

社会ニーズの変遷に伴うふるい機の技術革新

—80年の歴史を振り返って—

The Innovation in Sifter Design Driven by a Varied Public Requirement

—Looking back on past 80 years of the history—

朝日 正三

Shozo ASAHI

要旨: 有史以来「ふるい分ける」という概念は我々の生活の中に大きく係わりを持ってきた。生きていくために必要なものと不必要なものを分けることから始まり、食物の加工が行われるようになると「ふるい」の原型が形作られるようになった。農業や鉱山において「ふるい」は道具として使われるようになり、その後の技術の進展と共に化学工業をはじめとした各種産業分野へ応用され、社会のニーズに合わせて技術革新を繰り返し、「ふるい分け」が産業機械として確立、定着してきた。本稿では、80年の「ふるい分け」の歴史における技術革新について検証する。

Abstract: In recorded history, the concept of “sifting separation” has been playing an important role in our daily life. Sifting separation probably originated to separate the necessities from un-necessities to live. The old model of “sifter” was formed when such separation was applied to the food processing. Following this event, application of “sifter” as a tool in agriculture or mining was started. In accordance with the progress of technological improvements, the area of sifter application further grew to the production processes of chemical industries and other industries. Sifter technology has advanced significantly in response to changing public requirements with time. Today it is considered to be an indispensable position in the industrial machineries. This article aims at reviewing the innovation in sifter technology in looking back on 80 years of its history.

キーワード: 歴史、技術革新、ふるい分け機、産業機械

Keywords: History, Innovation, Sifter, Industrial machinery

1. はじめに

人類が食物を多少なりとも加工して食べるようになったころから、ふるいは使われていた。当初ふるいは、価値のあるものとなないものを選別することが主目的であった。大英博物館には太古のふるいのようなものが所蔵されており、紀元1世紀頃のプリニウスの著書「博物誌」にはふるいに関する記述も見られる¹⁾。また、農家ではふるいの原点ともいべき箕や箒、万石とおしなどが最近にいたるまで道具として使われていた(図1)²⁾。

このように古くから我々の生活に道具として密着してきたふるいであるが、これが産業機械として認知されるようになったのはごく最近のことである。道具としてのふるいと機械的な回転や振動といった運動を加えたふるい機とを区別すると、ふるい機として登場したのは昭和初期のことであり、ふるい機の派生と進歩の歴史はまだ100年に満たない。

ふるい機が各種産業分野に認知されるようになったのは、第二次大戦前後の大きな社会の変革と技術革新によって人々のニーズが多種多様化したこと、及びこのニーズに合わせるように、ふるい機も様々な型式が開発されるようになったことが理由として挙げられる。それまで農業や鉱山でしか使われていなかったふるいは、この技術革新の波に応じて大きな変革を遂げたといえる。

ここからは、ふるい機の歴史を紐解き、社会ニ

ーズの変化に如何に対応してきたかを述べていくことにするが、まずはふるい分けとはどのような操作であるか、さらに古い分けのための必要な条件など、基本的な事柄から説明を始めたい。

2. ふるい分けの基礎³⁾

2.1 ふるい分けとは

ふるい分けとは「網を使用して、網目を通る粒子と通らない粒子に分ける操作」である。ふるい分けは様々な産業分野の生産工程で使用されており、その使われ方、目的も多種多用である。この目的によりふるい分け操作も以下に挙げるような機能に分けられる。

2.1.1 粗粒除去(スカルピング)

材料中に含まれている網上粗粒が少ない場合のふるい分けであり、異物除去を主な目的としている。粉体材料の受入れ時のチェックふるい、及び製品の品質保証のために製造工程の末尾や出荷前に全量をふるい分ける保証ふるいとして多用される。使用網の目開きは材料の平均粒子径の数倍以上のものが採用されるため、単位網面積あたりの処理能力は大きい。

2.1.2 分級・整粒(サイジング)

決められた粒径範囲にふるい分けることを目的とした操作である。粗粒及び微粉をふるい分けて中間サイズの製品を生産する3種分けや、一つの材料をいくつかの粒径範囲に分ける多種分けとして使用される。



図1 約二百年前のふるいと昔のふるい分け風景²⁾

幕末の頃から使用されていたふるい、枠は竹といぐさで、網は麻糸でできている。目開き寸法の揃い具合は試験用ふるい並。柿渋を塗って腐食防止に努めるなど、耐用年数百年の工夫が凝らされている。

(左の写真は弊社撮影)

2.1.3 粉抜き(ファインカット)

材料中に含まれている網下微粉が少ない場合のふるい分けであり、材料のハンドリング性向上(発塵抑制)や、粉体材料の加工プロセス中のトラブル防止などを目的としている。少量の微粉を除去する操作であるが、網下比率が大きいため、単位網面積あたりの処理能力は小さくなる。

2.1.4 湿式ふるい

スラリーや溶液中に含まれる粗粒子を除去する濾過や、液体と粉体の混合物から粉体を取り出す固液分離を主な目的としている。固液分離は通常遠心式脱水機などが使われ、これらに比べてふるい機の遠心効果は小さく、効果的な脱水及び分級は難しい。

2.1.5 形状分離

棒状、針状や繊維状物の長短分離などを目的とした操作であるが、装置の運動形態によって材料の挙動が変わるため、材料形状と分離の目的に合った装置を選ぶ必要がある。

2.2 ふるい機の分類

ふるい機は表 1 に示すように、ふるい網を設置したフレーム全体を運動させる振動ふるいと面内運動ふるい、材料のハンドリング方法やふるい網の運動条件が独特なその他のふるい機に分類される。

2.2.1 振動ふるい

ふるい部が 600r/min 以上の速度で振動し、網面に対して主に垂直方向の振動成分をもつふるい機を振動ふるいと呼んでいる。比較的遠心効果は大きく設計されており、この振動により材料の搬送や分散を行い、網通過力を与える装置である。振動ふるいは、ふるい分ける材料の大きさなどにより様々な運動形態、装置形態が開発されてきた。大別すると、大きな粒子を扱い、大振幅、低振動速度で堅牢な構造のものと、小さな粒子を扱い、小振幅、高振動速度の 2 種類である。また、適用される網目によって、重荷重(数十 mm 以上)、中荷重(数 mm から数十 mm)、軽荷重(数 mm 以下)に分類される場合もある。

