

木粉を用いた水産系廃棄物の堆肥化 (第1報)

— 廃棄物の化学的特性および寒冷地条件下における
堆肥化装置を用いた初期分解過程 —

関 一人 斎藤 直人^{*1} 白川 真也^{*2} 佐藤真由美
岸野 正典 横幕 辰美^{*3} 阿部 龍雄^{*4}
清水 光弘^{*4} 武田 忠明^{*5} 秋野 雅樹^{*5}

Composting Fishery Wastes with Wood Meal (I)

- Chemical property of the waste and the early stage of the degradation process
by a composting machine under cold environment -

Kazuto SEKI Naoto SAITO Shinya SHIRAKAWA Mayumi SATO
Masanori KISHINO Tatsumi YOKOMAKU Tatsuo ABE
Mitsuhiro SHIMIZU Tadaaki TAKEDA Masaki AKINO

Composting fishery wastes, such as starfish, sea urchin and crab shells with the inedible internal organs, was investigated using a prototype of composting machine with wood meal under cold environment. In terms of mineral composition of the wastes, nitrogen contents in the starfish and crab shell were higher than those of domestic animals excretions which are general composting materials. The machine used in this study is composed from rotate mixing container (45L), insulator shell, and unit for warm air supply (40°C). It was demonstrated that the organic substances of the wastes were decomposed rapidly in the machine with an inoculated aerobic bacteria even under the outside temperature of the machine (0-10°C). Then, the temperature of the degrading materials reached to 70°C within 2 days. The starfish and sea urchin shell were completely degraded to fine pieces within 2 days, and the crab shell was decomposed by 7 days except a fraction of the exoskeleton.

key words: fishery wastes, mineral composition, composting machine, wood meal, cold environment
水産系廃棄物, 無機成分, 堆肥化装置, 木粉, 寒冷地

寒冷地条件下において, 木粉と試作した堆肥化装置を用い, ヒトデ, 非可食内臓付きのウニ殻やカニ殻などの水産系廃棄物の初期分解特性について検討した。廃棄物の無機成分において, ヒトデやカニ殻では家畜排泄物よりも窒素含有量が高かった。装置の分解槽(45L)に, 回転攪拌機構, 断熱構造を備え, 40°Cの強制通気や好気性微生物の添加を行うことにより, 装置外温度が0~10°C前後の環

境条件下においても、資材温度は2日以内に70℃に達した。ヒトデやウニ殻では2日間以内に細片化し、カニ殻では外骨格の一部を除いて7日までに分解したことから、試作機は寒冷地においても迅速な初期分解性を示すことが明らかとなった。

1. はじめに

北海道は日本最大の水産物供給基地であるが、資源の捕獲、養殖、加工などの過程で大量の廃棄物が発生している。最近では、本道の主力漁業であるホタテガイの栽培漁業にともない混獲されるヒトデや、水産加工業において国内産に加えて年々増加傾向にある外国産のカニやウニから発生する殻など、水産系廃棄物の処理が大きな問題となっている。これらの廃棄物は今日推進されている循環型社会に対応するために、発生抑制や循環的利用が求められている¹⁾。とりわけ水産系有機性廃棄物は、タンパク質などの易分解性有機物や水分が多いことから、腐敗して悪臭の発生源となりやすく、公衆衛生面から問題となるため、発生直後から速やかな適正処理が好ましい。現在では、埋立て、焼却などの処理がなされるほか、処理コストや資源の有効利用などの点から、土壌微生物の活動を利用した堆肥化処理を採用する例が多くなっている。しかし、北海道のような寒冷地では、屋外で堆肥化するための十分な発酵温度を短期間で得ることは困難であることが指摘されている^{2,3)}。一方、慣行の家畜排泄物の堆肥化においては、木材や樹皮などの木質系粉砕物による水分調整用の副資材としての有効性が報告されている⁴⁻⁶⁾。また、開始から1か月以内のいわゆる堆肥化初期においては、微生物による堆肥化資材の分解発酵にともなう温度や化学的性質の急激な変化がみられる⁷⁾ことから、その後の堆肥化の熟成にも影響を与えることが考えられ、その分解過程を把握するのは重要である。

