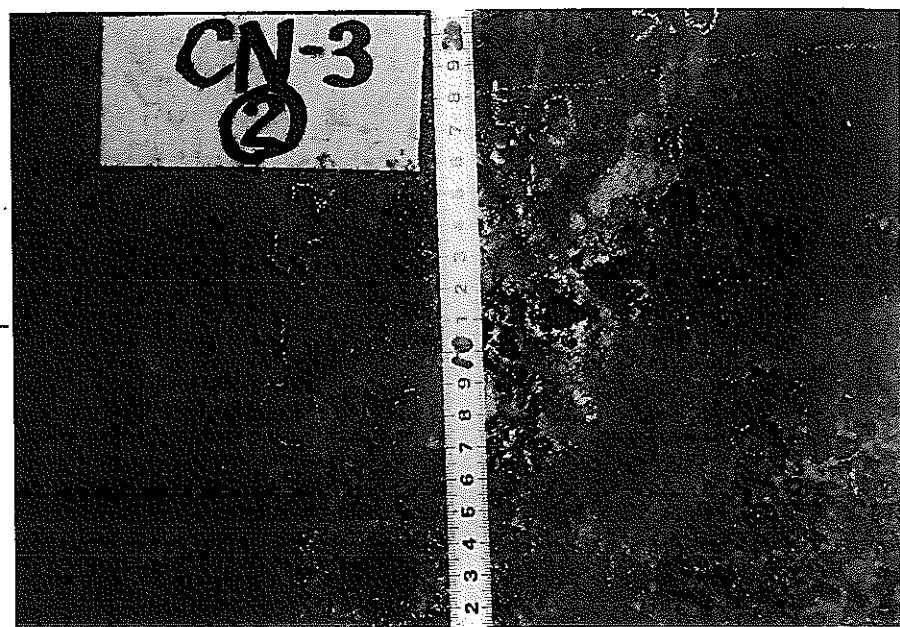
図A-2-2(1/6) 収納容器 腐食深さ測定結果 (出口管台)

