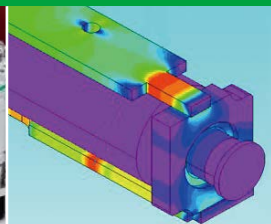
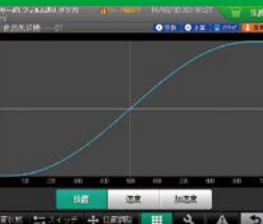


CKD技報

CKD TECHNICAL JOURNAL

Vol.2



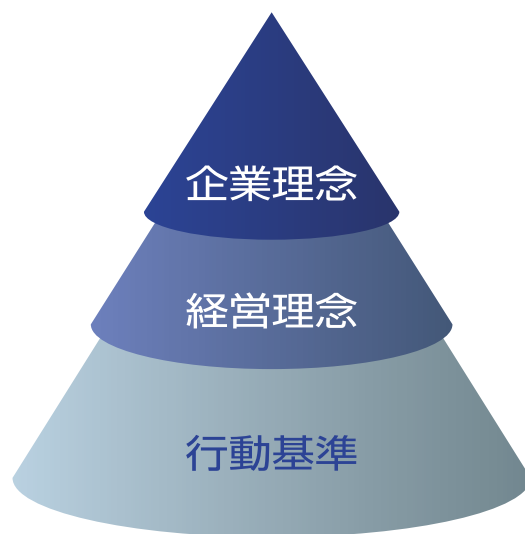
企業理念・経営理念・行動基準

Corporate Philosophy and Corporate Commitment

企業理念には当社グループの進むべき方向を明確にするため「流体制御と自動化の革新」を明記し、社会に貢献することを宣言しております。

経営理念は、企業理念を実現するために全社員が守らなければならない約束ごとを5項目に分け、全社員が責任を持って実行できる体制を目指してまいります。

行動規準は企業理念および経営理念に基づき、全社員が順守し実践すべき具体的な事項を定めたものです。



企業理念

私達は創造的な知恵と技術で
流体制御と自動化を革新し
豊かな社会づくりに貢献します。

Corporate Philosophy

With creative knowledge and technology,
We shall innovate fluid control and automation,
Thus contribute to build rich society.

目次

市場とお客様のニーズにお応えして	1
 食品包装機「CFF-360E」	2
 薬塵の飛散を抑える薬品包装機「コンテインメントブリスト」の開発	6
 PTPシート・錠剤異物検査装置「フラッシュパトリ」	9
 はんだ印刷検査機の高機能化	14
 リチウムイオン電池捲回機の異物混入対策	17
 倣いステージ エアジャイロ	20
 ルブキーパによる耐久性向上	24
 独自弁構造による空圧3ポートバルブの大流量化	28
 パルスショット式流量コントローラ	32
 医薬品製造工程向けサニタリーバルブ	36

Table of Contents

Meeting the Needs of Markets and Customers	1
 Food Packaging Machine "CFF-360E"	2
 Development of Pharmaceutical Packaging Machine "Containment Blister" to Suppress the Particulate Scattering	6
 Foreign Particle Inspection Machine for Blister Sheet and Tablet "FLASH PATRI"	9
 Improvement of Function for Solder Paste Inspection Machine	14
 Foreign Matter Contamination Prevention of Lithium Ion Battery Winding Machine	17
 Air Gyro, the Tracing Stage	20
 Improvement in Durability with Lub-Keeper	24
 Large Flow Rate Achieved by Adoption of Unique Valve Structure in Pneumatic 3-Port Valve	28
 Pulse Shot Type Flow Controller	32
 Sanitary Valves for Pharmaceutical Manufacturing Processes	36

市場とお客様のニーズにお応えして

Meeting the Needs of Markets and Customers

野澤 好令 Yoshinori Nozawa

CKD株式会社

代表取締役 専務執行役員

CKD Corporation

Executive Director & Senior Managing Executive Officer



CKDのコアテクノロジーは、医薬品包装機械をはじめとする自動機械部門と、設備の自動化に使用される空気圧機器や流体制御機器などの機器部門に分けられます。当社商品をご使用いただいているお客様は、自動車、半導体、医療・医薬、食品など幅広い産業分野に渡ります。そのためお客様からのご要望も安心・安全への対応や、省エネ、高速、高頻度、高寿命をはじめとする厳しい環境下での性能対応など様々な技術が求められています。

昨年発刊したCKD技報「創刊号」では、長年にわたる自動機械部門の技術を紹介し、今回の「第二刊」では自動機械部門に加え機器部門の技術も掲載しています。

自動機械部門は、お客様に安心してお使い頂く為に安全性をより向上させた技術開発や、不良品を流出させない画像検査技術を掲載しています。

機器部門は、研究・開発で培ったコア技術を活用し、幅広い分野のお客様のご要望にお応えした要素技術及び製品技術を紹介しています。

CKDは70年を超える歴史の中で、国内だけでなく海外のお客様にも商品をご利用いただき、お客様および市場のニーズにお応えしてまいりました。CKD技報を発刊することによりお客様の課題解決の糸口となり、お客様からの新しい情報を頂くきっかけになれば幸いです。

これからもCKD企業理念である「私達は創造的な知恵と技術で流体制御と自動化を革新し豊かな社会づくりに貢献します」を念頭におき、一層の研究開発・事業の展開に邁進していく所存です。

引き続き変わらぬご支援、ご指導をお願い申し上げます。

CKD's core technologies are grouped into an Automatic Machinery Products Segment that includes automatic pharmaceutical packaging systems, and a Component Products Segment that includes pneumatic and fluid control components used for equipment automation. Our products are used by customers in a wide variety of industrial fields, such as the automotive, semiconductor, medical and pharmaceutical, and food industries. This requires of us to provide a wide range of technologies capable of meeting customer demands for safety and security, and that ensure performance under harsh operating conditions, including energy-savings, high speeds, high cycling, and long life.

The first issue of "CKD technical journal" we released last year introduced the technologies that our Automatic Machinery Products Division developed over a long period of time. The just-released second issue reports on the technologies of the Component Products Division in addition to those of the Automatic Machinery Products Division.

The section on the Automatic Machinery Products Segment covers the development of technologies that have significantly enhanced safety features and, by that, ensured the safe use of products by customers, and image inspection technologies that prevent defective products from leaving factories.

The section on the Component Products Segment introduces component technologies and product technologies that have met the demands of customers in a wide variety of fields by making use of core technologies cultivated through our research and development. Over our more than 70 years of history, we have met the needs of customers and markets as customers not only in Japan but also abroad have and still use our products. We really hope that our publishing of "CKD technical journal" will provide our customers with clues for solving their problems and provide us with new information from them. We will continue to expand our research and development efforts and grow our businesses, keeping in mind CKD's Corporate Philosophy – "With creative knowledge and technology, we shall innovate fluid control and automation, thus contribute to build rich society."

We highly appreciate your continued support and guidance.

食品包装機「CFF-360E」

Food Packaging Machine「CFF-360E」

西山 敏和 Toshikazu Nishiyama

森 崇文 Takafumi Mori

コンビニエンスストアやスーパーマーケットなどで個食ブームが到来し、食品包装へのニーズもより高まってきた。ライフスタイルの変化により、調理に手間がかからず、開封後一食で食べきる事ができる食品が求められるようになったことが背景にある。またそれらを生産する設備には、異物混入や作業員への危険を徹底的に取り除く必要がある。近年、労働安全衛生法の改正もあり、機械に求められる安全性も高まってきた。

今回は最新の安全基準を満たし、従来の操作性を更に向上させた食品包装機「CFF-360E」について紹介する。本機械は容器の成形から打ち抜きまで一貫工程のため極めて衛生的である。さまざまな成形形状にも対応できるため、食品だけでなく日用品やトイレタリ商品にも対応できる機械である。

Individual foods (foods packed for one person) have been popular in convenience stores and super markets, and the need for food packaging is further growing. A change in life style has brought this trend as people have come to demand foods that can save cooking time and can be eaten up at one time after the package is opened. Production facilities for such foods are required to completely eliminate the risk of contamination and danger for workers. In recent years, the level of safety demanded for machines is increasing to meet the amendment of the Industrial Safety and Health Law.

This article describes the food packaging machine CFF-360E that meets the latest safety standards and has operability further improved than conventional machines. This machine performs consistent packaging processes from container forming to punching, which realizes very hygienic packaging. This machine is capable of forming various shapes of containers and can be used not only for food but also for daily commodity and toiletry products.

1 はじめに

食品包装へのニーズが高まってきた。個食ブームにより、開封後一食で食べ切ることができる食品が求められている。当社の食品包装機は、いろいろな成形形状に対応し、個包装ができることからこれらのニーズにマッチしている。

食の安全が注目されている中、食品包装機は、容器の成形から打ち抜きまで一貫工程であるため異物混入に対してのリスクが非常に少なく極めて衛生的である。

機械の安全に関しては、平成24年4月に「機械危険情報(残留リスク情報の提供)」が省令として施行されるなど、機械の安全性への要求も高まっている。

このような背景から、20年ぶりに当社の食品包装機を改良し「CFF-360E」を開発した(Fig.1)。

本機械は「安全」「環境」「容易」「デザイン」をコンセプトとして、廃材の削減、消費エアの削減など環境に配慮。安全機能も充実させている。容易に操作ができるよう操作画面も一新した。この機械について紹介する。



Fig.1 CFF-360E

2 機械の概要

使用する包装材料は、容器フィルム、蓋フィルムともにロール状に巻かれたシート状のものである。容器はPP(ポリプロピレン)やPS(ポリスチレン)などの熱可塑性樹脂で、0.2mm～1mmの厚さのものを用いる。

容器フィルムは加熱装置により成形可能な軟化温度まで加熱し、成形装置でカップ状に成形される。成形されたカップに充填機で定量充填した後、シール装置により蓋フィルムとヒートシールされる。打抜装置により、1カップ毎に打ち抜かれ製品となる(Fig.2)。

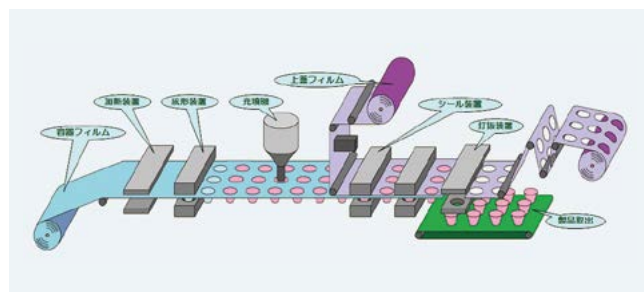


Fig.2 機械の概要

3 機械の安全性

安全な機械を提供するためにリスクアセスメントを実施する。リスクアセスメントは、危険源を洗い出し、どれぐらいのリスクがあるかを見積り、そのリスクを評価する。その後、リスクに対しての低減方策を実施する。

リスク低減方策としての第一優先として「本質安全設計」があり、その次に「安全防護」がある。安全防護として、固定ガードにて人と機械を分離することで安全方策を行なう場合がある。しかし、点検などが必要な部分に関しては固定ガードによる防護はできない。それらの部分については、可動式ガードにて防護することになる。可動式ガードについては安全上のため、基本的にはインターロック装置を用いる。インターロック装置とは、例えば、ガードが閉じた状態でなければ機械が運転できないようにするものである。この部分に関しては非常に高い安全性が要求されるため、信頼性が重要視される。

本機械は、このような可動式カバーのインターロック回路について、カバー開放部の駆動電源を遮断し安全を確保している。

また、点検が容易に行えるように加熱・成形・シール型を開閉できるようにしているが、ここには型開閉アシスト装置が取り付けられており、力が弱い人でも簡単に開閉できるようにしている。この部分についてもインターロック回路を設けている。また、型の固定忘れ対策も実施している(Fig.3)。

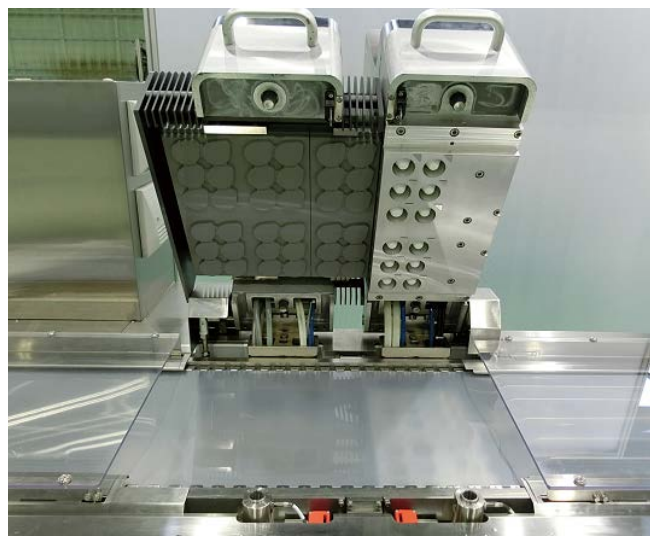


Fig.3 型開閉インターロック

4 製品品質の安全性

製品を良い品質で生産するためには、安定して稼働することが求められる。ここでは、安定した製品を生産するために行なっている技術を紹介する。

4-1 マーク合わせ

安定して製品を生産するには、成形されたカップと蓋フィルムの印刷絵柄を一致させなければならない。蓋フィルムには、絵柄に対して位置が保証されている「レジマーク」を印刷している。この蓋フィルムの「レジマーク」に対して成形カップが一致するように制御する必要がある。以下ではこの制御を「マーク合わせ」と呼ぶことにする(Fig.4)。

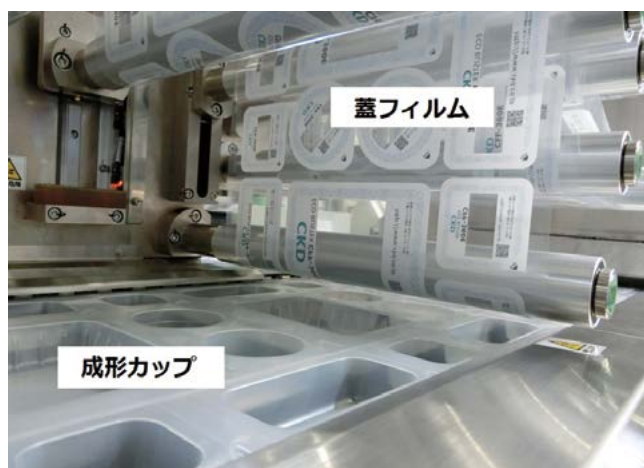


Fig.4 マーク合わせ

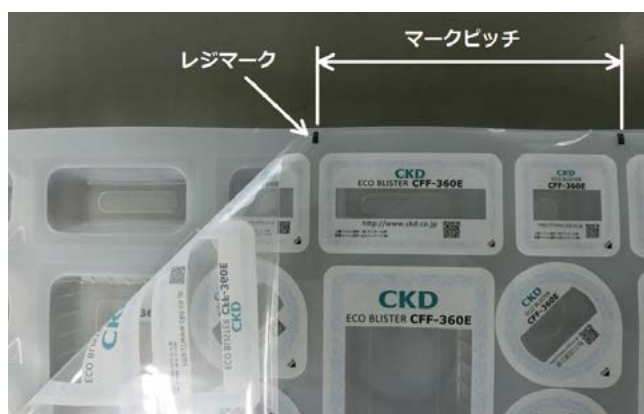


Fig.5 レジマーク

印刷された絵柄は必ずしも一定のピッチ(ピッチとは上図(Fig.5)のマークピッチを示す)ではなく、若干の誤差がある。容器フィルムを一定のピッチで送った場合、この誤差は成形からシールまでの距離分が累積されるため、成形されたカップと蓋フィルムの絵柄が著しくずれ、良好な製品を製造できない。

この課題を解決するために、本機械では蓋フィルムに印刷されたレジマークの位置を読み取り、そのマークに合わせてカップを成形することで、蓋フィルムの絵柄と成形されたカップを一致させるようにしている。もう少し具体的に説明すると、蓋フィルムのレジマーク位置を搬送中のどの位置で検出したかを読み取り補正量を計算し、フィルム送り装置で送り量を補正することで成形されたカップと蓋フィルムの絵柄を一致させるようにしている。

4-2 型位置補正

成形されたカップに対してのシール位置や打抜位置のずれは、液漏れなどの不良につながる可能性がある。フィルムを加熱成形すると、加熱されたフィルムは熱膨張し冷却の過程で収縮する。このフィルムの収縮は、加熱の温度条件や周囲環境条件の変化により常に一定にはならない。

従って、成形装置で成形されたカップはシール型や打抜型の位置に対して若干のずれを生じる。

特に、PP(ポリプロピレン)についてはフィルムの収縮が大きいので、成形カップとシールの位置ずれや、打ち抜き位置ずれが発生する可能性がある。

この課題を解決するために、本機械では成形されたカップの位置を読み取り、その位置を計算しシール型装置または打抜き型装置の位置を補正移動させ、常に型を最適な位置に保つようにしている(Fig.6)。



Fig.6 型位置補正

マーク合わせ、型位置補正など位置調整の設定については、調整者が視覚的・直観的にわかり易いように補正方向と数値の関連性のイメージを含んだスイッチで表現している。また、設定についても入力間違いを起こさないように、0.1mm単位で簡単に調整できるようにしている(Fig.7)。

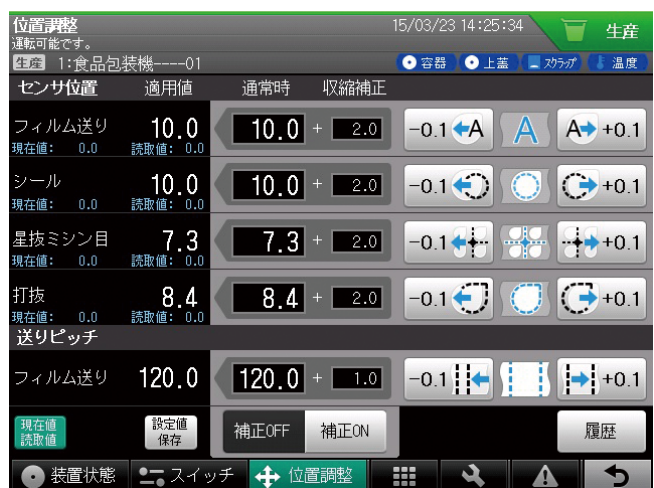


Fig.7 位置調整

4-3 フィルム搬送

液体を搬送する場合は充填物をできる限りこぼれないように搬送する必要がある。機械の生産能力を上げるためには、搬送時間を出来るだけ速く行うことが求められる。

そのためフィルム搬送には変形正弦曲線を使用している。

しかし、実際には成形カップの形状、充填物の粘度などにより変形正弦曲線ではうまく搬送できない場合がある。そのため、加速・減速時間の割合や加速度曲線の割合を変更し、充填物を搬送するのに最も適した曲線に調整できる

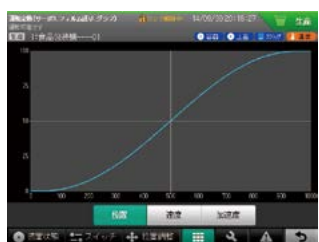


Fig.8 位置

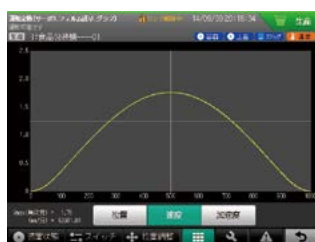


Fig.9 速度

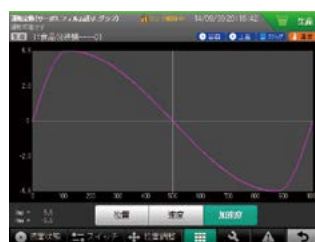


Fig.10 加速度

ようにしている。本機ではいくつかのパラメータを変更することで、変形正弦以外にも変形台形やその他さまざまなカム曲線を自由に設定することができる。実際に設定した位置・速度・加速度の曲線をグラフ表示させることにより、設定したパラメータが適切であるかをわかり易くしている(Fig.8、9、10)。

5 操作面での安全性

機械を操作するにあたり、わかり易く、操作間違いを起こさないことが安全性につながる。ここでは、その操作性について紹介する。

操作画面であるタッチパネルは、装置状態、トラブル表示、データの設定、スイッチの入/切などいろいろなことに使用される。スマートフォンやタブレットが普及してきた今日では、機械のタッチパネルについても、操作性、視認性が非常に重要となる。「見たい、見せたい情報がダイレクトに目に入る」、「直観的に操作ができる」ことをコンセプトに操作画面のデザインを行った。

5-1 装置状態

機械の稼働状況が確認しやすいように、操作盤の表面の色についても考慮している。操作盤の表面、タッチパネル本体の枠色、操作画面のベース色は黒を基調とした暗い色にすることで、画面に配置された白抜きなどの明るい色で表現された情報表示部分が目に入り易くなる。白抜きの部分に、生産状況や各ヒータ状態など、よく確認する項目を表示するようにして視認性を向上させている(Fig.11)。



Fig.11 操作盤

5-2 スイッチ画面

各機構の動作などを選択するスイッチがあるが、機械を初めて操作する人にはどのスイッチ名称と実際の機械装置名称がわからないため、操作するのに時間がかかる。本画面では、スイッチを入れると連動して機械レイアウト図の装置部が点灯するようにしている。

生産を行なう時は、全て「入」(または「自動」など)で行なう。スイッチ配置を横一列に並べ、全て上段のラン

ブが点灯している事を確認することで、生産に適したスイッチ状態であるかを視覚的にわかり易く表現している。これは航空機の各メータが全て水平でなければ異常であるという視認性を向上させる技術を応用している(Fig.12)。



Fig. 12 スイッチ画面

5-3 トラブル画面

トラブル画面については、機械のどの箇所が異常が発生しているのかわかるように機械レイアウト図の異常箇所が点灯するようになっている(Fig.13)。また本



Fig. 13 トラブル画面

画面には、機械レイアウトを表示するモードと、トラブル項目だけを一覧表示させるモードの2種類を準備しており、操作者のレベルに合わせた操作性を選択することができる。

発生中のトラブル名称部分をタッチすると、トラブルの詳細画面(Fig.14)が表示される。詳細表示にはそのトラブルの対処方法や、トラブル発生条件、関連するセンサなどの入力状態なども表示しており、原因や対応がわかり易くしている。トラブルについては、履歴が保存されており、どのようなトラブルが発生したのか後からでもわかるようになっている。



Fig. 14 トラブル詳細画面

6 おわりに

お客様の安全に関する意識は徐々に増してきたと感じるが、まだ安全に関する具体的な要求は少ない。しかし、当社は常に最新の安全基準を提唱していくことにより、業界全体の安全レベル向上に貢献していきたい。

今後お客様の声を取り入れながら、使い易さと安全性を両立した機械造りに取り組んでいく。

執筆者プロフィール



西山 敏和 Toshikazu Nishiyama
自動機械事業本部 開発部
Research & Development Department
Automatic Machinery Business Division



森 崇文 Takafumi Mori
自動機械事業本部 開発部
Research & Development Department
Automatic Machinery Business Division

薬塵の飛散を抑える薬品包装機「コンテインメントブリスタ」の開発

Development of Pharmaceutical Packaging Machine "Containment Blister" to Suppress the Particulate Scattering

和手 久直 Hisanao Wate

梅村 広幸 Hiroyuki Umemura

新薬の開発が進むにつれ抗がん剤に代表される高薬理活性剤は患者に対してより有益な効果を示す一方、製造現場の作業員に対しては有害になる。こうした現状を踏まえ、薬品包装機においても作業員の健康に悪影響を与えない構造にすることが求められている。作業員保護には、薬塵が飛散している環境で防護服を着用し曝露を防ぐ方法があるが、この場合専用の作業室を用意しなければならない。しかし薬塵の飛散を装置内に封じ込めることで一般的な薬品包装時と同じ環境下で作業が出来るようになる。そのメリットを活かすため、薬品の包装作業中及び作業終了後においても高薬理活性物質の薬塵を装置内に封じ込めるコンテインメント対応ブリスタ包装機を開発した。その技術について紹介する。

As the development of new medicines progresses, medicines with highly potent active pharmaceutical ingredients as represented by anticancer drugs, show more beneficial effects on patients, while they are harmful for workers on the manufacturing floor. Under these circumstances, pharmaceutical packaging machine is also required to have a structure which does not bring negative impact to workers' health. One method to protect workers is to wear protective clothing which can avoid exposure in an environment where drug dust scatters, however, this method requires a dedicated workroom. If scattered drug dust can be contained in a machine, it is possible to pack highly potent active pharmaceutical medicines in the same environment as general medicine. To realize this, we have developed Containment Blister, a packaging machine that can contain drug dust within the machine during and after packaging of medicine. This article describes the technology employed to this machine.

