

## 農業集落排水に由来する濃縮汚泥の水稲への利用

伊藤純樹・松浦謙吉・増原 武\*・浦柝周二\*

キーワード：集落排水，汚泥，土中注入機，水稲，窒素，亜鉛

広島県の農村地域では、近年の都市住民の移入や生活の多様化によって生活排水が増加し、農業用排水を含めて公共水域の水質の悪化が懸念されている。このため、農村地域のし尿、生活雑排水等の汚水処理によって、地域の農業用水を含めた水環境を改善し、併せて生活環境を改善する目的で、農業振興地域内で下水道事業計画区域外に小規模な排水処理施設の整備が計画され、農業集落排水事業が開始された。本県の農業集落排水事業は2000年度までに74地区で着工しており、内44地区で供用開始している。

農業集落排水処理施設は小規模の下水処理場であり、処理水は河川へ放流されるが、施設の貯留槽に貯まった汚泥を定期的に搬出処理する必要がある。農業集落排水処理施設には工場排水は流入せず、生活雑排水とし尿に限られるので、都市下水に比べて重金属等の有害物質が少ないと考えられる。そこで、処理水と汚泥の農業利用の可能性を検討し、処理水は農業用水として使用可能なことを明らかにした<sup>1)3)</sup>。しかし、汚泥の農地還元にあたっては、関連法令「廃棄物の処理および清掃に関する法律」(以下、廃掃法と略記)との整合性、周辺環境への影響を及ぼさない施用方法などの検討が不十分であった。

本試験では、濃縮汚泥を安全に農地還元し地域資源のリサイクルを図るため、生活環境の保全及び公衆衛生上支障を生じさせない廃掃法に定められた汚泥の処理法と濃縮汚泥の安全で効果的な施用のため土中汚泥注入機を用いた水稲への利用を検討した。

### 材料および方法

#### 1. 供試汚泥の化学的特性

県内の農業集落排水処理施設である高田郡向原町の向井原地区処理場(以下、向井原処理場と略記)と双三郡

三和町敷名地区処理場(以下、敷名処理場と略記)において1993年から1995年にかけて汚泥を採取し、無機成分、細菌類を分析した。なお、向井原処理場は1981年に供用開始し第6長時間曝気法を、敷名処理場は1992年に供用開始しJARUS-III方式を用いている。

#### 2. 生石灰処理による汚泥の殺菌試験

試験は、1997年6月2日に敷名処理場で採取し、冷蔵保存した濃縮汚泥を供試して行った。各区5Lの濃縮汚泥を三角フラスコに入れ生石灰処理試験を行った。試験区は、無処理(静置)、曝気、曝気+CaO、攪拌、攪拌+CaOの5区を設け2連で行った。曝気は空気を強制挿入することで、攪拌は攪拌子を回転させることで行った。+CaO区は生石灰を0.5(W/V)%加えた。6月24日に上記の処理を開始し、1、3、7、21、42日後にフラスコから約100mlを採取し、3連で大腸菌群数、窒素含量を調査した。大腸菌群数は、デゾキシコレート寒天培地を用い適宜に希釈した汚泥溶液を塗布し、25°Cで48時間培養した後に培地上に現れたコロニーを計測し算出した。

#### 3. 土中汚泥注入機の施用能力と経済性

「環境に配慮した処理方法であること」を達成するため、汚泥が「見えず」、「触れず」、「臭わず」に注入できる機械とシステムをめざして広島県農業開発公社が開発した土中汚泥注入機の濃縮汚泥施用能力、土壌の踏圧および経済性について検討した。

試験に用いた土中汚泥注入機は、汚泥注入の対象地である水田への進入路幅基準が3.0m(ほ場整備事業の整備基準より)であることを勘案し、CATD4CLGP湿地ブルドーザーをベースとし、前方のタンク、圧送ポンプ、後方の注入シャック部分で構成した。また、濃縮汚泥を前方タンクに搭載し、走行しながら土壌中にシャックを通して注入できる。このタンクの利用でクレーンによる交換作業や現場での大型タンクからの注入も容易となった。概略仕様は、①エンジン名称 CAT3046型ディー

\*：広島県農業開発公社  
平成13年3月14日受理

ジェルエンジン, ②定格出力 81PS/2,400rpm, ③全長 6,900mm, ④全幅 2,315mm, ⑤総重量 10,500kg(車重: 9,000kg), ⑥作業幅 1,800mm(シャック間隔 450mm, シャックは水田用, 草地用の2種類, 5本), ⑦作業深 5~30cm, ⑧メインタンク容量 1,700l(ステンレス製), ⑨サブタンク容量 200l(ステンレス製), ⑩圧送ポンプ モーノポンプ(汚泥処理用)である。

施用能力は 10a, 20a および 40a のほ場を用いて, タンクからの注入時間とほ場への施用時間を3回繰り返し計測し, 算出した。

土中汚泥注入機は, 重量が 10t 以上であるため, その走行により, 水田の圧密を高める可能性があるため, 土壌の貫入抵抗を三和町敷名の現地ほ場で計測した。土中汚泥注入機の走行前後の貫入抵抗は貫入式土壌硬度計(DIK-5520, 大起理化学株式会社)を用い, 3回繰り返し測定した。

