



汚泥肥料品質向上への取組み

井上 政義

(株)井上政商店

茅 洪新

(株)井上政商店

蘭 泰成

(株)ピラミッド

1. はじめに

下水汚泥には多くのリンや窒素成分を含有しており、特にリンについては日本国内において年間汚泥発生量約 230 万トン中に約 5 万トンを含むと推算される。近年、世界的な穀物需要の増大、不安定な国際情勢（海上運賃の高騰）などを背景に肥料価格は年々増大している。また、肥料原料輸出国の偏在化、原料産出国の供給の逼迫感など、海外資源に依存している我が国は国内資源の活用が喫緊の課題として浮上した。特に、下水汚泥の肥料資源としての活用は関係省庁が総力を挙げて取り組むこととなり、2030 年までに堆肥・下水汚泥資源の使用量を倍増、肥料の使用量（リンベース）に占める国内資源の利用割合を 40% とする目標が決定された（2022 年 12 月）。しかし、現状では下水汚泥の肥料化利用は下水汚泥発生量の約 14%にとどまっている。これにはいろいろな事情があり、とりわけ下水汚泥肥料の利用による重金属土壌汚染への危惧が根強く、法改正（2000 年）により特殊肥料から普通肥料として扱われるようになってからも、農業への利用は停滞気味で横ばい状態である。

下水汚泥の肥料化利用は農業の持続的な発展に貢献すると期待されており、利用法として大きく分ければ、コンポスト化、乾燥汚泥及びリン回収法などがあり、その中でもコンポスト化は下水汚泥肥料利用の最も直接的で経済的な利用方法ではあるが、製品の品質安定性や重金属含有のリスクなどへの不安が今まで利用拡大を妨げる要因となっている。従って下水汚泥肥料利用を促進するためには、高い品質の維持と製品安全性の確保が最も重要である。

弊社グループの（株）井上政商店は本拠地福岡県

において 1979 年より下水汚泥の肥料化事業を開始してから、原料の収集や工法の研鑽を含め、様々な工夫をし、模索しながら、品質の向上に取組み、1990 年代に現在の下水汚泥肥料製造法を完成させた。1996 年には技術協力パートナーである（株）ピラミッドと連携し、栃木県に生産工場を新設し、2 生産拠点の生産体制を確立した。2002 年には自社独自の「発酵下水汚泥コンポスト品質基準」などを制定し、以後も新しい生産管理手法の導入を含めて継続的に生産技術及び生産環境の改善を図り、高品質下水汚泥肥料の製造に取り組んできた。本稿はこれらの取組みの具体的内容等を紹介する。

2. 主な取組み

（1）品質基準の制定

下水汚泥肥料は現在普通肥料として扱われており、公定規格については、重金属等含有量と植害試験、その原料については重金属等溶出量の基準となっており、製造工程や作物生育に関わる品質基準などがない。それ故に、肥料登録の際、一定のデータの提出が求められるが、登録が終われば、FAMIC による不定期な立ち入り調査以外に、「汚泥肥料中の重金属管理手引書」が示しているものの、メーカーの自主的な取組みに任せているのが現状である。従って、同じ下水汚泥肥料であっても、その品質の差異が大きく、利用拡大妨げの一因にもなっている。そこで我々は製品品質の安定化を図るため、2002 年にジャパンコンポストネットワーク（JCN）を設立し、「発酵下水汚泥コンポスト品質基準」、「発酵下水汚泥コンポスト原料受入基準」及び「発酵下水汚泥コンポスト分析基準」を制定した。

表-1 JCN 発酵下水汚泥コンポスト品質基準の要約

項 目	内 容
原 料	下水汚泥、工業汚泥、食品加工残渣
製造工程	①好気性発酵 ② 65℃ 2日間以上、4次発酵以上 ③副資材不使用
肥料成分の保証	①窒素全量：2%以上 ②りん酸全量：4%以上 ③加里全量：0.2%以上
有機物及びその他	①有機物：60%以下 ②含水率：35%以下 ③ C/N：10以下 ④ pH：7-8.5
安全性の確保	①重金属の含有及び溶出分析：4回/年 ②植害試験：1回/年

