

(8) 活性汚泥法における代謝産物(安定有機物)に関する検討

北海道大学工学部 寺町 和 宏

高 桑 哲 男

1. はじめに

活性汚泥法による下水処理水中には微細な浮遊物のほかに溶存性の有機物が必ず存在し、これを通常は安定有機物と呼んでいる。この有機物は次の三つに大別される。すなわち、1) 廃水中に存在した非生物分解性有機物(微生物による分解もしくは吸着が不可能な有機物)、2) 廃水中に存在した難生物分解性有機物(分解はするが分解速度が非常に遅いために浄化途中で処理水中に流出する有機物、ないしはばっ気そうにおいてその有機物を分解する微生物のじゅん養(増殖)が行なわれていないために残存する有機物)、3) 廃水中の有機物および微生物体の分解代謝過程で新たに生成して処理水中に残存する有機物である。これら三種の有機物を厳密に分別定量することは容易ではないが、本研究では廃水中有機物の浄化過程および汚泥(微生物)の自己分解過程における液中の有機物濃度の変化を詳しく調べることによって可能な限り定量的に安定有機物に関する実験的な検討を行なった。

2. 人工下水を用いた連続流および回分実験

まず、人工下水を用いた連続流パイロットプラント実験(完全混合多室型ばっ気そう450l、ばっ気時間6hr)によって負荷変動と処理水質の関係について検討する。人工下水は水道水に有機物源としてスキムミルクとペプトンをそれぞれ等濃度で混合し、窒素源としての塩化アンモニウムとリン酸緩衝液を加えてpHを7.3としたものである。有機物濃度を重クロム酸カリウム法CODで表わし、MLSSを2,000mg/lとした場合の平均負荷を0.3kg-COD/kg-SS/日として汚泥をじゅん養した。図-1(イ)、(ロ)に流入CODおよびMLSSと処理水中溶存COD(0.45メンブレンフィルタでろ過)を示す。このときの水温は6~7°Cであった。同図(ハ)は(イ)と同じ負荷変動について水温が18~19°Cのときの結果である。また、流入CODと処理水CODのピーク値の関係を図-2に示す。これらの結果より、流入CODの高低に応じて処理水中の溶存性CODが変化する傾向にあることが明らかである。このような結果の説明として、用いた人工下水中にある割合の非分解性の有機物が存在していたこと、あるいは反応時間が短いために浄化途中で処理水中に残存したことの二つがまず考えられる。

次に、同じ人工下水で負荷を0.6kg-COD/kg-SS/日として24時間サイクルでじゅん養した汚泥を用い、初期基質濃度と処理水質の関係および長時間の空ばっ気による汚泥の自己分解過程における処理水質の変化について検討した。実験には約15,000mg/lの濃縮汚泥と容積31lの円筒型ばっ気そうを5個用い、水温は20°C

