

分担研究報告書 1

ろ過漏出障害を回避するための  
浄水処理プロセスの開発

研究代表者 秋葉 道宏  
研究分担者 西村 修



厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
「大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した  
環境調和型水道システムの構築に関する研究」  
分担研究報告書

研究課題：ろ過漏出障害を回避するための浄水処理プロセスの開発

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官  
研究分担者 西村 修 東北大学大学院工学研究科 教授

#### 研究要旨

ろ過漏出は給水の継続にも影響を及ぼす重大な障害であり、ピコ植物プランクトンは主要な原因生物である。これを改善するために凝集剤を多量に添加するなどの対策が取られるが、ピコ植物プランクトンの漏出メカニズムは未解明であり、最適な凝集方法は確立されていない。そこで本研究では、ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いて凝集剤添加量を変化させた凝集実験を行い、凝集沈殿除去特性を検討した。

その結果、凝集剤添加量と濁度や粒径毎の粒子数の関係から、適正添加量までは凝集沈殿効果が高まるものの、過剰な添加は未凝集の粒子数を増加させ、濁度上昇が発生する要因となり得ることが示された。

また、上澄水に残留する粒子のゼータ電位の結果から、ピコ植物プランクトンのゼータ電位は凝集剤の適正添加によっても凝集の適正範囲（ $-10\sim 10\text{mV}$ ）に到達せず、凝結反応が進まないことが凝集沈殿除去性を低下させていることが明らかになった。

したがって、ろ過漏出障害の回避のためにジャーテストによって詳細に凝集剤最適添加量を求めて適正添加につとめること、適正添加量の範囲で凝集沈殿を行い粗大化させたフロックを除去し、あらためて凝集剤を添加して成長させたフロックをろ過によって除去する二段凝集は効果的であること、二段凝集において凝集剤の添加量が多い場合はろ過継続時間が短縮し、アルミニウム漏出の可能性も高まることから、凝集沈殿におけるジャーテストのような適正添加量を決定できる簡便な二段凝集テストを開発する必要があること等が対策として重要であると考えられた。

#### A. 研究目的

近年、全国の浄水場や水道事業体において生物障害の発生が問題となっており、中でも異臭味障害に次いで発生しているろ過漏出障害が増加傾向にある<sup>1)</sup>。ろ過漏出障害は、主に  $0.2\sim 2\mu\text{m}$  の非常に微小なピコ植物プランクトンによって発生すると言われており<sup>2)</sup>、浄水場では発生時の対応に苦慮している。原水のピコ植物プランクトン細胞数が高まった際、浄水場では凝集剤の添加量を増加させる方法や、通常の凝集沈殿処理に加えてろ過池直前で再度凝集剤を添加する方法で

ある二段凝集によって対応しているが<sup>3, 4)</sup>、最適な処理条件に関する知見が乏しいことや、根本的なろ過漏出発生メカニズムが明確でないことが課題として挙げられる。また、凝集剤の適正量を超えた多量添加は、凝集効果を悪化させるといった研究報告があり<sup>5)</sup>、ピコ植物プランクトンの凝集処理においてもそのような傾向が認められたことから<sup>6)</sup>、プロセスの改善が必要であると考えられる。

そこで、本研究では、ピコ植物プランクトンの凝集阻害のメカニズムの解明と凝集処理プロセスの改善方法を探ることを研究目

的とし、ピコ植物プランクトン懸濁液を用いて凝集実験を行った。そして、凝集沈殿後に上澄水に残留する粒子に着目し、濁度、粒径毎の粒子数、ゼータ電位を測定し、凝集・沈殿によって除去されない粒子の特性を解析した。なお、濁度標準液に用いられるポリスチレン系粒子懸濁液を用いて同様の実験を行い、非生物系粒子における凝集沈殿特性との比較も行なった。

## B. 研究方法

### 1) ピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験

本研究で用いたピコ植物プランクトンは、(独)国立環境研究所 NIES-1348 の *Synechococcus* sp. である。CB 培地にて温度条件  $20 \pm 1$  °C, 光条件  $18 \mu \text{mol photons/m}^2/\text{sec}$ , 12-h light/12-h dark で培養を行った。培養した *Synechococcus* sp. を一晩曝気した水道水で濁度が 2 度程度になるよう希釈し、これを原水として使用した。ジャーテスターは宮本理研社の WATER COHESION REACTION TESTER を使用した。ジャーテストの攪拌条件は、衛生工学実験指導書 (プロセス編)<sup>7)</sup> を参考に、急速攪拌 (100 rpm) 1 分経過後に凝集剤を添加し、さらに 5 分間の急速攪拌 (100 rpm), 15 分間の緩速攪拌 (30 rpm), 静置は 30 分間とした。凝集剤には PAC を用い、添加量を 0, 20, 40, 60, 80, 100 (mg/L) とした。

凝集沈殿後の上澄水における濁度と粒径毎の粒子数を測定した。濁度の測定は日本電色工業社の水質濁度・色度計 WA6000 を用い、10cm 石英セルにて測定した。測定精度は 0.02 度である。ピコ植物プランクトンは、特有の波長の紫外レーザーを生物粒子に照射し、細胞内の自家蛍光物質が発する微弱な蛍光を検出することで、染色などの前処理なしでピコプランクトンの数と大きさを測定できる、リオン株式会社のピコプランクトンカウンタ XL-10A を用いて測定した。

