

CKD技報

CKD TECHNICAL JOURNAL

Vol.5

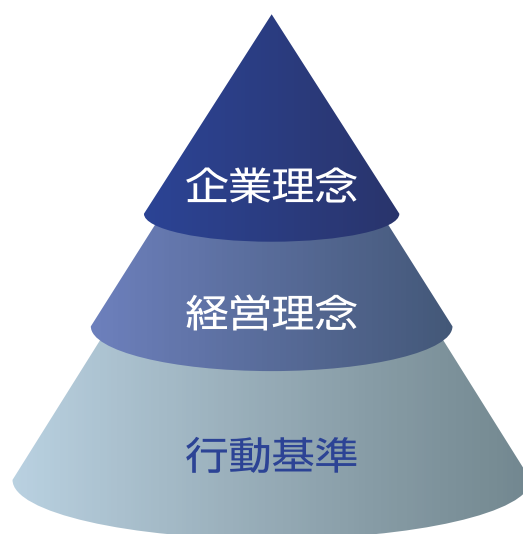


企業理念・経営理念・行動基準 Corporate Philosophy and Corporate Commitment

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

課題につながる技術への探求	1
---------------	---

巻内特集 テーマ「小形化」









 新型薬品包装機の開発	2
 ダイアル付きスピードコントローラの小型化技術	6
 酸素濃縮器用電磁弁の小型化技術	10
 PTPシート・打ち抜き・印刷ズレ検査装置の開発	13
 スパイラル形蛍光灯におけるガラス加工技術	18
 窒素ガス精製ユニット	23
 流量モニタリングシステム	26
 塩酸蒸気環境下によるSUSXM7材ボルトの応力腐食割れ評価	30

Table of Contents

Pursuing Technologies that Solve Problems	1
---	---

Special Report on "Miniaturization"

 Development of New Pharmaceutical Blister Packaging Machine	2
 Downsizing Technologies of Speed Controller with Adjusting Dial	6
 Miniaturization of Solenoid Valve for Use in Oxygen Concentrators	10
 Development of Blister Sheet Inspection Machine for Punching and Printing Displacement	13
 Glass Processing Technology for Spiral Type Fluorescent Lamp	18
 Nitrogen Gas Extraction Unit	23
 Flow Monitoring System	26
 Evaluation of Stress Corrosion Cracking of SUSXM7 Bolts under Hydrochloric Acid Vapor Environment	30

課題につながる技術への探求

Pursuing Technologies that Solve Problems

奥岡 克仁 Katsuhito Okuoka

CKD株式会社

取締役常務執行役員

CKD Corporation

Director & Managing Executive Officer



製造業を取り巻く環境はグローバル化や多様化が加速しており、国内では労働人口の減少による深刻な人手不足、海外では人件費の高騰なども加わり自動化へのニーズが大きく高まっています。このような中、当社では企業理念である「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」に立ち返り、私たちの持つコアテクノロジーをベースとしてお客様の困りごとを解決し、新たな価値を提供する活動を展開してまいりました。

今回で第五刊となるCKD技報も同様にお客様の課題解決の過程で培われた「小形化」技術を主テーマとして「効率化・自動化」に役立つ内容を加えて編纂をしました。

創刊以来、技報はたくさんのお客様から好評を得てさまざまな問合せを頂戴しました。その結果、お客様の課題解決に新たにつながると同時に私たちの技術も深化を遂げることができました。本刊も皆様の課題解決につながる一助になれば幸いです。

最後になりますがCKDは、創立75周年を迎えることができました。これも日ごろからご愛顧頂いているお客様をはじめ代理店様や購買先様の温かいご支援の賜物と心より深く御礼を申し上げます。

CKDグループはお客様に寄り添う技術開発を更に加速し社会に貢献してまいりますので引き続きのご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

Demand for automation is becoming greater than ever in manufacturing industries, with serious shortage of manpower due to a decrease in labor force in Japan, and soaring labor costs overseas, in addition to accelerating globalization and diversification.

Under such circumstances, CKD has been delivering new values that solve customers' problems based on our core technologies, going back to its corporate philosophy of "With creative knowledge and technology; We shall innovate fluid control and automation; Thus contribute to build rich society". In this fifth volume of "CKD Technical Journal", we have authored to include contents useful for "efficiency improvements and automation" with "miniaturization" technology, which we have accumulated through solving problems of our customers, as the main theme.

Since its first publication, the "CKD Technical Journal" has gained popularity among many customers, and we have received many inquiries. As a result, we have helped customers solve problems and at the same time deepened our technology. I hope this volume will also help you find solutions to your problems.

