

Bioferric Processによる下水の高度処理 — その実証運転結果について —

京都大学 工学部 正会員 岩井 重久
 栗田工業(株) 総合研究所 北尾 高嶺
 〇 向井 常雄

1 緒言

下水処理を公共用水域における水質汚濁防止、富栄養化防止、さらに、工業用水への再利用といった環境衛生上、あるいは水資源開発上の問題として考えていく場合、種々の困難な問題が生じてくる。まず、装置上の問題として、処理プロセスが高度化、複雑化するため、維持管理に非常に高度な処理技術が要求されてくること。次に、経済性的問題として、高度な処理水質が要求されればされるほど、処理費用が高くなること。さらに、水質上の問題として、原水(生下水)の水質変動、水量変動を完全に制御し、要求水質を常に一定に保つことが技術的にきわめて困難であること等々の問題があげられる。一般に、これらの諸問題を解決するために、物理的、化学的、あるいは生物学的分野から、各種の方法が検討されている。

われわれは、このような第1、第2の問題点をほぼ解消し、第3の水質面においても、微生物の増殖に必要なリンおよび有機物、特に微生物質化性の有機物(BOD成分)をほぼ完全に除去し、生物学的ポテンシャルの低い水質が得られる下水高度処理プロセス、すなわち、鉄塩凝集法と鉄フロックエアレーション法、ろ過法を組合せた方式(以下、Bioferric Processと称する)を開発し、検討を続けてきた。その結果、種々の知見から、今後の下水工業用水化、あるいは公共用水域における富栄養化防止に、きわめて明るい見通しを得ることができた。本研究に関しては、すでに3ヶ月^(1,2)の小型試験装置による実験結果を報告してきたが、ここでは100~150^{mg}/dayのパイロットプラントにより、昭和47年4月から昭和48年3月まで、某下水処理場で行なった実証運転結果を報告する。

2 実験方法および実験条件

実験装置のフローシートを図-1に示した。原水には、下水処理場の沈砂池流入口から採取した生下水を供試し、処理量は100~150^{mg}/dayとした。

生下水は、図-1に示したように、沈砂工程、鉄塩凝集工程、鉄フロックエアレーション工程、およびろ過工程の順に処理される。

凝集工程では、凝集剤として硫酸鉄=鉄、もしくは塩化鉄=鉄を30~40 ppm(as Fe)添加し、急速攪拌3~7分、緩速攪拌10~20分、沈殿時間約80分とした。pHはフラッシュミキ

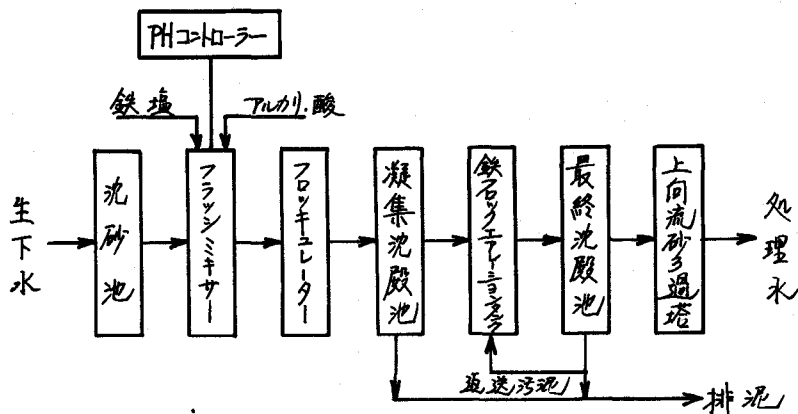


図-1. 実験装置のフローシート

一内でPH5~6となるように、炭酸ソーダおよび硫酸を中和剤として自動制御した。

鉄フロックエアレーション工程では、エアレーション時間3~5時間、沈殿時間1.5~2.5時間、MLSS約2000ppm、PH6.0~6.5、通気量0.7~1.0 m³/m² Tank/hrとした。