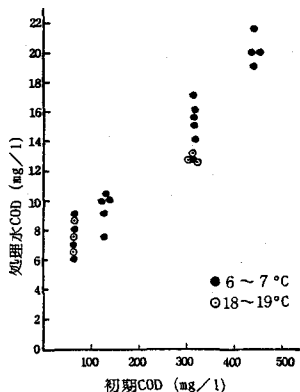


図-2 初期基質濃度と処理水質の関係

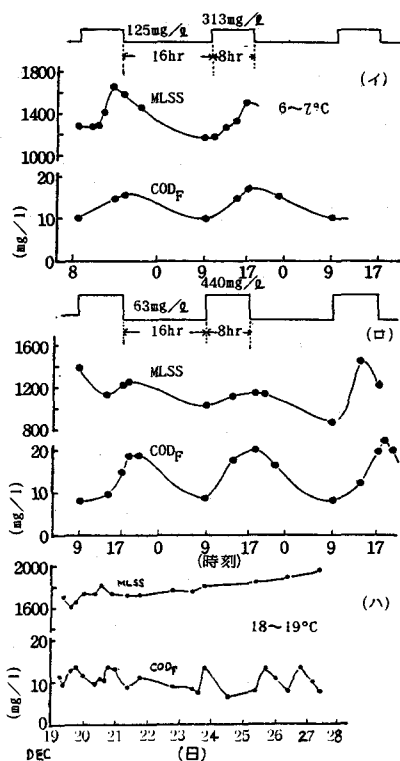


図-1 人工下水による負荷変動と処理水

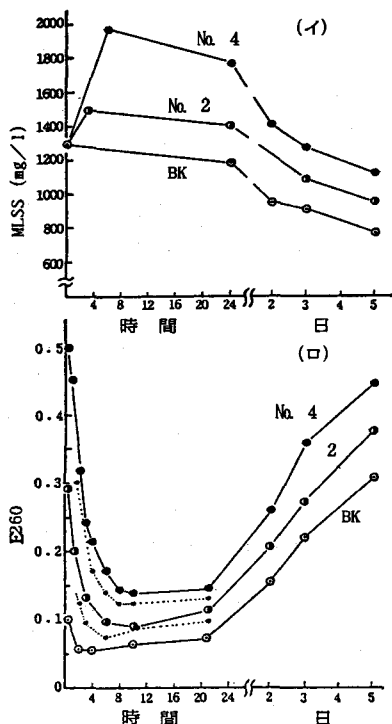


図-3 人工下水回分実験における
MLSS、E260の変化

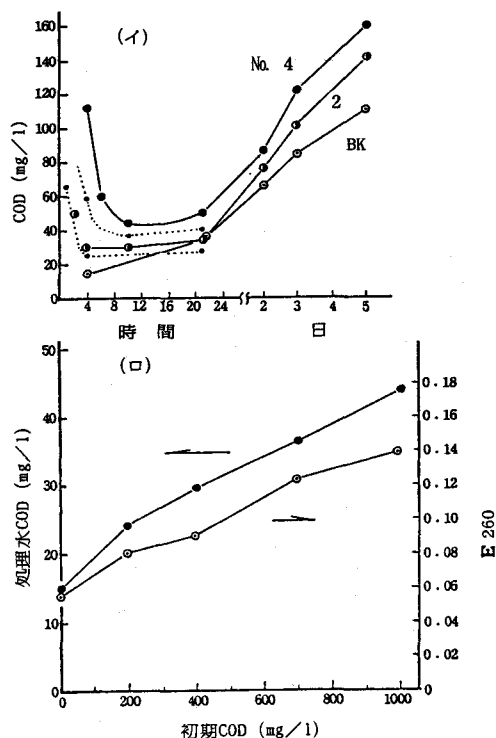


図-4 初期CODと処理水中COD最小値の関係

とした。初期MLSSを1,290mg/lで一定とし、ブランク(BK)にはリン酸緩衝液のみを加え、他はそれぞれ基質濃度がCODで200、400、700、1,000mg/l(No. 1～4)となるように高濃度人工下水を水道水で希釈した。MLSS、処理水COD(3,000 rpmで遠心分離し、上澄水を東洋ろ紙5Cでろ過)および紫外外部吸光度(1cmセル、波長260nm、E260)の経時変化を図-3、4に示す。図-3(ロ)、図-4(イ)より、負荷の低いものほど処理水質がほぼ平衡(擬平衡)に達するまでの時間は短い、いずれも最小値になった以後徐々に増加している。処理水質の最小値と初期基質濃度の関係は図-4(ロ)に示すとおりであり、各経時過程における水質に対してブランクの水質は常に低いので、図の結果から人工下水には一定の割合で、狭義にはあるが、非生物分解性の有機物が含まれていると考えることができる。ブランクを含めたその割合を算出すると、初期基質濃度が最も高かったものにおいて4.4%となる。ブランクは以後に述べる家庭下水汚泥においてもみられるが、これは細胞表面のいわゆるカプセルあるいはスライム層に吸着・吸蔵されていた有機物が平衡関係の変化によって脱着したものと推察される。一方、1日目以降のE260、CODは著しく増加しているが、ブランク汚泥お