外観検査

出口管台

円錐部腐食状況 CN-3 ②

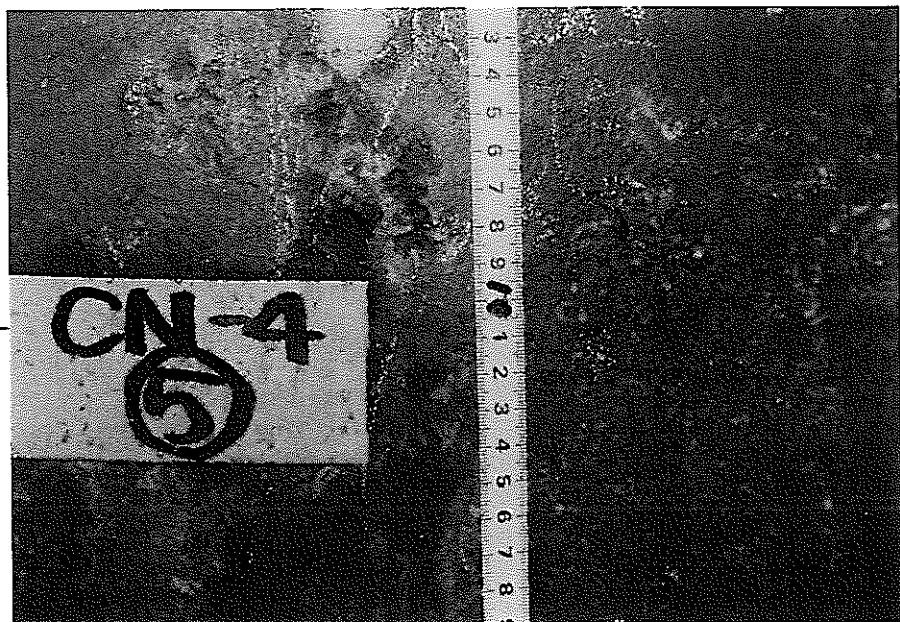
7.7mm d



出口管台

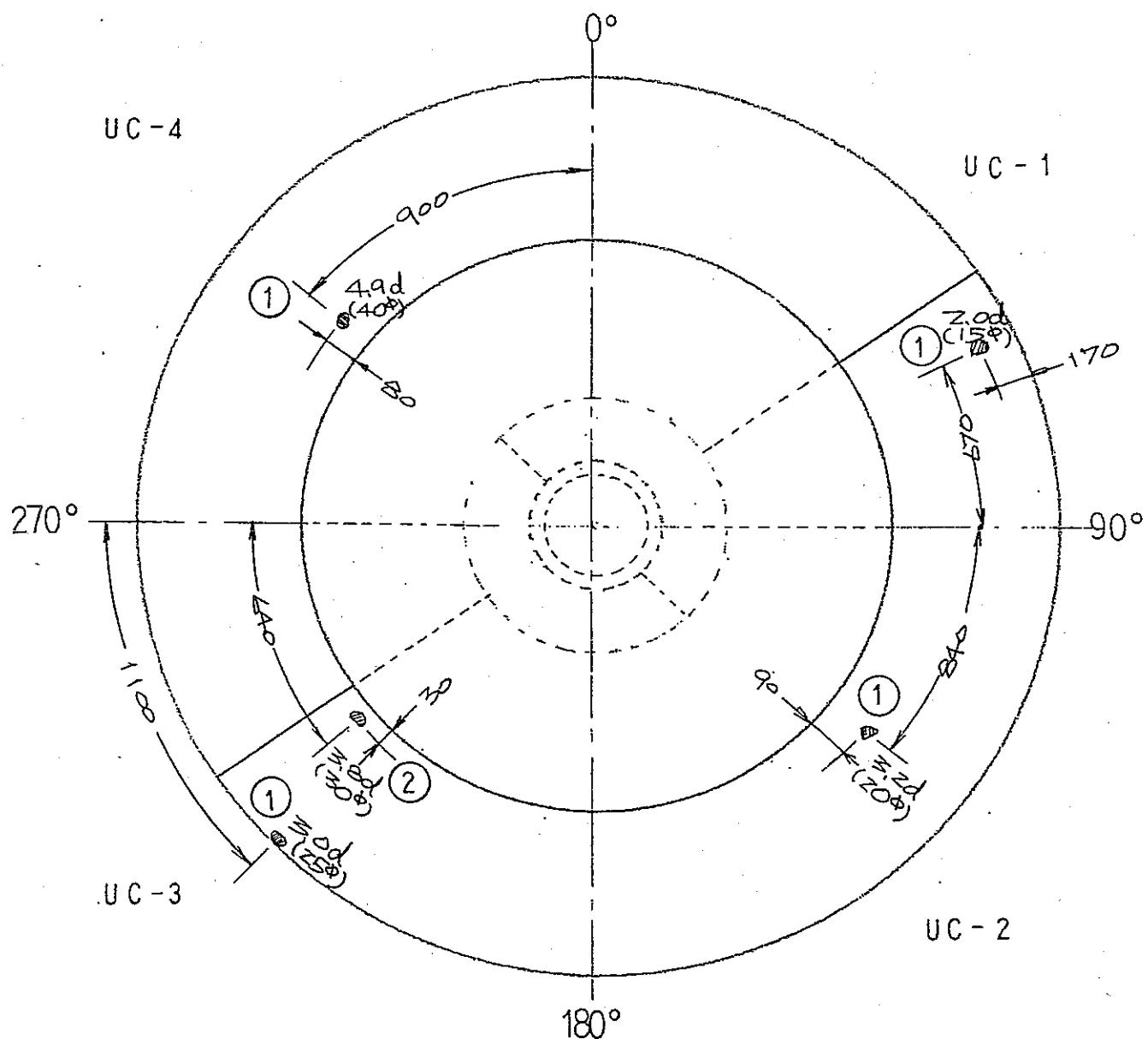
円錐部腐食状況 CN-4 ⑤

3.9mm d



図A-2-2(2/6) 収納容器 腐食状況 (出口管台)

注記 1. 孔蝕深さ 2. 0 mm d 以上をプロット

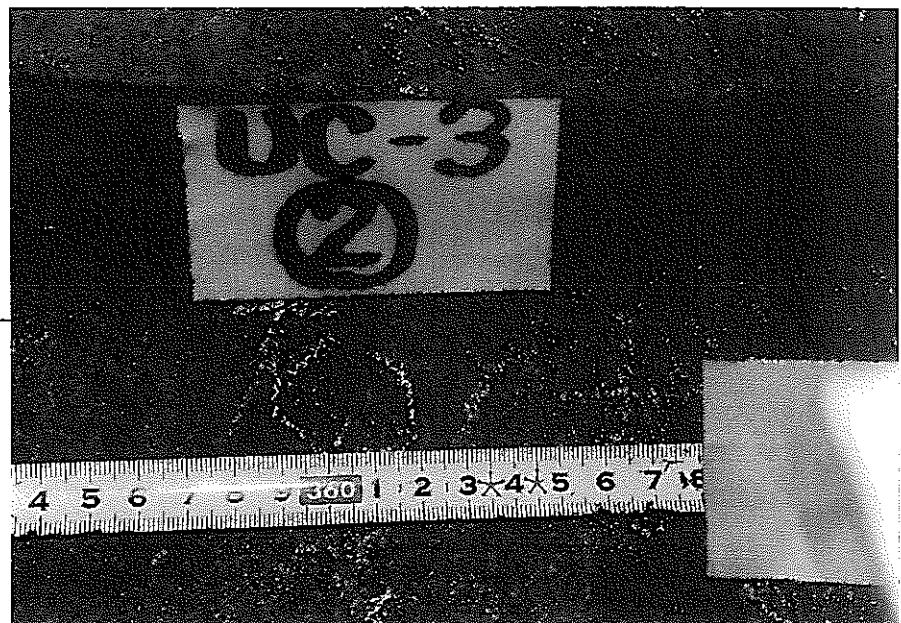


図A-2-2(3/6) 収納容器 腐食深さ測定結果 (上部鏡板)

