室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

中規模試験装置によるライムスラッジの気流乾燥に関する研究

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-06-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 野沢, 勝広, 阿部, 俊視, 加納, 久雄, 水野, 忠治
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3239

中規模試験装置によるライムスラッジの気流乾燥に関する研究

野沢勝広・阿部俊視*
加納久雄・水野忠治

A Study of Lime Sludge Drying with Pneumatic Conveying Dryer on Pilot Plant Scale

Katsuhiro Nozawa, Toshimi Abe, Hisao Kano
and Chuji Mizuno

Abstract

Lime sludge, which is produced in great quantities from beet sugar plants, has always been dumped as a worthless by-product if it is not processed. The writers tried to dry this material economically by applying recently-developed pneumatic conveying drying technique on pilot plant scale.

The result was that the water content of the raw material containing 40 to 60 per cent water (on dry base) could be reduced to 1 to 8 per cent in a few seconds. At the same time some necessary data were obtained for the design of a dryer.

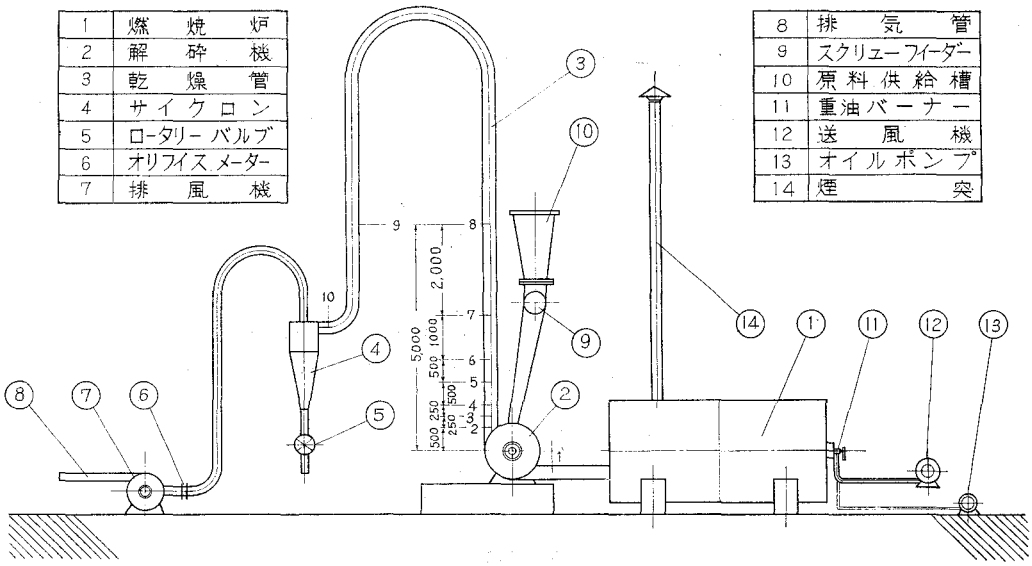
Moreover, it was found that the disintegrator had large heat transfer coefficient (400–800 Kcal/m^3 hr °C) and that its optimum was observed at a specific value of Wd/ρ.

I. 緒　　言

精糖工業における使用済のライムスラッジは，所謂泥漿状で沪過機から排出せられ，これを低コストで回収処理を行なうことが困難なため，従来は廃棄せられて顧られなかった。著者らはこれを気流乾燥法によって低コストで乾燥処理ができることに着目し，2 ton/hr 程度の処理能力を有する中間試験装置を試作して，基礎研究とあわせて装置の各部分の性能試験を行なった。その結果，ライムスラッジが気流乾燥に適し，試作装置が非常に優秀な性能を有することが解明された。

気流乾燥に関する理論及び実験的研究は，亀井・桐栄らによって，詳細に行なわれているが，ライムスラッヂについての発表は皆無であって，単に沈降性炭酸石灰の実験例を見るだけである。本論文では，特に精糖工業におけるライムスラッジに対する気流乾燥法適用の可能性の検討に重点を置いた。含水率 (DB) 約 150% の原料から数秒以内で含水率 (DB) 1～8% の成

