

論 文

粉粒体プロセスにおける技術情報のホワイトボックス化
に関する 2, 3 の考察
—ブラックボックスからホワイトボックスへ—

東 山 明*

Discussions on “White Box” ing The Technology
Information in Particulate Processes
—From “Black Box” to “White Box”—

by

Akira HIGASHIYAMA†

Abstract

In this paper, the “White Box”ing the technology information in particulate processes was taken notice from the standpoint of overcoming the information gap between “user” and “maker”.

To overcome the information gap between “user” and “maker” in particulate processes, two problems have to be solved. One is “White Box”ing of particulate behaviors such as powder flow, powder compact, powder storage, powder mixing.

And the other is that of technology information through “catalogue” between “user” and “maker”.

From the standpoint above, X-ray radiograph measurement method was suggested to play basic and important role to overcome the particulate behavior gap.

The latter was discussed by searching the actual catalogues in particulate process industries in Japan. And, as the result, a new concept of “catalogue” getting understanding between “user” and “maker” in particulate process industries.

Key Words : Black Box, White Box, Catalogue, User, Maker

平成9年10月22日受付

* 株式会社ノリタケカンパニーリミテド エンジニアリング営業本部化工機営業部

〒451 名古屋市西区則武新町3-1-36

† Chelical Equipment Sales Department Engineering Sales Division NORITAKE CO., LIMITED

〒451 3-1-36 Noritake shinmachi Nishiku Nagoya, Japan

はじめに

粉体工学は、元来「粉粒体層物性を基礎とした粉粒体層プロセスの設計法の確立」をその頂点に抱いているものと考えられる。しかしながら現実の粉粒体プロセスはその多くが経験に依存している。

例えば、粉粒体貯槽装置の設計についてみると、貯槽装置内における粉体圧の基礎的研究は、1895年 Jansen¹⁾ によって行われた。彼は、非付着性クーロン粉体が充填された直立円筒容器を考え、層内いたるところが塑性平衡応力状態であると仮定し、粉体の自重のみによる鉛直方向の力の釣り合いを考えて Jansen の式を導出した。1960年代 Jenike^{2)~4)} は、粉体貯槽装置の設計問題に必要な粉体層物性として、粉体崩壊曲線 (P.Y.L) を導入し、応力平衡式, P.Y.L, E.Y.L (有効破壊包絡線) の三者からなる貯槽装置の設計法を示した。しかし、実際の適用においては、安全係数の考え方を巧みに導入しており、この点において、粉粒体貯槽装置の設計は経験依存という範疇を完全に脱していると言えない。また電気集塵装置などに代表される集塵装置の設計において、装置内部に導入された単一粉塵粒子の挙動を解明することによって、設計可能な課題はかなり体系的に整理されていると考えることができる。しかしながら、電気集塵装置内の集塵極板上に堆積捕集した粉塵層の槌打操作とか工業用バグフィルター内でのバグ面上の粉塵層払い落とし操作などの設計はほとんど経験に依存しているといっても過言ではない。また、粉粒体成形操作における均一な成形体の製造技術の設計は、例えば、金型の幾何学的構造とか操作手順などに見られるように、長年のノウハウの積み重ねによって確立されてきたと言える。

以上からも明らかなように、粉粒体層プロセスの設計は、これまでのところ対象粉粒体の物性を基礎として確立されているものは少ない、と考えざるを得ない。これに対し土質工学では、Terzaghi らを中心として“粉粒体物性をいかに分類し、いかに測定し、そしてその上にいかに設計を組み立てるか”という観点から体系的な設計手法を確立した。著者ら⁵⁾ は、前述の粉体工学が掲げる目標を“粉体層物性をいかに分類し、いかに測定し、いかに推算しそしてその上にいかに設計法を組み立てるか”と、より具体的に記述し、粉体層の力学的強度推算について述べている。

粉粒体層物性の測定及び推算は、粉粒体層物性のキャラクターゼーションの上に成立する。即ち“粉粒体物性とは何か”が明らかになって初めて成立する。一方粉体工学における推算という概念は、本来設計問題の解決のために導出されたもので、設計と不可分の関係にあり、又、測定と推算とは、粉体層物性の推算という観点から互いに相補の関係にあることが指摘できる。粉粒体層物性を基礎とした粉粒体プロセスの設計を確立するためには、まず粉粒体層物性を定義しなければならない。ところが、粉粒体層物性を明確に定義するためには、粉粒体現象の解明が、逆に粉粒体現象を解明するためには、粉粒体層物性の定義が必要となる。粉粒体現象と工学的設計モデルについては、著者ら⁵⁾ によって Fig. 1 の様にまとめられている。いずれにしても、粉粒体プロセスの工学的設計法の確立のためには、粉粒体の現象の解明が重要であり、本質的な関わりを持つことが明らかである。

さて、粉粒体層に関する種々の現象のうち、圧密、引っ張り、剪断などの崩壊現象は各種粉粒体プロセスでの貯蔵、輸送、混合、偏析、粒子破碎あるいは凝集などとも密接に関係しており、粉粒体層物性の解明にとって、もっとも基礎的な課題と言える。鈴木ら⁶⁾ は、粉粒体層の静的崩壊現象に関する従来の研究を基本的な考え方によって次の4つの段階からなるとまとめている。

- (1) 1個粒子の挙動に関する研究
- (2) 粉粒体層全体に関する研究
- (3) 粉粒体層を取り扱う装置の設計に関する研究
- (4) 粉粒体層を取り扱う操作に関する研究

ここで例として粉粒体の貯層を取り上げると、(1) は、単一粒子の付着、摩擦現象、弾性並びに塑性変形に関する研究。(2) は、粉粒体層の圧密、引っ張り、剪断崩壊に関する研究、(3) は、ホッパー、ビン、サイロなどの設計に関する研究が、(4) には供給排出弁やバイブレーターなどの操作に関する研究が含まれる。

従来の粉粒体プロセスに関する研究では、上記の各段階が、それぞれ独立にしかも主として実験的な面から検討されてきたことが問題であり、そのために粉粒体プロセスの工学的設計法の体系が十分確立されていないと考えられる。従ってこの体系化を行うためには前述の(1)から(4)を互いに結びつける研究が必要であり、これが、先の粉粒体プロセスの工学的設計法の

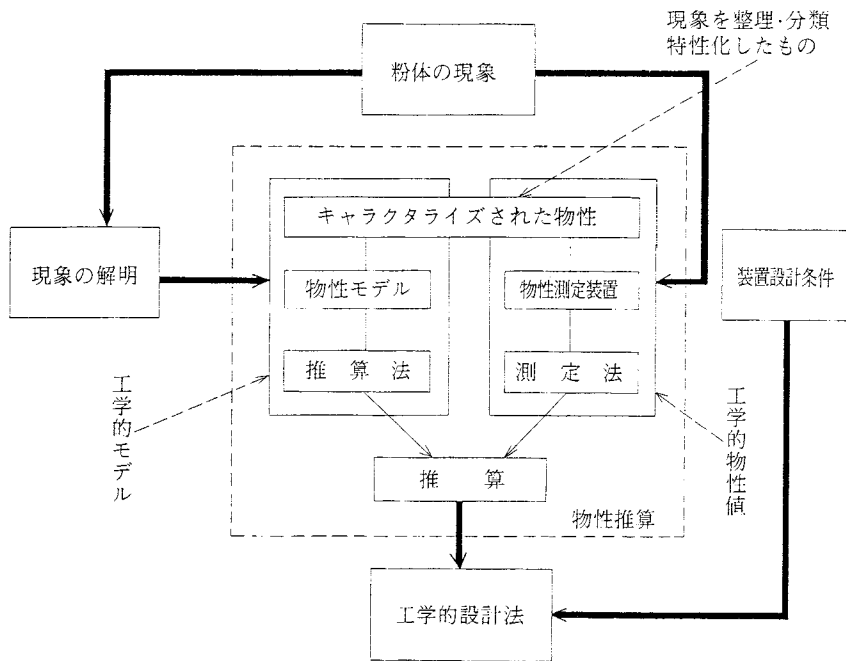


Fig. 1 The concept of scheme in particulate processes

確立のために必要な粉粒体の現象の解明を意味するものと考えられる。以上のような観点から、本報では、粉粒体プロセスの設計の確立に必要な粉粒体现象の解明の一つとして、崩壊現象により発生するすべり線と、崩壊現象に影響を与える嵩密度分布に注目し、第一に、すべり線と嵩密度分布に関する既往の研究の特徴を、測定法に注目して述べ、特に非接触で嵩密度分布を測定可能な X 線写真撮影により得られたすべり線の発生現象を紹介する。第二に、このすべり線の発生現象を基礎的に考察することにより、すべり線の形状、すべり線の入反射条件、屈折条件を得た著者らの研究を紹介する。第三に、嵩密度の定量的な取り扱いを可能にすることを目的に開発した空間率測定法を示し、この測定法を用いることにより、プロセス内の粉粒体现象を定量的に取り扱うことが可能となり、現象に基づくプロセス設計法が確立しうることを示した著者らの研究を紹介する。次に、これらの測定法を用いたその後の研究動向について紹介し、特に、本測定法を二種の混合粉体に応用した、空間率と混合度の同時測定法について示す。つまり、これらの事は、粉粒体プロセ

スにおいて従来ブラックボックスとして扱われていた現象をホワイトボックス化するという観点を示したものである。本報ではさらに、以上の観点から粉粒体プロセス及び粉粒体機器の製品としてのメーカーとユーザー間における情報伝達の現状を分析し、これらの情報伝達のあり方について基礎的考察を行う。

I. 非接触測定法による粉粒体现象のホワイトボックス化

1. すべり線と嵩密度分布について

1. 1 嵩密度分布の各種測定法とその特徴

1) トレーサー物質を用いる方法

1965年、Gardner⁷⁾は、ホップからの粉体の排出時に形成される流動域を可視化するため、色を染めた供試粉体を層状に充填して実験を行った。1973年、三輪ら⁸⁾も排出角の測定にこの方法を用い、1974年には佐野ら⁹⁾¹⁰⁾が粉体の高速圧縮を検討する際に、1982年には山城ら¹¹⁾が湿潤粉体の崩壊現象を検討する際にも、この方法を採用している。

この方法は、原理的にすべり線は検討できるが高密度分布は検討できない。問題点としては、トレーサー物質を層状に充填するため、すべり線の形状をトレーサー物質が多少なりとも乱すことが考えられる。

2) 特殊な粉体、又は粉体以外の材料を用いたモデル実験

1974年高橋ら¹²⁾は、ホッパからの粉体排出時に生ずるすべり線を可視化するためおがくず(ソーダダスト)を用いて、鮮明なすべり線を得ている。1982年、原、梅屋ら¹³⁾は、圧縮時の粉体内の挙動を可視化するために、粘土で作成した円柱状のモデル粒子を用いている。さらに梅屋¹⁴⁾は、圧縮行程の様子を示す目的で、ビニールストローを一定長さに切断したものをを用いて二次元圧縮工程での歪みの分布を可視化した。

以上の方法は、いずれも特殊な粉体、モデル材料を用いているため、それらの知見が直接一般の工業粉体の挙動を示すものとは考えにくい、粉体の挙動、基礎的な特徴を解明する点においては有効であると考えられる。

3) 光学写真撮影法

1976年、内海ら¹⁵⁾は、傾斜樋における流動特性を検討する目的で、仕切弁近傍の粉体の挙動を写真撮影した。そして、仕切弁開高の変化に対する流量の変化を、仕切弁近傍の粉体の挙動と結びつけて説明している。1981年、竹下ら¹⁶⁾は、やはり傾斜樋上における粉粒体の挙動を写真撮影している。そして、長方形断面の上面、側面、底面における速度分布を測定し、その分布形状から、剪断速度と剪断応力の関係を求め流動特性を検討している。又、1984年、木山¹⁷⁾は、ホッパからの排出流動を写真撮影し、非対称流動の現象を見いだしている。