重荷重用はアンバランスウェイト駆動式に代表され、網面に対して垂直方向に円運動を行う。この方式は振動自体に材料を搬送する機能を持たないため、網面に傾斜を付けて材料を流す傾斜式となっている。垂直直線振動のように、振動自体に一定方向への材料の搬送が可能な方式は、振動モータ同期式と呼ばれ、中荷重から軽荷重用に適用される。保守点検や振動条件の調整が容易に行えるなど、重荷重用に比べて取り扱いやすく、化学工業を中心に幅広く使用されている。また、軽荷重用の代表的なふるい機は、3 次元運動すりこぎ

表 1 ふるい機の分類

形式	型式		装置名称	適用粒径
振動ふるい	アンバランスウェイト駆動式		ローヘッドスクリーン	5mm 以上
	振動モータ同期式		ユーラススクリーン	0.5mm~10mm
	電磁式		フィーダースクリーン	0.1mm~5mm
	3次元運動		円形振動ふるい	
面内運動ふるい	水平旋回運動	吊下	スクエアシフター	0.1mm~5mm
		床置	ジャイロシフター	
	水平旋回~直線運動		ローテックス形スクリーン	
	3次元運動		タンブラーシフター	
その他	可動網式		ジャンピングスクリーン	3mm~30mm
	強制攪拌式		KEKシフター	0.1mm~5mm
	超音波ふるい		レゾナシーブ	0.02mm~0.3mm
	風力ふるい		ブロワシフター	0.05mm~1mm

式と呼ばれる円形振動ふるいで、上下方向と水平方向の振動成分を合わせ持ち、比較的細かい網目にも適応が可能である。構造的に簡易で保守点検も容易であり、振動ふるいの中では最も数多く使用されている装置である。

2.2.2 面内運動ふるい

ふるい部が 600r/min 未満の速度で、主に網面に対して水平方向の回転や往復運動を行うものを面内運動ふるいと呼んでいる。大きな振れ幅で比較的ゆっくりと動き、網上材料層の攪拌、分散と粒子の転がりによる網と粒子の接触チャンスを重視した装置である。細粒域での分級や粗粒除去に多用されている。

面内運動ふるいの遠心効果は振動ふるいに比べると小さいが、網の段数を数十段重ねられるものもあり、コンパクトな構造であっても網の総面積は大きくできる。このため、ふるい分け効率は振動ふるいよりも高くなるのが一般的である。この利点を生かし、比較的細かい網目でのふるい分け精度を要求される食品業界や化学工業など幅広い分野で使用されている。

2.2.3 その他のふるい機

伸縮、柔軟性と耐摩耗性に富んだポリウレタンスクリーンを使用し、網の緊張（引っ張り）と弛緩（たるみ）を繰り返して、網上材料を跳ね上げながらふるい分けを行う可動網テンション式ふるい、水平設置した円筒形スクリーンの内側でパドル羽根を高速回転させることにより、供給された材料を攪拌、分散させながら網を通過させる、粗粒除去専用のふるい機である強制攪拌式ふるい、粉状材料を空气中に低濃度で懸濁、分散させた状態で網面に衝突させてふるい分けを行う風力ふるい、などがある。

①振動ふるい



点による接触 … 接触チャンス少

網上移送速度 10～15 m/min

②面内運動ふるい



面による接触 … 常時接触

網上移送速度 3～5 m/min

可動網テンション式は水分が多く付着や凝集性の強い材料の分級を、強制攪拌式ふるいと風力ふるいは分散性の悪い微粉の粗粒除去を得意としている。これらのふるい機は、それぞれの装置特性生かし、通常の振動ふるいや面内運動ふるいではふるい難い材料に対して、ふるい分けの目的を限定して開発されてきた装置である。

2.3 ふるい分けに必要な諸条件

効率のよいふるい分けを行うためには、①供給された材料を網面上に均一に拡散しながら材料粒子群の分散をはかり、②網上粒子層の成層を促進して細かい粒子を網目に近づけ、③網面上で材料粒子を転動させて網通過のための接触チャンスを増やし、④粒子に大きな網通過力を与え、⑤均一な網面上の移動によって安定したふるい分け過程を得ることが必要である。

振動ふるいは大きな網目を使用した大量処理に向いており、面内運動ふるいは、処理量は大きくできないが、ふるい分け精度を重視したふるい機である。この特長の違いは、前述のように各種ふるい機ごとに運動形態が異なっており、これにより網上材料層の分散状態も異なるためである。振動ふるいと面内運動ふるいにおける網上材料層の動きの違いについて、ふるい分けに必要な諸条件と合わせ簡単に説明する。

2.3.1 網と粒子の接触チャンスと網上粒子の転がり

ふるい分けは、細粒が網目を通過する確率の問題であるため、網上材料と網面の接触チャンスをやすことにより精度のよいふるい分けが可能となる。図2に振動ふるいと面内運動ふるいにおける網状材料の奇跡を図示する。振動ふるいは垂直方

図2 網上粒子のころがり⁴⁾

への運動成分が大きく、材料は直線的に飛び跳ねて進行するため網面との接触は断続的であり、接触チャンスは少なくなる。これに対して面内運動ふるいは、ふるい機の巡回運動に応じて材料も網面上を巡回しながら移動していくため、接触チャンスは多い。ただし、網上移送速度は振動ふるい機に比べて遅く、単位面積あたりの処理能力は面内運動ふるいの方が小さくなる。

2.3.2 網上材料の拡散と分散

ふるい機の網面を有効に使用し、安定したふるい分け結果を得るためには、網上材料層の均一化と拡散は重要なふるい分けの要素となる。網上材料の均一な拡散と分散は主に水平方向への運動成分によって行われるため、この運動成分を持つ面内運動ふるいは、精度のよいふるい分けが行える方式といえる。これに対して振動ふるいは、進行方向への単一振動のみで水平方向への振動成分は持っていないため、面内運動ふるいに比べ拡散作用は小さい。

振動ふるいは主に大きな網目を使用して、大塊のふるい分けに使われてきたが、粒状材料はそれ自体が容易に分散するため、機械的な拡散作用は小さくても対応できたことが理由のひとつである。また、振動ふるいの中には、網面中央部分がやや高くなるようにアーチ状に網を張り付けるなどの対策を講じ、幅方向への拡散と分散を促進させることで、細粒域のふるい分けに適応させたものもある。