ろ過工程では、砂ろ過、二層ろ過(アンモライト-砂)、および上向き砂ろ過について比較検討し、ろ過速度(L/h)は、前者は6m/h、後者は10、15m/hとした。

水質分析は、すべてJIS、K-0101、K-0102に従った。試料の採取は、原則として2日1回、1:00および15:00とし、採取場所は、生下水については沈砂池出口、凝集処理水については鉄フロックエアレーションタンク入口、鉄フロック処理水については最終沈殿池出口、ろ過処理水についてはろ過塔出口とした。

3. 実験結果

昭和47年4月~昭和48年3月までの水質分析結果とその信頼限界(出現率85%以上)との関係を表-1に、また、各月別の平均BOD、COD_{Mn}(過マンガン酸カリウム高温酸法)の変化を図2、-3に示した。

生下水の水質は、染色排水を主体とする工場排水の混入の影響を受け、かなり変動が激しかった。月間平均値としては、図2、-3に示したように、4月~11月の期間ほど安定しており、12月以降の冬期には高くなった。特に、溶解性の有機物は11月までの約2倍となる傾向を示した。

凝集処理工程では、生下水中のBOD、COD成分の約70%が除去されたが、冬期に入ると、生下水中の溶解性有機物が増加するにつれて除去率が低下し、約50%前後となった。図4に、生下水と凝集処理水のBODの相関を示したため、工場排水から凝集され難い物質(糖類、ノニオン系界面活性剤など)が混入してくると、凝集処理は悪化した。生下水BOD成分は、凝集工程で約70%除去されたが、前述のような非凝集性物質が存在すると、約40%前後の除去率が低下し、次の鉄フロック工程への負荷を高めた。この現象は、全実験期間中認められ

表-1. 本実験水質分析結果(547.4~548.3)

	生下水	凝集処理水	鉄フロック処理水	ろ過処理水
PH	6.5~8.0 (88)	5.0~6.5 (85)	6.0~6.5 (87)	6.0~6.5 (88)
SS (ppm)	60~150 (85)	5~30 (85)	10以下 (95)	Trace (100)
BOD (ppm)	100~250 (85)	30~90 (85)	5以下 (96)	Trace (99)
COD _{Mn} (ppm)	70~250 (86)	20~100 (85)	2~20 (91)	3~15 (92)
COD _{Cr} (ppm)	300~500 (85)	70~250 (85)	20~40 (85)	15~30 (86)
PO ₄ (ppm)	3~9 (86)	0.3~1.5 (85)	0.1以下 (85)	0.1以下 (99)
Total-P (ppm)	3~7 (89)	1~2 (86)	0.1~0.5 (90)	0.1以下 (98)
NH ₄ -N (ppm)	5~10 (94)	—	3~6 (96)	—
Total-N (ppm)	15~20 (90)	10~15 (85)	5~10 (86)	—
Total-Fe (ppm)	0.5~1.0 (85)	4~11 (85)	0.5~1.0 (85)	0.1~0.2 (94)
Alkalinity (ppm CaCO ₃)	100~150 (85)	—	20~40 (85)	—

