

低温濁水の急撹条件の適正化による処理性改善

Improving Treatability of Low Temperature and Turbidity Source Water by Using Optimized Agitation Conditions

北見工業大学 フェロー 海老江 邦 雄 (Kunio Ebie)
“ 学 生 員 ○山 木 暁 (Satoru Yamaki)
学 生 員 東 義 洋 (Yoshihiro Azuma)
学 生 員 水 森 豊 (Yutaka Mizumori)
金田一 貴 朗 (Takaaki Kinndaichi)

1.はじめに

急速撹拌条件は、設計指針値では G_R 値 $100s^{-1}$ 程度、 T_R 値 1~5min と示されており、現在多くの浄水場では G_R 値 $100s^{-1}$ 程度、 T_R 値 1min 程度の比較的弱く短い条件が採用されている。

積雪寒冷地では、冬期の低水温期に起こる凝集沈澱の処理性低下を抑制するために、上述した弱く短い急撹条件下においては、PAC 注入率を増加させることによって対応している。しかしながら、この方法では沈澱処理水中の濁度は十分に低減化できるが、凝集剤残留量、即ち、ろ過抵抗の指標である STI は高い値となる。これは、PAC 注入率を増加させると $Al \cdot T$ 比が大きくなり、低密で沈降性の悪いフロックが形成され、それらが処理水中に残留するためである。特に低水温においては、このような現象が顕著に認められる。

低水温における処理性の悪化を抑えるために、現在、沈降性の良いフロックを形成する鉄系凝集剤の使用や有機性ポリマーとの併用に関する研究が行われている。しかしながら、著者らは、これら新規の凝集剤を使わなくても、急速撹拌条件を適正化すれば、低水温時においても凝集剤の過剰注入なしに高い処理性を得ることができると考えている。

そこで、本論では Al 系凝集剤の PAC を用い、広範な急速撹拌 G_R 値及び T_R 値の条件のもとで凝集沈澱処理の高効率化(濁度除去、凝集剤残留量及び STI の観点)に関する検討を行った。

2.実験方法及び条件

1) 試験装置及び G 値の算出

写真-1 は新しく製作した凝集沈澱実験装置である。同装置は、矩形の水槽(縦 200mm×横 200mm×300mm)及び撹拌機(10~800rpm に設定可能)から成っており、その最大の特徴は通常のジャーテスターでは出せない大きな撹拌強度(最大 G 値 $3900s^{-1}$ 程度)で凝集試験を行うことが出来る点にある。 G 値の算出には次式(1)を用いた。

$$G = \{C \cdot A \cdot v^3 / (2 \cdot \gamma \cdot V)\}^{0.5} \dots\dots(1)$$

ここで、 C : 撹拌係数(1.5 を採用)、 A : 撹拌翼の面積(m^2)、 v : 撹拌翼の周辺速度(m/sec)、 γ : 動粘性係数(m^2/sec)、 V : 撹拌槽容量(m^3)

原水には、表-1 に示す北見工業大学水道水(深井戸水)を定温室内に予め貯留し、室温・水温とも一定(水温 : 2.0、20.0℃)に調整した後、表-2 の粒径分布を持つカオ

リンを所定濃度となるように注入したものを使用した。凝集剤としては道内の浄水場で多用されている PAC (Al_2O_3 含有率 10.5%、化学式 $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$ 、ここで、 $1 \leq n \leq 5$ 、 $m \leq 10$)を使用した。

2) 実験方法及び条件

凝集実験については、上述の原水 8L に凝集剤を注入した後、急速撹拌(G_R 値 $150 \sim 1350s^{-1}$ 、 T_R 値 1~10min)、緩速撹拌(G_S 値 $20s^{-1}$ 、 T_S 値 20min)、40min 静置(表面負荷率 $0.25cm/min$)の条件下で行い、上澄水を採水して水質分析に供した。凝集 pH 値に関しては、1N・HCl と 0.5N・NaOH とを用いて pH6.8 に設定した。 Al 濃度はオキシン法による吸光度法で定量した。

3) 吸引ろ過試験及び STI の算出

凝集沈澱の処理性を評価するために、吸引ろ過時間指標 STI(Suction Time Index)(無次元)を採用した。STI はすでに著者らに報告されている通り、凝集剤残留量及び

表-1 北見工業大学水道水(深井戸水)

