

最近の水質計測

Development of Water Quality Measurement

浄水場や下水処理場の自動制御や集中管理システムの高度化の中で、水質計測に対する総合的な信頼性の向上が強く要求されている。

このため、上水用水質計については、採水点から水質計までのサンプリング配管の汚れの障害に対して、スポンジボール方式の自動配管洗浄システムを開発するとともに、3箇月無保守連続運転を目標に安定性と保守性の向上を図り、ほぼ所期の目標を達する改良ができた。

一方、下水用水質計としては、活性汚泥処理制御に不可欠なMLSS計とDO計について、直接挿入形で自動洗浄機構を備えたものが、2箇月無保守連続運転のフィールド実績を得るに至っている。

松本 崇義*	Takayoshi Matsumoto
平塚 豊**	Yutaka Hiratsuka
小田島建司**	Kenji Odajima
辻 省吾***	Shôgo Tsuji
喜花 宏光***	Hiromitsu Kihana
井上 儀和****	Yoshikazu Inoue

1 緒 言

浄水場の水質制御の中心は薬品注入制御で、このために各種の水質計が導入されている。しかし、pH計と導電率計を除いて、これまで水質計については自動制御に組み入れるまでの評価が得られていないのが現状である¹⁾。また、水質計だけでなく、サンプリング配管の汚れによる水質変化も測定誤差の大きな要因として提起されている。

一方、下水処理場では活性汚泥処理制御を行なう上で、MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid: 混合液浮遊物質濃度) 計とDO (Dissolved Oxygen: 溶存酸素濃度) 計は欠かせない水質計となっている。しかし、下水はスライムや藻の発生が著しく、下水用の水質計はこれら試料水の汚れに十分対処できる機能をもつことが要求される。

本稿では、上水用水質計については、浄水場で2年以上にわたりフィールドテストを行なって開発した、サンプリング配管の自動洗浄システムと水質計の安定性及び保守性の改良内容を、また下水用水質計については、MLSS計とDO計の試料水の汚れに対する洗浄機構とフィールドテスト結果について述べる。

2 サンプリングシステム

2.1 水質計測の問題点

現在の水質計から信頼性のあるデータを得るには十分な保守が必要である。そのため、浄水場では一般に測定点からの採水を配管により水質測定室へ輸送してくる集中管理方式がとられているが、これは水質計の点検保守が効率良く行なわれる反面、計測の時間遅れや配管汚れによる水質変化が生ずる難点がある。特に、水質中の濁度、溶存酸素、TOC (Total Organic Carbon: 全有機炭素)、アンモニア性窒素、遊離塩素などが影響を受けることが知られており^{2), 3)}、その防止には定期的な配管の清掃が必要である。

配管に付着堆積してきたスライムの除去には機械的にこするか、薬液により殺菌しはく離させることなどが必要である。

次亜塩素酸塩溶液を配管内に充填して放置し、その後水洗する方法は有効であるが⁴⁾、長時間採水を停止しなければならないとか、経費がかかりすぎるといった難点がある。機械的の清掃法としてはエラストックピグ(砲弾状の弾性体で、パイプ

ラインのスケール除去などに使用)を配管内に通す方法が知られているが^{5), 6)}、分岐や屈曲の多い硬質塩化ビニル管から成る浄水場のサンプリング配管では走行性が悪く、作業の確実性に欠ける。したがって、これらに代わる効果的で労力のかからない配管洗浄法が要望されていた。

2.2 スライムの生成

スライムの性状や生成度合は、原水の水質や気象の影響を受けかなりの幅がある。そこで浄水場での一例を示すと、スライムの組成は約12%の有機成分と主にSiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃などから成る無機成分である。有機成分の炭素含有率は約50%で細菌組織のそれと一致している⁷⁾。

スライムの生成は最初管壁面での細菌の繁殖から始まり、細菌の分泌粘液を結合剤として土砂粒子が層状に堆積してしだいに厚さを増していく。その生長速度は水温の低い冬季は7~33 µg/cm²・dであるが、夏季は110~190 µg/cm²・dと大きくなる。夏季1箇月の通水で3~5 mg/cm²のスライム付着量が測定された。

2.3 スポンジボール洗浄

配管の清掃に対するスポンジボール使用の利点として、(1)球形で柔軟性に富み配管の屈曲部や分岐部での走行性が良いこと、(2)走行時の圧力損失が小さいこと、(3)配管径路への投入、離脱、走行制御が容易なこと、(4)清掃経費が安価で済むこと、があげられ、洗浄操作の自動化にも好都合である。懸念されるスライムの除去性は浄水場での実地試験の結果問題のないことが確認された。例えば、夏季以外なら30日間通水して付着させたスライム(付着量0.9 mg/cm²)は1回のボール走行で95%除去され、3回走行させればほぼ100%が除去される。夏季でも20日間程度の通水で付着したスライム(3 mg/cm²)は2~3回のボール走行でほぼ100%除去できる。ただし、30日間以上の長期にわたる通水は粘液質の強いスライムを生成させ、6回程度ボール洗浄を繰り返さないと除去できない。したがって、短い間隔で洗浄を実施することが望ましい。

2.4 フィールドテストによる評価

浄水場に設置した試験設備(図1)によりスポンジボール洗浄方式の実用上の諸問題を検討し、良好な結果を得た。

* 東京都水道局東部建設事務所 ** 日立製作所生産技術研究所 *** 日立製作所那珂工場 **** 日立製作所計測器事業部

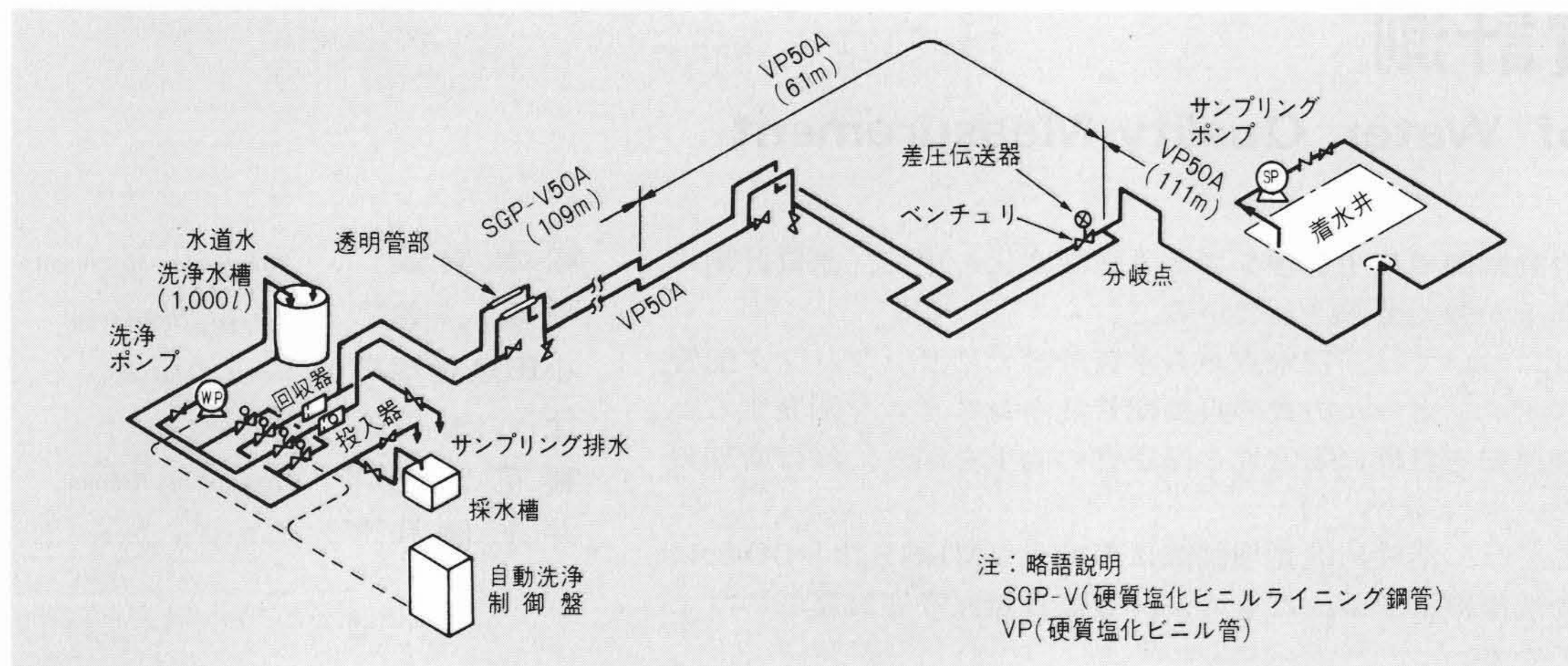


図1 浄水場に設置したサンプリング配管自動洗浄試験設備 投入器から回収器までの配管の長さは約350mで、硬質塩化ビニル管及び硬質塩化ビニルライニング鋼管の呼び径50Aを使用している。

(1) ボールの走行性

約 350m に及ぶ配管路は90度エルボ58個、チーズ23個、ソケット94個を接続して、多数の屈曲部と分岐部を設けてあるが、延試験時間1,300時間、延ボール走行距離1,800kmの試験でボール走行の事故は皆無であった。

(2) 洗浄による効果

配管にスライムがある場合とボール洗浄した場合とで、配管路の入口（図1の分岐点）と出口（採水槽）間の水質変化率を比較した結果を図2に示す。濁度の変化率に効果が明瞭に現われている。また、遊離塩素濃度3～4ppmの供試液を0.8 m/s で洗浄前後の配管に流した実験では、1分間当たりの濃度減少率が0.31%から0.16%に低下した。