Finally, CKD is celebrating its 75th anniversary. I would like to deeply express our humble gratitude and appreciation to our customers, to our distributors, and to our suppliers for their continued patronage and for the warm support. I ask for your continued guidance and encouragement in our endeavors as we, the CKD Group, further accelerate technological development according to customers' needs and contribute to a prosperous society.



新型薬品包装機の開発

Development of New Pharmaceutical Blister Packaging Machine

田代 大輔 Daisuke Tashiro

PTP薬品包装には、使用する包材の特性や錠剤の特性に伴う機能追加など、ユーザごとの様々な要求仕様がある。これらに対応する薬品包装機は、オプション・特注仕様のバリエーションが多く、機械が大型化、複雑化している。

一方で、包装工程への設備導入や更新においては、機械稼働の安定性や機能の充実に加えて、クリーンルーム環境の限られたスペースへの設置や使いやすさが求められている。

こうした高機能化と省スペース化などの要求に応える為に、必要な機能をあらかじめ備えた「パッケージ」、使いやすさを追求した「デザイン」、既存スペースにも設置可能な「コンパクト」の特長を持つ新型薬品包装機FBP-320Eを開発した。

本稿では、FBP-320Eのコンセプトや開発の取り組みについて紹介する。

Pharmaceutical Blister Packaging Machines are requested to have various requirements for each customer such as additional function to handle special characteristics of packaging material to be used and tablet to be applied. Pharmaceutical blister packaging machines should have variety of options and custom specifications to meet these requirements, which makes the machines increasing in size and complicated.

On the other hand, when the packaging machines are introduced or renewed, small footprint to install in a limited space of clean room and user friendliness is required in addition to stable machine operation and enriched functions.

To resolve this conflict of high performance and space saving, we have developed new pharmaceutical blister packaging machine model FBP-320E which realizes outstanding features of “Package” to have necessary functions available in advance, “Design” to seek user friendliness and “Compact” to install in a limited space. This article introduces concept and approach to development of FBP-320E.

1 はじめに

当社の薬品包装機械では、薬を指で押し出す包装形態であるPTP(Press Through Pack)薬品包装を行っている。

薬品包装工程には、使用する包材の特性や錠剤の特性に伴う機能追加に加えて、様々な検知機能や錠剤検査機能など、ユーザごとの多種多様な要求仕様がある。(Fig. 1)

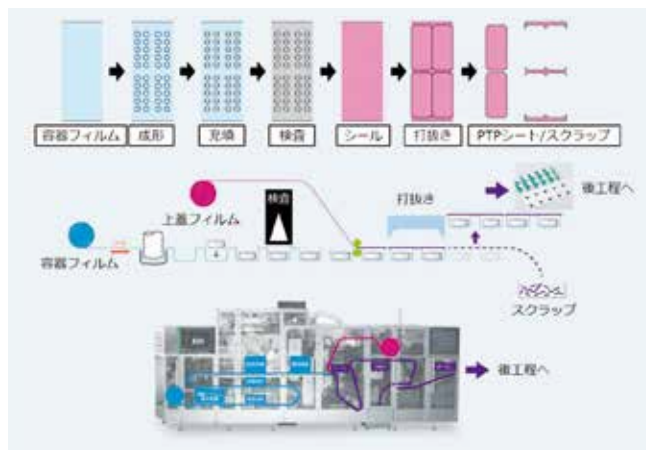


Fig. 1 薬品包装工程

これらに対応する薬品包装機は、オプション・特注仕様のバリエーションが多く、機械が大型化、複雑化している。

一方で、包装工程への設備導入や更新においては、機械稼働の安定性や機能の充実に加えて、クリーンルーム環境の限られたスペースへの設置や使いやすさが求められている。

2 コンセプト

このような高機能化、省スペース化などの要求に応える為に、薬品包装機FBP-320Eでは、

- ①必要機能を持つ標準仕様の「パッケージ」
- ②使いやすさを追求した機械「デザイン」
- ③「コンパクト」な機械レイアウト

という特長をコンセプトとして開発した。(Fig. 2) (Fig. 3)

