

I. 敷料混合ふん尿のバイオガスプラントでの原料としての適性

1. 目的

北海道酪農ではスラリー状ふん尿を排出するフリーストール飼養農家は 15%弱(図-1)であり、大部分の酪農家はスタンション飼養で堆肥盤に堆積される敷料が混入した糞尿(以下、固形糞尿という)を排出している。また、別海施設の参加酪農家 10 戸の内スラリー状糞尿を排出する酪農家は2004年度当初で 4 戸に過ぎない。

バイオガスプラントでは原料や生成物を管路搬送しており、管路、ポンプあるいは熱交換機での敷料等による閉塞を防止するため、スラリー状糞尿が用いられる。このため、共同利用型バイオガスプラントでスタンション飼養からの固形糞尿を受入れる場合には、固形糞尿を固液分離し、分離液分をバイオガスプラントの原料とし、分離固分は堆肥化する事になる。しかし、このためには、固液分離機だけでなく、固形糞尿の凍結防止や融解施設を含めた堆肥化のための一連の施設、労力及び動力が、メタン発酵施設の他に必要とされ、プラントの大きな負担となる。したがって、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接かつ、簡易に利用できれば、プラント運営上の大きな負担軽減となる。そこで、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接利用する可能性を検証する。また、固形糞尿をメタン発酵の原料として直接投入することで、有機物含量が高まり、バイオガス発生量が増加することも期待され、その効果も検証する。

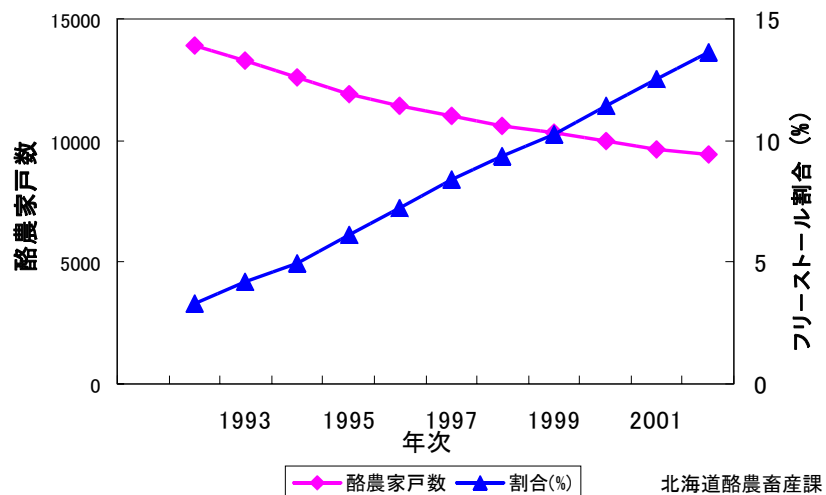


図-1 酪農家戸数に対するフリーストール飼養農家の割合

2. 試験1 長藁使用の固形糞尿の直接投入

目的

別海施設への参加農家 10 戸のうち、2004年 4 月始め現在で 6 戸は固形糞尿を排出し、その内 5 戸は無細断の麦稈あるいは牧草を敷料として、1 戸は麦稈を 10 ~ 20cm に細断し敷料として使用している。そこで、無細断の長藁あるいは牧草を含む固形糞尿(以下、長藁使用の固形糞尿という)をメタン発酵の原料とする可能性を検証する。また、長藁使用の固形糞尿での直接投入の 5 回目試験で発生した閉塞事故の原因を検討する。

1) 方法

(1) メタン発酵原料の受入槽の構造

メタン発酵原料受入槽には図-2に示すような破碎・攪拌ポンプ(以下、単に破碎ポンプと呼ぶ)がスラリーの攪拌とスラリーに含まれる長藁等の粗大有機物の細断用に設置されており、受入槽に投入されたスラリーは約1時間、受入槽で攪拌・混合されたから、メタン発酵槽に送り込まれる。固形糞尿の直接投入試験にあたっては、図-3に示すように、破碎ポンプとモノポンプを各1台増設して、固形糞尿とスラリーの攪拌・混合および長藁等の細断能力を増強した。

