

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-634

航技研高圧貯気槽設備の更新について
(第4高圧貯気槽設備の計画と構成)

馬場 滋夫 ・ 末永 尚史
鈴木 正光 ・ 戸田 亘洋

1991年3月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. 更新に至る迄の経緯	3
2-1 第1, 第2 高圧貯気槽の欠陥検出状況	3
2-2 第1 高圧貯気槽の構造の問題点	8
2-3 第1, 第2 高圧貯気槽の材料等の問題点	9
2-4 更新の理由	10
2-5 更新の基本方針	10
3. 設備概要	11
3-1 高圧貯気槽設備概要	11
3-2 第4 高圧貯気槽本体	13
3-3 第4 高圧貯気槽定温装置	15
3-4 高圧導管, 元弁	17
3-5 検査用内部旋回梯子	18
4. 試験および性能	18
4-1 貯気槽球殻板および付属ノズル類の品質検査と本体組立検査	18
4-2 非破壊検査	19
4-3 耐圧試験, 気密試験	20
4-4 定温装置性能試験	21
5. 元弁制御装置改修	25
6. 高圧貯気槽設備の今後の取扱いについて	27
7. あとがき	27
8. 参考文献	28

航技研高圧貯気槽設備の更新について*

(第4 高圧貯気槽設備の計画と構成)

馬 場 滋 夫*¹ 末 永 尚 史*¹
鈴 木 正 光*¹ 戸 田 亘 洋*¹

Replacement of the NAL High Pressure Air Storage System*

Shigeo BABA*¹, Hisashi SUENAGA*¹, Masamitsu SUZUKI*¹
and Nobuhiro TODA*¹

ABSTRACT

The replacement process is described for the high pressure air storage vessel attached to the 2 m × 2 m Transonic Wind Tunnel of the National Aerospace Laboratory (NAL). The oldest two of three existing 10 m diameter vessel were dismantled and replaced by a new 13 m diameter vessel, thereby preserving the total capacity. Both the operational and maintenance histories of the old vessel are discussed, as well as the design construction features included in the new one, its initial test results, and the important issues related to future system operations.

Keywords: High Pressure Air Storage Vessel, Blow Down Wind Tunnel

概 要

航技研の従来の高圧貯気槽設備は内径10m 2基と内径12m 1基計3基の球型貯気槽設備で構成されていた。昭和60年度から始まった遷音速風洞特別改修の中で、この内径10mの貯気槽2基を廃棄し、ほぼ等容量の内径13mの球型貯気槽1基に更新した。本報告は更新に至る迄の経緯、更新に際しての留意点、設備概要、試験および性能、元弁制御装置の改修および今後の高圧貯気槽設備の取扱いについて述べたものである。

1. ま え が き

航空宇宙技術研究所(以下、当研究所)には、遷音速風洞および各吹出式風洞に乾燥空気を供給するため高圧貯気槽設備が設置されている。高圧貯気槽設備は、2m×2m 遷音速風洞¹⁾の風洞内圧力の制御と風洞内の空気を乾燥空気に置換する

ほか、大規模の吹出式風洞3基(1m×1m 超音速風洞²⁾、0.6m×0.6m 遷音速フラッター試験設備、0.3m×1m 二次元風洞³⁾)の作動空気源として、あるいは大型低速風洞、操縦面二次元風洞等への空気源設備として活用されてきた。

遷音速風洞(昭和35年完成)および遷音速風洞の関連試験設備は、長期間に亘る稼働により全体的に老朽化が進んでいる。このため遷音速風洞の内圧調整系の特別改修の一環として昭和62年度か

* 平成3年3月6日(received 6 March 1991)

*¹ 空力性能部(Aircraft Aerodynamics Division)

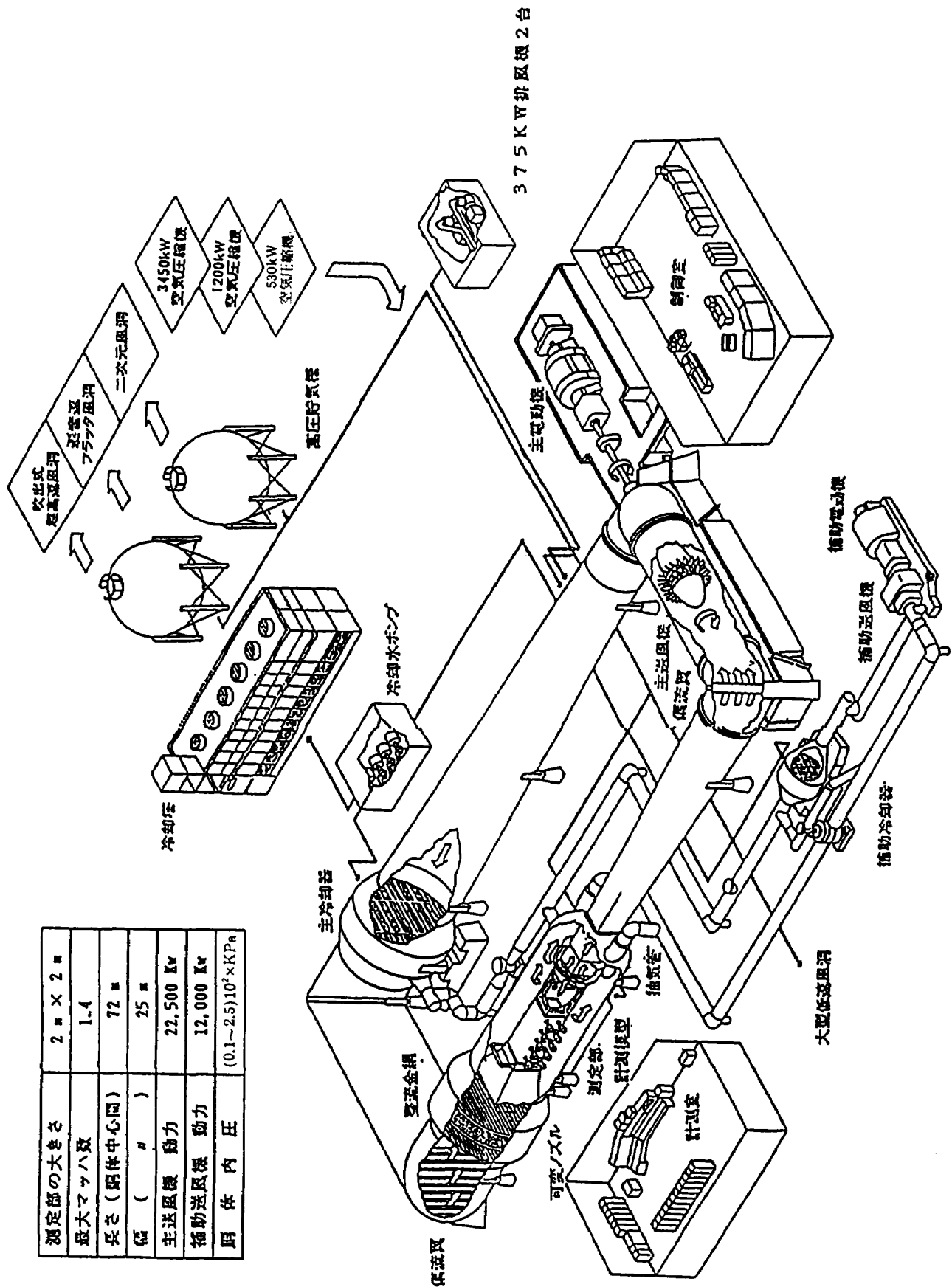


図 1 遷音速風洞全体配置図

ら昭和63年度にかけて高圧貯気槽設備を更新した。図1に遷音速風洞全体配置図⁴⁾を示す。

従来の高圧貯気槽設備は球型で、その構成は内径10mの第1、第2高圧貯気槽（圧力2.06MPa、容量524m³×2）と内径12mの第3高圧貯気槽⁵⁾（圧力2.06MPa、容量905m³）の3基からなっていた。図2に更新前の旧高圧貯気槽設備配置図を示す。このうち第1、第2高圧貯気槽設備はそれぞれ昭和33年および昭和36年に設置され稼働してきたが、昭和50年高圧ガス取締法が改正され開放検査が義務付けられ当研究所の高圧貯気槽設備も昭和51年より開放検査を実施することとなり、同法の規定に従い開放検査を3年毎に行ってきた。しかし乍ら、開放検査毎に多数の溶接補修を要する欠陥箇所は、回を重ねる毎に増加する傾向にあり、災害防止と維持経費の軽減を図るため今般、既設高圧貯気槽のうち、昭和30年代に設置された2基を廃棄することとし、ほぼ等容量の貯気槽1基に更新した。

本報告は、この第1、第2高圧貯気槽を廃棄し、

両貯気槽とはほぼ等容量の内径13mのもの（第4高圧貯気槽と呼ぶ）に更新したので、それに至る迄の経緯、設備概要、試験および性能、元弁制御装置の改修および今後の高圧貯気槽設備の取扱い等について述べる。

なお、この種のデータは問題の特殊性からか、公表された例に乏しく、貴重な資料として提供できるものと思う。

2. 更新に至る迄の経緯

2-1 第1、第2高圧貯気槽の欠陥検出状況

表1に旧設備の第1、第2高圧貯気槽の要目を示す。

第1高圧貯気槽は、遷音速風洞および遷音速フラッター試験設備の共有設備として昭和33年に設置されたもので、内径10m、圧力2.06MPa（20kgf/cm²G）、容量524m³である。使用材料は高張力鋼T-1鋼（U、Sスチール社製）で、槽内に補強環が取り付けられている。構造は、トップクラウン3、センタリング14、ボトムクラウン3の合計

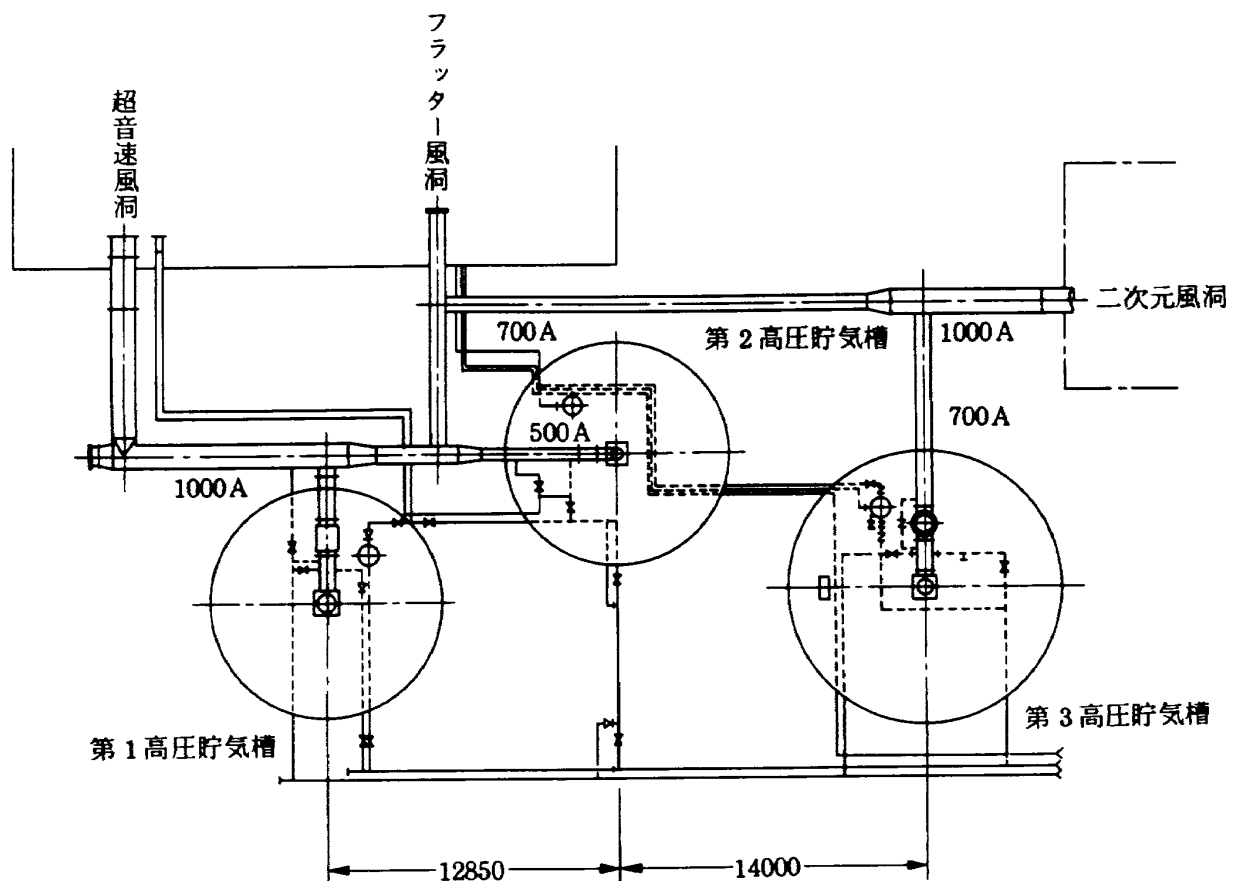


図2 更新前の高圧貯気槽設備配置図

表 1 旧(第1, 第2)高圧貯気槽設備要目

	第1高圧貯気槽	第2高圧貯気槽
型 式	鋼板全溶接球型	鋼板全溶接球型
内 径	10m	10m
圧 力	2.06MPa (20kgf/cm ² G)	2.06MPa (20kgf/cm ² G)
容 積	524m ³	524m ³
球殻枚数	20枚 (3, 14, 3)	46枚 (2, 14, 14, 14, 2)
球殻材料	T-1 鋼	2H鋼
設計板厚	21.98mm (腐れ代1mm含む)	34.7mm (腐れ代1mm含む)
使用板厚	脚柱取付部25.4mm, その他23.81mm	35mm
余 裕 代	脚柱取付部3.4mm, その他1.8mm	0.3mm
地震係数	0.15G 補強環付属	0.15G
脚 柱	7本	7本
適用法規	高圧ガス取締法	高圧ガス取締法
製作年月	昭和33年10月	昭和36年3月
定温装置	定温缶 90万個内蔵 総質量 57.24Mg	集中型積層波板鉄板 総質量 30Mg

20枚の球殻板を溶接したものであり、7本の脚柱により支持されている。使用板厚は、脚柱取付部球殻板が25.4mmで、その他の球殻板は23.81mmである。また各高圧貯気槽内には、吹出式風洞の空気放出による温度降下を防止するため定温装置が設置されている。この定温装置は、空気充填時に熱を蓄え、空気放出時に放熱する蓄熱器である。

第1高圧貯気槽の定温装置は、定温缶(外径77mm, 高さ81.5mmの円筒で両端面に直径20mmの開孔があり板厚0.28mmで1個の質量が63.6grである)を90万個充填する形式のもので、総質量は57.24Mgである。

第2高圧貯気槽は、超音速風洞の建設に伴い、昭和36年に設置された。圧力、寸法および容量は第1高圧貯気槽と同じで、使用材料は高張力鋼2H鋼(日本製鋼製)である。構造は、トップクラウン2, アッパーリング14, センタリング14, ロワーリング14, ボトムクラウン2の合計46枚の球殻板を溶接したものでできており、7本の脚柱

により支持され、使用板厚は35mmである。

第2高圧貯気槽の定温装置は、厚さ0.6mmの亜鉛引波型鉄板を重ね合せ要所を型枠で締付けたもので、上側350mm×249mm×2498mm, 下側350mm×249mm×2438mmの各単体を96個, 上下2段に配置した集中型の形式である。質量は30Mgである。

高圧貯気槽設備は、安全性確保のため、2-3項で述べるように昭和50年高圧ガス取締法が改正されて開放検査が義務付けられ、当研究所の設備も開放検査を昭和51年より実施することになった。この開放検査は、高圧貯気槽設備の安全を確認するために完成後2年以内に1回、その後3年毎に行うべきもので、表2に検査項目と検査方法を示す。図3に開放検査で欠陥が検出された場合の補修方法と検査方法を示す。これに示されるように開放検査に於て磁粉探傷試験で欠陥が検出された場合の補修方法は図3に示すようにグラインダー補修と溶接補修に分類される。欠陥除去後の残存