外観検査

上部鏡板腐食状況 UC-3 ②

3. 8 mm d



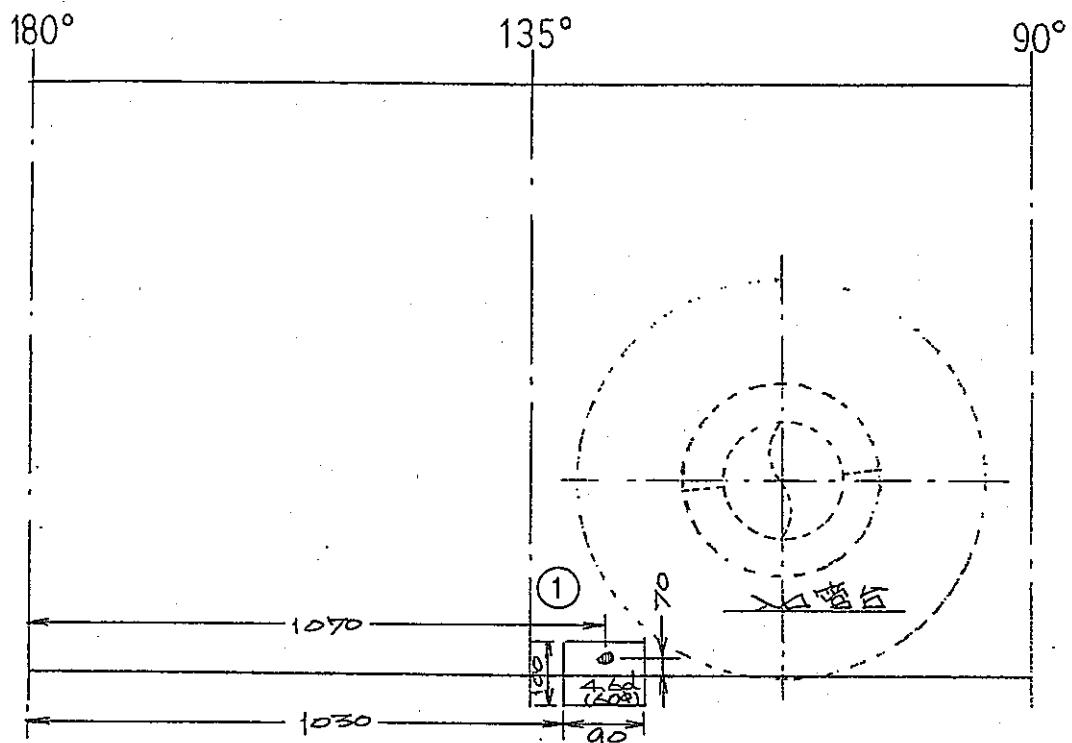
上部鏡板腐食状況 UC-4 ①

4. 9 mm d

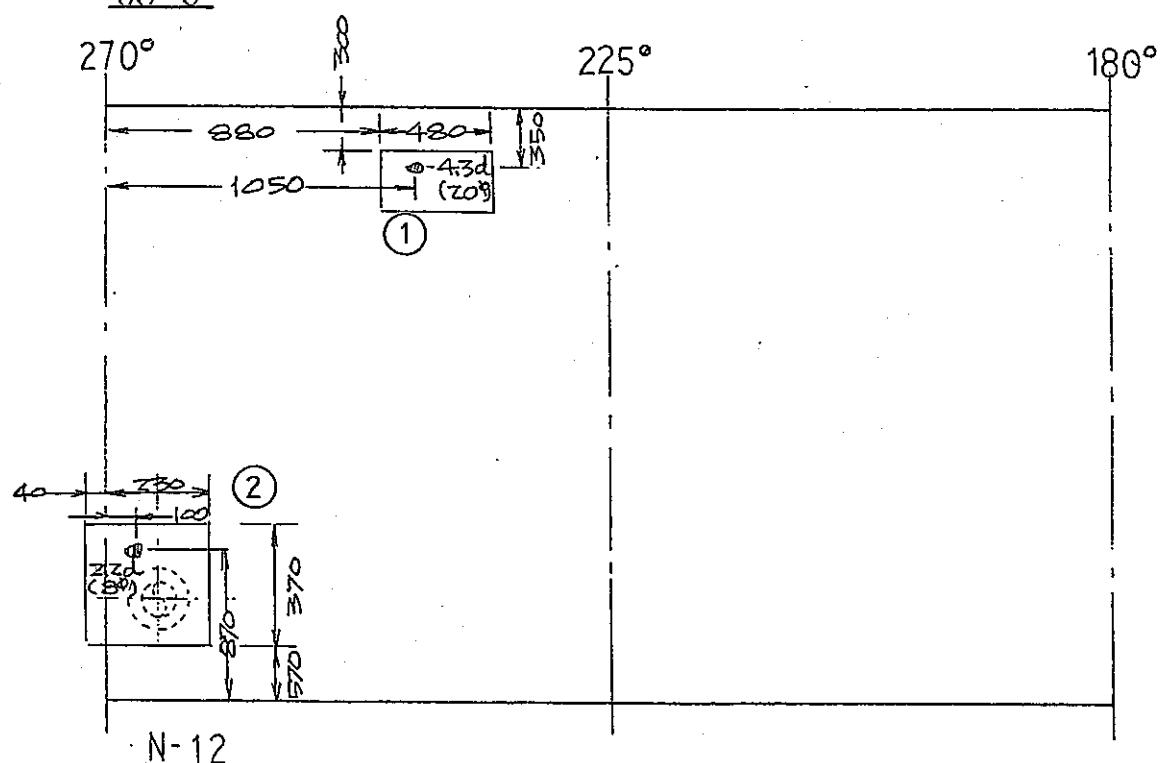


図A-2-2(4/6) 収納容器 腐食状況（上部鏡板）

US-2 注記 1. □: 孔歫深さ 0. 5 mm d 以上の範囲を示す



US-3

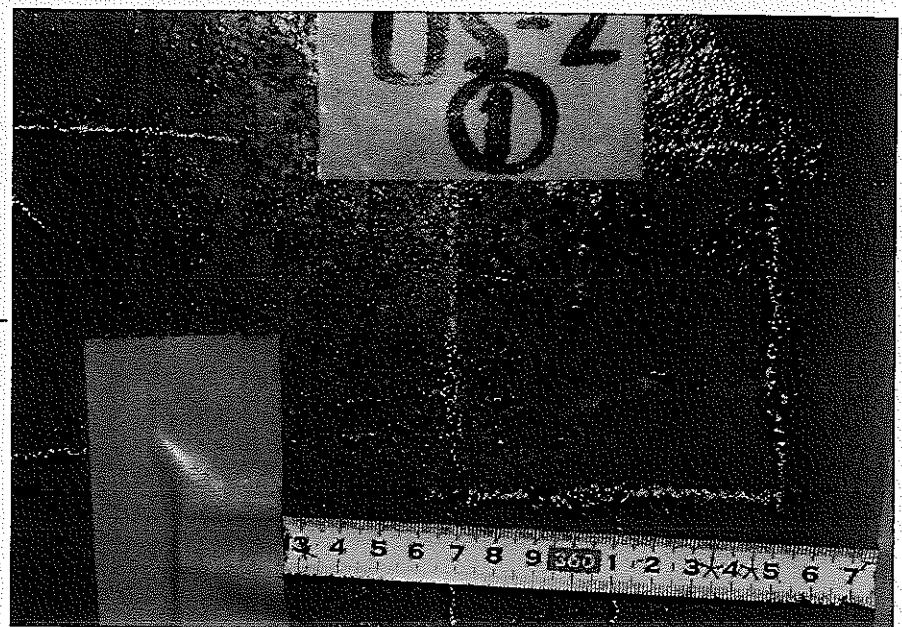


図A-2-2(5/6) 収納容器 腐食深さ測定結果 (本体胴上部)

