

3.3. 畜産系循環資源

本節では畜産系循環資源（家畜ふん尿）の循環に関して、畜産系循環資源をめぐる現状、畜産系資源の循環に関わる特性要因図および循環システムビジョンの作成、現状および循環システムビジョンに基づいた畜産系資源循環フロー図の作成、循環システムビジョンを構成する各技術システム、そして最後に現状および近未来の資源循環対策の有無における家畜ふん尿処理の環境影響評価について、各項において説明した。また、最後にまとめとして一項設けた。

3.3.1. 畜産系循環資源をめぐる現状

(1) 畜産系循環資源の概要

畜産系循環資源とは、畜産物の生産に伴い発生する、家畜排せつ物（家畜ふん尿）のことである。廃棄物系バイオマス的一种であり、2008年時点での量は約8700万トン、約3億4000万トンと言われる我が国バイオマス資源の全体量のおよそ4分の1を占めている。家畜には羊や山羊、水牛なども含まれるが、ふん尿量を推定するための正確なデータが得られないこと、量的に非常に少なく無視しても総量に対する影響が小さいことから、ここでは乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏、ブロイラーの5畜種のみを対象としている。なお、鶏については本来「家禽」と表記すべきであるが、表記の簡略化のため本稿では家畜・家禽の区別をせず全て「家畜」と表記する。

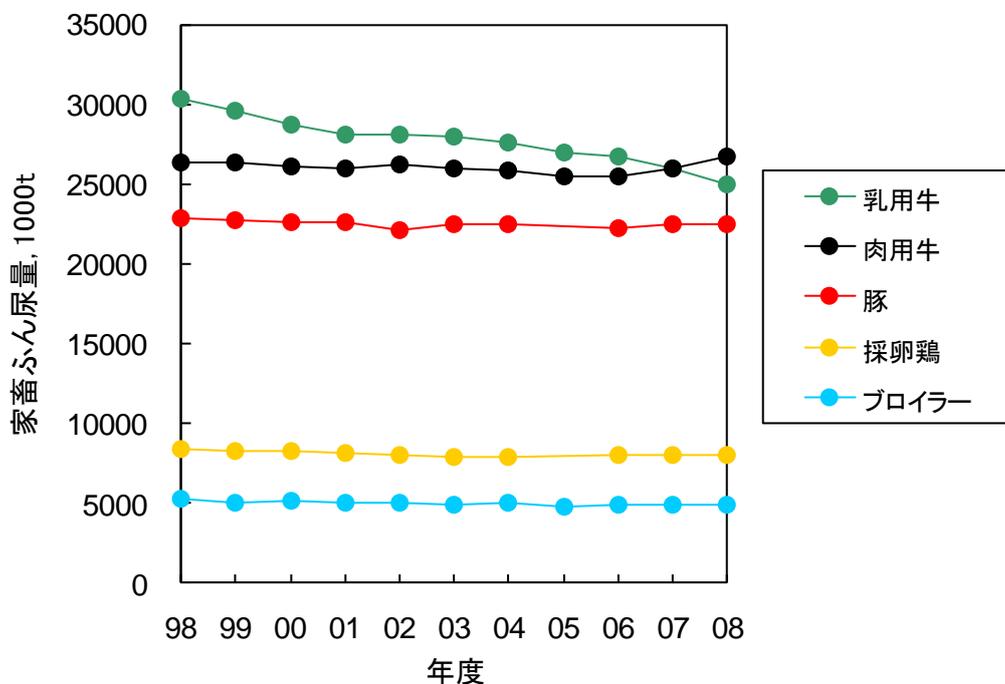


図 3.3.1 各畜種における家畜ふん尿量の推移

(2) 近年の資源量の推移および飼養頭数の地域分布

まず資源の量についてであるが、家畜ふん尿量は当然家畜飼養頭数に比例し、家畜頭数の増減の影響を直接受ける。図 3.3.1 に、近年の各畜種におけるふん尿量の推移を示す。我が国の家畜頭数は戦後 1990 年代まで一貫して増加しピークに達したが、全体的な傾向としてここ 10 年ほどは漸減傾向にある。畜種ごとに見てみると、肉用牛がここ数年の増頭により 10 年前の頭数を維持している一方で、乳用牛の減少度合いが大きい。肉用牛生産や養豚では、戸数が減少する一方で経営を続ける農家が大規模化することで頭数が維持されているが、労力のかかる酪農経営においては経営が良好な農家でも大規模化が容易ではないことが影響しているものと考えられる。全ての畜種を合計すると、2008 年における家畜ふん尿量は 10 年前と比較して 93%となっている。

各地域における家畜飼養数を表 3.3.1 に示す。乳用牛は北海道、肉用牛は九州、豚は東北、関東・東山、九州、採卵鶏は関東・東山、肉鶏（ブロイラー）は九州、東北というように飼養頭数は畜種ごとに地域により偏りがある。また、上でも少し触れたが飼養戸数に関しては、近年いずれの畜種においても減少している。

表 3.3.1. 都道府県別の家畜飼養数（平成 20 年 2 月）

農業地域	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏成 (6か月以上)	食肉若鶏 (H19)
全 国	1,533,000	2,890,000	9,745,000	142,523	618,869
都 府 県	713,300	2,379,000	9,194,000	136,310	589,092
北 海 道	819,400	511,300	550,600	6,213	29,777
東 北	132,700	414,700	1,653,000	19,245	151,521
北 陸	20,400	24,400	294,900	7,847	4,864
関 東・東 山	229,300	339,000	2,577,000	34,299	29,620
東 海	70,000	152,500	745,500	21,589	19,649
近 畿	40,300	93,900	69,600	8,244	20,485
中 国	56,500	139,500	238,600	15,899	36,646
四 国	27,000	72,900	334,700	7,755	34,284
九 州	131,900	1,058,000	3,043,000	20,270	288,888
沖 縄	5,110	84,000	236,900	1,162	3,135

資料：農林水産省，畜産統計H20

(3) 家畜ふん尿の処理・利用方法

家畜ふん尿の処理・利用方法については、2004 年に完全施行された「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（家畜排せつ物法）により、かつての野積み・素掘り等の不適切な処理は違法となり、禁止された。現在では、管理基準適合率はほぼ 100% となっており、必要最低限の対応はすでになされているが、全てが適正に処理した後に資源化され肥料として有効利用されている状況にまでは達していない。主要な処理法は、ふん（固液分離後の固分）あるいはふん尿混合物を原料とした堆肥化であり、乾燥、ふん尿混合のスラリー処理なども用いられる。エネルギー化として、主としてブロイラーふんを原料とする焼却による熱・電力利用、メタン発酵による熱・電力利用なども増えつつある。

またこれらの処理・利用方法においては、焼却では焼却灰、メタン発酵では消化液という処理残さを肥料として利用可能である。

液分については、発生量とそれを還元する土地のバランスが取れていれば液肥化されるが、特に養豚で多く見られるように量が多くしかも自家所有の耕作地を保有しないため液肥化できない場合は、浄化処理を行って放流することとなる。図 3.3.2 に家畜ふん尿処理の一例を示す。



図 3.3.2. 家畜ふん尿処理の一例

表 3.3.2. 飼料需給の現状

(単位：TDN千トン)

区 分		H17	H18	H19 (概算)		
需 要 量		A	25,164	25,249	25,286	
供 給 量 (消 費)	国産粗飼料	B	4,197	4,229	4,277	
	国内濃厚飼料	国産原料	C	2,214	1,967	2,047
		輸入原料	D	3,842	3,960	3,770
		小計	E	6,056	5,927	5,817
	計 (B + E) =	F	10,253	10,156	10,094	
	輸入粗飼料	粗飼料	G	1,288	1,271	1,235
		濃厚飼料	H	13,623	13,822	13,957
		小計	I	14,911	15,093	15,192
	供給計	粗飼料 (B + G) =	J	5,485	5,500	5,511
		濃厚飼料 (E + H) =	K	19,678	19,749	19,775
合計		A	25,163	25,249	25,286	
飼料自給率	純国内産飼料自給率 (B+C)/A × 100		25	25	25	
	純国内産粗飼料自給率 B/J × 100		77	77	78	
	純国内産濃厚飼料自給率 C/K × 100		11	10	10	

(資料) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課

- (注) 1. TDN (可消化養分総量) とは、エネルギー含量を示す単位で飼料の実量とは異なる。
 2. 供給量の国内産の濃厚飼料のうち「国産原料」とは、国内産に由来する濃厚飼料 (国内産飼料用小麦・大麦等) であり、輸入食料原料から発生した副産物 (輸入大豆から搾油した後発生する大豆油かす等) を除いたものである。

(4) 畜産を取り巻く現状：飼料

飼料自給率および飼料価格

現在のわが国の飼料自給率（純国内産飼料自給率 = (粗飼料+国産原料の濃厚飼料)/需要量）は、平成 17 年度から 25% といった低水準で推移しており（表 3.2.2）、政府は平成 27 年度にこの 25% を 35% とする目標を設定している。飼料高騰については、平成 18 年秋以降、燃料用エタノール生産向け需要増加によりトウモロコシ価格が上昇したこと等から、配合飼料価格は、12 年 10 月の 33 千円/t から、20 年 10 月には 68 千円にまで上昇した。その後、価格は下落したが、22 年現在 52 千円程度に留まっている。

畜産経営におけるコスト構造

畜産経営では、コストに占める飼料費の割合が高い。現在の飼料価格高騰が始まった 2006 年、肉牛繁殖や肉牛肥育では、農機具や動物（肥育素牛）の費用負担が大きいこと等から 3 割程度と比較的低いが、酪農では 4 割強、養豚や養鶏では 6 割以上を飼料費が占めている（表 3.2.3）。前述のように、配合飼料の価格は穀物の国際価格や海上運賃の上昇により高騰しており、2007 年には 2006 年前半に比べて 2 割上昇した。これを反映させると畜産物の生産コスト全体も 5~15% 上昇すると試算されている（食料・農業・農村白書 平成 20 年度版）。飼料価格の高騰による畜産経営の悪化については、安定価格を引き上げるなど、国で緊急対策を実施している。

表 3.3.3. 畜産の経営収支の動向 (2006 年、全国、一戸あたり部門別)

区分	酪農		繁殖牛		肥育牛		養豚		採卵養鶏		ブロイラー養鶏	
	金額 (万円)	比率 (%)										
収入 (A)	3,095	—	403	—	3,919	—	4,240	—	3,183	—	7,742	—
経営費 (B)	2,744	100.0	276	100.0	3,437	100.0	3,518	100.0	2,884	100.0	7,106	100.0
動物	416	15.2	45	16.2	1,828	53.2	186	5.3	338	11.7	1,167	16.4
飼料	1,188	43.3	88	32.0	1,110	32.3	2,246	63.9	1,844	63.9	4,637	65.3
光熱動力	122	4.4	13	4.6	49	1.4	176	5.0	84	2.9	281	3.9
所得 (A-B)	350	—	127	—	482	—	722	—	298	—	636	—
飼養頭羽数 (頭、羽)	38		10		90		743		11,761		167,813	

資料：農林水産省「農業経営統計調査（個別経営の営農類型別経営統計）」

注：1) 収入及び経営費は、各部門の数値

2) 飼養頭羽数は、酪農は搾乳牛、繁殖牛は繁殖めす牛、肥育牛は肥育牛、養豚は肥育豚、採卵養鶏は採卵鶏の月平均飼養頭羽数、ブロイラー養鶏はブロイラー販売羽数

出典：農林水産省編、平成 20 年度食料・農業・農村白書

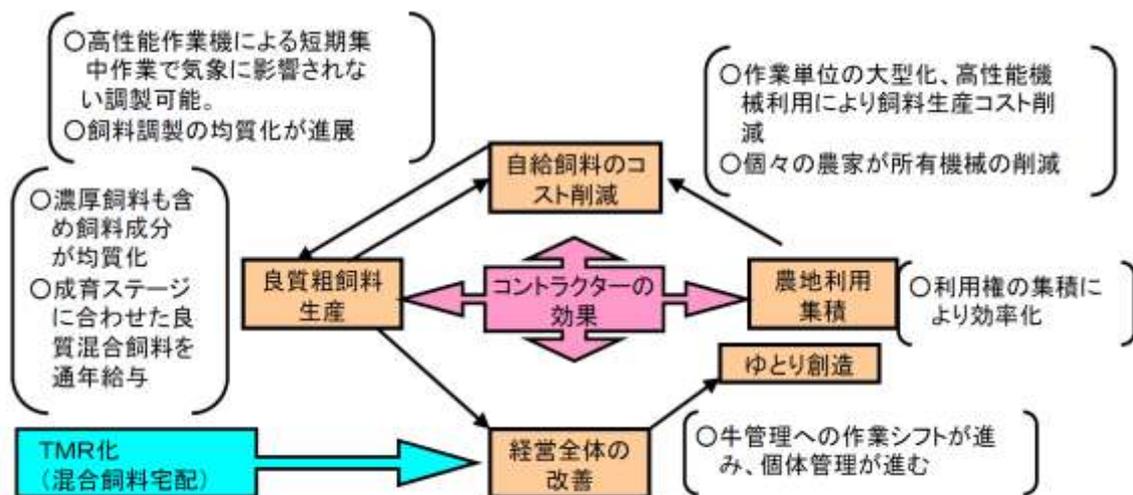
エコフィード

低い水準に留まる飼料自給率の向上と飼料価格高騰への対応として、食品残さから製造

される飼料（エコフィード）が飼料自給率向上のために期待されている。しかし、現状では食品産業からの食品残さ年間 1,135 万トン(平成 18 年度推計値)のうち約 22 %が飼料として利用されるにとどまり、飼料化の余地は大きい。エコフィードについては現在、研究と実用化が同時並行で進められている（大森ら、2008、川島、2007、2010）。また、エコフィードは乾燥飼料と液状（リキッド）飼料に大別されるが、液状飼料化は食品残さ・廃棄物を焼却廃棄して輸入飼料を利用する場合に比べ温室効果ガス（GHG）発生量等環境影響を大きく低減することが明らかにされている（Ogino ら、2007、菱沼ら、2010）。また、エコフィードに代表されるように飼料高騰は循環資源飼料化の契機になっており、トウモロコシのエタノール残渣（DDGS）等も今後利用が増加するものと考えられる。

