

(31) 下水処理場における固形物および主要元素の季節変動と物質収支

Seasonal Variation and Mass Balance of Solids and Major Elements
in Wastewater Treatment Plant

松本暁洋*、高岡昌輝*、大下和徹*、武田信生*

Akihiro MATSUMOTO*, Masaki TAKAOKA*, Kazuyuki OSHITA*, Nobuo TAKEDA*

ABSTRACT; Proper management of sewage sludge becomes more and more important in proportion to the spread of sewer service. As it is difficult to get new final disposal sites, thermal processes such as incineration and melting become more popular than before. The composition and seasonal variation of sludges at various stages of wastewater treatment and returning wastewater from a sludge treatment process are evaluated in order to grasp the present conditions of sludge treatment process at a plant with combined sewer system. Based on these data, the mass balance of solids (Total Solid and Suspended Solid) and the flow of major elements (carbon, hydrogen, nitrogen and phosphorus) in the plant were also calculated.

The results of this study can be summarized as follows,

- (1) The quality of wastewater introduced to biological treatment is greatly changed by returning wastewater from a sludge treatment process.
- (2) The volatile portion of sludge solid decreased in summer, probably because of rain.
- (3) The calculation of mass balance revealed that solids circulation took place within sewage treatment system. The proportion of circulation due to returning wastewater from sludge process was much higher for phosphorus than for other elements.

KEYWORDS; Sewage treatment system, Mass balance, C, N, P, Seasonal variation.

1. はじめに

わが国の下水道の普及率は平成7年度末で50%を超えて、54%にまで達している¹⁾。また平成8年度から始まった第8次下水道整備5ヶ年計画により下水道事業は、今後ますます計画的かつ強力に推進され、平成12年度末には普及率66%が見込まれている²⁾。このような普及率の上昇とともに下水処理量が増加し、それに比例して処理しなければならない汚泥量も増加することが予測される。増大する下水汚泥を減量化・減容化するために、焼却だけでなく溶融プロセスを設置する処理場も多い。最終処分地の不足を考えれば、以前にもまして汚泥処理の重要性は高まっている。一方、水処理においては、要求水質の高度化などを背景に、新しい下水処理システムが研究されつつあるが、その中でも最初沈殿池への化学凝集沈殿と生物学的接触酸化処理を併用し、前者によりリンを、後者により窒素除去をする高度処理から発生される汚泥などは、従来の汚泥性状とはかなり異なることが予想され、既存の汚泥処理プロセスで処理可能であるのか、それとも新しくプロセスの設計仕様を変更せねばならないのか検討する必要がある、高度処理から汚泥処理プロセスの变革が迫られるであろう。

このような変革期において、下水処理場全体の現状の物質の流れを把握することが重要である。これまで下水処理プロセスの物質収支は、BOD、CODなどの水質指標を用いて水処理プロセスを中心に研究がなさ

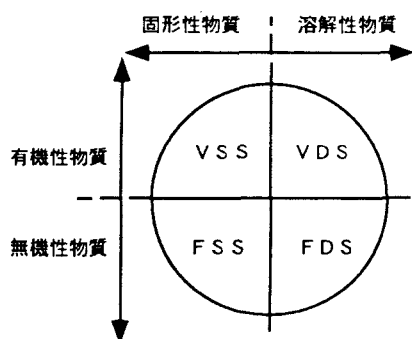
*京都大学大学院工学研究科環境工学専攻 (Dept. of Environ. Eng., Graduate School of Eng., Kyoto University)

本研究は以上のような観点から汚泥処理プロセスを中心として固形物（TS）、および炭素、窒素、水素、リンの元素レベルでの物質収支、および汚泥性状の季節変動を調べることににより、既存のシステムの調査を行った。現状の汚泥処理プロセスを中心とした元素レベルでの物質収支を把握することによって現処理システムが抱える問題点を明らかにするとともに、今後の新しい下水処理システムの運転、設計を行う際の対照とすることを目的とした。具体的には下水処理場の各プロセスから汚泥や返流水を年間通してサンプリングし、それらの固形物濃度の測定や元素分析を行い、流量のデータとあわせて各プロセスごとに物質収支を計算した。

2.2 サンプルング

サンプルングは、①流入生下水、②初沈流入水、③全返流水、④放流水（塩素滅菌前）、⑤初沈汚泥、⑥終沈汚泥、⑦初沈濃縮槽からの返流水、⑧初沈濃縮汚泥、⑨終沈濃縮汚泥、⑩遠心濃縮機からの返流水、⑪遠心濃縮汚泥、⑫全濃縮汚泥（薬注前）、⑬脱水ケーキ、⑭脱水機からの返流水、⑮焼却炉からの返流水、⑯焼却灰、の16サンプルについて行った。

終沈汚泥については、A系、B系、C系からそれぞれサンプルングしそれらを混合して試料とした。これら16の試料について96年5月20日から97年5月12日まで月2回ずつ24回サンプルングした。なお本論文において⑫全濃縮汚泥とは遠心濃縮汚泥と初沈濃縮汚泥が混合されたもので薬注前のものである。また脱水機からの返流水とは、脱水ろ液の他にろ布の洗浄水が含まれ、焼却炉からの返流水とはスクラバー排水のことである。実際には下水の流入には時間変動やシステム内の時間遅れなどがあるが、最初沈殿池以降のシステム内は定常と考え、通常ややSS成分が高い時間帯であると考えられる午前9時～9時30分の間にスポット的にサンプルングを行った。流量は基本的に場内に設置された流量計のデータを使用した。焼却炉からの返流水とろ布の洗浄水についてはそれぞれスクラバーとポンプの能力と稼働台数、時間から計算した。また、焼却灰の量は搬出量と同じと考えた。終沈濃縮槽からの返流水は実測できずサンプルングも行っていないため流入＝流出と考えて計算した。なお、データにはさほど影響は現れなかったが、7月22日と9月3日のサンプルングの前日には降雨があった。



$$\begin{aligned} TS &= SS + DS = VTS + FTS \\ SS &= VSS + FSS \\ DS &= VDS + FDS \\ VTS &= VSS + VDS \\ FTS &= FSS + FDS \end{aligned}$$