本研究では、まず水産廃棄物の化学的特性について調査し、一般の堆肥化資材である家畜排泄物と比較した。つぎに、試作した堆肥化装置を用い、水産系廃棄物を木粉とともに処理し、寒冷地条件下における初期分解過程について検討した。

2. 材料および方法

2.1 水産系廃棄物の無機成分の化学分析

本研究では水産系廃棄物として、キヒトデ(*Asterias*

amurensis)、エゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius*) の殻、タラバガニ (*Paralithodes camtschaticus*) の殻(以下、それぞれヒトデ、ウニ殻、カニ殻という)を用いた。ヒトデは粉碎せずに個体の状態で用いた。また、ウニ殻とカニ殻は、水産加工後の非可食の内臓が付着している状態で用いた。

水産系廃棄物の堆肥化資材としての無機成分について、窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸比色法、カリウムおよびナトリウムは炎光度法、カルシウム、マグネシウム、カドミウムは原子吸光法により測定した。なお、比較として牛ふんも同様の項目について測定した。

2.2 堆肥化装置

分解槽(容量45L)に、①回転攪拌機構、②断熱構造(槽壁にグラスウール充填)、③温度制御可能な強制通気機構を備え、外郭に断熱構造を有する堆肥化装置(以下、装置という)を設計試作した(第1, 2図)。