また、ゼータ電位に関しては上澄水に残留する粒子に加えて、採取した沈殿物をゆるく

ガラス棒で攪拌して懸濁させてフロックも測定した。装置はゼータメーター Micro-Electrophoresis Apparatus Mark II (Rank Brothers, UK) である。

以上の実験は 3 回繰り返して、結果の再現性を確認した。

### 2) ポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験

生物系粒子であるピコ植物プランクトンと非生物系粒子の凝集特性を比較するため、濁度標準液に用いられるポリスチレン系粒子の懸濁液を用いた凝集実験を行った。ポリスチレン系粒子は JSR Life Science 社製の粒子直径  $10.14 \mu \text{m}$  である。

ジャーテストの条件は、ピコ植物プランクトンの実験と基本的に同様である。ポリスチレン系粒子懸濁液においても原水濁度を 2 度程度に調整した。なお、凝集剤添加量は 0, 10, 20, 40, 80, 120 (mg/L) とした。

凝集沈殿後の上澄水における濁度と粒径毎の粒子数、上澄水に残留する粒子のゼータ電位、ならびに沈殿物を攪拌して懸濁させたフロックのゼータ電位を測定した。なお、ポリスチレン系粒子についてはピコプランクトンカウンタの散乱光を用いて粒子数を測定した。

## C. 研究結果および D. 考察

### 1) ピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験における濁度の変化

ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた場合の上澄水の濁度変化を図-1 に示した。3 回の実験のいずれの場合も、添加量 20mg/L までに顕著な濁度低下が起こり、わずかな凝集剤添加でもフロックの形成、沈殿除去が起こることが確認された。凝集剤添加量 20mg/L を超えると添加量増加に対する濁度低下の傾向は緩やかとなり、1 回目の実験では 60mg/L, 2 回目と 3 回目の実験では 80mg/L で濁度が最小値を示す最適添加量となった。さらに最適添加量以上に凝集剤を添加すると濁度が上昇し、この傾向は 3 回の実験に共通していた。すなわ

ち、凝集剤を添加し過ぎるとピコ植物プランクトンが凝集沈殿しにくくなるメカニズムがあると考えられた。

## 2) ピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験における粒径毎の粒子数の変化

ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた際の上澄水の総粒子数の結果を図-2に示した。1回目の実験では濁度の結果と同様に、最適凝集剤添加量60mg/Lまでは粒子数が減少するが、80mg/Lでは大きく増加し、添加量として半分である40mg/Lの場合よりも総粒子数が多く残留する結果となった。2回目の実験では、最適凝集剤添加量80mg/Lよりも100mg/Lの添加量の方が総粒子数は少なかったが、その差は849に対して746個/mLとわずかであった。

3回目の実験では1回目の実験と同様に、最適凝集剤添加量80mg/Lで総粒子数が433個/Lまで減少し、100mg/Lでは892個/Lと倍増した。

以上の通り、濁度の結果で得られた最適凝集剤添加量まで濁度が低下し、それ以上の添加量では濁度が上昇する現象は、総粒子数の場合にも3回の実験のうち2回の実験で確認され、凝集剤の過剰添加は懸濁物質の除去を阻害することが明らかになった。

次に、3回目の実験における粒径毎の粒子数の変化を図-3に示した。ピコ植物プランクトン自体の粒径は1.0 $\mu\text{m}$ 程度であるが、凝集剤無添加時の結果からもわかるように8.0 $\mu\text{m}$ 以上の粒径を有する粒子もわずかではあるが存在する。なお、懸濁液作成に使用した実験室で作成しているMilli-Q水自体もごく少数ではあるが粒子を含んでいる。しかし、これは植物ピコプランクトン懸濁液の実験で得られた粒子数に比較して極めて小さく、無視できるレベルであった。

粒径別の凝集沈殿除去性の特徴としては、粒径1.0~2.0 $\mu\text{m}$ の小さい粒子が残存する傾向が顕著である。この粒径の粒子が上澄水に残存するということは、凝集剤を添加してもフロックを形成しないピコ植物プランクトンが多量に存在することを意味する。

また、3回目の実験における粒径毎の粒子除去率の結果を図-4に示した。粒径1.0~2.0 $\mu\text{m}$ の粒子に対しては少量の凝集剤では除去効果が見られなかったが、粒径2.0 $\mu\text{m}$ 以上の粒子に対しては、少量の凝集剤でも効果があることが分かった。すなわち、凝集剤添加によってもフロックを形成しないピコ植物プランクトン(粒径1~2 $\mu\text{m}$ )に比較して、小さくてもフロック化した粒子は80%以上除去され、その除去率は粒径が大きくなるほど高くなる傾向が見られた。

また、凝集剤添加量が過剰な100mg/Lの場合には1.0~2.0, 2.0~3.0 $\mu\text{m}$ の粒子除去率が低下した。このことは凝集剤過剰添加時の濁度に見られた現象と同様であるが、この理由はほとんどフロック化しないピコ植物プランクトンが増加したためと考えられた。