図2 TS、SSの概念図

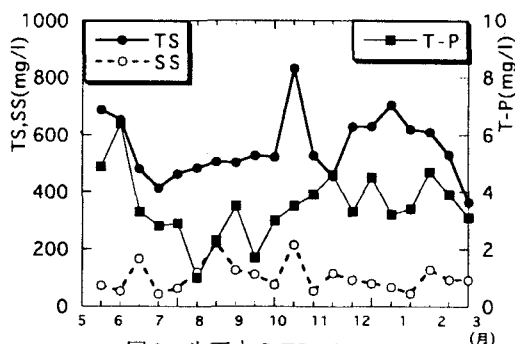


図3 生下水のTS、SS、T-P

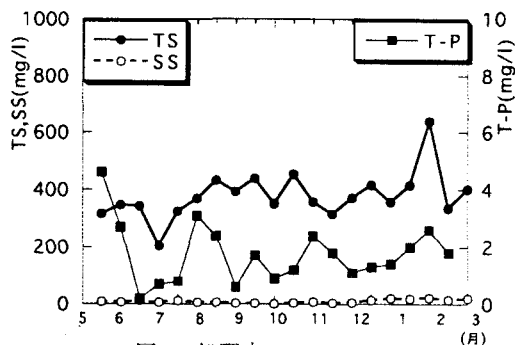


図4 処理水のTS、SS、T-P

2.3 分析項目

得られたサンプルについて、下水道試験法に従い水温、TS、SS、T-Pを測定した。さらにTS、SSについては強熱残留物を測定した。このことによって、全固形物(TS; Total Solid)は浮遊性物質(SS; Suspended Solid)と溶解性物質(DS; Dissolved Solid)で構成され、SSとDSはさらに強熱残留物(FS; Fixed Solid)と強熱減量物(VS; Volatile Solid)で表せる。本論文では強熱残留物(600±25℃)をFTSとし、強熱減量物をVTSとした。浮遊性物質の強熱減量をVSSとすることによって、VSS(浮遊性有機物)、VDS(溶解性有機物)、FSS(浮遊性無機物)、FDS(溶解性無機物)の4つに分画した⁹⁾。概念図を図2に示す。以後本論文ではこれらの略称を用いた。

元素分析(炭素、窒素、水素)についてはCHNコーダ(MT-2:柳本製作所製)を用いTSについて測定を行った。試料は均一化を図るため乳鉢ですりつぶし、

分析にける試料は2～3mgと極微量であるため各試料について3回測定を行い平均をとった。また、本論文では各分析値とも明らかに測定ミス等による異常値と考えられるものは除外した。

3. 実験結果と考察

3.1 TS、SS、T-P

(1) TS、SS、T-Pの季節変動

生下水、処理水、全返流水、初沈汚泥、終沈汚泥のTS、SS、T-Pの季節変動を図3～7に示す。なお、比較のため図1、2はTS、SSの最大目盛り1000mg/l、TPは10mg/l、図3～7はTS、SSで40000mg/l、TPで500mg/lに揃えた。TS、SS、T-Pともに値のばらつきが大きく（平均値TS=557±112mg/l、SS=103±51mg/l、T-P=3.5±1.2mg/l、平均値±標準偏差値）はっきりした傾向はないが、7～9月にかけてTSで500mg/l程度、リンで2mg/l前後と、濃度的にはやや流入負荷が低かった。

処理水は生下水より、変動がやや小さく比較的安定に推移していた（平均値TS=379±83mg/l、SS=10±6mg/l、T-P=2.2±1.1mg/l）。特にSSは非常に小さい値であり、TSの動向にはDS（溶解性固形物）の寄与が大きかった。季節による変動は見られず、安定した処理がおこなわれていた。

全返流水はどの指標ともに非常に濃度が高く（平均値TS=8533±5966mg/l、SS=5501±3313mg/l、T-P=101.9±59.4mg/l）濃縮槽等で汚泥が濃縮されずに越流していることが考えられた。また、変動幅は大きい、各指標とも変動の様子がよく似ており、8～10月にかけて平均値の1/10にまで負荷が減少していた。後述の物質収支の計算結果によると全返流水が有する負荷はこの処理場内を循環している。8～10月にかけては降雨が多く簡易処理の際にこれらの負荷が系外へ流出したためこのような結果になったと考えられる⁶⁾。高い負荷を有する汚泥処理系からの返流水が処理水の水質に影響を与えているのかどうかを考察した。図8は横軸に全返流水、縦軸に同一サンプリング日の処理水のSSをとったものである。なおTS、リンについては全返流水の水質と処理水の水質には相関が無く、返流水の悪影響が処理水には表れていなかった。図よりSSについてはわずかながら正の相関が見られた。このことから、時間遅れなどがあるもののSSの一部については、沈

