

脱水機の適正な管理に関する調査

遠心脱水機の管理では直接汚泥の凝集状態を見ることができないことから、脱水分離液の性状（濁り、色、泡立ち等）、脱水汚泥含水率等を判断材料としている。特に脱水分離液の性状判断には、目視による判断というような経験が必要となる部分がある。そこで、測定機器による客観的な数値を基に、誰でも運転状態を把握できるような指標を作り出せないか調査することとした。

今回ピーカーテストや実機に関するデータを得られたが、これらは指標作成の端緒となるもので、今後長期のデータ収集を行って、検討することが必要である。

はじめに

札幌市の西部スラッジセンター及び東部スラッジセンターでは、運転開始以来札幌市下水道資源公社が総括管理の立場から、より効率的、経済的な運転について取り組んできた。その結果、脱水の際の薬注率を例にすると、図-1に示したように施設の運転開始後、年を経るごとに低下し、最近では0.3%前後で安定するようになった。参考に、全国の札幌市と同じく遠心脱水機で濃縮汚泥を脱水している事例について、下水道統計（平成29年版）を基にしたデータを図-2に示した。これは、年間実績固形物処理量1,000t以上の場合の、対応する薬品量等の58組のデータを抽出し、それらから単純に薬注率を算出してヒストグラムにしたものである。薬注率の中央値は0.65%となり、西部および東部スラッジセンターの0.3%前後の値は、全データの25%以下のところに位置すると考えられる。従って、全国の同様の脱水機の事例から考えると、中央値の半分程度の薬注率で運転していると考えることができる。

このように脱水機の薬注率でも、効率的な運転に努めてきたが、更に職員の技術力向上を図るため、運転状態の判断指標に関する調査を行うこととなった。

現在東部および西部スラッジセンターの脱水施設で運転されている図-3の概念図に示した遠心脱水機は、その構造上内部を直接観察することができない。そのため、機外に排出される脱水汚泥の含水率や分離液の状態（色、濁り、泡立ち等）、脱水機の差速等の機体の運転状態から脱水の状態を推測している。特に汚泥脱水の主要因子である高分子凝集剤添加による凝集の状態は、機内で凝集が起きていることから、直接見ることができず、分離液の状態から間接的に判断している。現状では目視による方法が主であり、個人差が入り込みやすく、経験の浅い職員では適正な薬注率で運転されているか判断することは難しい。

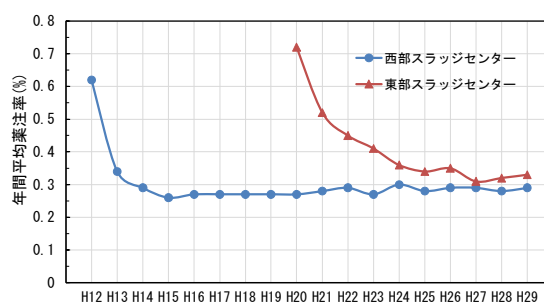


図-1 薬注率の経年変化

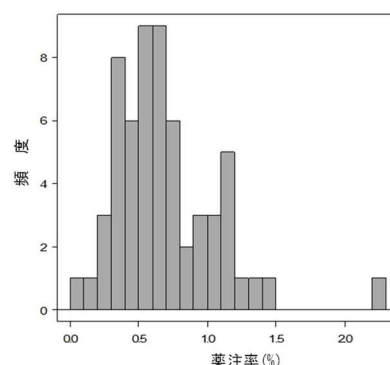


図-2 薬注率の分布

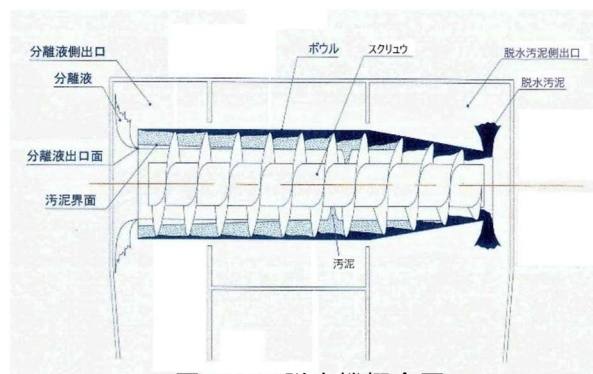


図-3 脱水機概念図

そこで、現在入手可能な測定機器を用い、客観的な数値に基づいて、判断を行える方法がないか調査を行い、最終的には何らかの判断指標を作成できないか検討を行うこととした。

1. 調査方法

今回の調査では、試験室内で行うビーカーテストと、運転中の実機の脱水分離液を試料とした調査を行った。ビーカーテストの目的は、一定の条件下で凝集・脱水を行い、それによって得た脱水分離液を用いて測定機器による測定を行い、その特性を調べようとするものである。また、実機における調査の目的は、ビーカーテストの結果を実機に応用可能か調べようとするものである。

1. 1 ビーカーテスト

東部スラッジセンターにて高分子凝集剤の汚泥への添加率と、汚泥の脱水性、脱水分離液の性状および測定機器による測定値の特性等について、ビーカーテストにより確認した。その際の条件等は、次のとおりである。

供試汚泥：東部スラッジセンターの脱水機供給汚泥を採取して試料とした。

供試汚泥量：高分子凝集剤添加率1条件に対し、600mLとした。

使用機器：攪拌機 ～ IKA ジャパン製 RW20（平型羽根）

卓上遠心脱水試験機（写真－1）～三陽理化学機械製作所製 SYK-3800-10A（最高回転数 4500rpm）

脱水分離液測定機器

①濁度計（写真－2）～笠原理化学工業製 TR-55、透過・散乱光測定方式、測定範囲 0～1100 度、測定波長 660nm

②透視度センサー（写真－3）～笠原理化学工業製 TP-30、レンズ集光式近赤外透過光測定方式、測定範囲 2～200 cm、測定波長 880nm

③色度センサー（写真－4）～笠原理化学工業製 CR-30、白金コバルト吸光光度方式、測定範囲 0～50 度、測定波長 390nm

高分子凝集剤：東部スラッジセンターの現用品（粉体、カチオン系）を試験の都度純水に溶解し、0.2%溶液として使用した。実機では、溶解に砂ろ過水を使っているが、水質に変動があり、ここでは条件を統一するため純水を使用した。



写真－1
卓上遠心脱水試験機



写真－2 濁度計



写真－3 透視度センサー



写真－4 色度センサー

高分子凝集剤添加条件：添加率は 0.25～0.50%（汚泥固形物に対する重量比で、0.05%間隔の添加率とした。）とし、相当量となる 0.2%溶液を添加した。

凝集条件：容量 1L のビーカーに所定量の汚泥を入れ、高分子凝集剤をシリンジで注入し、回転数 200rpm で 2 分間攪拌した。

脱水条件：目開き 80 メッシュ（175 μ m）のろ布製袋を卓上遠心脱水試験機内のバスケット（写真-5）に入れ、高分子凝集剤で凝集した汚泥を袋に投入して、10 分間脱水した。この試験機による脱水は、実機の脱水とは異なり、遠心力によりバスケット内の袋内面に汚泥層が形成され、水分が汚泥層からバスケット全面に開いている小孔を通過してバスケット外に排出される。分離液は全量を容器に回収した。脱水の際に発生する遠心加速度は、バスケットの直径（ ϕ 100 mm）と、想定される回転数から約 400G と考えられる。



写真-5 バスケット

脱水分離液測定項目：濁度、透視度、色度

※測定値が機器の測定範囲を超える場合は、試料を希釈して測定し、希釈倍率を測定値に乗じて、または測定値を除して希釈前の値とした。

脱水汚泥測定項目：含水率（下水試験方法 第5編第1章第6節による）

ビーカーテスト及び実機調査における統計処理は、統計ソフトウェア R(ver. 3.6.1)を使用した。

1. 2 実機調査

東部スラッジセンターの脱水機の脱水分離液について測定を行った。また、測定用試料採取時の脱水機の運転データも合わせて収集した。

測定頻度：測定は平日のみとし、2 回/日試料を採取した。

調査項目

- ・透視度、濁度、色度（ビーカーテストで使用した機器で測定）
- ・透視度（下水試験方法による）
- ・測定試料採取時の脱水機運転条件
- ・各日の汚泥分析結果

2. 結果および考察

2. 1 ビーカーテスト

今回の調査ではビーカーテストを期間中に 4 回行い、その際に使用した汚泥の濃度と強熱減量を表-1 に示した。

表-1 ビーカーテスト使用汚泥性状

回数	試験日	汚泥濃度(%)	汚泥強熱減量(%)
1 回目	12 月 27 日	2.7	89.4
2 回目	1 月 9 日	3.2	90.4
3 回目	3 月 13 日	2.6	80.0
4 回目	3 月 17 日	2.9	85.4

