



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	浄水汚泥の活性度と循環使用による凝集沈殿処理水質の動き
Author(s)	海老江, 邦雄; 李, 宰昊; 玉川, 幸慎
Description	第5回衛生工学シンポジウム (平成9年11月6日 (木) -7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-9
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 171-176
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7727
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-4-9_p171-176.pdf



浄水汚泥の活性度と循環使用による 凝集沈殿処理水質の動き

北見工業大学 教授 海老江 邦雄
北見工業大学 学生員 ○ 李 宰昊
北見工業大学 学生員 玉川 幸慎

1. ま え が き

近年、活性炭吸着やオゾン酸化および膜ろ過などの高度処理に関する多数の研究が行われ、これまでより安全で良質な水が得られるようになった。今後、こうした高度処理の技術を十分に活用して行くためには、前処理としての凝集・沈殿・ろ過などの高効率化が重要な課題となってくる。

現在、多くの浄水場は高濁時に凝集剤の注入率を上げて対応している。凝集剤が高注入になると比重が小さく沈降性が悪いフロックが形成されるため、処理水の濁度や Al 濃度の上昇、およびスラッジ量の増加などの問題が起こっている。

浄水処理工程で発生するスラッジは、主に原水中の濁質と凝集剤として加えられた Al との混合物である。特に、凝集剤の高注入時に発生したスラッジ中の Al はかなりの凝集力を残しており、そうしたスラッジを直接、あるいは酸処理して循環使用すれば、凝集剤注入率の削減および処理水質の改善が可能になると考えられる。このような基本的考えに基づく浄水処理法が活性化スラッジ循環法である。

本研究は、実際の浄水場などにおいて同法の有効性を検証する前に、そのメカニズムや効果の程度などについて基礎的に検討したものである。すなわち、ジャーテストによるフロックの凝集力および浄水場汚泥の活性度の評価、さらに、スラッジ循環を伴うモデルプラントによる処理水質の改善効果についてなど、これまでに得られた成果について報告したい。

2. 繰返しジャーテストによるフロックの活性度および酸処理薬品の効果

沈殿汚泥を凝集系に戻す活性化スラッジ循環法では、沈殿汚泥の再凝集力の把握が重要になる。ここでは、PAC で凝集させたカオリンフロックを用いて、その再凝集力、酸処理時の最適 pH、酸処理用薬品（塩酸および硫酸）の選択などに関する基礎的なジャーテストについて述べる。

ジャーテスト用の試料としては、大学水道水にカオリンを 50mg/l および PAC を 7.5mg/l 注入して全量が 500ml になるように調整した。その試料を対象に、急速攪拌 5 分 (120rpm)、