(3) ボールの寿命

摩耗によるボール直径の減少量は走行距離に比例し、その割合はボールの材質によって決まる。ビニル系ボールは40kmの走行当たり直径が1mm摩耗する程度であるから直径50mmの配管に直径70mmのボールを使用すれば、500mのサンプリング配管に1日1回往復走行させたとして1年以上使用に耐える計算になる。

(4) 自動洗浄装置の信頼性

ボール洗浄の自動化装置は、延洗浄サイクル数 2,600回の連続動作で故障は皆無であった。これは1日1回往復洗浄するとして、約7年に相当する計算になる。

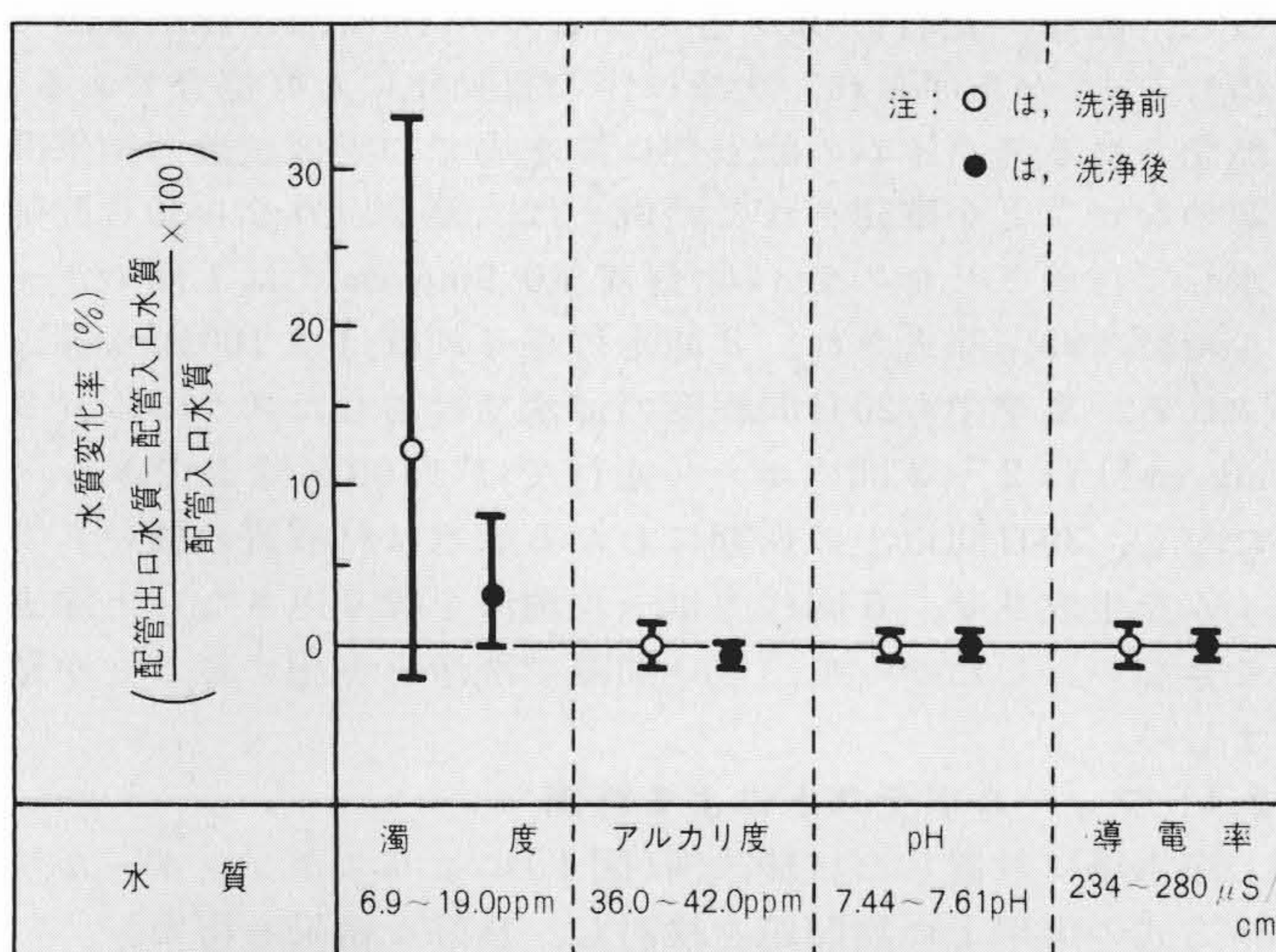


図2 スポンジボール洗浄前後の水質変化率 濁度の比較的稳定している時期の実験であるが、配管洗浄による効果が濁度値の変化率の減少として明瞭に現われている。

2.5 自動洗浄システム

実用化した自動配管洗浄システムの構成例を図3に示す。洗浄時には採水ポンプを停止させ、洗浄ポンプを働かせてボールを投入器から分流器へ走行させる。復路は採水ポンプを動かして試料水でボールを走行させ、投入器へ回収する。その後、試料水を水質計流路に切り換えれば直ちに測定を開始できる。

システム構成用に実用化した装置の外形を図4に示す。本装置は、水質計と並べて設置できるように小形化されている。

なお、2.4に述べた数字は、一実測例及び加速試験からの推定値であり、使用条件により差を生ずるであろう。

3 上水用水質計

図5に、浄水場での水質計の設置例を⁸⁾、また、表1に日立上水用水質計の主な仕様と特長を示す。

3.1 安定性の改良

水質計の安定性は試料水の汚れに最も左右されやすく、いかに汚れを防ぐか、あるいはいかに汚れの影響を受けにくくするかが重要な課題である。

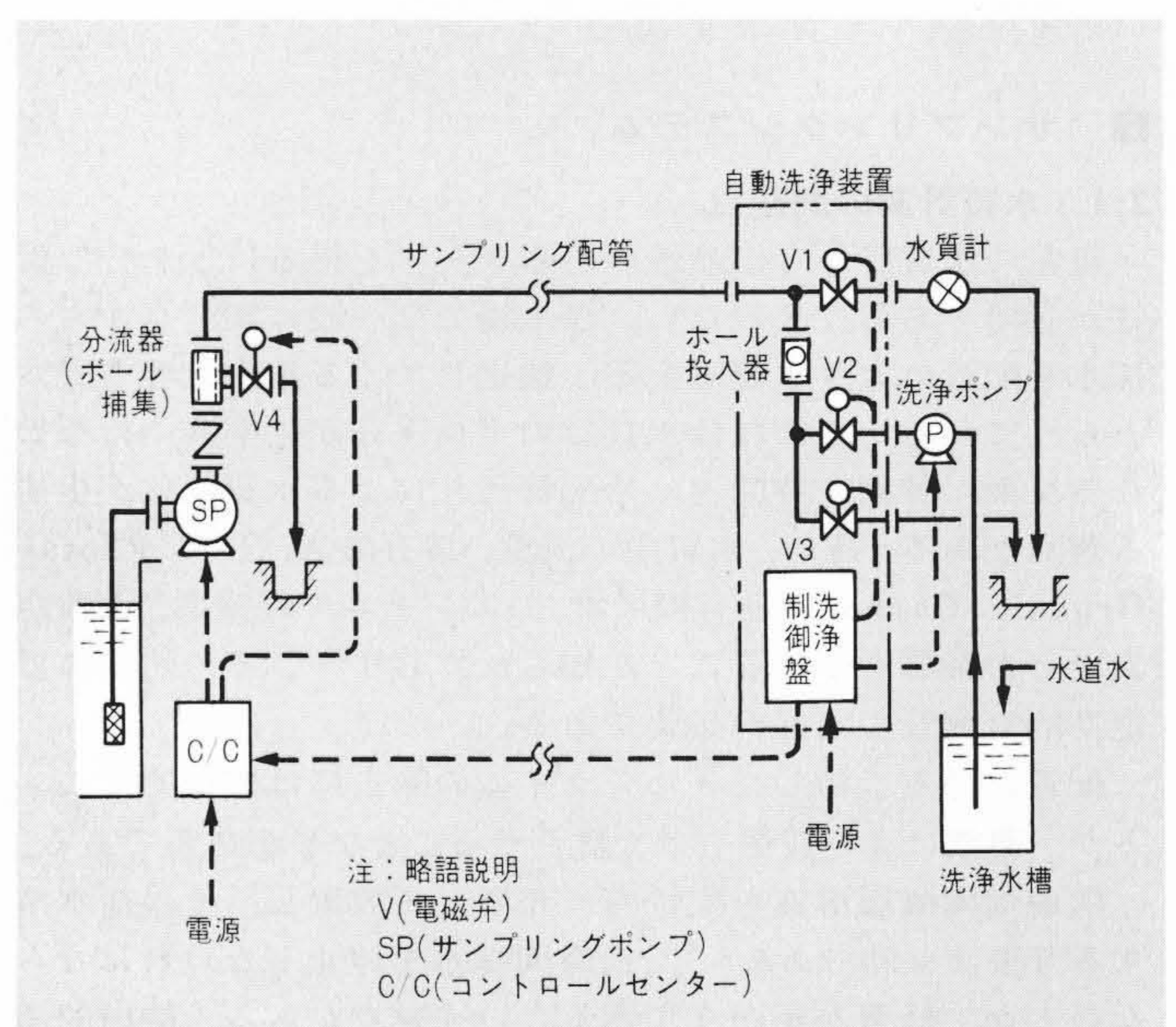


図3 実用化したスポンジボールによる自動配管洗浄システムの構成例 既設サンプリング配管へ簡単に適用できる単配管システムの例を示す。このほか、予備配管を備えた複配管システムがあり、洗浄装置がすべて計器室側に設置できるメリットがある。

