

農業集落排水汚泥の粒状肥料化とその肥効

岩崎慎也・森聖二・宮崎成生・大村裕顕・高橋睦*・阿部保雄*・高山茂男*・山代篤志*

摘要：汚泥に生石灰を添加する方式により，短時間に汚物感の少ない粒状肥料が製造できることが明らかになり，本方式による自動肥料化装置を開発・製品化した．パイロットプラントにより2年間の稼働試験を行い，従来の処理方法よりも安価に処理できることを確認した．

製造した肥料は，保管中の変質がなく，運搬，機械散布に耐えうる硬度を有し，流通性の高い製品であることを確認した．肥効試験によりその有用性を実証した．

キーワード：生石灰，汚泥，粒状肥料

Improvement of the technique for producing granular fertilizer with sewage sludge in the drainage from a rural agricultural colony: the effectiveness of this fertilizer

Shinya IWASAKI, Seiji MORI, Naruo MIYAZAKI, Hiroaki OHMURA, Mutsumi TAKAHASHI, Yasuo ABE, Shigeo TAKAYAMA and Atsushi YAMASHIRO

Summary : It has been demonstrated that clean-looking granular fertilizer can be produced in relatively a short period of time, with sewage sludge in the drainage from a rural agricultural colony by treating it with calcium oxide. Based on this finding, a plant for producing granular fertilizer with sewage sludge was developed and manufactured. A pilot plant that produced granular fertilizer using this new apparatus has been operating for two years. This report certifies that the cost of producing granular fertilizer with sewage sludge using this technique is lower than the cost of producing granular fertilizer by the ordinary technique.

The granular fertilizer produced by the new technique was stored for 10 months, and there were no qualitative changes in the fertilizer during the storage period. The particles of the granular fertilizer are hard, and can be transported and scattered by a machine. This report confirms that the granular fertilizer produced by this new technique can be marketable.

The results of the fertilizer response test showed that the granular fertilizer produced from sewage sludge in the drainage from a rural agricultural colony, is very useful as a fertilizer.

Key words : calcium oxide, sewage sludge, granular fertilizer

I 緒言

農村部の生活環境の改善，農業用水の浄化のため，全国に農業集落排水処理施設（農業集落排水は以下，農集排と略す）が建設されている．1998年度現在の受益人口は，201万人で発生汚泥量を推計すると，49万m³/年（水分98%換算）にのぼる．1998年度の農林水産省の調査によると汚泥の農地還元は9%，公共下水道汚泥処理施設への持ち込みが9%，し尿処理施設への持ち込みが70%となっており，農集排処理施設ではほとんど汚泥の有効利用が図られていない¹⁾．農集排事業では，汚泥を域内で利用するゼロエミッションを目標にしているものの，現在の状況は目標との差が大きいと言わざるを得ない．

栃木県の農集排事業は，1984年度着手以来，1999年度までに84地区で実施し，うち59地区が完了している．1999年度計画処理人口では54,100人である．1997年度末の汚泥処理に関する実態調査では，し尿処理施設への持ち込みが75%（27地区）を占め，濃縮汚泥のまま農地還元が14%（5地区），下水処理場への持ち込み8%（3地区），コンポスト化が3%（1地区）と全国と同様に最終利用の面で立ち後れている．汚泥発生量は，1989年度には生汚泥で92m³/年にすぎなかったが，1996年度は2,145m³/年，1997年度4,151m³/年と急増している．最終的には，496地区で358,000人が利用予定である．

県内の下水道を概観する．栃木県の下水道普及率（農集排等を含む）は，1999年度末現在54.9%である．公共下水の汚泥は1996年度末現在，年間63,500m³が発生している．その処分は，県内に最終処分場が少なく，新たな処分地の確保が困難なため，その多くを県外の民間業者に委託している．コンポスト等で有効利用されているのは300m³に過ぎない²⁾．農集排汚泥の主な受け入れ先であるし尿処理施設も，下水道と同様に最終処分地の問題を抱えていると考えられ，最近持ち込みに制限を受ける事例がみられるようになっている．

このような現状から，農集排汚泥は，農地還元を視野に入れた利用方法の開発が急務である．現在，汚泥の有効利用法として堆肥化の研究が多く，成書がまとめられている³⁾．しかし，農集排施設は，下水道と比べ非常に小規模であり，施設利用者で組織した管理組合が週に1～2回管理を行うだけの無人施設である．堆肥化は，安定した製品を作るのに熟達を要し，副資材を確保する必要があるため，必ずしも農集排汚泥処理の最適な方法とはなり得ていない．

そこで，肥料化方法として，宮崎・大村により報告されている豚ふんに生石灰を混和する方法⁴⁾について，農

集排汚泥への適応を検討した．その結果，農集排においても短時間で取扱性に優れた粒状の肥料の製造が可能なることが明らかとなった．さらに本方法を基に自動運転可能な実用規模の自動肥料化装置を開発した．本稿では汚泥の肥料化方法，装置の施設適応性，および製造肥料の化学性，ならびに製造肥料の肥効について報告する．

II 試験方法

1. 農集排汚泥の粒状肥料化

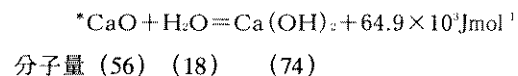
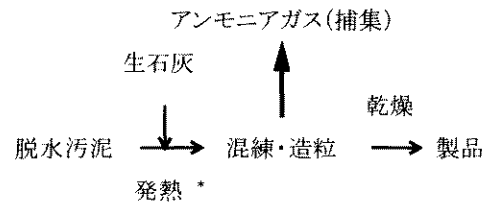
1) 農集排汚泥の化学性

供試試料として栃木県内の農集排汚泥22カ所（各地区2回採取，採取年：1993～1999年）および栃木県内下水道12カ所（各地区7回採取，採取年：1988～1991年）の脱水汚泥を採取し分析に供した．水分は105℃加熱乾燥法で測定した．pHはガラス電極法で，電気導電率（EC）は導電率計で測定した．強熱減量は，700℃で5時間加熱し，減量分を計量した．全窒素含量はケルダール法，リン酸含量は湿式分解後モリブデン酸アンモニウム法により測定した．カリウム，カルシウム，マグネシウムおよび重金属類含量は，硝酸一過塩素酸による湿式分解後，原子吸光光度計で測定し，カルシウムおよびマグネシウム含量からアルカリ分を求めた⁴⁾．

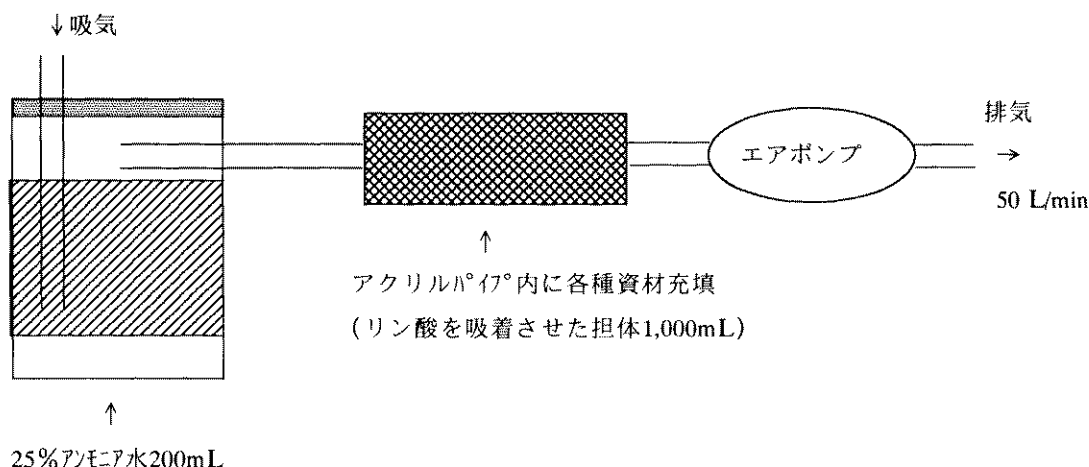
2) 粒状肥料の製造方法および悪臭気体の捕集方法

汚泥の肥料化は，脱水汚泥に生石灰を混和する方法によった（第1図）．供試試料は，1996年I地区の農集排施設より搬入し，4m³のコンクリートタンクに貯留し試験に用いた．

