

## 解体家畜，感染排泄物，医療廃棄物の炭化処理と炭化物の窒素，カルシウムおよびリン含量

佐 藤 博

Nitrogenous, Calcium and Phosphorus Levels in Carbonized Products of Livestock Carcass, Infected Manure and Medical Waste

Hiroshi SATO  
(November 2007)

### はじめに

家畜排泄物の処理においては富栄養化物質の削減とともに病原微生物の拡散防止が大きな課題である。また，食肉生産における解体処理後の非食用部分，および斃死獣の処理にも厳しい管理や監視が求められている。これまで家畜排泄物については堆肥化や液状部分の暴気処理，解体家畜などでは焼却による処理が多かった。酪農学園大学では動物病院の移転・新築にともない炭化炉を設置したので，解体家畜のみならず感染性の敷料や医療廃棄物，バイオハザード区域からの実験小動物や廃棄物なども炭化炉で処理している。

炭化処理とは有機系廃棄物などを無酸素状態で加熱分解し，発生するガスを燃焼させて高温処理することでダイオキシンなどの有害成分の発生を抑えるシステムである。このため，炉内での最終産物は灰ではなく良質な炭化物となり，その吸着能や成分的な特性を加味して資源としての再利用の途が考えられる。本研究では炭化物を農用地など土壌に還元する場合の基礎データを蓄積するため，3年間にわたる炭化装置運転での産物の窒素（N），カルシウム（Ca），リン（P）含量について原料別に検討した。

### 材料および方法

1. 炭化装置および炭化原料：酪農学園大学動物病院に設置の2基のバッチ式炭化装置 CYT-7000 型（株式会社 CYC，美濃加茂市）を用いた（図1）。本装置は原理的には原材料を炭化ボックス（いわゆる乾留室）内に投入し空気遮断条件で灯油を用い間接的に加熱し（約 550～600℃），生じた乾留ガ

スを熱源として燃焼室内で完全燃焼（約 800～1000℃）させた後に排気するものである（図2）。1基につき炭化ボックス内の有効容積 7 m<sup>3</sup> を2室に分けており，1室の設計寸は 2.132 m（W），1.175 m（D），および 1.491 m（H）であった。炭化ボックス内での熱分布を均一化させるため，内部は4段の棚段構造とし，材料は鉄製籠に入れて投入した（図3）。ダイオキシン発生には空気中の酸素がかかわるので<sup>[2]</sup>，無酸素状態とするため本装置では密閉して加熱している。平均的な運転工程として加熱に約 12 時間の後に放冷にも 12 時間程度かかるため，2基による交互運転を基本とした。材料を収納する 7 m<sup>3</sup> の炭化ボックス内では解体成牛馬だけなら 3～4 頭を処理できるが，感染畜舎および実験用ラット（マウス含む）の敷料，教育・研究での実験消耗品，医療廃棄物（ガラスや金属以外）などと一緒に処理することが多かった。

2. 材料採取と前処理：放冷後に搬出した収納籠内の炭化物 249 点を採取した。種々の原材料が混ざった状態で炭化運転したが，炭化後も原材料さらに家畜の体組織・部位の概要は判別可能であり（図4），原材料毎にさらに家畜の体部位別に炭化物を採材した。医療廃棄物には外科処置廃棄物，可燃性の容器・器具など多くの原材料が含まれたが，詳細には区別しなかった。

炭化が完全な試料ではそのまま粉碎後に 110℃ で 4～5 時間の加温により乾物率を求めた。炭化不完全な試料では直ちに 10～30 g を精秤し水 120 ml を加えて振とう後の一夜放置によって水