外観検査

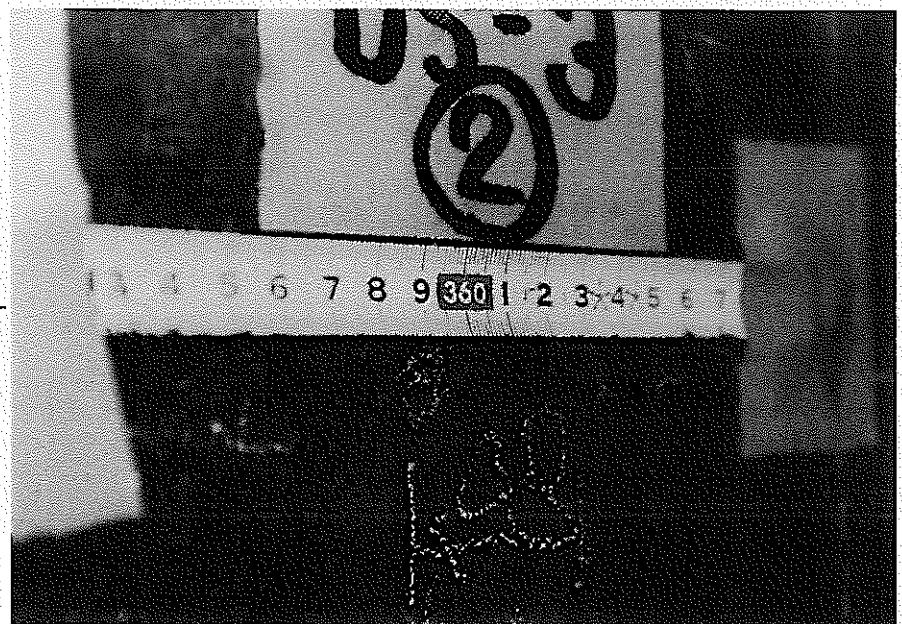
上部胴板腐食状況 US-2 ①

4. 6 mmd

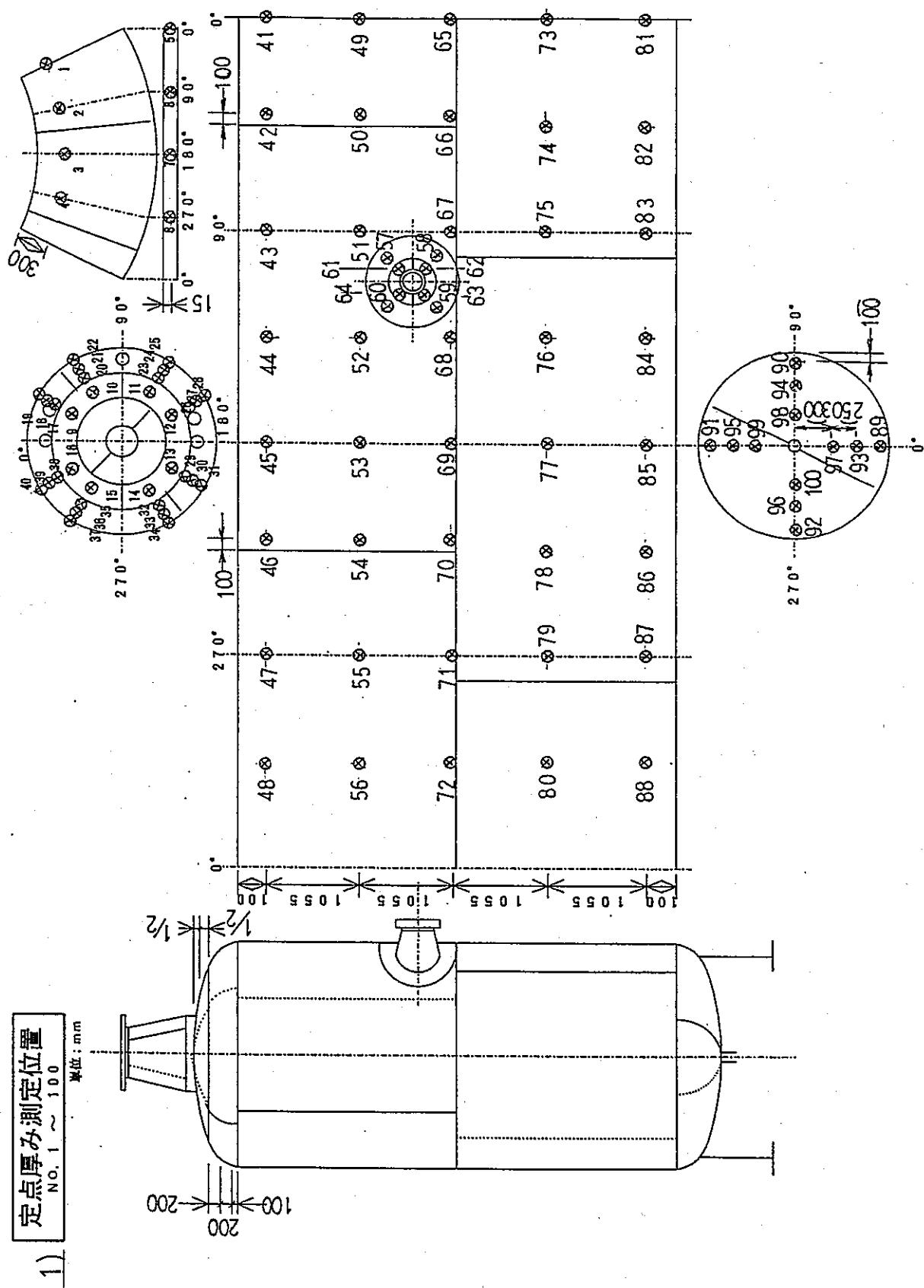


上部胴板腐食状況 US-3 ②

6. 2 mmd



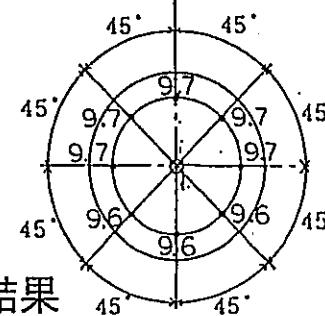
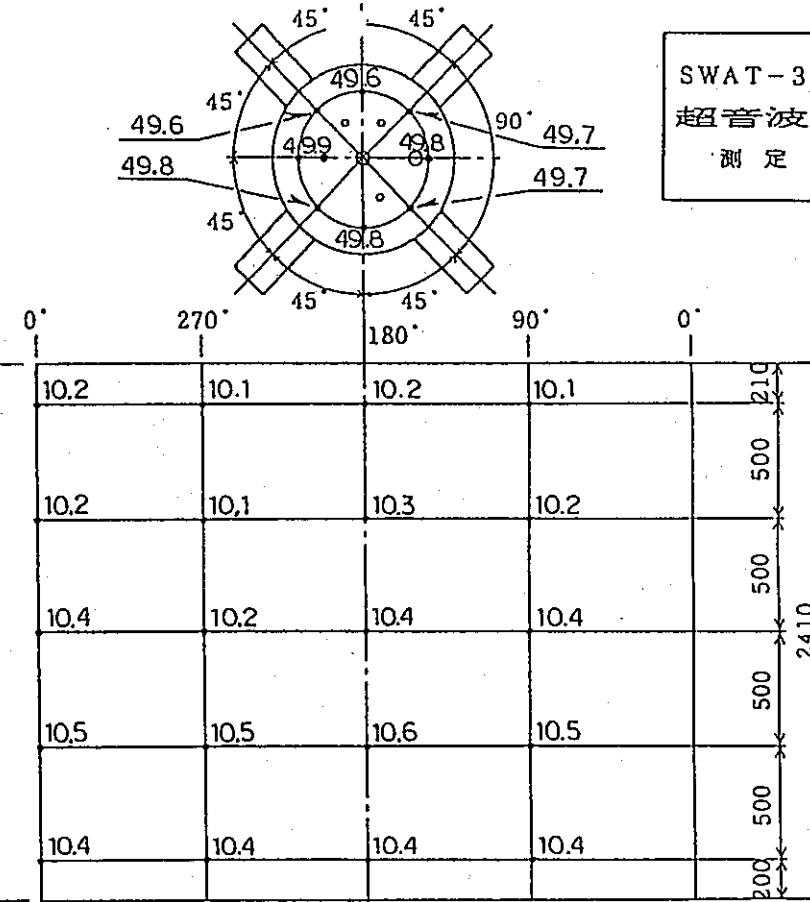
