

ターボ発電機水素冷却装置用計器に就いて

島田 稔* 岩淵 芳雄** 佐藤 芳男***

The Measuring Instruments for the Hydrogen Cooling
Plants for the Turbo-Generator

By Minoru Simada and Yoshio Satō

Taga Works, Hitachi, Ltd.

Yoshio Iwabuchi

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

In order to secure the perfect performance of the hydrogen cooling plant, several instruments are required for measuring and adjusting the purity and pressure of the hydrogen filling the generator, as well as the levels of the sealing oil tank and the electrolytic cells.

Recently Hitachi, Ltd. designed and manufactured the hydrogen indicating controller, automatic pressure indicating controller, CO₂ meter, level relay, drain relay, oil pressure relay, etc. in compliance with the requirement of the Ushioda Steam Power Plant, Tokyo Electric Power Co., Ltd.

All these instruments employed the induction type remote measuring system which insures reliable operation and easy maintenance, and were tested in our factory with satisfactory results.

〔I〕 緒 言

近年電気機器の水素冷却による高能率運転が実用化の段階に入り、我国に於ても研究、実験が進められ、既に二、三の実現をみるに至っている。日立製作所に於ては昭和26年東京電力花畑変電所 20,000 kVA 同期調相機に水素冷却装置を実施し好成績に運転中である。

今般東京電力潮田火力発電所納 55,000 kW, 3,000 r.p.m. ターボ発電機にこの方式が応用された。

水素冷却装置の完全な運転のためには水素純度、圧力軸承シーリング用油系統の油圧、油面の監視、警報、調整等を必要とする。この要求に応じて水素冷却装置用諸計器を製作し納入をみた。本計器類は日立工場に於て組合せ試験を行い所期の結果を得、近く現地にて実際運転に入ることになつている。ここにその概要を紹介する。

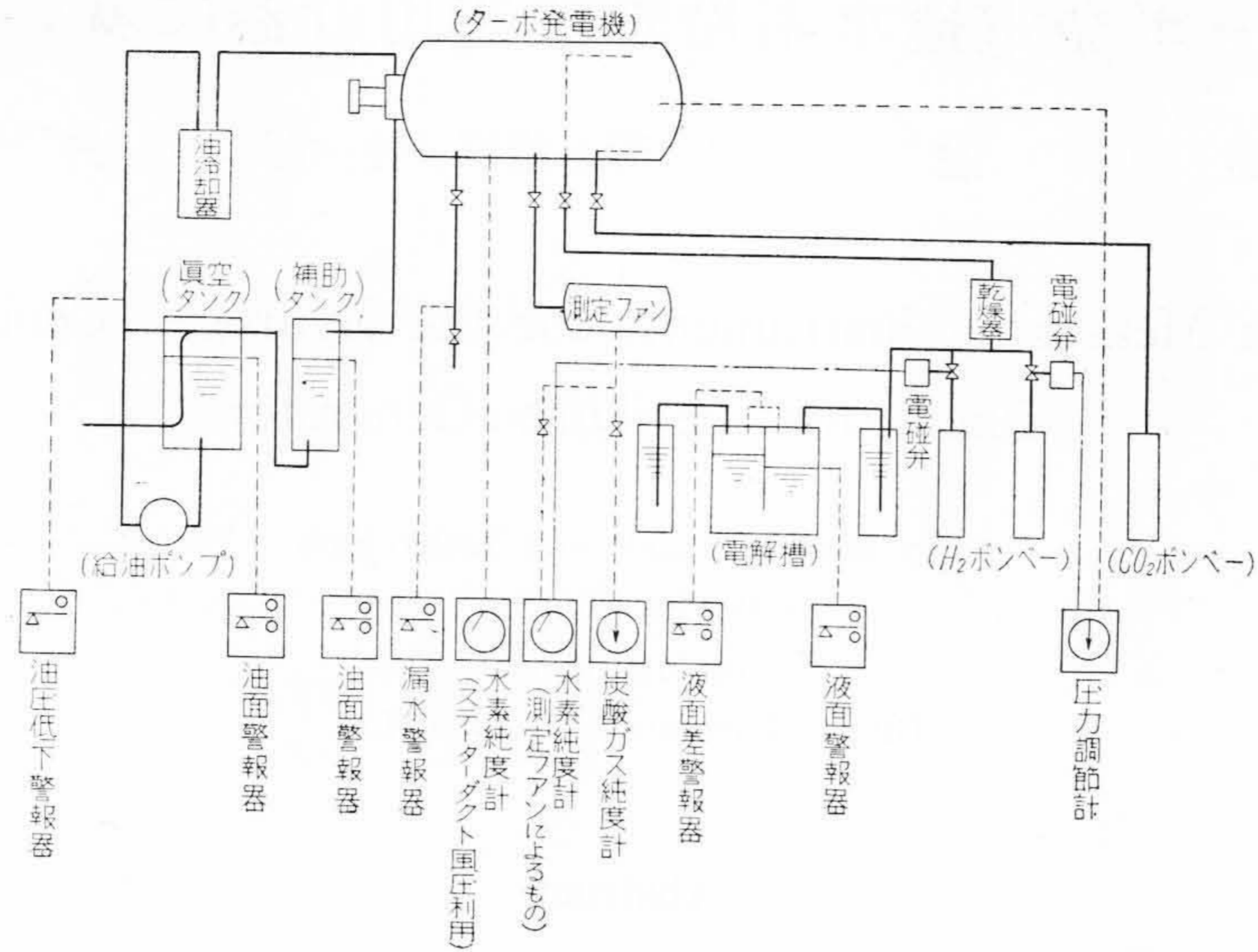
* *** 日立製作所多賀工場

** 日立製作所日立研究所

〔II〕 水素冷却装置に対する計器装置

水素冷却機器は高能率運転、機器の耐久性の増加等幾多の利点を有するものである。一方水素ガスを取扱うために爆発の危険があり又所期の能率の下に機器を運転せしめるためには水素純度及び圧力を常に所定値に保持する必要がある。更にターボ発電機の場合には、発電機軸が耐圧ケーシングを貫通する部分に於て機内水素ガスと外気とを隔離するためにオイルシーリングが設けられる。この油系統の油圧、油面の監視も必要となる。尚又本装置は別項に記載せられてある如く水素補給装置として電解槽を主体としているので、電解槽の液面、圧力の監視が必要である。

