

JAERI - M  
86-040

セルロース廃資源糖化試験装置による研究( I )  
— 粉碎装置の特性およびもみがらの粉碎 —

1986年3月

笠井 昇・玉田 正男・熊倉 稔・嘉悦 勲

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 榎高野高速印刷

セルロース廃資源糖化試験装置による研究 (I)  
-粉砕装置の特性およびもみがらの粉砕-

日本原子力研究所高崎研究所開発部  
笠井 昇・玉田 正男・熊倉 稔・嘉悦 勲

(1986年1月31日受理)

本報告は、昭和57年3月に製作した「粉砕装置」の特性および、この装置を使用したもみがらの粉砕効果について調べ、それをまとめたものである。この粉砕装置は、セルロース廃資源の糖化発酵への放射線利用技術の開発研究のため設置された、「セルロース廃資源糖化試験装置」を構成する1つのユニットプロセスであり、もみがら・バガス・木粉などのセルロース廃資源を連続的に小さな粒子に粉砕するためのものである。粉砕機種は連続的に比較的短時間に大量の廃資源を粉砕することのできる衝撃式粉砕機「ニューマイクロシクロマット」である。本装置の特性はもみがらを使用して異物除去、供給、粉砕、分級、集ジン、N<sub>2</sub> ガス供給の効果を調べた。粉砕条件を選定することにより、もみがらを効率良く250メッシュ以下の微粒子に粉砕できることがわかった。また、電子線により10Mrad照射したもみがらは、未照射のものより粉砕されやすく、高い糖濃度が得られることがわかった。

Study on Saccharification of Cellulosic Wastes with  
Bench Scale Test Plant (1)

— Characteristics of Pulverizer and Pulverizing of Chaff —

Noboru KASAI, Masao TAMADA, Minoru KUMAKURA and Isao KAETSU

Department of Development, Takasaki Radiation Chemistry  
Research Establishment,

Japan Atomic Energy Research Institute  
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received January 31, 1986)

Characteristics of pulverizer and the pulverizing effects were studied with bench scale test equipment which was purchased on March 1982. The pulverizer is one unit process of the test plant settled in order to investigate the saccharification of cellulosic wastes by radiation utilization technique and can pulverize cellulosic wastes such as chaff, bagasse and saw dust into fine powder continuously. This equipment was the impact type pulverizer called "New Microcyclomat", which could treat the large amount of samples continuously in a relatively short period. The effects of foreign substance collecting, sample feeding, powder classification, dust collecting and N<sub>2</sub> gas supplying on the continuous pulverizing were examined by using chaff. It was found that chaff was effectively pulverized into a fine powder of 250 mesh under by choosing suitable conditions. Especially, electron beam irradiation of chaff with a dose of 10 Mrad made the pulverizing easier and glucose solution of higher concentration was obtained by the following enzymatic saccharification in comparison with the non-irradiated chaff.

Keywords: Saccharification, Cellulosic Wastes, Chaff, Pulverizer,  
Irradiation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 粉碎装置の概要 .....	2
2.1 装置の使用目的 .....	2
2.2 装置の概要 .....	2
2.3 装置の構成 .....	2
3. 装置の特性およびもみから粉碎 .....	8
3.1 異物除去部 .....	8
3.1.1 風選機 .....	8
3.1.2 磁選器 .....	8
3.2 供給部 .....	10
3.2.1 ホッパー .....	10
3.2.2 スクリューフィーダー .....	10
3.3 粉碎部 .....	13
3.3.1 粉碎機の温度上昇 .....	13
3.3.2 粉碎によるみかけ密度の変化 .....	14
3.3.3 粉碎条件と粉碎物の粒度 .....	14
3.3.4 粉碎条件と糖濃度 .....	15
3.4 分級部 .....	25
3.5 集ジン部 .....	28
3.6 N <sub>2</sub> ガス供給部 .....	28
4. まとめ .....	29
謝 辞 .....	29
参考文献 .....	29

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of pulverizer .....	2
2.1 Purpose of usage .....	2
2.2 Outline of pulverizer .....	2
2.3 Constitution of pulverizer .....	2
3. Characteristics of pulverizer and pulverizing of chaff .....	8
3.1 Foreign substance collection .....	8
3.1.1 Air separator .....	8
3.1.2 Magnet separator .....	8
3.2 Sample feed .....	10
3.2.1 Hopper .....	10
3.2.2 Screw feeder .....	10
3.3 Pulverizing .....	13
3.3.1 Temperature rising of the pulverizer .....	13
3.3.2 Change of apparent density by pulverizing .....	14
3.3.3 Pulverizing condition and particle size of powder .....	14
3.3.4 Pulverizing condition and glucose concentration .....	15
3.4 Classification .....	25
3.5 Dust and mist collector .....	28
3.6 Supplying of N <sub>2</sub> gas .....	28
4. Summary .....	29
Acknowledgement .....	29
References .....	29

## 1. は じ め に

太陽エネルギーによって再生産することのできる資源として、バイオマスが世界的に注目されている<sup>1)</sup>。1年間に生産されているバイオマス量は、世界の年間エネルギー使用量の約10倍に相当し、大変莫大な量である<sup>2)</sup>。バイオマス資源の中でもセルロース廃資源（もみがら、バガス、廃木材など）は大量に産出するにもかかわらず、あまり利用されていない。これらの廃資源に含まれているセルロースを効率よく加水分解（糖化）してグルコースに変換した後、発酵させてアルコールに変える技術の開発が望まれている。

我々は、bench scale のセルロース廃資源糖化試験装置によりセルロース廃資源の糖化発酵への放射線利用技術の開発研究を行っている。本装置はセルロース廃資源を電子線照射および粉碎により前処理した後、放射線重合を利用して得られた固定化菌体、または固定化酵素を用いて連続的にグルコースに変換する糖化試験装置であり、放射線を利用したセルロース廃資源の糖化技術を確立するために使用するものである。装置は大別して①照射用コンベア装置、②粉碎装置、③固定化重合反応装置、④糖化装置から構成されている。

本報告はもみがらを電子線照射した後、機械的粉碎処理を行う粉碎装置の特性、およびもみがらの粉碎についてまとめたものである。装置の概要、構成機器の特徴、粉碎時における温度変化、および未照射もみがらと10Mrad照射したもみがらを用いて粉碎条件を変えて粉碎し、粉碎物の粒度・糖濃度について粉碎効果を調べた。

もみがらは年産約330万tonであるが、40%程度しか利用されておらず過半数以上が廃棄、焼却されており<sup>2)</sup>、有効利用が望まれているものである。

## 2. 粉碎装置の概要

### 2.1 装置の使用目的

セルロース廃資源の糖化法として、過去に高温、高圧下で強酸を用いて加水分解する方法が行われていた。しかし、この方法ではグルコースの収率が低い上に生成物に発酵を阻害する物質を含むことや、廃液処理にも問題がある。これに対し、酵素を使用する酵素糖化法は、常温・常圧に近い温和な条件で反応を行うことができ、発酵を阻害する物質を含まないなどの利点がある。

セルロース廃資源であるもみがらはセルロース、ヘミセルロース、リグニン、ケイ素化合物などが物理的、化学的に強固に結合した複合体であり、酵素糖化を行う場合、そのままでは酵素とセルロースの接触がうまくいかず糖化反応性が悪い。また、もみがらはみかけの密度が小さいため糖化反応の際、反応容器内に占める割合が大きくなり、低基質濃度でしか行えず非効率的である。このため、もみがらを粉碎して微粉化してやる必要がある。微粉化してやることによりセルロースの露出面積が大きくなり、酵素との接触が良くなるため高い糖濃度が得られるようになる。また、みかけの密度が大きくなるため、高基質濃度でも糖化反応が行えるようになり、効率的に糖化を行えるなどの利点がある。

もみがらなどのセルロース廃資源は電子線を照射することにより機械的粉碎がされやすく細かな粉碎物が多くなり、未照射に比べ糖濃度も高くなる<sup>3)、4)</sup>。本粉碎装置は、もみがらなどのセルロース廃資源をbench scale で連続的に、大量粉碎した場合の粉碎効果などを調べるものである。

### 2.2 装置の概要

図1のフローシートに示すように、もみがらは風選機にて異物（土玉、小石等）を磁選器にて鉄粉を除去され原料ホッパーに貯えられる。原料ホッパーに貯えられたもみがらはスクリーフィーダーで連続的に粉碎機に供給される。粉碎機は空気とN<sub>2</sub>ガスと共にフィーダーから送り出されたもみがらを自吸入・粉碎・排出の順で行う。排出されたもみがら粉碎物は空気、N<sub>2</sub>ガスと共に分級器に送られ、250 $\mu$ mより大きい粒子（+250 $\mu$ m）と小さい粒子（-250 $\mu$ m）に分けられる。+250 $\mu$ mは第2ホッパーに落下し貯えられ、粉碎・分級を繰り返し行う。-250 $\mu$ mは更に集じん機にて空気、N<sub>2</sub>ガスと分離され取り出し箱に貯えられ、糖化に使用される。なお、粉じん爆発を防止するため吸入空気の酸素濃度を検出し、N<sub>2</sub>ガスで酸素濃度を最低10%程度まで下げられる。

### 2.3 装置の構成

本装置は機能により下記のように大別できる。

異物除去部：風選機・磁選器

供給部：ホッパー・スクリーフィーダー

粉碎部：粉碎機

分級部：分級器



集 ジ ン 部：集ジン機

N<sub>2</sub> ガス供給部：O<sub>2</sub> 濃度検出計、気化器、液体窒素ポンペ  
各機器の仕様を表 1 に、配置を図 2 に示す。

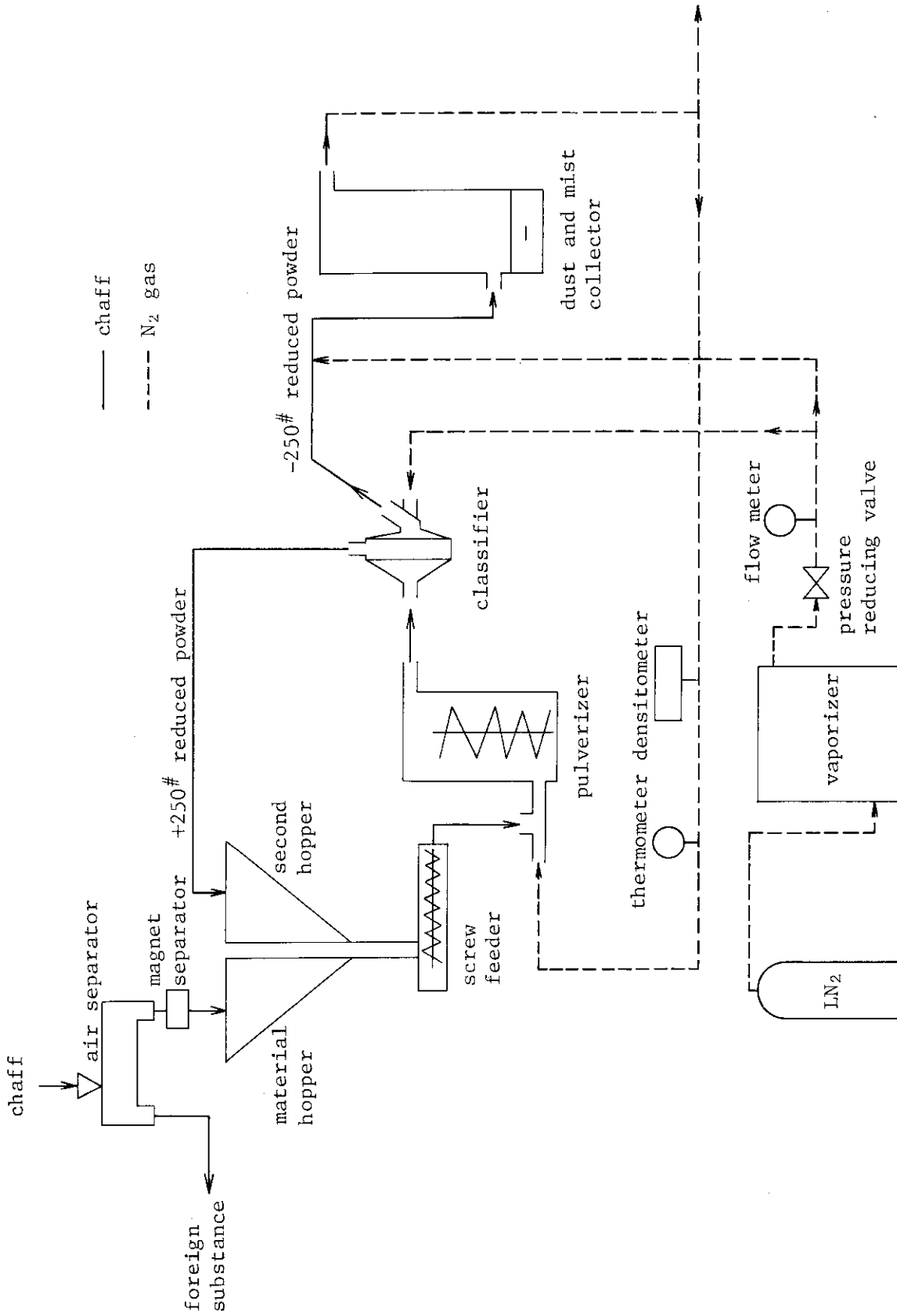


Fig. 1 Flow sheet of pulverizer

Table 1 Specification of instrument

A.) air separator	
type	YASF-10 (YAKUSHIN MACHINE MFG. CO., LTD)
capacity	200 kg/hr
size	1600 <sup>W</sup> × 490 <sup>L</sup> × 1500 <sup>H</sup>
power	0.2 kW
B.) Magnet separator	
type	KGM-2020
capacity	0.6 m <sup>3</sup> /hr
intensity	seven sticks/two steps × 2200 gauss/gap 100 mm
size	200 × 200 × 100 <sup>H</sup>
C.) hopper	
size	600 × 750 × 850 <sup>H</sup> × two pieces
volume	120 ℓ
D.) screw feeder	
type	close type single screw
capacity	30 kg/hr
screw size	75 <sup>φ</sup> pitch 50
power	0.4 kW
E.) pulverizer	
type	NEW MICROCYCLOMAT KV-5-5 (YAKUSHIN MACHINE MFG. CO., LTD)
power	15 kW
	(for details, turn to table 2)
F.) classifier	
type	MS-400 screen cleaning type
screen	250 mesh (made of stainless steel)
screen area	0.13 m <sup>2</sup>
cleaning	N <sub>2</sub> gas
power	0.1 kW

