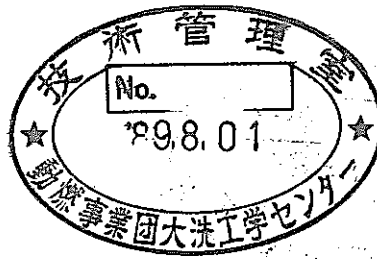


高速実験炉「常陽」運転経験報告書

模擬配管ガス導通水試験及び1次純化系特殊ドレンに関する検討



1989年3月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

高速実験炉「常陽」運転経験報告書

模擬配管ガス導通水試験及び1次純化系特殊ドレンに関する検討

永井 均 竹内 徹 永山 哲也[※]
小屋越 直喜 佐々木 和一 森本 誠
藤枝 清 今井 勝友 小澤 健二
山下 芳興

要 旨

高速実験炉「常陽」では、定検時における電磁ポンプダクト部の保護のためにオーバフロー及び純化系電磁ポンプについて、ナトリウム特殊ドレンを実施している。しかし、純化系電磁ポンプについては、これまでに凍結途中にガス導通が止まる等の事象が起こり、一度も完全なナトリウム特殊ドレンができなかった。このため、模擬配管によるガス導通水試験を行い、1次純化系特殊ドレン不可原因の推定を行った。

模擬配管でナトリウム特殊ドレン時と同等の圧力を加え確認したところ、水平管と垂直管を結ぶ位置に液相部ができ、圧力が低くなるに伴い液相部が増える傾向が認められた。従って、その液相部が固まればガス導通が止ることになる。しかし、水平管はガス導通の様子が層状流となるため電磁ポンプ位置が最後に固まる場合、ガス導通が止ってもナトリウム融解時の体積膨張を吸収する空間ができ、このため完全な特殊ドレンはできないものの、電磁ポンプ保護の目的を満足していると推定される。さらに、水試験の結果から、今回行った直接電磁ポンプへガス導通する方法については、設備の圧力制限上ガス導通できないことが判明した。

※ 東海事業所，再処理工場工務部分析課

目 次

1. 緒 言	1
2. ナトリウム特殊ドレン及びその必要性	2
3. 試験目的	3
4. 試験方法	4
4.1 試験条件の選定	4
4.2 試験内容	7
5. 試験結果	8
5.1 U字管におけるガス導通	8
5.2 U字管の立上り配管が階段状に上がっている場合におけるガス導通	8
5.3 U字管と逆U字管により構成された配管であり，かつ出口配管が液面中に設置 されている場合におけるガス導通	11
6. 結論および考察	16

1. 緒 言

オーバフロー及び純化系電磁ポンプは、フラットリニアインダクション型電磁ポンプを採用しており、ナトリウムが流れるポンプダクト本体が薄肉構造のため、定検時におけるナトリウム凍結後の融解時に変形・破損の恐れがあった。このため、高速実験炉「常陽」ではオーバフロー及び純化系電磁ポンプについてナトリウム特殊ドレンを実施している。しかし、これまでの経験からオーバフロー電磁ポンプについては十分な実績を得ることができたが、純化系電磁ポンプについては凍結途中でガス導通が止る等の事象が起こり、一度も完全なナトリウム特殊ドレンができなかった。このため、1次純化系特殊ドレンの不可原因を調査することを目的とした模擬配管ガス導通水試験を行った。この報告書では1次純化系特殊ドレン不可原因の推定及び模擬配管によるガス導通の様子等について述べる。

ガス導通確認を行う前提として、次のことを考慮した。

- (1) 金属ナトリウムは、化学的に活性でその取扱いには十分注意を要し、空気中では、200℃程度以上で燃えて刺激性の強い大量の白煙を出す。
- (2) 金属ナトリウムは、融点が97.8℃なので予熱源が必要である。
- (3) ナトリウム特殊ドレンを行う200℃における金属ナトリウムの密度は、0.90 g/mlで水の密度に近い。
- (4) 金属ナトリウムは、通常アルゴンガス等の不活性ガス中で取扱っているが、アルゴンガスは排気設備がないと酸欠の恐れがある。
- (5) SUSの配管では、ガス導通の様子を見ることができない。

以上の観点から、ガス導通圧力とガス導通の様子を調べるために最も安価で取扱いが簡単な圧縮空気と透明なホースを使った水試験を行った。

2. ナトリウム特殊ドレン及びその必要性

オーバフロー及び純化系電磁ポンプは、オーバフロータンクの底部とほぼ同じ高さに設置されている。このため、系統のナトリウムドレン時に電磁ポンプダクト部のドレンができず、凍結防止のため電磁ポンプ自体の誘導加熱によって予熱している。しかし、電磁ポンプ用予熱電源設備、あるいは電磁ポンプ本体の点検時においては、予熱手段がないためナトリウムの凍結は避けられない。その場合、ナトリウムを融解させる手段を誤ると、ナトリウムの体積膨張によって特に肉厚の薄い電磁ポンプダクト(3mm)を変形・破損する恐れがある。

以上の理由により、このような場所に設置された電磁ポンプダクト部の破損の可能性をなくす方法として、特殊ドレン(俗称チクワドレン)が考え出された。この方法は、電磁ポンプダクト及びナトリウム配管内のナトリウム中に加圧アルゴンガスを流し、空洞を形成させた状態でナトリウムを冷却凍結するものである。

3. 試 験 目 的

電磁ポンプ保護を目的とした特殊ドレンにおける配管のガス導通圧力とガス導通の様子を調べるとともに、過去のナトリウム特殊ドレンにおけるガス導通不可等についての原因を調査することを目的として、本ガス導通水試験を行った。

4. 試験方法

4.1 試験条件の選定

主目的は、過去に発生した純化系ナトリウムの特種ドレンの不具合の原因調査であり、電磁ポンプや配管をホースで模擬し、試験条件の選定にあたっては以下のような項目について考察を行い、決定をした。

(1) ホース

純化系廻りの配管は、2BSSと1BSSにより構成されている。しかし、ホースの場合径が大きくなればなるほど、変形しにくくなり装置も大きくなる。従って、1BSS(外径34, 厚さ3.2mm)に近い内径25mmのホースを選定した。

(2) 形状

プラントの挙動を把握するうえで必要と考えられる次の3通りを選定した。

- ① Case 1 U字管における場合
- ② Case 2 U字管の立上り配管が階段状に上っている場合。
- ③ Case 3 U字管と逆U字管により構成された配管であり、かつ、出口配管が液面中に設置されている場合。

Case1は、ガス導通に必要な圧力とそれに伴う状態の変化を知るためのものであり、入口の液位に対して出口が2倍以上高いU字管を相定したものである。

Case2は、1次純化系ポンプ廻り配管を想定したものである。図-2に特殊ドレンラインを、図-1にはOF/Tから純化系電磁ポンプ廻り配管の鳥瞰図を示す。特殊ドレンは、図-2の実線及び点線で示すように、ダンプタンク(以後D/Tと略称する)から直接電磁ポンプ・炉容器へ導通する場合と電磁ポンプ廻りのNa-一旦オーバフロータンク(以後OF/Tと略称する)にドレンしてから行うものがある。後者については後述するため、ここでは前者について述べる。

特殊ドレンは、D/T, V35.1-4, V35.1-5, 純化系ポンプ, 純化系電磁流量計, V34.1-11及び炉容器の経路でガスが流れる。その形状を図-1で確認すると、V35.1-5が入口、純化系ポンプが水平配管であり、炉容器に至るまでの間が階段状に上がっていることがわかる。従って、本Caseは、U字管の立上り配管が二段階に上がる構造とした。

