

## 〈論文〉

## 水中のアルミニウム連続計測技術の開発

三宮 豊<sup>1,2)</sup>, 横井 浩人<sup>1)</sup>, 齋藤 泰洋<sup>2)</sup>  
松下 洋介<sup>2)</sup>, 青木 秀之<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ㈱日立製作所 研究開発グループ

(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: yutaka.sangu.nf@hitachi.com, hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)

<sup>2)</sup> 東北大学 大学院工学研究科化学工学専攻

(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-07

E-mail: saito@tohoku.ac.jp, matsushita@tohoku.ac.jp, aoki@tohoku.ac.jp)

## 概要

降雨などの原水水質急変時にも処理水水質を適正に維持可能な凝集剤注入制御技術の要素技術として、エリオクロムシアニンレッド (ECR) 試薬を用いた吸光光度法を採用したアルミニウム (Al) の連続計測技術を開発した。連続計測するための最適な ECR 添加量を Al 標準液を用いた実験から  $25 \text{ mg-ECR} \cdot \text{L}^{-1}$  に決定した。また、最適な ECR 添加量とすることで、 $0-0.5 \text{ mg-Al} \cdot \text{L}^{-1}$  においても良好な吸光度と Al 計測値の線形性 (決定係数 0.97) が得られた。さらに、試作した連続バッチ式の Al 計測装置の計測値の信頼性を確認し、誤差 1% 以下の良好な繰返し精度を得た。

キーワード: 水道, 凝集剤, アルミニウム, エリオクロムシアニンレッド, 吸光光度法

原稿受付 2018.5.28 原稿受理 2018.8.22

EICA: 23(2・3) 9-15

## 1. はじめに

## 1.1 水道の課題

水道を取り巻く環境の変化に対応するため、厚生労働省から 2013 年に「新水道ビジョン」が公表された<sup>1)</sup>。新水道ビジョンでは、これまで国民の生活や経済活動を支えてきた水道の恩恵をこれからも享受できるように今から 100 年後の将来を見据え、水道の理想を明示している。そのなかで、特に水道の持続性が大きなキーワードとなっている。

日本では、急速ろ過法による表流水の凝集沈殿処理が、年間浄水量の約 69% を占める<sup>2)</sup>。凝集剤としてアルミニウム (Al) を主成分としたポリ塩化アルミニウム (PAC) が広く用いられている。多くの浄水場の監視制御システムには、水質センシングに基づく凝集剤の注入制御が実装されており、凝集剤の添加量を原水水質や処理水水質に基づく FF (フィードフォワード) 制御および FB (フィードバック) 制御で決定する方式がある。しかしながら、ゲリラ豪雨などの異常気象で表流水の水質が急変した場合、FB 制御が間に合わず、適正な注入量を設定できない可能性がある。気象庁が報告した「気候変動監視レポート 2015」<sup>3)</sup> によれば、日本の日降水量が 50 mm 以上の年間発生回数は、1976 年から 2015 年までの期間で 1,000 地点あたり、1 年ごとに平均 1.99 回ずつ増加しており、水質の急変現象は増加傾向にある。そのため、

水質急変には制御機能に頼らず、ジャーテストの結果や熟練運転員の経験とノウハウに基づいた運転管理が採用されるケースも多い。一方、熟練運転員の減少が顕著である<sup>4)</sup>。以上のような自然、社会環境の課題があっても水道を持続させるために、水質急変に対応できる凝集剤注入制御技術を開発することが重要と考えた。

## 1.2 水質計測

筆者らは水質急変に対応するため、Al 計測装置を凝集剤注入後の混和池出口やフロック形成池入口に設置し、採水した水のアルミニウム (Al) を FB の制御指標とする凝集剤注入制御技術を開発した<sup>5-9)</sup>。本技術を監視制御システムに実装し、自動運転を実現するためには、Al の計測が重要である。計測値に誤差があれば凝集剤の注入率に誤差が生じ、凝集沈殿処理に深刻な影響を与える可能性がある。また、リアルタイムでかつ連続計測をしなければ、制御に時間遅れが生じ、結果として凝集沈殿処理に悪影響を与える可能性がある。そのため、計測値の信頼性を確保しつつ、原水水質の急激な変動に対応するため、可能な限り高頻度で連続計測可能な技術を開発した。

水中の Al の計測技術には **Table 1** に示すように原子吸光光度法、ICP (Inductively Coupled Plasma) 発光分光分析法、ICP 質量分析法およびオキシゲン吸光光度法などがある。これらの分析法のうち、原子吸光光