農集排汚泥を水分85%程度まで脱水し，脱水した汚泥に生石灰（顆粒苦土生石灰，く溶性苦土30%）を混合し，生石灰が消石灰に変化する時の水の取り込みおよび反応熱により，水分を調整した後，攪拌機内で混合物を転動し造粒した．混合および造粒には，飼料用攪拌機（容量500L）を用いた．異なる水分の脱水汚泥に対して生石灰の添加量を変え，造粒に適する混合比を検討し，生成物の粒径分布を調べた．



第1図 粒状汚泥肥料の製造フローシート



第2図 脱臭モデル試験の模式図

肥料製造時に発生するアンモニア臭を脱臭するため、アンモニアガスをリン酸に接触させ、リン酸アンモニウムとして捕捉する方法⁹⁾の応用を検討した。条件検討のため、第2図の実験装置を組み、リン酸液の保持担体の検討と脱臭効率を調査した。担体は、脱臭資材の保持能、悪臭気の通気性の面から資材選定を行った。担体のリン酸の保持能は、水中での減圧浸漬により最大容水量を算出し判定した。

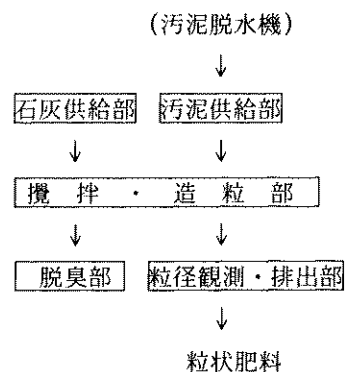
3) 粒状肥料の成分および取扱性

製造した製品の成分は、汚泥と同様の方法により分析した。アンモニア態窒素および硝酸態窒素については蒸留法、デバルタ合金法によった。取扱性については、崩壊性、保管性ならびに微生物性について検討した。水中崩壊性は、製造した粒状肥料を一夜水中に静置し、未崩壊粒を数えた。土中崩壊性については最大容水量の60%に調製した表層多腐植質黒ボク土に粒状肥料を混合し、適宜取り出し硬度を測定した。試験方法は造粒した肥料の崩壊性試験法に準拠した⁹⁾。保管性については、製品をビニル製袋に密封または開封状態で10か月間常温で保管し目視により、カビの発生等を確認した。微生物性については筑波農業環境工学研究所に委託し、特定酵素基質平板法、LB-GBLB法、LB-EC法により大腸菌群の検定を行った。

4) 製造方法の自動化および自動肥料化装置の経済性

上記製造方法に基づき、株式会社トキメック（東京・蒲田）との共同研究により、農集排処理施設の一般的規模である処理人口1,000人程度に対応した実用実験機を試作した。本装置は5ユニット構成とした（第3図）。

生石灰を貯留し必要量を攪拌造粒部に定量搬送する石灰供給部、脱水機により脱水した汚泥を貯留し必要量を定量搬送する汚泥供給部、石灰・汚泥供給部から供給さ



第3図 自動肥料化装置処理フロー

れた原料を混合攪拌し、粒状化を行う攪拌造粒部、造粒時に発生する悪臭を脱臭する脱臭部、粒径を観測しながら最適な粒径に制御し、排出する粒径観測・排出部である。本装置は各ユニットが機能的に連動するようにプログラムし、生石灰の定期的な補充以外はすべて自動で運転可能な構成とした。

本装置の動作確認の後、1997～1998年度の間、栃木県益子町長堤・上山地区の農集排処理施設に設置し、脱水汚泥と生石灰の最適混合比、脱臭部の脱臭可能期間、安定運転性、保守管理法について調査した。同施設は、1998～1999年の供用人口930人（供用率84%）であり、脱水汚泥換算で一日あたり約60kgの汚泥が発生していた。本装置の稼働試験は汚泥発生量にあわせ1バッチ30kgで計2回行った。

脱水汚泥と生石灰の最適混合比は、上記の手動による実験結果を基に混合比を仮設定し粒化状態を観察しながら調整した。安定的に粒状化が行えるようになってからは、脱水機の脱水率の変動に対応できるように、装置運転プログラム内に前回の造粒データから、石灰供給量を

微調整する学習機能を組み込み、より安定的な粒状化が図れるようにした。

さらに、従来のし尿処理場への搬出費との比較のため、電気料、使用資材費、機械保守管理費等を調査した。

第1表 供試粒状肥料の化学性

pH [*] (1:5)	水分 [*] 10 ⁻² kgkg ⁻¹	T-N 10 ⁻² kgkg ⁻¹	P ₂ O ₅ 10 ⁻² kgkg ⁻¹	K ₂ O 10 ⁻² kgkg ⁻¹	アルカリ分 10 ⁻² kgkg ⁻¹	MgO 10 ⁻² kgkg ⁻¹
12.0	3.6	0.29	0.16	0.03	61.1	17.2
Fe 10 ⁻² kgkg ⁻¹	Mn 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Zn 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Cu 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Cd 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	As 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Hg 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹
0.37	62	604	110	1.0	0.8	0.10

注) 対乾物 *対現物

2. 粒状肥料の施用効果

1) ポットによる畑作物連用試験

供試試料は、1.2) の試験により製造した粒状汚泥肥料を用いた(第1表)。畑試験の供試土壌は、表層多腐植質黒ボク土の林地表層土壌(pH4.8, 硝酸態窒素2.52cgkg⁻¹)を用いた。試験規模は、1/5000 a ワグネルポット2区制で行った。作物は、1996年ニンジン(あすべに)、アルファルファ(なつわかば)、1997年コカブ(CR白根)、チンゲンサイ(青帝)の4作を同一ポットで連作栽培した。ニンジン、チンゲンサイ、コカブは、1ポットあたり2株、アルファルファは土壌表面の全面に栽培した。硫酸2g、過リン酸石灰2g、硫酸加里0.5g(N:0.42gpot⁻¹, P₂O₅:0.40gpot⁻¹, K₂O:0.25gpot⁻¹)、粉状消石灰3gを施用したものを対照区とした。ニンジン作付前に、ポットあたり過リン酸石灰を10gを施用した(第2表)。試験区は硫酸、過リン酸石灰、硫酸カリは対照区と同量とし、製造した粒状肥料の施肥量のみを変えた。区は粒状肥料9g施用区、18g施用区、36g施用区を設けた。作物の収量調査、跡地土壌のpHの測定および跡地土壌の重金属の測定を行った。pHは1:2.5水浸出液をガラス電極法で測定した⁷⁾。

2) ポットによる水稲連用試験

供試試料は、1.2) の試験により製造した粒状汚泥肥料を用いた(第1表)。水稲試験の供試土壌は、灰色低地土を用い、試験規模は、1/5000 a ワグネルポット2区制で行った。1997年ひとめぼれ、1998、1999年コシヒカリを栽培した。1ポットあたり2株、2本植えとした。配合化成肥料で窒素:0.12gpot⁻¹、リン酸:0.18gpot⁻¹、加里:0.12gpot⁻¹を施用したものを対照区とした。試験区のN、P₂O₅、K₂O量は対照区と同量とし、製造した粒状肥料の施肥量のみを変え、粒状肥料2g施用区、4g施用区、8g施用区、16g施用区を設けた(第2表)。1997、1999年は、N:0.06gpot⁻¹、P₂O₅:0.09gpot⁻¹、K₂O:0.06gpot⁻¹を追肥した。