表-1に示したようにコンポスト品質基準には原料の種類や製造工程を明記するとともに肥料の主成分である窒素・りん酸・加里については保証数値を明記してある。また、肥料主成分以外に有機質肥料の重要な品質指標である有機物含有量、含水率、C/N比及びpHについても明確に示した。表-1には示していないが、植物成長に欠かせないカルシウムやマグネシウムについても数値を記載している。これらの肥料成分については制定当時から分析回数を年に2回と定めていたが、2023年に新しい公定規格「菌体りん酸肥料」の新設に合わせ、分析頻度を年に4回へと改定した。

下水汚泥肥料利用の上で利用者が最も心配しているのは土壌への重金属汚染問題である。農業生産者に安心に利用していただくために、品質基準制定時には重金属について年に2回分析を行うと定めていたが、2019年に肥料取締法の改定議論の過程で、年に4回分析に改定した。このように品質基準や分析基準などについては社会情勢の変更などに合わせて随時改定などを行ってきた。また、分析の結果はお客様の要望に応じて開示しており、会社のホームページにも公開している。

(2) 品質安定性への取り組み

汚泥肥料の品質は原料の種類や製造工法、そしてメーカーの日常の生産及び品質管理によって決まる。

1) 原料選定

原料は「発酵下水汚泥コンポスト原料受入基準」に基き、汚泥の含水率や重金属含有・溶出などをチェックしたうえ、選定する。現在2工場とも年間約40,000～42,000tの原料を処理している。その9割ほどが下水汚泥で、1割ほどが工業汚泥である。安定的な経営管理の観点から、一か所から極端に大量にとることを避けてなるべく多くの供給元から受け入れ、現在それぞれ数十か所から原料を受け入れているが、原料の多様性や成分の不安定性、ひいては製品成分の不安定を招く恐れもある。このような不安は独自の製造工法で解消する。

2) 製造工法

下水汚泥コンポストの製造は一般的に好気性発酵で行われる。現在下水汚泥は高分子系が主流でその

含水率は80%程度である。通常好気性発酵は汚泥ともみ殻やおが屑及びバークなどの副資材と混合して行うことが多い。このような副資材は水分調整や混合物の隙間を増やし、通気性をよくする役割を果たす。しかし、副資材は汚泥と違って微生物にとって分解しにくいものが多く含まれ、また、添加量によっては、下水汚泥肥料の成分が大きく変わる可能性がある。つまり汚泥肥料品質の不安定化を招く恐れがある。我々はこれらの副資材を使わず、発酵中の下水コンポスト（一次発酵物）を種菌として原料の400～700%ほど大量に返送し、水分調整と共に堆積物の通気性を高め、微生物がより働きやすい環境を作る、いわば「発酵物循環工法」を採用する。

我々の製造フローを図-1に示す。下水処理場から運ばれてきた下水汚泥に大量の一次発酵物を種菌として返送し、混合させる。種菌の返送量は原料である下水汚泥の量及び含水率、返送される一次発酵物の含水率、そして混合後の目標含水率で下記の式で計算できる。