表2 開放検査の検査項目と検査方法

検 査 項 目		検査方法
貯気槽内外面の全般について表面の腐食状態、表面キズの有無 を検査する		目視検査
球殻板の板厚測定 (各球殻板毎の4点測定)		超音波厚み計
貯 気 槽 内 面	本体突合せ溶接線全線	磁粉探傷試験 (MT)
	本体と各ノズル、各マンホール、排気口突合せ溶接線全線	
	本体と補強環、補強板溶接線全線 (第1貯気槽の場合)	
	治具取付跡部	
貯 気 槽 外 面	本体と各ノズル、各マンホール、排気口突合せ溶接線全線	磁粉探傷試験 (MT) 染色浸透探傷 試験 (PT)
	本体と脚柱取付部溶接線全線	
	本体と階段取付ピース溶接線全線	
	本体と水切板の溶接線全線 (第2貯気槽の場合)	

板厚が設計板厚を確保できる場合はグラインダー補修を、欠陥除去後の残存板厚が設計板厚を下回る場合は設計板厚を確保するため溶接補修を行うことになっている。

図3に示すように、第1高圧貯気槽の開放検査に於ては、貯気槽内に定温装置(定温缶)が、即ち空缶が充填されているので、これらを搬出しなければ貯気槽内溶接線検査(磁粉探傷試験)ができず、従って検査後槽内に搬入しなければならない。また、積層波板鉄板は溶接補修後の耐圧試験(水圧)に於て錆が発生することが予測されるため、開放検査毎に貯気槽外部に搬出、搬入を行わなければならない。このため多額の経費と工事期間を必要とした。更に定温缶や積層波板鉄板は槽外存置時にごみ、異物等が付着し易く、これが供給空気に混入し、風洞故障等の要因となっている

のに対し、その防止、除去は極めて困難であった。

第1、第2高圧貯気槽の溶接補修を行った欠陥の総分布図を図4、図5に示す。開放検査毎に多数の溶接補修を行っている第1高圧貯気槽は、各年次毎の溶接補修数は減少する傾向を示すが、第2高圧貯気槽では2回目に減少したものの3回目には著しく増加している。

また欠陥の部位は、第1高圧貯気槽では治具跡と補強環(図9参照)に、第2高圧貯気槽では溶接時の熱影響部、治具跡に集中して検出された。

図6、図7は第1高圧貯気槽(昭和56年第3回開放検査データ)、第2高圧貯気槽(昭和58年第3回開放検査データ)に於ける欠陥の様子を示し、縦軸に欠陥の深さ(a)、横軸に欠陥の長さ(2c)を表わしたものである。欠陥(割れ)は、深さで5mm以下、長さで10mm以下に集中していること

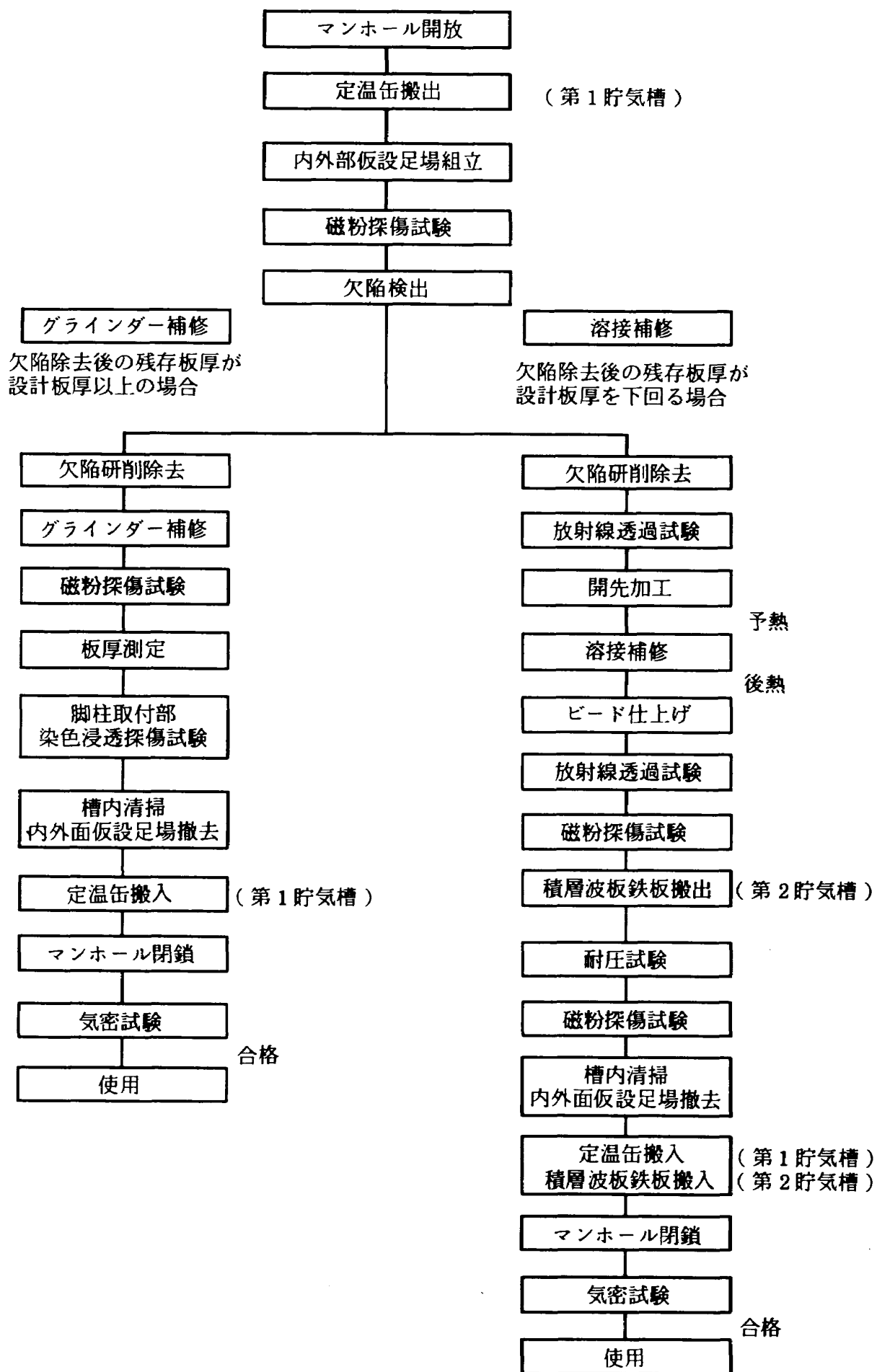


図3 開放検査で欠陥が検出された場合の補修方法と検査方法

第1貯気槽溶接補修数

	第1回	第2回	第3回	第4回
年度(昭和)	51年	53年	56年	59年
溶接補修数	105	112	30	18

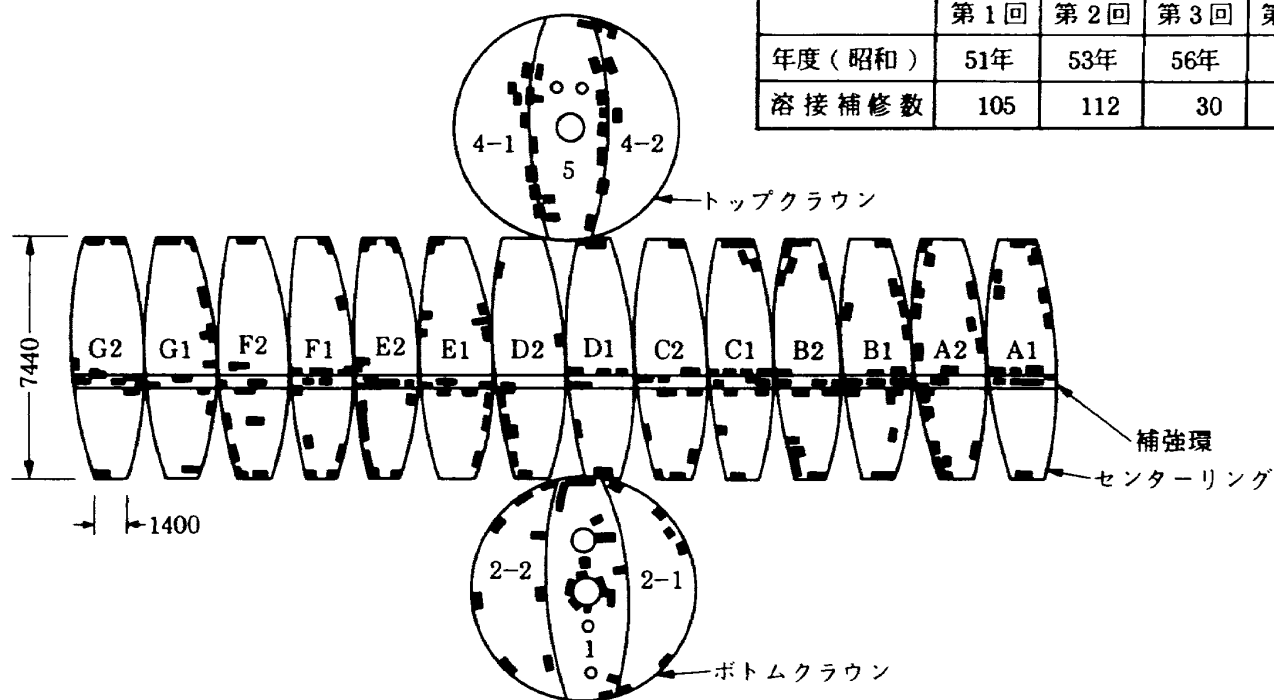


図4 第1高圧貯気槽溶接補修分布

第2貯気槽溶接補修数

	第1回	第2回	第3回
年度(昭和)	52年	55年	58年
溶接補修数	43	16	97

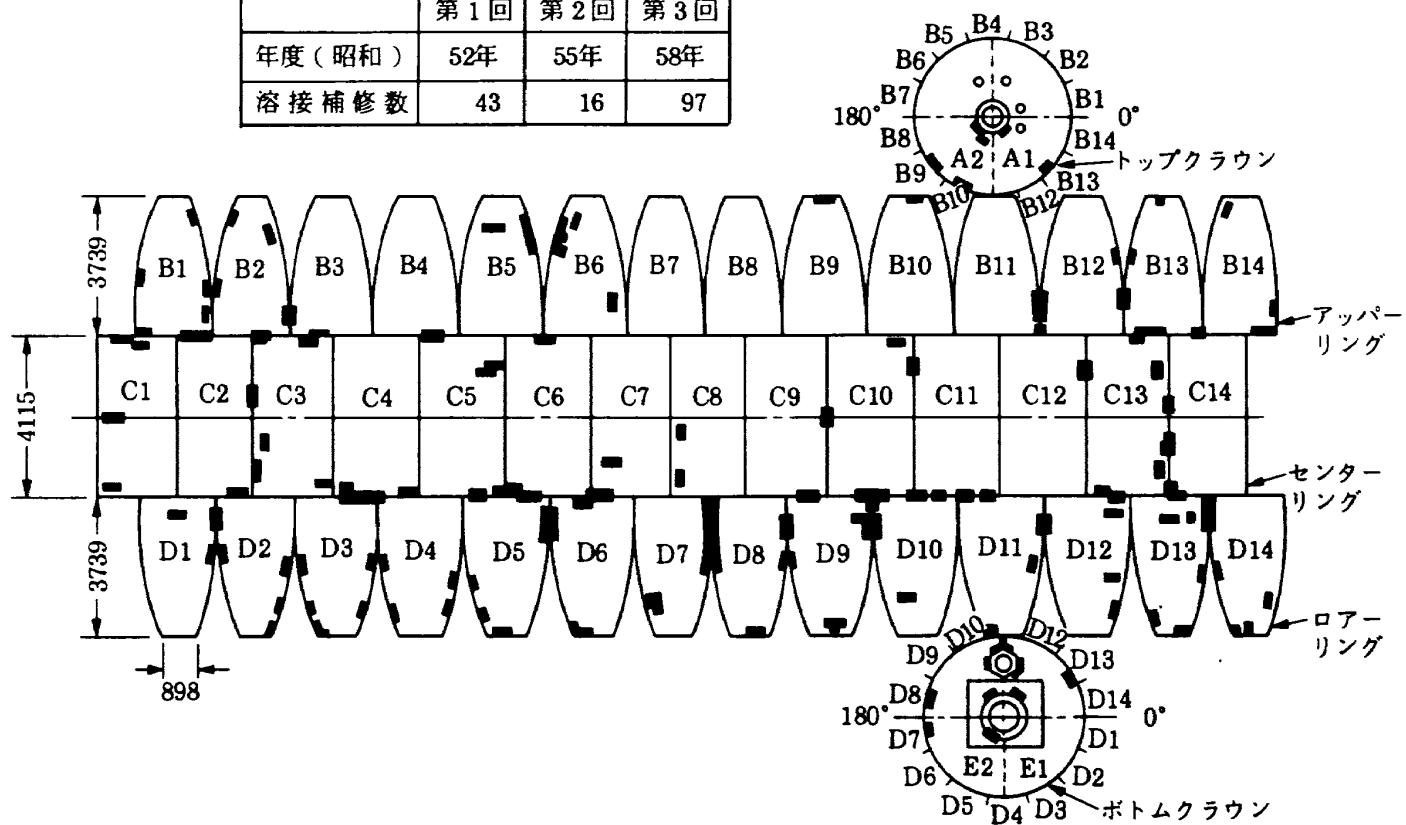


図5 第2高圧貯気槽溶接補修分布

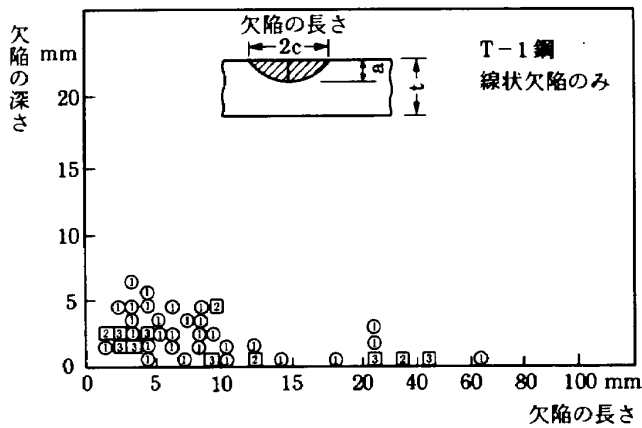


図6 第1高圧貯気槽における欠陥の大きさ
昭和56年 第3回開放検査データ
(記号内の数字 欠陥数)

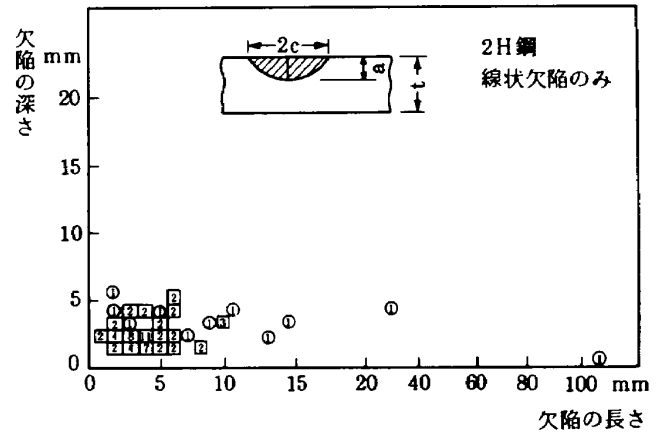


図7 第2高圧貯気槽における欠陥の大きさ
昭和58年 第3回開放検査データ
(記号内の数字 欠陥数)

