

## 〈研究発表〉

### 集塊化開始時間測定法の原理と同法を用いた凝集アナライザの開発

山口 太秀<sup>1)</sup>, 田中 良春<sup>2)</sup>, 鎌田 素之<sup>3)</sup>, 松井 佳彦<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> メタウォーター株式会社 R&D センター 先端水システム開発部 センサー開発 Gr (〒191-8502 東京都日野市富士町1番地, E-mail: yamaguchi-dabide@metawater.co.jp)

<sup>2)</sup> 同上 (E-mail: tanaka-yoshiharu@metawater.co.jp)

<sup>3)</sup> 関東学院大学 工学部 社会環境システム学科 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1, E-mail: motoyuki@kanto-gakuin.ac.jp)

<sup>4)</sup> 北海道大学大学院 工学研究院 環境創生工学部門 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目, E-mail: matsui@eng.hokudai.ac.jp)

#### 概要

熟年技術者の大量退職時代を迎え、薬注制御の自動化の必要性が高まっている。また、浄水処理のコストダウンや浄水アルミニウム濃度低減という観点から、薬注の自動制御による凝集剤使用量の削減や、発生土処理コストの低減等が益々重要な課題になっている。そのような状況のもとで、筆者らはフロックの成長開始時間(集塊化開始時間)を利用した新しい制御方法を考案するとともに、同時間を自動測定する装置(凝集アナライザ)を開発した。

キーワード: 凝集, 凝集アナライザ, 集塊化開始時間 (5語以内)

## 1. はじめに

浄水処理の分野では、熟年技術者の大量退職時代を迎えていることや、平成16年に水質基準化された浄水アルミニウム濃度の低減という観点から、薬注制御の自動化の必要性が高まっている。また、浄水処理費用や料金収入までを含めた包括的な運転管理においても、薬注制御による凝集剤使用量の削減や、発生土処理コストの低減等が重要な課題となっている。

薬注制御については、これまでにフロックの画像解析、フロック粒径制御、流動電流制御、モデル予測制御等、様々な技術開発が行われてきたが、いずれもディファクトスタンダードとなるような製品までには発展していない。したがって、多くの浄水場では、濁度や水温をパラメータとした注入率式や、適正注入率を判定するに当たって経験が必要なジャーテストに基づいて注入率を決定しているのが実状である。

その原因は、第1に装置の価格が高いこと、第2に注入率の制御出力を実際の浄水場に適用するには、チューニングが必要で、その期間が場合によっては、1年にも及ぶこと等が挙げられる。

筆者らは、そのような状況のもと、短いチューニング期間、かつ低価格で凝集剤注入率制御を実現することを目的として、フロックの成長開始時間(集塊化開始時間)を利用した新しい凝集剤注入率の制御方法を考案し、同時間を自動測定する装置(凝集アナライザ)を開発した。本論では、装置の概要と測定原理を中心に報告する。

## 2. 装置の概要

### 2.1 装置の構成

凝集アナライザの構成を Fig.1 に示す。本装置は原水供給ポンプ、攪拌機とフロック粒径測定用の検出器とを組み込んだ4つの水槽、薬液注入部、シーケンサ等で構成されている。

### 2.2 平均粒径と集塊化開始時間の測定方法

Fig.2 に示す検出器では、透過光強度の平均値とゆらぎ成分とから、式(1)によってフロック粒径を演算する(吸光度変動解析法<sup>1)</sup>)。ここで、 $d$ は平均粒径、 $E$ は平均吸光度、 $E_{rms}$ は吸光度の標準偏差、 $A$ は光路断面積、 $Q$ は光散乱係数である。

