

JAERI-M

6 3 2 9

放射線による廃水処理に関する研究

IV 下水汚泥の処理

1975年12月

佐藤 広昭^{*}・町 末男・鷺野 正光

日 本 原 子 力 研 究 所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

放射線による廃水処理に関する研究
Ⅳ 下水汚泥の問題

日本原子力研究所高崎研究所研究部

佐藤広昭^{*}・町末男・鷺野正光

(1975年11月17日受理)

下水汚泥に種々の条件でガンマ線を照射し、照射後の下水汚泥の脱水性について調べた。照射条件としては、pH、酸素、温度の影響、および有機高分子凝集剤、次亜塩素酸ソーダの添加効果について調べた。

放射線の照射効果はつぎの通りであった。(1)下水汚泥を酸性にして照射したときにケーキ比抵抗、脱水ケーキの含水率が低下した。(2)照射によって脱水ケーキの汙材からの剥離性が向上した。(3)下水汚泥の濃縮性が多少向上した。

これらの放射線による前処理効果は、将来下水汚泥が肥料として要求されるようになったときに、放射線の殺菌作用と組合せて下水汚泥の肥料化に役立つことが期待できる。

* 荏原インフィルコ株式会社外来研究員

Radiation Treatment of Waste Water

IV. Treatment of Sewege Sludge

Hiroaki SATO,* Sueo MACHI and Masamistu WASHINO

Division of Reserch, Takasaki, JAERI

(Received November 17, 1975)

Dewatering characteristics of sewege sludge after irradiation under various conditions were studied. Influences of pH, oxygen, temparature and additives such as organic flocculant or hypochloride were investigated.

The effects of irradiation were as follows:

- (1) Filterability and water content of the filter cake decreased under acidic conditions.
- (2) The separability of the filter cake from the filter medium was improved.
- (3) The settleability of sewege sludge increased to some extent.

These effects will be usefull in combination with disinfection of sewege sludge in the case of utilizing sewege sludge as fertilizer.

* Ebara Infilco Co.

目 次

1. 緒 言	1
1.1 研究の目的と意義	1
1.2 下水汚泥の処理処分の現状	1
1.2.1 下水汚泥の性質	1
1.2.2 下水汚泥の処理処分の方法	2
2. 実験方法	5
2.1 まえがき	5
2.2 沈降・汙過試験	5
2.2.1 沈降試験	5
2.2.2 汙過試験	5
2.3 ガンマ線照射	8
3. 実験結果および考察	9
3.1 まえがき	9
3.2 原汚泥への照射効果	9
3.3 pHの影響	13
3.4 酸素の影響	13
3.5 温度の影響	18
3.6 有機高分子凝集剤の添加効果	18
3.7 次亜塩素酸ソーダの添加効果	18
3.8 本章のまとめ	18
4. 結 言	21
5. 参考文献	22

1. 緒 言

1.1 研究の目的と意義

水処理プロセスの大部分は分離の操作であり、その結果生成する分離物 — すなわち汚泥 — の処理処分を完全に行なわなければ水処理が完結したとはいえない。

水処理の結果生成するおもな汚泥には浄水場から排出される無機性の汚泥と下水処理場から排出される有機性の汚泥とがあるが、下水処理場から排出される有機性の汚泥は腐敗性で、悪臭があり、脱水性が悪く処理処分が困難な汚泥である。

下水汚泥の発生量は処理下水量の1%以上に達し、量的にも大量に発生し、沈殿濃縮しても95%内外の水分を含む。また濃縮汚泥を脱水しても脱水ケーキは多くの水分を含み乾燥焼却する場合の障害となる。以上のように、下水処理における汚泥の処理・処分は困難であり、水を浄化することに劣らず重要な問題である。

汚泥の処理処分の方法には後節(1.3)で述べるような数多くの方法があるが、それぞれの方法に種々の問題があり、絶対的にすぐれた方法は確立されていない。

このように下水汚泥の処理処分方法は大きな問題となっており、人間が居住する地域には永久に発生するものであり、その合理的な処理処分方法を開発する意義は極めて大きい。

他方、放射線を公害問題の解決に利用しようとの動きが活発となり、米国やヨーロッパ各国をはじめ我関においてもこの1~2年多方面から関心が寄せられている¹⁾。

汚泥の処理処分方法としても、放射線を下水汚泥に照射、殺菌し、肥料として利用する試験がなされている²⁾。

また下水汚泥に放射線を照射した場合の沈降性・浮過性の変化を調べた研究の報告がなされている³⁾⁴⁾。しかし、種々の物理化学的条件で放射線を照射したときの沈降性・浮過性の変化については詳しい検討はなされておらず、また汚泥処理プロセスへの適用性についての検討もされていない。

このため本研究では下水汚泥に種々の条件で放射線を照射したときの下水汚泥の脱水性に与える影響を調べ、放射線を汚泥処理プロセスに利用したときの特徴、他の処理方法との比較検討を行った。

1.2 下水汚泥の処理処分の現状

1.2.1 下水汚泥の性質

下水処理場からのおもな汚泥は最初沈殿池からの最初沈殿池汚泥と活性汚泥処理から生成する余剰活性汚泥である。

最初沈殿池汚泥は下水を沈殿分離して生成した沈泥であり、繊維分を含み浮過性は比較的良い。余剰活性汚泥は活性汚泥処理の結果生成した微生物粒子の集合体であり、粒径は1~10 μ で、ゲル成分が多いため非常に浮過性が悪い。この粒子は微生物の代謝作用によって生成される多糖類によって微生物同志が凝集したものであり、粗たんぱくが50~60%含まれている。余剰活性汚泥の顕微鏡写真を図-1に示す。

通常汚泥処理をする場合、余剰活性汚泥を最初沈殿池に導いて最初沈殿池汚泥と混合して沈殿分離した混合生汚泥を原汚泥として処理する。

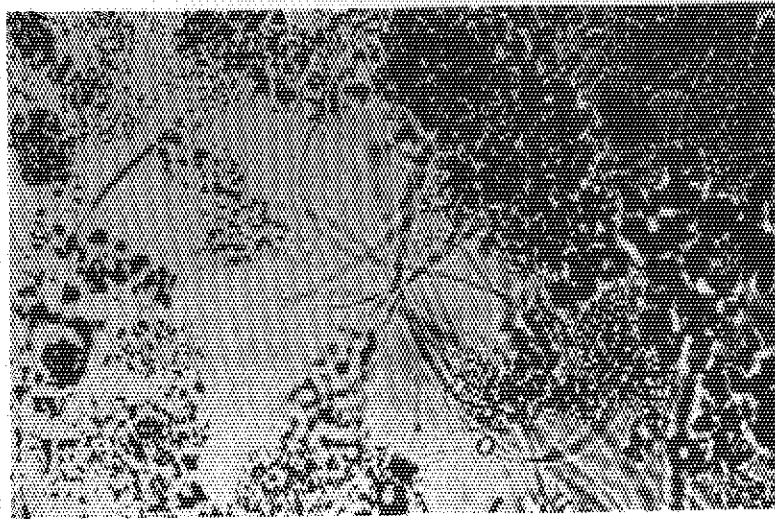


図-1. 余剰活性汚泥の顕微鏡写真(400倍)

表-1に下水汚泥の性質および生成量の1例を示す。⁵⁾

表-1. 下水汚泥の種類, 量, 性質⁵⁾

汚泥の種類			水分%	汚泥量 ℓ/人・日	性質
	g/人・日	濃度%			
普通沈殿	52	5	95	1.05	悪臭
薬品沈殿	—	—	95以上	—	腐敗し膨大す
余剰活性汚泥	35	0.7	99.3	5.0	新鮮ならば悪臭, 腐敗性
humus	22	8	92	0.28	比較的安定
消化汚泥	34~52	13~8	87~92	0.26~0.95	安定, タール臭
余剰活性汚泥をさらに沈殿池に導いた場合	87	4.5			

1.2.2. 下水汚泥の処理処分の方法

下水汚泥の処理処分の目的は次の通りである。

- ① 大量の水分を含む汚泥を脱水し, 容積を減少させ, あとの処理を容易にすること。
- ② 病原菌を消滅あるいは減少させること。
- ③ 汚泥中の固体を乾燥製品として飼料, 肥料などにして回収する。
- ④ 脱水ケーキを乾燥焼却した後の灰を埋立て, あるいは海洋還元する。