本測定法は、非接触で観測しうる特徴を有しており、粉体層内の流動領域と静止領域との識別は可能であるが、高密度そのものを測定することは困難と考えられる。

4) X線写真撮影法

1966年、J.D.Athey, J.O.Cutressら¹⁸⁾は、ホッパからの排出流動に伴う高密度分布の観測を行うために、X線写真撮影法を用いている。その後、同様にホッパ内の粉体の挙動を観察する目的で、1967年、J.O.Cutress, R.F.Pulfer¹⁹⁾、1973年P.M.Blair-Fish, P.L.Bransby²⁰⁾、1974年Jannan lee, S.C.Cowinら²¹⁾、

そして1984年R.L.Michalowski²²⁾がX線写真撮影法を用いている。

又、1982年牧野・日高ら²³⁾は、粉体内にプランジャーを貫入することによって、粉体層内に周期的なすべり線が発生することをX線写真撮影法によって確認している。

本測定法は、非接触測定法であること、対象粉体の種類によらないこと、トレーサー物質を必要としないことなどの利点を有している。

5) その他の測定法

1979年、森本ら²⁴⁾は、モアレ法を用いて粉体圧縮時に発生するひずみ分布の測定を行っている。1967年若林ら²⁵⁾は、粉体光弾性法を用いて、圧縮時の粉体層内の変化の様子を検討している。1985年、牧野・日高ら²⁶⁾²⁷⁾は、貫入時に形成されるすべり線がAEの発生に対応していることを示し、AEによるすべり線の観測の可能性を示唆している。

以下では、本報で使用したX線透視撮影法を取り上げる。X線透視撮影法は、前述のように何人かの研究者に用いられてきたが、ここでは特に、牧野・日高らの研究に注目し、その概要を簡単に示す。

1.2 すべり線の発生現象に関する研究²⁸⁾²⁹⁾³²⁾

彼らは、粉粒体層内の流動に伴って生じる空間的な粒子存在密度分布の形成機構の検討を目的として、比較的現象が単純な粉粒体層へのプランジャー貫入現象に注目し、プランジャー周囲に発生する特有な粒子存在密度分布をX線透視撮影法により観察した。

その結果、1)プランジャーが粉体層内に貫入していくにつれて、プランジャー回りに周期的な高密度分布が生ずる事。(Fig.2参照)2)貫入試験により生ずる高密度分布は、すべり線の発生によるものでありすべり線近傍における粒子の回転運動により、局所的な膨脹を引き起こし、高密度の低下を招く事。3)粒子存在密度分布は、壁面での反射現象(Fig.3参照)、単一スリットでの回折現象、二重スリットにおける干渉現象など(Fig.4参照)の波の性質に類似した挙動を示す事、などを実験的に見いだしている。

彼らは、非接触で測定可能なX線透視撮影法を用いて、粒子存在密度分布(本報では、疎充填帯と呼ぶ)の特徴を見事に表現している。

さて、X線透視撮影法を用いることにより、上述の様に粉粒体層内で発生する疎充填帯の特徴が見いださ

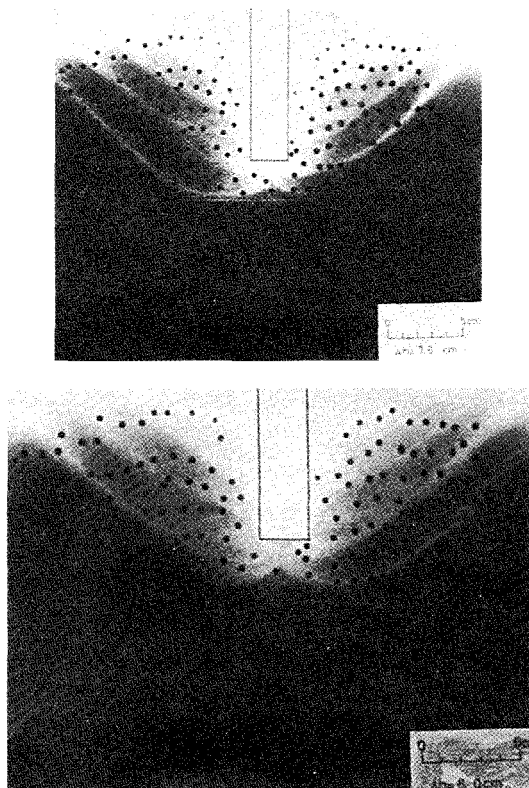


Fig. 2 Typical result showing spatial periodicity of loose bulk density zone

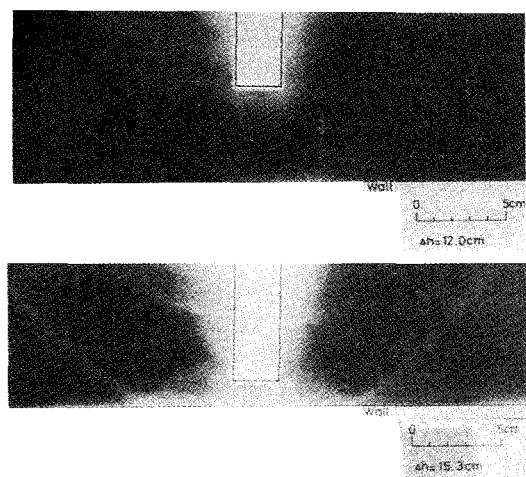


Fig. 3 Typical result showing reflection of loose bulk density zone

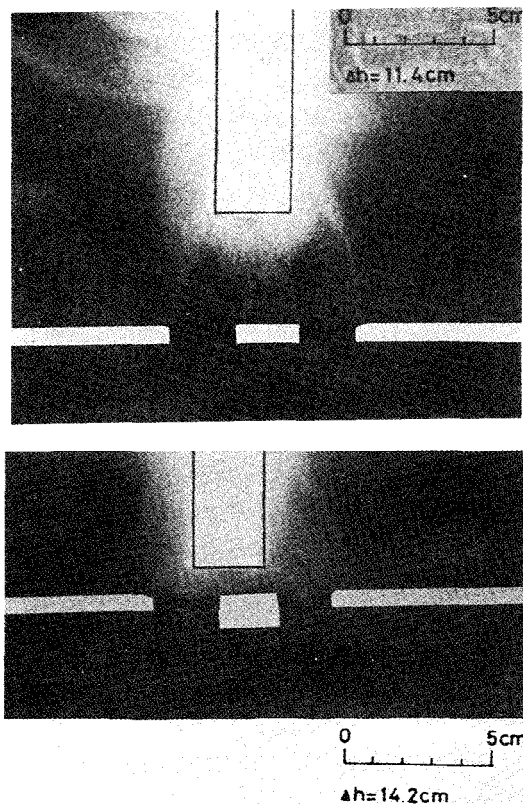


Fig. 4 Typical result showing diffraction of loose bulk density zone through a slit

れたわけであるが、それでは、この疎充填帯の形状はどのように記述できるのか、又、日高、牧野らによって見いだされた疎充填帯の固定壁での入反射現象はいかなる条件で成立するのか、又、異種粉体層の界面では、疎充填帯はいかなる現象を起こすのか等、次のさらなる現象の解明が必要となる。そこで以下では、この点に注目した著者らの研究³³⁾³⁴⁾について報告する。

2. 疎充填帯の形状及び入反射屈折条件³³⁾³⁴⁾

2.1 粉粒体層中に形成される疎充填帯についての理論的考察

一般に、粉粒体層に外力を加えると、それに応じて粉粒体層は弾性変形をする。そして降伏状態に達すると、粉粒体層中に剪断すべり面が生ずる。その結果、ダイラタンシー効果によって剪断すべり面近傍に疎充填帯が形成される。したがって疎充填帯の粉粒体層に

おける挙動は、剪断すべり面の挙動と一致するものと考えられる。そこで以下では、剪断すべり面 $y(x)$ の形状について考察する。いま Fig. 5 に示すようにプランジャーの貫入によって剪断すべり面 $y(x)$ が生じたとき、この面上での力学的平衡について考えてみよう。ここで、 $\bar{y}(x)$ は、応力状態が既知である粉粒体層中の任意の面である。また粉粒体層の崩壊条件は一般に次式で与えられる。

$$\tau = C + \Psi(\sigma)\sigma \quad (1)$$

ここで、 C は付着力、 $\Psi(\sigma)$ は内部摩擦係数、 τ 、 σ は限界平衡時の剪断応力、垂直応力である。式(1)は剪断すべり面 $y(x)$ 上では、常に満足されている。つまり、 $y = y(x)$ 上では限界平衡状態に達しているため、 $y(x)$ と $\bar{y}(x)$ とによって囲まれている領域に作用する応力並びにモーメントについての平衡式が成立する。そして、安全係数 F なる概念と Lagrange 未定乗数 λ_1 、 λ_2 を導入し、問題を変分法の等周問題に帰着させる。さらに、その結果に対して Euler の式を適用すると、次式のごとき疎充填帯の形状に対する基礎式を得る。

$$\left(\phi + \sigma \frac{\partial \phi}{\partial \sigma}\right) \left\{ (1 + \lambda_2 y) + y'(\lambda_1 - \lambda_2 x) \right\} + F_s \left\{ (\lambda_1 - \lambda_2 x) - y'(1 + \lambda_2) \right\} = 0 \quad (2)$$

ここでは、以上の理論的考察が疎充填帯の解析にいかにか有効であるかの一端を検討することが主目的である。そこで、見通しを良くするため Coulomb 粉体について考えてみる。このとき内部摩擦係数 Ψ は一定で

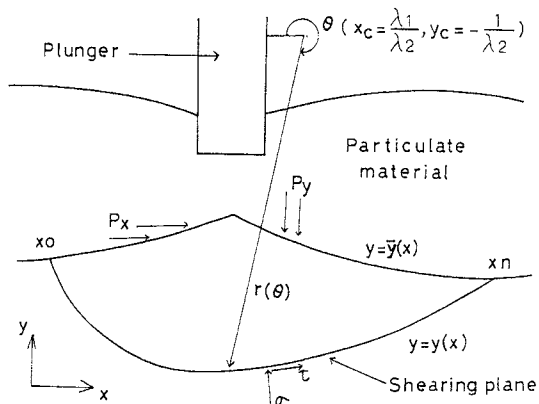


Fig. 5 Analytical model for the shearing plane generated

あるから、次式が成立する。

$$\frac{\partial \phi}{\partial \sigma} = 0 \quad (3)$$

2. 1. 1 Lagrange 未定乗数 $\lambda_2 \neq 0$ のとき

式(3)を式(2)に代入し、 y' について整理し、適当な極座標変換を行えば、疎充填帯の形状について次式を得る。

$$r = A \exp\left(\frac{\phi}{F_s} \theta\right) \quad (4)$$

ただし、 A は積分定数である。この場合、粉体層中に形成される疎充填帯は、対数螺旋となる。

2. 1. 2 Lagrange 未定乗数 $\lambda_2 = 0$ のとき

式(2)、(3)及び $\lambda_2 = 0$ の条件より、もう一つの疎充填帯の形状について次式を得る。

$$y = \frac{\frac{\phi}{F_s} + \lambda_1}{1 - \frac{\phi}{F_s} \lambda_1} X + B \quad (5)$$