今回完成をみた東京電力潮田火力発電所納水素冷却ターボ発電機の計器装備の主要なものは第1図(次頁参照)に示す通りのものである。各系統毎に装備せられた計器類は次の通りである。



第1図 ターボ発電機水素冷却装置用計器類装備図
 Fig. 1. Meter Plants of Hydrogen Cooling Plants for Turbo-Generator

(1) 水素ガス系統用計器

発電機内部の水素純度と機内圧力を所定の値に保つため水素純度指示、記録、調節計並びに圧力指示調節計を設けた。尚運転の開始時又は停止時に機内の空気又は水素ガスを炭酸ガスで置換する場合の監視用として炭酸ガス計が設けられている。

(2) シーリング油系統

軸承シーリング油系統の油圧、ヘッドタンク、補助タンク、真空タンクの油面の監視、警報を行うために油圧低下警報器、油面警報器が設けられている。

(3) 電解槽系統その他

水電解槽の液面を監視する外、電解槽両極空間の圧力差を監視するために液面警報器及び液面差警報器がある。

その他に機内の漏油、漏水に対して発電機の保護用として漏水警報器が設けられている。

〔III〕 各計器類の原理及び構造

本装置には〔II〕に述べた如く用途の異なる多くの計器が装備されるので、その保守管理の煩を避けるため原理・構造を略々同一となる如く計画した。又現場に於ける取扱いの上から徒らに高感度の繊弱な計器の使用を止め、現場向のものとし、警報器等の接点には信頼度の高い構造、材質を用いている。尚水素の漏洩に就いては十分留意し完全な気密のものとして製作された。

(1) 水素純度計

(A) 原理 水素—空気の混合ガス中の水素純度を測定する方法としては、熱伝導率を利用したもの、燃焼発熱を利用するもの、屈折率の変化を利用するもの、比重の変化を利用するもの等があるが、これ等は何れも一長一短があり、現場向でなかつたり、連続測定が困難であつたりするので、構造堅牢にして、取扱いが容易で、連続測定に便利な比重の変化を利用する風圧式のものを採用し連続測定、調節を行い、光学的分析計を併用することにした。

風圧によるガス純度測定の原理は風圧と密度との関係を利用するもので、気流の速度 V (m/s) 密度 ρ (kg/m³) とすれば風圧 P (kg/cm²) は

$$P = \frac{V^2 \rho}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

となり、風圧と密度の関係は直線的な関係となる。

測定ファン等の風圧を利用する時にはファンの回転数を n とすれば

$$P = K \frac{n^2 \rho}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

K : 比例常数

として表わされる。

ガス体の密度 ρ とガスの状態との関係は、該ガスの標準状態 (0°C 760 mmHg) に於ける密度を ρ_0 , 圧力 H (mmHg), 温度 t (°C), ガス中の水蒸気の圧力を p (mmHg) とすれば次式にて表わされる。

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 + 0.00367t} \cdot \frac{H + Ap}{760} \dots \dots \dots (3)$$

第1表 水素—空気混合ガスの水素純度と密度及びAとの関係

Table 1. Relation between Purity, Density, and A and H₂-Air Mixed Gas

水素純度 (容積 %)	密度 ρ ₀ (g/l)	A
100	0.08987	7.945
96	0.1380	4.825
92	0.1861	3.319
88	0.2342	2.437
84	0.2824	1.847
80	0.3305	1.4324
0	1.293	-0.378

ここに、標準状態の水蒸気の密度を ρ_w とすれば A は次式により求められるもので、種々の水素—空気の混合ガスに対する A の値は第1表に示した。

$$A = \frac{\rho_w}{\rho_0} - 1 \dots\dots\dots (4)$$

以上の関係からガスの状態と風圧の関係は

$$P = K \frac{n^2}{2g} \times \rho_0 \times \frac{1}{1+0.00367t} \cdot \frac{H+Ap}{760} \dots (5)$$

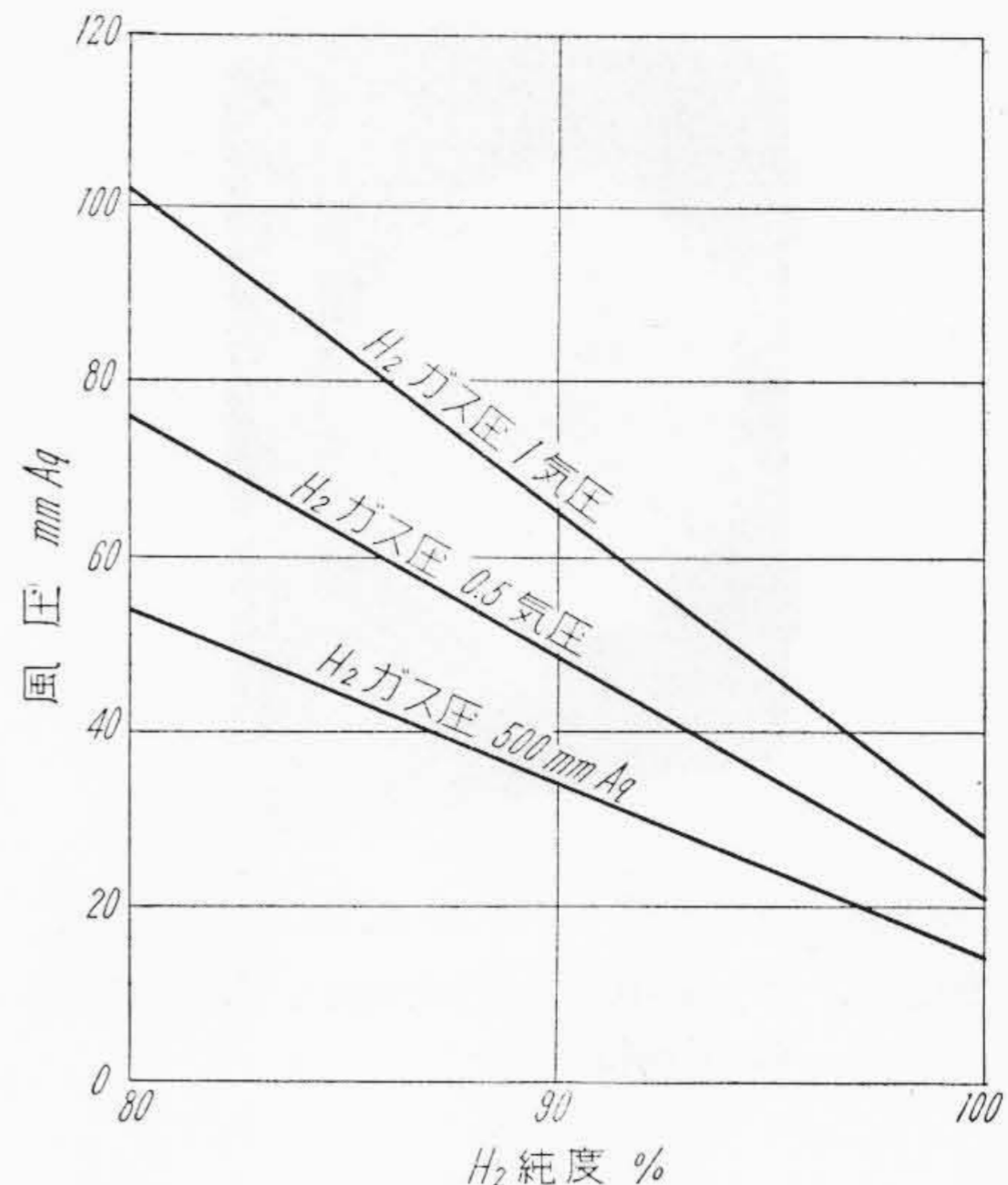
となる。風圧により純度を測定する場合にはガスの状態即ち温度、圧力及び湿度の変化とファンの回転数（同期機等にあつては周波数）の変化が直接指示に影響を与える。しかし実際の場合には温度、湿度の変化は僅少であり、圧力も運転条件によつて一定に保たれるので問題とならない。従つて周波数の変化に対してのみ補正を行えば十分である。