* 函館ドック株式会社室蘭製作所



図—1　実験装置詳細

表—1　気流乾燥実験装置諸元

燃焼炉		解砕機	
型式	円筒型鋼製キャスタブル内張り燃焼炉	型式	ディスインテグレータ
		モーター	10 HP　200 V　三相
寸法	内径 940 φmm	原料供給機	
	外径 1,209 φmm	型式	円筒スクリューフイーダ
	全長 2,600 mm	能力	1,000 kg/hr　乾燥ライムスラジ
最大耐久温度	600°C	乾燥管	
バーナ		型式	逆V字型乾燥管
型式	プロポーショナル型重油バーナ	寸法	内径 190 φmm
		保温	30 mm　全長岩綿帯巻付
最大消費量	30 ℓ/hr	捕集装置	
使用重油	A 又は B 重油	型式	サイクロン
オイルポンプ		排気ガス流量計	
型式	ギヤー・ポンプ	型式	オリフイス型
最大流量	1 ℓ/min	最大流量	1,800 Nm³/hr
モーター	1/2 HP　200 V　三相	モーター	2 HP　ギヤードモーター無段変速機付
燃焼用送風機			
型式	プレートフアン型	排風機	
圧力	700 mm Aq　静圧	型式	プレート・フアン型
風量	100 m³/hr	最大風量	1,800 Nm³/hr
モーター	1 HP　200 V　三相	風圧	750 mm Aq　静圧

品を得ることができた。成品は，20～50 μ の流動性微粒粉末であり，乾燥後の処理は極度に容易となった。また併用した解砕機の熱容量係数は，他の実験的研究から求められている数値の2倍以上の値を示すような操作条件の存在することが判明した。これらの実験結果を以下に詳細に報告する。

II. 実 験 装 置

実験に使用した装置を図-1に，装置諸元を表-1に示した。装置各部について簡略に説明する。

乾燥に使用する高温空気は，重油バーナ(11)により，燃焼炉(1)で直接加熱された燃焼ガスとして供給される。重油バーナには1/2 HP のギャーポンプが取り付けられており，ストレーナ及びバイパス配管がされている。燃焼に必要な一次空気は，送風機(12)によってバーナノズルに送られる。二次空気は，バーナ入口の横に設けた調節口の開閉により調節される。燃焼ガス稀釈用三次空気は炉の後方の三次空気供給ダンパーの調節によって行なわれる。気流乾燥装置の操業中に高温ガスを放出する必要が生じた場合に，ダンパーを開いて煙突(14)から屋外に放出する。運転休止に入る時も同様の操作を行ない燃焼炉の保護をする。乾燥管に沿うて記した番号1, 2, 3, ……の位置に3/4″のプラグ取付けネジ穴があり，この点から温度測定，試料抜取りを行なった。解砕機は高速回転する2枚の円板の外周に20～30 φmm の鋼棒を溶接したものであって，遠心力と衝突攪拌によって，粘結状の原料が分散される。乾燥管(3)内で固体―気体の混合状態で乾燥が行なわれ，サイクロン(4)で成品の捕集が行なわれる。サイクロンの成品取出口にはロータリバルブを取付けた。初期においては，サイクロン下側に捕集箱とゴムシール板を取り付けた。ガス流量計(6)はオリフィス流量計で使用ガス量を測定する。オリフィスより後方3 m 程離れた位置に流量調節ダンパを取り付け，外部より冷空気を吸入して流量の調節を行なった。乾燥に使用された燃焼ガスは吸込型の排風機(7)を通り排気管(8)から外部に排出される。原料供給は，スクリューフィーダによって行なわれ，ホッパの近くに約2 ton 入りのバッチを置き，ホッパ内には常に80% 程度の原料がある様に投入する。その他原料含水率調整用の2 HP パドルミキサーを使用した。

III. 実 験 方 法

最初に原料の性状を調整する必要からその物性を調べた。次に原料の含水率が，スクリュフイーダの性能から制約をうけるので，限界含水率を求める試験を行なった。更にこれを基にして含水率を異にする各種の原料の供給がうまくゆくようにフイーダを改良した。

次に，あらかじめ所定の含水率に調合したライムスラッジを乾燥装置のならし運転の2～3時間後に投入を始め，乾燥器各点の温度が平衡に達した時期から20～30分後に試料の抜取り，

温度，流量，重油消費量等の計測記録を行なった。また一定時間を定めその間に投入された原料と出来上った成品を同時に計量した。

1. 燃焼ガス流量の測定法

排風機より約3m手前に取り付けたオリフィス流量計によって流量を計測した。その理論式は

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H \cdot \frac{\rho_l - \rho}{\rho}} \qquad (1)$$

$$G = 0.01252 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \cdot C\sqrt{\rho} \cdot \sqrt{P_1 - P_2} \qquad (2)$$

c:	補正係数 (1.006)	
Q:	測定温度においてオリフィスを流れる流体の容積	[m³/hr]
G:	測定温度においてオリフイフを流れる流体の重量	[kg/hr]
α:	流量係数 (=0.691)	[—]
ε:	圧縮係数 (=0.997)	[—]
d:	オリフィス穴の径 (=0.12664)	[m]
g:	重力の加速度 (=3.56×10⁴)	[m/hr²]
ΔH:	V字管マノメータの水柱差圧	[m]
$P_1 - P_2$:	オリフィスの差	[kg/m³]
ρ_l:	U圧字管内の流体の比重量	[kg/m³]
ρ:	オリフィスを流れる流体の比重量	[kg/m³]