となる。ただし、 B は積分定数である。式(5)は、粉粒体層中に形成されるもう一つの可能な疎充填帯が直線となることを意味している。

2. 2 疎充填帯の形状に関する考察

2. 2. 1 疎充填帯が対数螺旋の場合

Fig. 6 の様に疎充填帯上の任意の1点 (x_a, y_a) を考える。点 (x_a, y_a) と対数螺旋の極 (x_c, y_c) を通る直線は、次式で与えられる。

$$Y - Y_a = \frac{Y_a - Y_c}{X_a - X_c} (X - X_a) \quad (6)$$

又、点 (x_a, y_a) での疎充填帯の法線は、次式で与えられる。

$$Y - Y_a = \frac{Y_a - Y_c + \frac{\phi}{F_s} (X_a - X_c)}{\frac{\phi}{F_s} (X_a - Y_c) - (X_a - X_c)} (X - X_a) \quad (7)$$

ここで、Fig. 6 に示すように、式(6)、(7)の各直線が、それぞれ疎充填帯の接線となす角度を θ_1 及び θ_2 とすれば、両直線の交角 θ_0 は、次式で求められる。

$$\begin{aligned} \tan \theta_0 &= \tan(\theta_2 - \theta_1) \\ &= \frac{\tan \theta_2 - \tan \theta_1}{1 + \tan \theta_1 \tan \theta_2} = \frac{\phi}{F_s} \quad (8) \end{aligned}$$

式(8)から、疎充填帯が対数螺旋の場合、疎充填帯上の任意の点での法線に対して、内部摩擦角 $\tan^{-1}(\Psi/F_s)$

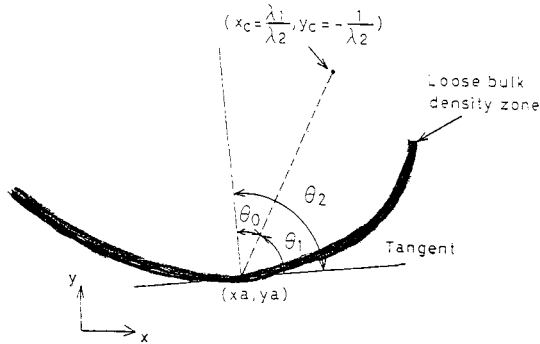


Fig. 6 Geometrical characterization of log-spiral loose bulk density zone

で交わる直線は、必ず極を通ることがわかる。

2. 2. 2 疎充填帯が直線の場合

式 (5) より、直線状疎充填帯における任意の点 (x_a, y_a) での疎充填帯に対する法線は、次式で与えられる。

$$Y - Y_a = - \frac{1 - \frac{\lambda_1 \phi}{F_s}}{\frac{\lambda_1 \phi}{F_s} + \lambda_1} (X - X_a) \dots\dots\dots (9)$$

また、式 (9) と角度 $\tan^{-1}(\Psi/F_s)$ で交差する直線の方程式を次式で与える。

$$Y - Y_a = a (X - X_a) \dots\dots\dots (10)$$

式 (9) (10) の交角は、 $\tan^{-1}(\Psi/F_s)$ であるから、式 (8) と同様に加法定理を用いると次式が成立する。

$$\frac{\phi}{F_s} = \frac{- \frac{1 - \lambda_1 \phi / F_s}{\phi / F_s + \lambda_1} - a}{\frac{1 - \lambda_1 \phi / F_s}{\phi / F_s + \lambda_1} a} \dots\dots\dots (11)$$

式 (11) より、次式を得る。

$$a = - \frac{1}{\lambda_1} \dots\dots\dots (12)$$

式 (12) は、直線状疎充填帯に対する法線と内部摩擦角 $\tan^{-1}(\Psi/F_s)$ で交わる直線は、内部摩擦角が変化しても傾きは一定であることを意味している。

また、本解析では、疎充填帯 $y(x)$ にあらかじめいかなる制約も与えていない。このことは、同一の疎充填帯上で、たとえ固体壁や二種粉体の界面があっても

Lagrange 未定乗数は不変であり、極の位置は変わらないことを意味している。従って、粉体層界面において、疎充填帯は入射側が対数螺旋（又は直線）なら、屈折側あるいは、反射側も対数螺旋（又は直線）となる。

以上のことを考えあわせると、固体壁に疎充填帯が到達しても、あるいは、異種粉体層の界面を疎充填帯が通過しても極の位置は不変で、界面通過前後の疎充填帯に立てた法線は、それぞれの内部摩擦角で動径（法線の足と極を結ぶ線分）と交わる。従って、疎充填帯は固体壁においては反射現象を、異種粉体層界面においては、光の屈折に類似した現象を起こすことが予想される。そこで、以下では疎充填帯の固体壁における入反射現象あるいは、界面における屈折現象がどのような条件の下に成り立っているのかを考察する。

2. 3. 1 固体壁に対する疎充填帯の入反射条件

1) 疎充填帯が対数螺旋の場合

対数螺旋状疎充填帯が固体壁に入射する場合を考える。この場合、前述のように、入射側の粉体層の内部摩擦角 Φ と反射点での壁面摩擦角 Φ_w が異なるため疎充填帯は固体壁到達点を境として非対称的に反射する。前述のように、反射点での疎充填帯に対する法線は、反射点と極 (x_c, y_c) とを結ぶ線分に対して、それぞれの摩擦角 (Φ あるいは Φ_w) で交差しなければならない。したがって、入射角の疎充填帯の反射点における接線と固定壁がなす角度を α 、反射側疎充填帯と固体壁がなす角度を β とすると、幾何学的考察より次式を得る。

$$\alpha + \beta = \Phi + \Phi_w \dots\dots\dots (13)$$

2) 疎充填帯が直線の場合

疎充填帯が直線の場合反射側の疎充填帯も直線となる。又、反射点での疎充填帯の法線と摩擦角 $\tan^{-1}(\phi/F_s)$ で交わる直線は、摩擦角が変化しても傾きは一定である。従って、ここで、入射角 α 、反射角 β を定義すれば、幾何学的考察により次式を得る。

$$\alpha + \beta = \Phi + \Phi_w \dots\dots\dots (14)$$

1) および 2) の考察により、いずれの場合においても入射角 α と反射角 β の和は、内部摩擦角 Φ と壁面摩擦角 Φ_w の和に等しいという入反射条件を得る。

2. 3. 2 粉体層面における疎充填帯の屈折条件

1) 疎充填帯が対数螺旋の場合

対数螺旋状疎充填帯が粉体層界面に入射する場合

を考える。この場合、前述のように、入射側の粉体の内部摩擦角 Φ_A と屈折側の粉体の内部摩擦角 Φ_B が異なるため、疎充填帯は粉体層界面を境界として、屈折する。前述のように屈折点での疎充填帯に対する法線は、屈折点と極とを結ぶ線分に対して、それぞれの内部摩擦角 (Φ_A あるいは Φ_B) で交差しなければならない。従って、入射側の疎充填帯と粉体層界面がなす角度を α_A 、屈折側の疎充填帯と粉体層界面がなす角度を α_B とすると、幾何学的考察により次式を得る。

$$\alpha_B - \alpha_A = \Phi_B - \Phi_A \quad \dots\dots\dots (15)$$

2) 疎充填帯が直線の場合

疎充填帯が直線の場合、屈折側の疎充填帯も直線となる。又、屈折点での疎充填帯の法線と内部摩擦角 $\tan^{-1}(\phi/Fs)$ で交わる直線は、内部摩擦角が変化しても傾きは一定である。従って、入射角を α_A 、屈折角を α_B と定義すれば、幾何学的考察より次式を得る。

$$\alpha_B - \alpha_A = \Phi_B - \Phi_A \quad \dots\dots\dots (16)$$

1) 及び 2) の考察より、いずれの場合においても入射角 α_A 、屈折角 α_B の差は、それぞれの内部摩擦角 Φ_A 、 Φ_B の差に等しいという屈折条件を得る。

以上のようにして、粉粒体層中に形成される疎充填帯の形状、固体壁における疎充填帯の入反射現象及び二種粉粒体層の界面における疎充填帯の屈折現象を基礎的に検討した結果、疎充填帯の固体壁における入反射条件及び二種粉粒体層の界面における屈折条件を得た。そしてそれが、プランジャー貫入実験で得られた X 線写真撮影結果と矛盾しないことを示した。(Fig. 7. 8 参照)

以上の例は Fig. 1 に示す「粉体の現象」と「現象の解明」の部分に相当する。

このように X 線写真撮影法という一つの測定法を利用することにより、従来明らかにされていなかった粉体の現象の一つである疎充填帯の形成に関する知見を得るわけである。しかしながら、本測定法では、嵩密度分布の定性的な取り扱いしかできない。

すなわち、例えば嵩密度を Fig. 1 に示す「キャラクタライズされた物性」として取り扱おうとしたとき、「物性測定装置」として定性的な役割しか果たせず、「測定法」として不十分といえる。

このことは、逆に、嵩密度分布の定量的な測定法の

必要性を意味するものと考えられる。

例えば、先に示したように、対象粉粒体の物性を基礎とした粉粒体プロセスの設計の確立はいまだ不十分であり、“いかに対象とする粉粒体の物性を推定しその上に、いかに設計法を確立するか”は緊急に検討すべき課題の一つであり、このような観点から牧野らによる粉粒体層物性推算に関する研究がある。例えば牧野ら³⁵⁾の粉体層崩壊モデルによれば、少数の粉粒体層物性値から、任意の空間率での粉体崩壊曲線 (P. Y. L) を推算することが可能である。

しかしながら、これらの結果を実際の粉粒体プロセスに適用する場合、装置内での対象粉粒体層の空間率がまったく不明であるという問題が生ずる。即ち、前述の粉体層崩壊モデルは、粉粒体プロセスの設計と操作にとって必ずしも有効とはならない。従って、装置内部で対象粉粒体の空間率の推算法の確立³⁶⁾及び非接触での粉粒体層内空間率の測定法の確立が必要となる。

この点こそが、対象粉粒体層物性と粉粒体プロセスの設計との間に存在するギャップを解消するものであると言える。

従って以下では、著者らが開発した空間率測定法について述べる。

3. 空間率分布の測定法について^{37)~39)}

粉粒体層に X 線を透過させると、X 線はその進行方向上に存在する粉粒体の量によって吸収される。ここで、透過率が Lambert-Beer の法則に従うとすれば、粉粒体層による X 線の透過率 I/I_0 は、次式によって記述できる。

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-KL\rho) \quad \dots\dots\dots (17)$$

ただし、 I_0 及び I は、それぞれ粉粒体前後の入射側及び透過側の X 線強度、 L は粉粒体層の厚さ、 ρ は粉粒体嵩密度及び K は粉粒体によって決まる吸光係数である。一方、嵩密度 ρ と空間率 ε との間には、それぞれの定義により次式が成り立つ

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここで、 ρ_p は粉粒体の粒子密度である。式 (18) に式 (17) に代入すれば、次式を得る。

$$\frac{I}{I_0} = \exp\{-KL\rho_p(1-\varepsilon)\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