抽出し、アンモニア分析に供した。完全炭化物でも粉碎後の試料を精秤し（約 1 g）、これに純水 20

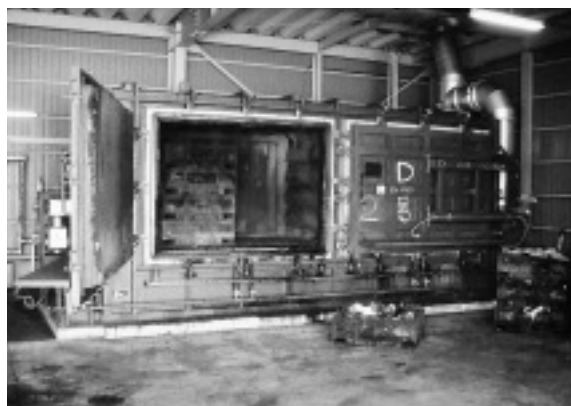


図 1 炭化プラント装置の外観（2基のうちの1基）

mlを加えて振とう混和後に一夜放置してアンモニア分析用の抽出液とした。

また、炭化不完全な例では別途 50～100 g ほどを 110℃送風条件で 4～5 時間乾燥して水分（乾物）率を求めた。上記の乾燥物も粉碎して以下の分析に供した。

3. 分析方法：上記抽出液中のアンモニアはインドフェノール発色法<sup>[3]</sup>によって分析したほか、全試料の N, Ca および P 含量を測定した。粉碎試料をケルダール分解し、その全 N 量を上記のインドフェノール発色法で測定したが、銅（ケルダール分解の触媒）による発色への干渉を除外するためにロッシェル塩を反応系に加えた。