2.3.3 網上粒子の成層現象（パーコレーション）

材料粒子層に振動を加えると大きな粒子が上層に残り、小さな粒子は大きな粒子の隙間を通過して下層に集まってくる(図3)。振動による偏析であるが、この現象は網下品としたい細粒や網目に近い大きさの粒子を、材料層最下部にある網目に近づけるために重要である。

2.3.4 理想的なふるい分けとは

前述のとおり、効率のよいふるい分けを行うためには、網面上で材料を均一に分散させ、網面と材料の接触チャンスを増やすことがポイントとなる。これを満足させる理想のふるいは、やはり手

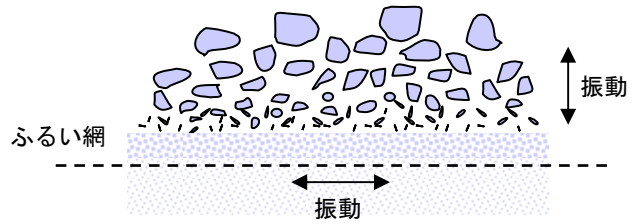


図3 パーコレーション現象

ふるいをおいて他にはない。手ふるいはバッチ式であり、しかも網の上の材料の状態を目視で確認し、目詰まりを除去するための叩き具合の調整も、分散状態も容易に調整できる利点がある。ふるい分けの目的が成就するまで、回したり、叩いたり、揺すったり、振り方を変えつつ、自由自在に行える。唯一の欠点は小さな手ふるいでは大量処理ができないという点のみである。

手ふるいから始まったふるい分けの歴史は、社会のニーズに合わせて機械化され、様々な工夫を凝らし現在に至っている。単一振動の駆動方式では手ふるいの動きを再現することは難しく、全ての材料に対応できるような理想的なふるい機はできてはいないが、処理する材料の特性とニーズに合わせて様々な装置が開発されてきた。この手ふるいのふるい分け状態をいかに再現するかが、ふるい機開発における究極の目標ともいえる。

3. ふるい機の歴史

3.1 ふるい機の二つの源流²⁾

ふるい機の始まりは、大きくみると二つの流れに分けられる。

食物の加工に使われていた手ふるいをはじめ、様々な農耕具を発展させてきたものが、精穀や製粉で主に使われてきた農業用のふるい機である。農業用として開発されたため、処理するものは比較的軽く、細かい網目でのふるい分け精度を要求され、これらは軽ふるいと呼ばれた。

もう一方は、鉄器などの道具の製造や、金銀など装飾に欠かせない金属類の需要の高まりと共に発達した、鉱山におけるふるい機である。16世紀の欧州の鉱山では据置式傾斜ふるいが普及し、これは現在でもグリズリー型として使用されている。

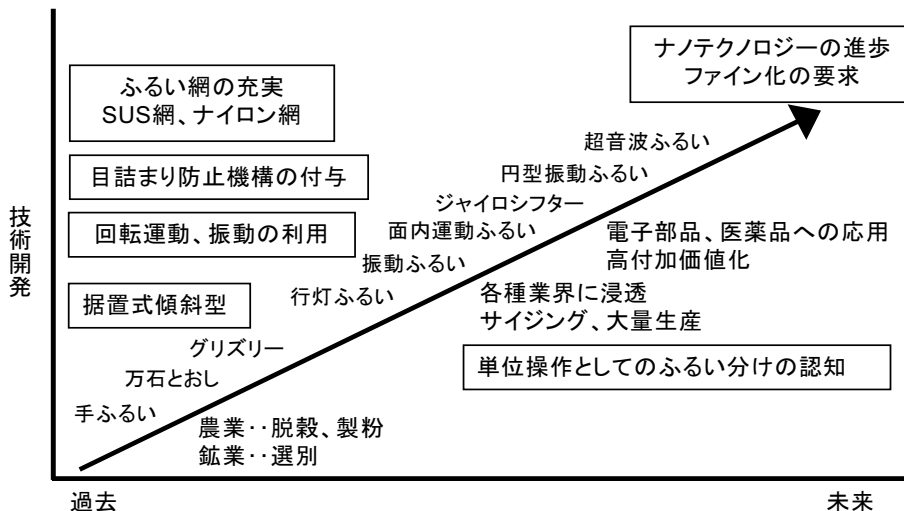


図4 ふるい機の発展

砕石をふるい分けることを主に行うため、網目は大きく大量処理が要求され、これらは重ふるいと呼ばれた。

3.2 回転、振動運動の利用

ふるい機の原点は据置式傾斜ふるいと呼ばれる。ふるい自身は運動することなく傾斜させた網面上を材料が転がり落ちていく間にふるい分けを行うごく単純なものである。農業では万石とおし、鉱山ではグリズリー型などである。傾斜ふるいにおけるふるい分け精度は材料の自重落下に頼ることになる。これに回転や振動といった運動を与えることで、より大量により効率よくふるい分けることが可能となり、ふるい機は飛躍的な発展を遂げていく。このころから様々なタイプのふるい機に分派していくことになるが、これも社会ニーズが多様化することに合わせた、ふるい機の技術的な進歩の現れといえる。

製粉においては木製の多角形回転ふるい（行灯ふるい）が普及する。行灯型に網を張り付けた木製格子の中にパドル状の回転翼が設けられたふるい機で、製粉の産業化にあたっての貢献度は計り知れない。

その後面内運動ふるいの開発と充実により、行灯ふるいは姿を消すことになるが、当時としては能力、精度共に画期的なふるい機であったといえる。鉱山においても振動ふるいが本格的に稼働す

るようになり、またその機種も多種多様化し、より細かく分級を行うことで分別作業の効率化が図られるようになっていった。

3.3 ふるい機の発展

このように農業や鉱山で使用されてきたふるい機は、より大量処理のニーズに応えるための体裁を整えていくことになる。また、他の産業分野でもふるい分けの必要性が高まると、軽ふるいと重ふるいの融合が始まる。つまり軽ふるいはふるい分け精度を重視しつつ装備を強固にして、より大量処理を目指し、重ふるいにおいてもふるい分け精度を求めて、より細かい網目でのふるい分けを可能にした装置が開発されるようになった。