作物の収量調査および跡地土壌のpHの測定を行った。pH測定は1:2.5水浸出液をガラス電極法で行った⁷⁾。

第2表 ポット試験の試験区

区名	粒状肥料 gpot ⁻¹	施用量(gpot ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
[畑試験]				
9g施用区	9	0.42	0.40	0.25
18g施用区	18	0.42	0.40	0.25
36g施用区	36	0.42	0.40	0.25
対照区	3*	0.42	0.40	0.25
[水稲試験]				
2g施用	2	0.12	0.18	0.12
4g施用	4	0.12	0.18	0.12
8g施用	8	0.12	0.18	0.12
16g施用	16	0.12	0.18	0.12
対照区	0	0.12	0.18	0.12

注。*消石灰を3gpot⁻¹施用

3) 畑ほ場における連用試験

供試試料は、1.2) の試験により製造した粒状汚泥肥料を用いた(第1表)。作物は、1996年コマツナ(はるみ)、ハウレンソウ(ソロモン)、1997年コカブ(CR白根)、ハクサイ(CR隆徳)、1998年チンゲンサイ(青帝)、ダイコン(秋王)、1999年エダマメ(狩勝3号)、キャベツ(いろどり)の8作を栃木県農業試験場畑ほ場で栽培した。土壌は、表層多腐植質黒ボク土で行った(第3表)。試験規模は、1区3.6m²の2区制で行った。各区1作当たり、燐硝安加里により、窒素:20gm²、リン酸:20gm²、加里:16gm²、粉状消石灰100gm²を施用したものを対照区A、窒素、リン酸、加里施用量を等量とし消石灰を施用しなかった区を対照区Bとした。試験区はNPK施用量を対照区と同量とし、製造した粒状肥料

第3表 ほ場における畑連用試験土壌の化学性

pH (H ₂ O)	EC 10 ⁻⁵ Sm ⁻¹	T-N 10 ⁻³ kgkg ⁻¹	陽イオン交換容量 cmol(+)kg
6.3	55	0.59	42.1

第4表 ほ場試験の試験区

区名	粒状肥料 gm ⁻²	施用量(gm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
[畑試験]				
100gm ⁻² 施用区	100	20	20	16
200gm ⁻² 施用区	200	20	20	16
400gm ⁻² 施用区	400	20	20	16
対照A	100*	20	20	16
対照区B	0	20	20	16
[水稲試験]				
100gm ⁻² 施用	100	3	12	6
200gm ⁻² 施用	200	3	12	6
対照区	0	3	12	6

注. *消石灰を100gm⁻²施用

の施肥量のみを変え、粒状肥料100gm⁻²施用区、200gm⁻²施用区、400gm⁻²施用区を設けた(第4表)。作物の収量調査および跡地土壌のpHの測定を行った。

4) 水田ほ場における連用試験

供試試料は、1.2)の試験により製造した粒状肥料を用いた(第1表)。供試品種はコシヒカリで、土壌は、益子町長堤地区の黒ボクグライ土で行った。試験規模は、1区20m²の2区制で行った。対照区のNPK施肥量は現地慣行(窒素:3gm⁻²、リン酸:12gm⁻²、加里:6gm⁻²)とし、試験区は粒状肥料100gm⁻²施用区、200gm⁻²施用区を設けた(第4表)。作物の生育収量調査および跡地土壌のpHの測定を行った。

III 結果および考察

1. 農集排水汚泥の粒状肥料化

1) 農集排水汚泥の化学性

農集排水汚泥の化学性を第5表に、下水汚泥の化学性を第6表に示す。pHおよび生石灰(CaO)は下水汚泥の方が高かった。農集排水汚泥は生汚泥を、下水は脱水汚泥を分析試料としているため、凝集剤や脱離水への成分流失

第5表 農業集落排水汚泥の化学性(対乾物)

施設**	水分*** 10 ⁻² kgkg ⁻¹	pH**	10 ⁻² kgkg ⁻¹							10 ⁻⁴ kgkg ⁻¹							強熱減量 10 ⁻³ kgkg ⁻¹
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Hg	As		
A	99.1	6.8	7.6	3.5	0.44	*	*	*	887	363	*	25	2.5	0.62	8.2	73	
B	95.2	5.3	5.4	3.8	0.17	*	*	*	612	269	*	2	1.3	0.89	4.9	79	
C	98.5	7.3	5.5	5.7	1.04	*	*	*	800	239	*	21	3.0	0.84	14.2	58	
D	96.9	6.7	4.8	9.5	0.73	*	*	*	1899	709	*	2	3.7	1.11	4.5	60	
E	96.4	6.8	6.9	5.4	0.30	*	*	*	899	514	*	2	4.7	0.64	6.4	65	
F	96.0	6.9	5.1	5.7	0.23	*	*	*	1293	741	*	26	2.1	0.83	13.9	64	
G	93.3	6.4	4.2	2.8	0.06	0.54	0.37	0.76	841	282	119	1	1.4	0.63	6.3	57	
H	98.6	6.7	5.8	5.5	0.32	2.86	0.45	0.89	1272	1328	159	4	2.0	0.71	2.3	66	
I	95.9	7.1	5.1	4.6	0.15	3.09	0.59	1.57	1350	730	397	4	2.3	1.06	10.3	55	
J	97.9	5.8	4.8	3.8	0.21	1.83	0.35	0.75	963	587	190	3	1.8	0.69	3.3	73	
K	96.1	6.0	4.9	3.3	0.07	1.81	0.39	0.90	758	207	127	2	2.0	0.67	11.6	67	
L	99.0	6.8	3.8	1.4	0.71	0.76	0.70	0.53	795	581	135	3	1.3	0.78	2.9	69	
M	97.3	7.4	6.2	0.6	0.19	0.22	0.26	0.65	1236	585	100	2	2.0	1.50	10.1	67	
N	98.7	6.8	3.4	1.1	0.27	0.56	0.29	0.52	872	417	130	1	1.4	0.75	10.5	68	
O	97.5	6.3	7.5	1.0	0.46	0.37	0.72	0.63	655	215	308	4	1.2	0.52	8.5	70	
P	98.2	6.9	2.9	0.7	0.27	0.51	0.39	0.69	749	295	251	3	1.6	0.66	12.2	70	
Q	99.2	6.7	7.5	4.2	0.29	0.56	0.28	0.81	1375	820	*	24	2.0	0.56	8.7	72	
R	99.2	7.6	9.5	5.6	0.47	0.96	0.59	1.16	1578	1030	*	34	2.7	0.96	8.8	65	
S	98.5	6.9	6.0	4.7	0.25	1.26	0.45	0.68	1265	701	*	23	2.3	0.76	5.0	65	
T	98.7	7.0	7.2	5.9	0.11	0.21	0.13	0.72	533	945	*	29	2.4	0.96	3.3	69	
U	98.2	7.1	5.2	5.5	0.34	1.08	0.43	0.73	133	676	*	28	1.9	0.85	2.7	69	
V	96.1	6.1	5.9	5.1	0.18	0.15	0.20	0.80	623	833	*	42	2.0	0.90	2.4	75	
最大	99.9	7.8	9.5	11.6	1.56	4.58	0.23	0.44	2586	1386	637	53	6.2	2.21	21.2	81	
最小	91.4	5.3	2.2	0.6	0.01	0.21	0.92	1.96	410	85	88	1	0.7	0.32	2.1	40	
平均	97.5	-	5.7	4.1	0.33	1.05	0.41	0.80	972	594	192	13	2.2	0.81	7.3	67	

注. *欠測, **各施設2回の平均値, ***対現物

第6表 下水汚泥の化学性(対乾物)