別に精秤（1 g 前後）した粉碎試料を磁性坩堝に

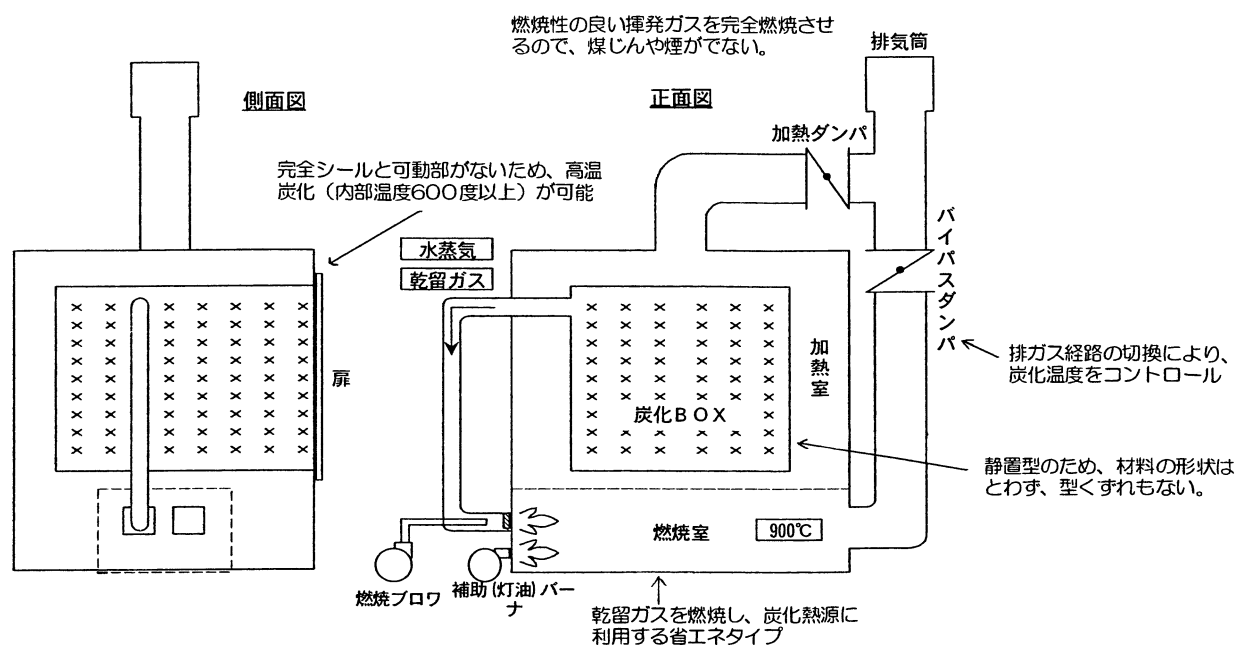


図 2 バッチ式炭化装置の構造：販売元：雪印種苗㈱のカatalogより



図 3 炭化ボックス（炉）内への材料搬入



図 4 育成牛の炭化状態（胸・腹部）

採取し、600℃で5～6時間の灰化後に灰分率を求めた。続いてその坩堝に6規定塩酸を約1ml加えて弱く加温しながら灰分を溶解し軽く乾固した後、希塩酸を加えて乾固物を溶解し定容メスアップしてCaおよびPの測定に供した。Caはo-Cresolphthalein complexone法<sup>[4]</sup>、PはFiske-Subbarow法<sup>[1]</sup>によって分析した。

4. データ整理：炭化物を材料別に12種に区分して分析値を集計し、炭化不完全例は別に3区分し

た。なお炭化不完全な試料では採材直後のアンモニア-N量と110℃で乾燥処理・粉碎物のケルダール分解によるN量との合計を全Nとした。

### 結果および考察

ほとんどの材料では完全に炭化して黒一色であった。炉内投入時に敷料を踏圧した場合や解体斃獣の消化管内容物などを重積した場合には炭化不完全となり、一部に原材料の色調が残り、水分の多い例があった(表1)。しかし、木材チップ状のラット敷料