Case3は、前述した特殊ドレンの後者に該当するものであり、1次純化系電磁ポンプ廻りのナトリウムを図-2の点線で示すように、コールドトラップエコノマイザのラインからOF/Tにドレンするものである。形状は、図-1からポンプ廻りがU字型, V34.1-2及びV34.1-1からOF/Tまで逆U字型であることがわかる。一方、他資料の調査により、OF/T内の配管が液面中に設置してあることを確認したため、本Case3は、U字管と逆U字管により構成された配管で、さらに出口配管が液面中に設置された構造のものにした。

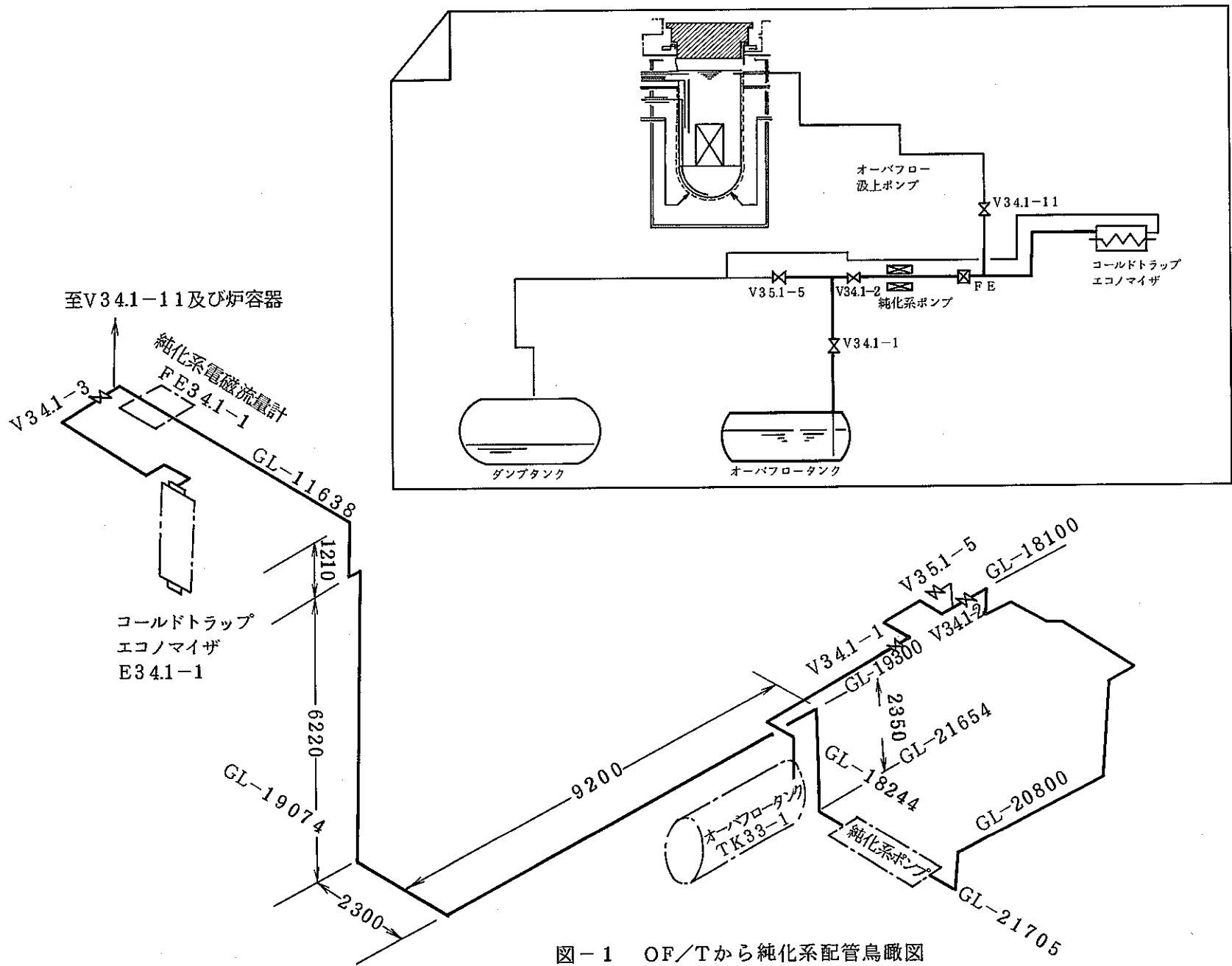


図-1 OF/Tから純化系配管鳥瞰図

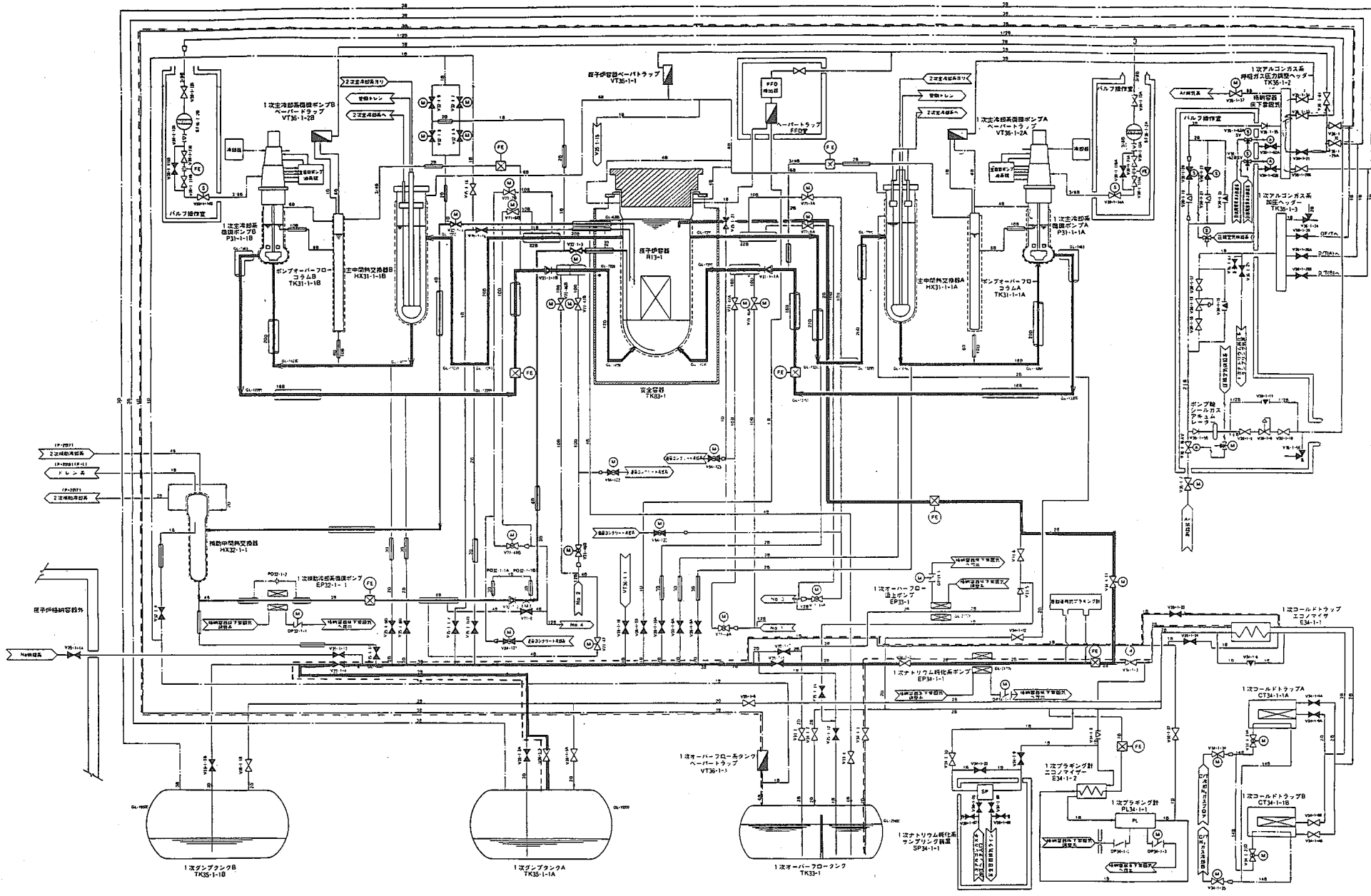


図-2 特殊ドレンライン

4.2 試験内容

内径約 25 mm の透明なホースを 図-3 のように針金で固定後、インクで着色した水をホース内に規定量入れ、ホースの一方と圧空ヘッドを接続し、その途中に精密圧力計を取付ける。圧空ヘッドの減圧弁により徐々に加圧し、(1) バランス圧力、(2) 導通圧力、(3) 状態の変化、(4) 実際の加圧ドレンの最大圧 0.9 kg/cm^2 (V3 6.1-24 の作動圧が 1.0 kg/cm^2 なので 0.9 kg/cm^2 を制限値にしている) の様子を観察した。さらに Case 1, Case 2 については、徐々に加圧した場合と一気に加圧した場合の挙動について調べた。

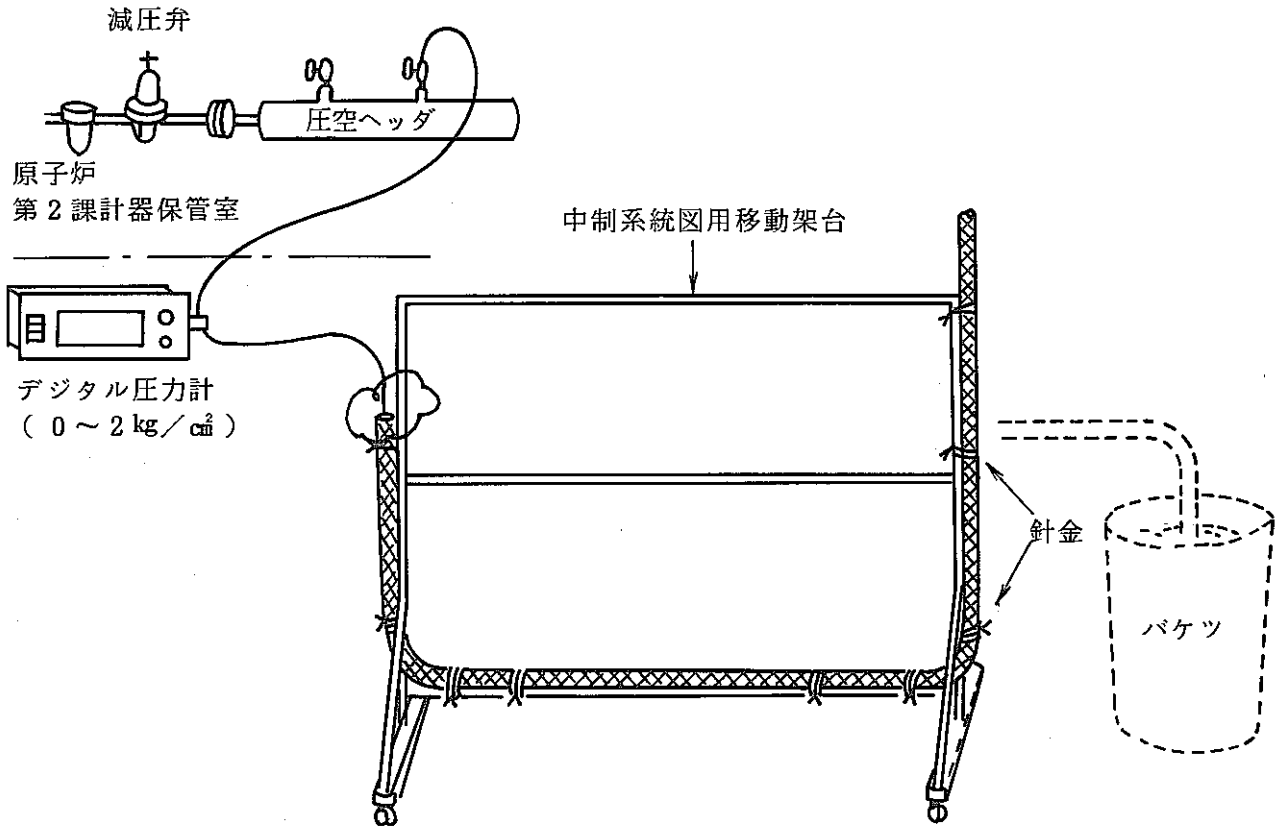


図-3 水試験装置図

5. 試験結果

5.1 U字管におけるガス導通

本Caseは、図-4に示すように幅が約85cm、出口までの高さが約230cmで出口が大気開放になっている。①は加圧前の液位を示したもので、着色した水を47cmまで入れたものである。入口側に圧力0.06kg/cm²加えると液位は①から30cm下がり、出口では30cm上の②まで上昇する。すなわちマンメータの原理と同じで、②の間のヘッド差60cmと加えた圧力0.06kg/cm²が一致する。さらに圧力を加えると出口が③の107cmまで上昇し、入口は約2cmの位置まで下がる。