施設	水分	pH	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Zn	Cu	Pb	Cd	Hg	As
	10 ⁻² kgkg ⁻¹													
A	75.1	11.3	29.8	3.60	4.40	0.20	20.7	1.30	1495	1033	46	3.07	5.03	4.72
	69.7	9.1	25.7	3.13	3.01	0.10	15.1	0.23	688	442	24	1.30	1.21	1.38
	73.5	10.0	27.2	3.44	3.64	0.15	18.0	0.61	1042	673	39	2.36	3.12	3.26
B	80.3	8.7	29.7	4.01	2.97	0.94	26.3	1.50	1750	860	58	1.94	2.38	9.67
	76.6	6.1	18.8	2.16	2.30	0.12	10.0	0.34	458	291	24	0.91	0.07	0.95
	78.9	7.7	24.7	2.91	2.67	0.34	15.9	0.93	1024	573	43	1.18	0.90	5.58
C	64.1	11.0	29.0	2.89	4.70	0.43	18.1	3.60	2444	1195	123	3.42	2.03	10.67
	57.3	9.2	19.9	1.59	2.74	0.12	10.1	0.79	736	516	50	1.39	0.14	1.67
	60.8	8.9	25.2	2.40	3.28	0.25	14.1	1.92	1418	727	84	2.19	1.01	4.90
D	85.3	7.6	43.4	7.71	4.96	0.55	3.1	0.73	1326	955	33	4.05	2.73	3.40
	81.5	5.4	38.6	5.00	3.38	0.14	0.8	0.38	320	209	13	1.60	0.50	1.60
	84.3	6.4	41.1	6.45	4.24	0.35	1.6	0.56	735	431	21	2.39	1.80	2.69
E	85.6	6.6	46.8	8.10	4.40	0.34	7.0	0.91	1433	1593	37	1.96	2.15	13.43
	76.3	5.6	42.7	5.74	3.20	0.19	1.3	0.31	505	203	17	1.04	0.25	10.81
	83.0	6.1	45.3	6.77	3.84	0.25	2.5	0.51	895	531	25	1.61	0.81	12.31
F	79.5	8.0	37.5	5.92	6.10	0.36	7.9	1.50	2229	1109	150	3.47	2.94	5.12
	76.1	6.5	35.9	5.20	3.89	0.12	1.5	0.49	947	375	43	2.29	0.20	2.44
	78.2	7.2	36.7	5.54	4.72	0.18	3.9	0.87	1319	638	76	2.81	1.70	3.50
G	88.5	7.0	44.6	4.01	3.80	0.43	2.7	0.81	1060	289	40	3.88	2.26	6.78
	79.1	6.1	41.3	6.76	3.13	0.14	0.9	0.31	344	192	11	0.89	0.44	2.59
	84.4	6.5	41.5	5.52	3.40	0.24	1.6	0.47	725	203	21	2.45	1.24	5.13
H	81.8	7.4	31.2	4.61	5.10	0.35	11.8	1.20	2183	1613	144	4.02	3.12	6.88
	86.6	6.0	24.1	3.40	3.98	0.20	2.4	0.58	1280	757	65	1.63	1.13	3.07
	79.4	6.8	27.8	3.97	4.43	0.25	4.7	0.84	1651	1167	98	2.42	1.98	4.93
I	82.9	8.1	36.2	5.52	6.30	0.29	5.0	1.10	2000	961	99	7.38	3.95	7.48
	78.5	6.6	27.9	4.30	4.76	0.15	2.9	0.40	896	355	40	2.27	0.39	3.33
	81.2	7.2	31.9	4.85	5.26	0.23	3.7	0.68	1415	533	67	4.30	2.63	4.77
J	84.7	7.3	47.5	6.91	5.08	0.26	2.8	0.50	1037	431	72	2.45	1.72	2.01
	82.5	6.0	35.0	5.04	4.08	0.09	1.0	0.23	682	214	20	1.39	0.03	1.77
	83.5	6.5	40.1	5.88	4.47	0.23	1.6	0.34	845	304	48	1.93	0.82	1.91
K	84.9	7.9	41.8	7.12	4.54	0.43	8.0	0.80	1691	703	59	3.14	2.27	12.14
	78.9	6.9	25.3	4.20	2.60	0.20	1.3	0.48	903	333	19	1.85	0.13	1.67
	82.4	7.2	37.1	6.32	3.77	0.32	3.4	0.59	1192	530	33	2.43	0.92	5.97
L	80.4	7.4	31.7	4.94	4.36	0.56	5.2	1.90	2713	1422	105	2.86	2.14	9.27
	76.3	6.8	23.0	3.00	3.17	0.27	2.2	0.81	1257	453	34	1.79	0.37	5.42
	78.0	7.1	26.3	4.09	3.74	0.41	3.2	1.18	2026	743	79	2.40	1.19	7.05
最大	88.5	11.3	47.5	8.10	6.30	0.94	26.3	3.60	2713	1613	150	7.38	5.03	13.43
最小	57.3	5.4	18.8	1.59	2.30	0.09	0.8	0.23	320	209	11	0.89	0.03	0.95
平均	79.0	-	33.7	4.85	3.96	0.27	6.2	0.79	1191	613	53	2.37	1.51	5.17

注. 上段: 最大値, 中段: 最小値, 下段: 平均値
調査回数各施設7回, Asのみ3回, 分析試料は脱水汚泥, *対現物

の影響を受けたのが原因と考えられる。農集排水汚泥の鉛濃度が低かった以外は両者で大きな差異は認められなかった。農集排水汚泥, 下水汚泥とも施設間に差がみられた。下水汚泥の場合, 工場等の立地が原因の一つと考えられるが, 農集排水の場合, 家庭雑排水を主な処理対象としており, 下水道のような原因は考えられない。また, 県内において食生活が大きく異なることも考え難く原因の特定は本調査で困難であるが, 浄水場等に聞き取りを行ったところ, 雨水による土砂の流入が一因となっている可能性が考えられる。他の下水汚泥の分析事例との比較で

は大きな相違はみられなかった⁹⁾。

3地区の農業集落排水汚泥について, 窒素組成を分析した(第7表)。農集排水汚泥の平均窒素全量は5.8%で, そのうち無機成分であるアンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計が0.92%であることから, 残りの窒素画分を有機態とすると80%以上が有機態である。汚水処理の工程で発生する汚泥成分は, そのほとんどが微生物由来と考えられ, 土壌の物理性および化学性の涵養に役立つと考え

汚泥は窒素やリン酸, 鉄等の微量要素を含有していた

第7表 農業集落排水汚泥の窒素画分(対乾物)

地区	水分*	pH	N	NH ₃ -N	NO ₃ -N
	10 ⁻² kgkg ⁻¹		10 ⁻² kgkg ⁻¹	10 ⁻² kgkg ⁻¹	10 ⁻² kgkg ⁻¹
①	96.0	6.7	4.8	0.33	0.00
②	99.5	6.1	7.2	0.85	0.03
③	98.1	7.1	5.5	1.45	0.09
平均	97.9	6.6	5.8	0.88	0.04

注. *対現物

ことから、肥料としての効果が期待できる。強熱減量の平均値が67%であり、有機物施用の効果も併せ持つと考えられる。一方、重金属の面でみると、農集排水汚泥を乾物で施用する場合、大半が亜鉛、銅の注意事項表示(Zn:900mgkg⁻¹,Cu:300mgkg⁻¹・肥料取締法)が必要となる値であった。カドミウム、水銀は、一部地区で上限値(Cd:5mgkg⁻¹,Hg:2mgkg⁻¹・肥料取締法)を超える汚泥があった。

第8表 資材の混合割合

No	汚泥水分 10 ⁻² kgkg ⁻¹	混合量			造粒直後水分 10 ⁻² kgkg ⁻¹	粒状化状態
		汚泥 kg	生石灰 kg	生石灰/汚泥		
1	86.3	30.0	15.0	0.50	42.4	△
2	86.3	35.0	20.0	0.57	37.3	○
3	86.5	35.0	20.0	0.57	38.0	○
4	86.5	35.0	20.0	0.57	39.1	○
5	86.1	25.5	14.4	0.56	39.3	○
6	82.3	35.0	20.0	0.57	36.6	○
7	79.0	37.0	24.0	0.64	35.3	×