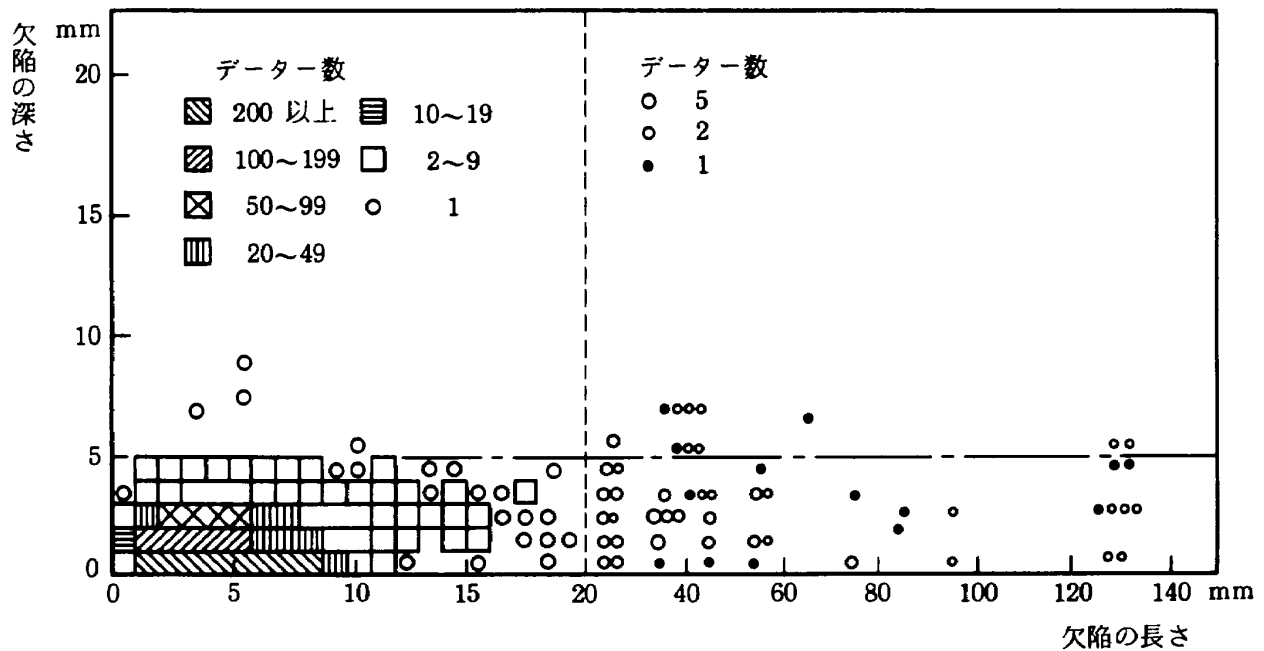


図8 神奈川県下における球型貯槽の欠陥の長さとの深さの関係

が判る。

図8は、同時期に作られた神奈川県下における球型貯槽の欠陥の形状分布⁶⁾を示し、当研究所の第1、第2高圧貯気槽と非常に酷似している。昭和51年当時、神奈川県下の200m³以上の球型タンクは、209基設置されており、そのうち多数の割れ欠陥が検出された11基は補修費用と保安意識の向上により廃棄された⁷⁾。

2-2 第1高圧貯気槽の構造の問題点

第1高圧貯気槽内には、耐震のため中心より

900mm下方に地震時の水平震度0.15Gの水平荷重に耐えられるように図9に示す補強環および補強板が隅肉溶接で取付けられている。既に述べたように、開放検査によって図4の溶接補修分布に示すように、補強環、補強板溶接部に多数の割れ欠陥が検出され溶接補修された。

開放検査の具体的な問題点として、図9に示すように球殻溶接部の一部分(検査不可の部分)が検査できないことである。この部分にも欠陥の発生が十分考えられたが、実施された方法では検査が不可能であり、このことが憂慮された。なお

球型貯槽の基本構造には年代的に大きな変化は見られないが、このような補強環は近年の球型貯槽には、ほとんど見られなくなったのも、上に述べた検査不備の問題があったためであろうと思われる。

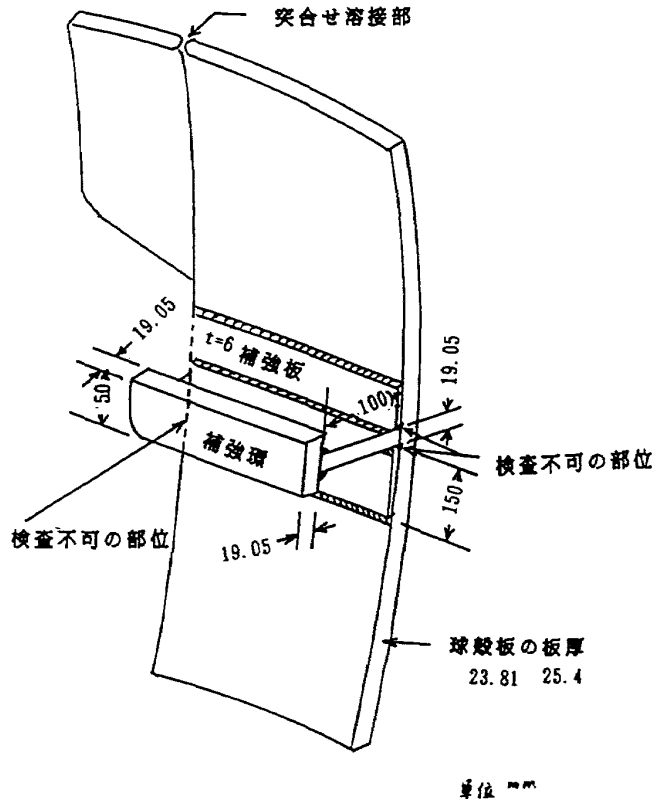


図9 第1高圧貯気槽の補強環の周囲の状況

る。

2-3 第1, 第2高圧貯気槽の材料等の問題点

表3は、昭和30年に日本最初の球型貯槽が完成して以来の日本の球型貯槽に関連する事項を年譜にまとめたものである。昭和37年、川崎でLPガスの漏洩事故が発生し、この事故を契機に昭和38年にLPガスプラント貯蔵タンク基準が作成され、昭和39年に神奈川県では、高圧ガス製造設備検査基準を制定し、溶接施工、検査組織、検査方法等について規制した。昭和43年には徳山、千葉の球型貯槽が破裂する事故があり、この事故を契機として材料の改良、溶接施工法の改善、検査方法の改善、製作および保安基準、規則等の整備が進められ、昭和50年には、通産省からの通達（保安検査実施要領）により高圧貯気槽は開放検査することが義務付けられた。

第1, 第2高圧貯気槽が建設された昭和30年代は、高張力鋼を用いた球型貯気槽の創始期に相当し、技術的に現在と比べると材料、溶接施工管理法、検査技術等が確立されていず未熟であった。例えば、高張力鋼の強度は高いが割れ感受性も高

表3 日本の球型貯槽の年譜

昭和年	関 連 事 項	航 技 研
30	日本最初の球形貯槽完成	第1貯気槽設置
31	T-1鋼製10万 NM^3 都市ガスホルダー完成	
32	国産HT-60の開発・実用化	
33		
34	国産HT-80の開発・実用化	
35	WES・HW鋼・原形規格の誕生	
36	高張力鋼被覆アーク溶接棒JIS制定	
37	川崎でLPガスの漏洩事故発生	
38	LPガスプラント貯蔵タンク基準作成（磁粉探傷試験適用）	
39	神奈川県高圧ガス製造設備検査基準制定、WES・HW鋼規格の誕生	
40		第2貯気槽設置
41		
42		
43	徳山・千葉で事故発生、圧力容器用鋼板JIS制定	
44	高圧ガスの球形貯槽に関する基準作成	
45	神奈川県KH委員会発足（鋼材の低Ceq化・PCM化）	
46		
47	難吸湿・極低水素溶接棒の開発・実用化	
48	CF鋼の実用化	
49	全体焼鈍した球形貯槽完成	
50	保安検査実施要領・通産省通達	第3貯気槽設置
51	高圧ガス取締法・特定設備検査規則制定	
52		
53	LPガスプラント検査基準作成	
54		
55	高張力鋼使用基準作成	

いという面については、考慮されなかった。以上の各点を勘案すると、検出された欠陥の多くは建設当時から内在していたと考えられる。

また前述したように、同時期に作られた神奈川県下の他事例でも多数の欠陥が検出されている。しかしながら、材料の面では昭和40年代後半には炭素当量 (Ceq) あるいは割れ感受性組成 (Pcm) を低めた鋼材が出現し、難吸湿低水素溶接棒が実用に供された。昭和30年代から昭和40年代に用いられた球型貯槽の材料である T-1 鋼 (第 1 高压貯気槽) および 2H 鋼 (第 2 高压貯気槽) と昭和60年代の SPV50Q-CF 鋼 (第 4 高压貯気槽) のそれぞれの化学成分を表 4 に、割れ発生の感度を示す炭素当量 (Ceq) および割れ感受性組成 (Pcm) を表 5 に示す。Ceq と Pcm の数値は大きいほど割れ発生が多い。第 1 高压貯気槽の材料である T-1 鋼に比べて、第 4 高压貯気槽の材料である SPV50Q-CF 鋼は Ceq, Pcm の値が概ね半減している。

2-4 更新の理由

第 1, 第 2 高压貯気槽は設置後 29 年, 26 年余使用してきたが次の理由により更新することとした。

(1) 開放検査毎に多数の欠陥が検出され、その

都度溶接補修を行い使用されてきたがそれも限界にきた。

- (2) 一般に昭和30年代当初に建設された球型貯槽は、廃棄する傾向にある。
- (3) 第 1 高压貯気槽内には、補強環が取付けられているため検査できない部位があり、構造的に問題がある。
- (4) 欠陥の大多数は、建設当時から内在したものと考えられる。
- (5) 使用継続の場合は、充分な開放検査を行い、特別な保全体制で欠陥の監視を行う必要があるが、これは大きな困難が伴う。欠陥検出の状態から溶接補修を要しない状態に至る迄には多額の費用と工期を要するが、それを行っても十分な安全の確保は不可能であろう。

2-5 更新の基本方針

高压貯気槽設備更新に際しては、次に示す基本方針により構成および機器の選定を行うようにした。

- (1) 容量を確保する。

当研究所内の各風洞に供給すべき高压乾燥空気は増大する一方であり、それに応えるだ

表 4 材料の化学成分

材料 \ 化学成分	C	Si	Mn	P	SS	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
T-1 鋼	0.16	0.26	0.75	0.025	0.031	0.32	0.79	0.51	0.46	0.05	0.005
2H 鋼	0.13	0.38	1.24	0.021	0.011	0.21	0.21	0.12	0.04	—	0.005
SPV-50Q-CF 鋼	0.08	0.24	1.37	0.014	0.003	0.01	0.02	0.02	0.15	0.038	0.001

表 5 Ceq, Pcm

材 料	Ceq (炭素当量)	Pcm (溶接割れ感受性組成)
第 1 貯気槽 T-1 鋼	0.536	0.348
第 2 貯気槽 2H 鋼	0.392	0.237
第 4 貯気槽 SPV-50Q-CF 鋼	0.374	0.170

けの容量を確保することが必要条件である。現在では第1, 第2高圧貯気槽2基の合計容量を, 1基の貯気槽で確保することは可能であり, 1基にすることにより設備簡素化と保守費用の軽減を図る。

- (2) 球殻板の材料は, 溶接性に優れ, かつ靱性に富んだJISG3115圧力容器用鋼板のSPV50 Q-CF鋼を使用する。

- (3) 開放検査を容易にできる構造とする。

第4高圧貯気槽の定温装置は, 開放検査時および耐圧試験時にも搬出しないで済む構造のステンレスパイプ集中型とする。また開放検査時に多額の経費を必要とする仮設足場にかわるものとして, 槽内に検査用内部旋回梯子を設置する。

- (4) 自動溶接

新しい試みとして, 第4高圧貯気槽の縦溶接線を現場で自動溶接施工し, 品質の均一性と向上を図る。自動溶接は溶接条件のバラツ

キが少い利点があり, 今後は現地溶接を伴う貯気槽の製作に於て, 品質向上と生産性向上を目的とした自動溶接が大幅に採用されると思われる。

3. 設備概要

3-1 高圧貯気槽設備概要

高圧貯気槽設備は, 貯気槽本体, 基礎, 定温装置, 高圧導管, 元弁, 充填管, 側路管, 弁類, 小径圧力配管および元弁制御装置等で構成されている。図10に設備更新後の高圧貯気槽設備配置図を示す。更新の範囲は図10に示す斜線部分である。設備更新後の高圧貯気槽設備は, 既設の内径12m, 圧力2.06MPa (20kgf/cm²G), 容量905m³の第3高圧貯気槽(昭和51年設置)と新設の内径13m, 圧力2.06MPa (20kgf/cm²G), 容量1150m³の第4高圧貯気槽の2基で構成され総容量は2055m³, 常用圧力2.06MPa (20kgf/cm²G), 貯気空気質量50.4Mg (293K, 20kgf/cm²G)である。表6に第