ここでも圧力と液柱の関係は成立し、加えた圧力0.105kg/cm²と③間のヘッド差105cmは一致している。しかし、入口と出口のレベル変化量については異なっており入口約45cm、出口60cmとなった。これは、垂直管と水平管のコナ部が曲っている（液面から水平配管までの距離が長くなる）ことと、この状態ですでに水平配管の約50cmまでガスが移動（管の上端のみ）したことによる。すなわち、この時点でガス導通はしていないが、前者からガス導通のレベルについては、液面から水平配管までの高さではなく、むしろ水平配管までの液柱の長さであることが言える。従って、入口垂直管から水平配管までの途中に水平管に類するものがある場合は、その水平管に類する長さを加算する必要があるという意味である。

次に、ガス導通の様子を知るため、段階的に圧力を変化させ、各圧力における様子を記録した。

試験の結果を図-5に、また、一般的な流動様式の一例を参考のために図-6に示す。ガス導通は図-5中のaに示すように、水平配管の上端を通り、④の位置からガスが押し出され、大きな気泡状で断続的に流れる。このため出口液位は115~123cm、圧力も0.107~0.112kg/cm²の間で変化する。しかし、この状態におけるガスの流れは炉容器や呼吸ヘッダの圧力では、判断できない程度のものであり、また、動きも遅くガス導通までに時間を要する。さらに圧力を加えて行った時の様子を示したものが図中のb、c、dである。上記aでは断続的な流れだったのに対し、bでは⑤の液相、⑥の気相を交互に形成した連続的な流れ、すなわち、プラグ流に変わり、さらにa、b、cの順に比較すると圧力上昇に共って気相の容積比が増えていることがわかる。Cでは、圧力0.13kg/cm²で出口よりオーバーフローが起こる。その後さらに圧力上昇を続けるとプラグ流からスラグ流とフロス流に似たピストンのような動きに変わった。

5.2 U字管の立上り配管が階段状に上がっている場合におけるガス導通

試験条件選定で前述したように、本Case2は1次ポンプ廻り配管のガス導通を想定したものである。試験装置は水平配管の一段目から二段目までの各配管の長さが約90cm間隔で、出口までの高さが約230cmになっている。液位は約100cmのものと約25cmの2通りについて行い、前者は圧力と液位の関係、後者では圧力0.9kg/cm²までの状態の変化を調べた。