この中で①②は汚泥の処理であり, ③④の処分を容易にするための工程である。

現在の汚泥の処理処分方法の代表的なものを図-2のフローシートに従って説明する。

1) 汚泥の濃縮

下水汚泥は99.5~95%の含水率をもち膨大な量となるので, どのプロセスを採用するにしても濃縮は欠かせない。沈殿濃縮法による固形物の濃縮の限度は混合生汚泥で8%, 活性汚泥で2%程度で, 下水汚泥の粒子の性質からしてそれ以上の濃縮は沈殿濃縮法では困難である。

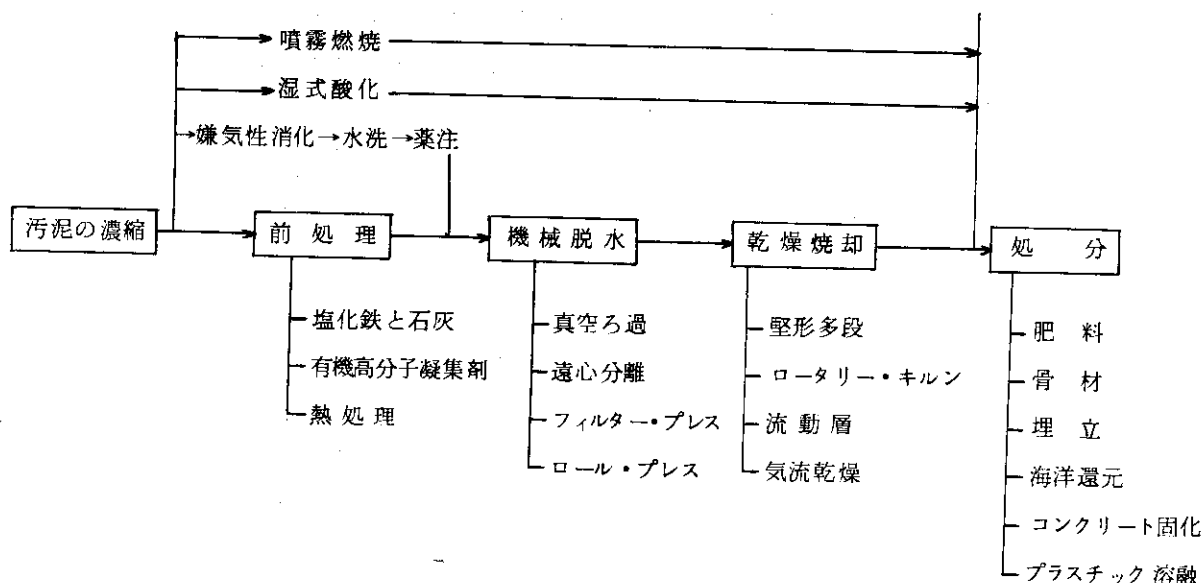


図-2 下水汚泥処理処分フローシート

2) 前処理

下水汚泥をそのままろ過しようとしても、汚泥粒子は微細で、ろ布の目づまりを起こし、圧縮性であるため、そのままではろ過困難である。下水汚泥はいかなる機械脱水方法で脱水しようとしても、そのままでは脱水が困難であるため、凝集剤を添加し、その凝集状態を変えた後、機械脱水を行わなければならない。使用する凝集剤としては塩化鉄と石灰の併用あるいは有機高分子凝集剤がある。⁶⁾⁷⁾

塩化鉄と石灰は汚泥の乾燥固形物重量に対し、塩化鉄は5%、石灰は20%程度加える。塩化鉄と石灰により汚泥粒子の凝集状態が脱水に適した凝集状態となり、真空ろ過や加圧ろ過で脱水が可能になる。しかし、塩化鉄を加えて脱水したケーキを焼却した場合、塩化水素ガスが発生し、焼却炉が腐食する原因となる。また塩化鉄と石灰を多量に添加するため脱水ケーキ量の増大や処分すべき固形物量の増加の原因になる。

有機高分子凝集剤は汚泥の乾燥固形物重量に対し、0.1~0.5%加える。下水汚泥にはポリアミンやポリエチレンイミンなどのカチオン系の有機高分子凝集剤を使用する。下水汚泥に有機高分子凝集剤を添加することにより機械脱水が可能となる。有機高分子凝集剤の特長は無機凝集剤と比較して添加する量が少なくすむため、脱水ケーキの増量がほとんどないことと、焼却した場合に腐食性のガスが発生しないことである。しかし、有機高分子凝集剤は、そのコスト、脱水ケーキの含水率、および脱水ケーキのろ材からの剥離性などに問題がある。

下水汚泥の前処理方法として凝集剤を加える方法以外に熱処理法がある。⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ この方法は下水汚泥を175~200℃で30~60分加熱することにより下水汚泥の物理化学的性質を変え、沈降性や脱水性を改良する方法である。下水汚泥を熱処理した後は沈澱濃縮により汚泥の固形物濃度を10~15%まで高めることができる。熱処理した汚泥をフィルター・プレスで脱水すると、生成する脱水ケーキの含水率は30~50%になる。熱処理することにより沈降性、脱水性が改善される原因は、下水汚泥に含まれる蛋白質が加熱されることにより、凝固・凝集し、汚泥粒子内部における水分子と蛋白質の結合がかわれることによって、水との親和性が低下するためと考えられる。熱処理することにより汚泥粒子の性質が著しく変化するので、凝集剤の添加を必要とせず、そのまま機械脱水することができる。

熱処理法は下水汚泥の脱水性を改善するという点ではすぐれた方法であるが、熱処理することにより脱水分離液中に溶存有機物が流出すること、また臭気の発生や熱交換器へのスケールの付着などの問題がある。

3) 機械脱水

機械脱水機としては、真空濾過機、遠心分離機、フィルタープレス、ロールプレスなどがある。¹¹⁾¹²⁾¹³⁾従来は、無機凝集剤で前処理した後真空濾過機で脱水する方法が最も広く普及していた。最近では脱水助剤として有機高分子凝集剤が開発されたため、有機高分子凝集剤の特性を生かして遠心分離機やロールプレスによる脱水がかなり行なわれている。また、脱水ケーキの含水率を機械脱水によりできるだけ低くするためフィルタープレスによる脱水も行なわれている。

脱水機の性能は脱水ケーキの含水率、処理速度、運転操作の難易、騒音の有無などによって決定される。このなかで脱水ケーキの含水率は、汚泥処理の目的からして、脱水機を選択する場合の最も重要な項目である。下水汚泥の固形物の60~70%が有機物であり、固形物の発熱量が2,000~3,000kcal/kg である。したがって、脱水ケーキの水分を蒸発させるときに必要な熱量より固形物の発熱量が多ければ、脱水ケーキを補助燃料なしに乾燥焼却することができる。

各脱水機で下水汚泥を脱水した場合のケーキ含水率を比較すると真空濾過機で70~80%、フィルタープレスで65~70%、遠心分離機、ロール・プレスで70~75%である。脱水ケーキを補助燃料なしで乾燥焼却するためにはケーキ含水率を60~65%まで低下させる必要がある。

4) 乾燥焼却

脱水ケーキの陸上処分が困難となってきた現在の、処分すべき量を減少させるためにも、乾燥焼却へと進まざるを得ない。現在使用されている乾燥焼却機には堅形多段炉、ロータリーキルン、流動層乾燥機、气流乾燥機などがある。¹⁴⁾¹⁵⁾

脱水ケーキを対象としての乾燥焼却の問題点としては、脱水ケーキの含水率が高いため補助燃料を必要とすることである。前節で述べたように、下水汚泥に脱水助剤を加えて機械脱水しても、脱水ケーキは自然しないため、脱水ケーキの含水率を自然する含水率まで低下させる方法の開発が待望されている。

また乾燥焼却機の設置にともなって臭気、亜硫酸ガス、窒素酸化物、重金属の大気への飛散の問題が起る。

5) 汚泥の処分

汚泥のおもな処分方法としては脱水ケーキの埋め立て処分、肥料としての利用、焼却灰の有効利用などがある。¹³⁾¹⁴⁾脱水ケーキの埋め立て処分は処分地の遠隔化に伴う運搬費の増大、下水汚泥の性質上埋め立て地では敬遠されがちで、埋め立て地の減少にともない処分方法としては将来性はない。肥料としての利用は名古屋市の日日乾燥汚泥や豊橋のフラッシュド라이어による乾燥汚泥をはじめいくつかの都市で実施あるいは研究がなされている。¹⁶⁾一般に、肥料として利用しているのは比較的小規模な処理場であって、現在大規模な処理場では経済的理由から肥料化を放棄している。肥料として利用する場合の問題は販路の開拓で、化学肥料の普及が広く浸透している現在、処理場の近くに持続性のある需要地を求めることは難しい。また現在の大規模な都市下水の処理場では汚泥中に重金属等の有害物質の混入が避けられないため、肥料として利用する場合、汚泥中から重金属を除去しなければならない。

