

多機能型ロッキングミキサーにおける解砕特性

Disintegration of Coarse Agglomerates in Adhesive Powders Using the Rocking Mixer

Applicable to Various Uses

近藤茂之[※]
Shigeyuki Kondoh

The Rocking Mixer with impeller-type chopping blades has been designed for the disintegration of coarse agglomerates in adhesive powders. In addition this function is more effective in some other kinds of processing powders such as the dispersal of fine powder like pigment, mixing with liquid addition, coating, granulation. From its mechanical designing viewpoint, it is important to know how much time this mixer takes to disintegrate the coarser agglomerates into the desired size range and how much power is needed to mix and disintegrate them in the powders. This report provides some experimental data with regards to the size and rotating speed of the chopping blades. It also provides the following informations: abrasive degree in mass of various blades made of different material; the powder seals on the driving shafts that are connected to the blades.

1 まえがき

最近では、混合の形態も変化し、通常のマクロな混合から粉体粒子レベルの状態を問題にするミクロな混合まで幅広い要求があり、それらに対応できる機械が生まれてきている¹⁾。そうした機械の発展につれ、混合処理はさらに多様化する傾向がある。たとえば混合処理中に薬剤を噴霧添加したり、粗粒に微粒をコーティングしたり²⁾³⁾、造粒する⁴⁾など、粉体そのものの性質を変えることにより付加価値を高める処理が求められている。当社ではニーズに応じて、多機能型混合機として各種のロッキングミキサーを開発、設計している。

そのなかで攪拌羽根を内装する解砕機構は上記の多様な処理を可能にする重要な要素となっている。そこで、ロッキングミキサーの解砕機能に関しさまざまな試験を実施し、有効な設計要件を見出すことができた。すなわち解砕の性能評価と装置のスケールアップ、攪拌羽根及び軸シールの耐久性能などの個々の問題について、装置設計の立場から実験した結果を報告する。

2 構造概要

ロッキングミキサーは従来の筒型混合機に揺動を付加することにより、混合時間を大幅に短縮することに成功した混合機である。ここで紹介する解砕機能付ロッキングミキサーは、高せん断力を必要とする付着性粉体の混合、解砕や造粒作用を必要とする混合を達成する目的で開発された製品である。その構造としてはミキサー容器

内に高速攪拌羽根を配し、これを容器外部よりモータ駆動するものである。

3 小形機と大形機の構造

解砕機能付ロッキングミキサーは、図1 (a) (b) に示すように小形機では1軸1段羽根を、大形機では省動力化できる3軸多段羽根を採用している。また前者には平板状とV字状の羽根を十字に組み合わせ、後者には平板状2枚を同様に組み合わせたチョップ羽根を用いている。実験に用いた混合機はそれぞれ容器容量60ℓ (RMD-60) と1000ℓ (RMD-1000) である (表1)。

表1/ロッキングミキサー仕様

Tab.1/Specification of the Rocking Mixer

	RMD-60/4 P または 6 P	RMD-1000
混合容器容量	60 ℓ	1000 ℓ
容器回転数	30 rpm	12.7 rpm
揺動角度	±20°	±20°
揺動数	11 spm	7 spm
解砕羽根形式	1 段 4 枚構成	3 軸 4 段 4 枚構成
無負荷羽根回転数	6 P : 1200 rpm 4 P : 1800 rpm	1800 rpm

表2/解砕テスト用粉体及び物性値

Tab.2/Applied powders and their physical properties for disintegrating test

	重曹	粉乳
安息角	40°	43°
平均粒径	160 μ	420 μ (凝集体)
真密度	2.2 kg/ℓ	1.4 kg/ℓ
かさ密度	1.1 kg/ℓ	0.48 kg/ℓ
平均ダマ径	32 mm	32 mm
ダマの圧壊強度	12.7 gf/mm ²	19.9 gf/mm ²