$$W_2 = W_1 (a-m)/(m-b)$$

W_2 ：返送種菌重量 W_1 ：下水汚泥重量

a ：下水汚泥含水率 b ：種菌含水率

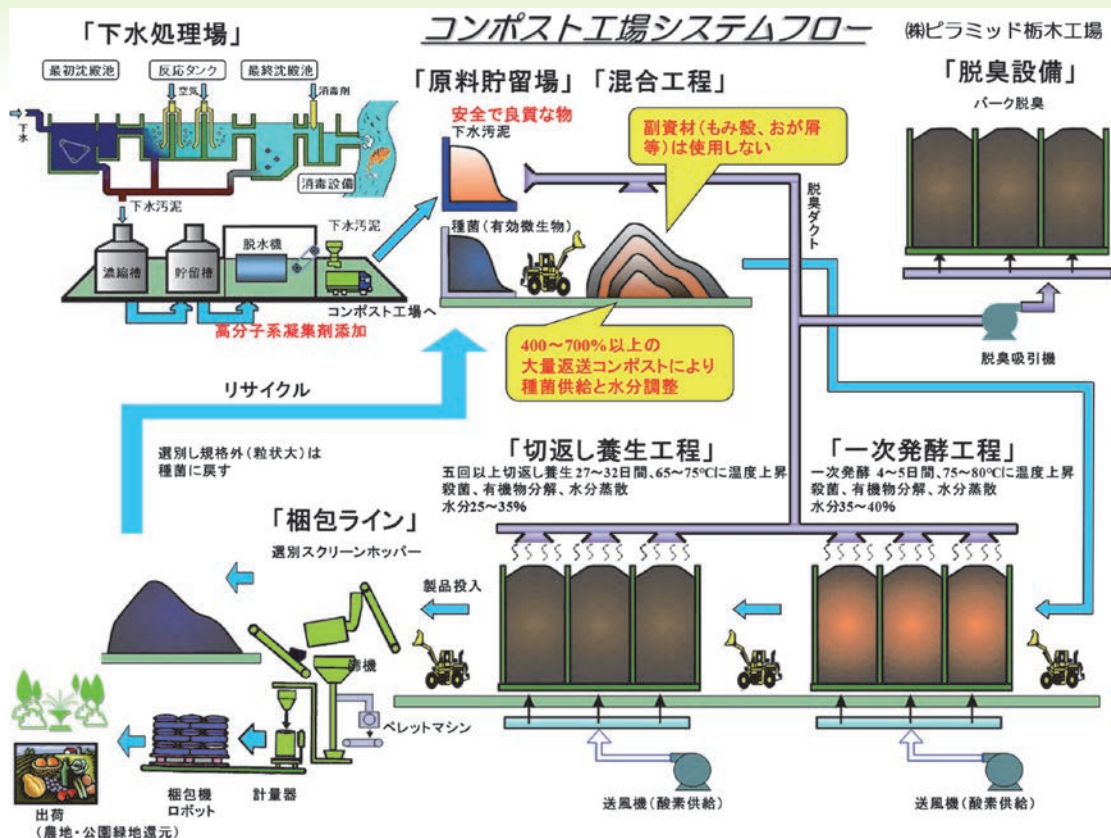
m ：混合後の目標含水率

例えば、20t 含水率80%の下水汚泥を処理する際、微生物にとって活動しやすい50%含水率の混合物を目指すには、45%含水率の一次発酵物の返送量は120tになる。

$$W_2 = 20t (80\%-50\%)/(50\%-45\%) = 120t$$

3) 5次発酵

下水汚泥と種菌を十分に混合した後、重機で一次発酵槽に堆積し、強制送風しながら一次発酵を行う。仕込んだ翌日には微生物の活発な活動に伴い、有機物が分解され、その過程で発生する熱で堆積物の温度が徐々に75～80℃まで上昇する。高温状態が2～3日持続した後、温度が下がる。通常一次発酵は4～5日間ほどで終わる。その間高温で大量の水分が蒸発され、発酵物の含水率も40%前後まで下がる。温度がある程度下がったところで、切返しを行い、2次発酵に進む。一次発酵と同様に発酵物の温度が70℃以上まで上昇し、4～5日で温度が下





下水汚泥

発酵下水汚泥コンポスト

写真-2 下水汚泥と発酵下水汚泥コンポストの光学顕微鏡写真

③肥料成分の安定性

(株)井上政商店の直近4年間のコンポスト主要成分の分析データを図-3に示す。肥料成分の分析は「発酵下水コンポスト品質基準」に基づき、2022年度までは年2回、2023年度以後は年4回行うため、4年間で計12回肥料成分を分析した。その主成分である窒素全量値は4.2-4.8%で、りん酸全量値は5.8-6.7%の範囲内であった。従来、堆肥は成分が不安定とされていたが、我々の「発酵物循環工法」で一定程度の成分安定性を確保することができた。

