

家畜心ん尿の再利用

誌名	日本獣医師会雑誌 = Journal of the Japan Veterinary Medical Association
ISSN	04466454
著者	羽賀, 清典
巻/号	35巻7号
掲載ページ	p. 377-387
発行年月	1982年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



家畜ふん尿の再利用 畜産公害から利用への転換

羽 賀 清 典*

古来、家畜のふん尿は有用な肥料資源であった。農家は良質な堆きゅう肥を生産するために家畜を飼い、同時に畜力や畜産物を得ていた。しかしその後のめまぐるしい社会環境や農業技術体系の変化の中で、畜産業は生産性の向上をねらって、専業化・飼養規模拡大の方向を急速に進んできた。そしていつの間にか家畜ふん尿は全国的に環境汚染問題を引き起こし、畜産公害という汚名をもらうはめになってしまった。この畜産公害発生の経緯などについては本誌の檜垣の総説⁴¹⁾をはじめ、いくつかの総説^{39), 40), 50), 57)}や成書^{16), 45), 55), 76)}に詳しいところである。

折しも現在は省資源・省エネルギー時代である⁵⁴⁾。あの石油ショックを契機に世界の人類はすべての資源が有限であることを再認識した。そして、捨てるようなものでもう一度利用してみようという気持になった。そのとき、昔は資源であった家畜ふん尿がやたら廃棄物の汚名を着たままでよいのであろうか。畜産公害を克服することはもちろん、家畜ふん尿を新資源として有効利用していく姿勢が大切ではなかろうか。以上の観点から、家畜ふん尿のエネルギー利用、肥料利用、飼料利用などについて述べてみたい。

1. エネルギー利用

家畜ふん尿はそれ自体 3,000~5,000kcal/kg 乾物の発熱量を有し⁷⁸⁾、それを何らかの方法で抽出しエネルギー

利用することができる。現在実用化または試験研究されている方法は、表1のように分類される。以下で各々について述べる。

1) メタン醱酵法

メタン醱酵という一連の嫌気性微生物反応によって、家畜ふん尿からメタンガスを生産し燃料利用することができる(図1)。この方法はわが国では20年前頃に広く使われた時期があり、詳しい成書⁸⁹⁾も出版されていたが、その後プロパンガスの普及などと相俟って下火となってしまった。そして石油危機以後また改めて見直されつつある現状である³¹⁾。最近の研究については、筆者の総説⁸²⁾に詳しいので、ここではそれを要約する形で述べたいと思う。

メタン醱酵は図1に示すように、少なくとも2段階の醱酵過程から成り立っている。第1段階には雑多な通性・偏性嫌気性細菌が関与しているが、その細菌数は中温醱酵で $10^9 \sim 10^{10}/\text{ml}$ ぐらいである。その細菌が生産した有機酸などをメタン細菌がメタンガスへ変換する。醱酵液中で活動するメタン細菌の数は $10^8/\text{ml}$ ぐらいが平均的な値である。メタン細菌の種類に関しては、最近 BALCH ら⁹⁾が 16S リボゾーム RNA の性状などを基本にした分類法を提案している。それに従うと 7 genus, 18種類 のメタン細菌に分類される。そのうち家畜ふん尿のメタン醱酵槽に存在が確認されているものは、*Methanobacte-*

表1 家畜ふん尿のエネルギー利用方法

ふん尿の性状	方 法		エネルギーの形態	
	一般の名称	原 理		
スラリー状または液状 (ふん尿混合物)	メタン醱酵法	嫌気性微生物の作用によるメタンガスの発生	ガ	ス
固 形 状 (プロイラー鶏ふん, 乾燥)	鶏ふんボイラー	直接燃焼熱利用	温	水
固 形 状 (乾燥ふん)	熱分解ガス	高温下での熱分解	ガ	ス
固 形 状 (乾燥ふんのペレット)	発生炉ガス (乾留ガス)	発生炉ガス化	ガ	ス (タールとの混焼)
固 形 状 (生ふん)	石 油 化	高温・高圧下における水素添加	石 油 様 物 質	
固 形 状 (水分調整ふん)	醱 酵 熱	堆肥化時の微生物による熱発生	熱	{ 温 水 温 風

* 農林水産省畜産試験場(茨城県稲敷郡茎崎村池の台2)

家畜ふん尿の再利用

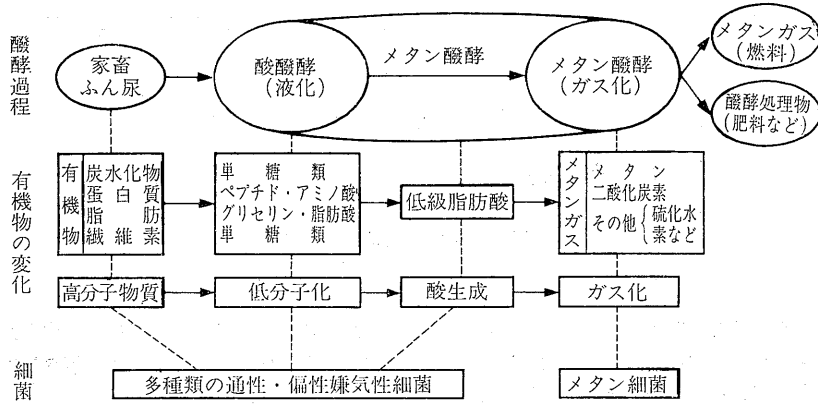


図1 家畜ふん尿のメタン酸酵

*rium formicicum*⁴⁴⁾ と *M. thermoautotrophicum*¹⁷⁾ の2種類である。

メタン酸酵を順調に進行させるための条件には、嫌気性条件、酸酵温度(中温 25~40℃, 高温 50~55℃), 細菌の馴化・培養, 投入物の濃度および量(有機物負荷で 3 kg/m³・日前後), 滞留日数(10~30日)などがあげられる³¹⁾。以上のような条件が整った酸酵槽からは表2に例示したような量のメタンガスが発生する。メタンガスは単体のメタンを約 60% 含み, 残り 40% は二酸化炭素であり, その他微量の硫化水素などを含んでいる。この硫化水素は毒性が強く腐蝕性のガスなので使用に際しては脱硫処理をすることが望ましい。メタンガスの発熱量は約 6,000 kcal/m³ であり, 都市ガスの代替燃料となることはもちろん, エンジンや発電など広範囲のエネルギー源として利用できる。

現在, 実際の農家で使用されている装置については, いくつかの調査研究がある^{81, 82, 101, 111)}。また, 全国の県立畜産試験場でも実用化へ向けての試験研究が行われている^{79, 80)}。外国の装置については, いくつかの成書^{69, 79, 94)}に詳しいが, 一般にインド⁹²⁾や中国²⁵⁾の装置が最も普及度の高いものといえそうである¹⁴⁾。

