

ホソカワアルピネ AG における技術革新 Innovation at Hosokawa Alpine AG

シュテフェン・サンダー^a, ミハヤエル・ハイネッカー^b
Steffen SANDER, Dr.-Ing., Michael HEINECKER, Dipl.-Ing. (FH)

^a ホソカワアルピネ AG, 粉体処理技術研究開発部長
Manager R&D - Powder and Particle Processing, Hosokawa Alpine AG

^b ホソカワアルピネ AG, 薄膜フィルム製造技術開発部長
Manager R&D - Film Extrusion Technology, Hosokawa Alpine AG

Abstract

Hosokawa Alpine, founded in 1898 and based in Augsburg, Germany is one of the leading companies in the fields of “Powder and Particle Processing” and “Film Extrusion Technologies”. The article highlights some of the many innovative products of Hosokawa Alpine. It is also shown, that once a product is introduced into the market, it is continuously further developed to meet the requirements of customers with a huge variety of applications.

The introduction of the air classifier ATP, for instance, was a milestone in powder processing enabling precise powder classifying with very fine cut points. However, it was developed further through the years in order to reach even finer top cuts, higher production rates and decreased pressure drop resulting in lower operating costs. Closely connected to the development of these air classifiers is the development of the fluidized bed opposed jet mill AFG and its related mills. Making use of the fact, that the feed material is comminuted autogenously by particle-particle collisions, this machine has become a working horse in fine grinding of all kind of materials.

The development of the internal recirculation classifier Ventoplex C was focused on the processing of mineral powders produced at very high production rates with reduced operating costs. In contrast to that, the *picoline*[®] is well suited for the processing of powders in very small quantities targeting the R&D labs of customers dealing with high value materials.

In film extrusion Hosokawa Alpine launched a new blown film line with up to 11 layers, extending the possibilities in blown film applications with a number of sophisticated solutions. The application of the new mono-axial film orientation lines MDO helps to further improve the cost efficiency in blown film production.

1. 紹介

アルピネ (“Alpine”) のブランドは、20 世紀前半の早い時期に、既に産業界において高い評価を得ていた。アルピネは 1998 年に 100 周年を迎えたが、今日に至るまで、最先端技術分野で、最高品質を提供し続けてきた。世界中のお客様から信頼を得ており、ホソ

カワアルピネ社の 2 つの部門（「粉体処理技術」と「薄膜フィルム製造技術」）は、各々の分野でのリーダーである。

ホソカワアルピネ AG は、ドイツのアウクスブルクに拠点を置き、従業員は 650 名を数える。

顧客ニーズの多様化に適応していくためには、絶えず革新的な製品を生み出すことが重要であり、研究開

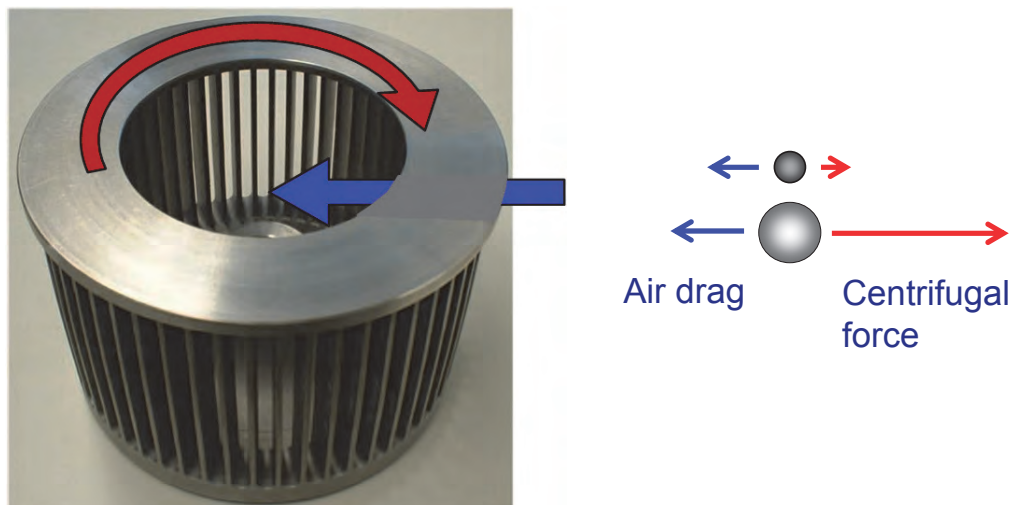


図1 空気分級機の基本原則 (ATP 分級ロータ)
Fig. 1 Basic principle of a dynamic air classifier (ATP classifying wheel)

