ＪＮＣ　ＴＮ8410　2002－007

蒸発缶内部点検報告書（Ⅰ）
（技術報告）

２００２年７月

核燃料サイクル開発機構

東海事業所

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村松４番地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)
2002

ＪＮＣ　ＴＮ8410　2002－007
２　０　０　２　年　　７　月

蒸発缶内部点検報告書（Ⅰ）
（技術報告）

星野　昌人*1
村山　保美*1
芳中　一行*1
茂垣為佐男*2

要　　旨

廃溶媒処理技術開発施設（ＳＴ施設）は、昭和 61 年 2 月の運転開始以降 15 年が経過しており、経年変化を考慮した機器の点検が必要な時期にきている。ＳＴ施設に設置されている機器類のうち、リン酸廃液を蒸発濃縮する蒸発缶は、処理廃液の特殊性及び蒸気加熱という運転面を考慮すると、使用条件の厳しい機器である。そのため、経年変化の確認の対象機器として本蒸発缶を選定し、内部点検を実施することとした。

本蒸発缶については、供用期間中の検査として外観検査、自主検査として肉厚測定、浸透探傷試験及び超音波探傷試験をそれぞれ定期的に実施し、その健全性を確認している。今回、経年変化の確認として、従来からの検査に加えて、蒸発缶内のカランドリア加熱部の健全性を確認するため、内部点検を実施した。主な要旨は以下のとおりである。

① 内部点検方法を検討するため、蒸発缶の仕様及び現在までに実施した検査実績を整理した。その結果をもとに、加熱用カランドリア管の溶接部について、外観検査及び蛍光浸透探傷試験を実施する計画を立案し、蒸発缶内部の検査装置を設計した。
② 検査装置は、ＣＣＤカメラによる外観観察が可能な装置であり、一部改造を行えば、蛍光浸透探傷試験も実施可能なように設計した。
③ 蒸発缶予備ノズルを改造し、検査装置を挿入できるようにした。
④ 本検査装置により蒸発缶のＣＣＤカメラによる内部観察を実施し、その画像から、カランドリア加熱部が健全であることを確認した。

なお、今後は、検査装置を改造した上で、蛍光浸透探傷試験法による検査を実施し、カランドリア加熱部の溶接部の健全性を詳細に確認する計画としている。

＊ 1　再処理センター　環境保全部　処理第二課
＊ 2　原子力技術㈱

Report of inspection about an evaporating vessel（Ⅰ）
(Technical Document)

Masato Hoshino*
Yasumi Murayama*
Kazuyuki Yoshinaka*
Isao Mogaki**

Abstract

It passed fifteen years from February 1986, hot operation had been started at Solvent Waste Treatment Demonstration Facility (ST). It has come when it has been necessary to inspect equipments, because they are old.

The evaporator of phosphoric waste is the severest equipment in ST, from the viewpoint of corrosion. The condition is included phosphoric acid waste, and heated by steam for running. So, we chose the evaporator for inspection of inside.

We had already inspected appearance of the evaporator as ISI(in service inspection), measuring thickness and the examination for seeking a crack by PT (Penetrate Testing)and supersonic waves had been carried out. We confirmed it had no damage.

In this paper, we reported the special inspection. We inspected the heating part inside of the evaporator of calandria tube in order to search any damage.

The abstract is as follows.

① In order to decide inspection technique, we put together actual result about specification and past inspection. We planed inspection of observation appearance and examination for seeking a crack on heating part by PT (Penetrate Testing).
We designed inspectional device for the inside of an evaporator of calandria tube.

② Designed inspectional device is able to inspect an appearance by CCD camera. If it is reconstructed partly, it will be able to do PT (Penetrate Testing).

③ We reconstructed the reserve nozzle with changing the closed plug to the flange in order to insert inspectional device to inspect inside of the evaporator of calandria tube.

④ We inspected inside of the evaporator of calandria tube by this inspectional device, and confirmed it had no damage inside too.

Moreover, we will reconstruct inspectional device, inspect for seeking a clack by PT (Penetrate Testing), and confirmation healthiness of heating point more quantitative.

---

* Tokai Reprocessing Center Waste Management Division Waste Condition Section
**Nuclear Technology & Engineering Co. LTD

目　　次

１．はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

２．蒸発缶の使用実績とその腐食環境　・・・・・・・・・・・・・・・・3
　２．１　蒸発工程の概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
　２．２　蒸発缶の運転実績と腐食環境　・・・・・・・・・・・・・・3

３．蒸発缶検査技術の開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
　３．１　検査技術の開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
　　３．１．１　検査技術　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
　　３．１．２　要素試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
　　３．１．３　モックアップ試験　・・・・・・・・・・・・・・・・11
　　３．１．４　検査方法の設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・16
　３．２　検査装置の設計製作　・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
　　３．２．１　設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
　　３．２．２　製作　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
　３．３　予備ノズルの改造　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
　　３．３．１　設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
　　３．３．２　改造工事　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

４．蒸発缶内部点検　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　４．１　概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　４．２　モックアップ試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　　４．２．１　試験要領　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　　４．２．２　試験状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　４．３　内部点検の実施　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　　４．３．１　点検方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
　　４．３．２　点検結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
　　４．３．３　問題点　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41

５．おわりに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・64

６．添付資料（過去の検査実績）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65
６．１　供用期間中の検査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65
６．２　自主検査（非破壊検査）　・・・・・・・・・・・・・・・・・65
６．２．１　概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65
６．２．２　肉厚測定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65
６．２．３　浸透探傷試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・66

図目次

図２．１　蒸発缶概要図　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５
図３．１　試験器具設置条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
図３．２　モックアップ試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・28
図３．３　蒸発缶内部の検査範囲　・・・・・・・・・・・・・・・・29
図３．４　蒸発缶内部点検システム　・・・・・・・・・・・・・・・30
図３．５　検査装置（全体）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
図３．６　検査装置（カメラボックス）　・・・・・・・・・・・・・32
図３．７　検査装置（ヒンジ部）　・・・・・・・・・・・・・・・・33
図３．８　検査装置（調整部）　・・・・・・・・・・・・・・・・・34
図３．９　システム構成図　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
図３．１０　予備ノズル改造図　・・・・・・・・・・・・・・・・・36
図３．１１　ハードロックナット概要　・・・・・・・・・・・・・・37
図４．１　モックアップ試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・42
図４．２　ＣＣＤカメラによる観察状況（モックアップ）　・・・43
図４．３　検査装置全体組立図　・・・・・・・・・・・・・・・・・44
図４．４　設計及び工事における管故障の状況　・・・・・・・・・45
図４．５　蒸発缶内部点検結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・46
図４．６　予備ノズル内部　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・63
図６．１　蒸発缶（３２８Ｅ４５）の健全性検査説明図　・・・・71
図６．２　肉厚測定方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・72
図６．３　探触子操作範囲及び走査方向　・・・・・・・・・・・・72
図６．４　肉厚測定結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・73
図６．５　浸透探傷試験の基本操作　・・・・・・・・・・・・・・・74
図６．６　斜角探傷試験とその図形　・・・・・・・・・・・・・・・74
図６．７　ＲＢ－４　Ｎｏ．１を使用して感度設定　・・・・・・・74
図６．８　基準領域設定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・75

表目次

表１．１　蒸発缶内部点検の全体工程表　・・・・・・・・・・・・・２
表２．１　リン酸ソーダの溶解度　・・・・・・・・・・・・・・・３
表２．２　蒸発缶運転実績　・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
表２．３　NaH_2PO_4溶液の SUS316L 材の腐食速度測定結果　・・３
表３．１　分析試験結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
表３．２　前処理条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
表３．３　試験条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
表３．４　検査廃液の成分　・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
表３．５　蒸発缶予備ノズル　・・・・・・・・・・・・・・・・・27
表６．１　供用期間中の検査の実績　・・・・・・・・・・・・・・69
表６．２　検査液の仕様　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・70

写真目次

写真３．１　ＺＬ－６０Ｄ探傷剤による傷識別試験結果　・・・・38
写真３．２　溶接部の傷識別試験結果　・・・・・・・・・・・・・39
写真６．１　蒸発缶外観　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・76
写真６．２　ＰＴ実施状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・78

１．はじめに

廃溶媒処理技術開発施設（以下ＳＴ施設という）は、昭和 61 年 2 月に運転を開始し、以降 15 年が経過した。ＳＴ施設では再処理施設で唯一リン酸を取り扱っており、経年変化に対応した機器の点検が必要な時期にきていると考えられる。そこで経年変化の状況（内部の腐食状況）の確認を行うことにした。経年変化を確認する対象機器として、リン酸廃液を蒸発濃縮する蒸発缶を選定し、従来から実施している検査に加えて、より詳細な点検を実施することとした。

蒸発缶を選定した理由は以下のとおりである。

① 処理廃液が、再処理施設で例のない、高濃度のリン酸塩溶液である。
② ＳＴ施設で唯一、蒸気により加熱して運転している。
③ 過去にＰＷＲにおいて、リン酸塩の濃縮により蒸気発生器伝熱管の応力割れが発生した情報がある。

本検査に係わる全体の工程表を表１．１に示す。平成８年度に検査技術のＲ＆Ｄを開始して以降、アスファルト固化処理施設の火災爆発事故による約２年間の中断はあったが、当初計画したとおり、約３年間で内部点検（外観観察）を実施することができた。なお、実機による浸透探傷試験は来年度以降に実施を予定している。

表１．１　蒸発缶内部点検の全体工程

項目	平成８年度	平成９年度		平成 12 年度		平成 14 年度以降
１．検査技術の開発	━━━					
２．検査装置の設計製作		━━━				
３．予備ノズルの改造				9月～10 月 ■		
４．蒸発缶内部点検				3/12～16		
（1）モックアップ試験				■		
（2）内部点検				3/19～23 ■		
（3）浸透探傷試験						┅┅┅

２．蒸発缶の使用実績とその腐食環境

検査対象の蒸発缶の使用環境について以下に述べる。

２．１　蒸発工程の概要

廃溶媒のリン酸抽出により発生した廃液をｐＨ4.5 に調整し、NaH_2PO_4の化学形態としたリン酸塩溶液を本蒸発缶で濃縮している。通常の運転において、濃縮度は約５倍、塩濃度は約 600ｇ/ℓ と高濃度に濃縮している。また、現在までの運転時間は約 1500 時間である。

蒸発缶の型式としては、ＳＴ施設ではカランドリア型循環式である（図２．１参照)。

なお、カランドリア型循環式の蒸発缶は通常、加熱管の取り替え、管内の掃除が容易ではないためスケールのあまりつかない液、比較的腐食の少ない液の蒸発に用いられる。

２．２　蒸発缶の運転実績と腐食環境

ＳＴ施設の蒸発缶は、リン酸塩が缶内で析出しないうようにきるだけリン酸塩の溶解度の高いｐＨ領域、すなわちNaH_2PO_4（ｐＨ～４．５）で運転する設計になっている。NaH_2PO_4及びNa_2HPO_4の溶解度を表２．１に示す。

運転終了時には塩が析出管板に沈積しないように濃縮液がまだ冷え切らない状態で、蒸発缶から抜き出し廃液中間貯槽（Ｖ４３）に送液を行ってきた。加えて、ＰＷＲの蒸気発生器でリン酸ソーダ溶液（$PO_4$20～40ppm）を約２８０℃の高温で蒸発濃縮、リン酸ソーダが局部濃縮されたことに伴い伝熱器母材インコネル６００の局部減肉現象を生じたことが報告[※1]されているので、本施設の運転に当たっては誤操作により蒸発缶の空沸きをしてリン酸ソーダの局部濃縮が生ずることがないように配慮して運転してきた。

現在までの蒸発缶運転実績は表２．２のとおりである。

設計段階での検討において、オーステナイトステンレス鋼のリン酸ソーダ(NaH_2PO_4)に対する耐食性に関するデータは少ないため、実際にＳＴ施設の使用条件下におけるＳＵＳ３１６ＬのNaH_2PO_4に対する腐食速度を測定する耐食性試験を実施した。

試験の結果、受入材及び熱処理材の腐食速度は、気相部，液相部及び界面部においてともに、０．０１ｍｍ／ｙ以下と優れた耐食性を示している。(表２．２参照)

したがって、１５年経過しており条件下での腐食の程度は０．１５ｍｍ未満と予想される。

※1　三菱重工技報　Vol.14　No.6, p28～34
高温リン酸ソーダ溶液中におけるインコネル６００合金の腐食挙動に関する研究

表２．１　リン酸ソーダの溶解度

	溶　解　度　（g／H_2O　100 g）							
	0℃	20℃	25℃	30℃	40℃	60℃	80℃	100℃
NaH_2PO_4（pH～4.5）	36.5	46.0	48.7	51.6	58.5	64.0	67.5	71.0
Na_2HPO_4（pH～ 9）	1.6	7.2	10.6	17.1	34.5	45.3	48.3	50.8
Na_3PO_4　（pH～12）	5.1	－	12.7	－	18.9	31.6	－	－

表２．２　蒸発缶運転実績

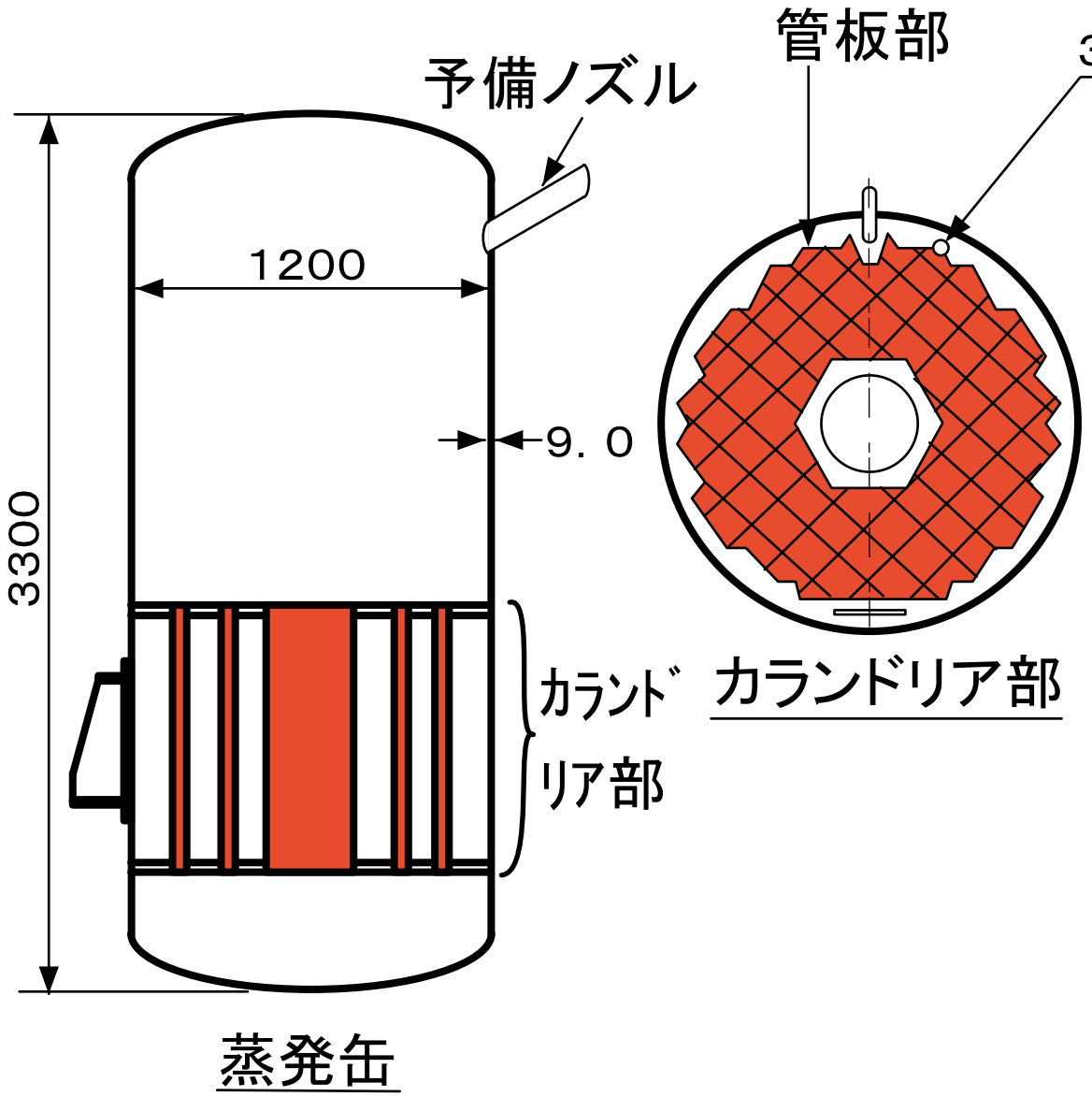
年度	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5
処理量		69.6	77.2	81.81	62.4	41.7	43.4	35.31
年度	H6	H6	H8	H9	H10	H11	H12	H13
処理量	25.99	31.6					1.23	

単位：m^3

表２．３　NaH_2PO_4溶液のＳＵＳ３１６Ｌ材の腐食速度測定結果

試験片の位置	耐食速度（mm／y）	
	受　入　材	熱処理材 (※)
気　相　部	０．００ ０．００	０．００ ０．００
液　相　部	０．０１ ０．００	０．０１ ０．００
界　面　部	０．００ ０．０１	０．００ ０．０１

試験条件：NaH_2PO_4　650 g/ℓ含有溶液を１００℃で９６時間加熱
(※) 熱処理材は溶液部の腐食速度を見るために、６５０℃で２時間加熱したものを使用



設　計　条　件		
流　体　名	蒸 気 （胴 側）	ﾘﾝ酸塩溶液 （管側）
最高使用圧力 Mpa	0.3	0.18
最高使用温度 ℃	150	
腐 食 しろ mm	1．0	2．0
材　　質	SUS316L	

図2．1　蒸発缶概要図

３．蒸発缶検査技術の開発

蒸発缶の内部点検実施のため、検査装置の開発を実施した。以下にその内容を示す。

３．１　検査技術の開発

３．１．１　検査技術

内部検査技術として、ＪＩＳ（ＪＩＳ　Ｚ　２３４３浸透探傷試験方法及び欠陥指示模様の等級分類）に規定されている、蛍光浸透探傷試験を採用することとした。本方法を採用した理由は以下の通り。

① 廃液組成（ｐＨ４，NaH_2PO_4）及び２回の非破壊検査の結果から、蒸発缶の母材（SUS316L）の減肉の可能性は少ない。

② 蒸発缶の健全性検査としては、外部からの非破壊検査より、内部カランドリア部の溶接箇所の応力腐食割れについて確認することが重要である。

③ 蛍光浸透探傷試験では、ノズルから遠隔で検査実施すること、及び外部から健全性を確認することが可能である。

３．１．２　要素試験

⑴ 試験項目

蛍光浸透探傷試験により、ＪＩＳB 形試験片にて評価が可能である深さ　３０μｍ程度のキズを遠隔により判別できる検査技術を開発することを目的として要素試験をおこなった。試験項目は以下の通りである。