G.) dust and mist collector

type	FB-2200G (NIHON SEIMITSU KOGYO CO., LTD)
size	620 × 865 × 1660 <sup>H</sup>
filter area	12 m <sup>2</sup>
filter medium	Tetron
power	0.1 kW (automatic vibrator)

H.) vaporizer

type	CAV-240 (DAIHO SANGYO CO., LTD)
capacity	80 m <sup>3</sup> /hr
size	872 × 1172 × 2343 <sup>H</sup>

I.) densitometer

type	ZIRCONIA OXGEN ANALYZER (FUJI ELECTRIC CO., LTD)
------	--

J.) LN<sub>2</sub> cylinder

volume	175 ℓ
--------	-------

No.	Part Name
1	air separator
2	pulverizer
3	screw feeder stand
4	landing
5	dust and mist collector
6	control panel
7	flow meter stand
8	vaporizer
9	LN <sub>2</sub> vessel

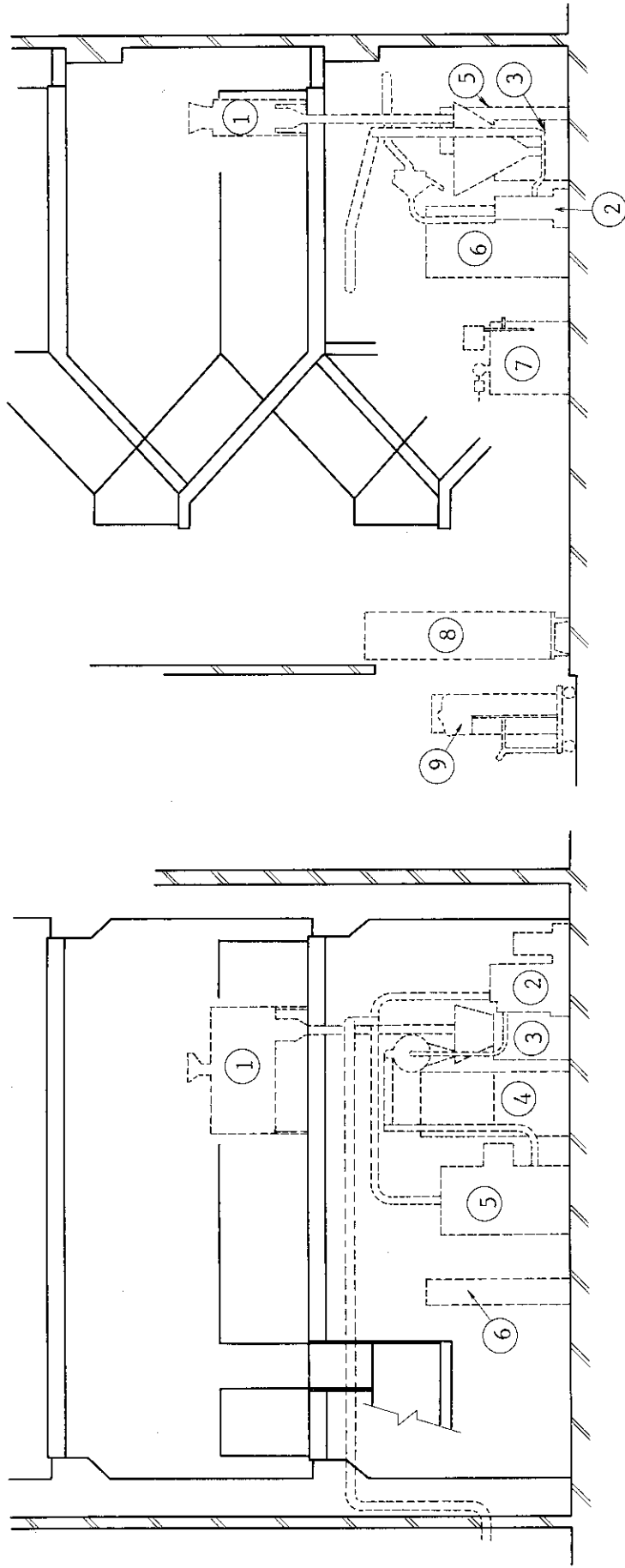


Fig. 2 Layout of pulverizer

### 3. 装置の特性およびもみから粉砕

#### 3.1 異物除去部

群馬県玉村町農協のライスセンターからもみがらを入手して使用しているが、たまに石・土玉・鉄粉などの異物が混入している場合がある。硬い異物が入ったままのもみがらを粉砕すると粉砕機の破損の原因となったり、得られた粉砕物が糖化反応の際に悪い影響を及ぼされたりする。また、硬い異物は高速回転している粉砕機の羽根等にぶつかると火花が発生し、粉ジン爆発の火種となる可能性があるため、粉砕する前に取り除いておく必要がある。

##### 3.1.1 風選機

風選機はもみがらと異物の重量の違いを利用して異物を除去するものであり、その概略を図3に示す。

ホッパー内のもみがらは流量調節レバーとフィーダーによって定量排出（落下）され、送風羽根の回転によって生じる風で飛ばされる。飛ばされたもみがらは排出口より磁選器に送られる。これに対し、異物は風の影響を受けず落下し、異物排出口に貯まり、一定重量に達すると自重により排出板が開き、異物受箱に排出される。送風量に対して、もみがら供給量が大きくなると異物との選別が悪くなり、もみがらも異物排出口に入ってしまうため覗き窓で確認しながら供給量を決める必要がある。

もみがら 6 kg (60 ℓ) を風選機で選別したところ約 3 g の異物があった。選別されたもみがら中には異物は見られなかった。取れた異物は小石・小さな土玉・木片・稲の枝の一部・かけた米粒であった。稲刈り時において小石・土・木片が混入し、脱穀時に米粒が混入したものと思われる。今回はあまり異物が多くなかったが、ロットや入手先等により違ってくる可能性がある。

##### 3.1.2 磁選器

もみがら中に鉄片などの大きなものが入っている場合は風選機で取り除けるが、鉄粉の場合十分に取り除けない。磁選器は、この鉄粉を取り除くものである。永久磁石の棒 7 本が 2 段に N-S 極バランスよく配置されている。風選機により選別されたもみがらは、この棒磁石の間を通り抜ける。この際、鉄粉は棒磁石に吸着され取り除かれる。

棒磁石の表面に付いている鉄粉を払き取り、風選機で選別したもみがら 6 kg を通過させて、どれくらいの量の鉄粉が付着しているか調べた。もみがらを通させた後、棒磁石の表面に付いている鉄粉を払き取り重量を測定したところ 0.16 g の鉄粉が得られた。

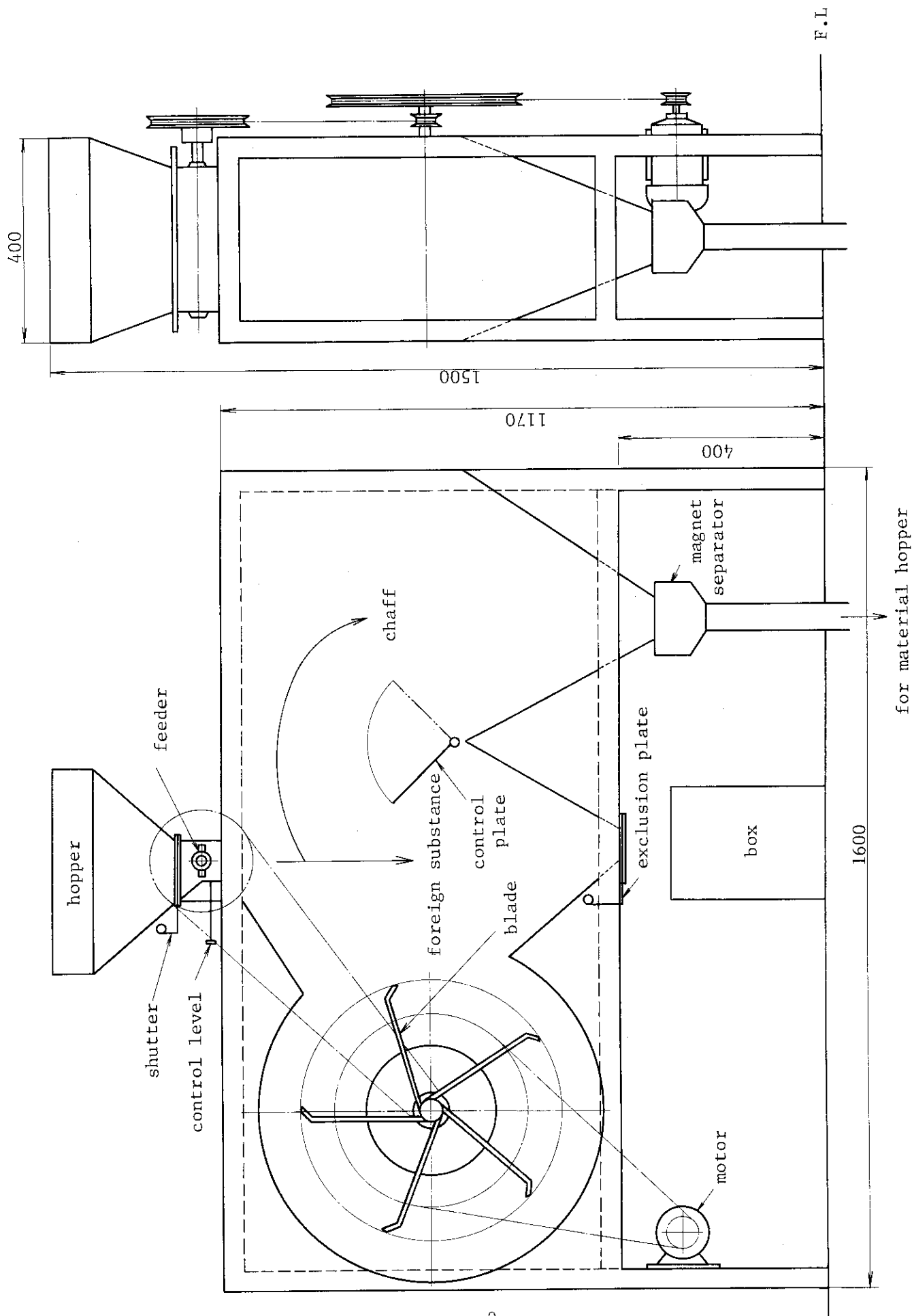


Fig. 3 Air separator

## 3.2 供給部

異物を除去したもみがら（風選機、磁選器を通過させたもみがら）は原料ホッパーに貯えられる。また、分級器で分級された粗いもみがら粉碎物は再粉碎するため、第2ホッパーに貯えられる。本粉碎機は原料を自吸入して粉碎するが、一度に多量のもみがらを粉碎機内に入れると過負荷の状態となり破損の原因となる。このため、ホッパーに貯えられたもみがらを一定量ずつスクリーフィーダーで送り出すようになっている。