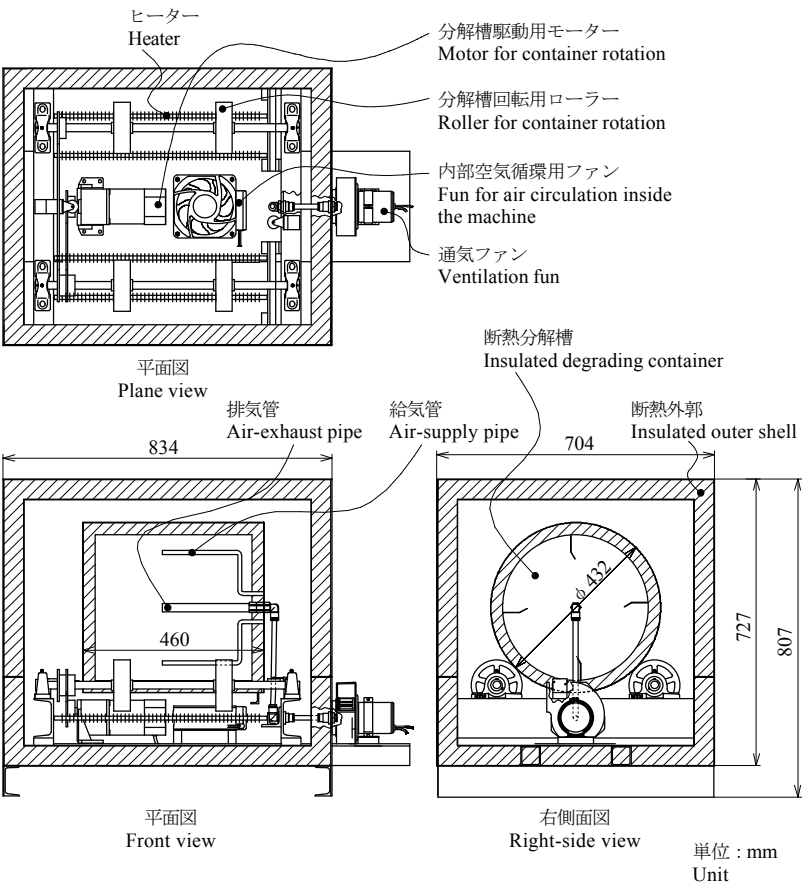
2.3 装置による水産系廃棄物の処理

水産系廃棄物(体積約10L)と、カラマツ(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)の材部粉砕物(以下、木粉という:粒度4mm以下、含水率11%, 体積約20L)、分解促進剤(“生ゴミアップZ”, グリーンテックス(株))からなる混合物(第1表)を堆肥化資材とし、初期水分を60%に調整して装置の分解槽に充填した。分解槽は40℃, 5L/minで強制通気しながら1時間当たり6回転させ、7日間連続して稼働させた。処理は2005年1月に気温約0~10℃の屋内で行い、期間中は、熱電対(ST6-K, 林電工(株))および温度記録計(ポータブルマルチ温度計2423, 横河電気(株))を用いて分解槽内の資材温度、通気温度、装置外温度を連続的に測定記録するとともに、資材の形状を目視観察した。

3. 結果と考察

3.1 水産系廃棄物の無機成分

本研究で用いた水産系廃棄物および比較として一般の堆肥化資材である家畜排泄物の無機成分について



第 1 図 堆肥化装置の三面図

Fig. 1. Three orthographic views of the composting machine.

断熱材
Insulation material

第 1 表 堆肥化資材の組成

Table 1. Composition of composting materials.

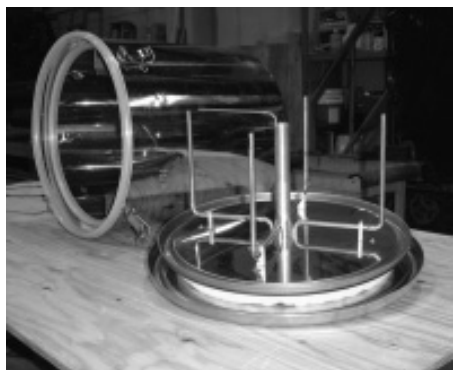
水産系廃棄物 Fishery wastes				カラマツ木粉 Larch wood meal		分解促進剤 (g) Degradation microorganisms
廃棄物名 Wastes	種 Species	重量 (kg) Weight	水分 (%) *1 Moisture*1	重量 (kg) Weight	水分 (%) *1 Moisture*1	
ヒトデ Starfish	キヒトデ Japanese common starfish <i>Asterias amurensis</i>	4.7	66	4.5	11	10
ウニ殻*2 Sea urchin shell*2	エゾバフンウニ Short-spined sea urchin <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	3.9	43	4.5	11	10
カニ殻*2 Crab shell*2	タラバガニ King crab <i>Paralithodes camtschaticus</i>	9.5	72	4.5	11	10

*1: 対湿重量

*2: 非可食内臓部を含む

*1: Based on wet substrate

*2: Contained inedible internal organ



第 2 図 堆肥化装置，分解槽と給排気管を備えた蓋

Fig. 2. The composting machine, the degrading container, and the cover with the pipe unit for air supply and exhaust.

で第2表に示した。植物の三大栄養素に関連した無機成分において、ヒトデやカニ殻では家畜排泄物と比較して、窒素が高く、リン酸は同程度で、カリウムは低かった。これに対して、ウニ殻では、窒素・リン酸・カリウムはいずれも低かった。また、その他の植物栄養素に関連して、ヒトデやウニ殻ではカルシウムが高く、マグネシウムにおいては水産系廃棄物と家畜排泄物は同程度であった。一般に、家畜排泄物において、窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの植物栄養素の含有量は鶏>豚>牛の順に多く、同順序は得られる堆肥化物の肥効性にも反映されることが報告されている⁸⁾。このことから、ヒトデやカニ殻の堆肥化物には、不足しているカリウムなどを補うことにより家畜排泄物の堆肥化物とほぼ同様な肥効性が得られることが推測された。