① 探傷剤の比較試験　　→各種探傷剤の性能調査

② キズ深さ検出性能評価　→識別できるキズの深さの確認

③ 探傷剤の成分確認　　→有害廃液発生の有無の確認

⑵ 試験内容

① 探傷剤の性能評価

（ａ）５種類の水洗性蛍光浸透探傷剤について、ＪＩＳA型標準試験片を使用しキズの識別度の比較試験を行った。

（ｂ）比較参考例として染色浸透探傷剤について試験を行った。（但し、本書への試験手順、条件等の記載は省略した。）

② キズ深さ検出性能評価

（ａ）５種類の水洗性蛍光浸透剤について、キズ深さを変えたＢ型標準試験片を３種類使用しキズ深さの識別度の比較試験を行った。

（ｂ）比較参考例として染色浸透探傷試験を行った。（但し、本書への試験手順、条件等の記載は省略した。）

③　探傷剤の成分確認

選定した探傷剤について、原液及び試験廃液のハロゲン，油分，ＣＯＤ等の濃度の分析を行った。

⑶　試験手順

試験は以下の手順に従い実施した。

①　探傷剤の性能評価

（ａ）Ａ型標準試験片をアルコール系の洗浄液により前処理洗浄を行う。

（ｂ）水洗性蛍光浸透剤を塗布し浸透させる。

（ｃ）水道水により乾燥処理を行う。

（ｄ）熱風ドライヤーにより乾燥処理を行う。

（ｅ）暗室にて試験片に紫外線を照射する。この際、紫外線強度は1500μW／cm^{2}とする。

（ｆ）ＣＣＤカメラにより、モニタ上で試験片を観察しビデオに録画する。

（ｇ）録画した試験片の映像をビデオプリンタで出力する。

（ｈ）目視により水洗性蛍光浸透剤ごとの比較評価を行う。

②　キズ深さ検出性能評価

（ａ）Ｂ型標準試験片（３種類）をアルコール系の洗浄液により前処理洗浄を行う。

（ｂ）水洗性蛍光浸透剤を塗布し浸透させる。

（ｃ）上記と同様の手順により、比較評価を行う。

③　探傷剤の成分確認

（ａ）決定した水洗性蛍光浸透剤を純水で希釈する。

（ｂ）ハロゲンの含有量，油分，ＣＣＤの濃度を分析する。

⑷　試験器具

①　探傷剤

（ａ）水洗性蛍光浸透剤　（マグナフラックス社製）

以下の５種類

・ＺＬ－１５Ｂ　　：蛍光輝度　１／２
・ＺＬ－１９　　：蛍光輝度　１
・ＺＬ－６０Ｄ　　：蛍光輝度　２
・ＺＬ－６７　　：蛍光輝度　３
・ＺＬ－５６　　：蛍光輝度　４

（ｂ）染色浸透探傷剤　　：ＩＫＳチェックエース

（ｃ）洗浄液（前処理用含む）　：アルコール洗浄液，純水，水道水

②　試験片

（ａ）Ａ型標準試験片：ＪＩＳ　Ｚ２３４３－１９９２

・Ａ００５

（ｂ）Ｂ型標準試験片：ＪＩＳ　Ｚ２３４３－１９９２

以下の３種類

・B50A,B（メッキ厚さ 50μｍ，メッキ割れ幅目標値 2.5μｍ）
・B30A,B（メッキ厚さ 30μｍ，メッキ割れ幅目標値 1.5μｍ）
・B10A,B（メッキ厚さ 10μｍ，メッキ割れ幅目標値 0.5μｍ）

③　観察器

（ａ）ブラックライト：SUPER－LIGHT　D－10　　(ﾏｰﾃｯｸ製)
（ｂ）CCD カメラ　：IK－UM40　　(東芝製)
（ｃ）モニタ(15 ｲﾝﾁ)：P15CS04　　(東芝製)
（ｄ）ビデオ(VHS)　：A－BS37　　(東芝製)
（ｅ）ビデオプリンタ：UP－5000　　(ソニー製)
（ｆ）紫外線強度計　：UVX　DIGITAL　RADIOMETER　　(ＵＰＶ製)
（ｇ）その他　　：固定用スタンド，スケール，ストップウォッチ等

④　その他

（ａ）ドライヤー　　：HEATING　GUN　　(白光製)
（ｂ）その他　　：廃液回収容器，ウエス等

⑸　試験条件

性能評価の試験条件を以下に示す。

①　試験場所の温度　：２４℃
②　浸透剤温度　　：２０℃
③　浸透剤塗布方法　：刷毛塗り法
④　浸透時間　　：１０分
⑤　洗浄剤温度　　：１８℃
⑥　洗浄圧　　：約0.5ｋｇｆ／ cm^2
⑦　洗浄時間　　：１分
⑧　乾燥温度　　：約２００℃
⑨　乾燥時間　　：約３分
⑩　紫外線強度　　：1500μｗ／cm^2
⑪　カメラ距離　　：120mm
⑫　設置条件　　：図３．１の通り

⑹　試験結果

①　探傷剤の選定

試験の結果以下の理由により、最適な探傷剤としてＺＬ－６０Ｄを選定した（ＺＬ－６０Ｄの試験結果を写真３．１に示す)。

（ａ）ＺＬ－１５Ｂ　：蛍光輝度１／２
Ａ型標準試験片キズ判別可能
Ｂ型標準試験片キズ判別不可能

（ｂ）ＺＬ－１９　：蛍光輝度１
Ａ型標準試験片キズ判別可能
Ｂ型標準試験片キズ深さ50μｍ

（ｃ）ＺＬ－６０Ｄ　：蛍光輝度２
Ａ型標準試験片キズ判別可能
Ｂ型標準試験片キズ深さ30μｍ

（ｄ）ＺＬ－６　：蛍光輝度３
Ａ型標準試験片キズ判別可能
Ｂ型標準試験片キズ深さ30μｍ

（ｅ）ＺＬ－５６　：蛍光輝度４
Ａ型標準試験片キズ判別可能
Ｂ型標準試験片キズ深さ30μｍ

水洗性蛍光浸透剤は、蛍光輝度が上がる程、洗浄性が悪くなるため、目的のキズ深さ（30μｍ）が判別可能な探傷剤のうち蛍光輝度の最も低いＺＬ－６０Ｄを選定した。なお、次のモックアップ試験では、浸透処理，洗浄処理，乾燥処理の条件が制限される可能性があるため、複数の探傷剤を選定する必要がある。そのため、目的のキズ深さ（30μｍ）は写真では判別不可能であったが、モニタ上では判別することができたＺＬ－１９についてもモックアップ試験で使用することとした。

② 探傷剤の成分確認と廃液処理の検討

検査で使用した探傷剤は、リン酸廃液へ入ることになる。このため廃液処理が可能かどうか確認するため、その成分の調査（分析）を実施した。詳細は表３．１に示す。なお、実際の使用にあたっての濃度評価等については、「３．１．４　検査方法の設計」に示す。

（ａ）分析試験結果

表内の廃液は、現液10mℓ，1000mℓ　により希釈したものである。

（ｂ）各項目の分析方法

・原液の硫黄，フッ素，塩素：ボンベを用い加圧酸素中で燃焼し，発生ガスを吸収液に吸収させボンベ内洗浄液とあわせて、Ｓ，Ｆ，Ｃｌ水溶液としてイオンクロマト分析を実施した。

・廃液の硫黄，フッ素，塩素：廃液中の油分をヘキサンで抽出除去後、水中のＳ，Ｆ，Ｃｌをイオンクロマト分析を実施した。

・原液，廃液の油分　：原液は、廃液とも純水で希釈（倍率×1000）廃液は、そのままヘキサン抽出量として分析した。

・原液，廃液のＣＯＤ　：原液，廃液とも純水で希釈し（ＣＯＤ濃度が分析できる程度）ＣＯＤを分析定量した。

希釈倍率　原液　2000倍

廃液　　10倍

３．１．３　モックアップ試験

実機での適用が可能かどうか遠隔操作性を確認するためモックアップ試験を実施した。以下にその内容を示す。

⑴　試験項目

要素試験で選定した蛍光浸透探傷剤を使用し、実際の蒸発缶の内部検査を想定した。本試験では、図３．２に示す蒸発缶と同一スケールの試験装置を製作し、必要となる以下の試験項目を確認することとした。

①　前処理（装置内の析出物の除去）方法の決定
②　蛍光浸透探傷試験方法の決定
③　カランドリア管板部溶接箇所の指示模様識別
④　内部観察機材の決定

⑵　試験内容

①　前処理方法の決定

蒸発缶の運転後には純水により蒸発缶内の洗浄及び水張りを行っているが、濃縮されたリン酸塩溶液は塩濃度 600ｇ/ℓ と高濃度なため検査面に塩の析出があることも考えられ、装置の検査対象箇所に塩の析出があった場合は十分な検査が実施できない。そこで、析出した塩を洗浄除去する方法を確立するための試験を以下の手順で実施した。

（ａ）モックアップ試験装置をセットし、塩（NaH_2PO_4）,油分（ドデカン）を付着乾燥させた後、前処理を実施した。塩と油分については付着状況を変化させた。

（ｂ）以下に示す各条件を変化させ前処理を実施した。

・前処理剤の噴射圧力及び噴射時間（前処理剤の液量）
・前処理剤のノズル設置角度
・前処理剤の噴射ノズル形状

（ｃ）前処理後、②『蛍光浸透探傷試験方法の決定』により決定した蛍光浸透探傷試験を実施した。

（ｄ）②『蛍光浸透探傷試験方法の決定』の結果との比較により、付着物の除去状況を確認し、前処理方法を決定した。

② 蛍光浸透探傷試験方法の決定

（ａ）モックアップ試験装置に試験片をセットし蛍光浸透探傷試験を実施した。

（ｂ）以下に示す各条件を変化させ蛍光浸透探傷試験を実施した。（表３．３参照）

・浸透剤の種類
・浸透剤の噴射圧力及び噴射時間（浸透剤の液量）
・浸透時間
・洗浄剤の噴射圧力及び噴射時間（洗浄剤の液量）
・浸透剤及び洗浄剤のノズル設置角度
・浸透剤及び洗浄剤の噴射ノズル形状

（ｃ）比較参考例として染色浸透探傷試験を実施した。
（本書への試験手順，試験条件の記載は省略した。）

（ｄ）試験実施後の試験片を内部観察機材で観察できることを確認し、蛍光浸透探傷試験方法を決定した。

③ カランドリア管板部溶接箇所の指示模様識別

上記の試験結果により、カランドリア管板部溶接箇所付近のキズ指示模様識別と溝部の影響を確認した。

④ 内部観察機材及び条件決定

（ａ）①『前処理方法の決定』及び②『蛍光浸透探傷試験方法の決定』の試験結果は、実際の内部点検システムを想定し決定した内部観察機材により観察した。

（ｂ）実際の検査装置を想定し、カメラ，ブラックライト設置角度を変化させ観察を実施した。

⑶ 試験手順

各試験手順を以下に示す。

① 前処理方法の決定

（ａ）モックアップ試験装置に試験片をセットする。
（ｂ）試験片に塩（NaH_2PO），油分（ドデカン）を付着させる。
（ｃ）前処理剤で洗浄後、温風で乾燥させる。
（ｄ）浸透剤を検査対象部に吹付け、浸透させる。
（ｅ）洗浄剤で洗浄後，温風で乾燥させる。
（ｆ）モックアップ試験装置を暗幕で覆い、検査対象部に紫外線を照射する。
（ｇ）検査対象部をＣＣＤカメラで撮影したモニタ上で観察する。
（ｈ）モニタ上で画面をビデオプリンタでプリントする。
（ｉ）後処理剤で洗浄後、温風で乾燥させる。

② 蛍光浸透探傷試験方法の決定

（ａ）モックアップ試験装置に試験片をセットする。

（ｂ）前処理剤で洗浄後、温風で乾燥させる。

（ｃ）浸透剤を検査対象部に吹付け、浸透させる。

（ｄ）洗浄剤で洗浄後，温風で乾燥させる。

（ｅ）モックアップ試験装置を暗幕で覆い、検査対象部に紫外線を照射する。

（ｆ）検査対象部をＣＣＤカメラで撮影したモニタ上で観察する。

（ｇ）モニタ上で画面をビデオプリンタでプリントする。

（ｈ）後処理剤で洗浄後、温風で乾燥させる。

③ カランドリア管板部溶接箇所の指示模様識別

上記②の各試験片の試験結果を比較評価する。

④ 内部観察機材及び条件決定

内部観察機材により上記①，②の試験片の試験結果を観察できることを確認する。

⑷ 試験器具

① モックアップ試験装置　：図３．２　モックアップ試験装置参照

② 探傷剤

（ａ）水洗性蛍光浸透剤

・ＺＬ－１９　：蛍光度　１　(MAGNAFLEX 社製)

・ＺＬ－６０Ｄ　：蛍光度　２　(MAGNAFLEX 社製)

・ＺＬ－６７　：蛍光度　４　(MAGNAFLEX 社製)

（ｂ）染色性浸透探傷剤　：IKS ﾁｪｯｸｴｰｽ　(IIC 社製)

（ｃ）前処理剤　：水道水

（ｄ）洗浄剤　：水道水

（ｅ）後処理剤　：水道水，アルコール系洗浄液

③ 試験片

（ａ）Ａ型標準試験片　：№ A005　（ JIS　Z2343-1982 ）

（ｂ）Ｂ型標準試験片　：№ B50A　（ JIS　Z2343-1982 ）

：№ B30A　（ JIS　Z2343-1982 ）

（ｃ）洗浄性確認試験片　：№ PSM-5 （SHERWIN 製 ）

（ｄ）模擬試験片　：ＳＵＳ３１６Ｌ

④　観察機材

（ａ）ブラックライト：PT-6　UV ユニット　　(IIC 社製)
（ｂ）CCD カメラ　　：IK－UM40　　(東芝製)
（ｃ）モニタ(15 ｲﾝﾁ)　：P15CS04　　(東芝製)
（ｄ）フィルタ　　：Y2 フィルタ，UV フィルタ　　(ｹｲｺｰ製)
（ｅ）ビデオ(VHS)　：A－BS37　　(東芝製)
（ｆ）ビデオプリンタ：UP－5000　　(ｿﾆｰ製)
（ｇ）紫外線強度計　：UVX　DIGITAL　RADIOMETER　(PUV 製)
（ｈ）その他　　：固定用スタンド，スケール，ストップウォッチ等

⑤　その他

（ａ）噴射器具　　：圧力計，ホース，ノズル，容器等
（ｂ）洗浄剤噴射器具　　：圧力計，ホース，ノズル，容器等
（ｃ）乾燥エアー噴射器具　　：ドライヤー等
（ｄ）その他　　：暗幕，スタンド，回収容器，ウエス等

(5)　試験結果

①　前処理方法の決定

試験片にリン酸廃液を模擬した塩（NaH_2PO_4）を付着させた洗浄試験の結果、表３．２の条件で塩を除去できることを確認した。

また以下の手段により、高い洗浄効果が得られると考えられる。

（ａ）前処理剤は、常温の水道水で問題なかったが、温水であればさらに洗浄効果があると考えられる。

（ｂ）また使用した試験設備では、噴射圧力は 4kgf/cm^2 が限界であったが、さらに高圧にすることで、より洗浄効果が上がると考えられる。

②　蛍光浸透探傷試験方法の決定

遠隔操作により蒸発缶内部カランドリア部を本試験により確認する。方法として、表３．３に示す試験条件を確認した。

また以下の知見が得られた。

（ａ）浸透時間は、20min かかっているが、要素試験の結果より実際の蒸発缶内部の温度が 20℃近くあれば 10min 程度でも同様の識別結果になるものと考えられる。

（ｂ）本試験に使用したブラックライトは、実際の検査装置に装着するもので要素試験に使用したものとはサイズ，光源の特性等が異なるため、同距離での照射中心部での紫外線強度は強いが、有効範囲は狭くなっている。

さらにカメラ，ブラックライトの設置条件等が異なる為、設置角度によっては光源の反射が影響し、要素試験と本試験の結果を比較すると、本試験結果の方がキズ指示模様の識別できる範囲が狭くなっている。

その状況は、深さ 30,50μｍの微細な割れの入っているＢ型標準試験片の結果で特に良く確認できる。

実際の検査において検査面に微細なキズが発生している場合、要素試験と同等程度の範囲で観察するためには、画像を確認しながら観察方法をずらす必要がある。

③　カランドリア管板部溶接箇所の指示模様識別

（ａ）カランドリア管板部溶接箇所の検査で必要な 50°から 80°までのノズル設置角度において、深さ 30μｍ以上のキズ指示模様を識別できることを確認した。

（ｂ）溶接により製作した模擬試験片を使用した水洗性蛍光浸透探傷試験では、小さな点の形で指示模様が確認された。この指示模様は染色性浸透探傷試験結果でも確認されており、溶接余盛部の凹凸が激しいために現れたキズ指示模様であると考えられる。（写真３．２参照）

（ｃ）実際の蒸発缶内部カランドリア管板部溶接箇所の表面状態は不明であるが、検査表面のキズ指示模様は判別できると予想される。

④　内部観察機材の決定

モックアップ試験の結果、上記(4)に示す内部観察機材で蒸発缶の内部点検ができることを確認した。実際の検査装置の設計にあたって本知見を反映させることとする。

３．１．４　検査方法の設計

前述の要素試験及びモックアップ試験の結果をふまえて、蒸発缶内部点検のため、水溶性蛍光傷試験法による検査システム及び検査手順に関する設計を実施した。

⑴ 設計条件

① 検査範囲　：図３．３に蒸発缶内部カランドリア管板部の検査範囲を示す。

② 検査時間　：溶接１箇所につき約２hr 以内。

③ キズ判別性　：深さ 30μｍ，幅 1.5μｍ程度のキズを判別できるものとする。

④ 発生廃液容量　：溶接部１箇所に検査で発生する廃液容量は、試験結果が 5603mℓ であったため、6000mℓ 以下にする。

発生廃液の成分，廃液処理のための希釈等については本設計書「(4)発生廃液の成分」に記載する。

⑤ ユーティリティ

（ａ）電源　：ＡＣ100Ｖ，ＡＣ200Ｖ

（ｂ）圧縮空気　：7kgf／ｃｍ^2

⑥ 使用環境

（ａ）温度　：10～60℃

（ｂ）湿度　：70%以下　但し、結露のないこと

⑵ システム構成

図３．４にシステム構成図を示す。

各システム構成機器類の仕様を以下に示す。

① 検査装置は、内部観察機材及び探傷剤等の供給ノズルが一体となった簡易型で蒸発缶の健全性観察ノズルより挿入し固定する。挿入量の調整，回転量の調整及び中間に設けた１軸の関節の角度調整により、任意の検査対象部へ移動させる。各調整は全て手動により行う。

検査装置の組立図を図３．５～図３．８に示す。

（ａ）主要構成部及び機能

検査装置の主要構成部品及び機能を以下に示す。

・固定部　：検査装置を健全性観察ノズルに固定する。
・挿入量調節部　：蒸発缶内部への挿入量を調整できる。ロック機能付き。
・旋回調整部　：回転量を調整できる。ロック機能付き。
・角度調整部　：関節の角度を調整できる。ロック機能付き。
・CCD カメラ　：IK-UM40　（東芝製）
・ブラックライト　：PT-6 UV ﾕﾆｯﾄ　（ＩＩＣ製）
・浸透剤ノズル　：水溶性蛍光浸透剤を噴出する。
・洗浄剤ノズル　：洗浄剤を噴出する。
・エアブロウノズル　：温風を吹き付ける。
・その他　：ｴｱﾎｰｽ,電源ｹｰﾌﾞﾙ等

（ｂ）仕様

検査装置の仕様を以下に示す。

・外形寸法　：挿入部φ60mm以下、長さ 2370mm
・検査範囲　：図１参照
・材質　：外表面 SUS 材
・耐溶剤性　：ﾎｰｽ類は、耐溶剤性を有する。
・耐熱性　：構成部品は、耐熱性を有する。
・防滴構造　：防滴構造とする。
・脱落防止処理　：ﾎﾞﾙﾄ類は、脱落防止処理を施す。
・ユーティリティ　：電源 AC100Ｖ，圧縮空気 7.0kgf/cm^2

②　浸透剤タンク

浸透剤タンクは、水洗性蛍光浸透液を貯蔵及び圧送する。浸透剤タンクの仕様を以下に示す。

（ａ）容量　：1000mℓ　（検体数８箇所分）
（ｂ）耐圧　：使用圧力　１kgf/cm^2
（ｃ）圧送ホース　：φ６耐熱性(80℃程度)を有すること。
（ｄ）材質　：樹脂
（ｅ）その他　：圧力計，ﾚｷﾞｭﾚｰﾀ付き

③　洗浄剤タンク

洗浄剤タンクは、前処理，洗浄処理，後処理用の水を貯蔵する。仕様を以下に示す。

（ａ）容量　　：50000mℓ　（検体数８箇所分）
（ｂ）材質　　：SUS 材
（ｃ）圧力　　：使用圧力 1.5～4.0 kgf/cm^2
（ｄ）圧送ホース　　：φ６耐熱性(80℃程度)を有すること。
（ｅ）その他　　：圧力計，ﾚｷﾞｭﾚｰﾀ付き