【破碎ポンプの構造】

マセレータ部の上面からスラリーや長藁や牧草(以下、長藁という)が吸い込まれる。マセレータ内部で回転しているスクリーンの羽根とケーシングエッジが鋏と同じ原理で細断機能を発揮する。

スクリーンの回転力でパイプに送りこまれたスラリーは押し上げ力で管内を上昇する。切換弁が攪拌側になっていれば、吐出され、攪拌流となって受入槽内に拡散していく。

吐出口を含む縦配管全体が横回転可能な構造となっている。加えて、吐出口はレバー操作で上下方向を変化させることができるので、左右100° 上45° 下30° の範囲で攪拌水流の方向を手動で変化させることができる。

実験経過の写真で示すとおり、この攪拌水流を変化させることが固形糞塊のほぐしに大きく貢献した。

【破碎ポンプの設置位置】

増設の破碎ポンプは、スラリー投入口の斜後方、既設破碎ポンプの斜前方の位置に設置された。

受入槽の形状は直方体であるため、水流の届き難い四隅が攪拌に関するデッドスペースと成りやすい。二つの破碎ポンプの吐出口が同じ方向を向いているので、図の右上隅の部分は特に、水流が侵入しづらい。実際に、この隅に入った固形糞尿塊は6時間経過後にやっと水流に乗って動き出したほどである。

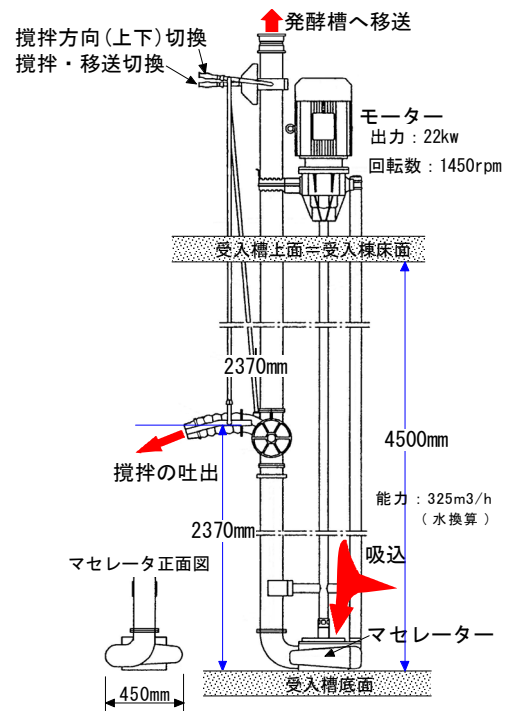


図-2 破碎ポンプの構造

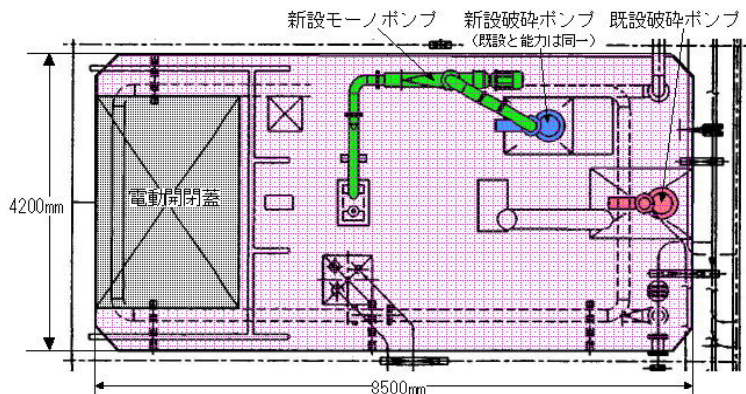


図-3 破碎ポンプの設置位置

(2) 原料の受入槽への投入と攪拌混合経過

破砕ポンプの新設のために完全に空とした受入槽に、スラリーと固形糞尿および副原料タンク内の残滓（水産加工物破砕試験）を以下のように投入貯留した。

ふん尿スラリーに対する投入した固形ふん尿の重量割合は約16%であった。

受入槽の攪拌は以下のものである。

2002年11月20日 30分の予備攪拌（破砕ポンプ1台）を行った。

21日 2台の破砕ポンプとモノポンプで8時間の連続攪拌を行った。

22日 発酵槽へ投入前の攪拌。

表-1 資材別投入日程

資材別	13日(水)	15日(金)	16日(土)	18日(月)	合計	秤量法
スラリー	29m ³	68m ³	—	—	97 m ³	液面計換算
副原料タンク内残滓	—	—	1.8m ³	—	1.8m ³	液面計換算
固形糞尿	—	7.3t	—	8.2t	15.5t	トラックスケール