汚泥処理の経済性の検討は通常行われている焼却処理と比較した。

#### 4. 生石灰処理濃縮汚泥の利用が水稻の収量, 品質および土壌の化学性に及ぼす影響

大腸菌群を殺菌するため生石灰を処理した濃縮汚泥の肥料としての効果を明らかにするために, 水稻栽培ほ場へ濃縮汚泥を秋, 春に施用し, 収量・品質と土壌の化学性に及ぼす影響を検討した。

試験は, 1997年に水稻‘ひとめぼれ’, 1998年に‘コシヒカリ’を供試し, 山県郡豊平町の現地ほ場(表層腐植質多湿黒ボク土)で1区画の基盤田を1区2aに分け, 2連で行った。なお, 1998年に水稻‘八反錦1号’を供試し, 双三郡三和町敷名(中粗粒灰色低地土)でも同様の試験を行った。

生石灰処理濃縮汚泥の施用と施肥の概要を表3に示した。1997年の豊平町の試験では, 慣行区は基肥, 中間追肥および穂肥として化成肥料を用い, 窒素換算で 3.6, 1.7 および 1.7kg/10a 施用した。水稻の栽植密度は 1m<sup>2</sup> 当たり 18株とし, 田植えは 5月5日, 追肥は 5月14日, 穂肥は 7月12日, 収穫は 8月29日に行った。生石灰処理濃縮汚泥を 1997年 4月21日に 1回(4m<sup>3</sup>/10a, 全窒素で 5.4kg/10a) 施用した春区, 秋(1996年11月12日)と春(1997年 4月21日)の2回(8m<sup>3</sup>/10a, 全窒素で 10.7kg/10a) 施用した秋春区に加えて, 穂肥(化成肥料)を施用した春+穂肥区, 秋春+穂肥区の5区を設けた。1998年は, 1997年と同様に慣行区を設け, 慣行区の葉色と比較して穂肥(化成肥料)量を変えた春I, 春II, 秋春I, 秋春IIの5区を設けた。水稻の栽植密度は 11m<sup>2</sup>

当たり 20株とし, 田植えは 5月5日, 追肥は 5月13日, 穂肥は 7月10日, 収穫は 8月31日に行った。秋, 春の汚泥施用はそれぞれ 1997年11月19日と 1998年 4月17日に行った。三和町の現地ほ場にも同様の処理区を設けた。ただし, 慣行区の施用量は現地の慣行とし, 基肥および穂肥として化成肥料を用い, 窒素換算で 4.8 および 2.4kg/10a 施用した。水稻の栽植密度は 1m<sup>2</sup> 当たり 20株とし, 田植えは 5月5日, 穂肥は 7月21日, 収穫は 9月18日に行った。秋, 春の濃縮汚泥施用は豊平と同じ日に行った。なお, 三和町の現地試験ほ場において水稻跡地土壌の化学性を調査した。

#### 5. 無機成分分析方法

濃縮汚泥, わらおよびもみの全窒素は, セミマイクロケルダール法で分解後, 水蒸気蒸留法で分析した。玄米の Cd, Zn は硫酸, 過塩素酸分解後, Cd は DDTC-MIBK 抽出後, Zn はそのまま原子吸光法で測定した。Hg は混酸分解後, 還元気化原子吸光法で測定した。CEC の測定は, Schol lenberger 法で, 交換性 CaO, MgO, K<sub>2</sub>O の測定は, 酢安で抽出後, 原子吸光法で行った。土壌の Zn は混酸分解後, Cd は 0.1N 塩酸抽出後, 原子吸光法で行った。

## 結果及び考察

### 1. 供試汚泥の化学的特性

濃縮汚泥の年間発生量は向井原処理場が約 1,000人で 300m<sup>3</sup>, 敷名処理場が 800人で 160m<sup>3</sup>であった。向井原処理場の濃縮汚泥の平均値は水分約 98.6%の液状で, 乾物当たりの成分量が窒素 7.0%, リン酸 5.3%, 加里 0.63%, 敷名処理場では水分約 96.7%, 窒素 5.5%, リン酸 4.6%, 加里 0.28%であった。両処理場の濃縮汚泥とも, 肥料としてみれば, 窒素, 燐酸に比べ加里含量が少ない(表1)。窒素, 燐酸, カリの成分量は, 松本ら<sup>5)</sup>の報告の値とほぼ一致しており, 農業集落排水由来のこれらの成分は一定の範囲にあると推察される。肥料として用いる場合は, 土壌の交換性加里含量が低下するようであれば, 生石灰処理濃縮汚泥に硫酸カリ等の速効性肥料を混和し施用する必要がある。向井原処理場の濃縮汚泥の重金属(ヒ素, 水銀, カドミウム, 鉛およびクロム)含有量は, 1999年に改正された肥料取締法の特種肥料の有害物規制基準値(ヒ素 50, 水銀 2, カドミウム 5, 鉛 100, クロム 500, ニッケル 300mg/kg)以下であり(表1), 松本ら<sup>5)</sup>の報告とほぼ一致した。しかし, 敷名処理場においては水銀が有害成分基準を満たしておらず,

表1 濃縮汚泥の化学性と細菌類数 (1993~1994年)

## 向井原処理場

	水分 (%)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
	(乾物%)					
平均(n=8)	98.6	7.0	5.3	0.6	2.0	0.5
標準誤差	0.1	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1

項目	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	大腸菌群数 (×10 <sup>5</sup> cfu/ml)	一般細菌数 (×10 <sup>7</sup> cfu/ml)
	(乾物 mg/kg)							
平均(n=8)	4.6	0.4	1.5	40.0	24.3	N. D <sup>b)</sup>	3.6	3.3
標準誤差	1.0	0.0	0.1	6.3	3.6	N. D	1.8	2.1
参考値 <sup>a)</sup>	50	2	5	100	500	300	-	-