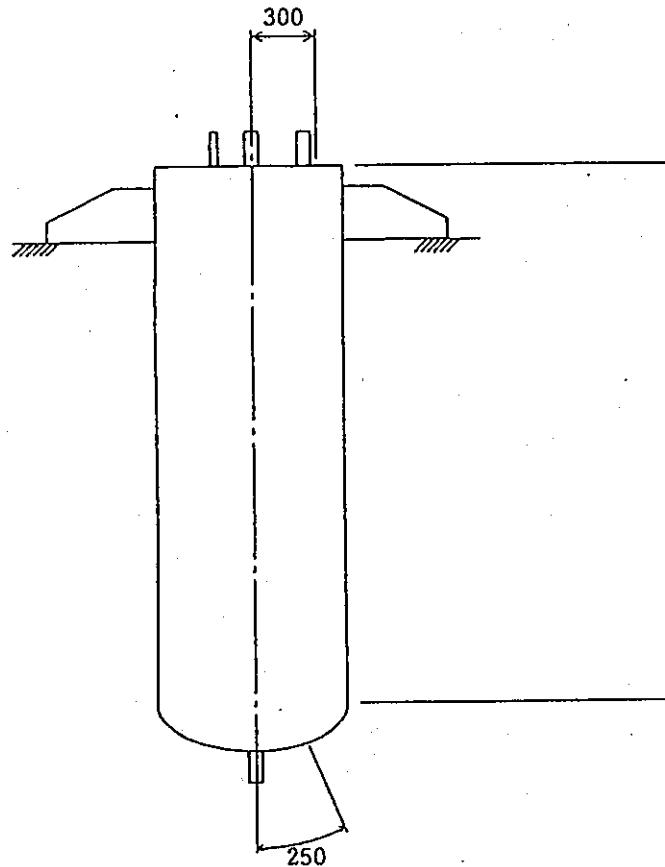
図A-2-2(6/6) 収納容器 腐食状況（本体胴上部）



図A-2-4 収納容器 定点厚み測定位置

単位：mm

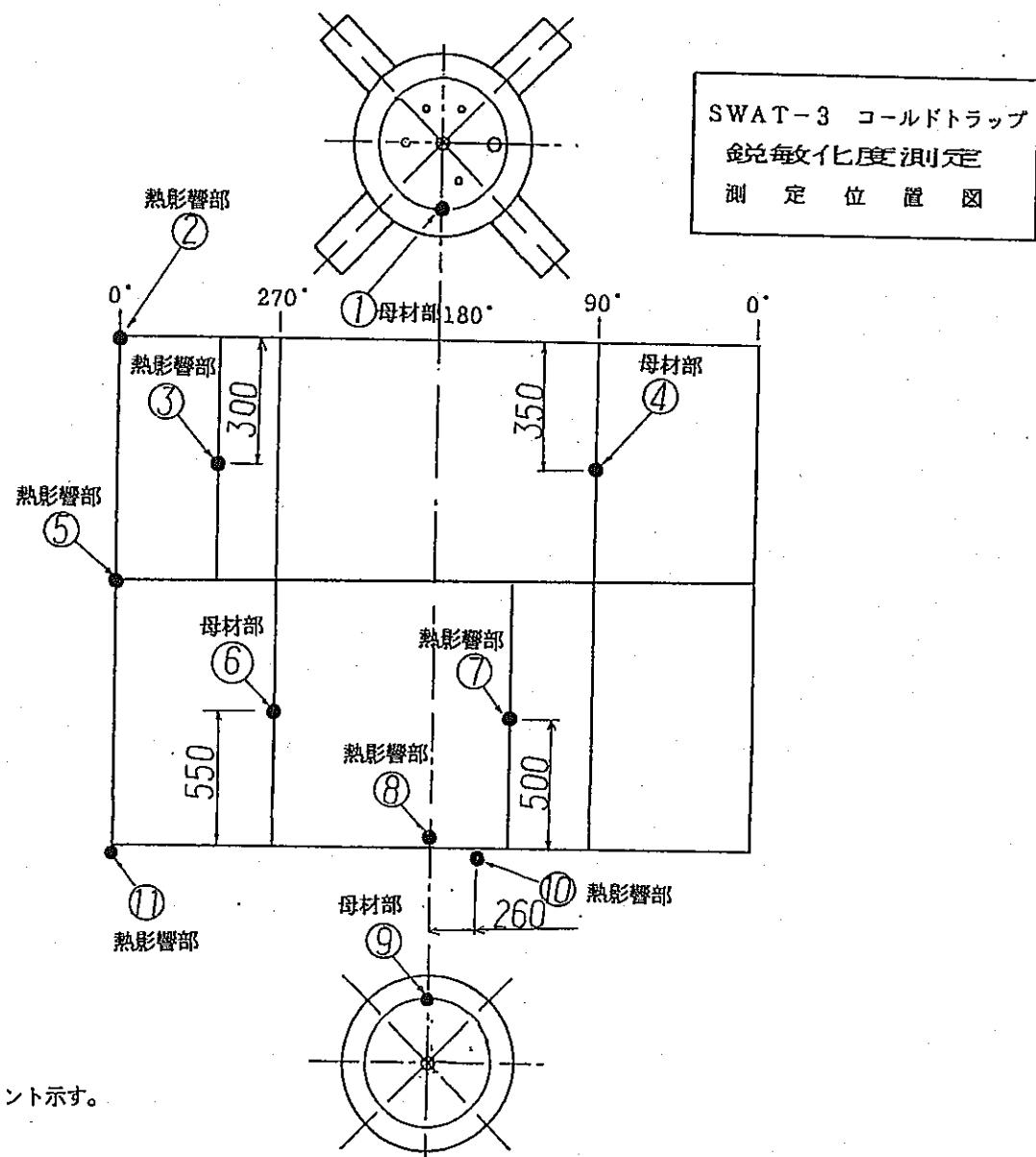
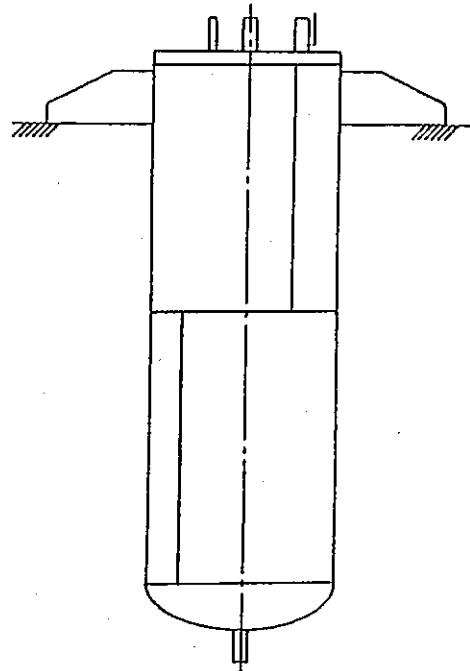
SWAT-3 コールドトラップ
超音波肉厚測定
測定位置図



