

2-2-3 気相パージ式アンモニア性窒素濃度計の開発

計画調整部 技術開発課 古澤 和樹
(現 施設管理部 環境管理課)
亀井 葉子
(現 水道局)
青木 陽平
(現 産業労働局)
荏原実業株式会社 金井 正博
大平 美智男
(現 荏原実業テクノロジーズ株式会社)

1. アンモニア性窒素濃度計の開発

水処理施設のアンモニア計は、主に施設内の濃度測定により送風量を制御するために設置されている。主なものは反応槽後段に設置するアンモニア制御によるものである。リアルタイム硝化脱窒制御 (RNDC : Real-time Nitrification Denitrification Control) 技術では、活性汚泥モデル演算による送風量制御を行うが、主に反応槽流入水のアンモニア計の測定値を元に必要空気量を算出し、フィードフォワード制御を行っている¹⁾。この制御を適正に行うためには、正確な値を安定して測定することが重要であるが、現在主流のイオン電極式の測定器においては汚れや妨害成分の影響で、測定値が不安定となるケースがある。今後需要が見込まれる反応槽流入水の測定には、従来の測定器はセンサーが直接汚水に触れるため、メンテナンスの回数が増加することが想定される。そこで、測定部が直接汚水に触れずに連続測定することが可能な気相パージ式のアンモニア性窒素濃度計を荏原実業株式会社と共同で開発した。具体的には、下水試料中のアンモニア性窒素について、アンモニアを水相から気相に置換して平衡状態とし、気相のアンモニアガスの濃度を紫外線吸光度から算出するものである。今回、実際に試作機を水再生センターに設置し、反応槽への流入水を連続測定して JIS 法との分析結果の比較、維持管理性やコスト等について調査した。

2. 測定原理

2.1 気相パージ

一般に希薄ガスの気相中と液相中の濃度との間には、「ヘンリーの法則」に基づく関係が成り立ち、本濃度計はこの法則を活用している。図 1 に示すように、試料水 (流入水) は連続で試料容器に流入させ、同時に装置内で気相を循環させる。気相と液相間でアンモニア濃度が平衡状態となるため、試料のアンモニア濃度に応じて気相のアンモニア濃度も変化する。平衡状態となった気相のアンモニアガスを紫外吸光光度法により測定し、溶存アンモニア濃度を算出する。また、気相のアンモニアガスと水相のアンモニアの濃度の比は水温に依るので、水温で補正を行う。なお、平衡状態で測定することから試料水流量や試料ガス流量を設定せずに測定することができる。

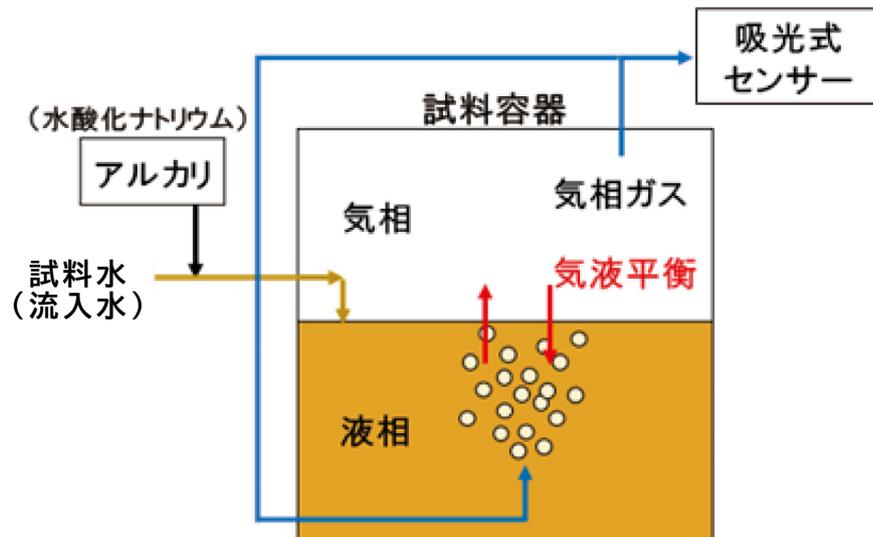


図 1 測定原理（気相の循環）

2.2 アンモニアセンサー部

アンモニアセンサー部は紫外線吸収式のアンモニア計で、図 2 に示すように、検出部内に試料ガスを供給し、アンモニアによる紫外線の吸収量を検知してアンモニア濃度を測定する。光源に重水素ランプ（発光波長 185～400nm）を使用し、光路長 T 内のアンモニアに吸収される光量が「ランバート・ベールの法則」に依ること、また、ガス濃度の測定は温度と圧力との関係により、次式のようにアンモニア濃度を求めることができる。

$$C = \frac{A}{\alpha T} \times \log \left(\frac{I_0}{I_x} \right) \times \frac{273 + t}{273} \times \frac{P_0}{P + P_0}$$