メタン酸酵法は古くから実用化されてきたこともあって, 技術的に確立された部分が多く, 割合手軽にメタンガスを生産できるが, 冬期間の温度低下によるガス発生量の減少, 酸酵後のスラリー状ふん尿(消化汚泥)の処

理利用方法の未確立などの問題点が残っている^{31, 82, 79)}。

2) 鶏ふんボイラー

プロイラー鶏舎では舎内の保温のために多量のプロパンガスや重油を使用しており, その節減が省エネルギー上の重要問題となっている。いっぽう, プロイラー鶏ふんは, 床面暖房をしていることやオールイン・オールアウト方式をとっていることもあって, 鶏舎外へ排出されるときには水分 30% 以下に乾燥しており, 低位発熱量で約 2,000 kcal/kg 以上の発熱量がある。したがって, この水分の少ない鶏ふんを直接燃焼させ, 鶏舎暖房のためのエネルギー源としてリサイクルするのが鶏ふんボイラー方式である。はじめは県畜試と民間の協力によって開発が進められ⁴⁸⁾, 現在では 10 数社のボイラーが市販されている¹¹⁰⁾。プロイラー鶏ふんは肥料利用との競合はあるものの, コスト面でも鶏ふんボイラー利用の方が有利であるという試算がされており¹¹⁰⁾, さらに檜垣の試算によれば, 関東地方の無窓鶏舎の保温に必要な重油を約 100% 代替可能としている⁴²⁾。この方法はプロイラー鶏舎という特別な環境において極めて有効な技術と考えられるが, 問題点としてはボイラーからの粉じん, 大気汚染物質の放出, また冬期間に備えての鶏ふんの貯蔵法などがあげられる。

3) 熱分解ガスと発生炉ガス

空気の入らない高温条件下に有機物を置くと熱分解(Pyrolysis)を起こし, 一酸化炭素やメタンなどを主成分

表2 家畜ふん尿からのメタンガス発生量計算例

畜種	ふん排泄量 (kg/頭羽・日)	固形物量 (kg/頭羽・日)	有機物量 (kg/頭羽・日)	メタンガス発生量		必要とされる酸酵槽容積* (m ³ /頭羽)
				(l/kg 投入有機物)	(l/頭羽・日)	
牛	30	4.5	3.6	200~350	720~1,260	1.8
豚	2.5	0.625	0.5	300~500	150~250	0.15
鶏	0.12	0.03	0.0225	300~600	6.75~13.5	0.0072

注) * : 1例として, ふんを尿汚水または水などで3倍に稀釈し, 20日間の滞留日数で算出した。実際にはガス貯留空間の分だけこの容積よりも大きくなる。

表3 家畜ふん尿の熱分解ガスおよび発生炉ガスの研究

材 (生 状)	熱分解温度 (°C)	ガス発生量 (l/kg)	その他の生産物の収量(kg/kg TS)		ガス組成 (%)							ガス発熱量 (kcal/m ³)	文 献			
			油・タール	水	炭化物・残渣	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆			C ₂ H ₄	その他	O ₂
乾燥豚ふん	800	309			0.30	21	13	24	17	8	6	4	2,511*	WHITE and		
乾燥肉牛ふん	800	381			0.33	18	18	30	19	10	3	5	2,787*	TAIGANIDES		
乾燥乳牛ふん	800	477			0.37	18	12	—	—	—	—	—	—	(1971) ¹⁰⁴		
乾燥鶏ふん	800	437			0.42	19	21	29	15	5	2	3	2,084*			
ホルスタイン 去勢牛ふん (水分 6.3%)	25→200°C (10°C/分) 200→600°C (5°C/分) (600°Cで100分)	0.32 (kg/kg TS)	0.024	0.285	0.33	37.2	16.7	16.4	7.0	15.5	1.7	0.4	—	2,979*	GARNER, BRICKER, FERGUSON	
フライドポット牛ふん (水分 3.6%)	25→200°C (10°C/分) 200→500°C (5°C/分) (500°Cで120分)	0.297 (kg/kg TS)	0.055	0.276	0.35	38.9	16.0	8.6	10.9	12.9	1.8	0.3	—	2,598*	et al. (1972) ¹⁰⁵ **	
フライドポット牛ふん (水分 3.6%)	900	435	0.058	0.159	0.363	24.5	18.0	27.5	—	22.7	—	—	—	4,005	SCHLEISINGER, SANNER and WOLFSON (1973) ⁹¹	
フライドポット牛ふん	816 (流動床方式)	334				10.5	33.3	38.0	—	7.2	—	—	—	3,382	ENGLER, WALAWENDER and FAN (1975) ⁹³	
フライドポット牛ふん (水分 10%)	629 (136分) 629 (72分)	790 (l/kg VS) 830 (l/kg VS)				27.1	14.6	23.8	18.8	9.4	0.61	5.25	—	2,726	BECK (1981) ⁹⁹ ***	
豚ふん	乾留層 400~500°C 還元層 500~700°C 採卵鶏ふん プロイラー鶏ふん (ペレット, 水分20%) 燃焼層 800~900°C	1,050 0.29 850 0.24 900 0.45				6.2	27.2	9.7	48.5	1.3	—	—	—	5.6	935	横山 (1982) ¹⁰⁸
						23.8	14.6	24.6	24.0	8.8	0.67	3.61	—	2,437	990	

注) * 筆者の計算値。

** 条件を変えて22例の実験を行っているので、その代表例を示した。

*** 条件を変えて9例の実験を行っているので、その代表例を示した。

とする可燃性ガス（熱分解ガス）を生ずる。また、石炭、コークス、木炭などから可燃性ガスを得る方法として、適量の空気を送りつつ不完全燃焼を起こさせ、一酸化炭素を主成分とする発生炉ガスを生産する方法がある。後者は空気や、時には水蒸気を送り込む点で前者と異なるが熱分解の一種と考えてよいであろう。

それらの家畜ふん尿への適用研究例を表3に示す。熱分解ガスについては、CO、H₂、CH₄を燃料成分とした3,000 kcal/m³前後のガスが、300~400 l/kgの収量で得られている。

発生炉ガスを石炭から生産した場合、その組成はCO₂ 3%、CO 28%、H₂ 11%、N₂ 55%、CH₄ 3%で発熱量1,446 kcal/m³が一般的な値とされているから⁷⁴⁾、横山のデータによれば、ほぼそれに近い組成のものが家畜ふん尿から得られている¹⁰⁸⁾。これは最近全農と民間の協力で開発された装置の実験結果であるが、この装置では発生したタールをガスと混焼させることによって、エネルギー回収率を高めるよう工夫されている。BECKら^{8,9)}の方