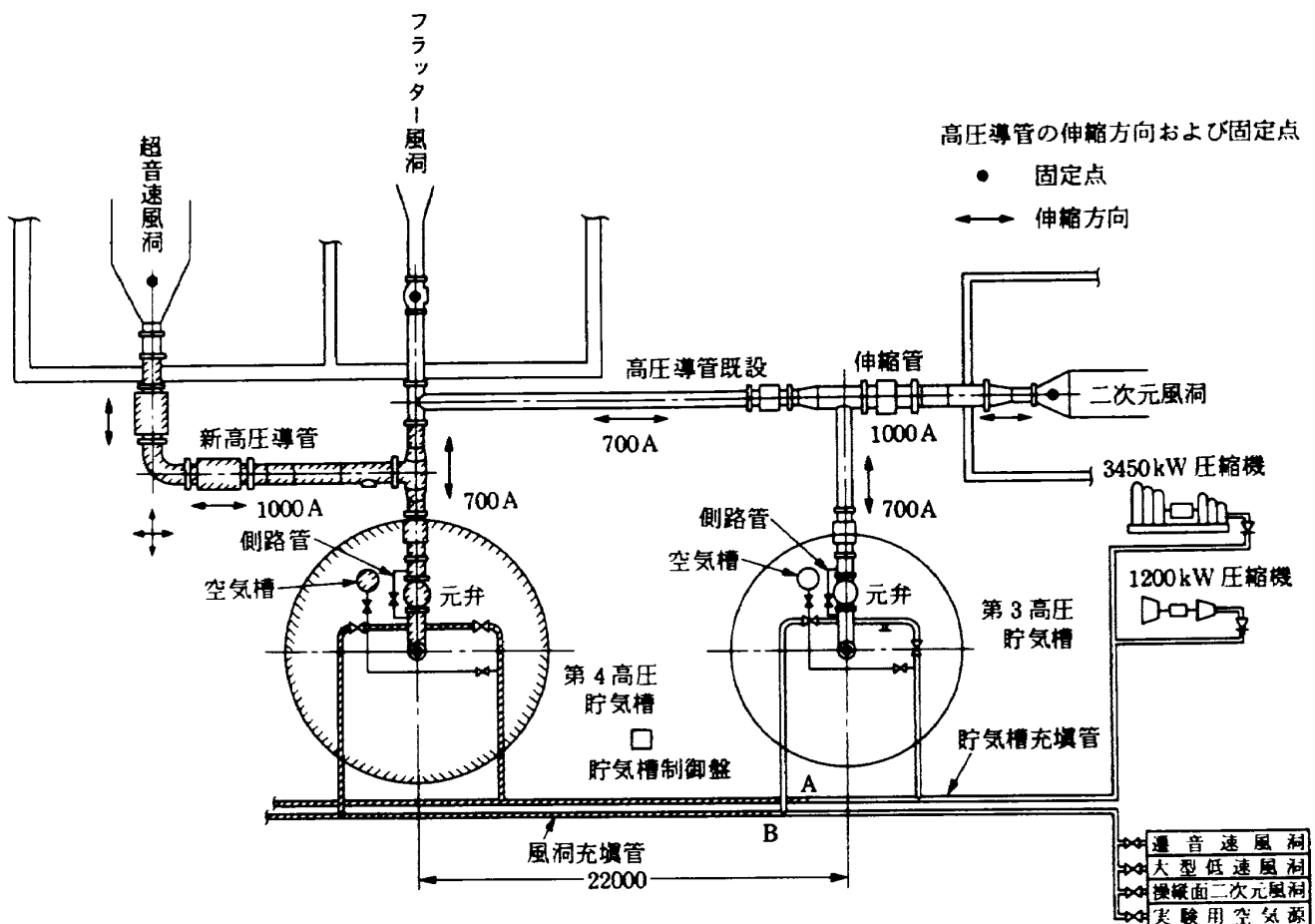


図10 新(第3, 第4)高圧貯気槽設備要目

表6 第3, 第4 高圧貯気槽設備要目

		第3 高圧貯気槽	第4 高圧貯気槽
		型式	型式
高 圧 貯 気 槽	内 径	12M	13M
	圧 力	2.06MPa (20kgf/cm ² G)	2.06MPa (20kgf/cm ² G)
	容 積	904.8m ³	1150m ³
	充 填 気 体	高圧乾燥空気	高圧乾燥空気
	球 殻 材 質	リバーエース60H (川鉄製)	SPV-50Q-CF (川鉄製)
	球 殻 枚 数	54枚 (3, 16, 16, 16, 3)	28枚 (3, 5, 12, 5, 3)
	設 計 板 厚	28.18mm (腐れ代1mm 含む)	34.35mm (腐れ代1mm 含む)
	使 用 板 厚	29mm	37.9mm
	設 計 温 度	273~313K	263~333K
	中 心 高 さ	9.2m	10.05m
	水 平 震 度	0.2G	0.3G
	脚 柱 本 数	8 本	8 本
	適 用 法 規	高圧ガス取締法	高圧ガス取締法
	製 作 年 月	昭和51年 8 月	昭和63年12月
	製 作 会 社	川崎重工 (株)	川崎重工 (株)
定温装置		ミルク缶100万個内蔵	ステンレスパイプ集中型
附 属 品			検査用内部旋回梯子
元 弁	型 式 口 径 操 作 方 式	空気式ロート弁 700A 三方直流電磁弁	空気式ロート弁 700A 三方直流電磁弁
貯気槽充填弁	型 式 口 径 操 作 方 式	電動ボール弁 150A AC200V	電動ボール弁 150A AC200V
風 洞 充 填 弁	型 式 口 径 操 作 方 式	電動ボール弁 200A AC200V	電動ボール弁 200A AC200V
側 路 弁	型 式 口 径 操 作 方 式	電磁式玉型弁 50A DC100V	電磁式玉型弁 50A DC100V
質 量	球 体 質 量 定温装置質量 空 気 質 量 全 質 量	117Mg (付属品含む) 63Mg 22.2Mg (20°C, 20kgf/cm ² G) 202.8Mg	172Mg (付属品含む) 45.0Mg (パイプ質量28.35Mg) 28.2Mg (20°C, 20kgf/cm ² G) 245.2Mg

3 および第4高圧貯気槽設備の要目を示す。

高圧貯気槽設備は、乾燥空気製造設備と各種風洞（遷音速風洞、超音速風洞、遷音速フラッター試験設備、二次元風洞、大型低速風洞、操縦面二次元風洞等）と図10に示すように配管で接続されている。

高圧乾燥空気は、乾燥空気製造設備の3450KW空気圧縮機（遠心式、圧力2.06MPa、質量流量6 kg/s、昭和55年設置）および脱湿装置と1200KW空気圧縮機（スクリー式、圧力2.06MPa、質量流量2.33kg/s、昭和63年更新）および脱湿装置で製造され、貯気槽充填管を経て高圧貯気槽に貯蔵される。貯蔵された高圧乾燥空気は、風洞充填管を経て遷音速風洞内の圧力の制御と風洞内の空気を乾燥空気に置換するために使用される。また、各吹出式風洞で作動空気として大気に放出される場合は、まず各貯気槽側路管によって高圧導管に充

填して各貯気槽と高圧導管を平衡状態にした上で貯気槽元弁を開にし、その後、各吹出式風洞の調圧弁を開いて通風をする。高圧導管を通して多量の高圧乾燥空気を短時間に消費する風洞としては、超音速風洞、遷音速フラッター試験設備、二次元風洞がある。また風洞充填管や貯気槽充填管によって高圧乾燥空気を使用する風洞としては、遷音速風洞、大型低速風洞、操縦面二次元風洞（風洞充填管）、推力検定装置（貯気槽充填管）がある。これらの後者の風洞は、流量は少いが長時間に亘って高圧乾燥空気を消費する設備である。

3-2 第4高圧貯気槽本体

第4高圧貯気槽は既に述べたように内径13m、圧力2.06MPa (20kgf/cm²G)、容積1150m³の球形貯気槽で、トップクラウン3（図11参照）、アッパーリング5、センターリング12、ローアリング

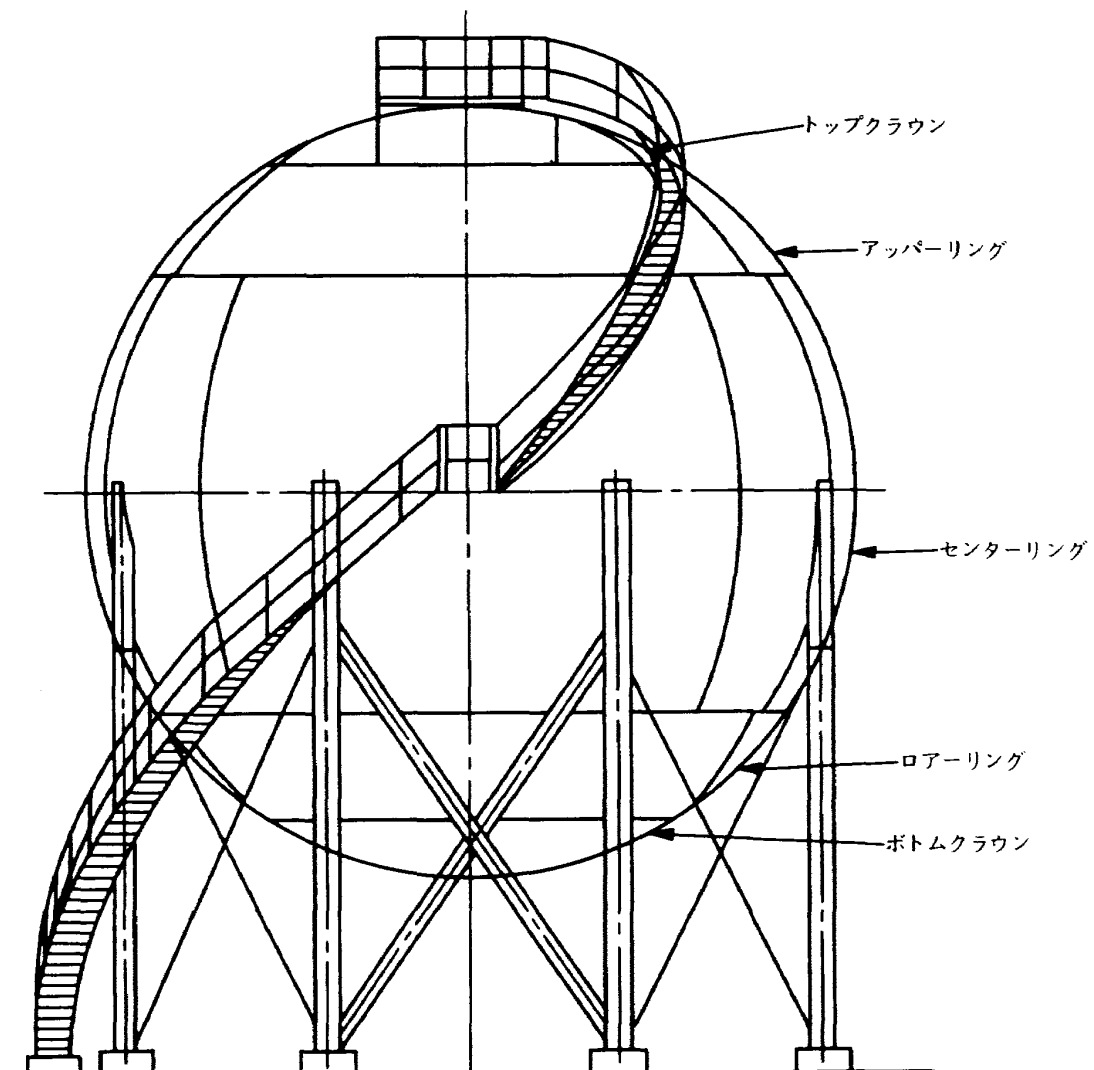


図11 球殻板の名称

5, ボトムクラウン3の合計28枚の球殻板を溶接したものでできている。球殻板の使用材料は、溶接性に優れかつ靱性に富み高压ガス取締法の適合材料であるJISG3115压力容器用鋼板SPV50Q-CF(クラック, フリー鋼, 引張り強さ $608\sim 706\text{N/mm}^2$)で, 設計板厚は 34.35mm (腐れ代 1mm 含む), 使用板厚は 37.9mm である。

この高压貯気槽は, 直径 406mm の8本の脚柱により支持され, 地震等の際の 0.3G の水平荷重に耐えられるよう設計されている。また, 貯気槽の使用空気温度範囲は $263\sim 333\text{K}$ で, 設計内圧は

3.04MPa ($30\text{kgf/cm}^2\text{G}$)である。写真1に第4高压貯気槽の外観を示す。

第4高压貯気槽の付属品としては, 貯気槽上部に口径 500A マンホールノズル, 口径 100A 安全弁ノズル2個, 口径 40A 圧力計ノズル, 口径 40A 温度計ノズルが取付けられ, また貯気槽下部には口径 700A 排気ノズル, 口径 500A マンホールノズル, 口径 40A 圧力計ノズル, 口径 40A 温度計ノズル, 口径 40A 熱電対用ノズル, 口径 25A ドレンノズル等が取付けられている。また保守点検のため階段, 踊り場一式が取付けられている。

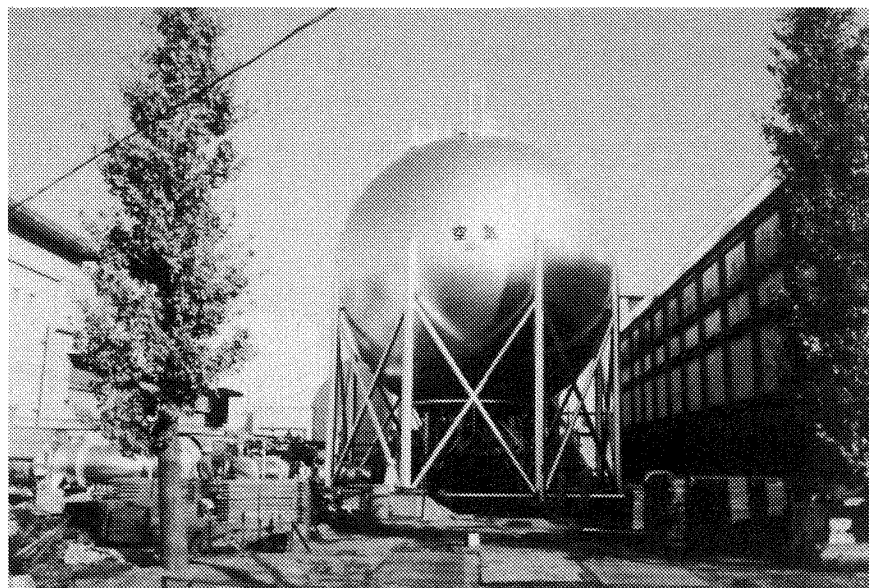


写真1 第4高压貯気槽

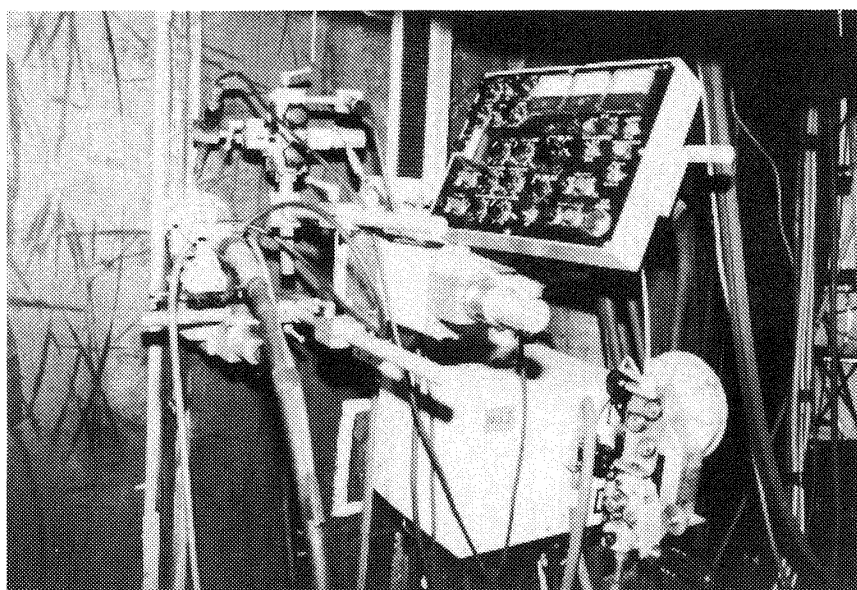


写真2 自動溶接による溶接施工

新しい試みとして第4高圧貯気槽本体の縦溶接線は自動溶接施工を実施した。写真2に自動溶接による溶接施工の写真を示す。自動溶接による特徴は均一性に富み溶接条件のバラツキが少ないことである。

第4高圧貯気槽の基礎工事に先立って、土質条件を知るためボーリング調査を行った。その結果を図12に示す。基礎としては、直径 $\phi 350$ mm、長さ9mの杭を各脚柱にそれぞれ4本、貯気槽下部曲管部5本の合計37本の杭打ち地業を行い、隣接基礎ならびに対角基礎は地中梁で連結して不等沈

下を防止している。写真3に第4高圧貯気槽の基礎の施工状況を示す。

3-3 第4高圧貯気槽定温装置

空気放出時に温度降下を防ぐための定温装置は従来は定温缶（第1、第3高圧貯気槽内充填）、積層波板鉄板（第2高圧貯気槽内設置）が用いられていたが、第4高圧貯気槽の定温装置は高圧ガス取締法に基づく開放検査時および耐圧試験時に於て貯気槽外部に搬出しない構造のステンレスパイプ集中型として保守費用の軽減を図ることにし

