

団地下水汚泥のコンポスト化装置

Sludge Composting of Community Sewage Treatment Plant

(環)製品開発室

梶 山 吉 則

Yoshinori Kajiyama

An advanced sludge composting system has been successfully in operation at the Tategaoka community plant.

Sludge from sewage treatment plant is converted into stabilized and harmless product of compost through the product recycling composting process which maintains high efficiency in fermentation with no additional bulking agent.

This sludge composting system has confirmed its advantages in reduction of sludge volume and space requirement and producing high quality product. And it has also confirmed saving energy and easy operation control by utilization of solar energy and automatic operation control system. An outline of composting equipment and result of operation are presented.

ま え が き

当社は、このたび住宅・都市整備公団館ヶ丘団地汚水処理場内に汚泥コンポスト化設備を完成した。従来当処理場における汚泥の処理処分は、遠心分離脱水機による脱水後ケーキ搬出をしていた。本コンポスト化設備は、この遠心分離脱水機を高圧ベルトプレス式脱水機に置き換え一次脱水を行った後、ヒートポンプ式低温乾燥機で二次脱水を行い原汚泥を調整し、立形二段式発酵槽で主発酵を完了する。また横形回行式熟成槽にて最終調質を行い、袋詰して製品搬出するもので1986年1月より本運転に入っている。

ここでその設備の概要を報告する。

1. 設 備 の 特 長

本設備の建設に当たり、団地内の汚水処理場という立地条件から特に外観、臭気面に留意することと設備をコンパクトにする必要があった。また汚水処理費の住民負担の面から見て、従来の処理コストを上回らないことも必要な条件であった。これらの条件をふまえ本設備の特長をまとめると次のようである。

- 1) ヒートポンプ式低温乾燥機により原料汚泥の水分を低下し、さらに製品を還流して発酵槽投入水分を調整する汚泥単独発酵方式である。このためオガクズ、モミガラなどの添加物を必要とせず設備がコンパクトであり、維持管理費が少ない。
- 2) 各処理工程を密閉式とし、排ガスを脱臭設備で効果的に処理し臭気対策が十分である。
- 3) 熟成槽は、太陽熱を有効利用し、省エネルギー化を計っている。
- 4) 設備全体の運転操作を自動化し、維持管理が容易である。
- 5) 立形二段式発酵槽、横形回行式熟成槽を組み合わせ安全で高品質の製品が得られる。

2. 設 備 概 要

2.1 計画諸条件

- 1) 基本条件
処理対象人口 9 000人
発生汚泥量 270 kgDS/d
1人1日当りの発生汚泥量を30gとして計画
- 2) 1次脱水設備設計諸元

供給汚泥濃度	13 000 ppm (平均)
脱水出口水分	83%
稼働時間	20 d/month 6 h/d
処理汚泥量	405 kgDS/d 67.5 kgDS/h

3) 二次脱水設備設計諸元

投入水分	83%
出口水分	50%以下
稼働時間	25d/month 24h/d
処理汚泥量	324 kgDS/d 13.5 kgDS/h

4) 発酵槽設計諸元

投入水分	48.9% (還流物を含む)
出口水分	約43%
稼働時間	20 d/month
処理汚泥量	原汚泥405 kgDS/d (水分50%) 還流物40.5 kgDS/d (水分35%) 合計 445.5 kgDS/d (水分48.9%)
発酵槽容量	上段 6.7 m ³ 下段 5.4 m ³

5) 熟成槽設計諸元

投入水分	約43%
出口水分	約35%
熟成槽容量	約4 バッチ分

6) 袋詰設備

製品量	約560 kg WS/d 乾物減少量を10%、水分を35%とする。
-----	--------------------------------------