1 はじめに

高薬理活性剤の製造工程において作業員の安全を考慮した設備でなくてはならない。そのため高薬理活性剤の飛散から作業員の保護をすること、また他製品への混入を防ぐことが重要である。従来の作業員保護には防護服を着用する必要があったが、薬塵の飛散をブリスタ包装機内に抑制することで、作業員保護及び製品の交差汚染を防止する構造のコンテインメント対応のブリスタ包装機を開発した。

2 コンテインメントブリスタ包装機の特徴

作業員への曝露を防止するために必要な機能について説明する。

2-1 充填室の陰圧制御

陰圧制御システムは、HEPAフィルタを通してフィーダブース全体を排気するファンとボウル部、直進トラフ部、粉取BOX部、充填シュート部を排気する局所排気用のファンの2つで制御している。フィーダブース全体は外気に対し少なくとも-10Paになるように制御している。また、ファンが2つあるので仮にひとつのファンが故障したとしても片側のファンのみで陰圧は保てるので安全なシステム設計となっている(Fig.1)。

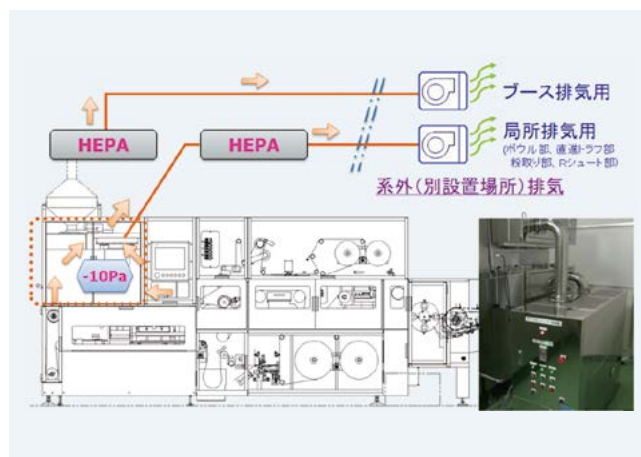


Fig. 1 陰圧装置

2-2 ウェットダウン

ウェットダウンとは、飛散している薬塵に対し液体を噴霧し湿潤させることで飛散を抑える方法である。フィーダブース内に噴霧用のノズルを設置し、圧縮空気を吐出させながら液体を送ることで液体を霧状に出す。(Fig.2)液体を送るタイミングを制御することで、動作開始時や終了時にノズルからの液だれを防止し、外へ薬液が漏れない考慮をしている。ウェットダウンは、生産終了後フィーダユニットを洗浄室へ搬送する前に実施することで、陰圧装置が作動していない搬送時においても薬塵をブース外へ飛散させることなく洗浄室へと搬送が可能となる。



Fig.2 ウェットダウン装置

2-3 充填室の脱着

フィーダユニット自体は専用のリフタを用いて取り外すことが可能である。(Fig.3)ウェットダウンを実施後、フィーダユニットを取り外し洗浄室へ搬送するが、このときに薬塵を捕集しているヘパBOXもフィーダユニットと一体構造であるため、包装室に薬塵を残すことなく作業ができ、効率的かつ安全であると言える。また他製品への混入を防ぐ必要があるため洗浄作業には時間を掛けて実施することがあり、この場合予備のフィーダユニットを用意しておくことで、洗浄作業をしている間でも予備を使用して生産できる。また品種毎にフィーダユニットを用意すれば、薬塵の残留リスクを回避でき他の製品への混入を防ぐことが可能である。

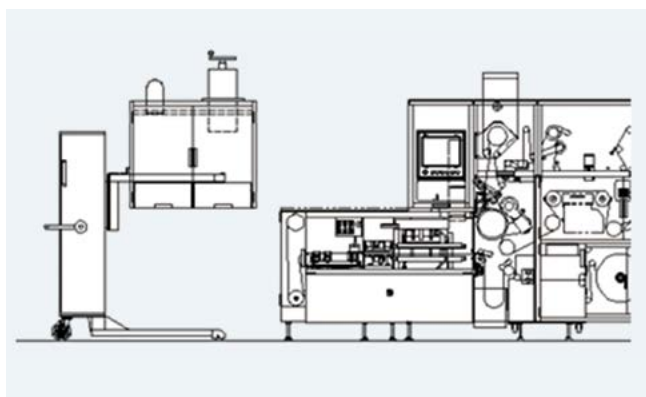


Fig.3 フィーダ脱着

2-4 集塵配管の脱着

配管の接続部にはポリエチレンチューブを取り付けており、配管の脱着時はポリエチレンチューブをヒートシールした後に切り離す。(Fig.4)これによりそれぞれの配管は封じ込めた状態で安全に取り外すことができる。

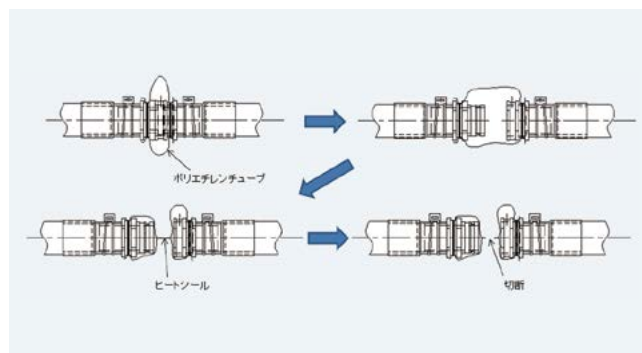


Fig.4 ダクトの脱着

3 性能の測定及び結果

装置の封じ込め性能評価値として、一般的に使用されているOEL(作業者曝露許容限界)を測定することで評価する。OELとは作業者の健康に基づいた制御されるべき曝露レベルの空气中浮遊粉塵濃度限界である。測定には薬剤の代替試料として入手性、安全性等の理由からラクトースを用いる。

今回の測定ではラクトースを充填30分量(90000錠)に対し100gを添加し、充填作業を実施した。測定箇所は、フィーダブース内、錠剤検査機カバー内、フロア排気部、フィーダ外正面及びウェットダウン後のフィーダ外正面カバー開時の計5箇所である(Fig.5)。



Fig.5 測定箇所

Table.1 OEL 測定結果

フロア排気部	2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
フィーダ外正面	1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
フィーダ外正面カバー開時 (ウェットダウン後)	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

機械内部の測定結果 (参考値)

フィーダブース内	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
錠剤検査機カバー内	9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

測定結果をTable.1に示す。稼働時のOEL値はカバー外において $2.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となり、この数値はISPE(国際製薬技術協会)が発表した5段階の区分のうちのカテゴリー4に当てはまる。ウェットダウン後のカバー開においても $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ でありウェットダウンの有効性を示せた。また機械内部はカバー外と比較して100倍の値を示しており、陰圧制御やカバー構造の有効性も検証できた。

ただし、測定結果は周囲の環境や使用する錠剤等により異なる。

4 おわりに

高薬理活性剤の研究が進むにつれ人体へより影響力のある物質が増加すると考えられる。装置メーカーとしてこの流れに適用していくのは当然のことであり、更なる性能の向上が必要であると考ええる。

執筆者プロフィール



和手 久直 Hisanao Wate
自動機械事業本部 第1技術部
Engineering Department No.1
Automatic Machinery Business Division



梅村 広幸 Hiroyuki Umemura
自動機械事業本部 第1技術部
Engineering Department No.1
Automatic Machinery Business Division



PTPシート・錠剤異物検査装置「フラッシュパトリ」

Foreign Particle Inspection Machine for Blister Sheet and Tablet "FLASH PATRI"

神戸 聡 Satoshi Kanbe

生命に直結する可能性のある医薬品において、不良品が患者の手に渡るといった事態が発生してはならない。そのため、日本国内の医薬業界では、錠剤およびシートの品質は高いレベルが要求されている。

このような製薬メーカーの要求に対して、当社では1980年代から、PTP包装工程内にカメラを搭載したインライン検査システムを開発し、応えてきた。

本稿では、包装工程で起こり得る様々な不良を検出することができるPTPシート・錠剤異物検査装置「フラッシュパトリ」について紹介する。

For pharmaceutical products that potentially lead to mortal danger, such situation should be avoided at all costs as defective products fall into patients' hands. Therefore Japanese pharmaceutical industry is strongly demanding high quality for blister sheets and tablets.

To meet these demands from pharmaceutical companies, we have been developing the inline inspection system using camera which can be mounted on the blister packaging machine from the 1980s.

This article describes "FLASH PATRI", in-line foreign particle inspection machine for blister sheets and tablets which enables to detect various defects that may occur during packaging process.

1 インライン検査の重要性

昨今、PTP包装機には錠剤・シートの品質の良否を判定するため、カメラを用いた検査装置が必須の設備として搭載されている。この背景には、医薬品に関する省令が大きく関係している。

1974年に、厚生省薬務局長通知として医薬品に関するGMP（製造管理及び品質管理規則）が作成され、1980年に厚生省令として公布された。当時は、遵守事項としての自主管理項目であったが、1994年に省令が改正され「製造所のGMP体制が整っていること」が「製造業の許可を取得するための必要要件」になった。

これに伴って、PTP包装工程においても、GMPガイドラインに準拠し、製品品質を確保する意識が一層高まった。

それまでは、機械的あるいは人為的な間違いによる不良品を、PTP包装工程直後で検査員による目視検査を行い排除してきた。しかし、PTP包装機の高速化による不良品の見逃しや、検査員の経験やスキルにより検査精度がばらついたり、品質が安定しないという問題があった。

ここで注目されてきたのが、一定の検査精度を保ち、全数検査が可能なインライン検査システムである。このシステムにより、高い品質を保つ仕組みをつくることが可能になり、品質確保の要となっている。

2 インライン検査システムの歴史

高速タイプのPTP包装機は、1分間にPTPシート600～800枚の生産能力を有する。このPTPシートを全数検査するためには、非常に高速な撮影処理および演算処理が要求される。

1980年代は、蓋アルミ包材のシール前に錠剤の有無や大きな欠けといった簡素な検査を行っていたが、その後、パーソナルコンピュータの普及とともに、演算処理速度は飛躍的に向上し、大容量のデータを高速且つ複雑な演算処理が可能となった。

1990年代には、錠剤自体の検査に加え、シート面の異物混入の検査が可能になり、さらにその後は、今まで検査が困難であった蓋アルミ包材シール後でも錠剤表面に付着した異物を検査することが可能になった。

2000年代に突入し、コンピュータの基本ソフトWindowsが一般的に広く使われるようになった。これに伴い2003年、当社は現在のインライン検査システムのベースとなる「フラッシュパトリFP600」を開発した。検査システムもウィンドウズライクな操作性とビジュアル性を持たせたものになり、データ処理やデータ管理の機能も充実させ、多機能で使いやすいものになった。

そして現在に至るまで、製薬メーカーの多くの検査要求に応えてきたことにより、高精度で様々な検査に対応した豊富なラインナップを備え、発展することができた。2015年には、フラッシュパトリ第4世代目となる「FP630」シリーズを開発し、さらに多種の検査に対応した(Fig.1)。



Fig. 1 インライン検査システムの歴史

3 インライン検査システムの概要

PTP包装工程におけるインライン検査システムとは、PTP包装機内にカメラあるいはセンサを設け、製品を自動検査し、不良品を生産ラインから排除するシステムである(Fig.2)。

現在は、電子カメラ撮影とコンピュータ画像処理に基づく外観検査が主流となっている。

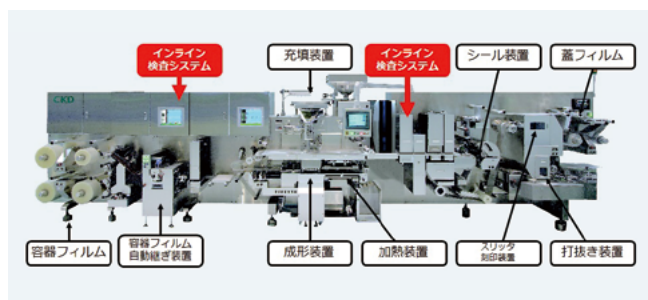


Fig. 2 インライン検査システム

3-1 検査工程

錠剤やシートの検査を行うにあたって、PTP包装工程のどこで検査を行うかが重要な要素となる。

フラッシュパトリでは、大きく分けると3つのステージで検査を行っている。

- ①容器フィルム原反検査: 容器フィルムの加熱・成形前の工程にて、容器フィルム原反に付着、または練り込まれた異物を検査する。
- ②シール前検査: 容器フィルムにポケットを成形し、錠剤を充填した直後、蓋アルミ包材を熱シールする前の工程にて、錠剤・容器フィルムに付着した異物の検査を行う。
- ③シール後検査: 蓋アルミ包材を熱シールした直後、スリット・刻印を入れる前の工程にて、錠剤と蓋アルミ包材に付着した異物の検査を行う(Fig.3)。

それぞれ、各検査工程の検査対象の状態に合わせた撮影方式を選択することにより、高い精度で検査が実施できるようになっている。

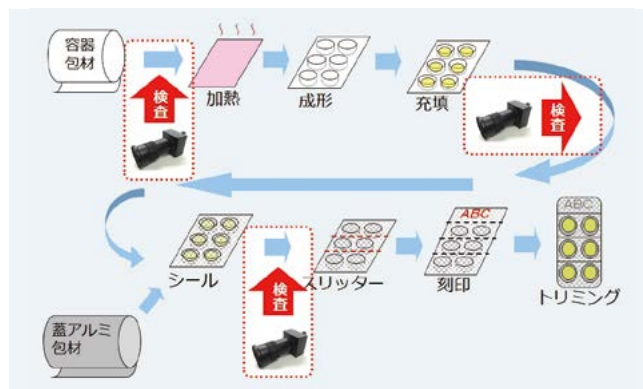


Fig. 3 検査工程

3-2 検査原理

フラッシュパトリの検査のメカニズムを説明する。

フラッシュパトリの検査システムは大きく3つの要素で構成されている。

1つ目はフラッシュパトリを搭載するPTP包装機、2つ目はカメラや照明を用いて撮影を行う撮影部、3つ目は画像処理装置にて撮影した画像を用いて検査を行う制御部分である。

- a. 検査対象となるシートが設置されたカメラの位置まで搬送されると、PTP包装機のタイミング制御より、撮影信号が画像処理装置に送信される。
 - b. 画像処理装置は撮影信号に基づいて、カメラに撮影指令、照明装置に点灯指令の信号を送信する。
 - c. 指令信号に基づいて、シートに対して、カメラの撮影と照明装置の発光を行う。
 - d. カメラで撮影した画像を画像処理装置に取り込んで、画像処理により良品・不良品の判定を行い、その結果をPTP機に良否信号として送信する。
 - e. PTP包装機は良否信号に基づき、該当シートを後工程へ搬送、または包装工程の途中で系外排出する。
- このa～eの流れをシート単位で繰り返す(Fig.4)。

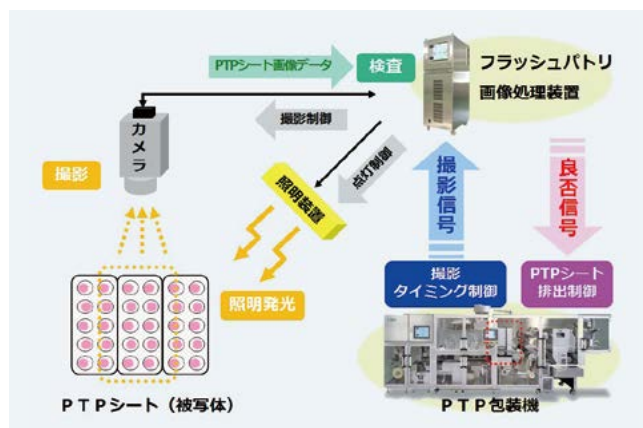


Fig. 4 検査の流れ

4 撮影方式

検査ワークとなるPTPシートの撮影を行うにあたって、3-1項で述べたように各検査工程の検査ワークの状態に最適な撮影方式が選択されている。

撮影方式は大きく透過光方式と反射光方式の2つに分けられる。

4-1 透過光方式

透過光方式(Fig.5)は、主に蓋アルミ包材シール前の検査工程で用いられる方式で、容器フィルムが透明体であることを利用した検査である。

カメラと照明装置の間に検査ワークを配置する構成からなる。撮影した画像は、下方から照射される光源によって、シルエットで写し出されるので、透明体である容器フィルムに付着した異物検査や、錠剤の大きさや形を検査するのに適している。

異物や錠剤の成分・色・表面凹凸の影響がないため、安定した検査が可能である(Fig.6)。

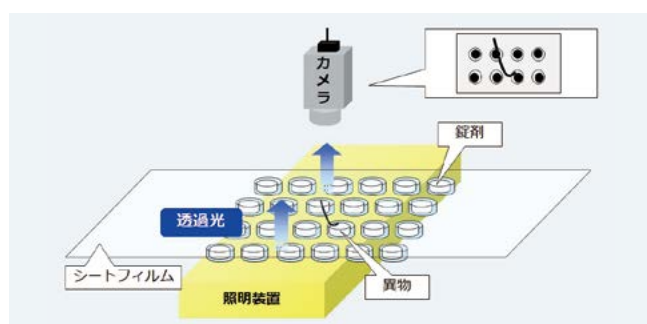


Fig. 5 透過光方式

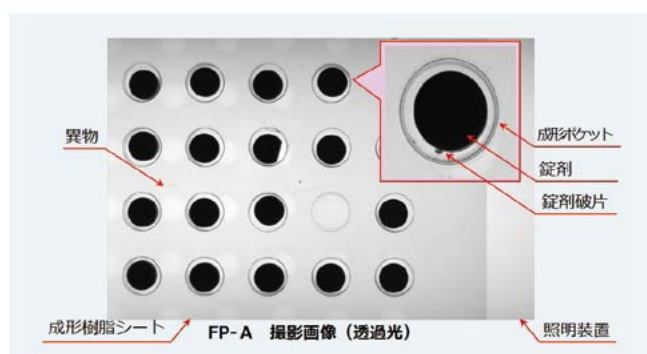


Fig. 6 透過光方式での撮影画像(FP-A)

4-2 反射光方式

反射光方式(Fig.7)は、主に蓋アルミ包材シール後の検査工程で用いられる方式で、照明光を検査ワークに向けて照射し、反射した光をカメラで撮影する。これは、一般的なデジタルカメラなどで写真撮影する方法と同じである。検査ワーク(錠剤・異物など)の明るさや色の差を利用して検査を行う(Fig.8)。