発は長期的な経営戦略の要であると確信している。

ホソカワアルピネ社は、粉体処理技術と薄膜フィルム製造技術の両方について、テストセンタを配置して、これを維持している。経験の豊かな技術者とテストマンを揃えているので、コスト効率の高いシステムと革新的なプロセスを提供することが可能である。

2. 粉体処理技術

アルピネ社が設立された1898年は、ホルツァイアー氏が、大成功したユニバーサルミルの設計と製造をもって粉砕機の会社を設立した年であり、同技術は、今日でもホソカワアルピネ社の主要技術のひとつである。全時代を通じて、高品質な粉体を製造するために粉砕機の開発が行われて、今日ホソカワアルピネ社では、粒子径 $1\mu\text{m}$ にまで粉砕することが可能である。例えば、人間の髪の毛は直径約 $100\mu\text{m}$ である。

粉砕機を開発するのと並行して、粗粉と微粉を分離するために、空気分級装置を開発して、その技術確立した。その開発プロセスにおいて1967年に、アルピネ社は分級性能 $1\mu\text{m}$ の世界記録を打ち立てた。

2.1. 高品質材料向け空気分級装置

アルピネ社は、ターボプレックス分級装置 (ATP) の開発により、高品質粉体処理の分野で高い評価を得た。同機は、高回転の分級ロータを備えた強力な空気分級装置である。空気流は、後工程に設置されたファンによって分級ロータを経由して吸引される。ファン

の後は、ほぼすべてのケースでフィルタが配置されている。粒子は気流中でよく分散されることが必要である。分級ゾーンに至ったとき、粒子には以下の2つの相反する力が作用する。

- ①中心から外に向かって放射状に作用する遠心力
- ②分級ロータの内側へ流れるときに生じる、中心に向かう空気抵抗力

ある一定のパラメータと粒子密度において、これらの力は、一定の粒子径 X_T で均衡する。

一定の粒子径 X_T より大きな粒子は、分級ロータによってはじかれて粗粉側に溜まる。一定の粒子径 X_T より小さい粒子は、分級ロータを通過して、微粉側に貯留される。

ATP分級装置の原理は、図2に示す通りである。プロセスチャンバーに入った後、分級エアは、水平に取り付けられたロータを通過する。微粒子は通過して、フィルタに移動する。分級ロータに阻まれた粗粉は、貯留部に落下する。粗粉は、分級装置を通過するまでに、上昇気流によって再循環させる。

大量処理を行う場合には、分級装置のスケールアップが必要である。もっとも小さい装置は50 ATPで、最大型式は1000 ATP (数値は分級ロータの直径サイズ (mm) を示す) である。スケールアップを行う場合、分級ロータの回転速度は、同じカットポイントが得られるまで、増加しなければならない。但し、分級ロータの回転スピードに限界があることは、理論的に明らかである。

ATPのマルチロータ分級装置 (特許登録) では、

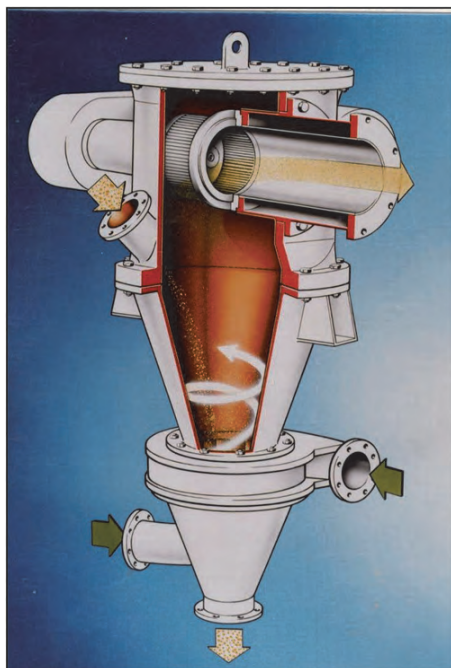


図2 ATP 分級機の概略図
Fig. 2 Schematic view of a ATP classifier

小型分級装置でのみ実現可能な微粒域について、処理量を大きくするために、ひとつのハウジングに分級ロータを6つまで配置することができるようになっていいる。研磨剤を粉砕する場合や、金属粉とのコンタミを防止したい場合には、この設計がしばしば活用される(図3)。

また、低コストで処理量を大きくしたいという顧客ニーズから、ATP/NG (NG) の開発 (NGはNew Generationを意味する) につながった。最新型ATPの分級ロータを使用する場合、ロータ速度、この場合