表1 炭化物の乾物率、窒素、灰分、カルシウムおよびリン含量

炭化物		原物中%		乾物中%				灰分中%	
		乾物	NH <sub>3</sub> -N	全N*	灰分	Ca	P	Ca	P
畜舎敷料 (n=23)	平均	97.1	0.002	1.85	23.9	2.43	1.10	10.43	4.68
	SD	0.8		0.54	5.2	1.38	0.71	5.45	2.59
	範囲	95.1~98.6		0.79~3.12	15.3~36.1	0.59~5.98	0.26~3.25	2.10~21.32	0.91~11.59
ラット** 敷料 (n=24)	平均	98.2	0.014	2.33	20.2	3.56	2.41	19.77	12.56
	SD	0.6		0.49	8.9	1.84	1.57	8.46	6.22
	範囲	97.0~99.0		1.10~3.38	8.4~41.0	1.31~9.96	0.43~7.64	3.71~35.43	2.02~25.06
医療廃棄物 (n=24)	平均	97.3	0.011	2.03	22.4	1.99	0.39	10.59	1.76
	SD	1.7		0.90	9.1	2.28	0.78	12.51	2.75
	範囲	94.0~99.6		0.99~4.25	6.2~40.3	0~6.45	0~3.33	0.01~41.09	0.02~9.24
牛一胃内容 (n=13)	平均	97.6	0.002	3.40	26.9	3.34	2.21	13.11	8.32
	SD	1.5		2.41	8.4	2.13	1.22	8.42	4.45
	範囲	95.1~99.9		0.91~8.71	20.8~49.2	0.58~7.09	0~5.36	1.17~26.55	0~20.05
牛第三胃内容 (n=7)	平均	97.4	0	3.24	30.3	3.54	2.95	11.94	10.05
	SD	1.0		0.47	6.9	1.98	0.96	6.01	3.26
	範囲	96.1~98.9		2.59~3.87	22.6~42.1	1.78~7.52	1.81~4.76	4.22~23.05	4.80~13.84
牛 腸内容 (n=10)	平均	96.6	0.002	6.57	41.8	1.29	2.13	3.62	6.01
	SD	2.2		3.91	15.1	0.93	1.32	3.00	4.98
	範囲	93.8~99.2		1.46~14.14	23.8~72.0	0.24~3.17	0.33~4.70	0.50~9.49	0.84~16.09
馬 腸内容 (n=38)	平均	96.5	0.002	6.70	32.3	1.33	2.77	4.73	9.74
	SD	1.6		3.44	11.9	1.62	0.95	5.39	4.52
	範囲	92.8~99.0		0.97~11.55	17.5~58.2	0.01~7.14	0.95~5.13	0.03~24.77	2.58~17.44
敷料炭化不全 (n=19)	平均	49.1	0.26	2.21	7.5	0.71	0.37	9.86	5.15
	SD	17.0	0.15	0.79	2.0	0.29	0.14	4.49	2.16
	範囲	15.0~72.0	0.08~0.78	0.94~4.27	4.2~10.6	0.30~1.17	0.17~0.59	3.30~19.05	2.36~10.33
牛第一・三胃内容 炭化不全 (n=5)	平均	39.3	0.27	5.08	9.0	1.21	1.00	12.82	10.71
	SD	8.8	0.18	2.28	1.2	0.81	0.55	7.18	4.39
	範囲	30.9~53.0	0.10~0.51	3.04~8.90	7.7~10.7	0.32~2.29	0.56~1.92	3.71~21.43	6.56~18.03
馬 腸内容 炭化不全 (n=4)	平均	32.5	0.28	2.87	5.3	0.56	0.59	9.54	11.23
	SD	10.5	0.06	0.41	1.7	0.41	0.20	4.50	0.43
	範囲	18.0~42.0	0.19~0.31	2.44~3.31	3.8~7.3	0.20~1.01	0.41~0.81	5.21~13.78	10.81~11.82
牛 骨格 (n=35)	平均	98.7	0.015	0.89	84.4	30.84	11.86	36.36	14.13
	SD	0.8		0.54	4.9	8.20	4.29	8.74	5.10
	範囲	96.9~99.9		0.14~2.50	72.9~92.0	18.31~55.14	2.50~17.24	24.09~64.01	2.78~19.44
馬 骨格 (n=29)	平均	98.4	0.010	0.98	84.8	27.54	13.24	32.54	15.67
	SD	0.6		0.42	5.6	4.92	2.73	5.74	3.22
	範囲	97.3~99.2		0.24~1.92	71.5~93.7	18.94~41.69	4.72~17.05	20.30~48.82	5.06~19.96
馬 歯 (n=7)	平均	99.7	0.007	0.28	92.7	27.99	13.59	30.34	14.71
	SD	0.3		0.10	2.7	6.00	3.10	7.06	3.52
	範囲	99.2~99.9		0.13~0.41	88.0~95.7	20.28~35.61	8.56~17.13	21.24~38.41	8.97~18.54
中小家畜骨格 (n=5)	平均	98.8	0.008	1.79	73.1	26.69	12.20	36.78	16.72
	SD	0.4		0.77	7.9	2.77	2.07	4.68	2.39
	範囲	98.3~99.4		0.49~2.39	62.0~81.8	23.96~30.39	10.17~15.29	30.42~41.92	14.64~20.56
馬 筋肉 (n=6)	平均	96.3	0.001	7.97	23.0	0.31	2.84	1.43	12.53
	SD	1.2		1.02	4.1	0.26	0.49	1.31	2.30
	範囲	94.6~97.4		7.05~9.32	18.8~28.9	0.13~0.82	2.18~3.30	0.49~3.89	9.22~15.57

\* 炭化不全例では、乾燥後のケルダール分析N量に新鮮物(採取直後)のアンモニア態Nを加算

\*\* マウス含む

では炭化が完全であった。

処理終了後の産物（炭化物）の乾物率，アンモニア-N，全 N，灰分，Ca および P 含量を材料別に表 1 に示した。

1. 水分およびアンモニア濃度：炭化が完全な例ではすべて乾物率が 93% 以上（水分が 7% 以下）であり，アンモニア量は痕跡程度であった。この微量のアンモニアは炭末の吸着性を反映して大気からのアンモニア吸着によるものと考えられる。一般に畜舎敷料および大家畜の消化管内容には水分とともに高濃度のアンモニアが含まれるが，炭化が完全であれば産物にアンモニアの残存しないことが確認できた。