※ システム開発本部 開発部

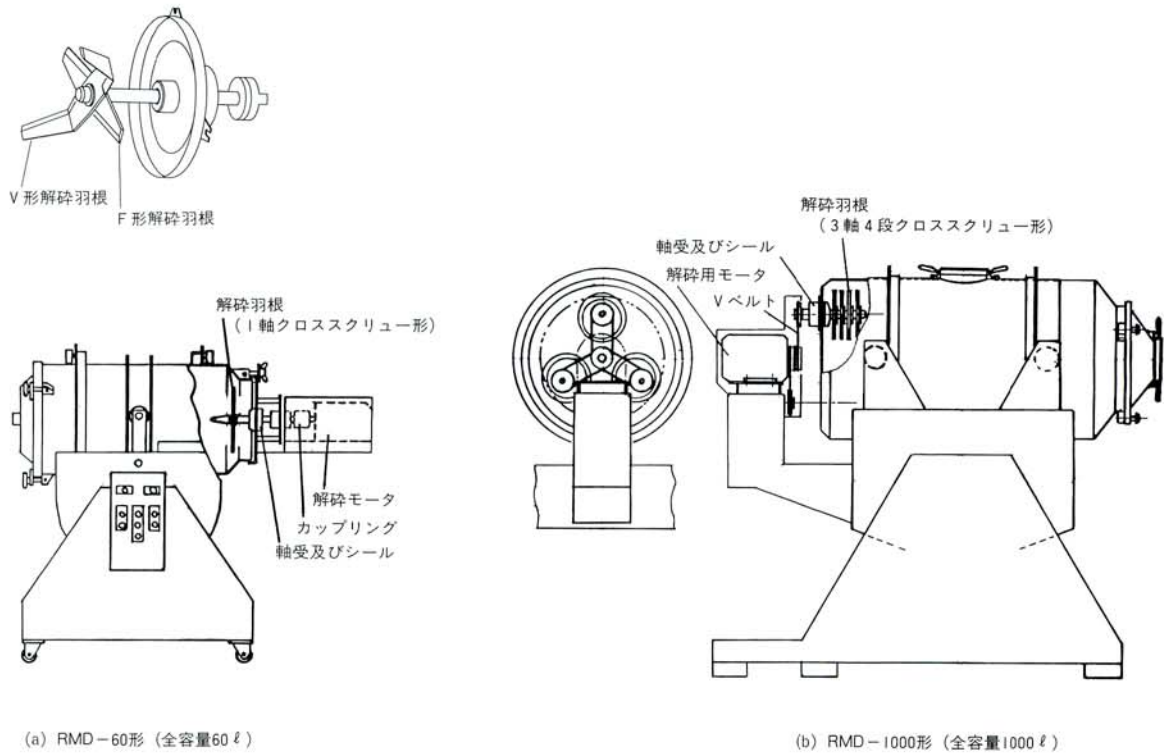


図1/解砕機能付ロックミキサー
Fig.1/Two types of the Rocking Mixer with disintegrating function

4 解砕特性

4.1 小形機の評価方法と実験

(1) 評価方法

混合機における解砕性能の評価方法は、一般化されていない。ここでは表2に示すダマが所定の比率で混入された粉体を、容器に装入したのち、混合機を運転しダマの解砕されて行く状況を調査した。具体的方法は運転開始から適当な時間毎にサンプルを採取し、それをあるふるい目（ここでは12メッシュ）のふるいに掛けてふるい上に残る重量を測定した。このふるい上重量とサンプル粉体重量の割合をダマ比率と定義し、解砕の程度をこれにより評価した。ダマ比率が0になる時間、すなわちダマが完全に解砕される時間を解砕終了時間と定義して、解砕性能評価の基準とした。

(2) 実験結果と考察

ダマ比率が約30%の粉体を容器容量の約30%装入し解砕処理を行った。この場合のダマ比率の時間的変化を図2、図3に示す。図では、解砕時間が進むにしたがってダマ比率は減少し、時間軸を対数にした片対数グラフで直線関係を示している。粉乳などで見られる一般的なダマの解砕終了時間は10分から30分、固着性の強い重曹のダマの場合でも2時間程度であることが分かる。なお、後者の場合には解砕羽根の回転数を上げることにより、前者の処理時間まで短縮できる。