装置の概約及び試験の結果を図-7に示す。ガス導通の様子、圧力と液位の関係共に、Case1

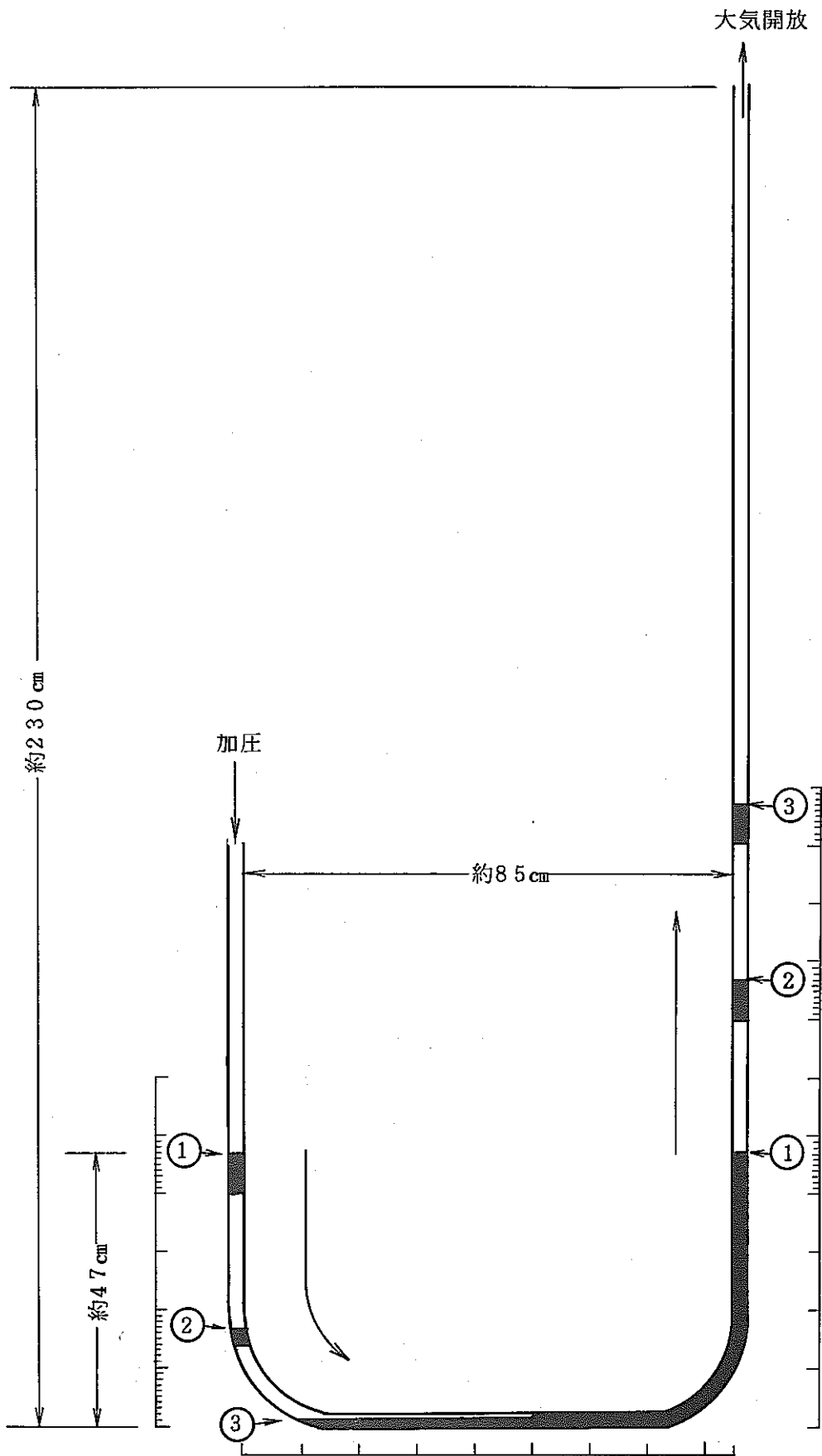


図-4 U字管における圧力と液位の関係

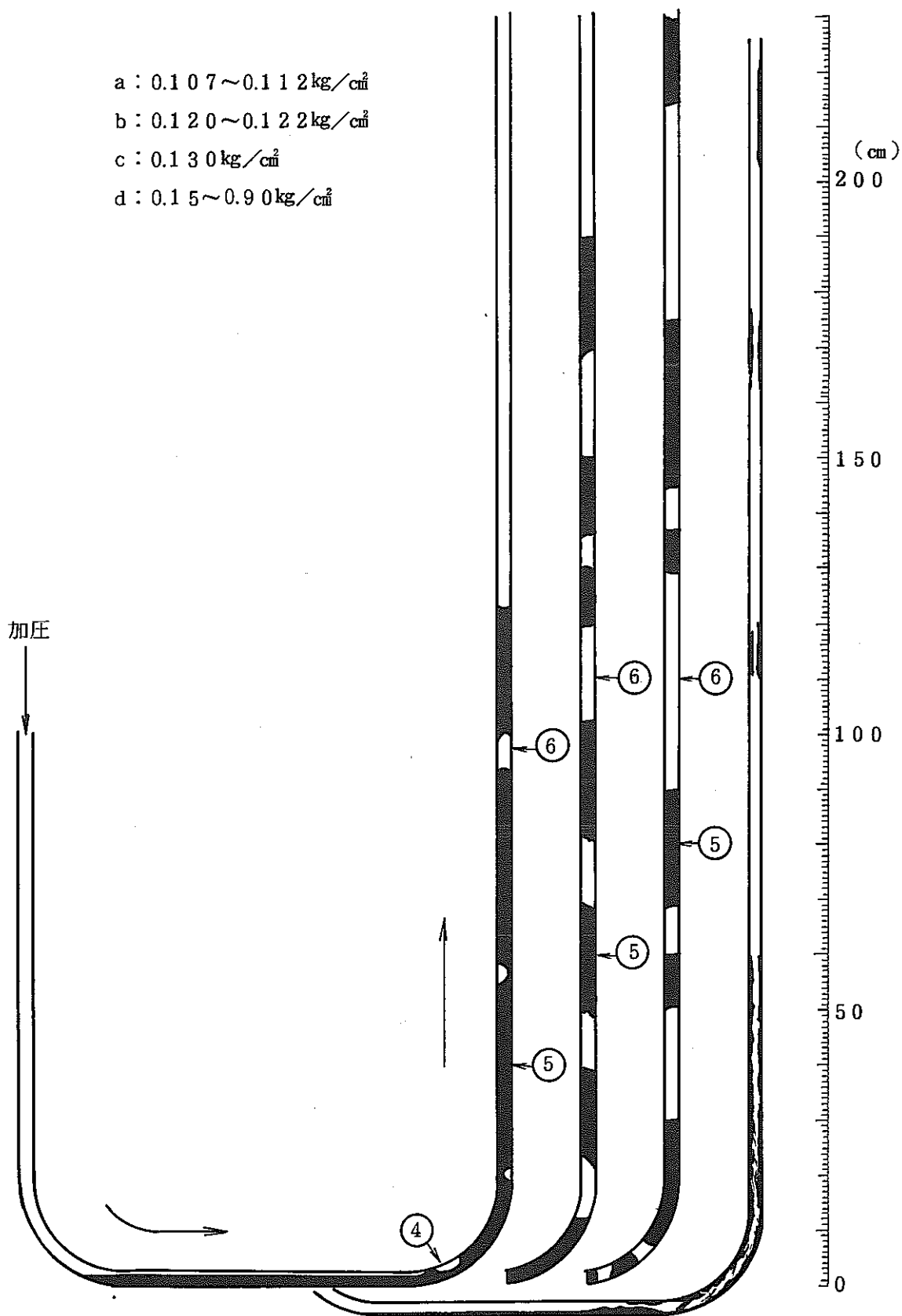


図-5 U字管におけるガス導通の様子

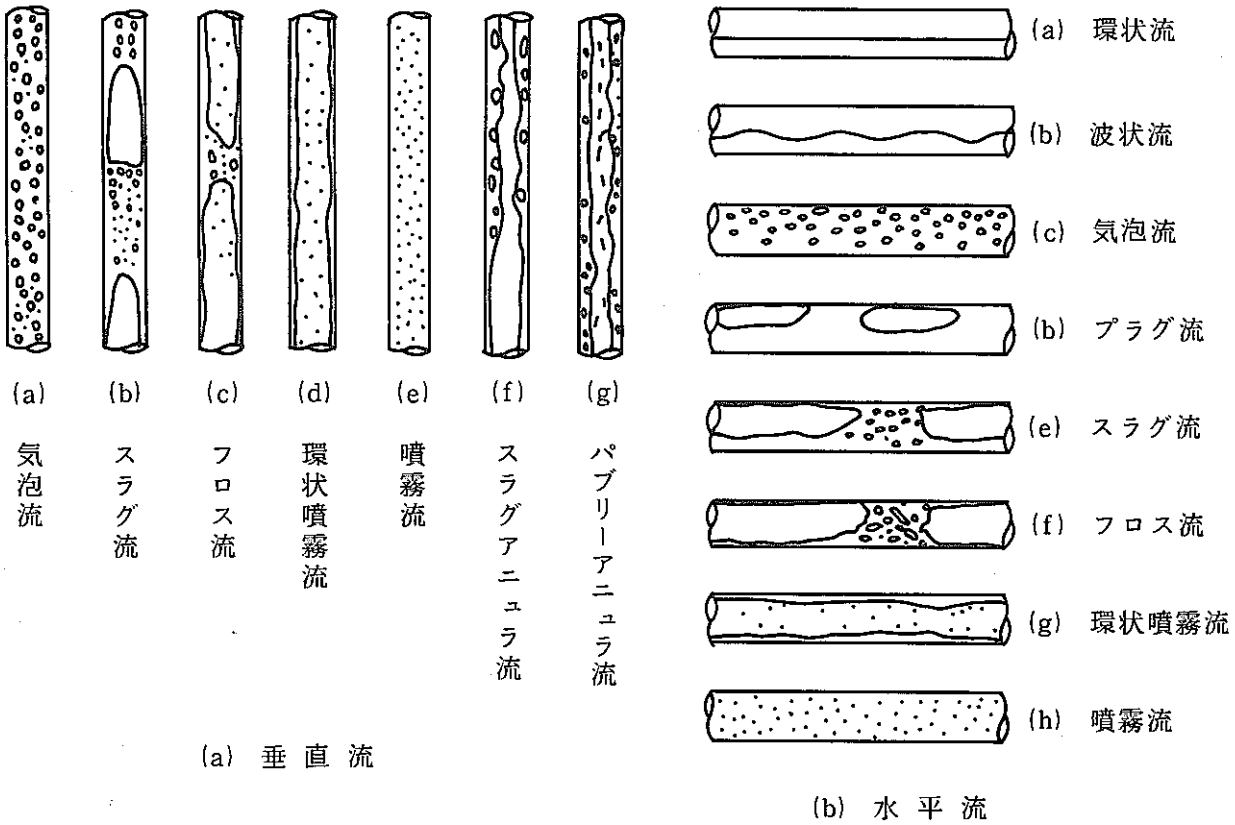


図-6 二相流の流動様式

と同様であり、②間の高さが加えた圧力と一致した。また、ガス導通の様子についても圧力が低い場合、垂直管が液相、気相、液相を形成したきれいなプラグ流になり、水平配管は気相と液相に分離し上端の気相部をガスが流れる層状流になった。Case1の説明を繰返してしまうが、さらに圧力を上げて行くと、垂直管がスラッグ流とフロス流に似たピストンのような動きに変わり、圧力上昇に伴い動きも早くなる。一方、水平配管は圧力 0.9 kg/cm^2 加えても、液量が約半分に減った層状流のまま環状流（二重管のような流れ）にはならないことがわかった。従って、特殊ドレンは通称チクワドレンと言われているが、水平管についてはそのような形状にならないと思われる。

次に、圧力の加え方による挙動を確認した。同じ 0.9 kg/cm^2 でも徐々に上げる場合と一気に上げた場合とでは残留液の量が異なり、一気に上げた方が残留液は減った。

5.3 U字管と逆U字管により構成された配管であり、かつ出口配管が液面中に設置されている場合