表にあるように、1、2 回目は冬季の汚泥で、強熱減量が 90% 程度であった。これに対し、3、4 回目は気温が上昇し始め、融雪が始まった春季の汚泥と考えられる。

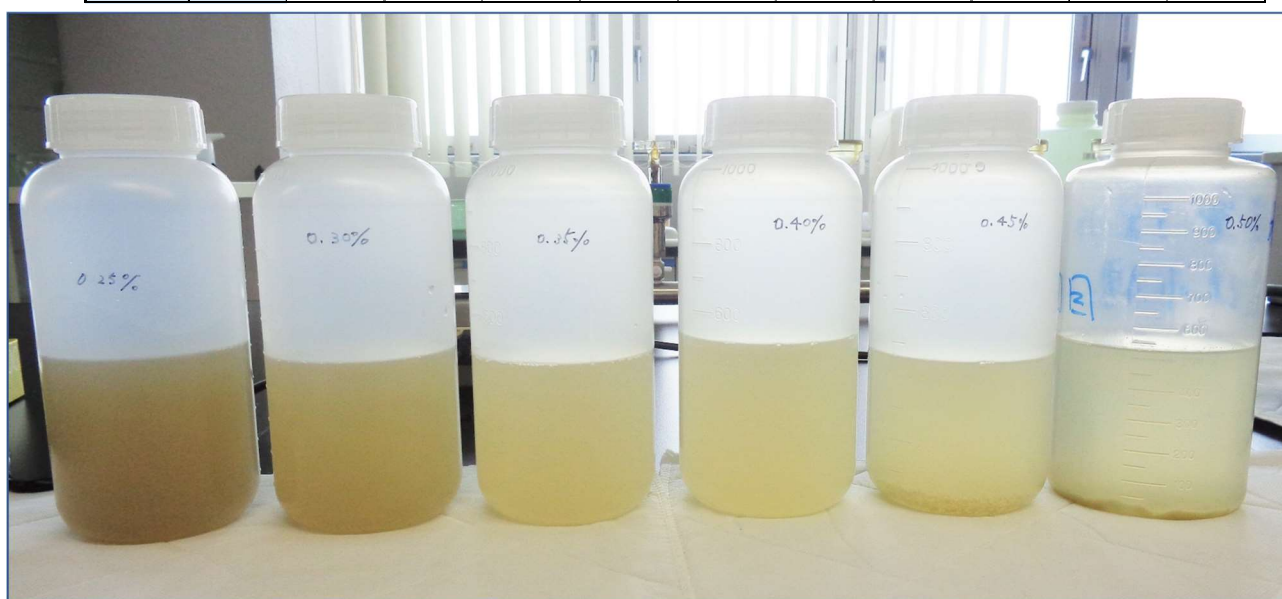
各回の測定結果等を表-2 に示した。なお、表中の透視度で下水試験方法によるものは、脱水分離液採取の際に測定したものである。

各回のテストで発生した脱水分離液の写真を写真－6～9に、表－2のデータを基に項目ごとに一つの図にしたものを、図－4～13に示した。

図は横軸が、固形物当りの薬注率と有機物当りの薬注率の2種類ある。通常、薬注率は対固形物比で示されるが、今回は汚泥の強熱減量（有機物量）による影響があるか確認のため、対有機物比の薬注率でも図の整理を行った。

表－2 ビーカーテスト結果

実施日	対固形物 高分子凝 集剤添加 率 (%)	透視度 (計器 cm)	透視度 (下水試験 方法、cm)	色度 (度)	濁度 (度)	分離液量 (mL)	凝集剤量 (mL)	脱水汚泥 (g)	脱水汚泥 含水率 (%)	高分子凝 集剤 (g)	対有機物 高分子凝 集剤添加 率 (%)
1回目 12月27日	0.25	0.6	0.9	2074	484	540	20.3	80.3	79.7	0.041	0.28
	0.30	0.8	0.8	1623	363	550	24.3	74.3	77.4	0.049	0.34
	0.35	1.2	1.1	1209	268	572	28.4	56.4	74.2	0.057	0.39
	0.40	2.1	1.5	837	182	587	32.4	45.4	74.8	0.065	0.45
	0.45	3.4	2.0	586	111	568	36.5	68.5	75.5	0.073	0.50
	0.50	3.9	2.6	471	97	554	40.5	87.0	78.4	0.081	0.56
2回目 1月9日	0.25	0.5	0.8	2678	642	565	24.0	59.0	72.6	0.048	0.28
	0.30	0.6	0.8	2098	502	561	28.8	68.3	70.8	0.058	0.33
	0.35	0.8	1.0	1732	382	564	33.6	69.6	71.2	0.067	0.39
	0.40	1.0	1.6	1501	317	575	38.4	63.4	70.4	0.077	0.44
	0.45	1.7	1.6	933	196	575	43.2	68.7	71.5	0.086	0.49
	0.50	2.7	1.8	636	133	566	48.0	82.0	74.5	0.096	0.55
3回目 3月13日	0.25	1.5	2.3	738	181	567	19.5	53.0	73.8	0.039	0.31
	0.30	3.0	3.4	419	94	566	23.4	57.4	72.9	0.047	0.38
	0.35	5.5	3.7	378	66	569	27.3	58.8	70.9	0.055	0.44
	0.40	9.3	4.5	197	46	580	31.2	51.2	70.9	0.062	0.50
	0.45	11	9.0	127	35	584	35.1	51.6	72.1	0.070	0.56
	0.50	12	6.4	161	35	565	39.0	74.0	71.9	0.078	0.62
4回目 3月17日	0.25	1.0	1.8	1183	252	560	21.8	61.8	71.6	0.044	0.30
	0.30	1.5	2.0	836	175	567	26.1	59.1	72.0	0.052	0.35
	0.35	2.3	2.6	1708	144	582	30.5	48.5	71.2	0.061	0.41
	0.40	3.9	2.5	404	91	594	34.8	40.8	71.0	0.070	0.47
	0.45	5.4	3.5	328	62	578	39.2	61.2	71.3	0.078	0.52
	0.50	2.5	4.0	281	117	545	43.5	98.5	72.4	0.087	0.58



12/27 分離液（左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%）

写真－6 1回目ビーカーテスト分離液



1 / 9 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)
写真-7 2回目ビーカーテスト分離液



3 / 13 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)
写真-8 3回目ビーカーテスト分離液



3 / 17 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)
写真-9 4回目ビーカーテスト分離液

2. 1. 1 含水率

図-4、5は高分子凝集剤添加後の汚泥を、卓上遠心脱水試験機で脱水した後の含水率を示した。図-4は固形物当りの高分子凝集剤添加率、図-5は有機物当りの高分子凝集剤添加率を横軸としている。図-6、7は添加した凝集剤の液量分を除外した脱水分離液量と薬注率の関係を示した。横軸は、図-4、5と同じく、図-6が固形物当り、図-7が有機物当りの薬注率としている。写真-10には凝集前汚泥、写真-11には凝集後汚泥、写真-12には試験機上方から見た脱水後のバスケット内の脱水汚泥の状態を示した。

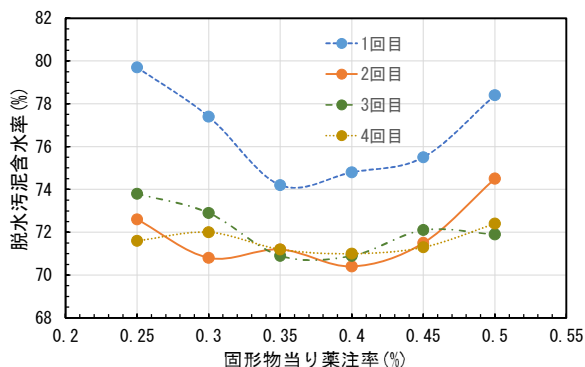


図-4 脱水汚泥含水率 vs. 薬注率(対固形物)

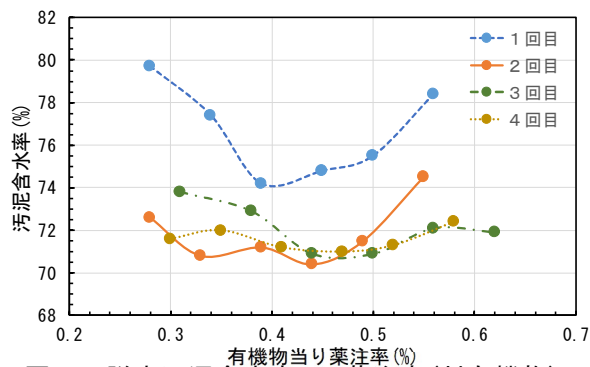


図-5 脱水汚泥含水率 vs. 薬注率(対有機物)

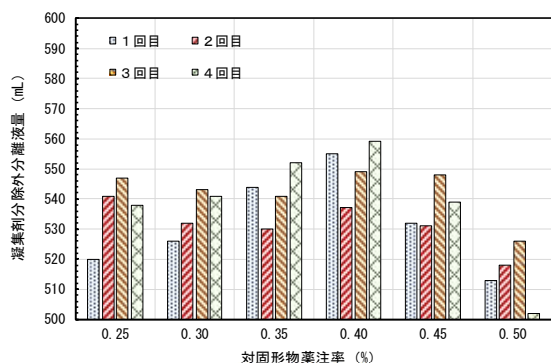


図-6 分離液量 vs. 薬注率(対固形物)