C : アンモニア濃度	T : 光路長(セル長)	t : ガス温度
A : 定数	I ₀ : 紫外線入射光量	P ₀ : 大気圧
α : アンモニアの吸収係数	I _x : 紫外線透過光量	P : ガス圧力

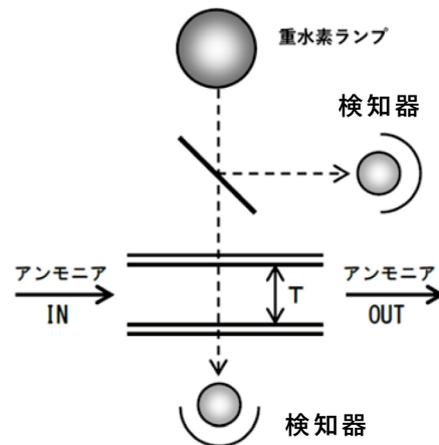


図 2 測定原理（吸光式センサー）

3. 開発目標の設定

濃度計の開発目標は、以下のとおり設定した。

- ① JIS 法により測定したアンモニア性窒素濃度の値との相関係数 R が 0.9 以上
- ② 既存技術と同程度のメンテナンス回数（16 回/年程度）で機能維持可能
- ③ 設置、維持管理コストの合計が従来品（イオン電極式）と同等程度以下

4. 実証試験内容と結果

令和4年5月～令和5年4月の期間において、試作機の製作、設置を行い、開発目標に対する評価を行った。調査は、東京都の多摩地域にある浅川水再生センター（分流式）水処理施設 2-2 系反応槽の流入水を対象に測定できる箇所として、最初沈殿池と反応槽の間の導水渠上部に測定器を設置（図3）して、採水蓋から管を通して採水できるようにした。試料のフローは図4に示す。



図3 測定器外観

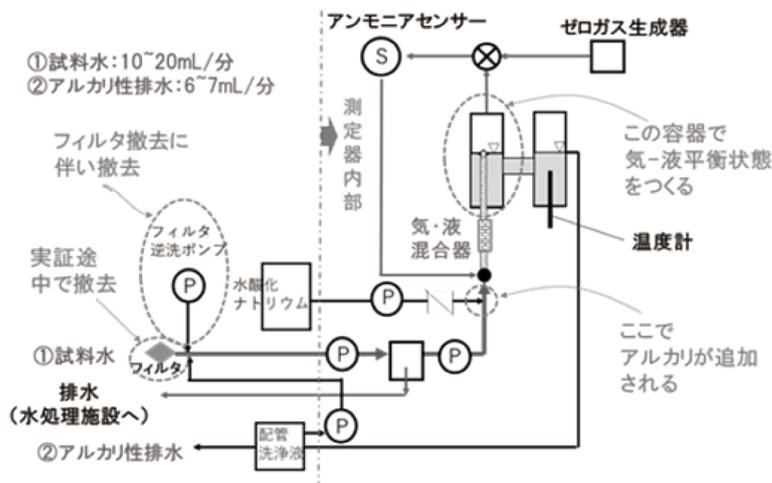


図4 測定フロー図

4.1 JIS法による測定値との相関について

JIS法（手分析）との相関については、令和4年8月～令和5年3月までの間に27回採水し、計器値とJIS法の測定値を比較した。手分析法は、JIS K 0102 42.1、42.3、前処理（蒸留法）中和滴定法で行い、計器値は、採取時刻の読み取り値を採用した。採水は作業時間

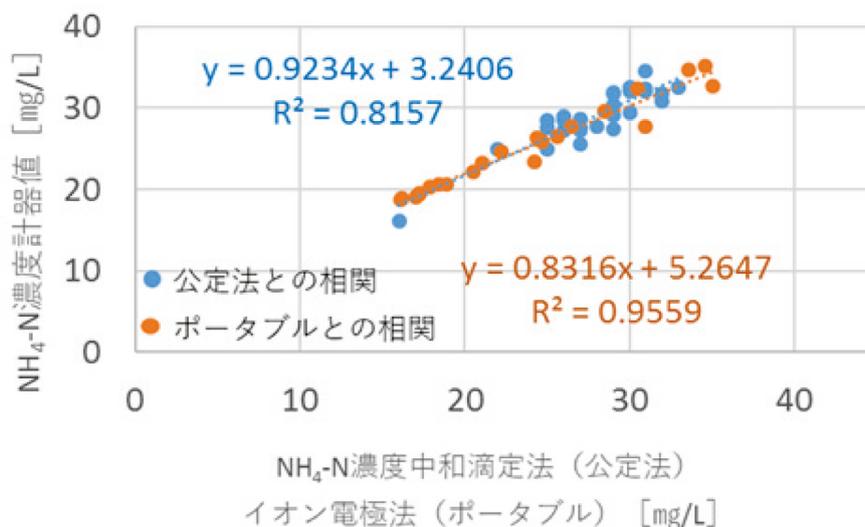


図5 試作した計器値とJIS法分析値との比較

帯（10：00～15：00）に行い、濃度範囲が16～35mg/Lの間の相関係数は、0.9以上あることを確認できた。なお、配管等の詰まり対策で、令和4年11月に採水ポンプの変更やフィ