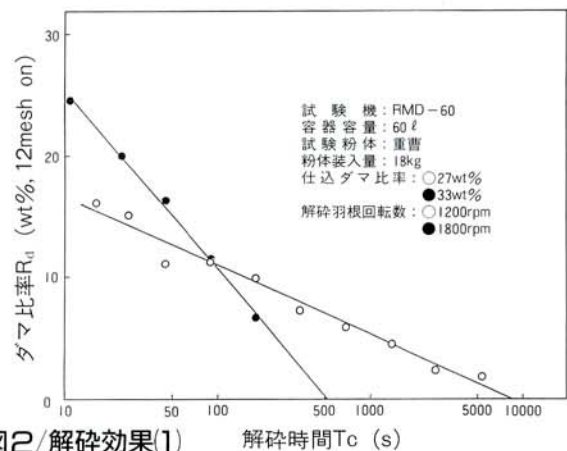


図2/解砕効果(1)
Fig.2/Disintegrating rate(1)

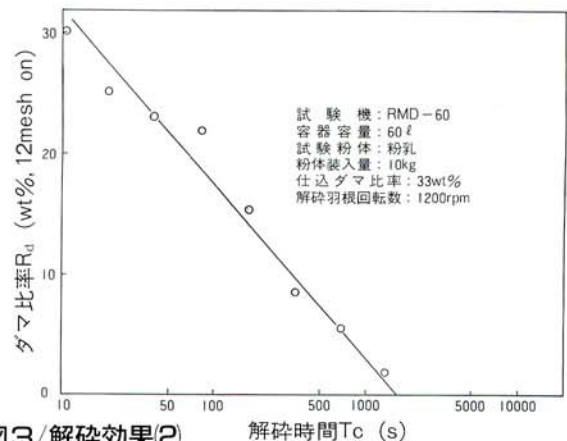


図3/解砕効果(2)
Fig.3/Disintegrating rate(2)

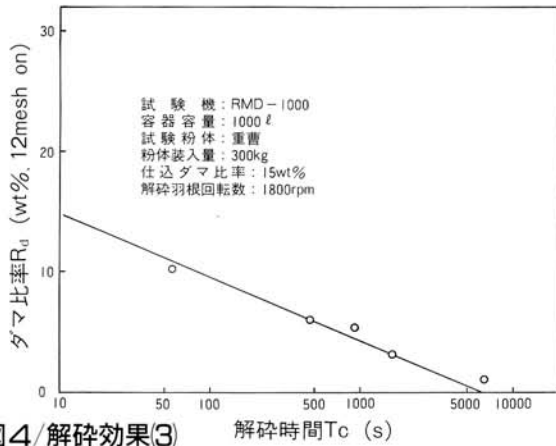


図4/解砕効果(3)
Fig.4/Disintegrating rate(3)

4.2 大形機の評価方法と実験

(1)評価方法

小形機の場合と同様、混合容器内に一定ダマ比率の試料粉体を装入し、ダマ比率の時間的变化を測定する。

(2)実験結果と考察

大形機において測定した解砕特性を図4に示す。解砕の効果は小形機における場合とまったく同様の傾向を示している。

両者の重曹における結果を比較すれば、標準の機械的構成においてほぼ等価の解砕性能を示していることが分る。また、適用粉体に応じて解砕羽根径や羽根回転数を変更すれば、容易に所望の解砕性能が得られることが確認できた。

4.3 解砕特性評価のまとめ

(1)解砕特性評価

前述のごとく解砕特性は、片対数グラフで直線関係を示す。すなわち

$$R_d = R_{d0} - b \log t \quad \text{①}$$

ただし R_d : ダマ比率

R_{d0} : 初期ダマ比率 ($t = 1$ 秒のときの R_d)

b : 解砕速度係数

t : 解砕時間 ($t \gg 1$)