注. 粒状化状態: ○均一の粒, △不均一粒, ×粒状化せず

2) 粒状肥料の製造方法および悪臭気体の捕集方法

脱水した汚泥(水分79.0~86.5%)7サンプルに生石灰を添加・混合することで、5サンプルが粒状の製品となった(第8表)。製品は飼料用攪拌機による混合・攪拌操作のみで粒状化し、粒状化のために特別な装置は必要なかった。混合物は、生石灰と汚泥が混じり合うことにより、最初粉状となる。生石灰と汚泥の混合割合が適正な場合、混合物の粘性により、粉状であったものが攪拌機内での転動過程で0.5~1.0mm程度の微小粒となり、さらに転動をつづけることで周囲の粒と結びつきあい、数mmの粒体となる。水分過多の場合、混合物は粘土状のまま留まり粒化せず、水分過少の場合粉状のまま粒化しなかった。

粒状化が順調であった造粒直後の粒の水分は36~40%であり、混合割合は脱水汚泥(水分86%)100kgに対して生石灰57kgであった。本条件で粒化が確実に進むことを確認するため、ほぼ同じ条件で4回実験を行った。粒化が順調であった第8表のNo.6のサンプルについて粒径分布を調べたところ、4mm以下:17.6%, 4~8mm:43.8%, 8mm以上:38.4%であった。4mm以下、8mm以上のものについても、それぞれ3mm, 9~10mm程度のものがほとんどであった。製造時間は、汚泥の水分と生石灰の反応時間に約40分、粒化に約2時間の計約2時間40分必要であった。

第9表 含浸資材の含水量と通気性

資材名	含水量 対乾物%	pH 1:10	通気性*
ヤシガラ(粗目)	440	6.6	○
ヤシガラ(細目)	540	6.6	△
杉皮(クリプトモス)	410	5.5	×
ビートモス(粉状)	1238	3.8	×

注. * ○通気良, △定常の半量, ×17h²⁰°過負荷

脱臭資材の保持担体の試験結果は、ビートモスが単位重量あたりの水吸収量が大きくリン酸の保持能が高かったが、通気性の面で劣った。このことから、含水量がビートモス以外の担体と同程度で通気性に優れていたヤシガラ(粗目)を選定した(第9表)。ヤシガラ(粗目)を用い、リン酸濃度を変えながら、第2図モデルにより脱臭資材中にアンモニアを通気した。通気時間は、アンモニア検知管で5ppm以上となった時間をもって捕集可能時間とした。捕集可能時間は、リン酸濃度が高くなるにしたがい長くなった(第10表)。捕集能のみで判断すると、リン酸濃度が高い方が優れているが、高濃度のリン酸を含浸したヤシガラは、通気後生成するリン酸アンモニウムにより、ヤシガラ片の間で固結し、アクリルパイプからの排出が困難となった。このことから、含浸するリン酸液濃度は10~20%が望ましいと判断した。

第10表 リン酸濃度と捕集可能時間

区名	含浸率 対乾物%	脱臭資材1000m ³ あたりの捕集量 25%アンモニア水ml	捕集可能時間 時間
10%リン酸含浸区	429	52	15
20%リン酸含浸区	436	80	17
40%リン酸含浸区	482	125	21

第11表 粒状汚泥肥料の肥料化時の化学性（対乾物）

処理	pH	水分 10 ² kgkg ⁻¹	T-N 10 ² kgkg ⁻¹	NH ₄ -N cgkg ⁻¹	NO ₃ -N cgkg ⁻¹	P ₂ O ₅ 10 ² kgkg ⁻¹	K ₂ O 10 ² kgkg ⁻¹	7種カリ分 10 ² kgkg ⁻¹
A(生汚泥)	7.1	98.1	5.46	1446.8	9.3	5.07	0.16	3.3
B(脱水汚泥)	6.4	86.3	3.63	100.2	0.7	4.23	0.16	3.6
C(Bを粒状化)	11.7	4.6	0.50	0.7	1.6	0.88	0.02	66.1

処理	MgO 10 ² kgkg ⁻¹	Fe 10 ² kgkg ⁻¹	Mn 10 ⁶ kgkg ⁻¹	Zn 10 ⁶ kgkg ⁻¹	Cu 10 ⁶ kgkg ⁻¹	Cd 10 ⁶ kgkg ⁻¹	As 10 ⁶ kgkg ⁻¹	Hg 10 ⁶ kgkg ⁻¹
A(生汚泥)	0.47	1.27	331	1289	585	2.2	9.6	0.84
B(脱水汚泥)	0.58	1.59	326	1226	478	2.0	10.5	0.83
C(Bを粒状化)	20.10	0.29	102	330	85	0.6	2.2	0.10

注. *対現物

第12表 粒状肥料の土中崩壊性

破断圧力 (kg)				
0日後	1日後	8日後	15日後	30日後
3.6	1.5	1.2	1.0	-

注. 試料を土中に放置。破断圧力は20粒の平均値

- : 測定不能

第13表 粒状肥料の大腸菌群

肥料	含水率 10 ³ kgkg ⁻¹	pH	特定酵素基質平板法 大腸菌群 (個)	E.coli (個)	LB-GBLB法 大腸菌群 (個)	LB-EC法 糞便性大腸菌群 (個)
製造直後試料	21.5	13.0	不検出	不検出	不検出	不検出
乾燥後試料	2.1	12.7	不検出	不検出	不検出	不検出

3) 粒状肥料の成分および取扱性

製品および製造に用いた汚泥の化学性を、第11表に示した。生石灰の添加によりpH11.7の強アルカリ性となった。全窒素は0.5%程度で、生石灰の添加により含有率は低下した。汚泥のアンモニア態窒素は、脱水の過程で激減し、さらに生石灰による強アルカリ化と反応熱によりガス化して揮散し、製品中のアンモニア態窒素はほとんど存在しなかった。硝酸態窒素は原料中に少ないことから、製品中の窒素はほとんどが有機態と考えられる。製品中のリン酸は約0.9%、カリウムは原料の汚泥中に少ないことから痕跡程度となった。アルカリ分は生石灰の添加量に比例して高くなった。本試験では苦土生石灰を用いているため、マグネシウムも高かった。理論的には水分85%の脱水汚泥100kgに生石灰57kgを添加して肥料化を行った場合、第1図の反応に75kgの消石灰

が生成し、脱水汚泥中の乾物分は15kgであるから、計90kgの製品が製造される。したがって、汚泥中の成分は乾物換算で、約17% (15/90) に希釈される。実測においても揮散等がない成分については12~32%に希釈されていた。この希釈効果により重金属の問題が大きく緩和され、これまで調査した22カ所の農集排施設のどの汚泥に本方法を適用しても重金属汚染の懸念の少ない製品の製造が可能である。

水中崩壊性試験では、一夜静置後崩壊した粒はなかった。土中崩壊性試験は、第12表のとおりであった。造粒した肥料の崩壊性試験法⁶⁾では、水中崩壊性試験で未崩壊粒の残存率が20%以下で、かつ、土中崩壊性試験による1週間後の硬度平均が100gw (グラム重) 以下のものを崩壊性があるとしている。本製品はこの規定に該当しな

いことから、十分な強度を有し、運送時の粉化を防止できる。しかし、極度に崩壊しづらい場合、土壌中での崩壊の面で問題となる。本製品は1ヶ月後には、指で潰すと容易に扁平状になる程度まで軟化することから土壌への親和性の面でも優れている。

保管性については、製品を袋詰し、10ヶ月間常温で保

管し目視により状況確認したが、カビ類の発生、変性による異臭は認められなかった。開封状態の試料についても1年以上放置し適宜観察したが異常は認められなかった。微生物性については製造直後および3ヶ月保管した試料について、大腸菌群の検定を行ったがすべて不検出であった（第13表）。

第14表 自動肥料化装置における混合比率

期 間	脱水汚泥量 kg	含水率 10 ⁻² kgkg ⁻¹	生石灰使用量 kg	生石灰/汚泥 混合比	生成肥料 kg ¹
1998.11.1~11.30	2,430	81	1,300	0.53	2,473
1998.12.1~12.31	1,080	80	520	0.48	1,023
1999.1.1~1.31	1,110	82	640	0.58	1,187
1999.2.1~2.28	945	83	600	0.63	1,085
合 計	5,565	82	3,060	0.55	5,766