式は流動床式で、空気と水蒸気の混合気体を送り込んで反応を行っており、炭化水素（CH₄、C₂H₄）の含量が高い特徴がある。

これらの方式は、メタン醱酵のように周囲の温度に左右されることなく、必要量に見合ったガス量を生産できるが、大規模のものでないと経済的に成り立ちにくく^{23, 24, 49)}、大量の乾燥ふんを準備しなければならない点に問題が残っている。

4) 石油化

これは炭素化合物に水素添加を行って油を得る方法で、アメリカ鉱山局が最初は石炭に適用した後、ゴミなどのセルロース系廃棄物に応用した^{4, 5)}。水素添加には、はじめ水素ガスを使用していたが、Na₂CO₃などの触媒塩類の存在下で水蒸気と一酸化炭素を作用させる方法の方が効率が高いことが明らかになった。

家畜ふん尿にはもともとNa₂CO₃などの塩類や水分が存在することから、それらをあらためて添加する必要はない。APPELLらの実験では⁴⁾、水分60%の牛ふんを

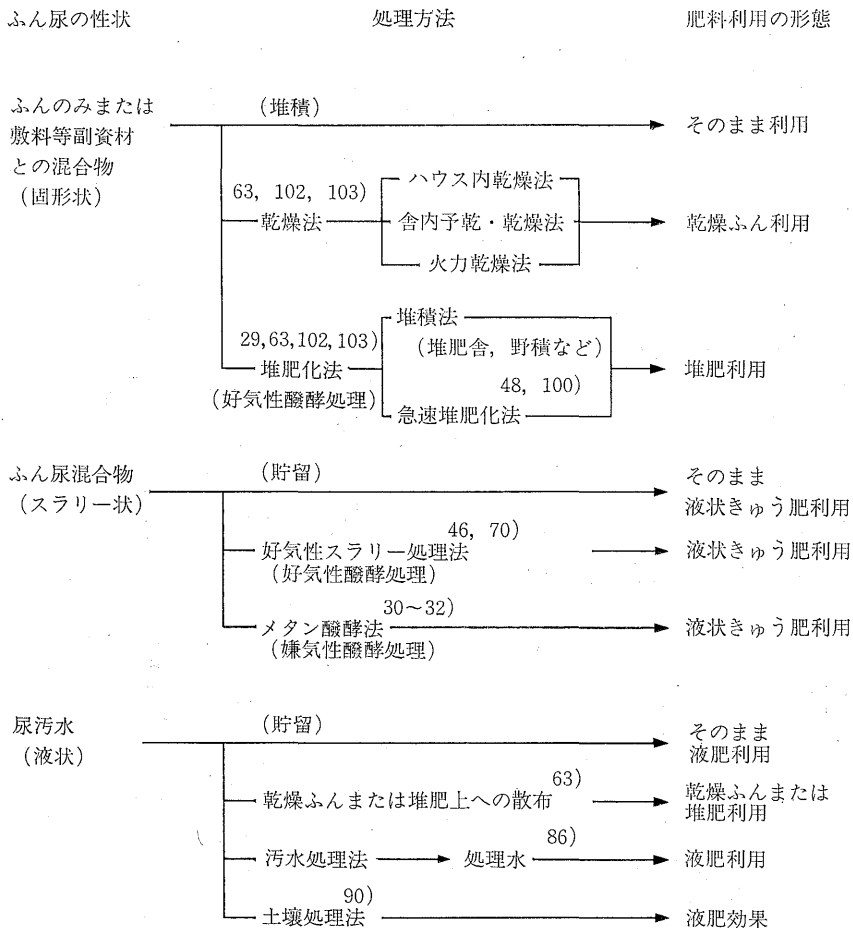


図2 家畜ふん尿の肥料利用のための処理方法

380℃, 408 気圧 (反応開始時 82 気圧), 20 分の条件で, 99% の転換率で反応が進み, 油の収量は 47% であった。この方式は, 前項の熱分解のように乾燥ふんを調製せずとも, 生ふんに近い状態で処理できる点に特徴がある。

5) 醗 酵 熱

家畜ふんの水分を約 65% に調整し, 堆積・通気してやると堆肥醗酵が進み, 高いときには 70℃ 以上もの温度が得られる。この熱を回収して温水を作ったり⁷³⁾, 豚舎の床面保温に利用する試みがなされている¹⁰⁷⁾。

2. 肥 料 利 用

はじめのところで述べたように, 家畜ふん尿の肥料利用には長い歴史があり, すでに数多くの成書^{87, 87, 83, 87)}や総説^{36, 66, 84, 85)}が出されている。したがって, 詳しいところはそれらに譲ることとし, ここではそれらの若干の整理を試みたいと思う。なお, 肥料利用という性質上, 国内の文献を主として扱うこととする。

1) 処 理 利 用 方 法

肥料利用を目的としたふん尿処理方法について, 現在わが国で行われている主なものを図 2 に示す。ふん尿は生のまま利用するやり方もあるが, 取り扱い・悪臭・衛生面などすべての点で問題があるので, 何らかの処理を施してから肥料利用することが望ましい。各々の処理方法について詳しいことは図中に示した文献を参照されたい。

現在主流となっている処理利用方法は, 固形状での堆肥化法であり, 土づくり運動などと相俟ってその振興が図られている^{16, 77)}。スラリー状および液状物は, 流通上の問題点も多く, 自家利用できるような限られた範囲内で利用されている。

2) 肥 料 成 分 と そ の 特 徴

家畜ふん尿およびその処理物の肥料成分については多くのデータがあるが, ここでは尾形が全国の国公立試験研究機関のデータを取りまとめた数字をあげる(表 4)⁸⁷⁾。これを見ると, 家畜ふん尿およびその処理物の性状は非常に多岐にわたっており, 肥料成分のみならず肥効にも大きな差があることが考えられる⁸⁷⁾。例えば鶏ふんは肥料成分含量も高く, 化学肥料に対する代替率も窒素で 70% ぐらいが期待できるが, 牛ふんとなると 30% 程度であり, むしろ土壌改良資材の効果の方が大きくなる。また, ふん尿に混合されたおがくず, 稲わらなどの副資材も肥料の性質に大きな影響を及ぼす。

そのように有機質を多量に含む肥料では腐熟の進行度が重要な問題となる。誤って未熟な堆肥を施用すると, 土壌や作物に害作用が現われる^{82, 66)}。したがって, 家畜ふん尿処理物が良質な有機質肥料として広く普及・利用されて行くためには, 肥料成分の保証はもちろんのこと, 十分に完熟し安定化した品質であることも保証されなければならない。そのためには, 家畜ふん尿処理における

表 4 家畜ふん尿および処理物の肥料成分含量⁸⁷⁾

(現物中%)