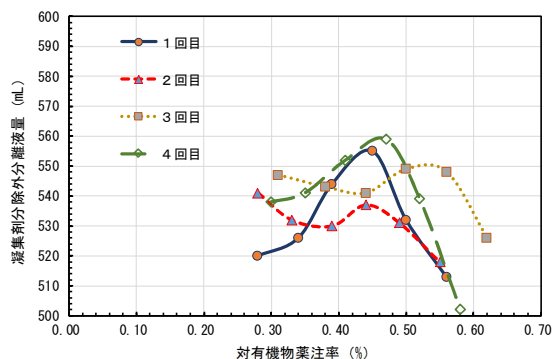


図-7 分離液量 vs. 薬注率(対有機物)

写真-12中の白色のものはろ布製袋で、その内側の茶褐色のものが脱水汚泥である。凝集後の汚泥をバスケット内の袋に投入後脱水すると、脱水汚泥はどの条件でも、写真のように試験機内のバスケット内周に、一定の厚さで形成されていた。

薬注率を脱水という現象の二つの面から考えてみた。一つは図-4、5に示した脱水汚泥含水率の測定結果を指標とした場合、もう一つは図-6、7に示した投入凝集剤液量を除外後の脱水分離液量を指標とした場合である。

脱水汚泥含水率の最低値を指標とすると、固形物当りの薬注率は0.35~0.40%程度、有機物当りの薬注率では0.4~0.5%の場合が最低値となる添加範囲ではないかと考えられる。また、脱水分離液量の最大値を指標とすると、固形物当りの薬注率は0.40%程度、有機物当りの薬注



写真-10 凝集前汚泥



写真-11 凝集後汚泥



写真-12 脱水汚泥

率では0.45~0.5%の場合が最大値となる添加範囲ではないかと考えられた。

分離液量は汚泥をバスケットに投入した時点で、重力によりろ布を通過して試験機外に排出されたものと、遠心力を作用させることにより排出されたものの合計となっている。脱水汚泥含水率最低又は分離液量最大となる範囲の薬注率の場合は、凝集汚泥のバスケット投入時点で排出される分離液量に対し、遠心力を作用させることで排出される分離液量は僅かである。これに対し、その範囲の薬注率を外れた場合は、バスケット投入時に排出される分離液量は減少し、遠心力を作用させることによって排出される分離液量が多くなることが観察された。

バスケット投入時に排出される分離液量の差異は、次のようなことが原因として考えられる。脱水汚泥含水率最低となる薬注率（以下「適正薬注率」とする。）より低い薬注率の場合は、薬品の不足による汚泥粒子のフロック形成不良、適正薬注率より高い薬注率の場合は、過剰な薬品添加による粗大なフロック形成により、汚泥粒子からの水分分離が不良となったと考えられる。

2回目と3回目では、汚泥の強熱減量は10ポイント程度異なっていたにもかかわらず、適正薬注率は同程度となった。これは、この汚泥の特性ということも考えられるが、他の季節での確認もしないと断定はできない。

薬注率を固形物、有機物どちらを基準とした場合でも、ある薬注率の範囲（適正薬注率）を外れると脱水汚泥含水率が上昇する結果となった。高分子凝集剤を用いた脱水の場合に、適正薬注率が存在し、それを外れると脱水汚泥含水率の低減効果が弱まるということが明らかである。これは、汚泥の強熱減量に関係なく見られた現象である。

脱水機の実機の運転では、汚泥の強熱減量低下に伴い、薬注率も低下する傾向にあり、ピーカーテストの結果とは異なるように思える。しかし、実機の場合は処理基準（脱水汚泥含水率、固形物回収率）を満たし、かつ経済的な運転をするという条件がある。そのため、実機ではそれらの条件を満足できる薬注率に調整しており、ピーカーテストの結果との差異を生じさせているのではないかと考えられる。

2. 1. 2 透視度

図-8、9には薬注率と透視度の関係を示した。透視度は計測器（透視度センサー）による値を示している。なお、試料そのままでは計測器の計測範囲下限を外れたため、希釈して測定を行い、希釈倍率で除した測定値を透視度とした。透視度は、薬注率が高くなるにつれて値が大きくなる傾向にあった。この際には、脱水汚泥含水率で最適薬注率と判断される範囲を超えても、透視度の値が頭打ちになるというような現象は見られなかった。特に有機分が80%の3

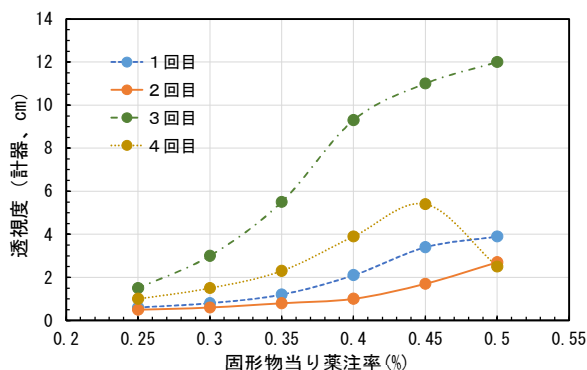


図-8 透視度 vs. 薬注率(対固形物)

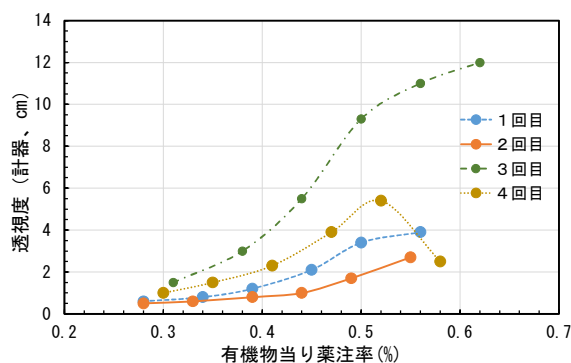


図-9 透視度 vs. 薬注率(対有機物)

回目の場合には、薬注率が高くなるにつれて他の条件との値の差が大きくなる傾向にあった。

同一薬注率で考えると、明らかに透視度は汚泥の強熱減量の値に対応した値の変化が見られた。

2. 1. 3 濁度、色度

図-10・11には濁度の測定結果、図-12・13には色度の測定結果を示した。濁度の場合には分離液は希釈せずそのまま測定したが、色度は希釈したため、測定後に結果を希釈前の値に換算した。

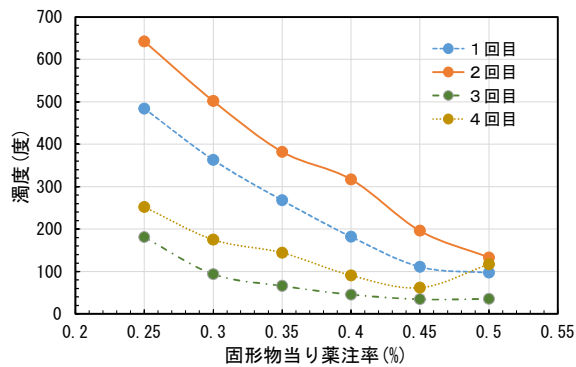


図-10 濁度 vs. 薬注率(対固形物)

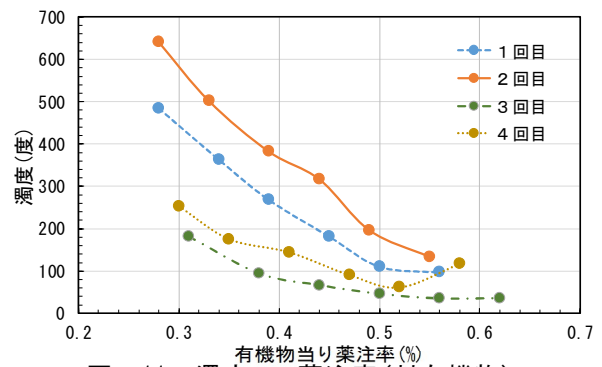


図-11 濁度 vs. 薬注率(対有機物)

図-10・11の濁度の結果を見ると、薬注率が高くなるに従い、濁度の値は低くなっていく傾向を示した。曲線の状態を見ると、0.5%を超える注入率で、濁度はある値に収束するようにも思えるが、今回はその点については調査を行わなかった。

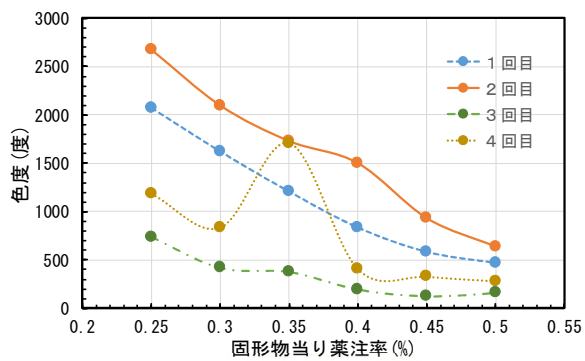


図-12 色度 vs. 薬注率(対固形物)