度法、ICP 発光分光分析法および ICP 質量分析法は、高精度で Al の計測が可能なもの、機器が高価で定量範囲が狭く、連続測定に不向きであるため、凝集剤注入制御に使用する Al 濃度計としては採用することはできない。一方、オキシシン吸光光度法は、定量範囲が凝集剤注入後の処理水の Al 濃度範囲に近く、機器が安価である。しかしながら、多種（7種）の試薬を必要とし、煮沸、放冷および脱水操作が必要で工程数が多いために短時間で連続測定することは困難である。

本研究では、以上の計測技術より比較的簡便なエリオクロムシアニンレッド試薬（ECR: Eriochrome Cyanine Red,  $C_{23}H_{15}Na_3O_9S$ ）を用いた吸光光度法を採用し、Al の連続計測技術を開発した結果を報告する。

**Table 1** Measurement technology of Al concentration (reconstructed by authors)<sup>10)</sup>

分析方法	測定波長 [nm]	定量範囲 [mg-Al · L <sup>-1</sup> ]
フレームレス原子吸光光度法	309.3	0.002-0.02
ICP 発光分光分析法	396, 152	0.007-0.7
ICP 質量分析法	27 (質量数)	0.004-0.04
オキシシン吸光光度法	390	0.01-0.2

## 2. 試験内容

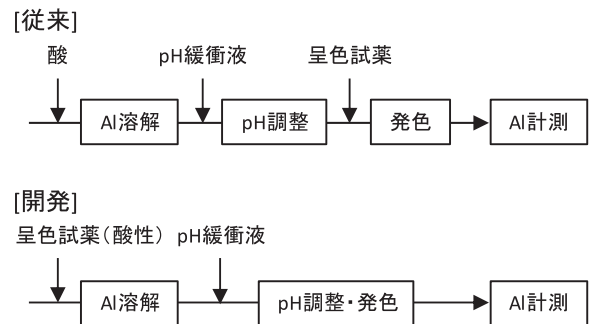
### 2.1 Al 計測方法

Al 濃度の計測には、呈色試薬である ECR 試薬と、pH 緩衝液として酢酸（WAKO 製）と酢酸ナトリウム（WAKO 製）を混合・調整した酢酸緩衝液（pH=5.0-5.2）を使用する吸光光度法を用いた。この方法は、Al が pH=4.6-5.6 の領域において ECR と錯体を形成して赤紫色を呈し、その吸光度から定量するもので、使用する薬品数および工程数が少なく、短時間での計測操作が可能である<sup>11)</sup>。ECR（MERCK 製）溶液には塩酸（WAKO 製）を添加し、pH=1.4-1.9 に予め調整した。これは ECR の劣化を防止するためおよび中性において非溶解性の Al を溶解させるためである。従来の計測方法の場合、水中の溶解性の Al に加えて非溶解性の Al を計測する際には、酸を添加して試料水の pH を酸性とし、非溶解性の Al を溶解させる。その後、酢酸緩衝液を添加して呈色しやすい pH に調整し、呈色試薬を添加する。しかしながら、本開発技術においては ECR 溶液が酸性であるため、従来の計測方法と異なる手順として、試料水に先に ECR 溶液を添加した後に、酢酸緩衝液を添加した。**Fig. 1** に従来の計測方法と開発した計測方法の計測フローをまとめて示す。開発した方法は、従来方法と比較すると、薬品を添加する工程が 1 つ少ない。