④　洗浄剤ポンプ

洗浄剤ポンプは、洗浄剤を圧送する。洗浄剤ポンプの仕様を以下に示す。

（ａ）吐出量　　：2500mℓ /min
（ｂ）吐出圧力　　：5 kgf/cm^2
（ｃ）ユーティリティ　　：電源 AC200

⑤　モニタ

CCD カメラによりとらえた映像を表示する。

（ａ）型式　　：P15CS04　　（東芝製）
（ｂ）ユーティリティ　　：電源 AC100V

(3)　検査手順

検査は、以下の手順及び条件により実施する

①　予備ノズル切断工事

閉止プラグにより施工されている予備ノズルをフランジ取り合いに改造する。

②　内部点検システムの準備

（ａ）各システム機器類のケーブル及びホース類を接続する。
（ｂ）電源，エアー源を投入し、各システム機器類の作動確認を行う。

③　検査装置のセット

（ａ）検査装置を健全性観察ノズルより挿入し、クランプする。
（ｂ）検査装置の挿入量，回転量，角度を調整し、先端部を検査対象箇所に向ける。

④　前処理

（ａ）前処理洗浄を行う。

・試験体の温度　　：10～60℃
・前処理剤　　：水　温度　　10～60℃
・液量　　：2500mℓ
・噴出圧力　　：４kgf/cm²
・噴射時間　　：60sec

（ｂ）乾燥処理を行う。

・温風温度　　：60℃
・乾燥時間　　：20min

⑤　浸透探傷検査

（ａ）浸透処理を行う。

・浸透剤　　：ZL-60D
・液量　　：3mℓ
・噴出圧力　　：液圧１kgf/cm²　エア圧１kgf/cm²
・噴射時間　　：3sec
・浸透時間　　：20min

（ｂ）洗浄処理を行う。

・洗浄剤　　：水　温度　　10～60℃
・液量　　：600mℓ
・噴出圧力　　：1.5kgf/cm²
・噴射時間　　：30sec
・浸透時間　　：20min

（ｃ）乾燥処理を行う。

・温風温度　　：60℃
・乾燥時間　　：20min

（ｄ）観察

モニタ上で観察を行う。

⑥　後処理

（ａ）後処理洗浄を行う。

・前処理剤　　：水　温度　　10～60℃
・液量　　：2500mℓ
・噴出圧力　　：４kgf/cm²
・噴射時間　　：60sec

（ｂ）乾燥処理を行う。

・温風温度　　：60℃
・乾燥時間　　：20min

⑷　発生廃液の成分

溶接部１箇所の検査で発生する廃液は、5603mℓ である。

[内訳]　①前処理剤　：水　2500mℓ
②洗浄剤　：水　600mℓ
③浸透剤　：ZL-60D　3mℓ（＝2.55g)
④後処理剤　：水　2500mℓ

評価試験、探傷剤の成分確認結果より、上記検査で発生する廃液中の含有ハロゲン、油分、ＣＯＤ濃度の予想値を以下の表３．４に示す。

油分の濃度をＪＮＣ規定である 50ppm 以下に押さえるためには、浸透剤 ZL-60D3mℓ に対し水 19080mℓ が必要である。

よって、発生廃液 5603mℓ を 13477mℓ の水で希釈する。これにより発生廃液総量は、19080mℓ となる。

ＣＯＤの濃度については廃液の処理に影響のないよう、県の公害防止条例に定められている 15ppm 以下に押さえる必要がある。このため、浸透剤 ZL-60D3mℓ に対し、水 79563mℓ が必要である。

よって、発生廃液 5603mℓ を 73960mℓ の水で希釈する。これにより発生廃液総量は、79563mℓ となる。

結果として、発生廃液総量はＣＯＤ濃度を検討し、79563mℓ となる。

３．２　検査装置の設計製作

３．２．１　設計

蒸発缶検査技術の成果をふまえて、実際に内部点検を実施するため、カランドリア部をＣＣＤカメラにより観察する検査装置を設計製作した。本装置は、以下の理由により、蛍光浸透探傷試験のための機能については、将来的には追加できるようにしてあるものの、今回は設置しないものとし、図３．９に示すシステムで設計することとした。

① ISI 等による健全性確認、材料の耐食性及び運転時間等から、まずカランドリア部の外観検査を行うことが、技術的に妥当と考えられる。

② アスファルト固化処理施設の火災爆発事故により、廃液中間貯槽（328Ｖ43）がほぼ満杯であるため、当面廃液の発生する蛍光浸透探傷試験を行うことができない。

③ 蛍光浸透探傷試験は、平成 14 年度下期に竣工する予定の低レベル廃液貯蔵施設（LWSF）へ廃液を移送した以降実施する。その時に検査装置を改造すれば良いことになる。

本装置の設計条件は、蒸発缶検査技術の開発におけるモックアップ試験等の結果をうけて、以下のとおりにした。

① 検査は、蒸発缶内部のカランドリア管板部について、ＣＣＤカメラによる画像を外部に設置したモニターで確認する方法とする。（ＣＣＤカメラ及びモニターはサイクル機構支給品）

② 検査箇所（カランドリア管溶接部）は任意に選択できるようにする。

③ 本検査装置については、将来計画している、蛍光浸透探傷試験の試験装置が追加設置できるように考慮する。

④ 検査装置の仕様は以下のとおりとする。

- 外形寸法：挿入部φ60mm 以下、長さ約 2370mm
- 材質　　：外部表面 SUS 材（内部は SS 材等も可）
- 耐溶剤性：ホース類は耐溶剤性とする。
- 耐熱性　：構成部品は将来設置予定のドライヤーに対する耐熱性を有するものとする。
- 脱落防止：ボルト類は脱落防止処理を施す。
- ﾕｰﾃｨﾘﾃｨｰ：電源 AC100V

３．２．２　製作

製作した検査装置の主要な構成部品及び機能は以下のとおりである。

⑴　固定部　　：検査装置の内部検査用の予備ノズルに固定
⑵　挿入量調整部：蒸発管内部への挿入量を調整（ロック機能付き）
⑶　旋回調整部　：回転量を調整（ロック機能付き）
⑷　角度調整部　：間接の角度を調整（ロック機能付き）
⑸　ＣＣＤカメラ：東芝製ＩＫ－ＵＭ40（サイクル機構支給品）：尚、照明については最適品を選定。
⑹　ｶﾒﾗﾎﾞｯｸｽ部　：ＣＣＤカメラ及び照明を収納。将来の蛍光浸透探傷試験が可能となるよう考慮してある。
⑺　モニター　　：東芝製 15ＣＳ04（サイクル機構支給品）：尚、モニターは、移動可能な収納ケース（簡易ラック）に収納する。収納ケースについては、将来の蛍光浸透探傷試験が可能となるよう考慮してある。

３．３　予備ノズルの改造

３．３．１　設計

蒸発缶（328E45）の内部を点検出来るようにするため、施工認申請の上、予備ノズル先端部を切断し新たにフランジを取り付ける改造を行った。許認可上の対応を以下に示す。

⑴　本改造にあたって、平成 12 年３月 21 日付で施工認を申請し、同年５月 15 日付認可後、工事及び使用前検査を経て同年 12 月 27 日付で合格を取得した。（表３．５参照）

⑵　蒸発缶予備ノズルは、表３．６に示すとおり再処理第四種機器に該当することから、所定の溶接検査を受検した。実際の対応は、財団法人原子力安全センターとメーカ（㈱三興）が行った。

⑶　使用前検査に係る検査及び試験は以下の項目となった。

①材料確認検査

方法：蒸発缶の予備ノズルのフランジ溶接部について、化学分析，引張試験，寸法検査等の検査成績を記載した材料証明書を確認する。

判定：所定の材料であること。

②耐圧・漏えい試験

方法：蒸発缶の予備ノズルのフランジ接続部について、総理政府（※第 73 号）13 条第１項のただし書きの浸透探傷試験を行う。

判定：欠陥による赤色指示模様がないこと。

③外観検査

方法：蒸発缶の予備ノズルについて、目視により有害な傷，変形等の異常の有無を確認する。

判定：有害な傷，変形等の異常が認められないこと。

※「加工施設，再処理施設，特定廃棄物管理施設及び仕様施設等の溶接の技術基準に関する総理政府」

３．３．２　改造工事

蒸発缶予備ノズル先端部の切断及びフランジの取り付け工事について、（Ｓ２）特殊放射線作業計画により実施した。工事は以下のフローで行い、メーカの作業員累計４９名、期間は９月７日から９月 27 日を要した。（表３．５参照）

⑴　教育，準備作業（サーベイメータ，作業エリアの床養生等の区域設定）
⑵　セル内（Ｒ００４）の事前モニタリング及び足場の設置
⑶　既設ノズルのキャップ部切断
⑷　開先加工，開先合せ及びフランジの溶接，閉止フランジの取り付け
⑸　試験検査等
⑹　後片付け

フランジ取り付け後の完成図を図３．１０に示す。特にボルトナットにより長期間確実に締めつけることができるよう、使用するナットについて容易に緩まないタイプ（ﾊｰﾄﾞﾛｯｸﾅｯﾄ）を使用した。（図３．１２参照）

表３．１　分析試験結果

		試 料 名			
項目	単 位	ZL-19・原液	ZL-60D 原液	ZL-19・廃液	ZL-60D 廃液
硫黄	㎎／kg	＜１０	＜１０		
	㎎／ℓ			＜1	＜1
フッ素	㎎／kg	＜１０	＜１０		
	㎎／ℓ			＜1	＜1
塩素	㎎／kg	＜１０	＜１０		
	㎎／ℓ			＜1	＜1
油分	㎎／ℓ	218000	318000	2000	3400
ＣＯＤ	㎎／ℓ	213000	396000	2070	3730

表３．２　前処理条件

No.	項目	設定・測定値	No.	項目	設定・測定値
1	試験場所の温度	10～12℃	7	噴射時間	60sec
2	試験体の温度	8～10℃	8	温風温度	60℃
3	前処理剤の種類	水道水	9	乾燥時間	20min
4	前処理剤の温度	8～９℃	10	ﾉｽﾞﾙ設置角度	50,65,80°
5	前処理剤の液量	2500ml	11	ﾉｽﾞﾙ設置距離	150mm
6	噴射圧力	4kgf/cm²			

＊　前処理剤の噴射ﾉｽﾞﾙは、1/8MJJXP030S303（いけうち製）を使用した。

＊　前処理剤の噴射ﾎｰｽは、外径φ６内径φ４を使用した。

表３．３　試験条件

No.	項目	設定・測定値	No.	項目	設定・測定値
1	試験場所の温度	10～12℃	10	洗浄剤の温度	8～9℃
2	試験体の温度	8～10℃	11	洗浄剤の液量	600ml
3	浸透剤の種類	次頁参照	12	浸透剤噴射圧力	1.5kgf/cm^2
4	浸透剤の温度	15～17℃	13	浸透剤噴射時間	30sec
5	浸透剤の液量	3ml	14	温風温度	60℃
6	浸透剤噴射圧力	1 kgf/cm^2	15	乾燥時間	20min
7	浸透噴射時間	3sec	16	紫外線強度	1700 μ W/ cm^2
8	浸透時間	20min	17	ノズル設置角度	50,65,80°
9	洗浄剤の種類	水道水	18	ノズル設置距離	150mm

＊　浸透剤及び洗浄剤の噴射ﾉｽﾞﾙは、1/8MJJXP030S303（いけうち製）を使用した。

＊　浸透剤及び洗浄剤の噴射ﾎｰｽは、外径φ６内径φ４を使用した。

表３．４　検査廃液の成分

硫黄	フッ素	塩素	油分	ＣＯＤ
<0.025(mg)	<0.025(mg)	<0.025(mg)	171(mg/ℓ)	213(mg/ℓ)

表３．５　蒸発缶予備ノズル

	呼び径 (A)	ｽｹｼﾞｭｰﾙ	材質	流体	最高使用温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	放射性物質		国内法規	備考
							核種	濃度 (MBq/cm3)		
蒸発缶の予備ﾉｽﾞﾙ	65	80	SUS 316L	廃液	150	0.18	FP	< 37	再処理第四種	図-2 参照

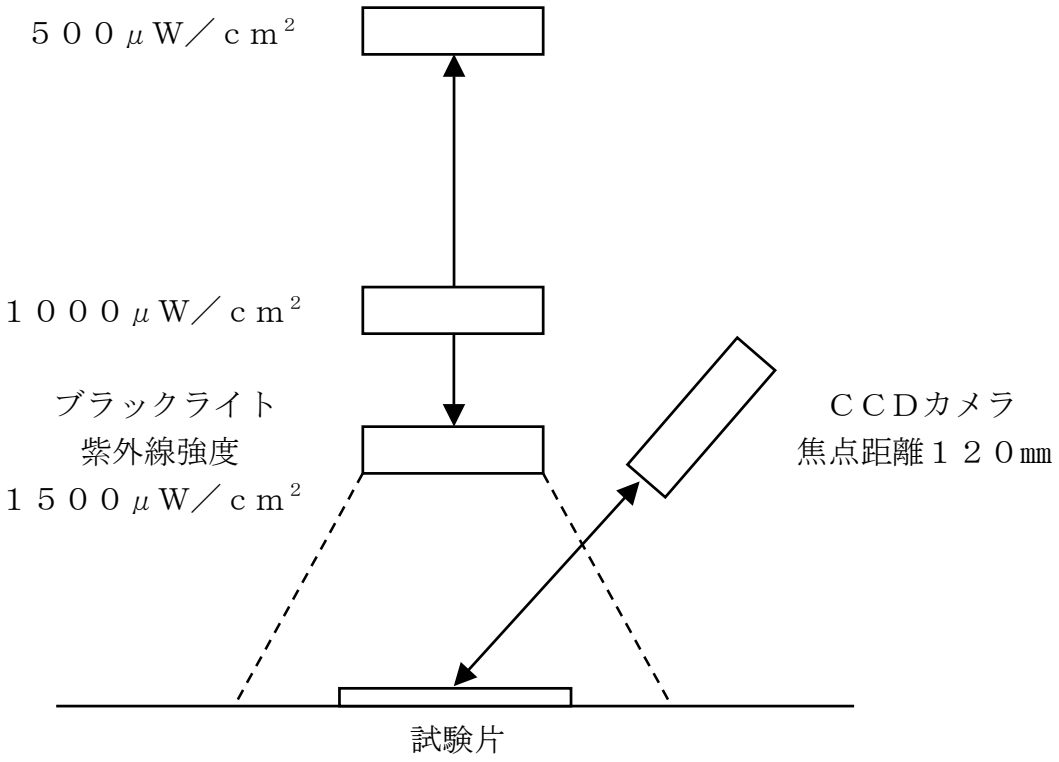


図３．１　試験器具設置条件

MARK	PARTICULARS	MAERIAL	REMARKS
1	胴板	SS	t9*1760*3796
2	健全性確認用ノズル	SUS316L	65A t2.1
3	管板	SUS304	t10*φ1200
4	トレイ	SS	t3.2
5	支持脚	SS	C100*50*5
6	吊金具	SS	
7	模擬試験片	SUS316L	

