

北海道における共同利用型バイオガスプラントによる地域バイオマスの循環利用の試み

横濱 充宏

国産生乳の4割強を生産する北海道では1960年以降、乳牛飼養頭数の増加と戸数の減少が進んだ。その結果、労力不足による乳牛糞尿の不適切な貯留による環境負荷が懸念されるようになった。このほかに、食品加工残滓やし尿処理汚泥等の各種有機性廃棄物も焼却処理や埋立処理されており、地域バイオマスの活用がなされていない。このため、乳牛ふん尿やその他の地域バイオマスの循環利用による環境負荷の防止が必要となっている。

このような背景の中、(独)土木研究所寒地土木研究所が行ってきた、共同利用型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用に関する研究の成果について述べる。

キーワード：共同利用型バイオガスプラント、乳牛ふん尿、バイオマス、バイオガス、消化液

1. はじめに

北海道では広大な土地資源を活用した土地利用型の大規模農業が展開されており、我が国の最も重要な食料基地としての役割を果たしている。中でも北海道の東部や北部で展開されている酪農は、既にヨーロッパ諸国の規模をしのぐまでに規模拡大が進められ、その生産物は全国に流通している。

酪農では多量のふん尿が排出され、それによる環境汚染が懸念されていた。このため、平成11年に「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」が施行された。一方、ほぼ時期を同じくして、化石燃料の消費を抑制することによる地球温暖化対策が具体化し始め、温室効果ガスの発生抑制・地球温暖化の防止(京都議定書の批准(1997年)、地球温暖化対策の推進に関する法律(1998年))あるいは再生可能エネルギーの利用促進(新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(1997年))にかかる法律等が制定された。また、廃棄物の発生抑制と循環利用を促進するため、平成12年に循環型社会形成推進基本法が公布された。

バイオガスプラントは家畜ふん尿やその他の有機性廃棄物の処理と同時に、化石燃料の消費を抑制することにもなる再生可能なエネルギーを産出する施設であり、ヨーロッパの一部の国々では普及している。しかし、北海道はバイオガスプラントが普及しているデンマークやドイツに比べて寒冷であり、ふん尿の排出形

態も異なる。このため、ヨーロッパの技術をそのまま北海道に導入することはできない。

このような背景の中、(独)土木研究所寒地土木研究所(以下、寒地土木研究所)は北海道東部の別海町に乳牛ふん尿を主原料とする共同利用型バイオガスプラント(以下、別海バイオガスプラント)を建設し、2000年より、北海道における共同利用型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用に関する一連の研究を行ってきた。本報ではその成果のうち、環境対策に関係の深いものについて述べる。

2. 別海バイオガスプラントの概要

別海バイオガスプラントの発酵槽の容量は1,500 m³で、中温発酵(37℃、処理量50 m³/日、滞留日数30日)と高温発酵(55℃、処理量75 m³/日、滞留日数20日)での発酵処理が可能ないように設計されている。したがって、本プラントでは、中温発酵では成牛換算で1,000頭の、高温発酵では同1,500頭の乳牛ふん尿の処理が可能である。本プラントで生産されたバイオガスは65 kW × 3台のコジェネレーター(電気と熱エネルギー(温水)の両方を発生させるエネルギー発生装置)と186 kWのバイオガスボイラーで電気エネルギーないし熱エネルギーに変換され、プラントで必要とするエネルギーを自給するとともに、余剰電力を売電している。バイオガスとともに発生する消化液は液肥として、ふん尿搬入農家の牧草地に施用される。

別海バイオガスプラントへのふん尿搬入農家は10戸であり、乳牛の飼養形態の違いに伴う発生ふん尿形態に差が見られる。10戸のうち、4戸はふんと尿の混合物である液状ふん尿（スラリー）を排出し、残りの6戸は敷料（乾燥牧草、麦稈等）の混入した固形ふん尿を排出する。液状ふん尿は直接、メタン発酵用の原料受入槽に投入されるが、固形ふん尿はプラント内の固液分離機により固液分離が行われ、液分のみがメタン発酵の原料として使用される。分離固分は堆肥化され、堆肥として農家に還元される。