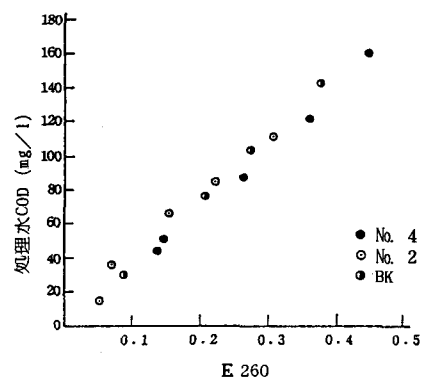


図-5 自己分解過程におけるE260とCODの関係

表-1 汚泥の自己分解5日目における粒径別処理水質

水質項目	ろ紙の種類	5日目の処理水水質		
		ブランク	No.2	No.4
E 260	5C	0.307	0.376	0.446
	0.45	0.143	—	0.214
	0.1	0.132	—	0.198
COD	5C	110	142	160
	0.45	84	—	109
	0.1	79	—	98
COD/E 260	5C	358	378	359
	0.45	177	—	250
	0.1	598	—	495

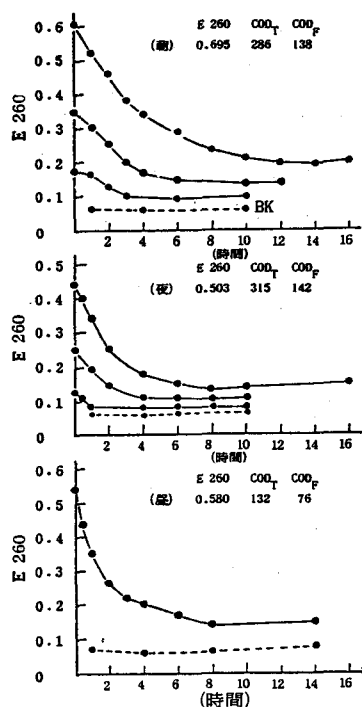


図-6 家庭下水の回分実験：E260の経時変化

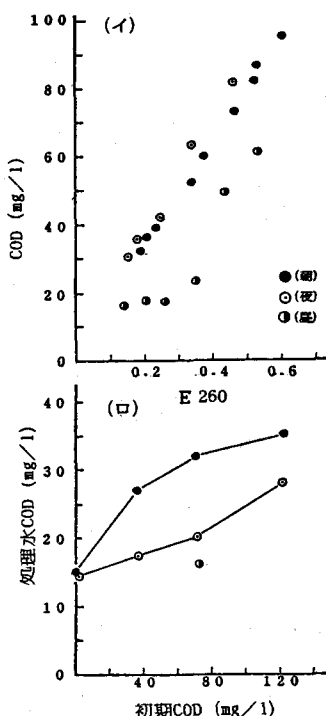


図-7 初期CODと処理水中COD最小値の関係

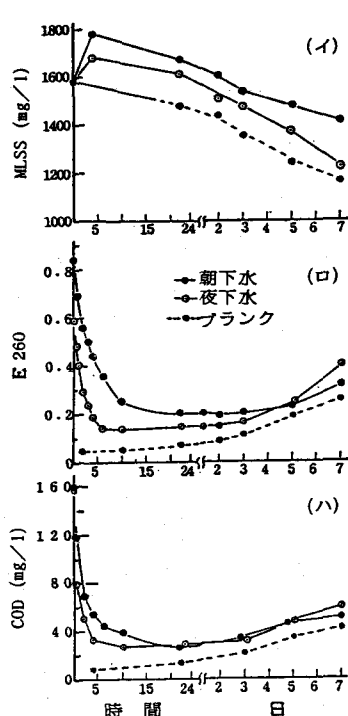


図-8 家庭下水回分実験におけるE260とCODの経時変化

よび基質添加汚泥、とりわけ新たに増殖した割合が約50%を占めるNo. 4汚泥についても変化パターンが類似していることから、有機物負荷がある程度異なる汚泥であっても、その自己分解反応に大きな差はないといえる。さらに、図-5に示すように、各処理水のE260とCODの相関が高いとともに、回帰直線が原点を通ることから、溶出した有機物はすべて紫外部吸収を有する不飽和有機物であるといえる。これらの安定有機物の比生成率(単位時間・単位汚泥減少量当りの処理水CODの増加量： CODppm/g-MLSS/日)を図-3(イ)のMLSSの変化量を用いて算出すると、22時間目から5日目までの平均値としてプランク、No. 2、No. 4ではそれぞれ0.246、0.244、0.169が得られる。一方、汚泥の自己分解に伴って生成する安定有機物の粒径的な特徴をみるために、ばっ気5日目における処理水をろ紙5Cのほかに0.45および0.1ミクロンのメンブレンフィルタでろ過したろ液のE260とCODを測定した結果を表-7に示す。これによると、5Cと0.45ミクロンで差が大きいくともに0.45と0.1ミクロンで差が小さく、0.45ミクロン以下の有機物濃度が高いことから、細菌粒子や有機コロイドを含まない溶解性有機物の割合が高いことがわかる。また同表3段目に示した紫外部吸光度当りのCOD値より、0.1ミクロン以下と0.1ミクロンと5C間に存在する有機物では質的な違いがあるものと推察される。このことについては後の3章で検討する。