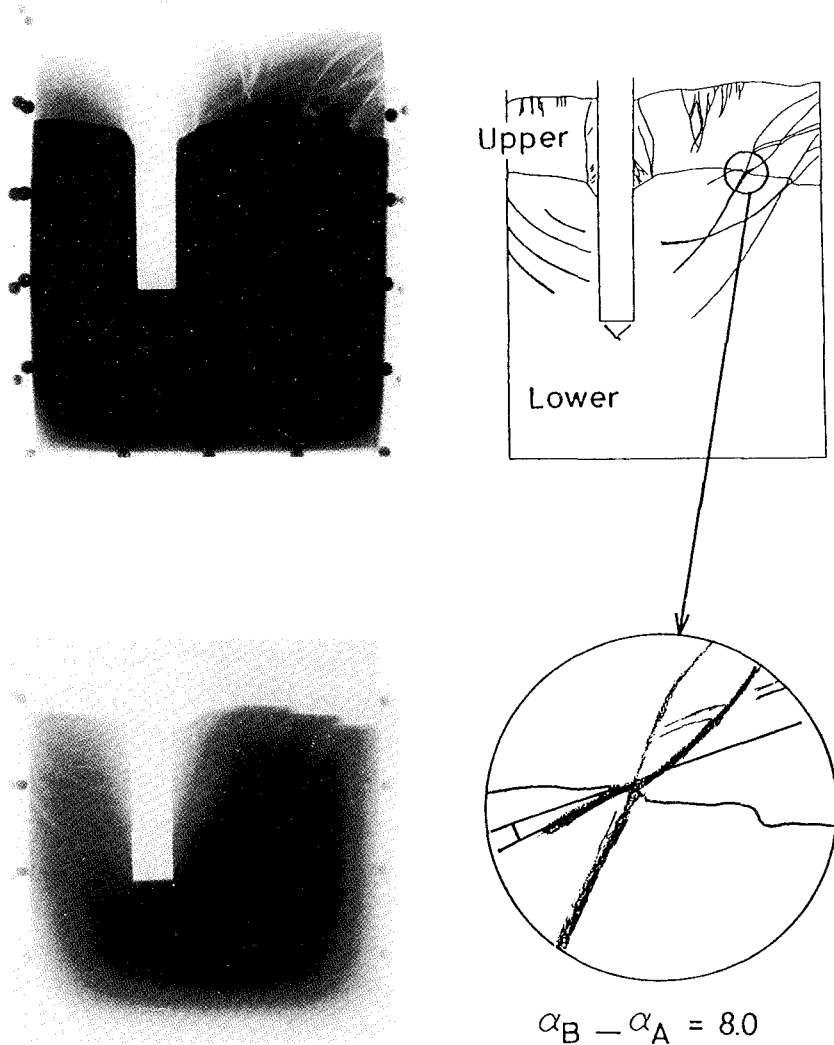


Fig. 7 Typical X-ray radiographs of the refraction (Upper is for Alumina Powder and lower is for Akita sand)

即ち、式(19)から、ある粉粒体層に対するX線透過率 I/I_0 は、X線の進行方向に存在する粉粒体の量に依存し、かつその増加に対して指数関数的に減少することがわかる。さて、今、Fig.9のごとき形状をした空間率定量用セルa)と目的とするテストセルb)を作製し、それぞれに同一の供試粉粒体を充填することを考える。そして、この2つのセルをX線発生源から、同一の距離にFig.20のごとく背面をそろえて設定し、かつ、セル背面に工業用X線フィルムを取

り付け、X線写真撮影を行う。このとき、各セルの任意の位置におけるX線透過率は、それぞれ次式で与えられる。

空間率定量用セルに対して

$$\frac{I_R}{I_0} = \exp \{-KL \rho_p (1 - \epsilon_0)\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

テストセルに対して

$$\frac{I_t}{I_0} = \exp \{-KL_0 \rho_p (1 - \epsilon)\} \quad \dots\dots\dots (21)$$

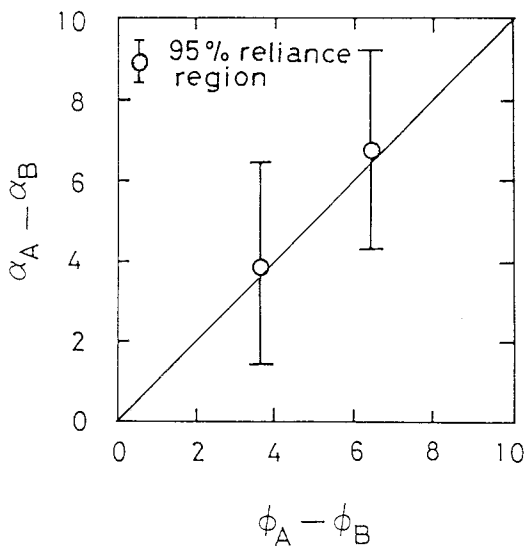


Fig. 8 Experimental verification of the refraction condition

ここで、 I_R 、 I_t は、それぞれ空間率定量セルの任意の位置並びにテストセルの任意の位置におけるX線透過強度である。又 ε_0 は、あらかじめ均一に充填した空間率定量セル内の空間率である。従って各セルを透過したX線でX線フィルムを感光させ現像すれば、X線写真の濃淡度が、それぞれのセルの各位置でのX線透過強度 I_R 、 I_t に対応することがわかる。従って、テストセルの任意の位置における空間率 ε は式(20)(21)より次式のように求められる。

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_0) \frac{L I_n(I_t/I_0)}{L_0 I_n(I_R/I_0)} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式(22)において、空間率定量セルとテストセルの写真濃淡度がちょうど等しいところでは $I_n(I_t/I_0) = I_n(I_R/I_0)$ より、次式を得る。

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_0) \frac{L}{L_0} \quad \dots\dots\dots (23)$$

以上が、X線透視撮影法を用いる粉体層内の空間率分布の測定原理である。なお、X線写真の濃淡度は、例えば、プレスケール色濃度計(富士フィルム製)などにより定量的に評価することができる。

以上の原理を用いた本測定法は、十分な精度で粉粒

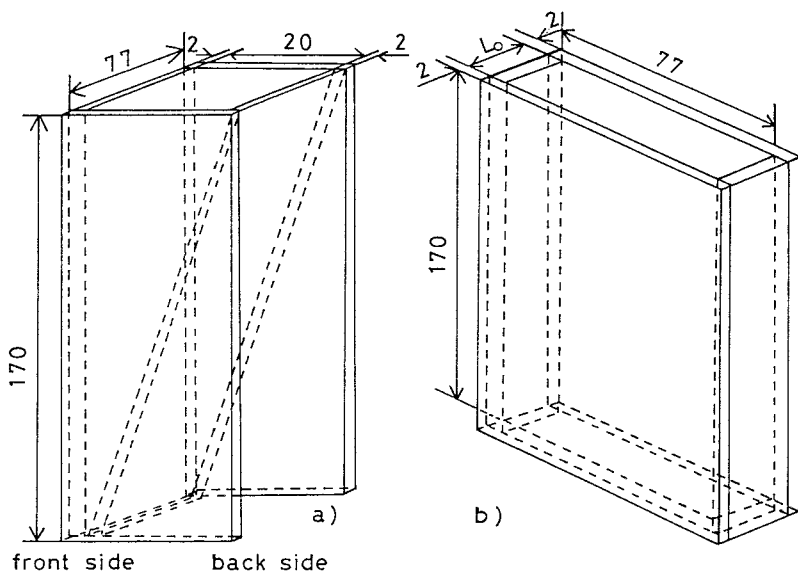


Fig. 9 Conceptual diagram of test and reference cells

体層内の空間率分布を測定できるものと結論できる。

次に、以上のように確立した X 線透視撮影法を用いた空間率の測定法を貯槽装置に対して適用した著者らの研究について述べる。^{40,41)}

4. 空間率測定法の貯槽装置スライド弁開閉操作に対する適用例^{40,41)}

粉粒体の供給・排出については、種々の研究がなされた。⁴²⁾特に貯槽装置における閉塞現象とか壁面への応力集中等を検討するには、粉体層内の嵩密度分布を知る必要がある。前者に関連して貯槽装置スライド弁の設計を考える場合、弁の開閉操作に伴う弁近傍の嵩密度分布の挙動が問題となる。従来、Cutress¹⁹⁾、Blair-Fish²⁰⁾、J. Lee ら²¹⁾の X 線透視撮影法を用いた嵩密度分布に関する定性的報告がいくつかあるが、これらはいずれもスライド弁開閉操作と嵩密度分布との定量的関係については検討していない。そこで著者らが確立した空間率分布の測定法を利用して貯槽装置スライド弁開閉操作に伴う弁近傍の嵩密度分布を定量的に解析した。その結果、スライド弁停止（閉）後弁近傍の嵩密度が増大する現象が存在する事を明らかにした。そして、スライド弁を閉じることによる弁近傍の嵩密度の増加メカニズムについて基礎的に考察した。その結果、排出弁近傍の流れの動圧を考えなくても弁近傍で嵩密度が増加することが説明できた。牧野らは既に破壊包絡線の空間率依存性を推算する方法を提出しており、この手法と前述の考え方を組み合わせれば、排出流動中の粉体層の空間率 ε_0 から、排出弁停止後の弁近傍の空間率 ε_1 及びその破壊包絡線を求めることができる。

以上のようにして、冒頭著者らが掲げた“粉体層物性をいかに分類し、いかに測定し、いかに推算し、そしてその上にいかに設計法を組み立てるか”という粉体工学の目的が達成できた1つの例を示した。

以下では、本測定法を用いたその後の研究動向について若干の報告を行う。

5. X 線透視撮影による粉粒体空間率測定法を用いたその後の研究動向

牧野、倉光ら⁴³⁾は、容器中の初期空間率分布を粉体の充填法を変化させて行っており、1点充填から3点充填までの内部嵩密度分布を定量的に示し、その特徴

を表している。

1988年牧野ら⁴⁴⁾は、粉体層崩壊モデルをバグフィルターに適用した例を示し、この中で、バグ面上の捕集粉塵の空間率分布を測定する目的で、本測定法を使用している。

又、1988年牧野ら⁴⁵⁾は、同測定法を利用した X 線写真画像処理システムを確立し、本解析手法を用いて、タッピングによる粉体初期充填率分布の変化を実験的に測定するとともに、剪断試験における剪断すべり面近傍の初期並びに定常剪断時の空間率分布を測定した。そして、前者に対しては、X 線透視撮影による粉体分布関数の測定法、後者に対しては、不均質性形成メカニズムが熱物理学的平衡による事を明らかにした。

1989年花岡ら^{46,47)}は、本測定法を用いて2点充填の場合の空間率分布に及ぼす充填条件特に、供給出口径と供給点高さの影響を実験的に明らかにした。

原田ら⁴⁸⁾、牧野ら⁴⁹⁾は、成形体及び焼結体の均質性に及ぼす初期嵩密度分布の影響を検討するために本測定法を利用している。

牧野ら⁵⁰⁾は、薄いセラミック粉体層のセルに対する均一性を検討する際に本測定法を使用し、粉体層形成時に電圧を印加することにより均質性が增大することを示した。そして、それが、与えられた電気的エネルギーによって、粉体自由エネルギーが減少し、粉体エントロピーが増大するために起こると結論づけている。また、均質性評価関数を定義し、規格化している。

昌子ら⁵¹⁾は、粉粒体の初期充填分布に及ぼす静電効果を検討する際に本測定法を用いており、ホッパーからの粉粒体排出をモデル化し、粉粒体の基礎的な挙動を解明すると共に、外部から働いた自由エネルギーと電解の有無について熱物理学的に考察し粉粒体に及ぼす静電気の効果均質性改善に対して極めて大きな影響がある事を示している。

さらに昌子ら⁵²⁾は、圧縮成形過程における粉体粒子の階層変化の推算法を提出し、それを具体的に圧縮成形過程に適用し、粉体粒子の階層変化を定量的に検討した。このとき本測定法を用いてセル内の嵩密度分布を解明している。

1994年昌子ら⁵³⁾は、粉粒体の初期充填分布に及ぼす表面改質効果を用いる際に、又、剪断試験時の剪断面の不均質形成メカニズムを検討する際にも同測定法を用いている⁵⁴⁾。

さて、本測定法は、二成分混合粉粒体の空間率と混合度を測定する際にも適用が可能である。混合粉粒体の空間率と混合度の測定法は、著者ら⁵⁵⁾によって開発され、牧野ら⁵⁶⁾によって二成分混合粉体の空間率と混合度の同時測定の有効性が検討され、V型混合機への適用について述べられている。

1995年水野⁵⁷⁾は、X線CT法による超微粒子充填層の内部充填特性を示しており、TiO₂微粒子をタッピング法、遠心法、および圧縮法で充填した。粉粒体層の各高さにおける断面の空間率分布を測定している。