濁度計は表面散乱光方式を採用している。この方式は図6に示すように、透過光方式のような直接試料水と接するセル窓が検出部ではなく、原理的に汚れに強いことが特長である。フィールドテスト結果でも、濁度の大きい原水の測定で、ゼ

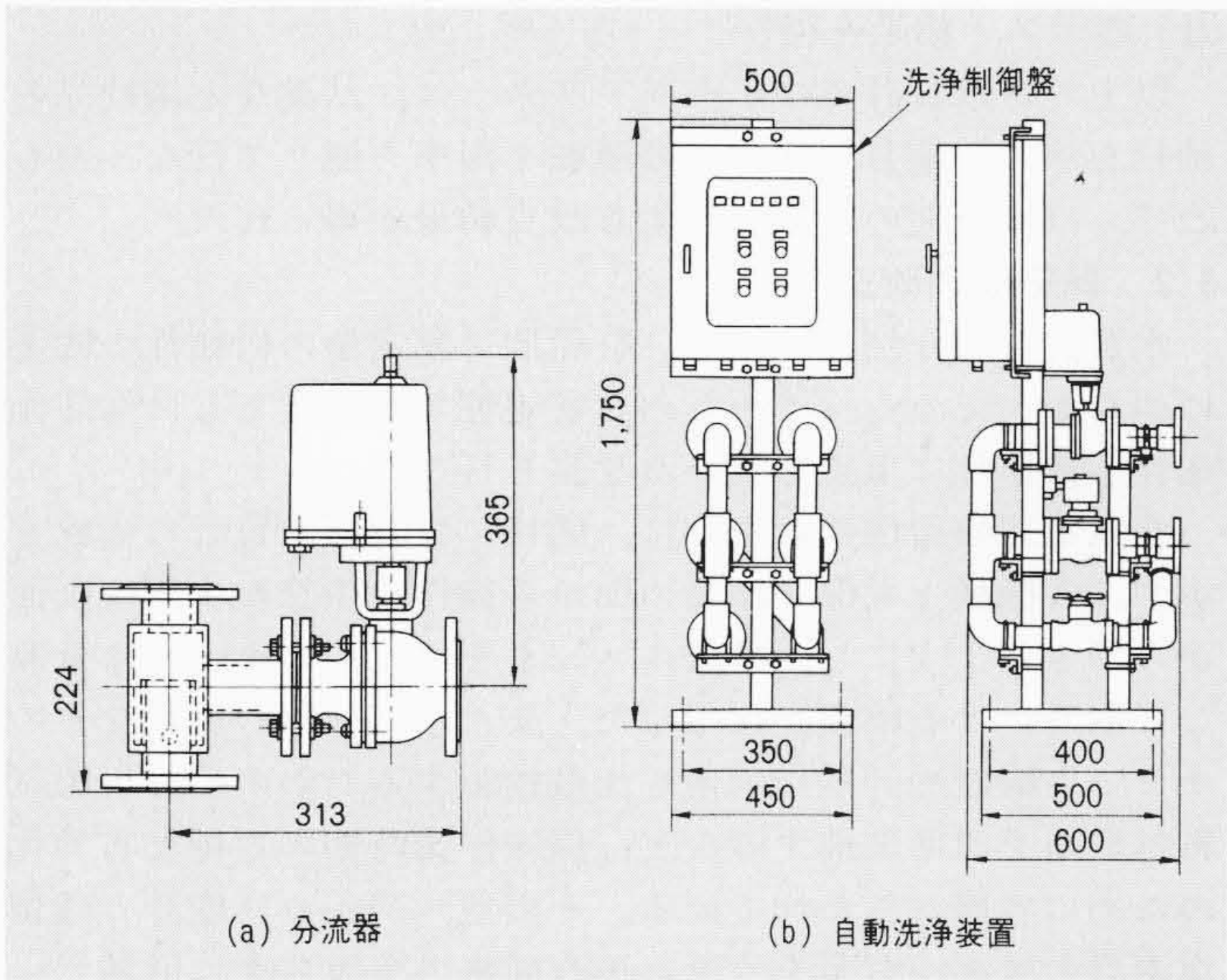


図4 単配管システム用標準自動洗浄装置 水質計と並べて設置できるように、外形寸法が考慮してある。

ロドリフト±1.0%フルスケール/3箇月、スパンドリフト±2.0%フルスケール/3箇月の優れた安定性を示した。

残留塩素計には有試薬式と無試薬式があり、主として、前者は凝集水や沈殿水に、後者は汙過水や浄水に用いられる。図7に示すように、測定原理はいずれも回転電極式ポーラログラフ法で、回転微小電極の汚れが感度低下、すなわちスパンドリフトとして現われる。従来は、電極面の自動洗浄手段としてブラシやガラスビーズが用いられていたが、洗浄効果は十分とはいえず、フィールドテストを通じてより効果の高い洗浄手段について改良を行なった。いろいろと検討を重ねたが、最終的に従来のガラスビーズに代えて、顔料などの微粉碎作業に広く用いられているセラミックビーズを適用した。これは、セラミックビーズの物性、すなわち硬度が高く、表面荒さが大きく、また比重が大きいことに着目したもので、フィールドテストの結果、有試薬式では沈殿水を前処理なしで測定し、スパンドリフト±2.0%フルスケール/3箇月、無試薬式では汙過水を測定し、スパンドリフト±3.5%フルスケール/3箇月と、従来の方式に比べ2～3倍に安定性が向上した。図8に、ガラスビーズ洗浄との比較データを示す。

アルカリ度計は、図9に示す連続電量滴定方式を採用しているが、計器内の試料水配管系統及び測定セルの汚れが安定性の要因となる。アルカリ度計は原水を測定対象とし、あらかじめ試料水の濁質を除去する前処理装置(フィルタ装置)と

表1 日立上水用水質計の主な仕様 フィールドテストを通じ、オンライン用水質計としての改良を行なっている。

機 種	測 定 原 理	主 な 仕 様	特 長
AN450-2形 濁度計	表面散乱光方式	レンジ：0－2～0－2,000ppm 精 度：直線性±3%フルスケール 再現性 1%フルスケール	汚れに対し長期安定。 脱泡槽内蔵。
AN460-2形 残留塩素計 (有試薬式)	回転電極式 ポーラログラフ法	レンジ：0－1～0－10ppm 精 度：直線性±3%フルスケール 再現性 2%フルスケール	セラミックビーズ電極洗浄 による長期安定化。 沈殿水は前処理装置不要。
AN465-2形 残留塩素計 (無試薬式)	回転電極式 ポーラログラフ法	レンジ：0－1～0－3ppm 精 度：直線性±5%フルスケール 再現性 2%フルスケール	セラミックビーズ電極洗浄 による長期安定化。
AN470-2形 アルカリ度計	連続電量滴定法	レンジ：0－50～0－100ppm 精 度：直線性±2%フルスケール 再現性 2%フルスケール	連続測定が可能。 試薬調製精度±30%で可。 試薬が中性で取扱い容易。