以上の数値計算の結果，流量と水柱差圧の関係式は次のごとく表現される。

$$Q = 142.5\sqrt{\Delta H} \qquad (3)$$

本実験式および(2)式を適用するために必要な数値は以下に示す方法で求めた。

(i) 差圧の補正

マノメータに表われる差圧を[mm]単位で読んだ値をΔhとすると

$$\Delta H = \Delta h/1000 \qquad (4)$$

となる。V字管マノメータ内の比重量ρ_lは，温度の変動によって若干変るが，許容誤差範囲であるから無視した。

(ii) 比重量の補正

オリフィス内を流れる流体は，本実験では，湿り燃焼ガスであり，高温度である。したがってその流体の比重量は次式で補正される。

$$\rho = \rho_0 \frac{273 + t}{273} \cdot \frac{P_0}{P} \qquad (5)$$

ρ_0: 標準状態における燃焼ガスの比重量

$\rho_{0\mathrm{Air}}$：　標準状態における乾燥空気の比重量

H_w：　燃焼ガスの絶対湿度

とすると ρ_0 の補正は次式でなされる。

$$\rho_0 = \frac{\rho_{\mathrm{Air}}(1+H_w)}{1+\dfrac{H_w\rho_{\mathrm{Air}}}{\rho_{\mathrm{H_2O}}}} \tag{6}$$

$\rho_{\mathrm{H_2O}}$ は水蒸気の標準状態における比重量とする。

ここに使用されている絶対湿度は実験後における結果の検討から求められ再計算法によって補正される。なお別に燃焼ガス流量を燃焼理論の適用により，重油消費量から求めた値をも併用した。

2.　燃料消費量の測定

燃料消費量の測定は，重量法により，30 分間の消費量の数回の平均値から求めた。

3.　乾燥管内の温度測定

C.A. 熱電対を使用し，図-1 の乾燥管の番号の各点で温度を測定した。管内の風速が 10 m/sec になるので，測定温度の補正は考慮しなかった。原料および成品の温度はアルコール又は水銀棒状温度計にて測定した。

4.　水 分 測 定

各測定点から 50～100 cc の試料を採取し 110°C で乾燥して含水率を求めた。

5.　装置各部の圧力損失の測定

装置各部の圧力損失は，各々の装置出入口の静圧の差で表わした。

IV.　実験結果と検討

1.　ライムスラッジの物性

(i)　比 重 量

真比重量	2750	[kg/m³]
比 重 量	水分状態によって変動する	[kg/m³]

(ii)　比　　熱

無水比熱	0.25	[Kcal/kg・°C]
湿潤比熱	$C_H = \dfrac{0.25+w}{1+w}$	[Kcal/kg・°C]

w：　乾量基準の含水率

(iii)　原料の分析値

$CaCO_3$	89%
不 純 物	11%

(iv) 代表粒径と粒径分布

a) 原料の代表粒径

代表粒径は本実験において大切な要素となっている。そこで数種類の方法によって実測を行なった。原料の含水率150% 以上の場合は粘結状態となり代表径を表現出来ない。沈降性炭酸石灰のごとく微粒子の集合体である。実験装置にかけて解砕機にて分散させられるが，分散された場合の径は観察出来ない。投入試料の含水率を 40% 前後に調整するためにパドルミッキサーを用いて配合した。これから採取した試料の径は，1～20 mm に分布しており，代表粒径は飛散の条件を考慮に入れて 20 球 mm とした。

b) 成品の代表粒径

成品の代表粒径は次の 3 通りの方法で行なった。

沈降法： アンドレアゼンピペット法で測定した結果を 表-2 に示した。代表粒径は 34 μ であった。

ふるい分級法： Tyler Mesh 法による測定結果を 表-3 に示した。これによると −250 +270 Mesh の範囲に大半の粒径が含まれ 53～61 μ の範囲に代表粒径が存在する。又 100 μ 以上のものは若干含まれる程度である。

投影拡大機による方法： 100 倍の光学投影機によると 30～50 μ が 60% をしめている。

表—2 ライムスラッジ乾燥後の平均粒径計算表

番号	代表粒径 d_i (mm)	重量分率 x_i	$x_i d_i$ (mm)
1	0.0876	0.215	0.0188
2	0.0353	0.198	0.0070
3	0.0221	0.148	0.0033
4	0.0154	0.108	0.0017
5	0.0118	0.081	0.0010
6	0.0094	0.060	0.0006
7	0.0085	0.049	0.0004
8	0.0076	0.042	0.0003
9	0.0068	0.039	0.0003
10	0.0060	0.026	0.0001
11	0.0053	0.021	0.0001
12	0.0040	0.013	0.0001
Σ			0.0338