	H12年度	H19年度
組織数（全国）	180組織	479組織
北海道	77	172
九州	48	126
利用農家数（全国）	14,973戸	20,376戸
北海道	3,249	8,172
九州	6,665	7,348
受託面積（全国）	62,581ha	118,270ha
北海道	51,869	104,912
九州	3,737	3,570

* 受託面積は飼料収穫作業の受託面積



出典：主な飼料品目の取組状況，農林水産省，生産局畜産部，平成 21 年 3 月

図 3.3.3. コントラクターの概要と飼料生産の外部化による効果

コントラクターの利用

飼養規模拡大や高齢化の進展による飼料生産労働力不足に対応するため、飼料生産組織やコントラクターに委託することによる労働負担の軽減及び飼料生産作業の効率化・低コスト化の動きがある（図 3.3.3）。コントラクター組織数は増加しているものの、北海道と九州に多いなど地域的な偏りも見られる。また、生産された粗飼料を主体とした TMR（Total Mixed Ration：完全混合飼料）を畜産経営に供給するための TMR センターも数が増加しており、上述のエコフィードを TMR で活用する事例も増えてきている。

(5) 畜産を取り巻く現状：畜産物の自給率と需要

畜産の産出額および自給率

畜産は日本の農業の基幹の一つで、その産出額は農業総産出額の約 3 割となっている。近年の推移をみると、農業総産出額が減少傾向にある中、畜産産出額は平成 13－19 年において現状を維持している。また重量ベースの自給率は、牛乳・乳製品で 66%、肉類で 56%、鶏卵で 96%となっており、近年は牛乳・乳製品および鶏卵は横ばい、肉類は微増である（表 3.3.4）。

表 3.3.4. 畜産物自給率の推移

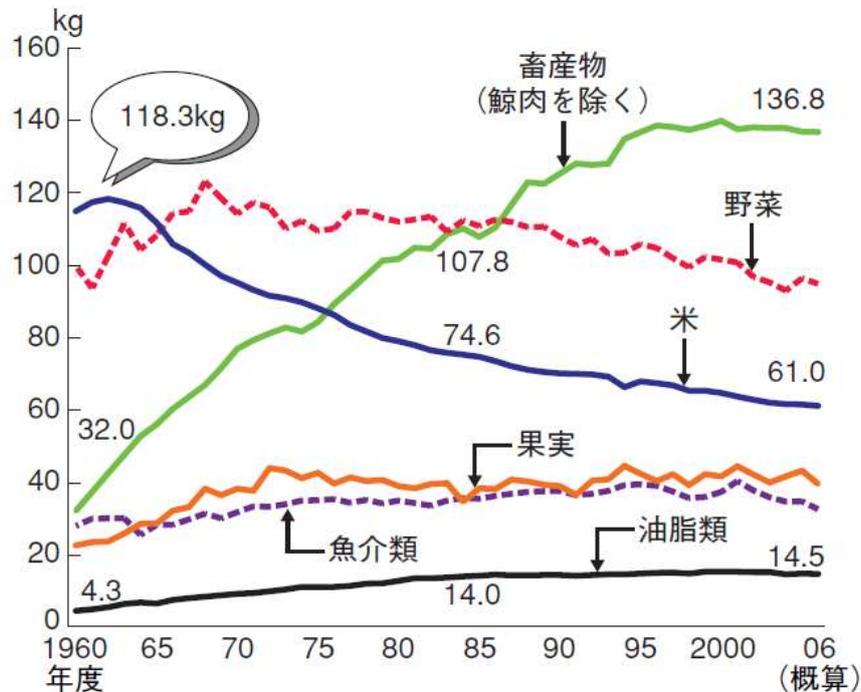
○畜産物自給率の推移		(単位：%)										
区分／年度	昭和50	60	平7	12	13	14	15	16	17	18	19(概算)	
牛乳・乳製品	81	85	72	68	68	69	69	67	68	67	66	
肉類(計)	77	81	57	52	53	53	54	55	54	56	56	
牛肉	81	72	39	34	36	39	39	44	43	43	43	
豚肉	86	86	62	57	55	53	53	51	50	52	52	
鶏肉	97	92	69	64	64	65	67	69	67	69	69	
鶏卵	97	98	96	95	96	96	96	95	94	95	96	

資料：農林水産省「食料需給表」

出典：畜産の動向, 農林水産省生産局畜産部畜産課, 平成 21 年

畜産物の需要

図 3.3.4 に示した品目別の食料消費量によれば、米は 1962 年度のピーク時から 2006 年度には半減している。一方、畜産物と油脂類の消費量は大きく増加し、1960 年度と比べそれぞれ 4.3 倍、3.4 倍にまで増加しているが、直近 10 年はほぼ一定である。（農林水産省編、食料・農業・農村白書 H20）



資料：農林水産省「食料需給表」

注：1) 国民1人1年当たりの消費量は、国民1人1年当たりの供給純食料

2) グラフ中の数値は、米、畜産物、油脂類の1960年度、1985年度、2006年度の数値

出典：農林水産省編、平成20年度食料・農業・農村白書

図 3.3.4. 国民1人一年当たりの品目別消費量の推移

3.3.2. 特性要因図および循環システムビジョンの作成

(1) 特性要因図の作成

前項で検討した家畜ふん尿およびその供給主体である畜産業をとりまく現状の分析結果から、畜産系循環資源を取りまく諸要因の関連を明らかにし、近未来の循環資源の発生と需要について特性要因図の形にまとめた。図 3.3.5 に畜産系循環資源発生側に焦点を当てた特性要因図を、図 3.3.6 にその需要側に焦点を当てた特性要因図を、そして図 3.3.7 に発生側および需要側の両方を含め主要な要因のみで構造化した特性要因図を示す。

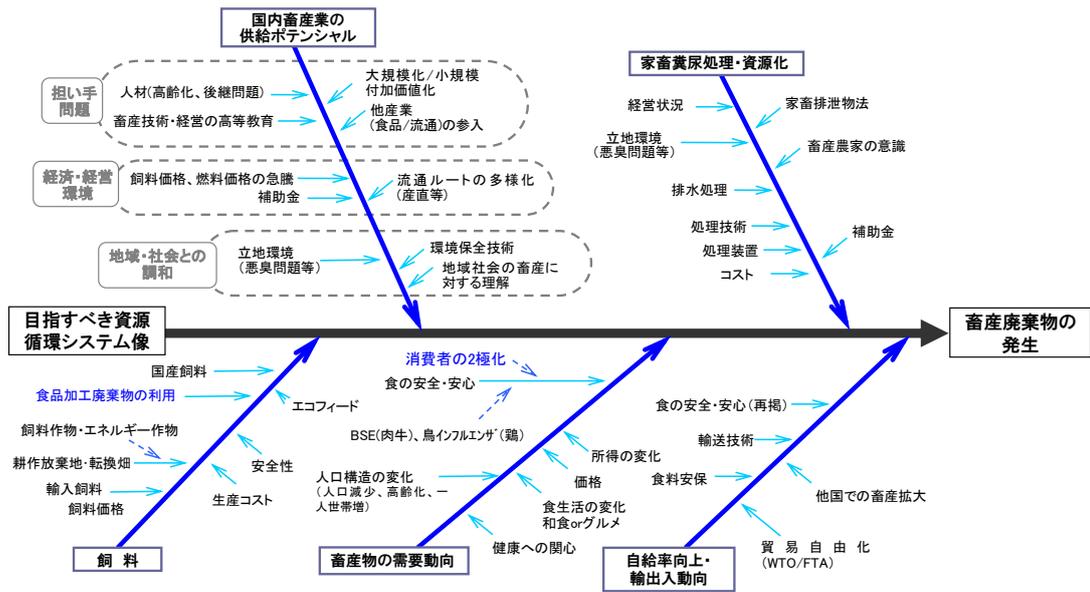


図 3.3.5. 近未来の畜産廃棄物循環システムづくりにおける要因関連図(発生側)

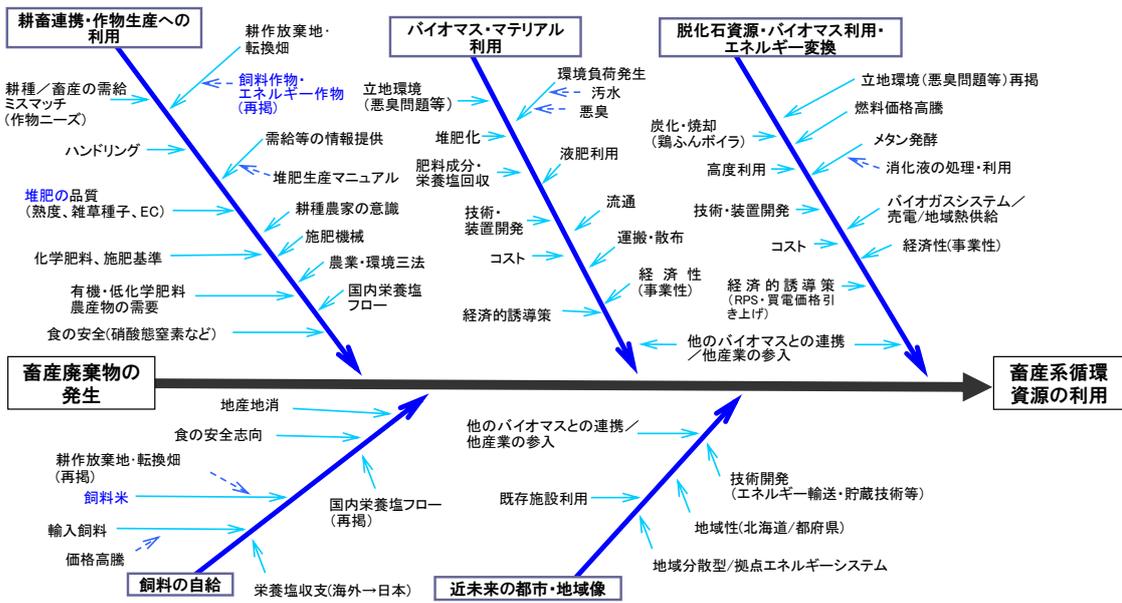


図 3.3.6. 近未来の畜産廃棄物循環システムづくりにおける要因関連図 (需要側)