の関係を示す。ここで、解砕終了時間は $R_d = 0$ になる時間 t であるから、これを a とすると①式より、

$$a = \exp(R_{d0}/b) \quad \text{②}$$

となる。これを①式に代入すれば R_d は次式で表される。

$$R_d = b (\log a - \log t) \quad \text{③}$$

このように、解砕性能はグラフの傾き b で評価できる。また、ダマ比率は解砕された粒子径と相関関係が有り、所望の粒子径まで解砕する時間 T_c は R_d を用いて

$$T_c = a \exp(-R_d/b) \quad \text{④}$$

と表すことができる。

(2)粉砕の影響について

解砕機能付ロッキングミキサーは、おもにダマの解砕を目的としているが、長時間運転時に粉砕現象が見られる場合がある。小形機 (RMD-60/4P) においてアルミナ材料を300時間解砕処理した時に、アルミナのかさ密度は0.8から1.0kg/ℓまで増加し、平均粒径は15%減少した。しかし、通常解砕処理時間は短いため、この程度であれば粉砕の影響はさほど問題にならない。

5 機械的特性

5.1 解砕所要動力

(1)動力式の推算

解砕動力に影響する因子として、解砕羽根形状、羽根径、位置、回転数などの機械的要素及び粉体の装入条件、かさ密度、流動特性などの粉体の物理特性が挙げられる。攪拌の問題における一般的な式を適用すれば所用解砕動力 P_c は次の比例式で示すことができる。