## 敷名処理場

	水分 (%)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
	(乾物%)					
平均(n=9)	96.7	5.5	4.6	0.3	1.9	0.4
標準誤差	0.1	0.4	0.3	0.0	0.1	0.1

項目	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	大腸菌群数 (×10 <sup>5</sup> cfu/ml)	一般細菌数 (×10 <sup>7</sup> cfu/ml)
	(乾物 mg/kg)							
平均(n=9)	9.0	4.6	2.1	59.0	43.5	N. D <sup>b)</sup>	12	13
標準誤差	0.6	0.7	0.1	5.0	5.5	N. D	5.0	4.8
参考値 <sup>a)</sup>	50	2	5	100	500	300	-	-

<sup>a)</sup> し尿系汚泥肥料として (肥料取締法基準の含有許容最大値)。

<sup>b)</sup> データなし。

この水銀含量が高い原因については特定することができなかった。また、測定していない項目のニッケルが新たに有害物質基準値に定められた点からも濃縮汚泥の農地利用に当たっては成分の分析後に基準値を満たしていることを確認の上使用する必要がある。

向井原処理場の濃縮汚泥の大腸菌群数は $3.6 \times 10^5$ cfu/mlであり、一般細菌数は $3.3 \times 10^7$ cfu/mlであった (表1)。敷名処理場のそれは向井原処理場に比べ3から4倍多かった。これは、浄化方式の違いによると考えられる。

## 2. 生石灰処理による濃縮汚泥の殺菌試験

「廃掃法」によれば一般廃棄物を無償で引き取り再生利用する場合は市町村長の確認があれば厚生省の許可の必要はないとしている。また、汚泥の再生方法として二つの方法があり、一つは発酵処理し、化学処理または乾燥処理によって堆肥化する方法がある。もう一つは生活環境の保全上および公衆衛生上支障を生じさせない方法として厚生大臣が定める方法である。本試験では加工しないでそのまま濃縮汚泥を利用するため後者の要件を満たす必要がある。このような生の濃縮汚泥や脱水汚泥は、その取り扱い、貯蔵、運搬、施用に難点があり、汚泥そのものや腐敗による悪臭、さらに病原性生物 (病原菌、寄生虫、ウイルス) を含んでいる恐れがある。このため、

生汚泥を散布する場合、生物的汚染を回避するため、アメリカ環境保護局(EPA)では、①70℃で30分間滅菌②石灰などの添加で、pH12以上として少なくとも3時間処理③液状消化汚泥では20℃で60日以上、4℃では120日以上貯蔵④55℃以上になるようにコンポスト化⑤ガンマ線照射等の対策を示している<sup>6)</sup>。

本試験では、上記の殺菌法で最も実用性が高いと考えられる生石灰処理による濃縮汚泥の殺菌処理法について検討した。大腸菌群数は静置では処理7日後に最大となり、曝気、攪拌では時間の経過とともに増加する傾向にあった。生石灰処理した曝気+CaOは処理開始直後から大腸菌群を死滅させる効果が認められ、この効果は42日後まで継続した。攪拌+CaO区では、1日後に大腸菌群が生存し、3日目以降は検出されなかった (表2)。

濃縮汚泥の窒素含有率は生石灰処理を行わなければ、攪拌、曝気処理をしても低下しない。しかし、生石灰処理を行うと攪拌、曝気処理にかかわらず、高アルカリのためアンモニアとして揮散するので処理後3日目に約30%低下するが、その後は差がなかった (表2)。

以上の結果から、大腸菌群の死滅効果から判断して濃縮汚泥に生石灰を処理した後3日目以降に濃縮汚泥を水田に施用すれば肥料としての効果も安定し、安全に利用できる。

表2 生石灰処理が濃縮汚泥の大腸菌群数および窒素含有率の推移に及ぼす影響 (1997)

処理区	大腸菌群数 (×10 <sup>5</sup> cfu/ml)					窒素含有率 (乾物%)				
	処理日数 (日)					処理日数 (日)				
	1	3	7	21	42	1	3	7	21	42
無処理 (静置)	16	42	600	30	62	6.3	6.4	6.1	5.5	5.4
曝気 <sup>a)</sup>	30	22	60	200	900	6.4	6.1	5.8	6.0	5.5
曝気 <sup>a)</sup> + CaO	ND <sup>a)</sup>	ND	ND	ND	ND	5.6	4.4	3.2	3.8	4.0
攪拌 <sup>c)</sup>	ND	44	52	500	1000	6.3	6.1	6.1	6.1	5.7
攪拌 <sup>c)</sup> + CaO	4	ND	ND	ND	ND	4.0	4.2	4.0	4.2	3.5

<sup>a)</sup>ND は未検出を示す。

3. 土中汚泥注入機の施用能力と経済性

1) 施用能力

各施用区の 1m<sup>3</sup> 当たりの施用時間を平均するとタンクの充填に約 5 分, 土中注入に約 4 分で合計 9 分必要である。したがって, 1 時間当たりに換算すると約 6.0m<sup>3</sup> 施用できる。