風圧式水素純度計は以上の原理によるもので、本装置に於ては風圧の発生法としては、発電機のステーターダクトに生ずる風圧によるものと、別箇に測定ファンを設けてこれが風圧を利用するものとを併用している。風圧はステーターダクトの取出口の位置又は測定ファンの設計に依り 100 mmAq 程度とすることが出来る。この程度の風圧の測定は容易で、風圧測定装置を適当に設計すれば kg 程度の力を取扱うこととなり計器の保守は容易となる。

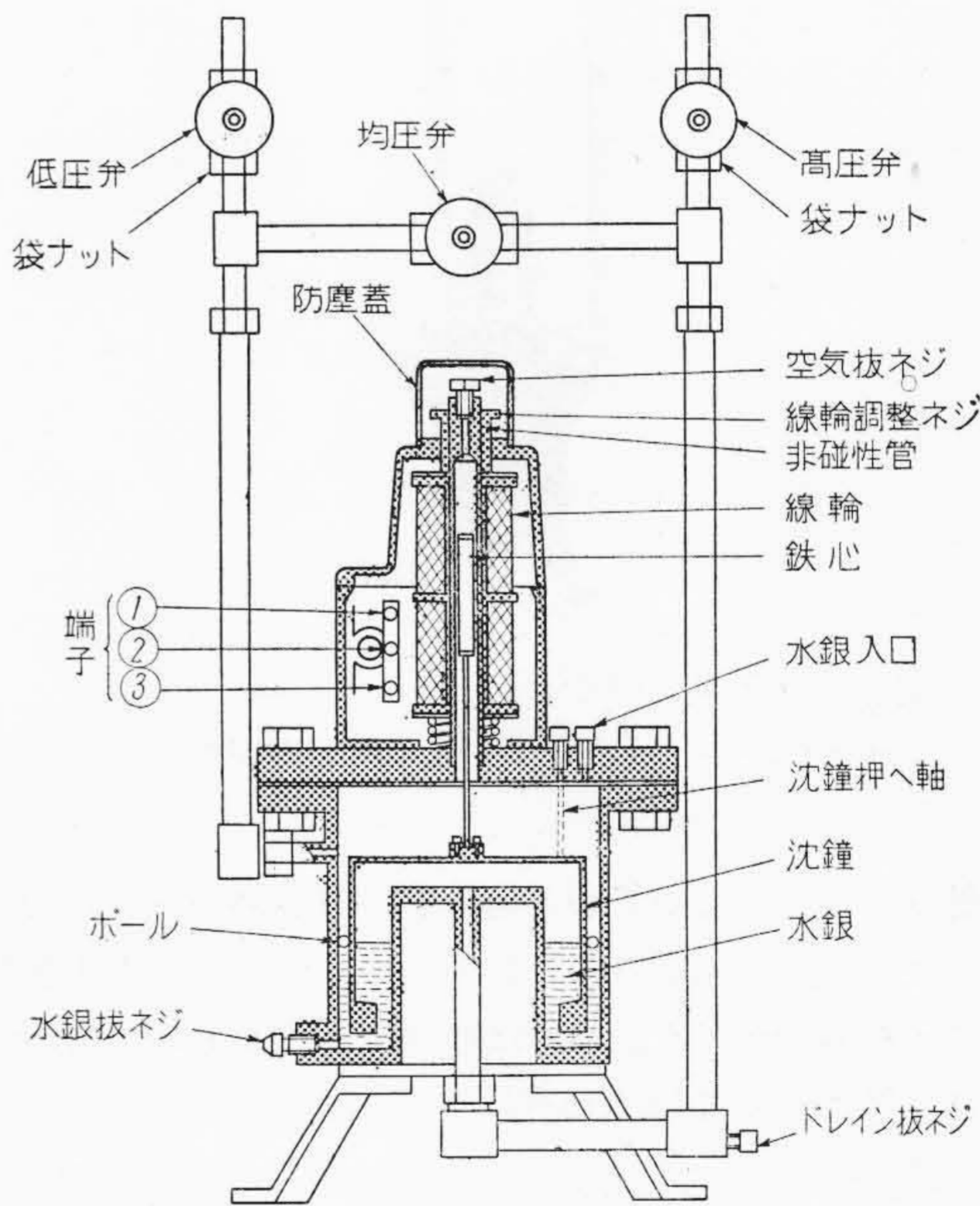
実際風圧を取り出し純度を測定する場合には、運転条件が 500 mmAq, 5,000 mmAq 等に変更され、又発生風圧は予定値と多少の変化があるので、風圧はバイパスを設けて補正を行うようになつている。