 ガス導通等の圧力を求めるため、図-8の④に示すように入口側を加圧すると、液の移動に伴い水槽中のレベルが上昇する。しかしながら、これはOF/Tへのドレン条件（水槽に当るOF/Tの場合液面計による変動はない。もちろん配管容量に対してOF/Tの容量が大きいからである）と異なると同時に、正確な圧力を求めることが困難となる。

そのため、図中の⑥のように水槽からホースを取外し、液をある一定位置に移動させてから確認することにした。すなわち、これまでの試験結果からU字管におけるガス導通圧力はわかっており、逆U字管から液面中の出口までの圧力を求めれば、本Caseのガス導通圧力を知ることができる。そこで、水槽中にホースを20 cm挿入してみた。すると図中③の②の位置から液が加圧側に20 cmもどった。次に30 cm挿入した時も同様な結果が得られた。つまり、水槽中に⑥分挿入すれば、それに対して⑥の液が加圧側にもどる。従って、本Caseのガス導通圧力は、U字管の導通圧力にさらに⑥分の圧力を加えることが必要であることがわかる。

一方、ドレンの様子は、加圧により液位を図-9-②の①から②に移行する間、U字管と逆U字管を結ぶ立上がり配管の液位上昇に伴い、水槽中では(2-1)のように気泡が間欠的に抜ける。さらに圧力を加えて行くと、(2-2)の位置でオーバーフローが起り、逆U字管の水平配管は大部分がガス空間になる。その後のU字管における様子はCase 1, 2と同様であり、③の位置からガスが押し出され、④のように大きな気泡状でガス導通が起る。図-9-⑥にはドレン後の状態を示す。①は加圧前、⑤はドレン後の液位を示したものであり、図中の▨部についてドレンできたことがわかる。