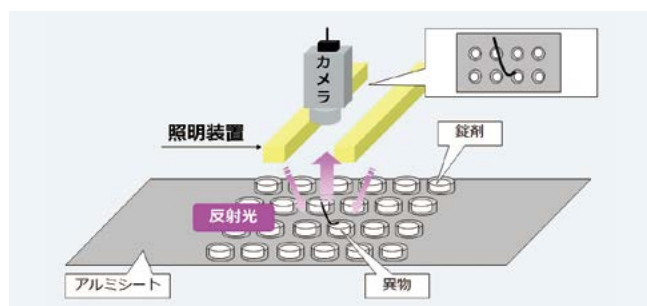


Fig. 7 反射光方式

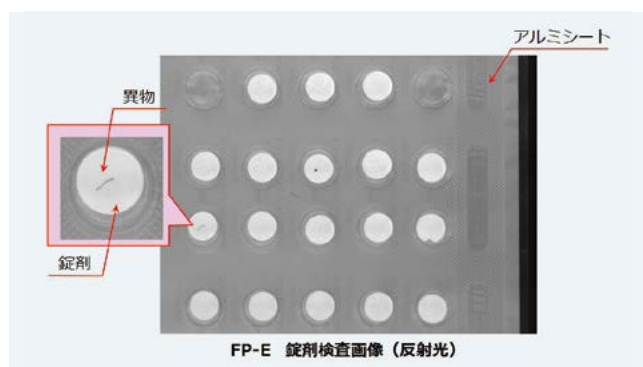


Fig. 8 反射光方式での撮影画像(FP-E)

4-3 フラッシュ機能

通常PTPシートには、製品を識別できるよう、蓋アルミ包材に製品名やデザインなどの印刷が施されている。PTPシート全面の異物検査を行うにあたり、この蓋アルミ包材の印刷が障害となる。

カメラでPTPシートを撮影すると、画像上に異物と蓋アルミ包材の印刷デザインが写るが、両者に明暗の差がない場合、検査装置は異物を検出することが困難となる。

この問題を解決するため、シール後で反射方式の検査を行うフラッシュパトリーEタイプでは、撮影光源に近赤外光(NIR: near infrared)を使用している。

近赤外光は、波長700~2500nmの領域を指す、人間には視認することができない光である(Fig.9)。その特性から監視カメラなどの撮影用光源として利用されているが、フラッシュパトリーでは、可視光と比較して物質への透過性が優れていることを利用している。



Fig. 9 近赤外光の波長

近赤外光光源と特殊なインクを使用した蓋アルミ包材を組み合わせることで、人間の目では、視認できるデザインが、カメラで撮影した画像上では、まるで消えているかのように撮影することができる(Fig.10)。

これは、蓋アルミ包材上にあるインク部分で近赤外光が吸収されずに透過して、下地であるアルミ面で光が反射することを利用している。

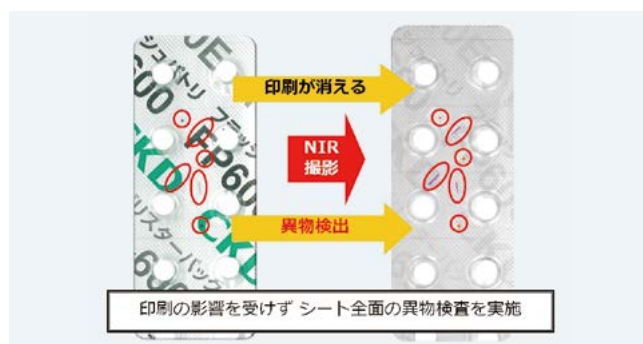


Fig. 10 PTPシートに対する近赤外光の効果

また、近赤外光は錠剤に対しても有効である。錠剤上に印刷された製品識別用の捺印も、シート印刷と同様に、透過させて撮影画像上に写らない。

さらに、2色カプセルのように可視光源を使用するとボディとキャップで明暗の差が出てしまう製品も、近赤外光の効果によって、同程度の明るさにすることができ (Fig.11)。

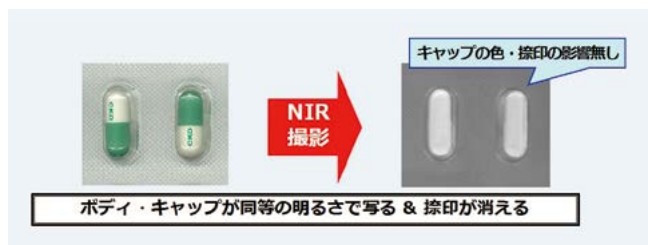


Fig. 11 カプセルに対する近赤外光の効果

当社は、PTPの検査において近赤外光源を使用し、蓋アルミ包材の印刷や錠剤捺印を消す効果を「フラッシュ機能」と呼んでいる (特許取得済)。

5 インライン検査の種類

PTPシートに対して行われる検査は、大きく次の4つに分類することができる (Fig.12)。



Fig. 12 検査の種類

- ①異物検査: 錠剤、またはシートに付着した異物を検査
- ②異種検査: 生産している製品とは異なる製品が混入していないかを検査
- ③錠剤検査: 錠剤自体の破損がないかを検査
- ④防湿検査: 容器フィルムと蓋アルミ包材のシール状態に異常がないかを検査

5-1 異物検査

2005年、厚生労働省医薬食品局長通知 (平成12年 医薬発第237号 医薬安全局長通知の改正) 「医薬品等の回収について」に、「非無菌性製剤については、生体由来異物が混入した場合には回収する」と明記されている。異物検査の対象は、生体由来の虫や毛髪の検査が最も重要視されており、確実に不良検出して系外排出されることが望まれる。

異物混入防止対策においては、PTP包装機自体の改善や、オペレータのヒューマンエラーを未然に防ぐ活動がされている。

一方、フラッシュパトリにおいては、4-3項で述べた、PTPシート・錠剤特有の問題に対し、フラッシュ機能を用いて克服し、錠剤・シート全面に渡り、高精度な異物検査が可能になった。

異物検査方法は、点などの塊状と毛髪などの細い線状に分類される。

塊状の異物は、ある一定の大きさ (面積値) 以上を不良品と判断する。最新検査システムの精度は、角0.1mmが検出できる。

線状の異物はその形状から、表面積が小さくなるため、一般的には長さでの判定となる。最新検査システムの精度は、太さ $\phi 25\mu\text{m}$ で長さ2.5mmが検出でき、検査対象が人の頭髪 (平均径 $\phi 0.08\text{mm}$) よりも細い、体毛レベルとなっている (Fig.13)。

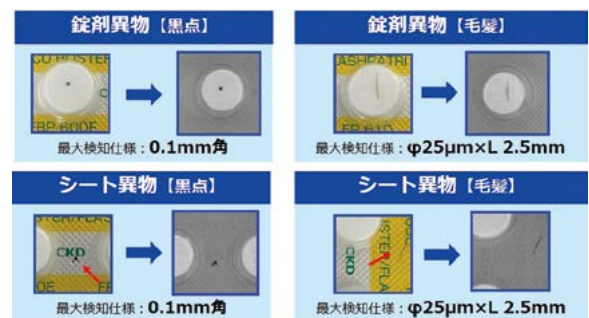


Fig. 13 異物検査

5-2 異種検査

異なる薬剤が製品に混入した、いわゆるコンタミネーションは、服用患者に与える影響が大きく、どの製薬企業も最優先で防がなくてはならない不良である。

多くの場合、1つのPTP包装ラインで、多品種を生産している。異品種混入しないよう生産前に清掃をしっかりと行い、大きさ、色、形が類似した製品を連続して生産しないなどの生産管理を実施している。

フラッシュパトリにおいては、錠剤の大きさ、色、形状を検査している (Fig.14)。

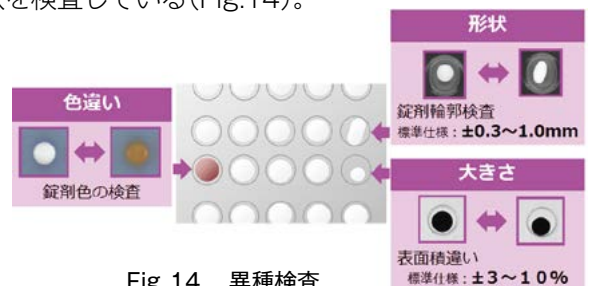


Fig. 14 異種検査

5-3 錠剤検査

PTPシート内の錠剤の有無はもちろん、錠剤の割れ・欠けといった破損した錠剤も不良の対象となる。

特に近年では、口腔内崩壊錠 (OD錠) と呼ばれる脆い錠剤が増加したことにより、表面に発生する僅かな欠け

(チッピング)も不良として扱われるようになっている。フラッシュパトリにおいては、異種検査と同様に錠剤の大きさ、色、形状を検査している(Fig.15)。



Fig. 15 錠剤検査

5-4 防湿検査

PTP包装の役割は、薬剤を外気から遮断し防湿性を高め、薬剤の品質を維持させることである。

この役割を担うのが、シール機能である。

PTPシートは、樹脂容器フィルムに蓋アルミ包材を熱と圧力をかけてシール(接着)加工している。一般的にシール強度を高めるため、網目状(シール目と呼んでいる)のエンボス加工になっている。

未シールあるいはシール強度が弱い場合、防湿効果が低下し、薬剤の品質が維持できなくなる。また、蓋アルミ包材にシワがよったり、破れた場合も同様である。フラッシュパトリでは、シール目の有無と規則的に並んでいるダイヤ形状の目を検査し、シール目がない部分をノンシール、規則性が乱れた部分をしわとして検出する(Fig.16、17)。

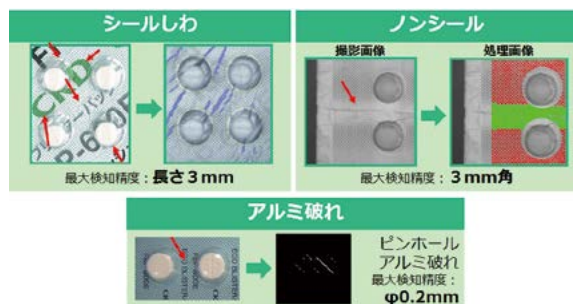


Fig. 16 防湿検査

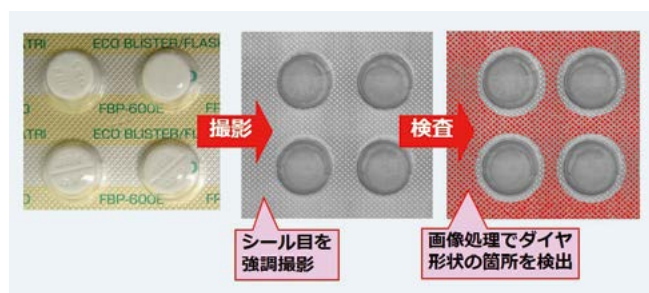


Fig. 17 シール目の検査方法

5-5 PTP検査のまとめ

以上のPTPシートの検査項目に対し、最新のフラッシュパトリFP630システムでは最大4機種の検査装置で検査を実現している(Fig.18、19)。



Fig. 18 検査項目まとめ

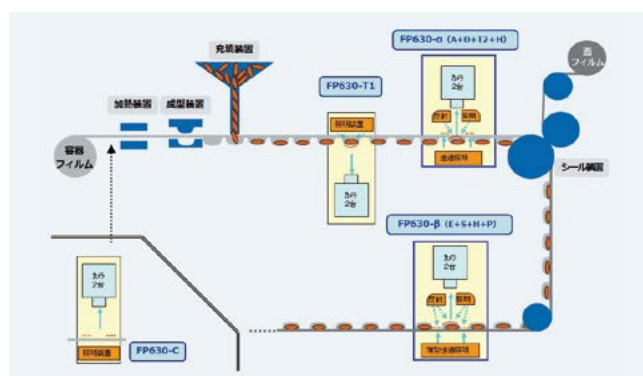


Fig. 19 検査機種

6 おわりに

フラッシュパトリは時代とともに進化を遂げて、様々な検査に対応した。しかし近年、PTPへのバーコード表示による白着色の蓋アルミ包材の増加や、レーザー捺印の普及などにより、PTPシートや錠剤に対する検査の要求項目が増加している。

今後は基本的な性能の向上はもちろん、包装工程で起こり得るあらゆる不良の検出ができるよう新たな検査にも挑戦していく。

当社は、フラッシュパトリを通じて、PTP医薬品の「安心・安全」を提供できるよう、技術の開発、展開を進めていく。

執筆者プロフィール



神戸 聡 Satoshi Kanbe
自動機械事業本部 第1技術部
Engineering Department No.1
Automatic Machinery Business Division



はんだ印刷検査機の高機能化

Improvement of Function for Solder Paste Inspection Machine

今枝 昭弘 Akihiro Imaeda

田中 浩幸 Hiroyuki Tanaka

高村 健介 Kensuke Takamura

近年、電子機器の小型・高機能化に伴い、プリント基板の高密度実装化が急速に進んでいる。この様な状況の中で、生産品質の安定化のために、はんだ印刷検査機の役割は重要度を増し、要求も多様化している。

一方で、検査工程が生産タクトのボトルネックとなってはならず、検査精度と検査速度の両立は不可欠である。はんだ印刷検査機VPシリーズは、常にこれを達成しながら改善を続けている。現在の主力機種であるVP-Vシリーズでも、近年の多様化する要求を受けて、更なる高機能化に取り組んだ。

本稿では、これらはんだ印刷検査機VPシリーズの高機能化について紹介する。

In recent years, as electronic equipment has become more and more compact and functional, high density mounting of printed circuit board is advancing rapidly. Under these circumstances, solder paste inspection machine has been playing an important roll in stabilization of product quality, and customers' requirements are also diversified. The inspection process should not bottleneck production speed and satisfying both inspection accuracy and inspection speed is essential.

The solder paste inspection machine, VP series, has been steadily improved to achieve these requirements. With the current major model VP-V series, we have pursued the further sophistication in response to diversified demands of recent years.

This article describes the improved functionality of the solder paste inspection machine, VP series.

1 はじめに

当社では電子基板の表面実装におけるクリームはんだ印刷の重要性にいち早く着目し、3次元計測法によるはんだ印刷検査機VPシリーズをリリースしてきた。近年では実装業界において3次元計測によるはんだ印刷検査機が広く使われるようになり、表面実装には無くてはならない工程となった。

このような状況の中、はんだ印刷検査機に対する要求は年々高まっており、当社でもこれを受けて継続的に高機能化に取り組んでいる。本稿では、これらはんだ印刷検査機の高機能化に向けた取り組みについて紹介する。

2 VPシリーズ装置紹介

2-1 検査システム概要

はんだ印刷検査機VPシリーズの、検査システムの概要について紹介する。VPシリーズでは、基板上を一定のエリア(視野)毎にカメラが移動と撮像を繰り返しながら検査が進む。こうして撮像した画像から、まず画像処理により検査対象となるはんだを抽出する。その後、位相シフト法と呼ばれる3次元計測法により高さを計測することで、はんだの印刷量を検査している。

この様に、VPシリーズでは視野単位で画像を撮像して検査を行っている(Fig.1)。これは、基板全体の中でも実際にはんだが印刷されている範囲のみをカメラが移動することで、無駄のない検査を行うことが狙いである。



Fig. 1 視野毎の検査

2-2 高精度検査への取り組み

VPシリーズでは、多様化する要求に対応するため様々な機能を搭載している。その1つに、「ピント補正機能」が挙げられる。この機能では、検査視野毎に基板の反り量を検出し、それに応じてカメラを上下させる。これにより、基板の反りに追従しながら自動的にピントを合わせながら検査を行う機能である。大型の基板やフレキシブル基板、両面基板といった、反りの大きい基板を高精度に検査することが目的である(Fig.2)。

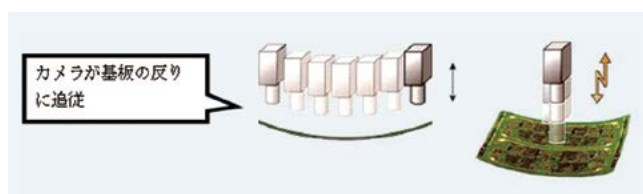


Fig. 2 ピント補正機能

ピント補正機能では、はんだの高さ計測とは異なる方式で基板の高さを検出している。これは、はんだの高さ計測では、通常300~500μm程度までの高さを高精度に計測する必要がある。これに対してピント補正では、5mm程度までの広いレンジが必要となるが、はんだ計測の厳密さをもたせることは過剰である。

こうした、必要とする計測レンジ・精度の違いから、はんだ計測では通常4枚の画像から高さを計測しているのに対し、ピント補正では1枚の画像から検出する。このとき、ピント補正では、はんだ計測とは異なるパターンを投影することで広い計測レンジを確保している。さらに、はんだ計測でははんだ周辺の高さのみを計測するのに対し、ピント補正では視野全体の高さを検出することで、少ない画像枚数でも安定した検出を達成している(Fig.3)。

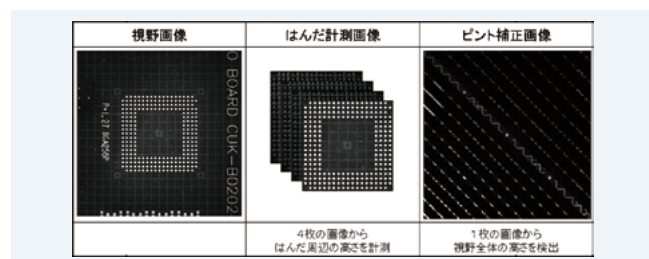


Fig.3 ピント補正とはんだ計測の違い

3 高機能化へ向けて

3-1 高機能化への取り組み

ここまでは、はんだ印刷検査機VPシリーズについて、既に搭載されている取り組みを紹介してきた。当社では、高度化する要求を受けながら継続的に改善が続いている。ここからは、現在の主力機種であるVP-Vシリーズの、高機能化へ向けた取り組みを紹介する。

高機能化へ向けた取り組みにおいて、当社では、既に本機を導入されているお客様に対しても展開可能にすることを重視している。この様な考え方にに基づき、次のような高機能化に取り組んだ。

1) 検査速度の高速化

検査速度の高速化に取り組み、約15%の高速化を達成した。

2) コプラナリティ(平坦度)検査への対応

「コプラナリティ(平坦度)」と呼ばれる検査項目への対応を進めた。これは、部品単位での不良検出を目的とした新たな検査項目である。詳細は後述する。

3-2 検査速度の高速化

VPシリーズの検査システムにおいて、検査速度を高速化するためには「カメラ移動時間」と「撮像時間」の短縮が最も効果的である。高速化に向けて、移動時間短縮を目的として検査ヘッドの制振性向上に、撮像時間短縮を目的として高速カメラの採用に、それぞれ取り組んだ。

1) 移動時間の短縮

検査ヘッドの移動時間短縮を目的として、撮像に使用する検査ヘッド部分のうち照明の取り付け構造を、従来の支柱構造から壁面構造へと見直した。高速移動に耐え得るだけの制振性をもたせることが狙いである。これにより、現行機と同等以上の精度を維持したまま、移動時間を約5%短縮した(Fig.4)。

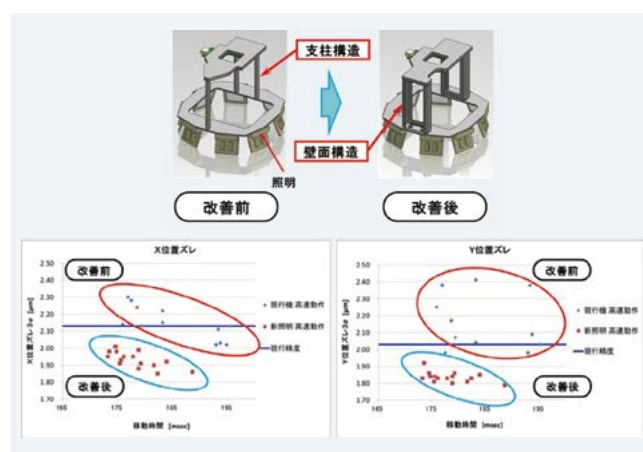


Fig.4 検査ヘッドの制振性向上

2) 撮像時間の短縮

撮像時間の短縮を目的として、カメラをより高速伝送が可能なものへと変更した。通常、カメラの高速性は、1秒間に伝送可能な画像の枚数「フレーム/秒(以下fps)」から評価される。高速化のために、現行の63fpsのカメラに対し、135fpsのより高速なカメラを採用した。

高速カメラの採用にあたり、最大の課題となるのはその評価項目である。今回採用にあたって、下記の4項目を主に評価した。

①S/N比

同じ対象物を連続して撮像し続けた際の、画像のばらつき量の評価

②温度依存性

撮像開始直後～カメラの筐体温度飽和までの、画像の変化量の評価

③検査精度

実際にカメラを検査機に組み付けた際の検査精度の評価

④伝送性能

長時間連続での高速伝送時、①～③を安定して維持可能であることの評価

各評価項目の中でも、特に④の伝送性能の評価には慎重な評価が必要である。

通常、画像は「カメラ⇒カメラケーブル⇒画像ボード⇒パソコン」の順に伝送される。高速伝送時の安定した伝送性能の維持は「カメラ」「ケーブル」「画像ボード」の組み合わせにも依存する。高速カメラへの変更にあたって、特にケーブルについて現行機よりも芯線の太いケーブルを採用することで、伝送の安定化を図った。

こうした評価の上、関連部品について高速規格品を採用し、撮像時間を約12%短縮した。

3) 生産速度の高速化

高速化のもう一つの視点として「生産速度の高速化」にも取り組んだ。

「生産速度」とは、VP-Vシリーズは多様化する要望へと対応するため、多くの機能を搭載している。各機能は、お客様の生産基板や運用次第で、必要に応じて有効/

無効を切り替えて使用する。VPシリーズの検査システムにおいて、「カメラ移動時間+撮像時間」は必ず検査時間に含まれるが、お客様の運用次第で、さらに追加機能の時間が加算される。「生産速度」とは、この追加機能の時間を含んだ全体の速度を指す。

各追加機能は、少なからず生産速度に影響を及ぼすが、これまでは機能性が優先されてきた。しかしながら、近年の要求の高まりにより機能の使用頻度は上がり、要求速度も高速化してきた。これに伴って、追加機能の生産速度への影響は無視できなくなってきた。