基準状態の空気中に於ける風圧を 200 mmAq とした場合の水素純度と風圧との関係は第2図に示した。

(B) FLQ 型水素純度計並びに FLB 型発信器 本純度計は上記の風圧式によるもので FLB 型発信器と FLQ 型水素純度計よりなる。

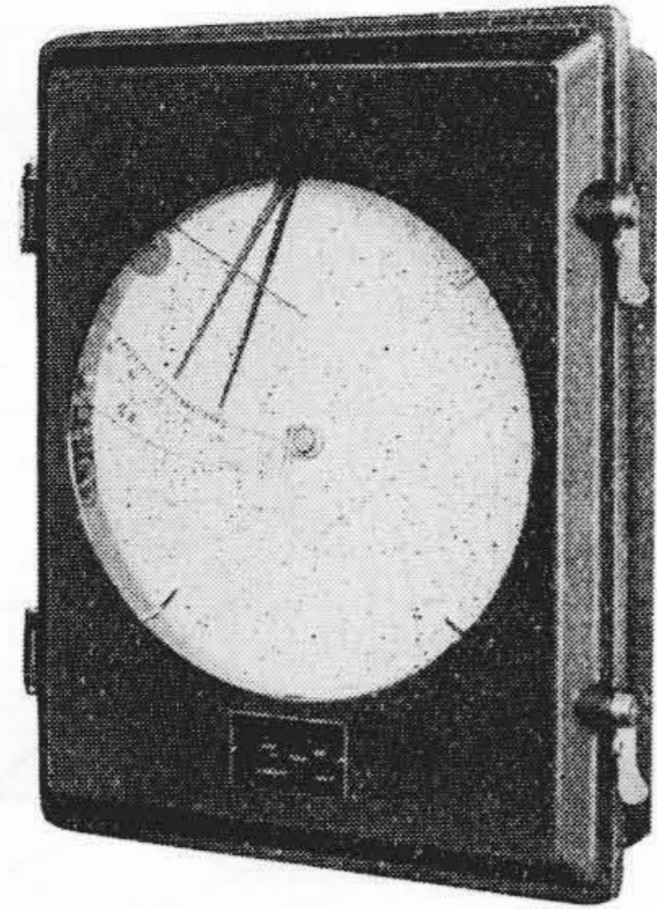


第2図 水素純度と差圧の関係
Fig. 2. Relation between Purity of H₂ and Difference Pressure

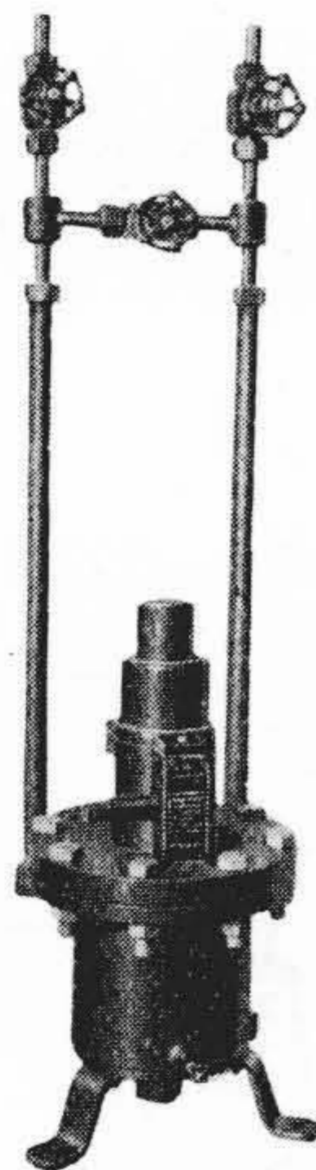


第3図 FLB 型発信器説明図
Fig. 3. Diagram of Type FLB Transmitter

FLB 型発信器は沈鐘式微圧計でその構造は第3図に示す。水銀中に浮遊している沈鐘の内外に差圧を導けば沈鐘は内外の圧力差により浮き上り、沈鐘の上昇による浮力の減少と圧力差が平衡した位置で静止する。沈鐘上部にはコイル中を上下する可動鉄心があり、沈鐘の動きを電氣的に受量器に伝える。沈鐘の浮力は 100 mmAq