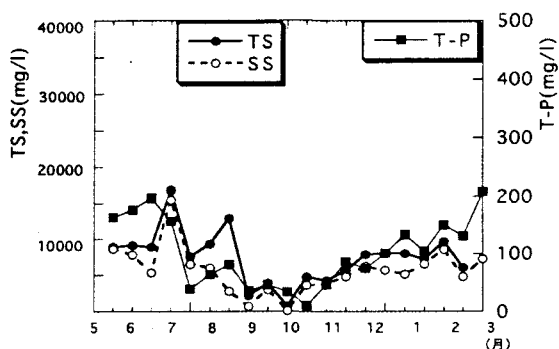


図5 全返流水のTS、SS、T-P

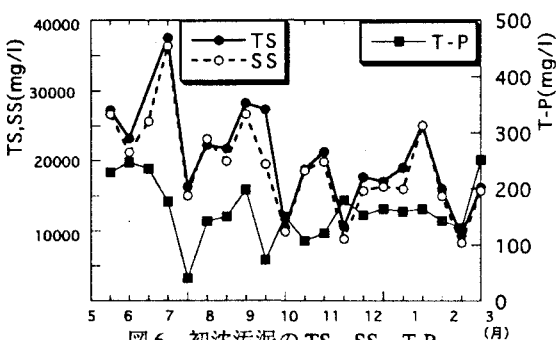


図6 初沈汚泥のTS、SS、T-P

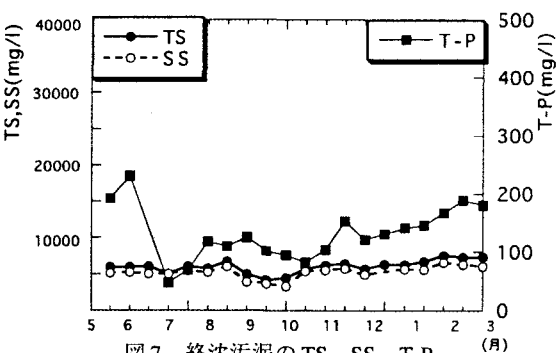


図7 終沈汚泥のTS、SS、T-P

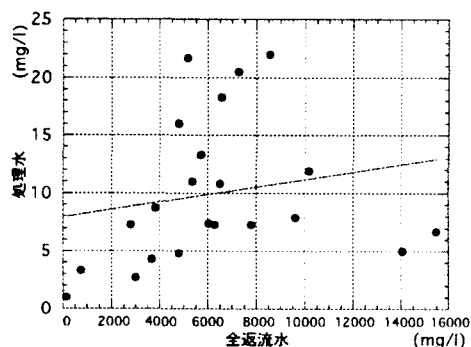


図8 全返流水と処理水の関係 (SS)

般池や曝気槽で除去しきれず流出してしまったものがあることが推察された。高負荷の返流水にもかかわらずその影響がさほど処理水の水質に現れていないのは、水処理プロセスの能力に余裕があることや維持管理上の努力によるものであろう。

初沈汚泥は非常に大きな幅の値をとっていた（平均値 $TS=19874 \pm 6649\text{mg/l}$ 、 $SS=18756 \pm 6850\text{mg/l}$ 、 $T-P=161.1 \pm 54.4\text{mg/l}$ ）。これは、最初沈殿池以前に緩衝の役割を果たすプロセスがなく、生下水や汚泥処理系からの返流水の水質変動の影響を直接受けてしまうためと考えられた。これに対して終沈汚泥はグラフからもわかるように比較的安定していた（平均値 $TS=5979 \pm 886\text{mg/l}$ 、 $SS=5832 \pm 2480\text{mg/l}$ 、 $T-P=141.2 \pm 38.3\text{mg/l}$ ）。最終沈殿池については最初沈殿池や曝気槽などのプロセスを経ているため、生下水や汚泥処理返流水の水質変動の影響を受けず、安定に推移したと思われる。また、7～10月にはTSで4500mg/l、T-Pで100mg/l前後にまで負荷が減少していた。

また、初沈汚泥、終沈汚泥ともにTSとSSの間には非常に強い相関があったのに対し、T-Pとそれらの間の相関はいずれも0.1～0.4と低かった。

(2) 各試料のTS、SS、T-Pの平均値

表1に各サンプルのTS、SS、リン濃度の値（一年間の平均値）を示す。なお、表中のデータの単位は基本的にmg/lであるが固形の試料についてはmg/kgで示している。生下水と処理水を比較すると、TS、リンでは40%程度しか除去されなかったのに対しSSでは90%近く除去されていた。元来、活性汚泥法はBODやSSに対しては高い除去率を示すが、リンや窒素、難分解性有機物については固形物の沈殿や付着除去による効果しか考えにくく、この結果は現状の活性汚泥法をよく反映したものとなった。

初沈濃縮槽の前後に注目してみると、初沈汚泥のTSが約20000mg/lなのに対し初沈濃縮汚泥が約24000mg/l、初沈濃縮槽の返流水で約14000mg/lと明確な濃縮効果が現れていなかった。SS、リンについても同様の傾向を示していた。また、リンについては24回のサンプリングのうち6回で初沈濃縮汚泥より返流水の方が濃度が高くなる現象が見られた（TSについては2回）。原因は濃縮槽で滞留している間に（滞留時間18.5h）嫌気性消化が進み汚泥中からリンが溶出したためと考えられた。また、各指標とも終沈濃縮槽では約2倍、遠心濃縮機では4～5倍の濃縮効果を示していた。

3.2 TSの4分画組成

(1) TSの4分画組成の季節変動

図9～13に生下水、処理水、全返流水、初沈汚泥、終沈汚泥のTSを先述の定義によって4分画し、季節による変動を示した。なお、春期とは3～5月、夏期は6～8月、秋期は9～11月、冬季は12月～2月を指す。また図では各データについて比をとった上で季節ごとに平均している。

表1 各試料のTS、SS、T-Pの平均値
単位：mg/l 下線はmg/kg

	TS	SS	T-P
生下水	557	103	3.5
初沈流入水	1344	719	11.4
全返流水	8533	5501	101.9
処理水	379	10	2.2
初沈汚泥	19874	18756	161.1
終沈汚泥	5979	5862	141.2
初沈濃縮槽返流水	13815	11682	118.1
初沈濃縮汚泥	23760	25403	175.3
終沈濃縮汚泥	12169	12323	164.6
遠心濃縮機返流水	7836	6285	144.8
遠心濃縮汚泥	53009	48463	697.8
全濃縮汚泥	29601	27078	442.8
脱水ケーキ	195932		816.5
脱水機返流水	8989	138	3.1
焼却炉返流水	788	179	5.1
焼却灰	809746		30870.5