表—3 ライムスラッジのフルイ分級粒径表

x	Tyler Mesh	重量 x_i (%)	平均径 d_i (mm)	$\frac{x_i}{d_i}$	$x_i d_i$
1	+200	10.9	0.074	1.47	0.0081
2	−200～+250	9.6	0.067	1.43	0.0064
3	−250～+270	52.7	0.057	9.23	0.0300
4	−270～+300	20.0	0.044	4.55	0.0088
5	−300～	6.8	0.036	1.89	0.0024
	Σ				0.0557

調和平均粒径

$$d = \sum x_i d_i = 0.0557 \text{ mm}$$

算術平均粒径

$$d = \frac{\sum x_i}{\sum \frac{x_i}{d_i}} = \frac{1}{18.57} = 0.0539 \text{ mm}$$

2. 気流乾燥実験データと理論解析との比較検討

A. 気流乾燥装置設計基礎式

これについては，亀井・桐栄らおよび川淵らの研究があり，基礎式は物質収支，熱収支から

導かれる。

(i) 物質収支

$$W(w_1-w_2)=G(H_2-H_1) \tag{7}$$

(ii) 熱収支（エンタルピ収支）

$$G_{t1}+W(c+w_1)t_{m1}=G_{t2}+W(c+w_2)t_{m2} \tag{8}$$

$$i=0.24+H(595+0.46t) \tag{9}$$

(iii) 解砕機がある場合の熱容量係数

気流乾燥装置の原料給供口において解砕機を利用した場合と，解砕機を有しない乾燥管単独の場合について比較すると，恒率の乾燥期間については，前者の方が非常に速く乾燥する事が実験的に求められている。解砕機の熱容量係数について，桐栄らは実験式として次式を提出した。

$$h_a=1800\{\ln W/d\rho-1.8\} \tag{10}$$

(iv) 解砕機における熱収支

$$W(w_1-w_2)r_m=GC_H(t_1-t_2)=h_aV(t-t_m)l_m \tag{11}$$

W:	ライムスラッジの乾量基準の供給速度	[kg/hr]
G:	乾燥に必要な燃焼空気量　乾量基準	[kg/hr]
r_m:	供給原料の温度における水の蒸発熱	[Kcal/kg]
$(t-t_m)l_m$:	乾燥管内でのまたは解砕機内での燃焼ガスと試料の間の対数平均温度差	[°C]
V:	解砕機内容積	[m³]
h_a:	移動熱容量係数	[Kcal/m³·hr·°C]

B. 実験結果と検討

ライムスラッジの気流乾燥実験記録を表-4に，オリフィス流量を用いた物質収支熱収支等の計算から求めた諸量について一括して表-5に示した。特に表-5には乾燥計算に必要な温度及び湿度について検討を行なった。これらから空気湿度の変化の操作線を求め，図-3～図-7に示した。

他方燃料消費量から求めた流量を用いて上と同様の計算を行なった結果を表-6に示した。また乾燥操作における湿度変化を図-8～図-11に示した。

(i) 高温湿度線図上からの検討

図-3～図-7，図-8～図-11までに示したごとく乾燥過程における空気の増湿の状態は，理論的な値とほとんど一致し，断熱冷却線に沿うて乾燥が行なわれていることを示す。回転乾燥

表—4 実験記録

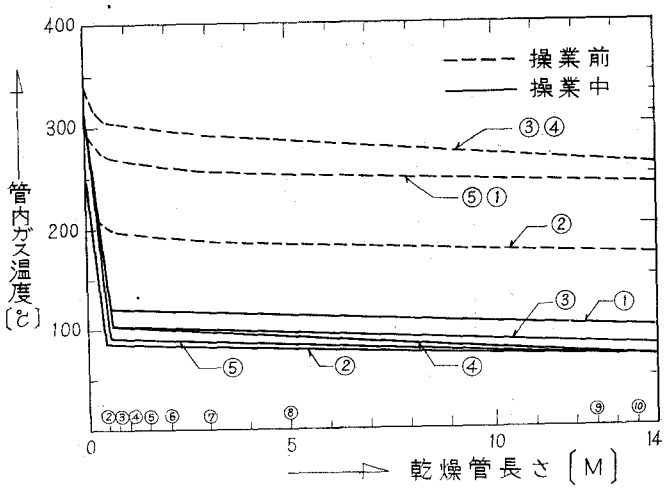
実験番号	1	2	3	4	5	単位
使用空気湿度	0.0064	0.0074	0.0062	0.0085	0.0045	kg·H_2O/kg·dry·air
空気温度	13	13	11	15	17.5	°C
使用空気湿球温度	10	11	9	13	10	°C
試料含水率	39.3	44	24.9	42	42	DB %
試料温度	2	1.5	1	2	8	°C
試料投入量	480	658.5	780	857	625	kg/hr
成品含水率	9.9	17	8.8	20.8	11	DB %
成品温度	58	53	51	47	53	°C
成品捕集量			458	643.4		kg/hr
重油消費量	10.05	6.28	10.18	13.6	11	kg/hr
オリフイス流量	1180	1086	1269	1510	1300	kg/hr·wet
使用ガス温度	312	260	320	320	300	°C
排気ガス温度	118	64.6	80	70	70	°C
排気ガス湿度	0.1245	0.1307	0.0913	0.094	0.119	kg·H_2O/kg·dry·air