2. 全 N およびアンモニア量：歯牙の炭化例を除いて，炭化物には少なくとも約 1%，多い例では 10% 以上の N が含まれていた。とくに N の多いのは大家畜の腸管内容物で，ついで第一胃内容および筋肉であった。これは原材料の高 N 量を反映したものといえる。骨格および歯牙の炭化物では N 含量が少なく原材料の組成によるといえる。畜舎およびラットの敷料の N 含量は概ね 1～3% 程度で変動が小さかった。今回の敷料では清掃交換の頻度が高く糞尿混入割合が少なかったため炭化物の N 量が少なかったものと考えられる。医療廃棄物からの炭化物の N も 1～4% 程度であり，著しく高くはなかった。

高水分の炭化不全試料では分析の前処理（乾燥）中にアンモニアが揮散するので，上述のように採材直後のアンモニア-N をケルダール分解後の N に加えて全 N 量をもとめた。図 5 に示すように炭化不全例では全 N 中のアンモニア-N 割合は 9～46% と大きく変動していたが，消化管内容の炭化不全では概ね 20% 以下であった。今回は原材料

の組成を測定していないが，炭化物のアンモニア残存には材料および炉内投入時の詰込みの程度（踏圧）も関係するものと考えられる。

3. 灰分率：灰分率は多くの敷料，消化管内容および筋肉の炭化物で 15～60% 程度であったが，炭化不全の例ではほとんど 10% 以下であった。これは有機物が多く残存したために灰分率が相対的に低下したものといえる。骨格や歯牙の炭化物では原料がミネラル主体という特性を反映して灰分率が概ね 70% 以上であったが，鶏など中小家畜での灰分率はやや低かった。

4. Ca および P 量：Ca および P が最も高いのは骨格や歯牙の炭化物であった。これら組織にアパタイトとして豊富に存在している Ca や P 量の反映といえる。総灰分に占める Ca および P の比率は 30～37% および 14～17%（骨歯系の 4 区分ごとの平均値）であり，生体組織でのこれら比率<sup>[5]</sup>と概ね一致するものであった。筋肉の炭化物では Ca の約 0.3% に対して P は約 10 倍に達した。灰分当りでは Ca が 1.4%，P が 12.5% となり，市販牛肉の Ca および P 含量<sup>[6]</sup>から計算してみると P 量は概ね同水準であったが，Ca は 3 倍程度となった。筋肉炭化物として今回の材料には他部位の混入も考えられ 1% 程度の Ca 量は妥当と考えられる。第一胃および三胃の炭化物の Ca 含量は 3.5% 程度であったが，腸内容ではその半分程度であった。いっぽう，P 含量は消化管どの部位でも 2～3% 程度であった。消化管内容物および敷料の炭化不全例では Ca および P 量が低く，有機物が多く残ったためといえる。