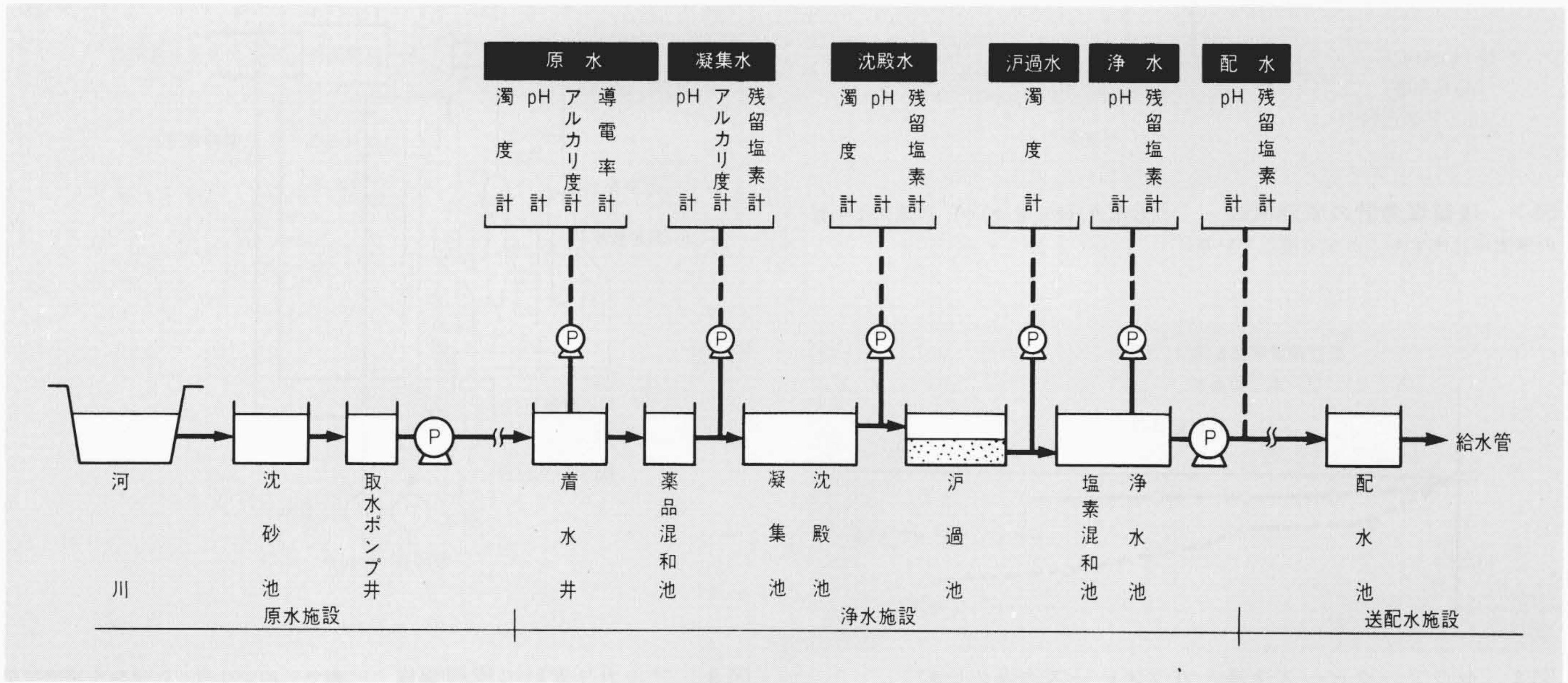


図5 浄水施設の水質計設置例 今回開発した自動配管洗浄装置は、原水～沈殿水のサンプリング配管に適用される。

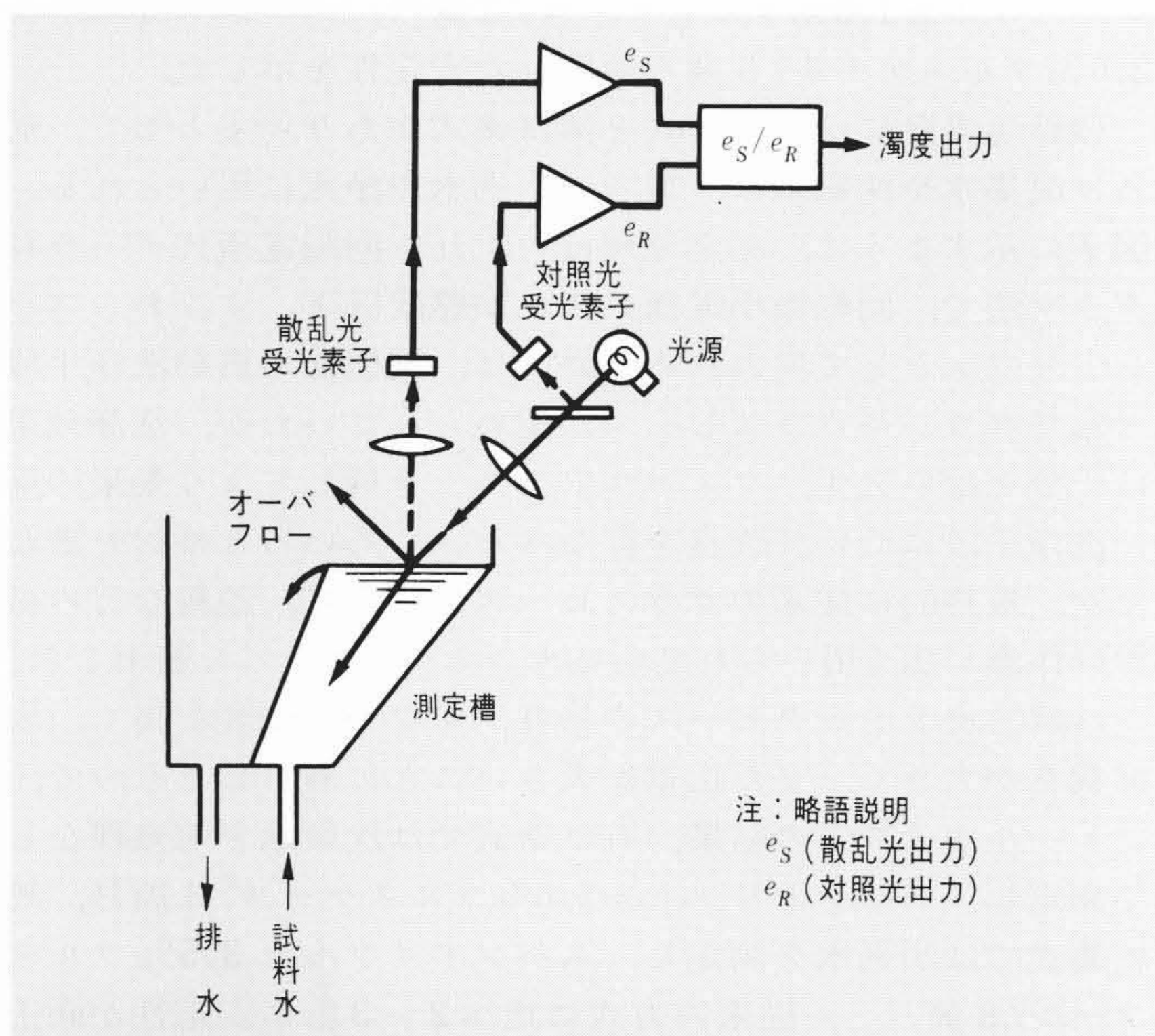


図6 濁度計の原理構成 散乱光と対照光の出力比をとることにより、光源の劣化や電源変動の影響を除いている。

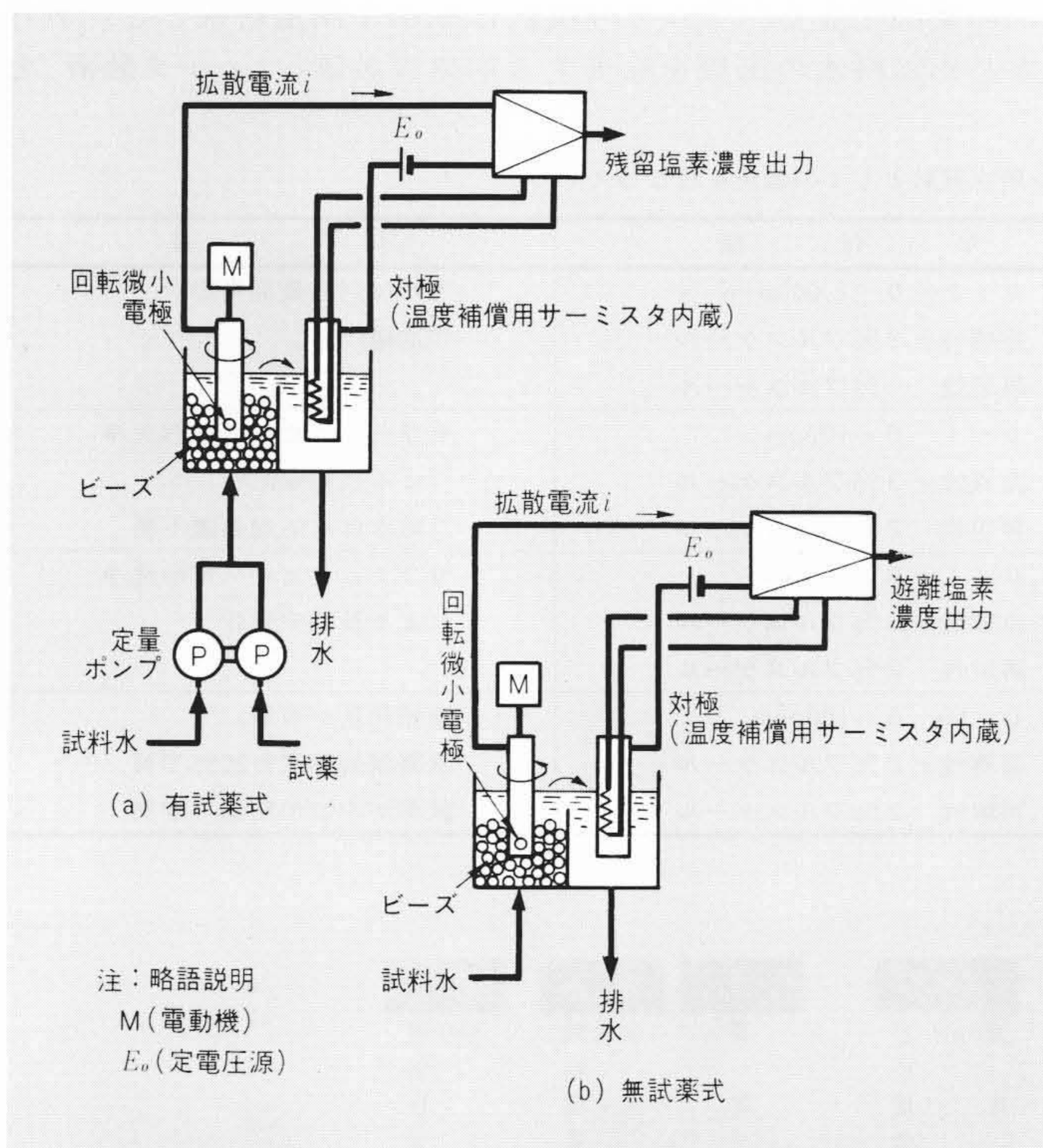


図7 残留塩素計の原理構成 拡散電流(還元電流)が、被還元性物質の濃度に比例することを応用している。

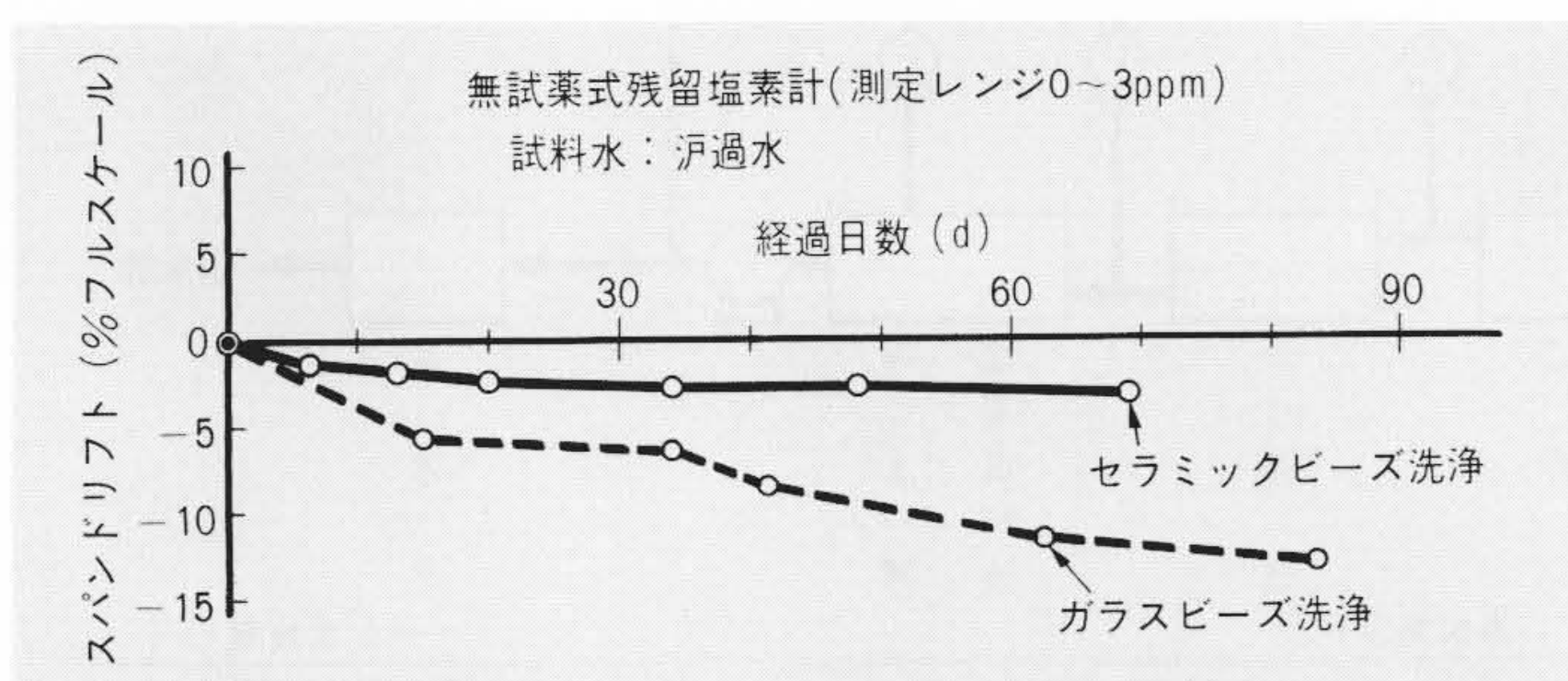


図8 セラミックビーズ洗浄とガラスビーズ洗浄の比較 セラミックビーズ洗浄により、安定性が約3倍改善された。

組み合わせて用いられるが、前処理装置の濁質除去率の向上と、試料水配管の材質及び管径の選択、並びに測定セルに間欠水ジェット洗浄を併用することにより、ゼロドリフト $\pm 1.0\%$ フルスケール/3箇月($\pm 0.8\%$ フルスケール/月)、スパンドリフト $\pm 4.8\%$ フルスケール/3箇月($\pm 3.1\%$ フルスケール/月)のテスト結果を得た。

以上の各水質計のフィールドテストは、試薬など消耗品の補給を除き3箇月無保守連続運転を四季を通じて行なったもので、ほぼ所期の目標を達する改良結果が得られた。

3.2 保守性の改良