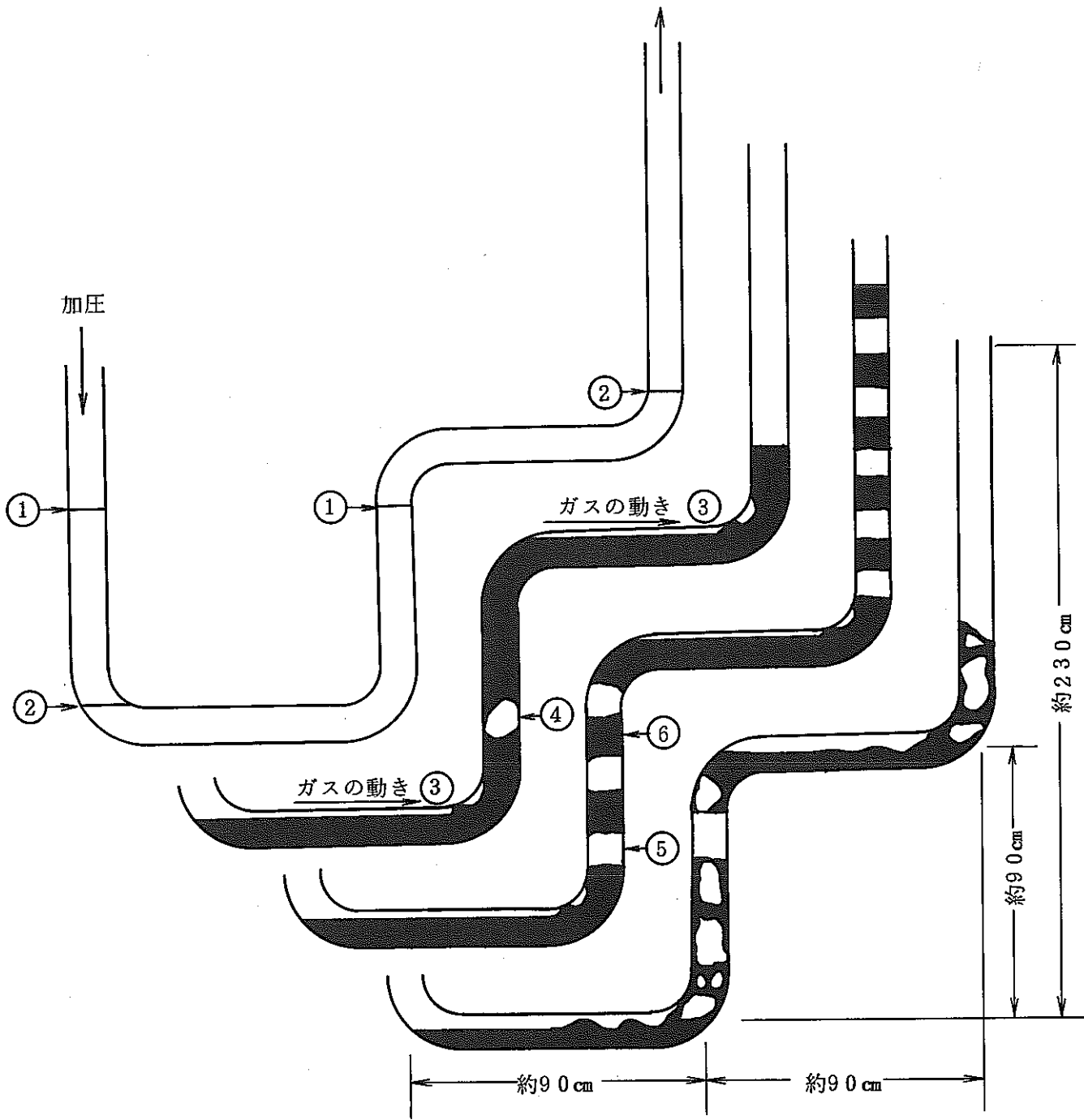


図-7 出口が階段状に上がっている場合におけるガス導通

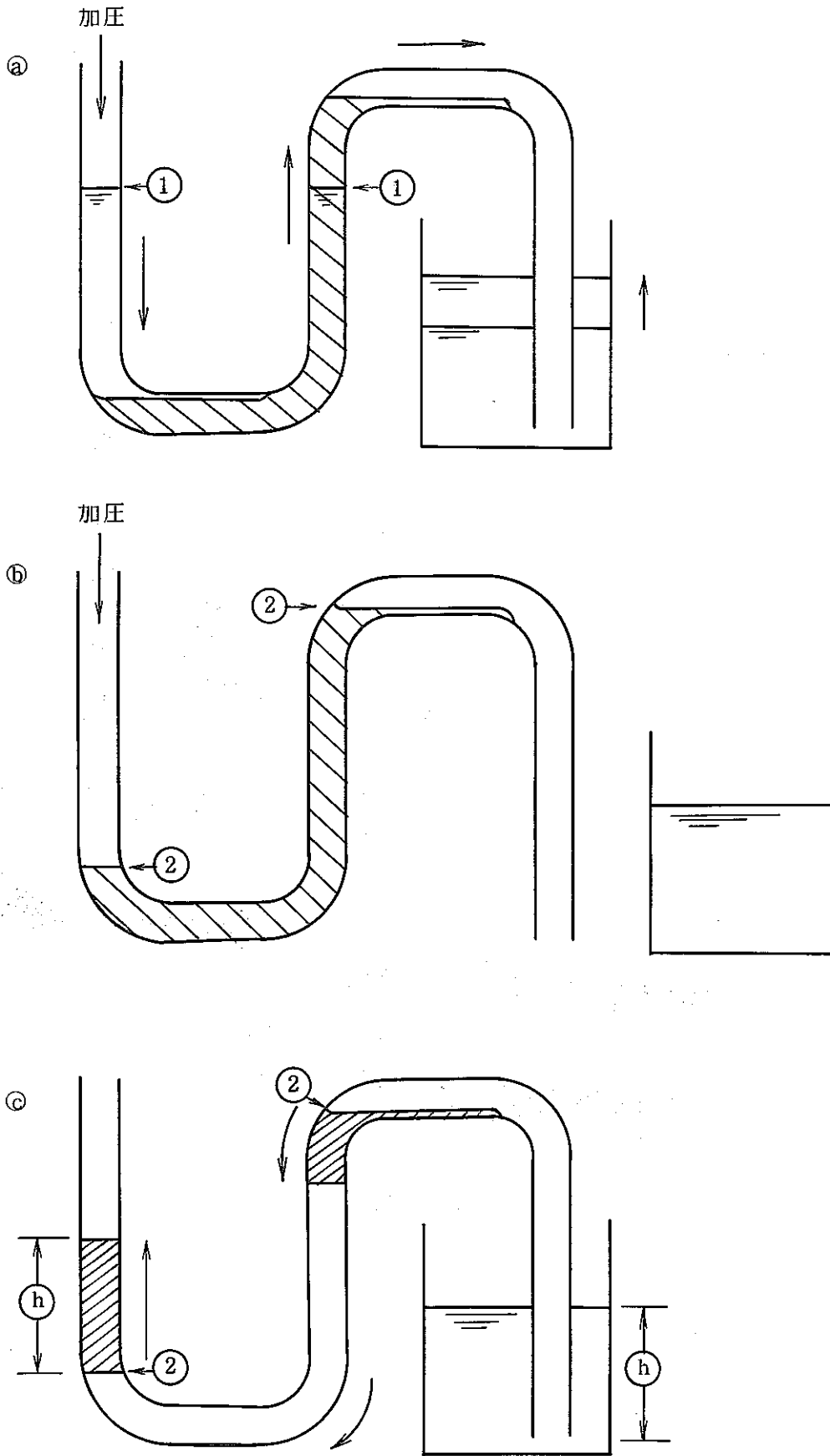


図-8 ドレン圧力の確認

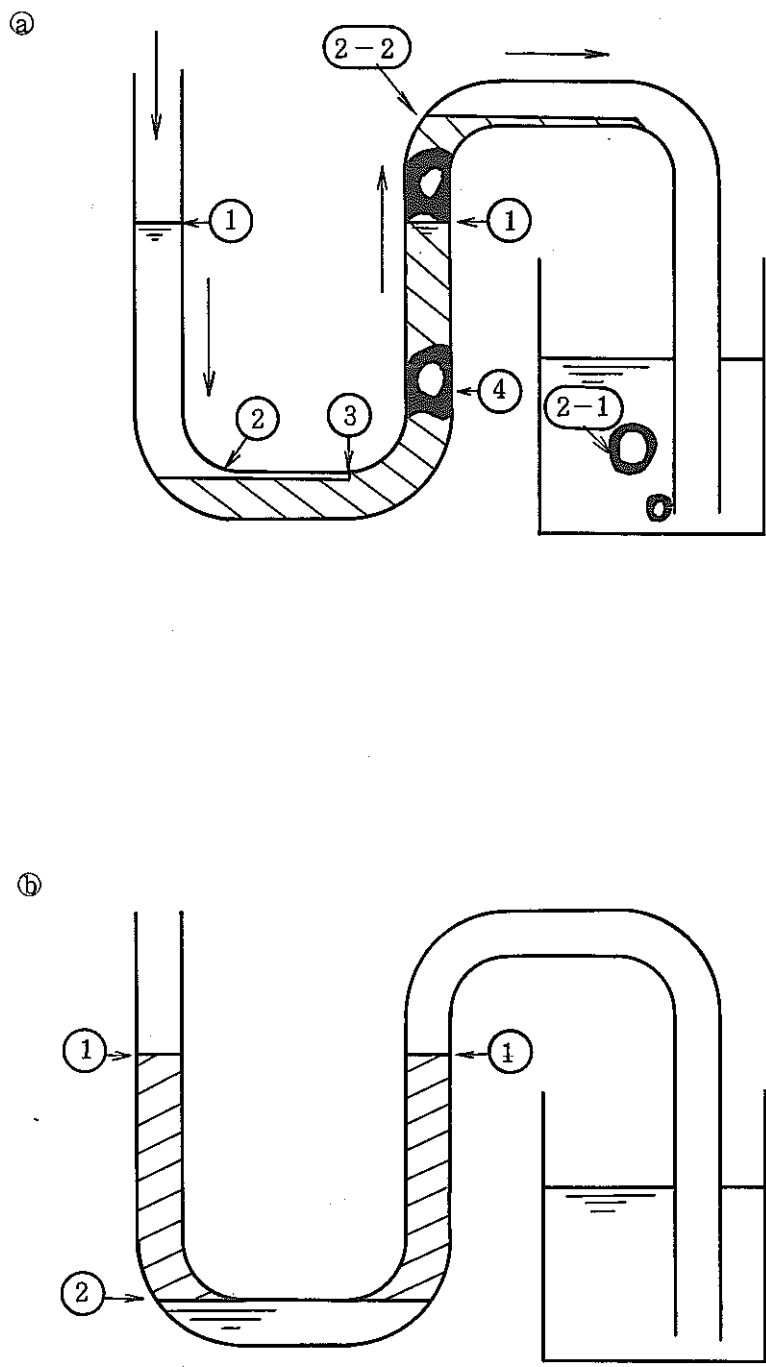


図-9 ドレンの様子

6. 結論及び考察

(1) ガス導通試験の結論

ガス導通圧力は、U字管の場合（出口が階段状に上がっている場合も含む）マノメータと同じ原理で液柱から水平配管までの長さの2倍以上の圧力が必要である。また、U字管と逆U字管により構成された配管で、かつ、出口が液面中に設置されている場合は、上記圧力にさらに出口から液面までのヘッド圧を加算した値以上の圧力が必要、一方、ガス導通の様子は、水平管が層状流、垂直管は出口よりオーバフローしない場合がプラグ流、液量に対し圧力が十分高い場合はスラグ流とフロース流に似たピストンのような動きになる。

(2) ナトリウム特殊ドレンの不具合原因について

本試験を通して、ガス導通に必要な基礎知識を確認することができた。ここで今後のナトリウム特殊ドレンのために、これまでの不具合原因を究明する必要がある。

そこで、昭和63年10月20日に行った1次純化系電磁ポンプナトリウム特殊ドレンのガス導通不可について考察する。

ナトリウム特殊ドレン前の状態は図-10に示すように、1次純化系ナトリウムドレンを行っても、OF/Tの水平配管がGL-18244なので、それより低い図中の斜線部にNaが残ることになる。当日行った操作は、直接電磁ポンプへガス導通する場合と電磁ポンプ廻りのNaを一旦OF/Tにドレンする操作の2通り行った。前者はCase 1, Case 2の結果からガス導通には、入口側の液柱の長さの2倍以上の圧力が必要である。