ナトリウムや重金属であるカドミウムは植物栄養素とは直接関わりの少ない無機成分である。牛ふんと比較して水産系廃棄物のナトリウム含有量は高かった。また、ヒトデのカドミウム含有量は他の水産系廃棄物および鶏ふんと比較して高い値を示した(第2表)。ヒトデなどの海洋生物の中には、海水、海底土壌、食物などの周辺環境から、重金属を体内に存在する金属結合性様のタンパク質に取り込んで蓄積する性質を示すものがある^{9,10)}。その他の水産系廃棄物のうち、ホタテガイ(*Patinopecten yessoensis*)

の中腸腺(通称ウロ)では $34.3 \sim 100.2 \mu\text{g/g}^{11,12)}$ 、スルメイカ(*Todarodes pacificus*)の肝臓(通称ゴロ)では $37.8 \sim 169.3 \mu\text{g/g}^{13)}$ 程度のカドミウムの含有が報告されており、これらと比較すると本研究で用いた水産系廃棄物はカドミウム含有量が低かった。なお、家畜排泄物のうち豚ふんには $1.40 \mu\text{g/g}$ 程度のカドミウムが含まれているが、これは市販の配合飼料中に添加されている微量元素に起因することが示されている⁸⁾。

3.2 堆肥化資材の温度および形状の経時変化

3.2.1 資材温度の経時変化

実験開始後の資材温度を第3図に示した。すべての水産系廃棄物の資材温度は装置を稼働させてから2日目までに 70°C 以上に達したのち、徐々に低下していった。資材温度における 60°C 以上の持続時間は、カニ殻>ヒトデ>ウニ殻の順に長く、それぞれ3日間、2日間、1.5日間であった。

家畜排泄物などを対象とした堆肥化過程では、好気性微生物が栄養源とする易分解性有機物を酸化分解する際に発酵熱が発生する。適宜“切返し”などをして、通気性条件を整えることにより、堆肥堆積物の内部温度は 60°C 以上に上昇する^{4,6,8)}。このような発酵熱は、有害な有機物を非活性化させたり、他の生物、病原菌、寄生虫、雑草種子などを死滅させることが知られている^{8,14)}。一方、北海道などの寒冷地では、夏期間を除いて低温のために堆肥化にお

第2表 水産系廃棄物および家畜排泄物の無機成分

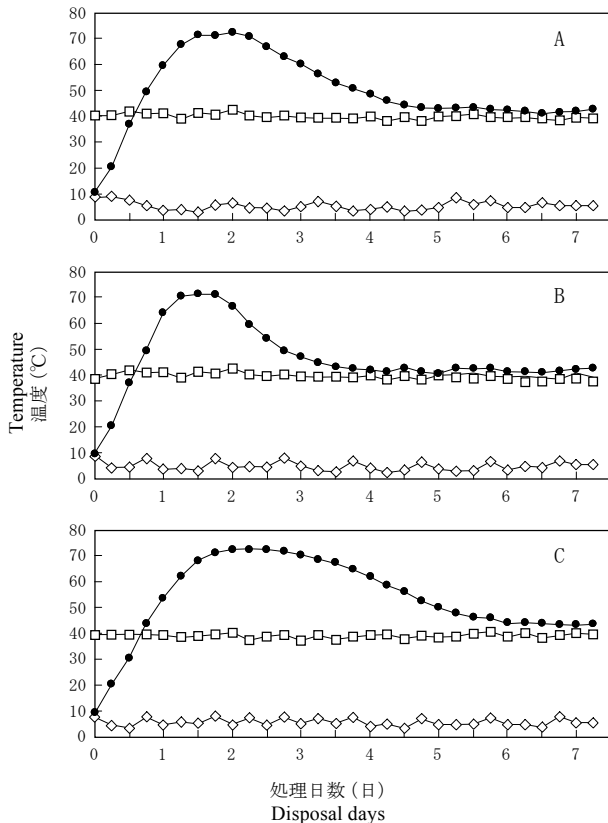
Table 2. Mineral composition of fishery wastes and domestic animal excretions.