各点温度	操業前	操業中	操業前	操業中	操業前	操業中	操業前	操業中	操業前	操業中	単位
1	312	312	260	260	340	320	330	320		300	°C
2				86.6	300	105	300	103		92	°C
10		118		68	260	80	260	70		70	°C
オリフイス入口温度		100		64.6	260	60	260	66.5			°C
2とサイクロン入口との温度差		22.4		22							°C

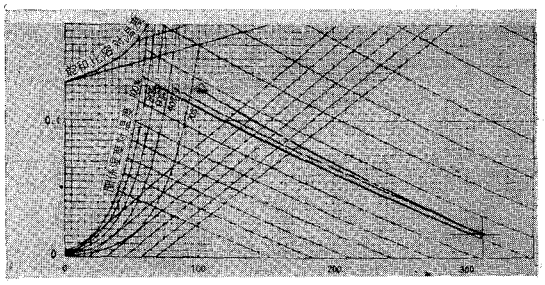
乾燥空気量	1023	928	1113	1309	1111	kg/hr·dry·air
蒸発による水分量	111.5	123.8	105	127.3	136.6	kg/hr
燃焼による水分	11.3	6.8	11	14.7	12	kg/hr
空気に含まれていた水分	7	6.8	7	11	4	kg/hr
燃焼による乾燥ガス	32.3	20.6	33	44	36	kg/hr
全含有水分量	135.5	201.5	155.5	253	185	kg/hr
成品重量	378.5	534.7	679.5	729.7	488.4	kg/hr
成品含有水分	34	77.7	55	127.3	48.4	kg/hr
排ガス計算温度	69.4	60.5	100.5	95.2	68.7	°C

表—5 湿度計算表

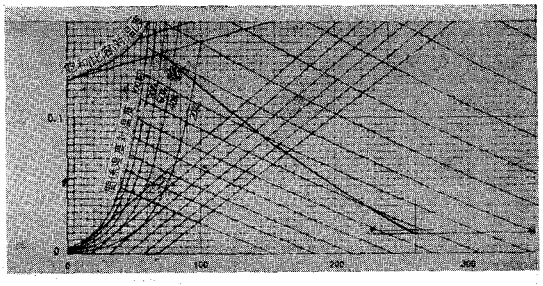
実験番号	1	2	3	4	5	単位
室内空気湿度 H_1	0.0064	0.0074	0.0062	0.0085	0.0045	kg·H_2O/kg·dry·air
燃焼ガス湿度 H_1'	0.171	0.0143	0.0157	0.019	0.0139	〃
排気ガス湿度 H_2	0.1245	0.145	0.107	0.113	0.133	〃
差 H_2-H_1'	0.1074	0.1307	0.0913	0.094	0.119	〃
排ガス計算温度	69.4	60.5	100.5	95.2	68.7	°C
空気比熱 C_{H_1}	0.248	0.247	0.247	0.248	0.247	Kcal/kg·°C
排気ガス比熱 C_{H_2}	0.297	0.300	0.290	0.292	0.301	〃