(3) 試料の採取と分析法

2002年11月15日の固形糞尿投入前に、貯留スラリーの試料を採取した。

20日に30分間の予備攪拌を行った後、貯留スラリーを採取した。

21日の連続攪拌後は8時間目まで、2時間ごとにスラリーを口径215mmの金属製バケツで約15リットルを採取し、計量後水中篩別で2mm以上の有機物を回収した。回収した有機物は実験室で長さ別に仕分けて、湿物重量と70℃乾燥重量を秤量した。

22日にモノポンプの排出液を採取した。

また、バケツでの採取では不可避免的に長藁が排除されてしまうため、測量ポールをスラリー中に入れ、攪拌流で巻き付く長藁も採取し、長さ別重量を調査した。この測量ポールに巻き付けて採取した試料を実験結果の項では「竿掛け」という。

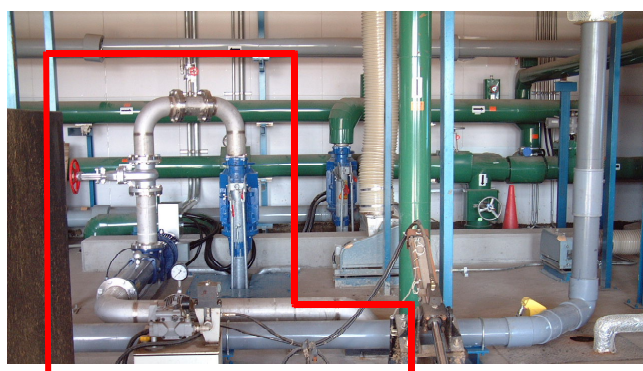


写真-1 新設した破砕ポンプとモノポンプ



写真-2 長藁の回収状況

(4) ガス発生増加量の確認法

バイオガスの発生量は施設内に設置されたガス流量計によって1時間毎に記録し、1日のガス発生量の合計値を集計した。

2)結果と考察

(1) 原料投入後の攪拌に伴うスラリー化の経時的状況

【固形糞尿の投入直後】

投入した固形糞の塊が浮遊しており、約1 mの厚さで受入槽の表面を覆い尽くしていた。

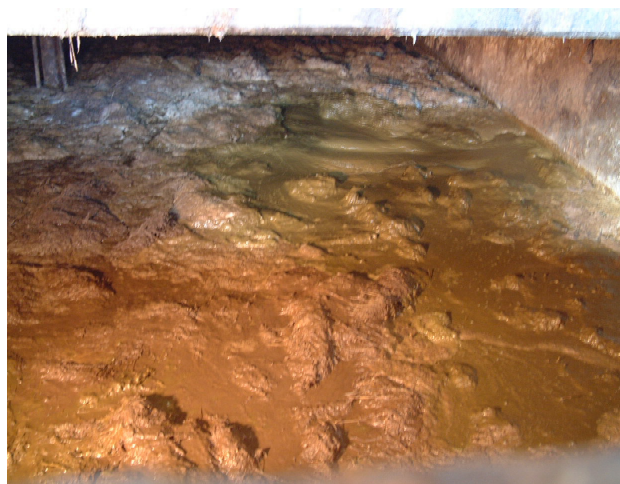


写真－3 2002年11月20日予備攪拌前の状況

【予備攪拌】

破碎前のサンプル採取のために、旧攪拌ポンプのみで30分の攪拌を行った。攪拌開始8分後で液面に湧き上がる流れが確認できた。この流れはその後広がりを見せたが、固形糞塊を大きく揺り動かすような強い流れには至らなかった。