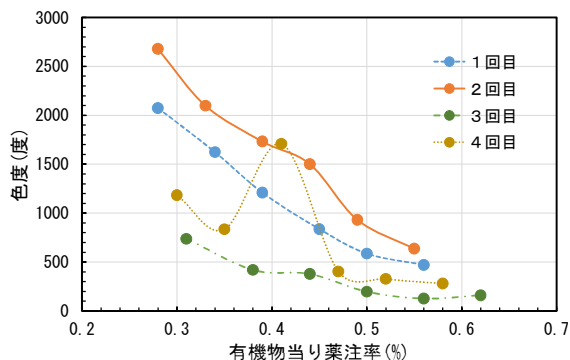


図-13 色度 vs. 薬注率(対有機物)

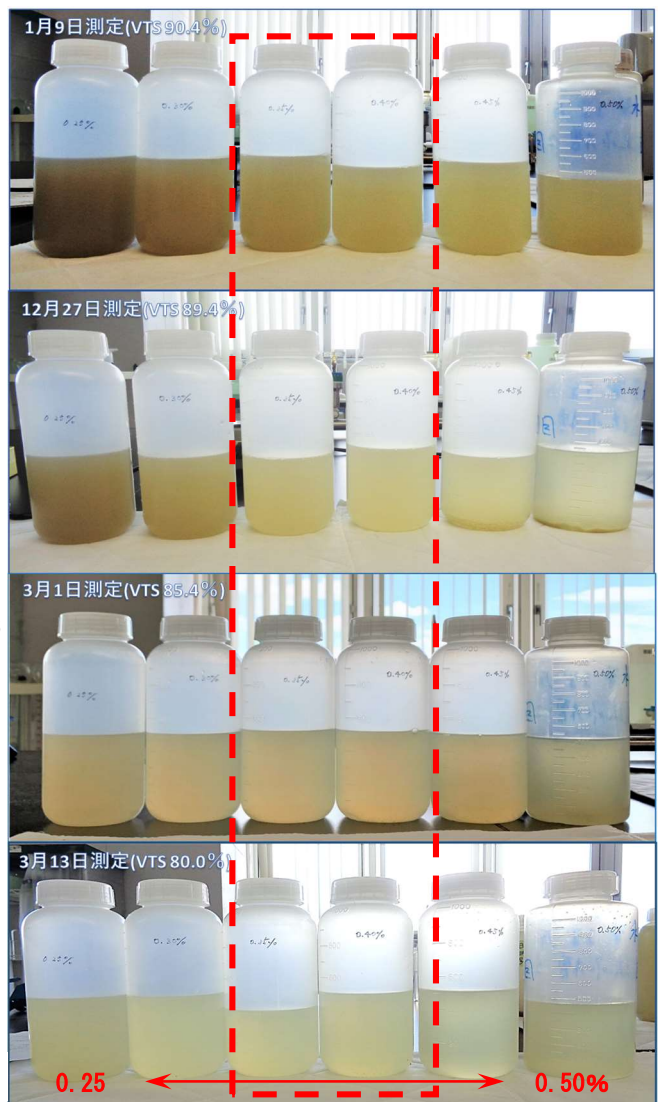


写真-13 全ビーカークテストの脱水分離液

図-12・13の色度の結果では、濁度の変化と同様の傾向が見られた。但し、4回目の試験結果で1点だけ異常値とも思える値があったが、その理由は不明である。

濁度・色度共に同一薬注率において、透視度と同じく汚泥の強熱減量の値に応じた値の高低が見られた。

写真-6～9と、それらを強熱減量の順に配置した写真-13を見ると、強熱減量が高く、薬注率が低い場合には、脱水分離液の色は茶色がかった黄褐色であるものが、強熱減量が低く、薬注率が高くなると、茶色が薄まり、薄い黄褐色になるという変化が分かる。また、薬注率が高い場合は、分離液の色が薄くなるとともに、ポリ瓶の底に凝集剤によって形成されたと思われる沈殿物が見られた。

写真-13中の赤色枠（破線）内は、最適薬注率の範囲内の脱水分離液である。最適薬注率であっても、強熱減量の違いによって、脱水分離液の外観に大きな差異があることから、目視による脱水状態の判断には、脱水機の運転条件や汚泥性状等に関する体系的な裏付けが必要になると考えられる。

濁度と色度のデータが、類似の変化傾向を示していたので、両者に相関があるか検定を行った。データの分布状態は、図-14に示したとおりである。検定を行った結果は次の通りであった。

- ・相関係数 : 0.948
- ・95%信頼区間 : 0.88～0.977
- ・P値（有意確率） : 2.12×10^{-12}

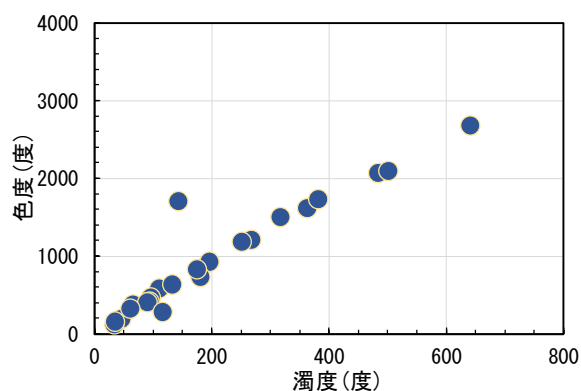


図-14 色度 vs. 濁度（ビーカーテスト）

ここでP値（有意確率）が、危険率0.05（一般的には0.05又は0.01が使われる）より小さな値であることから、帰無仮説（この場合は両変数間には相関がない）が棄却されて対立仮説が選択される。従って、この検定においては、両者の間には有意の相関があると考えられる。

濁度として測定されている物質は、本来水中の懸濁物質を対象としているのに対し、色度として測定されている物質は、溶解性及びコロイド性物質を対象としている。従って、今回使用した機器では、異なる波長で測定されている。そのため、濁度と色度の測定結果は、同一の物質を測定したものとは考えにくい。しかし、二つの項目の間には相関関係が認められたことから考えると、濁度或いは色度から他方の値を推測することは可能ではないかと考えられる。

2. 1. 4 計測器による測定

今回測定に使用した3種類の計測器の測定値について、何らかの関係が見られるか確認のため、データを一つの図にプロットしたものを図-15に示した。

図-15から、透視度に対して濁度と色度は、ほぼ同じ関係にあるのではないかと考えられた。そこで、図-16では図-15の曲線的なデータ分布を、直線的なものに変換できないか縦・横軸をそれぞれ等間隔から対数軸に変更してみたところ、濁度・色度共に透視度に対して両対数軸の図上では、ほぼ直線的な分布になることが分かった。次に、3つの項目の各データについて対数を取り、それをを用いて相関を算出するとともに、透視度と色度及び濁度間の相関に関する

検定を行った。その結果を表-3、4に示した。

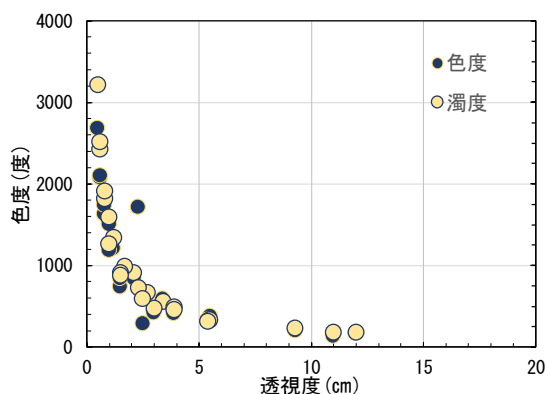


図-15 色度、濁度 vs. 透視度(等軸)

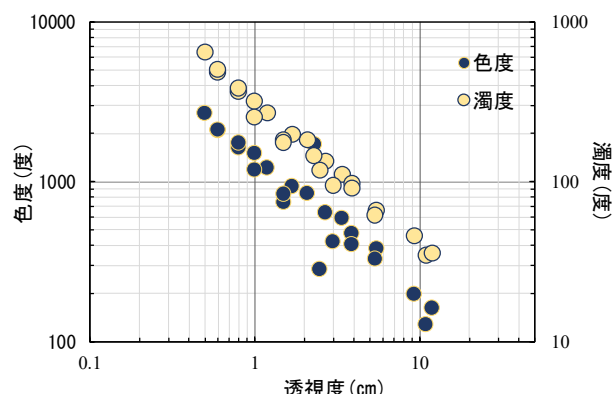


図-16 色度、濁度 vs. 透視度(対数軸)

表-3 相関行列

	色度	透視度	濁度
色度	1	-0.943	0.955
透視度	-0.943	1	-0.993
濁度	0.955	-0.993	1

表-4 相関の検定結果

項目	透視度 vs. 色度	透視度 vs. 濁度
相関係数	-0.943	-0.993
95%信頼区間	-0.975 ~ -0.871	-0.997 ~ -0.983
P値(有意確率)	5.46×10^{-12}	1.32×10^{-21}

表-3は各変数間の相関係数を示した相関行列である。表-4では、どちらの結果も、有意確率が0.05より小さな値となり、各々の間に有意の相関があることが分かった。

ここで、表-4の結果で、より相関係数値の高い透視度と濁度について回帰分析を行った。この場合も、データは対数変換を行ったものを用いた。その結果が、表-5である。

表-5 回帰分析結果

	回帰係数	標準誤差	t統計量	有意確率p値
切片	2.479	0.012	206.6	$< 2 \times 10^{-16} ***$
X:Log(透視度)	-0.888	0.0233	-38.2	$< 2 \times 10^{-16} ***$