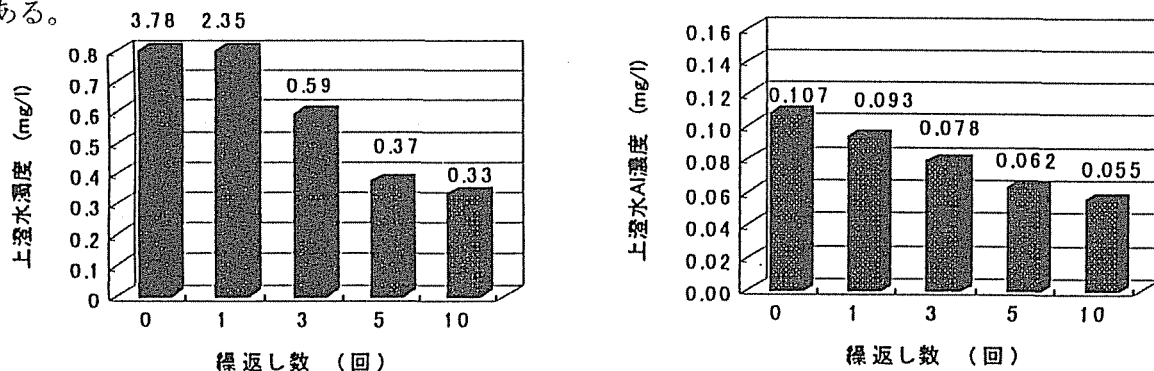


図 1. ジャーテストの繰返し数と上澄水濁度と Al 濃度の動き

1) 酸処理 pH : 5.5 2) 酸処理 pH : 5.0 3) 酸処理 pH : 4.5 4) 酸処理 pH : 4.0

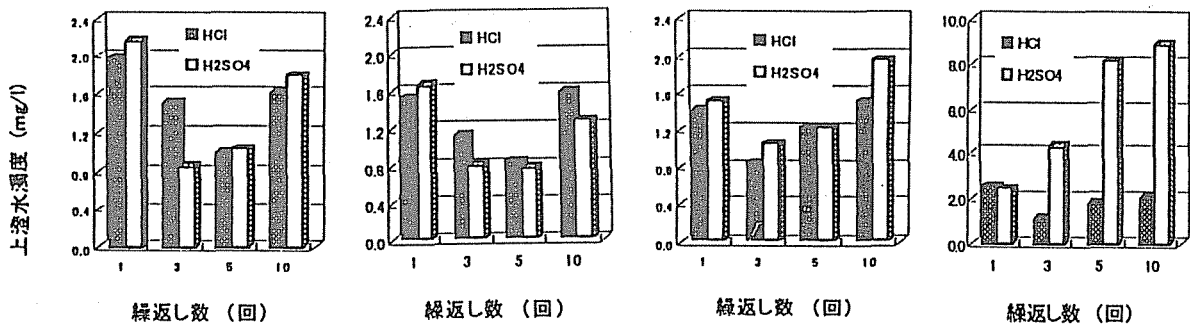


図 2. ジャーテストの繰返し数と上澄水濁度の動き

緩速攪拌 10 分(40rpm)、沈降時間 30 分と設定された条件でジャーテストを行った。その後、最適な酸処理 pH を定めるために、一旦形成されたフロックを含む試料水を塩酸または硫酸溶液を用いて pH 4、4.5、5、5.5、6.5 に調整した。さらにその後、試料の pH をカセーソーダを用いて最適凝集領域に高めて再びジャーテストを行った。このような方法でフロックの凝集・破壊を繰返し行い、上澄水の濁度およびアルミニウム濃度を測定した。その結果を図 1 と図 2 に示す。

最初に、繰返し 1 回の上澄水濁度を見ると、pH 4.5 までは、従来報告されているように、pH が低下するほど上澄水濁度は改善されている。しかしながら、pH 4.0 に低下させた場合には逆に上澄水濁度は悪化しており、PAC によるカオリンフロックの最適酸処理 pH は 4.5 近辺にあることが分かった。

ついで、ジャーテスト回数を増加させた場合の動きを細かく見て行きたい。図 1 は、最適凝集 pH 6.6~6.8 でジャーテストを繰返した場合の上澄水濁度および Al 濃度の動きを示している。この条件においては、フロックを溶解させるための酸処理については一切行っていない。これらの図を見ると、繰返し数の増加に伴って上澄水濁度および Al 濃度は徐々に低下している。このことは、ジャーテストを繰返すに伴って、当初は、十分に凝集が進行しなかったカオリンやアルミニウムを取り込みながら徐々に効果的なフロック形成が進行したことを窺わせる。また、濁度と

アルミニウムの除去傾向については、ほぼ類似している。

さらに、一旦形成されたフロックを塩酸処理した場合を図 2 で見ると、pH 5.5 と 5 では、5 回後までは繰返し数の増加に伴って上澄水濁度は低下しているが、10 回後には上昇している。また、pH 4.5 と pH 4 では、上澄水濁度は 3 回後までは繰返し 1 回よりも低下しているが、その後は繰返し数の増加に伴って少しずつ劣化している。

硫酸処理した場合の上澄水濁度は、pH 5.5 ~4.5 では塩酸処理の場合と同様に 3 回後までは低下しているが、それ以降は繰返し数の増加に伴って僅かな劣化が認められた。しかしながら、pH 4 では、硫酸による酸処理を行うごとに著しく上澄水濁度が劣化している。

これらのことから、凝集剤として PAC を使用した場合、塩酸と硫酸のいずれを用いて酸処理してもフロックの劣化は酸処理時の pH を低く設定するほど、繰返し数が少ないうちに起こることが分かった。また、酸処理用薬品の影響を比較すると、硫酸を用いた場合の上澄水濁度は塩酸を用いた場合より高くなり、フロックの劣化は塩酸使用時より早くに起こった。したがって、PAC で凝集させたカオリンフロックの場合、硫酸よりも塩酸による酸処理がフロックの劣化を抑えることが確認された。

PAC の一般的な化学式は $(Al_2(OH)_nCl_{6-n})_m$ と示されている。凝集剤として硫酸バンドまたは PAC を使用している浄水場の処理水を調