それぞれが互いの利点を取り入れ、より精度を追求した大量生産機として改良を重ねてきたわけである。現在も化学工業などに使用されている面内運動ふるいや円形振動ふるいなどはこれらの集大成ともいえる。近年ではサニタリー性が強く求められているように、今後もニーズの変化に応じて更なる開発が続けられることであろう(図4)。

3.4 ふるい機の技術革新⁵⁾ — ジャイロシフターの登場 —

ふるい分けが各種産業に産業機械として認知されるようになったのは第二次大戦前後である。それまでふるい分けは粉碎機の後工程の補助機とし

て、粉碎した材料中の不必要な部分を取り除くためだけの役割でしかなかった。この当時のふるい機はクランク式の往復運動ふるいが主に使われており、粉碎機メーカーが片手間で造ったような簡単な構造のもので、そのふるい機の相場は粉碎機の1割程度であったという。

化学工業の発達に伴い、品質管理や製品の安定化のため粒径を揃えることが要求されるようになっていくが、この要求がそれまでの補助機としての役割から脱却を図る契機となった。

さらに、化学工業の産業分野へふるい機が浸透する契機となったのが、面内運動ふるい（ジャイロシフター）の開発と普及である。ジャイロシフターは代表的な面内運動ふるいであり、網面に対して水平旋回運動を行う。網面全体に均一に材料を分散させられる機構となっており、ふるい分け精度を追求した装置である。昭和2年に開発された当時は粉碎機とセット販売され、粉碎機の補助機であった時代を表している(図5)。

このような時代背景において、当社創業者は「粉碎機で微粉はできるが、粒径は揃わない。粒径を揃えるためにはよいふるい機が不可欠である。」という発想のもと、ふるい機を分離独立させジャイロシフターとして販売を始めた。これがふるい機をひとつの産業機械として特化させた、機械メーカー（ふるい屋）としてのスタートになったわけであるが、これは当時としては大きな発想の転換であったと言える。この転換により当社は、ふるい機を社会に浸透させる牽引車としての役割を担い、ふるい分けをひとつの単位操作として認知させることにより、ふるい機のトップメーカーとしての地位を確立することになるのであるが、それにはさらに数十年の歳月を必要とした。当時、社会の通念上はあくまでもふるいは補助機であり、ふるい分けることにより最終製品の品質が変わること、品質を保証することなど念頭にはなかったことであろう。

この間、ふるい屋としてよりよいふるい機の製作に傾注し、様々な改良を重ねていった。ジャイロシフターもクランクシャフトにより旋回運動を



図5 昭和2年製作のジャイロシフターの原型

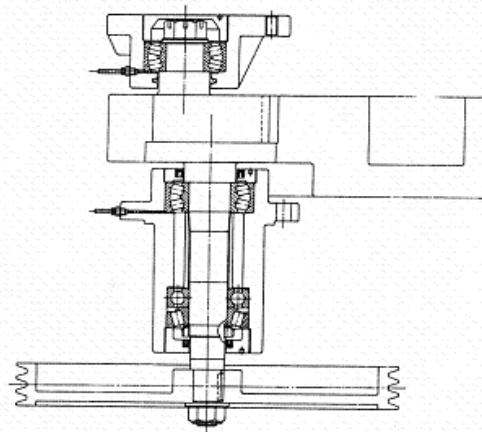


図6 ジャイロシフターのクランクシャフト[®]

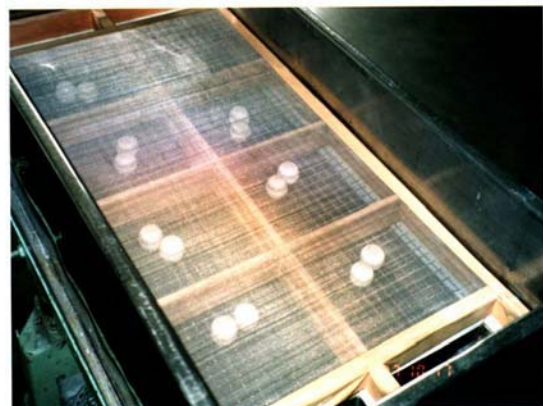


図7 目詰まり防止用タッピングボール

行うが、その際の振動を吸収するバランスウェイトの開発(図6)や、目詰まり防止機構としてのタッピングボールの開発(図7)、バッチ式から連続式の

開発など技術革新を繰返し現在に至っている。ふるい分け精度のよさと安定的な長期連続運転性は評判を呼び、数ある面内運動ふるいの中でも、爆発的な販売台数を誇った。

このジャイロシフターが開発されて約 80 年が経つが、戦中戦後から経済復興期を経て現在に至るまで、社会情勢も大きく変化してきた。このジャイロシフターを例に上げ、社会ニーズの変化とそれに対応するための技術改良、時にはふるい屋としてのシーズ提供など、社会への係わりを述べることにしたい。

4. ふるい機の技術革新と社会ニーズの係わり⁵⁾

4.1 ふるい分け精度の要求

ジャイロシフターが化学工業分野において認知される契機となったのは、旧日本海軍火薬工廠における、火薬のふるい分けである。火薬はその粒を揃えることにより、砲弾の飛距離や命中精度に大きな影響を与えるということは実戦を通じて判明していた。しかし当時日本の技術の粋を集める軍部でも、ふるい分けに関する技術に通じている研究者はおらず、また、あまり大きな問題として捉えられていなかったようである。火薬に限らずその後の化学工業では、粒を揃えることにより製品の品質向上があたり前のように行われるようになるが、この粒を揃えるという概念の導入は社会技術の革新的な出来事と言える。その後終戦までの間に旧陸軍火薬工廠にも導入されることになるが、ジャイロシフターが本格的な産業機械としての基礎を固め、ふるい機を使うことにより製品の品質が保証されることを、社会に対して広く知らしめた事例である。

また、大量生産を行うにあたっては安定的に製品が生産され続けることが重要であり、そのためにはふるい分け精度が安定することも重要である。

手ふるいでは、ふるい分け終点の見極めは操作する人の感覚によるため、作業者が変わるとふるい分けの精度も変わる可能性があり得る。製造プロセスにおけるふるい分けの機械化は、いつ誰が