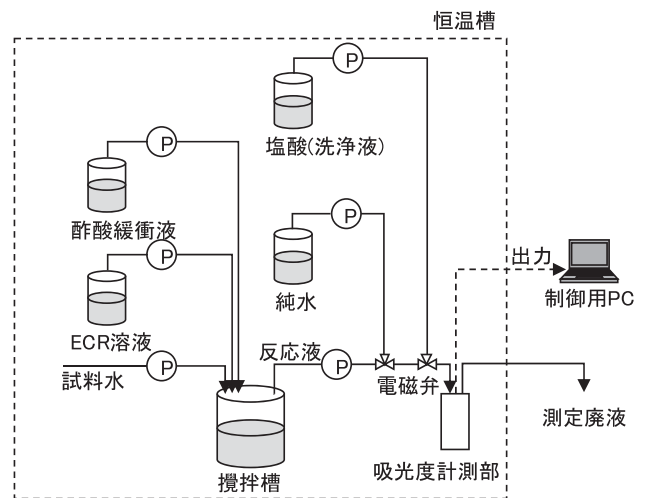
### 2.2 Al 計測方式

凝集剤注入制御に適用する Al 計測方式はバッチ式を採用した。バッチ式はフロー式と比較して、使用する薬剂量および廃液が少ない。また、長期間にわたり使用するときに必要な定期的なセルの酸洗浄などの工程を加えることが容易である。そこで、一定時間ごとに Al 計測が可能な連続バッチ式の Al 計測装置を試作した。Al 計測は 1 つの攪拌槽に、試料水、ECR 溶液および酢酸緩衝液を一定量供給して、Al 溶解（2分）、発色反応（2分）を順に進行させた。その後、反応液の吸光度（ $\lambda=535$  nm）を計測した。ここで、吸光度計測は、試作した連続バッチ式の Al 計測装置の場合、装置内部に組み込まれた吸光度計測部で計測し、ピーカー試験の場合、吸光光度計（mini photo10、三神工業製、または、DR5000、HACH 製）を使用した。

**Fig. 2** に連続バッチ式 Al 計測装置の概要を、**Table 2** に仕様を示す。従来法では約 20 分間を要する Al 計測を、連続バッチ式 Al 計測装置の場合には薬品添加工程を 1 つ少なくしたことで 15 分間に短縮することが可能である。また、計測間に酸洗浄を実施することで、セル汚れによる計測値のドリフトも抑制可能である。表流水の水質が急変したとき、濁質は



**Fig. 1** Measurement flow of conventional method and development method



**Fig. 2** Schematic diagram of continuous batch type Al concentration measuring system

**Table 2** Specifications of continuous batch type Al concentration measuring system

形式	XAT-200 (東亜 DKK 製)
計測方式	ECR 吸光光度法
計測範囲	0-0.5 mg-Al · L <sup>-1</sup>
計測間隔	15-999 分
校正	手動校正, 自動校正 (1 点)
試料水温度	5-40℃
試料水濁質	<20 mg · L <sup>-1</sup>
セル洗浄	希塩酸洗浄

**Table 3** Experimental conditions of continuous batch type Al concentration measuring system

項目	運転条件	備考
試料水供給量	25.0 mL	
ECR 溶液供給量	2.0 mL	pH1.9 ECR 濃度: パラメータ
酢酸緩衝液供給量	2.0 mL	pH5.0-5.2, 緩衝液濃度: 1.0 mol · L <sup>-1</sup>

20 mg · L<sup>-1</sup>を超える可能性があるため, 本装置を監視制御システムに実装するときは, 傾斜管などの過剰な濁質を除去する前処理装置を同時に設置する必要がある。

### 2.3 Al 計測装置の運転条件

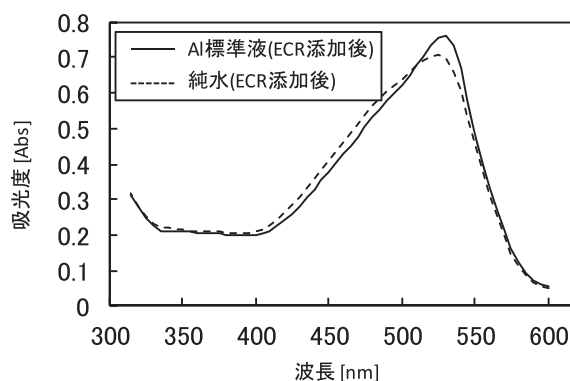
**Table 3** に Al 計測装置の運転条件を示す。酢酸緩衝液の濃度および添加量を, ECR を添加した試料水の pH が ECR と Al が呈色反応で錯体を形成する pH 範囲となるように調整した。また, 水温が低い場合 (低水温条件) には呈色の反応速度が小さいため, 装置内を加熱し, 一定の水温 (装置の設定温度を 30℃ とした。) を確保した。試料水として, 硫酸カリウムアルミニウム · 12 水和物 (AlK (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12 H<sub>2</sub>O, WAKO 製) を純水に所定量溶解して調整した Al 標準液と, 水道水に PAC を所定量添加して調整した模擬混和水を用いた。