脱水ケーキの埋め立て処分が困難で、肥料としての需要が少なければ、脱水ケーキを乾燥焼却し、焼却灰を捨土するか有効利用しなければならない。下水汚泥の焼却灰の有効利用としてはアスファルトフィルター、路盤材料、軽量骨材、煉瓦の製造材料などに使用する^{17) 18) 19)}方法がある。

2 実験方法

2.1 まえがき

下水汚泥に放射線を照射したときの効果としては下水汚泥の脱水性の向上と殺菌とが考えられる。前節(1.2)で述べたように、我国では下水汚泥を殺菌して肥料として利用する方法は、下水汚泥の肥料としての需用が少なく、現在のところかなり限られている。したがって、前処理方法として放射線を下水汚泥に照射したときに、下水汚泥の脱水性が向上する効果が重要である。それゆえ、本研究では放射線を種々の条件下で下水汚泥に照射し、照射後の下水汚泥の脱水性について調べた。

2.2 沈降・ろ過試験

2.2.1 沈降試験

試料の余剰活性汚泥、混合生汚泥は高崎市下水処理場からポリエチレンのタンクで運搬し、2~3時間静置して濃縮したものを原汚泥として用いた。沈降試験を高さ235mmのメスシリンダーによって行ない、原汚泥と放射線照射後の汚泥とを比較した。また放射線を照射しても濃縮性が改善されない場合はそのままろ過試験を行った。

2.2.2 ろ過試験

ろ過試験は、B.F.Ruthの²⁰⁾ろ過方程式に基づき、ヌッチェ・テストにより求めた実験値を用いて、ろ滓の比抵抗 α (m/kg)、ろ過速度 (kg/m²・hr)を算出し、各種前処理を行なった後の汚泥の脱水性を試験した。

なお、ここに引用するRuthのろ過方程式と関連記号の関係を簡単に下記に示すと、

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K}{2(V+C)} \quad (1)$$

$$K = \frac{2 \cdot P \cdot g_c \cdot A^2 \cdot \kappa}{\alpha \cdot \mu} \quad (2)$$

$$C = \frac{A \cdot K_m \cdot \kappa}{\alpha} \quad (3)$$

定圧ろ過においては、 P が一定なるため(2)式より K が一定、したがって $\theta=0$ の時 $V=0$ として(1)式

脱水ケーキの埋め立て処分が困難で、肥料としての需要が少なければ、脱水ケーキを乾燥焼却し、焼却灰を捨土するか有効利用しなければならない。下水汚泥の焼却灰の有効利用としてはアスファルトフィルター、路盤材料、軽量骨材、煉瓦の製造材料などに使用する^{17) 18) 19)}方法がある。

2 実験方法

2.1 まえがき

下水汚泥に放射線を照射したときの効果としては下水汚泥の脱水性の向上と殺菌とが考えられる。前節(1.2)で述べたように、我国では下水汚泥を殺菌して肥料として利用する方法は、下水汚泥の肥料としての需用が少なく、現在のところかなり限られている。したがって、前処理方法として放射線を下水汚泥に照射したときに、下水汚泥の脱水性が向上する効果が重要である。それゆえ、本研究では放射線を種々の条件下で下水汚泥に照射し、照射後の下水汚泥の脱水性について調べた。

2.2 沈降・ろ過試験

2.2.1. 沈降試験

試料の余剰活性汚泥、混合生汚泥は高崎市下水処理場からポリエチレンのタンクで運搬し、2~3時間静置して濃縮したものを原汚泥として用いた。沈降試験を高さ235mmのメスシリンダーによって行ない、原汚泥と放射線照射後の汚泥とを比較した。また放射線を照射しても濃縮性が改善されない場合はそのままろ過試験を行った。

2.2.2. ろ過試験

ろ過試験は、B.F.Ruth²⁰⁾のろ過方程式に基づき、ヌッチェ・テストにより求めた実験値を用いて、ろ滓の比抵抗 α (m/kg)、ろ過速度 (kg/m²・hr)を算出し、各種前処理を行なった後の汚泥の脱水性を試験した。

なお、ここに引用するRuthのろ過方程式と関連記号の関係を簡単に下記に示すと、

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K}{2(V+C)} \quad (1)$$

$$K = \frac{2 \cdot P \cdot g_c \cdot A^2 \cdot \kappa}{\alpha \cdot \mu} \quad (2)$$

$$C = \frac{A \cdot K_m \cdot \kappa}{\alpha} \quad (3)$$

定圧ろ過においては、 P が一定なるため(2)式より K が一定、したがって $\theta=0$ の時 $V=0$ として(1)式

を積分すると、

$$V^2 + 2VC = K\theta \quad (4)$$

ここに

- V : θ 時間内における汙液量 (m^3)
 θ : 汙過時間
 K : Ruth の汙過定数 (m^3/sec)
 C : Ruth の汙過定数 (m^3)
 P : 汙過圧力 (kg/m^2)
 g_c : 重力の加速度 (m/sec^2)
 A : 汙過面積 (m^2)
 α : 汙滓の比抵抗 (m/kg)
 K_m : 汙材の抵抗係数 ($1/m$)
 K_c : 汙滓の抵抗係数 ($1/m$)
 μ : 汙液の粘度 ($kg/m \cdot sec$)
 κ : 乾燥汙滓単位質量当りの汙液量 (m^3/kg)

$$\kappa = \frac{1 - m \cdot S}{\rho \cdot S}$$

- m : 乾燥汙滓に対する湿潤汙滓の質量比 (-)
 S : スラッジに対する固形物の質量比 (-)
 ρ : 汙液の密度 (g/cm^3)

(2)式を変形して比抵抗 α は、

$$\alpha = \frac{2 \cdot P \cdot g_c \cdot A^2 \cdot \kappa}{\mu} \cdot \frac{1}{K} \quad (5)$$

(4)式を変形して、

$$\frac{\theta}{V} = \frac{1}{K} \cdot V + \frac{2C}{K} \quad (6)$$

ゆえに θ/V を V に対して点綴すれば直線関係を得る。したがって、実験より汙過時間と汙液量 V の関係を求め、 θ/V 対 V の関係をプロットする。得られた直線の切片より $2C/K$ 、直線の勾配より $1/K$ が求まり、Ruth の定数 K 、 C が求まる。 K の値を(5)式に入れて、ケーキの平均比抵抗 α を求める。

またヌッチェ試験により比抵抗 α の測定だけでなく汙過速度も計算により導くことができる。

図-3のような真空汙過機を考え、1回転してケーキは完全に削離されいつも新しい汙過面で汙過すると仮定する。1回転を基準にとると、1回転に要する時間は $1/n$ (sec) であり、1回転する間に汙過する汙過時間は、汙過胴の全体に対して ϕ だけ液に浸っているから、 $1/n \times \phi$ [sec] である。単位時間当りの汙液量を V_u [cm^3/sec] とすると、(4)式より

$$\left(V_u \times \frac{1}{n}\right)^2 + 2\left(V_u \times \frac{1}{n}\right) \cdot C = K \left(\frac{\phi}{n}\right) \quad (7)$$

また、 k [m^2/sec], C [m]を単位汙過面積当りの Ruth の汙過定数とすると、

$$K = k A^2, \quad C = c A \quad (8)$$

なる関係があり、(8)式を(7)式に代入し

$$\left(\frac{V_u}{n}\right)^2 + 2\left(\frac{V_u}{n}\right) c A = k A^2 (\phi/n) \quad (9)$$

書きかえると、

$$\left(\frac{V_u}{A}\right)^2 \frac{1}{n^2} + 2\left(\frac{V_u}{A}\right) \cdot \frac{1}{n} \cdot c - k \frac{\phi}{n} = 0 \dots\dots(10)$$

ここで V_u/A [$\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$] が知りたい汙過速度であり、回転数 n (rps), 浸液比 ϕ (-) を定め、 k, c を実験で求めると(8)式は V_u/A についての2次式で簡単に解ける。

すなわち

$$V_u/A = n \left(\sqrt{c^2 + k \frac{\phi}{n}} - c \right) \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}} \right] \quad (11)$$

(11)式で計算される汙過速度は、汙液量基準の汙過速度であり、一般には乾ケーキ基準 [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$] で表わすのが普通であるので、換算するため κ [m^3/kg] で汙液量基準の汙過速度を割り、乾ケーキ基準の汙過速度を求める。