ふるい分けでも同じものを生産し続けられるようにすることが目的でもある。

このようなふるいに対する概念の変革に伴い、製品の安定的な生産を行うためには、製造プロセス中のふるい分けがいかに重要な要素であるかが認識され、必要とされるようになる。これにより従来までのふるいの概念から完全に脱却して、ふるい分けが単位操作として認知されるとともに、ふるい機が産業機械として確立していくことになる。

4.2 生産設備の近代化と大量処理

終戦後の食糧難を補うために、加工食品の原料として使われる馬鈴薯澱粉やブドウ糖が大量に必要とされた。それまでの旧式な設備では生産量が不足するため、設備の近代化とともに大量処理が要求されることになる。

例えば馬鈴薯澱粉の製造は、従来ジャガイモを摩り下ろし、沈殿池で分離した澱粉を天日乾燥して行灯ふるいなどでふるい分けるプロセスを取っていた。これでは生産量は思うように上がらないため、摩り下ろしはクラッシャーに、沈殿池は遠心分離機に、天日乾燥にはドライヤー、そして行灯ふるいはジャイロシフターにそれぞれ置き換えられ、設備の近代化と技術革新が図られることとなった。ふるい機で比較すると、行灯ふるいに対してジャイロシフターの処理能力は、1m²あたり16倍の増産が可能となった。この能力差はジャイロシフターの網面と材料との接触チャンスの多さと、成層作用及び材料の分散力が行灯ふるいより優ったことによるもので、更により細かい網目でのふるい分けも可能となり、製品品質の向上も図ることができた。

この結果、ジャイロシフターは年間30~40台ずつ、約10年に亘り北海道の馬鈴薯澱粉製造工場のほぼ全てに、およそ400台が導入されることとなった。また澱粉の製造は、秋にジャガイモが収穫されてから真冬の3ヶ月間、24時間ほぼ休みなく生産され続けるため、ジャイロシフターも零下数十度になる真冬の過酷な環境下での長時間連続運転が強いられた。当初は駆動部の破損などもあつ

たようであるが、長時間連続運転にも耐え得る機械設計を模索し、折れないクランクシャフトの設計と製造など、駆動部の強度アップを実現させた。更に生産が中断する春から夏にかけては、400台のメンテナンス作業が待ち受けることになる。これは専門の技術スタッフにより長年の間行われてきたが、メンテナンスの重要性を再認識させられた事例である。これは著者らにとっても、ジャイロシフターの技術革新という意味合いのみではなく、ふるい屋としての技術の蓄積と顧客からの信頼獲得の礎となった。

この設備の近代化の波は、化学工業のみでなく、食品業界へも産業機械としてのふるい機が普及していく契機となった。現在では食品製造プロセスの多様化に伴い、原料受入れ時のチェックふるいや、中間製品の粒径調整、最終製品の保証ふるいなど各工程で様々な目的に応じたふるい機が使い分けられている。

食料事情が安定してくると、馬鈴薯澱粉やブドウ糖は加工食品として使われる量が減少し始める。この余剰分はその後医薬品原料へと転換されていくことになるが、医薬品グレードとするために、より細かい網目でのふるい分けと品質の更なる向上が求められるようになる。このニーズの高まりが、医薬品に対応した、分解洗浄性のよいふるい機などの開発が行われる契機となっていく。

4.3 製品品質の向上と高付加価値化

高度経済成長期に入ると塩化ビニールを始めとするプラスチック時代が到来する。その中で大量化、自動化と大きく技術革新をする石油化学プロセスにもふるい機は普及していくことになる。これら技術革新に対応すべく、ふるい機も新たな技術革新が求められるようになった。

4.3.1 塩化ビニール製造プロセスにおける静電気対策

ふるい分けにとって静電気は天敵であり、付着目詰まりの原因となる。ふるい分けにおける目詰まり対策としては、タッピングボールを使用することが以前より行われてきた。これは比較的粗い

網目でのささり目詰まりには有効であるが、微粒子の付着目詰まり、網上で凝集してしまうような微粉に対しては、たとえボールの使用個数を増やしたとしてもその効果は激減する。ましてや静電気付着にはその効果はほとんど期待できない。

粉末塩化ビニールは、プラスチック製品の出発原料として大量に生産されている。特に薄いラッピング材として使用される場合には、異物のない品質が要求されるため、ふるい分けは必要不可欠である。塩化ビニールの製造プロセス中にジャイロシフターが多数導入されたが、この静電気目詰まりが大きな問題となった。懸濁重合されたポリマーが流動層乾燥機を経て、空気輸送されてふるい機に投入されるが、このプロセスでポリマーは大量の静電気を帯びる。静電気を除去し、またふるい分け段階でも発生させないようにするため、ふるい機への供給用ホッパー内に材料と共にスチームを導入する方式が考案された(図8)。材料 1t

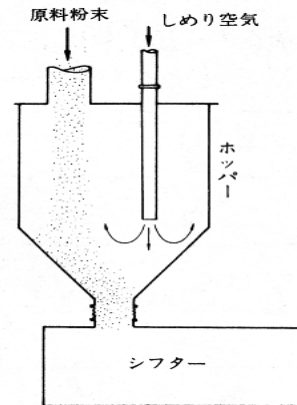


図8 静電気対策⁷⁾

あたりスチーム量 1kg-H₂O前後が適量であることも見いだされ、静電気を抑制することにより、安定的な連続運転を可能とした⁸⁾。当然このシステムはスチームにより変質を起こさない材料にしか適応できないが、ふるい分けの天敵を抑制できる技術として当時は反響を呼んだ。

4.3.2 ポリスチレンビーズのふるい分けとナイロン網

ナイロン網は絹網に替わるものとして登場することとなるが、ナイロンの伸縮性の利点を最大限に利用し、この伸び縮みが目詰まりの除去に絶大

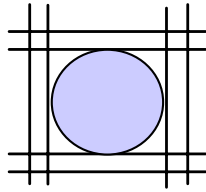


図9 四点接触目詰まり

な効果を発揮することになる。ナイロン網はささり目詰まり対策に使用されるが、ささり目詰まりの中で最も厄介なものが球形粒子の四点接触目詰まりである(図9)。通常ふるい分けで使用されるステンレス網では、網格子の中にすっぽりとはまり込んだ球形粒子をタッピングボールでは除去できず、目詰まりは増加する一方となってしまう。