水質計の保守性の向上も、終局的に測定値の信頼性の向上につながってくる。このため、安定性の改良とともに保守作業性と操作性に重点を置いた改良を行なった。

有試薬式残留塩素計を例に、図10に改良形水質計の構成を示す。各機種とも保守作業の面から操作、調整がすべて全面からできるようにし、構成ユニットをポールスタンドに分散して取り付ける構成を採用した。また、ポンプの流量などのチェック機能や計器指示値を比較校正するための手分析用試料採取口を標準装備するなど、保守作業時間の短縮と省力化のための考慮が払われている。その他、アルカリ度計と残留塩素計の試薬消費量を、それぞれ従来の $\frac{1}{2}$ 及び $\frac{1}{3}$ に低減し、試薬の補給のための作業を軽減するとともに、運転コストも低減している。

また、アルカリ度計と残留塩素計の前処理装置として、従来は汙紙フィルタ装置を用いていたが、汙紙の補給と巻取りのトラブルや汙紙による測定成分(残留塩素)の損失などから改善が望まれていた。これに対し、繰返し連続使用が可能で無保守連続運転ができる砂汙過装置の適用を検討した。図11に連続式砂汙過装置の構成と自動シーケンスのタイムチャートを示す。表2は汙紙フィルタ装置との性能を比較した結果を示すもので、砂汙過装置でのアルカリ度及び残留塩素の損失はほとんど認められなかった。また、濁質の除去率は汙紙フィルタ装置に比べ砂汙過装置のほうが上回る値を得た。更に、残留塩素計との組み合わせで連続運転テストを行ない、最終的に砂汙過装置が前処理装置として適用できることを確認した。