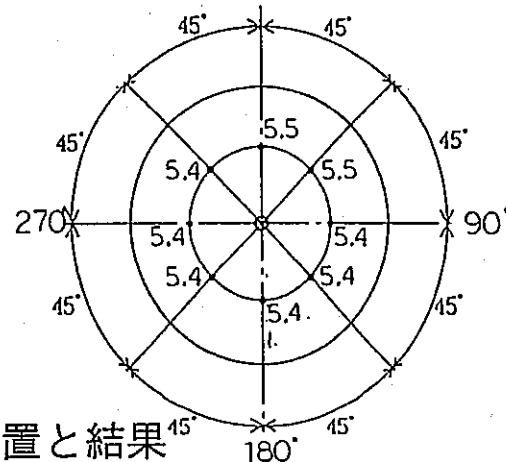
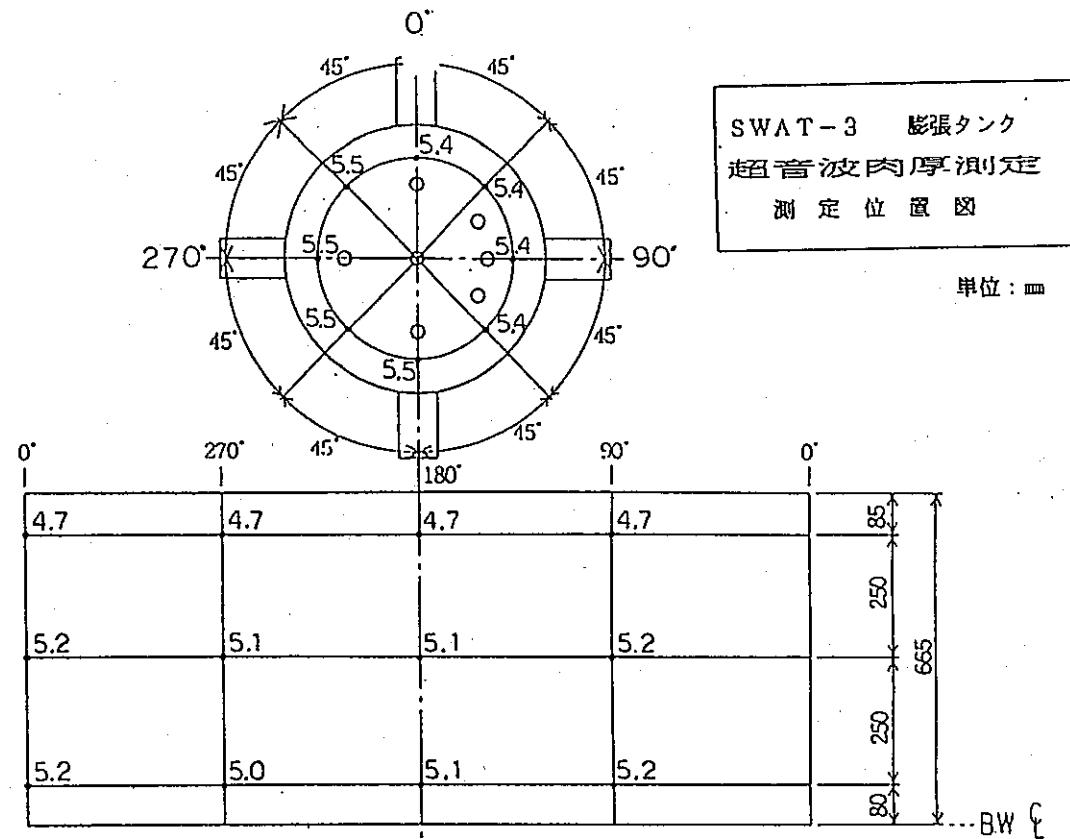
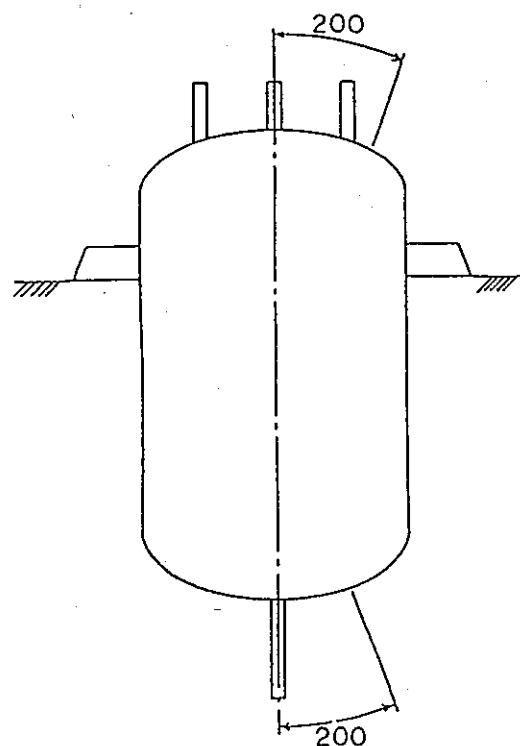
●印：測定箇所 35 箇所を示す。