3. 家庭下水を用いた回分実験および連続流実験

ここでは住宅団地下水処理場で採取した流入下水を用いて行なった2回の回分実験結果をもとに検討する。実験(Run I)に用いた下水は、9:00、15:40、20:00の時刻に採取した下水の静置上澄水である(以下、それぞれを朝下水、昼下水、夜下水という。)一日のうちで最も濃い朝下水と夜下水については水道水で希釈して3段階、昼下水は濃度が低いため無希釈、プランクは水道水のみを加え、これにE市下水処理場活性汚泥を加えた。初期MLSSは朝下水と夜下水が1,250mg/l、昼下水が1,640mg/lであり、水温はすべて20℃とした。実験結果は図-6、7に示すとおりであり、家庭下水の浄化においても初期基質濃度が高いものほど擬平衡濃度が高く、これはGradyら¹⁾の知見と同様である。また、初期基質濃度(5Cろ液)と最小の擬平衡濃度の関係を示した図-7(ロ)において朝下水と夜下水を比較すると、みかけの非分解性の有機物の割合は朝下水のほうが高く、初期濃度が最も高かったものにおいて5Cろ液を基準とし

て朝下水29%、夜下水22%と得られた。これはスキムミルクペプトン(MP)系の場合とくらべてかなり高値である。一方、朝下水と夜下水の差は初期COD除去速度を直線近似して求めた最大比基質除去速度においてもみられ、朝下水、夜下水、屋下水それぞれについて9.6、14.3、23.4 mg/l/g-MLSS/hrであった。朝下水の除去速度が最も遅く、次いで夜下水、屋下水となっている。

次に、用いた下水が濃く、経時変化を7日間までとしたほかはRun Iと同じ条件のRun IIの結果(図-8、9)について考察する。図の結果より、基質除去速度が夜下水にくらべて朝下水が遅いことおよび基

質除去過程でのCOD/E260比が夜下水のほうが高いことはRun Iの場合と同様である。しかしながら、擬平衡CODの最小値は夜下水で27mg/l(10時間後)、朝下水で28mg/l(22時間後)とほぼ同値であり、これはRun Iの場合とは異なっている。また、非分解性有機物の割合は図-

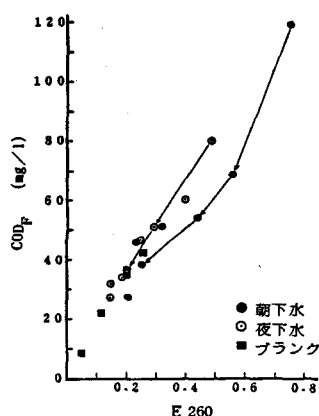


図-9 家庭下水回分実験におけるE260とCODの関係

図-9 (ハ)中に示したように、用いた下水のCOD_Fが朝と夜ではほぼ同値(初期濃度はこの35/4)であるから、得られた値はいずれも0.17と等しい。これはRun Iの結果とくらべてかなり低い値となっている。この原因は不明であるが、Run Iとは異なって初期のCOD_Fが高かったことおよび朝下水のCOD_Tが夜下水にくらべてかなり高く、基質となり得る浮遊性有機物が多かったことから、図-8(イ)にみられるように朝下水について生成したMLSSが高かったことが吸着を含む浄化反応に影響を与えたとも推論される。一方、比較的处理水CODの増加傾向が大きい3日目から7日目までの安定有機物生成率を前項と同様に求めると、朝下水で0.115、夜下水で0.122、ブランクで0.100とほぼ同様な値が得られた。また、これらの汚泥の自己分解過程におけるE260とCODの相関はMP系と同様に高く、COD/E260比は図-9より約175と得られるが、この値はMP系の場合の約1/2で大きく異なる。しかし、先に表-1に示したろ液(5C-0.1ミクロンフィルタ)の値とは近い。これは0.1ミクロンあるいは0.45ミクロン以上の有機コロイドと呼ぶのが適当と考えられる物質が活性汚泥細菌の溶菌(解体)によって生成される細胞壁(膜)構成成分(ペプチドグリカン、リボ多糖体-たん白複合物)であって、それがMP汚泥と家庭下水汚泥で大差ないためと考えられよう。