### 3.2.1 ホッパー

ホッパーの概略を図4に示す。原料ホッパー、第2ホッパー共に同じ形状、寸法となっており内容積は120ℓである。（もみがらを12kg貯えられる）ホッパーの角度は急になっていることから、原料ホッパー内のもみがら、第2ホッパー内のもみがら粗粉碎物は、閉塞を起こすことなく落下し、スクリーフィーダーへスムーズに供給することができた。

### 3.2.2 スクリーフィーダー

原料ホッパー、第2ホッパーに貯えられたもみがらを粉碎機に定量供給するものである。インバーターによりモーター（チェーンでスクリーフィーダーに連結）の回転数を制御することによりもみがらを連続的に、任意の量で供給する。なお、スクリーフィーダーの内径は80φである。

スクリーフィーダーの回転数ともみがら（原料ホッパーに貯えられた未粉碎物）送り出し量の関係を図5に示す。回転数と送り出し量の関係は1r.p.m当り $0.96 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$ の比例関係となっていることから、送りむらがなく安定した供給が行えることがわかる。なお、フィーダーから送り出されたもみからは、すべて粉碎機に送られ粉碎されるため、もみがら送り出し速度と粉碎処理速度は同じである。



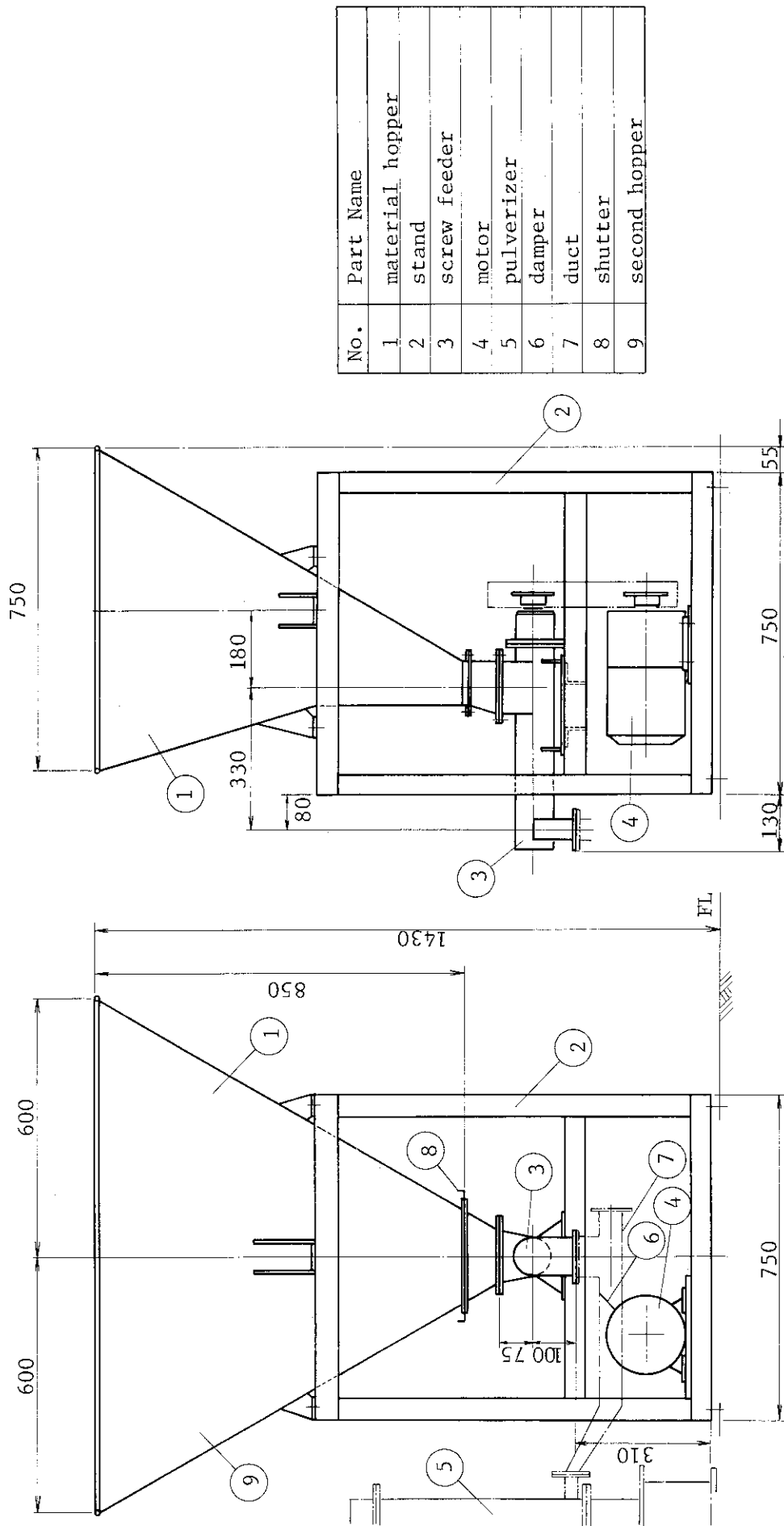


Fig. 4 Screw feeder and hopper

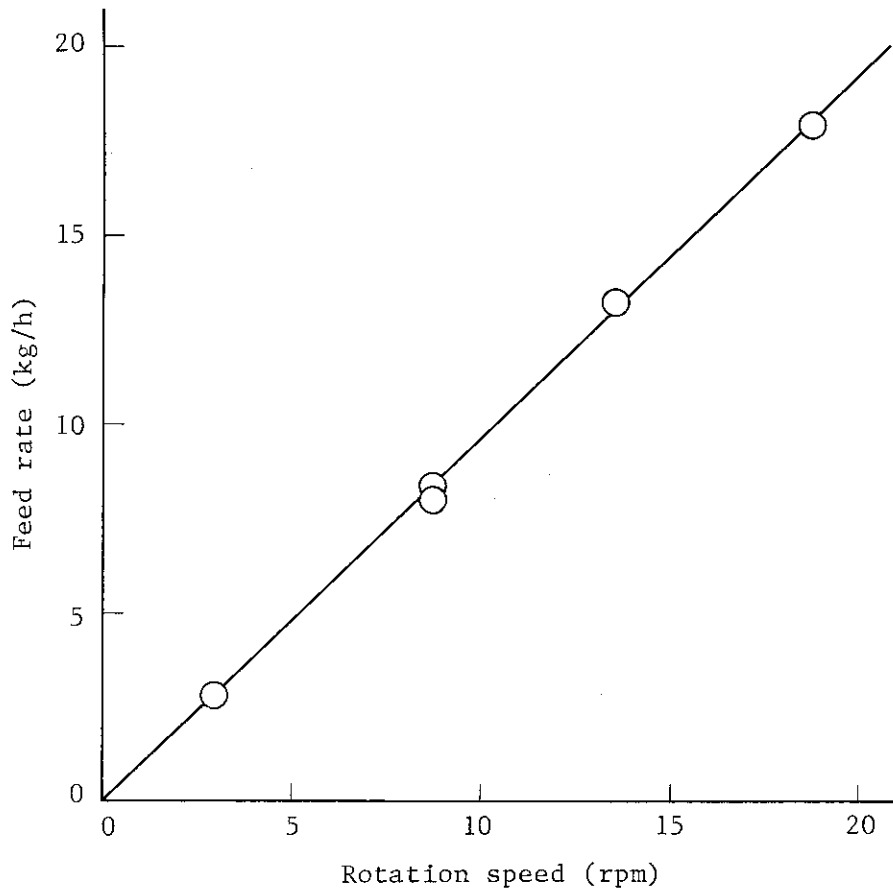


Fig. 5 Relationship between rotation speed and feed rate in screw feeder

### 3.3 粉砕部

粉砕機は超微粉砕機「ニューマイクロシクロマット・KV-5-5型」(躍進機械製作所(製))である。この粉砕機は衝撃式粉砕機であり、セル状の多数の小室をもった円筒状衝撃体を高速回転させることにより衝撃、せん断、摩擦作用により粉砕する型式のものであり、連続的に粉砕することができる。概略を図6に、粉砕機内を写真1に示す。また、仕様を表2に示す。

回転部は、上・下ファンと円周に多数のブレードのついた複数のローター及び仕切板で構成されており、機内外側に多数の溝のついたライナーが取り付けられている。ローターが高速回転(7900rpm)することにより、粉砕機内に激しい渦流と圧力振動が発生する。フィーダーでダクト内に送り出されたもみからは、下部ファンにより空気と共に吸い込まれ、回転軸のまわりに旋回運転しながら加速されて粉砕室に入る。粉砕室でもみからはブレード・ライナーとの衝突、激しい空気の渦流等により瞬間的に粉砕される。粉砕物は上部ファンにより空気と共に排出され分級器に送られる。

#### 3.3.1 粉砕機の温度上昇

本粉砕機(ニューマイクロシクロマット)は粉砕機内でローター(多段セル)を高速回転させ、もみがらを粉砕する型式であり、エネルギー損失が熱となって発生し蓄積されてしまう。もみがらのような可燃物を粉砕する場合、温度に注意する必要がある。

熱の発生は粉砕室で一番大きくなるが、ローターが高速回転していたり、ライナーとプレートの間が5mmと狭いことや、激しい空気の渦流などのため粉砕室での温度測定は難しい。そこで今回は粉砕物の出口(図6のA点)に熱伝対を設置して、粉砕機内を通った後の空気の温度を測定した。

図7に空運転(もみがらを粉砕しないで粉砕機だけ作動)と各粉砕処理速度でもみがらをダンパー開口度5mmで粉砕した時の温度上昇を示す。空運転時では運転時間が34分で80°Cになり、比較的溫度上昇がゆるやかである。しかし、実際にもみがらを粉砕すると温度上昇は急激となり、粉砕処理速度が大きくなればなるほど短時間で80°Cになってしまう。3.4 kg/hrの粉砕処理速度では80°Cになるのに18分、13.2 kg/hrでは11分、22.1 kg/hrでは7分である。80°Cになるまでに粉砕できるもみがらの量は、3.4 kg/hrの処理速度で1.0 kg、13.2 kg/hrで2.4 kg、22.1 kg/hrでは2.6 kgであり、粉砕処理速度の大きいほど多くのもみがらが粉砕できる。

図7に示した温度上昇は粉砕機入口部配管(断面は長方形)のダンパーを5mm開けて粉砕した場合であったが、ダンパーの開きぐあい(開口度)で粉砕機内への空気の流入量が変わるため、温度上昇も違ってくるものと思われる。

粉砕機運転時での風量を測定するため、粉砕物の出口配管部で風速計により風速を測定し、配管の断面積から粉砕機出口の風量を求めた。結果は以下の通りである。

ダンパー開口度	風速	風量
5 mm	12 m/s	0.06 m <sup>3</sup> /s
10 mm	20 m/s	0.10 m <sup>3</sup> /s
50 mm (全開)	35 m/s	0.18 m <sup>3</sup> /s

※ダンパー開口度は小さいほど風量が少なくなり粉砕機内の渦流が激しくなると思われるが、5mm

以下ではもみがらが詰まって粉砕機に送り込めなくなってしまう。

図8は粉砕処理速度を22.1 kg/hrと一定にして、ダンパー開口度を5、10、20mmと変えた時

の温度上昇を示したものである。ダンパー開口度が小さいと同じ処理速度で粉碎しても、粉碎機内から流出される空気の量が少ないため、熱が粉碎機内に留まり温度の上昇が速くなっている。

このように本粉碎機（ニューミクロシクロマット）では粉碎処理速度の大きいほど、ダンパー開口度の狭いほど（風量が少ないほど）粉碎による温度上昇が速くなる。もみがらのような可燃性のものを連続的に長時間粉碎する場合、粉碎機または粉碎機に入る空気を冷却する必要がある。

### 3.3.2 粉碎によるみかけ密度の変化

もみがらは、みかけの密度が小さく嵩高いものである。これをそのまま、反応容器に入れ糖化反応を行わせようとした場合、少ない重量の割に容器内に占める割合が大きくなってしまい非効率的である。

粉碎装置により粉碎して得たもみがら粉碎物と未粉碎のもみがらのみかけの密度の違いを下記に示す。

	体 積 <sup>※</sup>	みかけの密度
未粉碎物	85～90 ml	0.11 g/cm <sup>3</sup>
粉 碎 物	22～24 ml	0.43 g/cm <sup>3</sup>

※もみがら 10g をメスシリンダーに入れ軽く詰めた状態での値

このように、もみがらを粉碎してやるとみかけの密度が大きくなり占める体積も少なくなる。実際に三角フラスコで糖化反応を行わせようとした場合、未粉碎物では重量で5%以上のスラリー濃度になると液中に浸らない部分が生じてしまう。これに対し、粉碎したものは20～25%までスラリー濃度を上げることができ、効率的である。