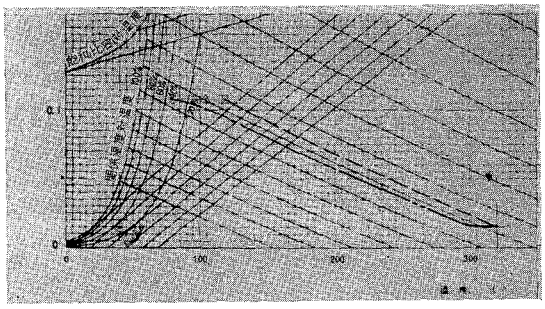
図—2　乾燥管長さ：管内ガス温度



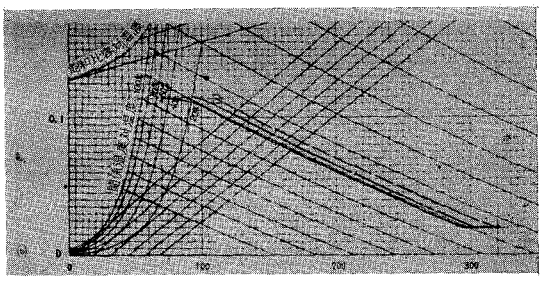
図—3



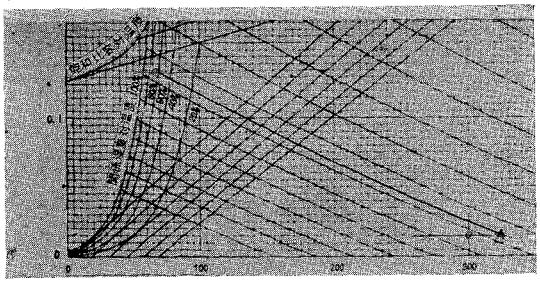
図—4



図—5



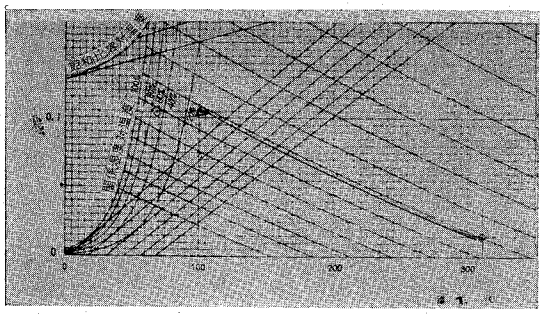
図—6



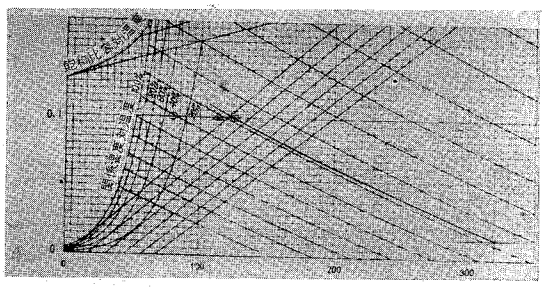
図—7

表—7　燃料消費量からの計算諸元

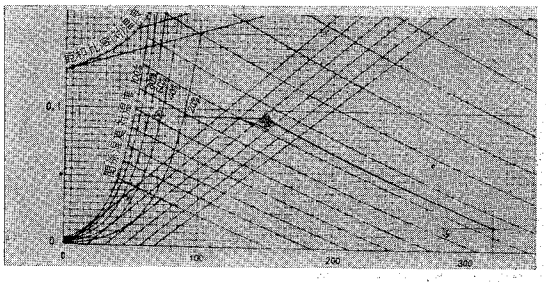
実験番号	1	2	3	4	5	単位
重油消費量	10.05	6.28 (682)	10.18	13.6	11	kg/hr
燃焼ガス量	1267	959	1242	1681	1465	〃
乾燥空気量	1216	925	1191	1608	1411	〃
蒸発による水分量	111.5	123.8	105	127.3	136.6	〃
燃焼発生水分量	11.3	6.8	11	14.7	12	〃
初期水分量	7.4	7	7	14	6	〃
燃焼による発生ガス量	32.3	20.6	33	44	36	〃
自然空気量	1223.4	932	1198	1622	1417	〃
使用室内空気湿度	1248	946	1224	1652	1453	〃
燃焼ガス初期水分量	18.7	13.8	18	28.7	18	〃
燃焼ガス湿度	0.015	0.0146	0.0147	0.0174	0.0124	kg·H_2O/kg·dry·air
排気ガス水分量	130.2	137.6	123	156	154.6	kg/hr
排気ガス湿度	0.1043	0.1455	0.1005	0.0944	0.1064	kg·H_2O/kg·dry·air
排気ガス温度	101.3	−29	112.8	149	80.5	°C
ガス温度	312	260	320	320	300	〃
湿潤比熱 C_{H_1}	0.247	0.247	0.247	0.247	0.247	Kcal/kg·°C
湿潤比熱 C_{H_2}	0.288	0.307	0.286	0.284	0.289	〃