種	類	水分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-C	pH
採卵鶏	生ふん	63.7	1.76	2.75	1.39	5.87	0.73	14.5	7.9
	乾燥ふん	19.0	3.05	5.12	2.44	9.21	1.13	23.4	7.9
	おがくず入り堆肥	54.1	0.91	1.74	1.25	3.53	0.46	13.9	7.8
ブロイラー	生ふん	40.4	2.38	2.65	1.76	0.95	0.46	—	—
	乾燥ふん	15.1	3.06	4.76	2.95	4.32	1.20	—	—
	おがくず入り堆肥	43.6	2.29	2.63	1.54	2.86	1.14	—	—
豚	生ふん	69.4	1.09	1.76	0.43	1.35	0.50	13.0	6.6
	乾燥ふん	24.3	2.58	4.50	1.49	3.44	1.25	27.3	7.6
	おがくず入り堆肥	57.7	0.95	1.08	0.67	1.40	0.41	17.6	7.6
	稲わら入り堆肥	69.7	0.87	1.88	1.48	0.38	0.24	—	7.7
	もみがら入り堆肥	39.5	1.38	2.25	0.94	2.56	0.75	20.5	7.8
	機械分離固形物	75.5	0.62	0.48	0.09	0.37	0.09	—	6.0
	機械分離液	99.3	0.13	0.05	0.07	0.02	0.01	—	7.1
	液状きゅう肥	96.0	0.39	0.23	0.18	0.12	0.07	2.7	7.0
	生尿	98.0	0.48	0.07	0.16	0.24	0.04	—	7.6
牛	生ふん	80.1	0.42	0.34	0.34	0.33	0.16	9.1	7.8
	乾燥ふん	28.0	1.65	1.85	1.72	1.58	0.72	24.9	8.9
	おがくず入り堆肥	65.5	0.59	0.62	0.67	0.74	0.24	14.2	8.2
	稲わら入り堆肥	77.5	0.47	0.48	0.52	0.49	0.19	7.1	8.2
	もみがら入り堆肥	72.7	0.38	1.69	0.55	0.22	0.17	12.0	7.3
	牧乾草入り堆肥	75.2	0.57	0.35	0.56	0.58	0.22	7.8	8.3
	液状きゅう肥	91.9	0.37	0.19	0.43	0.26	0.11	2.8	7.5
	生尿	99.3	0.56	0.01	0.87	0.02	0.02	0.25	9.4

表5 家畜ふん尿の施用基準²⁾

作物名	牛				鶏				
	生ふん (敷わら混合)	乾燥ふん (ピュルハ)	きゅう肥 (堆肥化)	ふん尿混合 (自然流下式)	生ふん (敷わら混合)	乾燥ふん (わら混合) (物を含む)	きゅう肥 (堆肥化)	活性汚泥 固形物	生ふん (火力、天日)
種別	0.5	1.5	0.5	0.2	1.0	2.0	2.0	1.0	2.6
処理形態	1.5	4.5	2.5	1.4	4.5	9.0	12.0	3.0	18.0
窒素濃度(%)	5~10 ¹⁾ /10a	3~5 ¹⁾ /10a	5~10 ¹⁾ /10a	5~10 ¹⁾ /10a	2~3 ¹⁾ /10a	1~2 ¹⁾ /10a	1t/10a	3~5t/10a	0.1~0.5t/10a
t当り有効窒素量(kg)	5~7	2~3	5~10	—	2~3	1~2	1~2	5~6	—
種別	5~10	3~5	5~10	10~15	3~5	1~2	1~2	—	0.5~1
種別	5~10	3~5	2~3	—	1.5~3	1~2	0.5~1	—	0.3~0.4
種別	3~4	2~3	5~7	—	1~1.5	0.5~1	0.5~1	—	0.2~0.3
種別	3~5	2~3	3~5	—	1~1.5	0.5~1	0.5~1	—	0.3~0.4
種別	1~2	1~2	2~3	—	0.5~1	0.5	0.5~1	—	0.1~0.2
種別	10~15	5~7	10~15	—	3~5	1~2	1~2	—	0.3~0.4
種別	5~7	3~4	3~5	—	1.5~2	0.5~1	0.5~1	—	0.2~0.3
種別	8~10	4~5	6~8	8~10	3~4	2~3	2~3	—	0.2~0.3
種別	15~20	8~10	10~15	10~15	5~7	2~3	2~3	—	0.5~1
種別	15~20	8~10	10~15	10~15	3~5	2~3	1~2	—	0.5~1
種別	15~20	8~10	15~20	—	3~5	2~3	1~2	—	0.5~0.7
種別	5~7	3~5	5~7	—	1.5~2	0.5~1	0.5~1	—	0.3~0.5
種別	15~20	10~15	15~20	20~30	5~7	2~3	2~3	—	1~3

注) (1) ふん尿の利用率は尿100%, 牛ふん30%, 豚ふん70%, 鶏ふん70%とした。

(2) この施用量は家畜ふん尿の窒素濃度, 有効窒素量を考慮した値である。

(3) 作物に対する化学肥料の施用量は, 家畜ふん尿の窒素量を勘案して調整する。

(4) 鶏ふんは有機物資材としての施用効果より, 有機質肥料としての考え方で利用するのが望ましい。

腐熟過程や腐熟度の解明、さらには簡易・迅速な腐熟度判定法の開発が急がれるところである⁴⁷⁾。

3) 施用基準

以上述べてきたように複雑な性質を持った家畜ふん尿であるが、多くの試験研究の結果、各地域や県などで作物に対する施用基準が示されている^{2, 38, 52, 78)}。ここでは代表例として愛知県の例を表5に示す。

また、家畜ふん尿を施用した場合の土壤中の微生物相の変化^{22, 58)}、流出水汚染^{56, 72)}、散布時の飛沫⁵⁹⁾や悪臭の発生^{98, 99)}など環境問題への配慮も重要な課題である。

3. 飼料利用

家畜ふん尿は、飼料が家畜の体内で消化され、栄養分が吸収された後の残渣が主成分であり、可消化の栄養分はあまり残っていない。またいい換えれば、ふん尿中に栄養分が残るような飼料の与え方をしたのでは、極めて不経済な畜産ということにもなる。このように、家畜ふん尿を再給飼 (refeeding) しようという考え方は内部矛盾を含んでいるものの、現実には多くの研究勢力がこれに投入されており、重要な家畜ふん尿利用研究のテーマのひとつになっている。