### 3.3.3 粉碎条件と粉碎物の粒度

電子線で10 Mrad 照射したもみがらと未照射もみがらを粉碎処理速度・ダンパー開度を変えて粉碎した。粉碎物は分級器で分級しないで集ジン機で集めた。集めた粉碎物を250<sup>#</sup>フルイ（目開き0.063mm）と350<sup>#</sup>フルイ（目開き0.04mm）で、ロータップ式フルイ振盪器により15分間フルイ分けて、フルイを通過した重量（フルイ下）を測り、フルイ分け前の重量に対する割合を求めた。

#### (1) 粉碎処理速度と粒度の関係

ダンパー開度を5mmと一定にして粉碎処理速度を3.4、13.2、22.1 kg/hr で粉碎して、フルイ下の重量割合を求めた。

図9に未照射もみがらを各粉碎処理速度で粉碎した粉碎物のフルイ下の重量割合を示す。3.4 kg/hr の粉碎処理速度では粉碎物の75%が250<sup>#</sup>フルイを通過するが、13.2 kg/hr の粉碎処理速度では60%程度と少なくなっている。また、22.1 kg/hr の粉碎処理速度では13.1 kg/hr と同程度になっており、ある粉碎処理速度以上になると250<sup>#</sup>以下の割合は変わらなくなっている。350<sup>#</sup>フルイ分けにおいても、まったく同じ傾向を示している。このことから、未照射もみがらの粉碎において細かな粉碎物を多く得るためには、もみがらの粉碎処理速度がより小さな方が良いことがわかる。

電子線で10 Mrad 照射したもみがらの粉碎処理度とフルイ下の重量割合を図10に示す。照射したもみがらは3.4 kg/hr の粉碎処理速度では250<sup>#</sup>フルイ下、350<sup>#</sup>フルイ下共に未照射とほとんど同じになっている。しかし、13.2 kg/hr の粉碎処理速度においては未照射もみがらと違い3.4 kg/hr の時と同じ割合を示している。10 Mrad 照射したもみがらは未照射もみがらに比べ、速い粉碎処理

速度で粉碎しても細かい粉碎物が多くあり、大量の細かな粉碎物を短時間に得ようとする場合有利である。

## (2) ダンパー開口度と粒度の関係

粉碎処理速度と粒度の関係を調べる際にダンパー開口度を5mmと一定にして粉碎したが、今度は粉碎処理速度を $22.1 \text{ kg/hr}$ と一定にして、ダンパー開口度を変えた時の250 $\mu$ と350 $\mu$ のフルイ下の重量割合を調べた。

ダンパー開口度(すき間)を5、10、20mmで未照射もみがらを粉碎した粉碎物のフルイ下重量割合を図11に示す。開口度5mmではフルイを通過する細かい粉碎物が多いが、開口度を10mmにするとその割合は急激に減少してしまう。この傾向は250 $\mu$ でも350 $\mu$ でも同じであり、ダンパー開口度が粉碎物の粒度に大きく影響を与えることがわかる。

10 Mrad 照射したもみがらのダンパー開口度と粉碎物のフルイ下の関係を図12に示す。ダンパー開口度が大きくなると粉碎物のフルイ下の割合が少なくなるのは未照射物の場合と同じであるが、未照射物のように急激に減少することなく、開口度が大きくなると共に徐々に減少している。未照射物ではダンパー開口度20mmの250 $\mu$ フルイ下は36%であるのに対して、10 Mrad 照射物は51%である。また、350 $\mu$ フルイ下は未照射物が24%であるのに対し、10 Mrad 照射物は37%となっており、未照射物と10 Mrad 照射物で大きな違いがある。

3.3.1の温度上昇で記したように、ダンパー開口度を変えることにより粉碎機出口部の風速(風量)が違ってくる。また、もみがらは空気の流れにより粉碎機に流入・排出される。これらのことから、ダンパー開口度を変えることにより風速が変わり、もみがらが粉碎機内に留っている時間(滞留時間)が違ってくる。ダンパー開口度が小さいほど風速が遅いため、粉碎機内に留っている時間が長く、長時間粉碎作用を受けることになり、細かな粉碎物が多くなるものと思われる。また、風速(風量)の違いにより粉碎室内にできる渦流が違っていている可能性もある。

未照射物と10 Mrad 照射物がダンパー開口度の違いにより大きく違ってくるのは、照射によりもみがらもろくなっており、粉碎機内に留って粉碎作用を受ける時間が多少異なっても顕著な違いとなって現われないものと思われる。いずれにしても、10 Mrad 照射したもみがらは未照射もみがらに比べ、多少粉碎条件が変わっても細かな粉碎物を多く得ることができる。

## 3.3.4 粉碎条件と糖濃度

もみがらの中には約30%のセルロースが含まれている。一定温度・PHの緩衝溶液中でセルロースと酵素(セルラーゼ)を作用させることにより、セルロースが加水分解(糖化反応)されグルコース(糖)が生成する。

前項(3.3.3)で得られたもみがら粉碎物を酵素により糖化反応を行い糖濃度を測定した。

### 〔糖化条件〕

基質濃度(もみがら粉碎物) : 10%

酵素濃度(セルラーゼ・"ONOZUKA" R-10 : ヤクルト製) : 1%

0.1 M酢酸緩衝液 PH 4.8

温度 : 40°C

容器 : 100 ml 三角フラスコ

液量 : スラリー量(基質、酵素、緩衝液) 20 ml

撈拌：三角フラスコを振盪器により 100 rpm で振盪

糖化反応時間：72 時間

糖化後のスラリーを遠心分離して、上澄液をグルコースアナライザーによりグルコース濃度を測定  
※もみがら中のセルロースが 100% 糖に変わったとすると糖濃度は  $3000 \text{ mg/dl}$  となる。

#### (1) 粉碎処理速度と糖濃度の関係

図 13 にダンパー開口度を一定にして粉碎処理速度を変えて粉碎した、未照射もみがら粉碎物の糖濃度を示す。(○) は得られた粉碎物をフルイ分けしないでそのまま糖化したものである。(●) は得られた粉碎物を  $250 \#$  フルイで 15 分間フルイ分け、フルイを通過したものを糖化したものである。(●) は  $350 \#$  フルイを通過したものを糖化したものである。粉碎物の糖濃度は  $350 \#$  フルイ下、 $250 \#$  フルイ下、フルイ分けせずの順になっており、細かな粉碎物を集めたものほど糖濃度が大きくなっている。このことは、もみがらを小さくしてやるほどセルロースの露出面積が大きくなり、酵素との接触が良くなるため生成する糖の量も多くなるためと思われる。また、同じフルイでフルイ分けしたのもでも  $3.4 \text{ kg/hr}$  の粉碎処理速度で粉碎したものが高い糖濃度を示し、 $13.2 \text{ kg/hr}$  と  $22.1 \text{ kg/hr}$  の粉碎処理速度では同じ値となっている。この関係は図 9 のフルイ下重量割合と同じであり、フルイ下重量の多い粉碎物ほどより細かなものが多く、糖濃度が高くなっているものと思われる。

10 Mrad 照射して粉碎したものの糖濃度を図 14 に示す。照射したのもも、未照射のものと同じようにフルイ分けして細かな粉碎物を集めた方が高い糖濃度を示している。しかし、10 Mrad 照射した粉碎物は  $13.2 \text{ kg/hr}$  の粉碎処理速度で糖濃度が高くなっていることや、 $22.1 \text{ kg/hr}$  の粉碎処理速度でフルイ下の割合が極端に少なくなっている(図 10 参照)にもかかわらず糖濃度が  $3.4 \text{ kg/hr}$  の粉碎処理速度の時とほとんど同じであるなど、未照射の場合と大きく違っている。

未照射粉碎物では、粉碎処理速度の小さい方が高い糖濃度を示す。10 Mrad 照射粉碎物では、粉碎処理速度を大きくしても高い糖濃度が得られる。このことから、10 Mrad 照射したもみがらは未照射もみがらに比べ、大量の粉碎物を短時間に得られることがわかった。

#### (2) ダンパー開口度と糖濃度の関係

図 15 に粉碎処理速度を  $22.1 \text{ kg/hr}$  と一定にしてダンパー開口度を変えて粉碎した、未照射もみがら粉碎物の糖濃度を示す。フルイ分けしていない粉碎物は 5 mm の開口度の時に高い糖濃度を示し、10、20 mm では低下している。このことは、図 11 のダンパー開口度とフルイ下の関係で示したように、ダンパー開口度が小さいと細かな粉碎物が多くなっているためと思われる。しかし、 $250 \#$ 、 $350 \#$  フルイを通過させて細かな粉碎物を集めたもの ( $250 \#$  フルイ下、 $350 \#$  フルイ下) の糖濃度はフルイ分けしないものと比べ、まったく違った傾向を示している。ダンパー開口度 10、20 mm の時、フルイ下の重量割合は開口度 5 mm に比べ極端に少なくなっているにもかかわらず、糖濃度は変わらないか、逆に高くなっている。

図 16 に 10 Mrad 照射して粉碎したものの糖濃度を示す。照射したのもも未照射のものと同じように、フルイ分けしないものはダンパー開口度が大きくなると糖濃度が低下しており、図 12 に示したフルイ下の重量割合の関係と同じ傾向となるが、フルイ分けしたものは 5 mm と 10 mm で差がなく、20 mm で高い糖濃度を示しており、フルイ下の重量割合と逆の関係となっている。しかし、照射したものはダンパー開口度、フルイ分けにかかわらず未照射のものに比べ糖濃度はいずれも高

くなっている。

未照射粉碎物と10 Mrad 照射粉碎物ともに、フルイ分けしたものはフルイ下の重量割合と糖濃度の関係が逆転しており、フルイ下の重量割合の少ないものほど高い糖濃度を示している。ダンパー開口度が大きいともみがらに与えられる粉碎エネルギーが小さく（滞留時間や空気の渦流など）有効にもみがら粒子を粉碎できない（細かな粒子が少ないことから）が、もみがら粒子1コをみた場合、粉碎され易い部分と粉碎されにくい部分があり、ダンパー開口度が大きく有効に粉碎できない時に、粉碎され易い部分だけが粉碎されていると思われる。そして、粉碎され易い部分は粉碎されにくい部分に比べ糖化され易くなっており、細かな粒子（フルイ下重量割合）が少なくても粉碎物が有効に糖化反応に寄与しているものと考えられる。