本研究では, 冬期に起こる低水温条件や, 実際の河川水の濁りおよび色相条件を再現し, Al 計測に影響を与える因子を検討した。低水温条件の場合には, 恒温槽を用いて Al 標準液の水温を 5, 10, 15, 20, 25 あるいは 30℃ 一定として実験を行った。また, 濁度は, 模擬濁質であるカオリン (WAKO 製) を Al 標準液に添加し, 色度は色度標準液 (WAKO 製) を Al 標準液に添加した。以上のように, 低水温, 濁りおよび色相条件を再現した試料水の Al 濃度を計測し, 本研究の Al 計測技術が凝集剤注入制御技術の要素技術として使用可能か評価した。

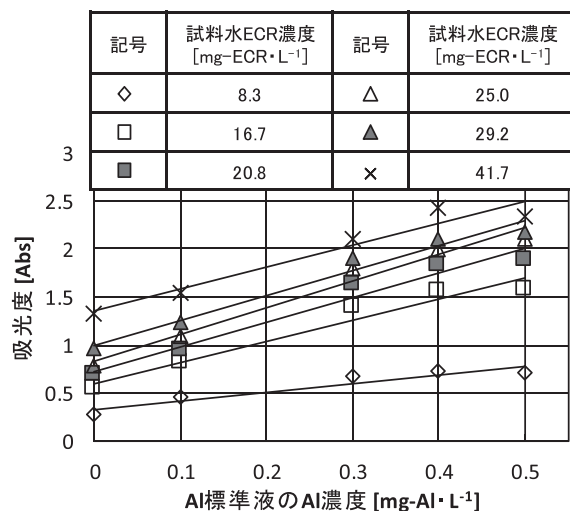
## 3. 試験結果

### 3.1 吸光度と ECR 試薬添加量

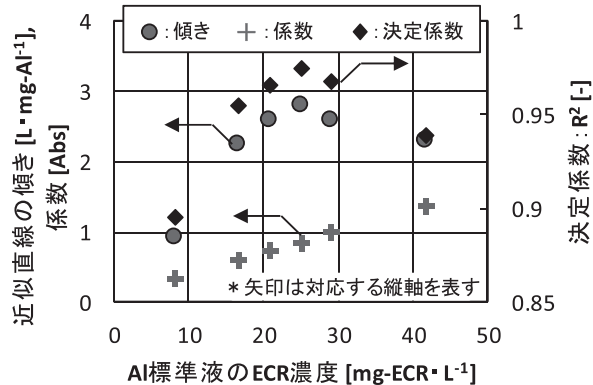
**Fig. 3** に ECR により呈色させた Al 標準液 (0.1



**Fig. 3** Wavelength scan of sample water after reagent addition



(a) Al concentration vs. Absorbance



(b) ECR conc. vs. Slope, coefficient and R<sup>2</sup>

**Fig. 4** Absorbance measurement results

mg-Al · L<sup>-1</sup>) を波長スキャンした結果を示す。結果として 515-540 nm に高い吸光度を有することを確認した。

そのため, Al の定量する際には λ=535 nm の吸光度を用いることにした。

**Fig. 4(a)** に ECR 濃度をパラメータとした Al 標準液の Al 濃度と吸光度の関係を示す。このとき, 水温は 23℃ であった。ECR 濃度が 8.3 mg-ECR · L<sup>-1</sup> のときに着目すると, Al 濃度と吸光度は比例関係にあり, Al 濃度が高いほど, 吸光度は単調増加した。また, この傾向は他の ECR 濃度の場合も同様であった。そ