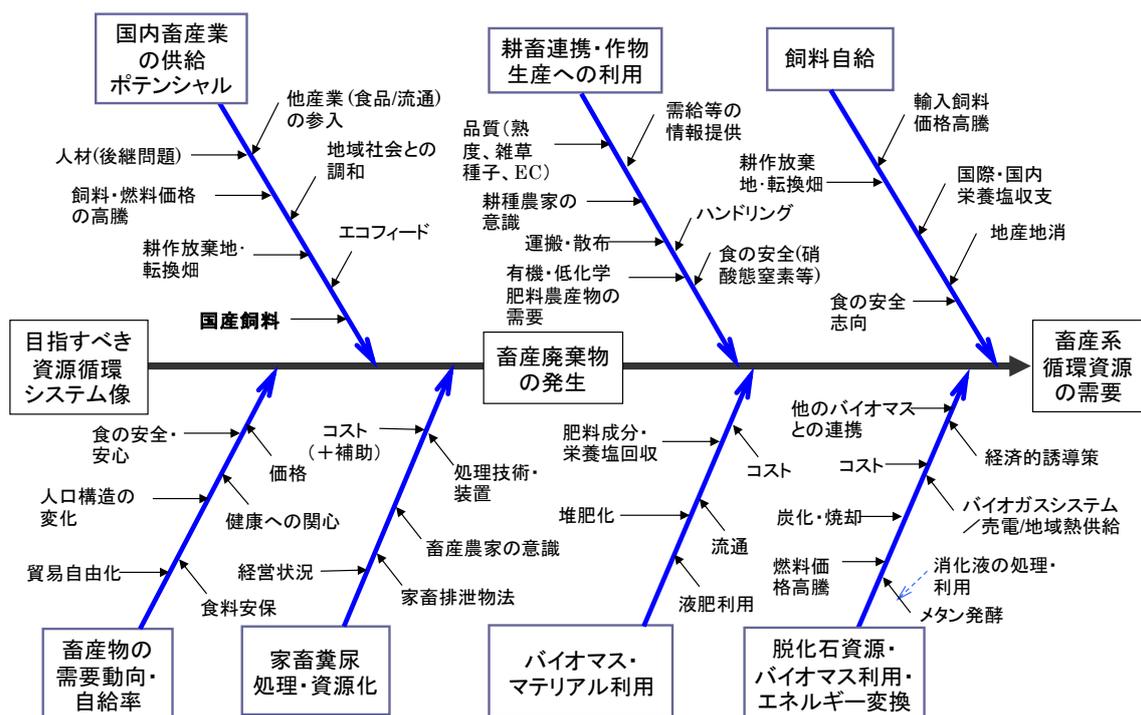


図 3.3.7. 近未来の畜産系循環資源の発生と需要に関わる特性要因図

国内畜産業の供給ポテンシャルについては、担い手不足や経営環境の悪化から畜産農家戸数は減少している一方で、個々の農家の大規模化が進行しており、農業生産法人や食品・流通等他産業の参入は今後増加するものと推察される。飼料自給率が 25%（平成 19 年度）の我が国畜産業は飼料の多くを輸入に頼っており、近年の飼料価格高騰は経営に大きな影響を与えることから、自給飼料生産の増大が求められている。高齢化や労働力不足に対応し飼料生産作業の効率化・低コスト化を図るため、コントラクター等への作業の外部委託および TMR（混合飼料宅配）の利用が増加している。食品循環資源の項で取り上げられている食品残さの飼料化（エコフィード）も輸入飼料への依存を低減する手段として期待されている。地域・環境に配慮した生産を行うことは畜産業のみならず全ての産業において必須であるが、家畜ふん尿処理等の新規施設の導入あるいは既存施設の改良はコストの増加を招くことは避けられず、短期的には経営圧迫要因となる。

畜産物の需要動向には、人口構造の変化が最も大きな影響を与えられとされる。自給率という視点から考えると、食の安全・安心の観点からの国産畜産物への需要の高まりに対し、食品・外食産業における輸入畜産物の利用の増加などがせめぎあう状況ではないかと考えられる。

一方、畜産循環資源の需要についてであるが、飼料生産は家畜ふん尿由来肥料の最大の需要先であるため、先に述べた自給飼料生産の増大は需要増加の大きな要因である。また、有機・環境保全型農業の拡大も家畜ふん尿由来肥料の需要増加の大きな要因である。ただし、耕種農業においてふん尿由来肥料利用をより拡大するには、完熟等肥料の品質確保、需給のマッチング、散布作業の軽労化、作物の質を維持するための適切な施肥量の遵守な

どが不可欠となる。燃料高騰に端を発する再生エネルギー利用拡大は、メタン発酵や炭化・焼却によるエネルギー利用の需要増加の要因である。

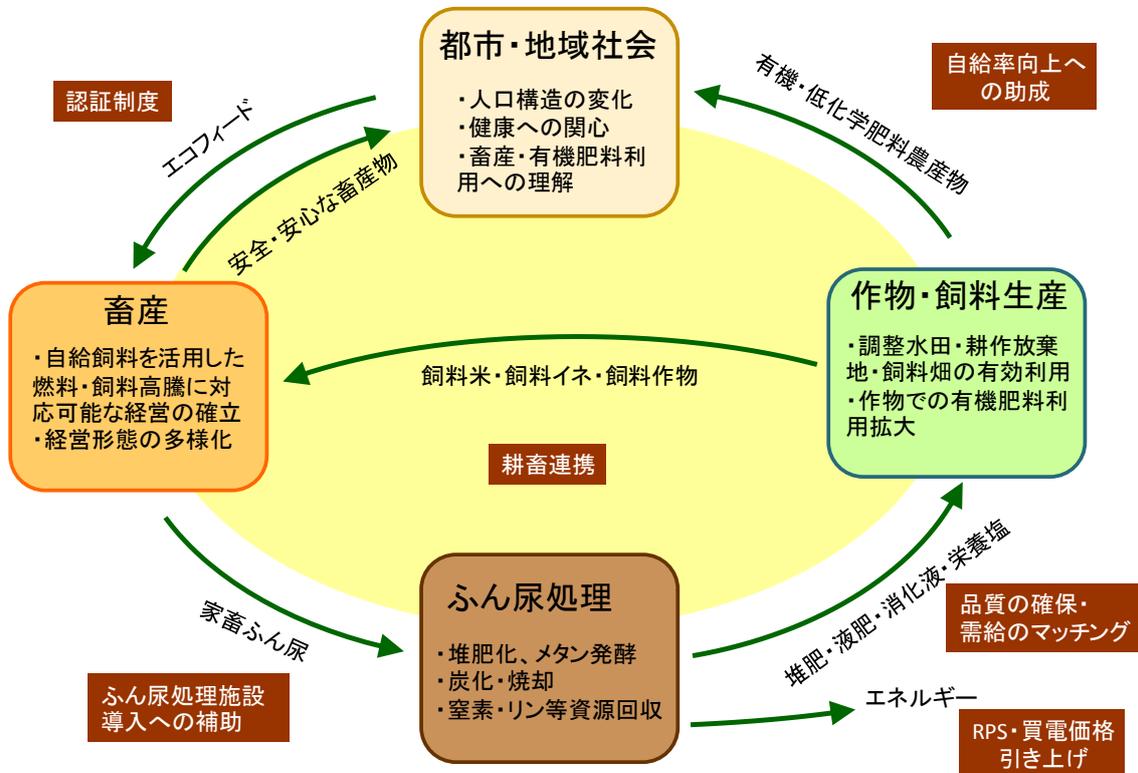


図 3.3.8. 近未来の畜産系資源循環システムビジョン

(2) 畜産系資源循環システムビジョンの作成

(1)で作成した特性要因図をもとに、畜産、家畜ふん尿処理、作物・飼料生産、都市・地域社会をつなぐ循環の姿とそれを実現するためのキーとなる要因・施策を概略化した近未来の畜産系資源循環システムビジョンを作成した（図 3.3.8）。

畜産においては、燃料・飼料価格高騰に対応可能な自給飼料を活用した経営の確立、経営形態の多様化等が重要となる。そこから発生する家畜ふん尿は、ふん尿処理施設導入への補助を有効活用し、堆肥化の他、メタン発酵、炭化・焼却、窒素・リン回収といった積極的に資源・エネルギーを活用する方向で処理を行うようにする。エネルギー利用の増加には、経済的誘導策としてバイオマス発電に対する RPS の導入や買電価格引き上げが必要であり、また消化液の有効利用の可能性が前提となる。堆肥、液肥、消化液等の各種有機肥料および回収した窒素・リンなどの栄養塩は作物生産において作物での有機肥料利用拡大、また飼料生産において飼料畑の他、生産調整水田、耕作放棄地の有効利用により使用される。そのためには、作物生産における使用では品質の確保および需給のマッチングが必要であり、飼料生産での使用では自給率向上への助成が利用を促進すると考えられる。生産された飼料イネならびにその他飼料作物は畜産において、有機・低化学肥料農産物（環

環境保全型農産物) は都市や地域社会において消費される。人口構造の変化、健康への関心、畜産・有機肥料利用への理解等の要因は、自給飼料利用畜産物および有機・環境保全型農産物の需要に影響を与える。

3.3.3. 現状および循環システムビジョンに基づいた畜産系資源循環フロー図の作成

上で述べたように、昨年度に近未来畜産系資源循環システムビジョンの作成を行った。これは概念的なものであるため、循環ビジョンに基づいた近未来畜産系資源循環システムにおける物質フローを定量化するための第一段階として、循環ビジョンをもとに具体的なプロセスツリー図を作成した。作成したプロセスツリー図を図 3.3.9 に示す。

循環ビジョンに合わせ、畜産、ふん尿処理、飼料・作物生産、都市・地域社会の4つの大プロセスに区分し、その中を細分化して物質フローの流れに沿うようツリーを作成した。資源である家畜ふん尿は一つのプロセスと矢印にまとめられているが、実際には畜種および処理法により、固形分離されたふんおよび尿、あるいはふん尿混合物という異なる形でふん尿処理に供される。それぞれの処理法により生産された肥料は飼料・作物生産で用いられるが、これも肥料の性質に応じて肥料効果や適する作物が異なることに注意が必要である。飼料・作物生産では、農作物・飼料作物の他、近年生産が増加しつつある稲発酵粗飼料(飼料イネ)および飼料米も含めた。

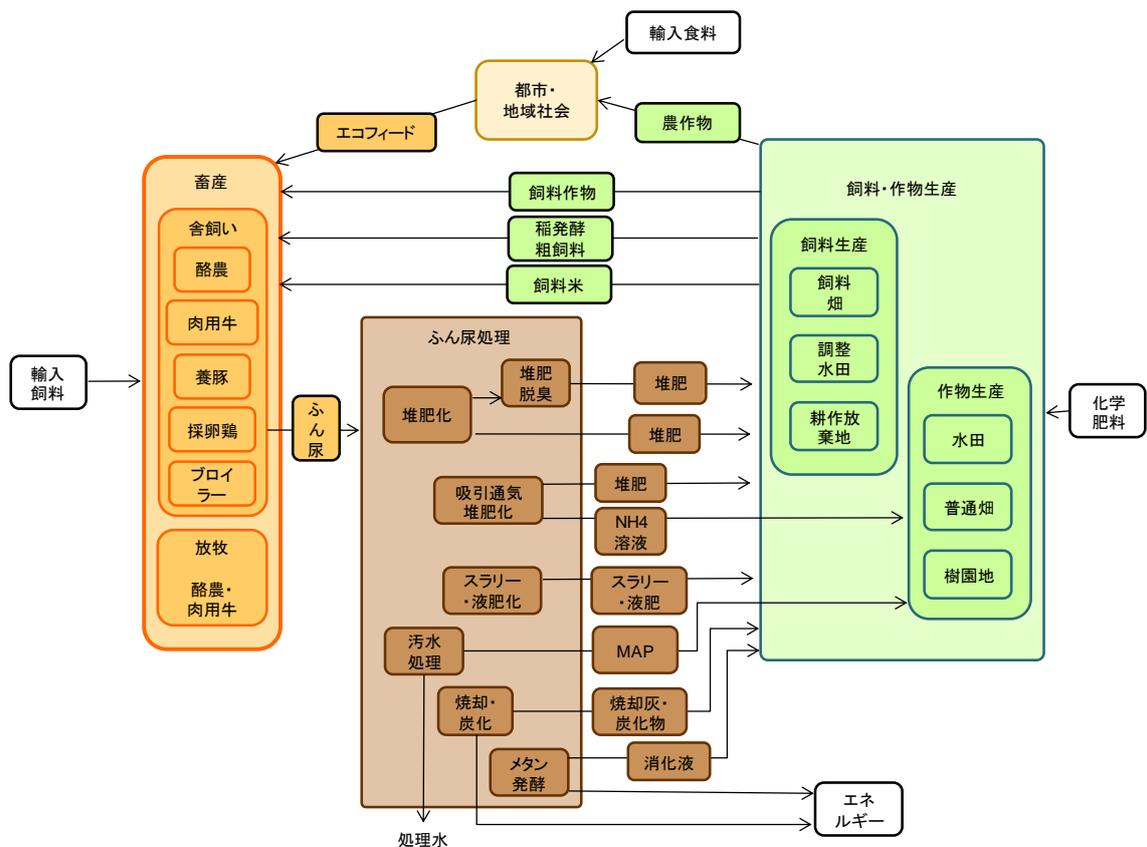


図 3.3.9. 近未来畜産系資源循環システムのプロセスツリー図

近未来畜産系資源循環システムの物質フローを調べる前に、比較対象となる現状の循環システムについても同様にプロセスフロー図を作成し、まずはこれの定量化を試みた。統計データおよび文献値を基に、家畜排せつ物の発生量、各処理方法向け家畜排せつ物量、得られる畜産系資源量、化学肥料消費量、農作物・飼料作物生産量を都道府県レベルで定量化した。具体的には、畜種ごとの家畜頭数は平成 20 年度の畜産統計（農林水産省、2009a）の値を用い、家畜排せつ物量の物質質量および栄養塩量の原単位は「家畜ふん尿処理・利用の手引き」（畜産環境整備機構、1997）の値を用い、家畜頭数に原単位を乗じて家畜排せつ物量を求めた。また家畜排せつ物の処理に際しては、排せつ物のみで行う場合に加え、畜舎から同時に排出される敷料あるいは処理を進行させるための副資材と混合して行われる場合も多い。その敷料および副資材の使用量は畜産物生産費（農林水産省、2008）および「家畜ふん尿処理・利用の手引き」から推計した。各畜種におけるふん尿処理方法別割合は農林水産省による調査結果（農林水産省、1997、畜産技術協会、1999）を用い、家畜ふん尿をその割合に応じて配分した。ただし、宮崎県については家畜ふん尿処理割合に関する調査を行った報告がなされているため、その値を用いた（関戸ら、2007）。