第 4 図 FLQ 型 水素純度記録調節計
Fig. 4. Type FLQ Hydrogen Recording Controller



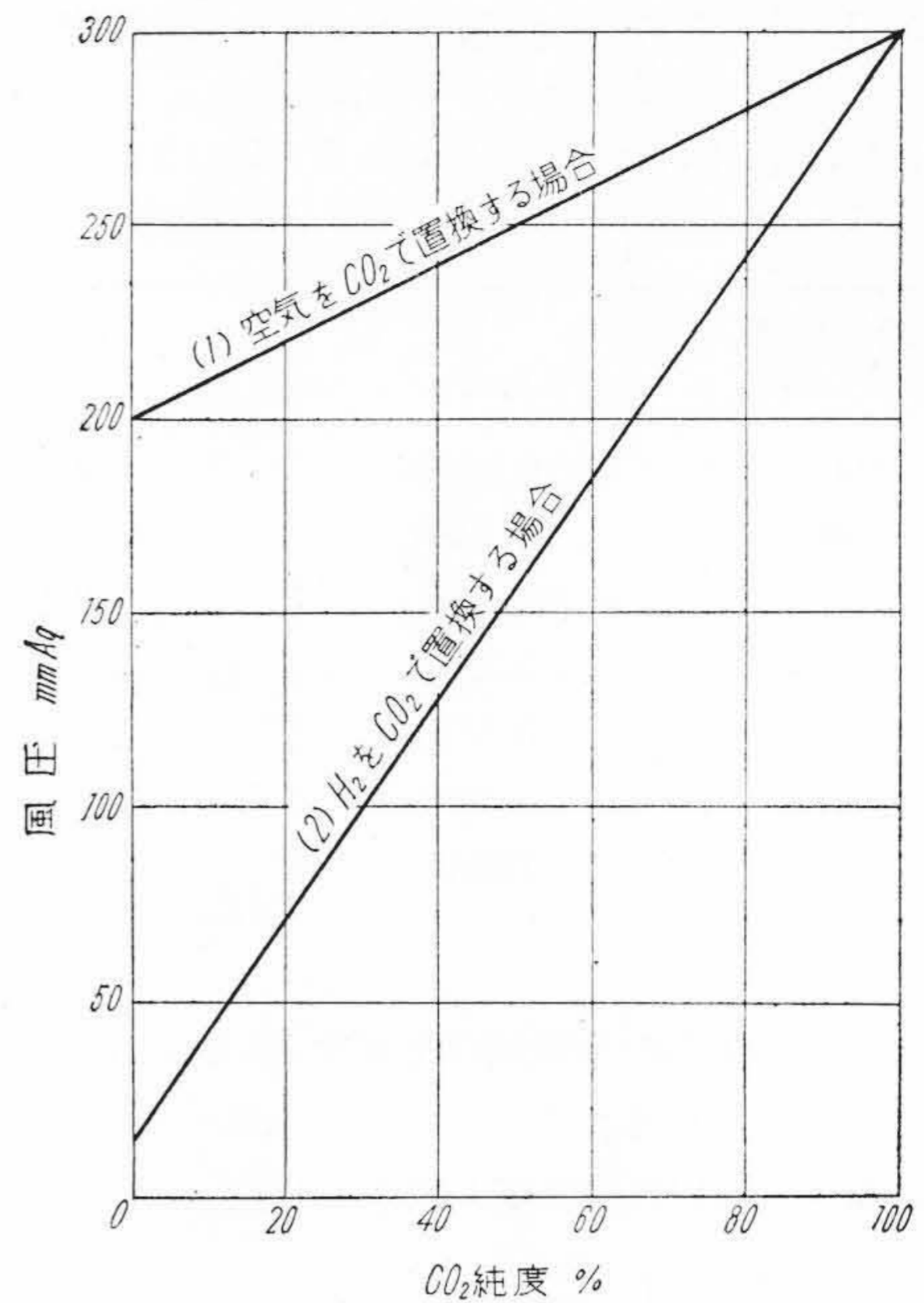
第 5 図 FLB 型 発信器
Fig. 5. Type FLB Transmitter

程度の圧力差によつても 1kg 内外となる如く設計した。

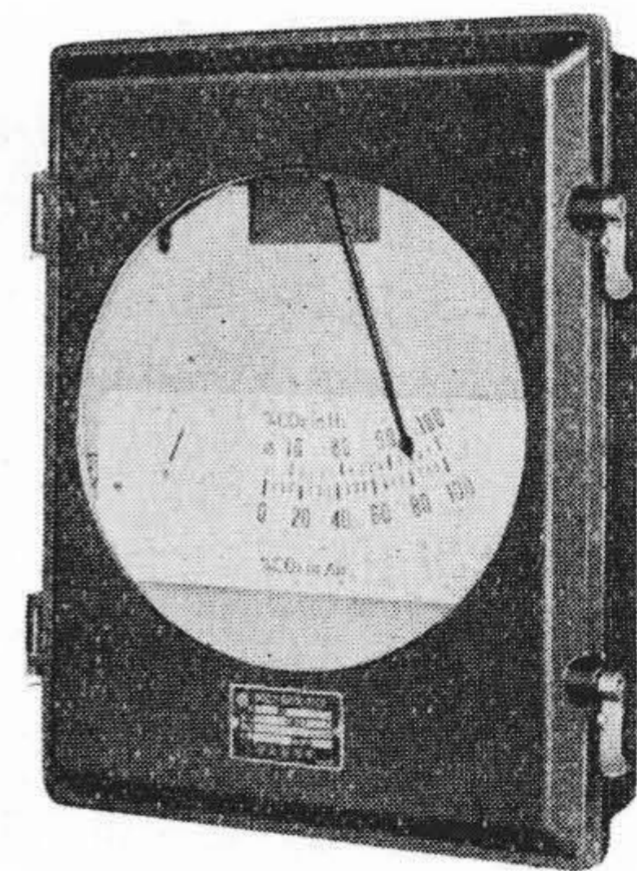
尙微小風圧の測定方法として環状天秤式圧力計も製作しているが、本用途に於ては使用圧力が $0.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ まで、更に今後 $1 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ まで使用されることを考慮し沈鐘式を採用した。本発信器は水素圧力を取扱うものである所以各部の構造は漏洩に対し特に留意し十分な気密試験を施してある。受量器への沈鐘の動きの伝達方法としては、所謂電気誘導型の原理を応用したもので、発信器並びに受量器に全く同じコイル、鉄心を設け自動平衡作用により沈鐘の動きを受量器に伝えるものである。

FLQ 型水素純度計は $100 \sim 80\% \text{ H}_2$ の目盛を有し、指示、記録を行う外調整、警報を行う接点を有している。

本装置別項に述べられている如く、水素純度の保持は電磁弁を操作してポンペより水素を補給することにより



第 6 図 炭酸ガス純度と差圧の関係
Fig. 6. Relation between Purity of CO_2 and Difference Pressure



第 7 図 炭酸ガス計
Fig. 7. CO_2 Meter

行われるが、この電磁弁の操作は計器内に収められた調節機構によつて行われる。水素純度を例えば 90% に保つようにして、この点で一段制御（オン、オフ制御）を行えば電磁弁の動作頻度は大となり不都合を来す危険があるので、本調節計は機械的に二段調節機構として水素純度が 90% 以下に低下した場合には電磁弁を開いて水素を補給し、純度が 94% 上昇した時に電磁弁を閉じ水素の補給を絶つ如く操作する。この調節は計器内に収められた小型電動機と水銀スイッチによつて行われる。一般にこの種の調節計に於ては調節点の上限又は下限の範

囲外は指針が抑制され指示しないが、本器は調節点より偏差を取り出して水銀スイッチを操作しているので指示は常に真値を示している。

尙本計器には更に警報接点を設け、調節が不可能になった場合には警報を行うことができる。これ等の調節点警報位置は任意に整定が可能で運転状態によつて自由に変更することが出来る。