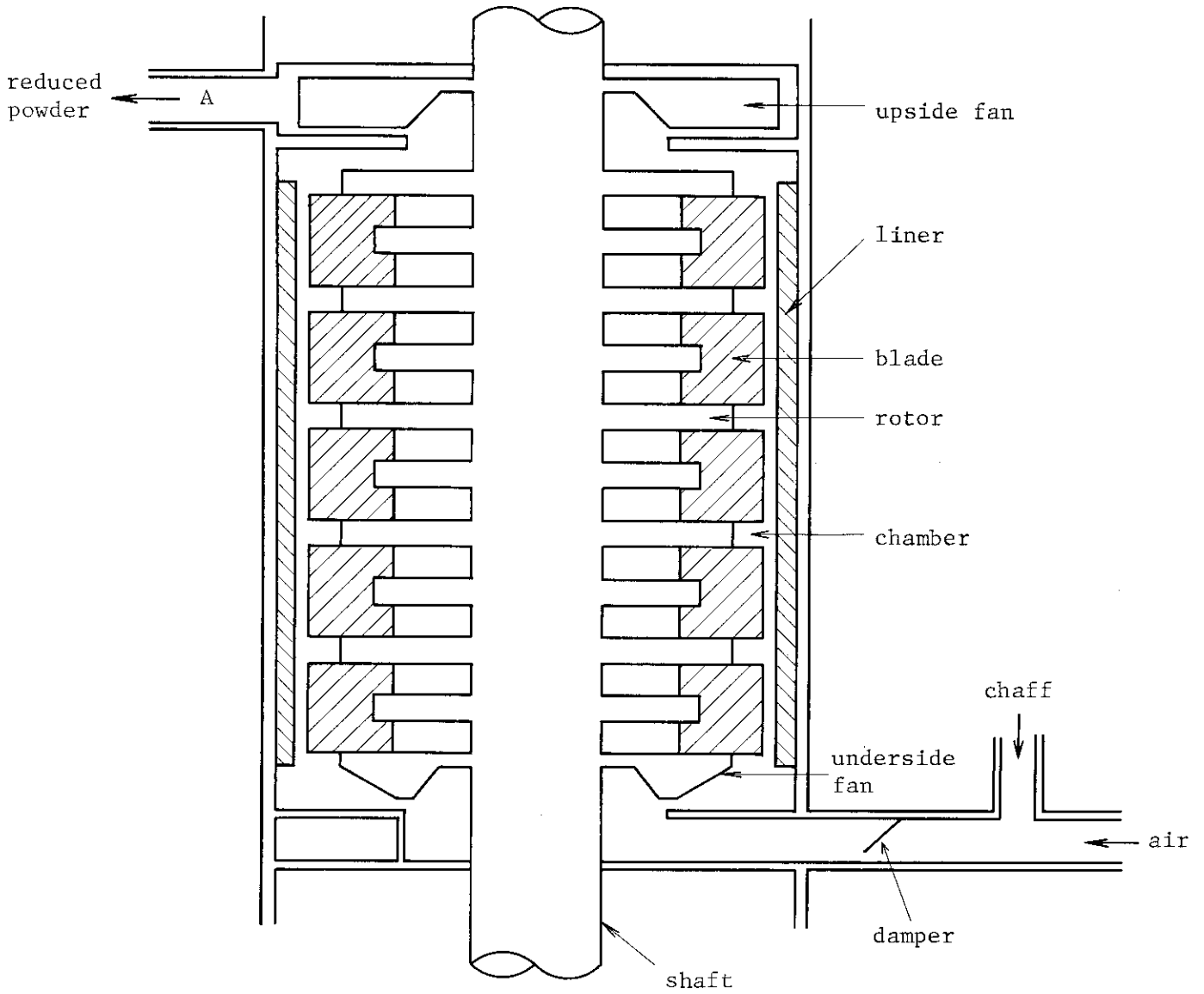


Fig. 6 Outline of the pulverizer



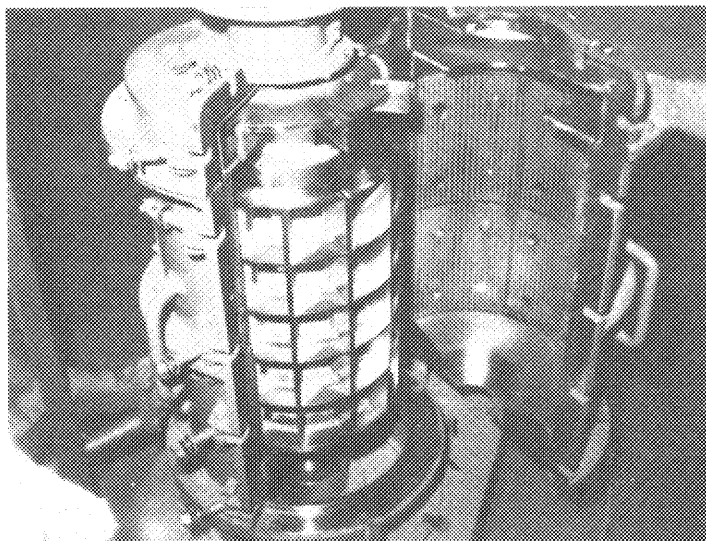


Photo. 1 Pulverizer

Table 2 Specification of pulverizer

type	NEW MICROCYCLOMAT KV-5-5
capacity	max 30 kg/hr (chaff)
rough size	500 <sup>W</sup> × 1215 <sup>L</sup> × 1010 <sup>H</sup> mm
rotor diameter	267 mmφ
rotor step	five steps (twelve plates/step)
rotation speed	7900 rpm (peripheral speed 110 m/s)
air volume	6 m <sup>3</sup> /min
inhalation gas	air, N <sub>2</sub> gas
material	stainless steel
power	15 kW, 2P, 200V

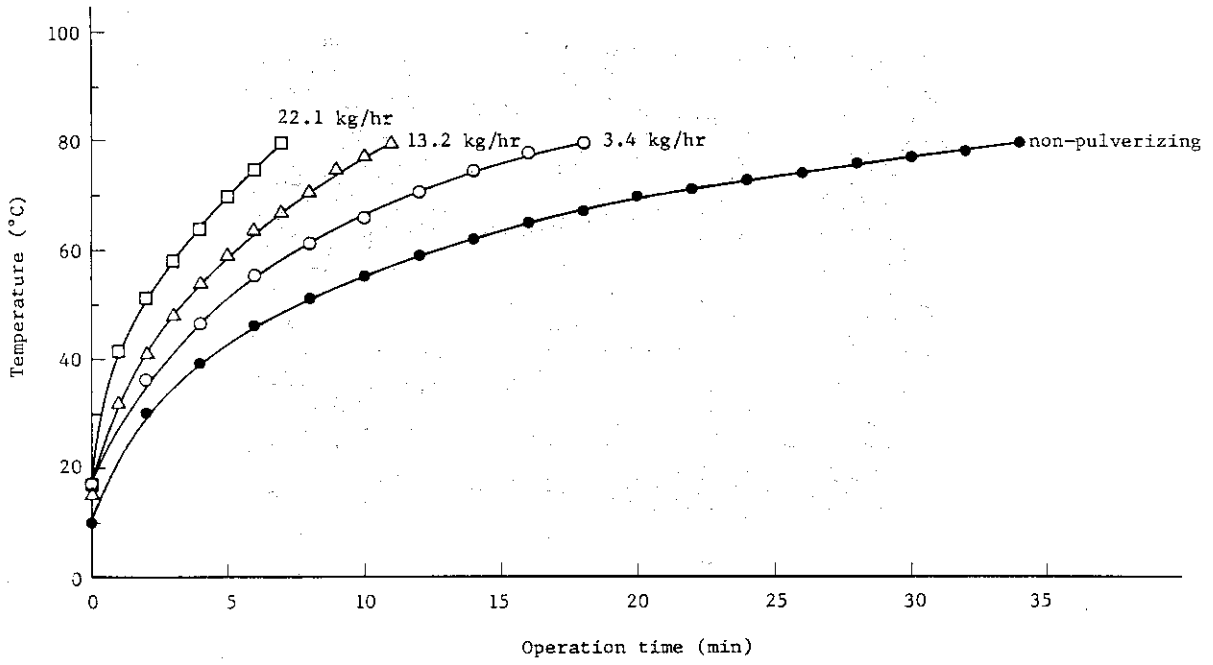


Fig. 7 Relationship between operation time and temperature

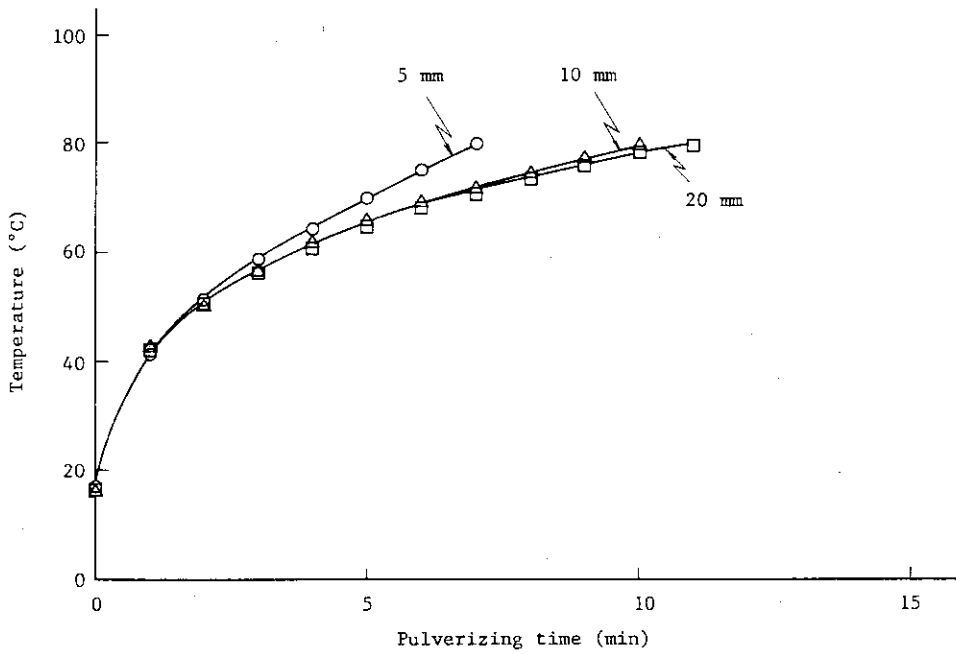


Fig. 8 Relationship between clearance of damper and temperature

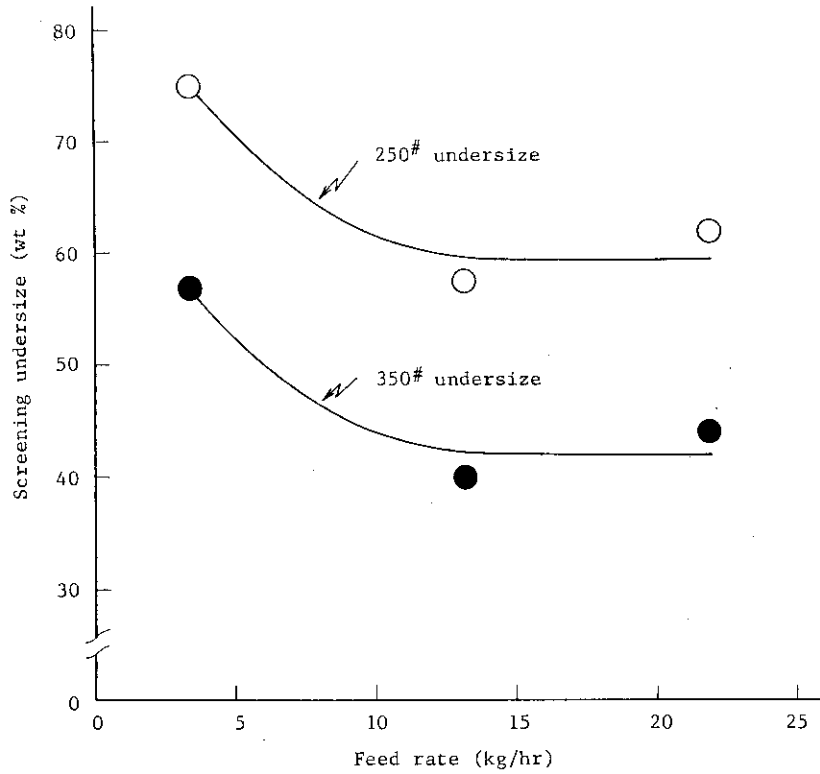


Fig. 9 Relationship between feed rate and screening undersize in non-irradiated chaff

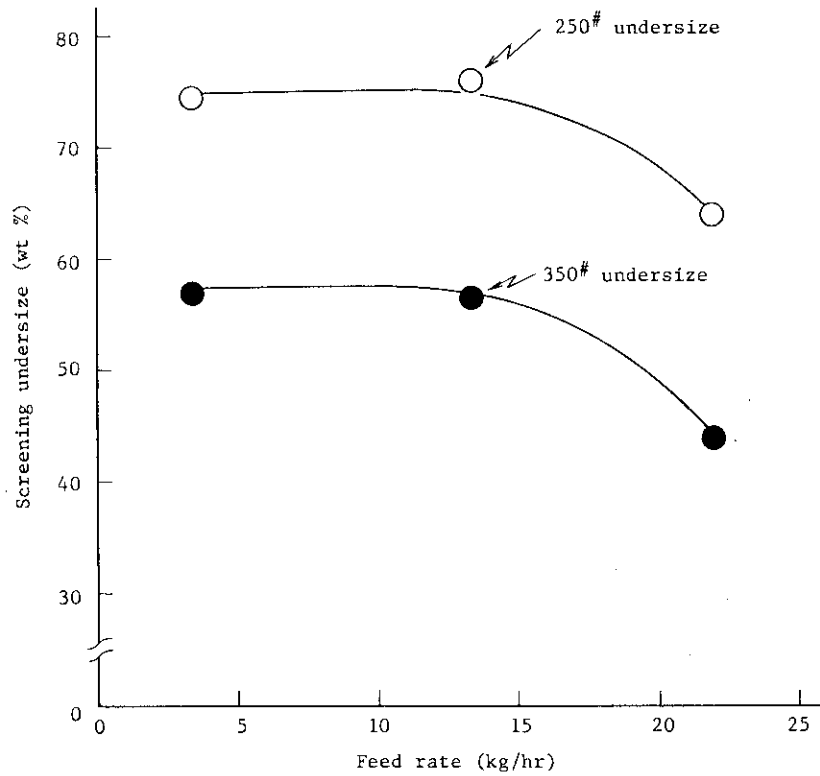


Fig. 10 Relationship between feed rate and screening undersize in irradiated chaff