凝集剤過剰添加時の再分散については、負荷電の粒子表面を正荷電の凝集剤ポリマーが完全に覆い、外見が正荷電のようになってしまうことで生じると説明される<sup>8)</sup>。本結果で認められた再分散の現象のメカニズムが荷電の逆転によるものなのかに関しては次項のゼータ電位の結果を基に考察する。

## 3) ピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験におけるゼータ電位の変化

ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた際の上澄水の粒子のゼータ電位の結果を図-5に示した。ただし、2回目の実験では、凝集剤を添加する前からピコ植物プランクトンのゼータ電位が高すぎる値(通常ピコ植物プランクトンは-30mV以下を示す)を示したので、ここでは1, 3回目の結果で議論する。

沈殿物フロックのゼータ電位は凝集の適正範囲-10~10mVにあり、ほぼ0mVであった。一方、上澄水に残留する粒子のゼータ電位は、凝集剤無添加時のゼータ電位が-35mVであったのに対し、わずかな凝集剤添加によっても荷電が中和する方向に変化した(1回目:10mg/L添加で-28mV, 3回目:20mg/L添加で-20mV)。しかし、それ以上の添加量でも凝集の適正範囲にまで荷電が変化する

ことはなく、最大で1回目：60mg/L添加で-22mV、3回目：60mg/L添加で-18mVであり、荷電の逆転による再分散現象ではないことが明らかとなった。

ピコ植物プランクトン懸濁液の凝集沈殿実験において上澄水に残留する粒子の特徴としては、粒径が小さくほとんどフロックを形成していないと思われるピコ植物プランクトンであること、その表面電荷は凝集剤添加により荷電中和方向への変化が生じるものの、最適添加量でも凝集の適正範囲には至らないこと、さらに凝集剤添加量が多い場合は、フロックを形成しないピコ植物プランクトンが増えることが明らかになった。ピコ植物プランクトンの細胞数が高まった際に凝集剤添加量を増加させる対策においてはジャーテストによって具体的に詳細に最適添加量を求めることが重要であると言えよう。また、過剰な凝集剤添加時に再分散する現象は、荷電の逆転によるものではなく、添加した凝集剤が凝結反応（マイナスに帯電している微細粒子が凝集剤添加により荷電中和して微細フロックを形成）に働くより、むしろ微細フロックを成長させる凝集反応に働き、凝結反応が鈍化するためではないかと考えられた。

#### 4) ポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験における濁度の変化

ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた場合の上澄水の濁度変化を図-6に示した。実験における最小の添加量10mg/Lにおいて濁度は0mg/Lとなり、それ以上の添加量ではいずれも濁度0mg/Lであった。

すなわち、濁度の除去に関してはピコ植物プランクトン懸濁液の凝集で見られたような凝集剤添加量の増加で濁度が上昇する現象は認められなかった。

#### 5) ポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験における粒径毎の粒子数の変化

ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた際の上澄水の総粒子数の結果を図-7に示した。この場合は濁度

の結果と大きく異なり、凝集剤添加量0mg/Lと10mg/Lで総粒子数に大きな違いは認められなかった。この理由は図-8に示すように、凝集剤無添加において残留した粒子のほとんどが8 $\mu$ m以上の粒径をもつポリスチレン系粒子そのものであるのに対し、10mg/L添加時に残留した粒子は1~2 $\mu$ mの小さい粒子であり、測定していない1 $\mu$ m以下の粒子が凝集して形成した可能性が考えられた。

10~80mg/Lにかけては凝集剤添加量の増加とともに総粒子数は減少し、80mg/Lで119個/mLと最小値を示した。この結果は、ピコ植物プランクトン懸濁液の結果で得られた最適凝集剤添加量まで総粒子数（および濁度）が低下し、それ以上の添加量では総粒子数（および濁度）が上昇する結果に類似した。すなわちポリスチレン系粒子においても再分散現象が認められた。

図-8に示す粒径別の凝集沈殿除去性の特徴としては、粒径8.0 $\mu$ m以上のポリスチレン系粒子そのものは最適凝集剤添加量まで添加量の増加とともに粒子数を大きく低下させるものの、120mg/Lにおいては再び粒子数の増加がみられ、見かけ上凝集しない粒子が増える現象が認められた。これはピコ植物プランクトンにおける1~2 $\mu$ mの粒径に認められた現象であり、最適添加量を超えた過剰添加は凝集沈殿性の悪化をもたらすことがポリスチレン系粒子においても確認された。また、粒径1.0~2.0 $\mu$ mの粒子の凝集剤添加量に対する変化の傾向も、凝集剤無添加の場合を除きピコ植物プランクトンの実験結果と同様の傾向を示し、極めて小さな粒子は生物系、非生物系にかかわらず凝集沈殿除去が難しいことが明らかになった。

粒径毎の粒子除去率の結果を図-9に示した。なお、1.0~2.0 $\mu$ mの粒径についてはマイナスの除去率を示したためここでは除外した。最適凝集剤添加量においていずれの粒径の粒子も最大の除去率を示すことは、ピコ植物プランクトンの場合と同様であった。ただし、除去率でみるとピコ植物プランクトンの場合に比べて特に高いわけではなく、粒径