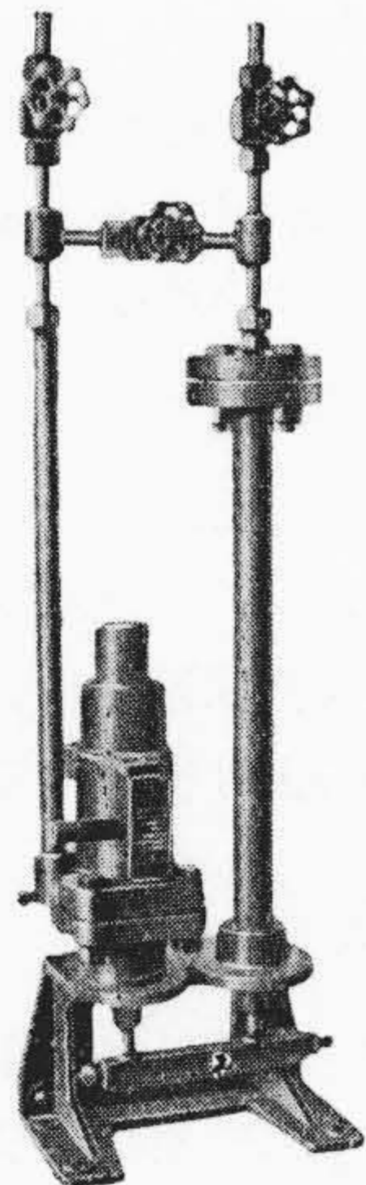
(2) 炭酸ガス純度計

動作原理及び構造は水素純度計と殆ど同じである。差圧を発生させるための測定ファンは水素純度計と兼用し並列に取り出している。差圧と純度の関係は第6図に示す如くである。本器はガス圧を大気圧と考えて設計してある。図に於てわかる如く空気—炭酸ガスの場合は炭酸ガス純度0%の時は200mmAqで100%の時は300mmAqとなるので、沈鐘壁の断面を同一とすると指示

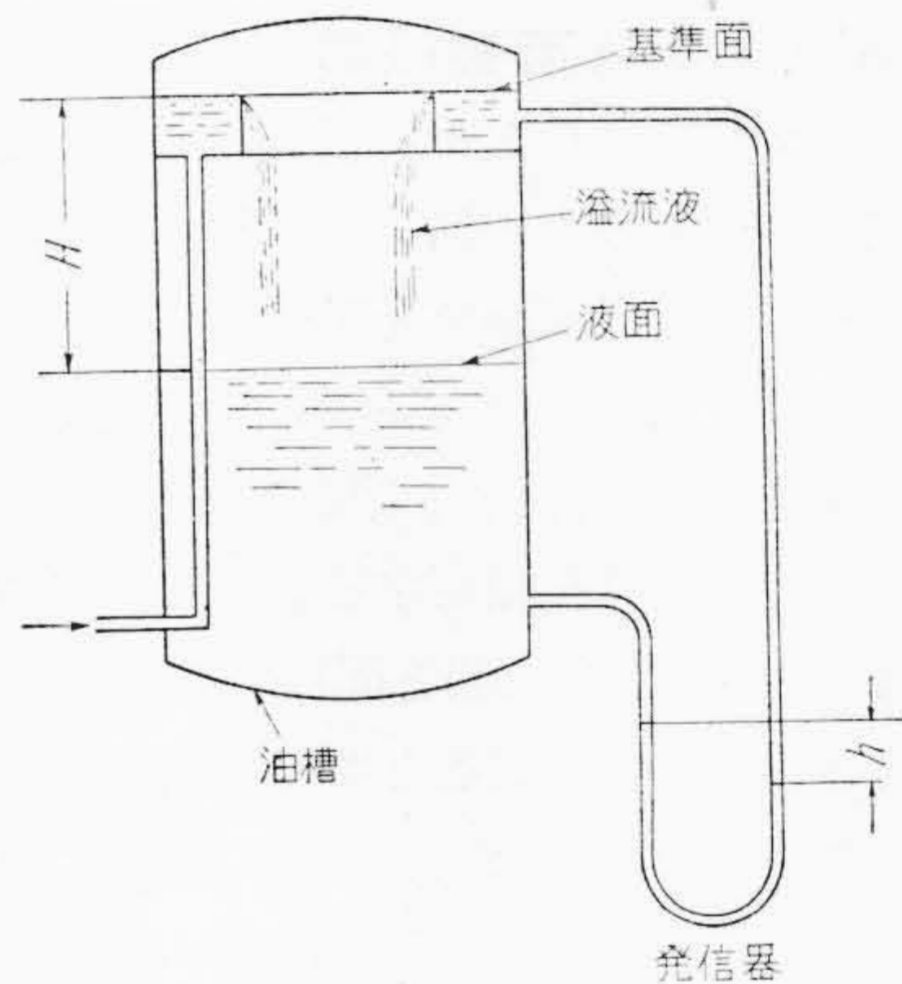
計の有効目盛巾が三分の一となるため、沈鐘壁の断面を途中段付とし、有効目盛巾を三分の二となるようにした。又本器の目盛はその用途上、空気に対する炭酸ガス純度目盛(0~100% CO₂ 純度)と水素に対する炭酸ガス純度目盛(65~100% CO₂ 純度)との二重目盛とした。