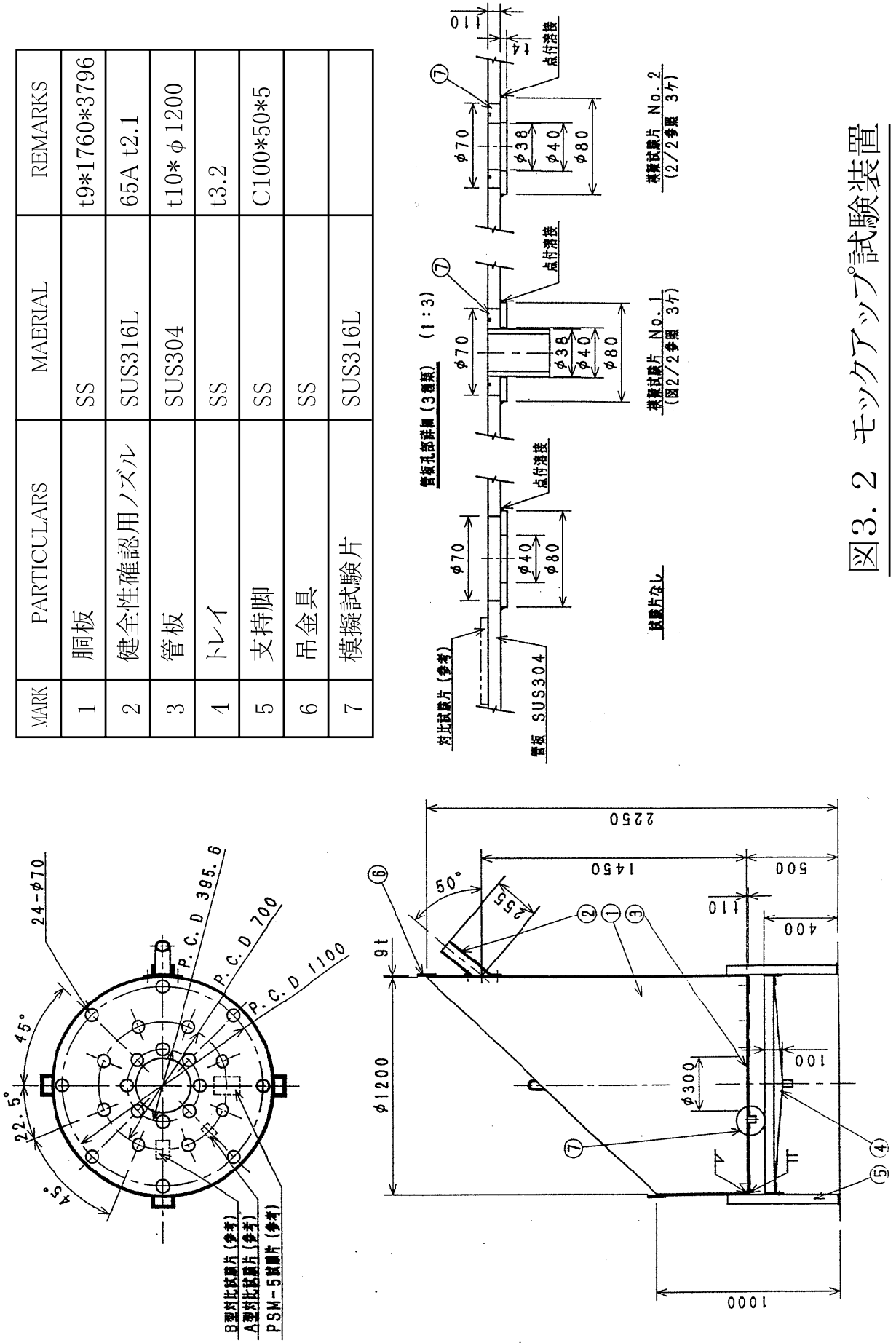


図3.2　モックアップ試験装置

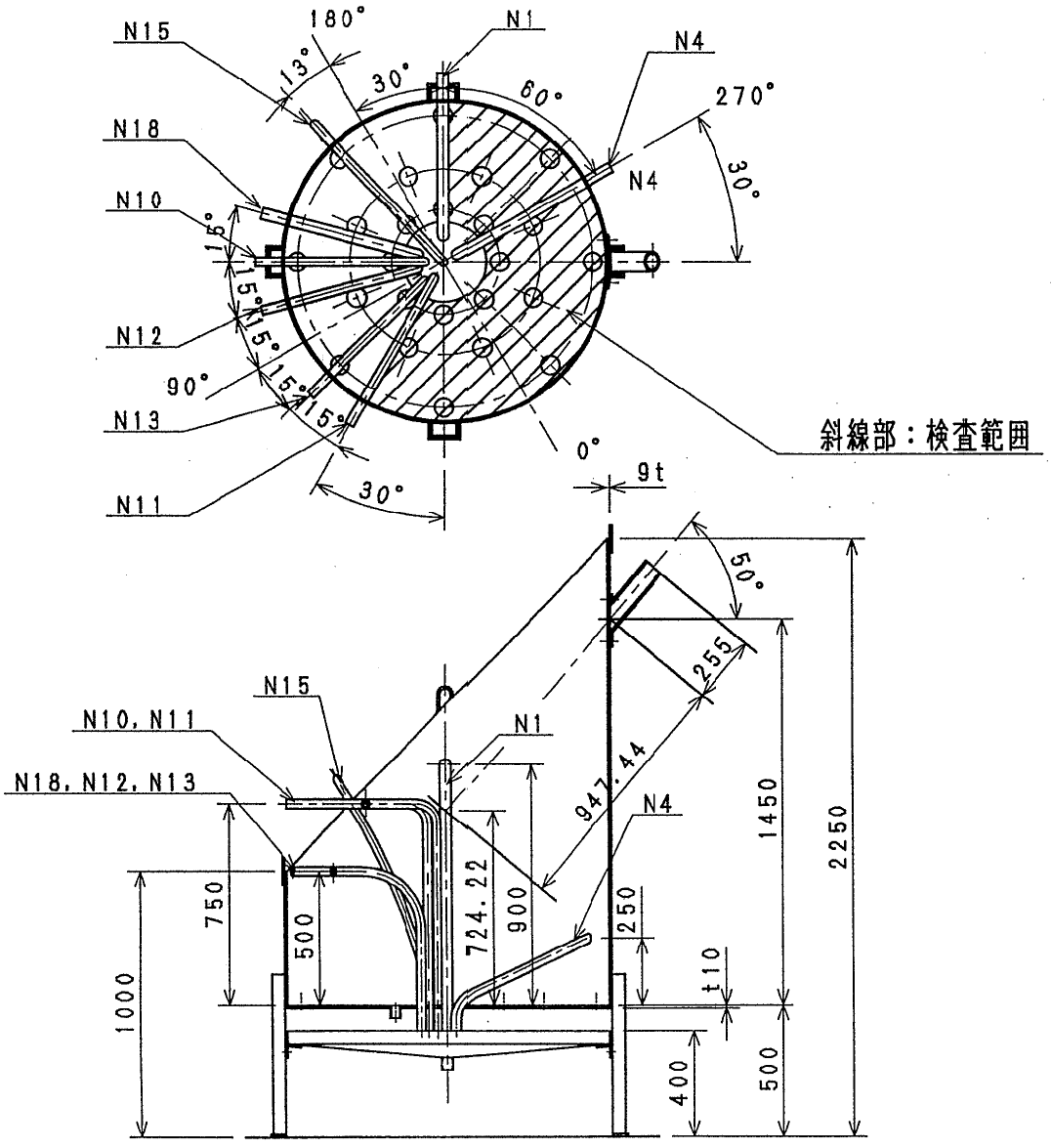


図3．3　蒸発缶内部の検査範囲

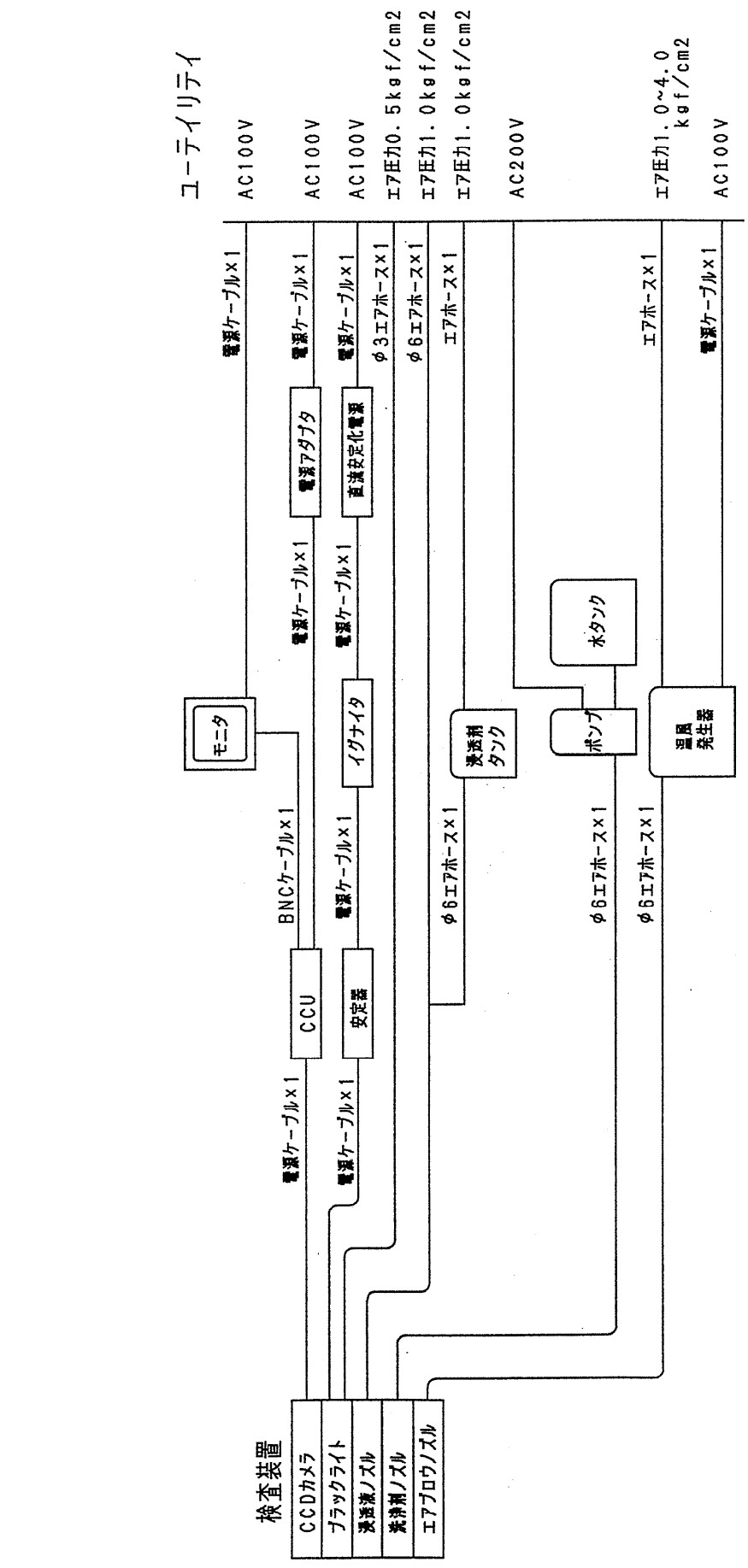


図3．4　蒸発缶内部点検システム

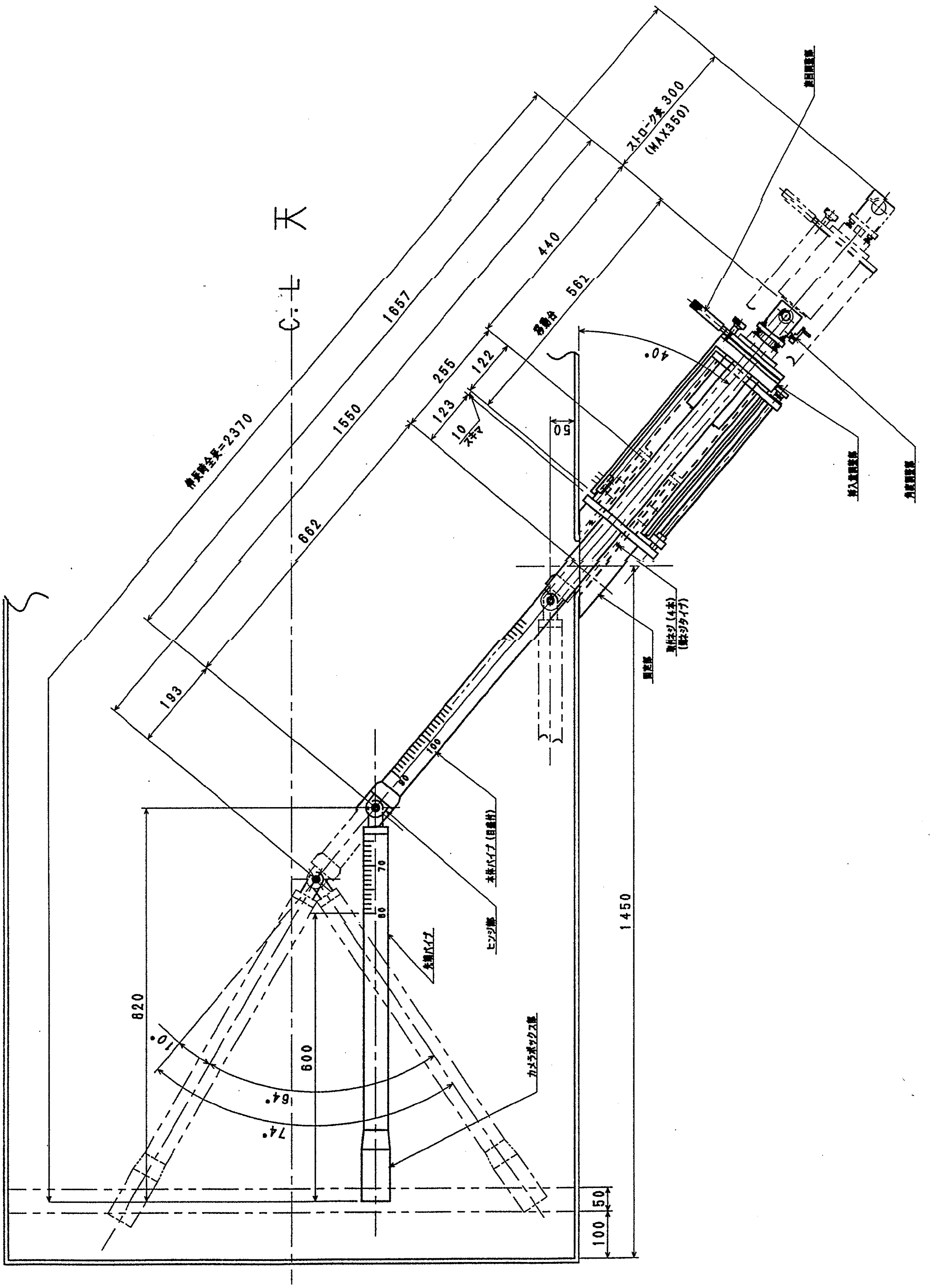

天
C.L
伸展時全長=2370
1657
1550
662
193
ストローク長 300
(MAX350)
440
562
255
122
123
10
スキマ
50
40°
1450
820
600
10°
64°
74°
50
100

図３．５　検査装置（全体）

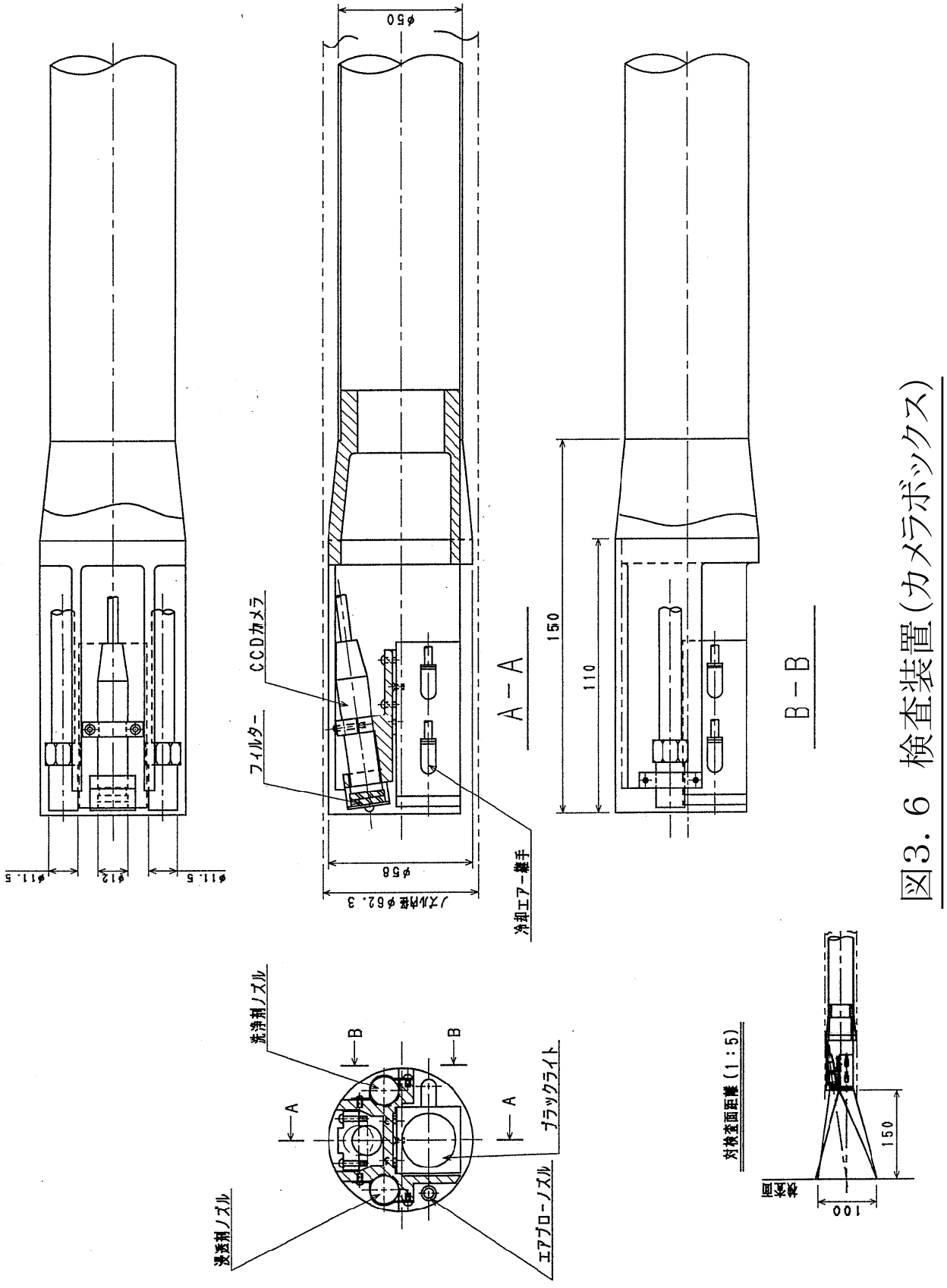


図3.6　検査装置（カメラボックス）

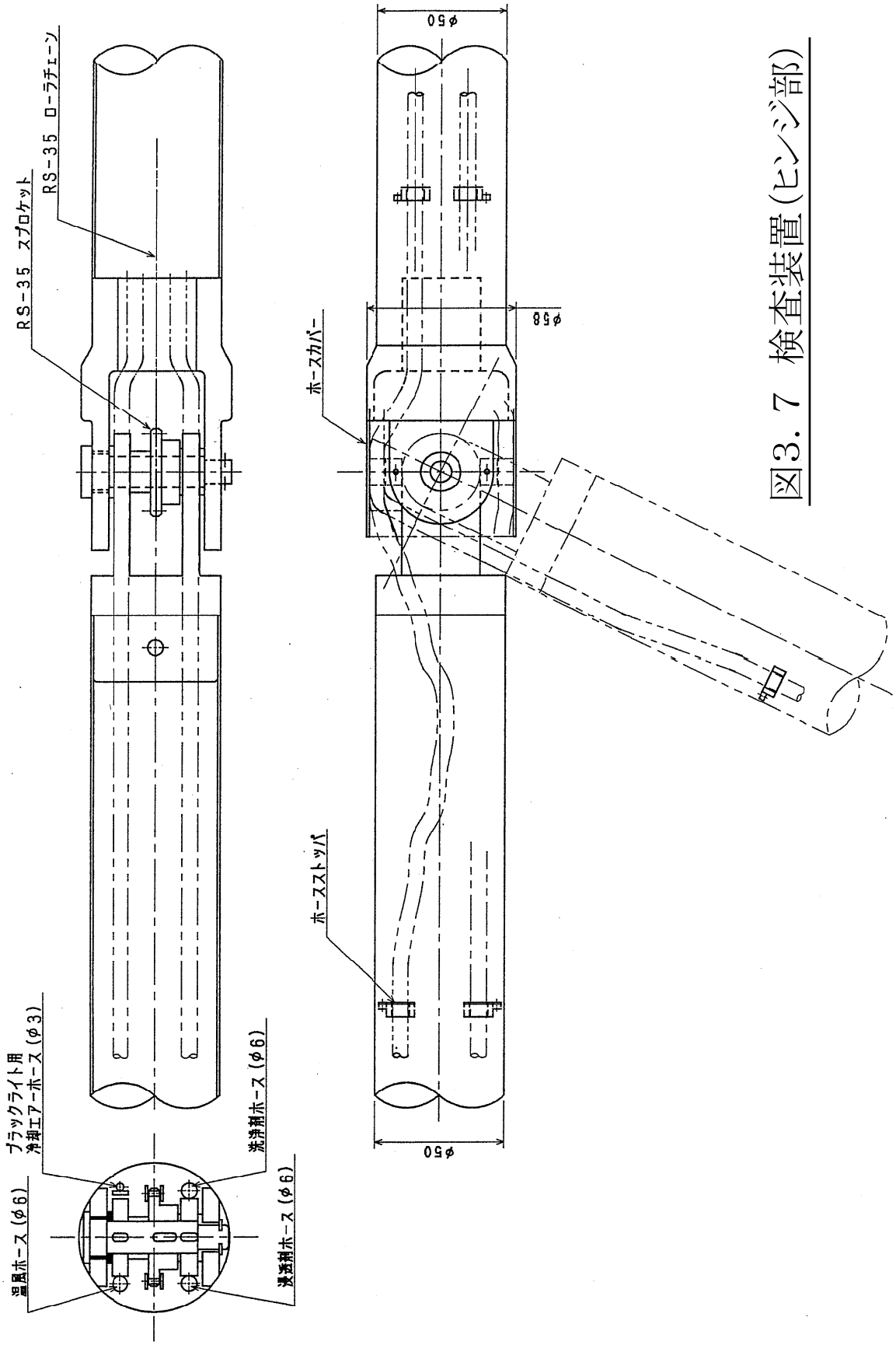


図3．7　検査装置(ヒンジ部)

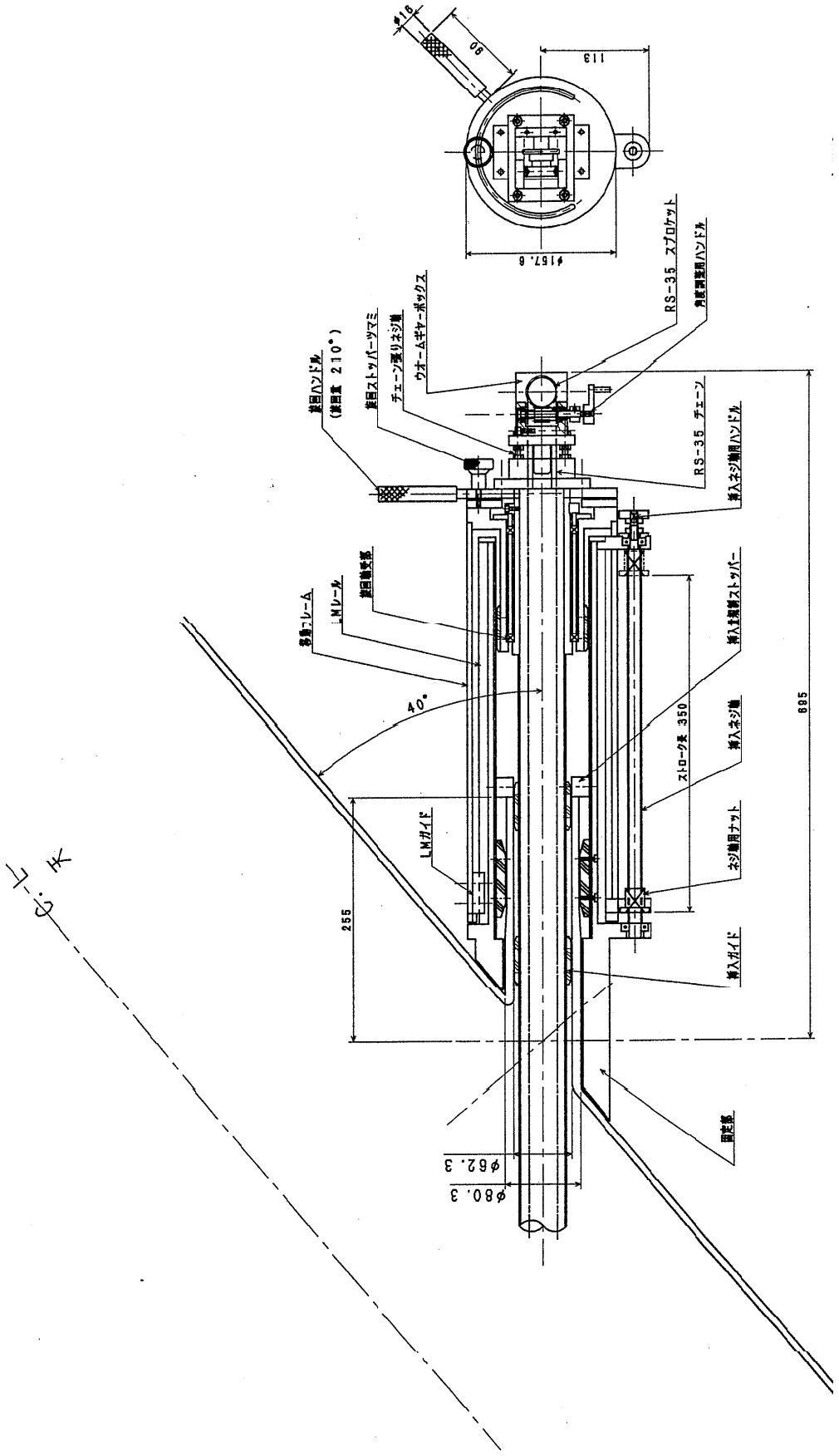


図3．8　検査装置(調整部)