ボーリング No

土 質 柱 状 図

調査件名 新設高圧貯気槽基礎地盤調査
調査場所 新潟市港大寺東町7-44-1
調査期日 昭和62年9月11日～9月14日

ボーリング工法 ロータリー式 孔径 $\phi 66 \frac{1}{2}$
孔内水位 GL-3.84m 標高 KBM-0.263m
調査担当者 西島 明 三

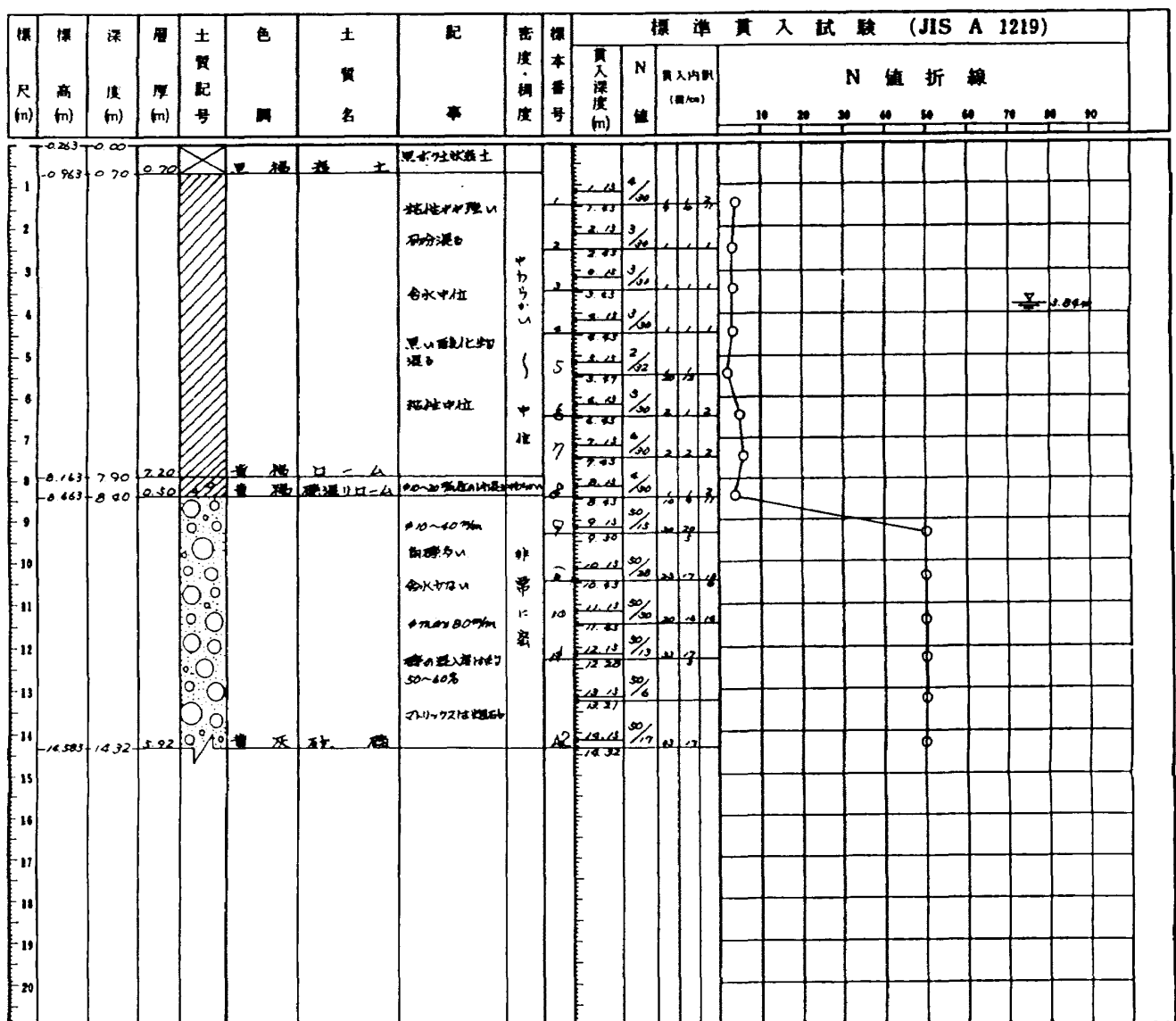


図12 ボーリング調査結果

た。

図13に第4 高压貯気槽および定温装置を示す。定温装置の格子状の型枠内にはステンレスパイプ 96本の単体が90組集められている。このパイプは口径15A（内径18.4mm），長さ4mのもの8640本で構成され，質量は28.35Mg，パイプ伝熱面積は1997m²である。

定温装置は，貯気槽本体と取付台が溶接により結合され取付座（90°間隔，4箇所）を介してタイロッドでそれと結合されており総質量は45Mgである。写真4に定温装置の外観を示す。なお定温装置の詳細については別に報告する予定である。

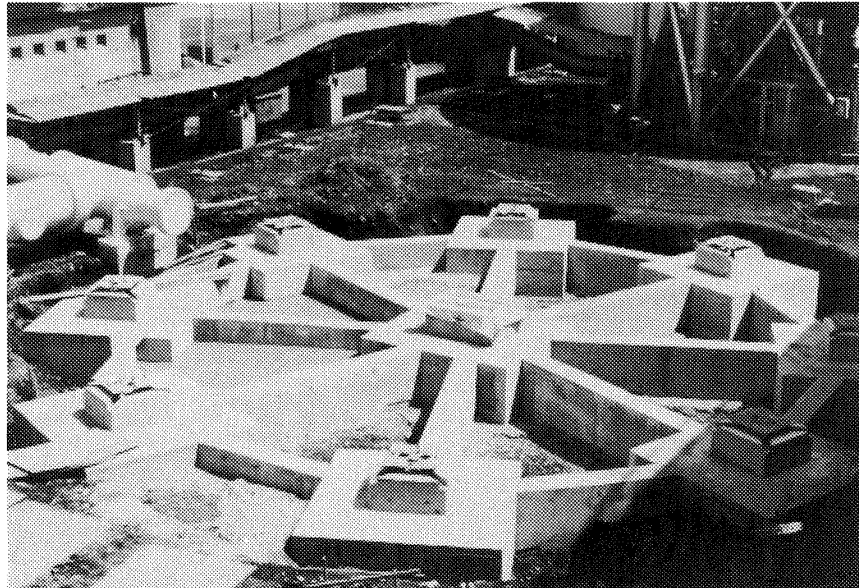


写真3 第4 高压貯気槽基礎

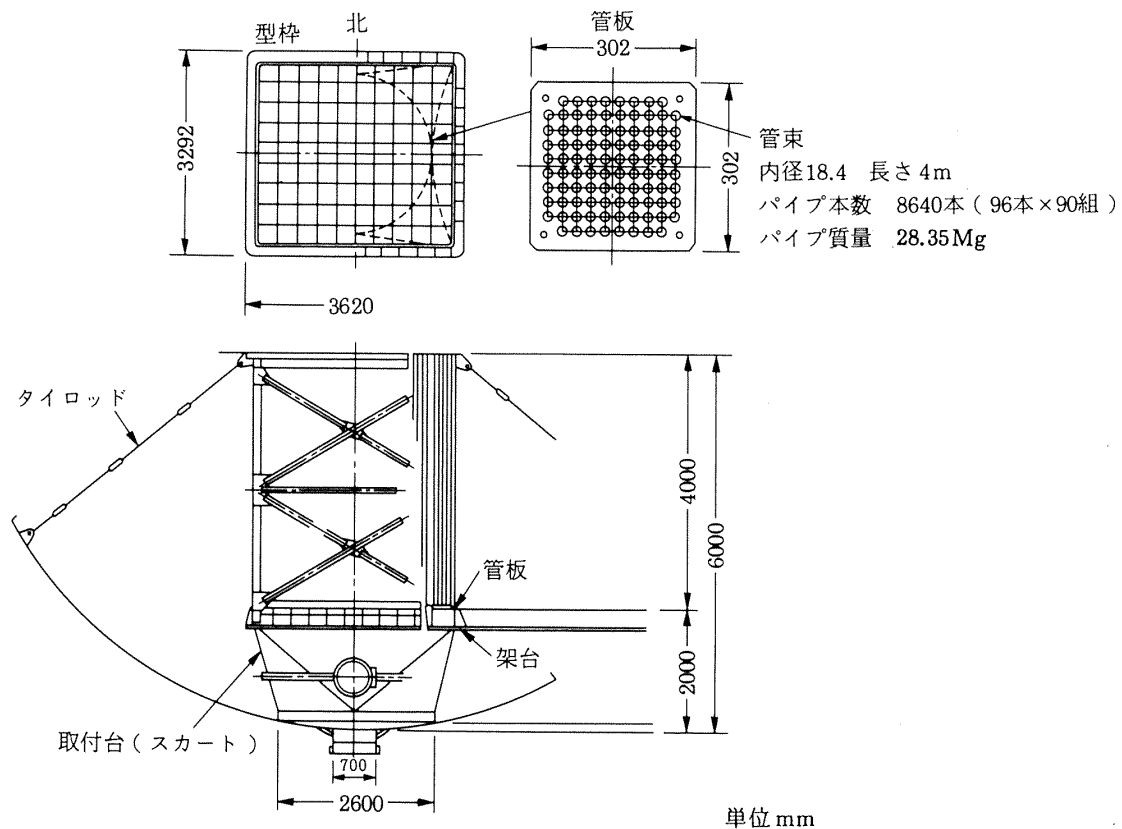


図13 第4 高压貯気槽および定温装置

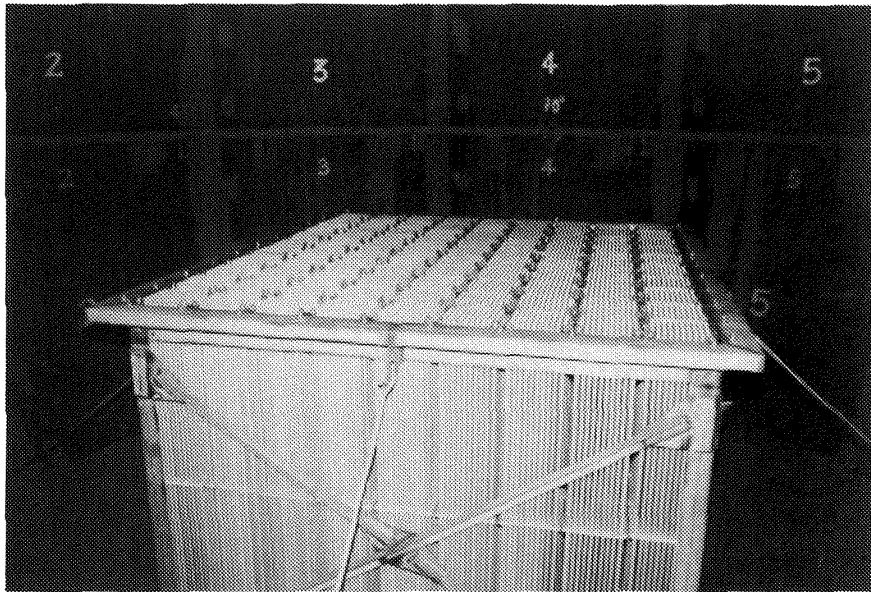


写真 4 第 4 高圧貯気槽および定温装置

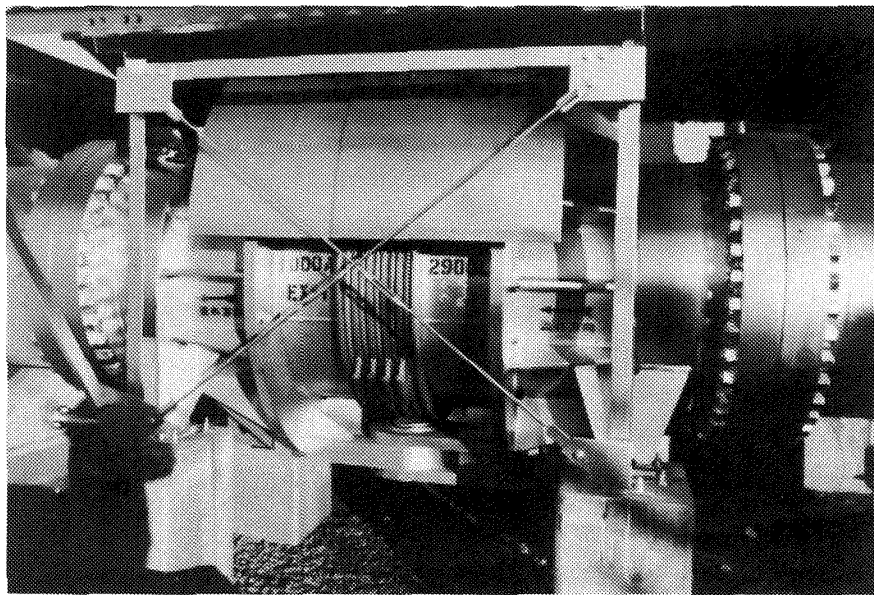


写真 5 大口径金属性伸縮管

3-4 高圧導管，元弁

従来の高圧導管は，図 2 に示すように配置されていた。更新した高圧導管は図 10 に示す斜線部分である。第 4 高圧貯気槽と遷音速フラッター試験設備に連結する高圧導管は口径 700A とし，T 分岐管より超音速風洞に連結する高圧導管は口径 1000A とした。

更新した高圧導管の材料は，JISG3115 圧力容器用鋼板 SPV24 で，板厚は 14mm である。管自体は溶接構造でできている。高圧導管は大部分が屋外に設置されているため，温度および内圧変化によ

る導管の伸縮を逃がす必要があり，そのために金属製の伸縮管（ベローズ）が設置されている。写真 5 に金属製の伸縮管を示す。金属製伸縮管は，既設高圧導管に 4 個，更新した高圧導管に 4 個の合計 8 個配置されている。図 10 には高圧導管の伸縮方向および固定点も示してある。高圧導管の長さの合計は約 91m で容量は 49.4m³ である。

元弁は，第 3，第 4 高圧貯気槽とも口径 700A のロート弁で，高圧空気の締切り用に使用される型のものである。元弁は直流電磁弁操作による高圧空気作動の弁として操作用空気槽をもっている。

操作用空気槽は貯気槽充填管より分岐した口径25Aの配管および吹出式超音速風洞付属の15HP圧縮機の吐出配管からも充填できるようになっている。

元弁の胴体弁座および弁シートの盛金はモネルメタルを使用している。元弁の開閉時間は2～3秒で、緊急遮断弁としての機能も有している。図14に元弁の構造を示す。なお、元弁の開動作は、側路管より高压導管に高压空気を充填し元弁前後の圧力を平衡状態にしてから行われる。

側路管は第3、第4高压貯気槽とも口径50Aの配管で、高压導管に高压空気を充填し各貯気槽圧力と高压導管圧力を平衡させるために各々直流電磁弁が取付けられている。

貯気槽充填管、風洞充填管は図10に示すA点、B点より口径150A、口径200Aで第4高压貯気槽迄連結した。貯気槽充填管、風洞充填管には各貯気槽毎に電動ボール弁が取付けられている。元弁制御装置については5項で述べる。

3-5 検査用内部旋回梯子

第4高压貯気槽内には、図15に示す検査用内部旋回梯子を設置した。検査用内部旋回梯子があれば、開放検査（貯気槽内溶接検査）の都度仮設パイプ足場を組立てる必要がなく、点検費用と工事期間の短縮を図ることができる。

検査用内部旋回梯子は、踊り場、階段、走行レール、車輪、手摺、赤道部レール、固定金具等で構成され、質量は7.5Mgである。この梯子は貯気槽内の頂点部で支持され、全体は手動ウインチにより駆動され回転することができる。球の内面の任意の位置に近づくには、この回転操作と梯子の昇り降りだけで行うことができるため、磁粉探傷試験のように頻繁に位置を変え球内面の溶接線の状況を調べる検査では、威力を発揮する。

この検査用内部旋回梯子を使用して第4高压貯気槽の設置1年後（平成元年度）に開放検査を実施した結果では、実際に費用も安く工期も短縮することができた。

因みに、この際溶接補修を要する欠陥は検出されなかった。

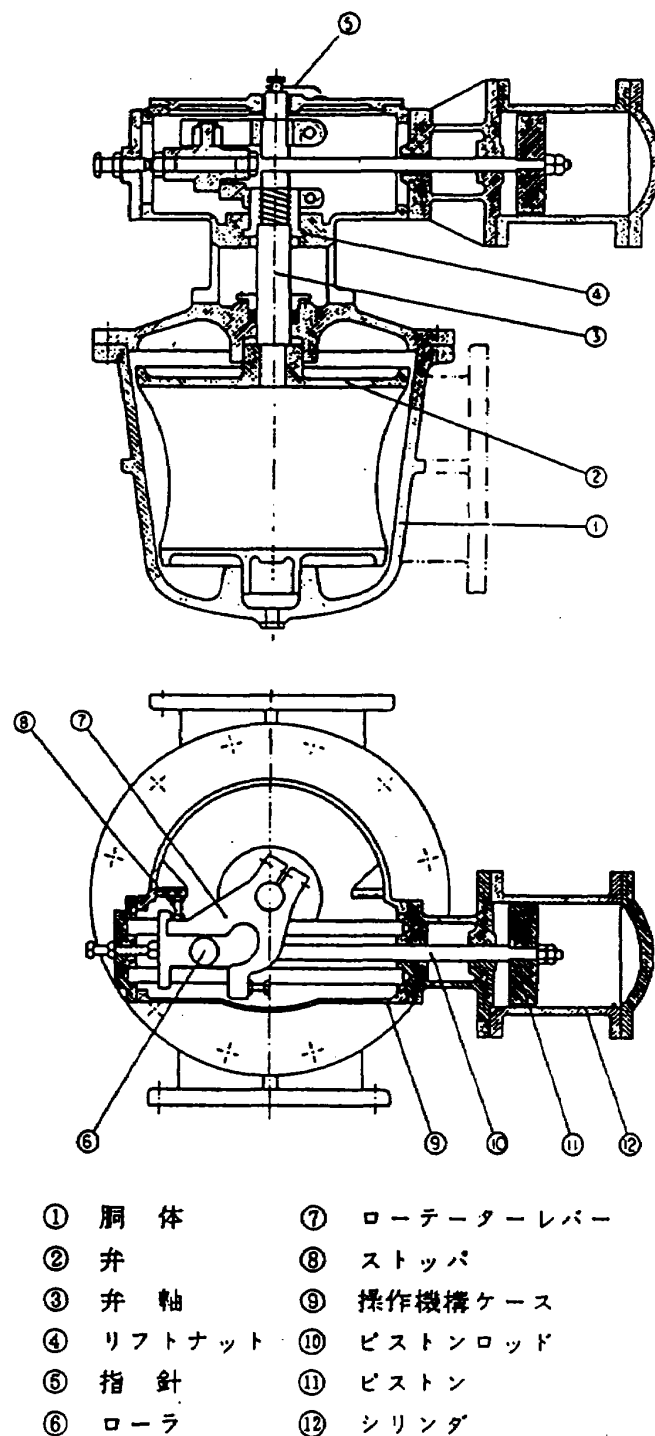


図14 元弁構造

4. 試験および性能

4-1 貯気槽球殻板および付属ノズル類の品質検査と本体組立検査

品質検査は、化学成分、寸法および外観について行い、また、高压ガス取締法の特設設備検査規則⁸⁾（以下、特定則）に従い、機械試験として引張り、曲げ、衝撃の各試験および非破壊検査として磁粉探傷試験（ノズル鍛造品）と超音波探傷試