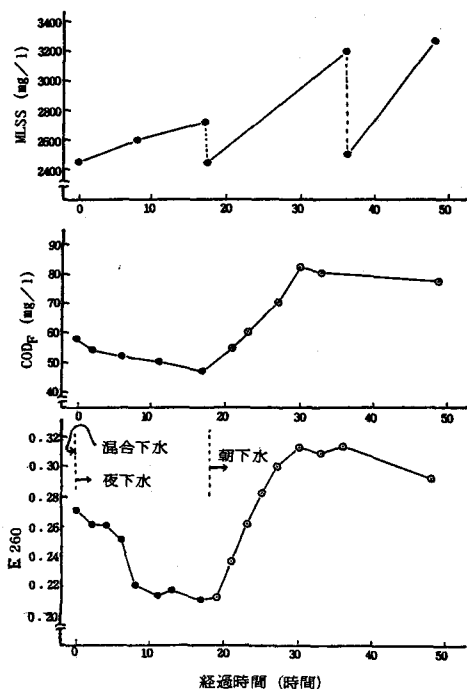


図-10 朝・夜下水によるステップ変化と処理水質(5hr)

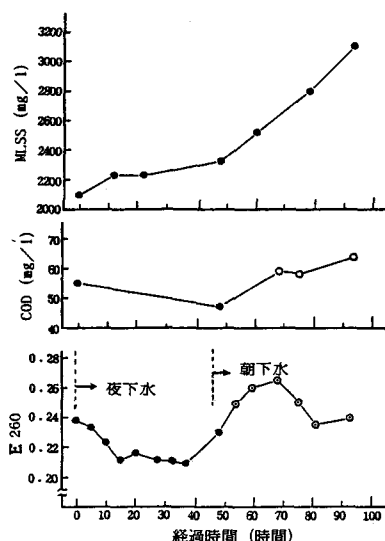


図-11 朝・夜下水によるステップ変化と処理水質(10hr)

4. 安定有機物の挙動に対するばっ気滞留時間の影響

表-2 ばっ気滞留時間別の家庭下水処理の諸条件と処理水質

ばっ気 滞留時間	流入COD 全 (溶)	汚泥令 日	E 260			COD (mg/l)			MLVSS %
			0.1	0.45	5C	0.1	0.45	5C	
5hr	530 (190)	5.2	0.154	0.171	0.307	36	39	59	82.7
10	490 (170)	15.0	0.153	0.165	0.210	29	33	43	80.0
20	340 (182)	27.0	0.161	0.175	0.187	27	35	40	77.2
40	475 (175)	37.0	0.156	0.166	0.197	23	25	30	71.3
100	450 (150)	60.0	0.175	0.193	0.204	36	39	46	69.0