項 目	測定値	項 目	測定値
水 温 ($^{\circ}C$)	9.5	蒸 発 残 留 物 (mg/L)	231
pH 値 (—)	6.5	塩 素 イ オ ン (mg/L)	16.1
濁 度 (mg/L)	<1.0	$KMnO_4$ 消 費 量 (mg/L)	0.5
アルカリ度 (mg/L)	57	全 鉄 (mg/L)	0.15
硬 度 (mg/L)	74.7	マ ン ガ ン (mg/L)	ND

表-2 カオリン 1mg/L 注入時の
粒子数(個/mL)とその割合(%)

サ イ ズ (μm)	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~7.0	>7.0
個 数 (個/mL)	1,137,028	43,656	5,621	243
割 合 (%)	95.83	3.68	0.05	0.02

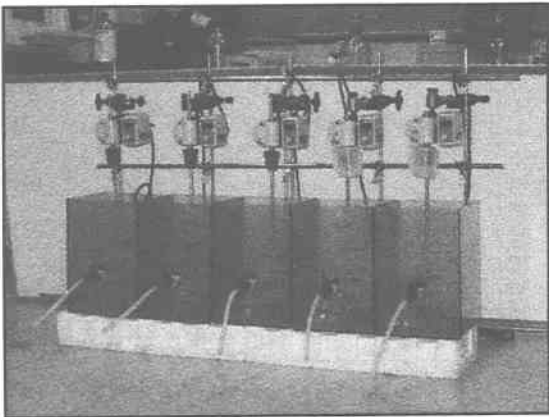


写真-1 凝集沈澱実験装置



写真-2 吸引ろ過装置

す吸引ろ過装置に(減圧容器、減圧用フィルターフォルダー、吸引ポンプ、到達真空度: 26.7kPa)に装着し測定した。なお、基準とした蒸留水 500mL の吸引時間は、水温 20℃では 60sec、2℃では 110sec であった。

$$\text{STI 値(無次元)} = \frac{\text{試料水 500mL の吸引時間(sec)}}{\text{蒸留水 500mL の吸引時間(sec)}} \dots\dots(2)$$

図-1 は、水温 20 及び 2℃における pH に伴う STI の動きを示している。同図より、いずれの水温の場合においても pH4.0 付近までは STI はほぼ 1 である。その後、pH6.4 付近までは、pH の上昇に伴い STI は急激に上昇し、その後は pH8.0 までほぼ安定に推移している。安定期における STI は、水温 20℃の場合では 4.8、2℃の場合では 6.0 となっている。このことは、低水温下において STI を低く抑えるためには、残留 Al の低減が常温時よりも重要であることを意味している。

今回の全ての実験は安定域内である pH6.8 で行っているため pH については問題ないが、水温の変化に伴い STI も変化するため、水温の設定は慎重に行った。

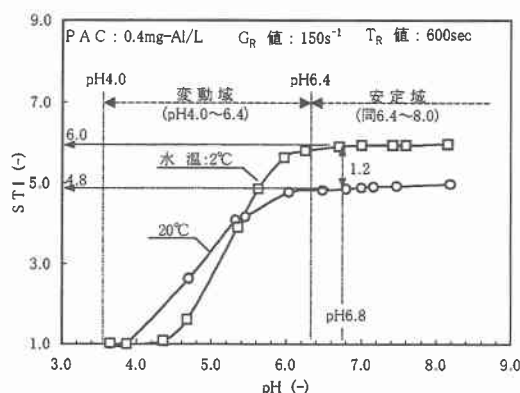


図-1 pH に伴う STI

3.実験結果及び考察

1) 従来の急攪条件における処理性

現在、多くの浄水場では比較的小さな一定の G_R 値で短い T_R 値を採用し、水温の低下により生じる処理性の悪化を注入率のみの調整によって沈澱処理水濁度を常温時と同等レベル、即ち 0.5~1.0mg/L の所定値まで低下させている。ここでは、そのような方法による凝集沈澱の処理性を明らかにしたい。即ち、 G_R 値を $150s^{-1}$ 、 T_R 値を 1min に設定し、PAC 注入率を順次増加させて凝集