このような背景から、生産速度の高速化に取り組んだ。高速化に取り組んだ主な機能は「ピント補正機能」「カラー画像保存機能」、そして基板の搬入出動作である。

①ピント補正機能

前述のとおり、視野毎にピントを補正しながら検査を進める機能で、主に反りの大きな基板で多く使用される。通常の動作に加え、検査ヘッドの上下動作が発生する。

②カラー画像保存機能

カラー画像保存機能とは、各検査結果をカラー画像付きで、データ集計用パソコンへ保存しておく機能で、トレーサビリティを重視する場合に多く用いられる。通常の撮像に加え、カラー撮像動作が追加で発生する。

どちらの機能も、近年では非常に使用頻度の高い機能である。高速化に向けて、まず各機能を項目別、構成要素別に分解した。そして、各要素内に存在する、速度に影響を及ぼすパラメータや処理を全て洗い出し、機能を最も効率的に達成できるように調整と検証を繰り返した。

こうして、機能と速度の両立が可能な最適値を見出し、全体で生産速度を約15%向上した(Fig.5)。

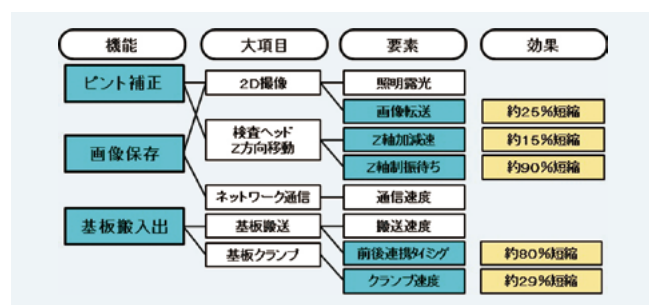


Fig.5 生産速度の高速化

3-3 コプラナリティ(平坦度)検査への対応

高機能化へ向けた取り組みとして、高速化だけでなく新たな追加機能の搭載も進めている。その一つが、「コプラナリティ検査」への対応である。

「コプラナリティ検査」とは、部品単位ではんだの離れ量を評価する検査項目である。例えばFig.6のように、部品内に大きく高さの異なるはんだが含まれている場合、部品搭載時に接触不良を起こす可能性がある。こういった不良を検出することを目的とした検査項目で、特にBGAなどの多ピン部品で効果を発揮する(Fig.6)。

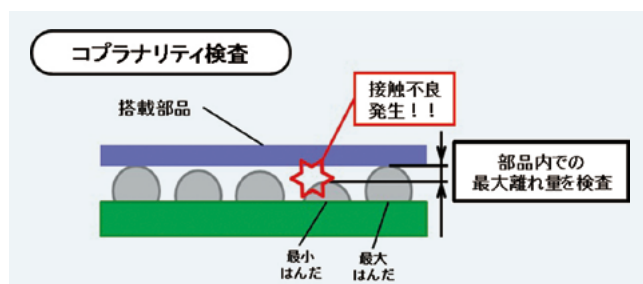


Fig.6 コプラナリティ検査

従来のVPシリーズでは、はんだ1パッドを最小単位として検査している。今回のコプラナリティ検査では、部品単位で検査を行うことで、これまでは部品実装後に検出されていた不良に対して、より早い段階での不良検出が可能となった。

4 おわりに

近年、はんだ印刷検査機に対する市場要求の高度化は急速に進んでいる。「検査速度」「検査精度」といった検査機としての基本性能のみならず、今回のコプラナリティ検査のような新たな目線での検査も必要とされている。今後は「不良率の低減」や「省人化」など、はんだ印刷検査機が実装ライン全体のために何ができるかを、広い目線で考えていくことが重要と考える。

当社は今後も、はんだ印刷検査という分野から実装技術の発展に寄与すべく、グローバルな市場要求を取り入れながら技術の開発、展開を進めていく。

執筆者プロフィール



今枝 昭弘 Akihiro Imaeda
喜開理(中国)有限公司 自動機械生産部
CKD(China)Corporation
Automatic Machinery Production Department



田中 浩幸 Hiroyuki Tanaka
自動機械事業本部 第3技術部
Engineering Department No.3
Automatic Machinery Business Division



高村 健介 Kensuke Takamura
自動機械事業本部 第3技術部
Engineering Department No.3
Automatic Machinery Business Division

リチウムイオン電池捲回機の異物混入対策

Foreign Matter Contamination Prevention of Lithium Ion Battery Winding Machine

畠山 肇 Hajime Hatakeyama

近年、市場での需要が高まるリチウムイオン電池は製品性能と安全性を求められる。リチウムイオン電池の性能や安全性を向上させるためには、製造時の電池内部への異物混入を無くすることが重要である。そのため、当社のリチウムイオン電池捲回機では多様な技術で電池への異物混入を未然に防いでいる。本稿では、異物混入対策の一つである機械内の集塵機能とそれを効率的に実現するための空間分離及び気流のコントロール技術(PAT.)を紹介する。

Lithium ion batteries, which are increasingly demanded in the market recently, are required to satisfy both product performance and safety. To improve performance and safety of lithium-ion batteries, it is important to eliminate foreign substances from intruding into battery during the manufacturing process. CKD's lithium-ion battery winding machines have various technologies to prevent contamination of foreign substances. This article describes the dust collection function in the machine, one of remedies to avoid contamination of foreign substances, and the technology for machine zone separation and air flow control (patented) employed to make said function work efficiently.

1 はじめに

電池の製造工程の一つとして「巻回」という工程がある。これはシート状の電池材料である正極・負極・セパレータ2枚を重ねて層状に巻く工程であり、当社の主力製品である電池捲回機は、この工程を自動化する装置である(Fig.1)。

巻回工程では、リチウムイオン電池内部の素子を形成するため、この工程での異物混入が製品性能と安全性に与える影響は大きい。

当社では、リチウムイオン電池の性能・安全性向上のために、異物混入対策に重点を置き開発を進めてきた。

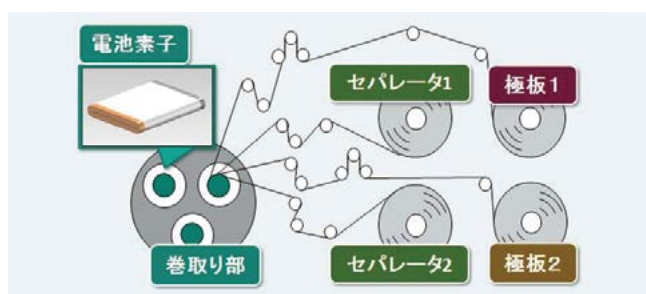


Fig.1 巻回工程

2 巻回工程での異物混入とは

巻回工程での異物混入は、機械外部から侵入した異物を材料と一緒に巻き込む場合と、機械内部で発生した異物を巻き込む場合があります。機械内部の異物は、機械部品から発生するものと、電池材料から発生するものがある。

リチウムイオン電池の材料である電極箔は、活物質と呼ばれる粉末が塗布されており、機械内部で搬送中に剥離し、空气中を浮遊することがある(Fig.2)。

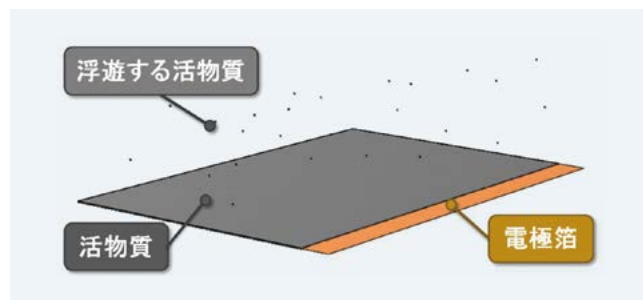


Fig.2 電池材料から発生する異物

浮遊した活物質が、他方の電極や絶縁体であるセパレータに付着し巻き込まれると、巻回後の素子に短絡などの不具合が生じる恐れがある。機械部品から発生する異物は、機械構造を工夫することで抑えることが可能であるが、電池材料から発生する異物については、発生そのものを抑えることが難しい。

したがって、巻回工程での異物混入対策は「機械外部の異物の侵入を防ぐこと」「機械内部で異物を発生させないこと」だけでなく、「材料から発生した異物を巻き込まないこと」が重要となる。

3 異物混入対策

機械外部からの異物侵入を防ぐためには、機械カバーにより機械内外を遮断すればよい。しかしながら、機械内部では前述のとおり、機械起因の異物発生を抑えていても、材料自体から異物が発生する。

材料から発生した異物が他の材料に巻き込まれると、素子の不具合の原因となる。そのため、当社捲回機では、巻取り部の直前まで各材料の通り道を仕切ることで、互いの材料を空間的に分離している。

しかし、各材料が一つに重なり合う巻取り部付近では、互いの材料を物理的に分離することができない。そのため巻取り部付近は、異物混入が最も懸念される箇所となる。したがって、異物混入対策としては、「巻取り部付近に各材料から発生した異物を近づけないこと」が重要なポイントとなる。

そこで、当社捲回機では、巻取り部から各材料の仕切られた空間へ異物を押し戻す気流を発生させることで、巻取り部への異物侵入を防いでいる(Fig.3)。

ここでは、機械内部で材料から発生した異物を巻き込まないための、キーとなる技術について解説する。

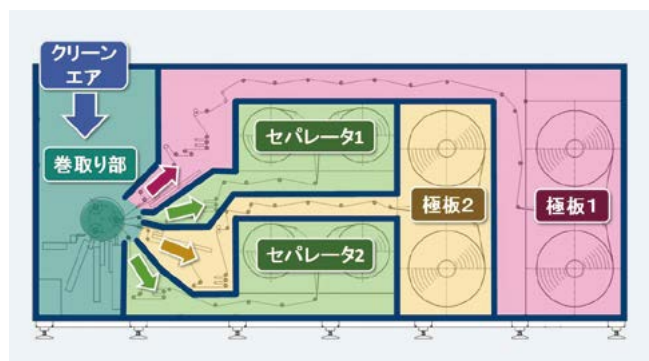


Fig. 3 巻取り部への異物侵入防止

3-1 空間の分離

材料から発生し浮遊する活物質を、他の材料に付着させないためには、各材料が一つにまとまる直前まで、互いの材料の空間を分離させることが必要である。

当社捲回機では、各材料の走行ラインに隙間無く仕切り板を設けることで、物理的に空間を分離し、材料ごとに独立した空間を形成している(Fig.4)。

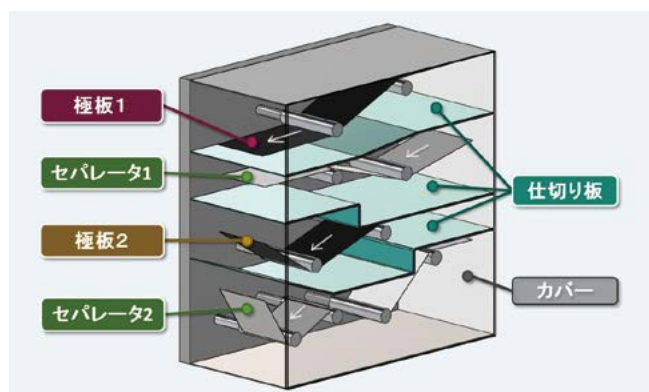


Fig. 4 材料走行ラインの一部

3-2 気流の形成と陽圧化

各材料の独立した空間から巻取り部への異物の侵入を防ぐために、各材料の空間へ異物を押し戻す気流が必要である。

巻取り部からクリーンエアを導入し、各材料の繰出し側に吸入口を設けることで、巻取り部から材料の繰出し側に向かって異物を押し戻す気流を形成する。押し戻された異物を各材料の繰出し側で吸入し、浮遊した異物の集塵を可能としている(Fig.5)。



Fig. 5 気流の形成

上記の構造では、吸入口付近の圧力が機械内部で一番低くなる。当社捲回機は、導入するクリーンエアと集塵エアのバランスを調整し、差圧をコントロールすることで、この箇所の圧力を機械外部の気圧より高く保つ陽圧構造になっている。機械内部を陽圧化することで、機械カバーの開閉時には内部の空気が外部に流れることとなり、外部からの異物の侵入を防ぐことができる(Fig.6)。



Fig. 6 機械内部の陽圧化

機械内部の差圧を安定させ、かつ陽圧を保つため、機械扉にはマグネットパッキンを使用し冷蔵庫の扉のような密閉構造としている。

3-3 風速の確保

前述の技術に加え、各材料の空間から異物が巻取り側に出てしまうことをより確実に防止するために、各材料空間の開口部を狭める構造としている。この構造では開口面積を小さくすることで、開口部の風速を比較的大きなものとすることができる。押し戻す気流の風速を増加させることで、異物混入防止機能をより一層向上させている(Fig.7)。

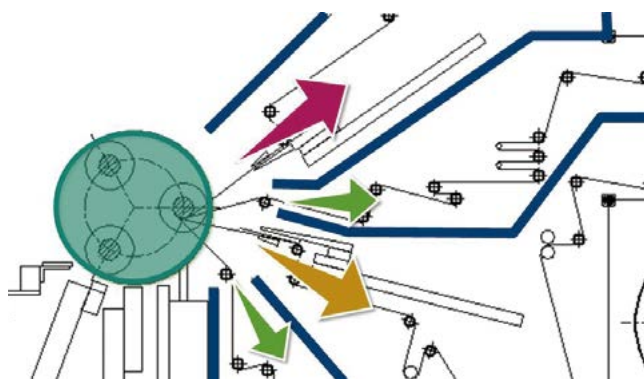


Fig. 7 開口部の風速増加

3-4 機械内の清浄度確保

異物を各材料の空間に留めているだけでは、浮遊する異物は増加し続ける。常に材料から発生する異物を効率よく除去し、機械内の清浄度を保つことが電池品質の安定化につながる。

当社捲回機では、各材料空間の気流の風量を増やし、機械内雰囲気の換気回数を増やすことで、機械内の清浄度を保っている。気流の風量は、クリーンエア導入量と機械内随所にある集塵の風量とのバランスが重要となる。風量のバランス調整は、前述の気流の向きや圧力差を崩すことなく実施する必要があるため、絶妙な調整を要する技術である。差圧計や風速計を用い、機械内随所の圧力・風向・風速を確認しながら調整することで、機械内の気流コントロールが可能となる。

当社捲回機では、機械内の陽圧と気流の流れを保った状態で、各材料空間全てが100回/時以上の換気回数に相当する風量を実現した。

4 効果の検証

当社異物混入対策技術の効果を実機で検証した例を紹介する。

検証は以下の条件で実施した。

- ・異物採取用テープを機械内各所に設置
- ・異物の種類、個数、大きさを電子顕微鏡で測定
- ・対策前後の異物採取個数の比較

本稿では、異物混入対策効果の参考例として、巻取り部付近の異物採取個数比較結果を記載する(Fig.8)(Table.1)。

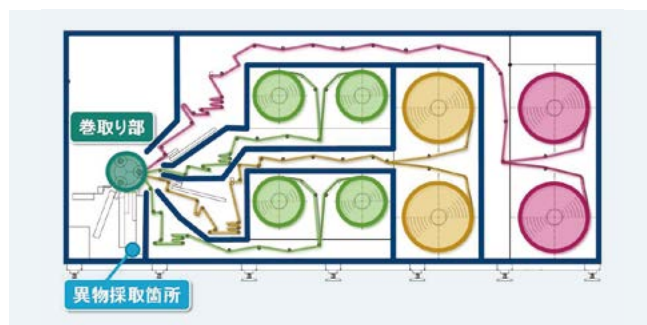


Fig. 8 巻取り部付近の異物採取箇所

執筆者プロフィール



畠山 肇 Hajime Hatakeyama
自動機械事業本部 第2技術部
Engineering Department No.2
Automatic Machinery Business Division

Table. 1 巻取り部付近の異物採取個数比較

異物数	0	10	20	30
対策前				28
対策後	0			

対策前後を比較すると、巻取り部付近での異物発生が抑えられていることが一目でわかる結果となった。

実際の電池生産においても、短絡などの不具合の発生をより確実に防止することができるという点で高い評価を得ている。

5 おわりに

当社捲回機の異物混入対策技術は、今後の電池の性能と安全性向上に大いにその効果を発揮できると確信している。リチウムイオン電池が車載用バッテリーやインフラでより多く使用されるためには、今後さらに性能向上と安全性の確保が重要となる。これからも、当社はより安全で高性能な電池を生産できる設備を開発することで、二次電池産業の発展に貢献したい。



倣いステージ エアジャイロ

Air Gyro, the Tracing Stage

伊藤 秀和 Hidekazu Ito

空気圧を用いた倣いステージ、エアジャイロを紹介する。エアジャイロは球面空気静圧軸受を内蔵した空気圧機器であり、フリップチップボンディング装置などの接合装置において接合面同士の平行調整を高精度かつ自動で行うことができる。高精度な接合を実現するために、エアジャイロには球面空気静圧軸受、保持装置、高精度回り止めなどの様々な技術が要求される。本稿ではエアジャイロの概要、要素技術の一例を紹介する。

This paper introduces Air Gyro, a tracing stage that uses air pressure. Air Gyro is a pneumatic component that incorporates a spherical aerostatic bearing and can perform parallel adjustment between bonding surfaces in a bonding device, such as a flip-chip bonding system, automatically and with high accuracy. In order to achieve high-precision bonding, Air Gyro requires various technologies such as spherical aerostatic bearing, holding mechanism, and high-precision rotation prevention. This paper presents an overview and key underlying technologies of Air Gyro.

1 はじめに

半導体プロセスの微細化により半導体デバイスは高集積化を果たしてきた。この半導体デバイスをさらに高集積化、高性能化するための技術として、複数の半導体チップをフリップチップ接合(Fig.1)して積層化、システム化する三次元実装技術が発展し実用化されている。安定したフリップチップ接合を行うには、接合するチップと基板の接合面の平行度を高精度に保つ必要があるため、ボンディング装置のボンディングヘッドと圧着ステージの平行度を数 μm 以下の高精度に調整することが要求される。

平行調整の手段にはゴニオステージと呼ばれる手動の角度調整機器や、シムを挟んで傾きを微調整する方法があるが、高精度の調整には高いスキルと多大な調整時間を必要とするため、段取り替え時のラインストップがしばしば問題となる。この他サーボ機構による自動調整ステージも知られているが、モータからの発熱があり、センサを含めた制御システムが高価で大型化する傾向がある。

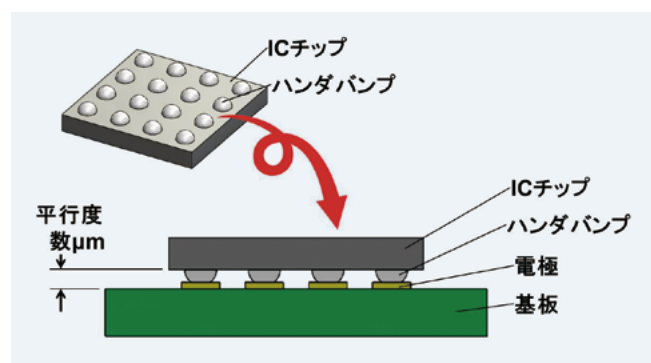


Fig. 1 フリップチップ接合の模式図

当社は接合装置の平行調整の自動化に着目し、空気圧を使用して簡便な平行調整をコンパクトに実現する

倣いステージ「エアジャイロ」を開発した。本稿ではこのエアジャイロの特徴や要素技術について紹介する。

2 エアジャイロの概要

装置には軸や面の傾きのずれが存在する。エアジャイロは、ボンディング装置や貼り合わせ装置などでこれらのずれを補正し、接合面の平行度を高精度にかつ自動で調整する(Fig.2)。球面空気静圧軸受を内蔵し、可動部が自在に回転動作して任意の角度で保持することができる。エアジャイロの基本構造をFig.3に、外観写真をFig.4に示す。

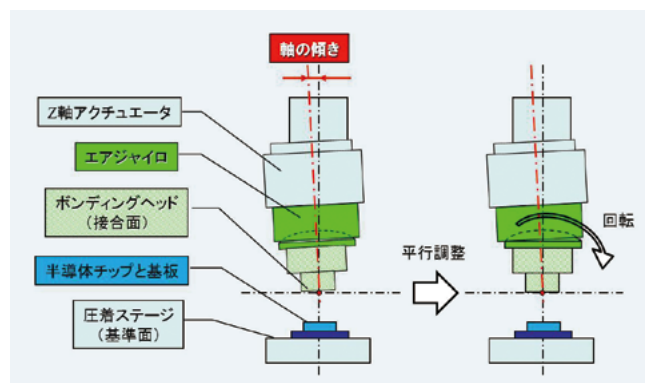


Fig. 2 接合装置の例

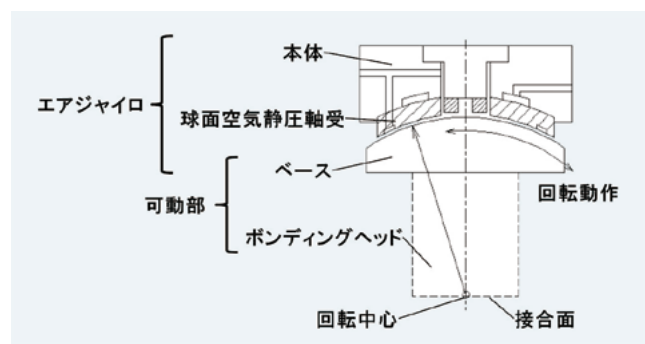


Fig. 3 基本構造の模式図



Fig. 4 エアジャイロの外観

2-1 平行調整の原理“面微い”

エアジャイロの平行調整の動作をFig.5に示す。可動部(接合面)は球面空気静圧軸受で非接触支持されており、接合面に基準面を押し当てると、可動部が回転して基準面の傾きが接合面に転写され(面微い)、調整した姿勢は保持装置によって固定することができる。面微い方式によれば、①押し当て・微い動作と②保持動作のわずか2ステップで平行調整が完了する。