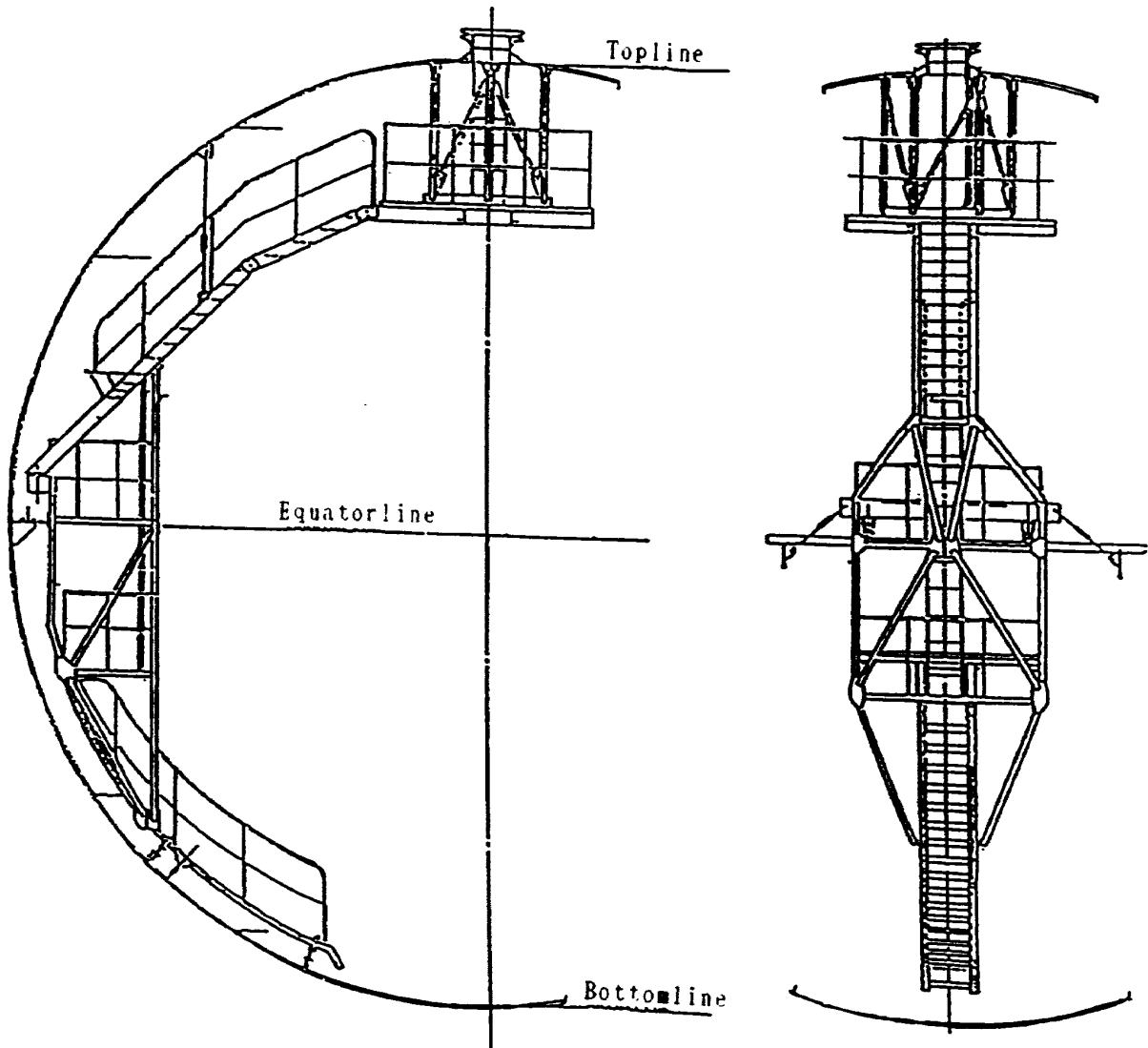


図15 検査用内部旋回梯子

験を実施した。

球殻板の材料の SPV50Q-CF 鋼の化学成分、炭素当量 (Ceq)、割れ感受性組成 (Pcm) は表 4、表 5 に示したとおりである。

マンホール、ノズル付球殻板は、溶接完了後に特定則に従い焼鈍温度 580℃、保持時間 3 時間 30 分の熱処理（応力除去）を実施した。

以上の試験、検査については特定則、日本溶接規格 (WES) および日本工業規格 (JIS) の全てに適合するものを合格とした。

貯気槽本体の加工および組立検査については、開先検査、曲率検査、寸法検査、外観検査、裏ハツリ検査、溶接部機械検査、貯気槽組立検査、角変形検査等を実施した。

4-2 非破壊検査

貯気槽本体の溶接部の非破壊検査は、特定則に従い磁粉探傷試験、放射線透過試験、染色浸透探傷試験および超音波探傷試験を実施した。

磁粉探傷試験および放射線透過試験は貯気槽本体の突合せ溶接全線を対象とする。磁粉探傷試験は、極間式磁粉探傷器を用いて湿式連続磁化法により行う。その検査は、JISG0565-1982「鉄鋼材料の磁粉探傷試験方法および欠陥磁粉模様の等級分類」により行い、判定基準は特定則第 55 条に適合するものを合格とした。また放射線透過試験は、JISZ3104-1968「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」に規定する方法で行い、判定基準は第 1 種、第 2 種の 2 級以上を合格とした。

染色浸透探傷試験による検査は、磁粉探傷試験

が不可能な脚柱取付部溶接線について実施し、判定基準は特定則第57条に適合するものを合格とした。

超音波探傷試験は、加工前の球殻板、ノズル鍛造品およびマンホール、ノズル付球殻板の溶接後熱処理前後に亘り実施し、検査はJISZ3060-1983「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」により行い、判定基準は特定則第53条に適合するものを合格とした。

4-3 耐圧試験、気密試験

第4高圧貯気槽は、高圧ガス取締法の特定則に従い耐圧、気密試験に合格しなければ使用することができない。貯気槽本体の耐圧、気密試験は所轄官庁（通商産業検査所、東京都）の立合のもと

で検査を実施した。

特定則にある耐圧試験の規定によれば、設計圧力の1.5倍の3.04MPa (30kgf/cm²G)の圧力で10分以上保持し異常変形および漏洩の有無を検査する。以上の点を確認するため貯気槽内に水を注入してプランジャーポンプで昇圧し、貯気槽本体の耐圧強度の確認、漏洩の有無の点検および基礎の沈下量測定を実施した。図16に圧力計取付位置および基礎の沈下量の測定位置（各脚柱に沈下測定片装着）を示す。圧力の読み取りは、上部圧力計の目視により行い、また写真撮影により記録を残すこととした。

基礎の沈下量の測定は、オートレベルを貯気槽下部マンホール下に据付け、第3高圧貯気槽のNo. 6脚柱に基準点を設け、貯気槽各脚柱に装着した

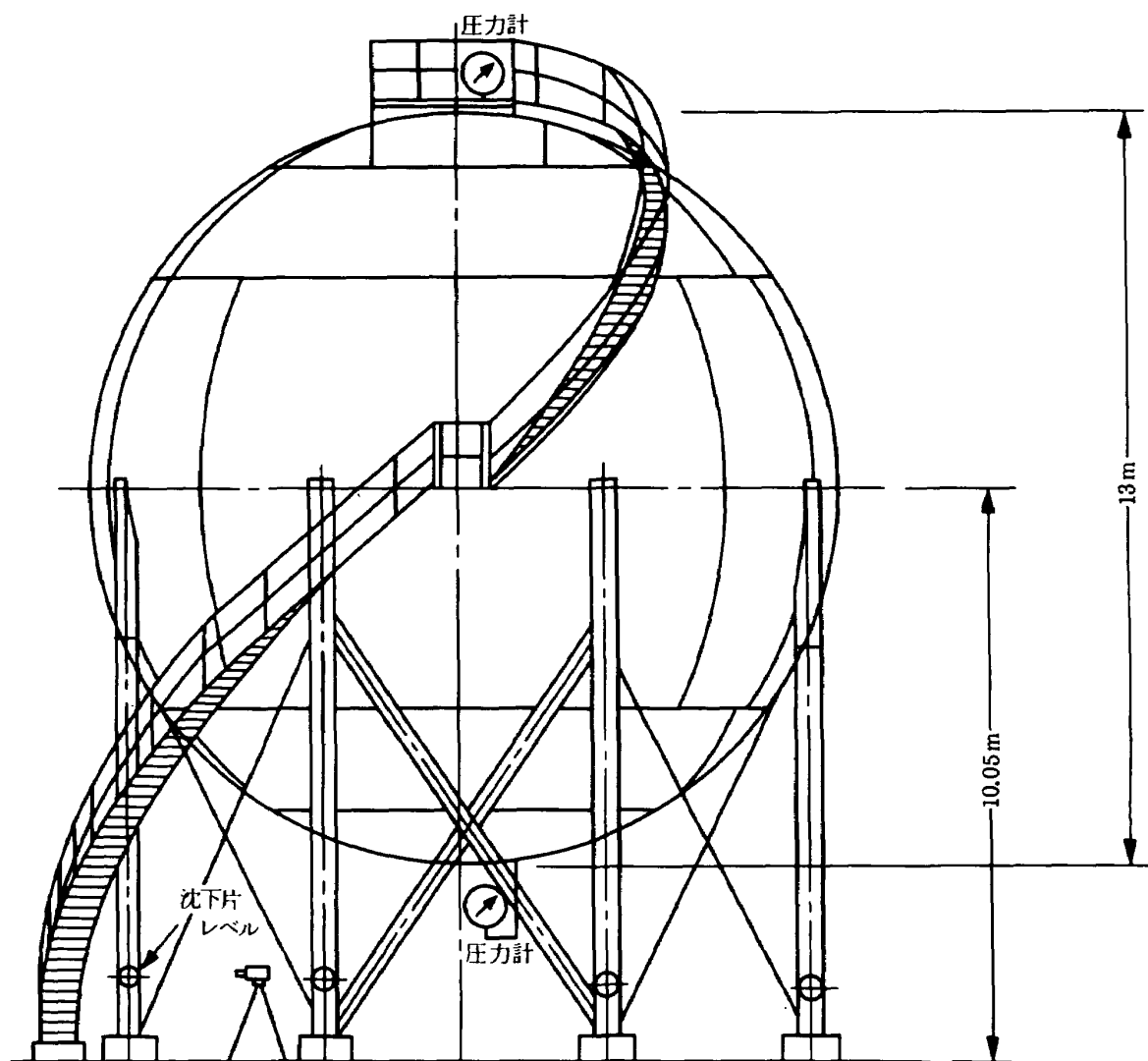


図16 第4高圧貯気槽の各測定位置

沈下測定点で変位量を測定する。

第4 高圧貯気槽は8本の脚柱により支持されており、脚柱1本当たりの支持荷重は、耐圧試験時に注水した時が最大荷重で174.4Mg/本となる。

貯気槽の水張りは、乾燥空気製造設備の4号戻り水ポンプ(55KW, 流量660m³/h)より給水した。戻り水ポンプから貯気槽耐圧用鏡板ノズル迄は仮設配管で接続した。図17に水張り、耐圧試験時間経過を示す。

基礎沈下量は注水前、1/3注水、2/3注水、満水、圧力1.08MPa(10kgf/cm²G)、2.06MPa(20kgf/cm²G)、3.04MPa(30kgf/cm²G)および排水完了時に測定した。基礎沈下量測定結果を図18に示す。各脚柱の沈下量は、注水開始後経過時間と共に各脚柱の沈下量は増加し、満水時には2.8mmとなり、その後引き続き行った水圧上昇試験では、圧力による影響は見られなかった。また排水開始と共に各脚柱の沈下は回復し、排水完了時には、完全に元の位置に復帰していることを確認した。

耐圧試験は、水圧により実施し常用圧力2.06MPa(20kgf/cm²G)の1.5倍の水圧3.04MPa(30kgf/cm²G)

cm²G)で45分間放置し、貯気槽本体各溶接線、各マンホール、各ノズル溶接線等に異常変形、漏洩のないことを確認した。写真6に貯気槽上部圧力計の耐圧試験圧力を示す。

気密試験は、常用圧力2.06MPa(20kgf/cm²G)の高圧空気を40分間放置し、貯気槽本体各溶接線、各マンホール、各ノズル部の各溶接線および各フランジ部に石鹼水を塗布し、目視で漏洩のないことを確認した。気密試験の記録は、貯気槽上部圧力計の写真撮影とした。写真7に貯気槽上部圧力計の気密試験圧力を示す。

なお耐圧試験、気密試験は、貯気槽本体と接続する高圧導管、元弁、元弁用空気槽、充填管(貯気槽充填管、風洞充填管)、側路管、小径圧力配管および各弁類等についても行い、各部分毎の単体と、それらを連結した場合の耐圧試験、気密試験とをそれぞれ実施し異常のないことを確認した。