$$d = \left( \frac{4AE_{rms}^2}{\pi QE} \right)^{0.5} \quad (1)$$

シーケンサでは、検出器で測定される粒径を監視し、凝集剤注入後のフロック粒径の成長開始点を解析す

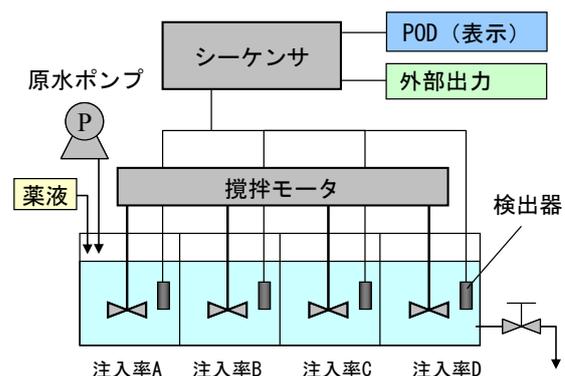


Fig.1 Composition of the device

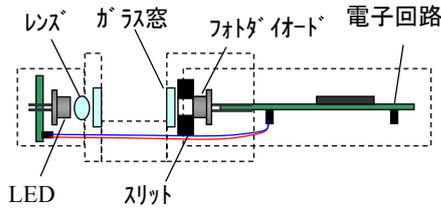


Fig.2 Structure of the detector

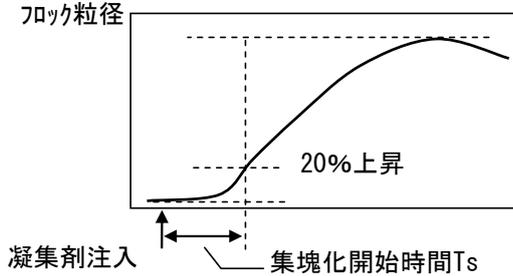


Fig.3 Agglomeration initiation time

ることで、集塊化開始時間（以下、 $T_s$ ）を求める。ここで、成長前の粒径のバラツキの影響を排除することを考慮して、Fig.3 に示すように最大粒径に対して20%上昇した時点を  $T_s$  とした。

### 2.3 測定工程

測定は、洗浄→ゼロ点校正→原水送水→水位調整→薬液注入→粒径測定→ $T_s$  演算→排水を1セットとして、回分式で行われる（Fig.4）。なお、粒径は急速攪拌過程でのみ測定される。ジャーテストと比較して、緩速攪拌と静置を必要としないので、測定周期は最短で15分にすることが可能である。

### 2.4 集塊化開始時間測定法

$T_s$  は原水水温、濁度、藻類濃度等によって変化し、原水が低温・低濁である程、あるいは藻類等の凝集阻害物質の濃度が高い程、大きな値となる。他方、凝集剤注入率の増加や攪拌強度（ $G$  値）の上昇によって、 $T_s$  は短くなる。集塊化開始時間測定法は、濁質の量に応じて、適正な集塊化開始時間（以下、目標集塊時間  $T_0$ ）が存在すると考え、原水水質や凝集剤注入率により変化する  $T_s$  と予め設定した  $T_0$  とが等しくなる注入率を求める方法である。これまでの制御方法と異なる点は、濁度やフロック粒径等の単一の指標の変化に基づいて制御するのではなく、濁度、水温、アルカリ度、藻類濃度など、あらゆる水質が反映される  $T_s$  をブラックボックス的な指標として用いることにある。具体的には、以下の手順により推奨注入率を決定する。

#### (1) 目標集塊時間の決定(初期調整)

- ① ジャーテストを実施し、原水濁度ごとに適正注入率を決定する（カオリン注入により濁度を調整）
- ② 凝集アナライザにて、決定された注入率における集塊化開始時間を濁度ごとに測定し、同濁度における目標集塊時間  $T_0$  と定義する

#### (2) 推奨注入率の決定

- ① 異なる注入率に設定した4つの水槽において、実際

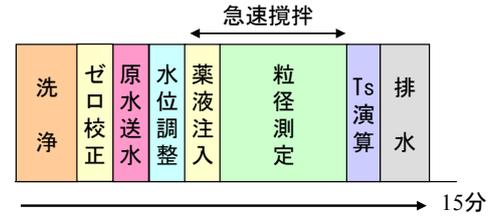


Fig.4 Measurement process

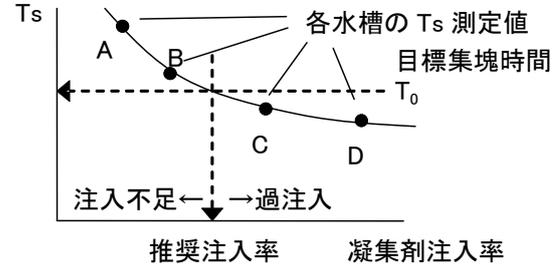


Fig.5 Method of measuring agglomeration initiation time

の原水の  $T_s$  及び濁度を測定する

- ② 上記で得られた凝集剤注入率と  $T_s$  との関係から、 $T_0$  と  $T_s$  とが等しくなる注入率を演算する

ここで、(1) は「目標集塊時間のデータベース化」であり、初期調整を意味している。一方、実際の運用状況では、(2) を繰り返し行い、バッチ的に（最短15分周期）推奨注入率を決定する。