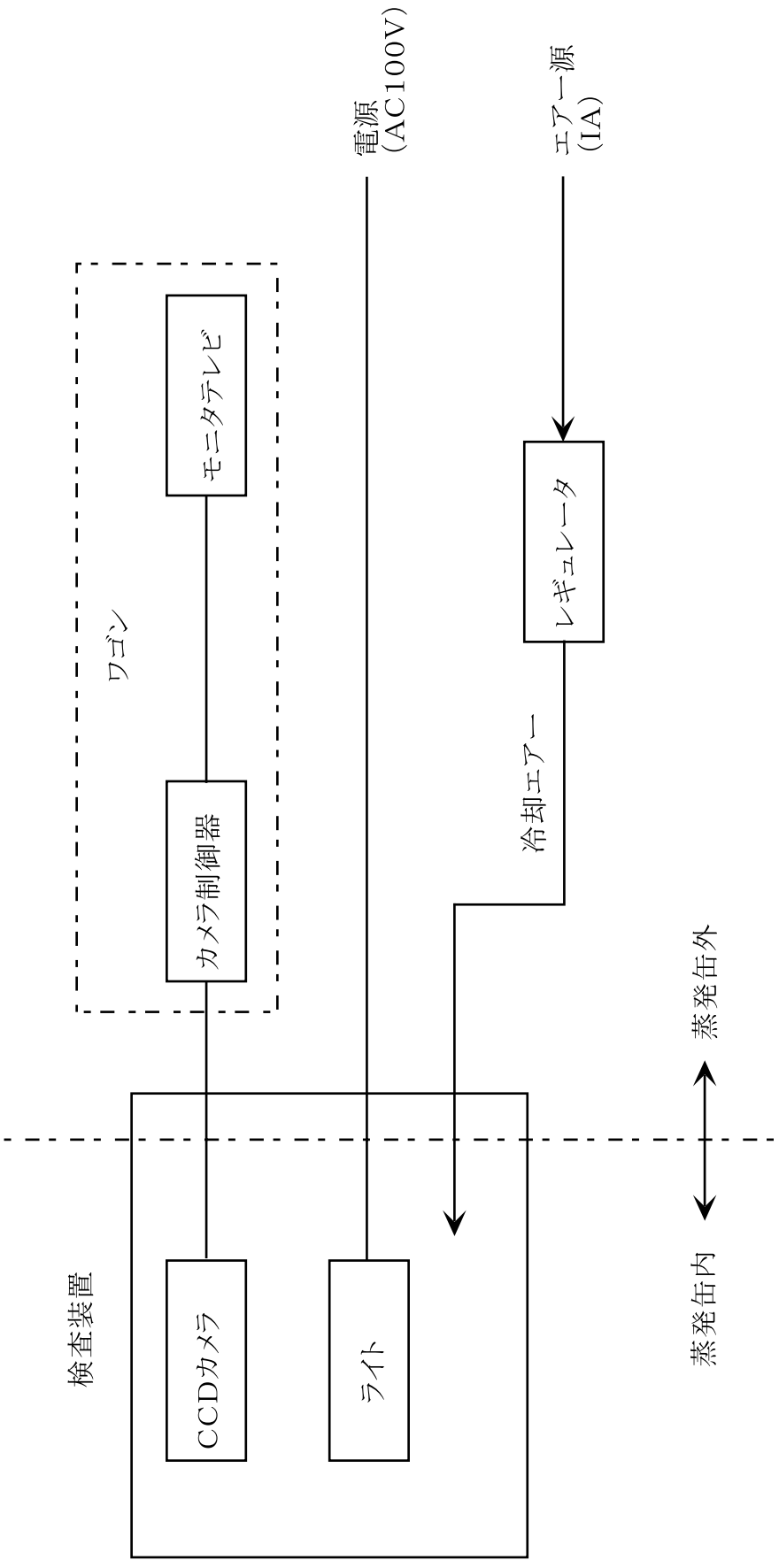
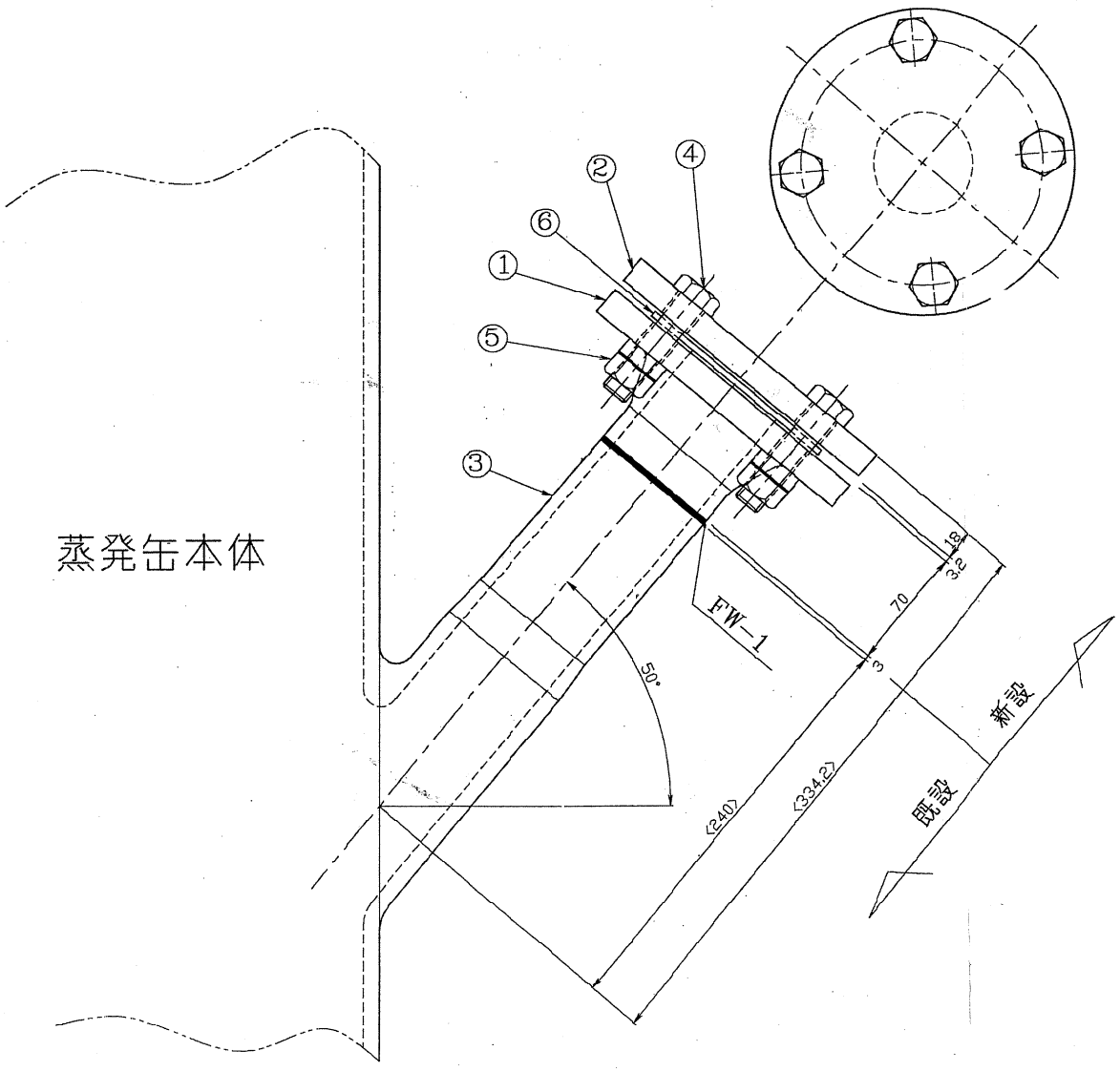

電源
(AC100V)
エアー源
(IA)
ワゴン
モニタテレビ
カメラ制御器
レギュレータ
冷却エアー
検査装置
CCDカメラ
ライト
蒸発缶外
蒸発缶内

図3.9 システム構成図



材　料　一　覧　表

材料番号	名　称	材　質	接続	寸　法	品管クラス	数量	備考
1	フランジ	SUSF316L	BW	65A JIS10K WN RF	四種	1	ミルシート付
2	閉止フランジ	SUSF316L	－	65A JIS10K RF	四種	1	ミルシート付
3	既設予備ノズル	SUSF316L	BW	φ76.3x7t	四種	1	ミルシート付
4	ボルト	SUS316	－	M16x70L	四種	4	ミルシート付
5	ハードロックナット	SUS304	－	M16	四種	4組	ミルシート付
6	ガスケット	バルカーNo.7095 -S1LR2Z	－	65A JIS10K RF	四種	1	成績書付

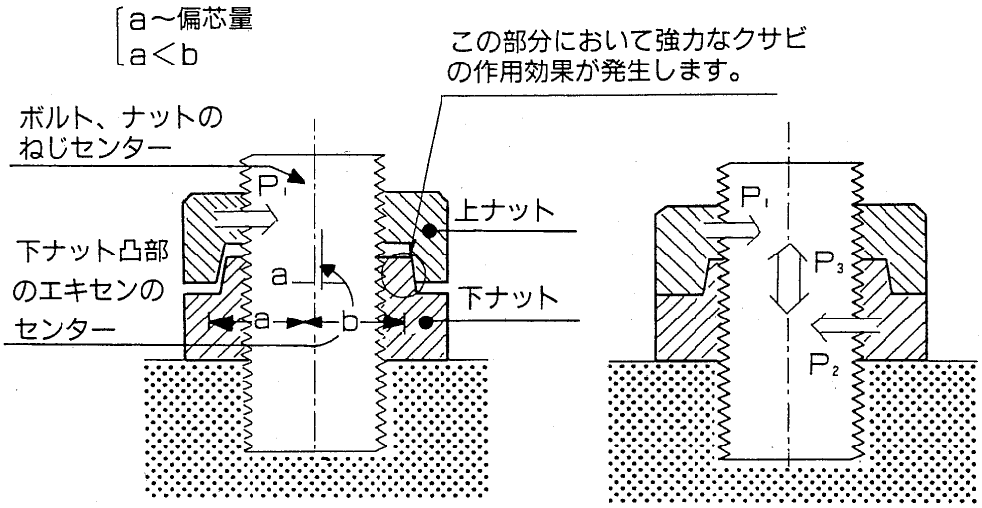
溶接番号一覧表

溶接継手No.	継手区分	開先タイプ	素材確認	開先面 DT	開先面 PT	開先合せ	溶接後 PT	溶接後 RT	備考
FW－1	四種	A	要	－	－	要	要	要	

設計条件	範　囲	蒸発缶の予備ノズル
	最高使用圧力（Pa）	0.18M
	最高使用温度（℃）	150
	耐圧試験圧力（Pa）	0.27M
	放射能濃度	:0.2MBq/cm³ FP 液体
	機器の区分	再処理第四種容器
	耐震クラス	B
	品質管理区分	再処理第四種
	保温の有無	無

※ 試験検査は既設容器の構造上加圧が困難なため（施行府令73号　第13条第一項但し書きにより）最終層のPTにより代替試験とする。

図3．10　予備ノズル改造図



※図-1　上ナットを締付けますと自動的にP_1矢印の方向に応力が加わります。締込量に比例して水平応力の増加は図-2の如くナットと密着するまで続きます。クサビ作用による完全なロック効果が期待されます。

※図-2　締付後の内部応力の分布は$P_1+P_2+P_3$の合成応力として内在され、外部からの衝撃に耐応致します。

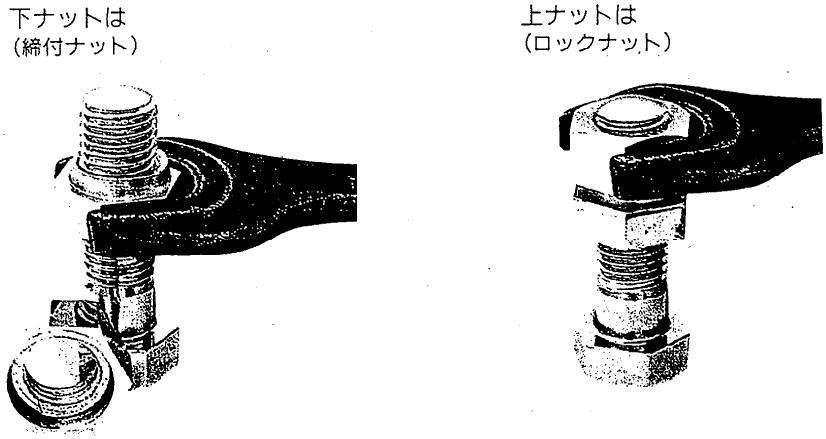
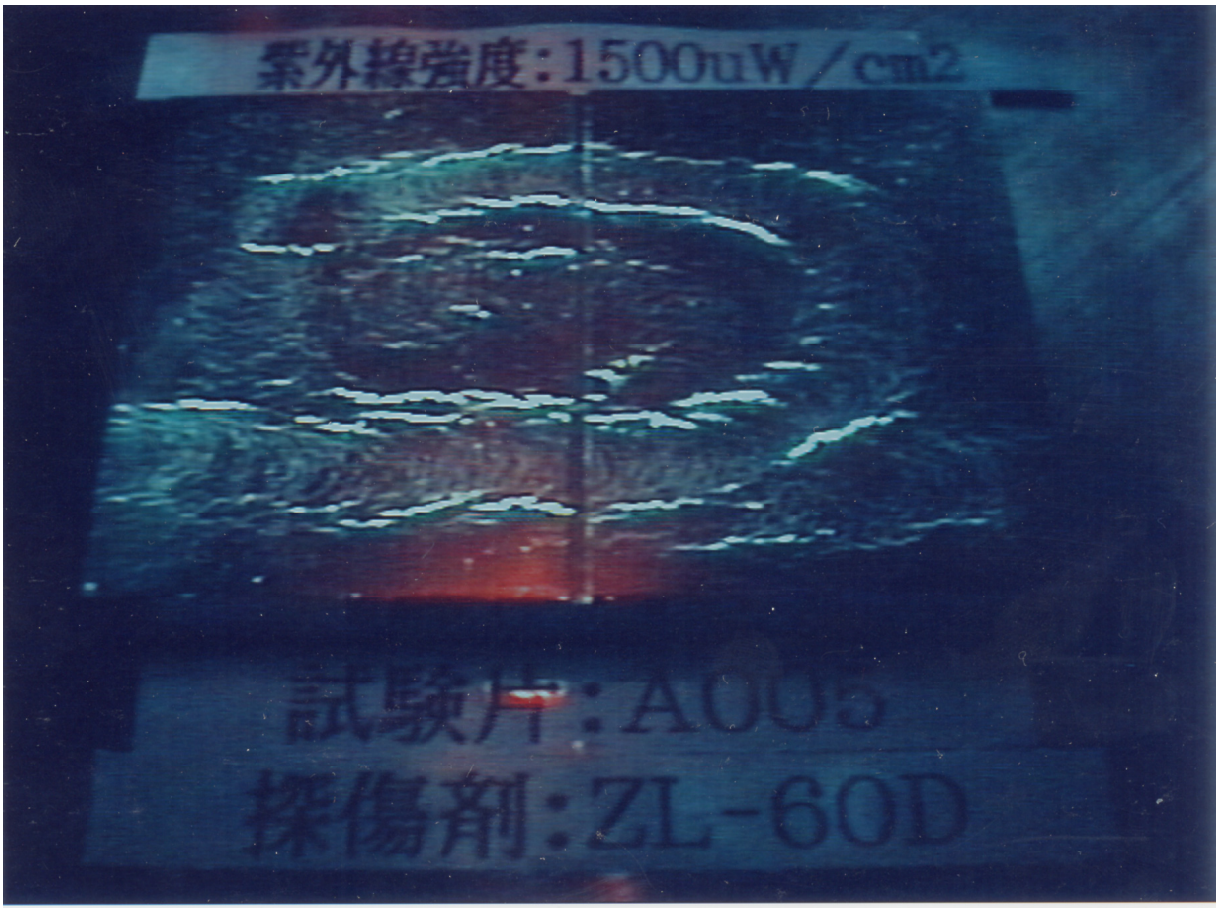


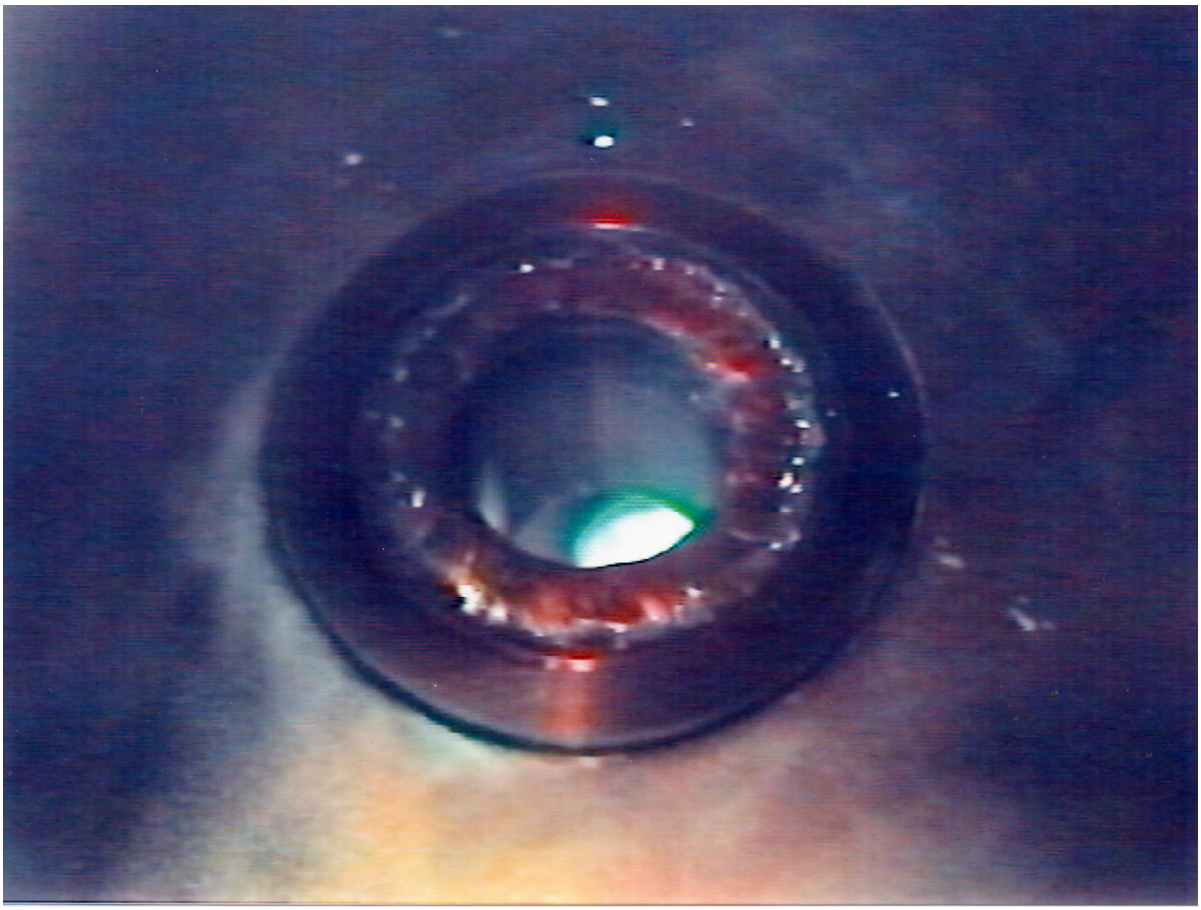
図3．11　ハードロックナット概要



（Ａ型試験片）

（傷深さ30μｍＢ型試験片）

写真３．１　ＺＬ－60Ｄ探傷剤による傷識別試験結果



（模擬試験片No. 1-1）

写真３．２　溶接部の傷識別試験結果

４．蒸発缶内部点検

４．１　概要

検査技術の開発、検査装置の設計製作及び予備ノズルの改造を経て、実際に蒸発缶内部検査装置を用い、ＣＣＤカメラにて蒸発缶の内部点検を実施した。

４．２　モックアップ試験

４．２．１　試験要領

実際の試験に先立ち、検査装置の操作等、安全に作業を遂行するために必要となる作業の習熟を目的として、モックアップ試験を実施した。

試験は非管理区域の新資材庫において、蒸発缶と同一寸法で作製したモックアップ試験装置及び検査装置を使用し（図４．１参照)、実際の内部点検で想定される以下の同一手順でモックアップ試験を実施した。