(3) 自動圧力調節計

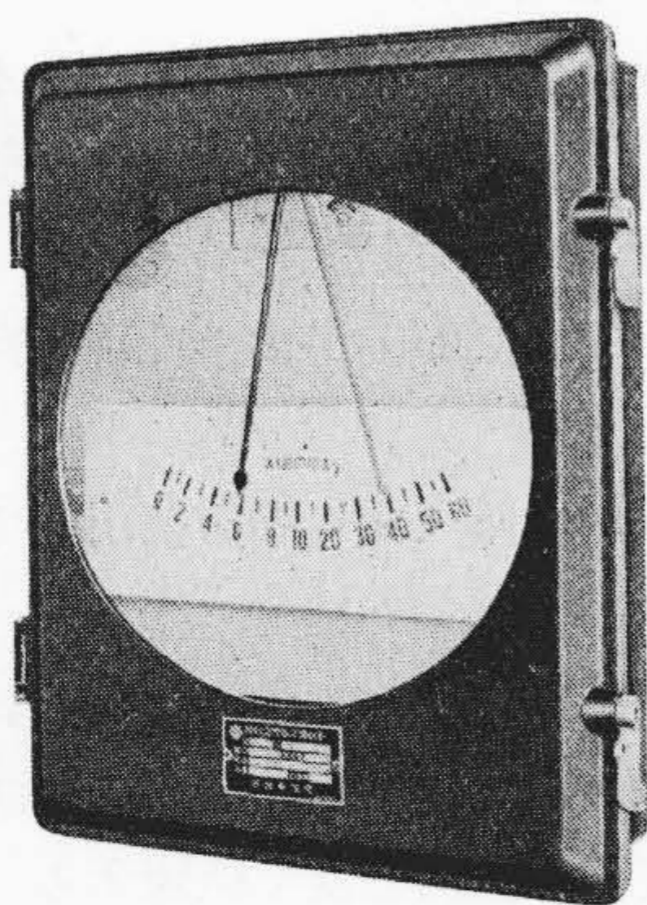
装置内のガス圧を水銀U字管即ちFLR型発信器の高圧側に導き、低圧側を大気開放とし、発信器の水銀面上に浮ぶ浮子を圧力差により上下させ、水素純度計と同様可動鉄心とコイルにより電気誘導型で受量器に伝え指示、調節を行わせる。受量器は水素純度計と全く同じで、水銀スイッチにより電磁弁を開閉させポンベより高圧の水素ガスを補給し機内ガス圧を常に一定値に保つ如く二段調節を行う。発信器は運転ガス圧が500mmAq, 5,000mmAqの場合を考慮し発信器大気圧側チューブの形状を特殊とし、第9図の如く二つの運転圧力に対して共用できる目盛形状とした。



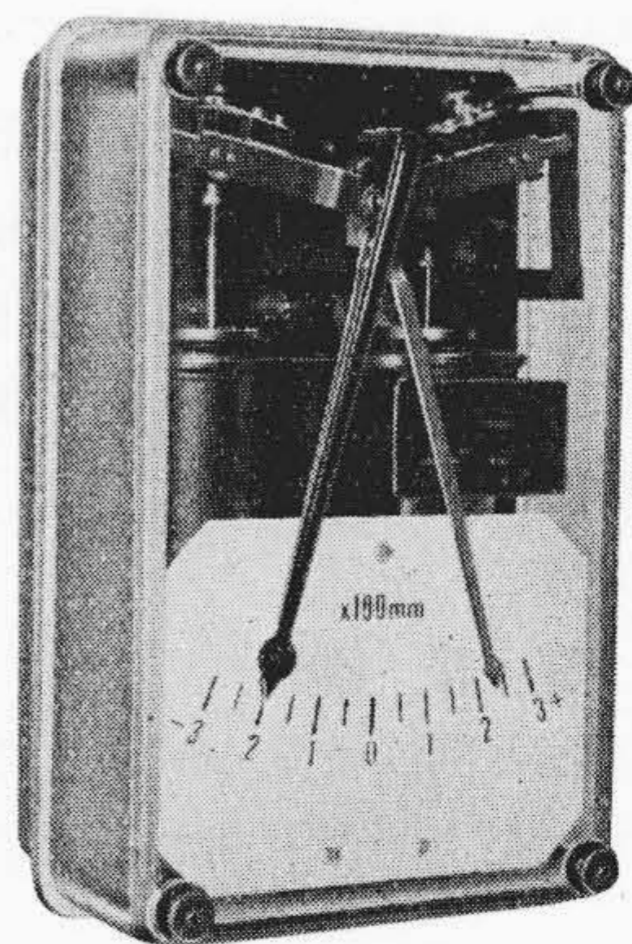
第8図 FLR型発信器
Fig. 8. Type FLR Transmitter



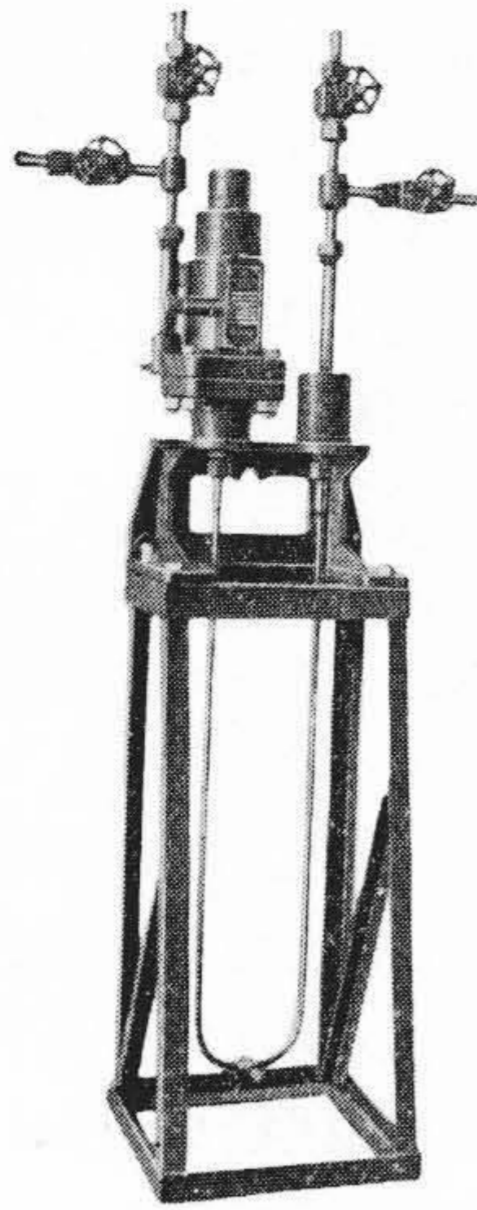
第10図 液面計説明図
Fig. 10. Instruction of Level Meter



第9図 FLQ型自動圧力指示調節計
Fig. 9. Type FLQ Pressure Indicating Controller



第11図 FN型警報器
Fig. 11. Type FN Level Relay



第12図 NLR型発信器
Fig. 12. Type NLR Transmitter

(4) 油面及び液面警報器

本器はNLR型発信器とFN型警報器よりなる。第10図の如く測定すべき槽の内部又は外部に常に少量の測定液を溢流させ、一定の液面位を保つ構造を有する基準面器を設け、これを発信器の高圧側に配管接続し、一方槽の底部附近より発信器低圧側に配管接続し、基準液面と槽の実際液面との差 H を測定する。発信器の構造は自動圧力調節計のFLR型発信器と同様である。