実験は、ヌッチェ型ロートに湿した汙布 (ナイロン 105 C) をはり、真空ポンプにより 400mmHg まで減圧し、圧力が一定になってから試料をヌッチェに注いで汙過を行ない、汙過時間 θ と汙液量 V とを測定した。実験器具の配置を図-4に示す。

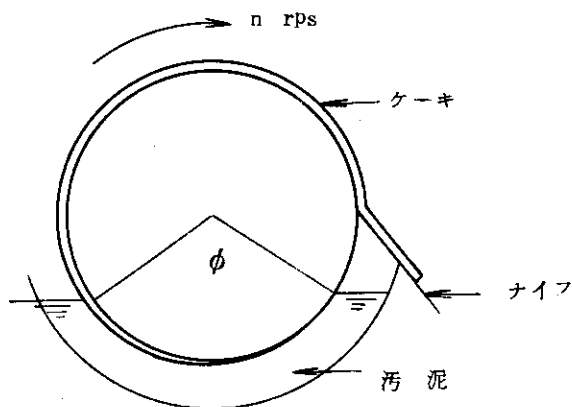


図-3

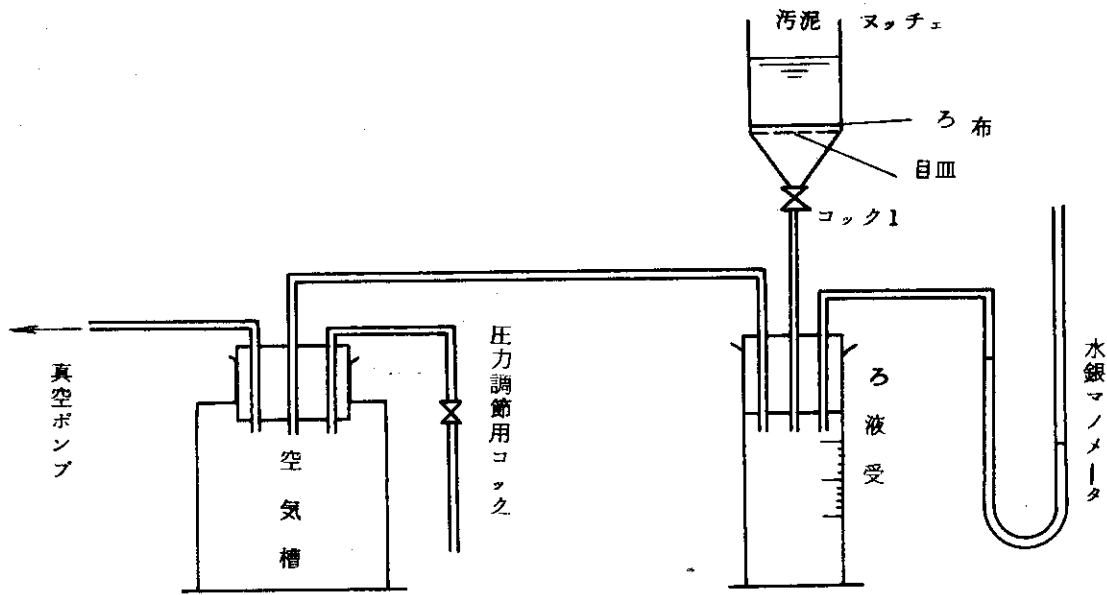


図-4 ヌッチェ試験装置

2.3 ガンマー線照射

線源は日本原子力研究所高崎研究所の ^{60}Co ガンマー線源を使用した。線量率は窒素を飽和したFricke線量計 ($G(\text{Fe}^{3+}) = 8.2$)²¹⁾により求めた。照射容器は300mlのガラス製洗気ビンを使用し、各条件に調整した試料を照射容器に入れた後、所定の線量率の位置に置いて照射した。

3. 実験結果および考察

3.1 まえがき

本研究の目的は下水汚泥に放射線を照射し、下水汚泥の脱水性を向上させることにある。下水汚泥に含まれる固形物の成分のうち60~70%が有機物であり、この有機物の成分は蛋白質と炭水化物が大部分であると考えられる。物理的な構造としてはこれらの成分が微細な不溶性の粒子となって懸濁している状態にある。

下水汚泥に放射線を照射した場合、下水汚泥に含まれる蛋白質や炭水化物が変性・分解し、下水汚泥の脱水性が変化すると考えられる。また照射した下水汚泥の脱水性は、照射条件や添加物によっても変化すると考えられる。

本研究では、照射条件として酸素、pH、温度の影響、および有機高分子凝集剤、次亜塩素酸ソーダの添加効果について調べた。上記の各条件下で下水汚泥を照射したときの下水汚泥の脱水性の変化について述べる。

3.2 原汚泥への照射効果

濃度約2%の混合生汚泥にコバルト60からのガンマ線を各線量照射した後、原汚泥と沈降濃縮性を比較した結果が図-5である。同図よりわかるように放射線を照射しても濃縮性はわずかに改善される程度である。

また同図に熱処理汚泥の沈降曲線を示すが、⁸⁾熱処理汚泥は1時間で全容の20%、2時間以上経過すると10%以下まで沈降する。以上の結果より、下水汚泥を照射するといくぶん濃縮性は改善されるが熱処理した汚泥ほど改善されないことがわかる。

つぎに同汚泥にガンマ線を各線量照射した後、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、沝過速度、脱水ケーキの水分を測定した結果を表-2に示す。図-6は比抵抗の変化をグラフにした結果である。以上の結果に示すように、本実験で使用した下水汚泥についてはガンマ線を $1.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$ R照射することにより比抵抗は約半分に低下し、沝過速度が増加した。しかし 1.0×10^6 R照射すると比抵抗はむしろ増加した。脱水ケーキの水分はいずれの照射線量でもほとんど変化しない。

また表-3にビール廃水を活性汚泥処理したときに生成した余剰汚泥を照射した後、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、沝過速度、脱水ケーキの水分を測定した結果を示す。表-4は同汚泥に塩化鉄を添加してヌッチェテストを行った結果である。図-7は、照射したときと塩化鉄を添加したときのケーキ比抵抗の変化であるが、同図に示すように、同汚泥を照射してもケーキ比抵抗はほとんど低下せず、 6×10^6 Rの照射で30%前後低下しただけである。塩化鉄を添加した場合、汚泥固形物量の2%の塩化鉄を添加しただけで限界比抵抗の 7×10^{11} m/kg以下まで低下した。脱水ケーキの水分はガンマ線を照射しても塩化鉄を添加しても低下しなかった。

以上の結果をまとめると、有機性汚泥にガンマ線を照射すると、有機性汚泥の濃縮性はいくぶん向上するが、熱処理した場合ほどは顕著に向上しない。またケーキ比抵抗もいくぶん低下するが、限界比抵抗以下まで低下しない。脱水ケーキの水分は凝集剤を添加したときと同じ程度である。したがって、有機性汚泥を照射しただけでは、ケーキ比抵抗が限界比抵抗以下まで低下せず、脱水ケーキの