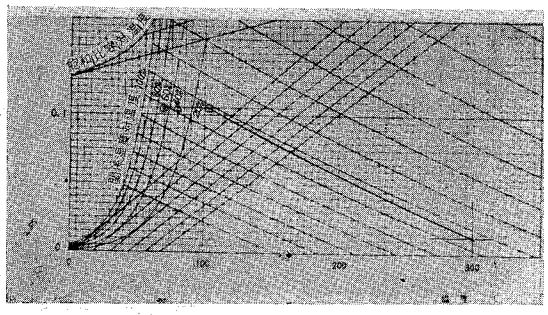
図—8



図—9



図—10



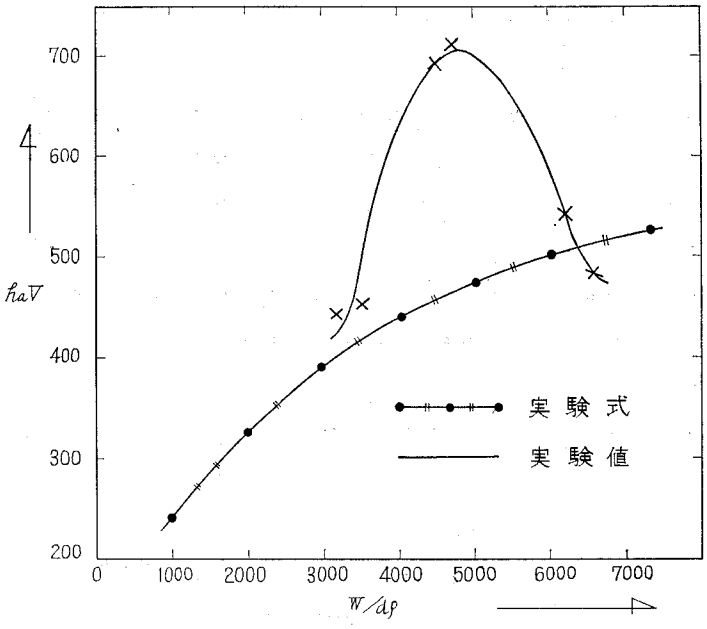
図—11

機，箱型乾燥機，通気乾燥機においては，この様に短時間で乾燥することが不可能なことを考慮すれば，気流乾燥法は著しく乾燥効率が高く，多量の供給原料の処理に適している事が判る。

乾燥の全行程における温度変化と乾燥管長さの関係については，図-2 に示した。これによると，解砕機を出る時，すでに保有熱交換がほとんど終っているために温度降下が急激に大きく現われ，それ以後の乾燥ガス温度の降下は問題にならない程僅少である。

(ii)　解砕機の熱容量係数

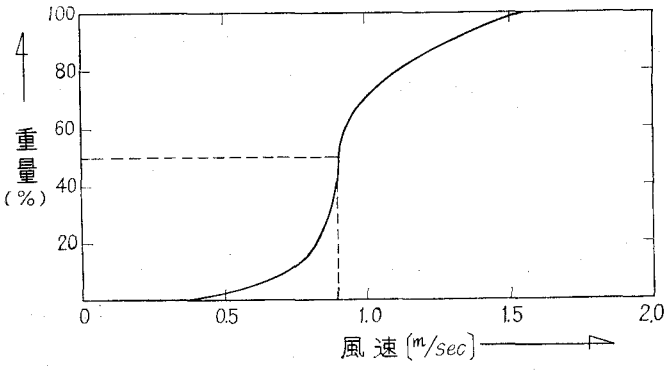
表-5～7 から求めた解砕機の熱容量係数 h_aV と $W/d\rho$ の関係を 図-12 に示した。図中に桐栄らの実験式 (10) を比較のために示した。図-12 から使用した解砕機の熱容量係数は，$W/d\rho$ の値が 4,500～5,000 の時に最大となり，その値は実験式 (10) よりはるかに大きいことがわかった。このことはライムスラッジの場合，解砕機の $W/\rho d$ が 4,500～5,000 の間に最適条件があることを示す。今回の実験は特定の解砕機を使用したので，その機械の特性を知るにとどまり，種々の解砕機の特性に関する広範な検討は今後の課題である。



図—15　解砕機熱容量係数

(iii)　乾燥成品の飛散速度

ライムスラッジの気流乾燥において，管内のガス流速を決定することは，重要な事項である。そこで内径 70 φmm のアクリルパイプを用いて，飛散分級試験を行なった。その結果を図-16 に示した。これによると成品は風速 1.5 m/sec 以上で全部飛散すると考えられる。しかし解砕機から分散される粒子はその径がまだ大きいと想定されるので，実用上は 5～10 倍の風速を与える必要がある。著者らの実験では 10 倍の値を用いた。