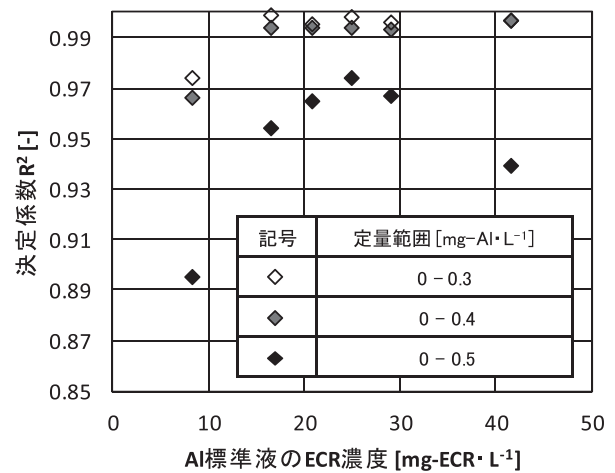
のため、Al 濃度と吸光度の関係を線形の近似式により表現可能である。

$$(\text{吸光度}) = a \times (\text{Al 標準液の Al 濃度}) + b \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $a$  は Al 濃度に対する吸光度の感度であり、 $b$  は Al 濃度がゼロの純水に ECR を添加したときの吸光度である。**Fig. 4(b)** に各 ECR 濃度条件における近似式における  $a$ 、 $b$  および決定係数を示す。Al 標準液の ECR 濃度が高いほど、 $b$  は単調に増加したが、 $a$  および決定係数は極大値を示した。そのため、Al 濃度の計測誤差を最小にする最適な ECR 濃度 (25.0 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  付近) が存在することが明らかになった。これは、Al と ECR の呈色反応における物質質量および吸光度が関係していると考ええる。pH=5.0-5.2 の条件下では、Al と ECR が反応すると、モル比 1:3 の酸性錯体を形成する<sup>12)</sup>。Al 標準液の最大 Al 濃度 (0.5 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$ ) をモル量に換算すると 0.0185 mmol-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  であるため、ECR は少なくとも 0.0555 mmol-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  必要である。これは 29.7 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  に相当するため、Al 標準液の ECR 濃度が 20.8 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  以下の条件では、Al 濃度が高い場合には ECR が不足して呈色反応が十分行われず、近似式の線形性 (決定係数) が低下したと考える。次に、ECR 濃度が 25.0 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  を超えた条件では、Al 標準液の Al 濃度が高い場合には吸光度が 2 を超えている。吸光度が高い場合、濃度との相関性が低下するため、ECR 濃度が 25.0 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  を超えた条件では、近似式の線形性が低下したと考える。

水中の Al を制御指標とする凝集剤注入制御技術を確立するためには、実際の河川水と同様の条件でも評価可能であることが求められる。既往の報告<sup>9)</sup> で実施した実河川水を用いた凝集剤注入制御の実験結果から、定量が必要な Al 濃度の最大は約 0.3 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  であった。そこで本研究では、Al 濃度が 0.3 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  あるいはそれ以上の条件においても Al を定量可能か評価した。**Fig. 5** に吸光度からの Al 濃度への換算式を算出するために用いるデータ範囲の下限を 0 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$ 、上限を 0.3-0.5 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  とした場合の、得られた換算式の決定係数を示す。定量範囲の上限を 0.3 あるいは 0.4 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  とした際、ECR 濃度が 16.7 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$  以上のとき、決定係数は 0.99 以上となり、良好な線形性が得られた。また、定量範囲上限を 0.5 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  とした際、最適な ECR 濃度 (25.0 mg-ECR  $\cdot$  L $^{-1}$ ) である場合に決定係数は 0.97 となり、良好な線形性が得られた。

また、本試験方法において、酢酸緩衝液を添加してから 2 分間反応させることで、十分呈色して良好な線形性が得られることを確認した。これより、15 分以内に繰返し計測可能な方法が得られた。



**Fig. 5**  $R^2$  of approximate straight line with upper limit quantitation range as parameter

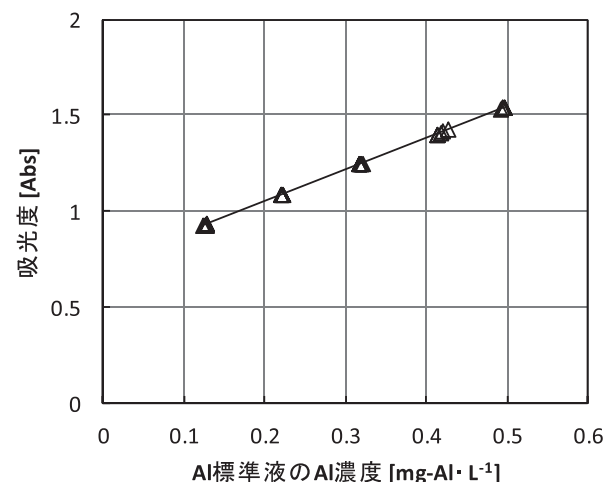
### 3.2 計測値の信頼性

#### (1) 繰返し精度

試作した連続バッチ式 Al 計測装置の計測値の繰返し精度を確認した。**Table 4** および **Fig. 6** に Al 濃度の異なる 5 種の Al 標準液に対して 5 回繰返し計測したときの計測結果を示す。最も標準偏差が大きい平均計測値 0.415 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  の場合も標準偏差は 0.0033 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  で、定量範囲の上限を 0.5 mg-Al  $\cdot$  L $^{-1}$  としたときのフルスケール精度は 0.66% となり、良好な繰返し精度を達成した。このとき、近似直線の決定係数は 0.998 であった。