有意性
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
残差の標準誤差 自由度
Residual standard error: 0.04489 on 22 degrees of freedom
決定係数 自由度修正済決定係数
Multiple R-squared (R²): 0.9851, Adjusted R-squared: 0.9845
F-検定 有意確率
F-statistic: 1459 on 1 and 22 DF, p-value: $< 2.2 \times 10^{-16}$

表-5の結果で、回帰係数の欄は回帰式の切片及び回帰係数を示している。また、t統計量は切片、回帰係数の有意性検定のために算出した値、有意確率はt統計量から得られた確率値で、これと危険率との比較で有意性の判定を行っている。この場合は危険率0.05と比較すると、はるかに小さな値であることから、有意であると判定される。今回得られた結果から、回帰式 ($y=a+bx$, y:目的変数、x:説明変数) は次のように書くことができる。

$$\text{Log}(y) = 2.479 - 0.888\text{Log}(x) \rightarrow y = 301x^{-0.888} \dots \text{式①}$$

y:濁度(度)、x:透視度(cm)

式①の形態を見ると、一般的に言われる「濁度は透視度の逆数に比例する」ということが、今回の脱水分離液でも当てはまるようである。

計測器による測定値にこのような特性があることが分かったので、次に本来の因果関係は逆であるが、計測器の測定値から薬注率を推定できないか検討した。

透視度、濁度、色度の3つの測定値は、相関関係があることが分かったので、これらをすべて説明変数として重回帰分析に使うのは分析方法上不適切である。そこで、これらの中から透視度を説明変数として使い、さらに VTS（強熱減量）も変動する要因であることから説明変数に加えて、薬注率を目的変数とした重回帰式を求めてみた。その結果を表-6に示した。

但し、この結果は有機物当りの薬注率を、目的変数とした場合のものである。これは、目的変数とした薬注率について、固形物当りと有機物当りの場合で計算し、より寄与率(R²)が高い値となった方を採用したためである。

表-6 重回帰分析結果

	偏回帰係数	標準誤差	t 統計量	有意確率 p 値
切片	-0.982	0.247	-3.97	0.000696 ***
X1:Log(透視度)	0.310	0.0289	10.7	5.63×10 ⁻¹⁶ ***
X2:VTS	0.0152	0.00279	5.46	2.03×10 ⁻⁰⁵ ***

有意性
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
残差の標準誤差 自由度
Residual standard error: 0.04076 on 21 degrees of freedom
決定係数 自由度修正済決定係数
Multiple R-squared: 0.8527, Adjusted R-squared: 0.8386
F - 検定 有意確率
F-statistic: 60.77 on 2 and 21 DF, p-value: 1.85×10⁻⁹

重回帰式は、 $y=a+bx_1+cx_2+\dots$ という形式で表現されるので、その形式で表-6の結果を示すと次のようになる。

$$y = -0.982 + 0.310\text{Log}(x_1) + 0.0152x_2 \dots \text{式②}$$

y : 有機物当り薬注率(%) x₁ : 透視度(cm) x₂ : VTS(%)

上記の分析に使った薬注率のデータと、式②による予測値の関係を図-17に示した。横軸がビーカーテストの際の有機物当り薬注率(目的変数)で、縦軸は式②から算出した有機物当り薬注率(予測値)である。大きく外れている値があるが、これは元々異常値ではないかと思われるデータの場合と考えられる。

式②による目的変数の説明割合を示す自由度修正済決定係数が83%程度であるので、この式を予測に用いるのは、やや物足りないところがある。今後、このような予測に使おうとするならば、更にデータを増やして、より決定係数の値が大きな回帰式が得られるか検討が必要

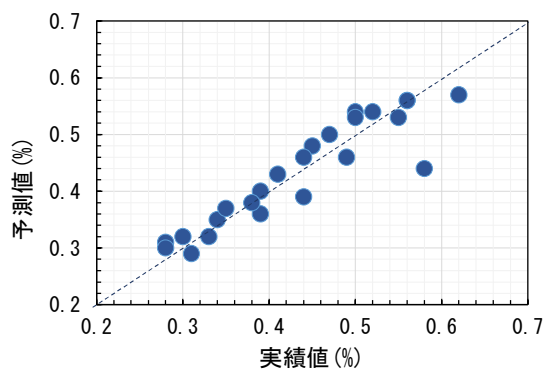


図-17 予測値 vs. 実績値(有機物当り薬注率)

である。

今回のピーカーテストの結果から、このようなことが考えられたが、今後更にデータを蓄積することで別の考え方もできる可能性はある。

2. 2 実機での調査

2. 2. 1 全般状況

今回は冬季から春季にかけての運転データを収集することを目的とした。図-18、19にあるように、今回の調査期間中の気温、汚泥水温、汚泥強熱減量は昨年と大きく異なる点はなかった。なお、季節区分は「気象庁観測統計指針」に従った。

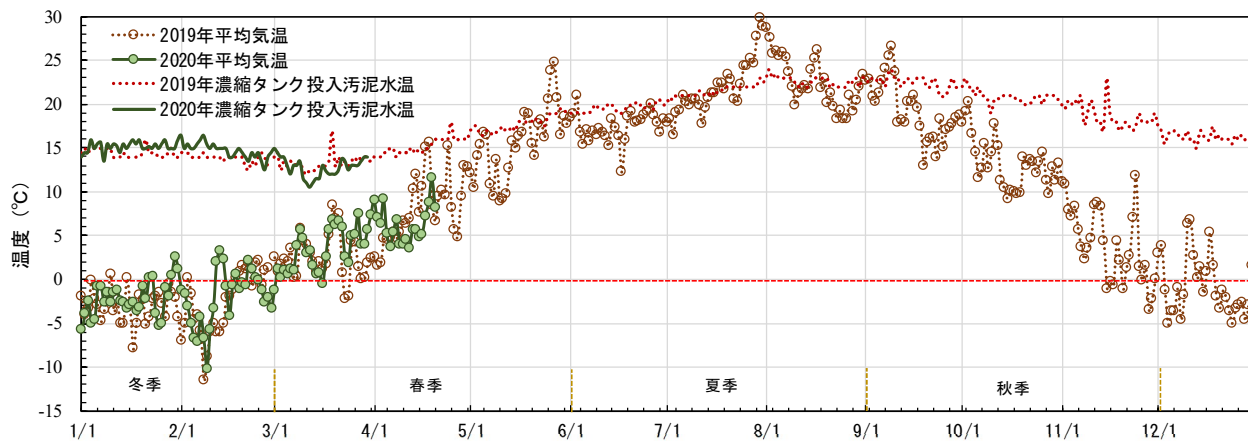


図-18 日平均気温、濃縮タンク投入汚泥水温の変動

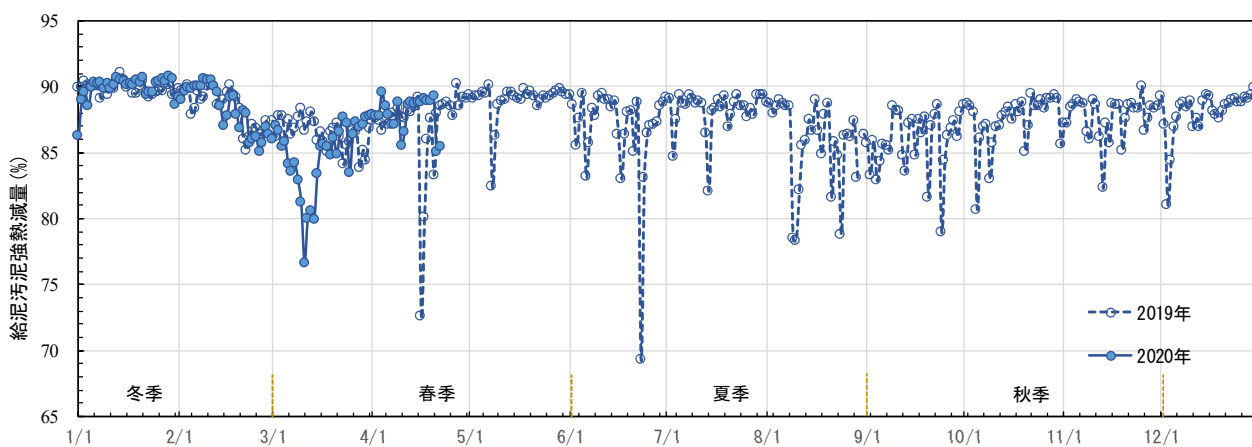


図-19 給泥汚泥強熱減量の変動

表-7にはデータ収集期間中の脱水機の、薬注率と脱水汚泥含水率平均値を示した。また、図-20には、調査期間中の各脱水機の薬注率の分布を示した。脱水機毎に中央値、最大、最小値を示したものである。図中の箱の中の太線が中央値、箱の下端は第1四分位数、上端は第3四分位数、ひげの上下端は最大値、最小値となっている。