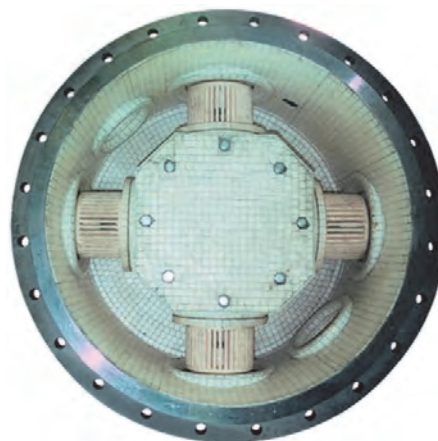


図3 200/4 ATP マルチ分級ロータ型の内部 (セラミックロータ, 内面セラミック貼り)
Fig. 3 Inside a 200/4 ATP multi wheel classifier (wheels in ceramics, inner walls with ceramic tiles)

は「ロータ周速」をさらに上げることによって微粒化が実現する。ATPの分級ロータは強力な旋回流を伴うので、ロータスピードの上昇は、圧力損失を招く。圧力損失とコスト増は比例する関係性にあるので、これはできるだけ避けなければならない。

一方、マルチロータ分級装置に組み込まれたロータの数をいくらかでも増やすわけにはいかない。ドライブユニットのスペースとコストを考慮しなければならない。

固体渦タイプの分級ロータを使用した分級機は、圧力損失を極めて低くすることができる。しかし、この装置の欠点は、おおよそ10 μ m程度にカットポイントが限定されることである。そこで、微細領域での新

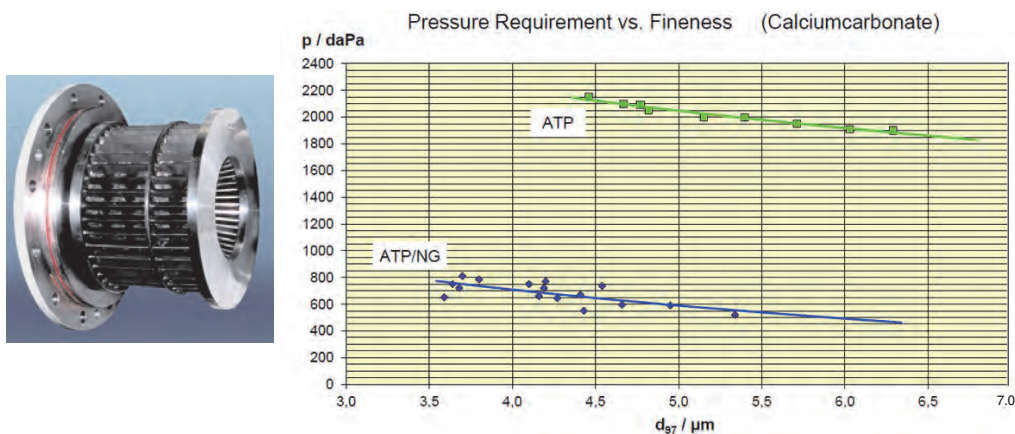


図4 ATP/NG 分級ロータ, 圧力損失と製品粒度の関係
Fig. 4 ATP/NG classifier wheel and pressure drop vs. product fineness

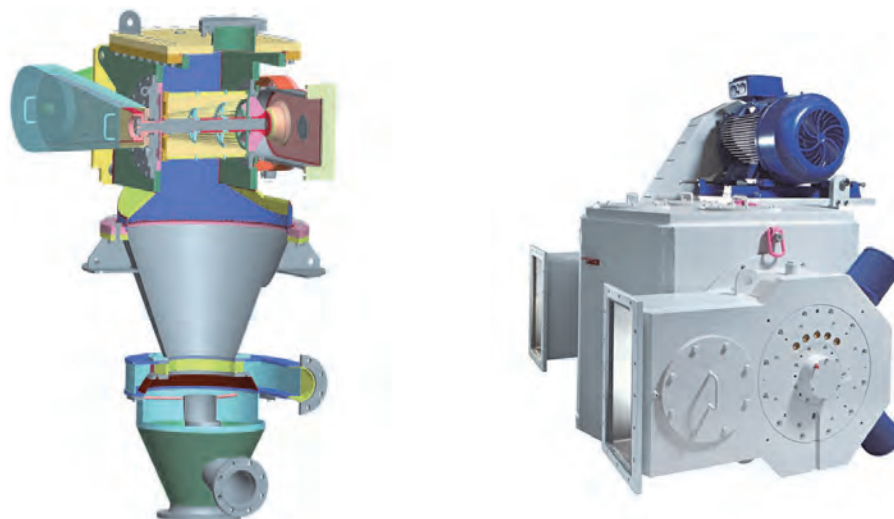


図5 ツインターボ式分級機：TTC と 630 TTD の概略図（2つの分級機構を持つ）

Fig. 5 TurboTwin Classifiers: Schematic of a TTC and 630 TTD (head with two fines discharges)