2) 土中汚泥注入機の走行が土壌の物理性に及ぼす影響

三和町現地は場における土中汚泥注入機走行前後の土壌貫入抵抗を図 1 に示した。作土 12cm までの貫入抵抗は走行前後とも 0kgf/cm<sup>2</sup> で変化がなく, 次層においても土中汚泥注入機の走行によって高まらなかった。この土中汚泥注入機のキャタピラ接地圧は約 0.3kgf/cm<sup>2</sup> であり, 大型コンバインのキャタピラ接地圧である 0.3~0.4kgf/cm<sup>2</sup> と同等以下である。飯田ら<sup>2)</sup>は大型機械の土壌踏圧が 0.3~0.4kgf/cm<sup>2</sup> 以下の時, 土壌の硬度, 土壌三相分布および土壌圧密度に及ぼす変化は小さいと報告しており, 本試験の結果と一致した。これらから, 土中汚泥注入機の走行に伴う土壌の踏圧の増大は小さく, 収量への影響は小さいと考えられた。

3) 土中汚泥注入機の経済性

現在, 濃縮汚泥はし尿処理場へ搬送され, 多くは焼却処理される。これに対し, 本処理方法は汚泥を処理施設から直接引き抜き地域内で処理することから, 汚泥処理や輸送コストの節減を図ることができる。ただし, 汚泥

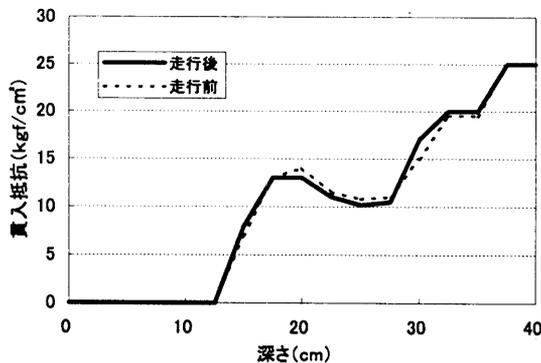


図1 濃縮汚泥注入機の走行が土壌貫入抵抗に及ぼす影響  
1998年4月24日に三和町数名で調査。

貯留槽の大型化が必要である。

(1) 汚泥貯留槽の増設にかかる費用

汚泥を農地へ土中還元する時期として, 水稲収穫後の秋か田植え前の春が想定できる。したがって, 汚泥の利用法によって汚泥貯留槽の容量を半年または1年分確保する必要がある。1年分の汚泥発生量 (220m<sup>3</sup>, 概算) の汚泥貯留槽の増設費用は, 約20,000千円となる。このうち, 国, 県の補助が65%であり補助残は7,000千円となる。また, 起債 (下水道債) が補助残の85% (50%は交付税により返還) 使用可能であり, 市町村負担は, 4,025千円となり, 汚泥貯留槽の使用年数を20年と仮定すると, 201千円/年となる。

(2) 土中汚泥注入機の汚泥処理費用

ア. 使用機械及び人員

- 土中汚泥注入機 (汚水タンク込) …… 1台
- 4tトラック (2.9t吊クレーン付) …… 1台
- 補助作業員 (普通作業員) …… 1名

イ. 1時間当たり費用の算定

ア) 土中汚泥注入機

土中汚泥注入機の減価償却費, オペレーター賃金および燃料費を考慮した試算結果から, 土中汚泥注入機の1時間当たりの運転経費は, 16,460円である。

イ) 4tトラック

施工省略単価表 (1998年7月) より4tトラックの1時間当たりの運転経費は, 約6,262円である。

ウ) 補助作業員

農業土木事業請負工事の労務資材単価表 (1998年7月) より1日当たりの普通作業員の単価は, 15,900円となる。

エ) 全体経費の算定

ア)~ウ) より1時間当たりの費用総額は, 16,460円 + 6,262円 + (15,900円 ÷ 6.5時間) = 25,168円である。

ウ. 作業能力の算定

汚泥注入機の汚泥の注入能力は, 上記の試験結果から10a 当たり 6.0m<sup>3</sup> である。

表3 生石灰処理濃縮汚泥試験区の構成

年度	場所	処理区	石灰処理汚泥量 (m <sup>3</sup> /10a)	化成N量 (kg/10a)		
				基肥	中間追肥	穂肥
1997	豊平町	慣行区	—	3.6	1.7	1.7
		春区	4	—	—	—
		春+穂肥区	4	—	—	1.4
		秋春区	4+4	—	—	—
		秋春+穂肥区	4+4	—	—	1.4
1998	豊平町	慣行区	—	3.6	1.7	1.7
		春I区 <sup>a)</sup>	4	—	—	1.7
		春II区 <sup>a)</sup>	4	—	—	2.6
		秋春I区 <sup>a)</sup>	4+4	—	—	0.9
		秋春II区 <sup>a)</sup>	4+4	—	—	1.7
1998	三和町	慣行区	—	4.8	—	2.4
		春I区 <sup>a)</sup>	4	—	—	2.4
		春II区 <sup>a)</sup>	4	—	—	3.6
		秋春I区 <sup>a)</sup>	4+4	—	—	1.6
		秋春II区 <sup>a)</sup>	4+4	—	—	3.2

<sup>a)</sup> 春の汚泥施用時に硫酸カリウムを K<sub>2</sub>O として 3.6kg 添加。

#### エ. 汚泥処理に要する費用の算定

イ, ウの結果から汚泥 1 t 当たりの処理に要する費用は,  $25,168 \text{円} \div 6.0 \text{m}^3 = 4,194 \text{円/m}^3$  である。経費を 50% として計算すると  $4,194 \text{円/m}^3 \times 1.50 = 6,291 \text{円/m}^3$  である。