表 3.3.5. 家畜生産の各過程における窒素揮散割合

	ふん尿処理方式	畜舎からの揮散	処理時揮散割合	散布時揮散割合
乳牛	混合・堆肥化	4.5%	13.7%	0
	混合・スラリー	10.3%	10.8%	13.3%
	分離(ふん)	10.3%	1.9%	0
	分離(尿)	10.3%	10.8%	0
肉牛	混合・堆肥化	6.4%	13.7%	0
	混合・スラリー	6.4%	10.8%	13.3%
	分離(ふん)	6.4%	1.9%	0
	分離(尿)	6.4%	11.0%	0
豚	混合・堆肥化	15.8%	24.2%	0
	混合・スラリー	14.7%	25.0%	0
	分離(ふん)	14.7%	19.7%	0
	分離(尿)	14.7%	5.0%	0
鶏	堆肥化・堆積	8.4%	42.0%	0
	堆肥化・通気	8.4%	20.2%	0

原料である家畜ふん尿中に含まれる窒素成分は、ふん尿処理過程において起こる分解、酸化、還元等の生物学的反応により様々な化合物へと変化し、その一部はアンモニアや亜酸化窒素として揮散するため、全てが利用可能なわけではない。窒素揮散分については、實示戸ら（2003）が報告している値を現状に合わせて一部修正したのを用い、排泄窒素量から差し引いた。用いた窒素揮散割合を表 3.3.5 に示す。一方、リンおよびカリウムに関しては処理過程で失われないものとした。水田、畑等の耕地面積は農林水産統計から求め、耕作放棄地面積は農林業センサス（農林水産省、2007）の値を用いた。作物の生産量につ

いては、普通作物、野菜、果樹、飼料作物、工芸農作物に関するそれぞれの統計（農林水産省、2009b）の値を用いた。化学肥料消費量については、全国消費量に対する各県消費量の割合を肥料成分ごとに肥料年鑑（肥料協会新聞部、2009）から推計し、これをポケット肥料要覧（農林水産省消費・安全局、2009）の消費量に乗じて求めた。

作成した現状の循環システムにおける物質フローを図 3.3.10 に示す。プロセスツリーは図 3.3.9 の近未来資源循環システムのものに比べ、吸引通気堆肥化等の新技術が入っていない分、シンプルなものとなっている。畜産プロセスにおいて発生した 60,000Gg のふんと 28,000Gg の尿、そして 3,200Gg の敷料・副資材がふん尿処理プロセスに移行する。これらがふん尿処理プロセスにおいて処理され、肥料となり飼料・作物生産プロセスで用いられる。それらの量は、堆肥として窒素：350Gg、リン：92Gg、カリウム：160Gg であり、その他、スラリー・液肥あるいは焼却灰・炭化物として 8～71Gg の各肥料成分が得られる。敷料・副資材は、投入量としては家畜ふん尿の約 4%であったが、窒素およびリン含量は小さいため、それぞれの成分量としては 1%以下であった。一方、化学肥料として窒素：450Gg、リン酸：470Gg、カリ：350Gg が投入される。これらをもとに、460 万ヘクタールの耕地において 35,000Gg の飼料作物と 37,000Gg のそれ以外の農作物が生産されている。

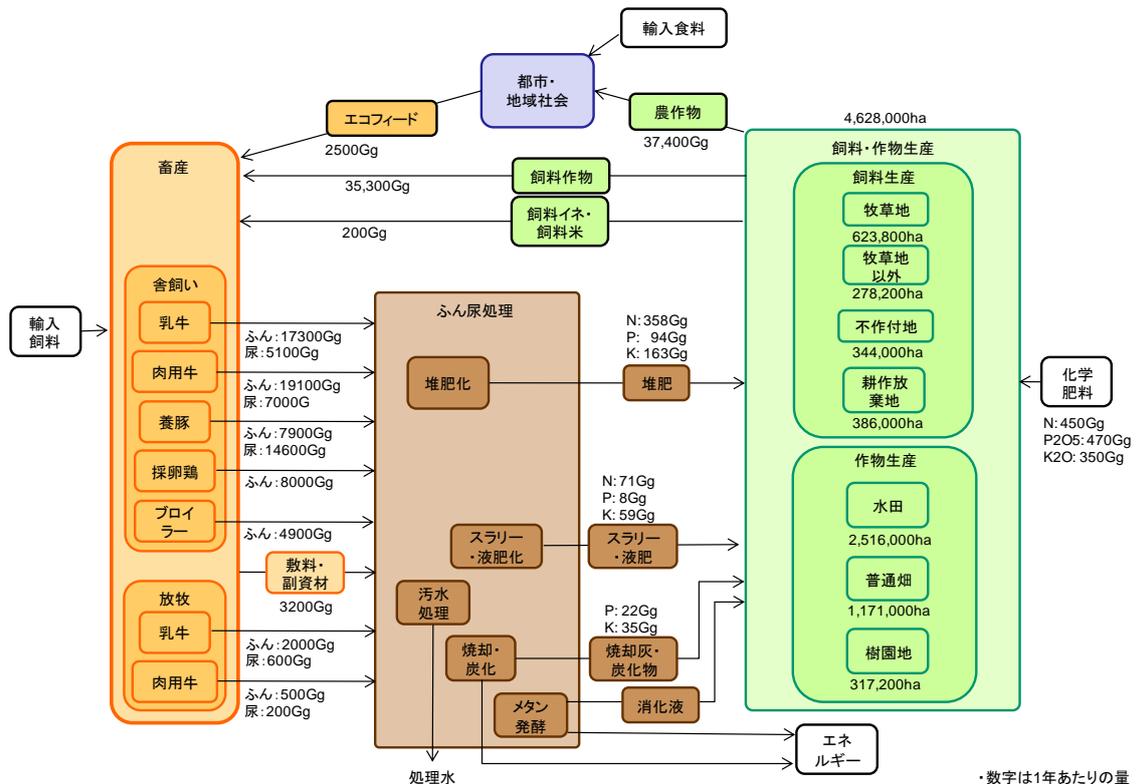


図 3.3.10. 現状の畜産系資源循環システムにおける物質フロー

物質フローの作成により得られた畜産循環資源の分布の一例として、各都道府県における耕地面積あたりの家畜ふん尿由来肥料生産量を窒素量換算したものを図 3.3.11 に示す。全国平均は 95kg-N/ha/年であったが、図に示されるようにその分布は均一ではない。東北地方日本海側、北陸地方、東京等都市部で量は少なくなっている一方、岩手県や千葉県、宮崎県、鹿児島県など畜産の盛んな県において量が多くなっていた。

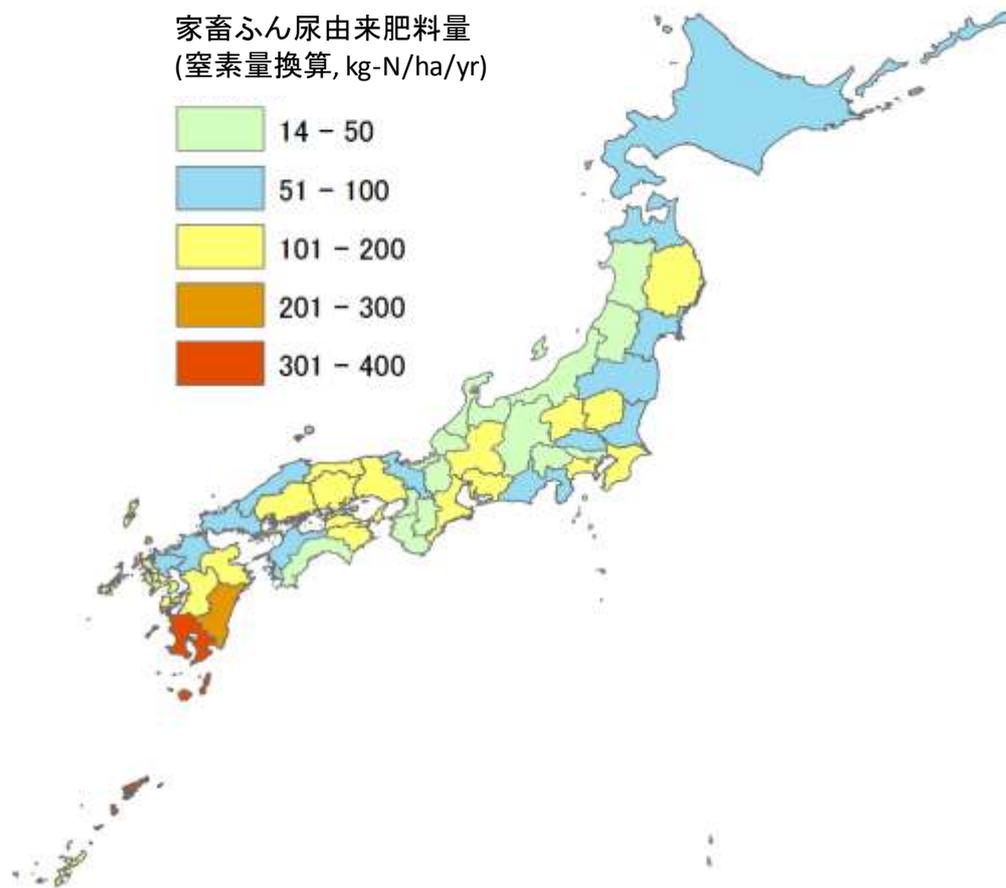


図 3.3.11. 各都道府県における耕地面積あたり家畜ふん尿由来肥料生産量

3.3.4. 循環システムビジョンを構成する各技術システムについて

近未来循環システムを構成する技術の特性について検討を行った。対象は、基本技術システムである、堆肥化、スラリー・液肥化、污水浄化処理、焼却に加え、エネルギー・資源利用であるメタン発酵、資源回収型技術である吸引通気堆肥化、MAP 反応による污水中リン除去・回収技術、等である。これらの技術システムについて、技術の概要・特性、インプット・アウトプット、導入・維持管理コスト、導入における課題等の項目の調査を行った。以下に各技術の概略を述べると共に、先進事例について一部紹介する。

(1) 堆肥化

家畜ふんあるいはふん尿混合物を副資材等を用いて適切な含水率に調製し、発酵させて

堆肥を生産する処理方法である。堆積しておいて週一回程度切り返して混合する方法、あるいは機械的に混合する方法があり、また発酵を促進するために強制的に通気を行う場合もある。畜種を問わず最も一般的に行われている処理方法である。

(2) スラリー処理

液状の家畜ふん尿混合物を貯留しておき、液肥として利用する方法である。特に手間にかかる操作は多くないが、スラリーを散布するための圃場と、散布は一般的に常時可能ではないため比較的長期間貯留しておくための大きな貯留槽（タンク）が必要となる。臭気低減等の目的で貯留中に軽く曝気する場合もある。基本的に酪農で用いられるが、養豚でも一部採用されている。

(3) 浄化処理

家畜の尿・液分が肥料利用できない場合に、浄化して放流する処理方法である。活性汚泥法、その各種変法が用いられることが多い。近年では膜分離活性汚泥法も導入されつつある。豚舎汚水を対象とする場合がほとんどである。

(4) メタン発酵

メタン発酵は有機物を嫌気的な条件で発酵させ、発生するメタンを回収して熱利用・発電等エネルギー利用する方法である。食品残さへの適用も始まっているが、下水汚泥と並び家畜ふん尿を原料としたメタン発酵プラントはすでに 70 基以上設置されており、導入が進んでいる。ただし、食品残さ等他の原料と共同で処理されている事例も少なからず存在する。発酵後の残さは消化液と呼ばれ、液肥として利用されるか、浄化処理を経て放流されるが、家畜ふん尿を原料とするメタン発酵の場合は浄化処理にコストをかけられない場合がほとんどであり、スラリー処理の場合と同様に消化液を散布するための圃場が必要となる。以下に先進事例を紹介する。

鹿追町環境保全センターは、北海道の十勝地方北西部に位置する鹿追町で平成 19 年に稼働を開始した国内最大規模の集中型メタン発酵処理施設である。図 3.3.12 に処理施設のシステムフロー図を示す。酪農が盛んな地域であるため、乳牛ふん尿を原料としてメタン発酵が行われ、処理能力は乳牛ふん尿が 89.8 トン/日、洗浄水が 5.0 トン/日の計 94.8 トン/日である。また、敷料と混合された含水率の低い乳牛ふん尿は併設の堆肥化プラントで堆肥化されるが、こちらの処理量も 41.6 トン/日にのぼる。メタン発酵は円柱型および箱形の 2 種類の発酵槽（発酵槽容積計 3,200m³）において行われ、3,900 m³のバイオガスを生成する。バイオガスからはコジェネレーションシステムにより、電力が 4,000kWh/日生成され、うち 2,900kWh/日はプラント内で消費されるが残りの 1,100kWh/日は売電される。また温水も 13,500Mcal/日生産され、これは全てプラント内で消費される。