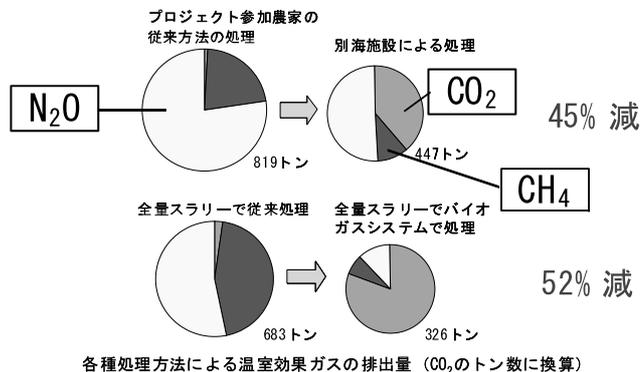
別海バイオガスプラントは2001年より稼働を開始し、稼働当初は乳牛ふん尿のみを原料として受け入れていたが、2003年からの試験投入を経て、2005年より、地域で発生する各種有機性廃棄物を有料で継続的に受け入れてこれを乳牛ふん尿と共発酵させる、経済的自立に向けた運用を開始している。

3. 乳牛ふん尿の嫌気発酵処理による地球温暖化ガス発生抑制効果¹⁾

本効果に関する解析は北海道立根釧農業試験場研究部経営科が行った。別海バイオガスプラントの協力農家10戸で発生する乳牛ふん尿をバイオガスプラントを介して処理・圃場散布する場合と従来どおりの処理・圃場散布を行う場合について、LCA（Life Cycle Assessment）による解析を行い、それぞれの処理方式における地球温暖化に対する影響を算定した。

その結果、温暖化負荷を発生気体別に見ると、二酸化炭素ではなく、メタンや亜酸化窒素によるものが半数を占め、地球温暖化防止にはメタンや亜酸化窒素の発生の少ないふん尿の処理手法の導入が重要であることが判明した。また、バイオガスプラントによるふん尿の嫌気処理は、密閉された発酵槽内で発酵を行い、発生したガスを燃焼させるため、系外へのメタンや亜酸化窒素の放出が少ないことも明らかとなった。

従来のふん尿処理体系に対するバイオガスプラントによるふん尿処理体系の地球温暖化防止効果を算定したところ、固形ふん尿をプラントで受入れる場合は二酸化炭素に換算しておよそ45%の、受入れふん尿を



共同利用型バイオガスプラントによるふん尿処理により、半分程度の温室効果ガスの削減効果

図一 1 バイオガスプラントによる地球温暖化ガス削減効果

全量スラリー化した場合はおよそ52%の地球温暖化ガス削減効果があることがわかった（図一1）。

4. 乳牛ふん尿の循環利用¹⁾

(1) 消化液の特性

バイオガスプラントでは、乳牛ふん尿等の原料を嫌気発酵処理し、生成物としてバイオガスと消化液を得る。北海道のような広大な農地を有する地域では、この消化液を液肥として循環利用することが可能である。そこで、原料である液状の乳牛ふん尿（原料スラリー）を室内試験用嫌気発酵装置で嫌気発酵処理して、消化液を作成し、原料スラリーと消化液の成分分析を行って消化液の特性を明らかにした。

その結果、消化液は原料スラリーに比べ、固形分含量が少なく、全窒素含量は変わらないが、全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合が高いことがわかった（表一1）。消化液の固形分含量が原料スラリーより少ないことは、原料スラリーに比べて消化液の粘性が小さく、圃場散布時の作業性に優れることを示している。窒素はリン酸およびカリウムとともに重要な肥料成分であり、このうち、アンモニア態窒素は作物に即座に吸収され易い、即効性の窒素肥料成分である。発酵処理により全窒素含量が変わらないことは、発酵中の肥料成分の損失が少ないことを意味し、全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合が高まることは、消化液が原