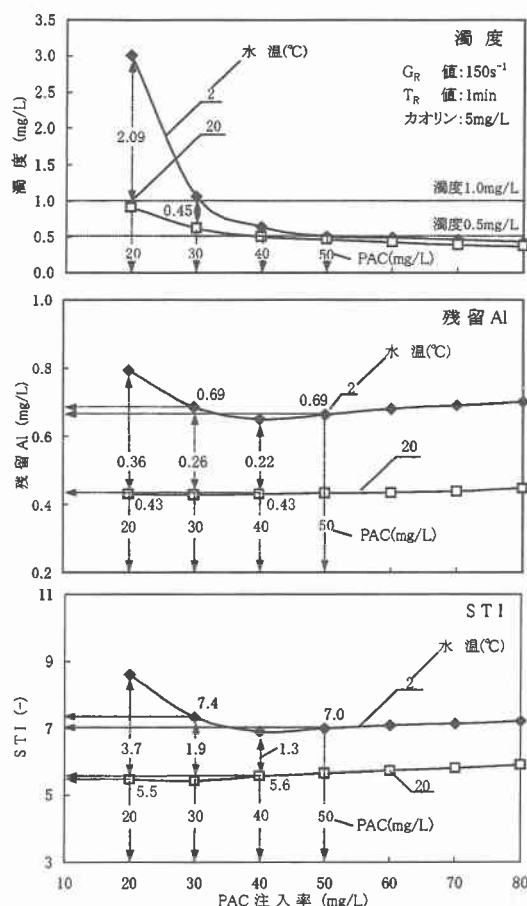


図-2 注入率に伴う処理性
(G_R 値: $150s^{-1}$ 、 T_R 値: 1min)

表-3 目標濁度の達成に必要な
PAC 注入率と処理水水質

水温 (℃)	目標濁度 (mg/L)	沈澱処理水水質			
		PAC (mg/L)	濁度 (mg/L)	残留 Al (mg/L)	STI (-)
20	1.0	20	0.92 (2.14)	0.43 (1.00)	5.5 (1.02)
	0.5	40	0.54 (1.26)	0.43 (1.00)	5.6 (1.04)
	最低値		0.43	0.43	5.4
	PAC (mg/L)	60	60	30	30
2	1.0	30	1.07 (2.18)	0.69 (1.06)	7.4 (1.07)
	0.5	50	0.51 (1.04)	0.66 (1.02)	7.0 (1.01)
	最低値		0.49	0.65	6.9
	PAC (mg/L)	60	60	40	40

試験を行い、水温 20 及び 2℃の場合における処理水濁度、残留 Al 及び STI の動きを調べた。

図-2 は、それらの試験結果を示している。同図より、濁度については PAC 注入率の増加に伴いに改善され、PAC20mg/L の時には 2.09mg/L であった水温 2℃と 20℃との差は、PAC50mg/L の時には殆ど無い。

次に残留 Al 及び STI について見ていくと、水温 20℃の場合では、注入率の増加による残留 Al 及び STI の変動は非常に僅かであったが、水温 2℃の場合では PAC40mg/L において最低値をとり、その後はいずれも上昇に転じている。これは、PAC 注入率の上昇に伴いフロックは低密となり、それらの中で濁質の取り込みが少なかった一部のフロックが残存し、水温が低い場合には

その影響が顕著に現れることを意味している。また、水温 2℃で残留 Al 及び STI が最低値となった PAC40mg/L においても、20℃との差は残留 Al では 0.22mg/L、STI では 1.3 と大きく、注入率を増加させても水温低下による処理性の悪化を抑制することはできなかった。

図-2 のデータから、処理水濁度 1.0 及び 0.5mg/L を達成するために必要な注入率を求め表-3 に掲げた。水温 2℃の場合における処理水濁度 1.0mg/L を達成するのに必要な注入率は、水温 20℃の場合に比べて 10mg/L 高い。この傾向は、処理水濁度 0.5mg/L の場合にも同様であり、これらの結果は、水温が低下した場合には濁度を低下させるために、常温時よりも高い注入率を要することを示している。また、残留 Al 及び STI について、これらの最低値に対する倍率を見ると、いずれの水温の場合においても濁度の倍率に比べてかなり低い。これらのことから、注入率の増減では残留 Al 及び STI の改善余地は殆どなく、図-2 では逆にこれらの値が上昇する場合が起こり得ること示している。

以上の結果より、 G_R 値 $150s^{-1}$ 、 T_R 値 1min において、凝集剤注入率を増加させる方法では、水温低下による濁度の上昇は抑制しうが、残留 Al 及び STI については、殆ど改善されないことが明らかとなった。