ばっ気時間を5、10、20、40、100時間と変化させることによって汚泥令を変え、そのときの処理水および汚泥の自己分解過程における処理水質を検討した。実験にはばっ気部と沈殿部が隔壁の底部でつながった完全混合型タンクを用いた。平均滞留時間が5、10時間のときはばっ気部の容積が25l、20、40、100時間のときは50lのタンクを用い、1～2℃の冷蔵庫に保存した朝下水と夜下水を等量ずつ混合したものをカムポンプで注入した(それぞれの下水は実験用最初沈殿池から約70m³/m²/日の水面積負荷で得た)。また、ばっ気そう混合液のPHはPHコントローラで7.3に制御した。まず、前項で述べたような分解性の違いをみるための実験として、混合下水でじゅん養していた系にそれぞれ夜下水のみ、朝下水のみを加えたときの処理水の経時変化を調べた結果を図-10、11に示す。図-10にみられるように、夜下水を注入し始めてからE260、CODが徐々に減少しているのに対し、朝下水の場合には逆にかなり急速に上昇している。いずれの場合も経過時間が10時間以降ではほぼ平衡に達しているとみることができる。これらの結果と前項の回分実験結果を合せて考えると、夜下水にくらべて朝下水のほうが難分解性であると結論される。図-11に示した滞留時間が10時間のときの変化傾向も同様であるが、その変化幅は小さい。これはばっ気時間が長くなったことによって処理水中の難分解性有機物濃度が減少したためと考えることができる。ただし、ここで減少した有機物は中間代謝産物と呼ぶのが適当であって、すべて最初から下水中に存在したものと考えるのは正しくない。次に、各滞留時間における処理水質、汚泥令、MLVSS%を表-2に示す。これによると、滞留時間が40時間まではE260、CODがやや低下しているが、100時間においては水質の悪化がみられる。これは回分過程で3～4日付近から処理水E260、CODの上昇が著しかったことと対応しているとみることができ、回分過程と比較してその程度は小さい。したがって、連続流の活性汚泥処理においては回分系の汚泥の自己分解過程とは異なり、良好な汚泥の酸化分解が行なわれたと考えることができ、このことはObayashiら²⁾による細胞壁多糖類の生物分解性の実験的証明によっても裏づけられよう。また、滞留時間が長くなるにしたがって、0.45あるいは0.1ミクロン以下のCODの割合が徐々に高くなる傾向があり、これはSaundersら³⁾の知見と類似している。さらに、この傾向は後で図-7に示す滞留時間40時間の汚泥の自己分解過程後半の処理水質において、0.1ミクロンろ液CODの割合が他の汚泥にくらべて最も高かったこととも類似している。なお、滞留時間が10～40時間における5Cおよび0.45ミクロンろ液COD値から

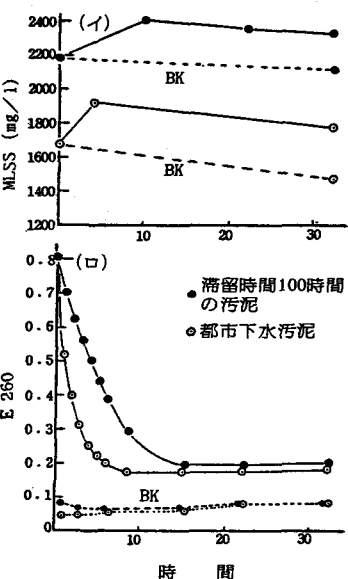


図-1-2 汚泥令の異なる基質除去過程の比較

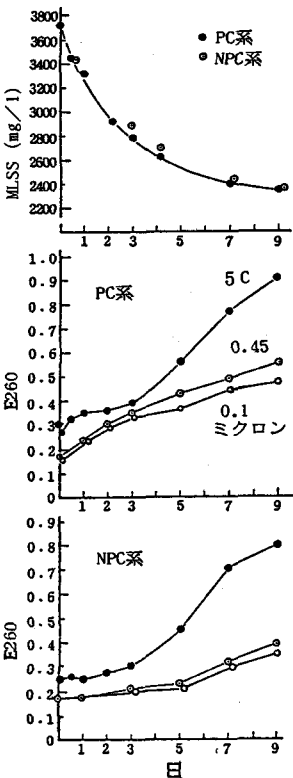


図-1-3 汚泥の自己分解過程と処理水質 (5 hr)

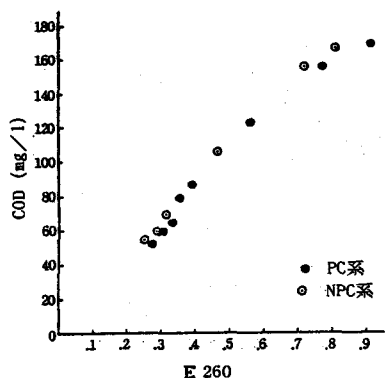


図- / 4 自己分解過程におけるE260とCODの関係

非分解性有機物の割合を求めると、平均値でそれぞれ21%、17%と得られ、これは回分実験での値に近い。

ところで、難分解性の有機物を分解する微生物が増殖しないために浄化されずに残存する有機物があるとすれば、そのような有機物は汚泥令の長い活性汚泥系においてじゅん養された微生物によって分解される可能性がある。そこで、ばっ気滞留時間が100時間でじゅん養された活性汚泥を用いて、前記と同様の回分実験を行なった。下水には朝夜混合下水