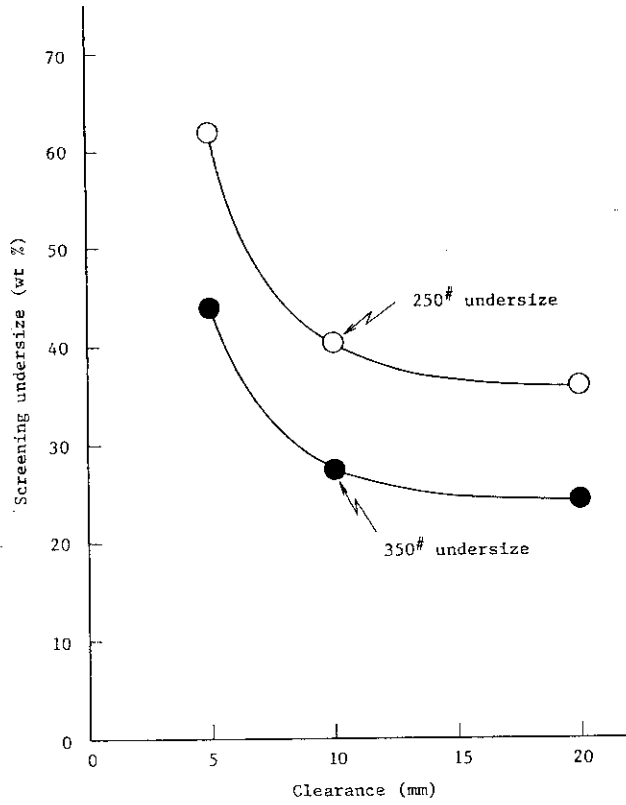


Fig. 11 Relationship between clearance of damper and screening undersize in non-irradiated chaff

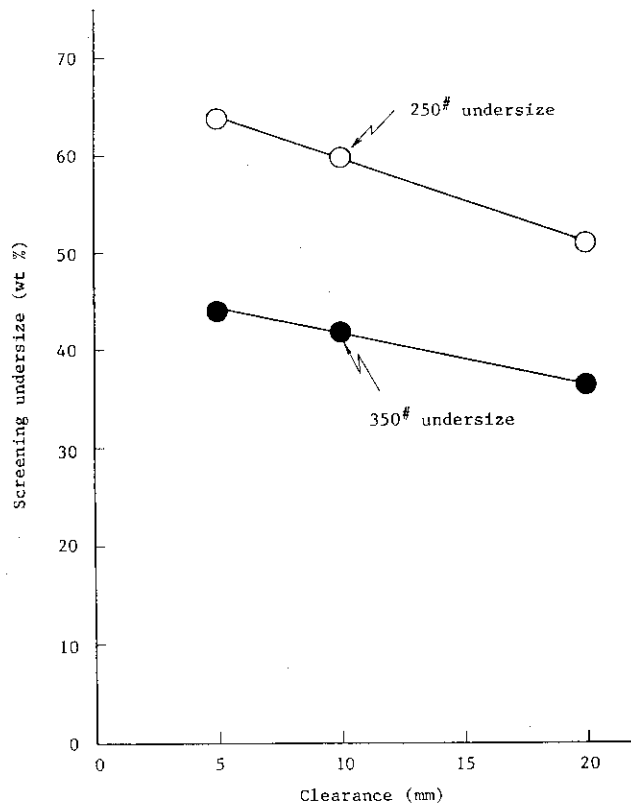


Fig. 12 Relationship between clearance of damper and screening undersize in irradiated chaff

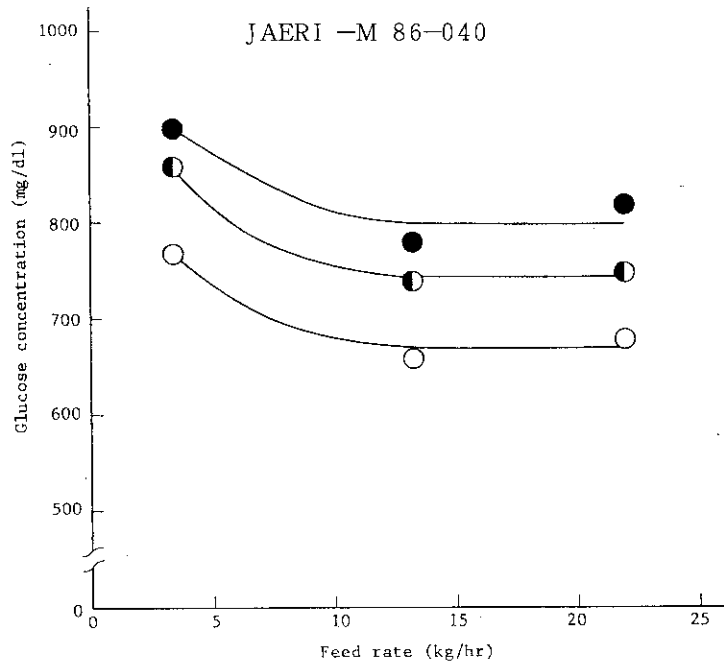


Fig. 13 Relationship between feed rate and glucose concentration in non-irradiated chaff

- non-screening
- ◐ 250# undersize
- 350# undersize

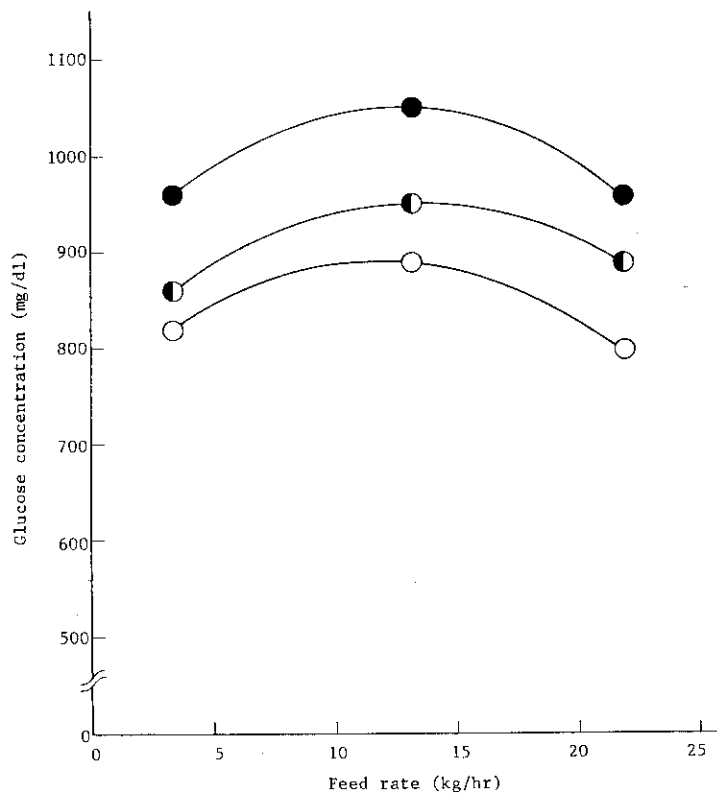


Fig. 14 Relationship between feed rate and glucose concentration in irradiated chaff

- non-screening
- ◐ 250# undersize
- 350# undersize

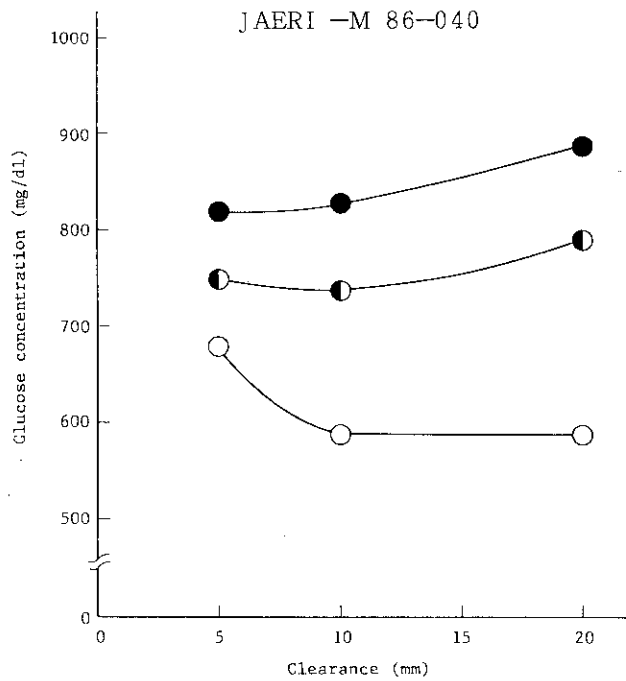


Fig. 15 Relationship between clearance of damper and glucose concentration in non-irradiated chaff

- non-screening
- ◐ 250# undersize
- 350# undersize

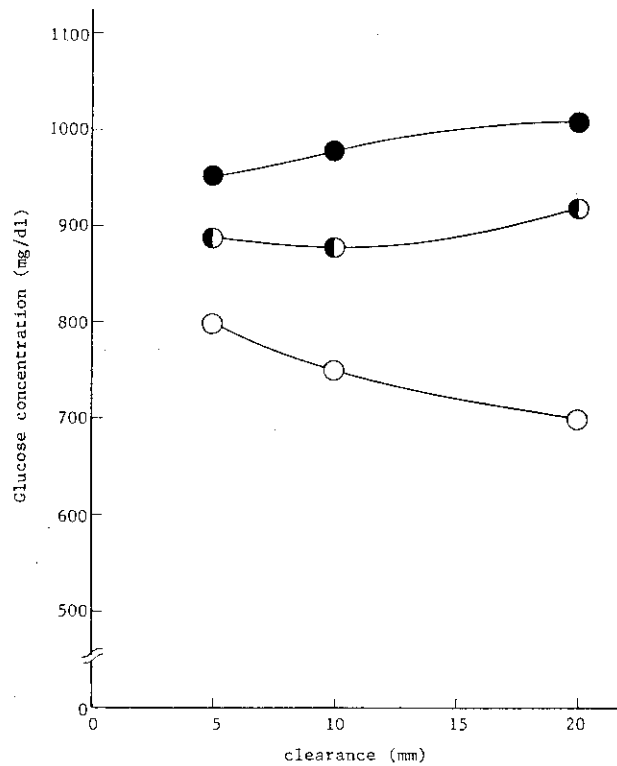


Fig. 16 Relationship between clearance of damper and glucose concentration in irradiated chaff

- non-screening
- ◐ 250# undersize
- 350# undersize

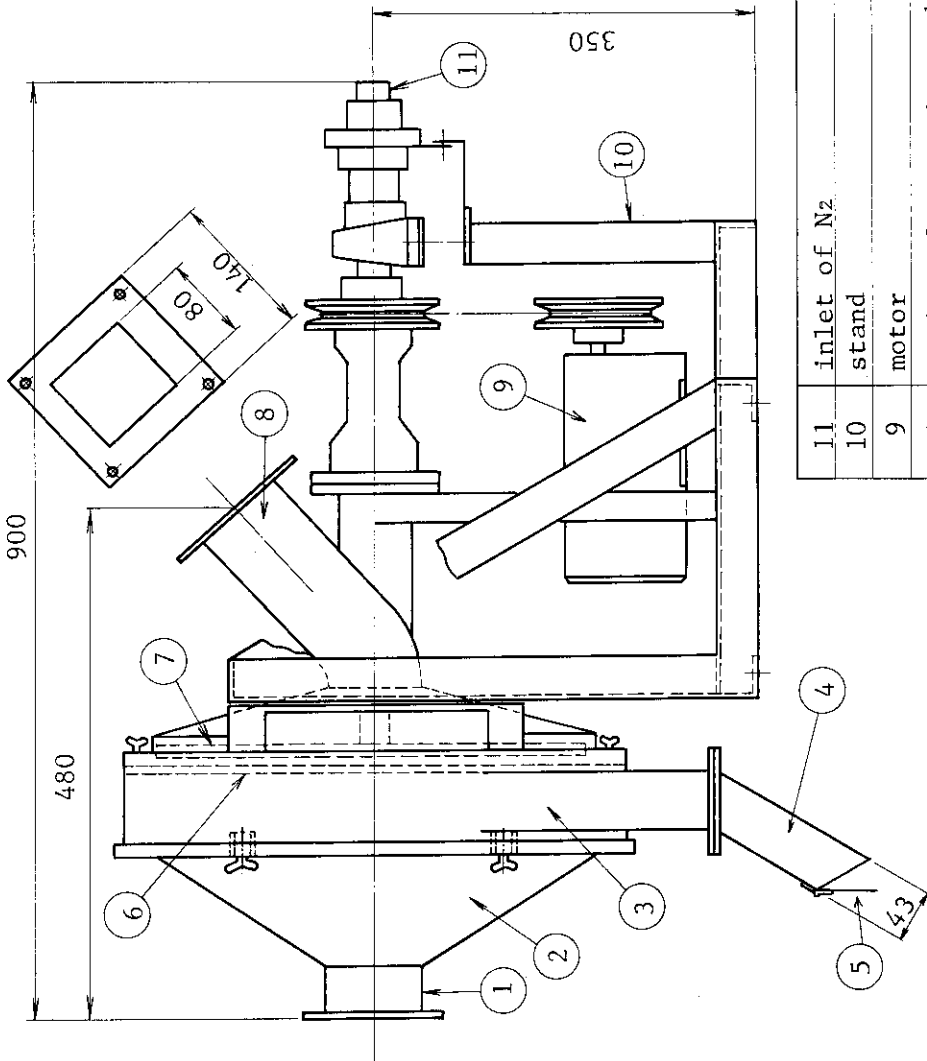
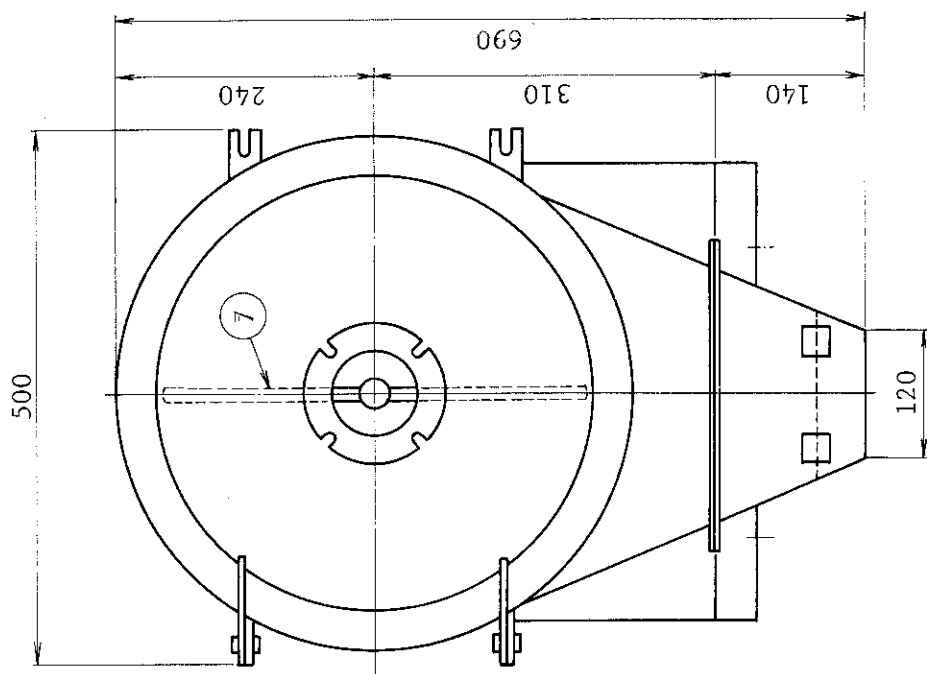
### 3.4 分級部