2.0~3.0  $\mu\text{m}$  の除去率は最適添加量の時に最大であるものの60%にとどまり、非生物系粒子でも粒径の小さい場合は凝集沈殿除去率が低いことが確認された。

6) ポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験におけるゼータ電位の変化

ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤の添加量を変化させた際の上澄水の粒子のゼータ電位の結果を図-10に示した。

沈殿物フロックのゼータ電位は凝集の適正範囲-10~10mVにあり、ほぼ0mVであった。一方、上澄水に残留する粒子のゼータ電位は、凝集剤無添加時のゼータ電位が-36mVであったのに対し、10mg/Lとわずかな凝集剤添加によっても中和する方向に変化した(-12mV)。しかし、それ以上の添加量でも凝集の適正範囲である-10~10mVに入ることはなく、適正添加量80mg/Lでも-12mVであった。そして120mg/Lまで凝集剤添加量を増やすとほぼ0mVと中和された。

ポリスチレン系粒子においては120mg/Lで再分散現象が認められたが、この場合もピコ植物プランクトンの場合と同様に、荷電の逆転による再分散現象ではなく、むしろ上澄水に残留する粒子はほぼ0mVの荷電的には中和した粒子であることから、適正添加量以上の凝集剤を加えた場合、粒子の荷電中和に働くよりはむしろアルミフロックの形成が強化され、凝集剤と粒子の凝結反応が鈍るのではないかと考えられた。

ただし、観察したフロックは様々な粒径を持ち、ゼータ電位の結果の分散は大きいことから、凝集メカニズムの解明に当たってはより詳細な検討をする必要がある。

7) ピコ植物プランクトンを含む原水における凝集処理に関する指針案

これまでに行なってきた研究の成果を踏まえて、ろ過漏出障害を回避するための浄水処理プロセスについて、注意すべき基本的事項を以下にまとめる。

ろ過漏出障害を引き起こす原因生物としては、ピコプランクトン、緑藻類、珪藻類、藍藻類等が報告されており、中でもピコプラ

ンクトンは最も発生割合が高い障害生物である<sup>2)</sup>。ピコ植物プランクトンが発生した場合、浄水場では凝集剤添加量の増加、凝集pH条件の適正化、塩素処理による凝集効果改善などが検討される<sup>9)</sup>。また、ろ過水濁度が上昇した場合には二段凝集が効果的であることが知られている<sup>10)</sup>。

本研究で明らかになったように、1.0~2.0  $\mu\text{m}$  の粒径をもつピコ植物プランクトン粒子の凝集沈殿による除去は困難である。このような粒子は荷電中和によってフロック化する凝結反応が起こりにくく、過剰に添加された凝集剤は凝結反応よりもフロックが粗大化する凝集反応に用いられ、未凝結の粒子が増加する凝集阻害の現象も発生する。したがって、最適凝集剤添加量を超えた凝集剤の添加は禁物であり、ジャーテストによって詳細に最適添加量を求め、凝集剤の適正添加量につとめる必要がある。

しかし、凝集剤適正添加においてもピコ植物プランクトンを100%除去することは難しい。この場合は、二段凝集が効果的である。凝集沈殿によって粗大化したフロックを除去し、あらためて凝集剤を添加することで、フロックの成長を促す。その後のろ過によって粒径10  $\mu\text{m}$  以上の粒子は良好に除去されるため<sup>6)</sup>、凝集によって粗大化させにくいピコ植物プランクトンを除去することが可能となる。ただし、二段凝集においては凝集剤の添加量が多い場合ろ過継続時間が短縮し、アルミニウムの漏出の可能性も高まることから、適正添加が必要である。凝集沈殿におけるジャーテストのような適正添加量を決定できる簡便な二段凝集テストを開発する必要がある。

## E. 結論

ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験を行い、ろ過漏出障害を回避するための浄水処理プロセスの開発に関する基礎的知見をまとめた。

凝集剤添加量と濁度や粒径毎の粒子数の

関係から、適正添加量までは凝集沈殿効果が高まるものの過剰な添加は未凝集の粒子数を増加させ、濁度上昇が発生する要因となり得ることが示された。

上澄水に残留する粒子のゼータ電位の結果から、ピコ植物プランクトンは凝集剤の添加によってもゼータ電位が適正な凝集範囲(-10~10mV)に到達しないため、凝結反応が進まないことが凝集沈殿除去性を低下させていることが明らかになった。

#### G. 研究発表

##### 1) 論文発表

該当なし

##### 2) 学会発表

館祥之, 多田早奈恵, 坂巻隆史, 野村宗弘, 西村修, ピコ植物プランクトンの凝集処理におけるフロック径分布, 日本水処理生物学会誌別巻, (37), p.62, 2017

館祥之, 多田早奈恵, 野村宗弘, 坂巻隆史, 西村修, ピコ植物プランクトン凝集処理において上澄み水に残留する粒子の特性, 土木学会東北支部技術研究発表会(平成29年度)(CD-ROM), 2p., 2018