十分に攪拌すると長糞の破碎が進んでしまうので、予備攪拌は30分で終了し、分析用試料を採取した。



写真－4 2002年11月20日予備攪拌8分後の状況

【連続攪拌】

攪拌2時間半までは旧破碎ポンプと新破碎ポンプ+モノポンプで攪拌を行っていた。モノポンプを併用すると、強い攪拌水流が発生せず、固形糞塊のほぐしが進まないため、モノポンプを停止し、新旧破碎ポンプでの循環攪拌に切り替えた。攪拌水流を上向きにすると、写真のように噴水状の水流が発生し、糞塊の破碎が進んだ。



写真－5 2002年11月21日攪拌開始3時間後

新旧破砕ポンプの水流方向を様々に変化させ、大きな糞塊は半減した。



写真－6 2002年11月21日攪拌開始6時間後

攪拌開始7時間後に新破砕ポンプはモノポンプ併用に切り替えた。そのため、液面は波立たない静かな状況となっていた。ほぐしきれない糞塊が若干浮遊していた。



写真－7 2002年11月21日攪拌開始8時間後

浮遊固形糞塊は全く確認できない状態。細かな泡に覆われていた。



写真－8 2002年11月22日一夜静置後の状況

発酵槽への投入に備えて再攪拌を開始したところ、液中に隠れていた固形ふん尿塊の浮き上がりが始まった。前日の破碎攪拌で破碎しきれなかった巨塊が残っていたものである。



写真－9 2002年11月22日再攪拌開始後の状況

固形糞塊の概ねのほぐれが確認できたので、モノポンプを併用した破碎に切り替えた。

モノポンプを併用すると強い攪拌流は全く発生しない。

モノポンプからの排出液のみを採取した。



写真－10 2002年11月22日モノポンプ破碎の状況

(2) スラリー性状と長藁の長さ別割合

表－2に採取した固形分濃度(以下、Tsという)の変化を示した。

固形糞投入前の貯留しておいたスラリーのTsは平均7.4%、固形糞を投入し8時間の連続攪拌・破碎を行った後のスラリーのTsは8.2%で、0.8%の増加であった。また、モノポンプから吐出しているスラリーは8.0%とやや小さな値を示した。

表－2 固形分濃度の変化

試料名		固形分 (Ts)	灰分	有機物 (Vs)
原料	A 農家固形糞尿	13.3%	2.1%	11.2%
	B 農家固形糞尿	12.8%	2.1%	10.7%
受入槽	11/15 固形糞尿投入前	7.4%	1.8%	5.6%
	11/20 予備攪拌30分後	7.8%	1.8%	6.0%
	11/21 攪拌2時間後	7.6%	1.8%	5.8%
	11/21 攪拌4時間後	8.0%	1.8%	6.2%
	11/21 攪拌6時間後	8.1%	1.9%	6.2%
	11/21 攪拌8時間後	8.2%	1.9%	6.3%
	11/22 モノ破碎液	8.0%	1.8%	6.1%

(3) 原料となるスラリーと固形糞尿性状および攪拌混合に伴う長さ別長藁割合の変化

7段階の長さ別に篩分けした長藁の湿物重量(水分85%に補正)を表-3、その割合を図-4に示した。図-5には、2cm以上の粗大物を抽出した湿物重量割合(水分85%に補正)を示した。

表-3 長藁の長さ別湿物重量および割合(水分85%に補正)