(COD_T 450、 COD_P 160mg/l)を用い、対照として都市下水処理場の汚泥を用いるとともに、それぞれブランクとして水道水に塩化カリウムを加え電気伝導度を処理水レベルに調整したものを用いた。このときの初期MLSSは異なったが、MLVSS%はいずれも69%で等しかった。結果を図- / 2に示す。図より、都市下水処理場の汚泥を用いたほうの基質除去速度が高く、汚泥令の長い汚泥を用いたほうは約 $\frac{1}{2}$ の速度である。しかしながら、処理水質がほぼ平衡に達したときのE260をくらべると後者がやや高いものの、その吸光度差は0.021で非常に小さく、CODもそれぞれ27、26mg/lではほぼ等しかった。また、ブランク値は図にみられるように両者でまったく差がなかった。これらの結果から、仮定したようなじゅん化微生物が存在しないために分解除去されない有機物は家庭下水に存在しないか、あるいは存在しても極めて少ないものと推察できる。なお、最小の平衡水質から混合下水における安定有機物含有率は16.6%であり、先のRun IIの結果と同じであった。

次に、それぞれの汚泥令をもつ汚泥の自己分解過程における処理水質の変化について考察する。滞留時間が5時間のものについて、混合液のpHを7.3に制御したもの(PC系)と制御しないもの(NPC系)の二つの結果を図- / 3に示す。

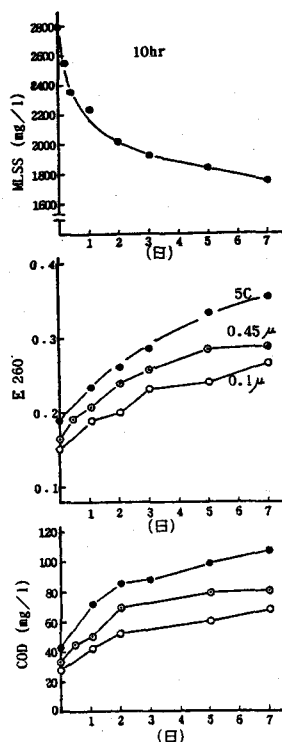


図- / 5 汚泥の自己分解過程と処理水質 (10hr)

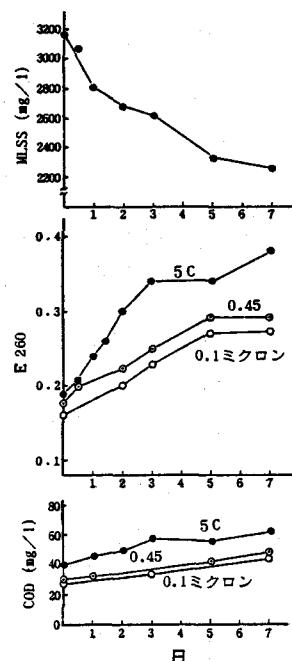


図- / 6 汚泥の自己分解過程と処理水質 (20hr)

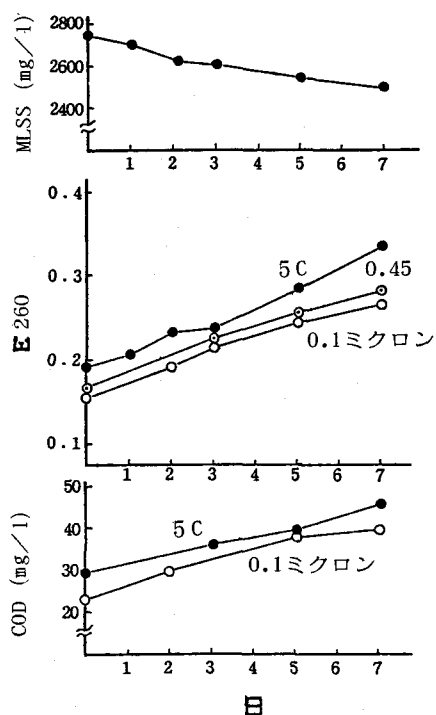


図- / 7 汚泥の自己分解過程と処理水質 (40hr)