表-7に示した脱水汚泥含水率の平均値

表-7 薬注率、汚泥含水率平均

脱水機	薬注率平均 (%)	脱水汚泥含水率平均 (%)	n
No. 1	0.31	75.1	73
No. 2	0.33	75.5	14
No. 3	0.37	75.1	37

は、脱水機間で有意の差は認められなかった。薬注率は図-20 に示したとおりである。3台の平均値の差は、検定の結果では有意であった。3台の値の中でNo. 3の平均値と、No. 1、No. 2の平均値の差は有意であったが、No. 1、No. 2の間では有意の差は認められなかった。従って、No. 3の平均値のみが他の2台と異なっていたといえる。

次の項から、項目ごとに整理をしていくが、データは数の少ないNo. 2脱水機のもの今回は今回外した。No. 1とNo. 3脱水機についてデータを図示し、安定していたNo. 1脱水機について、各項目に関する検討を加えることとした。

また、図-21、22にはデータ収集期間中のNo. 1脱水機の汚泥性状、分離液測定結果、機器設定条件等の運転状態を示した。また、図-23、24には同じくNo. 3脱水機の状態を示した。

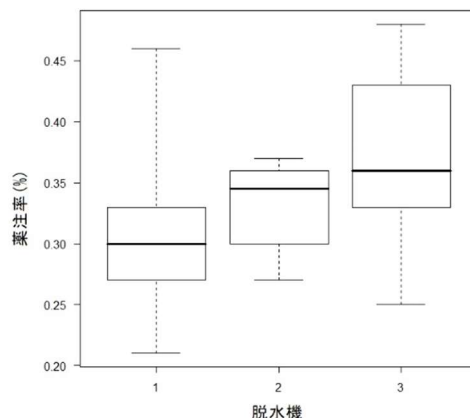


図-20 脱水機別薬注率

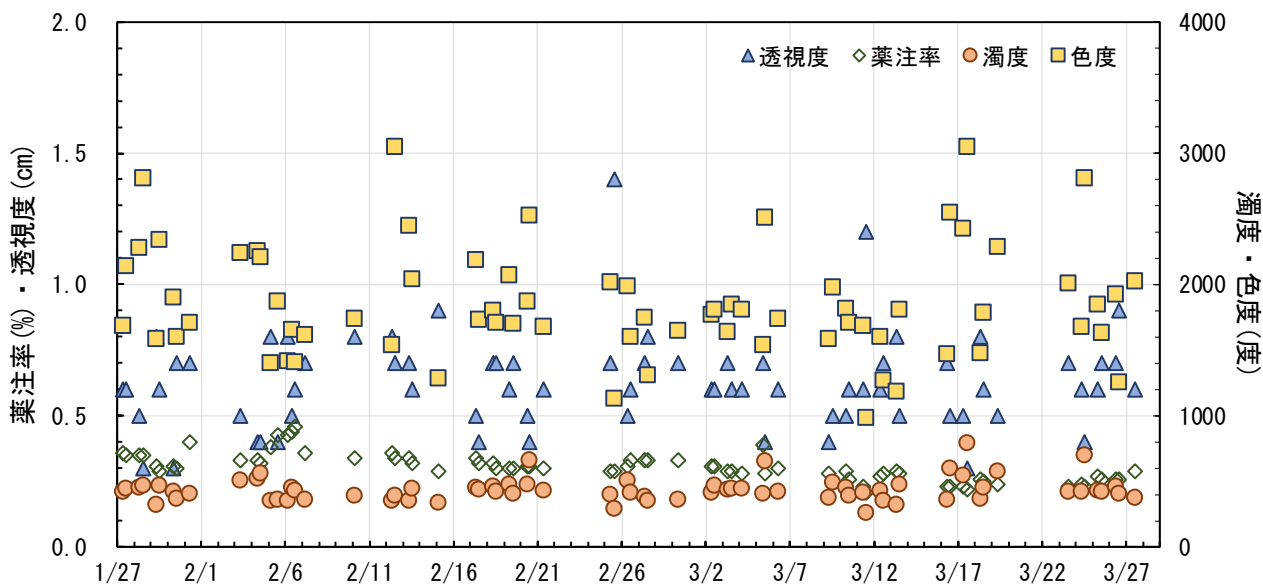


図-21 データ収集期間中のNo. 1脱水機分離液の透視度・濁度等

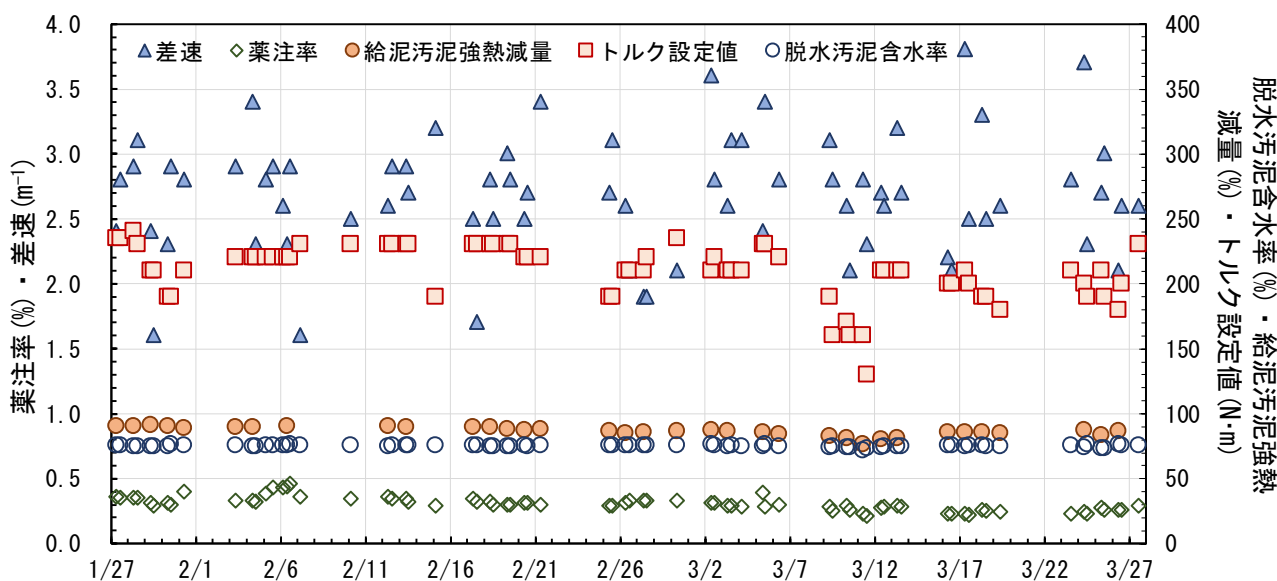


図-22 データ収集期間中のNo. 1脱水機差速・汚泥性状等

なお、この期間中 No. 1 および 3 脱水機は連続して運転されていたわけではなく、断続的な運転となっていた。そのため、図中では試料を採取した時刻およびその直近の時刻の機器運転データをプロットした。