その引き金となったものは、ひとつには畜産公害であろう。ありあまるふん尿を畜産農家内で再循環できる方法はこれしかないといっても過言ではあるまい。今まで述べてきた他の利用方法は、多かれ少なかれ耕種農家や他との結びつきなくしては成立しない。肥料利用のような迂回的再循環方式をとるよりも、家畜ふん尿は飼料利用の方が効率が良いとする考えもある。例えば、FONTENOT と JURUBESCU²⁷⁾ はブロイラー鶏ふんを肉牛に飼料利用した場合と、肥料利用して大麦を肉牛に給与した場合とでは、前者の方が窒素の回収率が3倍以上高いと述べている (図3)。

家畜ふん尿の再給飼を考えさせたもうひとつの要因は動物の食ふん(糞)性(coprophagy)であろう。元来、動物

は自分もしくは他の動物のふんを食べることが知られており²¹⁾、牛フィードロットのふん尿処理に豚を放った例が記されている¹⁸⁾。そして、ふんを家畜に与えるにしても、単胃動物では利用不可能なふん尿中の非蛋白態窒素や繊維質を反芻動物へ再給与するのが、その消化特性からいって得策と考えられる²⁷⁾。

家畜ふん尿の飼料化の研究は、外国では多くの研究が行われており、後述のようにいくつかの総説が出されている。わが国でも、岐阜大学⁹⁷⁾、茨城大学¹⁰⁹⁾、京都大学、農林水産省畜試^{85, 60)}、白河種牧⁷⁵⁾などで多くの研究が行われている。しかし、実用化となると、亀岡がその解説の中で指摘しているように⁵¹⁾、将来的には可能性はあるものの、技術的面や国民性の問題も含め、わが国における飼料利用は時期尚早とする見方が有力であろう。以下では、主に外国の文献を中心に述べてみたい。

1) 家畜ふん尿の化学組成と飼料価値

1970年頃のデータに関しては ANTHONY⁹³⁾ や、BLAIR と KNIGHT^{12, 13)}、日本では八木^{105, 106)}の取りまとめがあるが、最も一般的に採用されているのは BHATTACHARYA と TAYLOR¹⁰⁾が取りまとめた値である。表6にその抜粋を示す。表中、一部は KORNEGAY らのデータで補足した。最近、PEARCE⁸⁹⁾は表6のような平均値ではなく、範囲で示した成分表と消化率の表を提示している。また、乾燥鶏ふん (DPW=Dehydrated Poultry Waste) 全般に関しては、BIELY ら¹¹⁾の総説が出ている。さらに SMITH と WHEELER⁹⁸⁾は、栄養価とその経済評価を行い、粗蛋白やミネラルの少ない飼料にふん尿を添加したり、フォーレージ飼料に鶏ふんを添加したりすれば、飼料の質を高めたり、価格を下げたりすることができるかと述べている。

2) 飼料化加工法

家畜ふん尿を飼料利用する場合にも、家畜に対する嗜好性の向上、栄養素の回収率の向上、病原菌の死滅など安全性の向上、臭気の改善などをねらって、何らかの加工処理を加える。その加工法を ARNDT ら⁶⁾は自然乾燥、

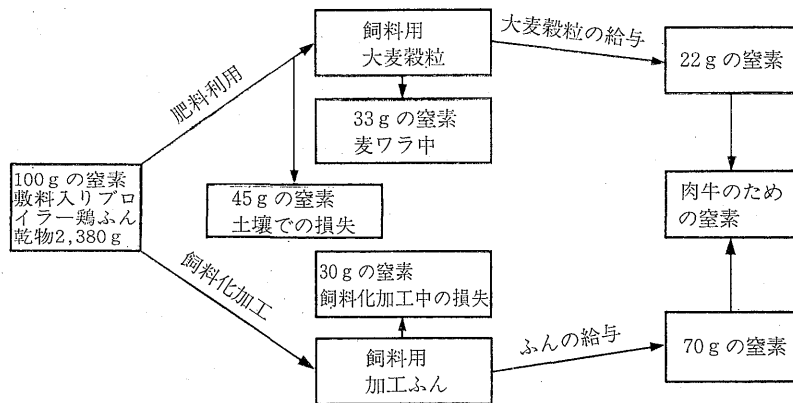


図3 2種の再循環方法による窒素回収効率の相異²⁷⁾

家畜ふん尿の再利用

表6 飼料用家畜ふん尿の化学組成

(乾物当り)

成分	ふんの種類	ケージ飼い採卵鶏 乾燥ふん(DPW) ¹⁰⁾	敷料入りブロイ ラー鶏ふん ¹⁰⁾	去勢牛ふん ¹⁰⁾	乳牛ふん ¹⁰⁾	豚ふん ⁵⁸⁾
粗蛋白質	(%)	28	31.3	20.33	12.7	23.5
可消化蛋白質	(%)	14.4(羊)	23.3	4.7	3.2	
粗繊維	(%)	12.7	16.8	31.4 ⁶⁵⁾	37.5	14.78
エーテル抽出物	(%)	2	3.3		2.5	8.02
可溶無窒素物	(%)	28.7	29.53		29.4	38.28
総エネルギー	(kcal/kg)	3,533		4,728 ⁶⁵⁾		4,570
可消化エネルギー	(kcal/kg)	1,875(牛)	2,440(羊)			
代謝エネルギー	(kcal/kg)	1,190(鶏)	2,181(羊)			
可消化養分総量	(%)	52.3(羊)	72.5(羊)	48(羊)	45(羊)	48 ⁸⁹⁾
灰分	(%)	28	15	11.5	16.1	15.32
Ca	(%)	8.8	2.37	0.87		2.72
P	(%)	2.5	1.8	1.60		2.13
Mg	(%)	0.67	0.44	0.40		0.93
Na	(%)	0.94	0.54			
K	(%)	2.33	1.78	0.5		1.34
Fe	(ppm)	2,000	451	1,340		
Cu	(ppm)	150	98	31		62.83
Mn	(ppm)	406	225	147		
Zn	(ppm)	463	235	242		530

熱風乾燥、サイレージ化、固液分離、化学処理、酸化溝による好気性液状処理、機械的コンポスト化の7種類に分類し、各々の長・短所について述べている。

サイレージ化は、ANTHONYが発案したウェイストレージ(wastelage=waste+silage)に代表されるもので^{8,71)}、図4に示すようなフローチャートが基本的な形である¹⁹⁾。わが国でも鶏ふんを用いた白河種牧の研究にそれに近い例を見ることが出来る⁷⁵⁾。また、わが国では醸酵菌を用いた醸酵飼料なるものが散見されるが、試験研究の結果を見る範囲内では、とくに飼料価値の高いも

のとはいえないようである^{1,61,109)}。

固液分離した繊維状物質を反芻動物の粗飼料代替として用いる研究も行われている⁹⁵⁾。化学処理にはNaOHなどの処理があるが、化学処理を施した後にサイレージ化を組み合わせる方式なども試みられている⁶⁴⁾。