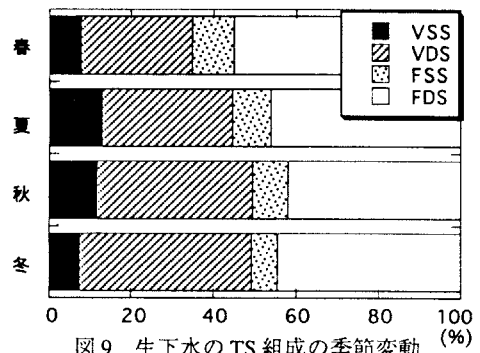


図9 生下水のTS組成の季節変動 (%)

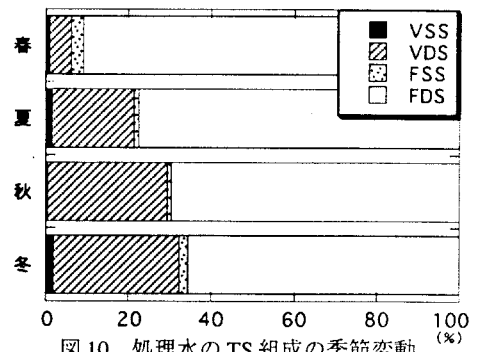


図10 処理水のTS組成の季節変動 (%)

図より生下水についてはさほど季節による変動はないものの、処理水は春期に10%程度だったVTS (VSS+VDS) が冬期には30%近くにまで上昇していた。

また、初沈汚泥、終沈汚泥、全返流水はVTS、SSの割合が高く、ともに夏期はVTSの割合が減少していた。A処理場は合流式ということもあり、夏期は降雨によって土砂などの無機物が混入するため、このような結果になったと考えられた。一般に汚泥中有機分と濃縮性、脱水性には負の相関があるとされている。季節変動のところでも述べたように全返流水の水質は冬期、春期にはTS、SSで約

10000mg/l、T-Pで150mg/l前後にまで達したのに対し、夏期から秋期にかけて前者で1000～3000mg/l、後者で10mg/lとかなり減少していた。これは処理場内で循環している物質が降雨時の簡易処理によって系外へ排出されるため負荷が減少したことが第一の要因と考えられるが、汚泥中有機分の減少による処理性の向上も寄与していると考えられた。

(2) 組成の平均値

図14に各サンプルを4分画しTSに対する重量%を計算した結果(1年間の平均)を示す。

生下水、初沈流入水、全返流水の三者を比較すると、初沈流入水は生下水よりも全返流水の組成に近い値を示した。これは物質収支計算の結果、沈砂池に流入する全返流水の固形物量が生下水の固形物量を上回ったためであるが、実際に水処理系に流入してくるのは初沈流入水であることを考えると汚泥処理系からの返流水の水質を把握しておくことは重要である。初沈汚泥と終沈汚泥を比較すると前者がVTS約70%であるのに対して後者が約80%と割合が高くなっていた。また、本来汚泥は濃縮槽を経るとSSの割合が高くなり、返流水は低くなるはずであるが、初沈汚泥、終沈汚泥とも汚泥と濃縮汚泥、返流水の間で組成がさほど変わらず、濃縮効果が現れていなかった。これは、濃度における結果を傍証している。

この処理場は調質時に消石灰と塩化第二鉄を用いて脱水しているため脱水汚泥のVTSは55%と減少していた。脱水機からの返流水中のFTSが非常に高くなっているのは脱水ろ液中にカルシウム塩等が多く含まれていたためと考えられた。外観も、カルシウム塩と思われる白色のものが多く認められた。

3.3 CHN組成

(1) CHN組成の季節変動

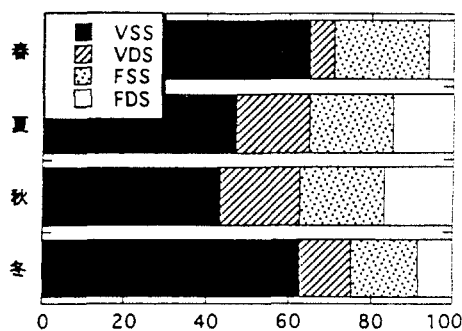


図11 全返流水のTS組成の季節変動(%)

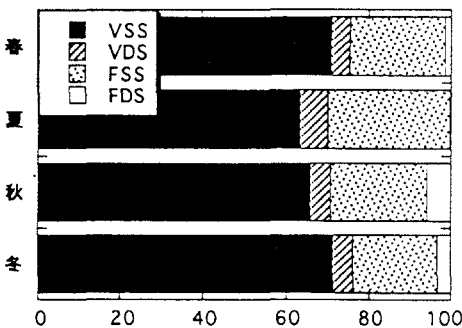


図12 初沈汚泥のTS組成の季節変動(%)

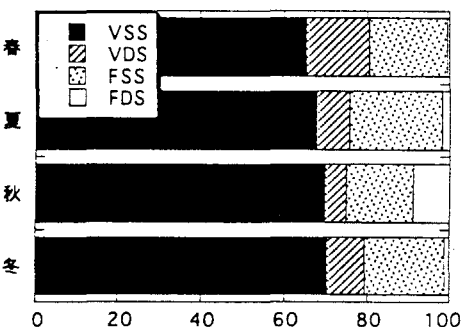


図13 終沈汚泥のTS組成の季節変動(%)