#### H. 知的財産権の出願・登録状況(予定も含む。)

##### 1) 特許取得

該当なし

##### 2) 実用新案登録

該当なし

##### 3) その他

該当なし

#### I. 参考文献

- 1) 秋葉道宏, 厚生科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」, 平成 24~26

年度総合研究報告書, 2015

- 2) 秋葉道宏, 厚生科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」, 平成 26 年度総括・分担研究報告書, 2015
- 3) 秋葉道宏, 厚生科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」, 平成 25 年度総括・分担研究報告書, 2014
- 4) 藤本尚志, 村田昌隆, 大西章博, 鈴木昌治, 矢島修, 岸田直裕, 秋葉道宏, 分子生物学的手法による浄水場における濁度障害原因生物の解明, 水道協会雑誌, 82(5), pp.2-10, 2013
- 5) 丹保憲仁, 穂積準, フロック形成におよぼす凝集条件について, 衛生工学, 36, pp.37-47, 1968
- 6) 秋葉道宏, 厚生科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業「大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型水道システムの構築に関する研究」, 平成 28 年度総括・分担研究報告書, 2017
- 7) 社団法人土木学会, 衛生工学実験指導書(プロセス編), 1981
- 8) 丹保憲仁, 小笠原紘一, 浄水の技術, 技法堂出版, 1985
- 9) 中村寿子, 曾根田研, 宮田雅典, 武安一志, ピコ植物プランクトンに起因する浄水処理過程、ろ過水への濁度漏出とその対策について, 日本水処理生物学会誌, 33 (4), pp.233-243, 1997
- 10) 公益財団法人水道技術研究センター, 高濁度原水への対応の手引き, 2014  
[[http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/keinenka/koudakudo/0\\_all.pdf](http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/keinenka/koudakudo/0_all.pdf)]

#### J. 謝辞

本研究を行うにあたり, 東北大学技術職員丸尾知佳子氏, 田中伸幸氏, および学生諸氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

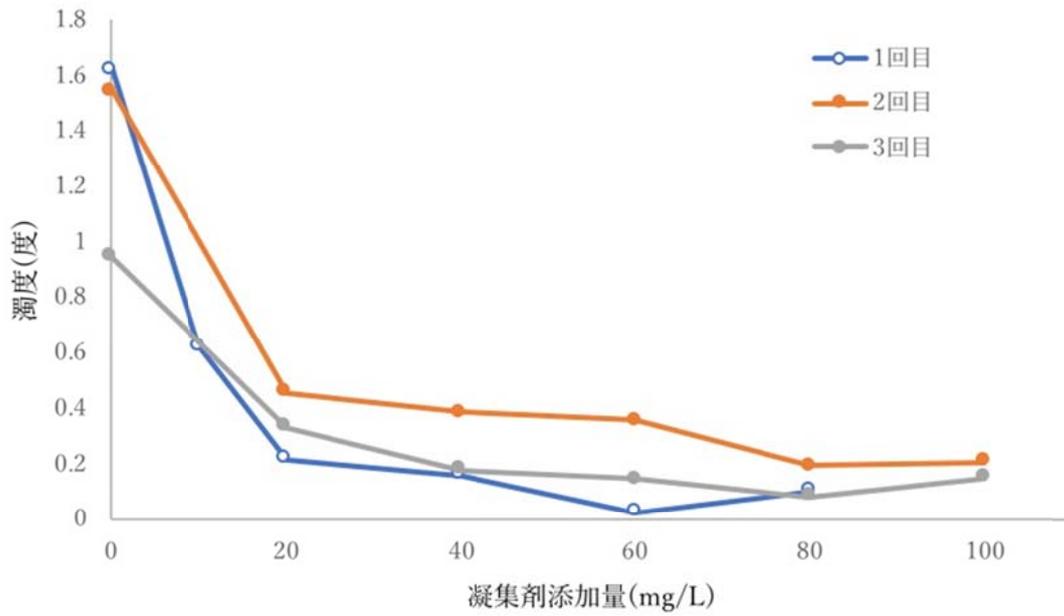


図-1 ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤添加量に対する濁度変化

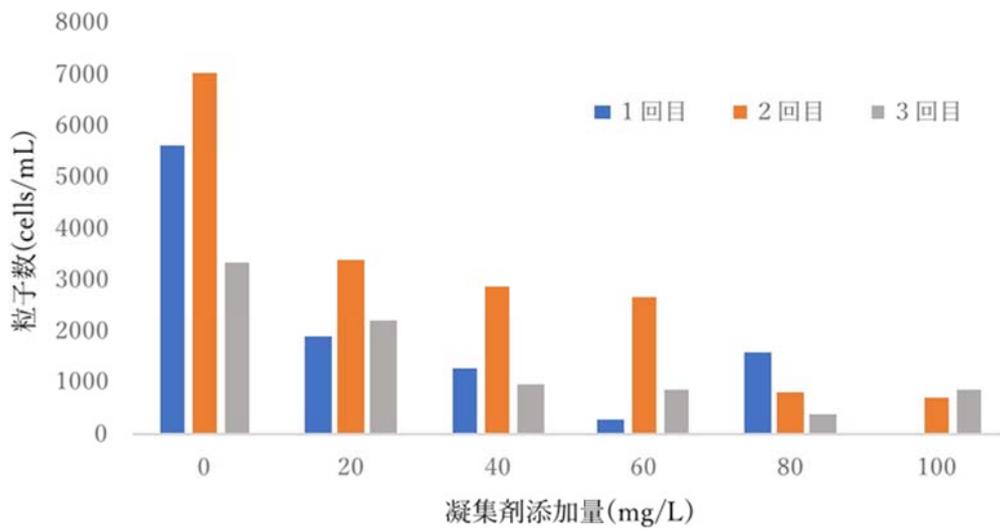


図-2 ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤添加量に対する総粒子数の変化 (1回目の実験では100mg/Lを行わなかった)