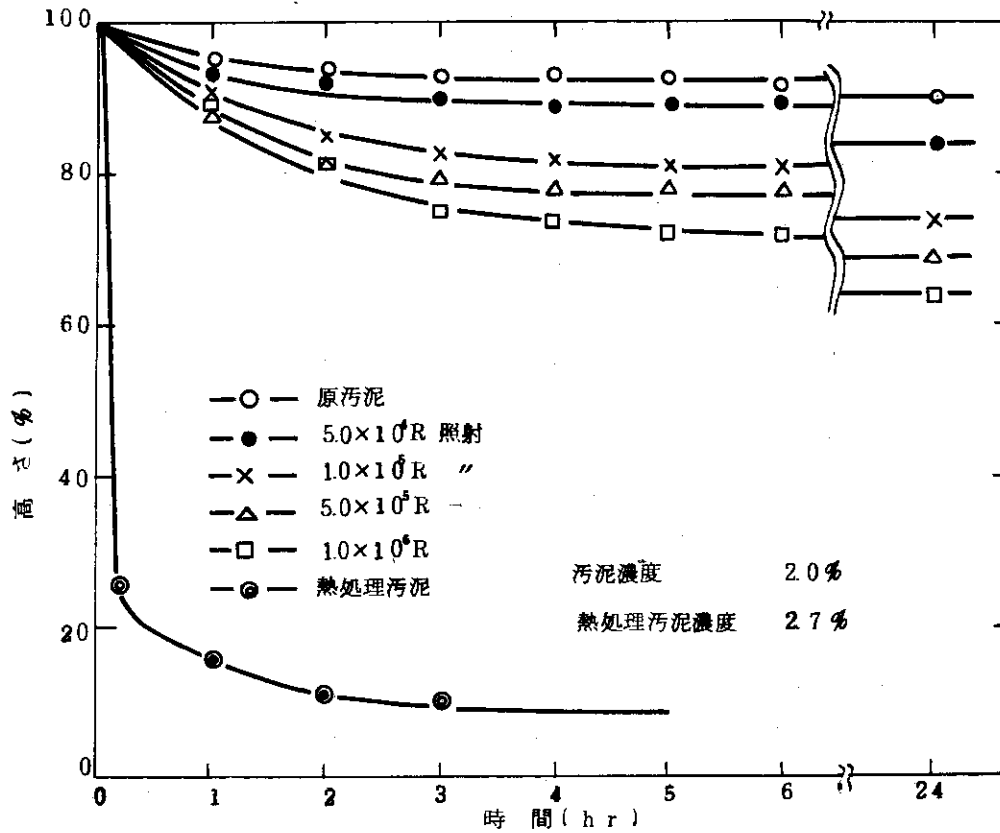


図5 下水混合性汚泥にガンマー線を照射したときの沈降試験結果

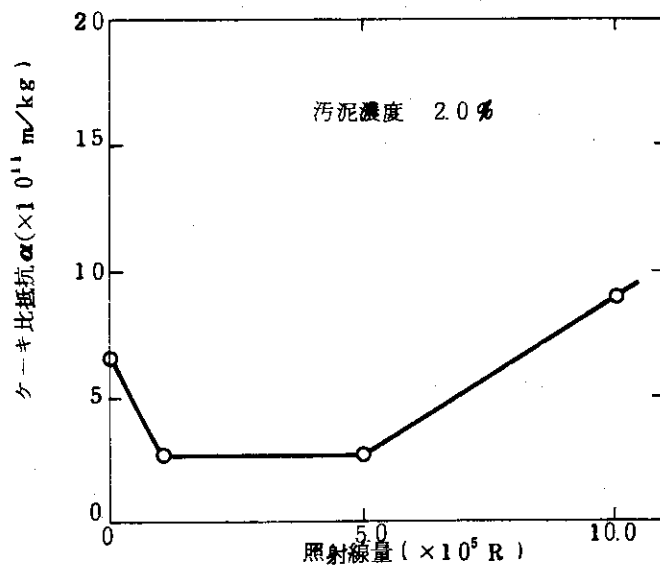


図6 下水混合生汚泥にガンマー線を照射したときのケーキ比抵抗の変化

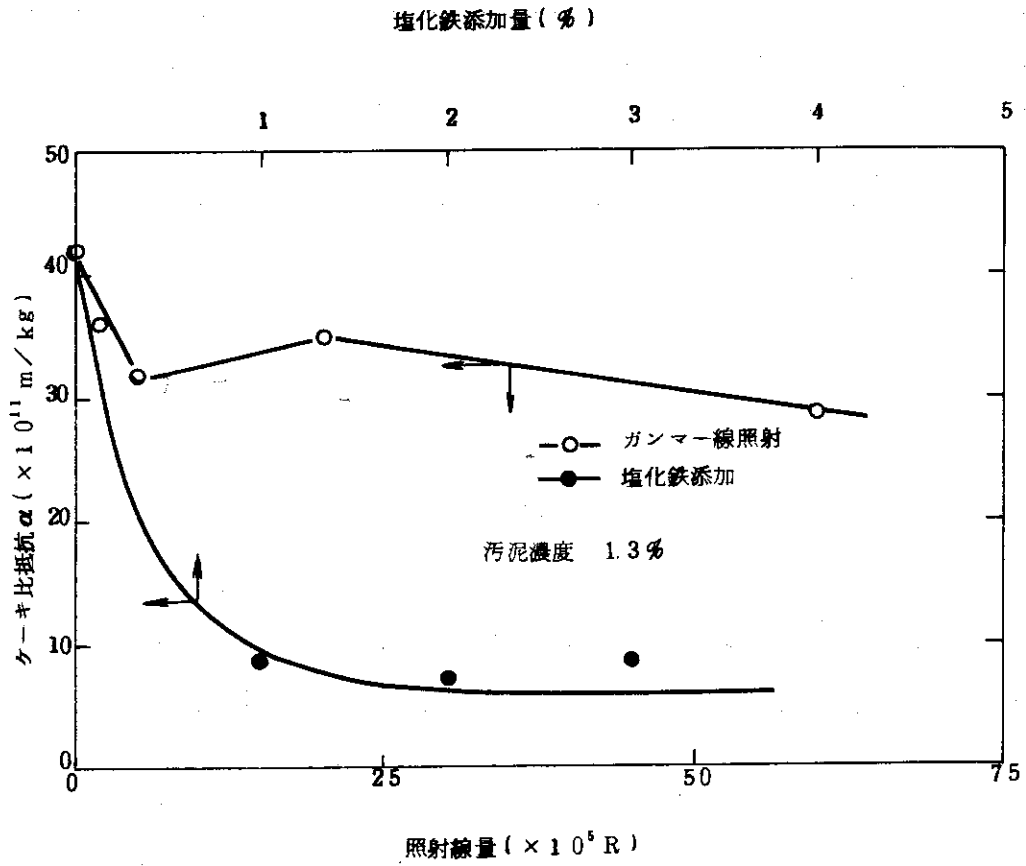


図-7 ビール廃水処理プロセスから生成した余剰汚泥にガンマー線を照射したときと塩化鉄を添加したときのケーク比抵抗の変化

表-2 混合生汚泥にガンマ線を照射し、ヌッチェテストを行った結果

照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)
0	6.5	6.6	77.5
1.0	2.7	9.7	78.0
5.0	3.2	8.9	77.0
10.0	9.0	5.3	75.0

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 2.0%

表-3 余剰汚泥にガンマ線を照射し、ヌッチェテストを行った結果

照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)
0	42	2.1	89.5
2.0	36	2.1	90.1
5.0	32	2.3	90.8
20.0	35	2.2	89.7
60.0	29	2.2	88.2

試料 ビール廃水処理からの余剰汚泥
汚泥濃度 1.3%

表-4 余剰汚泥に塩化鉄を添加し、ヌッチェテストを行った結果

塩化鉄添加量(%)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)
0	42	2.1	89.5
1	8.7	3.9	90.0
2	7.0	4.2	89.7
3	8.7	3.9	88.7

試料 ビール廃水処理からの余剰汚泥
汚泥濃度 1.3%

水分も低下しないので脱水の前処理方法としては適当でない。

3.3 pHの影響

下水余剰汚泥に硫酸、水酸化ナトリウムを加えて、各pHに調整した後照射し、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、滲過速度、脱水ケーキの含水率を測定した結果を表-5に示す。

汚泥をアルカリ性にして照射した場合、汚泥の固形物成分が加水分解して溶解するため滲過不可能となる。

汚泥を酸性にして滲過したとき図-8に示すように、ケーキ比抵抗、脱水ケーキ含水率は低下する。また汚泥を酸性にした後照射すると、図-9、図-10に示すように、ケーキ比抵抗、脱水ケーキの含水率が照射によってさらに低下する傾向にある。

原汚泥に塩化鉄5%と石灰20%を添加した汚泥と、原汚泥をpH2調整した後 1×10^6 R照射した汚泥を滲過したとき、生成したケーキの水分はそれぞれ77.5%、75.3%であった。この脱水ケーキ含水率から汚泥固形物の含水比を求めるとそれぞれ、1:4.6、1:3.0となり、同じ固形物を含む脱水ケーキで比較した場合、pH2に調整した後照射した汚泥の脱水ケーキの水分は塩化鉄と石灰を添加した汚泥の脱水ケーキよりも34.8%少ない。したがって、酸性にして照射することにより十分比抵抗が低下する汚泥については、この方式で前処理することにより、塩化鉄と石灰を加えて前処理するよりも、脱水ケーキを容易に処理処分することができる。

3.4 酸素の影響

下水混合生汚泥を容積250mlのガス洗気ビンに入れ、酸素を流速200cc/minで供給しながら各線量照射した後、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、滲過速度、脱水ケーキの含水率、固形物回収率を測定した結果を表-6に示す。また図-11、図-12に照射線量に対するケーキ比抵抗は図-11に示すように低下しない。固形物の回収率も汚泥中の固形物が溶解するため、図-12に示すように照射線量の増加につれて低下する。したがって、酸素供給状態で照射しても、ケーキ比抵抗、ケーキ含水率が低下せず、固形物が溶解する傾向にあるので、汚泥を酸素飽和状態にして照射しても汚泥の脱水性は改善されない。