査すると、一般に、硫酸バンド使用の場合には硫酸イオン、PAC 使用の場合には塩素イオンが高い値を示す。それゆえ、PAC を使用する場合には、その化学式中にある塩素イオンを含む薬品を酸処理に使用の方が凝集に悪影響を及ぼす程度が少ないことが分かった。

3. 浄水場スラッジの活性度に関する検討

スラッジ循環法を実際の浄水場に適用する場合、そのスラッジがどの程度の効果を発揮するかを事前に推測することが重要となる。そこで、道東の4浄水場からスラッジを採取して、それらが持っている凝集力、すなわち、活性度をつぎのような方法で評価した。

実験方法としては、カオリン(関東化学)濁度 50mg/l の原水に pH 6.5 で調整した Al 1, 2, 3, 4, 5mg/l 程度を含んでいるスラッジに pH 3 で調整した Al 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mg/l 程度を含んでいるスラッジを注入し、急速攪拌(120rpm)5分、緩速攪拌(140rpm)10分および沈降時間 30分および pH 6.5-6.8 に設定してジャーテストを行い、上澄水の濁度を測定した。

図3に示した濁度除去率は、スラッジを注入しない20回のジャーテストで得られた上澄水濁度の平均値 32.6 mg/l を基準として算出したものである。その結果、除去率がほぼ直線を示す pH と Al 注入率 (pH 6.5 : Al 注入率 0~2mg および pH 3.0 : Al 注入率 0~0.2mg) の範囲から図4に示すような近似直線が得られた。それらの近似直線から勾配を求め、pH 6.5 と pH 3.0 におけるスラッジの活性度と定義した。それゆえ、この活性度(無次元)とは、つぎの式で示すように、1mg の Al を含むスラッジによって除去することができるカオリン量(mg)であり、フロックの活性度指標として使用することができるものと考えている。

$$\text{活性度 [無次元]} = \frac{\text{除去されたカオリンの量 (mg)}}{\text{加えたAlの量 (mg)}}$$

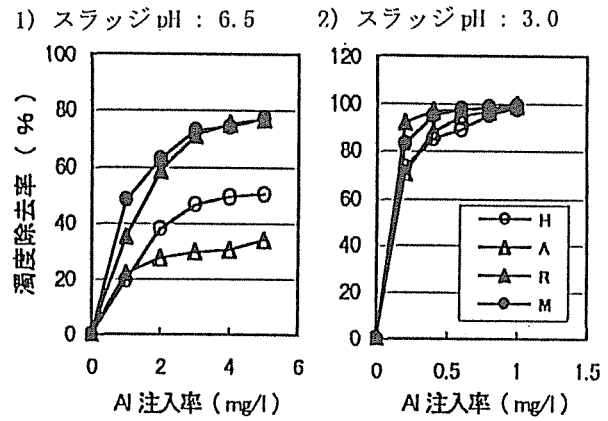


図3. スラッジ中の注入 Al 濃度による濁度除去率

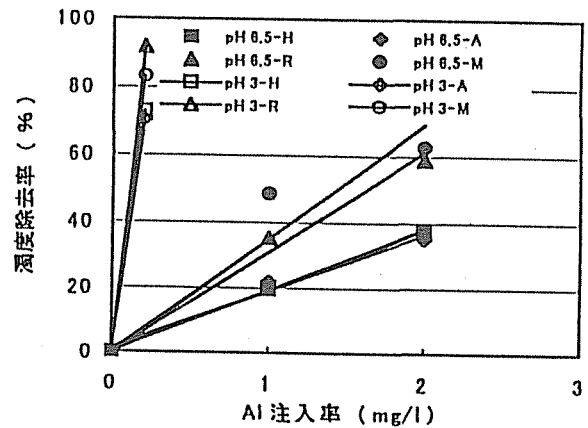


図4. スラッジ中の注入 Al 濃度による濁度除去率を用いた活性度評価

表1は、道東4浄水場の原水水質・凝集条件と pH 6.5 と pH 3 とにおけるスラッジの活性度指数を示している。

同表から、pH 6.5 における活性度指数は、M 浄水場が最も高い数値を示した。M 浄水場の場合、PAC 注入率については他の浄水場より低い、凝集工程で 3 mg/l 程度の粉末活性炭を注入していた。それゆえ、本来のスラッジだけでなく、そこに含まれている粉末活性炭の吸着力も加わって活性度が上昇したのではないかと考えている。また、二番目に高い活性度を示した R 浄水場の場合には、他の浄水場より原水色度が高いので、その色度成分を除去するために、凝集剤注入率が最も高くなったと考えられる。また、浄水場 M と R のスラッジを pH 3 で酸処理した場合には、スラッジ中に色度成分が多かった後者の活性度指数の方が高くなっている。