**Table 4** Measurement results of Al conc.

平均計測値 [mg-Al $\cdot$ L $^{-1}$ ]	最大計測値 [mg-Al $\cdot$ L $^{-1}$ ]	最小計測値 [mg-Al $\cdot$ L $^{-1}$ ]	標準偏差 [mg-Al $\cdot$ L $^{-1}$ ]
0.126	0.127	0.124	0.00130
0.221	0.223	0.219	0.00158
0.318	0.321	0.317	0.00167
0.415	0.419	0.412	0.00330
0.495	0.497	0.492	0.00217



**Fig. 6** Relationship between Al concentration measurement value and absorbance

(2) 模擬混和水の計測

水道水にPACを添加した模擬混和水を作成し、連続バッチ式Al計測装置のAl計測への影響を確認した。Fig. 7に模擬混和水に含まれる理論Al濃度に対するAl濃度の計測結果を示す。結果として、理論Al濃度に対して模擬混和水のAl濃度(計測値)は50%以下となったが、良好な線形性(決定係数:0.996)が得られた。理論Al濃度と計測値の差異は、PACに含まれるAlの化学形態が影響していると考えられる。Al標準液に含まれるAlは $Al^{3+}$ として全量存在しているが、凝集剤であるPACに含まれるAlは、水中では例えば難溶性の $Al(OH)_3$ のように非溶解性の化学形態で多く存在している。非溶解性のAlはECRと反応しないため、理論Al濃度より計測値が低下したと推測される。本試験より、ECR溶液で模擬混和水のpHを酸性にしても非溶解性のAlは100%溶解しないことが明らかになった。

浄水における濁質の凝集沈殿処理は、まず、PACから発生した正の荷電を持つ $Al(OH)_3$ コロイドにより負の荷電を持つ濁質を荷電中和する。次に、粒子のファンデルワールス力で濁質同士を凝集させてフロックを形成する。最後に、フロックを沈殿させて水中から除去する仕組みである。水中のAlを制御指標とする凝集剤注入制御は、凝集が良好のとき、フロックは水中から除去されるためAl濃度が低く、凝集が不良のとき、フロックが水中に残存するためAl濃度が高いことを利用して、凝集剤の注入率を決定する<sup>9)</sup>。以上のように、凝集可否はAl濃度の絶対値ではなく、凝集沈殿処理後の水に残存したAlの増減から判断する。そのため、開発したAlの連続計測技術のように模擬混和水中のAlを全量計測できなくとも、Al量に比例した良好な直線性を得られるならば、凝集剤注入制御に適用可能である。

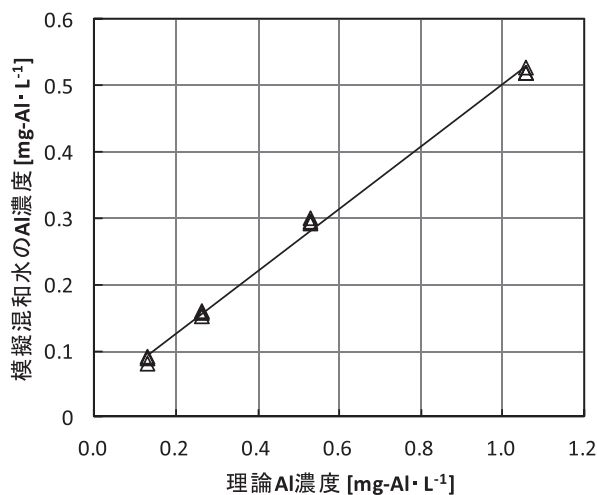


Fig. 7 Results of Al conc. in simulated water

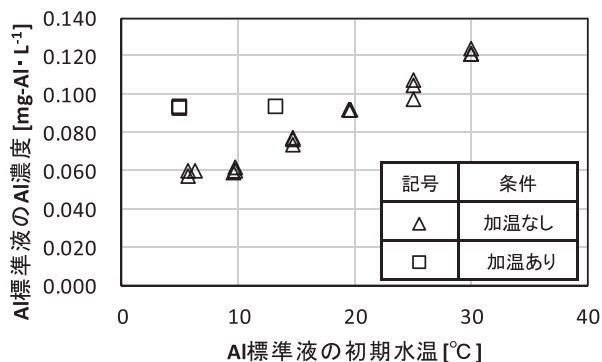


Fig. 8 Relationship between water temperature and Al concentration measurement value