(注) 1. COD_{Mn}は過マンガン酸カリウム高温法、COD_{Cr}は重クロム酸カリウム法
2. カッコ内の数値は信頼限界(出現頻度%)を示す。

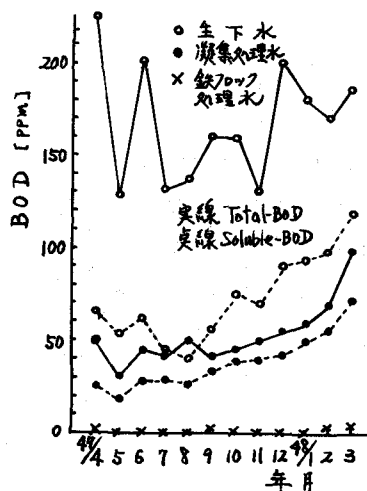


図-2. BODの月別平均変化

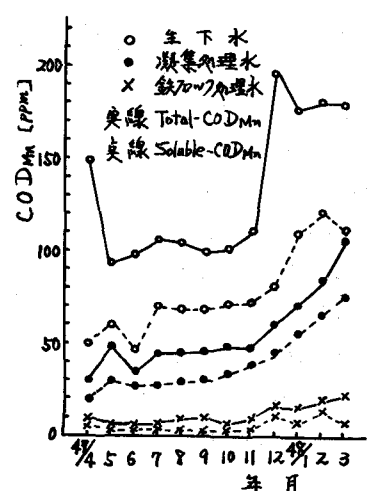


図-3. COD_{Mn}の月別平均変化

だが、特に冬期に頻繁に生じた。図5は、鉄フロック処理工程への各有機成分負荷とその処理水質の関係を示したものである。各有機成分の負荷は、 $0.1 \sim 0.2 \text{ kg-BOD/CODMn/kg-MLSS/day}$ 、 $0.2 \sim 0.4 \text{ kg-CODCr/kg-MLSS/day}$ での運転が大半であり、この場合の各処理水質はBOD 1ppm以下、CODMn 5~10ppm、CODCr (重クロム酸カリウム法) 20~25ppm程度となつた。しかし、負荷がこれより以上になると、処理水中に濁質成分が現われ、つまり、BOD、COD成分を増加させる傾向にある。また、前述の非凝集性物質が流入すると、この傾向が、より著しくなる。しかしながら、この場合の濁質成分は、次の3過処理工程で除去され、最終的にはBOD成分はほぼ完全に除去された。一方、COD成分は20~30%程度しか除去されず、3過処理水中に、CODMn 15~20ppm、CODCr 30~40ppm残った。

鉄フロックエアーレーションタンク内のフロックは、3つめて沈降性がよく、5~10分静止後の沈降容積が30分後のそれとほとんど変わらない傾向となり、SVI値は25~70となった。

次に、3過処理は前述のように、砂3過、アンスラサイトと砂の二層3過、上向流3過(イメディアフィルター)について比較検討を行った。図6は、3過原本(鉄フロック処理水)の水質条件がほぼ同一傾向にあった場合について、それぞれの通水時間と損失水頭の関係と比較して示した。

砂3過は、表層に5~6mm程度の汚状層を形成し、LT6m/hrで、損失水頭3000~5000mmH₂Oまでの通水時間が5時間程度であった。SS捕捉量は、 $1.0 \sim 1.5 \text{ kg-SS/m}^2\text{3材}$ であった。二層3過では、アンスラサイト層と砂層の間に、マットボール、あるいは泥状層を形成することもなく、粗大浮遊物がアンスラサイト層に、微細懸濁物が砂層に均一に捕捉され、砂3過にみられたような急激な損失水頭の上昇現象はみられなかった。そして、LT6m/hrで損失水頭3000~5000mmH₂Oまでの通水時間とSS捕捉量は、それぞれ45~55時間、および $4 \sim 6 \text{ kg-SS/m}^2\text{3材}$ となり、砂3過に比べて非常に効果的な処理がなされた。上向流3過では、砂3過、二層3過の場合よりも高いLTで運転したため、損失水頭3000mmH₂Oにおける通水時間が、LT10m/hrの場合、約50~60時間、LT15m/hrの場合、約40~45時間、SS捕捉量は $4 \sim 6 \text{ kg-SS/m}^2\text{3材}$ となり、SS捕捉量、3過連続時間については二層3過の場合と、ほぼ同一であった。3過処理水質については、それぞれの3過法において大差なく、SS 1ppm以下、濁度2~5、