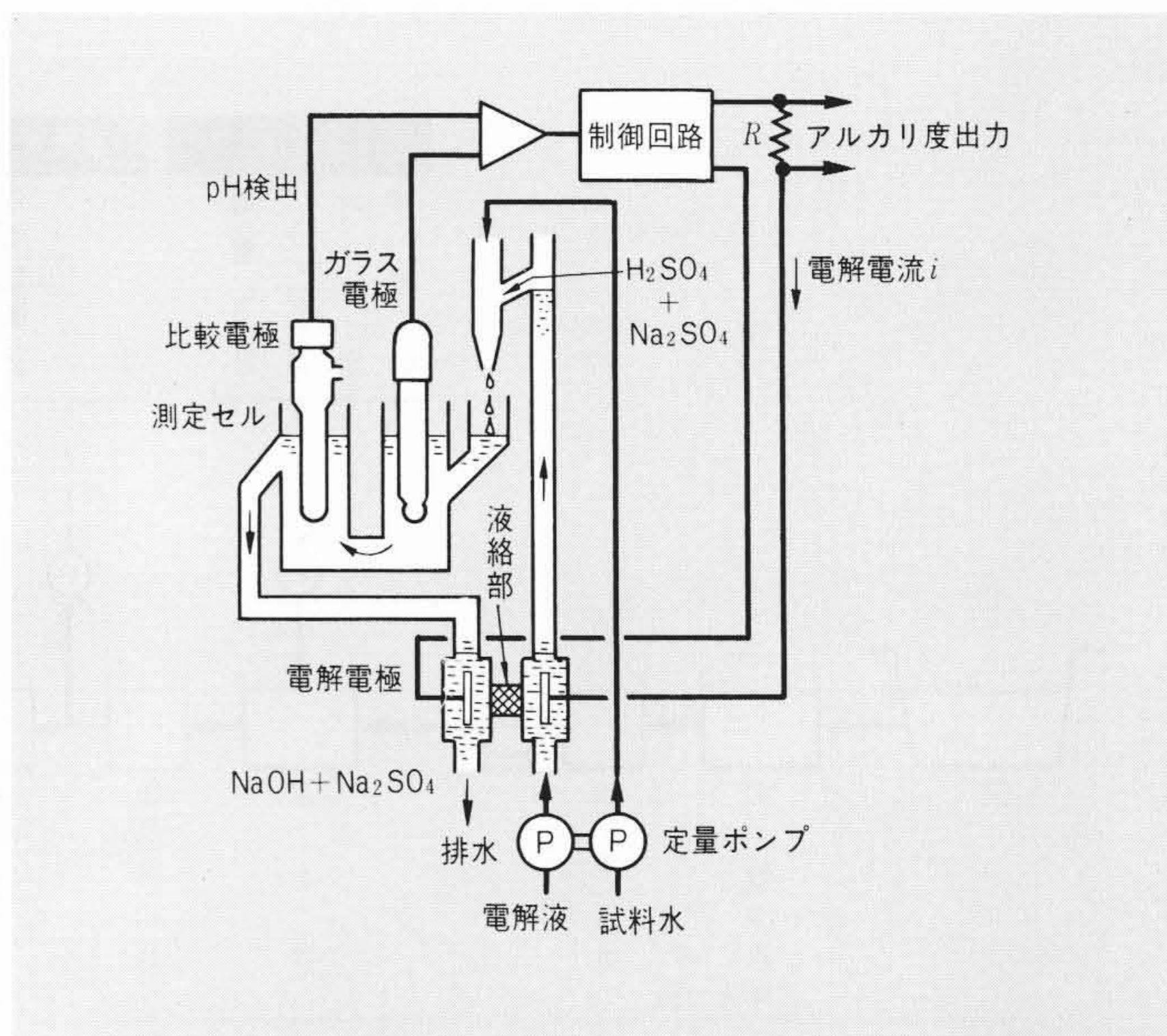


図9 アルカリ度計の原理構成 電気分解で生成した硫酸を滴定試薬とし、当量点(pH4.8)を維持して流れる電解電流値からアルカリ度を測定している。

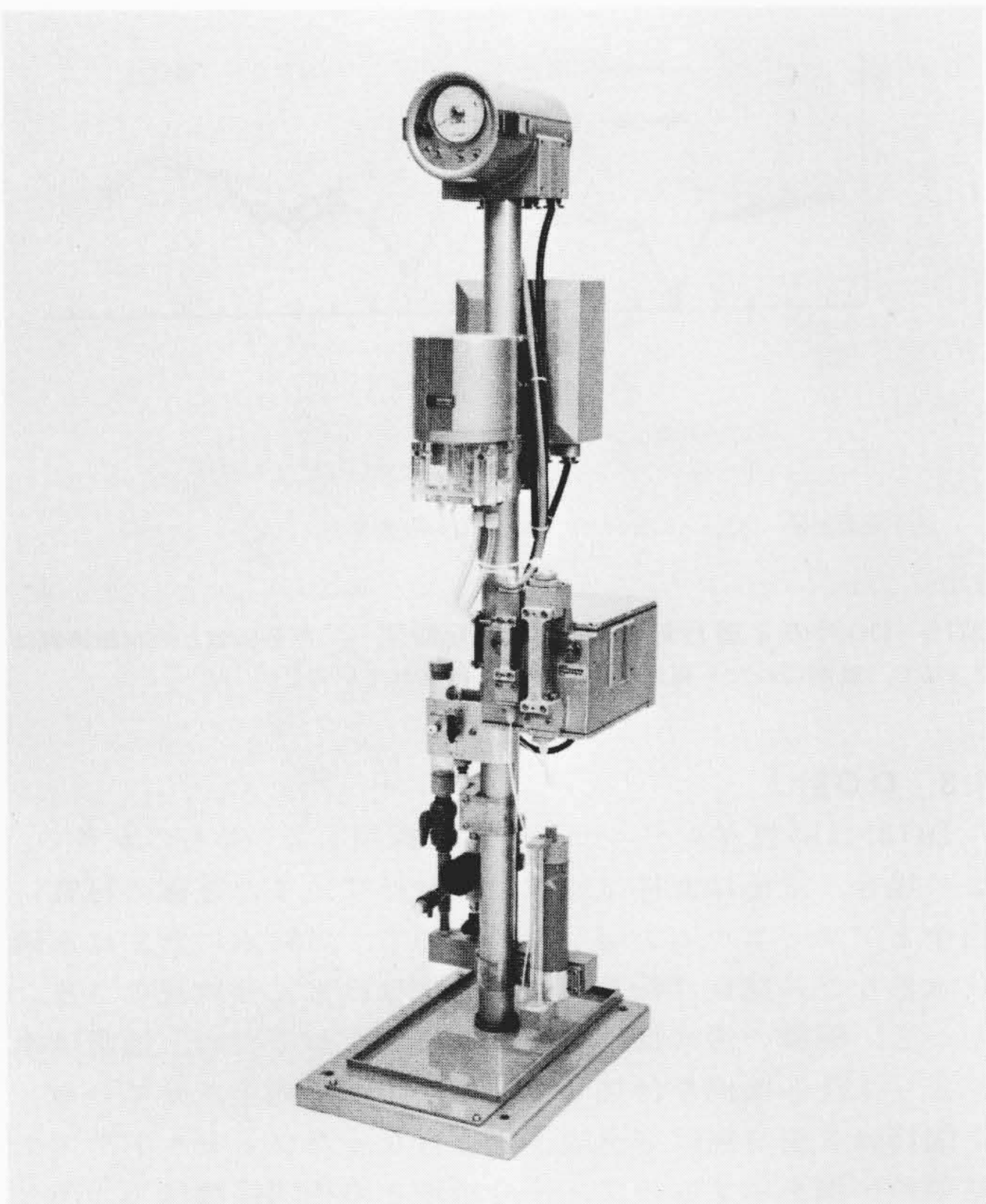


図10 改良形水質計の構成例 本図は有試薬式残留塩素計を示すもので、その他の機種とも保守作業性の面から構成ユニットを分散してポールに取り付けている〔外形寸法：幅385×奥行550×高さ1,600(mm)〕。

表2 前処理装置の性能比較例 砂汙過装置は、従来の汙紙フィルタと同等以上の性能をもっている。

前 処 理 装 置		濁質除去率	アルカリ度 損 失 率	残 留 塩 素 損 失 率
砂 汙 過 装 置		約50%	ほとんどなし	ほとんどなし
汙紙フィル タ装置	汙紙A(汙孔径 2 ~ 5 μ)	30 ~ 40%	"	5 ~ 20%
	汙紙B(汙孔径 15 ~ 25 μ)	20 ~ 30%	"	2 ~ 10%

注：1. 試料水(凝集水)濁度10~15ppm, アルカリ度30~40ppm, 残留塩素(フリー塩素)1.5~2.5ppm
2. 汙紙の巻取速度により汙紙フィルタ装置の濁質除去率, 残留塩素損失率は変動する。
3. 損失率の「ほとんどなし」とは, 手分析精度範囲内(±2%以内)を示す。

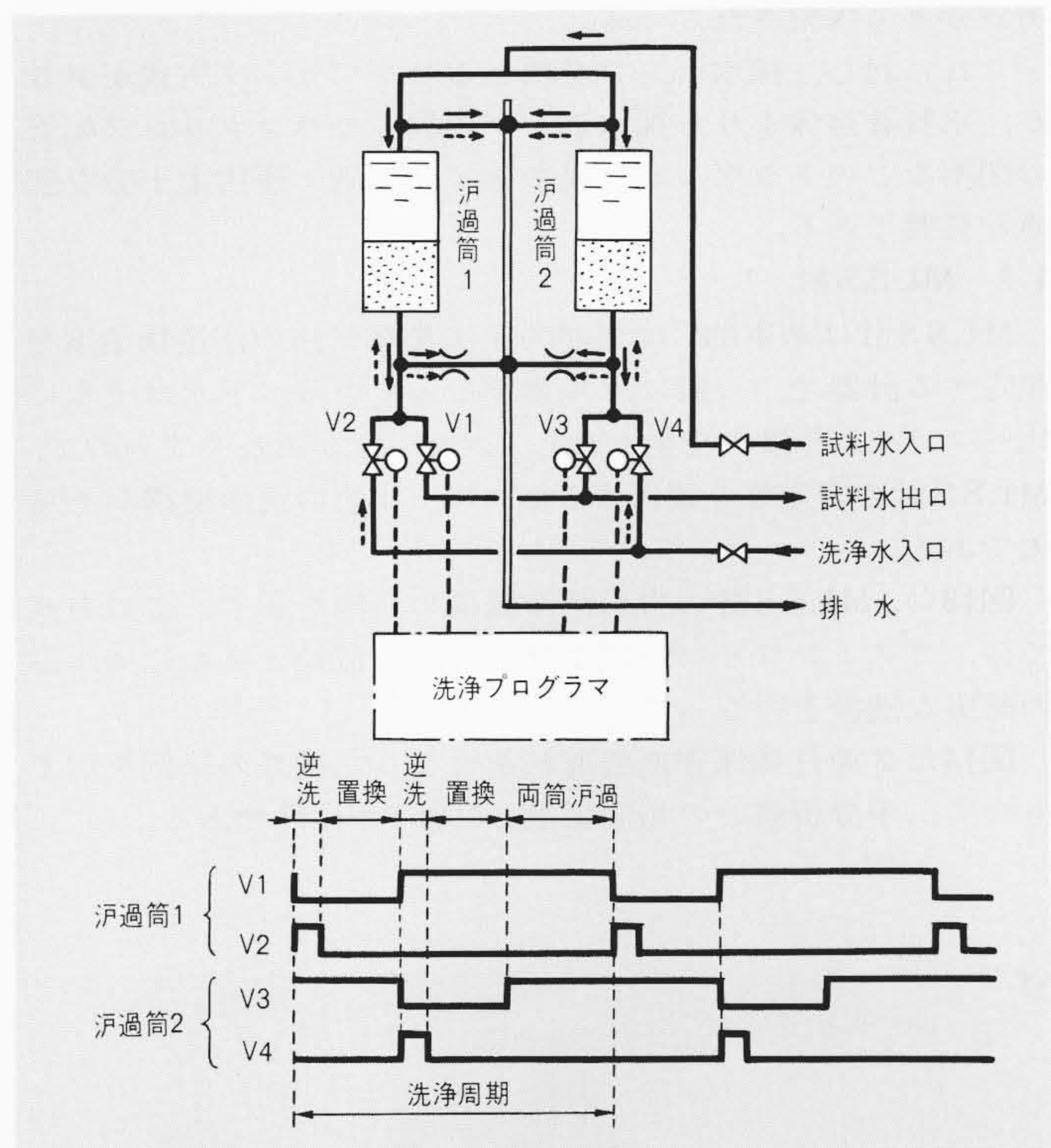


図11 連続式砂汙過装置の構成 試料水の濁質に応じて逆洗時間, 置換時間及び両筒汙過時間を任意に設定できるので, 原水から沈殿水, あるいは乾期, 雨期など水質に応じて最適の汙過条件で運転できる。

以上のほかに, 改良形水質計は砂汙過装置も含め共通の自立ポールスタンドに構成ユニットを取り付けてまとめられているので, 水質計を集中設置する場合には, 図12に示すように水質計を架台(チャンネルベース)に載せ, 採水系統ごとに共通配管を架台内部でまとめることにより, 水質計個々の保守性を損なうことなく集中設置することができる。

4 下水用水質計

4.1 測定方式

下水用水質計では, 下水という複雑かつ過酷な測定対象に対し, 長期間連続使用に耐える機能を備えていることが要求される。したがって, 水質計はできるだけ簡単な構造が望ましく, MLSS計及びDO計は曝気槽へ検出部を直接挿入する