補正湿物重量 (g)	原 料		バケツで採取したスラリー				竿掛物		
	原料 (A農家)	原料 (B農家)	2時間後	4時間後	6時間後	8時間後	竿掛3hr後	竿掛6hr後	竿掛翌日
長さ画分									
50cm以上	315.3	3.3	0	0	0	0	4.8	0	0
20cm以上-50cm未満	60.9	240.7	0.4	2.1	2.1	6.2	18.2	27.7	22.9
10cm以上-20cm未満	171.7	235.9	1.8	11.7	6.7	20.3	12	26.5	71.1
5cm以上-10cm未満	195	171.1	5.7	21.7	52.5	53.9	12.3	10.6	18.1
2cm以上-5cm未満	15.7	48.9	13.7	15.5	75.7	40.3	2.1	9.4	51.3
0.2cm以上-2cm未満	2448.1	1906.7	1553.7	1692.3	1683.5	1764	19.5	29.9	144.6
0.2cm未満(水溶物・微細物)	7925.3	8222.4	11971.7	13257.7	13073.5	12612.3	142.1	92.02	84.1
合計	11132	10829	13547	15001	14894	14497	211	196.12	392.1
容量(リットル)	12	12	15	15	15	15			
補正湿物重量割合 (%)									
長さ画分	原料 (A農家)	原料 (B農家)	2時間後	4時間後	6時間後	8時間後	竿掛3hr後	竿掛6hr後	竿掛翌日
50cm以上	2.83	0.03	0	0	0	0	2.27	0	0
20cm以上-50cm未満	0.55	2.22	0	0.01	0.01	0.04	8.63	14.12	5.84
10cm以上-20cm未満	1.54	2.18	0.01	0.08	0.04	0.14	5.69	13.51	18.13
5cm以上-10cm未満	1.75	1.58	0.04	0.14	0.35	0.37	5.83	5.4	4.62
2cm以上-5cm未満	0.14	0.45	0.1	0.1	0.51	0.28	1	4.79	13.08
0.2cm以上-2cm未満	21.99	17.61	11.47	11.28	11.3	12.17	9.24	15.25	36.88
0.2cm未満(水溶物・微細物)	71.19	75.93	88.37	88.38	87.78	87	67.35	46.92	21.45
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100

註) バケツでの採取では不可避免的に長藁が排除されてしまうため、測量ボールをスラリー中に入れ、攪拌流で巻き付く長藁も採取し、長さ別重量を調査した。この測量ボールに巻き付けて採取した試料を「竿掛物」と表現した。

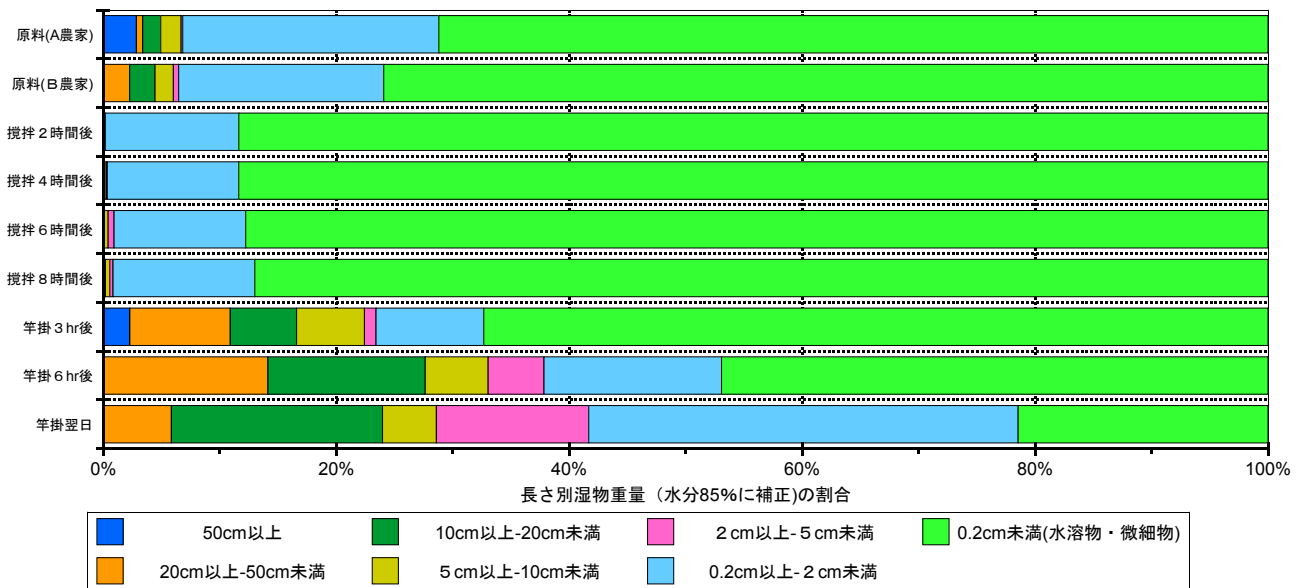


図-4 長藁の長さ別湿物重量割合(水分85%に補正)