$$P_c \propto \gamma f^p D_c^q N_c^r \quad \text{⑤}$$

f は装入率、 γ はかさ密度、 D_c は解砕羽根径、 N_c は羽根回転数である。

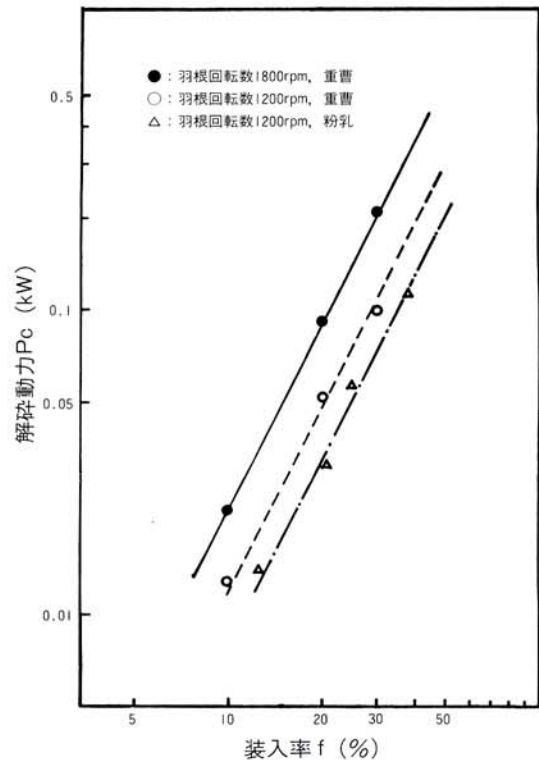


図5/装入率と解砕動力 (RMD-60)
Fig.5/Operation power versus loading volume ratio

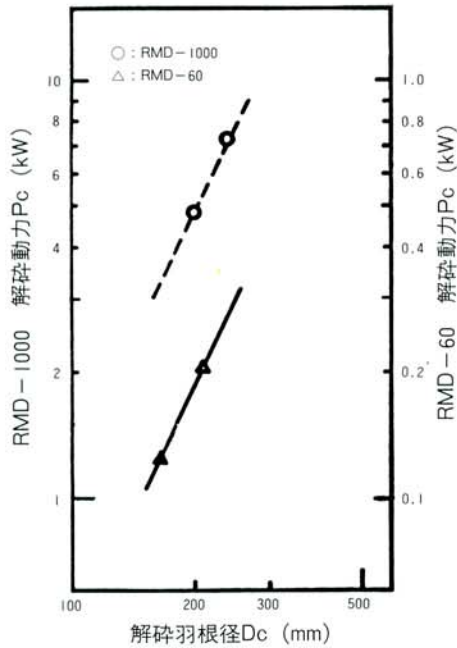


図6/解砕羽根径と解砕動力
Fig.6/Operation power versus diameter of chopping blades

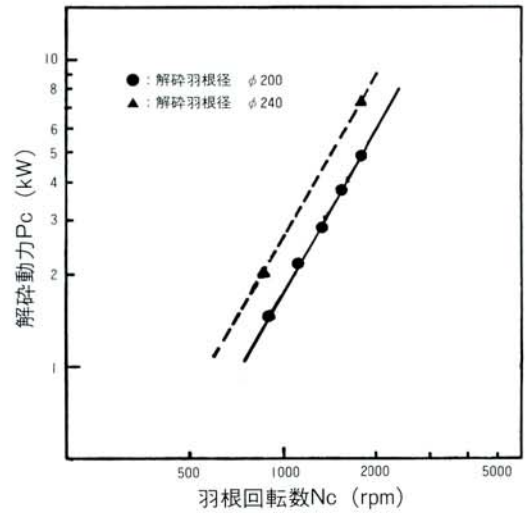


図8/羽根回転数と解砕動力 (RMD-1000)
Fig.8/Operation power versus rotation speed of the blades for RMD-1000

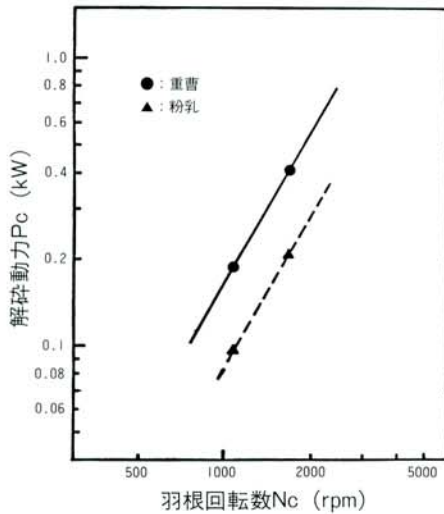


図7/羽根回転数と解砕動力 (RMD-60)
Fig.7/Operation power versus rotation speed of the blades for RMD-60

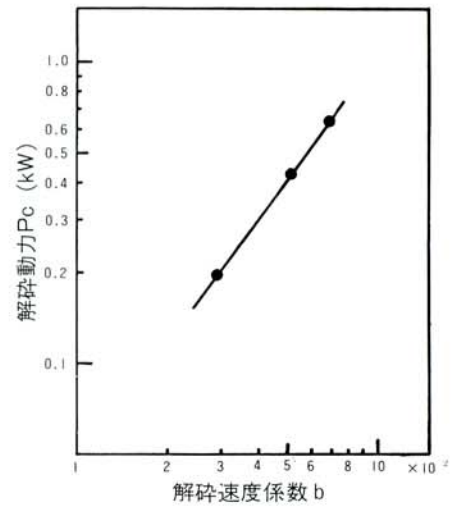


図9/解砕速度係数と解砕動力 (RMD-60)
Fig.9/Operation power versus disintegrating rate coefficient for RMD-60

⑤式を基に、装入率、解砕羽根径及び羽根回転数がそれぞれ所要解砕動力に与える影響を実験で調べた。その結果が図5～図8である。装入率、解砕羽根径、羽根回転数いずれの要素も解砕動力に対して両対数グラフ上で直線関係を示し、これらグラフの傾きから、 $p = 2$ 、 $q = 2.2$ 、 $r = 1.8$ とそれぞれ求まる。

また、解砕速度と解砕動力の関係についても、実験で求めた。その結果を図9に示す。

この結果から解砕速度係数はほぼ解砕動力に比例していることが分る。

(2)装置設計について

実際の解砕所要動力 P_c は羽根形状や容器内の配置の影

響を受ける。しかし、標準設計ではこれらを相似に構成するため、装入条件一定であれば解砕羽根径 D_c と羽根回転数 N_c を考えればよい。

また、小形から大形へスケールアップする場合は、羽根回転数を固定すれば、羽根径だけを考えればよい。

さらに小形から大形までのシリーズ標準設計では、羽根径 D_c は容器径 D に比例して設定するので、他の駆動機構の設計と同様に D を基準にできる。すなわち解砕所要動力はおおむね D の2乗に比例することになる。

しかし、個々の粉体混合機はユーザー仕様が多様であるため、実際の設計では標準装置をベースに⑤式の各因子を操作する必要がある。

5.2 耐久性試験

(1) 解砕羽根の摩耗

解砕羽根は、アルミナのような研磨性の粉を攪拌した場合には、時間とともに摩耗して行くことが想定される。この羽根の摩耗は羽根材料によって異なると考えられ、この点の確認実験を行った。表3に示す材料の解砕羽根を用いて表4のアルミナ粉末を装入して連続運転し、羽根1本当り平均の平均摩耗量を測定した。その結果を図10に示す。