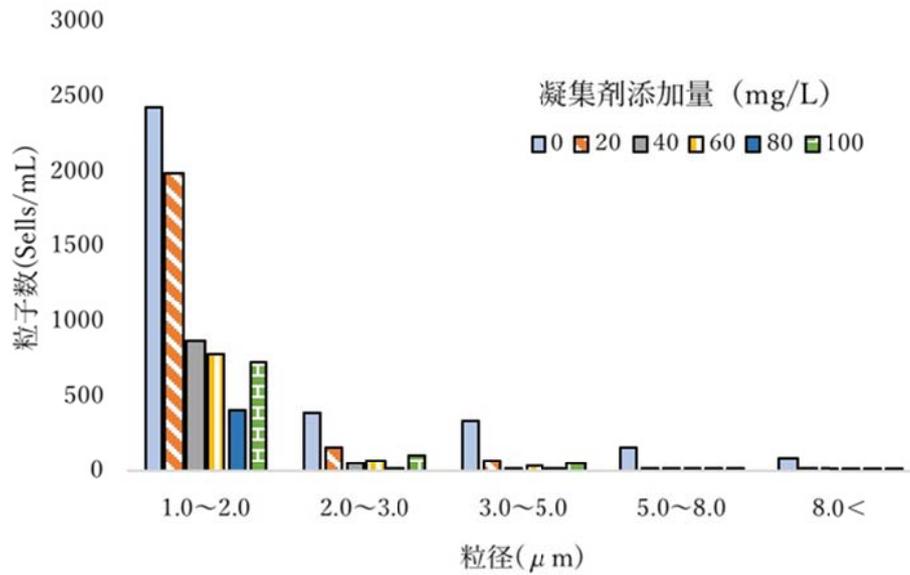


図-3 ピコ植物プランクトン懸濁液における粒径毎の粒子数の凝集剤添加量に対する変化

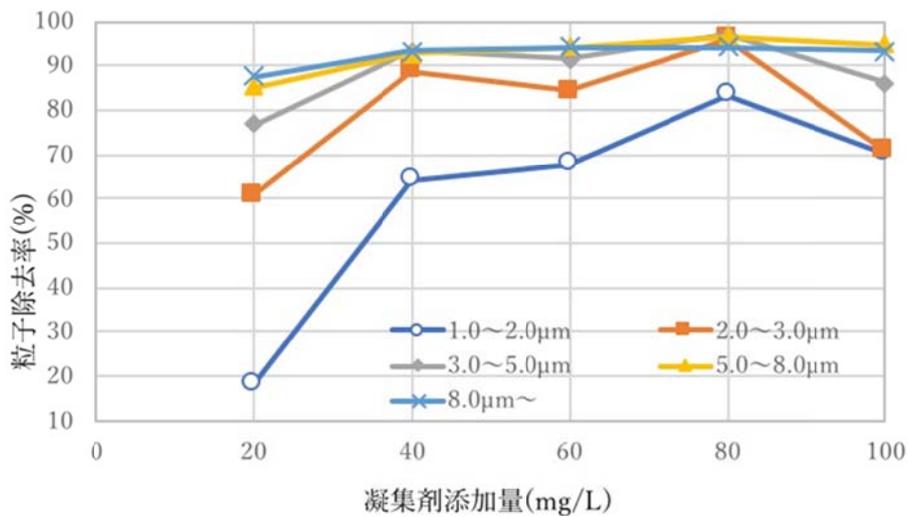


図-4 ピコ植物プランクトン懸濁液における凝集剤添加量に対する粒径毎の粒子除去率の変化

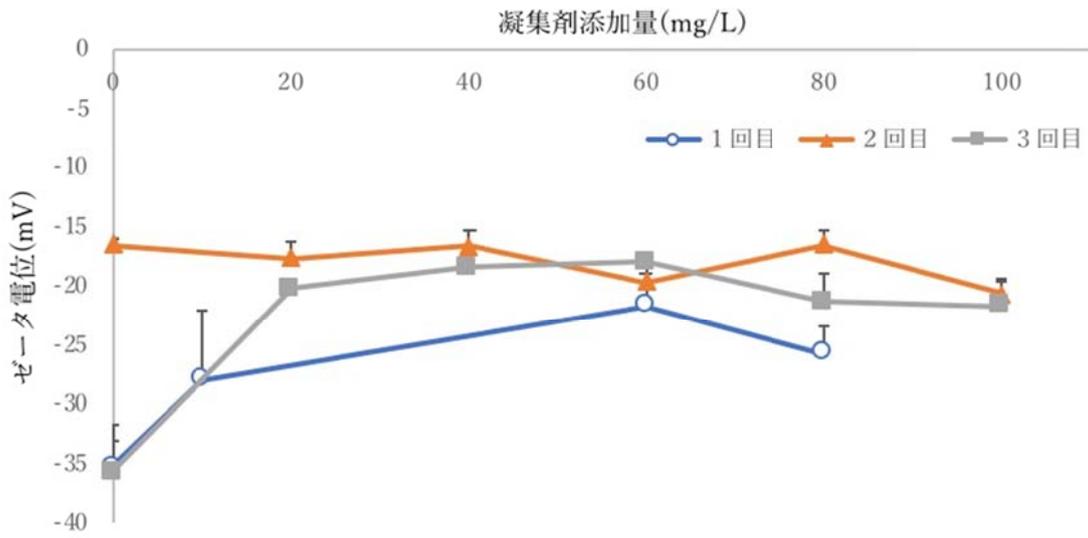


図-5 ピコ植物プランクトン懸濁液の凝集沈殿実験後の上澄水に残留する粒子のゼータ電位