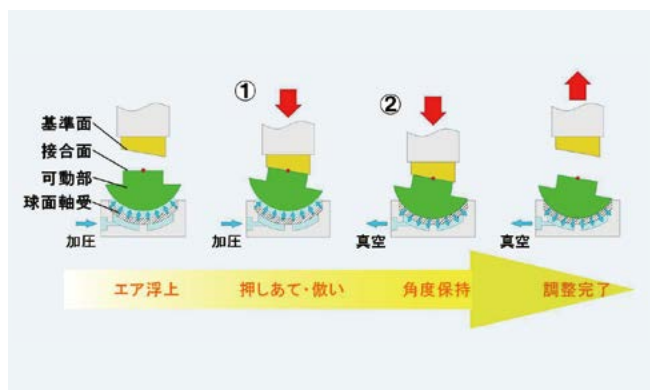


Fig. 5 面微い

2-2 エアジャイロに要求される特性

①微い動作

- ・軽い押し当て荷重で可動部がスムーズに回転動作し、基準面の角度を接合面へ高精度に転写すること(微い精度(平行度)0~5 μ m)。
- ・垂直軸回転方向(θ)に回転しないこと($\pm 0.1^\circ$ 以下)。

②保持動作

- ・転写した面の角度をずらさず保持すること。
- ・実装中の荷重によって調整した平行度にずれが生じないように強力に保持すること。

3 エアジャイロの要素技術

3-1 球面空気静圧軸受

軽快で精密な微い動作と強力な保持という二つの特性を両立するため、球面軸受には空気静圧軸受を採用している(Fig.6)。すなわち微い動作の時は軸受面から圧縮空気を噴出させることで可動部を浮上させて非接

触状態で支持することができ、摺動抵抗がゼロとなるためきわめて軽い力で精密に回転運動することが可能となる。保持動作の時は圧縮空気の供給を停止して真空吸引し、後述する保持装置を作動させることで軸受面の摩擦力によって可動部を強力に固定することが可能となる。



Fig. 6 球面空気静圧軸受

球面空気静圧軸受には高い形状精度、浮上負荷容量、浮上剛性、浮上安定性が求められる。特に形状精度は平行調整の精度に直接影響するため、軸受面の寸法精度と幾何精度を μ mレベルで管理する加工技術と計測技術が不可欠である。重要工程である球面空気静圧軸受の精密加工は当社内で行っており、品質を高いレベルで管理している。

回転動作に必要な力(動作荷重)と可動部を保持する力(保持荷重)は球面軸受の寸法で決まるが、それぞれ相反する特性のため仕様に合わせたサイズ設計が必要である(Fig.7)。

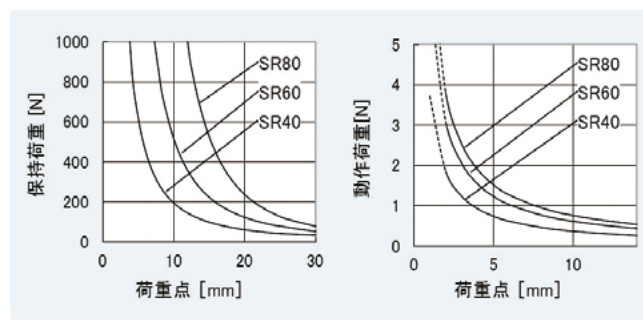


Fig. 7 保持荷重、動作荷重特性の一例

また高い浮上負荷容量、浮上剛性、浮上安定性を得るには軸受の隙間設計と流量管理が重要となる。

これらができると安定した微い動作と強力な保持を実現する球面空気静圧軸受を得ることができる。

3-2 保持装置の構造

保持装置の構造をFig.8に示す。可動部を保持するにはベースを球面軸受に真空吸着させる。同時に内蔵するダイヤフラムの推力でベースを球面軸受に押し付けて軸受面に強い摩擦力を発生させることでベースを本体に固定する。

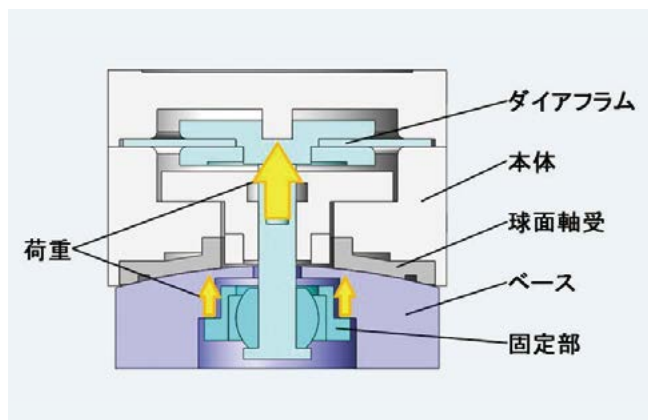


Fig. 8 保持装置の構造

固定部は首振りの可動式となっており、微い動作で生じるベースの傾きに追従する。これによりベースにかかる荷重は常に球面軸受の中心に均一にかかるため、保持動作によってベースの角度がずれることを防止している。

3-3 高精度回り止め

当社独自の高精度回り止め構造をFig.9に示す。ベースが α 方向へ回転する時はベースのみが回転、 β 方向へ回転する時はベースとリングがともに回転する。 θ 方向は、固定ピン(本体に固定)と可動ピン(ベースに固定)がリングに設けた溝を介して拘束されるため回転しない。これにより微い回転方向の動作角度(α 、 β)に影響することなく垂直軸回転方向(θ)の回転を抑制することができる。半導体デバイスの実装においては実装精度に影響するため θ 回転の抑制は重要な機能となっている。

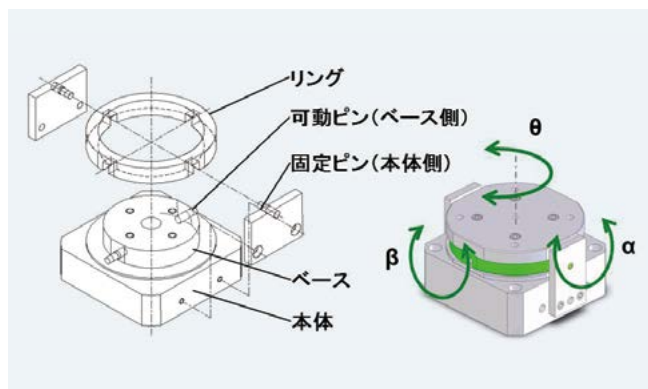


Fig. 9 高精度回り止めの構造

3-4 微い精度の評価

微い精度の評価方法には、基準面に対する微わせる面(接合面等)の変位量を変位計で測定する方法のほか、レーザー干渉計を使って基準面に対する接合面の傾きを直接測定する(干渉縞の本数から求める)方法がある。ただしこれらは汎用性がなく、レーザー干渉計の場合は基準面の材質がオプティカルフラットガラスに限定されるなど使い勝手が悪い。

ボンディング工程等の製造ラインでは一般的には感圧紙が多用されている。評価する2つの面(基準面と接

合面)で感圧紙を挟んで荷重をかけると荷重がかかった部分だけが発色する仕組みで、目視確認が容易にできる。ただし平行度 $5\mu\text{m}$ 以下の平行の評価は判別が困難である(Fig.10)。

平行度	$0\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$
感圧紙			

Fig. 10 感圧紙評価

4 小型化への取り組み

半導体デバイスの小型化、実装の高密度化、装置の小型化、高速化の傾向から、ボンディングヘッドおよびエアジャイロをより小型化したいとの要望がある。しかし軸受けの性能はおよそその大きさで決まるため、単に製品外形を小さくすれば、球面空気静圧軸受の能力低下をはじめ保持荷重の低下など製品性能を低下させてしまう。

このため、①球面空気静圧軸受の最大化と精度向上、②組立構造の最適化、③高精度回り止めの小型化、など構造の見直しを行い、保持荷重、回り止め精度を維持しつつ、体積従来比68%削減、横幅従来比38%削減した超小型エアジャイロを開発した(Fig.11、Table.1)。これによりこれまで不可能であった小型実装ヘッドの平行調整の自動化が可能となり、軽量化による高速化にも寄与する。



Fig. 11 超小型エアジャイロ

Table. 1 小型化の効果

	従来品	超小型ジャイロ	削減効果
設置スペース V [mm^3]	142.2	45.9	-68%
質量 M [g]	530	270	-49%
横幅 B [mm]	45	28	-38%

5 おわりに

以上紹介した倣いステージ、エアジャイロは当社独自のオリジナル製品である。空気圧機器でありながら半導体実装装置のキーパーツとしての機能と性能を備え、小型、簡単操作でサーボ機構を用いた高精度駆動機器にも引けを取らない。実装装置の平行調整はまだ手作業で行われる場面も多いと思われるが、自動化による品質の安定化、調整コスト削減を通してお客様の利益への貢献が可能であると確信している。

執筆者プロフィール



伊藤 秀和 Hidekazu Ito

コンポーネント本部

FAシステムBU 技術部

Engineering Department, FA System Business Unit, Components Business Division



ルブキーパによる耐久性向上

Improvement in Durability with Lub-Keeper

櫻井 健 Ken Sakurai

吉田 泰裕 Yasuhiro Yoshida

装置の生産性向上にともない、空気圧シリンダには高寿命化が求められている。また、空気圧シリンダは様々な機械で使用されるが、使用環境が悪い場合においても耐久性能が求められている。

近年、装置、設備が海外に輸出されるケースが増えており、機器の高寿命化で現地でのメンテナンスを最小限にする市場要求が益々高まっている。

空気圧シリンダにおいて、省スペース、低コストを維持して、なおかつ定期的な給油に頼らない耐久性能向上について紹介する。

Improvement in productivity of devices requires pneumatic cylinders to have longer service life. Furthermore, since pneumatic cylinders are used in various machines, they are also expected to be durable even if their working environment is adverse.

In recent years, the number of cases in which equipment and devices are exported to countries outside of Japan has been increasing, and the demand of the market, to minimize the need for maintenance in a foreign country by improving the service life of product components, is growing.

This paper presents a method for improving durability of pneumatic cylinders that is low cost and space saving yet does not rely on periodic lubrication.

1 はじめに

空気圧シリンダは、自動車、工作機、半導体、家電など幅広い産業分野で使用されている。使用環境も様々であり、環境によってシリンダの耐久性能が低下する問題がある。また、設備の生産性向上に伴い空気圧シリンダも高頻度となってきた高寿命の要求が益々高まっている。

耐久性能が低下する主な要因としては、グリースの潤滑性能が低下することによるパッキンの摩耗が考えられる。摩耗量が大きくなると空気漏れや作動不良を引き起こす。

本稿では様々な使用環境下で、パッキンシール部の潤滑を保持して耐久性能を向上させるルブキーパによる高寿命化について述べる。尚、ルブキーパは潤滑 (Lubrication) を保持する (Keep) という意味の造語である。

2 開発背景

市場の要求に伴い、低・高速作動性能、クッション性能、ガイド性能など様々な機能向上が図られてきた。一方、シリンダの耐久性に関しては給油形から無給油形に移行した後、大きな変化は見られない。しかし、市場では機器の長期使用が要求されている。特に消耗部品交換のできないロッドレスシリンダ (MRL2) にて要求が高まり、省スペース、低コストで、耐久性を向上させる開発に着手した。

2-1 潤滑保持機構

シリンダの耐久性能を向上させるために、パッキンシール部や摺動部の油潤滑劣化を防止することが必要である。グリースの潤滑性能は、グリースの枯渇や軸受けなどの摩耗粉によって低下する。

グリースを長時間保持し、さらに、摩耗粉をグリース内に混入させないことが求められる。その方策として、繊維集合体「ルブキーパ」をピストンパッキンの外側に設け潤滑保持機構とした (Fig.1)。ルブキーパは、従来のフェルトに比べ繊維が解れにくく弾性があるためシリンダの摺動にも耐え得る。また、グリースを含浸させることで潤滑保持し、さらに粉塵を繊維で絡め取る粉塵除去機能も有している。様々な環境下への応用が期待できる。

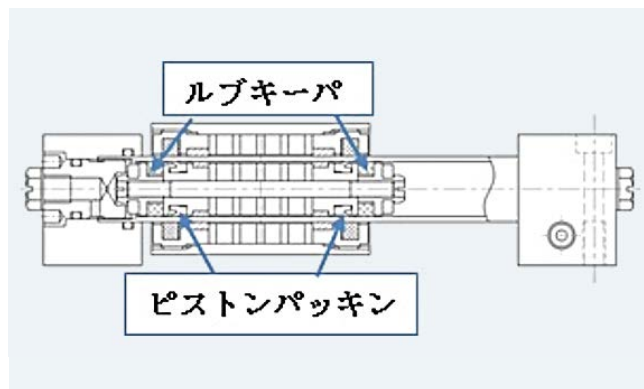


Fig. 1 MRL2の潤滑保持機構

2-2 ルブキーパの特長

ポリエステル樹脂繊維とゴム弾性体によって構成される (Fig.2)。

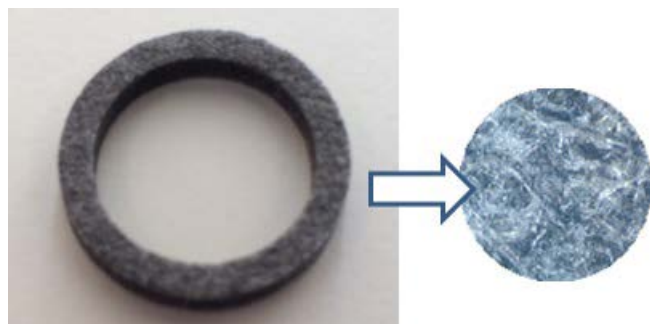


Fig. 2 ルブキーパ外観

1) 潤滑保持機能

繊維と繊維の間に、グリースを含浸させ、保持することができる。

2) 潤滑供給機能

含浸されたグリースは繊維集合体の毛細管現象効果により、ムラなく安定的に摺動面に供給することができる。また、摺動面の余剰グリースを吸収する機能も併せ持っている。

3) 粉塵除去機能

摩耗粉など、繊維集合素材の中に絡め取ることができる。

4) 機械的性質

ウレタンゴムが配合されているため引張り強さ、伸びの機械的性質が良好である(Table.1)。

Table. 1 ルブキーパ基本特性

仕様	基本形
材料	ポリエステル繊維とウレタンゴムの繊維複合体
引張強さ MPa	8.2
伸び %	160
周囲温度 °C	-30~80

3 耐久性能評価

当社のロッドレスシリンダ(MRL2)において、ルブキーパによる潤滑保持機構の有無で耐久性能を評価した。

3-1 予想される効果

シリンダを長期間使用すると摺動部の油潤滑劣化により、パッキン摩耗による空気漏れ、摺動抵抗の上昇などが発生する。

ピストンパッキンにルブキーパを併設して、ルブキーパの潤滑保持・供給機能や摩耗粉除去機能により、パッキンの摩耗、摺動抵抗上昇を抑えることが期待される(Fig.1、Fig.3)。



Fig. 3 ロッドレスシリンダ外観

3-2 試験条件

試験装置と試験条件は(Fig.4)のように設定しシリンダの耐久距離を比較した。

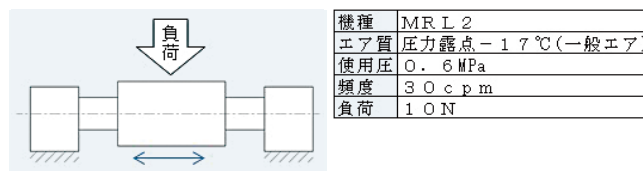


Fig. 4 試験装置と試験条件

3-3 結果および考察

ルブキーパの有無で、耐久距離に2倍以上の差が確認できた(Fig. 5)。

ルブキーパの潤滑保持によって、パッキンの摩耗が抑えられ寿命が向上している。

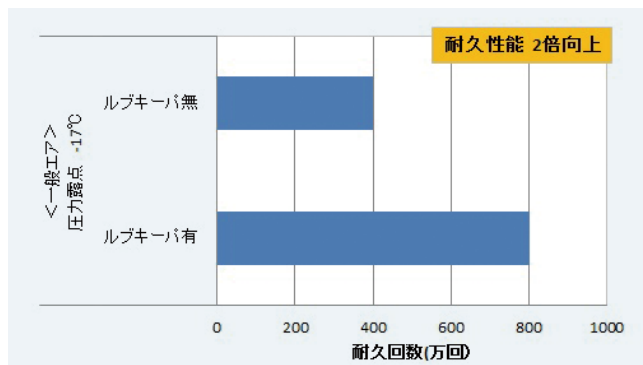


Fig. 5 試験結果

4 応用事例

ルブキーパをシリンダに組み込み、様々なシリンダ使用環境で耐久性能が向上した事例を紹介する。

4-1 超乾燥エア環境下でのシリンダ

近年、電気自動車などに使用される2次電池の製造工程において、エア質に超乾燥エアが使用されている。超乾燥エアによりグリースの油分が揮発し易くなり、耐久性が悪化する問題がある。ルブキーパによる潤滑保持機構を持たすことで、耐久性の向上を図る。

1) 試験条件

(Fig.4)に対して駆動用エアを超乾燥エア(圧力露点-65℃)にして実施する。

2) 結果および考察

潤滑環境がより過酷な超乾燥エアにおいては、ルブキーパの有無で耐久性能が4倍に向上した(Fig.6)。超乾燥エアにおいても潤滑保持効果が発揮されている。

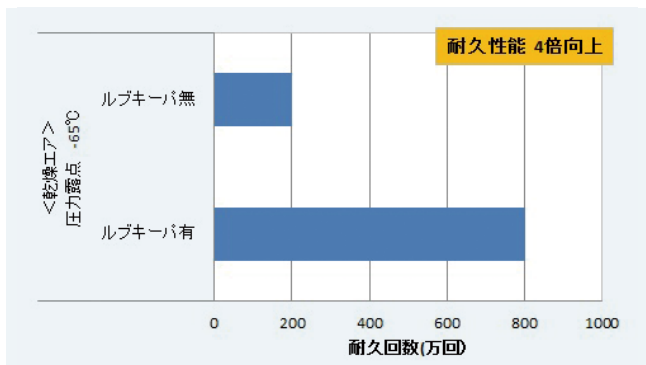


Fig.6 試験結果

4-2 溶接環境下でのシリンダ

自動車などの溶接工程でシリンダを使用した場合、ピストンロッドにスパッタ(金属粒)が付着する。付着したスパッタを除去するために金属スクレーパをロッドパッキンの外側に設置しているが、取りきれずにロッドパッキンを損傷させる問題がある。

改善策として、金属スクレーパとロッドパッキンの間にスパッタ付着防止剤を含浸させたルブキーパを設置しスパッタの付着を防止、または除去し易くして耐久性を向上させる(Fig.7)。

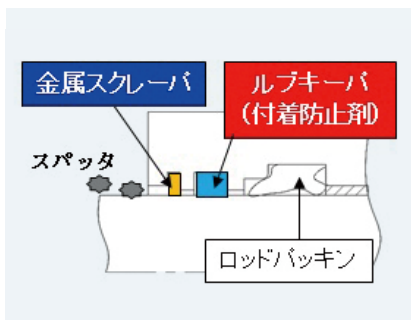


Fig.7 スパッタ付着防止形(G4)構造

1) 試験装置と試験条件

ピストンロッド近傍でアーク溶接し、スパッタを振り掛け耐久性を比較する(Fig.8)。

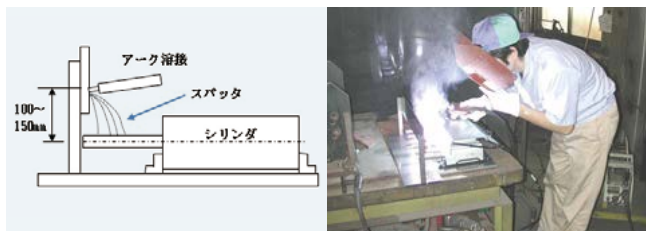


Fig.8 試験装置

2) 結果および考察

ピストンロッド表面のスパッタは除去されており(Fig.9)、耐久性能も向上している(Fig.10)。

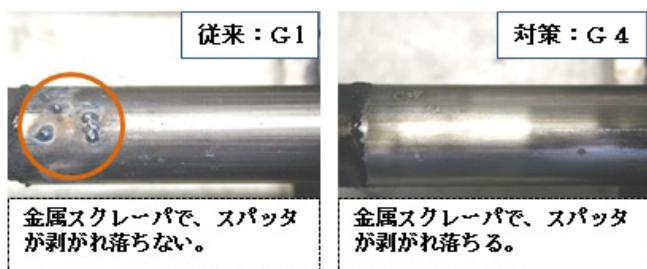


Fig.9 ピストンロッド表面

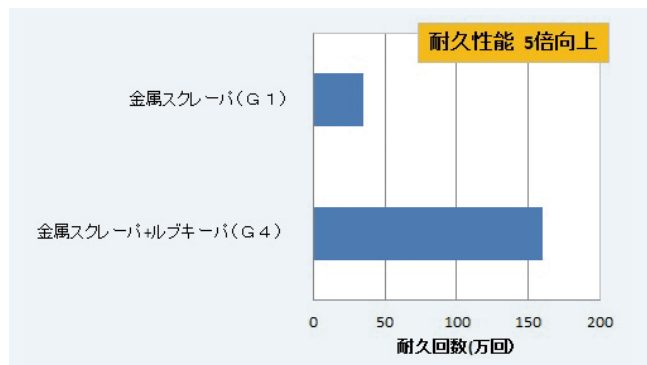


Fig.10 試験結果

4-3 粉塵環境下でのシリンダ

セラミック粉、金属粉などの雰囲気で使用した場合、シリンダの耐久性が極端に短くなる。粉塵を除去するためにスクレーパを設置しているが、除去できずに内部に侵入しパッキンを摩耗させるためである。