II. 粉粒体プロセスおよび粉粒体機器におけるメーカーとユーザー間の情報のホワイトボックス化

1. 第1章との関連

第1章では、“粉粒体層物性をいかに分類し、いかに測定し、そして、その上にいかに設計法を組み立てるか”と言う粉体工学の目的を達成した1つの例を著者らの研究を基に示した。即ち粉粒体層物性を、嵩密度分布の形成機構と空間率分布として分類（粉粒体層物性の分類）し、空間率測定法を提案し、粉粒体層崩壊モデル（推算式）と結びつけることにより、ホッパー排出弁近傍の嵩密度分布の増加現象のメカニズムを示した。

一般に、学問は、単純な系からより複雑な系へと問題が発展するようである。例えば、粉粒体の挙動を論じる場合も、1. 球形の一個粒子の挙動に関するものから 2. 球形以外の一個粒子に関するもの 3. 二個以上の粒子の挙動に関するもの 4. 粒子層の挙動に関するもの、と言った具合に、徐々に粒子の形状大きさを変化させ、考慮する因子を増やす方向で発展してきた。

第1章では、上述のように著者らがFig.1で示した粉粒体現象と工学的設計モデルの概念を、著者らの既報の研究と照らし合わせながらその位置づけを確認した。

しかしながら、第1章で取り扱った事は、一人の研究あるいは、一つのグループで行ったものである。現代社会では、必ずしも一人もしくは一つのグループが現象と設計モデルの両方を有していない、あるいは認知できていない場合も多々ある。第2章では、このようなケースについて検討する。即ち、現代社会では、

設計製作する側（メーカー）と、それを操作使用する側（ユーザー）が異なる為、これまで示されていない問題が生じる。

ここでは、現象と設計モデルの概念が、メーカーとユーザーと言う二つの側面からの在りようについて考察する。

2. 問題をより具体的にするための前提条件

問題をよりわかりやすくするために、ここでいくつかの制約を行う必要がある。すなわち、ここで関与するのは、メーカー（化工機器を設計する側）と、ユーザー（化工機器を使う側）と取り引きされる化工機器となるわけだが、例えば、化工機器と言っても対象となるものは幅広く、対象物の共通認識が必要と考える為である。

(a) 化工機器の定義

メーカーとユーザーの間で取引される化工機器は多種多様であるが、ここで言う化工機器とは、化学機械及び機器を意味している。すなわち、器具及び機器システムは除外する。

ここで化工機器を定義する意味は、機器によって販売方法及びメーカーとユーザーの関わり方が、相当に異なってくるためである。

例えば、器具（メノウ皿、ピーカー、試験管、マグネットスターラー）等は、いわゆる化学機器総覧等でユーザーが希望する機器を選定し、出入り業者に定価に近い価格で発注する場合が多く、この場合メーカーとユーザーとの間にやりとりはほとんどありえない。

また、逆に機器システムの場合は、そのほとんどが、いわゆるオーダーメイドであり、カタログそのものがない場合もある。この場合、多くのケースでは、メーカーとユーザーの間で、秘密保持契約や、知的財産所有権のあり方等も書類で取り交わした上で情報の交換が行われるので、このような場合もここで言う化工機器の対象から除外する。

これに対し、ここで言う化工機器は、ロールミル、攪拌混合機、ホッパー排出機器、ポンプ等のように、ユーザーがカタログで選定するものの、ユーザーの使い勝手によって2, 3変更された上で購入される機器が多く、メーカーとユーザーのやり取りも2, 3回は行われている。ここで対象とするのは、このような機器である。

(b) 経済至上主義の排除

化工機器を取り扱う多くは、企業体であり、それぞれ個別の事情がある。

例えば、納入した化工機器に機械的欠陥が、発生した場合の例を示すと、メーカー側が、ユーザー側の価格交渉に応じる際に、適正な利益を確保する為に材質を1ランク落としたために発生したケースもあり、又逆にユーザーがメーカーに提示した原料以外の物を使用した為に、機械強度がもたず化工機器が破損するケースも有る。

上記のような例は別としても、本来、化工機器の取引においてメーカーとユーザーの間の問題の多くは、メーカー、ユーザー共に経済至上主義による行き過ぎに由来するところが多い。

例えば、化工機器の売り込みは、メーカーの経済論理に基づく。つまり、売り上げを昨年より10%伸ばすことである。このため、メーカーの売り手は、化工機器をユーザーに売り込む。このとき、その機械をユーザーが必要とするか否かは、無関係である。

現実には、以上の様な経済至上主義から起こる事象とメーカーとユーザー相互の関係は切り離す事はできないが、ここでは、以上の様な問題は切り離して考える。

3. ユーザーとメーカーの分析と定義付け

化工機器の製作工程において、現象と設計モデルがメーカーとユーザーの間でどの様に位置づけられているかを分析するために、第一に化工機器の販売、購入がメーカーとユーザーの間でどの様に行われているかを分析する。

化工機器の導入は、ユーザー側の必要性によって発生する（メーカー側の売り込みによっては発生する事はない。まれに、売り込み時、ユーザーが必要性を有していたときのみ、売り込みが成果を上げることがある。）

ユーザー側が化工機器を購入するフローは Fig. 10 の通りである。

ユーザー側が化工機器を導入する場合、導入までの段階では、メーカーとの関わり合いは、カタログ及び技術資料とメーカーとのヒヤリングがせいぜいである。

念のため、化工機器導入時におけるメーカーとユーザー間での書類のやり取りを Fig. 11 に示す。

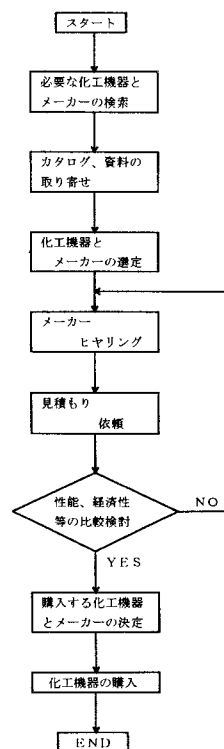


Fig. 10 The flow of purchasing chemical engineering equipments by consumer

メーカーとユーザー間での書類内容一覧表

	メーカー	処理	ユーザー
紹介時	(媒体) 1. 雑誌広告 2. 展示会 3. 文庫 4. カタログ 5. 技術資料	→	
引合時	1. 商品型式決定 2. 見積書 3. 見積仕様書 4. 見積図	← →	1. 見積依頼書
注文時	1. 製作仕様書 2. 製作図 3. 製作要領書 4. 工程表 5. 検査要領書 6. 強度計算書 7. 取扱説明書 8. 出荷要領書 9. 立合検査申請書	← →	1. 注文書発行
納入時	1. 検査成績書 2. 材料検査証明書 3. 物品受領書	→	

Fig. 11 The exchange papers of introductory chemical engineering equipment between manufacturer and consumer

Fig. 11を見てもわかるように、化工機器の販売/購入の場合には、納入前の書類としてカタログの役割が大きいことがわかる。

以上のように、化工機器の場合、ユーザーのニーズに合致したものの有無の一次的な選択がカタログによってなされることは、即ち、ユーザーとメーカーの間で既にある程度の共通認識ができていることを意味している。

即ち、どういう現象があり、どうしたいかという部分は共通認識されている。

どうやってやるか、それはなぜかという部分、即ち、現象の解明と工学的設計法は、メーカーが有しており、どういう原料、どんな条件で実現したいか、即ち、装置設計条件は、ユーザー側が有しているケースとなる。

従って著者らの工学的設計法に関する Fig. 1 のフ

ロー図は、メーカーとユーザーの間では、Fig. 12の様に変形しうる。Fig. 12のフローからもユーザー側が化工機器を導入する際に、カタログの果たす役割がいかに大きいかが理解できる。

そこで以下では、化工機器導入に際し、一次適用可否を判定するのに重要なカタログについて検討する。しかしながら、各メーカーから出されている多種多様な製品カタログを検討するには、検討する項目と基準を設定する必要がある。又、各メーカーは製品カタログの表現として、文章表現、図表、イラスト・漫画等を駆使しているため、これらについても検討を行った。

4. カタログの検討方法と検討基準及び検討例

Table. 1 にカタログ検討項目のチェックリストを示

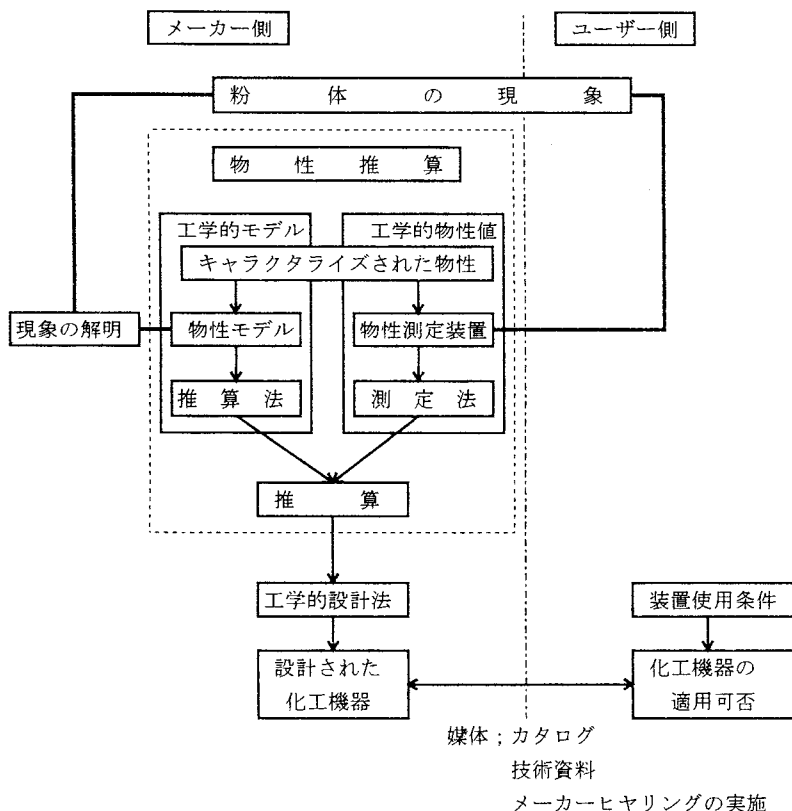


Fig. 12 Technical design model and powder phenomena between manufacturer and consumer

Table. 1 The checklist of discussion points of catalog

カタログ診断カルテ

商品名		Run. No.					
メーカー名		検査日		年 月 日			
カタログNO.		検査担当者					
	検討項目	表示有無		表示方法			
		有り	無し	文書	図、表	写真	イラスト等
機	外観、形状						
	構造、機能						
械	寸法						
	重量						
特	特徴						
	材質						
性	型式						
	オプション						
操	消耗品						
	動力源						
作	原理、機能						
	用途、現象						
特	適用例、実施例						
	機種選定要領						
性	性能表						
	設置方法						
法	設計思想						
	特徴						
規	操作性						
	知的所有権						
間	製造物責任法						
	品質保証 (ISO9000)						
係	環境保全 (ISO14000)						
備							
考							

す。

検討する特性は、機械特性、操作特性及び法規関係の3つから成り立っている。

機械特性を表す項目は、「外観、形状」「構造、機能」「寸法」「重量」「特徴」「材質」「型式」「オプション」「消耗品」「動力源」とした。たとえば、あるカタログを検討する場合「外観、形状」の表示の有無について検討しその結果をチェックリストに記入する。そして、それが文書で表現されていれば、表現方法の「文書」の欄に「○」印で表示する事にした。以下同様にして操作特性、法規関係についても順次チェックリストに各項目の表示有無を記入する。この様にして1つのカタログに対して1枚のカタログチェックリストができることになる。