次項より、FBP-320E開発の各コンセプトに対する取り組みについて紹介する。



Fig. 2 薬品包装機FBP-320E 外観

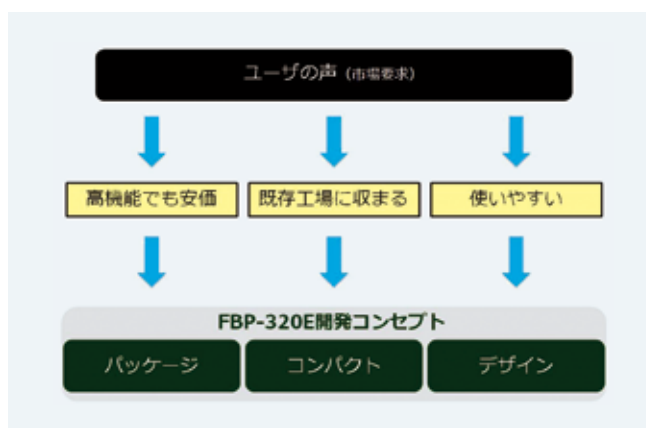


Fig. 3 FBP-320E 開発コンセプト

3 標準仕様のパッケージ

当社では、これまで多様な仕様のバリエーションに対応するため、ユーザから様々な要望を受けて、それに合わせた特注機械を設計・製造してきた。

特注機械は、ユーザの細かい要望に応えられるメリットもある反面、必要な機能が同じであっても細かい部分が特注設計になり、それに伴って影響を受ける他の機構も変更が必要となる。

そのため、高機能でも安価な薬品包装機を求めるユーザの需要に応える為には、従来の特注対応する受注方式から、必要十分な仕様を備えた標準機をユーザに提案していく方式への転換が必要であった。

まず、長年の受注実績から、オプションおよび特注仕様について仕様項目を要素ごとに全て洗い出し、薬品包装機に求められる機能を明確化した。

蓋フィルムのデザインを打抜きシートに合わせるマーク合わせ機能や容器フィルム自動継ぎ機能など、



Fig. 4 標準仕様とオプション

現在ではほとんどの機械で具備しているオプションや、両面アルミ包装など製薬業界の動向変化に伴い需要が増えている特注機能を厳選し、FBP-320Eでは標準仕様として搭載した。

また、その他の要求の多い機能についても追加対応が可能なオプションをあらかじめ用意し、仕様検討時にユーザが任意に選択できるようにした。(Fig. 4)

これまでの特注設計から、多様な仕様内容について、要求仕様と目的とする機能との関係を整理し、FBP-320Eに必要なとされる機能を選び抜くことは困難であったが、ユーザにとって最適なシステムを提案できるよう必要十分な標準仕様と厳選されたオプションを突き詰めた。

標準仕様を確立することで、本体部分を事前に先行生産することも可能となる。これにより、コストを抑えられるだけでなく、受注から出荷までの生産リードタイムも短縮することができる。また、オプション内容を事前に想定することで、各装置を無駄なく配置し、最適なレイアウトにすることも可能となった。

4 使いやすさを追求したデザイン

近年、工作機械などでも機械のデザイン志向が進んでいる。FBP-320Eの開発においては、外観上の意匠性だけではなく、ユーザの使いやすさを向上させるためにも「デザイン」を重視して開発を行った。

使いやすい「デザイン」を探るため、従来の薬品包装機を使用している生産状況を調査し、操作する作業者の目線より使いやすくするため、作業内容を分析した。

分析の結果、薬品包装機を使用して錠剤を包装するのは比較的女性作業者が多いことが分かった。機械の大型化に伴い、充填ゾーンや包材のセット位置が高くなり、操作しにくい場所がある。また、機械高さが高いため機械天面などが清掃しづらくなっていることが分かった。

そこで、日本人女性の平均身長約158cmを基準に、各作業エリアの高さをレイアウトした。

作業頻度の多い充填ゾーンは、人間工学から作業しやすい高さ860mm(当社従来機 1000mm)に低く設定し、錠剤やポケットの様子を見やすい姿勢で確認できるようにした。(Fig. 5)

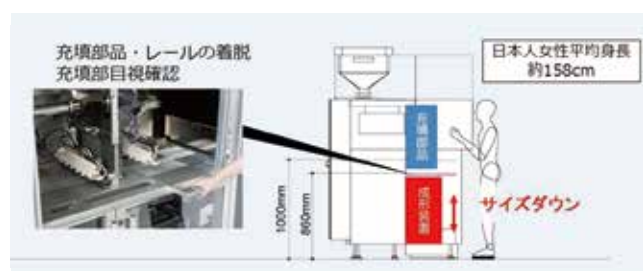


Fig. 5 充填ゾーンの高さ設定

また、操作パネルの設置位置や蓋フィルムの装填位置を見直し、効率良く作業ができるように配置した。

つぎに、内部機構も一点一点見直すことで、機械高さは従来比で14%削減した。清掃性や視認性が向上し、外観上も圧迫感の少ない機械とした。(Fig. 6)

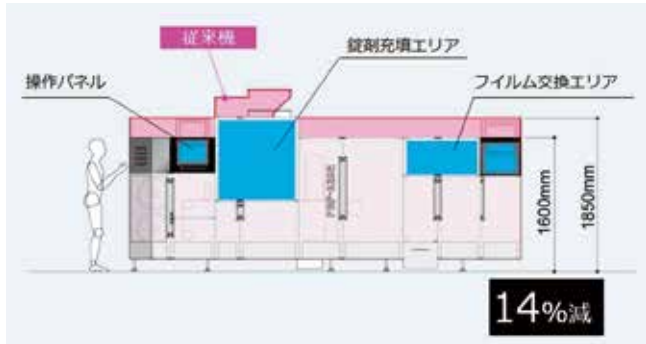


Fig. 6 機械高さの低減

さらに、薬品包装機の設置環境にも注目した。薬品包装工程においては、クリーンルーム内の限られたスペースに機械が設置されており、そこには作業台や包装資材なども置かれている。