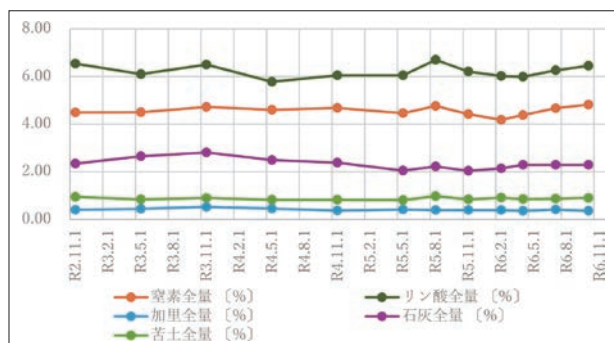


図-3 コンポスト主要成分の分析データ(現物・%)

④安全性の確保

下水汚泥肥料に含まれる重金属は利用拡大の妨げになる要因の一つである。利用者の不安を解消するため、従来重金属について年に2回分析してきたが、2019年に4回に変更した。表-2に直近6年の分析データを示す。肥料の品質の確保等に関する法律に定められている6つの項目のいずれも規制値よりかなり低いことが分かる。しかも、2002年に品質基準を制定してから23年経っているが、一度も分析値が規制値を超えることはなかった。

発酵不十分の場合、有害生物、雑草種などの存在が懸念されるが、一般的に主な有害な病原菌や寄生虫などは65℃、1時間ほどで死滅又は不活化すると言われている(Golueke,1977)。図-2に示した

ように我々の製造工程において発酵温度が65℃を超える時間は計数日間であるが、したがって製品には上記の有害生物などは含まれていないと判断できる。

また、利用者に安心して利用していただくため、年に1回こまつなを用いた発芽及び生育に関する植害試験も実施し、汚泥コンポストの施用による発芽や生育への支障はないと実証されている。

表-2 令和1～令和6年度まで計24回分析の重金属含有量データ

項目	規制値	実測平均値	最大値	最小値
砒素	0.005	0.0004	0.0007	0.0002
カドミウム	0.0005	0.000075	0.0001	<0.00005
水銀	0.0002	0.000026	0.00003	0.00002
ニッケル	0.03	0.0038	0.009	0.001
クロム	0.05	0.0025	0.004	0.002
鉛	0.01	0.0009	0.0012	0.0006

((株)井上政商店 乾物あたり 単位:%)

⑤その他の取組み

汚泥肥料の生産過程において温度管理が非常に重要である。以前発酵物の温度測定は人力で休日を含め、毎日2回数時間をかけて行われた。生産環境を改善するため、我々は他社と共同で発酵温度自動計測管理システムを開発・導入した。このシステムにより、発酵温度を自動的に計測・管理し、労働時間の短縮や生産コストの削減、労働安全条件の改善を実現している。これにより、発酵工程の効率化と製品品質の維持・向上が図られている。

また、持続的に高品質汚泥肥料を生産するには、確立した発酵技術以外に、厳格な品質マネジメントシステムも不可欠である。そのため、2005年にISO9001を取得し、2007年にISO14001も取得して、各生産工程及び生産部門における明確な品質目標を明文化すると同時に、内部監査や外部審査を定期的実施することで、品質の安定性を確保した。

3. 終わりに

本稿では主に高品質汚泥肥料の製造に関する取組みを紹介した。国内資源肥料とりわけ下水汚泥肥料の利用拡大を促進するには、我々生産メーカーの更なる努力が必要である。特に利用者のニーズに合わせて製品形態の改善・ペレット化の加速、汚泥肥料の特性に合う利用法の提供、さらに菌体りん酸肥料への登録により、他の普通肥料や特殊肥料との配合肥料の製造などが今後の課題となる。