酸化溝による処理法はDAYとHARMON^{18,84)}の発案によるもので、豚舎のすのこ床下に設けた酸化溝にふん尿を落とし、そこで好気性処理を行って有機物を菌体蛋白に変換する。その菌体を含む酸化溝混合液(ODML=Oxidation Ditch Mixed Liquor)を豚に再給飼する方法である。また、藻類、酵母、カビ、ハエ、ミミズなど種類の飼料蛋白源への変換についてはCALVERT¹⁵⁾の総説に詳しい。

以上のような処理法を、企業ベースで組み合わせた飼料製造プロセスとしては、Cereco, Corral, Grazon process(Formulage)などアメリカの例が知られている¹⁹⁾。

3) 安全性

家畜ふん尿は、家畜や人間の健康にとって有害な微生物や物質を含んでいる可能性がある。したがって、家畜ふん尿の飼料化に際しては、そのことに十分注意を払い安全な飼料利用を行う必要がある。ここで問題となるものは、病原菌、微生物毒素、マイコトキシン、寄生虫、ウイルスなどの微生物に関するものと、ひ素化合物、抗生物質や医薬品、ホルモン、コクシジウム予防薬、農薬、重金属、微量元素など化学物質に関するものとに分類される。

上記の微生物や化学物質のふん尿中の存在量、家畜や

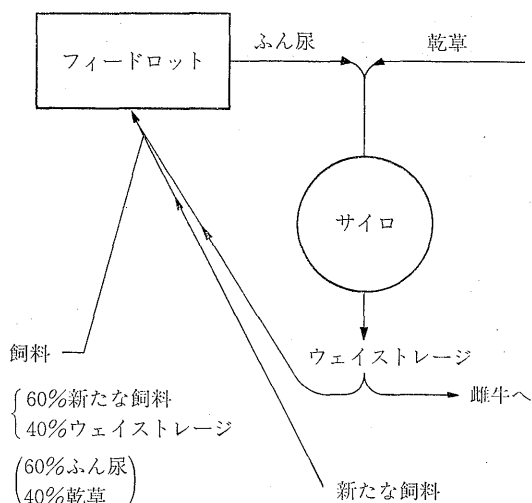


図4 ウェイストレージ法のフローチャート¹⁹⁾

生産物への影響、処理対策などについては、FONTENOTとWEBB²⁶⁾、BHATTACHARYAとTAYLOR¹⁰⁾、McCASKEYとANTHONY⁶⁸⁾、FONTENOTとJURUBESCU²⁷⁾などの文献に詳しいが、主に処理対策について以下に要約してみる。

微生物に対しては、まず加熱法が有効である。サルモネラ菌は62.8℃、30～40分程度で死滅するが、完全な滅菌には150℃、3時間ぐらいの処理が必要である。したがって、乾燥ふんとして飼料利用する場合には、この点を考慮に入れた乾燥法が有効であろう。また、ペレット化による発熱と乾燥によってもサルモネラ菌を死滅させることができる。化学処理としてコバルト60照射は有効だが、エチレンオキシド燻蒸では満足な効果はあげられなかった。有機酸(プロピオン酸など)の添加は、サルモネラ菌など広範囲の菌の増殖抑制に有効であった。サイレージ化でも、サルモネラ菌や大腸菌を死滅させることができ、嗜好性の向上などととも有効な処理方法といえよう。マイコトキシンは、ふん尿由来ということよりも、飼料に由来するものなので、その時点での注意が必要である。

ひ素化合物、Cu、Seは飼料に添加されるため、ふん中にかなり多量に排泄される。また、添加はされていないが、ふん中にCd、Pb、Hgなども検出されることがある。一般に、適正な給飼量を守れば、これらの元素による家畜への害や食肉への蓄積はみられない。SUTILEら⁹⁶⁾の報告では、Cu含量の高い鶏ふん飼料を給与した羊の肝臓に顕著なCu蓄積があったが、その毒性の徴候は認められなかった。肉牛などではCuに対する感受性は羊よりも低いので問題はないと思われるが、やはり内臓への蓄積には十分に注意を払う必要がある。

おわりに

現在、わが国で排出される家畜ふん尿の量は年間約6,000万tと試算されており⁴¹⁾、日本の人口を1億人としても、人間のそれを上回る莫大な量となるのである。例えば、これをエネルギー源としてメタンガスに変換すれば、16億8,000万m³の量となり、200万世帯のガス供給、または畜産用電力のほとんどを賄うことができる計算になる⁸¹⁾。また、肥料資源として考えた場合、家畜ふん尿の肥料成分の三要素(窒素、りん酸、カリ)の価格を総計すると、年間約1,700億円にも上り、化学肥料年間販売総額の約半分(47%)に相当すると試算されるのである⁸⁹⁾。このような資源をやたら廃棄物として厄介物扱いしているのはもったいない話である。しかし、今まで述べてきた家畜ふん尿利用技術もまだ未確立で問題点も多くあり、早急にすべてを資源化することはむずかしい現状であろう。そのような中で、本稿が微力ながら家畜ふん尿資源化利用のためのひとつのインパクトになれば幸いである。

本稿では限られた紙面で広範囲かつ膨大な数の文献を網羅するために、個々の文献よりも総説等を引用する部分が多くなっている。したがって、参考文献数も少なく、個々の文献への言及不足の点があると思うが、その点は、引用した総説等を参照されることで補っていただきたい。