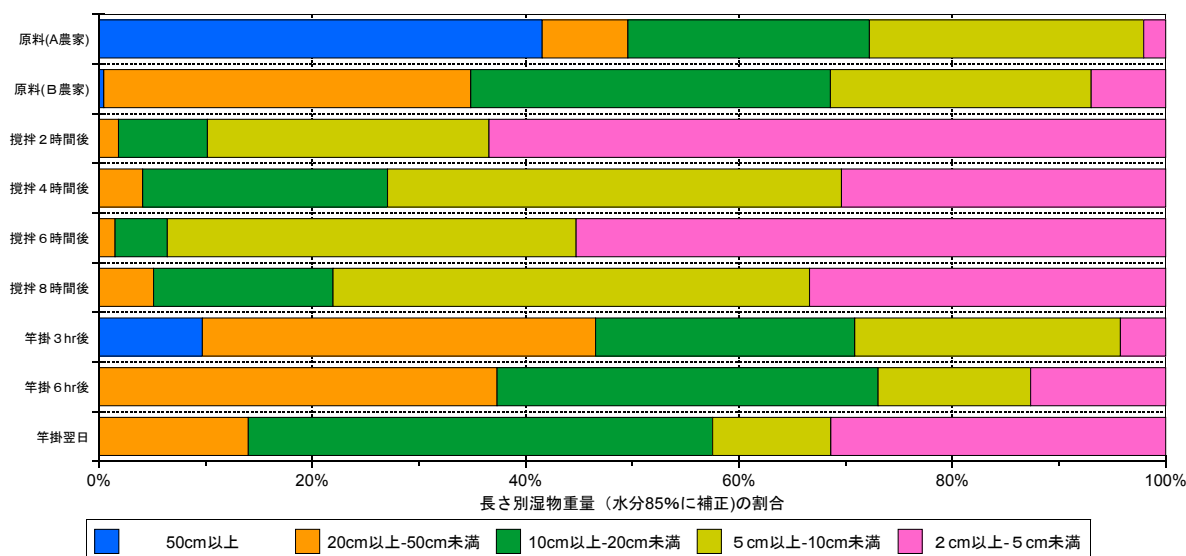


図-5 2 cm以上長糞の長さ別湿物重量割合(水分85%に補正)

原料中の長糞の混入割合は農家によって異なっており、A農家の固形糞尿には50cm以上の長糞の割合が多かった。

図-4においても図-5においても時間の経過に伴い、長糞の割合が増える傾向にある。このことは、8時間程度の攪拌では固形糞尿塊が破碎される程度で、長糞の破碎はあまり進行していないと考えられる。しかし、竿掛け物の内容では、6時間後で50cm以上のものが採取されていないことから、長いものから優先的に破碎されていくことも推定される。

(4) バイオガス発生量の変化

スラリー投入量当りのバイオガス発生量を図-6に示した。固形糞尿の直接投入前と投入後ではほぼ等しく、固形糞尿直接投入のバイオガス発生に及ぼす効果は認められなかった。