3.5 温度の影響

下水混合生汚泥を100℃で照射した後、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、滲過速度、脱水ケーキの含水率、固形物回収率を測定した結果を表-7に示す。汚泥は100℃にしただけで凝集が良好になり、ケーキ比抵抗が低下した。汚泥を100℃で照射すると、図-13に示すように、ケーキ比抵抗はいくぶん低下するが、汚泥中の固形物が溶解するため、図-14に示すように固形物回収率が低下する。脱水ケーキの含水率も、表-7に示すように、100℃で照射しても低下しない。したがって、汚泥を100℃で照射しても、汚泥の脱水性は改善されない。

表-5 余剰汚泥を各pHに調節した後ガンマ線を照射し、
ヌッチェテストを行った結果

pH	照射線量($\times 10^6 R$)	比抵抗($\times 10^{12} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)
pH 2	0	9.0	1.0	75.3
"	1.0	6.4	1.2	74.8
"	5.0	8.5	1.0	74.8
"	10.0	5.6	1.2	74.1
pH 3.5	0	11.0	0.9	77.5
"	1.0	13.0	0.8	80.4
"	5.0	15.0	0.8	79.2
"	10.0	8.2	1.0	80.0
pH 6.8	0	22.0	0.7	81.1
"	1.0	6.7	1.4	80.3
"	5.0	6.4	1.2	80.4
"	10.0	13.0	0.8	80.0

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 0.8%

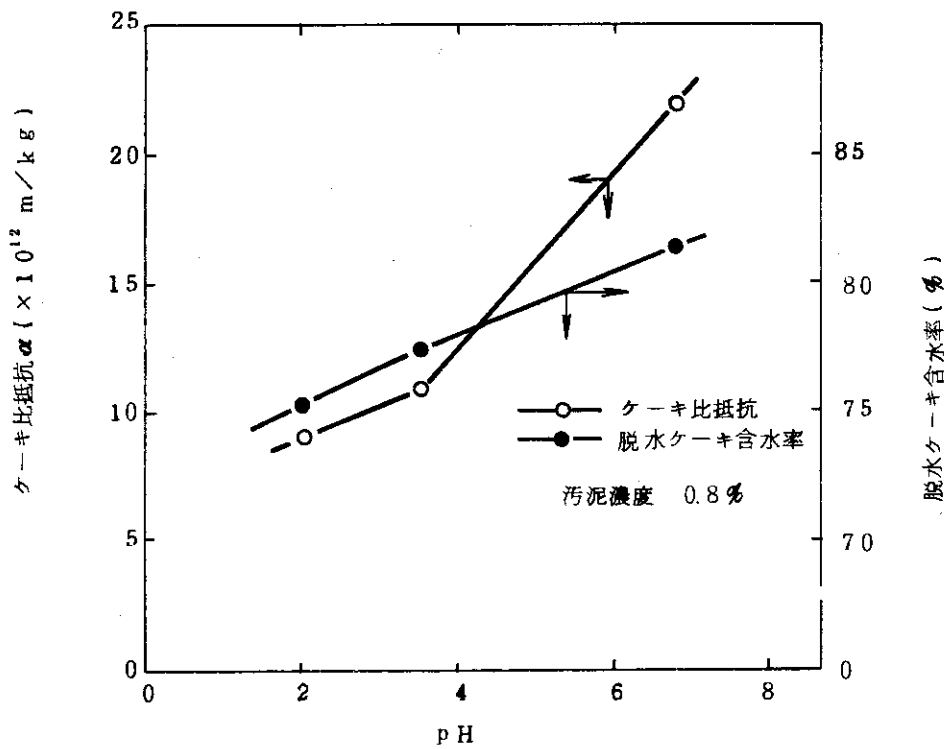


図-8 下水余剰汚泥を酸性側の各pHに調節し、
ヌッチェテストを行ったときのケーキ比
抵抗、脱水ケーキ含水率の変化

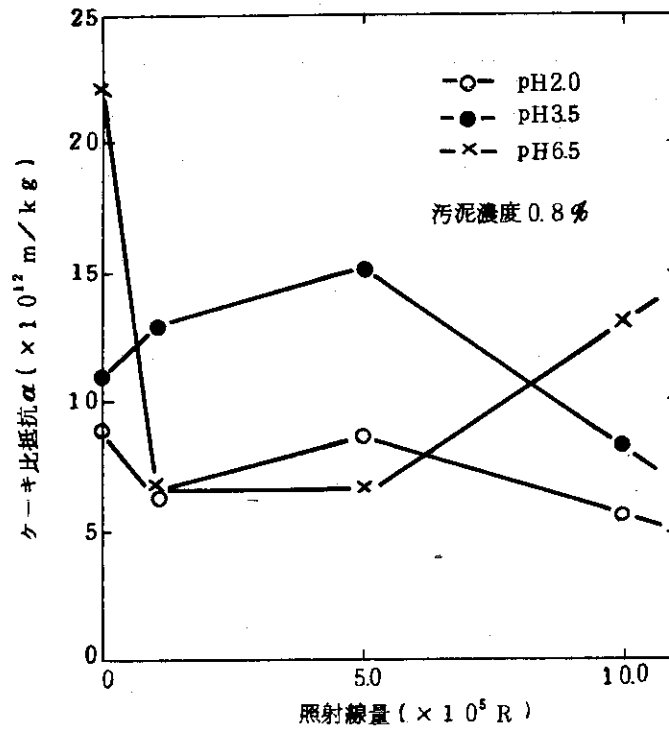
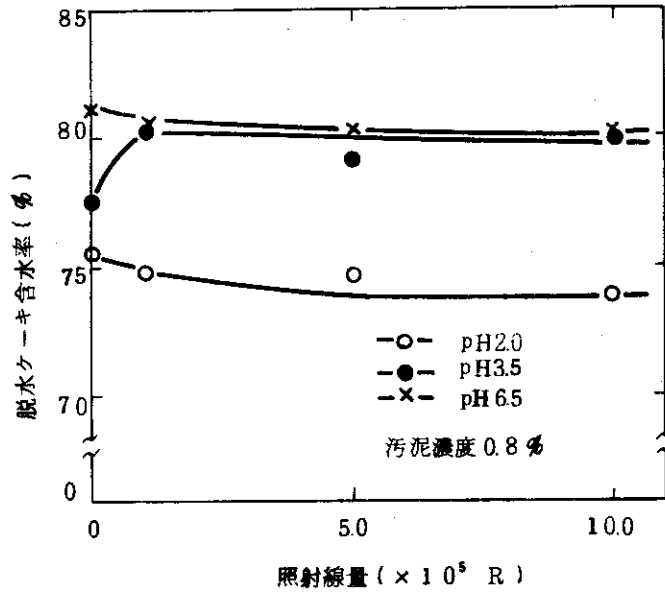


図-9 下水余剰汚泥を酸性側の各 pH に調節し、ガンマー線を照射したときのケーキ比抵抗の変化



第一-10 下水余剰汚泥を酸性側の各 pH に調節し、ガンマー線を照射したときの脱水ケーキ含水率の変化

表-6 混合生汚泥に酸素共存下でガンマー線を照射し、
ヌッチェテストを行った結果

照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)	固形物回収率(%)
0	18.0	3.9	69.5	100
1.0	38	2.0	74.0	70
5.0	7.2	3.3	72.0	50
10.0	15	2.3	74.0	45
塩化鉄 5%, 消石灰 20% 添加	4.7	6.9	69.5	