7) 脱臭設備

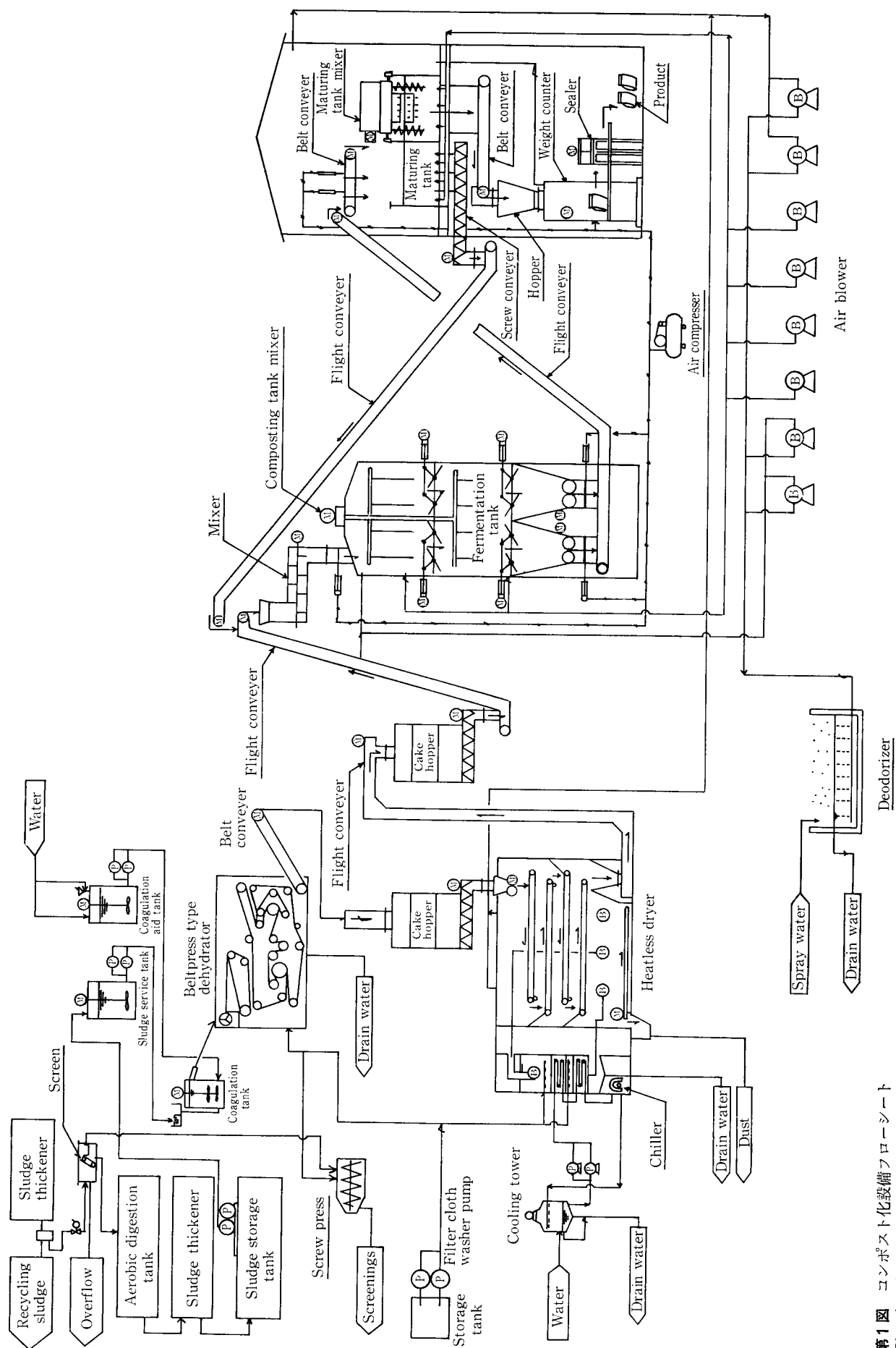
処理能力	0.225 m ³ /m ² ・min
処理面積	24m ²

2.2 コンポスト化設備主要機器の機能

第1図にコンポスト化設備のフローシートを示す。以下に本システムの概要を説明する。

2.2.1 前処理設備

既設余剰汚泥の引抜きラインに自動微細目スクリーンを新たに設置し最終コンポスト製品の品質向上、各工程における搬送などの支障とならないようし渣が取り除かれる。この取り除かれたし渣は、し渣脱水機により減量化された後処分される。



第1図 コンポスト化設備フローシート
Fig. 1 Flow diagram of composting plant

2.2.2 一次脱水設備（高圧ベルトプレス式脱水機）

一次脱水機の性能は、次の工程の二次脱水設備の規模に大きく影響する。すなわち、この工程で汚泥中の水分をできるだけ減少することにより二次脱水機の冷凍機の設備動力、ランニングコストが大幅に節約できる。今回、従来の当社ベルトプレス式脱水機に高圧部を付加し、脱水性能をアップした新開発の高圧ベルトプレス式脱水機を設置した。（写真1）