2) 急速搅拌 T_R 値の適正化

図-3 は、 G_R 値 $150s^{-1}$ において、 T_R 値を上昇させた時の処理性を示している。なお、以降に示す全ての実験は PAC20mg/L で行った。

まず、同図の濁度について見ると、いずれの水温の場合においても T_R 値の上昇に伴い濁度は低下する傾向を示し、特に水温 2℃の場合においてその低下割合は大きい。水温 20 と 2℃との差については、 T_R 値 1min では 2.09mg/L であったが、 T_R 値 5min では 0.18mg/L と大幅にその差は縮まっている。 T_R 値 5min 以上においてはそれ以上の大きな改善は見受けられなかった。

残留 Al 及び STI についても濁度と同様の傾向であり、水温による差は、 T_R 値を 1→5min にすることにより、残留 Al では 0.47→0.17mg/L、STI では 3.1→1.7 と、それぞれ 63.8%、45.2%、低水温による処理性低下は抑制されている。このことは、現在設計指針値において T_R 値は 1～5min と示されているが、 T_R 値 1min と 5min とでは後者の方が前者に比べ、その処理性は大幅に改善させており、また、水温低下に伴う処理性の悪化も大幅に抑制されることを示している。

続いて、処理性がほぼ安定した T_R 値 5min において、 G_R 値の適正化に関して検討を行った。

3) 急速搅拌 G_R 値の適正化

図-4 は、 T_R 値 5min における G_R 値に伴う濁度、残留 Al 及び STI の動きを示している。

まず、濁度について見ると、 G_R 値の上昇に伴い濁度は低下し、 G_R 値 $450s^{-1}$ において最低値をとり、その後は上昇に転じている。また、 G_R 値 150→450 s^{-1} にすることにより、水温 2℃及び 20℃のいずれの場合においても、それぞれ 60.0%(0.73→0.36mg/L)、76.6%(0.55→0.22mg/L)の高い改善が得られた。

残留 Al 及び STI についても、いずれの水温の場合に

においても G_R 値の上昇に伴い低下し、最低値となった G_R 値は $1000s^{-1}$ であった。水温低下に伴う残留 Al の上昇に

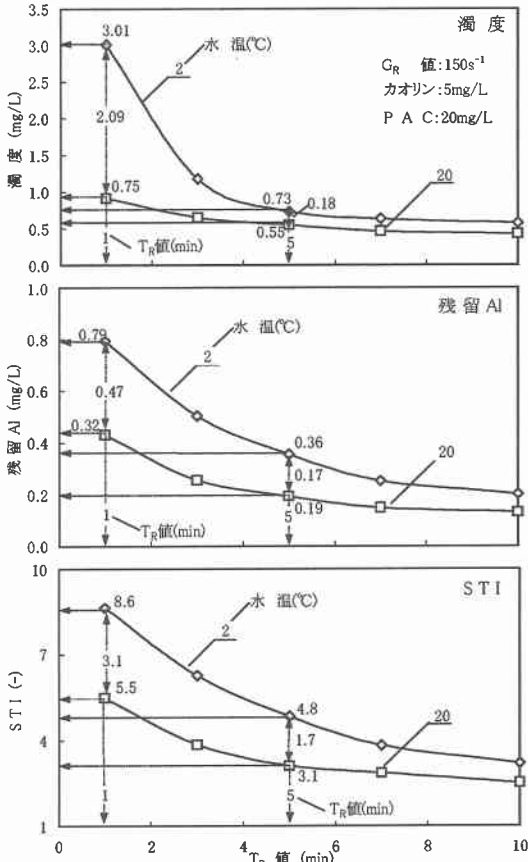


図-3 T_R 値に伴う処理性(G_R 値: $150s^{-1}$)