表一 1 原料スラリーと消化液の性状比較

	pH (FM %)	DM (FM %)	T - N (FM %)	NH ₄ - N (FM %)	NH ₄ - N/T - N × 100 (FM %)	P ₂ O ₅ (FM %)	K ₂ O
原料スラリー	7.95	6.41	0.38	0.23	61.1	0.17	0.55
消化液	8.16	4.14	0.38	0.26	67.9	0.11	0.50
変化傾向	上昇	減少	無変化	増加	上昇	減少	減少

料スラリーに比べ、即効性の窒素肥料成分が多いことを示している。

また、家畜ふん尿を原料とする液肥は圃場散布後のアンモニア揮散が発生し、窒素肥料成分の損失を招くとともに、大気中に揮散したアンモニアが酸性雨の原因となることから、原料スラリーと消化液の圃場散布試験を行い、両者のアンモニア揮散特性を比較した。

その結果、消化液は原料スラリーに比べて固形分が少ないため、圃場散布後に速やかに地中に浸透し、その結果として、アンモニア揮散が少なくなることが明らかとなった(図-2)。一方、散布直後の地中への浸透深さは原料スラリー、消化液ともに深さ5cm程度に留まり、消化液が原料スラリーより深くへ浸透し、地下水汚染に対するより大きな脅威になるとは考えられなかった。

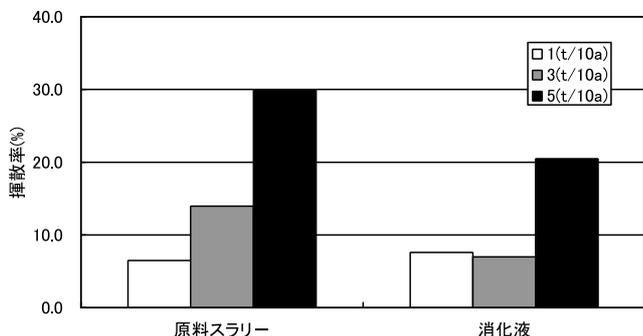


図-2 原料スラリーと消化液の圃場施用後のアンモニア揮散率の比較

(2) 消化液の施用法の確立

北海道立根釧農業試験場により牧草地への、北海道立北見農業試験場により畑作物(馬鈴薯、甜菜、秋蒔

表-2 牧草に対する消化液の肥効率

窒素			
T-N	NH ₄ ⁺ -N	リン酸	カリウム
A ¹⁾	B ²⁾		
0.4	1.0	0.4	0.8

- 1) B/A < 0.5 のとき適合性が高い。スラリーの補正係数を用いて品質と施用時期により補正する。
- 2) B/A ≥ 0.5 のとき適合性が高い。スラリーの補正係数で施用時期についてのみ補正する。

表-3 畑作物に対する消化液の肥効率と施用法

対象作物	施用位置	成分肥効率			施用適量 (t/10a)
		T-N	NH ₄ -N	K ₂ O	
秋まき小麦 (起生期追肥)	表面施用	0.7	1.0	1.0	約 2 t
てんさい、ばれいしょ 緑肥 (基肥)	表面施用 後混和	0.4	0.7	1.0	約 3 t

き小麦、緑肥)への消化液の施用試験が行われ、牧草および畑作物への消化液の各肥料成分(窒素、リン酸、カリウム)の肥効率(表-2, 3)が明らかにされ、施用法が確立された。

牧草の場合、年間4t/10a程度の消化液施用量では、秋春等量分施が、越冬前後における窒素の損失を相対的に少なくし、1番草の収量確保につながる最も効果的な施用法であることが明らかになった。

秋蒔き小麦の場合、消化液の施用適量は2t/10a程度で、秋の播種時の基肥ではなく、春の起生期の追肥として施用した方が効果的であることが明らかとなった。

甜菜、馬鈴薯および緑肥の場合、消化液の施用適量は3t/10a程度で、植付け直前に表面施用し、翌日に土壌と良く混和すると効果的であることが明らかとなった(表-3)。

(3) 消化液の効果

別海バイオガスプラント利用農家による圃場への消化液施用は、2001年秋より始まったが、牧草収量は2004年より増収に転じており、消化液施用による牧草収量増大効果が発揮されつつあるといえる(図-3)。