例えば、4つの水槽で、 $A < B < C < D$  となるように凝集剤注入率を設定し、 $T_s$  を測定すると、 $T_s$  は注入率の上昇と共に小さい値となる。これらの注入率と  $T_s$  との関係から、 $T_0$  と  $T_s$  とが等しくなる注入率を求める方法が「集塊化開始時間測定法」である（Fig.5）。

## 3. 実験方法

### 3.1 目標集塊時間

カオリン懸濁水を添加した原水のジャーテストを実施し、凝集阻害物質が少ない場合の適正凝集剤注入率を設定濁度ごと（1~500度）に調査した。ジャーテストの条件は、急速攪拌 150rpm×2min、緩速攪拌 30rpm×10min、静置 10min、水温 20°C、凝集剤はポリ塩化アルミニウム（PAC）を用いた。また、pH は NaOH によって 7.0 に調整した。

次に上記原水の  $T_s$  を濁度ごとに測定した。4つの水槽の凝集剤注入率は、15、20、30、50mg/L とした。その結果得られた注入率と  $T_s$  との関係から、カオリン懸濁水のジャーテストで決定された適正注入率における  $T_s$  を求め、目標集塊時間  $T_0$  と定義した。

### 3.2 演算結果と浄水場注入率との比較

集塊化開始時間測定法の有効性を検証するため、相模川を原水として取水しているA浄水場に凝集アナライザを設置し、15分周期で集塊化開始時間の測定と推奨注入率の演算を行った。また、得られた注入率出力は、A浄水場で採用している濁度をパラメータとした

注入率式制御の実績値と比較した。なお、実験期間は高水温から低水温期までのデータ取得を目的として、2009年8月～2010年2月とした。なお、実験期間中の原水水質は、濁度が平均5度(最大70度)、pHが平均7.7(最大9.1)であった。

## 4. 実験結果

### 4.1 ジャーテストと集塊化開始時間の測定

カオリン懸濁水のジャーテストの結果を Fig.6 に示す。なお、各濁度のジャーテストにおける凝集剤注入率は、A浄水場の注入率式を参考にして決定した。

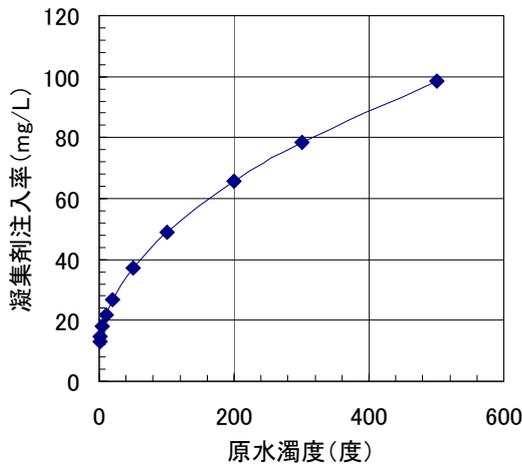


Fig.6 Result of Jar-test

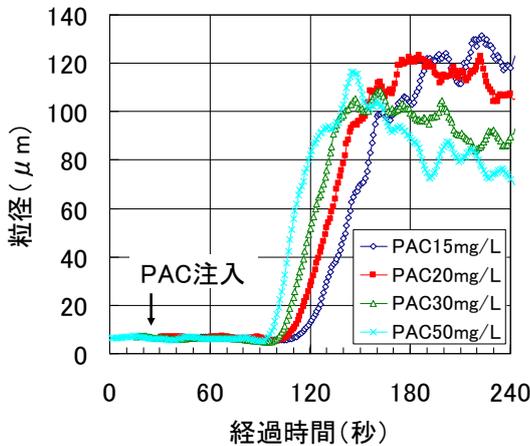


Fig.7 Change of floc diameter

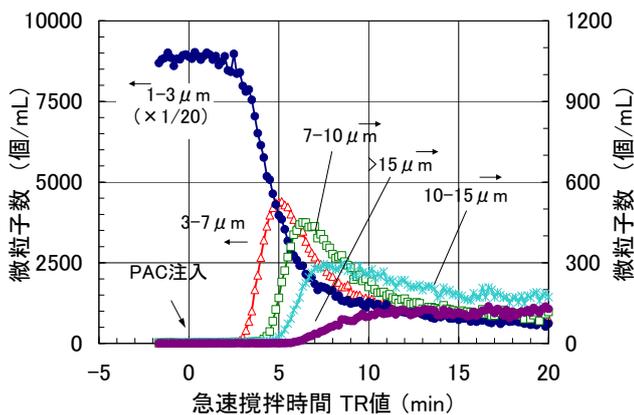


Fig.8 Behavior of particle during rapid mixing

Fig.7 は凝集アナライザで測定された粒径の変化を表している。PAC注入直後の粒径は、集塊が始まるまで、しばらく安定しているが、粒子の集塊が始まるとフロック粒径は急速に上昇している。また、凝集剤注入率を増加させるほど、粒径の立ち上がりはより早い段階で観測されている(PAC注入率20mg/LでTsは約120秒)。