#### (3) 既存の汚泥処理費用

1997年現在, 広島県における農業集落排水事業の完了地区数は25地区で, 処理対象人口は21,710人となっている。1地区の処理対象人口を868人として考えると1年間の汚泥発生量は次のとおりとなる。

処理人口 流入BOD BOD除去率 汚泥転換率  
 $868 \text{人} \times 60 \text{g/人} \cdot \text{日} \times 0.90 \times 0.25 \times 100/2/1,000,000 \times 365 = 215 \text{m}^3/\text{年}$

集落排水処理施設の汚泥の処理は, 通常し尿処理場へ運搬し処理しており, この処理費用は, 地域により異なるが平均すると  $11,000 \text{円/m}^3$  である。したがって, 既存の処理費用は  $11 \text{千円/m}^3 \times 215 \text{m}^3/\text{年} = 2,365 \text{千円/年}$  である。

#### (4) 汚泥処理費用の比較

土中汚泥注入機の汚泥処理費用の試算結果を用いると,  $1 \text{m}^3$  当たりの処理費用は約  $6,300 \text{円}$  となり, 汚泥を農地へ土中還元する費用は次のとおりとなる。

$215 \text{m}^3/\text{年} \times 6,300 \text{円/m}^3 = 1,354 \text{千円/年}$

この濃縮汚泥の土中還元費用に濃縮汚泥貯留槽の建設費を加えると, 1年間で  $1,555 \text{千円}$  ( $1,354 \text{千円} + 201 \text{千円}$ ) である。

これらの結果から, 土中汚泥注入機を利用した濃縮汚泥の農地還元法は, 従来法に比べて年間約  $810 \text{千円}$  ( $2,365 \text{千円} - 1,555 \text{千円}$ ) 処理費用が軽減できる。

表4 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稲‘ひとめぼれ’の生育に及ぼす影響 (1997)

処理区	収穫時 (8/31)		
	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )
慣行区	78.9	19.1	485
春区	70.7	16.3	450
春+穂肥区	76.3	17.6	450
秋春区	71.3	16.0	443
秋春+穂肥区	73.2	18.1	424

#### 4. 生石灰処理濃縮汚泥の利用が水稲の収量, 品質および土壌の化学性に及ぼす影響

##### 1) 水稲の生育・収量と品質

##### (1) 1997年

稈長は, 慣行区 > 春+穂肥区 > 秋春+穂肥区 > 秋春区  $\geq$  春区の順に, 穂長は, 慣行区 > 秋春+穂肥区 > 春+穂肥区 > 秋春区  $\geq$  春区の順に長く, 穂数は慣行区で最も多かった (表4)。

精玄米重は, 慣行区で  $700 \text{kg}/10 \text{a}$  と最も多く, ついで, 秋春+穂肥区  $\geq$  春+穂肥区  $\geq$  秋春区 > 春区の順に多かった (表5)。屑米重は, 慣行区, 秋春+穂肥区で多く, 登熟歩合は慣行区が  $84.5\%$  と最も低かった。

以上の結果から, 慣行区では, 屑米重, 登熟歩合からみてやや窒素過多と考えられた。生石灰処理濃縮汚泥施用区間では,  $4 \text{m}^3/10 \text{a}$ ,  $8 \text{m}^3/10 \text{a}$  施用区とも穂肥なしでは収量が低いことから, 化成肥料による穂肥は必要と考えられた。

##### (2) 1998年

豊平町の現地ほ場における幼穂形成期の葉色は, 慣行区で  $30.7$  であり, この値に比べて春区で低く, 秋春区で

表5 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稻‘ひとめぼれ’の収量並びに収量構成要素に及ぼす影響 (1997)

処理区	わら重 (kg/10a)	もみ重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	同左 指数	屑米重 (kg/10a)	千粒重 (g)	もみ数		登熟歩合 (%)
							(/一穂)	(10 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	
慣行区	674	859	700	100	35	21.4	65	315	84.5
春区	674	712	548	78	6	21.3	51	229	91.6
春+穂肥区	636	812	621	89	15	21.5	58	260	90.6
秋春区	625	742	607	87	9	21.6	57	254	90.3
秋春+穂肥区	576	832	667	95	29	21.5	67	285	88.7

表6 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稻‘コシヒカリ’の生育に及ぼす影響 (1998)

処理区	幼穂形成期 (7/9)			収穫時 (8/31)		
	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	草丈 (cm)	葉色 <sup>a)</sup>	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	稈長 (cm)	穂長 (cm)
慣行区	559	70.1	30.7	391	80.5	16.8
春I区	510	66.3	29.6	346	76.6	17.6
春II区				343	79.1	17.8
秋春I区	486	70.9	31.2	362	79.0	17.4
秋春II区				359	79.7	17.8

<sup>a)</sup>葉緑素計 (SPAD-502型 ミノルタ株式会社製) の測定値。

表7 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稻‘コシヒカリ’の収量および収量構成要素に及ぼす影響 (1998)

処理区	わら重 (kg/10a)	もみ重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	同左 指数	屑米重 (kg/10a)	千粒重 (g)	もみ数		登熟歩合 (%)
							(/一穂)	(10 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	
慣行区	459	533	430	100	11	22.4	76	294	93
春I区	353	459	374	87	6	22.6	71	244	91
春II区	398	519	416	97	9	22.9	69	229	89
秋春I区	395	533	426	99	14	22.3	70	249	88
秋春II区	417	560	448	104	13	22.5	81	289	88