さらに、H と A 浄水場の場合には、後者の

凝集剤注入率は前者の2倍程強であった。しかしながら、A浄水場の原水色度が約47%高かったため活性度指数には殆ど有意な差は認められない。さらに、R浄水場のように、濁度が低く、色度が高い原水を処理するために多量の凝集剤を注入した場合には、活性度指数が高くなっている。これらのことから、スラッジ循環法の効果に関しては、フミン質を含むスラッジほど高い効果を発揮するのではないかと推測される。

表 1. 浄水場の原水水質、凝集条件
およびスラッジの活性度指数

浄水場	原水水質と凝集条件			スラッジ活性度指数	
	濁度 (mg/l)	色度 (度)	PAC 注入率 (mg/l)	pH 6.5	pH 3.0
M*	3.2	5.6	24.3	5.7	67.5
R	3.1	17.4	130.0	5.0	74.7
H	22.0	15.0	35.0	3.1	59.3
A	15.0	22.0	75.0	2.5	57.5

* 粉末活性炭注入率 : 3 mg/l

4. スラッジ循環法の効果に関する検討

スラッジ循環による処理効果を確認するために、図5に掲げる連続流のモデルプラントを用いて実験を行った。

運転条件としては、原水濁度をカオリン20mg/l、処理水量を3l/minと設定した。また、急速攪拌槽、2段のフロック形成槽および傾斜板を組み込んだ上向流式沈殿池の滞留時間はそれぞれ5.9、37.7および53.3分であった。

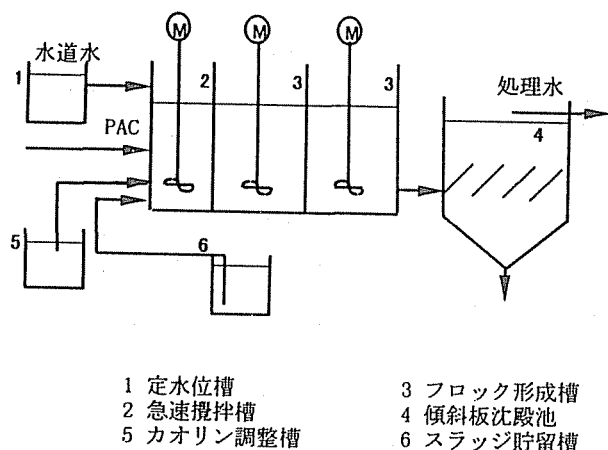
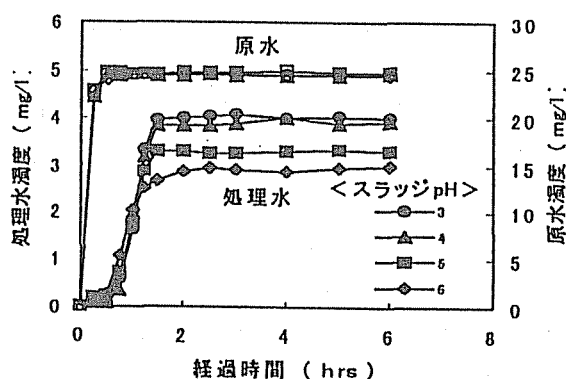


図 5. 実験装置のフローシート

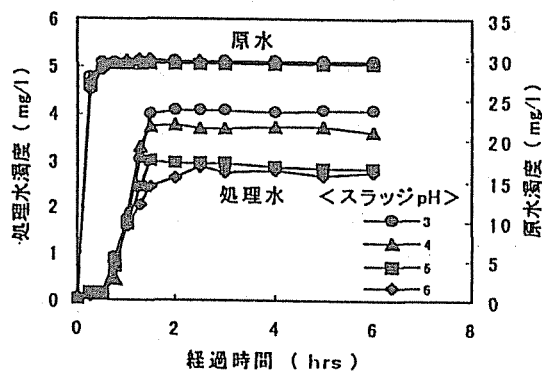
実験に用いた循環用の模擬スラッジは、本学水道水に所定量のカオリンとPACとを注入して調整し、20lの貯留槽に貯えておいたものである。