第2図に高圧ベルトプレス式脱水機の機構図を示す。

- 1) 凝集混和槽で凝集剤を添加し、調整された汚泥は均一供給装置により均等に前濃縮装置（重力脱水部）へ供給され汚泥中の遊離水の大部分が重力により除かれる。
- 2) クサビ加圧脱水部は2枚のろ布がクサビ状になっている加圧脱水部で、上下のろ布により徐々に体積変化を起こし圧搾脱水される。
- 3) ローラ漸圧脱水部はローラ径が次第に小径化され、2枚のろ布の間の汚泥が漸増圧搾脱水される。
- 4) 高圧ベルト脱水部は、さらに強い圧搾圧力により脱水され含水率の低い、剥離性の良いケーキとなって排出される。
- 5) 各ろ布は、洗浄ボックス内で高圧水により洗浄され目詰りを防止し、常に新しい状態に保ち運転される。
- 6) ろ布の蛇行は蛇行検知器（空気式）により検知され、蛇行修正装置のシリンダーに空気を送って、直ちに蛇行修正が行われる。

2.2.3 二次脱水設備（ヒートポンプ式低温乾燥機）

一次脱水機で水分約83%に脱水された一次ケーキを、成型機で4mmの棒状に成型し、密閉断熱パネルで囲まれた乾燥室内に設置されているステンレス製ネットコンベア上に落下させ、水分約50%まで滞留乾燥される。

一次ケーキからの水分蒸散は、ヒートポンプ式の低温乾燥法で行われる。ヒートポンプ式低温乾燥法は、圧縮機を用いた冷凍装置のヒートポンプ方式と同じ原理を利用し、高水分の汚泥と接触して吸湿した空気を蒸発器によって冷却除湿し、絶対湿度を低下させ、汚泥中の水分を水滴（ドレン水）として乾燥室外へ流出する方法である。また絶対湿度の低くなった空気を凝縮器で間接加熱し、相对湿度も低い空気として主送風機により乾燥室内へ送風する。このようにヒートポンプ方式により、エネルギー効率が非常に高く密閉乾燥室内での空気循環だけで乾燥を終了させるために臭気が外に漏れないになっている。（写真2）

2.2.4 発酵槽（立形二段式発酵槽）

本システムを中心となる設備であり汚泥を発酵に適した

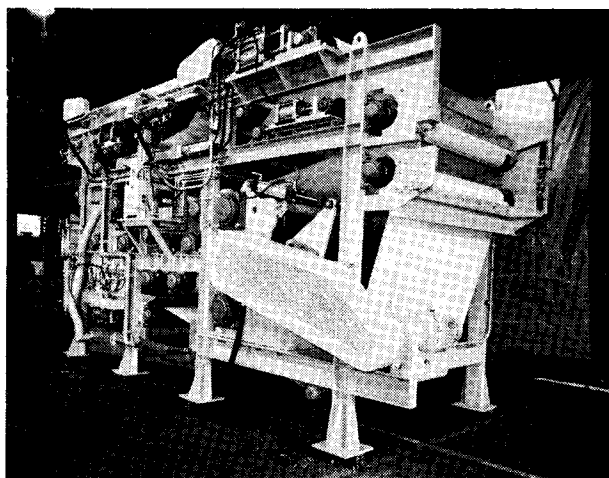
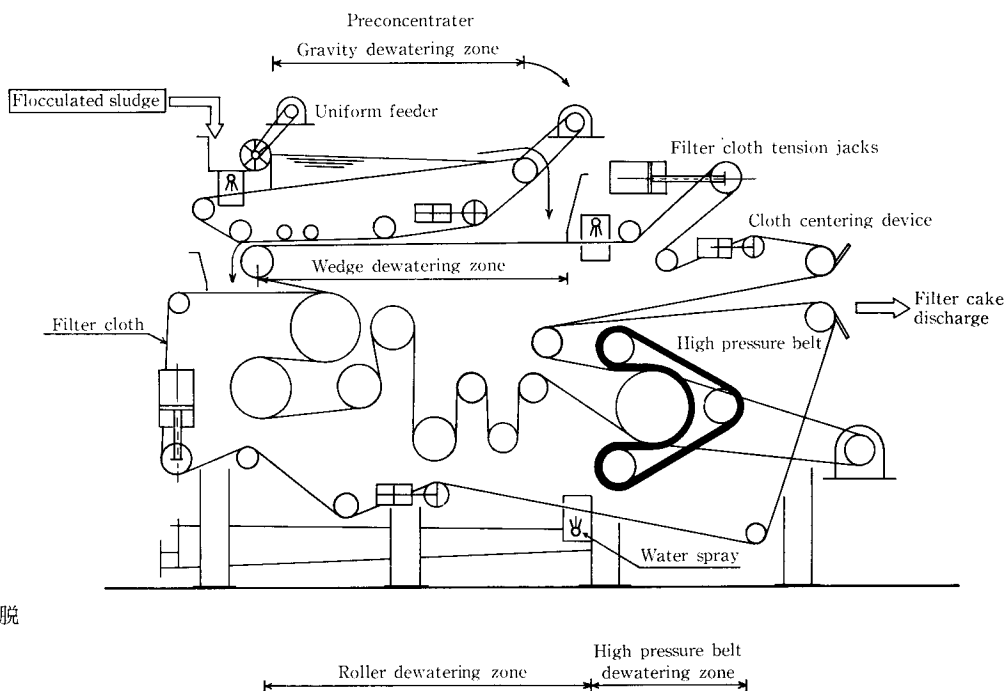