発泡スチロールの原料として使われるポリスチレンビーズは、発泡させる前に粒径を揃えるためふるい分けが行われる。このビーズは発泡すると体積で50倍程度に膨れ上がるものもあるため、仮にふるい分け後の粒径に誤差があると、誤差も発泡に伴って膨れ上がることになる。そこでかなり幅の狭い範囲内に粒径を揃える必要があり、ふるい分け精度のよいジャイロシフターが採用されたが、球形粒子の分級という難しい問題が浮き上がってきた。狭い範囲で精度よく分級するためには、ふるい分ける材料粒径に近いサイズの網目を選定する必要がある。粒径と網目サイズが近いということはそれだけでも目詰まりの発生要因となるが、更に球形ビーズであるため四点接触目詰まりが発生し、ステンレス網では連続的なふるい分けは不可能であった。この対策としてナイロン網を使用したところ、タッピングボールによる叩き上げとその瞬間の網目の伸縮により、目詰まりの発生を最小限にとどめることができた。

このポリスチレンビーズの精度のよいふるい分けが可能となったことにより、カップ容器などの食品用包装材への用途が開け、食文化の変革に大きな影響を及ぼすことになる。ふるい機自体の技術革新ではないが、ふるい分けに必要な不可欠な網の進歩と多様化も重要な技術革新のひとつである。その意味においても、ナイロン網の登場はふるい

分け技術を進歩させた大きな技術革新であったと言える。

4.3.3 製造プロセスの大型化と多様化

大量生産大量消費の時代にあって、時間当たりトンオーダーという処理能力が求められ、ふるい機も大型化していく。その上、ふるい分けの精度への要求も厳しくなる一方であり、ふるい屋としての技術力がより問われる時代の到来である。このころから、製造プロセスの大量処理化及び自動化が本格的に始められ、水平設置型のプロセスや重力落下式プロセスなどのシステム構築が行われるようになる。この重力落下式プロセスは高層階の建屋の中に、上から下へ材料を流しながら製品を製造するシステムであり、当然ふるい機も高所に設置される場合がある。

前述のポリスチレンのふるい分けプロセスは、6階建て工場の各階にジャイロシフターが設置されており、これを稼動すると建屋自体が揺れだすという問題が発生した。ジャイロシフターの回転速度と建屋の共振点がほぼ一致したために起こったことで、建屋に補強を施すとともに、ジャイロシフターの回転による振動を吸収するためのバランスウェイトが考案された。

面内運動ふるいでは回転運動により強い横揺れが発生し、高所に設置する場合はこの対策が必要となる。重力落下式プロセスが普及するとそれに合わせて、各種ふるい機も防振対策が講じられるようになり、さすがに大型のふるい機を高所にというわけにはいかないが、条件付で高所設置も可能となっていった。

4.4 コンタミ防止と洗浄性の追及

1980年の医薬品業界におけるGMPの導入以降、クリーン化、自動化などに関連する技術革新が急速に進められた。この製造プロセスで使用される機器にはサニタリー性が問われ、これに対応するふるい機が開発されるようになり、特に分解洗浄性の良い簡易的な円形振動ふるいや強制攪拌式ふるいなど、多種多様なふるい機が使用されるようになる。