型分級装置は、両方のコンセプトを統合したものでなければならない。

ATP/NGのハウジングには、上記のとおり実績のあるATPの設計が用いられている。圧力損失を最小限に抑え込むために、中実型の分級ロータが採用された。

ATP/NG分級ロータは、最新型のATPより、圧力損失が小さくなっている（図4）。さらに、ATP/NGは、 d_{50} $1\mu\text{m}$ 以下で、 d_{95} $2\mu\text{m}$ 以下の微粉製品の生産を可能にしている。

高品質製品を得るためのポイントは、ロータの回転速度と流体の半径方向速度のバランスである。ツインターボ型の分級装置を開発した時には、流体の半径方向速度を減少させるために、分級ロータを長くし、かつ回転速度を上げるために、分級ロータのベアリングは両持ちが採用された。結果的に、分級機の回転スピードは、 100 m/s の範囲になっている。

この特殊なデザインによって風量を増加させることができ、ツインターボ分級機はより多くの処理量が得られるため、低い運転コストを特徴とするATP/NGの利点を生かしながら超微粒子鉱物製品の大処理用に適している（図5）。

2.2 流動層式対向ジェットミル

流動層式対向ジェットミルAFGは、ジェットミルの粉砕部を革新的に改良し、1981年にアルピネ社によって紹介された。同タイプの粉砕機では、供給原料

の粒子と粒子が衝突することによって、粉砕が行われるという原理が使用されている。

ノズルから圧縮ガス（空気、窒素、アルゴン等）が噴出されたとき、圧縮ガスは超高速になり、熱は運動エネルギーに変換される。水平ノズルを使用することで、噴出するガスのスピードは、音速にまで加速される。例えば、 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ で6気圧を超える圧力で圧縮された空気は、ノズル出口で、約 500 m/s のスピードに達する。プロセスチャンバ内部の粒子は、ジェット気流に乗って加速されて衝突する。すなわち、対向するジェット気流が衝突するポイントで、粒子同士が衝突する（図6）。衝突スピードが速いほど粒子は細くなる。ただし、衝突ポイントを1点に集中させることが、効率的な粉砕に重要である。メガジェットノズル（特許登録）は、4つの小さいジェットノズルが近接しており、その結果中央部で圧力が低くなっている。そのことにより、粒子は流動層から、ジェットの中央部に誘引される。

膨張したガス流に乗って、物質は分級部に流れていく。ATP/ATP-NGのシングル分級ロータタイプ、あるいはマルチ分級ロータタイプの組み合わせによって、AFGの粒径は、分級装置の回転数によって調整される。粗粒は機内に留まって、流動層に落下して再び粉砕される。

流動層式対向ジェットミルの基本原理は皆同じであるが、異なる顧客ニーズに対して、様々な解決方法がある。図7は、清掃性能を優先した医薬仕様のアプリ

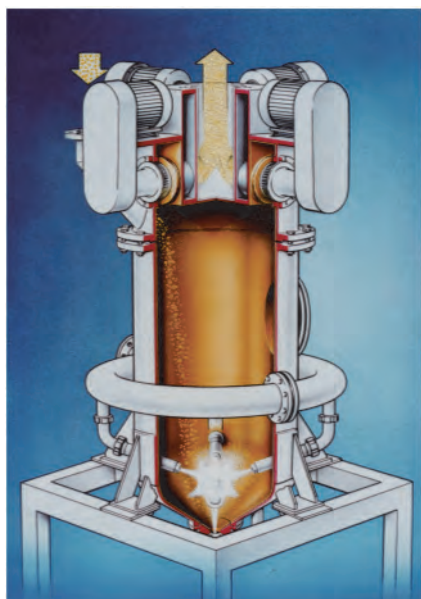


図6 AFG流動層式対向ジェットミルの概略図

Fig. 6 Schematic of a AFG fluidized-bed opposed jet mill



図7 医薬仕様 200 AFG
Fig. 7 200 AFG in pharma design



図8 TFG流動層式対向ジェットミル
(トップを開いた状態)
Fig. 8 TFG fluidized-bed opposed jet mill with classifier in open position