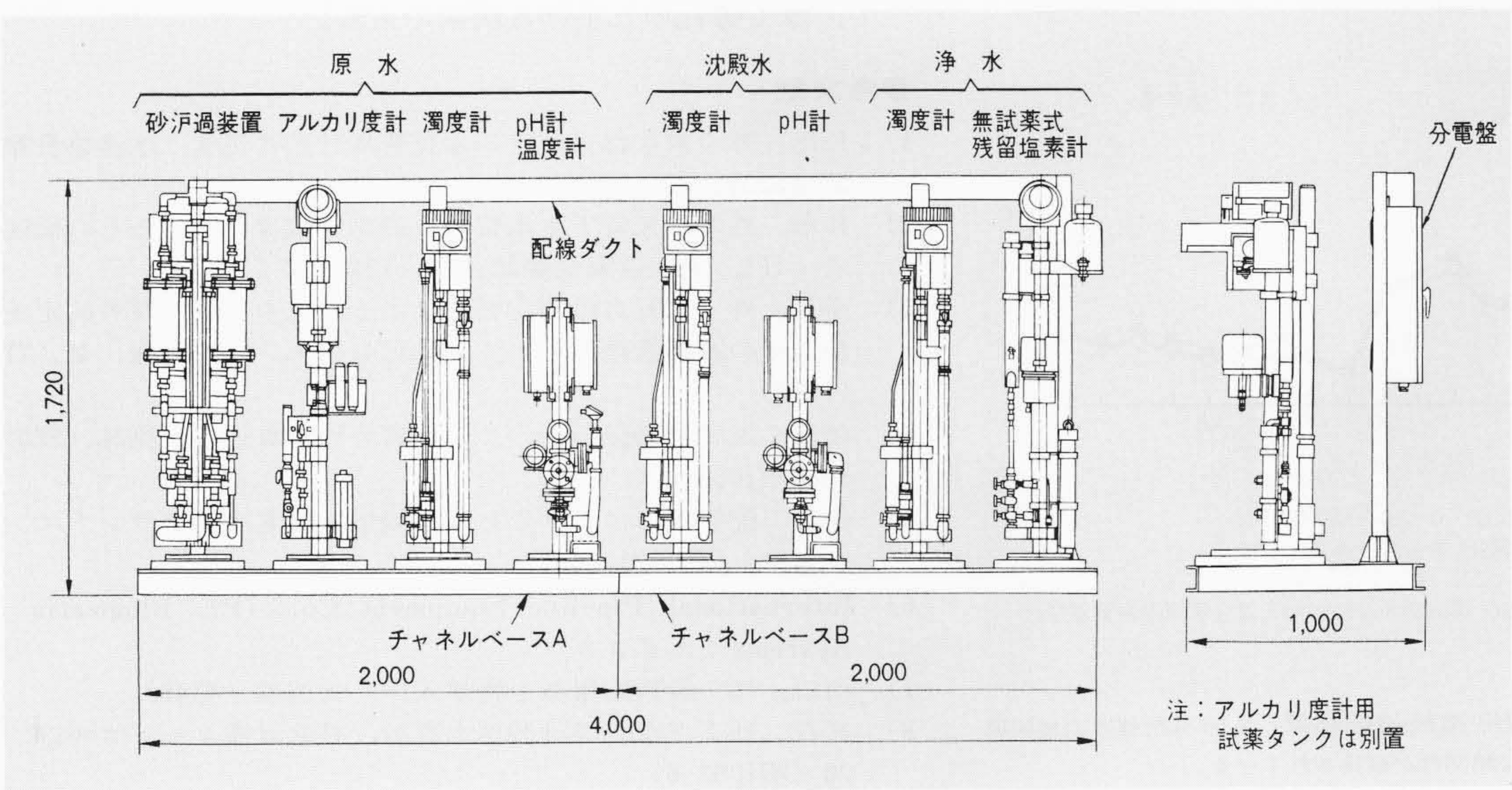


図12 水質計集合架台例 共通配管(同一の試料水, 洗浄水など)は, 架台内部で, また配線は分電盤内にそれぞれまとめてある。水質計の間隔は 500 mmである。

方式が多く採用されている。

これに対し、採水ポンプを用いるサンプリング方式があるが、水質計自体よりも採水ポンプの故障やサンプリング配管の閉塞などのトラブルが無視できず、計画・運用上十分な配慮が必要である。

4.2 MLSS計

MLSS計は基本的には光学的手法で曝気液の浮遊物濃度を測定する計器で、一般にセル窓をもっている。下水は上水に比べスライムや藻の発生が激しく、セル窓が汚れやすいので、MLSS計の安定性を確保するためにセル窓の洗浄機構が不可欠である。