表8 生石灰処理濃縮汚泥の土壌注入が水稻‘コシヒカリ’の窒素含有率と吸収量ならびに品質に及ぼす影響 (1998)

処理区	N含有率 (%)		N吸収量 (kg/10a)			検査 等級 <sup>a)</sup>	食味 値 <sup>b)</sup>
	わら	もみ	わら	もみ	合計		
慣行区	0.50	0.99	2.3	5.3	7.6	1中	78
春I区	0.54	1.00	1.9	4.6	6.5	1上	75
春II区	0.55	1.03	2.2	5.3	7.5	1上	77
秋春I区	0.51	0.93	2.0	5.0	7.0	1上	82
秋春II区	0.54	0.99	2.2	5.5	7.8	1上	77

<sup>a)</sup>広島食糧事務所東広島支所調査。

<sup>b)</sup>近赤外線アナライザー (サタケ食味計 TB-15A 佐竹製作所製) による測定値。

高かった。草丈も同様の傾向であった (表6)。この結果から、慣行区で穂肥を1.7kg/10a施用し、春I区は慣行区と同量、春II区は1.5倍の2.6kg/10a施用した。秋春I区では慣行区の1/2の0.9kg/10a、秋春II区は同量とした (表3)。

精玄米重は、慣行区に比べ秋春II区で多く、その他の区で少なかったものの、春I区をのぞいてその差は小さかった (表7)。千粒重には、大きな差はみられなかった。

窒素吸収量は、精玄米重と同様の傾向を示した。なお、査等級はどの処理区も1等で、食味値も高かった (表8)。

三和町現地ほ場における7月22日の葉色は、慣行区で

30.9であり、この値に比べて春区で低く、秋春区で高かった。草丈は、春区で最も小さかった (表9)。この葉色診断結果から、慣行区で穂肥を2.4kg/10a施用し、春I区は同量、春II区は1.5倍施用した。秋春I区では2/3、秋春II区は4/3とした (表3)。稈長は春区で小さく、秋春II区で最も大きかったものの、穂長は、春区、秋春区とも追肥量が多い区ほど長かった。

精玄米重は、慣行区に比べ、春I、II区で小さかったものの秋春区では大きかった。屑米重が慣行区、秋春区で大きく、登熟歩合は慣行区で最も低かった。(表10)。

窒素吸収量は、精玄米重と同様の傾向を示した。なお、検査等級は春区、慣行区で1等であったが、秋春II区で

表9 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稲‘八反錦1号’の生育に及ぼす影響 (1998)

処理区	幼穂形成期 (7/9)			収穫時 (8/31)		
	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	草丈 (cm)	葉色 <sup>a)</sup>	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	稈長 (cm)	穂長 (cm)
慣行区	304	74.7	30.9	325	81.5	19.6
春I区	326	70	27.7	291	75.1	18.7
春II区				311	77.3	20.0
秋春I区	351	73	31.2	336	82.0	18.7
秋春II区				341	86.5	20.6

<sup>a)</sup> 葉緑素計 (SPAD-502 型 ミノルタ株式会社製) による測定値。

表10 濃縮汚泥の施用が水稲‘八反錦1号’の収量および収量構成要素に及ぼす影響

処理区	わら重 (kg/10a)	もみ重 (kg/10a)	粗玄米 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	屑米重 (kg/10a)	千粒重 (g)	もみ数		登熟歩合 (%)
							(/一穂)	(10 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	
慣行区	813	677	633	592	42	28.0	76	239	73
春I区	677	565	552	540	12	28.0	71	204	93
春II区	752	628	615	584	31	28.0	69	210	89
秋春I区	918	753	736	695	41	27.0	70	231	82
秋春II区	992	812	799	757	42	27.7	81	274	83

表11 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稲‘八反錦1号’の窒素含有率と吸収量ならびに品質に及ぼす影響 (三和町, 1998)

処理区	N含有率 (%)		N吸収量 (kg/10a)			検査等級 <sup>a)</sup>
	わら	もみ	わら	もみ	合計	
慣行区	5.2	10.9	4.3	6.4	10.7	1上
春I区	4.6	9.5	3.1	5.2	8.3	1上
春II区	5.2	10.5	3.9	6.2	10.0	1下
秋春I区	4.6	9.9	4.3	7.3	11.6	1下
秋春II区	5.1	10.4	5.1	8.3	13.4	3上

<sup>a)</sup> 広島食糧事務所東広島支所調査。

表12 生石灰処理濃縮汚泥の施用が水稲跡地土壌の化学性に及ぼす影響 (三和町)

年 度	処理区	pH (H <sub>2</sub> O)	CEC (meq/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			可給態N
				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
1997	慣行区	5.4	—	92.0	7.3	9.0	—
	春区	5.4	—	84.0	7.6	7.7	—
	春+追肥区	5.4	—	81.5	8.4	7.5	—
	秋春区	5.5	—	82.7	9.4	8.8	—
	秋春+追肥区	5.4	—	83.8	9.3	8.1	—
1998	慣行区	—	8.0	103.0	8.0	10.7	15.1
	春I区 <sup>a)</sup>	—	6.9	98.0	7.8	11.3	12.9
	春II区 <sup>a)</sup>	—	7.2	101.5	7.5	10.9	13.7
	秋春I区 <sup>a)</sup>	—	8.1	99.0	7.3	10.9	14.7
	秋春II区 <sup>a)</sup>	—	8.3	92.0	7.3	11.6	15.6