ここでは、凝集剤注入率(新規凝集剤とスラッジ循環による凝集剤の合計)一定のもとで、循環スラッジのpHおよび循環による濁度上昇が処理水濁度に及ぼす影響を調べるために、スラッジのpHを3, 4, 5および6の4条件に、また、カオリン濁度上昇量を5, 10および20mg/lの3条件に設定した。

1) 濁度上昇量 : 5mg/l



2) 濁度上昇量 : 10mg/l



3) 濁度上昇量 : 20mg/l

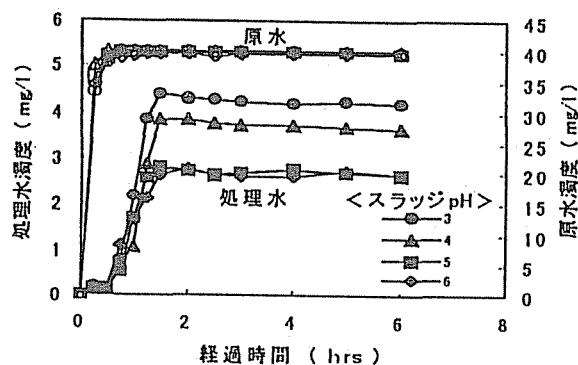


図 6. スラッジの酸処理 pH の変化に伴う濁度の動き

また、新規凝集剤(PAC)を7.5 mg/l およびスラッジ循環に由来する凝集剤15 mg/lを注入して濁質除去量および処理水濁度の動きを調べた。これらの実験結果を図6に示す。

図6から、循環スラッジのpHを3~6に調整した場合、いずれの濁度上昇量の場合にも処理水濁度はpHが高いほど低くなった。したがって、濁質としてカオリンを用いた場合、pH6に調整したスラッジを循環させた際に最も高い効果が認められた。また、スラッジ循環による濁度上昇の影響をpH6の場合について見ると、濁度上昇量が大きくなるに伴って濁質除去量が著しく上昇し、それと同時に処理水濁度が僅かに改善される傾向が見られた。このことは、今回用いたPACで凝集させたカオリンブロックのスラッジでは、酸処理するほどスラッジが再凝集し難い状態になることを意味している。

また、スラッジ循環による濁度上昇が高いほど高い効果を発揮したことは、スラッジに含まれる濁質が凝集助剤として作用したことを示唆している。

また、図7は新規のPAC注入率7.5 mg/lの下で、スラッジを循環させた場合とさせない場合における処理水濁度およびAl濃度を示している。ただし、スラッジ循環の場合には循環によるPACと濁度の上昇量はそれぞれ15 mg/l、20 mg/lとした。さらに、この場合、酸処理はpH3~6において行われている。これらを見ると、スラッジをpH5と6で酸処理して循環させると、循環させない場合より処理水濁度は約1 mg/l低下している。また、処理水Al濃度にも同様の改善が認められた。このように、スラッジ循環を伴うモデルプラント実験によって、濁度およびAl濃度が改善されることを確認した。

以上のことから、PACで凝集させたカオリンブロックからなるスラッジでは、pH5~6で循環効果が認められたが、逆に、フミン質を多く取り込んでいるスラッジの場合には、スラッジの酸処理pHがより酸性側の領域で循環効果が大きく現れることが前節の結果から予測される。フミン質の凝集領域はカオリンの非凝集領域に相当するpH3.8~5であり、フミン質を含むスラッジを活性化させるためには、この領域より低いpHで酸処理することが必要になる。その理由は、カオリンと比べてフミン質の表面積が極めて大きいこと、および、そのためにフミン質を含むスラッジの場合には、有効凝集剤の割合が減少していると考えられるからである。このように、カオリンとフミン質のスラッジ循環による効果は随分異なっているので、今後、フミン質のみを含むスラッジ、およびフミン質と濁質との2成分を含むスラッジなどを対象に研究を行うことが必要と考えている。