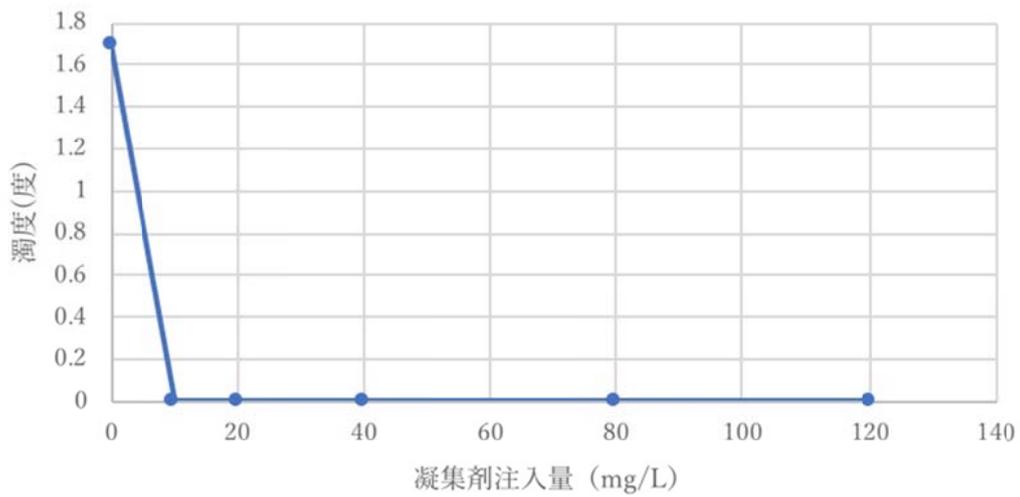


図-6 ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤添加量に対する濁度変化

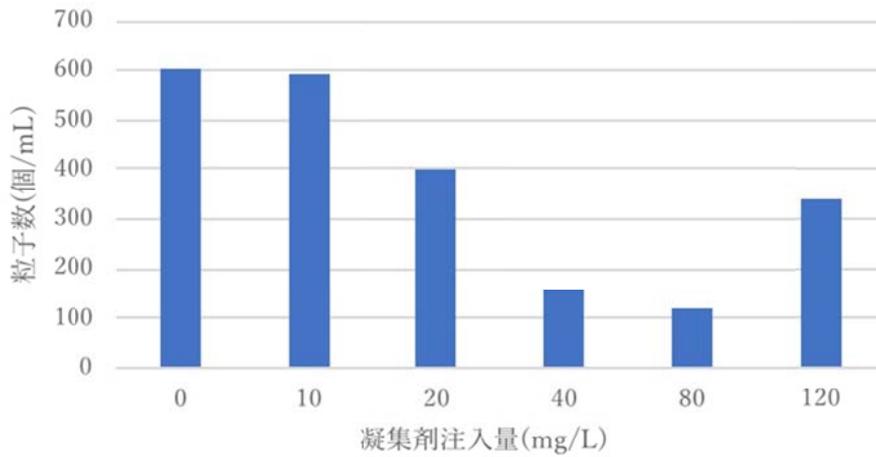


図-7 ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤添加量に対する総粒子数の変化