<sup>a)</sup> 春の汚泥施用時に硫酸カリウムを K<sub>2</sub>O として 3.6kg 添加。

は3等と低かった (表11)。

以上の結果から、水稲‘コシヒカリ’を栽培する場合は生石灰処理濃縮汚泥を秋と春に合計 8m<sup>3</sup>/10a 施用し、水稲‘八反錦1号’では春に 4m<sup>3</sup>/10a 施用する。その後基肥と中間追肥を施肥しないで葉色診断から判定した穂肥を施用することによって水稲の生産は可能であると考えられる。

なお、佐藤ら<sup>4)</sup>は、3年間の試験結果から水稲栽培中

の濃縮汚泥の肥効率を40~50%と推定している。例えば、濃縮汚泥の窒素成分分析を行えない場合に数名処理場の濃縮汚泥を施用するとする。窒素の乾物当たりの含有率は5.4±0.4%であり、これを 8m<sup>3</sup>/10a 施用すると佐藤らの試験結果を適用すれば最小で 3.6kg/10a (肥効率40%)、最大で 4.9kg/10a (肥効率50%) 吸収されると推定される。この値は慣行区の基肥量と基肥+中間追肥量の間値となる。したがって、年次変動があったとして

表13 生石灰処理濃縮汚泥の施用が作土および玄米の重金属含量に及ぼす影響（三和町，1998）

処理区名	作土 (mg/kg)			玄米 (mg/kg)		
	Cd <sup>a)</sup>	Zn <sup>b)</sup>		Cd	Zn	Hg
慣行区	0.2	53.1	72.3 <sup>c)</sup>	0.1	17.8	<0.01
秋春2回区	0.2	55.5	74.0 <sup>c)</sup>	0.1	17.5	<0.01

<sup>a)</sup>0.1N-HCl 浸出法による測定値。

<sup>b)</sup>強酸分解による測定値。

<sup>c)</sup>豊平町での測定値。

も上記の葉色診断から判定して穂肥の窒素量を増減することで水稻の生産は確保できると推定できる。一方、水稻‘八反錦1号’では、上記と同様の計算を適用すると濃縮汚泥の8m<sup>3</sup>/10a 施用は慣行の基肥窒素量を超える場合があり、濃縮汚泥は4m<sup>3</sup>/10a の施用が妥当である。

## 2) 土壌の化学性

生石灰処理濃縮汚泥の水稻跡地土壌に及ぼす影響は、1997年に慣行区に対して交換性加里がわずかに低下する傾向がみられたが、濃縮汚泥に硫酸加里を添加(3.6kg/10a)すると1998年にははわずかに増加した。可給態窒素は春の1回(4m<sup>3</sup>/10a)施用区でやや小さい値を示した。その他の土壌の化学性は、慣行区に比べて大きな影響はなかった(表12)。佐藤ら<sup>4)</sup>は、水稻に濃縮汚泥3~8m<sup>3</sup>/10a を3年間施用しても土壌の理化学性に大きな差は認められないと報告しており、本試験結果と一致した。

玄米中のカドミウム含量は土壌汚染法で1mg/kg以下と定められているが、生石灰処理濃縮汚泥施用を行ってもその値は0.1mg/kgと小さかった(表13)。また、土壌中のカドミウムと玄米中の亜鉛および水銀の含有量は増加しなかった。しかし、土壌中の亜鉛濃度はわずかに上昇した。

玄米中のカドミウムと土壌中の重金属規制の法律的根拠として、環境庁通達による重金属濃度基準(S59.11, 指標金属; 亜鉛)がある。環境庁通達は再生有機物資材が使用される農用地の土壌中の重金属にかかわる基準を定め、土壌の汚染を防止するもので、指導の基準となる。その管理基準は①土壌(乾土)1kgにつき亜鉛120mgとする②亜鉛の測定は表層土壌について強酸分解法による。

そこで、現地ほ場の同一水田に濃縮汚泥の連年施用(8m<sup>3</sup>/10a/年)を実施した場合に、土壌中の亜鉛含量が120mg/kgを超える年数を以下の式で推定した。

$(120 - \text{慣行区 Zn}) / (\text{秋春2回区 Zn} - \text{慣行区 Zn}) \div \text{生石灰処理濃縮汚泥施用可能年数}$

この式に当てはめると、双三郡三和町、豊平町の現地実証ほにおいて、生石灰処理濃縮汚泥施用可能年数は約30年となる(表13)。広島県の平均利用数である850人規

模の地区では最大でも一年間の濃縮汚泥発生量は220m<sup>3</sup>と推定され、10a当たり8m<sup>3</sup>施用すると必要面積は275aとなる。農業集落排水供用地域(25地区)の水田面積は平均2,800aであり、このすべての水田をローテーションすれば $30 \times 2800 / 275 \approx 300$ (年)は濃縮汚泥の利用が可能となる。

松本ら<sup>5)</sup>はトウモロコシのような多施肥作物で濃縮汚泥を化成肥料窒素の代替として用いると亜鉛濃度の上昇が著しいが、水稻では施肥量も少ないため土壌中の亜鉛濃度の上昇が低く、栽培面積も大きいことから水稻での濃縮汚泥利用を奨めている。