又、表示方法については、図表、イラスト、漫画等是有無の判別がつけやすいが、文章の上手下手は別に

しても紛らわしい表現については敢えて「○」印とすることにした。

特徴については、それぞれの装置により動力に関するもの、材質に関するもの、形状に関するもの、メンテナンスに関するもの、操作性に関するものなど多岐にわたるため、機械特性、操作特性の両方に「特徴」と言う項目を作り、(機械本体)に関するものとソフト(操作性)に関するものとを区別してチェックできるように配慮した。

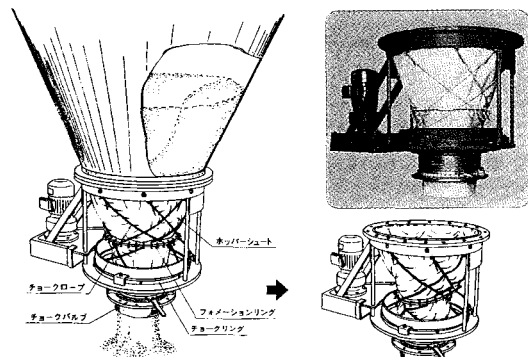
5. カatalogの検討結果と考察

上述の基準に基づき、最初にA社のホッパーシュートのカatalogをFig. 13に示し、これを検討する。本カタログは、1)構造・機能 2)特徴 3)ホッパーシュートの形状変化 4)標準寸法表 5)標準材料表 から構成されている。

今、ハイテク時代を迎え、各種材料の多種多様な粉粒体化が各分野に於いて著しく進行しています。他方ブリッジ現象、ラットホール等によるビン、ホッパー等からの排出に関し予防、対症的機器類（振動、衝撃、空気吹込式）が通例使用されるも、その効果が不十分な場合は、生産工程に数々の支障を生ぜしめます。ミツミ技術工業が開発したチョークブレイカーは、これらのトラブルに正対して総体的強制破砕と排出作業を遂行致します。四期的に優れた機能を有するブリッジブレイカー兼強制排出機です。

(1)構造・機能

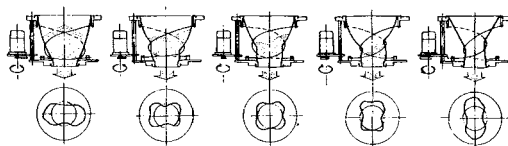
ホッパーシュートはキャンバスクロス、ラバー、レザー等柔軟性を有する材質で円錐形状に製作され、ケーシングにセットされています。その外周部には数本のロープがケーシング上部フレーム部から下部円形摺動のチョークリングに寄り交差等分割に渡されています。チョークリングは電動機からのクラック運動を受け約20度の角度で左右に、円周運動を繰返すことにより、上下に渡されたチョークロープはホッパーシュートの全円周をくまなくモミ込みます。このモミ込み運動でホッパーシュートは複雑な形状変化を強制されますから、貯留粉粒体は直接衝撃を受け、排出へと容易に導きます。



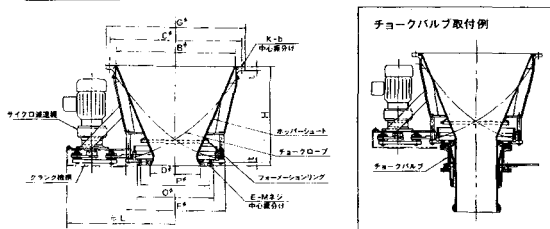
(2)特徴

- 運転音が静かです。
- 動力が小さい。
- 貯留面に摺動部を一切有しない。
- 流動特性を問いません。
- ホッパーシュートの脱着が容易です。
- ホッパーシュートの材質は多岐、広範囲に選択できます。

(3)ホッパーシュートの形状変化



(4)標準寸法表



型 式	D	B	H	G	C	K-d	O	P	E-M	F	L	電動機	積込量
MB-300 (標準)	300	250	400	360	8-15	300/230	8-M 8	17	450	465	0.2KW	85kg	
MB-400 (標準)	400	300	500	460	8-15	385	280	8-M10	17	500	555	0.4KW	102kg
MB-500 (標準)	500	430	600	560	12-15	385	345	12-M10	17	500	555		113kg
MB-600 (標準)	600	500	700	660	12-15	540	390	12-M10	17	720	720		160kg
MB-700 (標準)	700	600	810	764	20-15	540	435	12-M12	17	720	720	0.75KW	168kg
MB-800 (標準)	800	650	910	864	20-15	540	495	16-M12	17	910	750		184kg
MB-1000 (標準)	1000	800	1100	1054	20-15	770	625	20-M12	17	910	915	1.5KW	210kg

□内: D 数値が入ります。○印は標準品、△印は準標準品。減速機: 任意置換機製標準品内装付。

(5)標準材質表

非接粉部	ハウジング	SS41・炭素	SUS304
	チョークリング	SS41(HCRM)	SUS304(HCRM)
	チョークロープ	SUSワイヤロープ(ナイロンコート)、タタミロン常ロープ	
	フォーンションリング		SUS304
	サイクロ減速機		任意置換機 V M型 1対55/1対51
接粉部	ホッパーシュート	各種コーティングロス(シリコン、フタレン、アクリル)、ナイロン、チタロ、バイレン、耐熱ナイロンクロス、常電防止加工クロス、ラバー、レザー	

Fig. 13 The hopper shoot catalog of A corporation

ここでは、文書表現の検討例について2, 3示す。

第1節

「今、ハイテク時代を迎え、各種材料の多種多様な粉粒体が——中略——ラットホール等によるビン、ホッパー等からの排出に関し予防、対症的機器類（振動、衝撃、空気吹込式）が通例使用されるも、その効果が不十分な場合は、生産工程に数々の支障を生ぜしめます。」

この節は、問題提起、課題の設定部分である。

現象としてブリッジ現象、ラットホール等に注目したことが示されている。⇒従って「操作特性」の「用途・現象」欄に○印、「表示方法」の「文書」欄に○印となる。

(1) 構造・機能の最初の節

「ホッパーシュートはキャンバスクロス、ラバー、レザー等柔軟性を有する材質で円錐形状に製作されケーシングにセットされています。」⇒従って「機械特性」

の「構造、機能」「材質」の「文書」欄に○印となる。

以上の基準に従い、順次検討を行った。

A社のチョークブレイカーのカタログを検討した結果をTable. 2に示す。

Table. 2を見ると明らかなように、本カタログは機械特性については、ほぼもれる事なくユーザーに紹介されているものの操作特性については、ほとんど紹介できていないことが指摘できる。

次にB社のV型混合機のカタログをFig. 14に示す。

なお、本カタログは、B社の混合機練機の総合カタログの形式をとっているため、共通部分（表紙、裏表紙等）についても考慮した。

以下同様に検討し、その結果をTable. 3に示す。

本カタログでも、機械特性の表示は一応なされているものの操作特性についてはほとんど表示されていない事がわかる。

以下同様にして粉体機器（粉体混合機、ホッパー排

Table. 2 The result of discussion hopper shoot catalog of A corporation

カタログ診断カルテ

商品名		ホッパー チョコレートカー		Run. No.		1	
メーカー名		A社		検査日		97年7月30日	
カタログNO.		104		検査担当者		東山 明	
	検討項目	表示有無		表示方法			
		有り	無し	文書	図、表	写真	付録等
機	外觀、形状	○		○	○	○	○
	構造、機能	○		○			
機	寸法	○			○		
	重量	○			○		
特	特徴	○		○			
	材質	○		○	○		
性	型式	○			○		
	オプション		○				
機	消耗品		○				
	動力源	○			○		
機	原理、機能	○		○			○
	用途、現象	○		○			
作	適用例、実施例		○				
	機種選定要領		○				
特	性能表		○				
	設置方法	○			○		
性	設計思想		○				
	特徴	○		○			
法	操作性		○				
	知的所有権		○				
規	製造物責任法		○				
	品質保証 (ISO9000)		○				
間	環境保全 (ISO14000)		○				
係							
備							
考							

出機器等)について30種のカタログを検討した結果について機械特性をFig. 15に操作特性をFig. 16に法規関係をFig. 17にそれぞれ示す。

Fig. 15から、粉体機器のカタログについてみる限り機械特性については「外觀、形状」「構造、機能」「動力源」の項目は100%表示されており、また、「寸法」「特徴」「型式」についても80%以上と高い比率で表示されている事がわかる。「重量」「材質」については、60%程度で意外とカタログに表示されている比率が低い事がわかる。これは、分析したカタログによる特性もあらわれているようである。つまり、機器の種類によって、「重量」の表示が重要な機器もあれば、表示する必要の少ない機器もあり一概に「重量」あるいは、「材質」の表示がないから悪いカタログと言うことではないので注意が必要である。さて、「オプショ

ン」の項目は35%程度で「消耗品」の項目は、0%であった。全体的に機械特性の項目は、何れも高い比率で表示されている事がわかる。これに対して、Fig. 16の操作特性をみると、「原理、機能」「用途、現象」「設置方法」の各項目は80%と高い比率で表示されているものの、その他の項目は表示比率が低い。とくに、「機種選定要領」「設計思想」「特徴」「操作性」の各項目は20%以下と表示率が低い事がわかる。Fig. 17の法規関係についても表示率が低い。

比較の為にFig. 18, 19, 20に家電製品(テレビ, エアコン等)のカタログを、同様に分析検討した結果を示す。

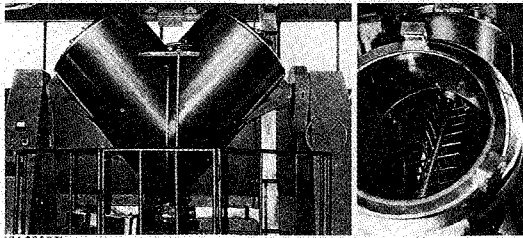
家電製品カタログの場合は、機械特性のみならず操作特性についても表示比率が高い事がわかる。

家電製品の機械特性の内「材質」の項目は、20%程

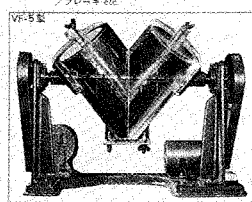
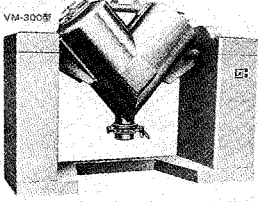


バッチ式混合機 **Vミキサー**

V型混合機の回転で材料は、その重力和离心力作用により、交差する2つの円筒に沿って移動し、流動層や衝突深層作用を繰り返します。このため原料の混合により完全な混合もしますが、必要時粉砕作用や速く均質化する混合機、インテンシブ型混合機のものも選択可能(VM型)。
 最大容量は最大容量の80~95%程度が適当です。



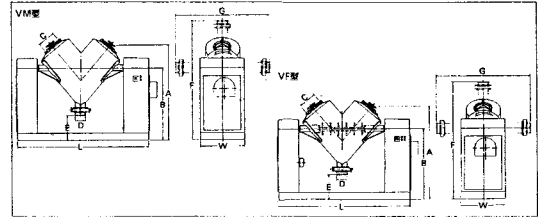
規格：JIS製=5000mm
 材質：SUS, SUS304, SUS316等
 駆動方式：ギヤードモーターまたは減速機を用いたチェーン、ギヤードベルトなどで駆動します。
 送料：スライド、ダンボール、パレット、ダンボール/フォークリフトなどで搬送します。
 取出口：コンタクト・シールド付。
 特殊仕向：インテンシブ型/高容量/タイマー/クラッシュプレック etc.