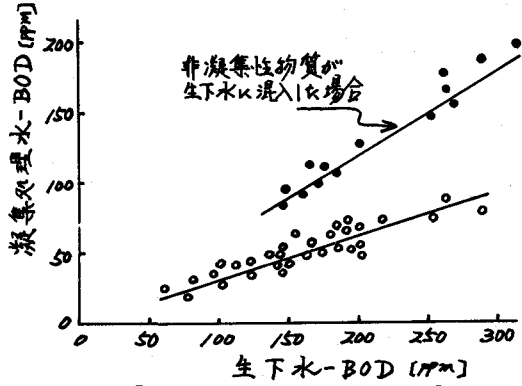


図-4. 生下水-BODと凝集処理水-BODの関係

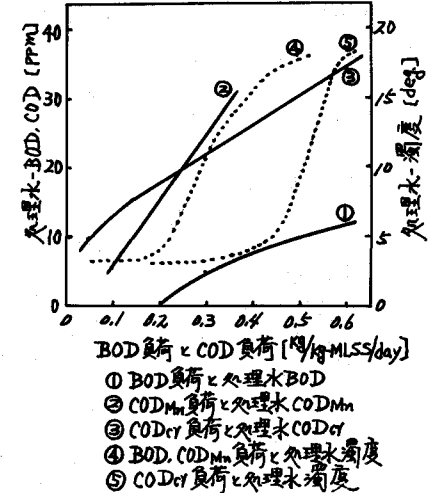


図-5. 鉄フロック処理工程における有機物負荷と処理水質の関係

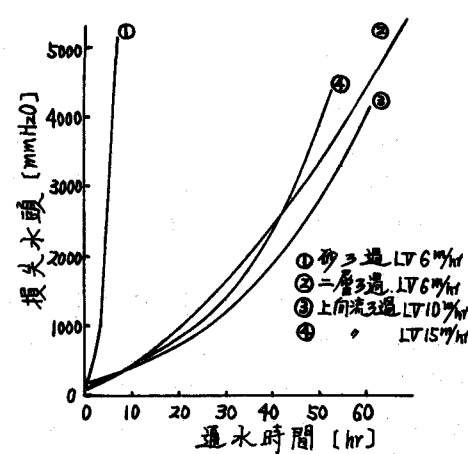


図-6. 3過処理における通水時間と損失水頭

色度10~30であった。

以上、本実験プロセスによる有機物の除去を中心に述べてきたが、その他の成分の除去については、次のようになった。

リンの除去については、生下水中に PO_4 が5~6 ppm存在していたが、凝集処理工程で、鉄塩と反応して不溶態のリン酸塩を形成し、約5%除去された。そしてさらに、鉄フロック工程、3通工程で、0.1 ppm以下、すなわち、約98%が除去され、また、Total-Pについては0.3 ppm以下になった。

窒素については、生下水中の総窒素が15~20 ppmで、一般下水の約 $\frac{1}{2}$ 程度しかはなかったが、凝集工程で約30%がSS成分として除去された。さらに、鉄フロック工程、3通工程で約30%除去され、生下水に対して約50%の除去率となった。また、アンモニア性窒素については、生下水に対して、約30%程度の除去率であった。

アルカリ度については、生下水中に重炭酸根を主体とする成分が100~150 ppm存在したが、鉄フロック処理水で約30 ppmとなり約80%低下した。

次に、本法での汚泥発生量は、凝集汚泥および鉄フロック汚泥(余剰汚泥)が、それぞれ流入水量の2%および0.2%であった。表-2に示した性状の汚泥を混合し、脱水法をSD型遠心分離機(処理速度2.5 m³/hr)により検討したところ、図7に示したような結果が得られた。この混合汚泥は、ノニオン系高分子凝集剤(Kurifloc PN-13/)を4% (vs Dry-Solid)添加すれば、固形分回収率97%以上、含水率8%程度の脱水が行なえた。

表-2. 汚泥の性状

	凝集汚泥	鉄フロック汚泥
全固形分(%)	1.0~2.5	1.0~2.0
溶解固形分(%)	0.1~0.15	0.05~0.10
灼熱減量(%)	40~60	55~70
Fe (%)	15~20	15~20
P (%)	1.0~1.5	1.0~1.5
N (%)	4~5	3~4
SiO ₂ (%)	5~10	3~6
CaO (%)	Trace	Trace
MgO (%)	Trace	Trace

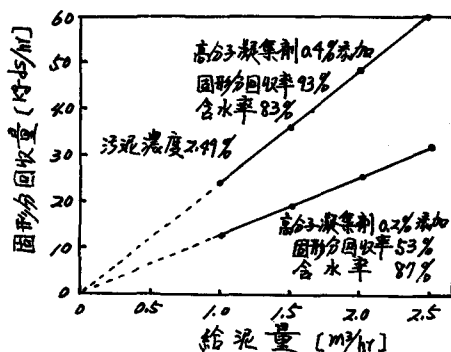


図-7. 汚泥の遠心脱水試験結果

4. 考 察

本実験に原水として供試した生下水は、一般下水の水質とかなり異なり、染色工場排水の混入がはなはだしかったため、水質変動の大半がこれに左右されるものであった。しかし、月間の平均水質面からみると、4月~11月の期間はほぼ一般下水の水質と同様であり、12月以降は、染色排水の影響を著しく受け、有機成分、特に溶存有機物が11月までの約2倍となる傾向を示した。