改善策としてスクレーパとロッドパッキンの間にグリースを含浸させたルブキーパを設置して、スクレーパへの潤滑供給機能によってスクレーパが粉塵をスムーズに掻取り内部への粉塵侵入を抑えることで、耐久性を向上させる(Fig.11)。

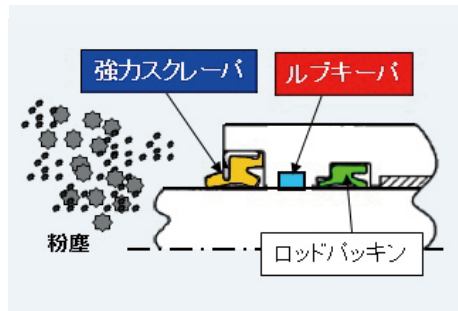


Fig.11 強力スクレーパ+ルブキーパの構造

1) 試験装置と試験条件

粉塵は粒径の異なるセラミック粉を使用した。試験装

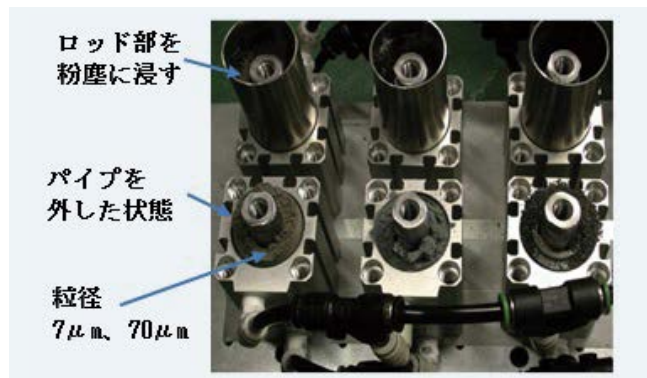


Fig.12 試験装置

置と試験条件は(Fig.12)のように設定し、パッキンからの空気漏れ量を測定して耐久性能を比較した。

2) 結果および考察

粉塵の粒径によらず、 $7\mu\text{m}$ (金属微粒子)、 $70\mu\text{m}$ (セラミック粉)いずれの場合においても3倍の耐久性能が確認された(Fig.13)。

スクレーパに給油されることで、スクレーパ部の油膜切れや摩耗を防いで粉塵を掻取れることが確認できた(Fig.14)。今後、様々な粉塵(インクジェット粉、小麦粉など)に活用できる可能性がある。

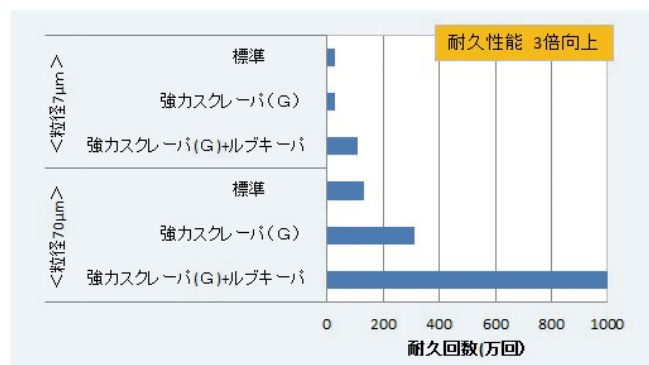


Fig. 13 試験結果

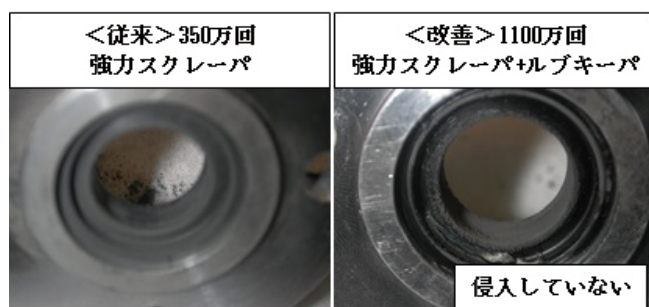


Fig. 14 耐久停止後のスクレーパの内側

5 おわりに

シリンダにルブキーパを付加することにより、様々な使用環境において耐久性能を向上させることができる。また、定期的な給油を必要とせずに潤滑保持できるため、メンテナンスを最小限にできる。ユーザー装置が海外に輸出される場合、海外でのメンテナンス工数削減が期待できる。また、アセアンなど高温多湿な気候ではルブリケータを使用しているケースもあるため、本潤滑保持構造を採用しルブリケータをなくすことで環境面でも貢献できる。

構造がシンプルなため省スペース、低コストで商品展開可能で、シリンダの耐久性能に優位性を持たせることができた。

今後も様々な市場に展開していく。特に、食品、医療市場においては、耐薬液が求められるためルブキーパを応用した耐薬液性向上製品の開発に努めたい。

執筆者プロフィール



櫻井 健 Ken Sakurai
コンポーネント本部
空圧システムBU 第2技術部

Engineering Department No. 2, Pneumatic System Business Unit, Components Business Division



吉田 泰裕 Yasuhiro Yoshida
コンポーネント本部
空圧システムBU 第2技術部

Engineering Department No. 2, Pneumatic System Business Unit, Components Business Division

■ 出典 ■

株式会社 阪上製作所 製品カタログ



独自弁構造による空圧3ポートバルブの大流量化

Large Flow Rate Achieved by Adoption of Unique Valve Structure in Pneumatic 3-Port Valve

伊藤 新治 Shinji Itoh

菊池 宏 Hiroshi Kikuchi

半導体後工程のチップ部品の実装はどれだけ早く基板上にチップを並べられるかの競い合いであり、そのためチップの吸着を制御する機器もより一層の高速作動が求められている。

一般的に搬送工程のチップの吸着搬送とワークの開放では空気圧を活用しており、3ポートバルブが使用されている。そしてバルブの特性としては大流量、高速作動、軽量・小形が求められている。当社では2010年12月に半導体後工程のチップ搬送用の高速応答3ポートバルブ「3QRシリーズ」を発売し、従来に比べ大幅な高タクト化を実現できるバルブを開発した。3QRシリーズの特長は大流量且つ軽量・小形であるがこの性能は当社独自の弁構造や特殊材料を用いることで製品化を実現させた。本稿では3QRシリーズがどのような技術課題に取り組み、どのように解決方法を見出し製品化に至ったかを紹介する。

Mounting of chip components is one of the most important steps in the back-end process of semiconductor manufacturing, and there is competition among semiconductor manufacturing companies on how quickly chips can be aligned on substrates. Consequently, even faster actuation is required of equipment that controls chip suction. Since air pressure is generally utilized for holding and carrying chips and for releasing work pieces in transfer operations, 3-port valves are used for this purpose. Large flow rate, high-speed actuation, and lightweight, compact design are the valve characteristics sought after. To meet this demand, CKD developed a valve that can achieve significantly shorter tact time compared to conventional 3-port valves and in December 2010, released it as 3QR Series quick response 3-port valve for transferring chips during the back-end process of semiconductor manufacturing. 3QR Series valves feature large flow rate and lightweight, compact design, and these characteristics were realized by using a unique valve structure developed by CKD and special materials in this product. This paper presents the technical challenges we addressed and how we found the solution that led to the production of 3QR Series valves.

1 チップ搬送工程でのバルブの使用方法と動作

半導体後工程のチップ部品の搬送工程ではFig.1のようにチップ部品を吸着するノズルの圧力を3ポートバルブで制御している。そしてノズルの各動作とバルブが制御する空気圧の作用についてFig.2を使用し説明する。

- 動作① ヘッドに取り付けられたノズルがチップ部品まで移動する。
- 動作② 真空バルブが切り、チップ部品がノズル先端に吸着される。
- 動作③ 吸着した状態で所定の位置までチップ部品を搬送する。
- 動作④ 真空バルブをOFFし、チップ部品を開放する。

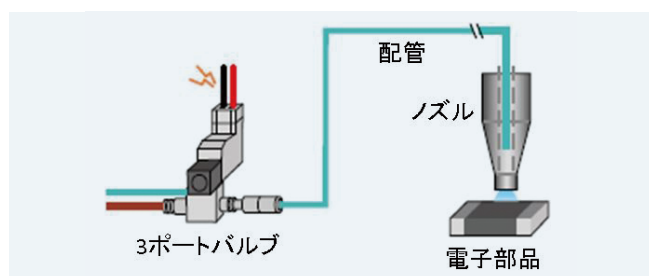


Fig. 1 ポートバルブの使用用途例

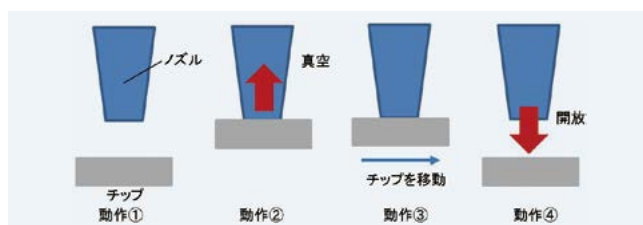


Fig. 2 ノズル動作と圧力作用

この時ノズル先端にかかる圧力波形は以下Fig.3のようになる。

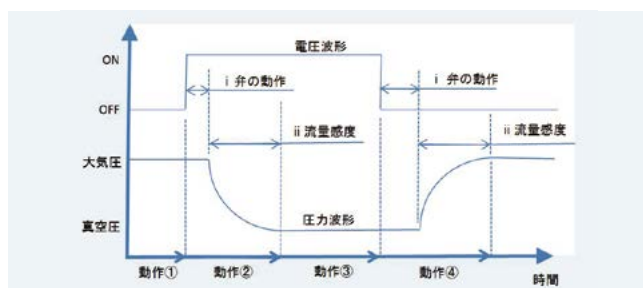


Fig. 3 動作と圧力波形

圧力波形から動作②と④はバルブ性能がタクトに大きく影響することがわかる。そして動作タクトを高速化するためには i のバルブの切換動作を速くすることと ii の流量を大きくし、流量の立ち上がり速度を高めることが有効であることがわかる。またチップ吸着の反応速度を高めるため、バルブはヘッド部ノズル先端に

近い部位へ多連数のマニホールド状に取り付けられる。一方でヘッド部が高速でXYZ方向を移動するため、バルブにはより一層の軽量化が求められている。

2 開発課題

1項で述べたように吸着搬送工程に用いるバルブでは以下の特性が重要になる。

- ・大流量
- ・切換動作の高速化
- ・軽量

上記の特性を最大・最少化する為に越えなければならない技術課題がいくつか存在する。まず第1に流量を大きくするためには弁の径を大きくする必要があるが、Fig.4に示すように一般的なポペット弁構造では空気圧による差圧の影響を受ける為、弁径を大きくすればするほどシール荷重F1(ばね荷重)に相反する荷重F2が大きくなってしまふ。その為大きなシール荷重(ばね荷重)が必要になり、動作させるコイルの力を大きくしなければならない。そして大きな力を必要とする為コイル自身が大型化してしまう問題が存在する。

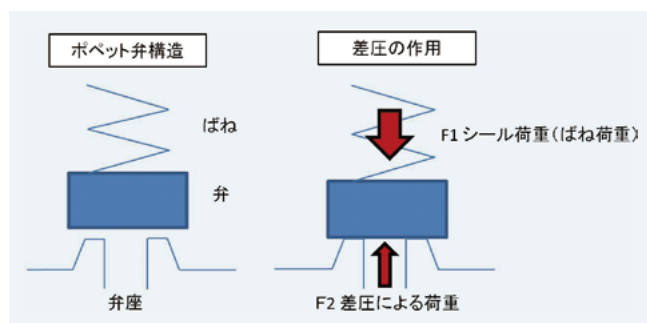


Fig. 4 ポペット弁構造と差圧の影響

第2に切換動作を高速化するにはコイル自身の反応速度、つまり可動鉄心の動作速度を速くする必要がある。一般的にコイルの可動鉄心の動作速度は電流の立ち上がり速度で決まる為、インダクタンスが寄与する。このインダクタンスを構成する要素は単位長さ当たりのコイル巻数の2乗に磁気回路長さ、透磁率、磁路面積の積で決まる。しかし製品サイズ、重量には制限があり、これらのパラメータを無制限に小さくすることはできない。必要な動作切換時間と製品サイズからこれらのパラメータを最適化する必要がある。

電流とインダクタンス

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V}{L}$$

$$L = n^2 l \mu S$$

V: 印加電圧[V]
L: インダクタンス[H]
n: 単位長さ当たりの巻数[回/m]
l: 磁路長さ[m]
 μ : 透磁率[N/A²]
S: 磁路面積[m²]

第3に製品の軽量化であるが、一般的には部品をより軽い材料に変更し、小形化すれば良い。しかし小形

になれば熱は一箇所に集中する為、放熱あるいは材料の耐熱性が大きな課題となる。材料を樹脂化する場合にはコイルから発生する熱が樹脂の断熱効果(樹脂は一般的に熱伝導率が小さい)で過剰にコイル部に蓄積される。過剰な熱は材料を劣化させ性能低下につながる為、なんらかの放熱対策を講じる必要がある。

軽量・小形で大流量の3ポートバルブを開発する為には、上記の設計課題を解決する必要があった。次の3項ではそれぞれの課題の解決方法の詳細を説明する。そして4項でその効果を説明する。

3 課題解決方法

3-1 独自弁構造による大流量化

搬送工程の吸着・開放時間の50%低減を実現する為、第1目標を弁の流量を従来機種の3倍以上と設定した。しかし従来機種の3倍以上の流量を得る為には弁に作用する不要な荷重をできるだけ小さくし、ばね、コイルを大型化しないように低荷重のシール構造を構築する必要がある。そこで本開発では、弁を大型化するための問題点は不要な荷重を発生させる差圧とし、差圧のない独自の弁構造の構築に取り組んだ。まず弁の各動作における必要なシール荷重(ばね荷重)を除去した不要な荷重関係を分析した。そして各動作の不要な荷重を除去する構造を1つ1つ検討していった。

ベース構造をFig.5のノーマルクローズタイプポペット弁とし検討を実施した。従来のノーマルクローズタイプポペット弁には以下Fig.5、6のように、弁の各ポジションで差圧が存在するため、弁には必然的に不要な荷重が発生している。

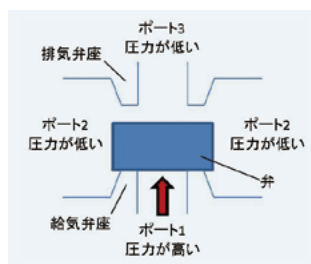


Fig. 5

ノーマルクローズタイプポペット弁
OFF時

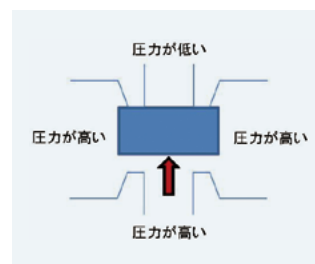


Fig. 6

ノーマルクローズタイプポペット弁
ON時

そこで別の受圧部位を設け、差圧により発生する荷重をバランスさせる事とした。Fig.7に示すように弁部の反対側に第2シール部を設ける事で、弁に発生する差圧による荷重をバランスさせることにした。

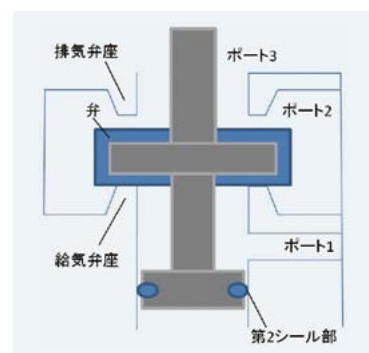


Fig. 7 第2シール部を設けた弁構造

これにより弁の各位置に対して差圧による荷重はFig.8のようにバランスされる為、シール荷重を必要最小限に最適化できる。

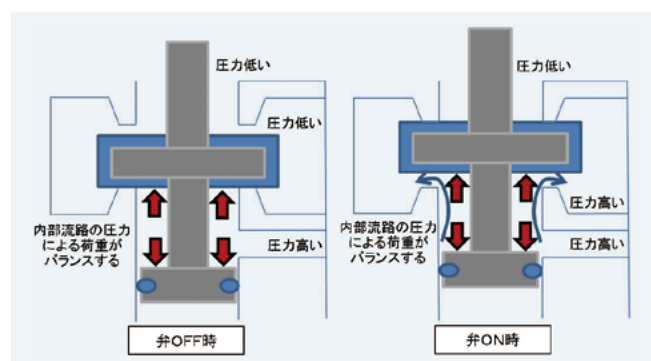


Fig. 8 第2シール部を設けた場合の弁の動作

しかし上記構造はポート1から圧力を給気した場合は荷重がバランスするが、他のポートから給気した場合には差圧による不要な荷重が発生してしまう。例えばポート3から給気した場合、Fig.9のように差圧による不要な荷重が発生してしまう。

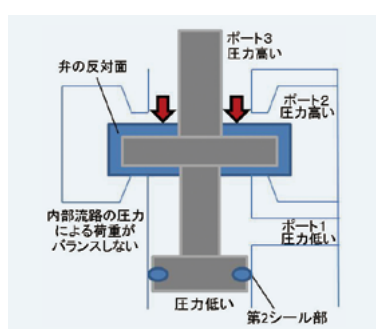


Fig. 9 ポート3からの給気

そこでポート2、3から圧力を給気しても第2シール部で荷重がバランスできるように主弁軸に貫通穴を設け、第2シール部の背面側に空気圧が通る流路を設けた(Fig.10)。これによりポート2、3から給気して弁に差圧が発生しても、常に第2シール部で差圧による荷重を発生させることができ、荷重をバランスさせることができる。

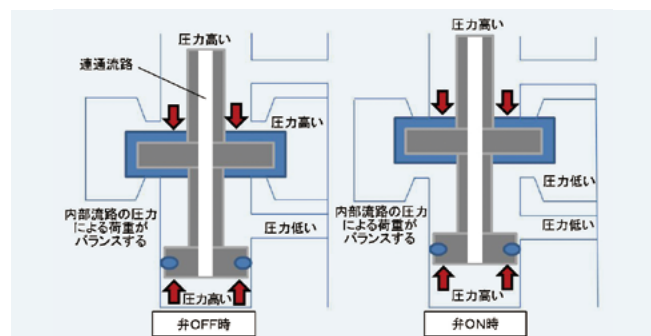


Fig. 10 連通流路の追加

これによりどのポートから空気圧を供給しても、弁に発生する差圧は第2シール部と主弁軸の連通流路でバランスすることができた。つまり差圧による無駄な荷重が発生しない独自のバランスポペット弁構造を確立することができた。

では通常のポペット弁構造とバランスポペット構造の圧力と荷重関係を確認する。通常のポペット弁ではFig.11のように差圧による荷重よりも大きいシール荷

重を必要とする。そのため低圧側には無駄なシール荷重が必要になってしまう。さらに圧力が大きくなりシール荷重を超えるとシールが維持できなくなり漏れが発生してしまう。それに対してバランスポペット構造では差圧による荷重が発生しない為、シール荷重を常に小さくすることができる。つまり差圧により無駄なシール荷重が発生しない為、ばねやコイルを大型化することなく弁径を大きくすることができ、従来機種の3.6倍の大流量化を実現できた。

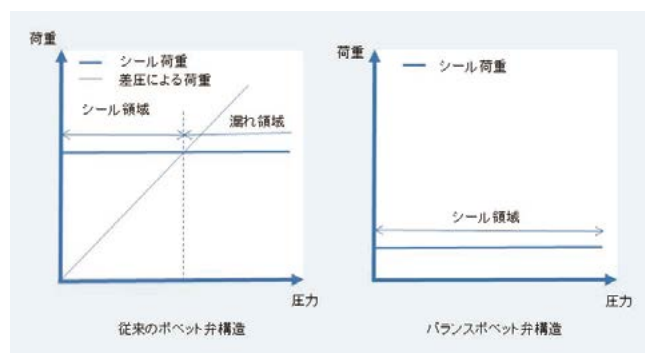


Fig. 11 荷重と圧力特性

3-2 CAE解析を用いた切換動作時間の最適化

3QRシリーズでは設計の第1目標を弁の大流量化とした。大流量化するには従来よりも弁の開度を大きくする必要がある為、可動鉄心の動作ストロークも大きくなってしまいます。そして可動鉄心の移動距離が大きくなることは切換動作時間が従来製品よりも大きくなることにつながる。そこで切換動作時間の設計目標はCAE解析を用い、各パラメータを最適化することで従来機種同等以上の切換動作時間を得る事とした。

それではCAE活用による検討事例を紹介する。まずベースとなる磁気回路を構築し、重要な因子には水準を設ける。そして水準毎にCAE解析を実施し、その磁束密度とコイル吸引力から最適な設計値を検討していく。例えばFig.12の水準1では磁束密度の集中が見られたが、Fig.13の水準2では磁束密度の集中はみられなくなった。

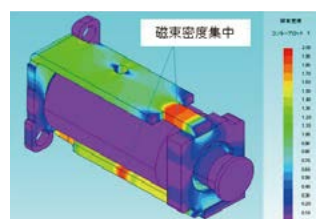


Fig. 12
水準1 磁束密度測定結果

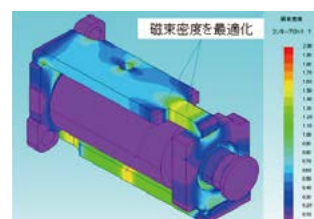


Fig. 13
水準2 磁束密度測定結果

上記のようにCAE解析で最適な形状をある程度絞り込んだ上で試作品のテストを実施し、最適な磁気回路を確立した。これにより消費電力2Wでありながら吸引力を引き上げ、切換動作時間を5msec未満(従来比1.6倍の高速化)に抑えることができた。