ここで、一般的に荷電中和は一瞬で起こるとされているが、今回測定されたTsはそれと比較して長い。これは吸光度変動解析法による粒径測定之感度が低く、フロックが成長して観測されるまでに時間を要するという可能性が考えられた。そこで、粒径1μmのPSL粒子(JSR製)を濁度1度相当に調整した試料水のジャーテストを行い(PAC注入率20mg/L)、急速攪拌中の粒子の挙動を微粒子カウンタで調査した。1μm粒子は凝集剤注入前から微粒子カウンタで計測されているので、集塊化が起これば、直ちに1μmの粒子数が減少し、より大きな粒径が増加するはずである。

結果はFig.8に示すように、1~3μmの粒子が減少するまでに約2分、3~7μmの粒子が増加するまでに約3分の時間を要し、本装置で測定されたTsの長さは、妥当な値であることが示された。したがって、吸

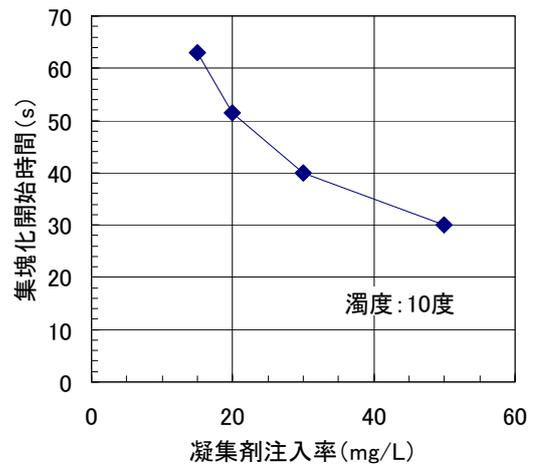


Fig.9 Relationship between coagulant concentration and agglomeration initiation time