下記寸法は予告なく変更することがありますので、詳細は保証書によってご確認ください。

型式	全容量	F	L	W	A	B	C	D	E	F	G	50/60Hz 自体重心 回転数 rpm	自 重 心 高 度 mm	駆 動 方 法	タイ ム メ ー サ	バルブ	重量 kg
VM-10	22	1100	450	770	630	140	50	18	400	915	530	30/36	0.1	*	*	*	230
VM-20	50	1450	500	900	705	200	60	20	425	1055	700	25/30	0.4	*	*	*	240
VM-30	70	1450	500	920	725	200	60	20	400	1090	740	25/30	0.4	*	*	*	240
VM-60	130	1780	600	1290	1030	280	70	20	450	1350	1200	22/26	0.4	*	*	パナライ	280
VM-100	240	2040	700	1480	1170	290	70	20	450	1595	1450	20/24	0.75	*	*	*	430
VM-150	340	2450	800	1850	1360	250	50	50	550	2170	1620	19/23	0.75	*	*	*	580
VM-200	480	2450	800	1740	1360	250	50	50	500	2220	1700	18/22	1.5	*	*	*	630
VM-300	550	2700	900	1870	1450	300	50	50	500	2400	1820	17/20	2.2	ギヤ	*	*	1500
VM-500	1250	3100	1100	2230	1650	450	100	500	500	2800	2300	14	5.7	*	60	*	3300
VM-800	2000	3750	1200	2490	1850	450	100	500	500	3200	2100	14	5.5	*	*	*	2900
VM-1000	2500	4100	1400	2850	2150	450	300	700	3500	2900	13	7.5	*	*	*	3800	
VM-1500	3750	4550	1600	3150	2400	450	300	700	4020	3300	11	7.5	*	*	*	5200	
VM-2000	5000	4900	1800	3400	2510	450	300	700	4320	3620	10	11	*	*	*	6500	

●VM-1000以上は、ギヤードモーター・Vベルト駆動でオプションとしてギヤードベルト駆動が可能です。
 ●VF-300型以上は、手動駆動タイプが可能です。
 ●上記は質量比が0.7kg以下も処理する場合(1500~2000mmφ、kg/m³)の概算です。



下記寸法は予告なく変更することがありますので、詳細は保証書によってご確認ください。

型式	全容量	F	L	W	A	B	C	D	E	F	G	50/60Hz 自体重心 回転数 rpm	自 重 心 高 度 mm	イン テン シ ブ イ ン テ ン シ ブ イ ン テ ン シ ブ	重量 kg	
																30/36
VF-10	22	1100	450	770	630	140	50	18	400	915	530	30/36	0.1	500/600	0.2	180
VF-20	50	1450	500	900	705	200	60	20	425	1055	700	25/30	0.4	500/600	0.4	200
VF-30	70	1450	500	920	725	200	60	20	400	1090	740	25/30	0.4	500/600	0.4	270
VF-60	130	1780	600	1290	1030	280	70	20	450	1350	1200	22/26	0.4	500/600	0.4	350
VF-100	240	2000	700	1460	1170	280	70	20	450	1590	1440	20/24	0.75	500/600	0.75	500
VF-150	340	2450	800	1860	1360	250	50	50	550	2170	1620	19/23	0.75	500/600	0.75	600
VF-200	480	2450	800	1740	1360	250	50	50	500	2220	1720	18/22	1.5	500/600	1.5	700
VF-300	550	2700	900	1870	1450	300	50	50	500	2400	1820	17/20	2.2	500	2.2	1700
VF-500	1250	3200	1100	2230	1650	450	100	500	2800	3200	2300	15	7.7	500	3.7	2300
VF-800	2000	4000	1300	2490	1850	450	300	500	3200	3100	2100	14	5.5	500	5.5	3700
VF-1000	2500	4350	1400	2850	2150	450	300	700	3600	2900	13	7.5	500	7.5	4800	
VF-1500	3750	4800	1600	3150	2400	450	300	700	4020	3300	11	7.5	500	7.5	5700	
VF-2000	5000	5200	1800	3400	2510	450	300	700	4320	3620	10	11	500	11	7000	

●駆動方式、タイムスイッチ、パレットVベルト型はオプションとしてギヤードベルト駆動が可能です。
 ●VF-300型以上は、手動駆動タイプが可能です。
 ●上記は質量比が0.7kg以下も処理する場合(1500~2000mmφ、kg/m³)の概算です。

Fig. 14 The V type mixer catalog of B corporation

度と表示比率が低い、前述と同様、この項目は今回検討した家電製品(テレビ, エアコン等)では、表示の必要性の低い項目と考えられる。例えば、洗濯機や冷蔵庫のカタログを検討すれば、「材質」の項目の表示比率はもっと高くなると考えられる。また、Fig. 19の家電製品の操作特性をみると、「機種選定要領」の項目の表示比率が、30%程度と低くなっているが、これも、前述同様で「どのテレビを買うか」は各自の好みであり、選定要領に従って選ぶものではない。従って今回検討した家電製品(テレビ, エアコン等)については、検討項目として相応しくない項目と考えられる。このように検討対象の機器、あるいは製品によって、検討すべき項目自体を分析することも重要であるが、今回の分析により大まかな比較検討は可能と思われる。また、家電製品のカタログは、粉体機器のカタログに比べて法規関係の記述も十分に配慮されている割合が多いことがわかる。

以上の検討結果より、粉体機器のカタログは操作特性についてはまだまだ各項目の表示比率が低い事が指摘できる。

一般に、ユーザーが粉体プロセスにどのような粉体機器を導入するかは、メーカーが供給するカタログ等の情報によるところが大きい。

ユーザーがメーカーの設計製造した粉体機器の中から、ユーザーの粉体プロセスに最も合致した粉体機器を選択する為には、Fig. 12で示されるようにメーカーが粉体機器を設計する段階で「どのような設計思想で、どのような現象に注目し、どのような工学的モデルと、どのような工学的物性値を結びつけて設計された粉体機器であるか」を十分に理解していなければならない。

そしてそれを知る媒体がカタログで有る以上、メーカーの粉体機器の「設計思想」=「工学的設計法」は、カタログに当然明確に記述されなければならない。

Table. 3 The result of discussion V type mixer catalog of B corporation

カタログ診断カルテ

商品名		混合機 Vミキサー		Run. No.		2	
メーカー名		B社		検査日		97年7月30日	
カタログNO.		3019		検査担当者		東山 明	
	検討項目	表示有無		表示方法			
		有り	無し	文書	図、表	写真	イラスト等
機 械 特 性	外觀、形状	○				○	
	構造、機能	○				○	
	寸法	○			○		
	重量	○			○		
	特徴		○				
	材質	○			○		
	型式	○			○		
	オプション	○		○	○		
	消耗品		○				
	動力源	○			○		
機 作 特 性	原理、機能	○		○			
	用途、現象	○		○			
	適用例、実施例		○				
	機種選定要領	○			○		
	性能表		○				
	設置方法		○				
	設計思想		○				
	特徴		○				
	操作性		○				
	知的所有権		○				
法 規 関 係	製造物責任法	○					
	品質保証 (ISO9000)		○				
	環境保全 (ISO14000)		○				
備 考							

この「設計思想」＝「工学的設計法」は、上述のカタログの分析では、「機械特性」「操作特性」に表示されているべきであるが、現在の粉体機器のカタログの多くは、この点の認識不足から、最も重要な部分と言えるメーカーの「設計思想」＝「工学的設計法」を記述しないまま、いたずらに型式の羅列を行っているものが多く見られる。しかしながら、「設計思想」＝「工学的設計法」は、ユーザーが正しく粉体機器選定をできる為の必要不可欠な情報であり、この点を、メーカーがカタログを作成する際に十分に認識する事が必要である。これらの観点が、メーカーとユーザーの間に必要な情報のホワイトボックス化の概念の一端と考えられる。

おわりに

本報においては、粉体プロセスにおける粉体現象の非接触測定法による情報並びに粉体プロセスおよび粉体機器の製品としてのメーカーとユーザー間における情報のホワイトボックス化について考察し、次のような結論を得た。工学的設計法の確立に必要な粉体現象の解明の一つとして、崩壊現象により発生するすべり線と崩壊現象に影響を与える嵩密度分布に注目し、前半ではすべり線と嵩密度分布の既往の研究と、嵩密度分布形成メカニズムについて示した。後半では粉体プロセスの工学的設計法の確立に必要な嵩密度分布の測定法の確立と貯槽装置スライド弁開閉操作に対する適用例および、その後の研究動向について示した。次に、粉体プロセスおよび粉体機器の製