コールドトラップ肉厚測定箇所

図A-4-1 コールドトラップ 超音波肉厚測定位置と結果



図A-4-2 コールドトラップ 鋭敏化度測定位置

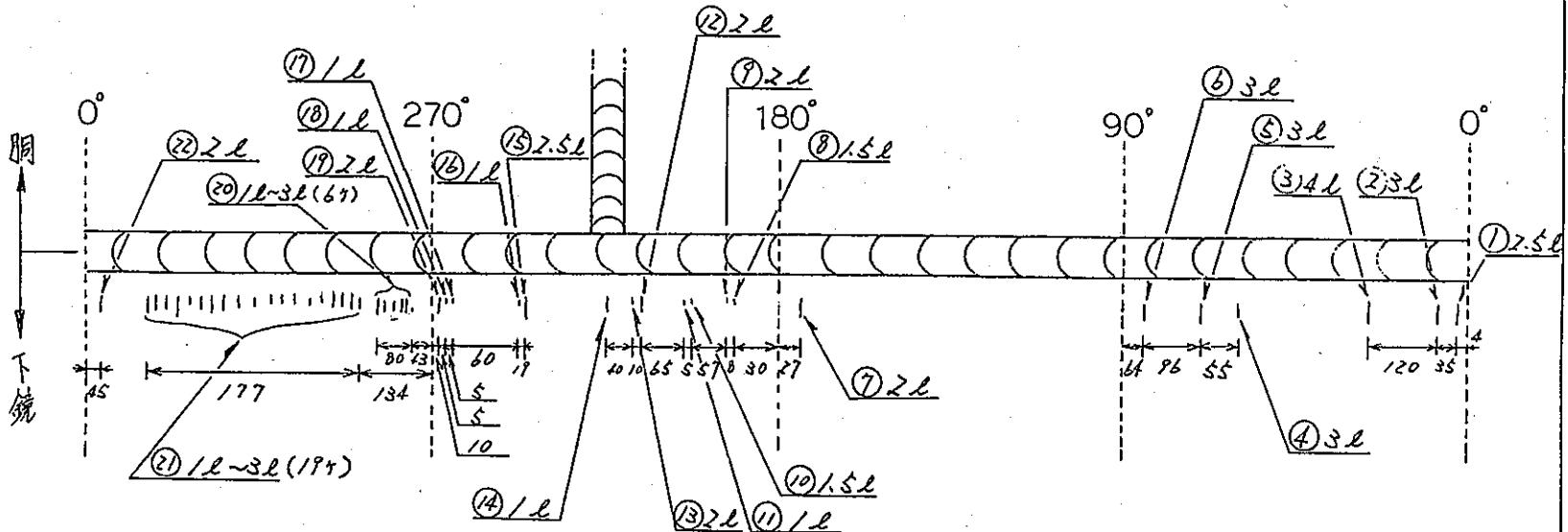


●印：測定箇所 28 箇所を示す。

図A-5-1 滅張タンク 超音波肉厚測定位置と結果

膨張タンク肉厚測定箇所

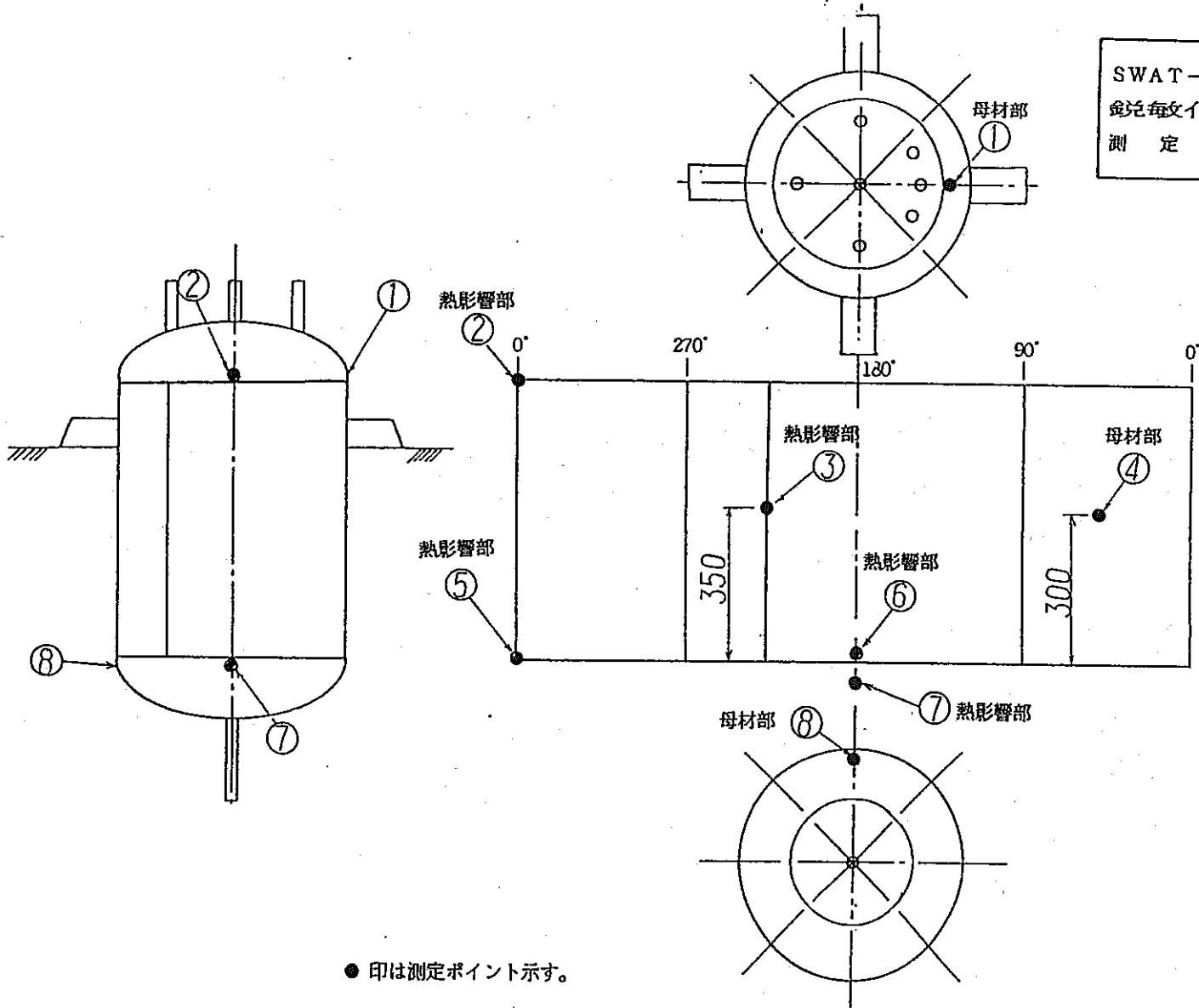