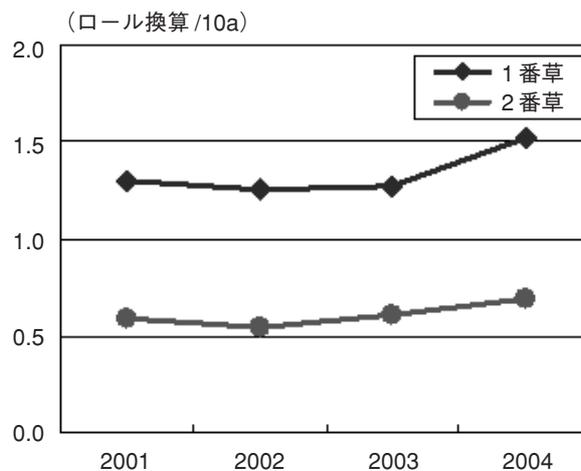


図-3 消化液施用後の牧草収量の推移

農家への聞き取りでも、消化液は生スラリーに比べ、施用時の臭いが少なく、牧草の生育障害が発生し難いとの評価を得ている。

このような効果があることから、農家は消化液の圃場施用に積極的であり、乳牛ふん尿のバイオガスプラントにおける嫌気処理は、乳牛ふん尿の循環利用を促し、野積みによる放置等の不適切な処理を減少させる手段として有効と考えられる。

5. 乳牛ふん尿以外の地域バイオマスの循環利用

(1) 地域で発生する各種バイオマスの処理の現状と性状²⁾

別海町とその周辺で発生する各種バイオマスの処理状況について聞き取り調査を行った。その結果、これらは利用されることなく、焼却処理されるか、埋立処理されていることが分かった。

別海町とその周辺で発生する各種バイオマスについて、性状分析を行った。別海バイオガスプラントの主原料である乳牛スラリーの新鮮物あたりの有機物含量は 0.054 kg kg^{-1} であり、メタン発酵細菌は原料中の有機物を分解してメタンガスを発生させることから、乳牛スラリーより有機物含量の多い副資材がバイオガスの生産上有利である。分析を行った結果、し尿脱水汚泥、乳業工場汚泥、給食残食、水産加工残滓、廃乳および廃脱脂粉乳は乳牛スラリーより有機物含量が多いことを明らかにできた(図-4)。また、し尿脱水汚泥、乳業工場汚泥、水産加工残滓および廃脱脂粉乳は、主原料の乳牛スラリーより灰分が多いことが明ら

かとなった(図-4)。発酵処理によりバイオガスと共に生成する消化液の肥料としての活用を考える場合、これらの副資材の灰分が消化液中の各種必須元素の増加をもたらすことが期待できる。

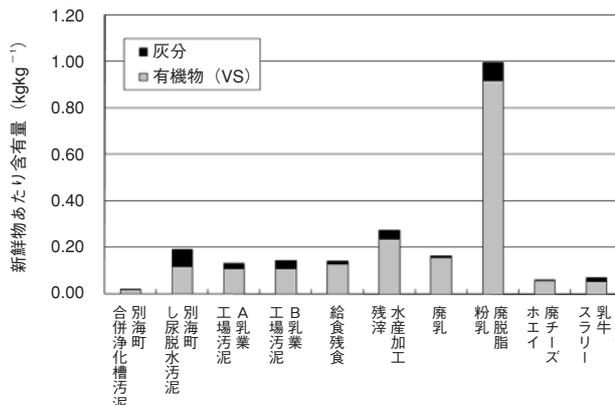


図-4 乳牛スラリーおよび各種バイオマス中の有機・無機固形分含量

別海プラントでは、バイオガスとともに生成する消化液を肥料として草地圃場に還元しているが、肥料取締法では汚泥を原料として用いる場合、これらについて溶出試験を行い安全性を確認することが求められて