ケーションの事例である。清掃性は、トナー製造プロセスに適した流動層式対向ジェットミルTFG(図8)を開発した時に、最重要となった課題である。本装置に用いられているTSP分級機の分級ロータは、数ミクロンのレンジで、トップレベルの分級性能を示す。分級機を開閉するメカニズムは、プロセスチャンバの操作性を向上させるので、清掃時間を短くすることができる。

最新の流動層式対向ジェットミルには、TTD分級装置が搭載されたものもある。同タイプの装置は、例えばタルクやグラファイトなどの用途で、さらに細かい粉体を製造することが出来る。

2.3. 高収率生産ライン向けベントミックスC型分級機

ベントミックスC型分級機は、省エネルギーで大処理量の内部循環型分級装置である。粒度域は、 $D_{97} = 24 \mu\text{m}$ から $200 \mu\text{m}$ の間である。それは、モース硬度で7-8までの研磨剤に最適である。

このタイプの粉砕機の開発は、1908年にまでさかのぼり、ホルツァイアー氏の会社は、同年に循環型分級装置(図9)の特許を取得した。継続的な研究開発の後、ベントミックスB型が1970年に販売開始さ

れ、このことが多くの研究開発に繋がった。但し、分級性能の低さ、エア量の不安定性、分級径の粗さ($45 \mu\text{m}$ を下回ることが出来なかった)などの問題点があった。ベントミックスC型の研究開発は、2000年からの10年間の中頃ようやく始まった。

分級とファンの2つの機能のために、異なるスピードで運転できるように、同軸上に2つの回転ユニットが設けられている(図10)。原料は、シャフトの中空部を通じて機内に投入されて、整流板で一旦分散される。粗粉は上昇するエア流に逆らって落下して、粗粉回収用円錐容器に溜まる。それらは、円錐容器から取り出すことができる。

一方、微粉はエア流に乗って分級ロータに運ばれる。分級ロータでは、粒子は2つの異なる作用、遠心力と気流抵抗力を受ける。粒子が粗い場合は、遠心力ではじかれてしまうのに対して、粒子が細かい場合は気流から受ける抵抗力が勝って分級ロータを通過する。分級ロータの微粉側は、ファンの吸引ゾーンに直結している。微粉は空気流と共にファンを通過する時に周方向に加速される。サイクロンと同じ効果により、微粉は遠心力によって、プロセスチャンバの外壁で空気流と分離され、下部コーンを通して排出される。ロータリバルブによって、プロセスチャンバは、外気と遮断されている。

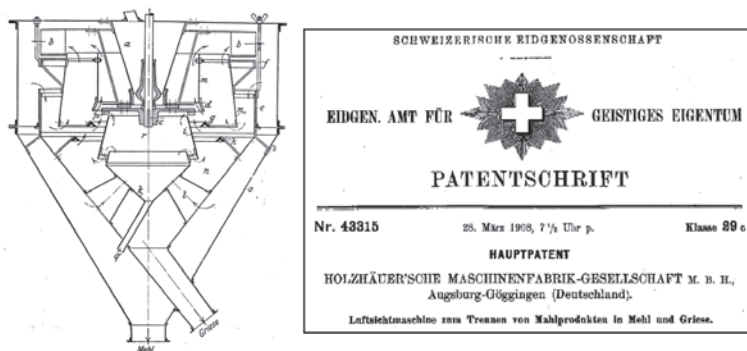


図9 アルピネ 循環型分級装置の初期スケッチと特許証（1908年）
ベイトミックスC型：3つの異なる機能（分級，ファン，サイクロン）が1台の装置に組み込まれた内部循環型分級装置

Fig. 9 First sketch and patent for an Alpine recirculation air classifier from the year 1908
The Ventoplex C - as every internal recirculation classifier- combines 3 different functions (Classifier, Fan, Cyclone) in one machine:



図10 ベントプレックスC型の構造とC21Vの分解写真
Fig. 10 Section drawing of Ventoplex C and dismantling of a C21V

開発ならびに設計の段階で、全ての関連部品について耐摩耗に対して注意が払われた。すべての回転部品の取り外しが簡単にできるように配慮されて、メンテナンス性が向上した。さらに、図11に見られるように、処理能力も劇的に向上している。分級ポイントは、明らかに微細領域に達し、かつ処理能力も高いレベルが維持されている。

ベントミックスC型は、多種多様なアプリケーションを持ち、広い粒径範囲に使用されている。石灰、生石灰、石灰肥料、ベントナイト、ドロマイト、石膏、鉍石等のような産業用鉍物について、コスト効率よく処理することができる。また、例えばガラス粉のような研磨剤、あるいは食品や飼料の配合成分、化学材料などの分級にも用いられる。