なお、飼料利用の文献検索には当場資料課のロッキード・ダイアログを使用した。

おわりにのぞみ、その労をとっていただいた田中俊資料課長ならびに宮沼健夫主任に感謝します。

文 献

- 1) 阿部英則：北農，541，1～9 (1980)。
- 2) 愛知県農業総合試験場：家畜ふん尿の堆肥化技術，農業の新技術，No. 2，46～47 (1978)。
- 3) ANTHONY, W. B.: *J. Anim. Sci.*, 32, 799～802 (1971)。
- 4) APPELL, H. R., FU, Y. C., FRIEDMAN, S., et al.: *Agric. Eng.*, 53(3), 17～19 (1972)。
- 5) APPELL, H. R. and MILLER, R. D.: *Symposium: Processing Agricultural and Municipal Wastes*, INGLETT, G. E., editor, 84～92, AVI, Westport, CT (1973)。
- 6) ARNDT, D. L., DAY, D. L. and HATFIELD, E. E.: *J. Anim. Sci.*, 48, 158～162 (1979)。
- 7) BALCH, W. E., FOX, G. E., MAGRUM, L. J., et al.: *Microbiol. Rev.*, 43, 260～296 (1979)。
- 8) BECK, S. R., HOFFMAN, W. J., LANDEENE, B. L., et al.: *Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop.*, 18, 328～332 (1979)。
- 9) BECK, S. R.: *Livestock Waste: a Renewable Resource*, Proc. 4th Int. Symp. Livestock Wastes, 1980, 314～316, ASAE, St. Joseph, MI (1981)。
- 10) BHATTACHARYA, A. N. and TAYLOR, J. C.: *J. Anim. Sci.*, 41, 1438～1457 (1975)。
- 11) BIELY, J., KITTS, W. D. and BULLEY, N. R.: *World Anim. Rev.*, 34, 35～42 (1980)。
- 12) BLAIR, R. and KNIGHT, D. W.: *Feedstuff*, 45 (10), 32, 34 (1973)。
- 13) BLAIR, R. and KNIGHT, D. W.: *Feedstuff*, 45 (12), 31, 35～36, 55 (1973)。
- 14) BORDA (Bremen Overseas Research and Development Association): *Biogas Manual*, 1～116, BORDA, Bremen (1979)。
- 15) CALVERT, C. C.: *J. Anim. Sci.*, 178～192 (1979)。
- 16) 荻田義一郎：畜産公害対策全書，渡辺昭三監修，56年度版，24～33，鶏卵肉情報センター，名古屋 (1981)。
- 17) CONVERSE, J. C., GRAVES, R. E. and EVANS, G. W.: *Trans. ASAE*, 20, 336～340 (1977)。
- 18) DAY, D. L. and HARMON, B. G.: *Trans. ASAE*, 17, 82～84, 87 (1974)。
- 19) DAY, D. L.: *Animal Wastes*, TAIGANIDES, E. P., editor, 295～314, Appl. Sci., London (1977)。

- 20) DAY, D. L., HATFIELD, E. E. and SWEETEN, J. M.: *Trans. ASAE*, 23, 1510~1514 (1980).
- 21) DURHAM, R. M., THOMS, G. W., ALBIN, R. C., et al.: *Management of Farm Animal Wastes, Proc. Natl. Symp. Animal Waste Management*, 1966, 112~114, ASAE, St. Joseph, MI (1966).
- 22) ELLIS, J. R. and McCALLA, T. M.: *Trans. ASAE*, 21, 309~313 (1978).
- 23) ENGLER, C. R., WALAWENDER, W. P. and FAN, L.: *Environ. Sci. Technol.*, 9, 1152~1157 (1975).
- 24) FAIRBANK, W. C.: *Agric. Eng.*, 55(9), 20~23 (1974).
- 25) FAO: *China: Azolla Propagation and Small-Scale Biogas Technology, FAO Soil Bulletin*, 41, 21~65 (1979).
- 26) FONTENOT, J. P. and WEBB, K. E. Jr.: *J. Anim. Sci.*, 40, 1267~1276 (1975).
- 27) FONTENOT, J. P. and JURUBESCU, V.: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants, Proc. 5th Int. Symp. Rum. Physiol.*, 1979, RUCKEBUSH, Y. and THIVEND, P., editors, 641~662, MTP Press, Lancaster (1980).
- 28) GARNER, W., BRICKER, C. E., FERGUSON, T. L., et al.: *Waste Management Research, Proc. 1972 Cornell Agric. Waste Management Conf.*, 101~123, Graphic Management Corp., Washington, D. C. (1972).
- 29) GOLÜECKE, C. G.: *Composting*, 1~110, Rodale Press, Emmaus, PA (1972).
- 30) 羽賀清典: 施設農業への新エネルギー利用(地熱・バイオマス・産業廃熱編), 大森豊明ら編, 354~381, フジテクノシステム, 東京(1980).
- 31) 羽賀清典: 畜産公害対策全書, 渡辺昭三監修, 56年度版, 70~91, 鶏卵肉情報センター, 名古屋(1981).
- 32) 羽賀清典: 日畜会報, 53, 235~250 (1982).
- 33) 原田靖生: 私信 (1982).
- 34) HARMON, B. G.: *World Anim. Rev.*, 18, 34~38 (1976).
- 35) 針生程吉, 田野良衛, 伊藤 稔, ほか: 畜試研報, 33, 23~39 (1978).
- 36) 橋元秀教: 畜産の研究, 30, 199~204 (1976).
- 37) 橋元秀教, 松崎敏英: 有機物の利用, 土づくり講座, 5, 1~193, 農文協, 東京 (1976).
- 38) 橋元秀教: 有機物施用の理論と応用, 192~193, 農文協, 東京 (1977).
- 39) 檜垣繁光: 畜産の研究, 30, 119~124 (1976).
- 40) 檜垣繁光: 畜産の研究, 30, 263~266 (1976).
- 41) 檜垣繁光: 日獣会誌, 33, 2~11 (1980).
- 42) 檜垣繁光: 畜産公害対策全書, 渡辺昭三監修, 56年度版, 58~65, 鶏卵肉情報センター, 名古屋(1981).
- 43) 平原 実: 養鶏の友, 222, 6~15 (1980).
- 44) HOBSON, P. N. and SHAW, B. G.: *Water Res.*, 8, 507~516 (1974).
- 45) 本多淳裕: 畜産公害対策, 1~299, 養賢堂, 東京(1975).
- 46) 今泉七郎, 新井澄男, 糸川信弘: 畜産の研究, 30, 211~216 (1976).
- 47) 井ノ子昭夫, 原田靖生, 菅原和夫: 農技研報 B, 33, 165~213 (1982).
- 48) 石川幸市: 養鶏の友, 223, 6~13 (1980).
- 49) JEWELL, W. J. and LOEHR, R. C.: *Animal Wastes*, TAIGANIDES, E. P., editor, 273~294, Appl. Sci., London (1977).
- 50) 門谷廣茂: 畜産の研究, 32, 406~412 (1978).
- 51) 亀岡暄一: 家畜排泄物の飼料利用, 世界の畜産48号, 1~24, 国際食糧農業協会, 東京 (1980).
- 52) 神奈川県農業総合研究所: 家畜ふんの農業利用に関する研究, 神奈川県農業試験研究機関共同研究報告, 第1号, 1~53 (1971).
- 53) 加藤邦彦: 微生物の生態7, 技術論をめぐって<識別>, 微生物生態研究会編, 52~79, 学会出版センター, 東京 (1980).
- 54) 川井一之: 省エネルギーと農業, 1~216, 明文書房, 東京 (1980).
- 55) 河村 治: 畜産公害対策全書, 檜垣繁光監修, 52年度版, 10~21, 鶏卵肉情報センター, 名古屋(1977).
- 56) KHALEEL, R., REDDY, K. R. and OVERCASH, M. R.: *Water Res.*, 14, 421~436 (1980).
- 57) 児島俊弘: 農業総合研究, 29, 33~68 (1975).
- 58) KORNEGAY, E. T., HOLLAND, M. R., WEBB, K. E. Jr., et al.: *J. Anim. Sci.*, 54, 608~619 (1977).
- 59) 小菅孝利, 河野 広, 木俣 勲, ほか: 別枠研究「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書, 第6集, 家畜排泄物の処理利用技術の開発, 210~214, 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京 (1979).
- 60) 窪田大作, 安藤幹男, 山崎昌良, ほか: 家禽会誌, 14, 240~243 (1970).
- 61) 窪田大作, 山崎昌良, 安藤幹男, ほか: 別枠研究「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書, 第6集, 家畜排泄物の処理利用技術の開発, 499~502, 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京 (1979).
- 62) 熊田恭一: 土壌環境, 133~166, 学会出版センター, 東京 (1980).
- 63) 桑名 隆, 福森 功: 施設農業への新エネルギー利用(太陽・風編), 大森豊明ら編, 446~476, フジテクノシステム, 東京 (1980).
- 64) LAMM, W. D., WEBB, K. E. Jr. and FONTENOT, J. P.: *J. Anim. Sci.*, 48, 104~110 (1979).
- 65) LUCAS, D. M., FONTENOT, J. P. and WEBB, K. E. Jr.: *J. Anim. Sci.*, 41, 1480~1486 (1975).
- 66) 松崎敏英: 土肥誌, 49, 429~440 (1978).
- 67) 松崎敏英: 家畜ふん尿の利用と処理, 1~192, 農文協, 東京 (1979).
- 68) McCASKEY, T. A. and ANTHONY, W. B.: *J. Anim. Sci.*, 48, 163~177 (1979).
- 69) MEYNELL, PETER-JOHN: *Mathane: Planning a Digester*, 1~150, Shocken Books, New York (1976).