4-4 定温装置性能試験

定温装置性能試験は、装置を第4 高圧貯気槽内に取付け、二次元風洞で通風する状態で行った。

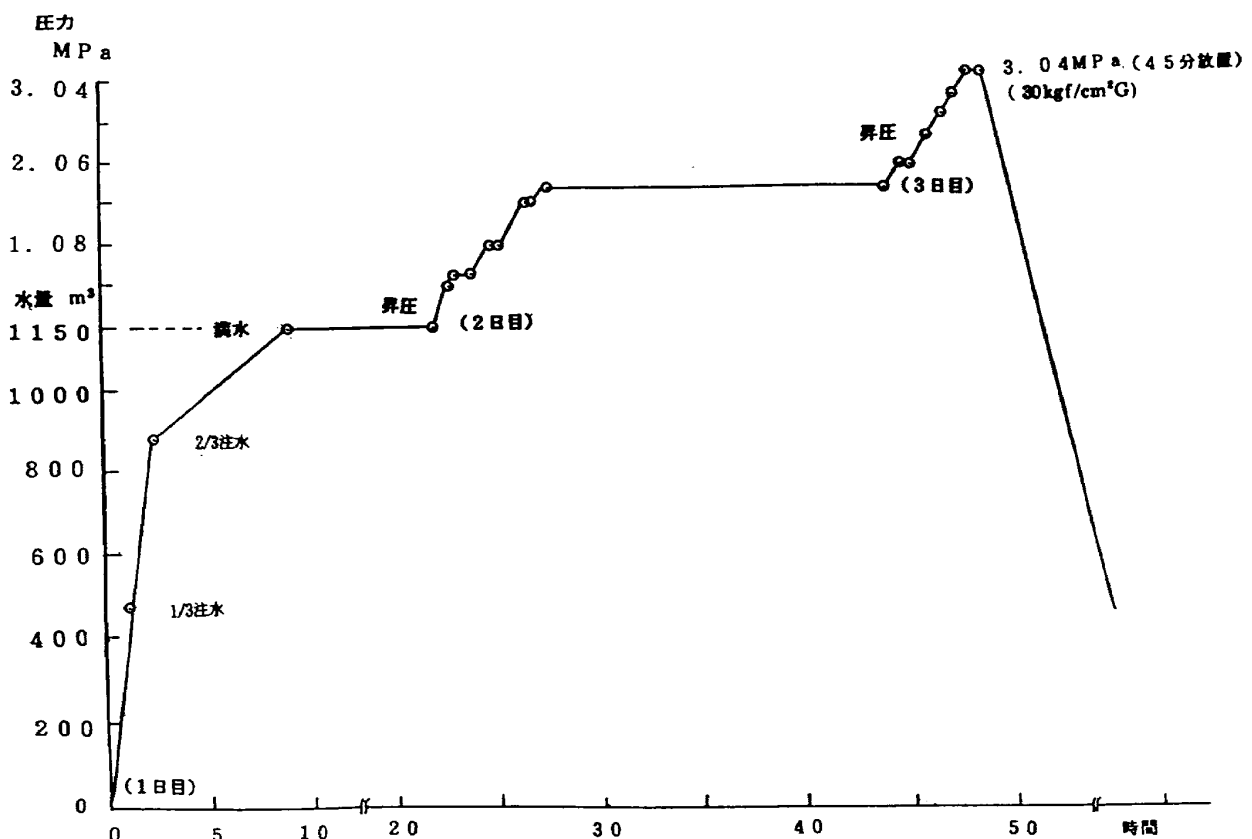


図17 第4 高圧貯気槽耐圧試験経過

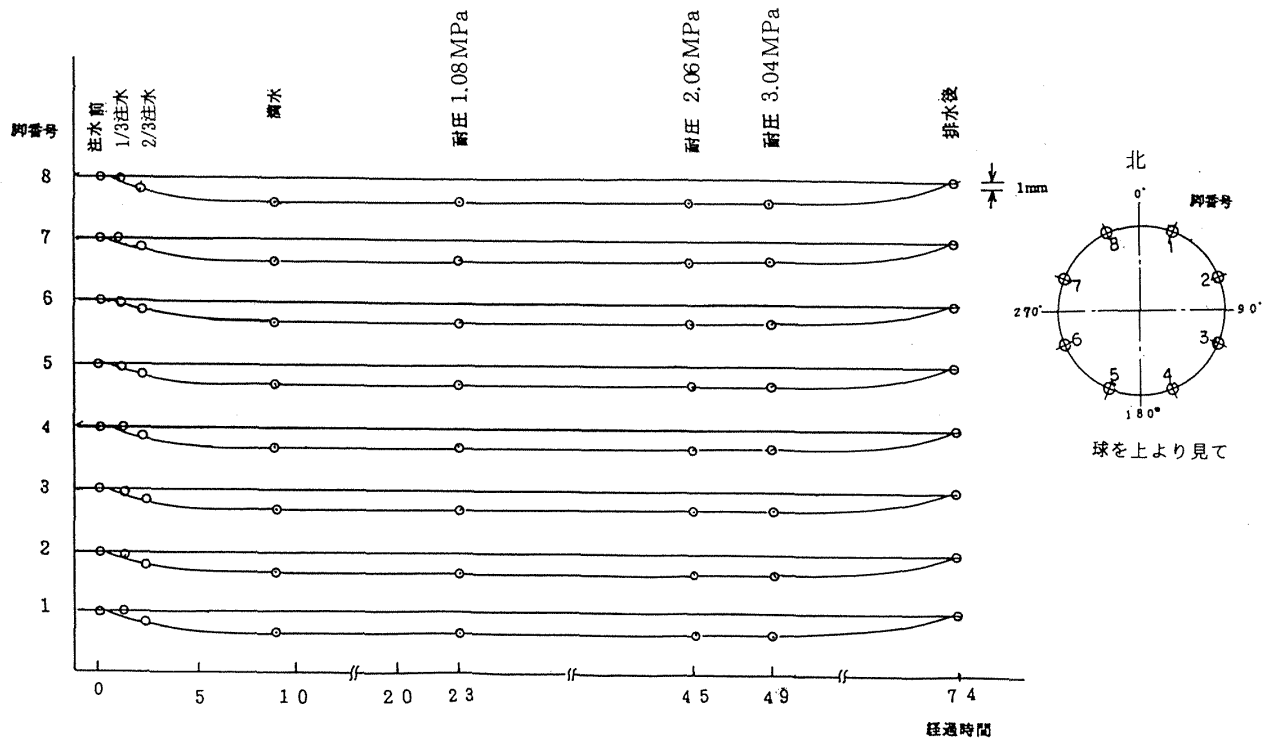


図18 第4 高压貯気槽基礎沈下量測定

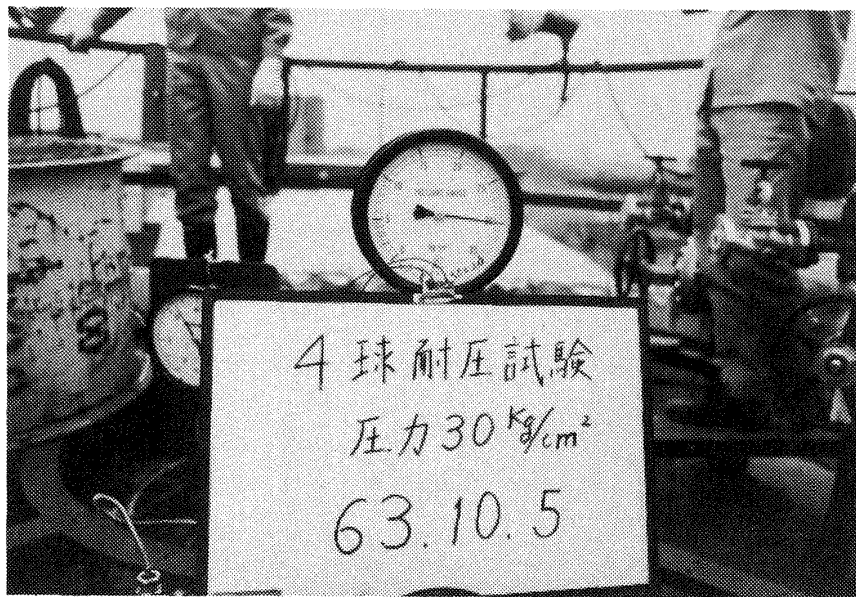


写真6 耐圧試験圧力

二次元風洞の測定部の大きさは幅0.3m×高さ1mで、マッハ数範囲は0.2～1.2，澱み点圧力範囲は392KPa (3kgf/cm² G)～1177KPa (11kgf/cm² G)である。二次元風洞のレイノルズ数はマッハ数M=0.8，25cm翼弦長で 4×10^7 である。通風時間は貯気槽容量によって制限され9秒から100秒以内である。

図19に定温装置各部の温度測定位置と計測系フローを示す。温度の測定は，応答性が早く測定範囲の大きいC-A（クロメル・アルメル）熱電対を使用した。素線の太さは外径0.6mmのもので素子はハンダ付けした。気流温度は保護管内に取付けた熱電対で測定した。データの記録にはペンレコーダー記録計，データーロガーを使用した。



写真7 気密試験圧力

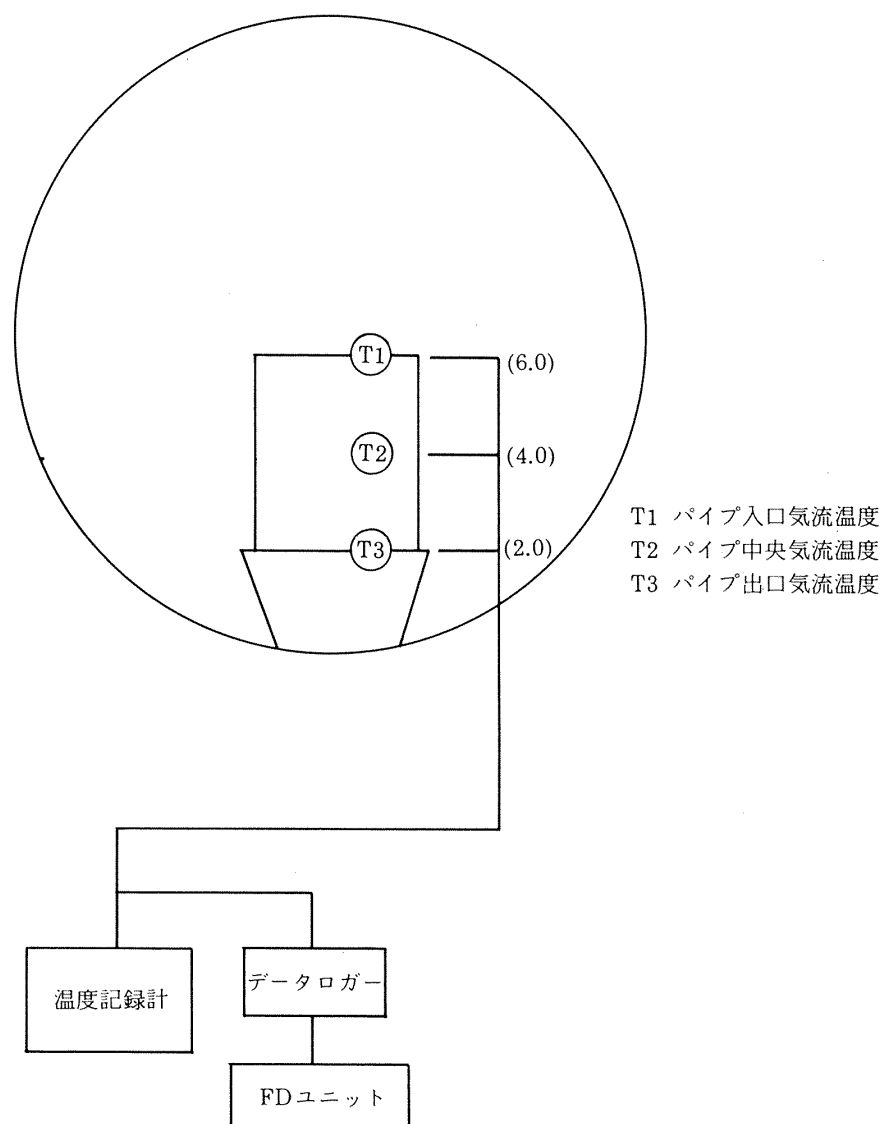


図19 定温装置各部の温度測定位置と計測系フロー
()内は底部よりの高さ, m

定温装置性能試験は、二次元風洞のマッハ数1.2, 集合胴圧力1177KPa (11kgf/cm²G), 空気質量流量830kg/sで実施した。

図20, 図21にマッハ数1.2, 集合胴圧力1177KPa (11kgf/cm²G), 空気質量流量830kg/s, 貯気槽初期圧力1912KPa (18.5kgf/cm²G)から最終圧力1001KPa (9.21kgf/cm²G)迄15秒間通風した試験結果を示す。図20は、定温装置パイプ内気流温度の経時変化を表わしたものである。T1点(図19参照)はパイプ入口気流温度, T2点はパイプ中央気流温度, T3点はパイプ出口気流温度の経時変化である。T3点パイプ出口気流温度は初期温度288.8

K, 最終温度277.6Kでこの値をもとにポリトローム指数を計算すると $n=1.065$ である。この値は、定温装置性能として充分満足できる値であり、大規模の吹出式風洞に対し、温度変化が小さい作動空気を供給可能であることを実証した。

図21は二次元風洞集合胴温度の経時変化⁹⁾を示したものである。集合胴温度は風洞の通風の開始直後より1.5秒迄下降, 3.5秒迄上昇しその後右下りになだらかに減少している。集合胴温度, 集合胴圧力の1.5秒迄の下降は二次元風洞起動方式の特徴であるプリチャージ起動方式に起因するものである。実測した二次元風洞集合胴温度は288.3