廃棄物 Wastes	水分 Moisture (%) ^{*1}	窒素 N	リン酸 P_2O_5	カリウム K_2O	カルシウム CaO (%) ^{*2}	マグネシウム MgO	ナトリウム Na_2O	カドミウム Cd ($\mu\text{g/g}$) ^{*2}
ヒトデ Starfish	65.8	6.40	1.78	0.33	19.81	1.62	1.22	8.53
ウニ殻 ^{*3} Sea urchin shell ^{*3}	42.6	1.38	0.31	0.79	23.70	1.89	3.36	0.13
カニ殻 ^{*3} Crab shell ^{*3}	72.3	8.43	3.48	0.61	4.47	0.74	1.21	1.50
牛ふん Cattle feces	78.8	2.12	1.78	1.83	1.81	0.82	0.11	N. D. ^{*6}
鶏ふん ^{*4} Broiler feces ^{*4}	78.0	4.00	4.45	2.97	1.60	0.77	— ^{*5}	— ^{*5}
豚ふん ^{*4} Swine feces ^{*4}	75.0	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	— ^{*5}	1.40

*1: 対湿潤重量, *2: 対乾燥重量, *3: 非可食内臓部を含む, *4: Harada *et al.*(1993)⁸⁾より引用, *5: 不記載, *6: 不検出

*1: Based on wet substrate, *2: Based on dry substrate, *3: Contained inedible internal organs, *4: Data from Harada *et al.* (1993)⁸⁾,

*5: Not mentioned, *6: Not detected



第3図 水産系廃棄物の分解処理における処理物、通気、装置外の温度

Fig. 3. Temperatures of disposal materials, air supply, and outside machine on the fishery wastes degradation.

A: ヒトデ, B: ウニ殻, C: カニ殻
 ●: 処理物, □: 通気, ◇: 装置外
 A: Starfish, B: Sea urchin shell, C: Crab shell
 ●: Disposal materials, □: Air supply, ◇: Outside machine

ける初期発酵が停滞するという問題がある^{2,3)}ほか、小容量の堆肥化では、資材の容積のわりに表面積が大きく、発生熱量に対する放散熱量が大きくなり資材温度の上昇が低く抑えられることが指摘されている¹⁵⁾。

本研究では、グラスウールで断熱した分解槽(第1, 2図)に40℃, 5L/minで通気供給することにより、装置稼働してから2日以内に処理物の温度が70℃以上に達した(第3図)。堆肥化に際して添加した分解促進剤には、バチルス菌(*Bacillus subtilis*)やシュードモナス菌(*Pseudomonas* spp.)などの好気性かつ耐熱性の微生物が優先的に存在していることが認められている¹⁶⁾ことから、これらの微生物が初期の繁殖に適した環境温度¹⁷⁾や通気量^{4,6,8,14)}を得て急激に