染色排水の流入が本法処理機能に影響を与えた原因は、主に糊液工程から排出されてくる可溶性デンプン、エーテル化デンプン、ガム類、CMCなどの糖類を主体とするもの、あるいは他の工程から排出されてくるノニオン界面活性剤などが、凝集処理工程で鉄と安定な保護コロイド、もしくは錯体と形成し凝集阻害を起しているためであり、したがって次の鉄フロック処理工程への負荷が高くなり処理水質が低下したものと考える。染色排水は、主に赤、青、紫を呈しているが、本法によりほぼ完全に除去された。しかし、反応性、酸性染料が流入したと推定される場合には、色が完全に除去されなかった。

生下水、凝集処理水におけるBODとCOD_{Mn}の関係を図8、-9に示した。生下水においては、4月~10月

の期間 Total-BOD が Total-COD_{Mn} の約 1.3 ～ 2 倍となる傾向を示すが、特に相関は得られなかつた。しかし、11 月以降はほぼ等しい関係となつた。また、溶解性の BOD と COD_{Mn} の間には、全期間を通じて等しくなる関係を得た。このように、BOD と COD_{Mn} が等しくなる傾向は、工場排水の混入が著しいときほどよく現われたい。

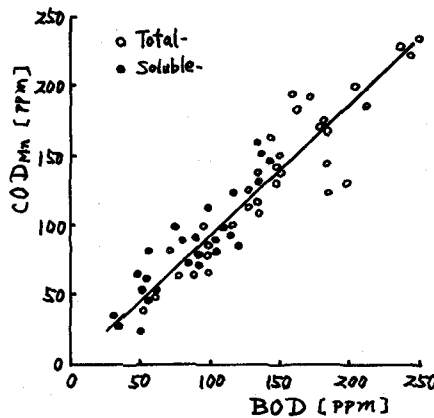


図-8. 生下水における BOD と COD_{Mn} の関係

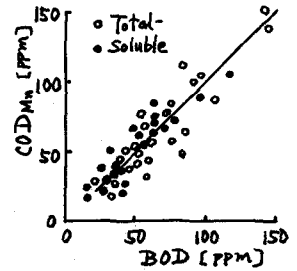


図-9. 凝集処理水における BOD と COD_{Mn} の関係

凝集処理水では、全期間を通じて BOD と COD_{Mn} とがほぼ一致し、COD_{Mn} を決定すれば

BOD も容易に推定できる現象を示す。鉄フロッグ処理水では、特にこの関係は成立しているようであった。また、COD_{Mn} については、他の水質項目と相関を示すことが、よく認められたい。

次に、本法の処理機能の安定性について述べる。鉄塩凝集処理工程では、生下水中の浮遊性懸濁性有機物の約 90% が除去される傾向となつたが、前述の非凝集性物質が混入した場合、この除去率は約 10% 程度低下した。また、この工程では、生下水中の P の約 85%、Total-P の約 70% が除去されるので、オルソリン酸以外のリンもかなり除去されたいと考えられる。残りのリンは、溶解性の形で存在しているから、主に、リン酸鉄の形態を成して次の鉄フロッグエアレーション工程へ流入していくと考えられる。このリンは鉄フロッグに吸着され、その一部が微生物の増殖に利用され、最終的に 0.1 ppm (as Total-P) 以下になつた。

鉄フロッグエアレーション工程では、BOD 負荷が 0.1 ～ 0.2 kg-BOD/kg-MLSS/day と非常に低い範囲で、BOD 成分もほとんど完全に除去するが、それ以上の負荷になると、処理水中に溶質性の BOD が 5 ～ 10 ppm 程度検出されるようになつた。流入 BOD の汚泥転換率は約 30% 程度となり、MLSS を 2,000 ppm 前後に維持するためには、余剰汚泥を流入水量に対して 0.3% 引取りたい。