写真1 一次脱水機（高圧ベルトプレス式脱水機）
Photo.1 High pressure belt press type dehydrator



第2図 高圧ベルトプレス式脱水機
Fig. 2 High pressure belt-press type dehydrator

条件に保つための機能を有している。第3図に立形二段式発酵槽の構造図を示す。

発酵槽は、発酵熱の外部への放散を防ぐため外面を保温し、内部はダンパーにより上下二段に仕切られている。上段槽では、中心軸にスクリュウを設けた回転レーキ式の切返し装置により、発酵に必要な空気を均等に供給するとともに汚泥の切返しが行われる。上段槽において、毎日投入される汚泥を1週間かけて発酵したのち、底面と兼用している上段ダンパーを開け下段槽へ落下させる。このときの落下により汚泥のほぐしが行われ、下段槽での発酵もス

ムズに進行する。下段槽で、1週間の滞留により発酵を終了した製品は、上段と同じく床面と兼用している下段ダンパーを開け製品を落下させ最下段に設けられた排出装置により熟成槽へ搬出する。(写真3)

この間発酵に必要な空気の供給は下段ダンパーの下より通気され、発生した排ガスは最上部より強制排気され脱臭設備で処理される。

2.2.5 熟成槽（横形回行式熟成槽）

発酵槽から排出された製品をより均質なものとするため熟成、乾燥を目的に熟成槽を設けている。建屋は、太陽熱を有効利用するためガラス温室仕上げとし、熟成槽は横形回行式で床面に通風用の配管が設置されている。また自走式ロータリー攪拌機により槽内の製品の攪拌および移送が行われる。(写真4)

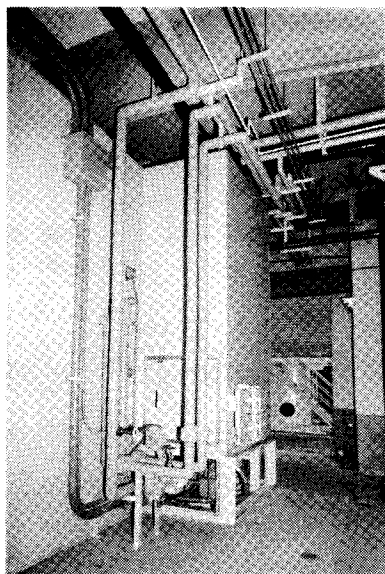


写真2
二次脱水機（ヒート
ポンプ式低温乾燥機）
Photo.2
Heatless dryer (Heat
pump type dryer)
humidity control unit