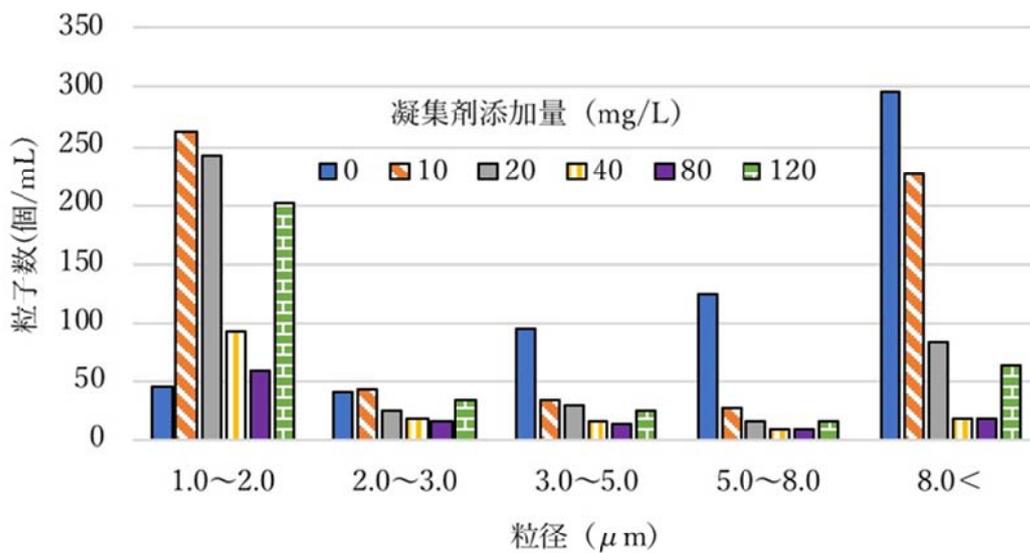


図-8 ポリスチレン系粒子懸濁液における粒径毎の粒子数の凝集剤添加量に対する変化

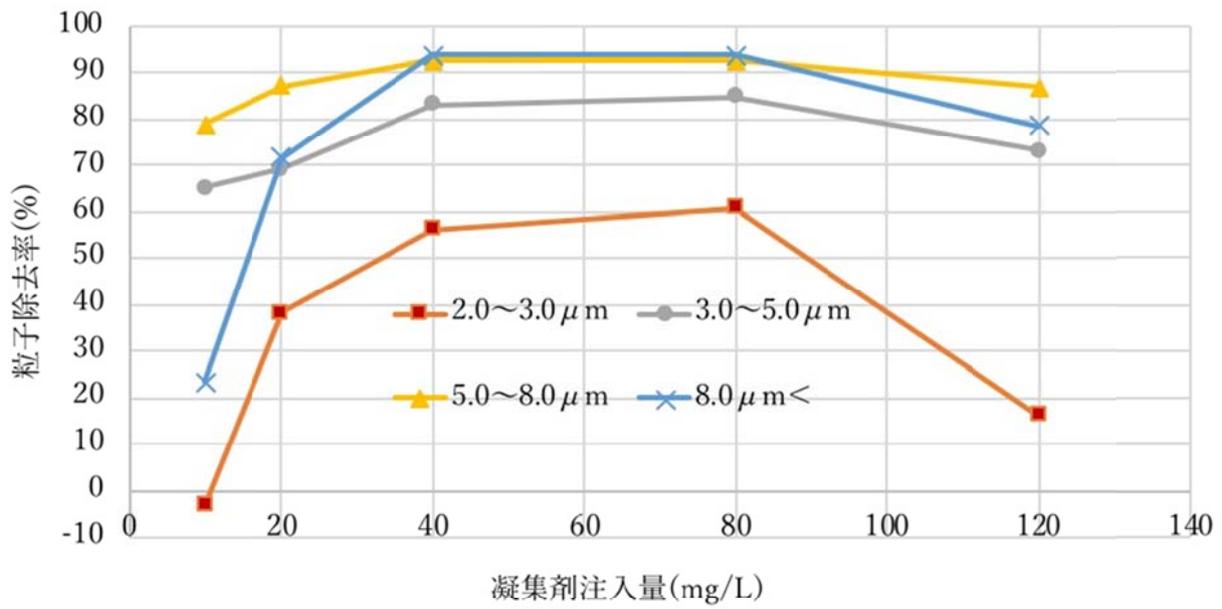


図-9 ポリスチレン系粒子懸濁液における凝集剤添加量に対する粒径毎の粒子除去率

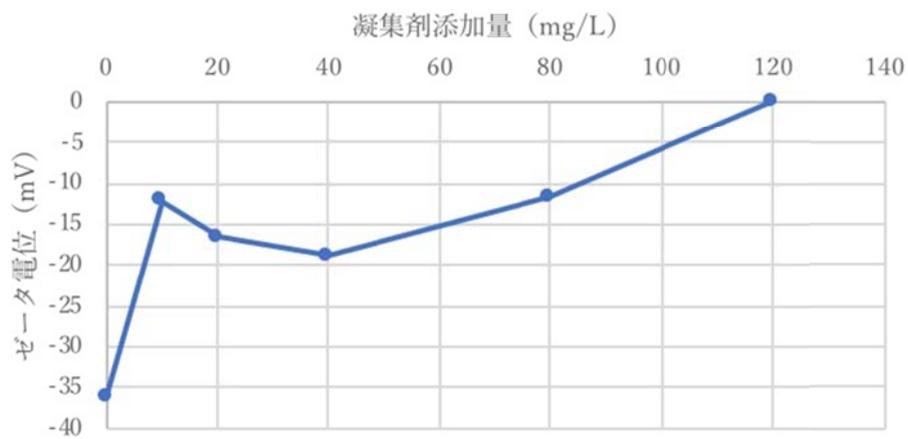


図-10 ポリスチレン系粒子懸濁液の凝集沈殿実験後の上澄水に残留する粒子のゼータ電位