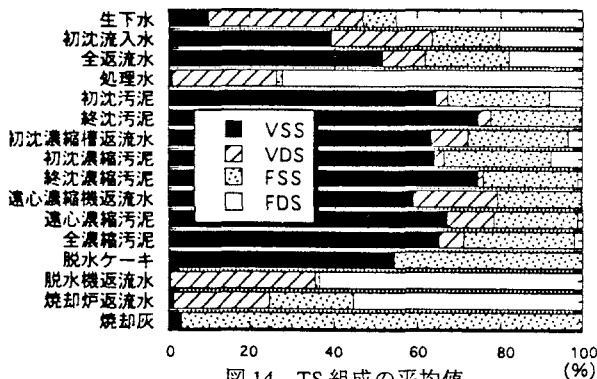


図14 TS組成の平均値(%)

生下水、処理水、初沈汚泥、終沈汚泥、脱水ケーキのCHN組成の季節変動を図15～19に示す。これらの図はTSに対する各元素の割合を%で示している。

各元素とVTSとの相関をとったところ、生下水、処理水では各元素とも0～0.4と低かった。それに対し初沈汚泥、終沈汚泥では各元素とも相関係数は0.65～0.85の間に入っており各元素が独立に変動しているということはなかった。

季節変動という観点からは生下水、処理水についてははっきりした傾向は現れなかった。初沈汚泥、終沈汚泥、脱水ケーキについては炭素、水素、窒素の割合が8～10月に減少し、他の時期はほぼ一定だった。炭素についてみると初沈、終沈汚泥では8～10月に28%、脱水ケーキで22%程度だったのが、それ以外の月でそれぞれ45%、30%程度の値をとっていた。図20に脱水ケーキ高位発熱量の推定値の季節変動を示した。元素組成から高位発熱量を求める式はさまざまなものが研究されているが、下水汚泥脱水ケーキの場合はSümeğiの式が比較的に一致するとされている⁹⁾。また、95年12月に行った予備調査で実際に発熱量を測定し、CHN組成から算出した発熱量と比較した際によく合っていたので、発熱量を求めるのには

Sümeğiの式: $H=8100(c-3/8o)+34500(h-o/16)+2500s$
H:高位発熱量(cal/g-DS)
c、h、o、s:試料1g中の炭素、水素、酸素、硫黄の重量(g/g)

を採用した¹⁰⁾。なお、汚泥中有機分は炭素、窒素、水素の他に硫黄等が考えられるが、一般に微量であるため⁹⁾、全て酸素と考えて計算を行った。図より10～7月までは1800～2000cal/g-DSで安定しているものの、8月には1200cal/g-DSまで発熱量が低下していた。この処理場では汚泥焼却の際、重油を使用している。本年度は焼却炉の故障により脱

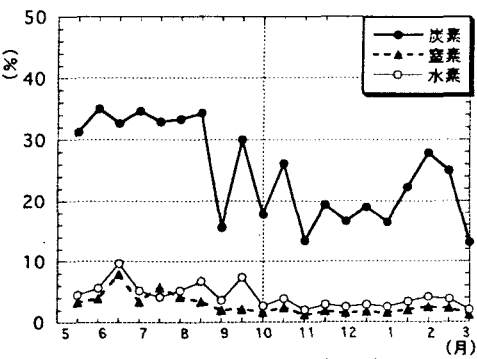


図15 生下水のCHN組成の季節変動

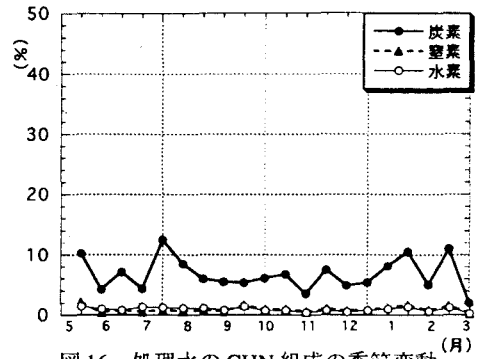


図16 処理水のCHN組成の季節変動

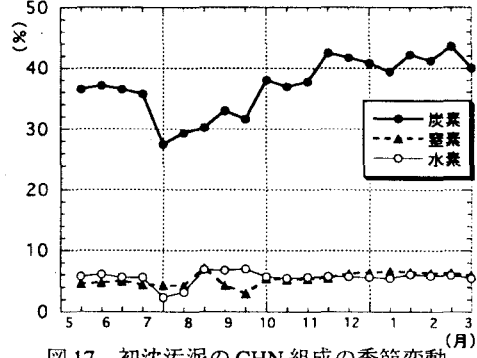


図17 初沈汚泥のCHN組成の季節変動

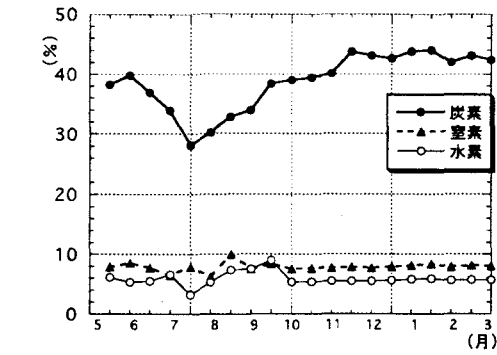


図18 終沈汚泥のCHN組成の季節変動

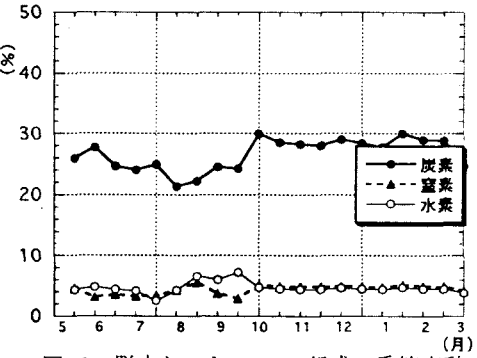


図19 脱水ケーキのCHN組成の季節変動

水ケーキを外部へ搬出していたため、重油消費量は調査できなかったが、この時期は例年であれば焼却時の重油消費量が増加していることが予想される。

(2) CHN 組成の平均値

TS に対する炭素、水素、窒素の重量 % (1 年間の平均) を図 21 に示した。

図ではややわかりづらいが、生下水と処理水を比較すると生下水の炭素、水素の割合は 25%、4% なのに対し処理水は 6%、1% と 1/4 に減少していた。一方窒素に注目してみると、3% から 1% と 1/3 までしか減少しておらず、生物処理における除去率が低いことがわかった。