- 70) 美斉津康民：畜産の研究，30，165～170 (1976).
- 71) 宮崎 昭，石田元彦：畜産の研究，33，247～253 (1979).
- 72) 中西 弘，浮田正夫：水質汚濁研究，2，133～151 (1979).
- 73) 中西 勇：微生物と資源，6 (2)，43～55 (1981).
- 74) 日本化学会：化学便覧 応用編，第2版，1109，丸善，東京 (1966).
- 75) 西村一三：畜産公害対策全書，檜垣繁光監修，54年度版，74～93，鶏卵肉情報センター，名古屋 (1979).
- 76) 西中啓二：畜産公害対策全書，檜垣繁光監修，54年度版，20～28，鶏卵肉情報センター，名古屋 (1979).
- 77) 野村博久：畜産の研究，30，192～198 (1976).
- 78) 農林省畜産局：家畜排せつ物の処理・利用の手引き，1～213，中央畜産会，東京 (1978).
- 79) 農林水産技術情報協会：メタンガス利用の新技術，1～127，農林水産技術情報協会，東京 (1980).
- 80) 農林水産省畜産試験場：家畜ふん尿処理利用試験研究打合せ会議資料，69～81 (1981).
- 81) 農林水産省統計情報部：農林水産業における省エネルギー事例集，61～71，農林統計協会，東京 (1981).
- 82) 農村生活総合研究センター：くらしとメタンガス，1～126，農村生活総合研究センター，東京 (1981).
- 83) 尾形 保：環境汚染と農業，渋谷政夫ら著，171～234，博友社，東京 (1975).
- 84) 尾形 保：畜産の研究，30，195～198 (1976).
- 85) 尾形 保：畜産の研究，30，271～274 (1976).
- 86) 尾形 保，畠中哲哉，河江教治，ほか：別枠研究「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書，第6集，家畜排泄物の処理利用技術の開発，97～106，農林水産省農林水産技術会議事務局，東京 (1979).
- 87) 尾形 保：畜産公害対策全書，檜垣繁光監修，54年度版，138～150，鶏卵肉情報センター，名古屋 (1979).
- 88) 小野二良：メタンガス利用の理論と実際，1～271，文雅堂書店，東京 (1963).
- 89) PEARCE, G. R.: *Agric. Wastes*, 1, 223～236 (1979).
- 90) 佐野 修：畜産の研究，30，159～164 (1976).
- 91) SCHLESINGER, M. D., SANNER, M. S. and WOLFSON, D. E.: *Symposium: Processing Agricultural and Municipal Wastes*, INGLET, G. E., editor, 93～100, AVI, Westport, CT (1973).
- 92) SINGH, R. B.: *Biogas Plant, Generating Methane from Organic Wastes*, 1～103, Gobar Gas Research Station, Ajitmal, Etawah (U. P.), India (1974).
- 93) SMITH, L. W. and WHEELER, W. E.: *J. Anim. Sci.*, 48, 144～156 (1979).
- 94) STAFFORD, D. A., HAWKES, D. L. and HORTON, R.: *Methane Production from Waste Organic Matter*, 1～285, CRC Press, Boca Raton, FL (1980).
- 95) STAPLES, C. R., FAHEY, G. C. JR., RINDSIG, R. B., et al.: *J. Dairy Sci.*, 64, 662～671 (1981).
- 96) SUTTLE, N. F., MUNRO, C. S. and FIELD, A. C.: *Anim. Prod.*, 26, 39～45 (1978).
- 97) 田名部雄一：畜産公害対策全書，檜垣繁光監修，52年度版，86～94，鶏卵肉情報センター，名古屋 (1977).
- 98) 田中 博，小瀬洋喜，本多淳裕：悪臭防止技術マニュアルⅠ，環境庁大気保全局特殊公害課編，15～116，公害対策技術同友会，東京 (1978).
- 99) 田中 博：日畜会報，50，759～767 (1979).
- 100) 田中宏幸：畜産の研究，30，217～221 (1976).
- 101) 東京大学設計問題研究会：養豚の友，129，10～16 (1979).
- 102) 渡辺鉄四郎：畜産の研究，30，137～142 (1976).
- 103) 渡辺鉄四郎：畜産の研究，30，288～294 (1976).
- 104) WHITE, R. K. and TAIGANIDES, E. P.: *Livestock Waste Management and Pollution Abatement, Proc. Int. Symp. Livestock Wastes*, 1971, 190～191, 194, ASAE, St. Joseph, MI (1971).
- 105) 八木満寿雄：畜産の研究，30，115～118 (1976).
- 106) 八木満寿雄：畜産の研究，30，267～270 (1976).
- 107) 山口和光：日本の養豚，370，56～62 (1982).
- 108) 横山哲夫：研究ジャーナル，5 (4)，19～24 (1982).
- 109) 吉田條二，中村亮八郎，末光恵三：茨大農学術報告，24，73～77 (1976).
- 110) 吉田修作：養鶏の友，229，13～19 (1981).
- 111) 全国農業改良普及協会普及情報センター：農家生活省エネルギー事例集，21～32 (1981).