しかしながら、図中の④から⑥に示すように液柱の長さは $10535 + \alpha$ mmであり、当日加えた圧力は 0.9 kg/cm^2 で、この圧力はドレンを行う約 200°C のNa密度に換算しても10m相当にしかならないため、ガス導通は不可能である。しかも、圧力はプラントの運転上の制限から 0.9 kg/cm^2 以上にすることは困難である。従って、1次純化系電磁ポンプへのガス導通については、一旦電磁ポンプ廻りのNaをOF/Tにドレンしないかぎり、ガス導通はできないと言う結論に達する。後者の場合、ガス導通に必要な圧力はCase 3の結果より④+⑥である。図-11に示すように⑥は当日のOF/T液位で136cm、④については、電磁ポンプからOF/Tまでの配管の一番高い位置と低い位置の差であり、3605mmとなる。これをNa 200°C 相当の圧力に換算すると約 0.45 kg/cm^2 になり、当日加えた圧力 0.9 kg/cm^2 と比較すると圧力的には十分導通可能であり、圧力以外の要因によるものと思われる。

次に、以前から1次純化系特殊ドレンにおいて、凍結途中にガス導通が止る事象が度々あった。Case 2の経験から水平管と垂直管を結ぶ位置に液相部ができ、圧力が低くなるに伴い液相部が増える傾向が認められた。言い換えれば、圧力に対して液量が多い場合ガス導通が止る可能性が高い、すなわち金属の場合、アメやガラスのように粘性が増え固まるのではなく融点より下がれば固まりガス導通が止ることになる。従って、特殊ドレン前に電磁ポンプ廻りのNaをできるだけ多くドレンすることが望ましい。また、純化系特殊ドレンは、これまでOF系特殊ドレン終了後に行っていたため、冷却ガス流量が減っている。これらのことを試み今後一度確認する必要がある。