注．*含水率10%換算

第15表 装置導入による年間維持管理費(万円)

項 目	内 訳	金 額
資材費	生石灰	35.0
	その他の資材費	50.0
運転経費	電気基本料金増分	60.0
	電力料金	12.5
管理費	管理業者管理費	35.0
	メーカー一点検費	25.0
装置関連償却費		868.7
計		1,086.2

4) 製造方法の自動化および自動肥料化装置の経済性
1998年11月~1999年2月の混合比率を第14表に示す。4ヶ月間の総運転は185回、平均水分81.5%の脱水汚泥に平均0.55の混合比で安定的に粒状肥料化が図れた。

安定運転性については、設置初期に汚泥仕切弁の開閉部等に不具合が生じたが、改良後は厳寒期の凍結によるパイプ破損等の微細なトラブル以外、安定的に稼働した。

脱臭資材はアンモニアが15ppm検出された時点をもって脱臭寿命とすると、50kgのヤシガラに20%リン酸を250%含浸させた場合、上山・長堤地区の処理施設では5ヶ月分相当(脱水汚泥8,955kg)の臭気の捕集が可能であった。利用済みの脱臭資材は、肥料成分であるリン酸アンモニウムを含み、農地への還元が可能である。ポット試験で脱臭部から出る廃棄物と硫酸加里を加え肥効試験を行い、慣行栽培(リン硝安加里肥料)に劣らないことを確認した(データ未発表)。

保守管理は、試験期間中に行った保守作業を記録し、必要な保守管理回数を算出した。その結果、月2回の保守点検で安定的に稼働することがわかった。この保守頻度は、農集排水処理施設の管理を行っている業者の管理頻度内で十分可能であり、十分実用に耐えうると考えられた。保守項目も2年間にわたる試験をもとに整理した。

自動肥料化装置の年間維持管理費および施設償却費を試算した(第15表)。長堤・上山地区の調査期間中の供用人口は930人で、年間汚泥発生量は402m³であった。生石灰使用量は、長期稼働試験からは生汚泥1m³あたり31kgと算定され、約1.2×10⁴kgであった。生石灰費は、生石灰20kg単価560円から試算すると約35万円であった。同様にその他の資材費は、高分子凝集剤、リン酸、吸着材、製造肥料用袋から試算すると、約50万円であった。電力料金は、肥料化装置導入による基本料金の増分、消費電力料金、従量電灯料金の増分から算定し、72.5万円

であった。保守点検費は、業者に肥料化装置の定期的な掃除および保守作業の委託見積もりが35万円、開発メーカーの消耗部品を含む定期点検費が25万円と算定された。以上の費用合計により本装置の年間維持管理費は217.5万円と試算された。同様に本地区の計画人口（1,100人）で試算すると242.8万円であった。本試算では、域内利用を想定しているため、製造した肥料の販売は考慮しなかったが、利用した生石灰並の価格で販売した場合、上記試算より40万円程度安価となる。

自動肥料化装置の設置費用について試算する。本装置の設置には、自動肥料化装置、汚泥脱水機、管理棟が必要となる。汚泥脱水機は、メーカーから市販されており、水分85%以下に脱水可能なものは、2,000万円程度と見積られる。自動肥料化装置の販売価格は4,500万円である。管理棟は、脱水機、自動肥料化装置、生石灰等資材、製造肥料のストックスペースおよび通路等から設置面積を計算すると、必要面積は54m²となる。農集排処理施設上屋部のm²あたりの平均価格20.5万円から算定すると約1,100万円となる。以上の施設費から残存価格10%、構築物耐用年数30年、装置耐用年数7年で年間償却費を

試算すると868.7万円となる。

一方、すべての汚泥をし尿処理センターに持ち込んだ場合、1m³あたりの引き取り料は、8,300円（芳賀広域クリーンセンター、搬入時の分析費用を除く）であることから、330万円である。計画人口（1100人）では424万円となる。

以上から、本装置の導入について計画人口で比較すると、年間維持管理費は、し尿処理場への搬出に比べ、180万円あまり安価となるが、施設償却に868.7万円かかるため、トータルでは687.5万円のコスト高となる。

本装置は、1日の運転回数を増やすことにより装置の改造なしに3,000人程度まで適応可能であり、この場合、維持管理費434.3万円、し尿所処理場の搬出費1113.9万円となり、差は189万円となる。

経済的側面からは、本装置は従来の処分法におよばない。しかし、これまでのような埋立処分は限界に達しつつある。資源の再活用や、廃棄物の高度集積による汚染問題など、環境の面から評価すれば、装置導入は検討に値するものと思われる。

第16表 ポットにおける畑作物の収量指数

作物	連作順	汚泥肥料施用区名				対照収量 g pot ⁻¹
		9g施用区	18g施用区	36g施用区	対照区	
ニンジン	1連作目	122	153	193	100	61.0
アルファルファ	2連作目	125	123	98	100	16.7
コカブ	3連作目	90	95	103	100	46.6
チンゲンサイ	4連作目	86	100	98	100	61.4

第17表 ポットにおける畑跡地の土壌pH

作物	連作順	汚泥肥料施用区名			
		9g施用区	18g施用区	36g施用区	対照区
ニンジン	1連作目	5.2	5.5	6.2	6.0
アルファルファ	2連作目	5.6	5.8	6.8	6.2
コカブ	3連作目	5.5	5.7	7.4	6.0
チンゲンサイ	4連作目	5.2	5.9	6.8	5.8

第18表 4連作終了後のポット跡地土壌の重金属

試験区	Zn 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Cu 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Pb 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	Cd 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹	As 10 ⁻⁶ kgkg ⁻¹
9g施用区	73	28	10	0.23	6.1
18g施用区	75	29	8	0.23	5.7
36g施用区	79	30	7	0.27	5.3
対照区	76	28	12	0.27	5.6

2. 粒状肥料の施用効果

1) ポットによる畑連用試験

収量結果を第16表に示した。1作目のニンジンでは対照区に病害が発生したため生育が悪く、収量の比較ができなかった。2作目のアルファルファでは対照区より優ったが、コカブ（3作目）、チンゲンサイ（4作目）では同程度であった。

跡地土壌のpHは、1作目から36g施用区で対照区より高くなったが、18g施用区では4作目で対照区と同水準になった（第17表）。9g施用区は4連作終了後も対照区より低かった。これは、粒状化による緩効化によると考えられる。通常の石灰使用量に比べ極めて多量の施用（36g施用区は1.8kgm²相当）を行ったが、4作とも発芽障害等は観察されなかった。4連作終了後の土壌は、重金属の集積傾向は認められなかった（第18表）。汚泥の乾物施用量は、36g施用区においても400gm²である。これまでに3～6年間（4～10連作）にわたり継続的に250～

2000gm²の汚泥類を施用した試験^{9, 10, 13, 21)}が行われている。これらの重金属集積結果との比較においても4連作による本集積結果は妥当と考えられる。

2) ポットによる水稲連用試験

収量結果を第19表に示した。1997～1999年の3年間連用試験を行ったが、各年とも収量は対照区と同程度で推移した。1998年度は追肥を行わなかったため、他の年度に比べ収量が低かったが傾向は変わらなかった。

跡地土壌のpHは、1作目から2g施用区以外で対照区より高くなり、3作目の16g施用区では8.2に達した。3作目においても生理障害は観察されなかったが、4gpot⁻¹（200gm²相当）以上の施用では、pHの上昇傾向が明確であった。本試験はポット試験で成分の流亡がないため、より顕著にpH上昇が観察されたと思われるが、水田ほ場においても継続的に利用する場合、灰色低地土については100gm²以下での利用が望ましいと考えられる（第20表）。