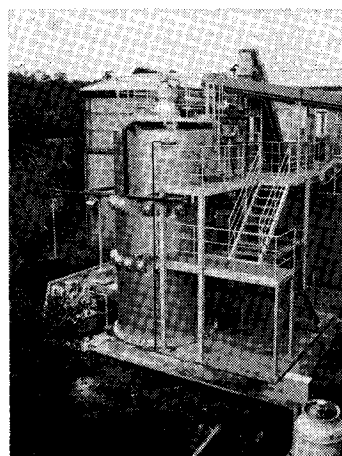
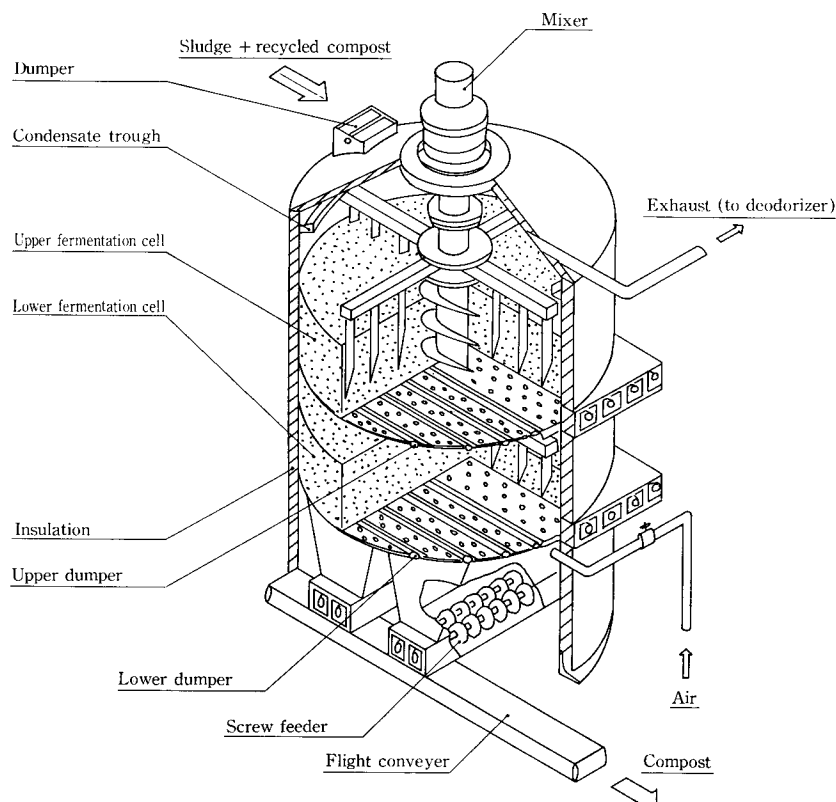


写真3
発酵槽（立形二段式発酵
槽）
Photo.3
Fermentation tank (Ver-
tical two stage compost
fermentation tank)



第3図 立形二段式発酵槽の構造図
Fig. 3 Vertical two stage fermentation tank

2.2.6 袋詰設備

最終製品を自動計量機により 20 kg ずつ切出しビニール袋詰として出荷する。(写真 5)

2.2.7 脱臭設備

発酵槽および熟成槽から発生する排ガスを、槽下部の砂利層に水を張り、その上にコンポスト製品と土壌を調質した脱臭剤を敷き詰めた脱臭設備により処理する。

3. 運 転 結 果

3.1 一次脱水機の運転結果

大宮らは、従来型のベルトプレス脱水機を使用し、都市下水汚泥を対象に高分子凝集剤単独の条件で、汚泥成分による脱水性の難易を示す判定基準を提唱している¹⁾。

(第 1 表)

当団地汚泥は、微細目スクリーンを通したのち好気性消化を行っており、さらに脱水性が悪くなっていると考えられるが参考に脱水性の難易を判定してみると

判別式の値 D_w

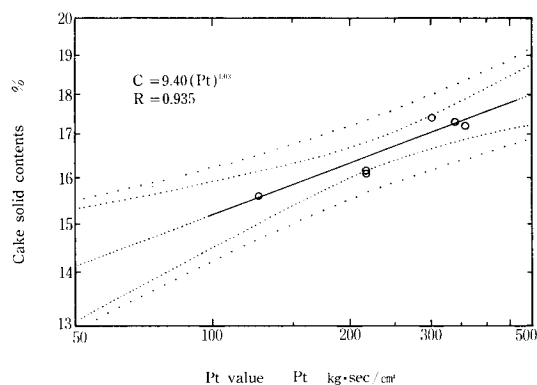
$$D_w = C_m(F_s + V_{SL}) \times 10^{-2} \quad (1)$$