以上の結果から、土壌の重金属集積から判断した場合は、長期間にわたる水稻に対する汚泥の利用は可能である。

## 摘 要

濃縮汚泥を安全に農地還元し地域資源のリサイクルを図るため、廃掃法に定められた濃縮汚泥の処理法(生活環境の保全及び公衆衛生上支障を生じさせない方法)、土中汚泥注入機による濃縮汚泥の安全で効果的な施用法について検討した。

1. 農業集落排水処理場から発生する濃縮汚泥は、水分約98%の液状で、家畜ふん堆肥に比べ加里含量が少ない。この濃縮汚泥は、生石灰0.5(W/V)%添加によって、pHが12以上になり、大腸菌群を検出限界以下に抑制した。窒素は生石灰処理直後から減少し処理日数に影響されないため、大腸菌群の死滅効果から判断して濃縮汚泥に生石灰処理後3日目以降に利用すれば安全である。
2. 湿地ブルドーザーを改良した土中汚泥注入機(広島県農業開発公社開発)は、濃縮汚泥を搭載し走行しながら土壌中にリッパーを通して注入する。したがって、濃縮汚泥を見せず、臭わせない施用が可能となった。なお、この土中汚泥注入機の走行によって、土壌の貫入抵抗は高まらなかった。
3. ‘コシヒカリ’(豊平町)では、秋と春の合計2回生石灰処理濃縮汚泥施用(8m<sup>3</sup>/10a/年)で、‘八反錦1号’では春の1回(4m<sup>3</sup>/10a/年)に加え、葉色診断から

判定した穂肥（化成肥料）の施用で慣行と同等の生産が可能であった。また、生石灰処理濃縮汚泥は、玄米中に重金属含量を増加させず、また、品質に影響を及ぼさなかった。

4. 基肥代替として、秋と春の合計2回濃縮汚泥施用（ $8\text{m}^3/10\text{a}$ /年）を2年間続けても、土壌中カドミウムの含量は高まらなかった。同一水田に濃縮汚泥を連年施用（ $8\text{m}^3/10\text{a}$ /年）しても、土壌の亜鉛含量の汚泥施用基準である $120\text{mg}/\text{kg}$ 到達は、三和、豊平町とも約30年要すると推定される。
5. 以上の結果から、土中汚泥注入機を利用した生石灰処理濃縮汚泥の施用は、水稲の収量・品質を低下させることなく安全に利用できる。

## 謝 辞

本試験を行うに当たり、三次地域農業改良普及センターの向市敏男氏、山口寛直氏並びに千代田地域農業改良普及センターの神島義和氏には貴重なご助言をいただいた。また、豊平町役場、三和町役場には現地ほ場の選定にご尽力いただいた。記して感謝の意を表す。なお、本試験は、「地域資源リサイクル実践事業」で行った。

## 引用文献

- 1) 細田昭男・松浦謙吉・松本 要・酒井泰文：1996. 農業集落排水処理水の農業利用. (2) 野菜・果樹における薬剤防除水への利用. 広島農技セ研究発表要旨. 28：95-102.
- 2) 飯田周治・新村善男・上森晃・久津那浩三：1990. 耕耘方法の相違と大型機械による土壌の踏圧が水稲の生育収量に及ぼす影響. 日作紀. 59：672-678.
- 3) 岩佐直明・松浦謙吉：1996. 農業集落排水処理水の農業利用. (1) 野菜への灌水利用. 広島農技セ研究発表要旨. 28：91-94.
- 4) 佐藤賢一・細谷毅・山口幹周：1991. 農村集落排水処理汚泥の水稲、小麦への施用効果. 埼玉農試研報. 45：18-41.
- 5) 松本英一・小山田勉・平山 力：1997. 農業集落排水処理汚泥の農業利用に関する研究. 第1報 生汚泥の土壌施用が作物および土壌に及ぼす影響. 茨城農総セ農研報. 4：39-51.
- 6) 有機性汚泥の緑農地利用委員会編：1991. 有機性汚泥の緑地利用. 博友社：127-133.

## Utilization of Condensed Sludge from Rural Sewage Disposal on Paddy Rice

Junki ITO, Kenkichi MATSUURA, Takeshi MASUHARA and Syuji URATOCHI

### Summary

The experiments were undertaken to evaluate for a method by which condensed sludge is incorporated into rice field with a machine in terms of reduction of environmental pollution and effective utilization of resources in a region. The results were as follows:

1. A condensed sludge was characterized by 98% water content and low potassium concentration. A population of *Escherichia coli* in the sludge was reduced below critical level by applying 0.5% (W/V) CaO. Nitrogen concentration decreased immediately after application of CaO but was not affected by the duration of the treatment. These results suggest that the condensed sludge could be safely used 3 days after CaO treatment.
2. The sludge after CaO treatment could be incorporated into soil without smell and sight of it by the machine because it had capability to pore the sludge to the lower soil strata.
3. Application of the sludge with new method twice a year in rice varieties 'Koshihikari' had equivalent grain yields to that by conventional agricultural practices.
4. Soil Cd concentration did not increase by application of the sludge twice a year during consecutive two years. Soil Zn concentration also increased gradually, but the values were within a permissible level. These heavy metals were not detected in rice grains by application of the sludge.

These results demonstrated that the condensed sludge after treated with CaO could be applied safely to the rice fields with a machine, resulting in rice production without depression of grain yields and quality.

**Key words:** rural sewage disposal, condensed sludge, sludge incorporating machine into soil, nitrogen, zinc