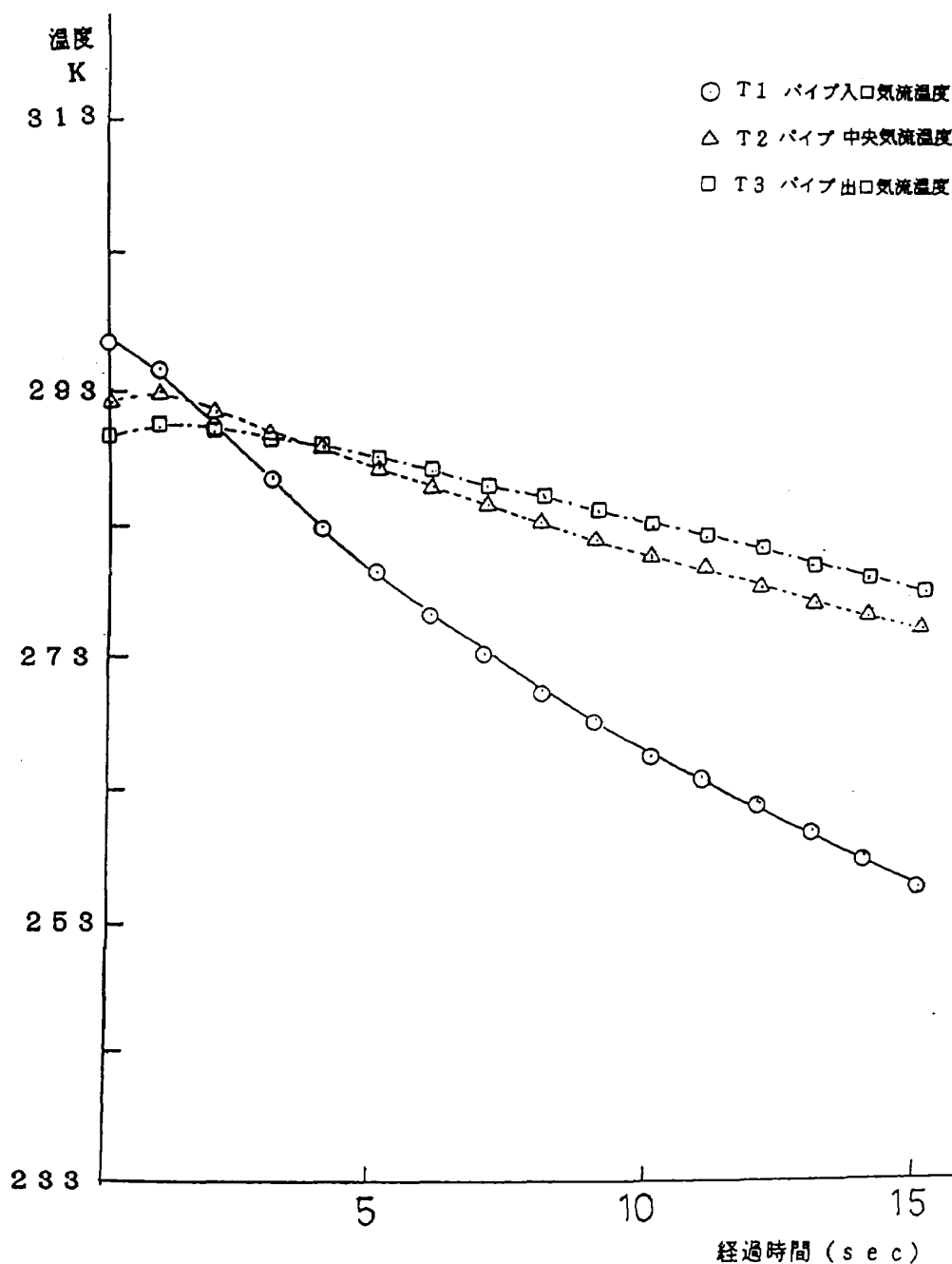


図20 パイプ内気流温度の経時変化

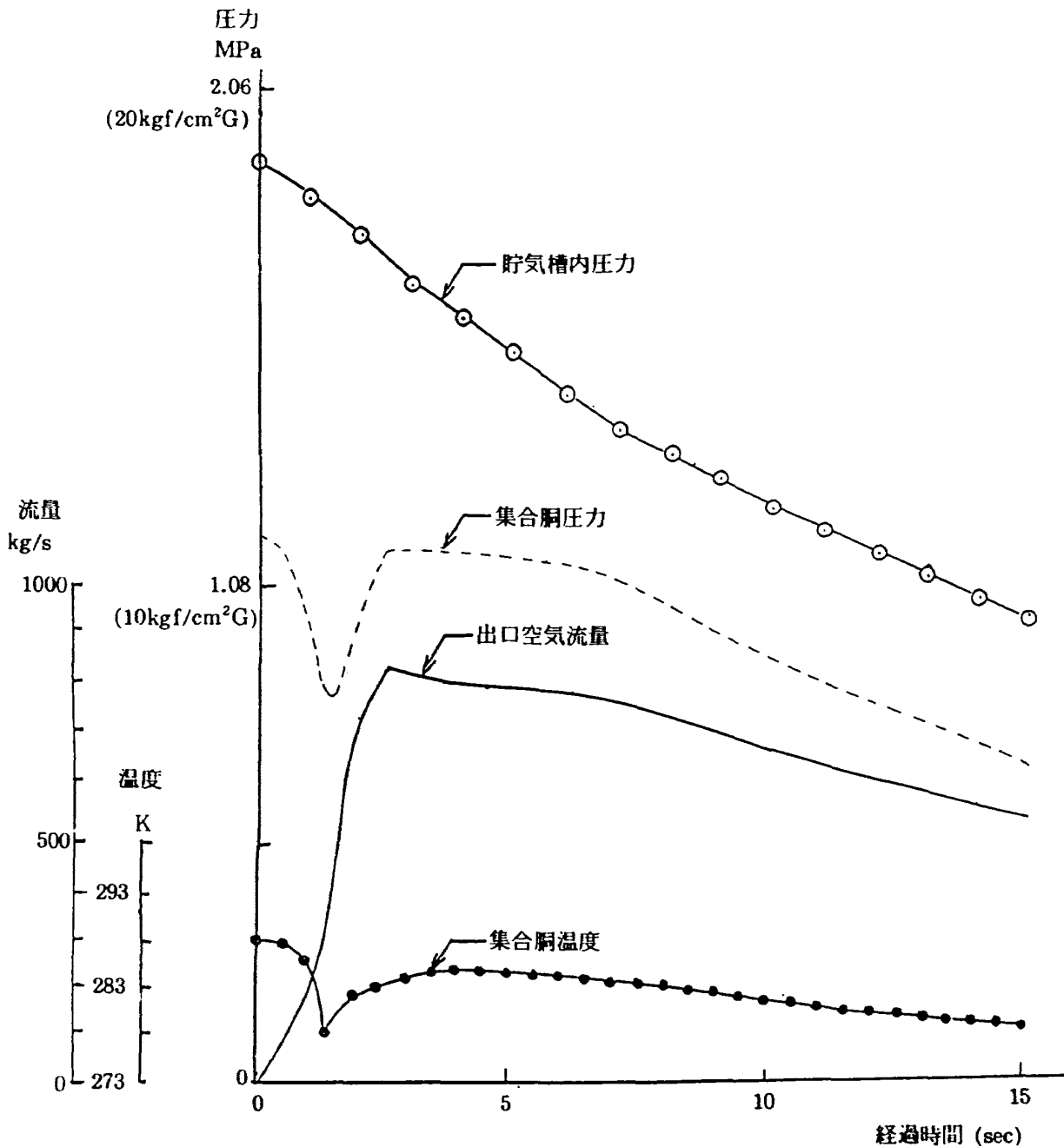


図21 二次元風洞集合胴温度の経時変化

K, 最終温度は278.7Kで、この値 $n=1.05$ は文献9とも一致し、在来型の定温装置と同等の性能を有していることが判る。

5. 元弁制御装置改修

高圧貯気槽設備は、実験用各風洞（遷音速風洞、超音速風洞、遷音速フラッター試験設備、二次元風洞、大型低速風洞、操縦面二次元風洞等）および乾燥空気製造設備と配管で接続され相互に関連している。

特に高圧貯気槽元弁と吹出式超音速風洞、遷音速フラッター試験設備および二次元風洞との間に

は高圧空気を安全にかつ適切に使用するため元弁制御装置が設置されている。この元弁の使用方法は、遷音速風洞制御室に設置した貯気槽監視盤の元弁操作位置（貯気槽制御盤、超音速風洞、遷音速フラッター試験設備、二次元風洞）のうち1箇所を切換選択指定する方式で、切換指定を受けた風洞のみが専有して操作できる。

旧元弁制御装置は、第1、第2および第3高圧貯気槽設備を制御する機能をもっており、その構成は貯気槽監視盤、第1および第2貯気槽制御盤、第3貯気槽制御盤、圧縮機監視盤（元弁操作位置切換器装着）および各吹出式風洞制御盤よりなっ

ていた。これに対して新元弁制御装置は、第 3 および第 4 高圧貯気槽設備で運用されるため、制御装置を改める必要が生じる。そこで元弁制御装置の改修に際しては、高圧空気の製造源より供給先に至る主要弁類の開閉操作を行う貯気槽監視盤（写真 8）と、高圧乾燥空気を大量に使用する各吹出式風洞と相互保安を図る貯気槽制御盤（写真 9）および超音速風洞制御盤を新設することとし、その他の遷音速フラッター試験設備制御盤、二次元風洞制御盤および遷音速風洞中央監視盤は部分改修することにした。このうち貯気槽監視盤は、高圧乾燥空気製造設備を保有する遷音速風洞制御室に設置して、圧縮機の運転状態、元弁操作位置、高圧空気系統の各圧力、主要弁類の開閉操作および状態、各風洞の状況等をグラフィックに表示して監視することにした。

貯気槽制御盤は、図10に示す場所に簡易な基礎と雨覆を取付けて設置した。同制御盤は主要弁類の開閉操作および状態、高圧空気系統の各圧力を表示する。

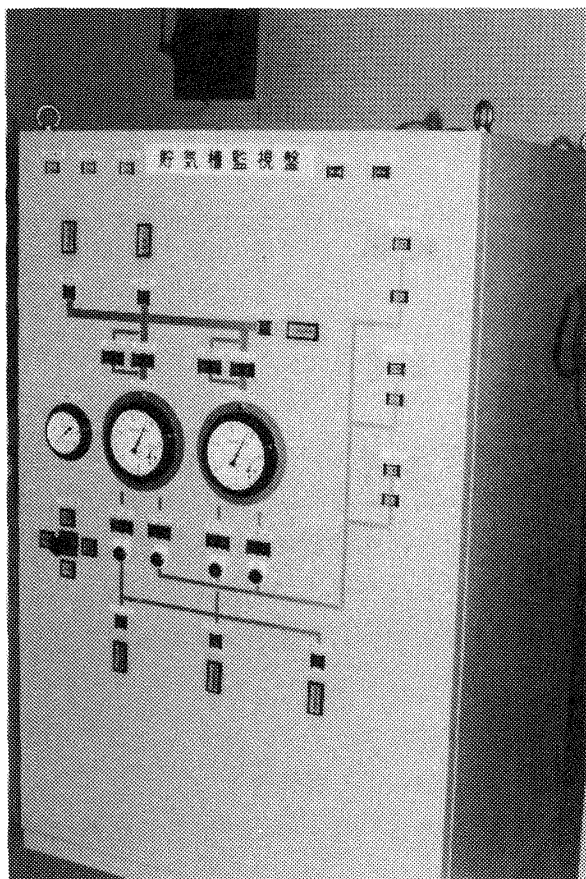


写真 8 貯気槽監視盤

元弁制御装置の改修の要旨は繰返しになるが次の通りである。

- (1) 元弁制御装置改修に伴い旧制御装置の第 1 および第 2 貯気槽制御盤、第 3 貯気槽制御盤および各吹出式風洞制御盤に接続する配管と配線等は廃棄した。
- (2) 新製した制御盤は、貯気槽監視盤、貯気槽制御盤および超音速風洞制御盤である。部分改修した制御盤は遷音速フラッター試験設備制御盤、二次元風洞制御盤および遷音速風洞中央監視盤で、各盤間の配管と配線等は新製した。
- (3) 各貯気槽の元弁は、元弁操作位置の切換指定を受けた 1 箇所の吹出式風洞のみが占有使用できる。
- (4) 各吹出式風洞は第 3 または第 4 高圧貯気槽空気を任意に選択して使用できる。
- (5) 各貯気槽の元弁、側路弁を危急閉鎖する機能を備える元弁危急閉鎖操作は各吹出式風洞と貯気槽制御盤より行えるようにした。
- (6) 各弁類制御に関する電源および継電器は、貯気槽制御盤と貯気槽監視盤に集約し、元弁操作を行う各吹出式風洞には操作ボタンと開閉表示器を設けた。
- (7) 制御電源は直流 100V で、遷音速風洞電機

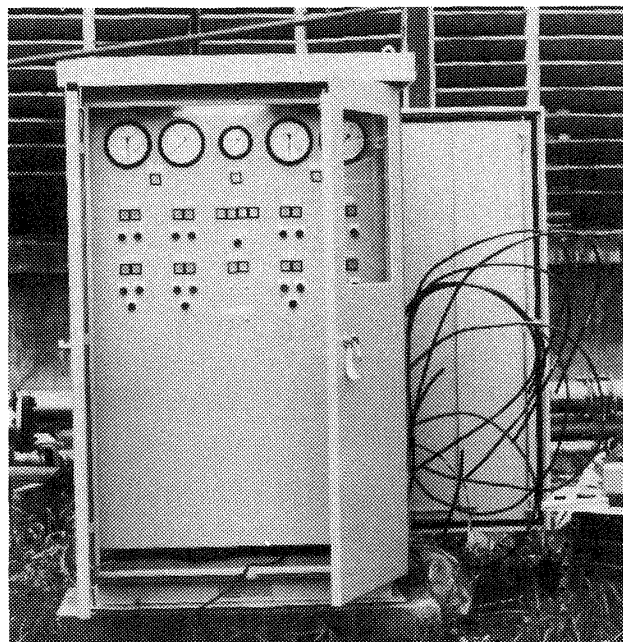


写真 9 貯気槽制御盤

室直流電源盤より給電した。また表示灯類の電源は交流24Vとし、各貯気槽充填弁と各風洞充填弁については交流200Vで、冷却塔西側11号トランスの配電盤より給電した。

- (8) 各吹出式風洞等に供給する操作空気用および圧力表示用小径圧力配管（鋼管製）は高圧導管に沿わせて給気した。
- (9) 各吹出式風洞制御盤および遷音速風洞中央監視盤のグラフィックの管路の変更をした。
- (10) 第3貯気槽の貯気槽充填弁と風洞充填弁は、従来電動仕切弁であったのを電動ボール弁に交換した。
- (11) 各貯気槽充填弁および各風洞充填弁の開閉操作は、貯気槽監視盤と貯気槽制御盤からのみ行えるようにした。

6. 高圧貯気槽設備の今後の取扱いについて

第4高圧貯気槽設備の設置は高圧ガス取締法の下で進められてきたが、平成元年4月をもって当研究所の高圧貯気槽設備は高圧ガス取締法の適用除外となり、適用法規は第二種圧力容器に係わるものとなった。これは、高圧ガス取締法施工令の一部改正（昭和62年7月7日、政令第256号）により圧縮装置（貯気設備の一部を含む）内における圧縮空気が5.0MPa（50kgf/cm²G）以下の場合、同法の適用除外となったものである。

廃棄した第1、第2高圧貯気槽が開放検査毎に多数の欠陥が検出され溶接補修していたのと同様に、第3高圧貯気槽（昭和51年設置）も表7に示すように第2～第4回の開放検査に於て欠陥が検出され、溶接補修を行い使用している状況であり、更新された第4高圧貯気槽を含め今後、欠陥の発生が皆無とはいえない。

従って開放検査は不可欠で、従来の高圧ガス取締法の検査方法に準じて3年毎に開放検査を実施し、安全確保に努めるつもりである。

7. あとがき

遷音速風洞特別改修の一環として高圧貯気槽設備の更新を行うに於て、2-5で述べた更新の留意

表7 第3高圧貯気槽溶接補修数

	第1回	第2回	第3回	第4回
開放検査年次	昭和54年	昭和57年	昭和60年	昭和63年
欠陥数	11箇所	17箇所	34箇所	26箇所
溶接補修	0	10箇所	15箇所	23箇所

点に基づいて機器を製作した結果、次のような良好な結果を得た。

- (1) 所要の容量を確保しながら設備全体を簡素化し、維持費の軽減を図ることができた。
- (2) 溶接性の良い材料を選定し、設備の安全を確保することができた。
- (3) 定温装置はステンレスパイプ集中型を採用し、開放検査を容易にした。
- (4) 検査用内部旋回梯子を貯気槽内に設置し、開放検査費用の軽減化と開放検査工事期間の短縮を可能にした。
- (5) 貯気槽の定温装置は、ポリトロップ指数の設計値 $n=1.12$ に対して実測したパイプ出口気流温度によるポリトロップ指数は1.065に改善した。

なお高圧貯気槽設備更新工事は、昭和62年9月に着工し昭和63年12月に完了した。現在、各風洞の高圧空気源として連日順調に稼働している。

高圧貯気槽設備更新に際し、計画から完成に至る迄多くの方々の御協力を得た。特に試験、検査では遷音速風洞制御研究室半澤技官、小松技官、唐沢技官、定温装置性能試験では二次元風洞研究室の方々、制御装置の改修では吹出式超音速風洞研究室、二次元風洞研究室および構造力学部空力弾性研究室の各位の協力を得て計画通り完成することができた。また本更新工事に伴う各種届出、事務手続き等に関し管理部安全施設課および動力課の方々の協力を得た。第4高圧貯気槽については、川崎重工業株式会社が設計、製作、設置した。ここに関係された各位に感謝の意を表する。

8. 参 考 文 献

- 1) 航空技術研究所：航空技術研究所 2m×2m遷音速風洞の計画と構造，航技研報告 TR-25 (1962)
- 2) 航空技術研究所：1m×1m吹出式超音速風洞の計画と構造，航技研報告 TR-29 (1962)
- 3) 航空宇宙技術研究所：航技研二次元風洞の構造と特性，航技研報告 TR-647 (1980)
- 4) 鈴木正光ほか：2m×2m遷音速風洞主送風機駆動設備の更新，航技研資料 TM-580 (1988)
- 5) 鈴木誠三ほか：吹出式風洞用高圧貯気槽設備の定温装置の特性測定と第 3 高圧貯気槽の増設，航技研報告 TR-639 (1980)
- 6) 高圧ガス保安協会：高圧空気球型貯槽の安全性調査検討成果報告書，昭和59年
- 7) 柏木晴夫ほか：高張力鋼製球型タンクの割れ発生状況と一考察，日本機械学会誌，第80巻第703号，昭和52年
- 8) 高圧ガス保安協会：高圧ガス取締法規集，昭和60年
- 9) 榊原盛三，馬場滋夫：二次元風洞構成要素の研究 (I)，航技研報告 TR-465 (1976)

正 誤 表

	(正)	(誤)
P 1 1 下から 1 行目	図 1 0 新 (第 3、第 4) 高圧貯気槽設備配置図	図 1 0 新 (第 3、第 4) 高圧貯気槽設備要目
P 1 4 上から 1 行目	2. 0 6MP a (2 0 k g f / c m ² G)	3. 0 4MP a (3 0 k g f / c m ² G)

航空宇宙技術研究所資料 634号

平成 3 年 3 月発行

発行所 航空宇宙技術研究所

東京都調布市深大寺東町 7 丁目 44 番地 1

電話三鷹 (0422) 47-5911 (大代表) 〒182

印刷所 株式会社 三興印刷

東京都新宿区西早稲田 2-1-18