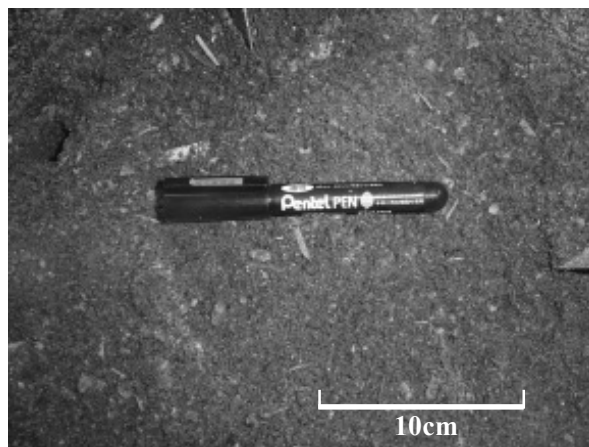
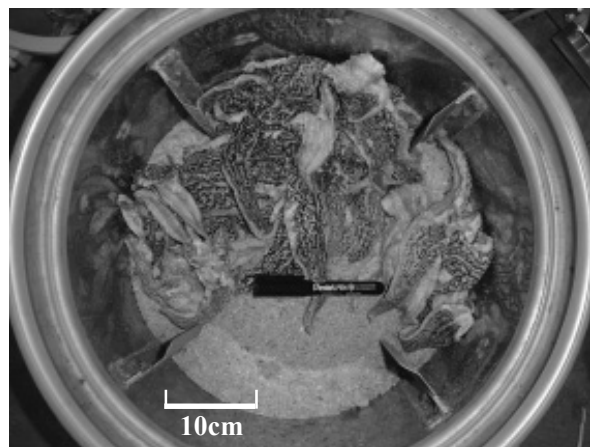
繁殖したことが推察された。また、微生物はタンパク質などの易分解性有機物を栄養源として堆肥化を進行させる^{6,8,14)}ため、本研究における資材中の窒素含有量が温度の持続時間の長さに影響を及ぼしたことが考えられた(第1, 2表, 第3図)。さらに、分解槽の断熱構造(第1, 2図)により発酵熱の分解槽外への放出が抑えられたこと¹⁵⁾で、小容量の堆肥化においても資材温度が高温域で維持されたことが考えられた。

3.2.2 資材形状の経時変化

装置を用いて木粉とともに処理したヒトデは、2日後にはその形状が崩壊し、細片化した体壁が木粉の間にさらさらの状態で存在しており、汚物感が解消されていた(第4図)。同様に、ウニ殻も2日後には完全に細片化した(第5図)。一方、カニ殻では7日後において、内臓部分の分解は進んでいたが、外骨格部分は完全には分解せず細片化には至らなかった(第6図)。

ヒトデやウニは棘皮動物(echinoderm)に属し、その体壁中にはカルシウム性の骨片が有機性組織により結合された骨格を形成する。また、カニは節足動物(arthropod)の甲殻類(crustacean)に属し、その外骨格中には構造多糖類としてキチンが含まれている¹⁸⁾。本研究におけるヒトデやウニ殻の処理では、その体壁や内臓を構成する易分解性の有機性組織は、分解槽内の微生物の活発な活動や発酵熱により急激に分解したのに対し、難分解性のカルシウム性骨片どうしは分離して木粉中に散在したことが考えられた。カニ殻の処理では、内臓などは比較的早い段階で分解されたが、キチンを含む外骨格は分解槽内で繁殖する微生物に対しては分解抵抗性を示すことが推察された。したがって、カニ殻の分解を促進するためにはあらかじめ破碎するなどの前処理が必要であることが考えられた。

慣行の堆肥化では、水分の多い堆肥化資材に対して水分調整と通気性を向上させる目的で、木粉やモミガラなどを副資材として添加することにより、好気性微生物の増殖を促進させる^{5,6,14)}。本研究では、水分43～72%の水産系廃棄物(第1表)に対してカラマツ材粉砕物を体積比1:2で混合したのち初期水分を60%に再調製したが、処理資材における水分



第4図 処理前および2日間処理後のヒトデと木粉

Fig. 4. The starfish and wood meal in the container before and after 2-day disposal.



第5図 処理前および2日間処理後のウニ殻と木粉

Fig. 5. The sea urchin shells and wood meal in the container before and after 2-day disposal.



第6図 処理前および7日間処理後のカニ殻と木粉

Fig. 6. The crab shells and wood meal in the container before and after 7-day disposal.