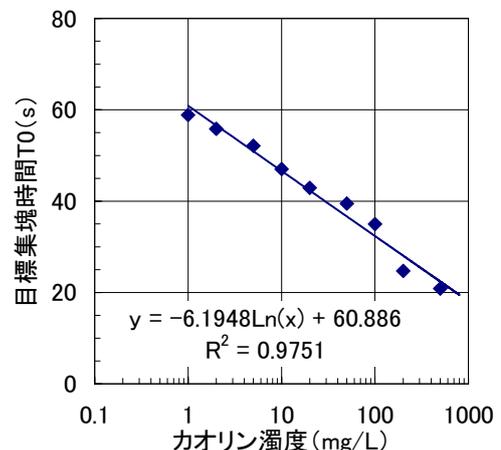


Fig.10 Relationship between turbidity and target agglomeration time

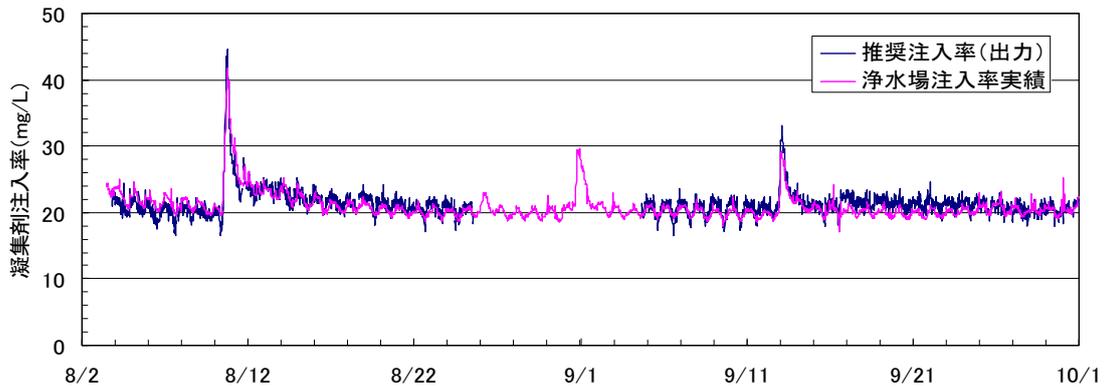


Fig.11 Trend of coagulant injection rate

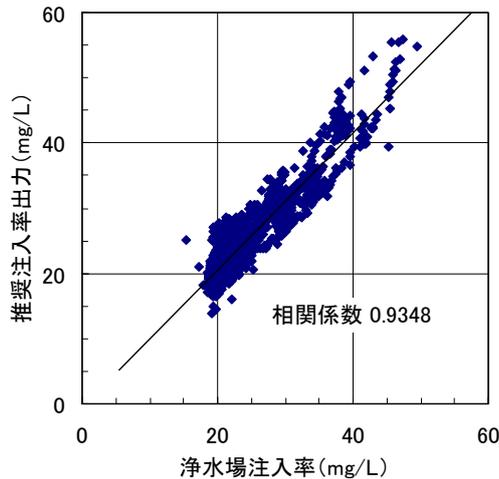


Fig.12 Relationship between coagulant injection rate of the purification plant and output of recommended injection rate

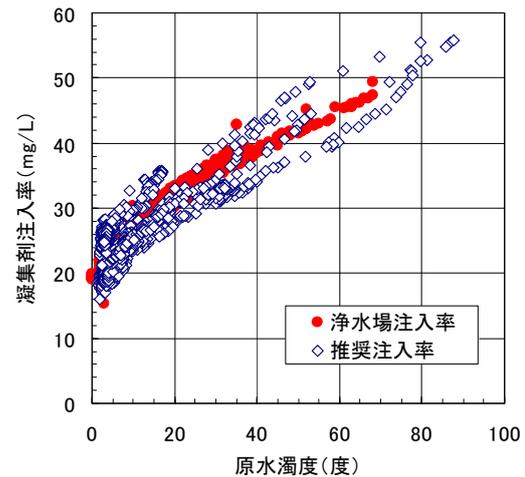


Fig.13 Relationship between turbidity and coagulant injection rate

光度変動解析法により、フロックの成長に要する時間が十分な感度で測定されているものと考えた。

#### 4.2 目標集塊時間

濁度 10 度における凝集剤注入率と  $T_s$  との関係を Fig.9 に示す。なお、ジャーテストの結果から同濁度における適正注入率は、21.6mg/L であった。同図からその注入率を得るための  $T_s$ 、すなわち目標集塊時間  $T_0$  は回帰分析により 46.8 秒と決定された。

同様に他の濁度に関しても  $T_0$  を決定すると、濁度と  $T_0$  の関係は、Fig.10 のようになった。 $T_0$  は濁度の上昇に伴って小さい値となり、以下の関係式が示された。

$$T_0 = -a_1 \ln(TB) + a_2 \quad (2)$$

ここで、 $a_1$ 、 $a_2$ は定数、 $TB$ は原水濁度である。

#### 4.3 演算結果と浄水場注入率との比較

高水温期における推奨注入率出力（演算結果）と A 浄水場における注入率の実績値を Fig.11 に示す。測定期間中の降雨による原水濁度上昇に伴う凝集剤注入率の上昇は、両者共にほぼ一致していた。また、Fig.12 に示すように、注入率 20~60mg/L の範囲で、浄水場注入率実績と推奨注入率出力とは相関関係にあった（有意水準 1% で有意）。

Fig.13 は実験期間中の原水濁度と凝集剤注入率の関係である。浄水場注入率  $P$  は、以下の注入率式によ

って制御されているので、濁度に対する注入率のバラツキは少ない。ここで、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ は定数である。

$$P = \alpha + \beta(TB)^\gamma \quad (3)$$

一方、推奨注入率は、濁度とともに注入率が上昇する傾向は浄水場と同じだが、バラツキが大きい。これは、集塊化開始時間測定法では、同じ濁度であっても凝集阻害物質や水温によって、推奨注入率が異なるからであると考えられる。

## 5. まとめ

集塊化開始時間測定法の概要と測定結果について報告した。同法によれば、濁質や溶解成分等の原水水質の違いを  $T_s$  という指標で一括して把握することができる。したがって、原水濁度や水温等のみを利用した注入率式制御では捉えきれない情報を新たに得ることができると考えている。

今後、溶解成分によって、 $T_s$  が変化した場合の集塊化開始時間を検証し、完成度を高めていく所存である。

## 参考文献

- 1) 松井佳彦: 2 波長の吸光度変動を用いた有機着色成分の凝集沈殿除去の計測, 水道協会雑誌, 679, pp.2-9 (2001)