3.3 Al計測に影響を与える因子の検討

(1) 水温

Fig. 8に水温がAl計測に及ぼす影響を示す。このとき、Al標準液のAl濃度を $0.1 \text{ mg-Al} \cdot \text{L}^{-1}$ に調整した。また、水温 $25^\circ\text{C}$ で検量線を作成し、各水温条件で計測した吸光度をAl濃度に換算した。加温なしの場合、Al標準液のAl濃度は水温の低下に伴い、低い値を示した。これは、水温が低い条件では、呈色反応の反応速度が低下することが原因である。それに対して加温ありの場合、加温なしと比較してAl濃度は高くなり水温によるAl計測への影響を抑制できた。以上より、装置内を加温して水温を一定とし、適切な操作で反応時間を一定にすることがAl計測で重要であると考えられる。

(2) 濁度と色度

Fig. 9に濁度と色度がAl計測に及ぼす影響を示す。ここで、縦軸は、濁度模擬のカオリン、または、色度標準液の添加有無におけるAl濃度の差分( $\Delta\text{Al} = \text{試薬添加有のAl濃度} - \text{試薬添加無のAl濃度}$ )である。結果として、濁度または色度が増加すると、 $\Delta\text{Al}$ が単調に増加した。そのため、Al計測装置は高濁度・高色度の水が直接流入しないように前処理装置を取り付ける必要がある。もしくは凝集剤注入制御に及ぼす影響を低減させるために濁度または色度の計測を同時に行い、Alの計測値を補正することも有効であると考えられる。例えば、Alの計測値の補正式は式(2)となる。

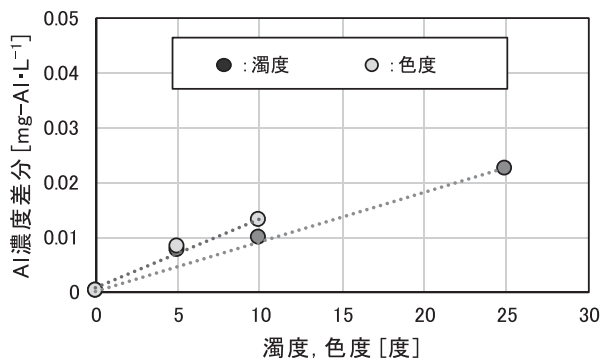


Fig. 9 Influence of turbidity and chromaticity on Al measurement

$$(Al \text{ の補正值}) = (Al \text{ の計測値}) - m \times (\text{濁度}) - n \times (\text{色度}) \cdots (2)$$

ここで、 $m$ ,  $n$  はそれぞれ濁度と色度から生じる見かけの Al 濃度を算出するための係数である。以上の補正式を用いることで、濁度と色度が存在しても、Al の連続計測技術は凝集剤注入制御に適用できる見込みが得られた。

#### 4. ま と め

本研究では、水中の Al を制御指標とする凝集剤注入制御技術を実用化するために、Al の連続計測技術を開発し、Al の定量範囲と計測値の繰返し精度、Al 計測に影響を与える因子について、以下の結論が得られた。

Al 標準液の ECR 濃度をパラメータとした試験により、最適な ECR 添加量を予測できた。また、最適な ECR 添加量とすることで  $0-0.5 \text{ mg-Al} \cdot \text{L}^{-1}$  の定量範囲において Al 濃度と吸光度に良好な線形性（決定係数 0.97）を得ることができ、Al の定量範囲の観点から、開発した Al の連続計測技術を凝集剤注入制御へ適用可能なことを確認できた。

試作した連続バッチ式の Al 計測装置の計測値の繰返し精度を確認し、Al 標準液では、誤差 1% 以下の良好な繰返し精度を得ることができた。それに対して、模擬混和水の計測では理論 Al 濃度に対して実測値は 50% 以下となったが、良好な直線性（決定係数 0.996）を得ることができ、凝集沈殿処理のメカニズムの観点から、開発した Al の連続計測技術を凝集剤注入制御へ適用可能なことを確認できた。

Al 計測に影響を与える因子として、濁度および色度は Al 濃度の計測値に直接影響を与えることが確認できた。凝集剤注入制御への影響は、濁度または色度の前処理装置を Al 計測装置に取り付ける。あるいは濁度または色度の計測も行い、Al 計測値を補正することで精度を維持することが可能であった。