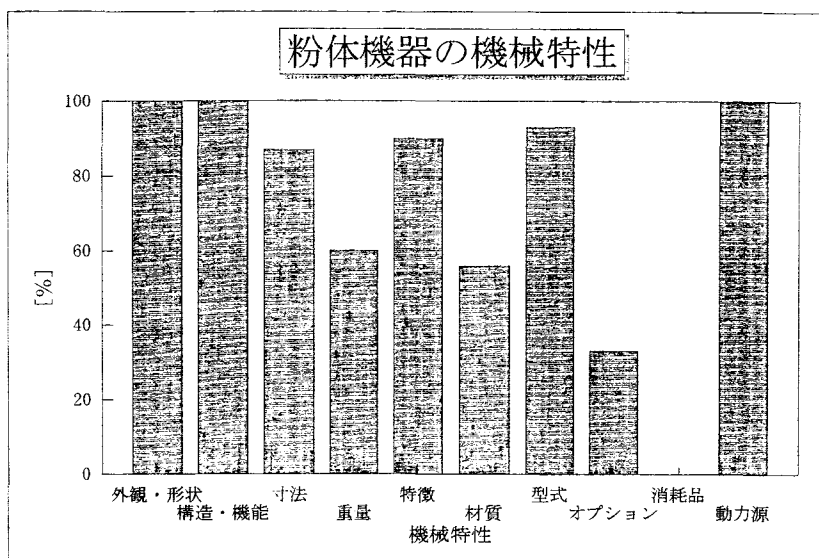


Fig. 15 The mechanical character of powder equipments

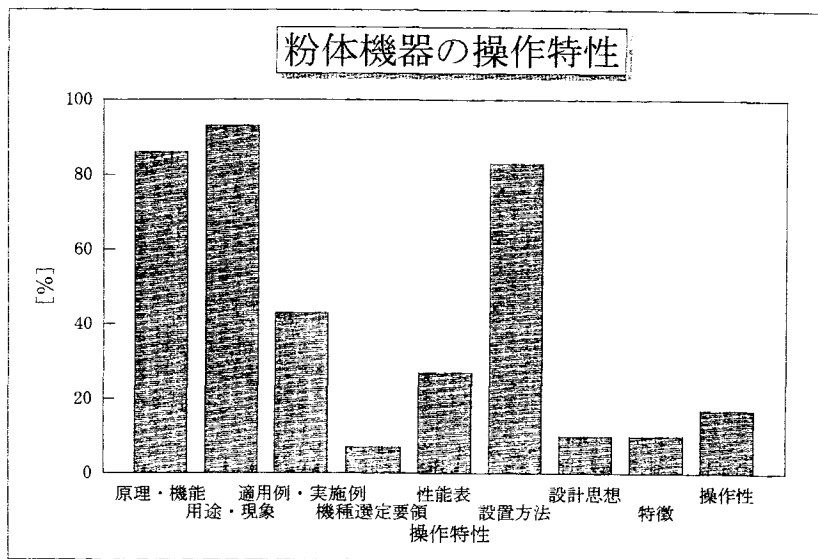


Fig. 16 The operational character of powder equipments

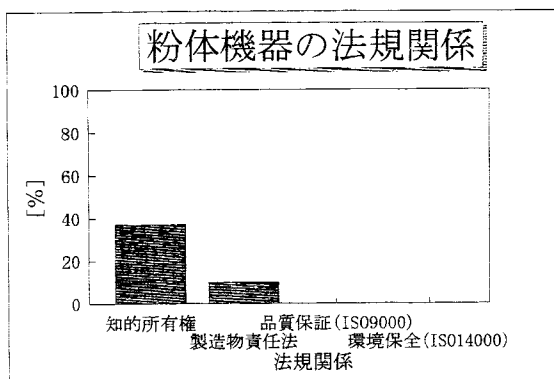


Fig. 17 The relative law on powder equipments

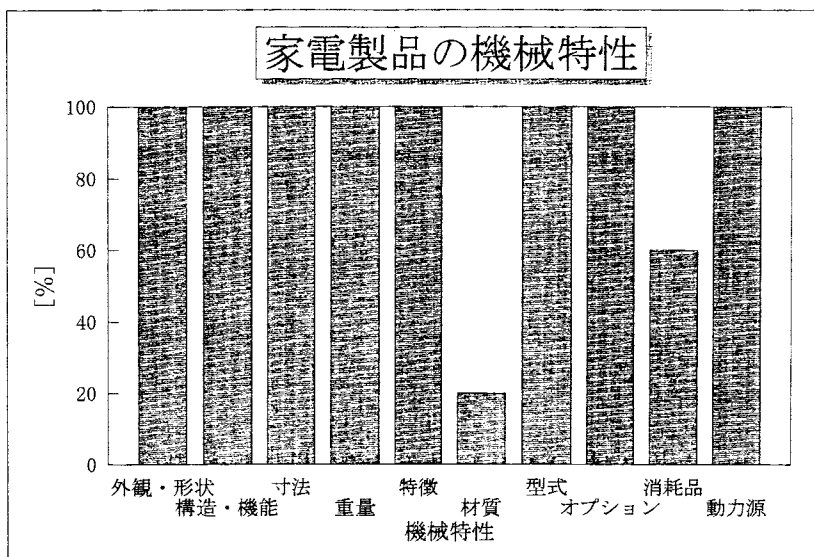


Fig. 18 The mechanical character of home electrical products

品情報のメーカーとユーザー間に必要な情報のホワイトボックス化の概念の一端を示した。

References

- 1) Janssen, H. A. : Z. VDI, 39 (35), 1045 (1895)
- 2) Jenike, A. W, P. J. Elsey and R. H. Wooley : Proceeding Am. Soc. Test. Mat. 60, 1168 (1960)
- 3) Jenike, A. W : Trans. Instn. Chem.engrs., 40, 264 (1962)
- 4) Jenike, A. W : Trans. Soc. Min. Eng., 267 (1966)
- 5) 牧野和孝, 山田昌治, 東山明, 倉光鋼太郎, ケミカルエンジニアリング, 9, 22 (1984)
- 6) Suzuki. M., Makino. K. and Inoya. K. : J. Soc. Powder Technol., Japan 17, 450 (1980)
- 7) G. C. Gardner : Chemical Engineering Sci-

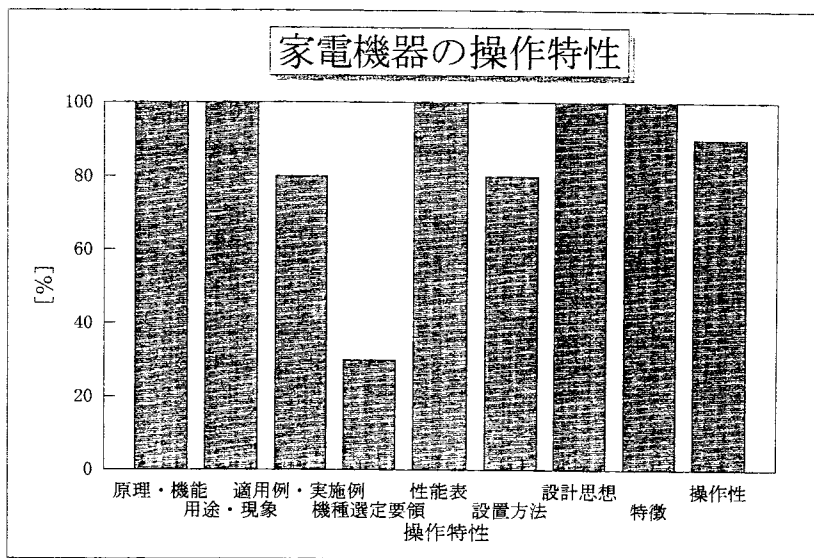


Fig. 19 The operational character of home electrical products

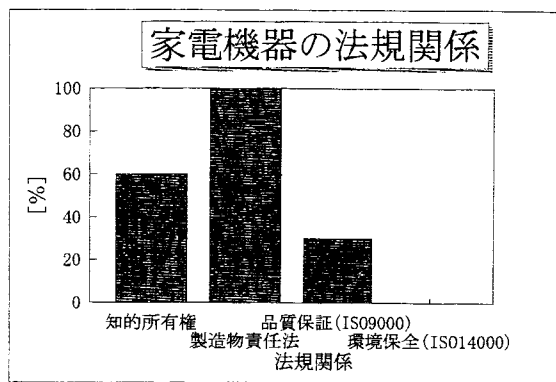


Fig. 20 The relative law on home electrical products

ence, 21, 261, (1966)

8) Miwa. S., Kanda. M., : J. Soc. Powder Technol., Japan 10, 324 (1973)

9) Sano. Y. : Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 21, 1 (1974)

10) Sano. Y., Hagiwara. T. and Miyagi. K. : Journal of the Japan Society of Powder and Powder metallurgy, 21, 8 (1974)

11) Yamashiro. M. and Yuasa. Y. : J. Soc. Powder Technol., Japan 19, 469 (1982)

12) Takahashi. H. : J. Soc. Powder Technol., Japan 11, 32 (1972)

13) Hara. R., Umeya. K. : J. Soc. Powder Technol., Japan 19, 18 (1982)

14) 梅屋 薫 : 将来加工技術第136委員会総合部会第一回研究会資料 (日本学術振興会) P 35 (1983)

15) Utsumi. R., Ueda. K. : J. Soc. Powder Technol., Japan 13, 643 (1976)

16) Takeshita. T., Kono. T., Watanabe. H., Yamamoto. T. and Yorioka. M. : J. Soc. Powder Technol., Japan 18, 484 (1981)

17) Kiyama. H. : J. Soc. Powder Technol., Japan 21, 364 (1984)

18) J. D. Athey, J. O. Cutress et. al. : Chemical Engineering Science, 21, 835 (1966)

19) J. O. Cutress, R. F. Pulfer : Powder Technol., 1, 213 (1967)

20) P. M. Blair-Fish, P. L. Bransby : J. Eng. Ind., 95, 17 (1973)

21) J. Lee, S. C. Cowin and J. S. Tempteton : Trans. Soc. Rheol., 18, 247 (1974)

22) R. L. Michalowski : Powder Technol., 39, 29 (1984)

23) Makino. K., Hidaka. J., Maki. H., Miwa. S.

- and Thmas. P. Meloy : *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 29, 229 (1982)
- 24) 森本吉春ら : *日本機械学会論文集 (A 編)*, 45, 817 (1979)
- 25) Wakabayashi. T. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 4, 657 (1967)
- 26) Makino. K., Yamada. M., Juda. T., Kuramitsu. K. and Hidaka. J. : *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 32, 8 (1985)
- 27) Makino. K., Yamada. M., Hidaka. J., Thmas. P. Meloy : *Powder Technol.*, 36, 89 (1983)
- 28) Makino. K., Kuramitsu. K., Kawahara. M., Yamada. M., and Hidaka. J. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 21, 158 (1984)
- 29) Hidaka. J., Kirimoto. Y., Miwa. S. and Makino. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 22, 427 (1985)
- 30) Makino. K., Hidaka. J., Yamada. M. and Thmas. P. Meloy : *Journal of Powder and Bulk Solids Technology*, 8, 23 (1984)
- 31) Hidaka. J., Kirimoto. Y., Miwa. S. and Makino. K. : *KONA*, 4, 23 (1986)
- 32) Hidaka. J., Miwa. S. and Makino. K. : *Kagaku Kougaku Ronbunshu*, 12, 192 (1986)
- 33) Makino. K., Yamada. M., Higashiyama. A. and Kuramitsu. K. : *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 31, 125 (1984)
- 34) Makino. K., Yamada. M., Higashiyama. A. and Kuramitsu. K. : *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 33, 232 (1986)
- 35) Makino. K., Saiwai. K., Suzuki. M., Tamamura. T. and Iinoya. K. : *Kagaku Kougaku Ronbunshu*, 4, 439 (1978)
- 36) Makino. K., Yamada. M., Kawahara. M. and Kuramitsu. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 21, 266 (1984)
- 37) Makino. K., Higashiyama. A., Yamada. M. and Kuramitsu. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 22, 526 (1985)
- 38) Higashiyama. A., Tsukada. A., Kuramitsu. K. and Makino. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 24, 291 (1987)
- 39) Tsukada. A., Sato. S., Kuramitsu. K. and Makino. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 25, 24 (1988)
- 40) Higashiyama. A., Hoshikawa. H., Kuramitsu. K. and Makino. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 24, 69 (1987)
- 41) Makino. K., Yamada. M., Kuramitsu. K. and Higashiyama. A. : *World Congress III of Chemical Engineering, Tokyo*, No. 3, 29 (1985)
- 42) Makino. K., Higashiyama. A. and Kuramitsu. K. : *Kagakukogaku*, 50, 239 (1986)
- 43) Kuramitsu. K. and Makino. K. : *Zairyo*, 36, 1192 (1987)
- 44) 牧野和孝, 倉光鋼太郎, 松本英樹, 大滝敏弘, 眞壁 晃 : *粉碎*, 32, 33 (1988)
- 45) Makino. K., Takeishi. A., Mori. H., Murakami. K. and Kuramitsu. K. : *Journal of The Association of Materials Engineering for Resources*, Vol. 1, No. 1 P 78 (1988)
- 46) Hanaoka. I., Kuramitsu. K. and Makino. K. : *J. Soc. Powder Technol., Japan* 26, 4 (1989)
- 47) Hanaoka. I., Kuramitsu. K. and Makino. K. : *Advanced Powder Technology*, 1, 113 (1990)
- 48) 原田 寧, 倉光鋼太郎, 村上恭子, 牧野和孝 : *粉碎*, 33, 17 (1989)
- 49) Makino. K., Shoji. T. and Sugawara. T. : *Journal of The Association of Materials Engineering for Resources*, Vol. 4, No. 2, P 74 (1991)
- 50) Makino. K., Shoji. T. and Ikeda. T. : *Journal of The Association of Materials Engineering for Resources*, Vol. 4, No. 1, P 38 (1991)
- 51) Shoji. T., Matsuda. H. and Makino. K. : *Journal of The Association of Materials Engineering for Resources*, Vol. 5, No. 1, P 101 (1992)
- 52) Shoji. T., Yamamoto. H. and Makino. K. : *Journal of The Association of Materials*

- Engineering for Resources, Vol. 6, No. 2, P 42 (1993)
- 53) Shoji. T., Hosokawa. M. and Makino. K. : Journal of The Association of Materials Engineering for Resources, Vol. 7, No. 1, P 85 (1994)
- 54) Shoji. T., Sasaki. T. and Makino. K. : Journal of The Association of Materials Engineering for Resources, Vol. 7, No. 2, P 72 (1994)
- 55) 東山 明 : 修士論文 (秋田大学), P 54 (1986)
- 56) Makino. K., Shoji. T., Sakamoto. M. and Nanba. M. : Journal of The Association of Materials Engineering for Resources, Vol. 3, No. 2, P 72 (1990)
- 57) 水野光国 : 粉碎, 39, 100 (1995)