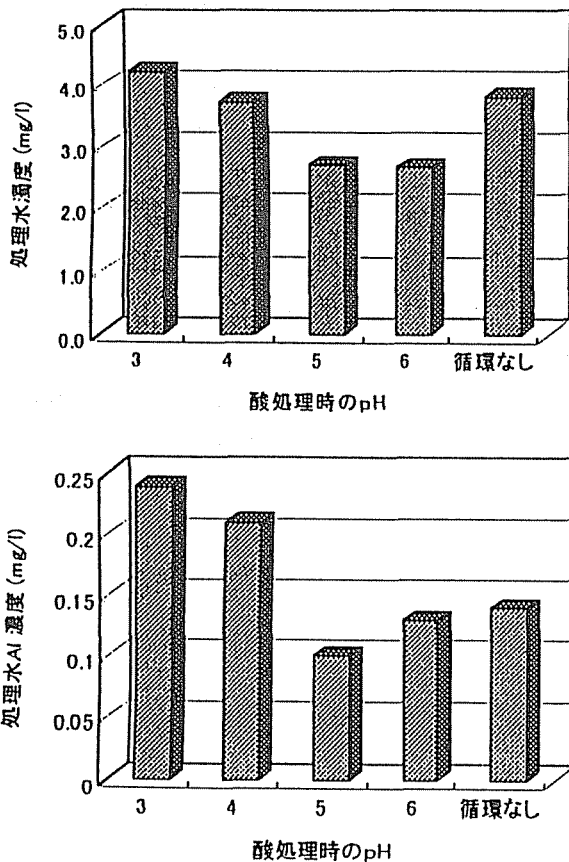


図7. 処理水濁度とAl濃度の平均値
(新規PAC注入率7.5 mg/l)

5. ま と め

今回実験によって得られた知見をまとめると以下のようである。

- 1) 沈殿汚泥の再凝集力を把握するために、最適 pH6.6 ~ 6.8 における繰返しジャーテストを行った。繰返し数の増加に伴って上澄水濁度と Al 濃度は低下した。これは凝集の最適 pH では、カオリンフロックは劣化しないことを意味している。
- 2) カオリンフロックの場合、硫酸、塩酸のいずれを用いて酸処理しても、繰返しジャーテストによってフロックは次第に劣化して行くことが分かった。
- 3) 酸処理薬品として塩酸と硫酸とを比較したところ、フロックの劣化程度が少ない塩酸を用いた方が良いことが分かった。
- 4) 道東の4浄水場から採取したスラッジの活性度（スラッジ中のアルミニウム 1mg が処理できるカオリン量(mg))を評価したところ、濁度が低く、色度が高い原水を処理するために、多量の凝集剤を注入した浄水場ほど活性度が高くなる傾向を示した。
- 5) 原水濁質としてカオリンを用いたモデルプラント実験では、スラッジが pH6 で循環させた際の処理水濁度が最も低かった。また、スラッジ循環による濁度上昇量が高い場合、処理水濁度は僅かに改善された。
- 6) モデルプラントを用いてスラッジ循環の有無による効果を確認した結果、PAC 注入率 7.5mg/l の場合、スラッジを循環させた方が処理水濁度および Al 濃度が低く、良い結果を示した。

- 52号、pp. 20-23、1996.2.
- 4) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法による凝集沈殿効果の向上、第47回全国水道研究発表会講演集、pp. 74-75、1996.5.
- 5) 富田伴一ら：凝集剤注入による浄水アルミニウム濃度への影響調査、水処理技術、pp. 13-19、Vol. 36、No. 4、1995.4.
- 6) 岐津 英明ら：汚泥の返送を利用した浄水処理効果、第45回全国水道研究発表会講演集、pp. 148-149、1994.5.
- 7) 岐津 英明ら：汚泥の返送を利用した浄水処理効果、第45回全国水道研究発表会講演集、pp. 148-149、1994.5.
- 8) 饗庭 喜和ら：ポリ塩化アルミニウムの性質と凝集特性、水道協会雑誌、第407号、pp. 7-11、1968.8.
- 9) 伴 繁雄ら：ポリ塩化アルミニウム凝集剤の基礎的研究、水道協会雑誌、第404号、pp. 18-29、1968.5.
- 10) 武田 福隆：水処理における凝集の理論的研究、pp. 1-8、水処理技術、Vol. 8、No. 10、1967.10.
- 11) 丹保 憲人：水処理における凝集機構の基礎的研究(I)、水道協会雑誌、第361号、pp. 2-12、1964.10.
- 12) 丹保 憲人：水処理における凝集機構の基礎的研究(III)、水道協会雑誌、第365号、pp. 25-37、1965.4.

＜ 文 献 ＞

- 1) 海老江邦雄ら：凝集沈殿効果の向上を目的とした活性化スラッジ循環法の基礎的検討、第48回全国水道研究発表会講演集、pp. 68-69、1997.6.
- 2) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法と凝集沈殿水質の改善、土木学会北海道支部論文報告集、第53号、pp. 676-679、1997.2.
- 3) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法による濁質の凝集沈殿に関する検討、土木学会北海道支部論文報告集、第