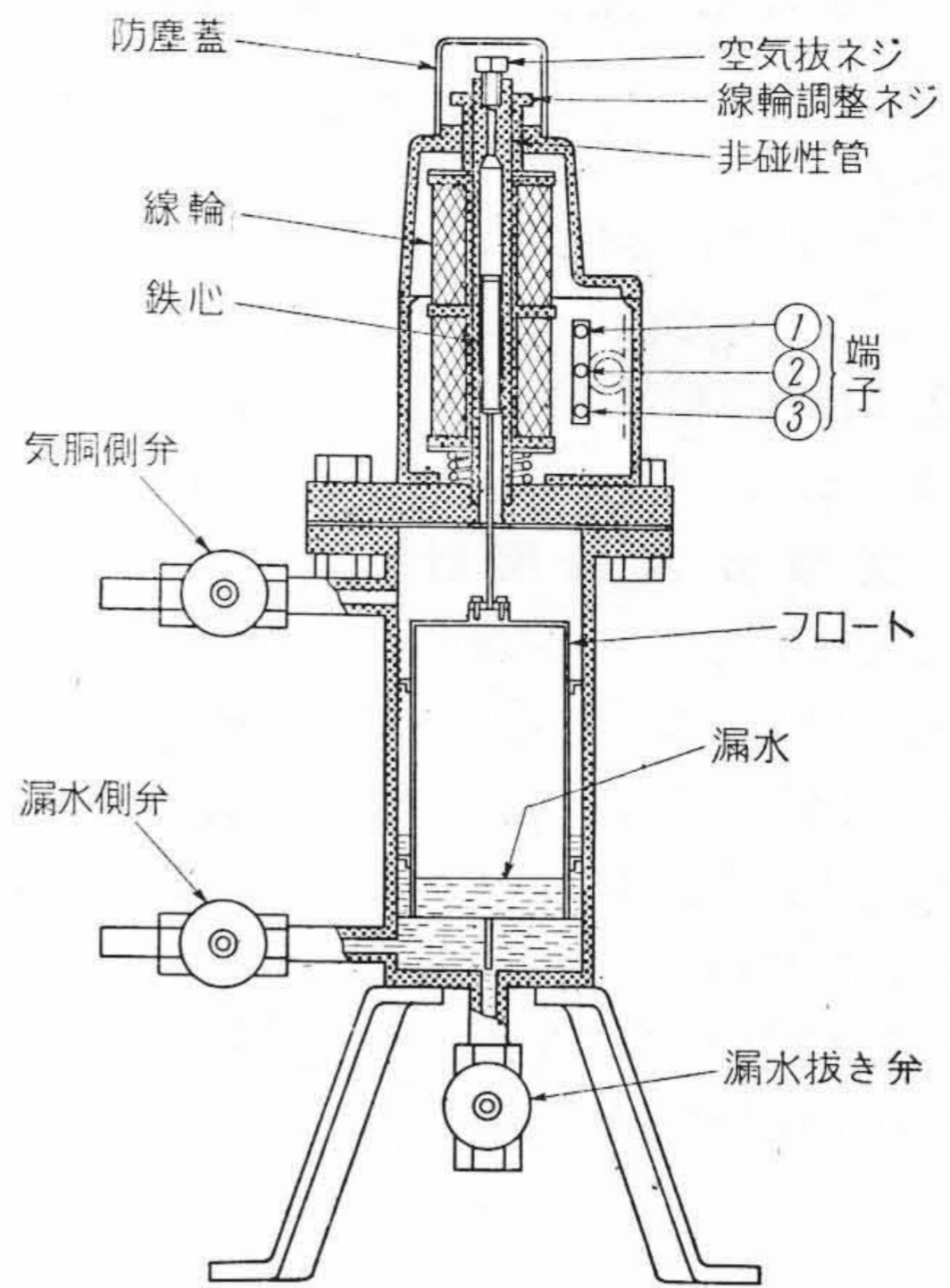
FN型警報器はF型継電器と殆ど同様であつて、液面を指示すると共に液面の上限、下限の警報を行う、警報接点は材質を特に吟味し又接触を確実にするため保持コイルを有する。警報位置は目盛板上の二箇の指標を移動し任意の位置で警報するよう整定出来る。

(5) 液面差警報器

本器は液面警報器と同様であるが、電解槽の水素側、酸素側の液を直接発信器に導かず両液面上部空間の圧力を発信器に導き、その圧力差により液面差を測定する如くした。目盛は液面差の零を中心とし水素側、酸素側何れの液面が高いか直ちに判別できる。警報は何れの側にもできるようにした。発信器は水素と酸素を導入するためこれが混入を危念し第12図の如く水銀U字管脚部を特別長くし安全装置とした。

(6) 漏水警報器

本器も液面警報器と同様であるが、その発信器の構造は第13図の如くで、発電機の下部に取付けられる、機内



第13図 NLR型漏水警報発信器説明図
Fig. 13. Diagram of Type NLR Transmitter for Drain Relay

の漏油、漏水を発信器下部の漏水側弁に導き、一方機内圧力を上部気胴側弁に導く。漏水の増加によりフロート内部のガスが漏水により圧縮され、所定値以上の漏水が溜るとフロートを持ち上げ警報する構造とした。

〔IV〕 結 言

以上の諸計器については日立製作所多賀工場、日立研究所、日立工場に於て単独並びに等価組合せ試験が行われた。

水素の漏洩に対しては特に厳重な試験が行われ、その第一手段として水素系統に属するものは真空試験を行ったが満足すべき結果であつた。

諸計器の特長としては下記の通りである。

- (1) 各種のものが同一原理と略々近似の構造によるため保守取扱が容易である。
- (2) 計器として回転力が大きく現場向きの計器である。
- (3) 接点機構は確実なものを使用しているので信頼度が高い。

最後に本計器の製作に対し種々御指導、御助力を戴いた日立工場交流設計高林主任、鈴木氏並びに試作係伊藤主任及び関係者各位に対し深く感謝する。