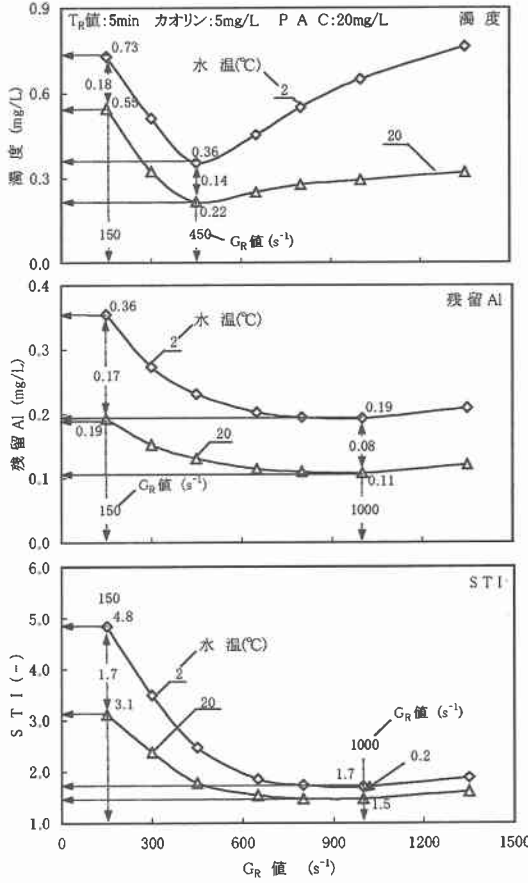


図-4 G_R 値に伴う処理性(T_R 値: 5min)

については、 G_R 値 $150s^{-1}$ では $0.17mg/L(20 \rightarrow 2^{\circ}C)$ 、 $0.19 \rightarrow 0.36mg/L$)であったのが、 G_R 値 $1000s^{-1}$ ではその半分の $0.08mg/L(0.11 \rightarrow 0.19mg/L)$ まで低下した。 STI 値についても同様に、 G_R 値 $150s^{-1}$ では $1.7(3.1 \rightarrow 4.8)$ 、 G_R 値 $1000s^{-1}$ では $0.2(1.5 \rightarrow 1.7)$ と、 G_R 値を最適値に設定した場合には、従来 G_R 値 $150s^{-1}$ に比べ、88.2%も水温低下による STI の上昇は抑制される結果となった。

以上の結果より、 T_R 値 5min において G_R 値を適正化することにより、水温低下に伴う処理性の悪化を大幅に抑制することができた。しかしながら、 G_R 値のみを適正化した場合には上述したような良好な処理性は得られない。表-4 は、各 T_R 値において従来 G_R 値 $150s^{-1}$ と最適 G_R 値の処理性とを比較したものである。

同表より、水温 $20^{\circ}C$ の場合について見ると、 T_R 値 1min では G_R 値を適正值に設定しても、従来 G_R 値 $150s^{-1}$ に比べ、濁度、残留 Al 及び STI 、それぞれ、29.3%、30.2%、18.2%と非常に僅かな改善率となっている。一方、 T_R 値 5min では、それぞれ 61.4%、42.1%、51.6%と大幅に改善率は上昇している。また、水温 $2^{\circ}C$ の場合においても、 T_R 値 1min における G_R 値の適正化による改善程度は非常に低かった。このことは、 G_R 値だけではなく T_R 値についても適正化を行わなければ、凝集沈澱処理効率のレベルアップには繋がらないことを示している。

以上の結果より、 G_R 値及び T_R 値を適正化すれば、ポリマーや鉄系凝集剤を用いなくても、低水温時においても常温時と同量の注入率でほぼ同等の処理性が得られることが明らかとなった。

表-4 各 T_R 値における従来と最適 G_R 値との比較

水	温	度	G_R 値	(s^{-1})	20			2		
					150	450	改善率(%)	150	450	改善率(%)
濁 度	T_R 値	(min)	1	0.92	0.65	29.3	3.01	2.38	20.8	
			3	0.65	0.37	43.1	1.22	0.55	54.9	
			5	0.57	0.22	61.4	0.73	0.36	50.7	
			7	0.46	0.17	64.1	0.63	0.29	54.4	
			10	0.43	0.14	66.0	0.57	0.26	55.4	
残 留 Al	T_R 値	(min)	1	0.43	0.30	30.2	0.79	0.69	13.0	
			3	0.26	0.16	38.5	0.50	0.28	78.6	
			5	0.19	0.11	42.1	0.36	0.21	41.7	
			7	0.15	0.09	40.9	0.25	0.16	35.2	
			10	0.13	0.08	41.5	0.20	0.12	39.6	
STI	T_R 値	(min)	1	5.5	4.5	18.2	8.6	7.7	10.5	
			3	3.5	1.9	45.7	6.3	3.7	70.3	
			5	3.1	1.5	51.6	4.8	1.7	64.6	
			7	2.9	1.4	50.0	3.8	1.5	60.5	
			10	2.5	1.3	48.0	3.2	1.5	52.5	