初沈汚泥から混和槽へいたる系列と終沈汚泥から混和槽へいたる系列を比較してみると、炭素、水素はそれぞれ 40% 弱、5% 程度とあまり変わらなかったが、窒素についてみると初沈汚泥で約 5%、終沈汚泥で約 8% と後者の方が高くなっていた。つまり炭素、水素に比べると窒素は最初沈殿池での除去率が低いということになる。

消化性の指標となる C/N 値は初沈汚泥で 10 前後、終沈汚泥で 5 前後が一般的な値である¹⁰⁾。今回のデータでは終沈汚泥ではちょうど 5 前後になったのに対して初沈汚泥では 7~8 とやや低い

値になった。C/N 値は 12~16 程度が嫌気性菌にとって栄養があり消化性がよいといわれている。生下水の C/N 値が 10 以上あるにもかかわらず初沈汚泥、初沈濃縮汚泥で低くなっていたのは、濃縮槽で嫌気性消化が進み易分解性の有機炭素が消費されたためと考えられた。また予備調査では初沈汚泥、初沈濃縮汚泥、初沈濃縮槽からの返流水は他のサンプルよりも pH が低く (6.0~6.3)、アルカリ度が高かった (700~800mgCaCO₃/l)¹⁰⁾。嫌気性消化が進み有機酸が発生したためと考えられ、この結果を裏づけるものであった。

3.4 物質収支計算

(1) 処理場内の物質収支

得られたデータよりこの処理プロセス内の物質収支を計算した。実際にサンプリングを行っていない終沈濃縮槽からの返流水については流入と流出の関係から計算をした。図 22 に一年間平均した TS、SS、炭素、窒素、リンの物質収支の様子を一日あたりのトン数で示した。また、水素についてはとくに TS や炭素と異なる挙動は示していなかったため、割愛した。

各プロセスのうちサンプリングによって流入負荷量と流出負荷量を完全に把握しているのは沈砂池、初沈濃縮槽、遠心濃縮機、混和槽、脱水機である。測定の結果が妥当なものであったかどうかを確認するため、これらのプロセスと処理場全体について総流出負荷と総流入負荷の比を計算し、その平均を表 2 に示した。

表 2 より遠心濃縮機およびリンに関する各プロセスにおける収支で 100% を大きく超える結果となった。遠心濃縮機では全ての指標 (TS、SS、T-P) で 170% 程度となった。このことから遠心濃縮汚泥のサンプリングポイントに問題があると考えられた。リンの処理場全体、および脱水機での収支が高めに算出されたのは脱水汚泥の T-P 測定時の吸光度に正の干渉が生じたことが原因であると推測された。また、炭素、窒素、水素の有機元素についてはシステム全体の収支で低い値がでているが、曝気槽等での損失や汚泥中有機物の

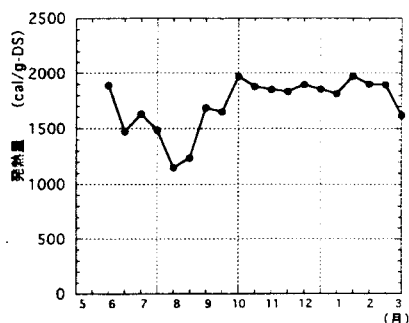


図 20 発熱量 (推定値) の季節変動

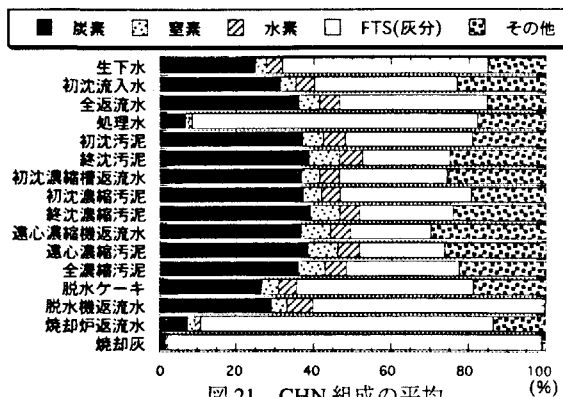


図 21 CHN 組成の平均

無機化によるものと考えられた。

しかしながら他の部分では 80 ～ 120% の間に入っておりサンプリングをスポット的に行ったにもかかわらず収支はよくあっていたといえた。

この処理場での流入は生下水と脱水時の薬注分であり、これらが処理されて最終的に処理水、焼却灰、排ガスとなって流出する。排ガス分の固形物は実測できなかったため、流出を焼却前の脱水污泥で考えると、流入する固形物は生下水の 110.6t/day と薬注の 14.8t/day の計 125.4t/day であり、流出する固形物は処理水が