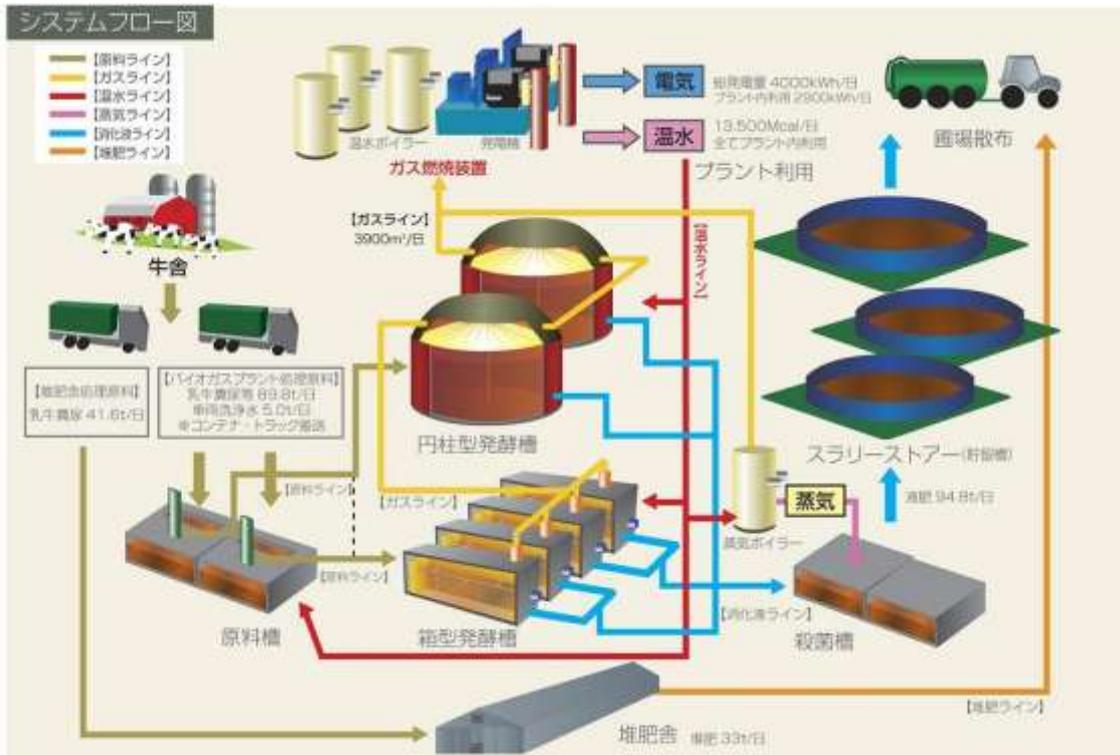


図 3.3.12. 鹿追町メタン発酵処理施設システムフロー図（鹿追町、2008）

メタン発酵においては消化液の処理が問題となることが多いが、本施設では消化液は全て耕地に散布し、肥料として還元している。散布時期には偏りがあり、特に北海道では冬季は散布できないことから、消化液貯留槽は十分な容量を確保し、220日分の消化液を貯留できる設計となっている。また、これだけの規模のメタン発酵処理施設では運転管理の人員が欠かせないが、ここでは常勤職員3人が運転管理にあっている。本施設は町によって運営されているが、人件費も含め維持管理費はかなり大きいものとなる。そのため施設としても収入を上げる必要があり、収入としては、原料である乳牛ふん尿の受入料金および余剰電力の売電となる。12,000円/頭/年のふん尿受入料金はこれ以上引き上げることは困難であるため、2008年現在で昼間9.5円/kWh、夜間4円/kWh（当該プラントにおける価格）の売電価格が上がることを期待される。平成21年より家庭における太陽光発電電力を高価格で買い取る制度が開始されたが、バイオマス利活用を促進するため、バイオマス発電電力についても同様の措置が執られることは一策である。

また、国内大手乳業メーカーである森永乳業は家畜ふん尿メタン発酵により発電された電力をグリーン電力として購入している。グリーン電力では、自然エネルギーにより発電した電力を通常価格で売電した後に環境付加価値を別の事業所に売却することが可能であるため、トータルとして売電価格の上昇となり、畜産農家および家畜ふん尿処理施設として収入の増加となる。一方、畜産関連食品メーカーとしては、バイオガス電力を購入することで家畜生産を支援し原料の安定供給に資すると同時に、環境保全への貢献をアピールする

ことができ CSR の観点からも望ましい。従って、これは農家および食品メーカーの両者にメリットの多い有効な方策であると考えられる。

(5) 焼却

家畜ふんを燃焼・焼却し、その後に残る焼却灰を肥料として利用する処理方法である。燃焼させるため原料の含水率はできるだけ低いことが望ましく、鶏ふん、特にブロイラーふんを原料とすることが多い。燃焼時に発生するエネルギーを熱・電力等の形で利用可能であるが、特に電力利用するためにはかなりの規模が必要となる。以下に発電を行っている先進事例を示す。

宮崎県児湯郡川南町にある鶏ふん発電施設は、ブロイラー生産者およびエネルギー事業者の出資により設立されたみやざきバイオマスリサイクル(株)により平成 17 年から運営されている施設である(甲斐、2007)。主としてブロイラーふん(種鶏ふんも少量利用)を熱源としてボイラで発生した蒸気により発電を行っている。県内の養鶏農家から収集する鶏ふん処理量は 132,000 トン/年であり、これをもとに 11,350kW の発電を行い、発電した電力の約 8 割を売電している。また焼却灰が年間 13,000 トン得られ、これは肥料原料として売却されている。

宮崎県ではもう一箇所鶏ふんを原料として熱利用・発電を行っている施設があり、二つを合わせると宮崎県内で発生するブロイラーふんのほとんど全てを処理している。全国で鶏ふんを焼却処理している施設はめずらしくは無いが、発電等まで行っている施設は現状では少ない。発電を行うにはある程度の規模が必要であるが、宮崎県のようなブロイラー飼養羽数が多い県ではこの処理方法が事業として成り立つことを、この事例は示している。よって、同様に飼養羽数の多い鹿児島県や岩手県においても、本処理法の導入は充分に可能であると考えられる。

(6) 吸引通気堆肥化

堆肥化において発酵を促進する目的で強制通気を行う際には、一般的に堆肥原料下部より空気を圧送することにより通気を行う。しかし、この場合には通気された空気は堆肥原料の上部から大気へと放出され、それに伴い含窒素臭気物質であるアンモニアを放出することになる。それを防ぐ技術として開発されたのが吸引通気式堆肥化技術である(阿部ら、2008)。本技術では、堆肥原料下部に吸引通気用配管を設置し、送風機で吸引することにより、堆肥原料上部より外気が導入されて通気が行われる(図 3.3.13)。吸引に当たっては、プラスチックパレットやドレイントラップ(浸出液捕集装置)等を用いて目詰まりや液分の送風機への侵入を防止している。高濃度のアンモニアを含む吸引空気はリン酸または硫酸溶液を吸引管出口で噴霧することで回収される。酸溶液は循環することで飽和するまで繰り返し利用され、最終的には窒素分を豊富に含むリン安・硫安の液体肥料となる。また、排熱および二酸化炭素(CO₂)も得られるため、これを利用してハウス栽培において作物の生育を促進することも可能である。

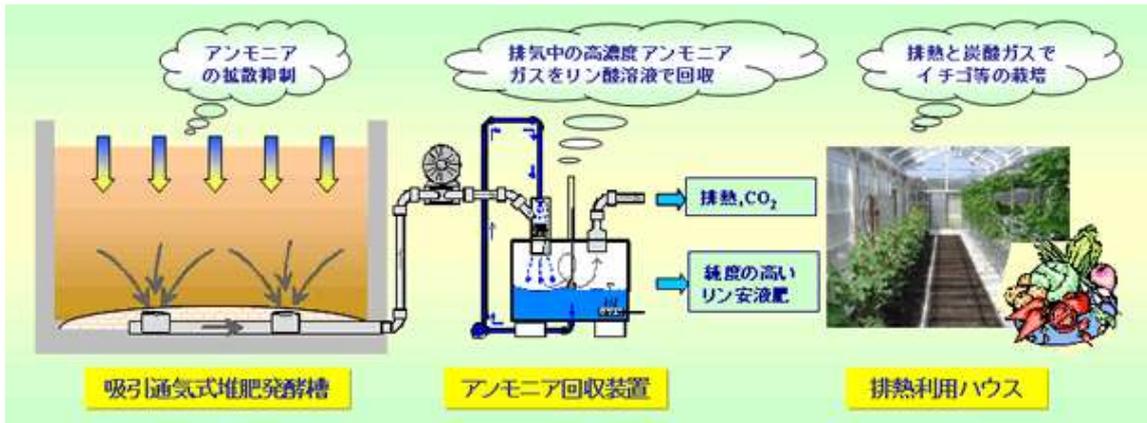


図 3.3.13. 吸引通気式堆肥化システムの概略

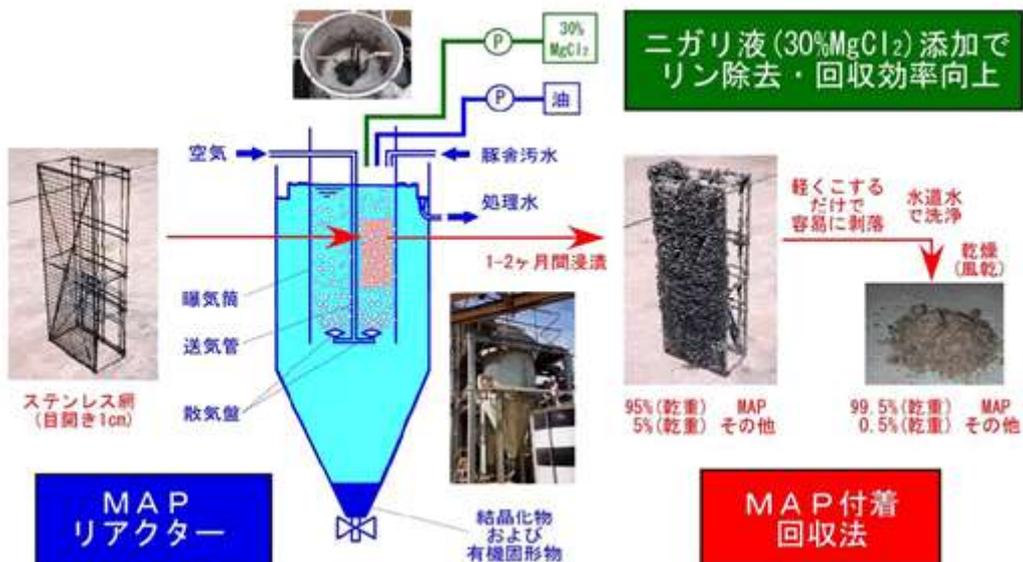


図 3.3.14. MAP 反応による汚水中リン除去・回収技術の概略（鈴木、2007）

(7) MAP 反応による汚水中リン除去・回収

豚舎汚水中には高濃度のリンが含まれているため、リンが規制項目であり汚水中リン濃度がこれを上回る場合、放流するためには凝集剤等を用いてリンを沈殿させる必要があるが、凝集剤は高価であり、回収した後の利用性も低くなる。一方、豚舎汚水中にはリンの他、アンモニウムイオン、マグネシウムなども多く含まれているため、これらの化合物である MAP (magnesium ammonium phosphate: リン酸アンモニウムマグネシウム) 結晶を形成させ、回収しようというのが MAP 反応による汚水中リン除去・回収技術である (図 3.3.14)。曝気を行うことで汚水の pH を上昇させ反応を促進すると共に、生成した結晶が付着しやすいようリアクタ内にステンレスの網を設置する。1~2 か月の浸漬で MAP の結晶が付着し、汚水 1m³あたり、最大で 171g の MAP 結晶が回収できる (鈴木、2007、Suzuki

et al. 2007)。結晶は容易に分離することができ、得られた MAP は窒素・リン肥料として化学肥料と同様に作物栽培に使用可能である。

今年度は、昨年度までの成果を基に、現状および二つのシナリオに基づく近未来について、家畜ふん尿処理システムからの GHG 発生量および非再生可能エネルギー・肥料等の資源消費量を解析した。同時に、資源循環システムの導入がそれら環境影響に及ぼす効果を評価した。以下、昨年度までの成果の概略および今年度の検討結果について記す。

3.3.5. 現状および近未来各シナリオにおける家畜ふん尿処理の環境影響評価

(1) 現状および近未来各シナリオにおける家畜ふん尿発生量

近未来における家畜ふん尿資源量としては、他のバイオマス系資源と同様に、国立環境研究所で開発された近未来物質フローモデル (NIES モデル) により推定されたシナリオ A および B における 2030 年の発生量を用いた。2030 年および現状値として 2008 年における家畜ふん尿発生量を表 3.3.6 に示した。各シナリオの設定は表 3.3.7 のとおりである。