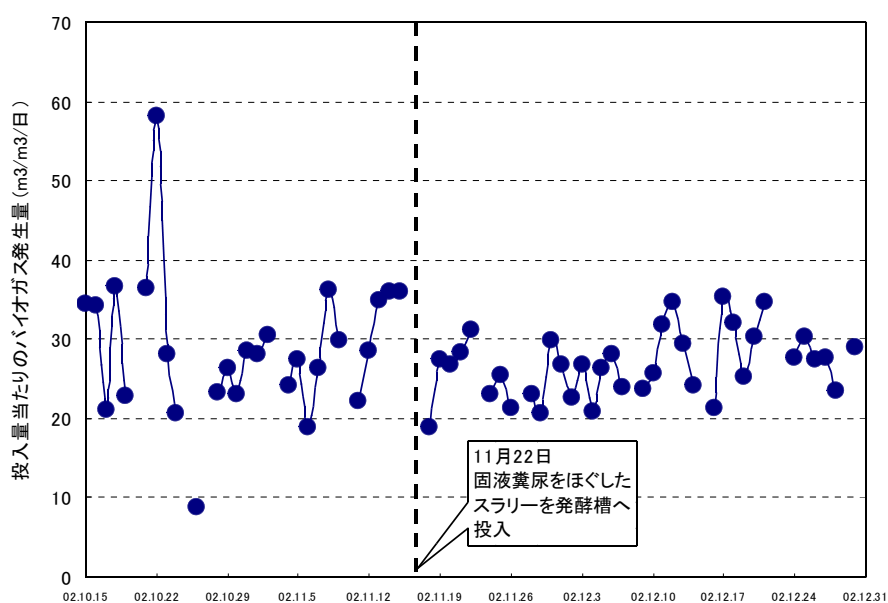


図-6 固形ふん尿直接投入試験前後でのガス消費量の推移

(5) 破砕ポンプの閉塞事故発生状況

スラリー受入槽に投入された敷料混合ふん尿がほぐれるまでに8時間程度の連続した攪拌が必要であり、効率的にほぐすためには頻繁に攪拌水流の方向を変化させることが必要であるが、ほぐれてしまえば配管内での閉塞の危険性は小さいと判断された。このため、直接投入を断続的に実施した。しかし、約1ヶ月後の平成15年1月の5回目の投入時に破砕ポンプで閉塞するという事故が発生し(写真-11)、その後の直接投入を中断した。



写真-11 敷料混合ふん尿の直接投入による破砕ポンプでの閉塞状況
左：攪拌水流の吐出口の閉塞 右：破砕用マセレータ部の閉塞



写真-12 除去した閉塞物

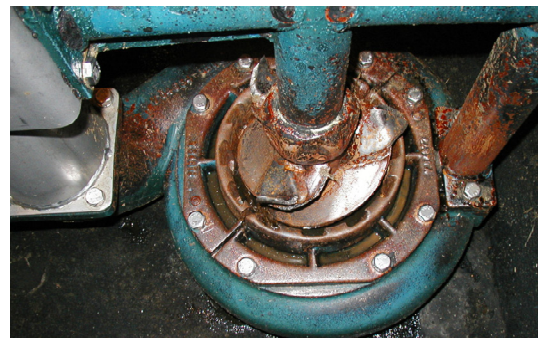


写真-13 洗浄後のマセレータ

(6) 破砕ポンプでの閉塞事故の発生原因の解明

破砕ポンプでの閉塞の原因は、ほぐしきれしていない固形糞尿塊が浮遊していて液深が浅い状態で、原料移送を行い、より液深が下がったために破砕ポンプに糞尿塊が吸引されたためと考えられた。

固形ふん尿塊は氷山のように浮遊しているため、スラリー液深が3m以上と深い状態で投入し、十分に攪拌してほぐれたことを確認してから移送するという注意が必要である。

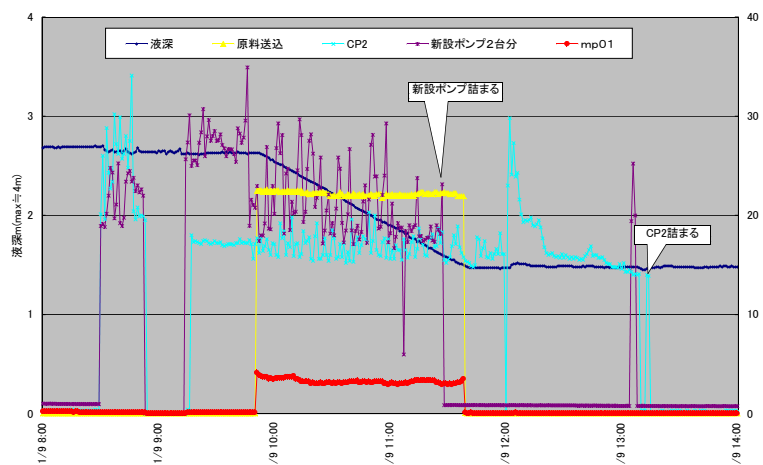


図-7 固形糞尿直接投入中に発生した閉塞とその時の受入槽内の状況 (2003.1.9)