第19表 ポットにおける水稲の収量指数

年度	汚泥肥料施用区名					対照収量 g pot ⁻¹
	2g施用区	4g施用区	8g施用区	16g施用区	対照区	
1997	113	100	103	115	100	21.4
1998	104	105	98	105	100	13.8
1999	96	108	107	102	100	23.0

第20表 ポットにおける水田跡地の土壌pH

年 度	汚泥肥料施用区名				
	2g施用区	4g施用区	8g施用区	16g施用区	対照区
1997	6.0	6.3	6.4	6.7	6.0
1998	6.3	6.6	6.8	7.3	6.2
1999	6.2	7.2	7.5	8.2	5.7

3) 畑ほ場における連用試験

収量結果を第21表に示した。1作目のコマツナは栽培期間中の多雨の影響から病虫害が発生し、県内の平年の慣行収量が得られなかった。本試験は、窒素リン酸加里の施用量を同一とし、酸性矯正効果の高い粒状肥料の施用量のみを変えている。作物種によって粒状肥料に対する反応が異なると考えられ、連用試験後期で、土壌pHの上昇による影響が多施用区で懸念された。5作目のチンゲンサイの粒状肥料400gm²区で、減収傾向がみられたが、200gm²施用区では対象と同程度以上の収量が得られており、施用量に応じた傾向はみられなかった。6

作目のダイコンは栽培土壌の至適pHは5.5～6.0であり、多施用区で減収が予想されたが、本試験では大幅な減収はみられなかった。以上、2作目以降の全般的な収量結果は対照区と同程度で推移し、施肥量に応じた傾向は見られなかったことから、粒状肥料の施用による悪影響はないと考えられる。

土壌pHは、4連作目まではすべての区で対照区と同程度で推移し、5作目以降粒状肥料400gm²施用区で上昇が観察された（第22表）。また、8連作終了後、粒状肥料の残留状況の観察を行ったが、400gm²の土壌表面以外は認められなかった。

第21表 ほ場における畑作物の収量指数

作物	連作順	汚泥肥料施用区名					対照A収量 kgm ⁻²
		100g ^{m⁻²}	200g ^{m⁻²}	400g ^{m⁻²}	対照A	対照B	
コマツナ*	1作目	110	109	176	100	121	1.56
ハウレンソウ*	2作目	111	116	111	100	99	2.49
コカブ	3作目	102	104	93	100	97	5.90
ハクサイ	4作目	96	107	105	100	105	13.39
チンゲンサイ	5作目	96	110	86	100	107	4.45
ダイコン	6作目	98	99	110	100	92	6.20
エダマメ	7作目	101	102	108	100	101	0.71
キャベツ	8作目	105	96	102	100	96	5.90

注. *1, 2作は15kg, 30kg, 60kg

第22表 ほ場における畑跡地の土壌pH

作物	連作順	汚泥肥料施用区名				
		100g ^{m⁻²}	200g ^{m⁻²}	400g ^{m⁻²}	対照A	対照B
コマツナ	1作目	5.8	5.9	6.0	6.1	5.8
ハウレンソウ	2作目	6.5	6.5	6.6	6.7	6.3
コカブ	3作目	6.3	6.5	6.5	6.3	6.4
ハクサイ	4作目	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6
チンゲンサイ	5作目	6.2	6.4	6.6	6.3	6.2
ダイコン	6作目	6.6	6.7	6.9	6.6	6.6
エダマメ	7作目	6.6	6.3	6.7	6.5	6.4
キャベツ	8作目	6.6	6.5	6.9	6.6	6.3

4) 水田ほ場における連用試験

収量結果を第23表に示した。1998,1999年度とも、100g^{m⁻²}施用区で対照と同程度で推移した。跡地土壌のpHの上昇は見られなかった(第24表)。生育期間中、適宜(月2回程度)生育状態を観察したが生育に差は見られなかった。

第23表 ほ場における水稲の収量指数

年度	汚泥肥料施用区名			対照収量 kgm ⁻²
	100g ^{m⁻²} 区	200g ^{m⁻²} 区	対照区	
1998	107	99	100	6.14
1999	105	101	100	6.14

第24表 ほ場における水田跡地の土壌pH

年度	汚泥肥料施用区名		
	100g ^{m⁻²} 区	200g ^{m⁻²} 区	対照区
1998	6.4	6.4	6.2
1999	5.8	5.9	6.2

IV 総合考察

当初、農集排汚泥は、家庭雑排水のみを処理対象としていることから、下水汚泥よりも重金属濃度は低いと考えた。しかし、分析結果ではやや低い程度で大きな違いは認められなかった。農集排汚泥も下水汚泥と同様に重金属面を考慮し、資源化を行う必要がある。

重金属濃縮の恐れや安定した製品を製造するのが困難である堆肥化に代わる方法として、生石灰を利用して粒状の肥料を製造する方法を開発した。試験により明らかになった本法の利点は、次のとおりである。①脱水直後に処理し製品化できる。②消和反応による昇温(80℃以上)により汚泥に含まれる微生物や雑種子を失活する。③化学反応を利用するため脱水ケーキの水分の多寡で製品の成分量を予測できる。④石灰による希釈効果により製品の重金属濃度が低くなる。⑤市販の粒状肥料と外観・粒径ともに同等であり汚物感がない。⑥一定の硬度を有し機械散布が可能である。⑦生石灰は入手が容易かつ土壌改良に必須の資材である。⑧強アルカリ性(pH11

以上)となるため土壌pHの関係から堆肥のような多量施用ができず、結果的に重金属の土壌集積を回避できる。

栽培試験により生石灰や炭酸カルシウム肥料等の酸性矯正資材と同様に利用できることを確認した。本肥料の利用により廃棄物処理問題に寄与でき、肥料として評価した場合でも本肥料は微量元素、有機物を含んでおり単品の炭酸カルシウムを施肥するよりも有利である。

さらに、本方法では、最終的な流通・利用面を考慮し、粒状化を図っている。これまで、堆肥化が詳細に研究され、その有用性が認められているにもかかわらず、汚泥処理の主力となっていないのは、流通、利用面の検討が不十分なことが挙げられる。近年、流通、利用面に着目した下水汚泥コンポストの粒状肥料化技術の報告があり^{11, 12, 13)}、そのなかで利用者のアンケート調査により、取扱性の向上が利用の面で重要であることが示されている。この報告は、大規模な下水汚泥で有人での運転管理を前

提とした事例であるため、小規模で基本的に無人施設である農集排処理施設には適応しがたいが、農集排汚泥の再資源化にあたって重要な視点と考えられる。

現在、農集排処理施設では再資源化を図っている施設自体が非常に少なく、流通・取扱性からの検討事例は皆無である。本試験では農集排施設で利用可能な自動肥料化装置を開発し、実用に耐えうることを確認した。従来の域外への搬出に比べ、施設費がかかるため、経済的側面からはおよばないが、本装置は、地域内リサイクルを可能とする。現在の処理のひっ迫状況、1994~1996年に採択された13地区における農業集落施設の平均総事業費15億4千万円¹⁴⁾(平均計画人口1,240人)の5%程度の設置費用である点からも、検討に値すると考えられる。事実、1999年度に栃木県真岡市内の施設に導入され本格稼働している(写真1, 2)。県内の他地区についても導入予定である。