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 2.0%

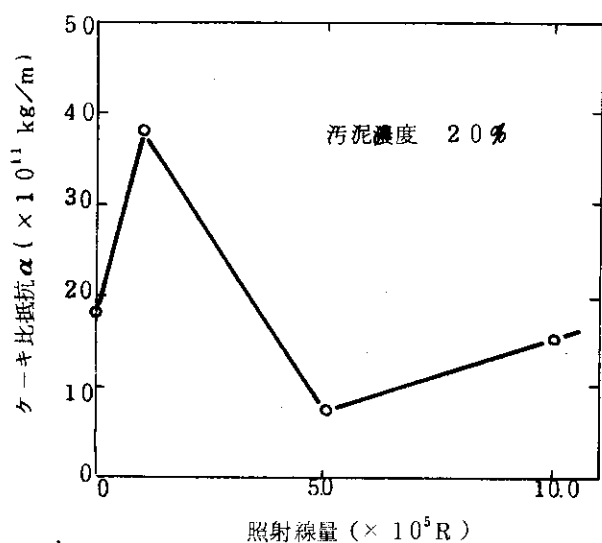


図-11 下水混合生汚泥に酸素供給状態でガンマー線を照射したときのケーキ比抵抗の変化

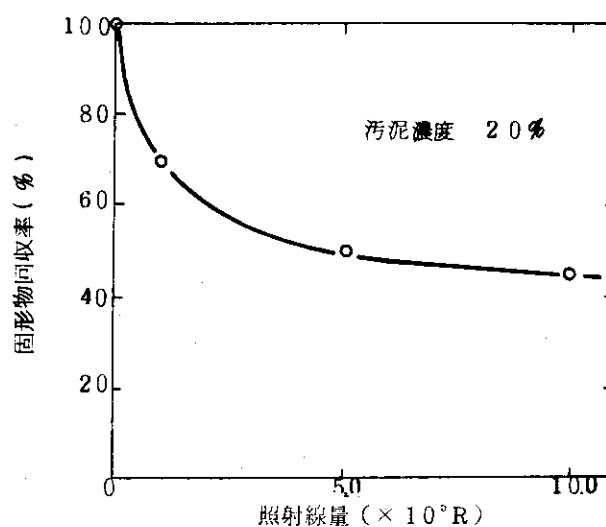


図-12 下水混合生汚泥に酸素供給状態でガンマー線を照射したときの固形物回収率

表-7 混合生汚泥に100℃の状態でガンマー線を照射し、
ヌッチェテストを行った結果

照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{10} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率(%)	固形物回収率(%)
0	15	9.2	73.0	80.0
1.0	6.7	11.7	74.0	67.5
5.0	9.3	10.6	74.0	65.0
10.0	6.7	11.7	75.0	50.0
原 汚 泥	49	5.2	74.0	100
塩化鉄 5%, 消石 灰 20% 添加	10	11.6	71.0	

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 2.0%

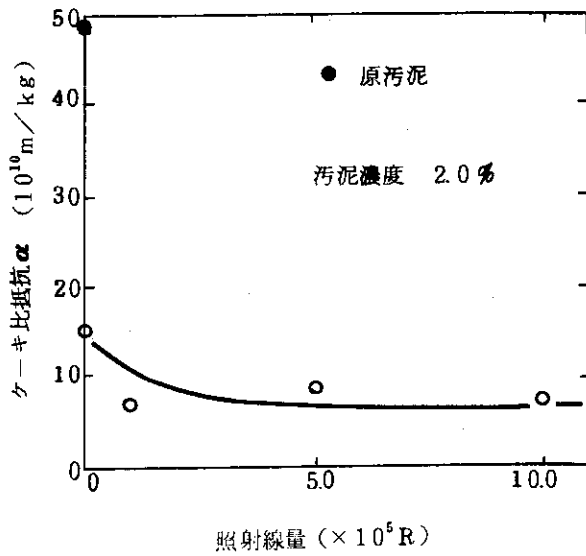


図13 下水混合生汚泥を100℃の状態にしてガンマー線を照射したときのケーキ比抵抗の変化

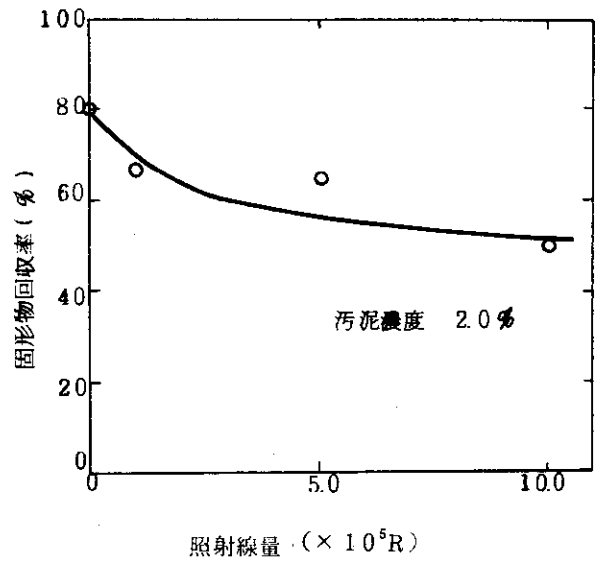


図-14 下水混合生汚泥を100℃の状態にしてガンマー線を照射したときの固形物回収率の変化

3.6 有機高分子凝集剤の添加効果

ビール廃水を活性汚泥処理したときに生成した余剰汚泥にカチオン系の有機高分子凝集を 3mg/g-ss 添加した後ガンマ線を各線量照射し、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、汙過速度、脱水ケーキの含水率を測定した結果を表-8に示す。ケーキ比抵抗は図-15に示すように有機高分子凝集剤を添加した後ガンマ線を照射するとさらに低下したが、脱水ケーキの含水率は表-8に示すようにほとんど変化しなかった。したがって、有機高分子凝集剤を添加した後照射すれば汚泥の汙過性はかなり良くなる。しかし、有機高分子凝集剤を添加するだけで十分汙過性が良くなる汚泥であれば、さらに照射する必要はない。

3.7 次亜塩素酸ソーダの添加効果

下水混合生汚泥に次亜塩素酸ソーダを各量添加し、ヌッチェテストを行って、ケーキ比抵抗、汙過速度、脱水ケーキの含水率を測定した結果を表-9に示す。次亜塩素酸ソーダを添加すると下水汚泥の悪臭が消え、黒色の汚泥が灰白色に変色する。ケーキ比抵抗は図-16に示すように塩素の添加量が増加するにつれて低下した。脱水ケーキの水分は表-9に示すようにいくぶん増加した。

つぎに次亜塩素酸ソーダを添加後照射し、ケーキ比抵抗、汙過速度、脱水ケーキの含水率を測定した結果を表-10に示す。次亜塩素酸ソーダを添加後照射しても図-17に示すようにむしろ比抵抗が増大し、脱水ケーキの含水率も表-10に示すように低下しなかった。したがって、次亜塩素酸ソーダを添加後照射しても脱水性の向上の効果はない。

3.8 本章のまとめ

種々の照射条件で有機性汚泥を照射し、有機性汚泥の脱水性に与える影響を調べた。

実験結果をまとめるとつぎの通りである。

1) 原汚泥への照射効果

汚泥の沈澱濃縮性は照射によって多少改善されたが熱処理した汚泥のような著しい変化は見られなかった。またケーキ比抵抗も低下するが、実際に汙過できる程度までは低下しない。脱水ケーキの含水率は低下しなかった。

2) pHの影響

汚泥のpHを酸性にして照射するとケーキ比抵抗、脱水ケーキ含水率ともに低下する傾向にあった。

3) 温度の影響

汚泥を100℃にして照射するとケーキ比抵抗は低下するが、脱水ケーキの含水率は変わらず、汚泥粒子の溶解が激しい。

4) 有機高分子凝集剤の添加効果

ケーキ比抵抗は照射によって有機高分子凝集剤を単独使用したときよりも低下するが、脱水ケーキの含水率は低下しない。

5) 次亜塩素酸ソーダの添加効果

ケーキ比抵抗は照射によって次亜塩素酸ソーダだけを添加したときよりも増加し、脱水ケーキ含水率は低下しなかった。したがって、以上の実験結果のなかで汚泥の脱水性を向上させる前処理方法として効果のある照射条件は汚泥を酸性にして照射する方法と有機高分子凝集剤を添加して照射する方法である。また照射した汚泥を汙過した場合、脱水ケーキの汙材からの剥離性が向上した。