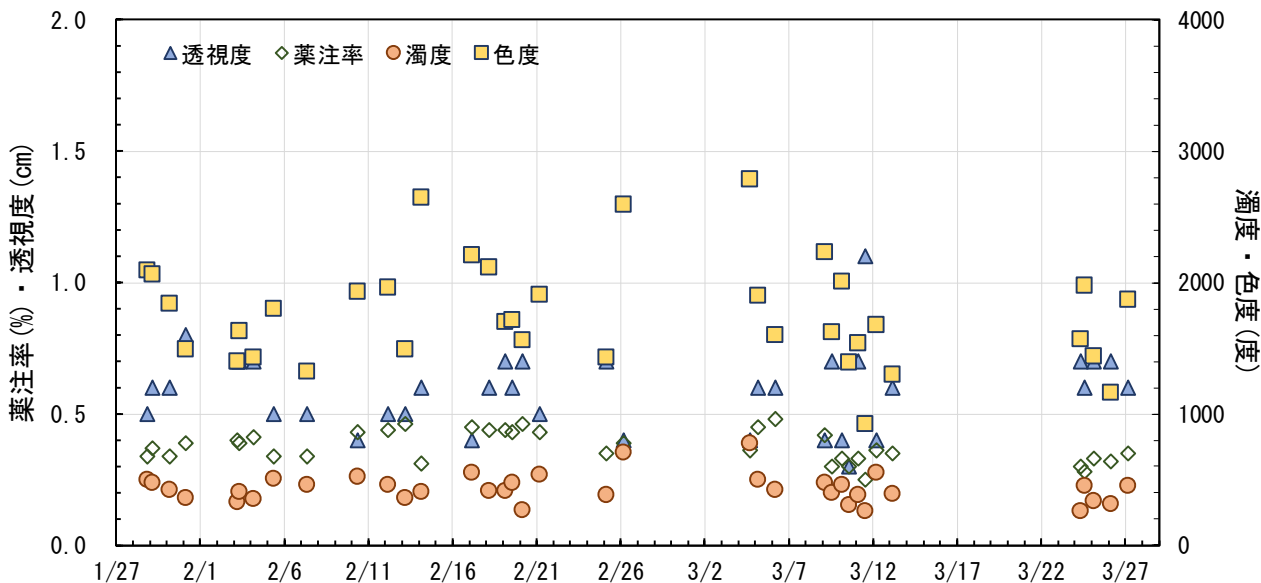


図-23 データ収集期間中の No. 3 脱水機分離液の透視度・濁度等

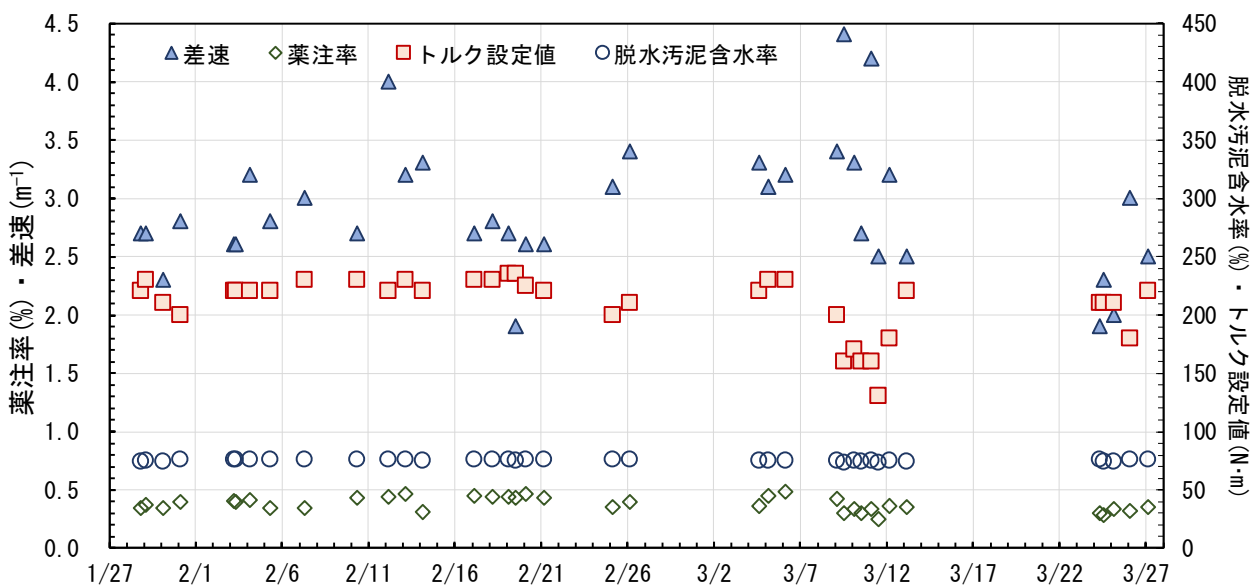


図-24 データ収集期間中の No. 3 脱水機の差速・汚泥性状等

図-22・24 の中で差速は、脱水機のボウルとスクリュウの各々の回転数の差を示しており、ボウル内部の汚泥搬送速度の目安である。また、トルク設定値は、汚泥搬送に係るスクリュウの運転中に生じるトルクの設定値を示し、脱水機の運転制御の指標の一つである。

なお、脱水機の遠心力設定は、調査の期間を通じて 2100G で一定であった。

2. 2. 2 透視度

図-25・26 は従来行っているガラス管を使った脱水分離液の透視度の測定結果（下水試験方法による）と、透視度センサーの結果をプロットしたものである。下水試験方法は、試料を入れたガラス管底の白色円盤上の二重十字線を、肉眼で分離して視認できる試料の高さとして測定するため、個人差が生じることが考えられる。2つの測定方法の比較は、測定方法の違いに

よる測定結果の差異の有無を確認することを目的としている。

両者の値が、ほぼ一致するならば、図中の斜線付近にプロットは、集まってくるはずである。実際の結果は、どちらの脱水機でも斜線を挟んで両側にプロットが見られる。また、No. 1 脱水機の場合に比べると、No. 3 脱水機のほうが透視度の値は、より狭い範囲に分布しているようである。

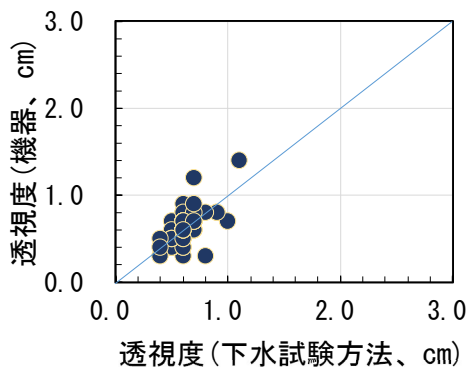


図-25 透視度 (No. 1 脱水機)

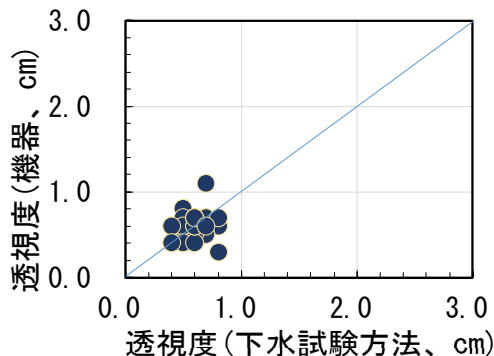


図-26 透視度 (No. 3 脱水機)

No. 1 脱水機のデータで、両者の測定値について、平均値の差の検定を行った。その結果が、表-8 である。表中の P 値 (有意確率) を見ると、0.934 と危険率 0.05 よりはるかに大きな値であるため、帰無仮説 (この検定における帰無仮説は、「平均値間には差が無い」) を棄却することができない。この傾向は No. 3 脱水機の場合でも同じである。

このような結果が得られたことから、今回行った平均値の有意差検定では、従来の方法による測定値と、透視度センサーによる測定値の各々の平均値に、有意の差は無いと考えられる。これにより、透視度センサーを目視による測定に置き換えることも考えられる。

表-8 透視度の検定結果

項目	平均	標準偏差	P 値
透視度 (下水試験方法)	0.62	0.122	0.934
透視度 (機器)	0.62	0.181	

2. 2. 3 濁度、色度

図-27・28 には、濁度と色度の関係について No. 1 脱水機、No. 3 脱水機各々の測定結果を示した。これを見ると、脱水機の実機で発生する分離液でも、ビーカータストと同様の関係があるのではないかと考えられた。

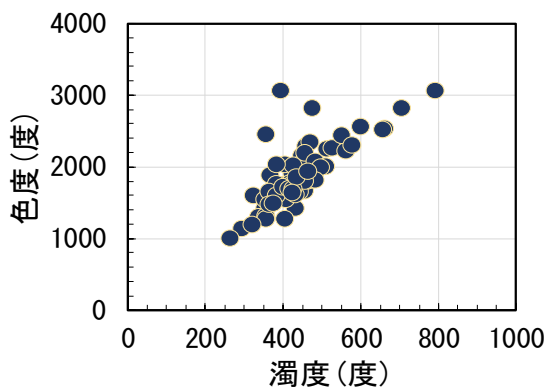


図-27 色度 vs. 濁度 (No. 1 脱水機)

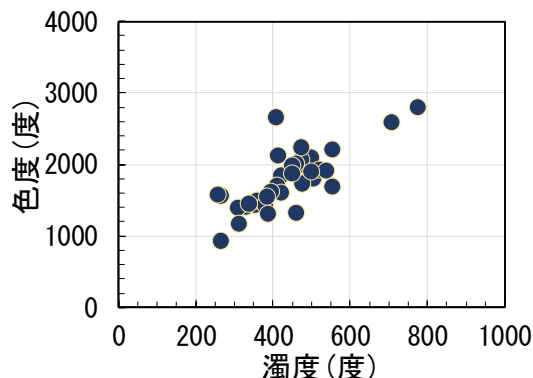


図-28 色度 vs. 濁度 (No. 3 脱水機)

図-29には、ビーカーテストの際の分離液のデータ(図-14)とNo. 1脱水機のデータ(図-27)を重ね合わせたものを示した。この図から、ビーカーテストの際の分離液とNo. 1脱水機の分離液の値は、類似した傾向を示していることが分かる。従って、ビーカーテストの結果が実機と同様のものであり、実機の推定に使うこともできるのではないかと考えられる。しかし、この傾向が、この時期の汚泥だけのものか、年間を通じて見られるものかは、更に長期間の調査を行って確認する必要がある。

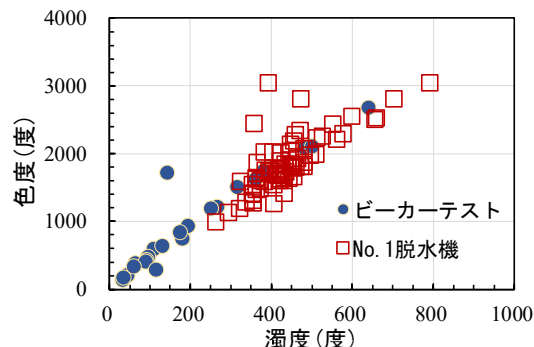


図-29 色度 vs. 濁度(ビーカーテスト、実機)