既往の報告<sup>9)</sup>で実河川水を用いた凝集剤注入制御の実験を行っているが、表流水の水質急変時に変化する可能性のある藻類、有機物などの Al 計測への詳細な影響は未検討である。様々な浄水場へ開発した Al の連続計測技術を適用するためには、さらに Al 計測に影響を与える因子の検討を進めることが望ましいと考える。また、凝集剤注入の FB 制御の制御指標は、Al 以外にも沈殿処理水濁度などがあり、ほかの制御指標

と組み合わせた場合の最適な制御パラメータの設定方法を検討する必要がある。

Al や鉄イオンは過剰に存在すると水の着色の原因になるため、「アルミニウム及びその化合物」としての水質基準値 ( $0.2 \text{ mg-Al} \cdot \text{L}^{-1}$ ) が定められ、さらに、水質管理目標設定項目で  $0.1 \text{ mg-Al} \cdot \text{L}^{-1}$  と設定され、規制が強化されている。本技術は Al 濃度の定期観測が可能のため、河川の水質監視などにも適用できると考える。凝集剤注入制御以外の適用先も検討したい。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、Al 計測装置を東亜 DKK (株) に製作頂きました。ご協力感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省健康局編：新水道ビジョン  
<http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/newvision/newvision-all.pdf>, 厚生労働省健康局 (2013)
- 2) 日本水道協会編：水道統計 施設・業務編 平成 27 年度版, 日本水道協会 (2017)
- 3) 国土交通省気象庁編：気候変動監視レポート 2015, 国土交通省気象庁 (2015)
- 4) 厚生労働省健康局編：第 3 回水道事業基盤強化方策検討会資料, 厚生労働省健康局 (2015)
- 5) 横井浩人：PAC 注入制御への残留アルミニウムの適用性に関する基礎検討, 環境システム計測学会誌, Vol. 14, No. 2/3, pp. 12-18 (2009)
- 6) 横井浩人：アルミニウムを指標とした PAC 注入制御手法の開発, 環境システム計測学会誌, Vol. 15, No. 2/3, pp. 41-44 (2010)
- 7) 三宮豊：アルミニウムを用いた PAC 注入制御方式の実証, 環境システム計測学会誌, Vol. 17, No. 2/3, pp. 143-150 (2012)
- 8) Y. Sangu: Development of automatic coagulant dosage control technology for rapid change of raw water quality parameters, Water Science & Technology: Water Supply, Vol. 12, No. 6, pp. 918-925 (2012)
- 9) Y. Sangu: Verification of automatic coagulant dosage control technology base on aluminum concentration at a water purification plant, Water Science & Technology: Water Supply, Vol. 15, No. 1 pp. 26-33 (2015)
- 10) 日本水道協会編：上水試験方法Ⅲ. 金属類編, pp. 206-210 (2011)
- 11) 無機応用比色分析編集委員会編：無機応用比色分析 I, 共立出版, pp. 39-54 (1980)
- 12) 西田宏：吸光度法によるアルミニウム・エリオクロムシアニン R 錯体の検討, 分析化学, Vol. 22, pp. 963-970 (1973)

## Continuous Measurement Technology of Aluminum Concentration in Water

Yutaka Sangu<sup>1,2)†</sup>, Hiroto Yokoi<sup>1)</sup>, Yasuhiro Saito<sup>2)</sup>, Yohsuke Matsushita<sup>2)</sup> and Hideyuki Aoki<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Hitachi, Ltd., Research & Development Group

<sup>2)</sup> Dept. of Chemical Engineering, School of Engineering, Tohoku University

† Correspondence should be addressed to Yutaka Sangu :

(1-1, Omika-cho, 7-chome, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 319-1292 Japan  
E-mail : yutaka.sangu.nf@hitachi.com, hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)

### Abstract

A continuous measurement technology of aluminum concentration in liquid adopting absorptiometry method using eriochrome cyanine red (ECR) was developed for the practical application of coagulant injection control technology capable of water treatment even at high turbidity. The optimum amount of the ECR addition was determined by the ECR concentration of sample water. When the optimal amount of ECR was used, good linearity was obtained in 0-0.5 mg-Al/L (Coefficient of determination > 0.97). Reliability of the measurement value of a prototype continuous batch type measuring system for aluminum was confirmed, and its good repetition accuracy was an error of 1 % or less.

**Key words :** water treatment, coagulant, aluminum, eriochrome cyanine red, absorptiometry