鉄フロッグ工程で、特色ある傾向の一つとして、エアレーション槽内の pH が 5.5 ～ 6.5 の弱酸性域で、フロッグの沈降性もよくなると同時に、濁度の低い清澄な処理水が得られ、一方、pH が中性に近づくに従って、沈殿池にビンフロッグを生じ、処理水濁度が高くなるという事実が認められた。したがって、pH を弱酸性に制御することが好ましいわけであるが、凝集処理工程の pH が 5 ～ 6 に制御されている、エアレーション槽内の pH はほぼ 5.5 ～ 6.5 に維持される傾向にあったため、特にエアレーション槽で pH を制御する必要はなかつた。

3 過処理工程では、三種類の 3 過法を検討したが、いずれも鉄フロッグ処理水中の濁度はほぼ完全に除去し、本質的に差異がなかつた。しかし、砂 3 過は 1 サイクルの通水時間わずか 5 時間程度しかなく有効な 3 過法とは言えず、二層 3 過と上向流 3 過は、40 ～ 60 時間となる奥で効果的であると言えたい。また、この両者を比較した場合、上向流 3 過の方が 3 過速度を高くして運転できるため、実用上有利なところ。

本実用化実験結果は、一般下水の処理対象となる場合とかなり異なり、染色工場排水の影響をかなり受けたい。これまでの実験報告と比べて、若干悪い処理結果となつた。染色排水、特に鉄塩非凝集性物質を含む排水が頻繁に混入し、鉄フロッグ処理工程への負荷が高めなのは冬期が多いため、水温低下の影響もかなり受けたいと考えられたい。本実験装置が、すべて鉄板製のものがため、冬期の水温は気温 -3 ～ +12℃ の影響

る大きく受け、凝集沈殿池では約5~12℃、エアレーションタンクでは約5~14℃程度になった。このように本実験において原水の特長、また装置の材質からくる水温低下の問題を除けば、処理水質は一層高度化し、これまでの報告結果と同様になったものと考ええる。

Bioferric Processは、鉄塩凝集法、鉄フロック法、ろ過法を組合せたものであるため、維持管理が比較的簡単であること、さらに、処理費が従来の下水処理費に薬品費を加算した程度のものであることなどの特色を有している。また、生物処理法の一変法としての鉄フロック法は、pHが弱酸性域にあること、有機物負荷が非常に低いことなど、従来の生物処理条件とはかなり異なるものであるにもかかわらず、非常に安定した処理機能を発揮した。さらに、本質的には、BOD、 PO_4 、SSがほとんど完全に除去されたこと、また、アルカリ度で示される重炭酸根もほとんどなくなったこと等2の特色を有している。したがって、本法により微生物発生上の重要な因子となる物質を、窒素成分を除いてほとんど除去し得たことは、下水の工業用水化、あるいは公衆用水域の水質汚濁防止や富栄養化防止の立場から、非常に意義のあるものと考ええる。

5. 要 約

Bioferric Processは、鉄塩凝集法、鉄フロック法、ろ過法を組合せた下水の高度処理法である。本法の実用化を確認するために、昭和47年4月から昭和48年3月まで、某下水処理場で処理規模100~150 m^3/day のパイロットプラントテストを行なった。

生下水は、染色工場排水がかなり混入していたため、水質変動がはなはだしかった。しかし、凝集処理工程で、浮遊性懸濁性有機物の約80~90%、溶解性有機物の約50%が除去され、また、リン成分の約5%が除去された。さらに、鉄フロック処理工程、ろ過工程で、SS、BOD、 PO_4 がほぼ完全に除去され、また、原本CODが90~95%除去され、 COD_{Mn} 5~10 ppm、 COD_{Cr} 20~30 ppmとなった。

次に、本法から発生する汚泥(凝集汚泥と鉄フロック余剰汚泥)は、ノニオン系高分子凝集剤E24% (vs Dry-Solid)程度添加すれば、遠心分離法により効果的に脱水された。

6. 参考文献

- 1.) 何井, 北岡, 栗山: 土木学会第26回年次学術講演会, 講演集, II-187, 1971.
- 2.) 何井: 日本醸造工学会大会, 講演要旨集, 144, 1972.