遠心脱水機における脱水状態の判断材料として、分離液の色を見ることもある。水の色と色度は、基本的には異なるものである。今回測定している色度は、特定波長によるもので、色としては黄～黄褐色系に相当するものである。仮にこの系列の色を水の色として判断するならば、間接的に色度と、相関を有する濁度による判断をしていることでもある。感覚的に水の色で運転状態を判断するとしても、濁度・色度と運転状態との関係を裏付けるデータが必要と考えられる。

図-30・31では透視度と色度、濁度との関係を示した。実機の場合には、透視度の値は狭い範囲に集まっているので、色度、濁度共にビーカーテストの際のような分布になるかは不明である。No. 1脱水機では、幾分そのような分布の傾向にあるように見えるが、断定はできない。

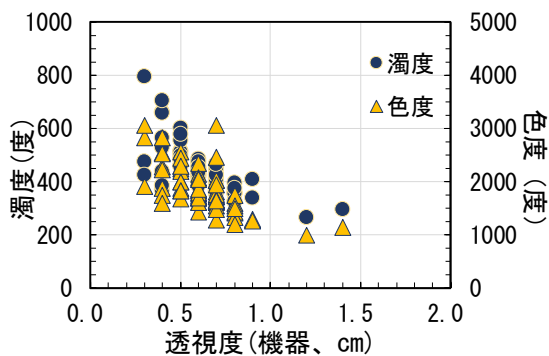


図-30 濁度、色度 vs. 透視度 (No. 1 脱水機)

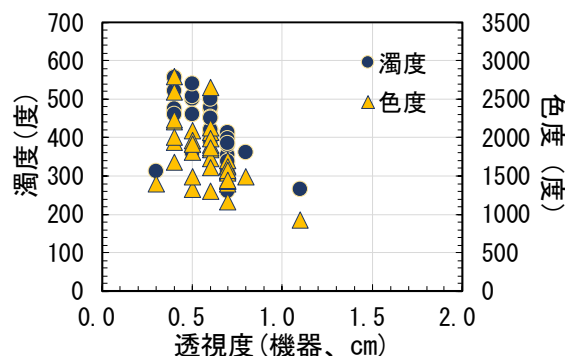


図-31 濁度、色度 vs. 透視度 (No. 3 脱水機)

2. 2. 4 計測結果による指標検討

ビーカーテストの結果が実機の運転と整合するならば、測定機器の実機における使用も可能と考えられることから、実機での測定機器の利用について検討した。

図-32、33には今回の実機データのうち、No. 1脱水機について薬注率と透視度、濁度の関

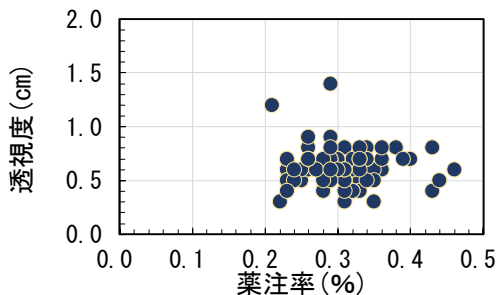


図-32 透視度 vs. 薬注率 (No. 1 脱水機)

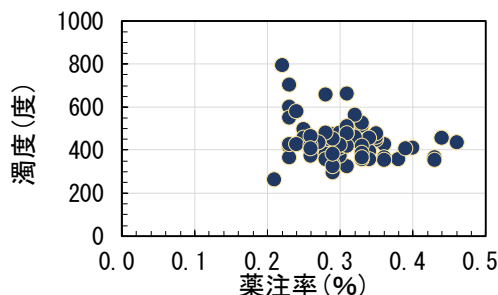


図-33 濁度 vs. 薬注率 (No. 1 脱水機)

係を示した。図を見て分かるように、薬注率と測定値の間では明確な傾向が見られず、これから薬注率の過剰、適正、過少を判断するのは困難である。

ビーカーテストでは、図-16 に示したように、透視度と濁度は両対数目盛でプロットすると、ほぼ直線に乗るといった関係が見られた。そこで、実機 (No. 1 脱水機) の結果を両対数軸の図上にプロットしたのが、図-34 である。

図中の一点鎖線の直線は、ビーカーテストの際に得られた式①を示している。また、着色された範囲はビーカーテストで適正薬注率と推測された条件の範囲を示しており、「Tr」は透視度、「Tu」は濁度の範囲である。

従って、ビーカーテストと実機で薬注率と脱水分離液の性状の関係に同様の傾向があるとするならば、データが2つの範囲の重なる部分に分布すると、ビーカーテストの結果で適正と思われる範囲の薬注率で運転されており、反対にそこを外れた部分に分布すると、適正と思われる範囲を外れて運転されているのではないかと推測される。透視度の場合は、範囲の下限より低い値は薬注率が低い場合である。一方、濁度の場合は、範囲の上限より高い値は薬注率が低い場合となる。

データの分布をみると、殆どが着色した枠外にあることから、実機の薬注率はビーカーテストで適正と思われる範囲より低目であったのではないかと考えられる。

今回の調査では、透視度センサーと濁度計の測定値を組み合わせることで、実機の運転状態のうち薬注率について推測する基準を作ることが、可能になるのではないかと考えられた。しかし、試料を採取した時期が1～3月と限定されていることから、これが通年で適用できるかは現時点では不明である。今後更に長期のデータを積み重ね、それを基に検討することが必要である。

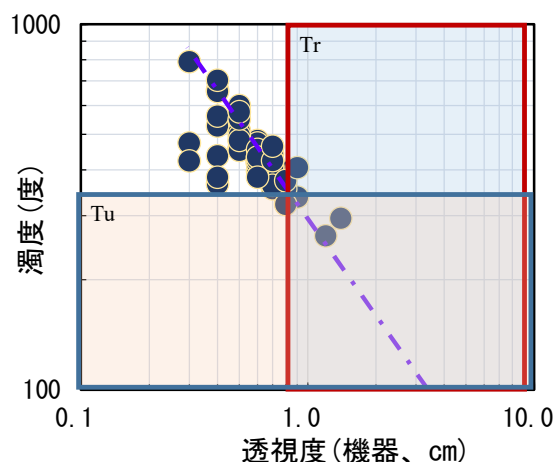


図-34 濁度 vs. 透視度 (No. 1 脱水機)

3. まとめ

測定機器を利用した遠心脱水機の運転状態把握について調査を行い、次のような結果を得た。

- ①段階的な高分子凝集剤添加によるビーカーテストで、その際の脱水汚泥含水率、脱水分離液の測定機器による透視度、濁度、色度測定値を得た。
- ②3種類の測定機器による測定値について検討し、相互の関係で相関が見られることが分かった。また、透視度と濁度について回帰分析を行い、有意の回帰式を得ることができた。
- ③透視度について、実機で下水試験方法による測定値と測定機器による測定値の比較を行った。その結果、両者の測定値の平均値は同じと考えられた。
- ④濁度と色度の関係について、実機とビーカーテストの場合との測定結果の比較を行った。その結果、測定結果は実機でもビーカーテストの場合とほぼ同じ傾向を示すことが分かり、ビーカーテストで得た知見を実機に当てはめることが可能ではないかと考えられた。
- ⑤脱水機の運転状態判断の客観的指標を、機器測定値を基に作ることにについて、今回の調査で可能性が見えたので、今後更に長期のデータを蓄積し、検討を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 有機性汚泥の圧搾平衡水分に及ぼす吸着カチオン荷電量の影響
五十嵐千秋 化学工学論文集 第17巻 第2号(1991) pp.423-425
- 2) 下水汚泥のベルトプレス脱水における重力ろ過ケーキの強度と脱水特性との関係
五十嵐千秋 化学工学論文集 第14巻 第5号(1998) pp.698-701
- 3) 高分子凝集剤の種類と作用機構
野田道宏 高分子 Vol.17 No.194 1968 pp.404-412
- 4) 高分子凝集剤について
池田宏 実務表面技術-73-12 pp.6-12
- 5) カチオン性高分子凝集剤荷電密度の凝集への影響
東谷公・細川義二郎・相本英樹・松野儀三 化学工学論文集 第9巻第5号(1983) pp.543-548
- 6) 下水汚泥のポリマ凝集・圧搾脱水に及ぼす微細粒子の影響
五十嵐千秋・西沢和夫 下水道協会誌 Vol.29 No.339 pp.93-100
- 7) 下水汚泥のベルトプレス脱水操作におけるカチオン性有機高分子凝集剤添加率の制御指標の検討
五十嵐千秋・郷田昭一・衛藤正徳・鈴木英友 化学工学論文集 第13巻 第4号(1987) pp.392-398
- 8) し尿処理汚泥の有機高分子凝集剤処理における凝集剤の吸着と凝集汚泥の脱水性
五十嵐千秋・佐藤広昭・鈴木英友 化学工学論文集 第12巻 第6号(1986) pp.894-700
- 9) 汚泥の濃縮・脱水技術の現状
郷田昭一 粉体工学会誌 Vol.38 No.3(2001) pp.41-47
- 10) 凝集するーコロイド, 水処理の基礎
北原文雄 化学教育 第24巻 第1号 pp.51-56