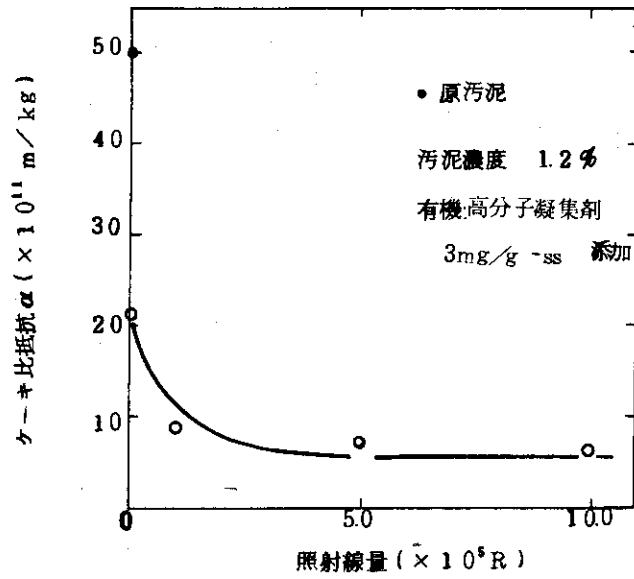


図 15 ビール発水処理プロセスから生成した余剰汚泥に有機高分子凝集剤を添加した後、ガンマー線を照射した時のケーキ比抵抗の変化

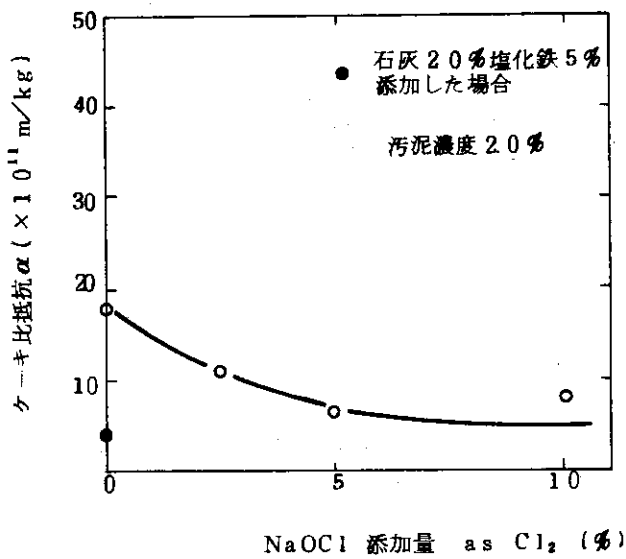


図 16 下水混合生汚泥に次亜塩素酸ソーダを添加したときのケーキ比抵抗の変化

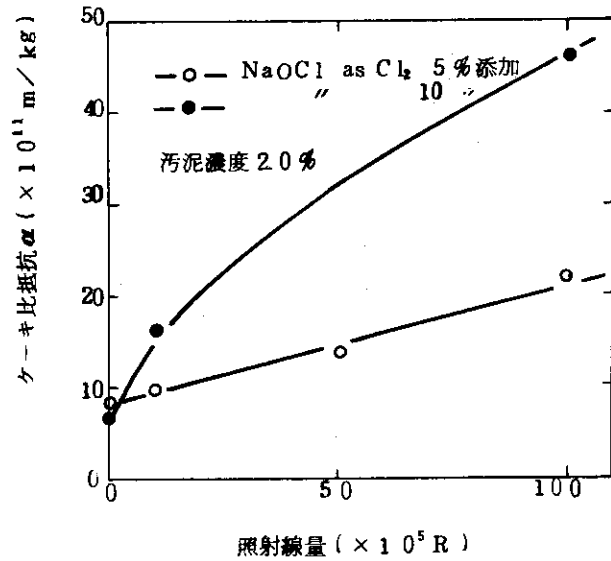


図-17 下水混合生汚泥に次亜塩素酸ソーダを添加した後ガンマー線を照射したときのケーキ比抵抗の変化

表-8 余剰汚泥に有機高分子凝集剤を添加した後ガンマー線を照射し、ヌッチェテストを行った結果

照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率
0	21.0	2.7	88.0
1.0	8.8	3.4	87.0
5.0	7.2	3.7	87.0
10.0	6.1	4.0	87.5
原 汚 泥	50	1.7	88.0

試料 ビール廃水処理からの余剰汚泥
汚泥濃度 1.2%

表-9 混合生汚泥に次亜塩素酸ソーダを添加し、ヌッチェテストを行った結果

次亜塩素酸ソーダ 添加量 as Cl_2 (%)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	脱水ケーキ含水率
0	18.0	3.9	69.5
2.5	13.0	4.0	74.0
5	6.6	5.0	74.0
10	8.1	4.7	73.0
塩化鉄 5%, 消石灰 20% 添加	4.7	6.9	69.5

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 2.0%

表-10 混合生汚泥に次亜塩素酸ソーダを添加した後ガンマー線を照射し、ヌッチェテストを行った結果

次亜塩素酸ソーダ 添加量 as Cl_2 (%)	照射線量($\times 10^5 R$)	比抵抗($\times 10^{11} m/kg$)	ろ過速度($kg/m^2 \cdot hr$)	ケーキ水分(%)
5	0	6.6	5.0	74.0
"	1.0	16.0	3.5	70.0
"	5.0	—	—	70.0
"	10.0	46.0	2.2	71.0
10	0	8.1	4.7	73.0
"	1.0	9.5	4.3	71.5
"	5.0	14.0	3.5	74.0
"	10.0	22.0	2.9	74.0

試料 高崎市下水処理場 混合生汚泥
汚泥濃度 2.0%

4. 結 言

本研究では、下水汚泥を酸性にして照射することによりケーキ比抵抗、脱水ケーキの含水率が低下することや照射により脱水ケーキの沓材からの剥離性が向上することなどを明らかにした。

放射線を利用した前処理方法と既存の前処理方法とを比較した場合、下水汚泥の脱水性を向上させるという点では既存の前処理方法のほうがすぐれている。しかし、放射線で前処理する方法は上記の効果の他に汚泥を殺菌する効果もある。このため欧米ではすでに放射線によって下水汚泥を殺菌して肥料にするプロセスが実用化の段階に達しているが、²⁾ 我国では下水汚泥中に工業廃水より混入する重金属が含まれているため下水汚泥を肥料として利用することは好ましくない。しかし、最近農業や化学肥料の連用による他力低下が問題となって、有機肥料の利点が注目を集めはじめているので、将来工業廃水中の重金属の除去や下水道の工業地域と住居地域の分離が進めば、有機質汚泥を農地に還元しようという気運が訪れることが予想される。この場合、我国では山間地に農地が多いので運搬を容易にするため汚泥をできるだけ濃縮して輸送する方が有利であるから、本研究で明らかになった放射線による沈降性と脱水性の改善効果は、放射線の殺菌効果と組合せて汚泥の肥料化の方法として役立つことが期待できる。

謝 辞

本研究の実施にあたって、種々の討論をしていただいた荏原インフィルコ株式会社中央研究所の主任研究員鈴木英友氏に感謝する。また汚泥の試料採取等に協力していただいた麒麟麦酒株式会社総合研究所の山本康氏ならびに高崎市下水処理場当局に感謝する。

5. 参考文献

- 1) D.S. Ballantine, L.A. Miller, D.F. Bishop, F.A. Rohrman, *Journal WPCF*, **41**, 445 (1969).
- 2) A. Suß, H. Motsch, E. Bosshard, G. Schurmann, O. Lusher, *Kerntechnik*, **16**, (2), 65 (1974).
- 3) G.A. Ettelt, T.J. Kennedy, *Journal WPCF*, **38**, 248 (1966).
- 4) J. E. Etzel, et al., Presented at the American Public Health Association meeting, Detroit, Michigan, (1968).
- 5) 広瀬, 下水道学: (誠文堂新光社) p. 372
- 6) 針生, 環境技術, **2**, 33 (1973).
- 7) P.A. Vesilind, *Water & Wastes Eng.*, **8**, 50 (1971).
- 8) 大隅, 田中, 奥, 水処理技術, **12**, 31 (1971).
- 9) R.B. Brooks, *Wat. Pollut. Control*, **69**, 92 (1970).
- 10) 平岡, 武田, 村上, 富田, 下水道協会誌, **9**, 2 (1972).
- 11) P.L. McCarty, *Journal WPCF*, **38**, 493 (1966).
- 12) 岩井, 申丘, 名取, 下・廃水汚泥の処理 (コロナ社) p. 262
- 13) 川島, 水処理技術, **8**, 15 (1967).
- 14) 樟本, 大和, ケミカル・エンジニアリング, **18**, 123 (1973).
- 15) D.A.D. Reeve, *Wat. Pollut. Control.*, **70**, 662 (1971).
- 16) 松永, 水道公論, **6**, 32 (1970).
- 17) R. Braun, *Deut. Ges. Chem. Apparatewesen Monoger.*, **64**, 1144 (1970).
- 18) 北村, 下水道協会誌, **6**, 14 (1969).
- 19) K. Ishii, *Nenryo Kyokaisi*, **49**, 674 (1970).
- 20) B.F. Ruth, G.H. Montillon, R.H. Montanna, *Ind. Eng. Chem.*, **25**, 76 (1933).
- 21) A. Danno, H. Hotta, A. Terakawa, K. Shimada, S. Ōno, *Isotopes Radiation*, **3**, 448 (1960).