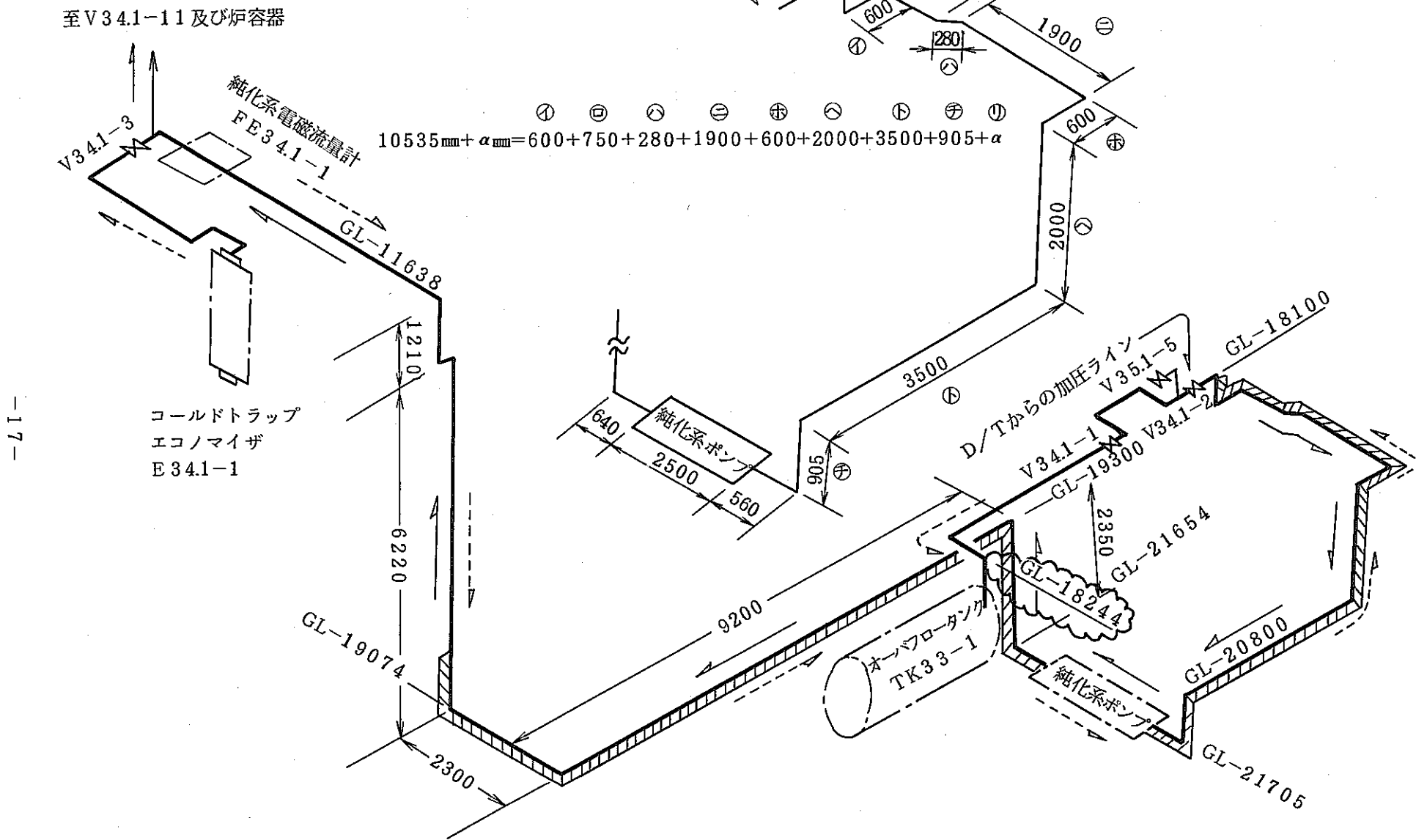
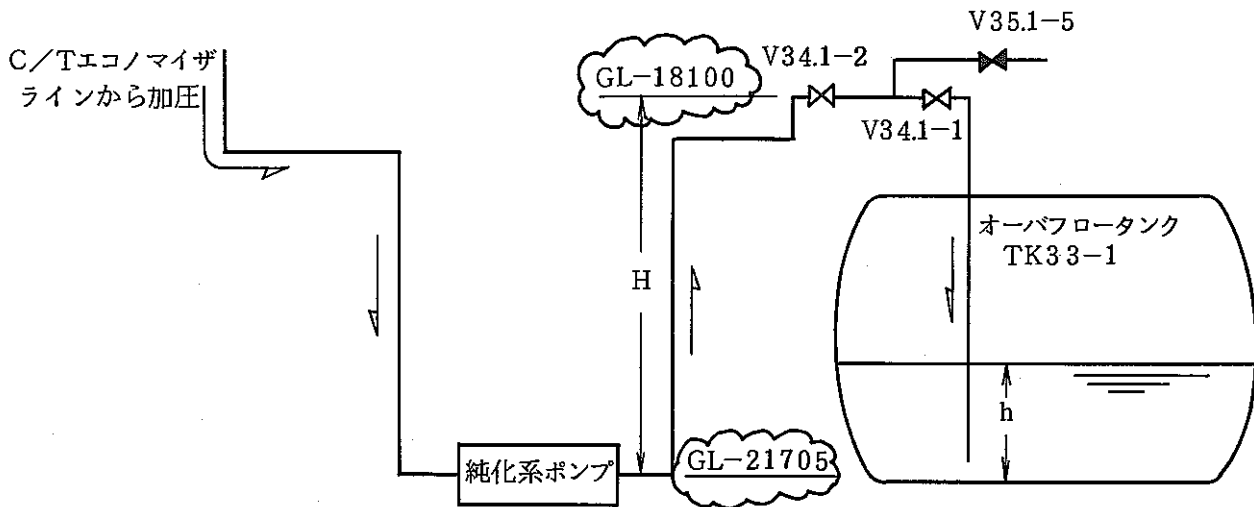
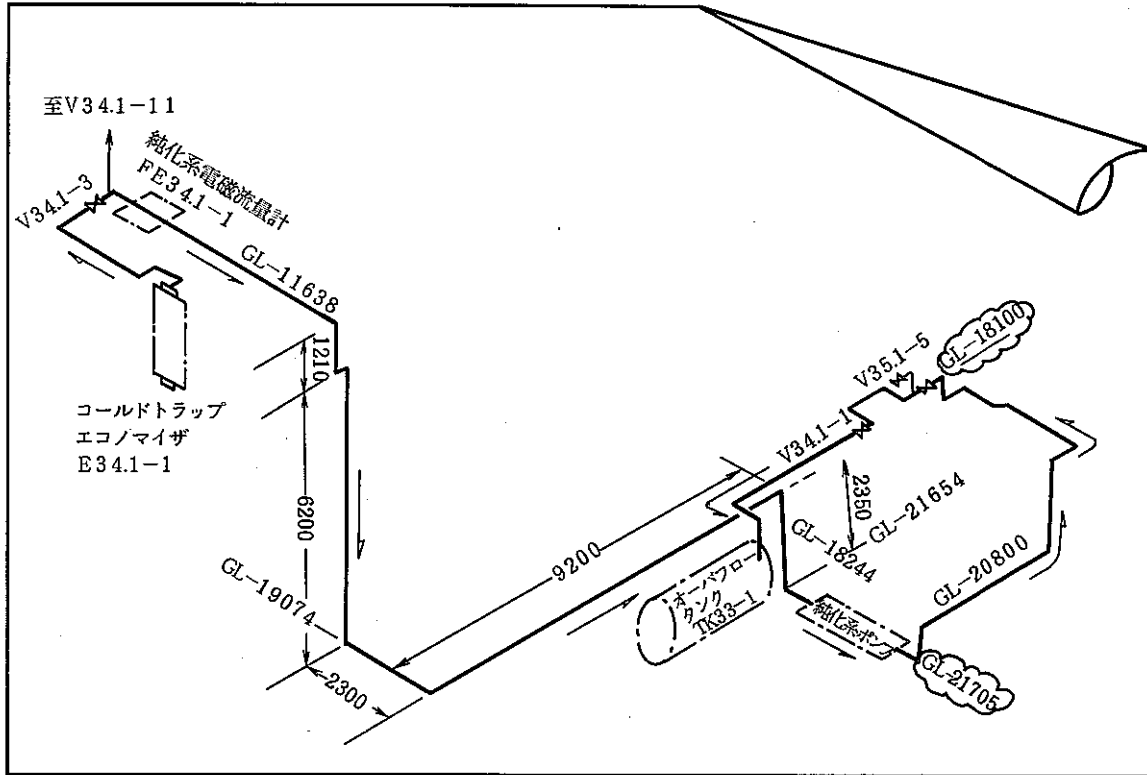


図-10 OF/Tから純化系配管鳥瞰図



$H = \text{配管の一番高い位置と低い位置との差}$
 $= ((GL-21705) - (GL-18100))$
 $= 3605 \text{ mm}$

$h = \text{当日のオーバーフロータンクレベル}$
 $= 136 \text{ cm}$

図-11 純化系ポンプ廻りのドレンライン