ラット敷料由来の炭化物の Ca および P 含量は約 3.6% および 2.4% であり，畜舎敷料の両成分よりやや高かった。医療廃棄物の Ca および P 量は

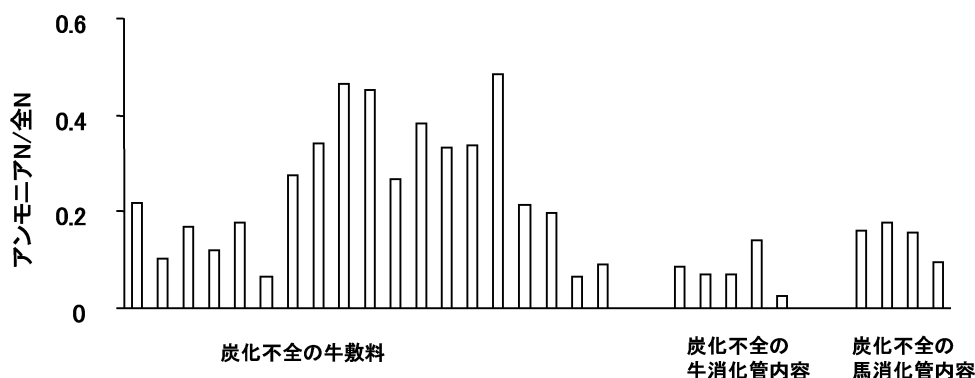


図 5 炭化不全物での全 N あたりアンモニア割合

検出不能なレベルから 6.5% および 3.3% まで分布していたが，その資材や内容を吟味していないので詳しい検討は困難である。

以上，バッチ式炭化装置による産物の N, Ca, P 含量をみると原料による差が大きかったが，炭化が完全であればアンモニアは痕跡程度であった。これら化学成分の土壌中や植物体内での動態，さらに炭化物の吸着性などの物理特性についても検討がまたれる。

## 謝 辞

本成果は酪農学園大学ハイテクリサーチセンタープロジェクト研究の一部であり，プロジェクトの申請および調整・指導に御尽力された谷山弘行教授および横田 博教授に深謝する。

## 文 献

1. Fiske, C.H. and Subbarow, Y. 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.* 66: 375-400.
2. 岩本元彦・竹下英一訳. 2000. 地球環境の化学. pp 276-281. 学会出版センター, 東京
3. 奥田拓道, 藤井節郎. 1966. 血中アンモニアの直接比色定量法. 最新医学. 3 : 622-627.
4. Ray Sarkar, B.C. and Chauhan, U.P.S. 1967.

A new method for determining micro quantities of calcium in biological materials. *Anal. Biochem.* 20: 155-166.

5. 西連寺永康・長谷川敬彦, 1973. 人体成分のサンプリング (臓器・組織). p 194. 講談社サイエンスティフィク. 東京
6. 食品成分研究調査会編. 2001. 五訂 日本食品成分表, pp 190-202. 医歯薬出版. 東京

## 要 約

従来から家畜排泄物処理では堆肥化や液状部分の暴気化，解体家畜などは焼却が多かったが，感染リスク低減の面から細心の配慮が求められている。この処理のため酪農学園大学では炭化装置を整備・稼動したので，その最終産物の利活用に向けて炭化物の成分的特性を原材料ごとに比較・検討した。本装置によって水分 7% 以下の炭化物がえられ，アンモニアはほとんど検出されなかった。炭化物の N 含量は大家畜の消化管内容や筋肉由来の場合に高かった。動物骨格由来の炭化物には Ca が 30% 程度，その半量程度の P が含まれた。畜舎敷料や大家畜の消化管内容物では炭化不全になることもあり水分が高く多量のアンモニアが残存したが，それは装置内への搬入の際に踏圧しすぎた場合であった。

## Abstract

Strict sanitation is desired in handling of livestock carcasses, beddings and infectious medical waste in livestock industry. Carbonization plant was established in Rakuno Gakuen University for proper handling and disposal of livestock carcass including digesta, infected beddings of domestic and experimental animals, and medical waste from the animal hospital. The carbonization chamber of the plant was operated under the anaerobic conditions at approximately 600°C for 12 hours, accompanying with natural cooling in room temperature. For the purpose of making use of the carbonized products in the future, nitrogen (N), ammonia, total ash, calcium (Ca) and phosphorus (P) concentrations were examined in the carbonized products from the individual raw materials. The plant completely yielded carbonization products of higher carbon contents in the most cases, and their moisture was less than 7 % with scarcely any ammonia. Total N contents were higher (2 to 7 %) in the products made of alimentary digesta and muscles from cattle and horses than those of beddings, skeleton and medical waste from the hospital. Carbonized product of skeleton had higher amounts of Ca of approximate 30 % and P of approximate 12 to 13 % in dry matter basis. Their ash level was 73 to 85 % on dry matter. Higher variation was observed in the Ca and P levels in the carbonized product of beddings, medical waste and alimentary digesta of the large animals. However, improper carbonization was observed in some cases of beddings and alimentary digesta which were intensively compressed in the carbonization chamber. Those products showed higher moisture and ammonia levels.