2.4. 極少量用のピコラインシステム

今日、例えばナノテクノロジー、医薬あるいは特別な化学物質のように高付加価値材料に対する需要が日増しに高まっているが、その場合、研究者が取り扱える原料が極めて少量であることが多い。何百というサンプルをテストする場合には、さらに1件毎のテストに使用できるサンプル量は減少せざるを得ない。ピコライン（図13）が開発されたことによって、1バッチ1gから数gの範囲で処理することが可能になった。

同システムは、人間工学に基づいてレイアウトが行われており、ピコラインの各機能部材（モジュール）を納める卓上型プラットフォームで構成されている。サイズがコンパクト化されたため、実験用ドラフトチャンバの内部に配置することが可能になった。制御盤

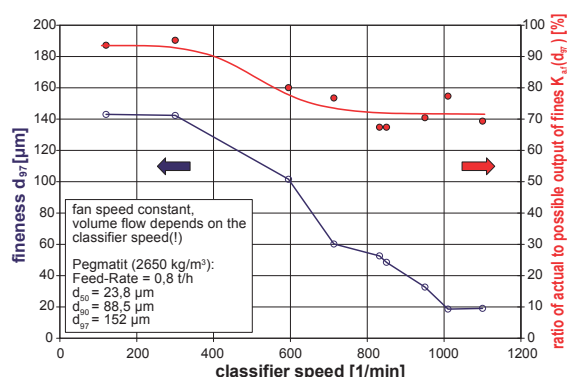


図 11 メディアン径 D_{97} と分級スピードと製品収率の関係

Fig. 11 Product fineness d_{97} and ratio of actual and possible output of fines as a function of classifier speed

(図 14) は、ピコラインの全ての機能に対して標準化されており、操作を行うのに必要なすべての電気的、機械的な部品が含まれている。外部メディアは、アダプターを介して接続可能なため、特別な接続部品は必要ない。

同シリーズは、10 種類のモジュールで構成されており、広範囲の用途をカバーしている。

- ・粉砕：インパクトミル (図 15)、コントラプレックスピンミル、エア分級機能付粉砕機、流動層対向ジェットミル、スパイラルジェットミル、湿式媒体ミル、粗粉砕機

- ・分級：超微粉用分級機

- ・混合：バッチ式混合機、高エネルギー負荷式混合機

ピコラインは、供給機やフィルタなどの付属品を組み込むことで完成し、コンテインメントシステムとしても使用できるようになった。

3. 薄膜フィルム製造技術

薄膜フィルム製造技術は、世界的に事業展開しており、インフレーションフィルムの製造ライン (図 16)、延伸装置 (MDO)、巻取装置の国際的サプライヤーとして、高い評価を得ている。

ホソカワアルピネ社のインフレーションフィルムの技術は、薄膜フィルム製造の分野における新しい標準とみなされており、今日市場で最も革新的技術と考えられている。同システムは、フレキシビリティに富み、なおかつ経済的かつ信頼性が高いという特徴がある。このようにして、ユーザーは希望する高品質と高

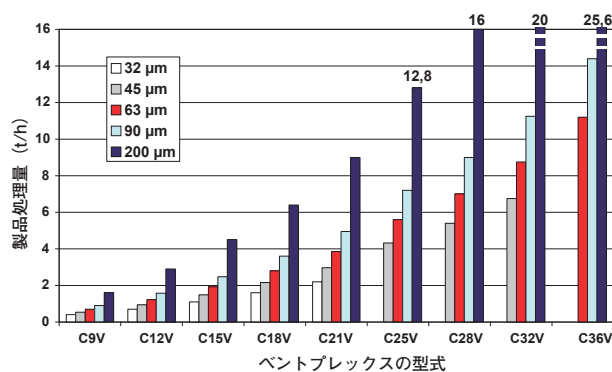


図 12 ベントプレックス C 型のスケールアップと製品処理量の関係

Fig. 12 Production rates for different sizes of the Ventoplex C at several fineness levels (GCC)