この実験結果からステンレス材料においてはマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系の順に耐摩耗性が高く、セラミックスは桁違いに耐摩耗性が高いことが分る。

(2) 軸シール部の検討

解砕機能付ロッキングミキサーは容器内部にチョッパー羽根を設けているため、容器壁を貫通して羽根を駆

動する軸が必要となる。このため軸シールが重要な問題となる。粉体シールとしてはエアシールがよく用いられるが、容器缶体が固定されていないロッキングミキサーでは、シール部に複雑な装置が必要となるため適当でない。

そこで効果的な粉体シールの構造を検討した。また、漏洩に至るメカニズムについても調査した。ラビリンスシールやメカニカルシールのような複雑なシール構造は、シール内部に侵入した粉が固着して摺動面の機械的精度を保持できなくなり、軸封面の摩耗を速めて耐久性が得られなくなるなど問題点が多いことが、実験の結果分った。

そこでオイルシールとダストシールを組み合わせた極めてシンプルな構造にして、実験を行った。表2に示す研磨性粉体を小形ロッキングミキサー (RMD-60/4P) に装入し、そのシール構造の耐久性を調べる加速試験を行った。シール構造は図11 (a) のようなオイルシールの

表3/解砕羽根材料

Tab.3/The material of the chopping blade

	羽根形状	材 料	組成または組織	表面硬度
ステンレス	F(平板)+V形	SUS304	オーステナイト	Hv 213
	F+V形	SUS430	フェライト	Hv 163
	F+V形	SUS420J2(N)	マルテンサイト	Hv 187
	F+V形	SUS420J2(Q)	マルテンサイト, 焼入れ	HRC 52
セラミック	F+F形	アルミナ 92%		Hv 1100

表4/耐久テスト用粉体及び物性値

Tab.4/Applied powders and their physical properties for the abrasive test

	アルミナ A-21	
	試験前(注)	試験後(注)
安息角	50°	57°
平均粒径	7 μ	6 μ
真密度	3.9 kg/ℓ	—
かさ密度	0.8 kg/ℓ	1.0 kg/ℓ

(注) 試験はRMD-60において新規解砕羽根装着後、300時間の解砕試験を意味する。

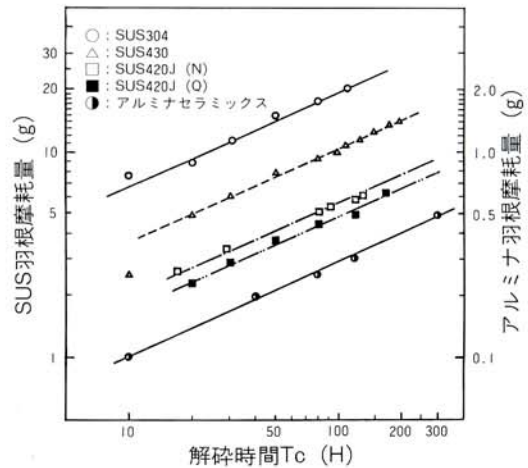
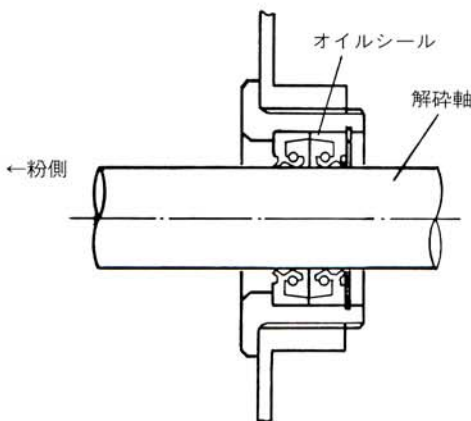
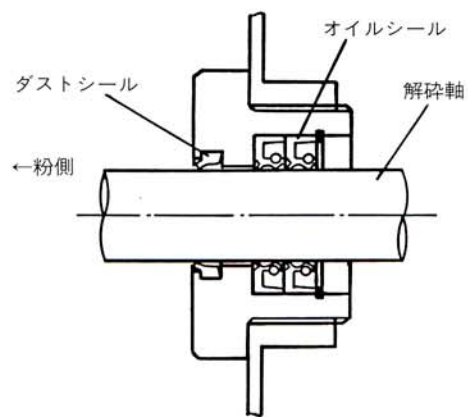