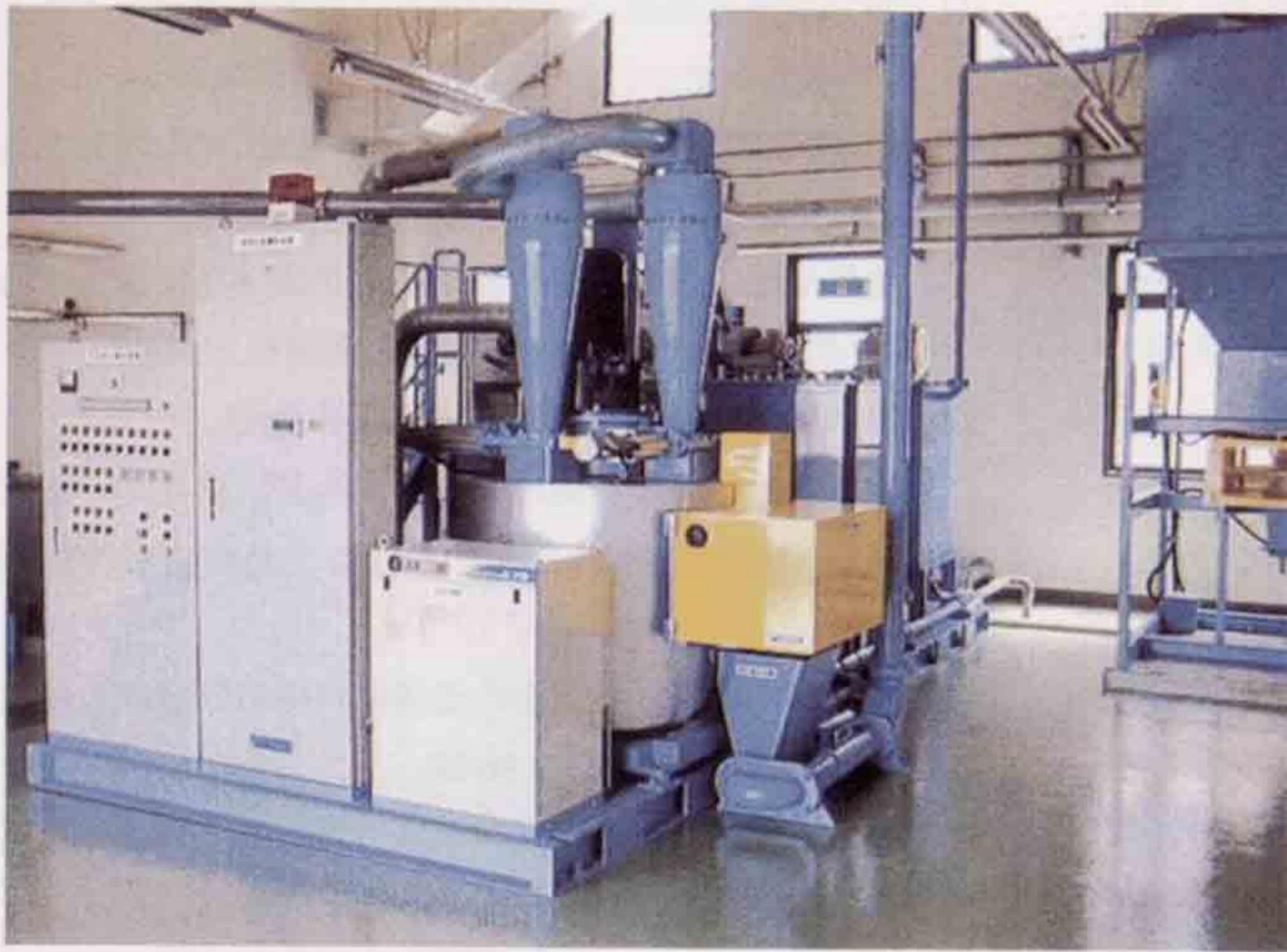


写真1 粒状肥料化装置



写真2 粒状肥料化装置で製造した粒状肥料

汚泥類の農業利用については下水汚泥を中心に多数の報告、論説、成書がある^{9, 10, 15~19)}。これらの報告では、適正使用条件では、土壌の涵養の面で有効であるが、多施用条件では土壌への重金属の蓄積傾向が見られることから、利用にあたっては注意すべきとの指摘がある。その中でも、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu) は汚泥中含有量が高いことから、土壌への蓄積傾向が明瞭とされている^{21, 22)}。これら多くの知見から、22の都道府県で下水汚泥の施用指針が設けられている²³⁾。

本粒状肥料はアルカリ分の点から重金属汚染が懸念されるほど多量の施肥ができないため、利用しやすい肥料である。逆に言えば、堆肥より広い利用面積が必要になるが、農集排施設は、農村部を環境整備対象としており、施設近傍に広大な農地を有していることから、地域内消費が可能である。また、粒状であり、保管性、取扱性に優れることから、広域の流通も可能となる。本肥料の利用は、アルカリ分が60%前後あるため、炭酸カルシウム肥料、あるいは消石灰代替資材として活用できる。アルカリ分が高いため、畑地の利用が効果的だが、水田で中長期的な土づくり肥料としての利用も考えられる。施用量としては、土壌の性質、これまでの施肥歴等の影響を考慮する必要があるが、本試験結果から黒ボク土壌の畑地では100~200g^m⁻²、水田では100g^m⁻²程度が適当と考える。

廃棄物は、発生抑制が第一であるが、最終的には環境へ帰る。人間の活動が、自然に影響を及ぼす現代では、環境の許す範囲で元来の地に返す技術が不可欠である。本試験では農集排処理施設の立地条件を生かし、資源化から利用までをふくめた総合的な地域内リサイクルを提案した。本方式は、廃棄物問題における対策の一つになり得ると考える。

謝辞

本試験の実施にあたり、益子町農林課、栃木県土地改良事業団連合会、農村振興室の皆様には多大なるご協力をいただいた。本報告を取りまとめるにあたり亀和田國彦環境保全研究室長をはじめ、研究室の皆様にはご助言、ご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

1. 第9回農業集落排水研修会(2000)農業集落排水協会資料
2. 栃木県土木部水道課(1997)栃木県の下水道:10-13.
3. 有機質資源化推進協議会編(1997)有機廃棄物資源化

大辞典. 農文協 東京

4. 農林水産省農業技術研究所(1992)肥料分析法:1-53.
5. 宮崎成生・大村裕顕(1997)石灰処理による家畜ふんの粒状肥料化(第1報)製造方法および製品の性質. 栃木農試研報46:19-28.
6. 農林水産省農産園芸局肥料機械課発行(1978)造粒した肥料の崩壊性試験法. 肥料検査職員必携・下巻:45-48.
7. 農林水産省農蚕園芸局農産課編(1979)土壌環境基礎調査における土壌、水質および作物体分析法:44-46,71-73.
8. 増島博(1997)有機性廃棄物の緑農地施用と陸水水質の保全,再生と利用77:8-13.
9. 飯塚文男・小野イネ・山谷正治(1992)利用堆肥の施用と土壌中の重金属. 秋田県研究時報29:43-46.
10. 松本英一(1995)集落排水汚泥添加堆肥の農地還元,再生と利用61:41-46.
11. 第13回農業環境シンポジウム「資源のリサイクルと農業環境保全」(1993)農業環境技術研究所:31-40
12. 土屋英保(1993)粒状コンポストを使って,再生と利用59:96-108.
13. 土居晃郎(1993)軽種馬草地に対する(石灰系下水汚泥)の施用効果について,再生と利用61:34-40.
14. 栃木県(1997)とちぎの農業集落排水:94.
15. 日本土壤肥料学会編(1979)下水汚泥. 博友社 東京
16. 茅野充男(1992)下水汚泥と重金属,再生と利用55:6-12.
17. 藤原俊六郎(1994)下水汚泥農業利用の問題点と今後の方向,再生と利用63:16-22.
18. 井上恒久(1999)農業試験場等における下水汚泥類施用試験20年のあゆみ,再生と利用82:36-43.
19. 長谷川和久(1993)下水終末処理場発生汚泥の施用が地域土壌の理化学性に及ぼす影響について,土肥誌64:332-337.
20. 後藤茂子・茅野充男・山岸順子・熊澤喜久雄(1997)下水汚泥コンポストの長期連用に伴う重金属の土壌への集積,土肥誌68:156-162.
21. 井上恒久・白井一則(1995)石灰質汚泥コンポストを連用した鉍質土壌畑における重金属の動態,再生と利用66:29-34.
22. 古畑哲(1999)下水汚泥類施用の土壌調査20年のあゆみ,再生と利用82:44-50.