表-4 汚泥系バイオマスの有害物質の溶出試験結果

分析項目	単位	別海町 合併浄化 槽汚泥	別海町 し尿脱水 汚泥	A乳業 工場汚泥	B乳業 工場汚泥	C乳業 工場汚泥	A社水産 加工場 汚泥	B社水産 加工場 汚泥	基準 上限値
アルキル水銀	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
総水銀	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005
カドミウム	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.300
鉛	mg L ⁻¹	0.009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.300
有機リン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.000
六価クロム	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.500
ヒ素	mg L ⁻¹	0.075	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.300
全シアン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.000
PCB	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.003
トリクロロエチレン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.300
テトラクロロエチレン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.100
ジクロロメタン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.200
四塩化炭素	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.020
1,2-ジクロロエタン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.040
1,1-ジクロロエチレン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.200
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.400
1,1,1-トリクロロエタン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.000
1,1,2-トリクロロエタン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.060
1,3-ジクロロプロペン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.020
チウラム	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.060
シマジン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.030
チオベンカルブ	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.200
ベンゼン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.100
セレン	mg L ⁻¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.300

備考：N.D.=不検出

いる。溶出試験を行った結果、別海プラントで副資材として利用している汚泥類はいずれも有害物質含量が基準上限値をはるかに下回っており、これらの安全性が確かめられた（表—4）。

(2) 地域で発生する各種バイオマスのバイオガス増産効果¹⁾

地域で発生する各種バイオマスを乳牛ふん尿と共発酵処理する場合の適正投入割合とそのときのバイオガス増産効果を検証するため、室内実験用嫌気発酵装置による共発酵試験を行った。その結果、ほとんどのバイオマスについてバイオガスの増産効果が認められ、適正投入割合が明らかになった（表—5）。バイオガス増産効果は、牛乳やバター等の乳製品で特に高く、別海町とその周辺の乳業工場で発生する廃乳製品が共発酵のための副原料として有望であることがわかった。

表—5 各種バイオマス副原料のガス増産効果（室内試験）

資材名	実験区分	投入割合	対照区に対する Vs 当りバイオガス増量割合	評価
敷き料	バッチ	4.0%	1.2倍	適
牛乳	連続	20.0%	2.4倍	適
脱脂粉乳	バッチ	3.3%	1.5倍	適
バター	連続	8.0%	4.0倍	適
給食残食	バッチ	3.3%	1.5倍	適
パン粉	連続	8.0%	2.4倍	適
プロテイン	連続	8.0%	初期3.0倍, 下降	保留
乳業汚泥	バッチ	8.0%	1.1倍	適
尿尿汚泥	バッチ	8.0%	1.1倍	適
CMA(凍結抑制剤)	バッチ	3.3%	2.3倍	適

評価は「適」「不適」「評価保留」の3段階とした。

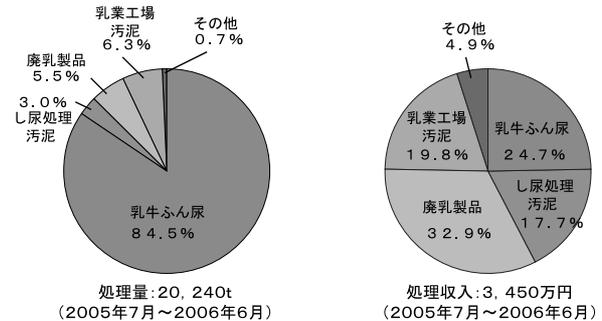
(3) 実プラントレベルでの地域バイオマスの循環利用³⁾

前述のように、各種バイオマスはバイオガス生産原料としての適性があり、有害物質を含まない安全なものを選んで、バイオガスプラントでの発酵原料として処理・利用すれば、これらバイオマスを肥料源、エネルギー源として循環利用することにつながる。また、これらのバイオマスをバイオガスプラントで受け入れる際には、廃棄物処理料を徴収することが可能であり、バイオガスプラントの運営資金源として有望である。

そこで、地域で発生する各種バイオマスを副資材として受け入れ、その処理収入を得ることによる収支均衡の可能性を探るため、寒地土木研究所、別海町、地元廃棄物処理業者と3者でバイオガスプラントの実用