図10/解砕羽根摩耗量の比較 (RMD-60)

Fig.10/Abrasive degree of the several chopping blades



(a) オイルシール抱き合わせ型



(b) ダストシール複合型

図11/解砕軸のシール構造

Fig.11/Construction of the seal ring assembly

抱き合わせ構造にし、オイルシール材には一般的なNBR製オイルシールを適用した。

耐久性評価のために一定時間間隔でオイルシールのリップ内径を測定すると同時に粉漏れの状況を調査した。その結果を図12に示す。オイルシールの寿命はリップと軸のクリアランスが0になる時間であり、この試験機においては内径増加率が5%に達する時間になる。本実験結果では、その寿命は100時間以下であり、粉漏れ開始時間にほぼ一致することが分った。この粉漏れの開始後、シール内部に急激に粉が侵入し始め、この粉の侵入により加速度的にシール及び軸の摩耗が進み、数時間程度で完全にシールとしての機能を失ってしまう。

したがって、粉が摺動面に侵入し難い構造が望ましく、軸摺動面に対してリップ角度の切り立ったダストシールの効果が有効であると考えられる。このことを考慮して、図11 (b) に示すような複合シールを製作して試験したところ、5倍の寿命を得ることができた。

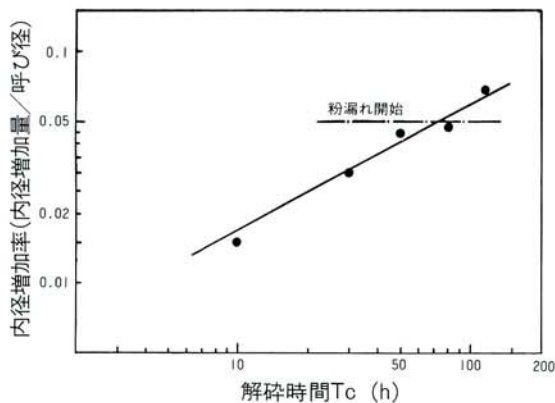


図12/加速試験におけるNBRオイルシールの摩耗
Fig.12/Abrasive ratio of NBR oil seals in high stress test

6 あとがき

ロックンギミキサーはソフトな混合製品を生成する混合機として、新素材を中心に広範な分野で使われている。また、粉体の粒子レベルの設計要求が高まりつつある今日では、粉体の機能性を高めるためにさまざまな処理の必要性が生じている。ロックンギミキサーに解砕羽根を付与することにより、こうした設計要求に答えられる場合も多い。ロックンギミキサーはユーザーの処理要求に応じて設計することが多く、その都度解決すべき問題も多いので、今回の実験で得られたデータはこれらの問題解決やシリーズ設計に有効に活用できる。

さらに新素材分野を中心に、ロックンギミキサーに対し、液の添加、加熱処理を混合と同時に進行ニーズが高まっており、これらの周辺の問題を解決すれば新しい処理要求に応えることも可能である。

このように装置開発と粉体処理のソフト開発の技術的融合が重要であり、粉体装置メーカーとして積極的にこの課題に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- (1)佐藤, 他: 「揺動を伴う回転型混合機の粉粒体混合特性」 粉体工学会誌 25, 3 (1988) 139
- (2)M.ALENZO, et al: "Influence of Rocking Motion on The Mixing of Powders" POWDER TECHNOLOGY 59 (1989) 65
- (3)M.ALENZO, et al: "Recent Works on Powder Mixing and Powder Coating Using Optical Measuring System" KONA No.7 (1989) 97
- (4)佐藤, 他: 「多機能型粉体処理装置の開発に関する研究」 粉体工学会誌 28 No.9