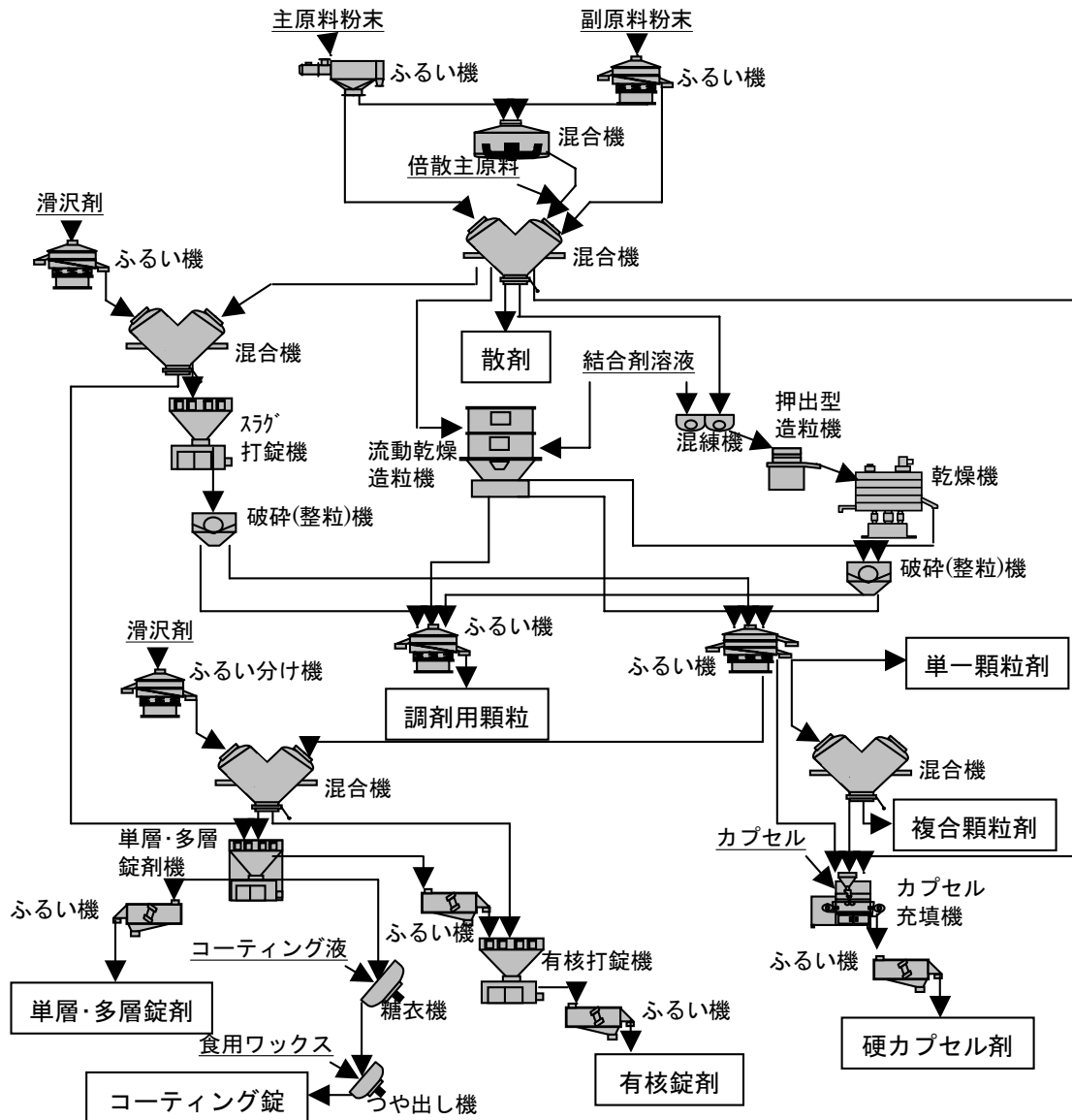


図 10 医薬品製造プロセス図⁹⁾

図 10 には一連の製剤製造プロセスを示すが、原料受入れ時のチェックふるいや最終製品の保証ふるいなどは、基本的に全通ふるいであり、ふるい分け精度を追求する必要性はさほどない。むしろサニタリー性に富み、コンパクトな構造であっても大量処理が可能な円形振動ふるいや強制攪拌式ふるいの得意とする操作でもある。

また中間製品の粒径調整においても、プロセスの複合化による生産性と歩留まりの向上というニーズに合わせて開発された整粒機が登場する。これにより、それまで製剤の製造プロセスで使用されてきた解砕機とふるい機という組み合わせは姿

を消すことになる(図 11)。この整粒機は製造プロセスのインライン中で粗粒を解砕し、希望粒径に揃えることを目的としたものである。

分解洗浄性の追及などのニーズに合わせ、今日まで数々の新しい装置が開発されている。これら装置はプロセスの多様化とともに取捨選択され、新しい概念を構築することになる。それはふるい分けを行わないふるい機の導入である。一見矛盾した言い方ではあるが、材料となる粉体を全通処理し、粒径の揃った材料を次工程に送るプロセスのことを意味する。先に述べた原料受入れ時のチェックふるいや整粒機がこれにあたる。

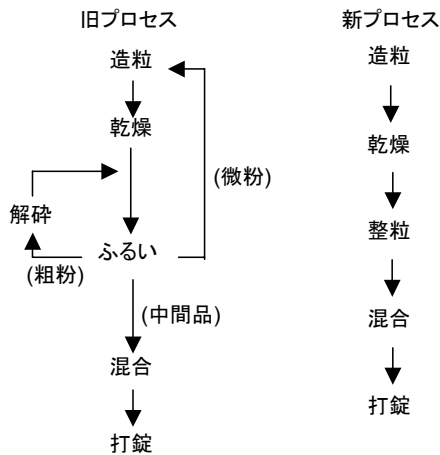


図 11 インライン整粒機を使用した製造プロセス¹⁰⁾

図 11 に示すとおり、旧プロセスでは網上粗粉や網下微粉は前工程に戻すことを行っていたが、製品によってはリサイクルのできない場合もあり、これはロスとなる。全ての材料を製品にできるようなプロセス設計を行うと、図 11 の新プロセスのような例となり、歩留まりの向上と共に、プロセスの簡略化とクリーン化を同時に図ることが可能となる。これも新たな発想の転換事例といえる。

4.5 製品の品質保証—新たな品質保証ふるいの登場—

最近のナノテクノロジーの進歩により、取り扱われる粉体材料も微粉化する傾向にある。この製品の品質を保証するため、より細かな網目でのふるい分けがニーズとして高まってきた。

しかしながら粉体の粒子径が細くなればなるほど、凝集性や付着性が顕著に現れるようになり、分散性が悪くなるのが一般的である。これら微粒子を取り扱う装置において、分散性の悪化はトラブルの大きな原因となる。特にふるい分けにおいては、いかに粉体材料を分散させるかが最大のポイントであり、装置の粉体材料に対する分散力が不十分な場合には目詰まりなどのトラブルに至る。トラブルが発生すればその対策が必要となり、また新たな装置の開発が望まれる。

そのような中、ふるい網に超音波を利用したシステムが開発され、この超音波システムを従来の

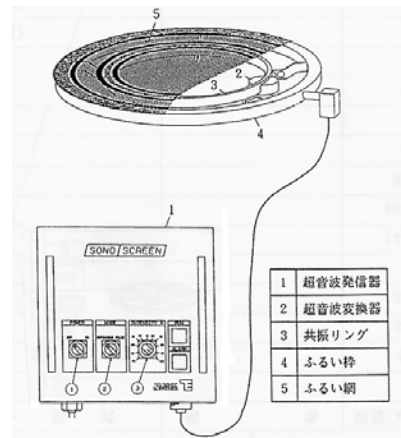


図 12 超音波ふるいシステム¹¹⁾

円形振動ふるいに組み込んだ超音波ふるいが発売されるに至り、微粒子域のふるい分けに革新的な進歩をもたらすことになった。

超音波システムの例を図 12 に示す。コンバータで発生した超音波振動は、初めに共振リングを伝達し、リング全体から網面に伝達される。超音波振動の周波数は約 36kHz で、コンバータでは全振幅 5~8μm の上下振動が発生する。振幅としては非常に小さい振動であるが、遠心効果は 15000G 前後、また、目詰まり除去のためにタッピングボールなどを使用する必要がないため異物混入がほとんどなく、更に騒音値も低くなるなど、クリーンなふるい機の製作が可能なおも特長である。ただし、超音波振動は単純な上下振動しかなく、材料の網通過力は大きい、ふるい機に供給された粉体材料を網面に拡散、分散させること、および網上、網下品の搬送、排出（ハンドリング）などの機能はない。このため振動ふるいや面内ふるいなど、従来のふるい機の運動と組み合わせることが必要となる。

図 13 には従来機との単位面積当たりの処理能力を比較したグラフを示す。粉体材料の処理能力は大まかに、網目開きの 2 乗に比例すると言われている。使用する目開きを 1/2 にすると処理能力は 1/4 に減少するのが一般的である。しかしながら微粒子は凝集、付着性が強くなり篩過抵抗が大きく、目開き 100μm 程度を境にして能力が急激に低下するか、もしくは、付着目詰まりの発生によ