粉碎機で粉碎されたもみから粉碎物の中には比較的粗い粒子と細かな粒子が混入している。3.3で記したように、細かい粉碎物を集めた方が高い糖濃度を得ることができ有利であるため、粗い粒子と細かい粒子を分級器で分けて、粗いものは細くなるまで粉碎する。

分級器（マイクロジェットスクリーン）の概略を図17に示す。粉碎機で粉碎された粉碎物は空気と共に粉碎物取入口より分級器に入る。細かい粉碎物と空気は、スクリーン（250 $\mu$ のアミ）を通過してフルイ下排出口より、集ジン機に送られる。一方、スクリーンを通過しない粗い粉碎物は、フルイ上排出口より第2ホッパーに送られ再び粉碎される。

スクリーンはアミであり、連続的に粉碎物が供給されると詰まり易い。詰まると細かい粉碎物も空気もフルイ上排出口より出してしまい、分級できなくなってしまう。それを防止するためエアブラシが設けてある。N<sub>2</sub>取入口よりN<sub>2</sub>ガスを入れ、回転しているエアブラシにより粉碎物と空気の流れと逆の向きから、スクリーンに向かって勢いよくN<sub>2</sub>ガスを吹き出させてやり、詰まっている粒子をとってやるものである。これにより、連続的に粉碎物が分級器に送られても目詰まりを起こすこともなく分級できる。実際に連続的に分級器に粉碎物を供給した場合、エアブラシからN<sub>2</sub>を吹き出させない時には5分程度でスクリーンが詰まり、フルイ上排出口より空気と共に粉碎物が激しく吹き出したが、エアブラシからN<sub>2</sub>ガスを吹き出させた時には30分以上たっても目詰まりが起こらず正常に分級が行われた。

分級器の効果を調べるため、同じ条件で粉碎した粉碎物を分級器で分級した時（250 $\mu$ スクリーンを通過したもの）と、分級器を通さないで集めた粉碎物（粗いものと細かいものが混っているもの）をフルイ分けたものの粒度分布を測定した。測定器はコールターカウンター<sup>5)</sup>でどんな形状の粒子も球状として考え、粒子径の分布を求めるものである。電解液中に測定するものを分散させ、細孔を通過させた時の電気抵抗の変化により、ある範囲内の体積を持ったものが何個あるかを調べ、それを体積百分率でプロットして分布を求める。図18、19に測定結果を示す。図18の未照射粉碎物ではフルイによりフルイ分けたものの方が分級器で分級したものより、小さな粒子のものが若干多いような分布になっている。図19の10 Mrad 照射粉碎物では逆に分級器で分級したものの方がフルイによりフルイ分けたものより若干小さな粒子のものが多くなるような分布になっている。しかし、未照射粉碎物でも10 Mrad 照射粉碎物でも、フルイ分けと分級器で分級したものとあまり分布が変わっていないことや、同じ粉碎物でもサンプリングにより分布が少し違ってくことを考えれば、同じ粒度分布であるといえる。このことから、本分級器では、フルイ分けと同じ確かさで分級が行え、しかも、連続的に分級ができることがわかった。



No.	Part Name
11	inlet of N <sub>2</sub>
10	stand
9	motor
8	outlet of screening under size
7	air brush
6	screen
5	Plate
4	outlet of screening oversize
3	casing
2	front cover
1	inlet of reduced powder