ここに

C_m : 24時間沈殿させた濃縮汚泥の S S 濃度(%)

$C_m = S S$ 濃度 = 1.38%

F_s : 濃縮汚泥 S S 中の灰分(%)



第 4 図 Pt 値と固形物含有量の関係

Fig. 4 Pt value vs. cake solid contents

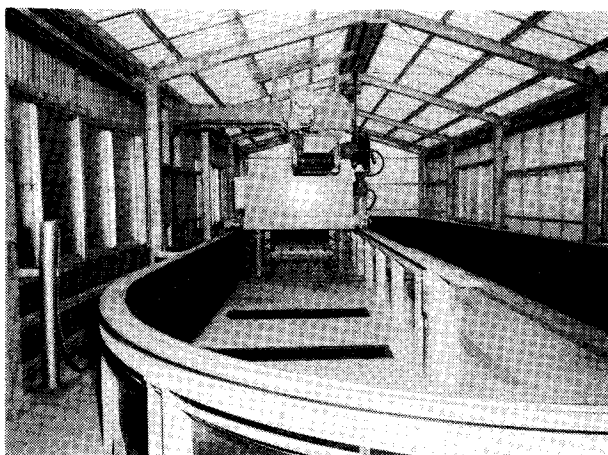


写真 4 熟成槽 (横形回行式熟成槽)

Photo.4 Maturing tank (Horizontal circular compost maturing tank)

$$F_s = 17.4\%$$

V_{SL} : 粗浮遊物強熱減量(%)

$$V_{SL} = 3.4\%$$

とすると判別式の値は

$$D_w = 0.287$$

となる。

この結果から第 1 表の判定基準によると非常に難脱水性汚泥であることがわかる。

一次脱水機 (高圧ベルトプレス式脱水機) の運転結果を第 2 表に示す。第 4 図に Pt 値と固形物含有量の関係を示す。ここで Pt 値とは、2 枚のろ布に挟まれた汚泥が各ローラにかかるとき受ける圧搾圧力と圧搾時間の積の総和で圧搾のエネルギーを表わす指標である。

高圧ベルトプレス脱水機の各ローラにおける圧搾圧力 P (kg/cm^2) および圧搾時間 t (sec) はそれぞれ

$$P = T/R \quad (2)$$

T : ろ布張力 (kg/cm)

R : ローラ半径 (cm)

$$t = 2\pi R\theta/360v \quad (3)$$

v : ろ布速度 (m/sec)

θ : ろ布の巻掛角度 (度)

で表わされる。また高圧部での圧搾圧力 P' (kg/cm^2) は

第 1 表 汚泥脱水性の難易を示す判定基準

Table 1 Judgement for sludge dewaterability

D_w	Sludge dewaterability	Cake solid contents %	Dehydrator capacity $\text{kgDS}/\text{m}^2\cdot\text{h}$
$D_w < 0.5$	very difficult	< 20	< 50
$0.5 \leq D_w < 1$	difficult	20~25	50~100
$1 \leq D_w < 2$	easy	25~30	100~150
$2 \leq D_w$	very easy	> 30	> 150

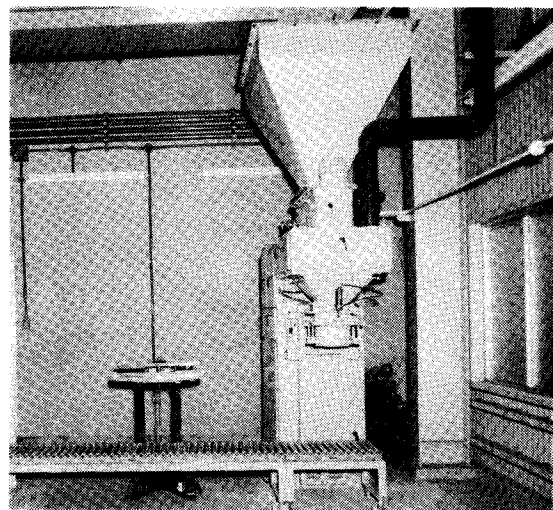


写真 5 袋詰設備

Photo.5 Packing equipments

$$P' = (T + T') / R \quad (4)$$

T' : 高圧ベルト張力 (kg/cm)