シナリオ A では食生活における洋食の割合が増加すると想定されていることから畜産物の需要が増加し、それに伴い家畜の飼養頭数が増加し、従って家畜ふん尿発生量も増加する。逆にシナリオ B では、食生活における和食の割合が増加すると想定されていることから畜産物の需要が減少し、家畜飼養頭数および家畜ふん尿発生量も減少する。畜種別に見ると、シナリオ A では肉用牛の割合が増加し、シナリオ B では豚の割合が増加する。現状の家畜ふん尿発生量については、畜種ごとの家畜頭数は平成 20 年度の畜産統計 (農林水産省、2009a) の値を用い、家畜排せつ物量の物質量および栄養塩量の原単位は「家畜ふん尿処理・利用の手引き」(畜産環境整備機構、1997) の値を用い、家畜頭数に原単位を乗じて都道府県 (北海道は旧支庁ごとに求めているが、以降都道府県と略す) ごとにふん尿発生量を求めた。このようにして推定された家畜ふん尿発生量は、シナリオ A で 102,002 千 t、シナリオ B で 67,437 千 t であり、想定したシナリオごとに 2030 年における発生量が大きく異なっていた。

表 3.3.6. 現状および近未来における全国家畜ふん尿発生量 (千トン/年)

	現状	A	B
	2008	2030	2030
乳牛	25,419	31,304	21,703
肉牛	26,708	44,969	14,240
豚	22,541	11,996	22,672
採卵鶏	7,918	7,706	6,309
ブロイラー	4,887	4,753	3,801
計	87,472	100,729	68,724

表 3.3.7. NIES モデルにおける近未来シナリオ設定

	シナリオ A	シナリオ B
基本方針	個人主義、技術志向、活力重視	共生主義、自然志向、ゆとり重視
食料消費	1985～2005 年の傾向をそのまま延長して推定した 2030 年の値	1985 年当時の値を理想として適用した 2030 年の値
自給率	B と同ポイント下降した値	「食料・農業・農村基本計画」の目標値

また家畜排せつ物の処理に際しては、排せつ物のみで行う場合に加え、畜舎から同時に排出される敷料あるいは処理を進行させるための副資材と混合して行われる場合も多い。その敷料および副資材の使用量は畜産物生産費（農林水産省、2008）および「家畜ふん尿処理・利用の手引き」から推計した。

(2) 現状および近未来各シナリオにおける農作物作付面積および肥料需要

家畜ふん尿の循環において堆肥等の肥料利用が主流になることは疑いが無く、従って需要側である農作物の作付面積を把握する必要がある。現状における各農作物の都道府県別作付面積は、普通作物、飼料作物、工芸農作物、野菜、果樹、花きに関するそれぞれの作物統計（農林水産省、2009b）の値を用いた。各シナリオにおける 2030 年の作付面積は、NIES モデルによる 2030 年における作付面積と 2005 年における作付面積の比を現状の作付面積に乗じることで求めた。得られた現状、シナリオ A、シナリオ B における作付面積はそれぞれ、4056 千 ha、3739 千 ha、4024 千 ha であった。シナリオ A では全体の作付面積は減少しているが、家畜飼養頭数が増加しているため、飼料作物作付面積は増加していた。一方、シナリオ B では全体の作付面積は現状と同程度であるが、家畜飼養頭数が減少するため、飼料作物作付面積は減少していると推定された。堆肥等ふん尿由来有機質肥料は肥効が速効性ではないため、追肥としての利用は難しい。従ってふん尿由来有機質肥料は基肥としてのみ利用できるものとし、焼却処理により得られる焼却灰、3.2.4 で説明する吸引通気型堆肥化で得られる液肥、および MAP リン除去・回収反応で得られる MAP 結晶等無機質肥料は追肥として利用できるものとした。よって、作付面積、作目別の基肥化学肥料施肥基準（金沢、2009）、表 3.2.8 に示す化学肥料代替率、および化学肥料を 100% とした場合の肥効率から、ふん尿由来有機質肥料需要量を都道府県別に求めた。同様に、施肥基準に追肥のものを用いて、ふん尿由来無機質肥料需要量を都道府県別に求めた。代替率については茨城県畜産センター（2007）、畜産環境整備機構（2008）で採用されている値を用い、リン酸およびカリの肥効率については畜産環境整備機構（2007）の値を用いた。窒素の肥効についてはばらつきが大きく、畜種間の差も報告されているが、ここでは中央あたりに位置する値を用いた。メタン発酵消化液の肥効率は、上岡（2008）、岩手県畜産研究所（2007）を参考に 80% とした。なお、吸引通気堆肥化により得られる液肥の窒素分は全てアンモニア態窒素であるため、肥効率は 100% とした。

表 3.3.8. ふん尿由来有機質肥料の化学肥料代替率と化学肥料比の肥効率

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
代替率	50% ^a	100%	100%
肥効率	30% ^b	80%	90%

a. 飼料作物は代替率 100%

b. メタン発酵消化液の肥効率は 80%

(3) 想定した循環技術システム

この家畜ふん尿の処理・利用に関して、各シナリオについて現状と同様の処理体系（対策なし）、および資源循環型の処理体系（対策あり）を想定した。現状の各畜種におけるふん尿処理方法別割合は農林水産省による調査結果（農林水産省、1997、温室効果ガスインベントリオフィス、2010）を用い、家畜ふん尿をその割合に応じて配分した。ただし、宮崎県については家畜ふん尿処理割合に関する調査を行った報告がなされているため、その値を用いた（関戸ら、2007）。

資源循環型処理体系では、シナリオ A はエネルギー利用を優先する想定であるため、乳牛および豚のふん尿処理においてメタン発酵の、またブロイラーふん処理において焼却熱利用の割合がそれぞれ高くなるものとした。具体的には以下のとおりである。

- ・消化液散布が比較的容易と考えられる農業地域類型区分（農林水産省、2007）における平地農業地域において、乳牛および豚のふん尿処理にメタン発酵を導入する。発酵残さである消化液の散布が課題であるため、現在貯留処理されている割合の 2 倍を上限とする。現在貯留されている分は現在と同様の場所に施用するものとし、残りは水田に基肥として施用する。水田への施用は作物統計による水稲作付面積、施肥基準、および肥効率から求められる都道府県別需要量を上限とする。水田で散布しきれない場合は、現在貯留されている分を牧草地に施用してなお牧草地に余裕がある都道府県に限り牧草地に施用するものとする。

- ・ブロイラーふんは敷料と混合され飼養期間中畜舎内に滞留し、出荷後に搬出されることから、含水率が低くなっており自燃するため、焼却処理が容易である。従って、ブロイラーふん処理においては全ての経営において焼却処理を導入するものとした。

一方、シナリオ B はマテリアル利用を優先する想定であるため堆肥化を主流の処理方式としたが、堆肥化は現状でも十分割合が高い。そこで、堆肥化において吸引方式で堆肥原料下部より通気を行い、吸引空気に含まれるアンモニア（窒素）を硫酸あるいはリン酸スクラバにより回収し肥料として利用可能な吸引通気型堆肥化（阿部ら、2008、阿部、2008）を、現在用いられている堆肥化に替えて導入するものとした。また汚水処理においては、汚水中のリンを結晶として回収し化学肥料と同様に利用可能な Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) リン除去・回収技術（鈴木、2007、Suzuki ら、2007）を導入するものとした。具体的には以下のとおりである。

・都市・平地・中間農業地域において、乳牛ふん・乳牛ふん尿・豚ふんのうち現状の堆肥化処理（堆積型および通気型）に代えて吸引通気堆肥化を導入する。得られる液肥は、施用の容易な水田において化学肥料の代わりに基肥および追肥として利用するものとし、作物統計による水稲作付面積と施肥基準から求められる都道府県別需要量を上限とする（基肥については需要の50%は堆肥等有機質肥料で代替可能としているため、残りの50%のみ液肥で代替するものとした）。

・MAPリン除去・回収技術は特に再生製品に関する制限要因は無いため、全ての豚汚水処理の前段に導入するものとした。

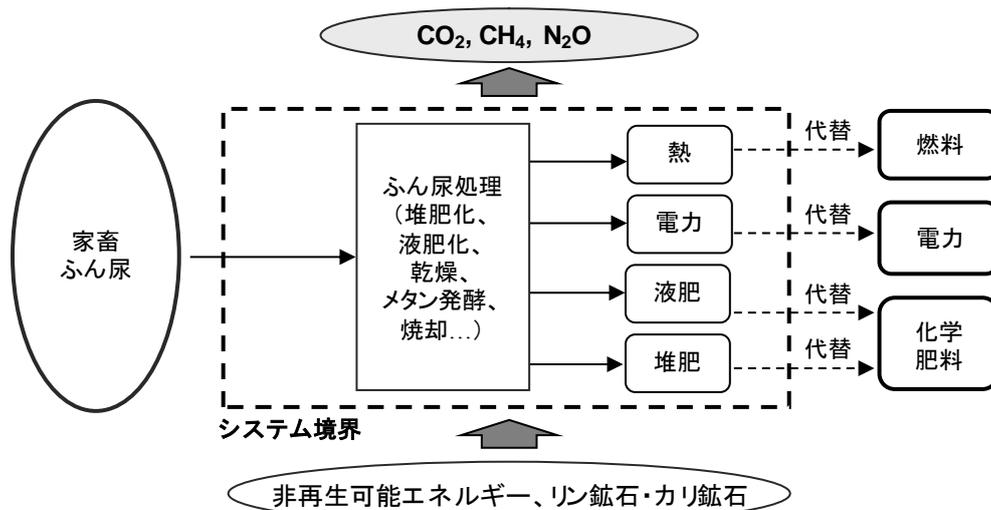


図 3.3.15. 解析対象のふん尿処理システムおよび環境影響評価の範囲（システム境界）

(4) 環境影響の解析方法

上記の家畜ふん尿発生量および家畜ふん尿処理体系における GHG 発生量および資源として非再生可能エネルギー・リン鉱石・カリ鉱石の消費量を解析した。なお、窒素肥料は大気中の窒素からエネルギーを投入して製造されるため、ふん尿由来肥料中窒素の化学窒素肥料代替効果は非再生可能エネルギー消費量に反映される。今回解析したふん尿処理システムおよび評価の範囲（システム境界）を図 3.3.15 に示す。解析した GHG には、ふん尿処理過程で発生するメタン (CH₄) および一酸化二窒素 (N₂O)、燃料・電力の使用および投入される資材の生産過程で発生する二酸化炭素 (CO₂)、処理後に得られる熱・電力等のエネルギーや堆肥等の肥料がそれぞれ化石燃料・電力・化学肥料を代替することによる GHG 低減効果を含めた。非再生可能エネルギー消費量は直接の化石燃料および電力のうち化石燃料による火力発電および原子力発電分とした。そして解析にはふん尿処理過程での燃料・電力の使用および使用される資材の生産過程で消費されるエネルギー、処理後に得られる熱・電力等のエネルギーや堆肥等の肥料がそれぞれ化石燃料・電力・化学肥料を代替することによるエネルギー消費量低減効果を含めた。リン鉱石およびカリ鉱石の消費量には、ふん尿処理により得られる堆肥等肥料が化学肥料を代替することによる消費量低減

効果を含めた。

現状の処理体系に含まれるふん尿処理過程から発生するCH₄およびN₂Oについては日本国温室効果ガスインベントリの排出係数を用いて算出した（温室効果ガスインベントリオフィス、2010）。表 3.3.9 および表 3.3.10 にそれぞれCH₄発生係数およびN₂O発生係数を示す。メタン発酵については、密閉系での反応のため発酵過程ではGHGは発生しないが、消化液の貯留時に発生がみとめられるため、その排出係数を用いた（荻野ら、2010）。現状の処理体系に含まれるふん尿処理過程において投入される燃料・電力・資材量および生産される再生エネルギー・製品量については、畜産環境整備機構（1997、2005）、農林水産技術情報協会（2000）、菱沼ら（2007）、畜産環境対策技術評価手法検討委員会（2005）の文献から求めた。メタン発酵については菱沼ら（2007）および農林水産バイオリサイクル研究システム化サブチーム（2006）の文献から、MAPリン除去・回収技術については川村ら（2009）の報告から、また吸引通気堆肥化については阿部らの実規模試験結果（未発表）から、投入される燃料・電力・資材量を求めた。燃料・電力・資材の単位消費量あたりCO₂発生量にはJEMAI-LCA Pro（産業環境管理協会、2005）の値を用い、見当たらない場合には3EID（国立環境研究所）あるいは食品関連材料CO₂排出係数データベースを使用した（味の素、2007）。化学肥料製造の原単位は、窒素およびリン酸肥料については小林ら（2001）の値を基に、肥料要覧（農林水産省消費・安全局、2009）と肥料年鑑（肥料協会新聞部、2009）から得られた単質肥料と複合肥料の割合を考慮して求めた。カリ肥料については三津橋ら（2000）の報告の値を用いた。