４．２．２　試験状況

モックアップ試験の結果、検査装置による蒸発缶内部の熱交換部の観察状況は良好であり、鮮明なモニター画像が得られることを確認した。(図４－２参照)

また、検査装置の操作技術を習得するとともに、検査可能範囲を確認した。本試験の結果、実際の検査を実施する上で問題となることはなく、特殊放射線作業計画によるセル内での検査に係わる作業を安全かつ確実に実施できるめどが得られた。

４．３　内部点検の実施

４．３．１　点検方法

予備ノズルのフランジを外し、検査装置を蒸発缶内部へ挿入した後、熱交換管板部の状況をモニター画面で確認する方法で、蒸発缶内部点検を実施した。

内部点検は、検査装置の操作を本蒸発缶を収納している廃液蒸発セル（Ｒ００４）内で、モニター画面の観察及び記録等は保守区域（Ａ０１０）でそれぞれ行った。

４．３．２　点検結果

蒸発缶内部の熱交換用管板の溶接部について、検査装置のＣＣＤカメラ及びモニターでの画像により点検を行った。内部点検における検査装置のセッティング状況、設計、工事における管板部の外観観察状況及び点検結果を図４．３～図４．５に示す。

内部点検の結果、約２／３の検査可能範囲について、管板部の溶接部の劣化（変色及びひび等）は認められず、健全であることを確認することができた。

作業の結果についても、モックアップ試験での検査装置操作の習熟成果から、安全に計画の時間内で完了することができた。また、予備ノズルの改造工事と同様蒸発缶の表面線量率も低く（最大２５μＳｖ/ｈ）、作業員の有意な被ばくはなかった。

４．３．３　問題点

本検査において、予備ノズル内部に予備ノズル改造工事における溶接の裏波により、検査装置が挿入されない問題が発生した。予備ノズルの内径と検査装置の外径がほぼ同一寸法でクリアランスが極く少なかったことと、裏波の評価・測定を行わなかったことが原因であった。（図４．６参照）

対応として、内部点検作業の中で、予備ノズル内部の溶接裏波をノズル付きドリルにより除去し、検査装置を挿入できるようにした。（溶接部については、適切な余盛を確保した。）

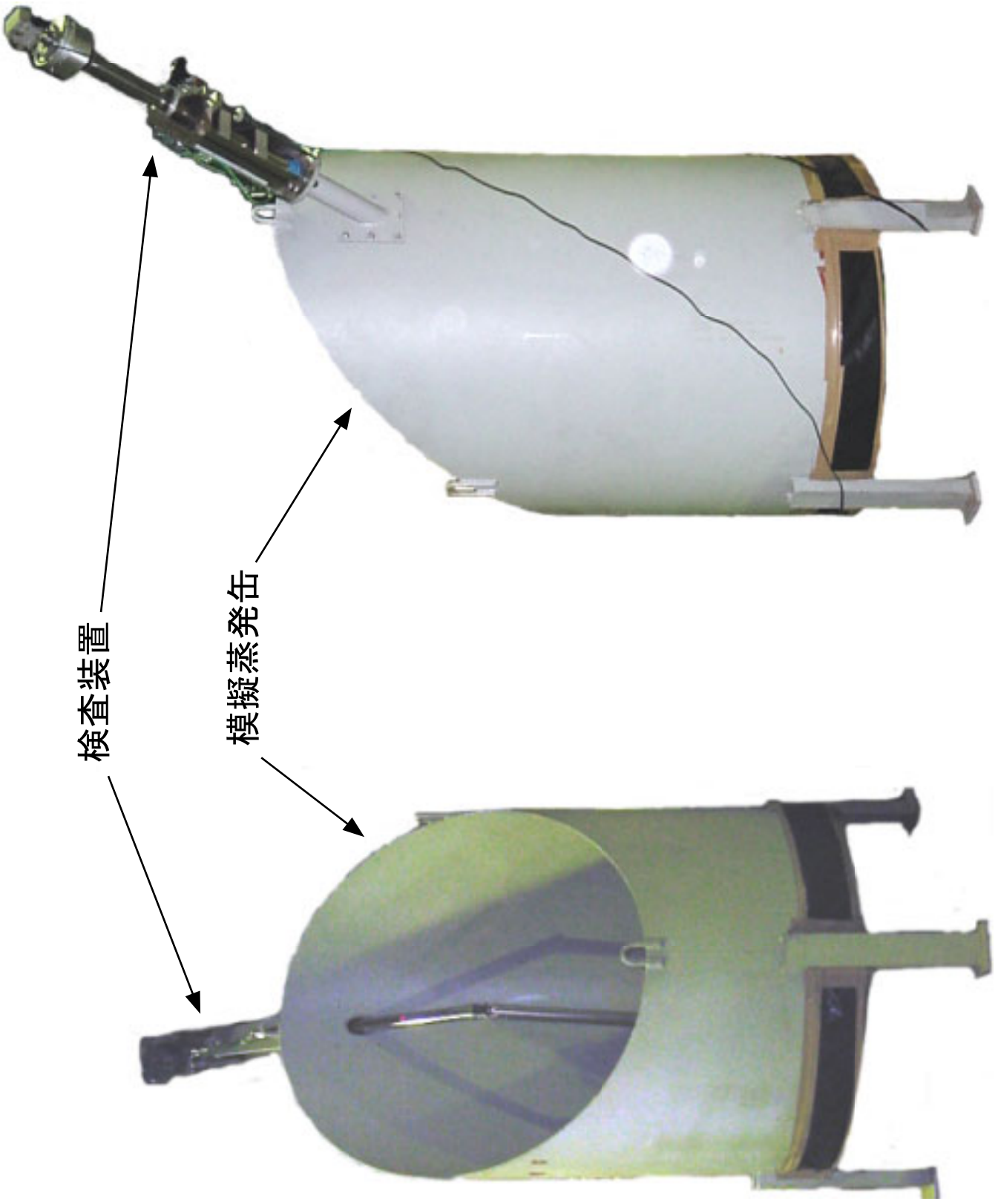
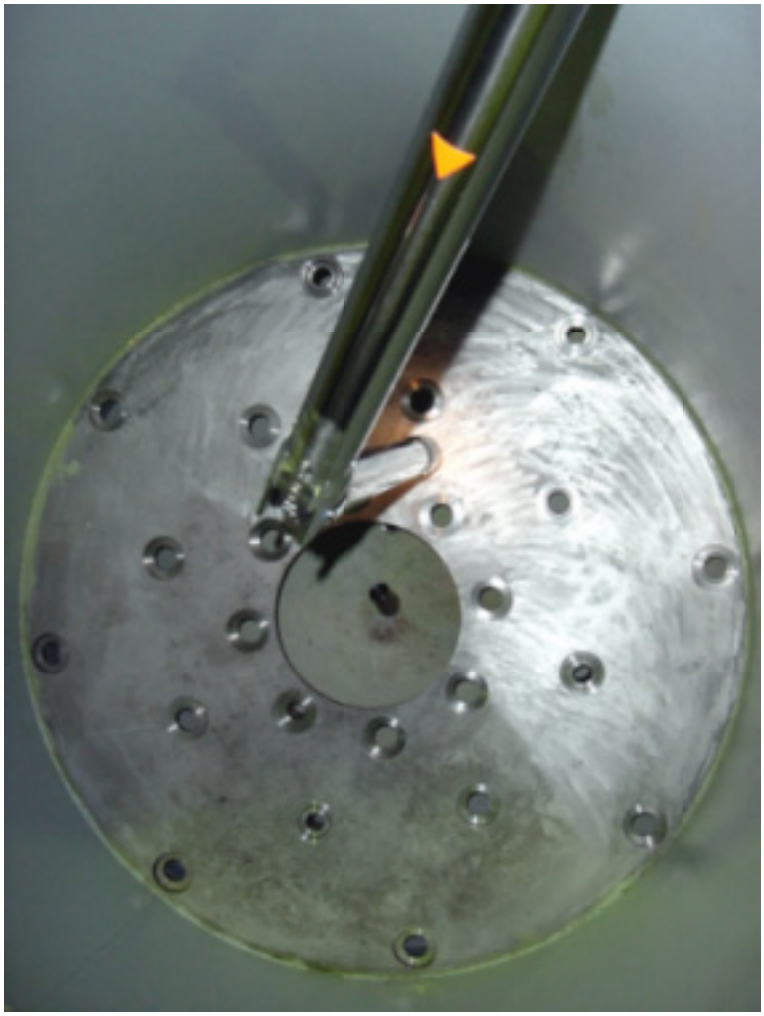


図４．１　モックアップ試験装置

モニター画面



蒸発缶内部

図４．２　ＣＣＤカメラによる観察状況（モックアップ）

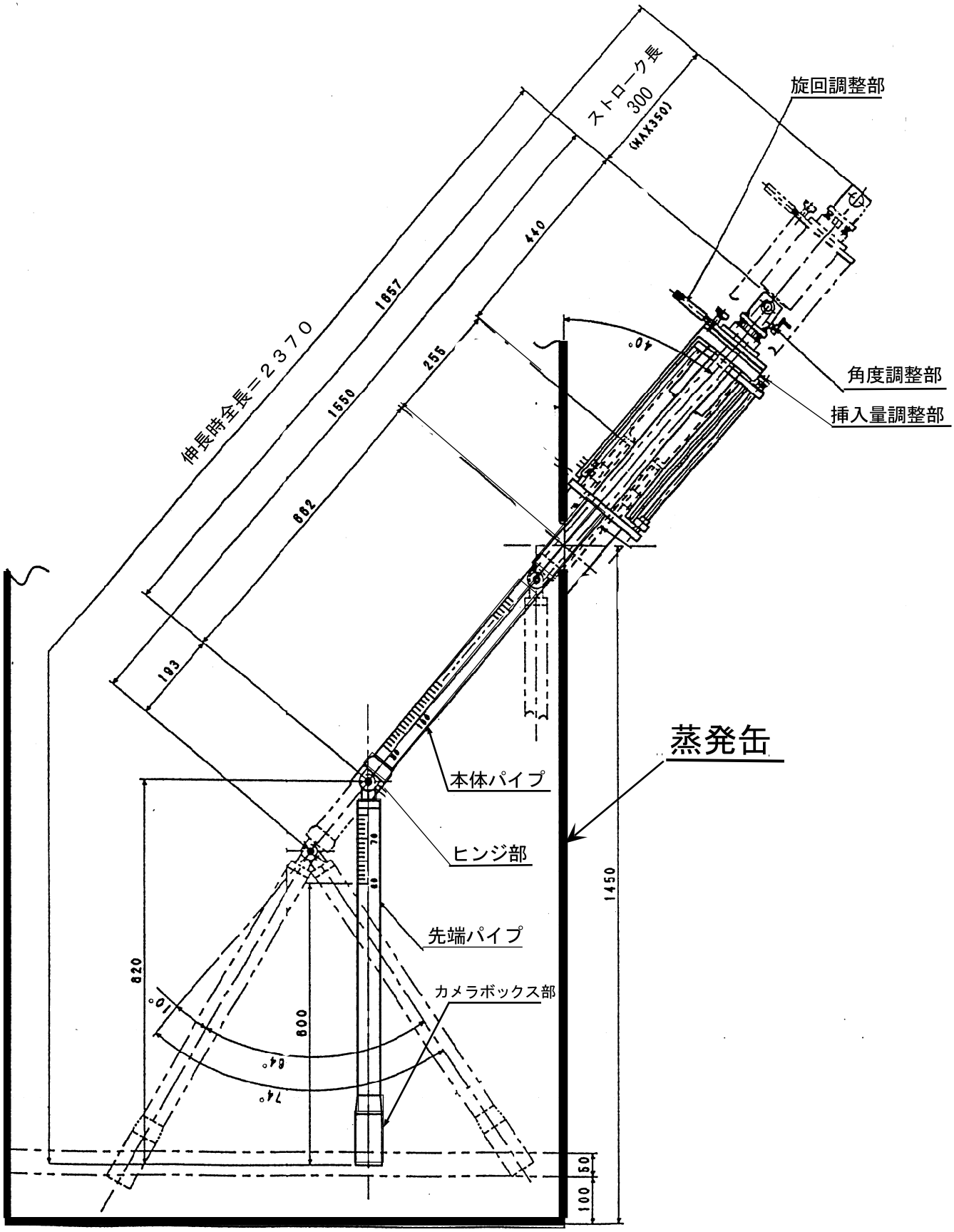
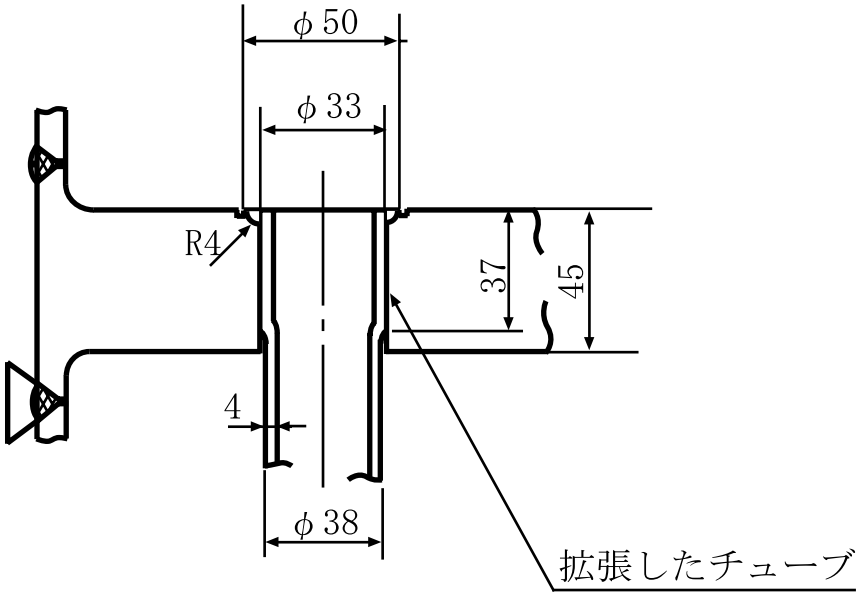
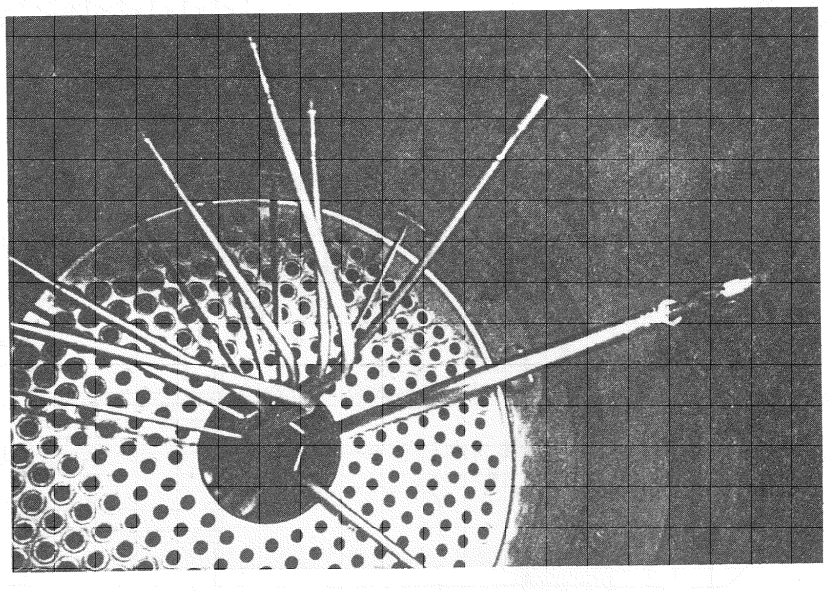


図4．3　検査装置全体組立図

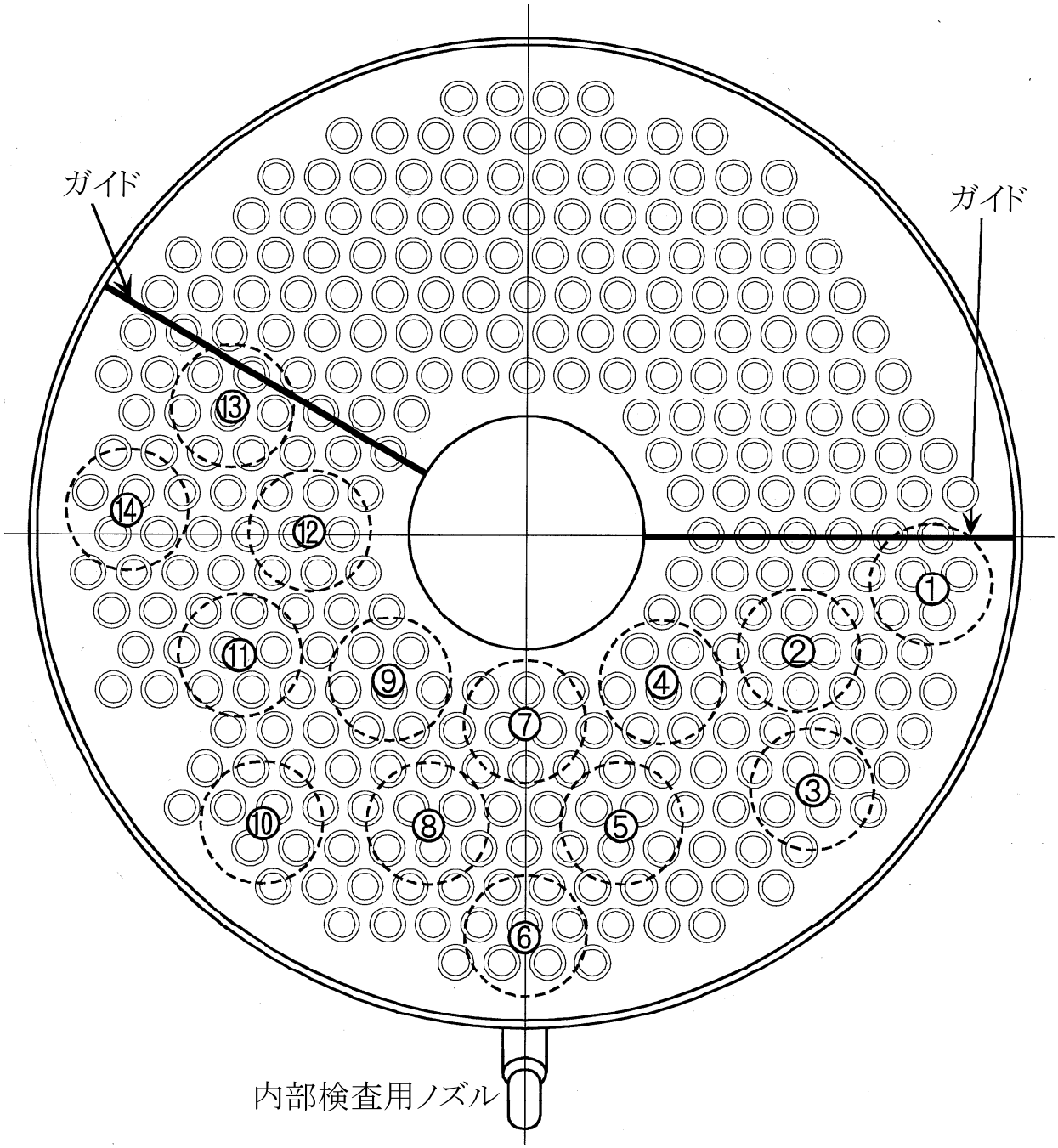


蒸発缶の管板とチューブの溶接施工図



完成した蒸発缶内のチューブと管板の外観

図４．４　設計及び工事における管故障の状況



内部点検結果の座標図

図4．5　蒸発缶内部点検結果

内部点検時の位置

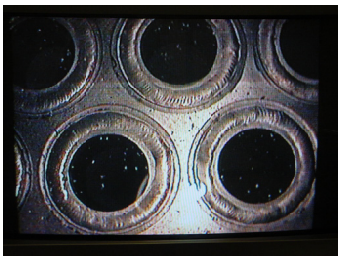
No.	挿入(cm)	角度(度)	旋回(度)
1	16.6	-12.0	左44
2	21.4	-8.0	左26
3	15.9	-28.0	左20
4	30.0	-2.0	左15
5	32.0	-16.0	左8
6	27.4	-25.0	左5
7	35.0	-5.0	左5
8	31.0	-15.0	左14
9	33.0	-3.0	左21
10	22.0	-25.0	左23
11	30.0	-8.0	左31
12	29.8	+7.0	左36
13	24.0	+4.0	左44
14	12.7	-9.0	左52