となる。

高圧ベルトプレス脱水機では一段目のローラ径を大きくし、漸次ローラ径を小さく設計し(2)式の分母のRを小さくすることにより、また高圧部では高圧ベルトを付加し(4)式の分子 $T + T'$ を大きくすることにより、圧搾圧力を大きくし脱水効果を大きくしている。そこで圧搾圧力と圧搾時間の積の総和を Pt 値とし、これとケーキ固形分の関係を調べると第4図のように非常に良い相関を示しろ布張力、ろ布速度、高圧ベルト張力の効果を一元的に評価できることがわかる。参考に従来型のベルトプレス脱水機の Pt 値は、50~100 kg・sec/cm² 程度である。

3.2 二次脱水機の運転結果

供給汚泥水分83.0%と85.3%の一次脱水ケーキを82.5

kg WS/h で供給した場合の二次脱水機の乾燥曲線を第5図に示す。これによると時間当りの脱水量は、それぞれ57.1, 58.4kg/h となり、冷凍機の馬力当りの脱水量は2.85, 2.92kg/IP・h となる。これらの値は当初の設計値を十分満足しているものである。

3.3 発酵状況

1) 発酵温度

毎日投入する汚泥の積高さは20cm 程度であり各層の温度を正確に追跡することは難しいが槽内の温度パターンは、概略第6図に示すようである。毎日投入する汚泥は、投入後急速に温度上昇を始め、次の日に投入されるまでに約55°C のピークに達する。また上段槽より下段槽に落下した汚泥は、さらに温度上昇を始め70°C にまで達している。この間、発酵槽への空気の送風量は、発酵槽内の汚泥1m³ 当り約0.2Nm³/min である。

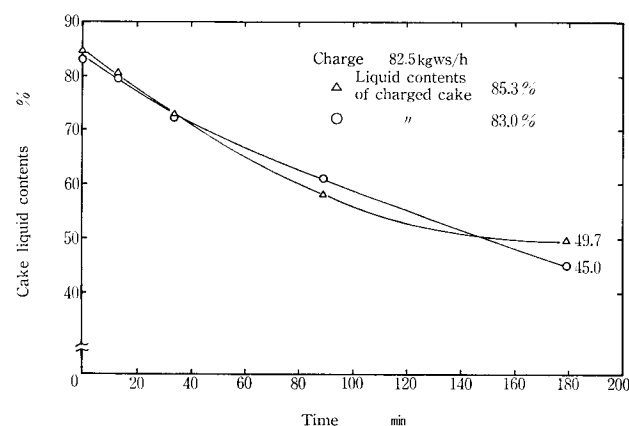
2) 製品の性状

農地利用に関するわが国の規制基準は「有害な産業廃棄

第2表 1次脱水機の運転結果

Table 2 Operation data of high pressure belt press

Capacity kg DS/h	Polymer consumption % DS	Filter cloth speed m/min	Filter cloth tension kg/cm	High pressure belt tension kg/cm	Pt value kg・sec/cm ²	Cake solid contents %
65	0.83	0.5	5.2	14.0	220	16.1
70	0.77	0.5	7.0	21.5	306	17.4
91	0.60	0.8	4.3	14.0	120	15.6
48	0.93	0.4	6.1	21.5	347	17.3
64	0.69	0.3	4.3	21.5	366	17.2
54	0.71	0.5	5.2	14.0	220	16.2