表 3.3.9. 各ふん尿処理方法からのCH₄発生係数

		乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	ブロイラー		
ふん尿 分離処理	ふん	天日乾燥	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	
		火力乾燥	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
		強制発酵	0.04%	0.03%	0.08%	0.08%	0.08%	
		堆積発酵	3.80%	0.13%	0.16%	0.14%	0.14%	
		焼却	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	
	尿	強制発酵	0.04%	0.03%	0.10%	-	-	
		浄化	0.01%	0.01%	0.02%	-	-	
		貯留	3.90%	3.00%	8.70%	-	-	
		ふん尿 混合処理	天日乾燥	0.20%	0.20%	0.20%	-	-
			火力乾燥	0.00%	0.00%	0.00%	-	-
強制発酵	0.04%		0.03%	0.08%	-	-		
堆積発酵	3.80%		0.13%	0.16%	-	-		
浄化	0.01%		0.01%	0.02%	-	-		
	貯留	3.90%	3.00%	8.70%	-	-		

(温室効果ガスインベントリオフィス、2010)

表 3.3.10. 各ふん尿処理方法からの N₂O 発生係数

		乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	ブロイラー		
ふん尿 分離処理	ふん	天日乾燥	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	
		火力乾燥	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	
		強制発酵	0.25%	0.25%	0.16%	0.25%	0.25%	
		堆積発酵	2.40%	1.60%	2.50%	2.00%	2.00%	
		焼却	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	
	尿	強制発酵	2.00%	0.25%	2.00%	-	-	
		浄化	5.00%	5.00%	5.00%	-	-	
		貯留	0.10%	0.10%	0.10%	-	-	
		ふん尿 混合処理	天日乾燥	2.00%	2.00%	2.00%	-	-
			火力乾燥	2.00%	2.00%	2.00%	-	-
強制発酵	2.00%		0.25%	0.16%	-	-		
堆積発酵	2.40%		1.60%	2.50%	-	-		
浄化	5.00%		5.00%	5.00%	-	-		
	貯留	0.10%	0.10%	0.10%	-	-		

(温室効果ガスインベントリオフィス、2010)

電力の非再生可能エネルギー消費量は、電力消費量を発電効率 40% (資源エネルギー庁、2006) で除し、さらにエネルギー白書 (資源エネルギー庁、2010) に示された電源構成に占める非再生可能エネルギー割合を乗じることで求めた。資材等に関して、3EID あるいは食品関連材料 CO₂ 排出係数データベースを用いて CO₂ 発生量を求めた場合は、エネルギー白書の一次エネルギー供給量のうち非再生可能エネルギー分を国内 CO₂ 発生量で除することで単位 CO₂ 発生量あたりのエネルギー消費量を求め、それを CO₂ 発生量に乗じて求めた。

堆肥等ふん尿由来有機質肥料による化学肥料の代替については、上記のように求めた都道府県別のふん尿由来肥料需要量を最大量とし、それを上回るものについては代替効果に含めなかった。ただし、MAP 結晶や家畜ふん焼却灰のような無機肥料は大幅に減容されるため、県外へ流通できるものとした。また上述のように、原料である家畜ふん尿中に含まれる窒素成分は、ふん尿処理過程において起こる分解、酸化、還元等の生物学的反応により様々な化合物へと変化し、その一部はアンモニアや亜酸化窒素として揮散するため、全てが利用可能なわけではない。従って、表 3.3.5 に示した窒素揮散割合を排泄窒素量から差し引いてふん尿由来肥料中窒素量を求めた。一方、リンおよびカリウムに関しては処理過程で失われないものとした。

循環技術システムのコストはその実現可能性を検討する上で重要である。従って、各シ

ナリオについて循環技術システムを導入した場合のコストの増分を試算した。乾燥、堆肥化、液肥化、メタン発酵については、畜産環境整備機構（2004、2005b）から求め、焼却については農林水産技術情報協会（2000）および畜産環境整備機構（1998）から求めた。吸引通気型堆肥化については阿部らの試算（未発表）を、MAP リン除去・回収技術については川村らの報告（2009）を用いた。労働費に関しては十分なデータが得られなかったため、今回は試算に含めなかった。また、ふん尿処理施設の建設にあたっては補助金が投入されることが多いが、本研究では補助金は考慮しなかった。

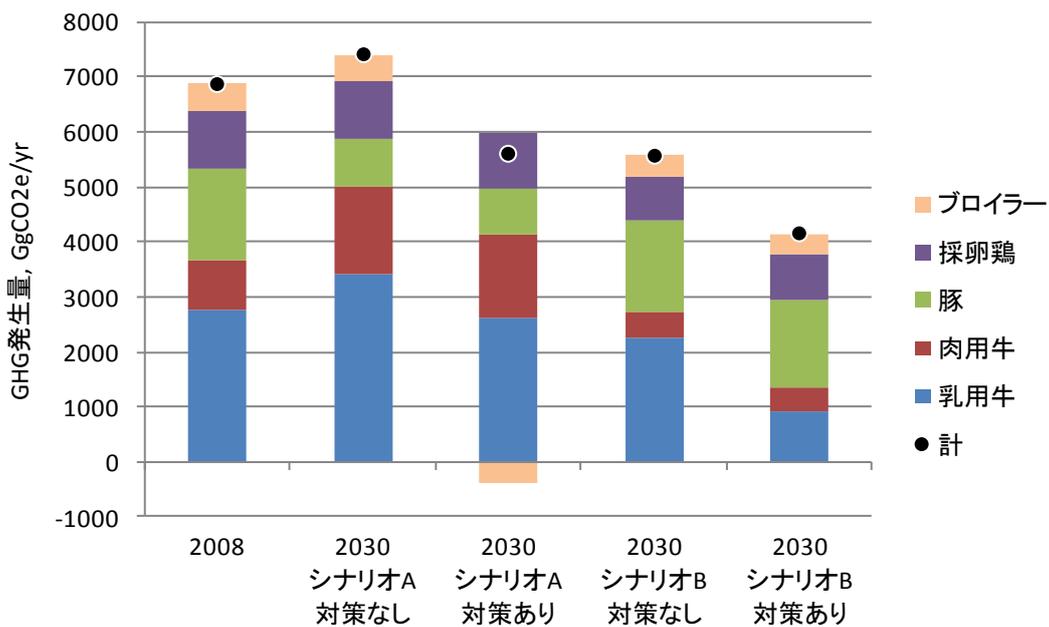


図 3.3.16. 家畜ふん尿処理システムにおける GHG 発生量

(5) 家畜ふん尿処理における環境影響解析結果

2030 年の各シナリオにおける資源循環対策の有り無しの場合および現状における GHG 発生量を解析した結果を図 3.3.16 に示す。資源循環対策なしの場合については、家畜飼養頭数が増加するシナリオ A における 2030 年の GHG 発生量は 2008 年のそれと比較して増加していた。一方、家畜飼養頭数が減少するシナリオ B の GHG 発生量は 2008 年のそれと比較して減少しており、家畜ふん尿処理における GHG 発生量は家畜ふん尿自体の量に大きく影響されることが分かる。続いて資源循環対策ありの場合については、シナリオ A および B の内容に応じた資源循環技術システムをそれぞれ導入することにより、シナリオ A および B において GHG 発生量がそれぞれ 24% および 26% 低減された。内訳としては、シナリオ A では乳牛およびブロイラーふん尿処理、シナリオ B では乳牛ふん尿処理からの GHG が大きく低減されていた。特にシナリオ A におけるブロイラーふん処理に関しては、現状における GHG 発生量もそれほど大きくないものの、焼却熱利用導入時の焼却熱を鶏舎の暖房に利用することによる燃料代替効果がその他の GHG 発生量を上回っていたため、ブロイラーふん処理からの総 GHG 発生量がマイナスになっていた。なお、各畜種についてふん尿

処理方法別、温室効果ガス種別にそれぞれ GHG 発生量を調べた結果を、参考までに項末の補説に示した。

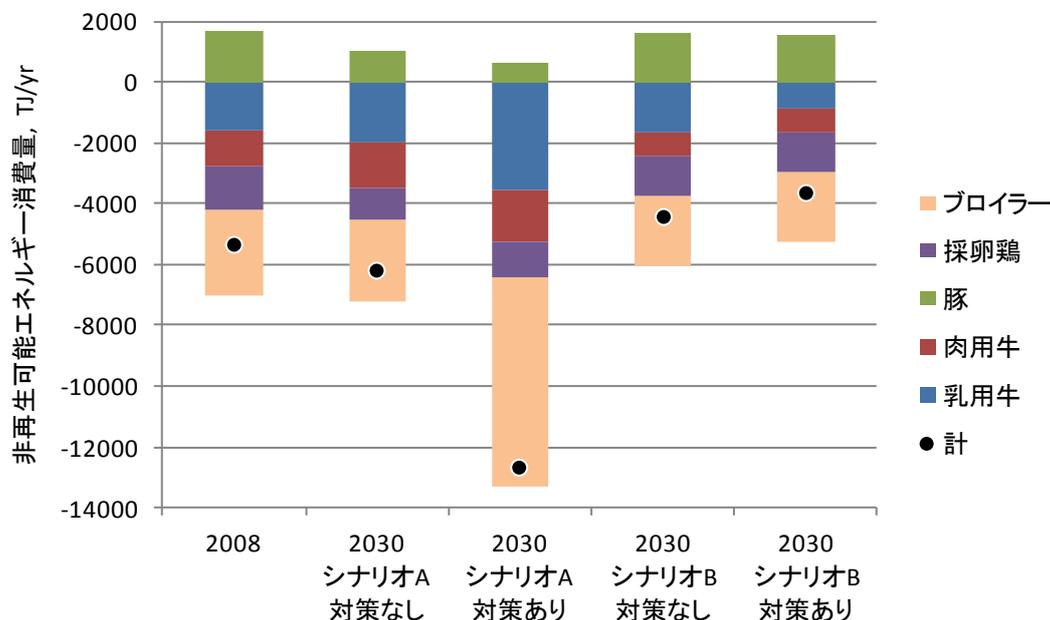


図 3.3.17. 家畜ふん尿処理システムにおける非再生可能エネルギー消費量

続いて、非再生可能エネルギー消費量を解析した結果を図 3.3.17 に示す。豚を除き、ふん尿処理で投入されるエネルギーより生産される肥料およびエネルギーが化学肥料および化石燃料・電力を代替することによるエネルギー消費量低減効果の方が大きかった。従って、原料である家畜ふん尿量が多い程エネルギー消費量が小さくなる（マイナスが大きくなる）。資源循環対策の効果を見ると、エネルギー利用重視のシナリオ A ではブロイラーふん焼却熱利用およびメタン発酵の導入によりエネルギー消費量が大きく低減された。一方、マテリアル利用重視のシナリオ B では逆にエネルギー消費量が少し増加する結果となり、これは主として乳牛において導入された通気型堆肥化のエネルギー消費量が元の堆積型堆肥化よりも大きいためであった。従ってシナリオ B における資源循環対策は、GHG 発生量を低減させるが、非再生可能エネルギー消費量を増加させるというトレードオフとなった。そこで、LIME（伊坪と稲葉、2005）の統合化係数を用いて資源循環対策による環境影響量の変化を経済換算したところ、GHG 発生量は 25 億円の減少、エネルギー消費量は 0.3 億円の増加と計算され、全体としての環境影響低減効果がみとめられた。

リン鉱石・カリ鉱石（リン酸・カリ）消費量を解析した結果を図 3.3.18 に示す。リン酸およびカリはふん尿処理過程では使用されないため、生産されるふん尿由来肥料が化学肥料を代替することによる資源消費量低減効果の比較となる。従って、エネルギー消費量と同様に、基本的に原料である家畜ふん尿量が多い程リン酸・カリ消費量が小さくなる（マイナスが大きくなる）と考えられ、結果にもそれが反映されていた。資源循環対策の効果

を見ると、シナリオ A ではブロイラーふん焼却熱利用の導入により焼却灰が、シナリオ B では MAP リン除去・回収技術の導入により MAP 結晶がそれぞれ得られるためリン酸・カリ消費量がその分低減されていたが、その効果は小さかった。これは、リン酸およびカリについては窒素と異なり、ふん尿由来有機質肥料でも肥効率が高いため、現状のふん尿処理体系において生産されている堆肥等の資源消費量低減効果が非常に大きいためであると考えられた。ただし実際には、有機質肥料の施肥に応じて化学肥料が低減されていない場合も見受けられ、適切な施肥については改善の余地がある。