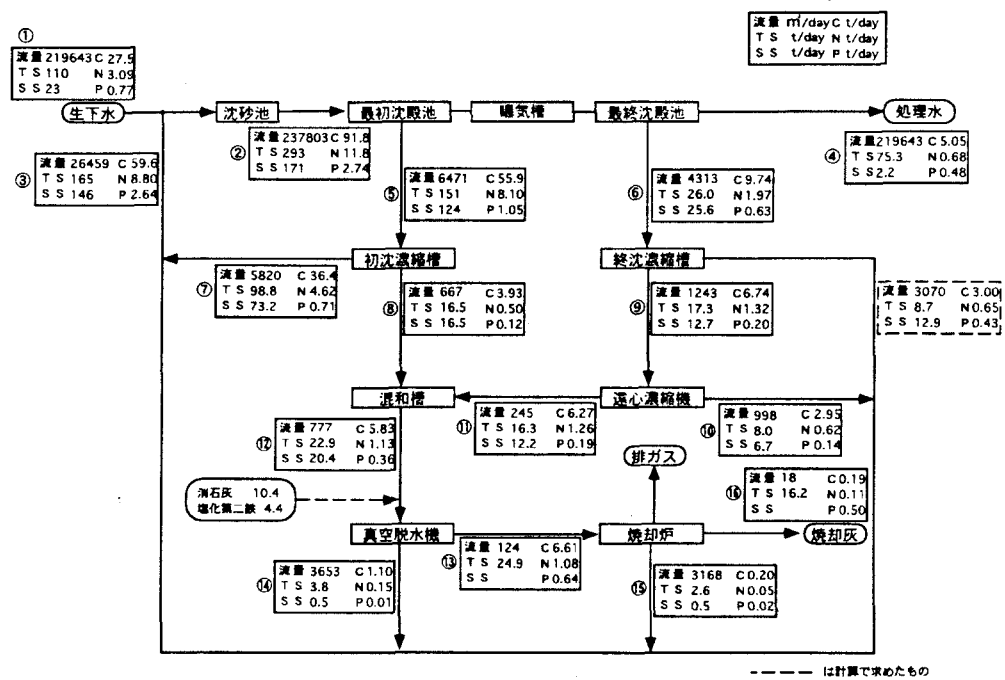


図22 処理場内の物質収支 (年間平均)

75.3t/day、脱水ケーキが 24.9t/day、計 100.2t/day とやや減少しておりシステム内での損失分があることがわかる。

元素レベルの収支では、生下水と処理水を比較すると、炭素、窒素、リンでそれぞれ 85、80、40% の除去率となっており、リンの除去率が極端に低いことがわかった。また、炭素、窒

素に関しては流入和 (炭素=27.5t/day、窒素 3.09t/day) より流出和 (炭素=11.7t/day、窒素=1.8t/day) がかなり低くなっており、上記の TS の損失にはこれらの元素の寄与が大きかった。一方リンについては先にも述べたように収支があまり合っていないためはっきりしたことはいえないが処理プロセスのなかで損失するとは考えにくく、全返流水の有する高いリンの負荷 (2.64t/day) は場内を循環していることが予想された。焼却炉では炭素、窒素については 90% 前後損失しているのに対し、リンではほとんど損失がなかった。

図 22 によれば、全返流水による負荷が生下水による負荷に対して TS で 1.4 倍、SS にすると 6 倍以上と非常に高くなっていった。初沈濃縮槽では、最初沈殿池より 151.0t/day の固形物が初沈濃縮槽に流入し、16.5t/day が汚泥として、98.8t/day が返流水として流出していた。約 15% のみが後段の汚泥処理プロセスに導かれ、

表 2 総流出負荷/総流入負荷の平均値 (%)

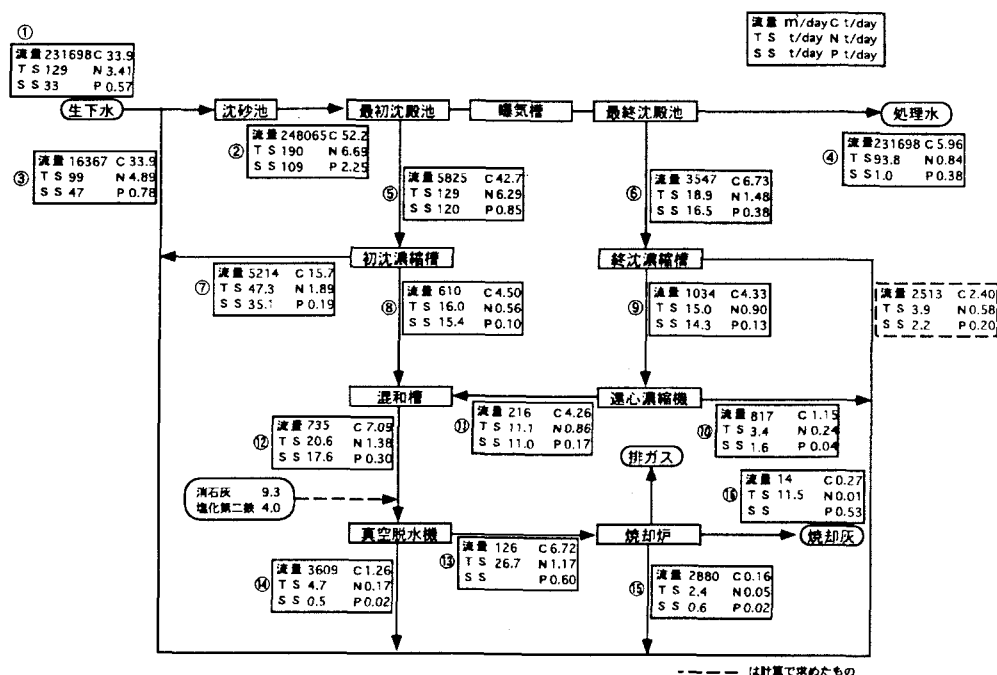
	TS	SS	リン	炭素	窒素	水素
沈砂池	106.2	116.5	108.2	106.2	85.2	84.1
初沈濃縮槽	82.4	80.1	80.7	82.4	85.2	116.6
遠心濃縮機	141.0	183.2	164.4	141.2	178.0	190.5
(混合槽)	86.0	73.2	120.5	102.5	126.0	84.4
脱水機	102.5	183.2	121.5	102.5	102.5	80.3
全体	81.9	166.8	41.9	62.2	48.2	