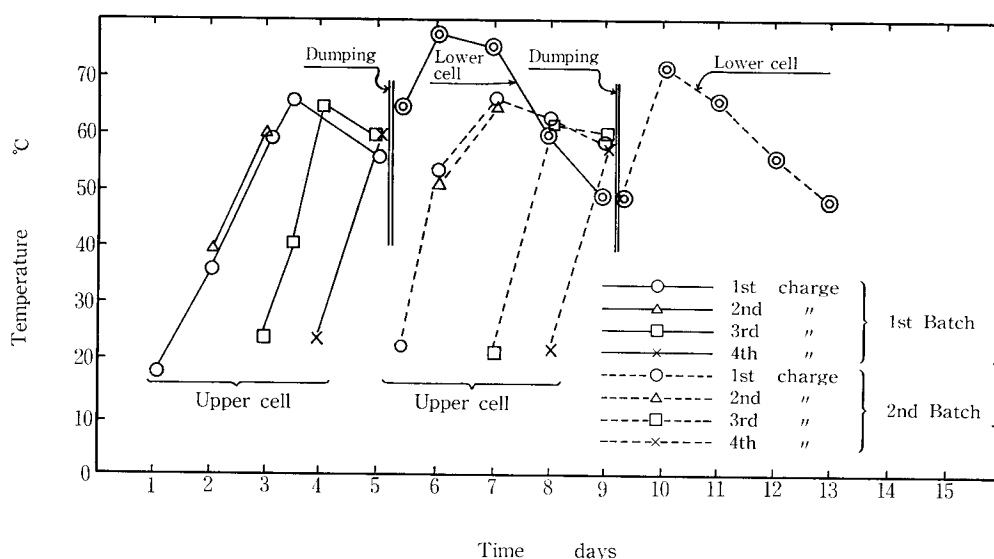


第5図 低温乾燥機汚泥乾燥曲線

Fig. 5 Performance of heatless dryer

第6図 発酵槽内の発酵温度パターン

Fig. 6 Temperature profile in the fermentation tank



第 3 表 特殊肥料の重金属規制値

Table 3 Regulation value for toxic contents of the specific fertilizer

Element	Maximum admissible concentration ⁽¹⁾ Total analysis (Dry matter) ppm	Maximum admissible concentration ⁽²⁾ Leaching test (Test solution) mg/ℓ
Arsenic	≤50	≤1.5
Cadmium	≤5	≤0.3
Mercury	≤2	≤0.005
Lead	—	≤3
Organo phosphorus	—	≤1
Hexavalent chromium	—	≤1.5
Cyanide	—	≤1
PCB	—	≤0.003
Alkylmercury	—	No detection

(1) Based on fertilizer regulation law for toxic contents of the specific fertilizer

(2) Based on industrial waste regulation law for toxic contents of leaching test

第 5 表 コンポスト製品溶出試験結果

Table 5 Leaching test of the compost product

Element	Concentration mg/ℓ test solution
Mercury or its compound (as Hg)	0.0032
Arsenic or its compound (as As)	0.16
Cadmium or its compound (as Cd)	0.013
Lead or its compound (as Pb)	<0.05
Zinc or its compound (as Zn)	0.82
Organophosphorus compound	<0.01
Cyanide compound	0.04
Hexavalent chromium (as Cr)	<0.01

第 4 表 コンポスト製品の性状分析値

Table 4 Nutrient contents of compost product

Element	Product
Water contents %	24.8
Volatile solid %	80.8
pH	8.3 (17°C)
Electric conductivity μS/cm	2300
Total-nitrogen (as N) %	8.13
Total-mercury (as Hg) mg/kg	0.98
Arsenic (as As) mg/kg	0.86
Cadmium (as Cd) mg/kg	2.2
Lead (as Pb) mg/kg	16
Zinc (as Zn) mg/kg	1200
Ammonia-N (as NH ₃ -N) %	1.33
Potassium (as K ₂ O) %	0.27
Phosphorus (as P ₂ O ₅) %	4.83

(All values of content are expressed on dry compost solid)

物に係る判定基準を定める総理府令（1973年総理府令第5号）の別表第二の基準に適合するものと規定されており、また特殊肥料に対して規制される有害成分とその規制値は第3表のとおりである。熟成した製品の分析結果を第4表に、溶出試験結果を第5表に示すがいずれも規制値内に入っている。また肥効成分である窒素 (T-N)、カリ (K₂O)、リン酸 (P₂O₅) の含有量はそれぞれ8.13%、0.27%、4.83%であった。

むすび

以上、団地下水汚泥のコンポスト化設備の概要を紹介したが設備の経済性について触れるまでには至らなかった。今後、本設備の稼働状況を追跡し運転データを集積するとともに、さらに効率の良いコンポスト化設備とするための改善点を研究中である。

おわりに本設備の建設、運転に際し多くの助言と協力をいただいた(株)団地サービスの関係諸氏に深く感謝の意を表する次第である。

〔参考文献〕

- 1) 大宮一夫、東欽一郎：第17回下水道研究発表会講演集(1980) P 633