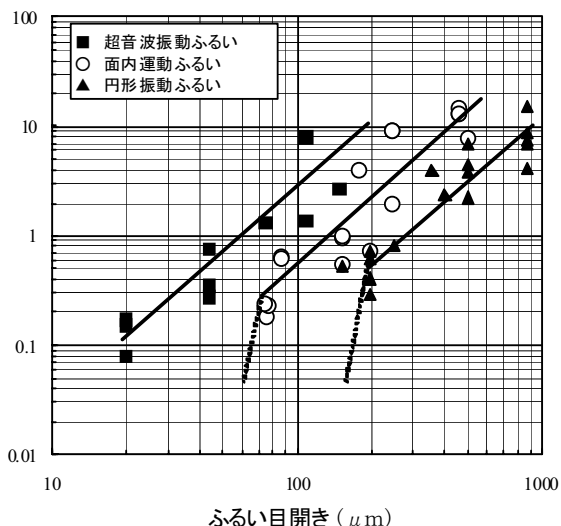


図 13 ふるい分け処理能力の比較¹²⁾

りふるい分け不可能となる。超音波ふるいでは、その性能が細かい目開きであっても維持されるため、従来のふるい機では処理できなかった目開きの範囲まで適用可能となった。

より細かな網目での品質保証というニーズを満足させるふるい機として、超音波ふるいは従来のふるい機にない優位性によって、ファインケミカルや電子部品材料の業界において、ここ数年数多く採用されるようになってきた。特に粉砕トナーの製造プロセスには、なくてはならない品質保証ふるいである。というのも、近年のコピー機の発達は目覚ましいものがあるが、それにはトナーの品質向上も欠かせない要因である。カラーコピーのきめ細かい画質を実現するには、より細かく、粒径の揃ったトナーが必要であり、粗粒子の存在は許されざることである。ジェットミルなどにより平均粒子径 5μm 前後の微粉砕トナーが生産されるようになったが、粉砕機の性能が向上しても、粗粒子の飛び込みや異物の混入がなくなるとは言い切れず、必ず品質を保証するためのふるい機が必要になる。

従来はジャイロシフターを使用し、100μm 程度の網目で、しかも目詰まり防止用として網上にブラシを乗せていた。カラーコピーの開発、普及と共により細かい網目でのふるい分けが要求されたが、図 13 に示したとおり、ジャイロシフターでは

75μm 程度が限界であった。ここで超音波ふるいが登場することになるが、超音波を使用することで 36μm の網目でもふるい分けが可能となり、現在の粉砕トナーの品質を保証すると共に、機能向上という大きな役割を担ったといえる。

5. ふるい分けの今後

小さなバッチ式のジャイロシフターから始まり、連続化と大型化という技術革新を経て、ジャイロシフターは現在に至っている。このふるい機は一時を代表するものであったが、現在は数多くあるふるい機の中の一つである。社会ニーズの多様化とそれに合わせた装置の開発はいつの時代にも行われていることであり、この流れに応じた装置の取捨選択は世の常である。

ただし、いずれの製造プロセスにおいても、ふるい機は必要なものであることに変わりはなく、ふるい機の形は変わっても、いつまでも使われ続けることであろう。ふるい機の多様化も時代の流れに応じて変革を遂げている現れといえる。その一例が超音波ふるいの登場である。ジャイロシフターがこれに入れ換えられるケースも増えており、その販売台数は増え続けている。しかしながら、この超音波ふるいにも問題があることも事実である。現在の超音波ふるいの主流は円形振動ふるいに適用したものであるが、網面積比率での大型機へのスケールアップが行えないこと、超音波の効果をもってしてもトンオーダーの処理に対応することが難しいことなどである。

今後ナノテクノロジーの進歩と共に超音波ふるいの需要は各産業分野に更に広がっていくと予想される。その過程では様々な要望が出されることであろう。大量処理機への応用展開もその一つであり、大型の従来機との組み合わせもしくは新型の超音波専用ふるい機の開発などが考えられる。現在面内運動ふるいと組み合わせた新しい超音波ふるいも開発されており、大量処理への適用と更なるふるい分け効率の UP が期待されている。

また現在のふるい分けは、製品の品質を保証することが主目的となっている。ゲージとなるふる

い網を通せば、それ以上の粗粒子は存在しないことがほぼ約束されるため、これ以上の保証はない。しかし、現在製作可能な織網の最小目開きは20 μm である。これに対し、今後ますます盛んになるであろうナノテクノロジーの対象粒子径は1000分の1 μm のサイズである。「このサイズの保証もしてください。」というニーズが出てこないとも限らない。

現状のふるい機では到底不可能なこのニーズに、どう対応するのか、ふるい屋としては悩ましい限りである。いずれにせよ、過去80年間に積み上げてきたふるい屋としての技術力を駆使して、今ある様々なニーズに対応していくことが先決である。そして技術と社会の変革に係わり合うことによって、ふるい屋として進化を続けることができれば、その先にナノ粒子のふるい分けも見えてくるであろう。

引用・参考文献

- 1) 三輪茂雄; “粉体のふるい分け,” pp.39-43, 日刊工業新聞社, 東京(1965)
- 2) 三輪茂雄; “ふるい分け読本,” p.1, 産業技術センター(1974)
- 3) 堀合誠ら; “粉体機器・装置ハンドブック,” pp.159-187, 日刊工業新聞社(1995)
- 4) 文献2)と同じ, p.139
- 5) 命尾晃利; “わが社のふるい機開発の歴史をたどる,” 粉体と工業, 29(8), pp.43-49(1997)
- 6) 命尾晃利ら; “分級装置技術便覧,” p.206, 産業技術センター,(1978)
- 7) 文献2)と同じ, p.21
- 8) 八星泰ら; “工場操作シリーズ 篩分編,” pp.98-108, 化学工業社(1968)
- 9) 坂下攝; “最近の製剤技術とその応用 I,” p.23, 医薬ジャーナル社(1983)
- 10) 文献5)と同じ, p.47
- 11) 堀合誠; “粉粒体製品の品質を保持するふるい分け操作,” 粉体と工業, 31(7), p.50(1999)
- 12) 文献11)と同じ, p.52