図より、E260およびCODが低下する約2時間目から1日目まではMLSSの大きな減少にもかかわらずE260の変化は小さく、とくにNPC系においてはE260、CODの変化がまったくないのが特徴である。3日目以降においては先に示した都市下水汚泥とほぼ同様に両系でE260が増加している。また、図-/4に示すようにE260とCODの相関は高く、PC系とNPC系で差がない。pHを制御した他の例については図-/5~7に示すように、処理水質の変化パターンはいずれも類似している。ただし、それぞれの系におけるE260とCODの回帰傾向の傾きは図-/8に示すように異なる。これは初期汚泥の有機物組成(微生物相)が異なるためであろう。汚泥令との間に特別な傾向はみられないが、滞留時間が5、10時間で汚泥令が比較的短いものに比べて、汚泥令が長いもののCOD/E260の値は低い。また、同図に示したように5Cと0.1ミクロンフィルタろ液では差がないことが明らかである(MP系の場合には有意な差があった。)

次に、各汚泥の自己分解過程における処理水質の変化を1日目まで、1~3日目、3~7日目と3段階に分け、前述と同様にそれぞれにおける安定有機物生成率を算出した結果を表-3に示す。これによると、大略1日目までの生成率が低く、他の期間ではやや高い値を示している。なお、汚泥令が最も短い系におけるCOD/E260は約210であり、これは前項で検討した値とほぼ等しい。

5. おわりに

回分式と連続式の実験によって家庭下水の活性汚泥処理における代謝産物(安定有機物)に関して以下のことを明らかにした。1) 溶解性有機物を対象として考えると、家庭下水中の非生物分解性有機物の割合はおよそ17%である。2) 分解(除去)速度の遅い難生物分解性有機物の割合は朝下水で高く、ばっ気滞留時間が5時間の活性汚泥処理において10~15%存在した。3) 分解能を有する微生物が増殖しないために処理水中に残存するような非生物分解性の有機物はほとんど存在しない。4) 汚泥の自己分解に伴う安定有機物の生成率は分解の初期に低いが、汚泥令が異なっても大きな違いはなかった。

本研究を行なうにあたり、江別市水道部の皆様から多大な便宜を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) C. P. L. Grady and D. R. Williams: Effects of Influent Substrate Concentration on the Kinetics of Natural Microbial Populations in Continuous Culture, Water Research, Vol. 9, pp. 171~180 (1975)
- 2) A. W. Obayashi and A. F. Gaudy: Aerobic Digestion of Extracellular Microbial Polysaccharides, JWPCF, Vol. 45, No. 7 (1973)
- 3) F. M. Saunders and R. I. Dick: Effect of Mean-cell Residence Time on Organic Concentration of Activated Sludge Effluents, JWPCF, Vol. 53, No. 2 (1981)

表-3 各種汚泥における安定有機物生成率

	5hr		10hr	20hr	40hr
	PC	NPC			
0~1日	0.021	0.000	0.051	0.019	0.025
1~3日 (平均)	0.033	0.025	0.067	0.039	0.045
3~7日 (平均)	0.019	0.022	0.062	0.023	0.090

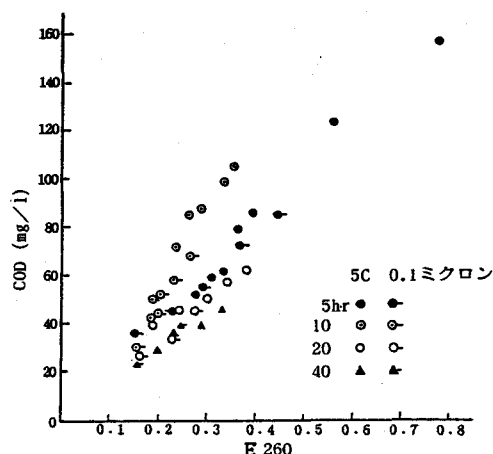


図-/8 各汚泥の自己分解過程におけるE260とCODの関係