①

②

③

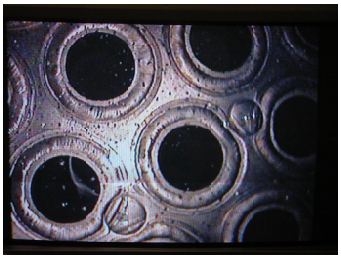
④



⑤

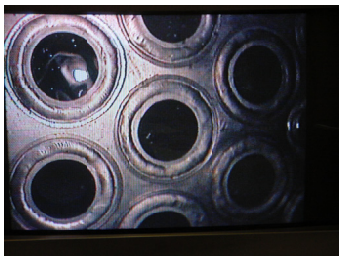
⑥

⑦



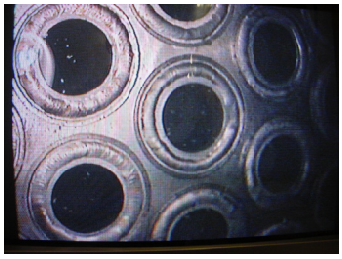
⑧

⑨

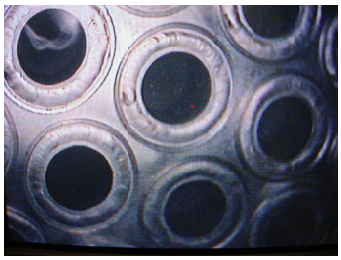


⑩

⑪

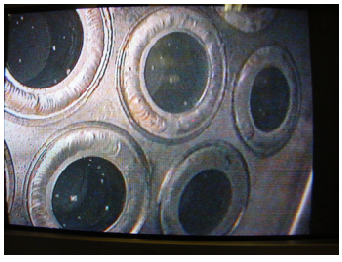


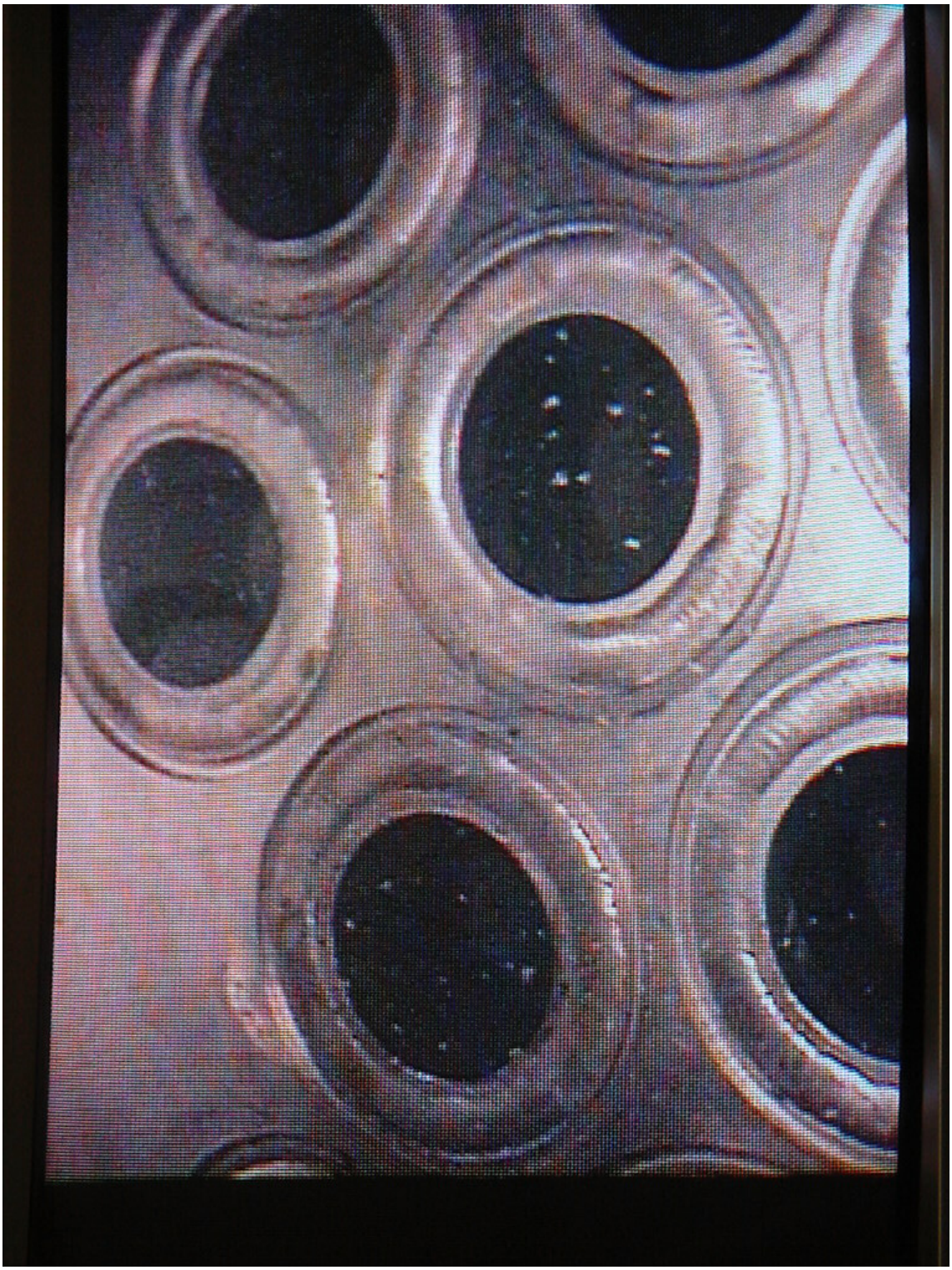
⑫



⑬

⑭





①（挿入:16cm・角度:－12．0度・旋回:左44度）

②（挿入:21．4cm・角度:－8．0度・旋回:左26度）

③（挿入:15．9cm・角度:－28．0度・旋回:左20度）

④（挿入:30.0cm・角度:－2.0度・旋回:左15度）

⑤（挿入:32．0cm・角度:－16．0度・旋回:左8度）

⑥（挿入:27．4cm・角度:－25．0度・旋回:左5度）

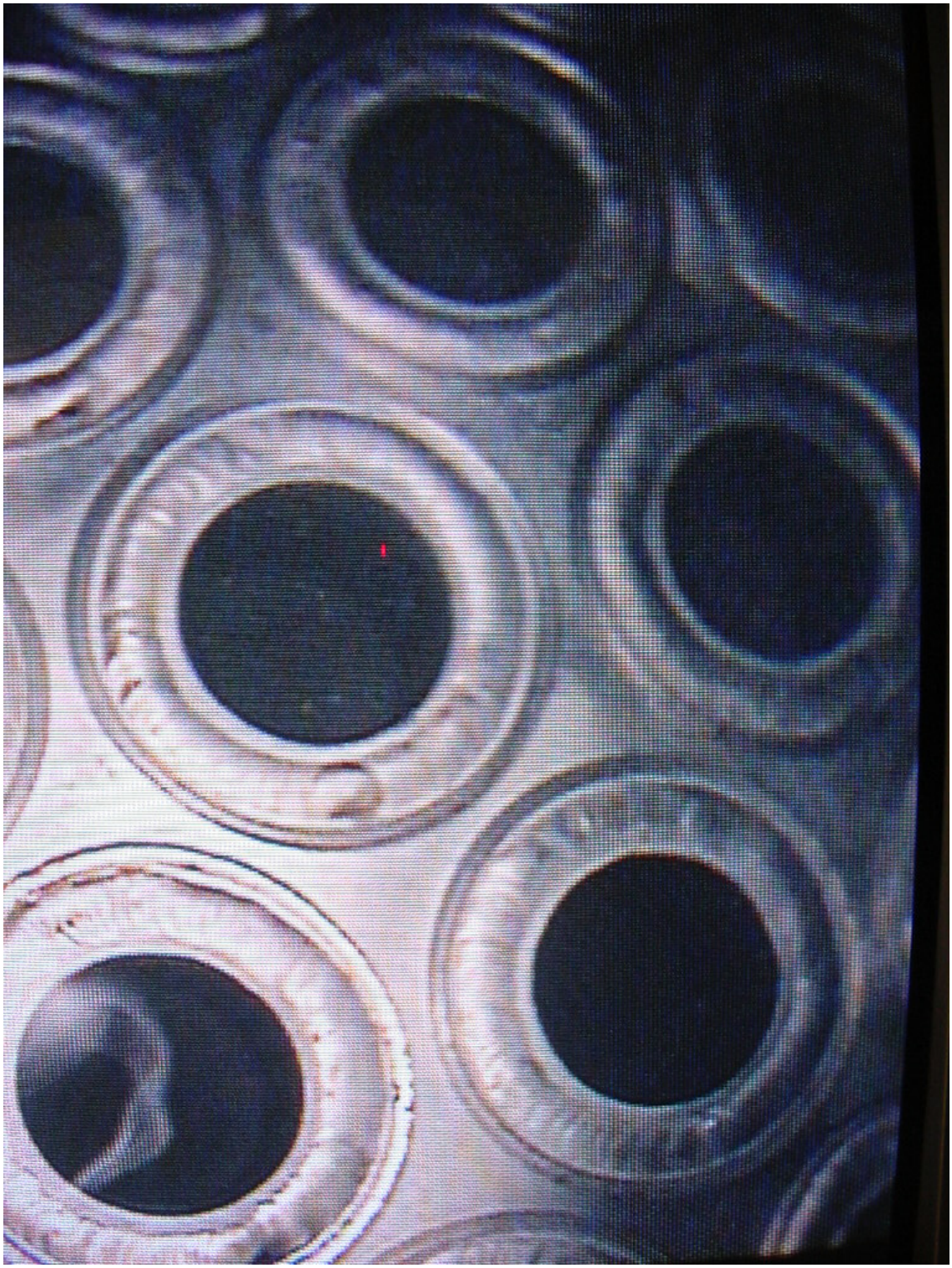
⑦（挿入:35.0cm・角度:－5.0度・旋回:右5度）

⑧（挿入:31．0cm・角度:－15．0度・旋回:右14度）

⑨（挿入:33．0cm・角度:－3．0度・旋回:右21度）

⑩（挿入:22．0cm・角度:－25．0度・旋回:右23度）

⑪（挿入:30.0cm・角度:－8.0度・旋回:右31度）



⑫（挿入:29．8cm・角度:＋7．0度・旋回:右36度）

⑬（挿入:24.0cm・角度:＋4.0度・旋回:右44度）

⑭（挿入:12．7cm・角度:－9．0度・旋回:右52度）

図４．６　予備ノズル内部

５．おわりに

ＳＴ施設の蒸発缶の健全性について、ＣＣＤカメラを内蔵した検査装置により、熱交換管板部の溶接部の外観検査を実施し、健全であることを確認できた。

また、カランドリア管板部溶接箇所にＣＣＤカメラのみでは確認できない微細な傷（深さ 30μｍ以上）が発生した場合、蛍光浸透探傷試験により、遠隔での傷の確認が可能であることを確認した。本報告書では実際に蛍光浸透探傷試験により蒸発缶の検査は実施していないが、今後は、検査装置の改造及び低放射性濃縮廃液貯蔵施設（ＬＷＳＦ）の竣工を経て、リン酸廃液の処理が可能となった後、溶接部の健全性をより定量的に確認するため、蛍光浸透探傷試験を実施する計画としている。

６．添付資料（過去の検査実績）

６．１　供用期間中の検査

蒸発缶の供用期間中の検査（ＩＳＩ）は、平成元年から開始し、以降１回／３年の頻度で実施してきた。表６．１に実績表を示す。

参考として検査説明を図６．１に外観写真を写真６．１に示す。

６．２　自主検査（非破壊検査）

６．２．１　概要

定期目的に実施するＩＳＩに加え蒸発缶の健全性をより詳細に確認するため、非破壊検査を昭和６２年１２月及び平成６年１月の２回実施した。検査項目は、蒸発缶本体の肉厚測定を溶接部の浸透探傷試験及び超音波探傷試験をした。

６．２．２　肉厚測定

蒸発缶本体のステンレス鋼の減肉状況を把握するため定点及び液面部指定個所を測定した。

⑴　測定方法

超音波パルス反射法を利用して、試験体の厚さを超音波が往復する時間を測定し、厚さ＝（時間×音速）／２の関係からその厚さを求める技術を採用した。（図６．２参照）

⑵　測定条件

①　使用機材　　：装　　置　ＤＭ－３（クラウトクレーマー社製）
　　対比試験片　階段状ＴＰ（ＳＵＳ３０４）
　　接 触 媒 質　ソニコート

②　キャリブレーション：対比試験片（ＳＵＳ３０４製）を使用し７．０㎜及び１０．０㎜に調整した。

③　測定　　：測定点のケガキ部を測定、最小読み取り値０．１で測定記録した。

④　操作範囲及び走査方向（図６．３参照）
　検査範囲は図６．３のＡ・Ｂ・Ｃ・Ｄの体積部。
　走査方向は溶接線に対して直角方向で走査した。
　裏波の反射エコーは前回との比較の為、Ｍレベル以上（領域Ⅲ）を記録、Ｍレベル以下は確認とした。

⑤　検出レベル　　Ｌ検出レベル以上として記録した。
⑥　測定方向　　0°・45°・90°・135°・180°・225°・270°・315°　の８方向。

⑶　測定結果

定点及び液界面部指定個所の２回の結果、公称肉厚等から減肉は認められなかった。（図６．４参照）

①　定点：鏡板１６点・上部胴板２４点及び下部胴板１９点の合計５９点を測定の結果、鏡板で最小 11.2 ㎜～最大 11.6 ㎜、上部胴板で最小 8.5 ㎜～最大 8.9 ㎜、下部胴板で最小 9.0 ㎜～最大 9.3 ㎜、の測定結果であった。（図６．４参照）

②　液界面部：定点を基点に上下各５点（30 ㎜ピッチ）で８方向測定可能な点を測定合計６０点を測定の結果、上部で最小 8.5 ㎜～最大 8.8 ㎜、下部では測定不可の部分が有り下部胴では最小 9.0 ㎜～最大 9.2 ㎜、であった。また、測定数値に上部胴と下部胴の違いがあるのは、圧廷番号の違いでＪＩＳ　Ｇ４３０４に許容されている±0.65 ㎜の範囲以内の肉厚の差と考えられる。

６．２．３　浸透探傷試験

⑴　概要

本体溶接部（周方向５本, 軸方向２本）及びノズル溶接部１９箇所について、溶接部並びに熱影響部の完全性を確認するため、浸透探傷試験を実施した。

⑵　検査方法

ＪＩＳ　Ｚ　２３４３「浸透探傷試験及び欠陥指示模様の等級分類」による。溶剤除去性染色浸透探傷法＋速乾式現像法、浸透液を刷毛により被検査物表面に塗布し、浸透時間の経過を待って被検査物表面に付着している浸透液を洗浄液を染み込ませたウエスで拭き取る（図６．５（ｂ）参照）。次に被検査物の表面に現像剤を薄くスプレーすると欠陥があれば中に残留している浸透液は現像液によって（ｃ）の様に吸い出されて表面に広がり欠陥の形状にある程度見合った指示模様を形成する。

①　検査液　：　ＩＫＳチェックエース原子力用
　　（石川島検査計測㈱製：表６．２参照）
②　前処理　　：　被検査面の油脂分・ゴミ等を洗浄液を用い除去した。
③　浸透処理　：　溶接部及び止端部より１３㎜（熱影響部）の範囲を刷毛塗りにて浸透させ２０分保持した。

④　洗浄処理　：　洗浄液をウエスに染み込ませ、過洗浄にならないように余剰浸透液を除去。
⑤　現像処理　：　現像液をスプレーにより薄く均一に塗布した。
⑥　観　察　　：　現像処理後、７分～３０分の間、欠陥指示模様の有無を観察した。

⑶　検査結果

実施した２回の検査の結果、本体及びノズル溶接部について欠陥指示模様はひとつも認められず、蒸発缶の健全性を確認した。（写真６．２参照）

６．２．４　超音波探傷試験

⑴　概　要

溶接部について、浸透探傷試験による外表面欠陥の確認に対し、内部欠陥の有無を超音波探傷試験により確認した。

⑵　検査方法

ＪＩＳ　Ｚ　３０６１「曲面状の鋼溶接部の超音波探傷試験方法」による斜角探傷法を準用して試験体の超音波を入射して、試験体内部の傷からの反射波を検出して、傷を調査する。（図６．６参照）

⑶　検査条件

①　使用機材　　装　置　　：ＵＳＬ－４２　　（クラウトクレーマー社製）
　　探触子　　：MWB７０－４Ｅ（クラウトクレーマー社製）
　　対比試験片：ＪＩＳ　ＳＴＢ－Ａ３　（ＳＵＳ３０４）
　　ＪＩＳ　ＲＢ－４　№1（ＳＵＳ３０４）
　　接触媒質　：ソニコート
②　感度設定（図６．７参照）
③　領域設定（図６．８参照）
④　操作範囲及び走査方向（図６．３参照）
　　検査範囲は図６．３Ａ・Ｂ・Ｃ・Ｄの体積部。
　　走査方向は溶接線に対して直角方向で走査した。
　　裏波の反射エコーは前回との比較の為、Ｍレベル以上
　　（領域Ⅲ）を記録、Ｍレベル以下は確認とした。
⑤　検出レベル　　Ｌ検出レベル以上とし記録した。

⑷　検査結果

蒸発缶本体の周方向溶接部５本及び軸方向２本の溶接部の検査を実施し、有害なエコーはなく健全であることを確認した。

表6．1 供用期間中の検査の実績

施設名	機器名称（機器番号）	基数	製作規格（溶接基準）	設置場所 部屋番号	使用流体	検査方法	検査時期 元年	4年	7年	10年	13年	備考
廃溶媒処理技術開発施設	蒸発缶（328E45）	1	1級（第4種）	R004	低放射性廃液	入セル外観目視及び写真又はVTR	●	●	●	●	予定	1回／3年

表６．２　検査液の仕様

種　類	銘　柄	ロッド番号	適用時間
浸透液	ＩＫＳ－ＰＡＵ	Ｕ７００６６０	２０分
洗浄液	ＩＫＳ－ＲＡＵ	Ｕ７００６６２	―――
現像液	ＩＫＳ－ＤＡＵ	Ｕ７００６１９	７～３０分