4) 攪拌条件の改善

表-5 は、従来の攪拌条件(G_R 値: $150s^{-1}$ 、 T_R 値: 1min)と最適攪拌条件(G_R 値: 濁度 $450s^{-1}$; 残留 Al 及び STI : $1000s^{-1}$ 、 T_R 値: 5min)における処理性とを比較したものである。同表において、従来の攪拌条件では水温の低下($20 \rightarrow 2^{\circ}C$)に伴い濁度、残留 Al 及び STI は、それぞれ $2.09mg/L(0.92 \rightarrow 3.01mg/L)$ 、 $0.36mg/L(0.43 \rightarrow 0.79mg/L)$ 、 $3.9(5.5 \rightarrow 8.6)$ と非常に高い上昇が認められた。それに対して、今回の実験から得られた最適急速攪拌条件では、濁度では $0.14mg/L(0.22 \rightarrow 0.36mg/L)$ 、残留 Al では $0.10mg/L(0.10 \rightarrow 0.21mg/L)$ 、 STI では $0.2(1.5 \rightarrow 1.7)$ と僅かな上昇であり、水温低下による処理性の低下は従来の急攪条件に比べ、それぞれ 82.1%、78.3%、93.5%

抑制されている。

以上の結果より、急速攪拌 G_R 値及び T_R 値を適正化すれば、低水温下においても、凝集剤の過剰注入なしに高い処理性を得られることが明らかとなった。

表-5 従来と最適急攪条件の比較

水 温	T_R 値	G_R 値	濁 度	G_R 値	残留 Al	STI
$^{\circ}C$	(min)	(s^{-1})	(mg/L)	(s^{-1})	(mg/L)	(-)
20	1	150	0.92	150	0.43	5.5
	5	450	0.22 (76.0)	1000	0.11 (74.4)	1.5 (72.7)
2	1	150	3.01	150	0.79	8.6
	5	450	0.36 (88.0)	1000	0.21 (73.5)	1.7 (80.2)
増加量 ($2^{\circ}C \rightarrow 20^{\circ}C$)	1	150	2.09	150	0.36	3.1
	5	450	0.14 (93.3)	1000	0.10 (72.2)	0.2 (93.5)

括弧内の数値は、 G_R 値 $150s^{-1}$ 、 T_R 値 1min を基準とした時の改善率(%)

4. ま と め

今回、PAC 使用時における低温濁水の処理性改善を目的として凝集実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) G_R 値 $150s^{-1}$ 、 T_R 値 1min の比較的弱く短い急攪条件の下で凝集沈澱処理を行う場合、水温低下に伴う処理水濁度の上昇は、PAC 注入率の増加により抑制できるが、残留 Al 及び STI の改善は殆ど認められない。
- 2) 従来、多くの浄水施設において急速攪拌時間 T_R 値は 1~5min の範囲で設定されてきたが、 T_R 値 1min と 5min とでは処理性は大幅に異なり、後者の方が良好な結果となる。
- 3) 処理性が良好となる T_R 値 5min において、 G_R 値も併せて適正化すれば、処理性は更に向上し、水温低下に伴う処理水の濁度、残留 Al 及び STI の上昇を大幅に抑制することができる。
- 4) 急速攪拌 G_R 値及び T_R 値の適正化は、低水温時における処理性の悪化の程度を大幅に改善させることに繋がる。
- 5) 凝集沈澱の処理性を向上させるためには、 G_R 値だけではなく T_R 値も併せて適正化する必要がある。

5. あと が き

一連の実験に協力いただいた北見市広郷浄水場の萩下隆係長及び高畑征夫係長、北見工業大学土木開発工学科上下水道研究室の輪島秀則技官及び学生各位に感謝の意を表す。

【 文 献 】

- 1) 海老江 邦雄、東 義洋、山 木 暁：凝集沈澱の処理性改善に関する基礎的検討— G_R 値の上昇による濁度と STI の低減化—、水道協会雑誌、第 71 巻、第 9 号(816 号)、pp.11~21、2002.9
- 2) 海老江 邦雄、東 義洋、山 木 暁ら： STI による凝集・沈澱・ろ過の処理性評価に関する検討、第 53 回全国水道研究発表会講演集、pp.140~141、2002.5
- 3) 海老江 邦雄、山 木 暁、東 義洋ら：Al 系・Fe 系凝集剤を用いた凝集沈澱における急速攪拌 G_R 値の検討、第 53 回全国水道研究発表会講演集、pp.92~93、2002.5
- 4) 浄水技術ガイドライン 2000：水道技術センター