化運転に関する共同研究を2005年度より開始した。

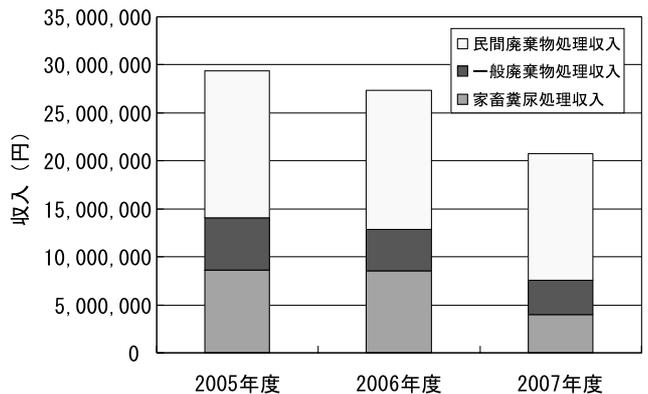
乳牛糞尿以外の地域バイオマスの積極的受け入れを開始して以来、地域バイオマスの受入量は順調に増加している。各種地域バイオマスの受入量は全原料受入量の15%に過ぎないが、全処理収入に占める割合は75%に達し、別海バイオガスプラントの主要な収入源となっている（図—5）。



地域バイオマスの循環利用はバイオガスプラントの貴重な収入源

図—5 各種バイオマス原料の処理量と処理収入

2007年度上半期の乳牛糞尿と各種地域バイオマスの処理収入は21百万円に達し（図—6）、本年度はこれらの処理収入だけで、別海バイオガスプラントの年間必要経費40百万円を上回る勢いで、地域バイオマスの資源循環によるバイオガスプラントの経済的自立が現実味を帯びてきている。



2007年度原料処理収入は上半期で21百万円
↓
顕著な増収

図—6 バイオマス原料処理収入の推移

産業廃棄物として廃棄処分されている各種バイオマスがある程度大量に処理できる規模の共同利用型バイオガスプラントが普及すれば、地域内において発生するバイオマスを無駄に捨てることなく循環利用する循

環型社会形成の一助となろう。

6. 今後の課題

現在、地域バイオマスは発生元の発生事情に合わせて、これらの受け入れを行っているが、その結果、各種地域バイオマスの各月毎の受入量が非常に不規則になっており、地域バイオマスの受け入れが必ずしもバイオガス発生量の増大に結び付いていない。バイオガス発生量の増大に結び付く地域バイオマス受入手法の確立が今後の課題である。

JCMA

《参考文献》

- 1) (独)北海道開発土木研究所 (現(独)土木研究所寒地土木研究所)：積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書，pp.53-56, 107-123, 221-262 (2005)
- 2) 横濱充宏・石田哲也・山田章：地域バイオマスを共発酵処理したバイオガスプラントの生成物の特性と曝気スラリーの土壌改善効果，農業農村工学会資源循環研究部会論文集，[3] pp.73-86 (2007)
- 3) 横濱充宏：共同利用型バイオガスプラントによる地域バイオマスの循環利用の展望と課題，畜産の情報，[218] pp.32-35 (2007)

【筆者紹介】

横濱 充宏 (よこはま みつひろ)
 (独)土木研究所寒地土木研究所
 寒地農業基盤研究グループ
 資源保全チーム 上席研究員



建設の施工企画 2005年バックナンバー

平成 17 年 1 月号 (第 659 号) ~平成 17 年 12 月号 (第 670 号)

1 月号 (第 659 号)
建設未来特集

6 月号 (第 664 号)
建設施工の環境対策特集

10 月号 (第 668 号)
海外の建設施工特集

2 月号 (第 660 号)
建設ロボットと IT 技術特集

7 月号 (第 665 号)
建設施工の環境対策—大気環境特集

11 月号 (第 669 号)
トンネル・シールド特集

3 月号 (第 661 号)
建設機械施工の安全対策特集

8 月号 (第 666 号)
解体・再生工法特集

12 月号 (第 670 号)
特殊条件下での建設施工機械特集

4 月号 (第 662 号)
建設機械施工の安全対策特集

9 月号 (第 667 号)
専門工事業・リースレンタル特集

■体裁 A4 判
■定価 各 1 部 840 円
(本体 800 円)

5 月号 (第 663 号)
災害復旧・防災対策特集

■送料 100 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>