図13に、MLSS計の自己洗浄機構の一例を示す。この方式では、ピストンワイパーにより試料水の置換とともにセル窓の確実な洗浄を行なっている。

図14は2箇月無保守連続運転を行なった結果の一例を示すもので、手分析値との相関係数は0.967と良好である。

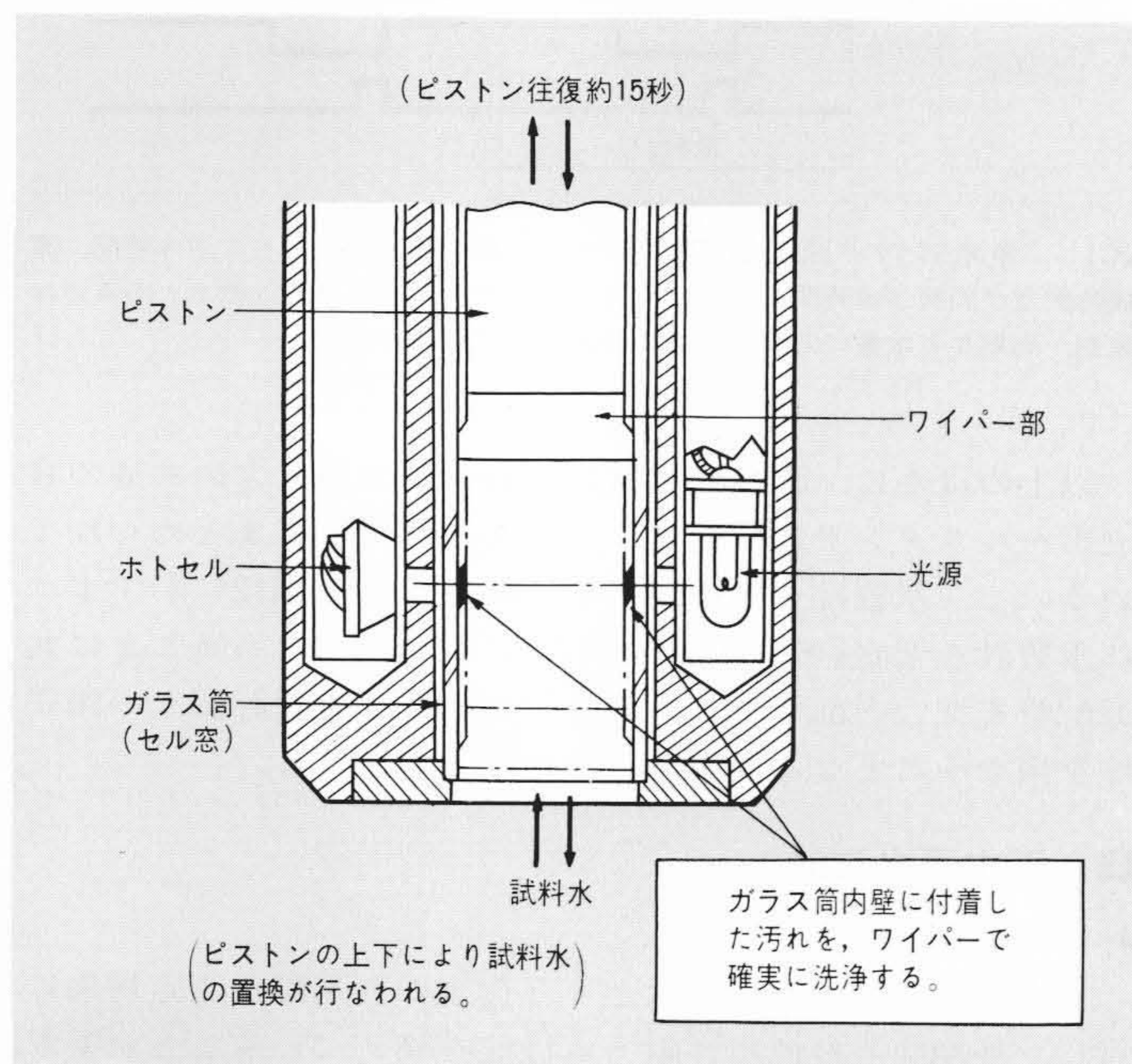


図13 MLSS計のワイパー洗浄機構 ピストンが光源をさえぎるとき、信号はホールドされる。

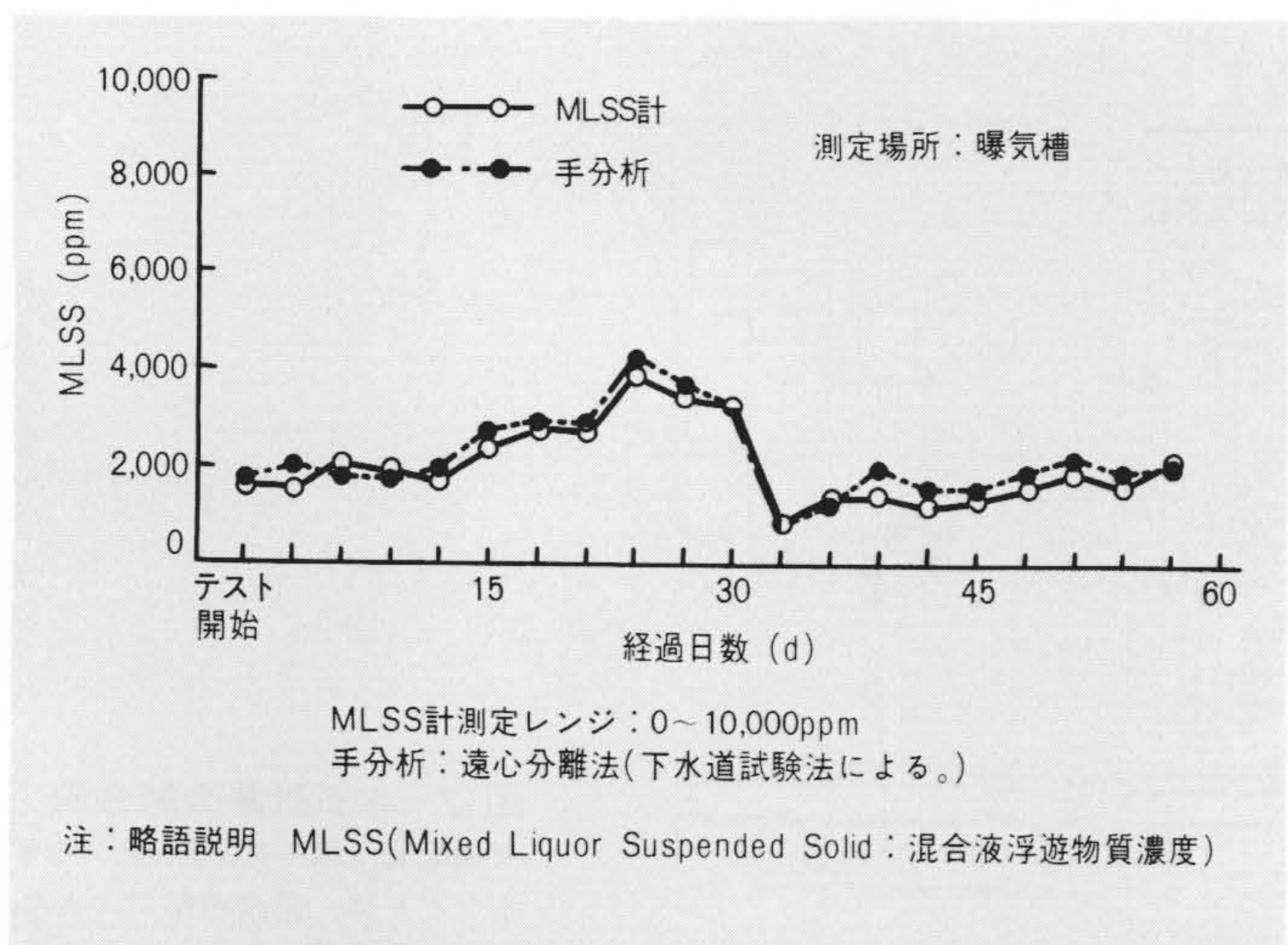


図14 MLSS計の2箇月無保守連続運転結果 手分析値との相関係数は0.967で、長期にわたり良好な相関性が維持されている。

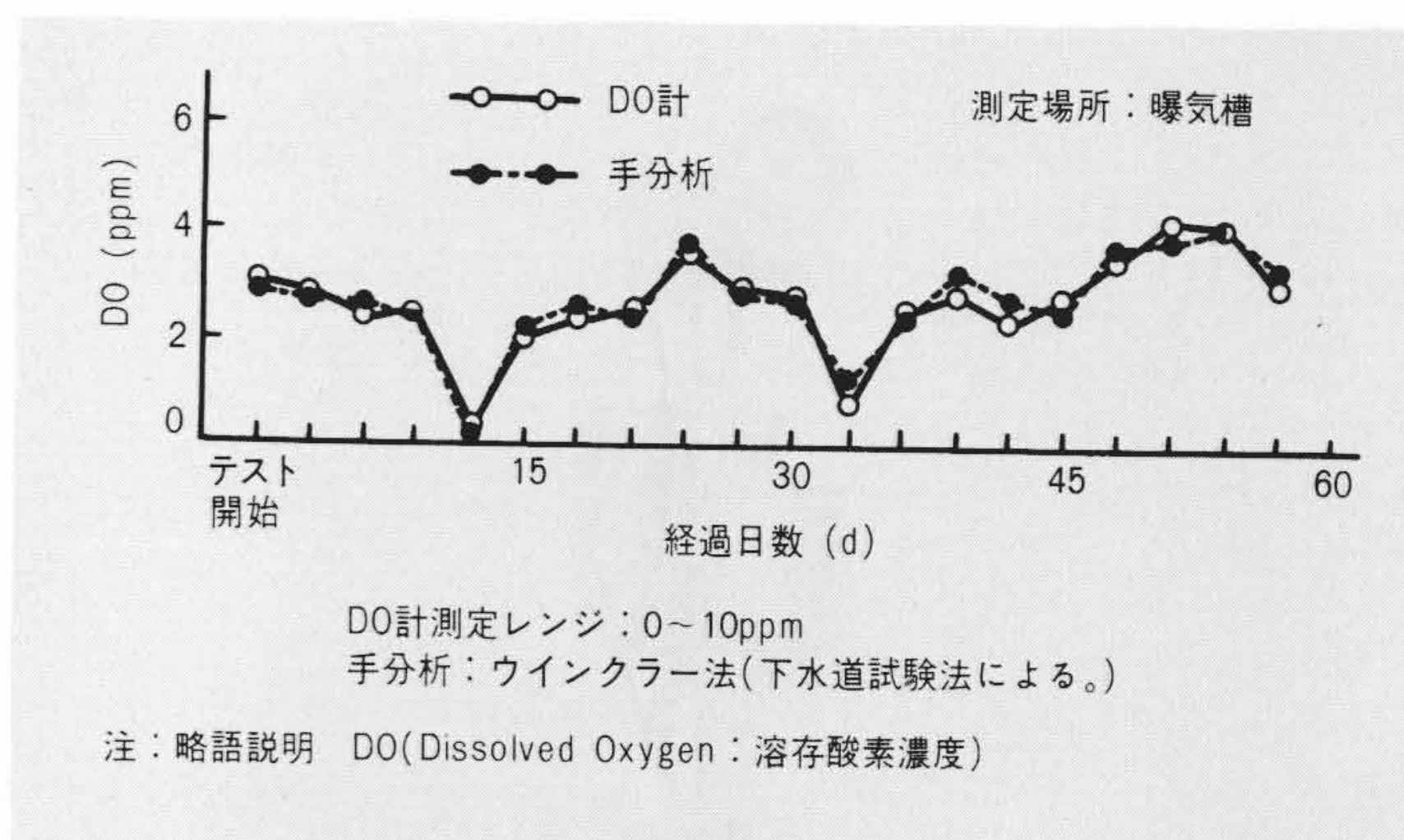


図15 DO計の2箇月無保守連続運転結果 手分析値との相関係数は0.976で、長期にわたり良好な相関性が維持されている。

4.3 DO計

DO計は隔膜ガルバニセル方式を採用しているものが多い。この場合、電極は直接試料水と接触せず、また電極の材質に白金とアルミニウムを用いているので、試料水に含まれる硫化水素などの腐食性物質による劣化はほとんど無視できる。しかし、隔膜の汚れは出力の低下につながるため、通常は水ジェット洗浄機構を付加して長期安定性を向上させている。

図15は2箇月無保守連続運転を行なったフィールドテスト結果の一例を示すもので、手分析値との相関係数は0.976と長期にわたり良好な安定性を示している。

5 結 言

上水用水質計については、これまで長期間無保守でオンライン自動制御に耐える水質計測システムの開発が強く望まれていたが、2年以上にわたるフィールドテストを通じて改良開発と確認を重ねた結果、ほぼ所期の目標を達成することができたと考える。今後は、フィールド実績を通じて、よりいっそう確実なものに高めたい。

一方、下水用水質計については、既にかんがりの稼働実績が得られ、自動洗浄機能を備えた直接挿入形が多く採用されている。今後は、多様な設置条件に対処し、オンライン計器としての信頼性を向上させるための設置方法の改良など、努力を重ねていきたい。

終わりに、今回の上水用水質計のフィールドテストを通じて御指導、御協力をいただいた東京都水道局の関係各位に対して、厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 長尾，外：東京都における水質管理計器の現状，水道協会雑誌 (523)，30 (昭和53-4)
- 2) 和田，外：雨天時下水水質の自動測定装置の活用とその問題点 (II)，下水道協会雑誌，14，(152)，2 (1977)
- 3) 小黑，外：水質自動測定装置による河川の環境水質の測定並びにその維持管理について，徳島公害センター年報，2，77 (1977)
- 4) 渡辺：連続自動分析計による水質管理，水道協会雑誌，(523)，52 (昭和53-4)
- 5) 佐川：配管洗浄におけるピグの効用と留意点，プラントエンジニア，(4)，31 (1977)
- 6) International Pipeline Equipment Co. : IPE Plugmatic Systems (カタログ)
- 7) 山口，外：最新応用微生物学入門，技報堂 (昭48)
- 8) 喜花，外：上水処理計装用水質計，日立計器ジャーナル，4，20 (昭和53-6)