3-3 放熱樹脂を活用した軽量化

製品重量に関しては業界トップレベルの20g(従来比30%減)を目標に設計を実施した。従来製品から大幅に重量を軽減するため弁部の材料を金属から樹脂に変更することにしたが、一般的な樹脂は金属に比べ熱伝導率(Table.1)が悪く、熱を逃がさない。そのため、コイル温度が上昇し巻線が断線するなどの不具合を発生させる懸念があった。3QRシリーズの開発においても、当初は一般的なPPSを弁部の材料として採用したが、コイル温度が180℃まで上昇し、使用部材の耐熱性をはるかに超えてしまった。そこで対策を検討する必要が生じた。

Table.1 熱伝導率

材料	熱伝導率[W/m・K]
アルミ	200~210
鉄	50~70
ステンレス	15~25
樹脂	0.1~0.5
放熱樹脂	15~20



Fig. 14
3QRシリーズのヒートシンク構造

放熱対策としては以下の2つを軸に検討した。

- ・ 部品材料の熱伝導の改善
- ・ 製品から大気への熱伝達の改善

熱伝導の改善では材料の抜本的な見直しを行い、放熱樹脂を採用することにした。放熱樹脂は従来の樹脂に対して熱伝導率が約100倍と大きく、ステンレスに匹敵する。その為、コイルから発生する熱を弁部、マニホールドへ効率よく伝熱することができた。これによりコイル温度を約50℃低減する事ができた。

また製品の熱伝達改善策として、弁部の上面にヒートシンク形状を設けた。大気に接する面積を大きくすることで温度を約6℃改善することができた。

バルブ部品のほとんどを樹脂で構成したにも関わらず、上記の対策で放熱構造を確立し、製品重量19gを実現することができた。

4 製品性能と効果

3QRシリーズの開発では3項で説明してきた課題をクリアし、製品化を実現した。そして主要性能は以下を実現した。

- ・ 従来比3.6倍の大流量化
(音速コンダクタンス0.4[dm³/(s・bar)])
- ・ 切換動作時間4msec
- ・ 製品重量19g(従来比35%減)

バルブ性能向上によりチップ搬送の吸着・開放時間はFig.15のような結果が得られた。大流量化によりiiの流量の立ち上がり速度が大幅に改善されたことで従来製品よりも大幅に搬送工程の動作タクトを短縮できることを確認した。

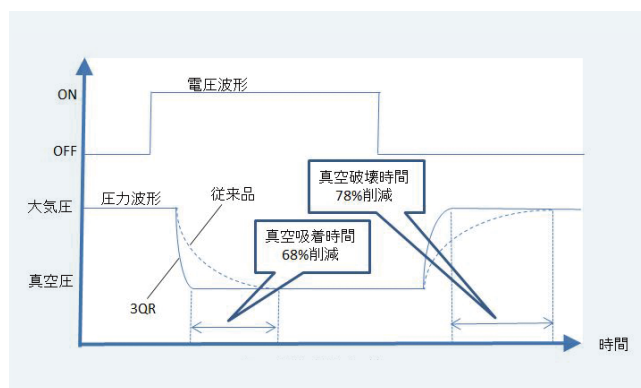


Fig. 15 動作時間の短縮

5 おわりに

3QRシリーズでは吸着搬送の対象物が比較的小形のチップ部品を主対象としたため、大きなワークサイズの吸着搬送には不向きである。また弁の切換動作性能もさらなる向上の余地がある。今後の開発では独自技術であるバランスポペット構造を活用し、より大きい対象物の吸着搬送ができる製品とさらなる高速動作を追求した次世代のバルブ開発に取り組んでいく。

執筆者プロフィール



伊藤 新治 Shinji Itoh
コンポーネント本部
空圧システムBU 第1技術部

Engineering Development No. 1, Pneumatic System
Business Unit, Components Business Division



菊池 宏 Hiroshi Kikuchi
コンポーネント本部
空圧システムBU 第1技術部

Engineering Development No. 1, Pneumatic System
Business Unit, Components Business Division



パルスショット式流量コントローラ

Pulse Shot Type Flow Controller

西村 康典 Yasunori Nishimura

当社では半導体製造装置向けファインシステム機器としてプロセスガス用、薬液用の各種製品を製造、販売している。プロセスガス用の機器としてはエアオペレートバルブやマニュアルバルブ、レギュレータなどがある。また、これら機器や圧力計、流量を制御するマスフローコントローラ等をコンパクトに集積化した集積化ガス供給システムの製造、販売も行っている (Fig.1)。この中でもマスフローコントローラは、プロセスガスの流量を正確に管理する必要があり、半導体製造工程において重要な機器の一つであるが、応答性に限界がある点やガスの種類に応じ機種を変更しなければならない点、マスフローコントローラを含めたガス供給システムが複雑になる点が課題としてある。ここではこれらの課題を解決するために当社がこれまでに培ってきた流体制御技術のノウハウを生かして開発した、パルスショット式流量コントローラについて紹介する。

CKD manufactures and sells various products for process gases and for chemical liquids as ultra high purity components for use in semiconductor manufacturing equipment. Air-operated valves, manual valves, and regulators are examples of process gas components. We also manufacture and sell an integrated gas supply system (see Fig.1), which is a system of compactly integrated devices including process gas components, pressure gauges, and mass flow controllers that control flow rate. Among these devices, mass flow controllers are one of the important components in semiconductor manufacturing processes since they need to control the flow rate of process gases accurately; however, there are issues - the limits in response, the need to change the product model depending on the type of gas, and the complexity of the gas supply system when it includes a mass flow controller. We present, in this paper, the pulse shot type flow controller which we developed by utilizing the know-how we have accumulated in fluid control technology to address these issues.

1 開発背景

気体の流量を計測するには、差圧式や超音波式、フロー式等、様々な方式があり用途に合わせ使い分けが成されている。

半導体製造に使用される流量計としては、腐食性ガスの流量を精度良く流すことができ、小型化が可能なことから、熱式質量流量センサを用いることが多い。熱式質量流量センサの検出部には、細管に2つのヒータが直列に配置されている (Fig.2)。ヒータを加熱すると、流れの無い場合は温度分布がヒータを中心に対称となる。また、流れがある場合は、温度分布が崩れ、ヒータ上流側の温度は低下し、ヒータ下流側の温度は上昇する。この温度分布は流量によって変化し、ヒータの抵抗値の差となって現れる。これを電気信号に変換し、精度よく流量を計測している。流量コントローラ (マスフローコントローラ) として使用する場合は、このセンサの下流側に流量を比例制御するバルブが配置される。しかしながら、熱の移動量で流量を検出するため、俊敏な計測には不向きで応答性に限界があり、温度分布の崩れ度合は気体の種類により異なることから、気体毎に流量換算係数 (コンバージョンファクタ) を用い流量出力を変更する必要がある。またマスフローコントローラの前には、流量を安定供給させるためのレギュレータや圧力計、流体を確実に供給・遮断させるための遮断弁を設置する必要がある、システムが複雑になる (Fig.3)。

本稿で紹介するパルスショット式流量コントローラは、これらの課題を解決するために新たな方式を検討、開発したものである。



Fig. 1 集積化ガス供給システム

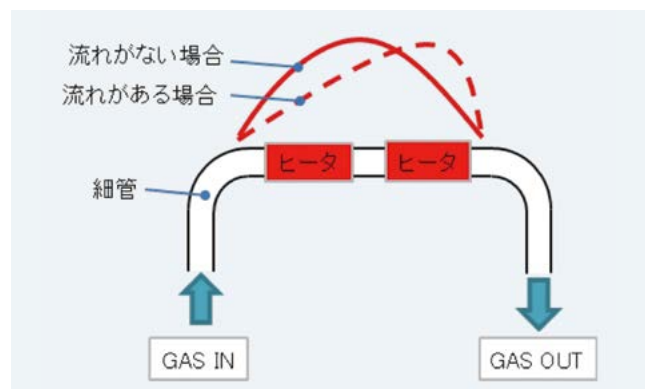


Fig. 2 流量センサ検出部の構造

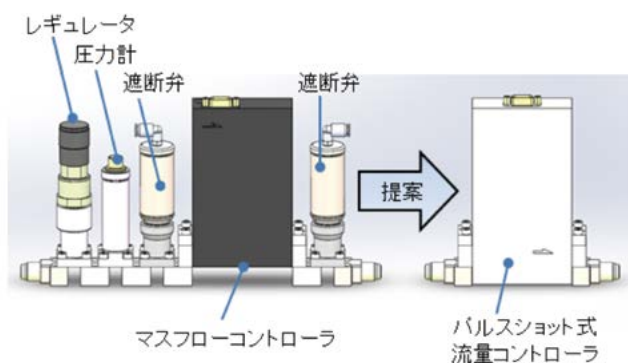


Fig. 3 ガス供給システム

2 開発コンセプト

半導体製造装置向け流量コントローラに求められる性能は、耐腐食性、小型のほか、流量精度、繰り返し性、クリーン性能など多岐にわたる。

パルスショット式流量コントローラは、これら要求事項に加え、次にあげるコンセプトのもと開発を行った。

・高応答性

半導体プロセスのスループット向上。

・ガス種の依存度が小さい

複数のガス種を1機種で対応、装置の保守交換部材在庫の大幅な削減。

・ガス供給システムの簡素化

システムの簡素化で省スペースに貢献。

3 構成と動作原理

本パルスショット式流量コントローラは、気体の状態方程式“ $PV=nRT$ ”¹⁾を用い構築した。

構成はFig.4ブロック図に示すように、ガスを充填するための容積V0、その上流側にはガスを供給するための給気弁、下流側にはガスを放出するための排気弁が、容積V0には、充填されたガスの圧力と温度が計測できるよう、圧力計と温度計が設置されている。また制御基板にて、流量設定信号に応じた給気弁、排気弁の駆動制御、および圧力計、温度計の信号取り込み、演算、流量出力を行う。

ガスを流す際は、容積への充填・放出を繰り返すことで行い、流量のコントロールは放出時の容積内圧力を監視して、排気弁の開閉時間で調整する。

ここで一連の操作をFig.5に、またこの時の容積V0の圧力状況をFig.6に示す。流量算出方法は以下の要領で行った。

a) 給気弁を開き容積V0にガスを充填する。

b) 充填完了後、給気弁を閉じ容積V0内の圧力P1、温度T1を計測、これを20℃、1atmでの体積V1に換算する。
 $P1 \cdot V0 / T1 = Patm \cdot V1 / T20 = \text{一定} \dots \dots (1)$
 $V1 = P1 / Patm \cdot V0 \cdot T20 / T1 \dots \dots (2)$

c) 排気弁を開き容積V0内に充填されたガスを放出する。

d) 容積V0内が所望の圧力になったら、排気弁を閉じ容積V0内の圧力P2、温度T2を計測、これを20℃、1atmでの体積V2に換算する。

$$P2 \cdot V0 / T2 = Patm \cdot V2 / T20 = \text{一定} \dots \dots (3)$$

$$V2 = P2 / Patm \cdot V0 \cdot T20 / T2 \dots \dots (4)$$

となる。流量はこの一連の動作 a) ~ d) を繰り返し行い式(5)で算出される。

1回の放出で体積V1-V2が下流側に流れる。このサイクルを単位時間あたりN回/min繰り返すと、20℃、1atmでの流量Q20は、

$$Q20 = N \cdot (V1 - V2)$$

$$= N \cdot V0 \cdot T20 / Patm \cdot (P1 / T1 - P2 / T2) \dots (5)$$

で求められる。

この動作原理を用いることで、Fig.3に示したガス供給システムを簡素化、レギュレータや圧力計、遮断弁の排除が可能となる。

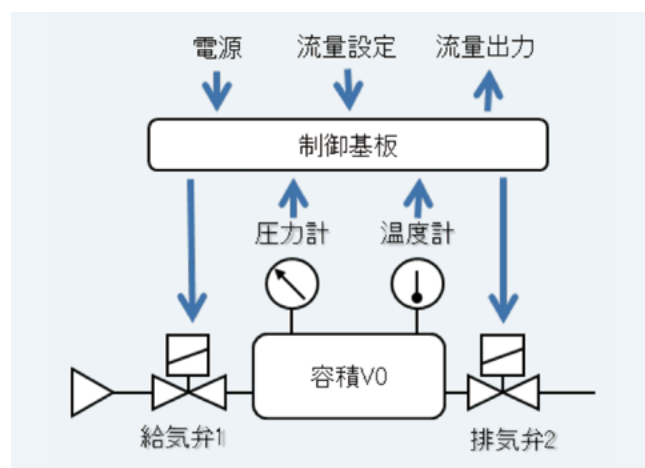


Fig. 4 ブロック図

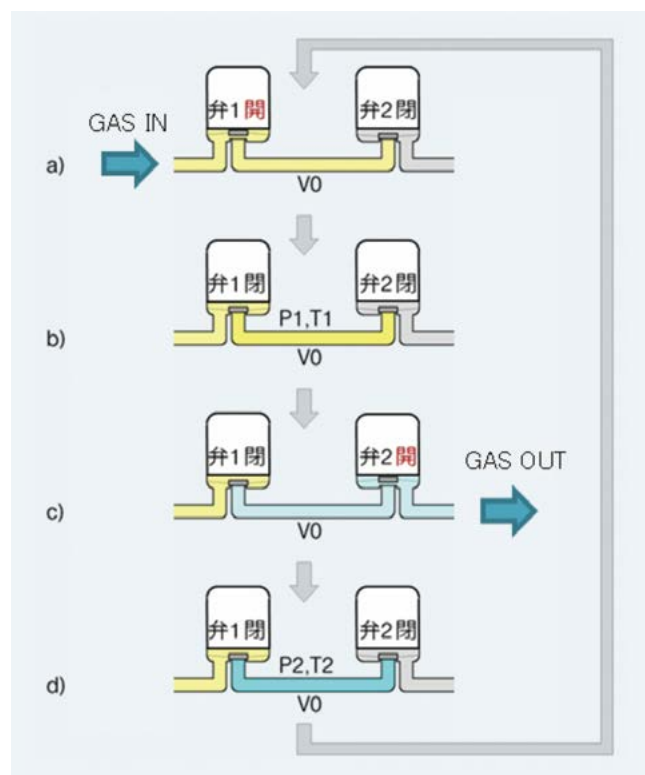


Fig. 5 一連の操作

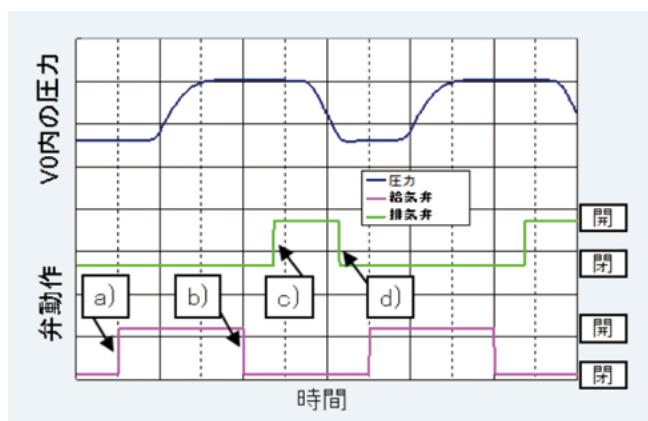


Fig. 6 給・排気弁動作と容積VOの圧力状況

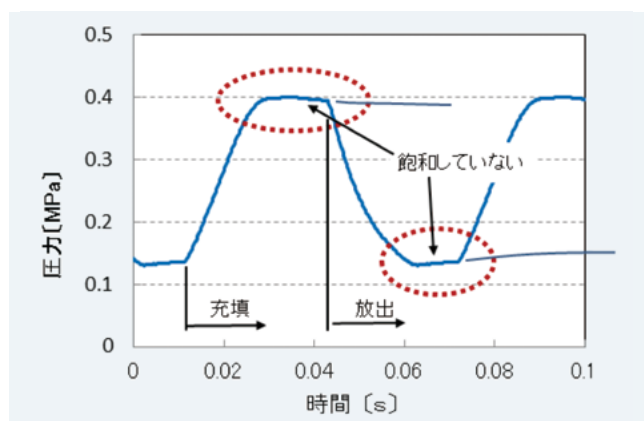


Fig. 7 容積内の圧力挙動

4 開発ポイント

4-1 給気弁・排気弁に求めること

流量をコントロールする際、給気弁・排気弁を交互に開閉を行い下流側にガスを流すため流量は脈動してしまう。この脈動を小さくするためには弁を高速で高頻度に動作させなければならない。高速・高頻度に動作させることで下流側の配管等により脈動を緩和することができる。またガスを容積に充填・放出する際、確実に供給・遮断でき、腐食性ガスも流せるプロセスガス用バルブが必要となる。これらを満たすバルブとし、接ガス部は高耐食性材料を採用、インダクタンスが小さく、駆動部の摺動がないディスクプランジャ方式の電磁弁を開発した。

4-2 断熱圧縮、断熱膨張の影響対策

精度よく流量を流すためには、容積内の圧力を正確に計測する必要がある。しかしながら、充填・放出により容積内は加圧・減圧を繰り返されるため、ガスは断熱圧縮・断熱膨張が起こる。このため容積内の圧力はFig.7に示すように過渡的に変化しており、飽和した状態での圧力は計測できない。実際、流量を計算する際は、飽和状態での圧力が必要となる。そこで容積内の圧力変化の傾きと、飽和状態での平衡圧力に一定の関係があることから、この関係を定数としてあらかじめ求めておき飽和圧力を推定することにした(Fig.8)。また飽和後の圧力は、ガスの種類により異なるが、この方式でガス種の依存の影響も緩和させることを試みた。

4-3 理想気体の状態

気体の状態方程式“ $PV=nRT$ ”は、扱う気体が理想状態からかけ離れるほど、計算誤差が大きくなる。実在する気体の分子の大きさや分子間力が影響するためである。このため扱うプロセスガスは、沸点が低く、比較的低压な理想気体に近い状態であることに留意する必要がある。

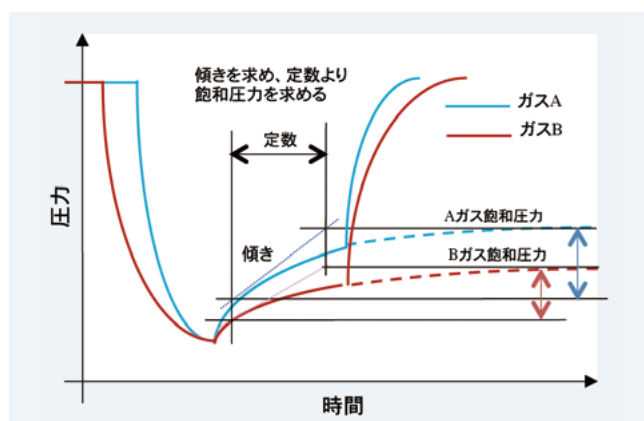


Fig. 8 飽和圧力の推定方法

5 評価結果

Fig.9はパルスショット式流量コントローラの内部構造である。本品を用い評価を行った。代表特性を以下に示す。応答性の結果Fig.10では、流量設定信号を与えてからの流量の立ち上りが、マスフローコントローラと比較し早いことが確認できる。またFig.11は窒素での流量制御結果、Fig.12はガス種依存の確認としアルゴンでの流量制御を行ったものである。流量制御結果より、流量精度はガス種依存を含め $\pm 5\%$ F.S.以下での制御が可能であることが確認できた。

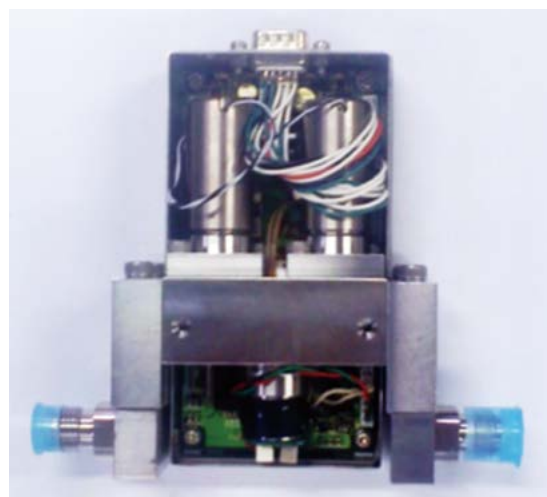


Fig. 9 内部構造

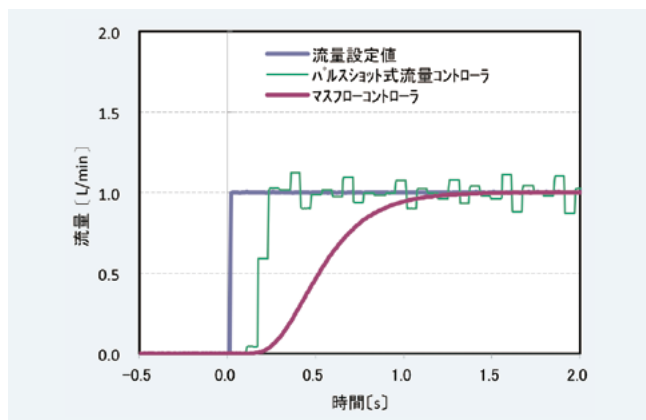


Fig. 10 応答時間比較

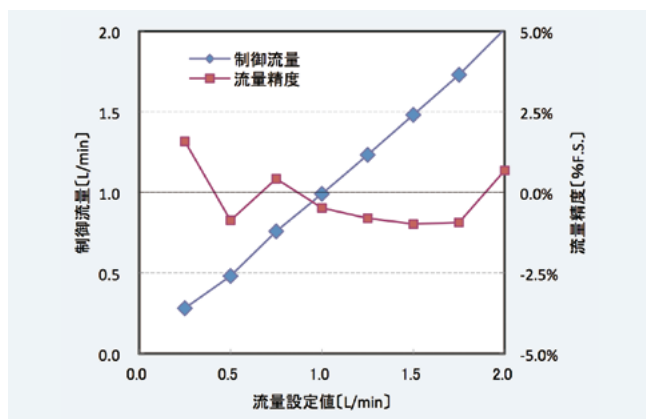


Fig. 11 流量制御結果 (GAS : N2)