図—13　50% 飛散分級に対応する風速

V. 工業装置の問題点について

以上に論述した実験結果から工業的規模でライムスラッジの気流乾燥を行なう場合の利用および問題点について考察すれば以下の様な事が云える。

1. 装置全般についての長所

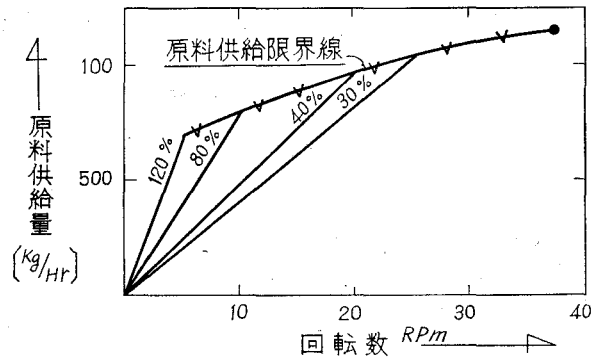
ライムスラッジの気流乾燥機として使用する場合，解砕機を取り付けることにより，他のいかなる乾燥装置よりも著しく高い性能を示す。また装置全体を通じて回転部分，機械部分が少なく，構造が非常に簡単で，据付面積も少なく，非常に安値である。

2. 熱　風　炉

重油焚の炉が最も調整容易であり，含水率一定の成品が得られる。成品を肥料として使用する場合は，微粉炭・木炭・石炭・木粉等の燃料でも十分である。

3. 原料供給装置

一般に原料は，150% (DB) 前後の含水率を有している。これを 60～40% の含水率まで下げて使用しなければ，原料供給が不可能となる。この問題は，成品の一部を原料に配合するこ



図—14　スクリューフィーダ特性

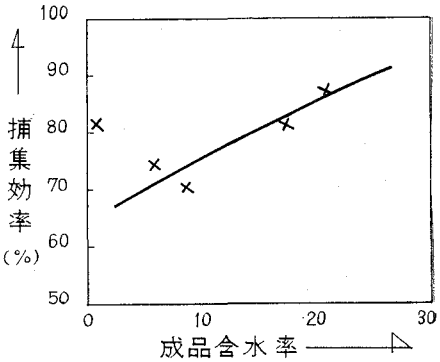
とによって解決する。混合された成品は再循環するので，熱効率に何ら問題はなく排風機及び解砕機を若干大きくするだけで良い。又混合攪拌することによって原料の供給が円滑に行き，運転が容易となる。原料供給機としては，パドル型U型スクリューフィーダまたはリボン型スクリューフィーダが適している。ホッパは特に粘結性の原料であるのでブリッヂ現象に対する考慮を十分に検討する必要がある。含水率と円筒型スクリューフィーダ特性を図-14に示した。これによると含水率と閉ソクの関係がわかる。

4. 解　砕　機

前項で検討したごとく $W/d\rho$ が4,500～5,000の範囲になる様な解砕機が，最適の熱容量係数を持つので出来ればこの範囲にすることが望ましい。$W=480$ kg/hr，$W/d\rho=5{,}000$ とすれば1日の湿潤原料の処理量に換算して約21 ton/dayとなり，精糖工業等ではこの程度の機種が適当である。

5. 捕 集 装 置

本実験ではサイクロンを使用したが，捕集効率80%前後で性能は悪かった。公害その他の要求があれば，電気集塵機，バッグフィルタ，マルチプルサイクロン等を使用して捕集効率を上げることが必要である。成品含水率とサイクロン捕集効率の一例を図-18に示した実用装置としてはこのままでは使用出来なく，少なくとも97%以上の捕集効率が要求される。



図—15　サイクロン捕集効率

6. 排　風　機

排風機は，静水圧水柱700～1,000 mmの吸込型のものが良く，この場合，サイクロンと排風機の間の管を出来るだけ短絡し，排ガス温度を下げぬようにすべきである。又排ガス温度が150℃前後あるから，ベアリングの過熱を考慮する必要がある。

VI. 結　　言

以上に論述した実験によりライムスラッジの乾燥用工業装置として，気流乾燥装置がきわめて優れた性能を持つことが解明された。又，解砕機における熱容量係数は非常に大きな値を有し，設計上重要な指針がえられた。乾燥は数秒で瞬間的に行なわれ，湿度線図による乾燥操作の解析によると，ほとんど断熱冷却線に沿うて湿度変化していることが解明された。

本報告を終了するにあたり，東北大学，前田四郎教授，大谷茂盛助教授，および本学の内藤正鄰教授から種々の有益なる御助言を賜わった。また実験の遂行にあたっては，工学士近藤

和夫氏，村井英治氏，成田義次氏，林裕氏の御協力をえ，実験装置の製作については，函館ドック(株)設計部の富田英夫氏，根田幸治氏に負う所が極めて多い。以上の諸氏に対して深く感謝の意を表する。 (昭和40年3月，日本機械学会東海支部大会にて講演) (昭和40年4月28日受理)

文　献

1) 亀井・桐栄： 化学工学, **16**, 294 (1954)；化学工学, **20**, 60 (1956).
2) 桐栄： 日本機械学会論文集, **3**, 177 (1956).
3) 川淵： 化学工学, **20**, 223 (1956).