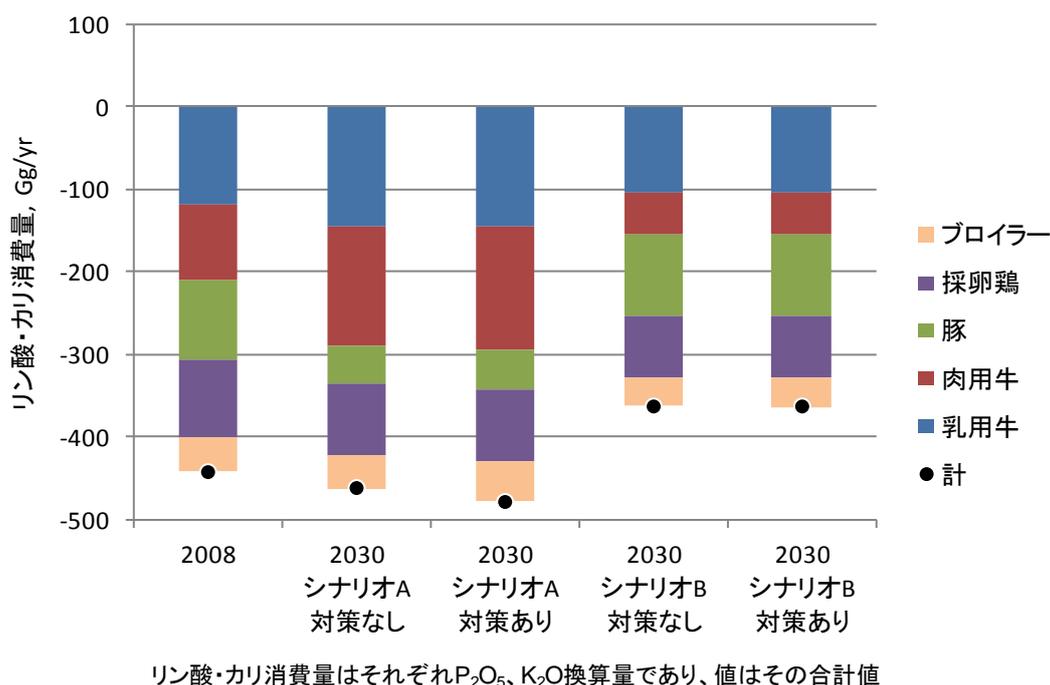


図 3.3.18. 家畜ふん尿処理システムにおけるリン酸・カリ消費量

資源循環対策導入時の家畜ふん尿処理におけるコスト変化を解析した結果、シナリオ A およびシナリオ B ではそれぞれ 18.3 億円/年および 77.4 億円/年の増加となった。また、このコスト増分を上記の各シナリオにおける資源循環対策導入時の GHG 発生低減量で除して GHG 低減コストを求めたところ、シナリオ A およびシナリオ B でそれぞれ 5426 円/t-CO₂e および 1027 円/t-CO₂e となった。

補説

現状における畜種ごとの GHG 発生量をふん尿処理方法別に解析した結果を図 3.3.19 に示す。また、同じく現状における畜種ごとの GHG 発生量を温室効果ガス種別に解析した結果を図 3.3.20 に示す。ただし、本文の結果と異なり、これらには生産された再生製品・エネルギーによる代替効果は含まれていない。ふん尿処理方法別にみると、豚では浄化処理からの GHG が、その他の畜種では堆肥化からの GHG 発生量が最も大きかった。その

他には、乳用牛の貯留、採卵鶏の乾燥処理も発生量が大きかった。また、温室効果ガス種別にみても、乳用牛ではCH₄の全体に占める割合が最も大きく、その他の畜種ではN₂Oの占める割合が最も大きかった。CO₂はいずれの畜種においても全体に占める割合は小さかった。

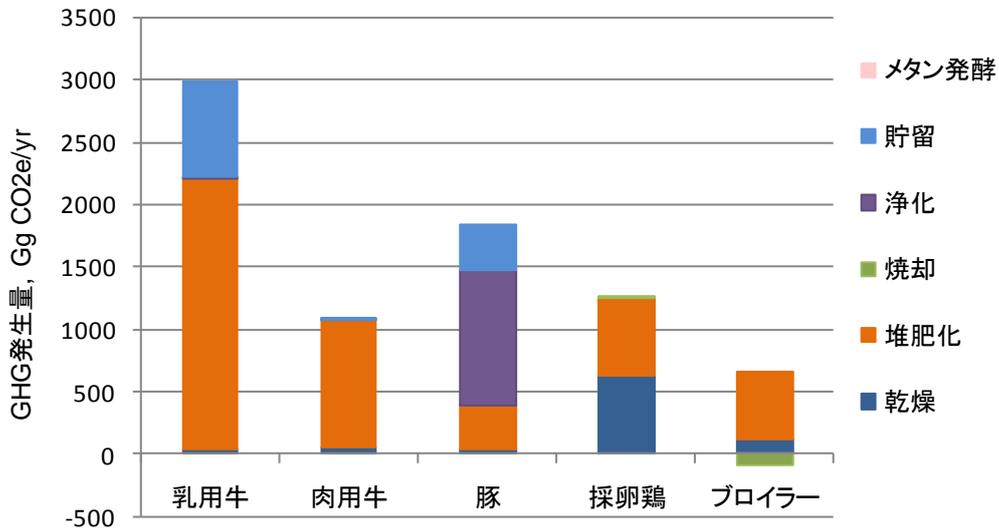


図 3.3.19. 現状の家畜ふん尿処理システムにおけるふん尿処理方法別 GHG 発生量 (再生製品・エネルギーの代替効果を含まない)

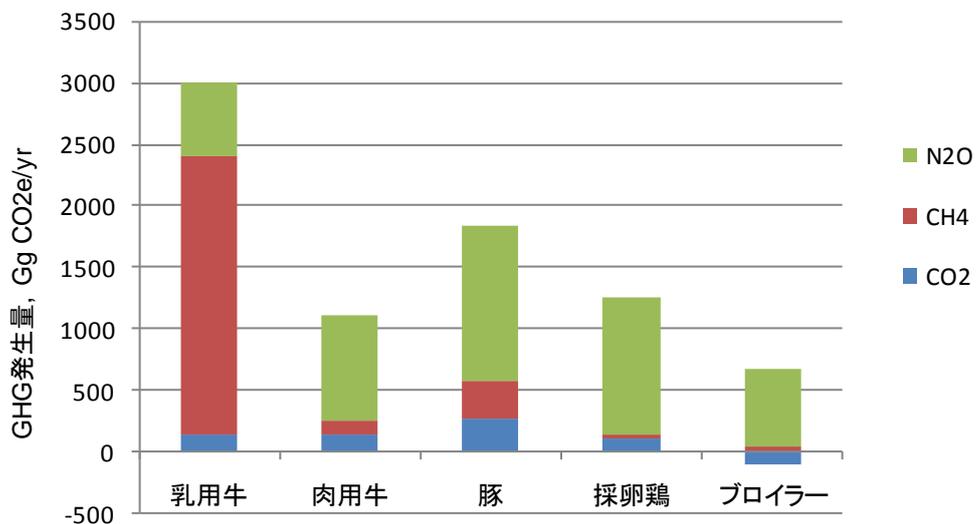


図 3.3.20. 現状の家畜ふん尿処理システムにおける温室効果ガス種別 GHG 発生量 (再生製品・エネルギーの代替効果を含まない)

<引用文献>

- 阿部佳之、伊吹俊彦、宮竹史仁、本田善文. 2008. 吸引通気式堆肥化処理技術の開発 (第3報) -吸引通気式堆肥化処理技術の実証-. 農業施設. 38(4): 249-262.
- 阿部佳之. 2008. アンモニア排出を低減する吸引通気式堆肥化処理. 養豚の友. 472: 51-57
- 味の素(株). 2007. 食品関連材料 CO₂ 排出係数データベース
- 畜産環境整備機構. 1997. 家畜ふん尿処理・利用の手引き
- 畜産環境整備機構. 2004. 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック (汚水処理編)
- 畜産環境整備機構. 2005a. 家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き
- 畜産環境整備機構. 2005b. 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック (堆肥化処理施設編)
- 畜産環境整備機構. 2007. 家畜ふん堆肥の肥効を取り入れた堆肥成分表と利用法
- 畜産環境整備機構. 2008. 家畜排せつ物利活用方策評価検討システム構築事業報告書
- 畜産環境対策技術評価手法検討委員会. 2005. 環境負荷と運転費用の観点からの畜産環境対策施設評価プログラムの開発. 畜産草地研究所研究資料. 6:1-51
- 肥料協会新聞部. 2009. 肥料年鑑 2009. 肥料協会新聞部
- 菱沼竜男、井原智彦、志水章夫、楊翠芬、玄地裕. 2007. LCA 手法を用いた肥育豚糞尿処理システムの環境影響の比較. 農業施設. 38:43-56
- 菱沼竜男、玄地裕、荻野暁史、川島知之、淡路和則. 食品循環資源の飼料化に伴う温室効果ガス排出量の推計 (飼料化事業所へのアンケート調査から). 農業施設学会2010年度大会講演要旨集. 37-38.
- 寶示戸雅之、池口厚男、神山和則、島田和宏、荻野暁史、三島慎一郎、賀来康一. 2003. わが国農耕地における窒素負荷の都道府県別評価と改善シナリオ. 日本土壤肥料学雑誌. 74: 467-474.
- 茨城県畜産センター. 2007. たい肥を活用した施肥設計システム「たい肥ナビ!」
<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/nourin/chikuse/taihinavi.html>
- 伊坪徳宏、稲葉敦. 2005. ライフサイクル環境影響評価手法. 産業環境管理協会・丸善
- 岩手県畜産研究所. 2007. バイオガスプラント由来消化液の飼料作物及び耕種作物への利用効果. 岩手県畜産研究所平成 19 年度試験研究成果
- 甲斐敬康. 2007. 宮崎県における鶏ふん焼却によるバイオマスエネルギーの利活用、畜産環境情報. 36: 7-16.
- 上岡啓之. 2008. 食用米生産のためのメタン発酵消化液の効果的な基肥利用. 平成 20 年度 関東東海北陸農業研究成果情報・土壌肥料
- 金澤健二. 2009. 都道府県の施肥基準値及び堆肥の施用基準値のデータベース並びに作物の収穫物の養分含有率のデータベースとその利用法. 中央農業総合研究センター研究報告. 12:27-50
- 川村英輔、田邊眞、鈴木一好、竹本稔、上山紀美子. 2009. 簡易型MAP反応槽導入及び運転コストの試算. 平成21年度 関東東海北陸農業・畜産草地成果情報.
- 川島知之. 2007. 養豚におけるエコフィードの取り組み①養豚とエコフィード利用をめぐ

- る状況. 日本養豚学会誌. 44: 183-189
- 川島知之. 2010. 食品残渣の成分特性と豚用エコフィード設計プログラムの作成. 畜産技術. 662: 25-30
- 小林久、佐合隆一. 2001. 窒素およびリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量とCO₂排出量の試算. 農作業研究. 36:141-151
- 国立環境研究所. 2002. 産業連関表による環境負荷原単位 データブック (3EID)
- 三津橋浩行、稲葉敦. 2000. 化学肥料のインベントリ分析および乳牛ふん尿処理物との比較検討. 第4回エコバランス国際会議講演集. 631-634
- 農林水産バイオリサイクル研究システム化サブチーム. 2006. バイオマス利活用システムの設計と評価.
- 農林水産技術情報協会. 2000. 平成12年度エネルギー管理型農業生産システム開発調査報告書
- 農林水産省. 2007. 2005年農林業センサス、第2巻 農林業経営体調査報告書 (総括編)
- 農林水産省. 2008. 平成19年度畜産物生産費
- 農林水産省. 2009a. 平成20年度畜産統計
- 農林水産省. 2009b. 平成20年度作物統計
- 農林水産省. 2009c. 平成20年度食料・農業・農村白書
- 農林水産省消費・安全局. 2009. ポケット肥料要覧2008. 農林統計協会
- 農林水産省統計情報部. 1997. 環境保全型農業調査-畜産部門調査結果の概要. 農林水産統計速報. 9-225.
- 荻野暁史、池口厚男、中村真人、阿部邦夫、相原秀基、横山浩、山下恭広、田中康男. 2010. 乳牛ふん尿を主原料とするメタン発酵消化液貯留槽からの環境負荷ガス発生量の測定. 農業施設学会2010年度大会講演要旨集. 63-64.
- Ogino A, Hirooka H, Ikeguchi A, Tanaka Y, Waki M, Yokoyama H, Kawashima T. 2007. Environmental impact evaluation of feeds prepared from food residues using life cycle assessment. *Journal of Environmental Quality*. 36(4): 1061-8
- 温室効果ガスインベントリオフィス. 2010. 日本国温室効果ガスインベントリ報告書2010. 国立環境研究所
- 大森英之、守谷直子、石田三佳、大塚舞、小橋有里、本山三知代、佐々木啓介、田島清、西岡輝美、蔡義民、三津本充、勝俣昌也、川島知之. 2007. コンビニエンスストアから排出された消費期限切れ食品を主体とする発酵リキッド飼料によるブタの肥育試験. 日本畜産学会報. 78: 189-200
- 関戸知雄、土手裕、井上雄三. 2007. 畜産廃棄物の適正資源化量決定のための窒素・リンのフロー解析. 廃棄物学会論文誌. 18: 382-391.
- 資源エネルギー庁. 2006. 総合エネルギー統計 (平成16年度版)
- 資源エネルギー庁. 2010. エネルギー白書2010
- 鹿追町. 2008. 鹿追町環境保全センター資料
- 鈴木一好. 2007. MAP結晶化法による有限資源であるリンの豚舎汚水からの除去回収技術.

畜産の研究. 61(2): 275-280.

Suzuki K, Tanaka Y, Kuroda K, Hanajima D, Fukumoto Y, Yasuda T, Waki M. 2007. Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device. *Bioresource Technology*. 98(8): 1573-8.