利益を獲得することが可能となる。

3.1. アプリケーションの多様性

ホソカワアルピネ社は、1955 年以降薄膜フィルム製造システムを製造販売している。アルピネ社は、ワンストップショッピングのコンセプトのもと、11 層までのインフレーションフィルムの全製造システムを一括提供している。考え得る全てのインフレーションフィルムのアプリケーションに対して、オーダーメイドの設計思想によってシステムを提供しており、世界中のユーザーに利用されている。例えば、光沢印刷や高品質包装材を使用した透明ラベルフィルム、よりのかかったキャンディ包装材、押し出し成形フィルムでできた取手付き商用バッグ、容易に剥がすことのできる高機能金属ラミネートフィルム、水蒸気バリア性を持つ食物性材料、高い剛性を持つ袋、高耐久性が必要なザック用フィルム、圧着フィルム、パレット置き場用のフード、特殊な表面保護材、高粘着性のマスキングフィルムなどであり、そのいくつかを図 17 に示す。我々はマーケットの高品質分野に焦点をあてており、商用パッケージ用の高収率のフィルム生産ラインを提供している。

商用パッケージと比較して、高バリア性フィルムの分野は、高い成長性が見込まれるだけでなく、利益率が高く、研究者に格好の材料となっているが、それにも関わらず比較的小さな市場規模しか認められていない。直近の推定値では、高バリア性インフレーションフィルムの製造ラインは、毎年約 20 件が新設されているようである。



図 13 ピコプレックスのモジュール部材を装着したピコラインのプラットフォームフォーム

Fig. 13 picoline[®] platform with picoplex[®] function module

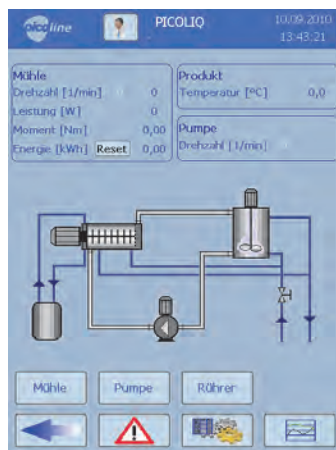


図 14 ピコラインのタッチパネルの外観

Fig. 14 View on the touch panel of the picoline[®]



図 15 ピコプレックスのモジュール部材の粉碎部

Fig. 15 Grinding tools of picoplex[®] function module

3.2. 最新型 11 層フィルムのコンセプトとフレキシビリティ

9 層フィルムに代わるものとして、11 層フィルムを開発する目的は、将来を見越した新製品開発を行い、なおかつ顧客ニーズに応えるためである。新技術は、5 層から 11 層までバリア性フィルムで構成されているのみならず、良好な通気性を持ち、なおかつフレキシビリティが確保されている。

まず、X シリーズの新型 11 層用ダイヘッド（特許登録）は、高いフレキシビリティを維持している。あらゆる種類の適当な材料が、その粘度が異なってもいずれの押し出し機でも、スクリュの交換なしに使えるため、無限に近い層構造が可能である。それは対称的であっても非対称的であっても、層構造が均一であっても不均一であっても可能である。

生産プロセスでは原料交換や清掃の時間を取るのが難しいので、フレキシビリティを確保するために、ダイヘッドの設計に大きな注意が払われた。また、顧客自らがテストを行って確かめることができる 11 層フィルム用テストセンタ（図 18）が必要であった。テストセンタでは、顧客と一緒に、新しい原料、新しい配合、新しい層構造の試験が実施されて、新しい製造プロセスの成否が検討される。

ホソカワアルピネ社のインフレーションフィルムの心臓部は、フィルム押出部 X- ダイヘッド（特許登録、図 19）である。X- ダイヘッドの流体力学上革新的なデザインと高精度部品の組合せは、フィルムの製

造誤差を最小にするとともに、運転時間を極小化し、原料交換時間も短縮した。その結果、同業界のインフレーションフィルム製造システムの中では、最も効率的なものとして評価されるようになった。

スパイライ分配システムは、個々の層の分布やフィルム厚さの許容値を確保し最高品質のフィルムを製造するために特別に設計されている。流れの最適化により新しい、改良された境界値を定義することが可能となった。

最高品質の新基準に適合した特別な部品を製造することができるように新しい製造方法を開発した。流体力学の計算に基づいて考案された自動クリーニングシステムは、運転時間を削減するとともに、全生産プロセスをシステム化して完璧にする意味があった。

ダイヘッドの設計をコンパクト化することによって、流れの距離は短くなり、運転時間が最小とって、寿命が長くなった。そのことで、生産ラインの有用性が高まり、原料の消費量も少なくなった。

フィルム層の粘度と厚さが大きく変化した場合でも、層が安定的に押し出されるように、溶けた原料が混合されるゾーンを設けている。外層にあるスパイラル分散構造は取扱いが難しいような材料が処理される時にもトラブルが起こらないように設計されている。

HXS 押出成形機は、例えば LDPE, LLDPE, HDPE, MDPE, mLLDPE, EVA, PP などのポリオレフィンフィルムを、PET, PA, EVOH を含むバリア性原料と同等に製造するために、万能型のスクリュ