Fig. 17 Outline of the classifier



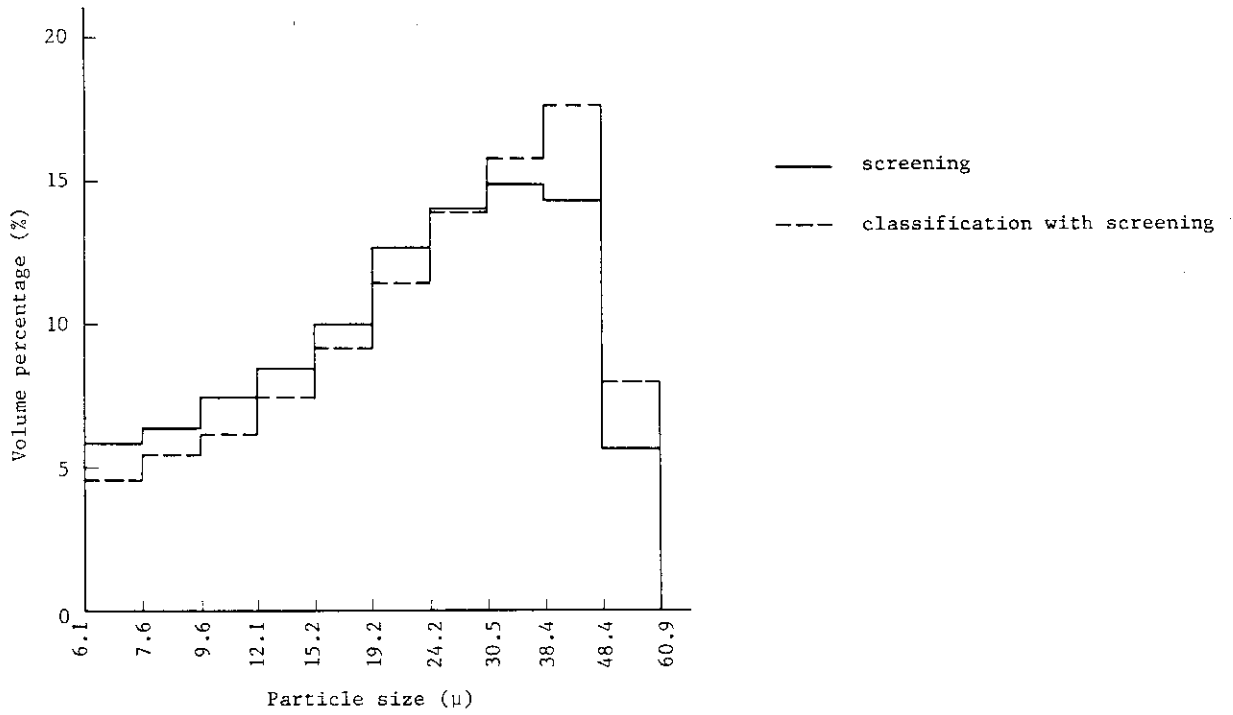


Fig. 18 Particle size distribution in the product in non-irradiated chaff

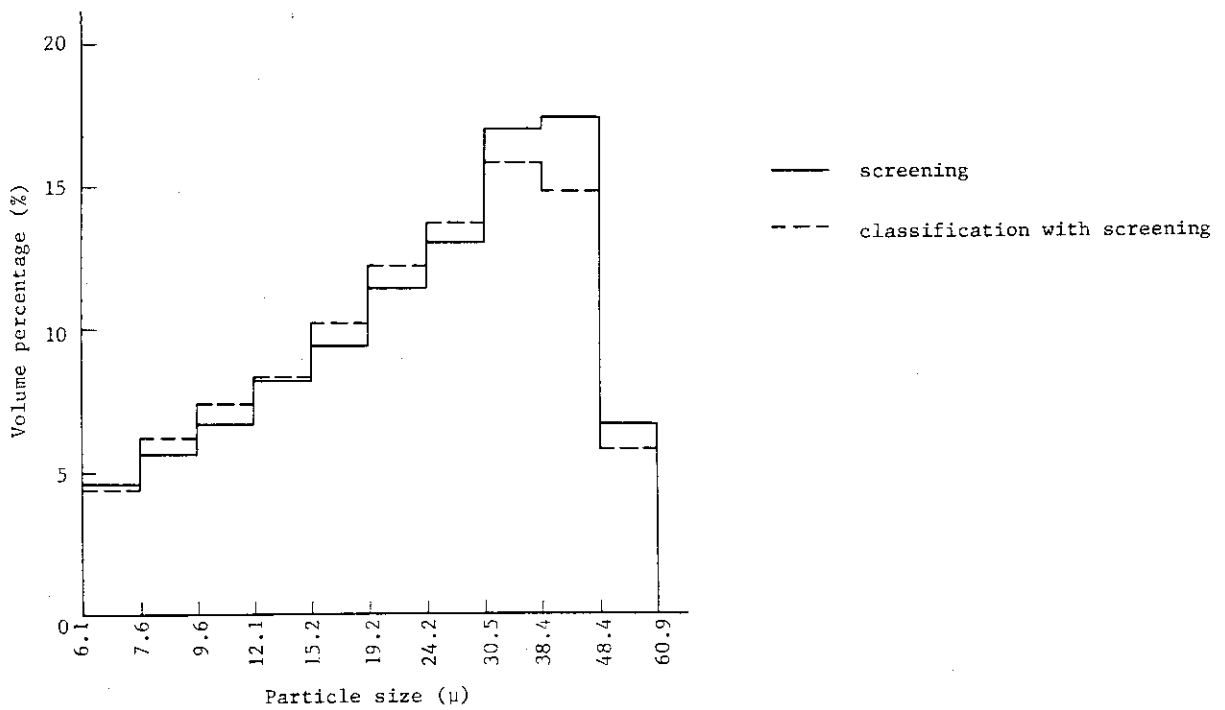


Fig. 19 Particle size distribution in the product in irradiated chaff

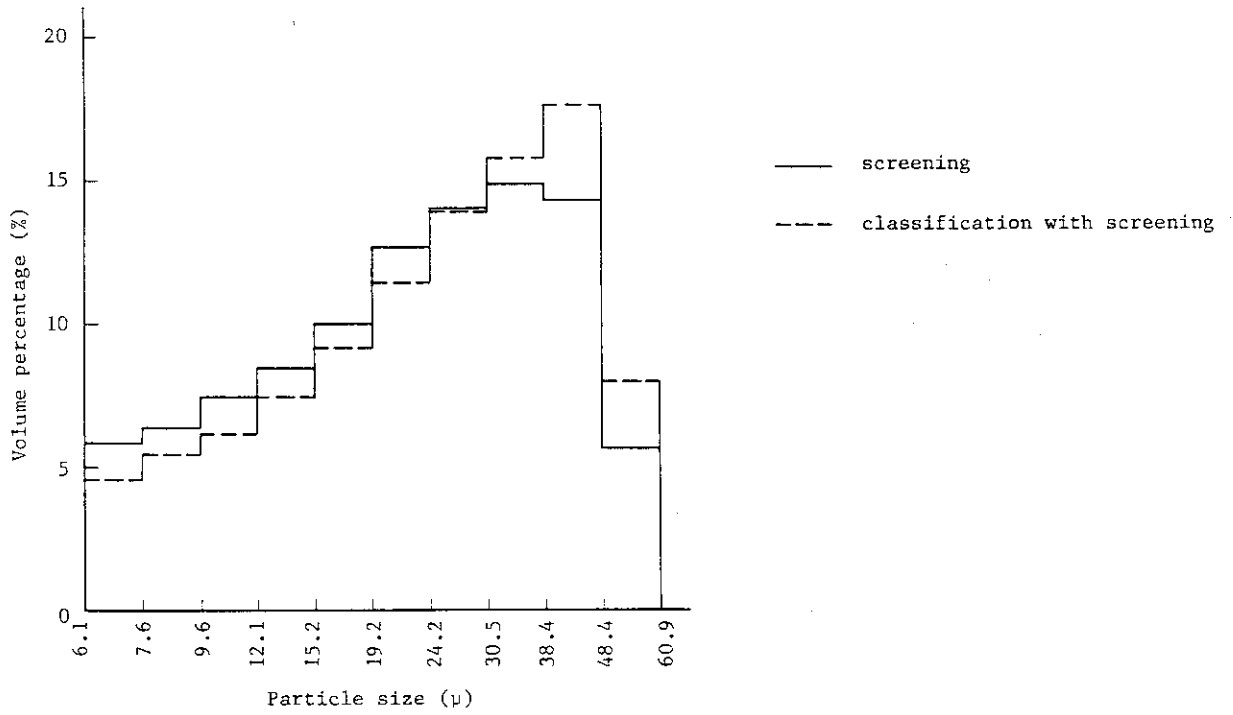


Fig. 18 Particle size distribution in the product in non-irradiated chaff

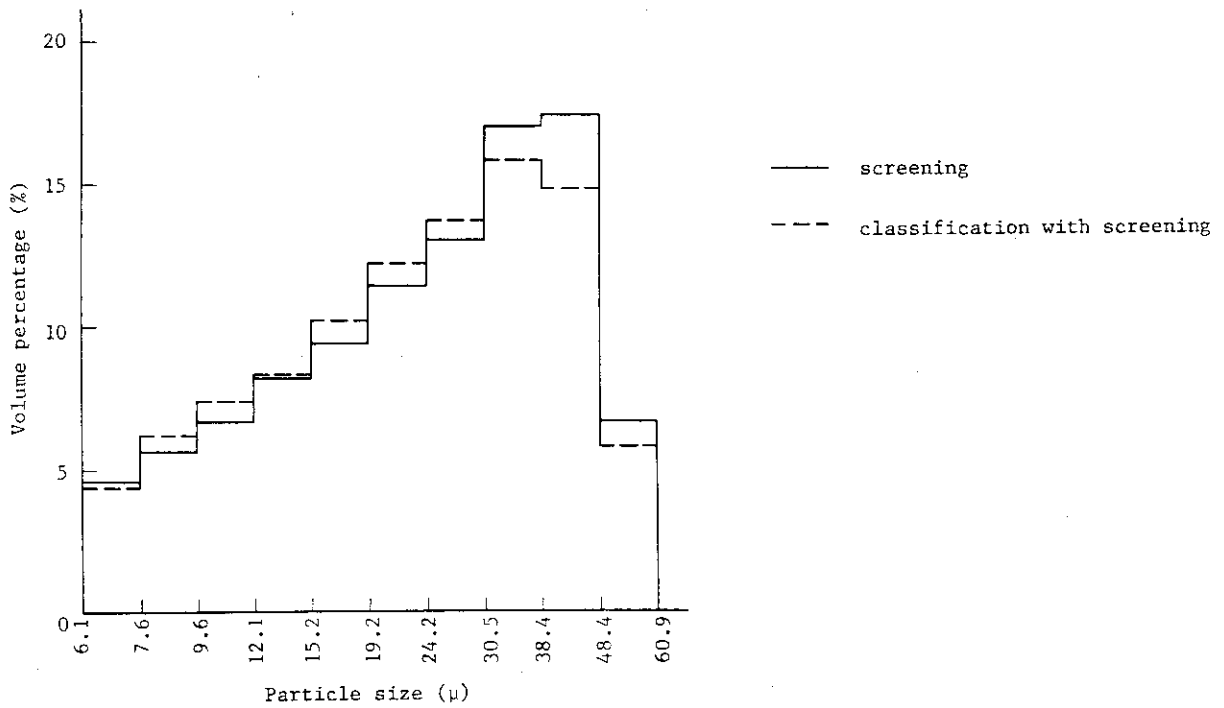


Fig. 19 Particle size distribution in the product in irradiated chaff

### 3.5 集ジン部

分級器により分級された細かな（250 $\mu$ m<sup>#</sup>アミを通過したもの）もみがら粉砕物は、空気と N<sub>2</sub> ガスと共に集ジン機に送られる。集ジン機は粉砕物と空気、N<sub>2</sub> ガスを分離するものである。空気、N<sub>2</sub> ガスはファンにより吸引され濾布（フィルター）を通過し排出されるが、粉砕物は通過せず取出箱に貯えられる。長時間使用すると次第に濾布表面に粉砕物が付着して目詰まりを起し吸引力が低下するため、自動払い落とし装置（濾布に上下振動を与えてやり付着しているものを落す）が設けられており、一定時間毎に付着物を落せるようになっている。

濾布を通過して排出される空気中に粉砕物が入っているかどうか調べるため、排出口の部分に水中に入れ水が濁るかどうかが調べたが、10 分間運転しても水は少しも濁らなかった。

### 3.6 N<sub>2</sub> ガス供給部

粉砕装置において N<sub>2</sub> ガスは①粉ジン爆発を防止するため酸素濃度を下げる②分級器スクリーンの目詰まりを防止するため使用される。

粉ジン爆発は炭鉱ばかりでなく食品関係の粉体でも起こることがある。しかし、どういう粉体（原材料）でどんな条件で爆発を起こすかははっきりしていないので安全を考えれば、できるだけ爆発を起こす要因を取り除いておく必要がある。<sup>6), 7)</sup> 本装置ではもみがら中の異物除去（3.1 参照）により着火源となる火花を防止することと着火しにくいように酸素濃度を下げるという安全対策を設けた。

粉砕機への空気流入量はダンパー開口度 5 mm の時に 3.6 m<sup>3</sup>/min、10 mm の時に 6 m<sup>3</sup>/min と多量のため酸素濃度を下げるのに大量の N<sub>2</sub> ガスが必要となる。このため本装置では液体窒素を気化させ、N<sub>2</sub> ガスとして使用する。図 1 のフローシートに示したように、液体窒素は気化器に送られ N<sub>2</sub> ガスとなり減圧弁で減圧され供給される。なお、供給量は流量ゲージで知ることができる。粉砕機に送られる空気中の酸素濃度は O<sub>2</sub> 濃度検出計で検出され、設定濃度以上で電磁弁が作動して N<sub>2</sub> ガスが供給され、以下になると供給が停止される。

N<sub>2</sub> ガスの一部は別系統で分級器に連続的に送られエアブラシから吹き出させ、スクリーンの目詰まりを防ぐために使用されるため供給 N<sub>2</sub> ガス圧力をあまり高くできない（圧力が高すぎるとスクリーンを損傷する恐れがある）。供給圧力 5 kg/cm<sup>2</sup>、ダンパー開口度 5 mm の条件でもみがらを粉砕した時、酸素濃度を 10 % まで下げることができた（空気中には 20 % の酸素が存在している）。

## 4. ま と め

本粉碎装置の特性およびもみがらの粉碎結果をまとめると次のようになる。

- (1) 大量のもみがらの中には石・土玉・鉄粉などの異物が混入しているが風選機や磁選器などの簡単なもので有効に除去することができる。
- (2) もみがらの定量供給はスクリーフィーダーにより送りむらがなく、安定して行える。
- (3) 衝撃式粉碎機（ニューマイクロシクロマット）においては粉碎処理速度の増加とともに熱の発生が大きくなる。大量の粉碎を連続的に行うためには、冷却する必要がある。
- (4) もみがらは粉碎することによりみかけの密度が大きくなり高いスラリー濃度で糖化が行えるようになり、効果的であることがわかった。
- (5) 粉碎物の粒度は粉碎処理速度やダンパー開口度により大きく違ってくるが、10 Mrad 照射したもみがらは未照射もみがらに比べ、多少粉碎条件が変わっても 250 $\mu$ 以下の細かな粉碎物が多く得られ、大量の細かな粉碎物を効率よく得られた。
- (6) 粉碎物の糖濃度はフルイ分け（分級）により細かなものを集めた方が高くなる。もみがらの粉碎処理速度が変わると糖濃度も変わるが、10 Mrad 照射したもみがらは未照射のものに比べ、速い処理速度でも高い糖濃度を示した。ダンパー開口度が大きいと粉碎物の糖濃度は低下するが、フルイ分けすると逆の傾向を示した。
- (7) 分級器（マイクロジェットスクリーン）はスクリーンの目詰まりを防止し連続的に分級でき、フルイ分けと同じ確かさで分級できた。
- (8) 粉じん爆発の要因となる着火源の除去と酸素濃度を空気中の $\frac{1}{2}$ にすることができた。

## 参 考 文 献

- 1) 猪居 武 : “化学経済” 53、74 (1981)
- 2) 柴田 和雄、木谷 収編 : “バイオマス生産と変換” 学会出版センター、東京 (1981)
- 3) M. KUMAKURA、I. KAETSU : “Biotechnol. Bioengng ” 20、1309 (1978)
- 4) M. KUMAKURA、I. KAETSU : “Radiat. Phys. Chem ” 23、523 (1984)
- 5) 粉体工学研究会編 : “粒度測定技術” 日刊工業新聞社、東京 (1975)
- 6) 内藤 道夫 : “化学装置” 18、66 (1976)
- 7) 若園 吉一 : “粉体工学” 7、47 (1970)

## 謝 辞

本装置設置時に電気関係の問題について助言をいただいた工務課・秋野 実氏、もみがらの照射に関して協力いただいた照射施設課・1、2号加速器運転係の方々に深く感謝いたします。

## 4. ま と め

本粉碎装置の特性およびもみがらの粉碎結果をまとめると次のようになる。

- (1) 大量のもみがらの中には石・土玉・鉄粉などの異物が混入しているが風選機や磁選器などの簡単なもので有効に除去することができる。
- (2) もみがらの定量供給はスクリーフィーダーにより送りむらがなく、安定して行える。
- (3) 衝撃式粉碎機（ニューマイクロシクロマツ）においては粉碎処理速度の増加とともに熱の発生が大きくなる。大量の粉碎を連続的に行うためには、冷却する必要がある。
- (4) もみがらは粉碎することによりみかけの密度が大きくなり高いスラリー濃度で糖化が行えるようになり、効果的であることがわかった。
- (5) 粉碎物の粒度は粉碎処理速度やダンパー開口度により大きく違ってくるが、10 Mrad 照射したもみがらは未照射もみがらに比べ、多少粉碎条件が変わっても250 $\mu$ m以下の細かな粉碎物が多く得られ、大量の細かな粉碎物を効率よく得られた。
- (6) 粉碎物の糖濃度はフルイ分け（分級）により細かなものを集めた方が高くなる。もみがらの粉碎処理速度が変わると糖濃度も変わるが、10 Mrad 照射したもみがらは未照射のものに比べ、速い処理速度でも高い糖濃度を示した。ダンパー開口度が大きいと粉碎物の糖濃度は低下するが、フルイ分けすると逆の傾向を示した。
- (7) 分級器（マイクロジェットスクリーン）はスクリーンの目詰まりを防止し連続的に分級でき、フルイ分けと同じ確かさで分級できた。
- (8) 粉じん爆発の要因となる着火源の除去と酸素濃度を空気中の $\frac{1}{2}$ にすることができた。

## 参 考 文 献

- 1) 猪居 武 : “化学経済” 53、74 (1981)
- 2) 柴田 和雄、木谷 収編 : “バイオマシー生産と変換” 学会出版センター、東京 (1981)
- 3) M. KUMAKURA、I. KAETSU : “Biotechnol. Bioengng ” 20、1309 (1978)
- 4) M. KUMAKURA、I. KAETSU : “Radiat. Phys. Chem ” 23、523 (1984)
- 5) 粉体工学研究会編 : “粒度測定技術” 日刊工業新聞社、東京 (1975)
- 6) 内藤 道夫 : “化学装置” 18、66 (1976)
- 7) 若園 吉一 : “粉体工学” 7、47 (1970)

## 謝 辞

本装置設置時に電気関係の問題について助言をいただいた工務課・秋野 実氏、もみがらの照射に關して協力いただいた照射施設課・1、2号加速器運転係の方々に深く感謝いたします。