ルタの撤去を行っており、それ以降のデータで整理しても、相関係数は 0.9 以上であることを確認できた（図 5）。一方で、アンモニア性窒素濃度 25 mg/L 以下の低濃度領域のデータが十分とれなかったため、低濃度領域の相関については改めて検証が必要であると考えられた。

4.2 メンテナンス回数について

4.2.1 装置内の配管、容器等の洗浄について

サンプル流入側の配管（φ 4mm（内径 2mm）PFA 製チューブ）・容器（φ 26mm×高さ 50mm）については、1 週間程度の短期間で配管内にスケールが蓄積するため、メンテナンス頻度低減のための自動洗浄機構が必要となる。当初計画では次亜塩素酸ナトリウムで自動洗浄することとしていたが、貯留タンクが必要になるなど設備の負担が増えるため、可能な限り薬品の使用を避ける方向で検討し、水酸化ナトリウムを添加してアルカリ性となっている排水を、1 日に 30 分ほど洗浄剤として配管の洗浄に使用することとした。令和 4 年 11 月以降開始し、実証試験が終了する令和 5 年 3 月まで配管の交換は必要なかった。

4.2.2 サンプルング配管先端の採取口フィルタの洗浄（逆洗による自動洗浄の効果確認）について

当初は、先端フィルタを取り付けてフィルタの逆洗を定期的に行い維持管理することを検討していたが、先端フィルタの逆洗条件（洗浄時間、運転間隔）や、フィルタのメッシュサイズを変えても、連続測定中にサンプルング流量の低下が発生し、測定値の欠測が観察された。対策として、先端フィルタを使用しないフローに変更し、サンプルングポンプをチューブ方式から汚れに強いインペラ方式に変更した。フロー変更以降、令和 4 年 11 月～令和 5 年 3 月の間（約 4 ヶ月間）で流量低下により濃度測定値の欠測は発生しなかった。

メンテナンスの内容と頻度については、表 1 に示す。

表 1 メンテナンス内容・頻度

メンテナンス内容	頻度
試料水ポンプの流量確認	1回/月
サンプルング容器部の汚れ確認（洗浄）	1回/月
ポンプ類の動作確認	1回/月
配管類の汚れ確認（洗浄、交換）	1回/月
水酸化ナトリウム溶液の補充	1回/月
標準液による校正	2回/年
ポンプ類、D2ランプ等消耗品交換	1~4回/年

4.2.3 定期校正の必要性の確認について

定期校正の必要性の調査は、標準液 30mg/L を測定器で測定し、標準液濃度との差を確認した。評価期間は実証試験現場に設置前の事前評価（令和 4 年 5 月～6 月）および現場設置の間（令和 4 年 8 月～12 月）の約 7 ヶ月の間で 7 回確認し、3%フルスケール（50mg/L）以内（29.9 mg/L～31.2 mg/L）に収まっていた。長期間感度が安定していることが確認できたため、定期校正は年 2 回程度で十分であると考えられた。

4.3 従来技術（イオン電極式）とのコスト比較

従来技術とのコスト比較を表2に示す。イニシャルコスト（設置工事費含む）は従来品と比較して高価ではあるが、主に消耗品の交換費・作業費となるランニングコストが安価になると試算された。耐用年数として設定する10年間のコスト比較は530万円安価になると試算された。概ね4年間の使用で従来品のコストを下回ることが見込まれた。

表2 従来技術とのコスト比較

	今回開発技術 紫外線吸収法(サンプリング式) 荏原実業(自社開発品)	既存の技術 イオン電極式(投げ込み式) 荏原実業
イニシャルコスト (設置工事費含む)	700万円	430万円
ランニングコスト (部品・薬品)	80万円/年	120万円/年 電極交換1回/3か月を想定
ランニングコスト (作業)	120万円/年 保守点検1回/月	160万円/年 保守点検1~2回/月
合計(10年間)	2,700万円	3,230万円

5. 本共同研究におけるまとめと今後の予定

反応槽流入水のアンモニア性窒素濃度から送風量をフィードフォワードで制御するためのアンモニア計について、センサー部が汚れにくい気相パージ式とアンモニアガスの測定に精度が高い紫外線吸収式の実証機を製作し、反応槽流入水で実証試験を行った。測定値のJIS法との相関係数Rが0.9以上、メンテナンス回数が従来技術と同等以下（1回/月程度）、従来技術とのイニシャル+ランニングコスト比較で同等程度以下という目標を設定し、全てを達成できた。測定値のJIS法との相関については本共同研究により分流式下水道においては実証できたが、濃度変動の大きい合流式では改めて実証して相関を確認する必要があると考えたため、今後、合流式下水道においても実証を行っていく。

・参考文献

- 1) 西谷内光春ら：活性汚泥モデルを用いたリアルタイム硝化制御による送風制御技術の開発，第53回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会、2016、pp.869-871