残りの85%が返流水として沈砂池前に戻されていた。初沈濃縮槽は機械濃縮と異なり重力濃縮であり、槽の形状、滞留時間によって能力の大半が決まる。一般に初沈濃縮槽は滞留時間12時間程度、固形物負荷 $60 \sim 90 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ を経験値として設計されるが、今回の調査から得られたデータから計算すると、この濃縮槽の滞留時間は18.5時間、固形物の負荷は通常の設計値の3倍と非常に大きくなっていた。初沈濃縮槽からの返流水は全返流水の負荷の60%近い量を有しているため最初沈殿池—初沈濃縮槽—沈砂池、といったプロセスの中で長時間循環してしまっている可能性が十分考えられる。このように循環した形になってしまうと、管路の中および濃縮槽は嫌気的な状況が予想されるため慢性的に汚泥の腐敗、それにとまなう汚泥濃縮性の悪化、スカムの発生などを招く。先に述べたように、曝気槽での好気状態で微生物に取り込まれたリンが嫌気状態に長時間おかれると、リンを再放出するという報告もある⁷⁾。また、津村は処理プロセスは若干異なるものの、ある下水処理場の物質収支を調査し、このように汚泥が循環した処理場では、曝気槽へ高いレベルでSSが流入し、活性汚泥に悪影響を及ぼし、かつ運転管理で正常な状態に戻すことは不可能と述べている⁸⁾。大量の固形物の循環を解消するためには、降雨による浄化といった外的要因に依存するのではなく、返流水単独処理についても検討する必要があるだろう。

遠心濃縮機は先に述べたようにTS、SS濃度にして終沈濃縮汚泥を数倍に濃縮しているにも関わらず30%以上の固形物を返流水としてプロセス外に排出していた。また、リンについて見てみると、40%以上が返流水中に含まれており、ここでもリンの方が固形物より返流される割合が高いことがわかった。脱水機や焼却炉からの返流水は全返流水の数%程度とごくわずかであった。

(2) 季節による物質収支の違い

図23に最も特徴のでていた8～10月の平均を示した。この時期には全返流水の負荷は年間平均のTSで99t/day、SSで47t/day、リンで0.78t/dayにまで減少している。SSの負荷が小さくなっているということは、濃縮等の汚泥処理が比較的良好に行われているといえよう。



また、調査を始めるにあたって、水温が高い時期は嫌気性発酵が進みやすくなり、リンの返流の割合が高くなることが予想されたが、VTSの減少によって汚泥処理性が向上する影響の方が大きかったらしく初沈濃縮槽、遠心濃縮機ともにそのような現象は見られず、返流の割合は低くなっていた。この時期は生下水の流量、流入する固形物量ともに増えており、汚泥中のVTSの割合が減少しているのは、無機物の量が増加しているためである。土砂による汚泥はフロックも重く沈降性がよいと考えられ、返流水の負荷が減少している一因であろう。また、他の時期はほとんど差がなく、この時期（8～10月）だけ上述のように返流水の負荷が減少していた。

4. おわりに

本研究では汚泥性状の季節変動および下水処理場内の物質収支を計算し以下のような知見が得られた。

- 1) 初沈汚泥 (TS=19874 ± 6649mg/l) は終沈汚泥 (TS=5979 ± 886mg/l) に比べて緩衝となるプロセスがないため濃度の変動が激しかった。また、汚泥中の有機分は8～10月にかけて初沈汚泥、終沈汚泥ともにそれ以外の月に比べて5～6%減少していた。
- 2) 生下水の水質は全返流水と混合されることによって大きく変動しており、水処理プロセスへの悪影響を及ぼしていることが予想された。
- 3) 物質収支を計算した結果、汚泥処理系からの返流水の負荷は非常に高く (TS=165t/day) 生下水の1.4倍に達しており、その固形物が処理場内で循環した形になっていた。さらに、リンについては各汚泥処理プロセスにおいて他の元素より返流する割合が高いことがわかった。炭素、窒素、水素の有機元素はシステム内での損失が20～50%にものぼった。
- 4) 汚泥処理系からの返流水は水処理系に大きな影響を与えているため、今後新しい下水処理プロセスを開発する際、水処理系だけで要求水質の高度化に対応するのでは不十分であり、汚泥処理の側面からもシステムを評価しなければならないであろう。

参考文献

- 1) 辻原浩；高度情報化社会と下水道、下水道協会誌、Vol.34、No.408、pp.4～7、1996
- 2) 谷戸善彦；第8次下水道整備五箇年計画（案）と平成8年度下水道事業予算の概要、下水道協会誌、Vol.33、No.396、pp.36～46、1996
- 3) 五十嵐保；下水処理場の物質収支モデルの開発と返流水対策の検討、京都大学特別研究報告書、1988
- 4) 西高志；汚泥性状の変動特性に関する一考察、京都大学特別研究報告書、1982
- 5) 環境技術研究会；下水道必携、p14、1984
- 6) 津村和志；下水処理場における計算機制御システムの構築に関する研究、京都大学博士論文
- 7) 村上孝雄；生物学的リン法における汚泥処理返流水リン負荷の影響とその削減法に関する一考察、下水道協会誌、Vol.26、No.296、pp.19～30、1989
- 8) 平岡正勝；汚泥処理・再資源化技術とシステム、ティー・アイ・シー、1994
- 9) 平岡正勝、笠倉忠雄；下水汚泥脱水ケーキの燃料的価値、月刊下水道、Vol.4、No.12、pp.20～40、1981
- 10) 松本暁洋；下水処理場における固形物および主要元素の収支に関する研究、京都大学特別研究報告書、1996
- 11) 平岡正勝、吉野善弥；汚泥処理工学、講談社、1983