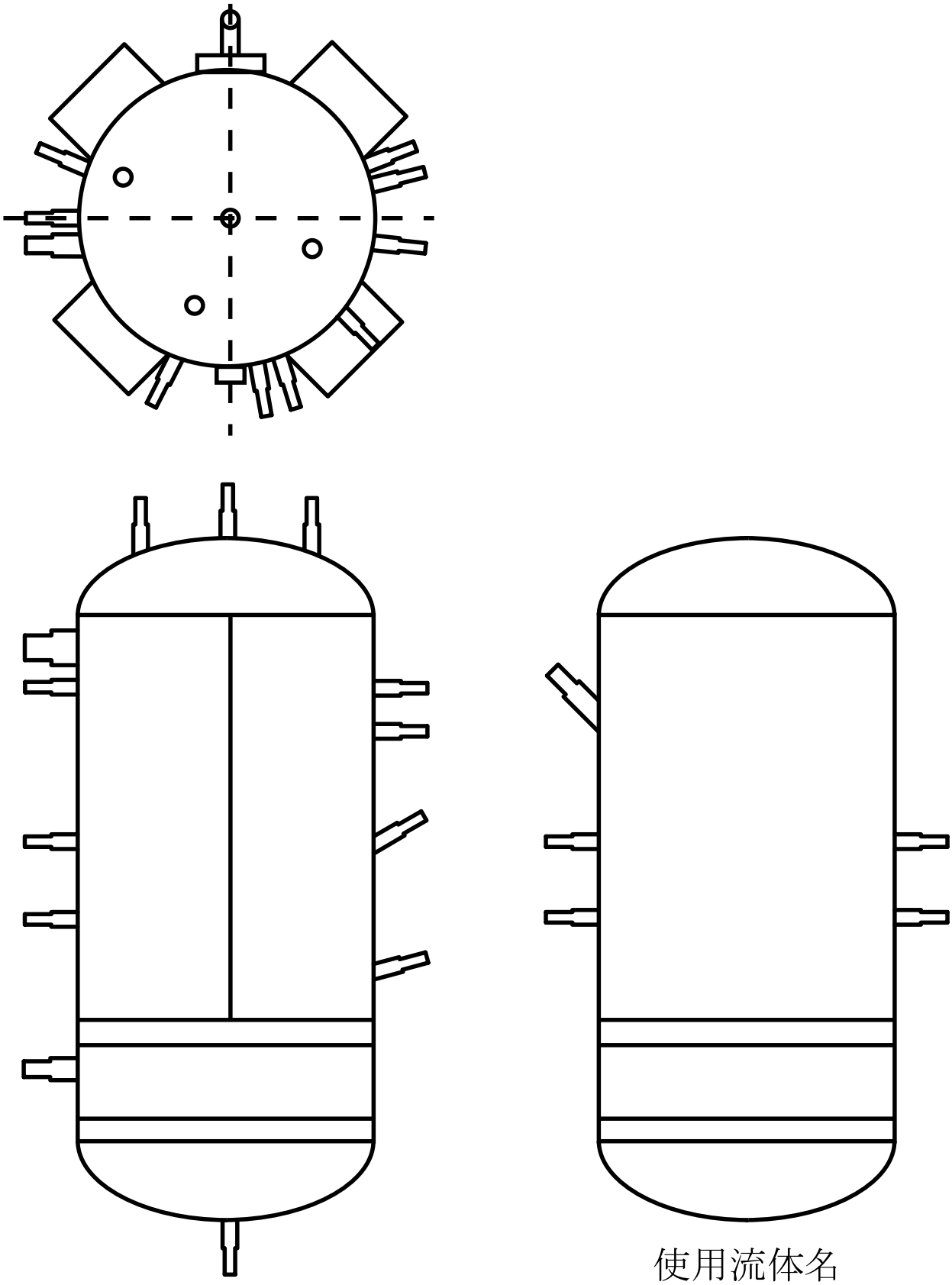


図6．1　蒸発缶(328E45)の健全性確認検査説明図

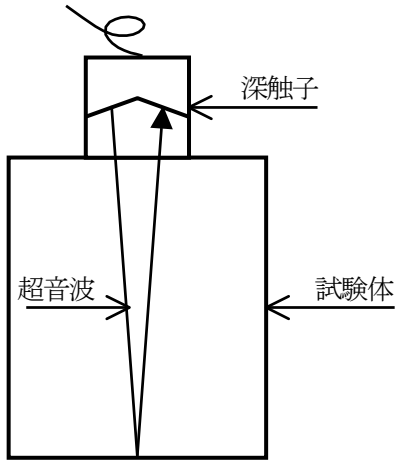


図６．２　内厚測定方法

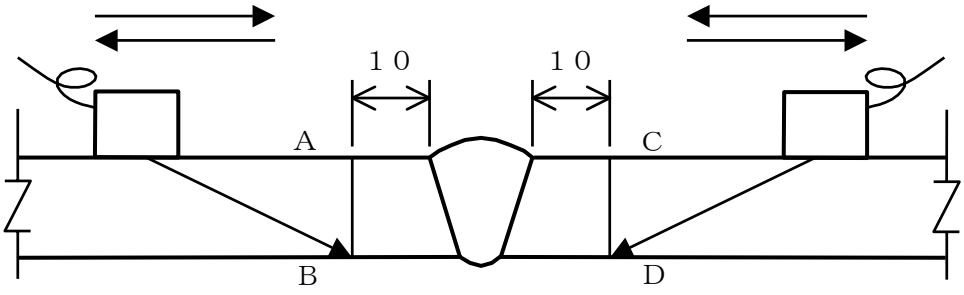
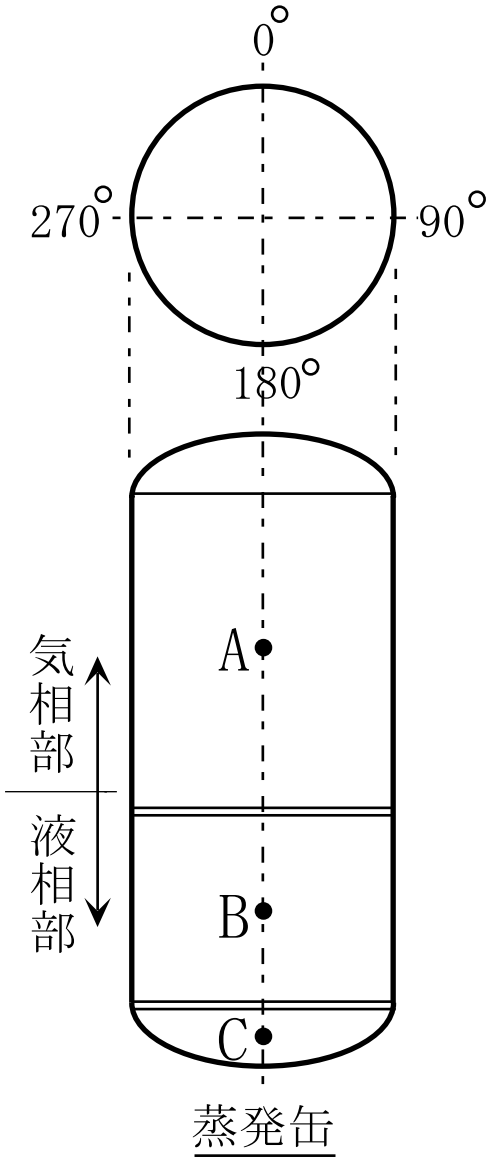


図６．３　探触子操作範囲及び走査方向



単位;mm

	0°		90°		180°		270°		公称板厚
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
A	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	9.0
B	9.1	9.0	9.0	9.1	9.1	9.2	9.0	9.0	9.0
C	11.0	11.2	11.5	11.5	11.3	11.3	11.2	11.2	11.0

＊測定時期：１回目；Ｓ62年12月(運転時間;約 500h)
２回目；Ｈ６年１月(運転時間;約1300h)

図６．４　肉厚測定結果

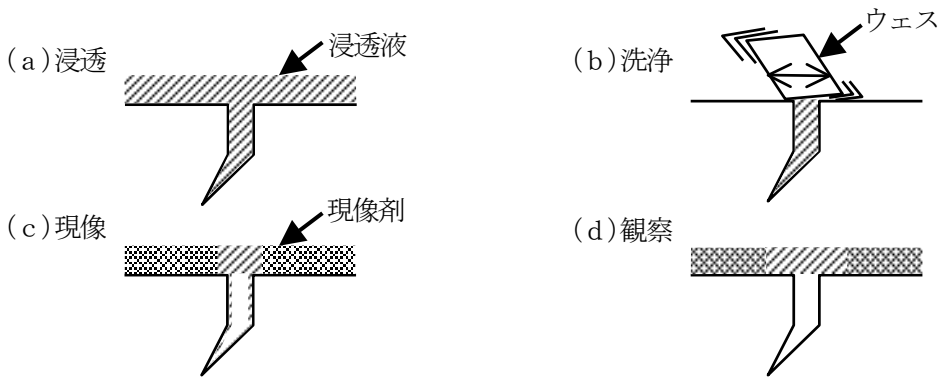


図６．５　浸透探傷試験の基本操作

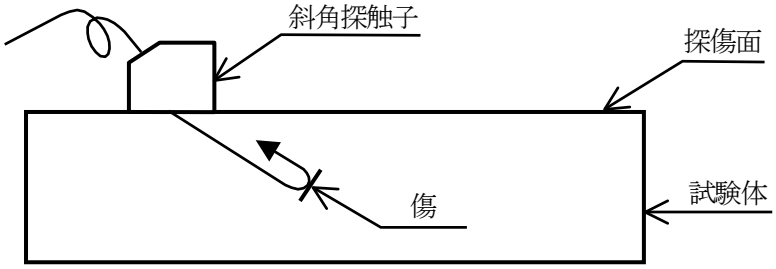


図６．６　斜角探傷試験とその図形

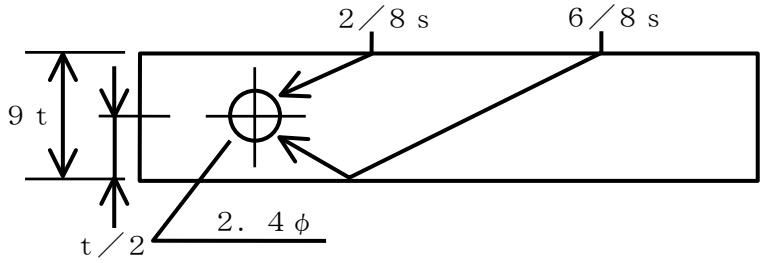


図６．７　ＲＢ－４　№1を使用して感度設定

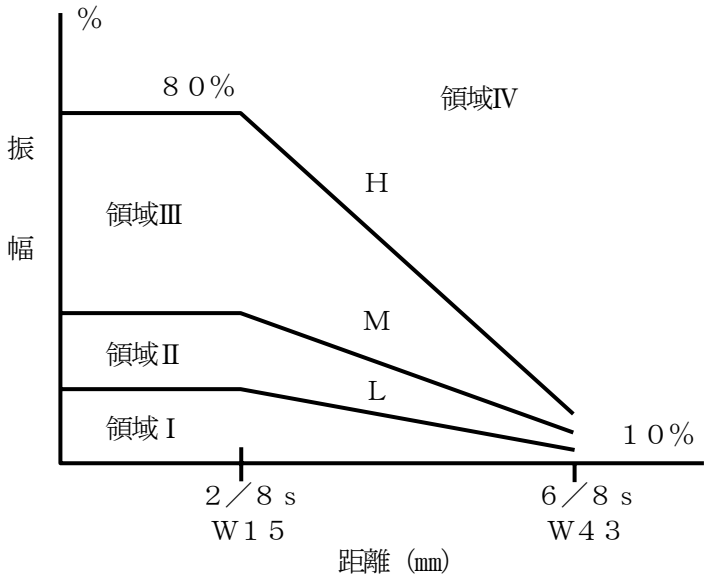
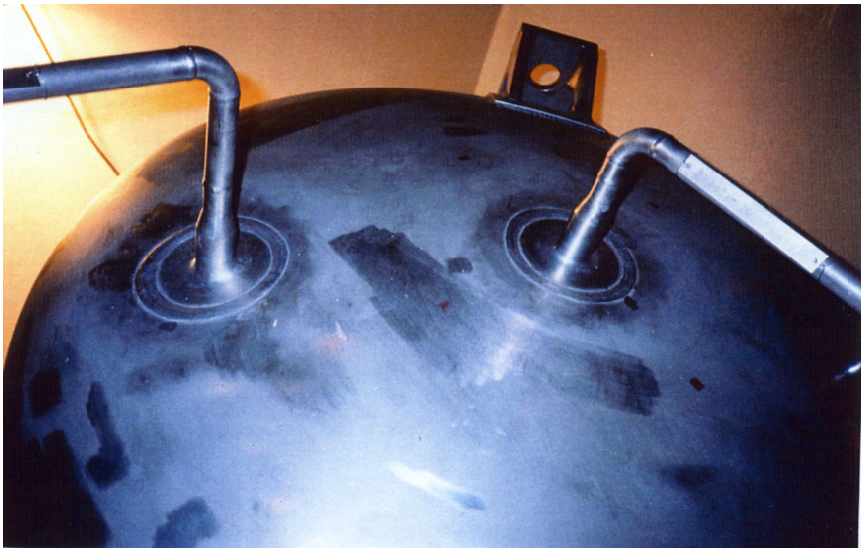


図６．８　基準領域設定



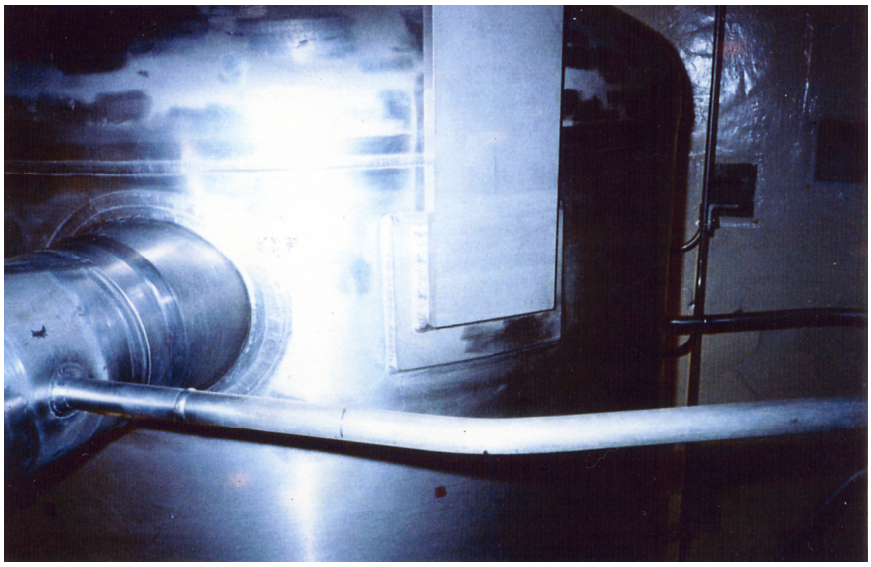
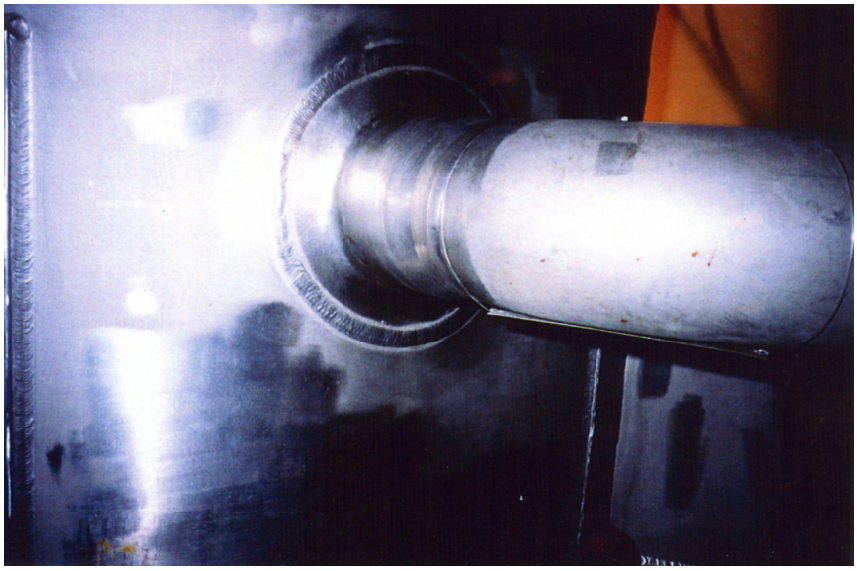


写真６．１　蒸発缶外観(1/2)



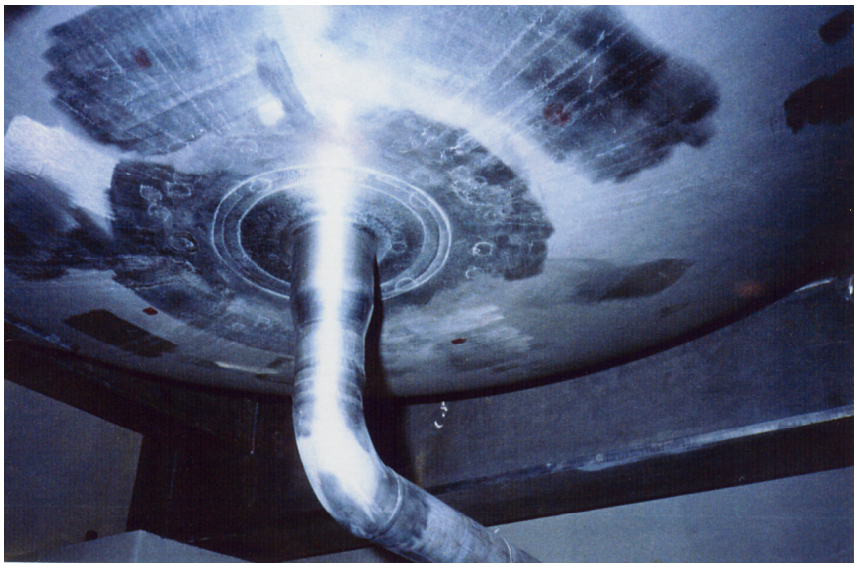
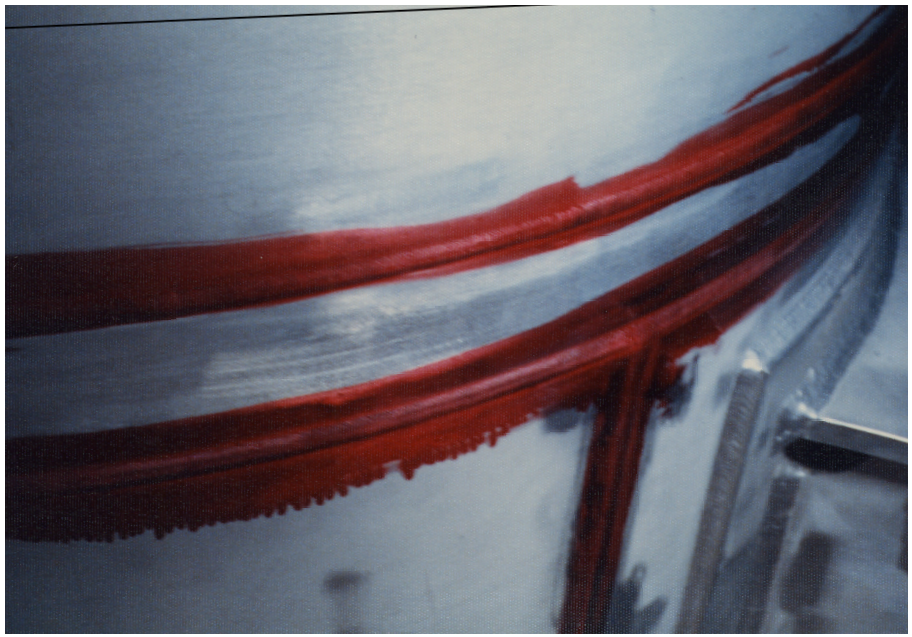


写真６．１　蒸発缶外観(2/2)



本体胴周方向溶接部

写真６．２　ＰＴ実施状況