液体浸透探傷試験結果図



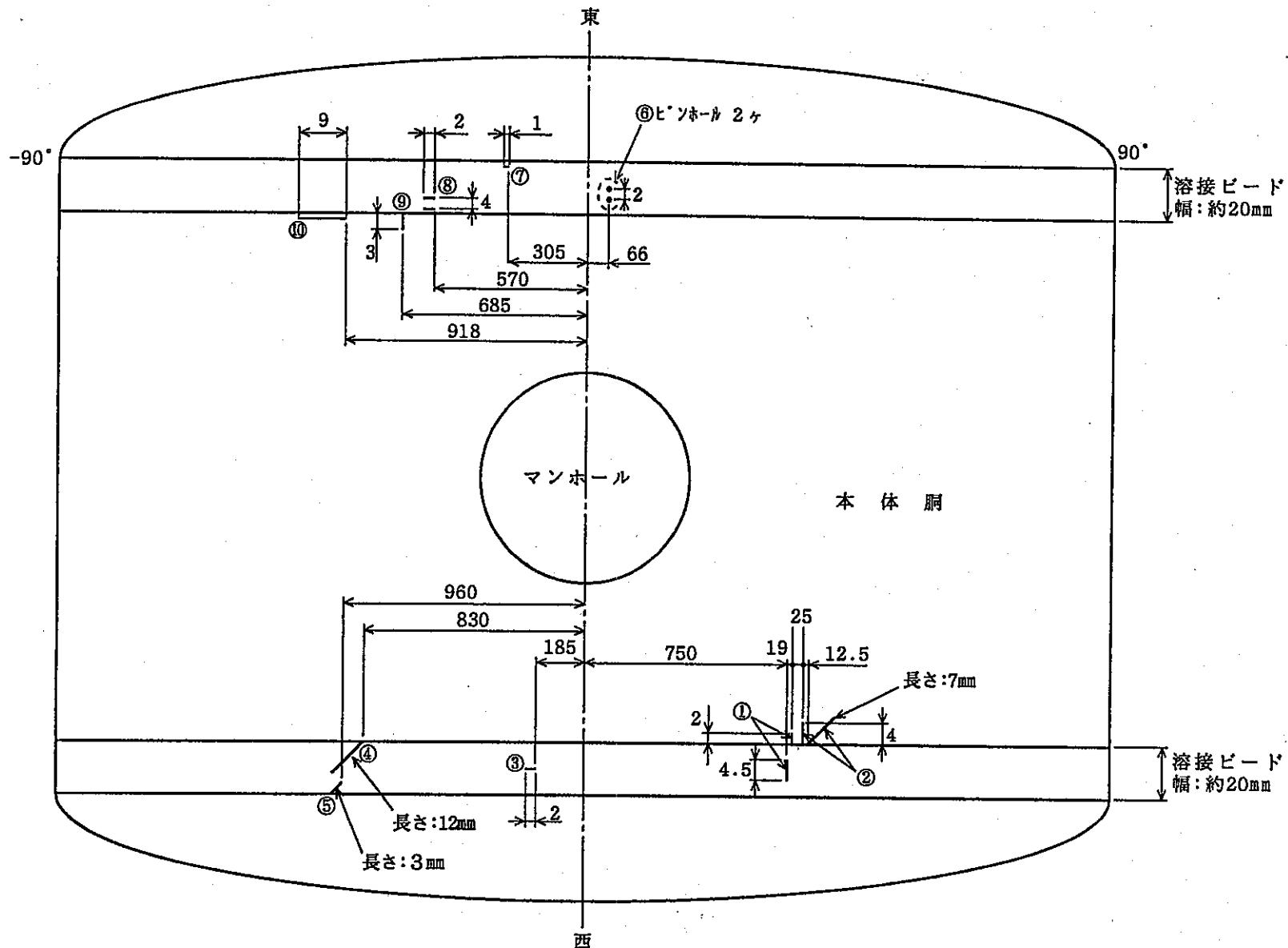
*欠陥位置は溶接部際より下鏡方向に3mm~4mmの位置

図A-5-2 膨張タンク 液体浸透探傷検査結果

SWAT-3 膨張タンク
金属性イヒ度測定位置
測 定 位 置 図



図A-5-3 膨張タンク 鋭敏化度測定位置



図A-6-1 ダンプタンク 液体浸透探傷検査結果