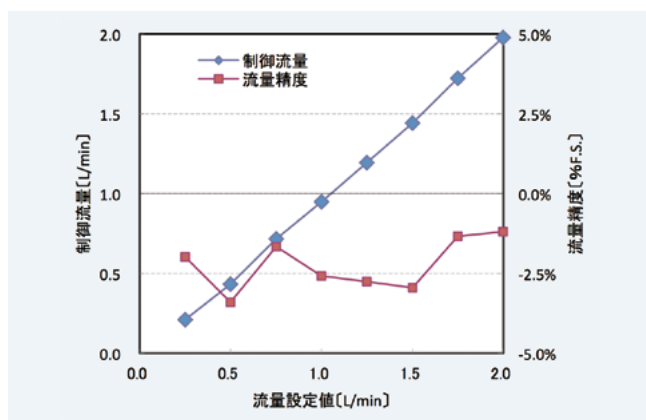


Fig. 12 流量制御結果 (GAS : Ar)

6 今後の課題

本製品で掲げたコンセプトに基づき開発を行い、上記の結果を得た。

更なる流量精度の向上を目指すためには、理想気体ではなく実在気体として扱う必要が出てくる。先に述べたように気体は、低温、高圧になるにつれ理想気体からかけ離れた状態になり、これが流量精度を悪化させる。

実在気体として扱う場合は、圧縮因子 $Z^{1)}$ を用い、“ $PV=ZRT$ ”と表すことができるが、無次元数でありガス種固有の特性となる。

結果、ガス種に依存することになるが、製品自体にキャリブレーション機能を設け、ガス種による温度や圧

力等の影響を自己補正できるアルゴリズムを構築することで対応していきたい。

7 今後の展望

半導体製造プロセスは日々進化し続けている。そこに使われる機器もまたこの進化に対応すべく、より難易度の高い要求に応えていかなければならない。

ここでは、バルブの高速・高頻度パルス駆動と流体がもつ特性を活かし、新たな流量コントロールの方式を紹介した。このパルスショット方式は流量コントローラにとどまらず、流体制御にかかわる様々な技術への応用が期待できる。

これからも当社の強みを生かした製品の開発を行い、豊かな社会づくりに貢献していきたい。

執筆者プロフィール



西村 康典 Yasunori Nishimura
コンポーネント本部
ファインシステム統括BU 事業企画部
Business Planning Department, Ultra High Purity Products
Administration Business Unit, Components Business Division

出典

- 1) P.W.ATKINS, アトキンス物理化学上、東京化学同人、3-39 (1997)



医薬品製造工程向けサニタリーバルブ

Sanitary Valves for Pharmaceutical Manufacturing Processes

横枕 祐 Tasuku Yokomakura

現在医薬業界はジェネリック医薬品の普及により、医薬品製造工程の生産性向上が望まれており、なかでも工数のかかる洗浄、滅菌工程の効率化が課題となっている。

流体制御機器メーカーとして様々なバルブの開発を行ってきた当社として、半導体製造装置向けなどで培ったクリーンな技術を展開することで、医薬品製造工程の効率化に貢献することを目的としたサニタリーバルブの開発を行った。

開発にあたりこだわったポイントである ①省スペース、②メンテナンス性、③洗浄性について紹介する。

また、開発した製品を持ってお客様の声を聞いて回る中で、さまざまな課題やニーズが見えてきている。それらの問題を解決する手段の一つとして好評をいただいている製品も紹介する。

Currently, due to the spread of generic drugs, the pharmaceutical industry is seeking to make improvements in productivity of pharmaceutical manufacturing processes. One key challenge for the industry is improving efficiency of cleaning and sterilization processes, which consume large number of man-hours.

As a manufacturer of fluid control components, CKD has been developing various types of valves. By deploying clean technology cultivated through the development of semiconductor manufacturing equipment valves, we developed sanitary valves that are intended to contribute to efficiency of pharmaceutical manufacturing processes. This paper discusses three points we focused on in developing these valves: space-saving design, ease of maintenance, and cleanability.

Furthermore, in gathering our customers' reactions to the developed product, we identified various issues and needs. This paper also introduces a product that is well received by our customers as one of the means for solving these problems.

1 はじめに

医薬業界で使用されるバルブはサニタリーバルブと呼ばれる。サニタリーとは辞書を引くと「衛生上の」「衛生的な」という意味で、明確に定義されているわけではないが、業界では様々な意味をもつ。以下の5点は当社が医薬市場の調査を行う中で上がった「サニタリー」が意味する要求項目である。

- 1、流体を汚染しないこと
- 2、CIP(定置洗浄)できること
- 3、SIP(蒸気滅菌)できること
- 4、分解、交換できること
- 5、液が流れ落ちること

医薬業界では配管内の液体を流しきるために、医薬業界のサニタリーバルブは「堰」という意味を持つウエア形のダイヤフラムバルブが使用される。このタイプは製品を傾けて配管することで、1次側と2次側の流路が同じ高さでつながり、液が滞留なく流れ落ちるというメリットがある (Fig.1)。

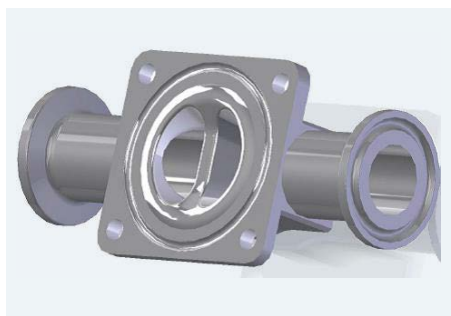


Fig. 1 ウエア構造

但しこのシール構造は半導体などで使われるポペット形とは異なり、湾曲した面に対してダイヤフラムを押し付けてシールする特殊な構造となっている。この構造はシールするためには大きな力が必要であり、そのため駆動部が大きくなってしまいうという難点がある (Fig.2)。

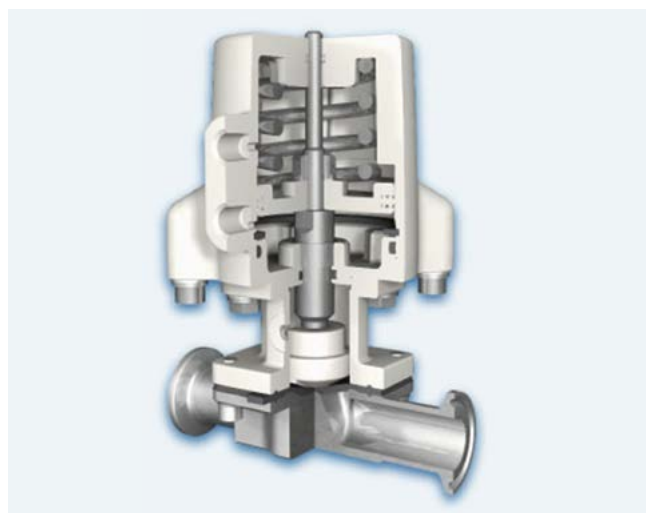


Fig. 2 ウエア形ダイヤフラムバルブ

洗浄工程の厳格化で配管が複雑になり、バルブを設置するスペースが少なくなっている装置や設備が見られる今日、駆動部の大きさはサニタリーバルブの課題の一つだった。

また、医薬品製造工程ではバルブなどが壊れる前に

消耗部品を交換する定期的なメンテナンスを行うことが必須である。しかし、メンテナンスには非常に時間がかかるため、簡単に分解・交換できるバルブが欲しいという要求は非常に強いものがある。

さらに、配管内を衛生的な状態に保つために、洗浄が定期的に行われる。このため、バルブについてもより早く、より確実に洗浄できるものが求められている。

そこで当社は下記の3つのコンセプトを設定し、開発を行った。

- ①省スペース
- ②メンテナンス性
- ③洗浄性

2 開発コンセプトを満たす製品設計

2-1 省スペース

省スペースな製品の設計に最も寄与する部品がダイアフラムである。従来のダイアフラムは非常に厚肉で、強度は高いが動かしにくかった。このためダイアフラムを動かす力も強くする必要があり、ウェア形ダイアフラムバルブの駆動部を構成するシリンダは強い力が出せるよう、内径が大きいものを選ばれる。バルブとしては機能するが、バルブ全体の寸法は大きくなってしまっていた。このためダイアフラムの設計を見直すことによって小さい力で弁を閉止できる構造にすれば、シリンダ径を小さくでき、省スペースに貢献できる。

これにはダイアフラムの屈曲性を上げることが効果的である。当社はPTFEとゴムを張り合わせた構造を採用することにより、屈曲性の高いダイアフラムを実現した。

さらにダイアフラムをボディに押し付けるコンプレッサと呼ばれる部品について応力解析を行い、小さい力で確実に弁を閉止する形状とした。

これによりエアオペレート式バルブについては他社製に対しシリンダ径を一回りずつ小さくすることができ、外形寸法は約10%小さく、手動バルブについては他社製に対し製品高さを最大25%小さくすることに成功した。

2-2 メンテナンス性

メンテナンスを行う上で重要なポイントとなるのが、言うまでもなく分解・組み付け後に弁の閉止が確実にできることである。しかし、従来の製品でこのような弁としての機能を満たすように組み立てるためには、高い技量を有した作業者が注意深く作業する必要があった。製品の構造上、ダイアフラムの中心位置がボディの中心位置と合わず、組み付け後に内部の漏れが発生していたからである。また、ダイアフラムが硬く変形しにくいため、組み付けの際にボディに倣いにくく、締結のためのボルトをねじ込むのが難しいという問題もあった。

そこでボディ側に位置決め溝を設置し、ダイアフラム側の位置決めピードと嵌合することで中心位置が確実に

に合う構造とした(fig.3)。屈曲性の高いダイアフラムを採用しているため位置決め機構が十分に機能し、駆動部の小型化による軽量化等も寄与することで、確実にかつ容易に弁としての機能を満たす組立ができた。当社での試験の結果、分解・組み付けにかかる時間を10%短縮できる。さらに、従来の構造ではこの時間に加え組み付け後に外部への漏れが発生した場合、同作業をやり直しとなる。この点も考慮するとメンテナンス時間短縮に大きく貢献することに成功した。

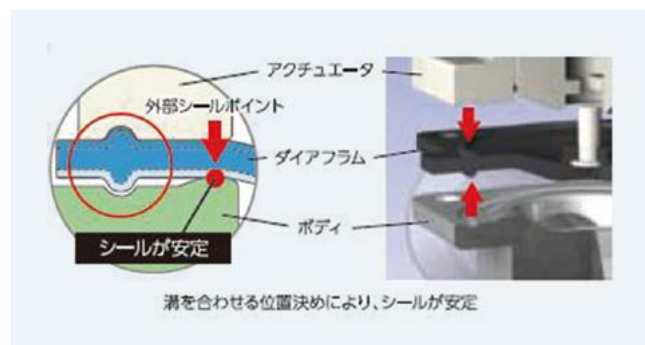


Fig. 3 ダイアフラム位置決め機構

2-3 洗浄性

従来の流路構造では弁を閉止したときにデッドボリュームが存在し、これが洗浄性を悪くする原因になっていた。デッドボリュームとはダイアフラムが閉じたときにボディとダイアフラムによってできる流体の流れが発生しない空間であり、液が滞留するポイントとなる。当社は従来とは異なり、ボディ側に外部シールのピードを設けることでデッドボリュームのない流路構造を実現した(Fig.4)。

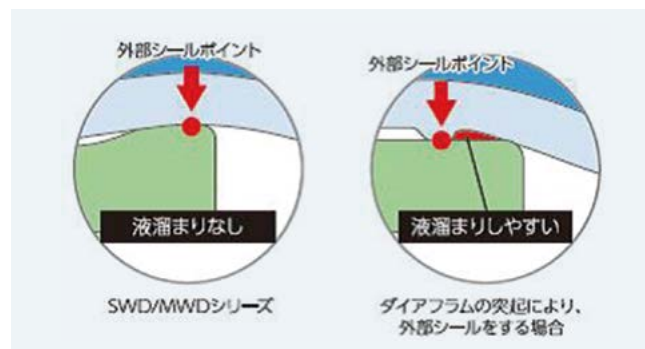


Fig. 4 デッドボリュームのない外部シール機構

洗浄性の高い流路構造については、まず流線解析を行って最適な形状を検証した。洗浄性が高い流路とは液体を流した時に配管の隅々まで流体が行き渡り、且つ流速が速い状態を保つ流路である。流速が速ければCIPを行った時に汚れが配管表面から剥離しやすいため、より洗浄性が高いと考えた。当社製品は前記デッドボリュームがない上、ボディの流路の最大径から外部シールまでのクリアランスが非常に少ないこと、さらに流線解析で検証した流路設計から、隅々まで洗浄できる洗浄性の高いバルブと言える(Fig.5)。

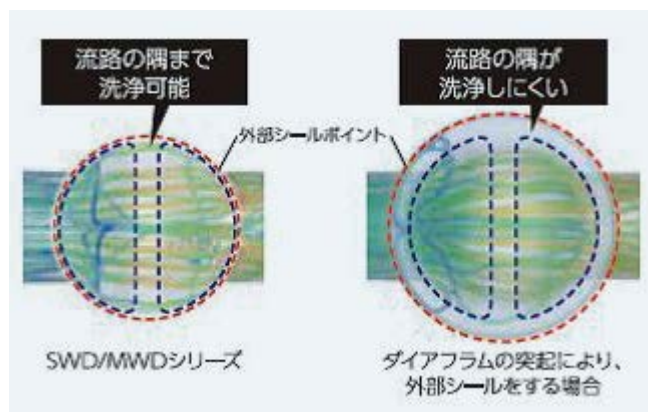


Fig. 5 流線解析による洗浄性の検証

検証試験として、食品業界などで使用されているテスターを使用して残渣の測定を行った。使用したのはK社ATP測定器で、物体に含まれる微生物のエネルギー源となる物質「ATP(アデノシン三リン酸)」を測定する装置である。あらかじめATPを含む試薬をバルブ内に流しておき、CIPを想定した洗浄を行う。その後バルブを分解し、流路をふき取った時の洗浄時間ごとのATP残渣の推移を見た(Fig.6)。

当社バルブは他社製に対し短時間で洗浄できていると言え、CIPの時間短縮に貢献する。

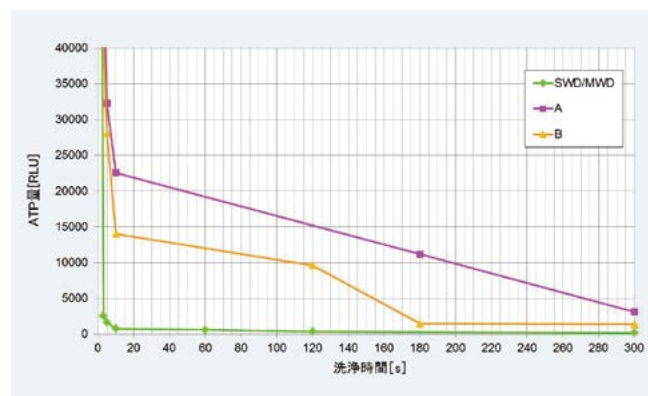


Fig. 6 ATP 残渣の推移

3 お客様の要求に合致した製品開発

今回開発した製品を持ってお客様の声を聞くことで、さまざまな課題やニーズが見えてきている。そのうちのひとつが手動弁を増し締めしたり、過剰に締めつけたりすることによるダイアフラムの早期劣化の改善である。

医薬品製造工程において、SIPの際は配管内に高温の蒸気を流し(配管内が例えば121℃の状態を20分以上維持することが求められる)滅菌を行う。しかし、配管内には分岐した後に閉止された袋状の空間がしばしば存在するため、温度が上がりにくい箇所がある。そこで分岐後の配管に設けられた手動弁を少し開くことにより、蒸気を行き渡らせて温度を上げている。

この工程ではSIPが終了となる直前に手動弁を閉じ

る必要があり、高温状態の中でバルブを閉じる際にハンドルを強い力で締め付け過ぎることによってダイアフラムが早期劣化していた。さらに配管が常温に戻った時、熱収縮によるダイアフラムからの漏れを気にして増し締めが行われる。この作業も過剰な力で締め付けるため、ダイアフラムに異常な負荷がかかり、さらなる早期劣化につながっていた。

これは従来の手動弁の構造にも問題がある。従来の手動弁はボンネットに設けられた目印によって弁の閉止タイミングを目視で測る構造だが、作業者にとっては分かりづらいため、目印とは関係なくとにかく力強く締め付けているのが現状だからである(Fig.7)。



Fig.7 手動弁の目印(ハンドル下の赤い帯)

これらの問題点を踏まえ、当社は半導体で培った技術をもとに、締め過ぎを防止できる手動弁を開発した(Fig.8)。



Fig.8 締め過ぎ防止機構付き手動弁

設計のポイントとしては

- ①高温化でもダイアフラムが劣化しないこと
 - ②増し締め不要であること
 - ③目視だけでなく、感触でもバルブ閉止が分かること
- という3点である。

開発した過締め防止バルブの構造は内蔵されたスプリングにより、ハンドルの回転がストップしてもシーリング力がスプリングを介して働くというものである。シーリング力は作業者の締め付け力ではなくスプリング力であるため、常に一定且つ最適なシーリング力を発生させることができる。高温下においても、必要最小限のシーリング力しか加わらないためダイアフラムの劣化を防止することが可能である。高温下での耐久性については実際に蒸気を流した状態で過剰な力で締め付ける試験を行い、従来品に対し100倍以上の耐久性能があることを確認した(Fig.9)。

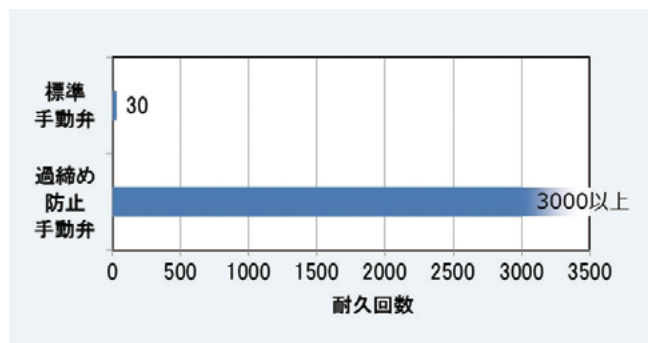


Fig. 9 過剰な締め付け条件での手動弁耐久試験結果

また、バルブが常温に戻ってダイアフラムが熱収縮しても、スプリングの力が弁を閉止する方向に働いているため増し締めは不要となる。配管が常温に戻った後全ての手動弁を増し締めする必要がなくなり、作業工数の削減、締め忘れによる漏れリスクの排除という大きな効果を提供することができた。お客様からもダイアフラムのメンテナンス費用が大幅に削減できると大変好評を得ている。

さらに、スプリングによるシール構造にすることで、作業者が操作するハンドルにメカストップ機構を持たせることができた。それにより締め終わるポイントでハンドルが急激に重くなり、それ以上回せなくなる。作業者が目視に加え、感触でも締め切ったことが判断できる分かり易さを提供することができた(Fig.10)。

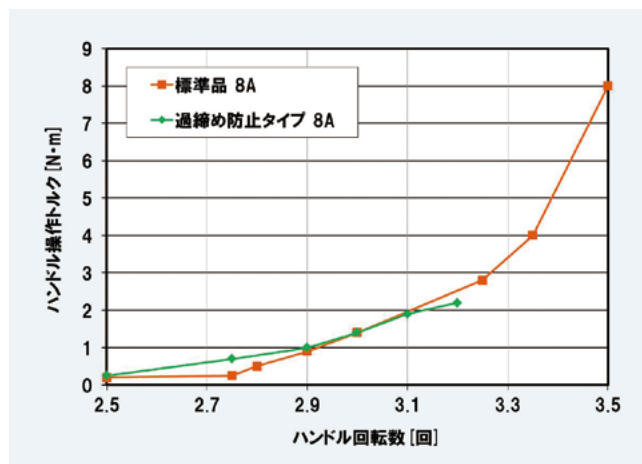


Fig. 10 ハンドル回転数と操作トルクの関係

7 おわりに

医薬品製造工程は生産性を高めるために、洗浄、滅菌の効率化の要求が高まっている。また、近年ではバイオ医薬品が多く開発されてきていることから、洗浄性能に対する要求も急速に高まってきている。

このようなニーズに対し当社がご提案できる商品はまだあると考える。制御バルブのみならず半導体機器、空圧機器、センサー機器など、幅広い技術から新たなニーズに応えられるような製品を提供していく。

執筆者プロフィール



横枕 祐 Tasuku Yokomakura
コンポーネント本部 制御システムBU 第1技術部
Engineering Department No. 1, Fluid Control System
Business Unit of Components Division

■ 会社概要

設 立 1943年4月

代 表 者 代表取締役社長 梶本 一典

資 本 金 110億16百万円

株 式 上 場 東証、名証1部

事 業 内 容 自動機械装置及び省力機器、空気圧制御機器、駆動機器、
空気圧関連機器、ファインシステム機器、流体制御機器など
機能機器の開発・製造・販売・輸出

CKD技報 Vol.2

発 行 2016年 1 月 1 日

発行責任者 中島 隆夫

監修責任者 野田 尚彦 菅 正

発行事務局 諫山 洋子

印 刷 所 竹田印刷株式会社

発 行 所 CKD株式会社
〒485-8551 愛知県小牧市応時二丁目250番地
0568-77-1111（代表電話）

※本誌に掲載されている論文は、下記URLより閲覧が可能です。

<http://www.ckd.co.jp/company/giho/index.htm>

※本誌に掲載されている製品名は、当社が所有する商標または登録商標である場合があります。

The CKD logo is displayed in the top left corner in a bold, white, sans-serif font. The background of the entire page is a vibrant blue sky with a bright sun in the upper right, creating a lens flare effect, and scattered white clouds at the bottom.

CKD

Automation Technology for the Future

自動化で未来を拓く

CKD株式会社