の滞留は観察されなかったことから、通気性が維持され微生物活動が円滑に進行したことが考えられる。7日間の処理後、外見上では水産系廃棄物の外骨格や内臓の大部分は分散または消滅していたが、木粉は形状の変化が観察されなかった。また、用いたすべての水産系廃棄物の処理において、資材温度の急激な上昇が認められた(第3図)ことから微生物は活発に活動していたが、木粉は試験期間内に増殖した微生物により積極的な化学変化を受けずに難分解性を示したことが考えられる。リグノセルロース系有機物である木粉は、形状、比重、有効表面積、多孔性、保水性、保温・断熱性、養分供給性、微生物の担体性などの点から生ゴミや尿尿^{しにょう}などの有機物の分解処理において最適なマトリックスであることが報告されており¹⁹⁻²²⁾、水産系廃棄物などの有機物を対象とした装置による堆肥化においても優れた副資材であることが示された。

4. 結論

水産系廃棄物の無機成分を調べ、木粉と試作した堆肥化装置を用いて廃棄物の初期分解過程について検討した。ヒトデやカニ殻の窒素含有量は、家畜排泄物より高かった。装置の分解槽に、回転攪拌機構、断熱構造を備え、40℃の強制通気や好気性微生物の添加を行った。その結果、装置外温度が0~10℃の寒冷地条件下においても、堆肥化資材の温度は2日以内に70℃に達するとともに廃棄物の分解が進行したため、木粉と試作機を用いた廃棄物の処理は寒冷地においても迅速な初期分解性を示すことが明らかとなった。

文 献

- 1) 北海道水産林務部総務課 編：“北海道水産業・漁村のすがた 2006～北海道水産白書～”，北海道，札幌，2006，pp.68-70.
- 2) 坂本喜七，佐藤寛子，富樫祐悦：東北農業研究 55号，117-118(2002).
- 3) 館孝，河部恭一，大村陽志郎：畜産の研究 33，771-775(1979).
- 4) 高橋弘行，吉田兼之：林産試験場月報 254号，6-11(1973).
- 5) 佐藤俊：畜産の研究 30，227-230(1976).
- 6) 河田弘：“パーク(樹皮)堆肥”，博友社，東京，1984，pp.18-33.
- 7) 今野一男，平井義孝，東田修司：北海道立農業試験場集報 第52号，31-40(1985).
- 8) Harada, Y., Haga, K., Osada, T., Koshino, M.: *Japan Agricultural Research Quarterly* 26, 238-246 (1993).
- 9) den Besten, P. J., Herwig, H. J., Zandee, D. J., Voogt, P. A.: *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 19, 858-862 (1990).
- 10) Coteur, G., Pernet, P., Gillan, D., Joly, G., Maage, A., Dubois, P.: *Toxicol. Chem.* 22, 2136-2144 (2003).
- 11) 作田庸一，富田恵一，田辺雄三：北海道立工業試験場報告 No.291，13-19(1992).
- 12) 栗原秀幸，新井信太郎，羽田野六男：北大水産彙報 44，39-45(1993).
- 13) 栗原秀幸，渡川初代，羽田野六男：北大水産彙報 44，32-38(1993).
- 14) (社)中央畜産会 編：“堆肥化施設設計マニュアル”，(社)中央畜産会，東京，2000，pp.1-28.
- 15) 向弘之：農業施設 34，249-256(2004).
- 16) 佐藤一彦，小森和宏：未発表.
- 17) Horisawa, S., Sakuma, Y., Tamai, Y., Doi, S., Terazawa, M.: *J. Wood Sci.* 47, 154-158 (2001).
- 18) 山田常雄ほか 編：“岩波生物学辞典 第2版”，岩波書店，東京，1977.
- 19) 寺沢実：木材学会誌 42，629-633(1996).
- 20) Terazawa, M., Horisawa, S., Tamai, Y., Yamashita, K.: *J. Wood Sci.* 45, 354-358 (1999).
- 21) 寺沢実：木材工業 55，623-627(2000).
- 22) Horisawa, S., Sunagawa, M., Tamai, Y., Matsuoka, Y., Miura, T., Terazawa, M.: *J. Wood Sci.* 45, 492-497 (1999).

—利用部 成分利用科—

— *1：企画指導部 企画課—

— *2：技術部 主任研究員—

— *3：技術部 機械科—

— *4：技術部 成形科—

— *5：北海道立網走水産試験場—
(原稿受理：07.1.12)