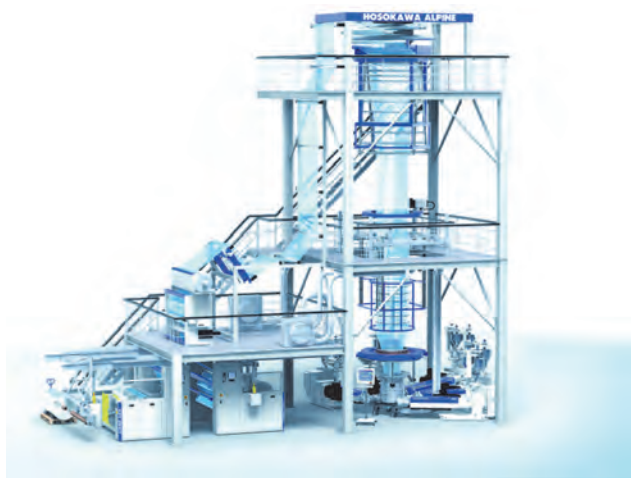


図 16 システム全景のキャド図面
Fig. 16 CAD drawing of a complete line



図 17 インフレーションフィルムの適用例
Fig. 17 A few examples of blown film applications



図 18 運転中の 11 層インフレーションフィルム製造ライン
(テストセンターにて)
Fig. 18 The 11 layer blown film co-extrusion line in
operation in our test center



図 19 5 層用の X-ダイヘッド
(特許登録済)
Fig. 19 The patented X-Die
(example of a 5-layer
die)

が装備されている。

これとは別に、フレキシビリティに富み、フィルム製造の広い用途に利用可能なクーリング環を備えた革新的な冷却装置を持つ製造ラインも提供している。最新システムでは、フィルム薄さに関して最高品質を実現した。ホソカワアルピネ社の ExVis 制御システムは、モニタリングによるプロセス監視と製造方法の制御により、インフレーションフィルムの製造ラインを完全にコントロールすることができる。また、オペレータに製造ラインの完全な情報を提供することが可能である。

運転コントロールのために、スマートボックス・ド

ライプの概念に基づき、最先端の組立ユニットが用意されている。

3.3. 1 軸フィルム延伸製造ライン (MDO) と TRIO システム

ホソカワアルピネ社は、1 軸延伸フィルム製造システム (MDO: Machine Direction Orientation) のマーケットリーダーである。同システムの中で、インフレーションフィルムは、必要に合わせて調整された、スピードの異なる回転ローラの間を通過することで引き延ばされる。その回転スピードの比は、材料によって 1:3 から 1:10 までがえられる。



図 20 1 軸延伸フィルム製造システム MDO
Fig. 20 Mono-axial film orientation line MDO

1 軸延伸フィルム製造システムを用いることによって、フィルム特性（薄さ、強靱性、剛性、非破壊抵抗性、引裂き特性、光沢性、透明性、バリア特性、透湿性等）を、顧客ニーズに合わせて、最適なものにすることが可能である。製造プロセス中、フィルムは横軸方向にたわみが生じるので、その結果幅が足らなくなる。たわみはフィルム薄さの原因となり、横軸方向では両端が薄くなり、その結果フィルム中央からフィルムの端に向かって徐々に薄くなる。後工程にフィルムを流すためには、フィルムの平滑性と薄さを両立する

ことが重要であり、そのためには、端部の切り取りが必要である。

同システムの欠点を克服するためにホソカワアルピネ社は、TRIO システム（特許登録、Trim Reduction for Inline Orientation）を開発した。TRIO システムを採用することによって、切れ端は顕著に少なくなり、原料の削減と出来高の増加が実現された。システム全体の効率性が強化されているので、TRIO システムを付加しない MDO システムと比較して、TRIO システムを持つ MDO システムは、切れ端が約 50 % も減少して、なおかつフィルムの平滑性も向上した。

4. 結論

2つの事業部、粉体処理技術と薄膜フィルム製造技術を持つホソカワアルピネ社は、設立以来持続的な経営的發展を維持しており、その過去の歴史を振り返ると、絶えず革新を行い、柔軟な企業活動を実行することにより、度々の困難を克服してきた。最新の工場と製造設備、そして高いレベルの教育と訓練を受けた志の高いスタッフが揃い、さらに高品質を保証する“メイド イン ドイツ”のブランドがあつてこそ、ホソカワアルピネ社は、これからも顧客の信頼に応えることができるのである。