そこで、作業時の移動をスムーズにするために、FBP-320Eでは機械のコーナー部分に面取りを施し、作業動線を確保した。これによって包材補充などの資材運搬時に、パレットや作業者自身がぶつかりにくく、スペースを有効に活用することができる。(Fig. 7)

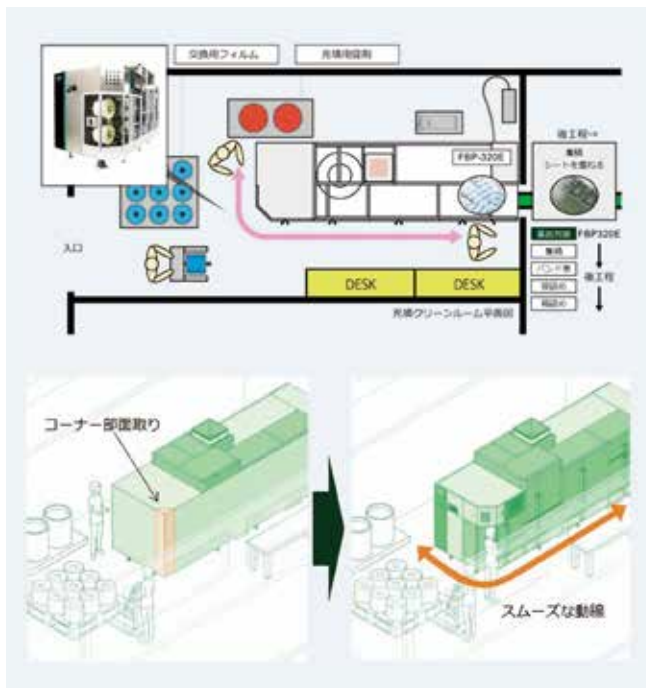


Fig. 7 コーナー部面取りによる動線改善

加えて、機械操作のタッチパネルのインターフェース画面についても、操作頻度の多い項目や、記録に残したい項目を分析した。分析結果から、これまでいくつかの画面ページを移動して確認していた項目

をホーム画面に集約し、最小限の操作で作業可能なデザインを採用した。(Fig. 8)



Fig. 8 操作用インターフェースデザイン

従来機に比べコンパクトな機械となっているが、扉のゾーン区分(Fig. 9)による安全性や操作性の確保など、「機械と人」の関係や作業環境についても配慮している。

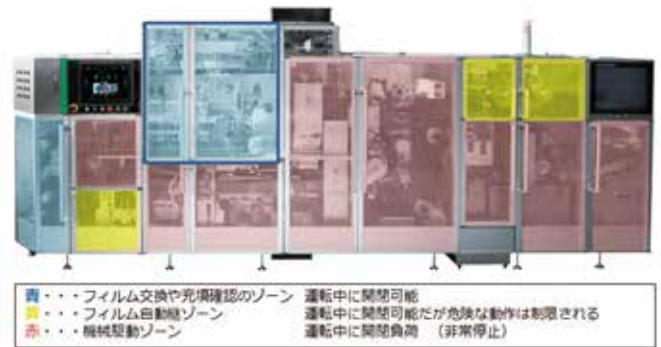


Fig. 9 扉の安全ゾーン区分

5 コンパクトな機械レイアウト

薬品包装の後工程には、シートの集積、ピロー包装、箱詰など複数の工程が並んでいる。一般的には、錠剤をPTPシートに充填包装するまでの工程を充填室として、仕切られていることが多い。

薬品包装機が設置される充填室は、錠剤が包装される前の状態であるため、異物混入の防止や温湿度管理されたクリーンルームとなっている。

クリーンルームは清浄度の管理・運用面で、機械に対しあまりスペースに余裕がないことも多い。しかしながら、既存機の入替え需要においては、同じスペースへの設置が求められる。市場要求と共に機能が増え大型化した機械を同じスペースに納めるには大幅な省スペース化が必要であった。

まず、当社の既存機を使用頂いているユーザの工場について、充填室のスペースを100ライン程調査した。

更新需要において、同じ充填室にそのまま設置したいという要求に対応し、資材運搬などの作業スペースも考慮すると、必要な設置寸法は4700mm以下であり、現行機に比べて大幅なサイズダウンが必要となった。(Fig.10)

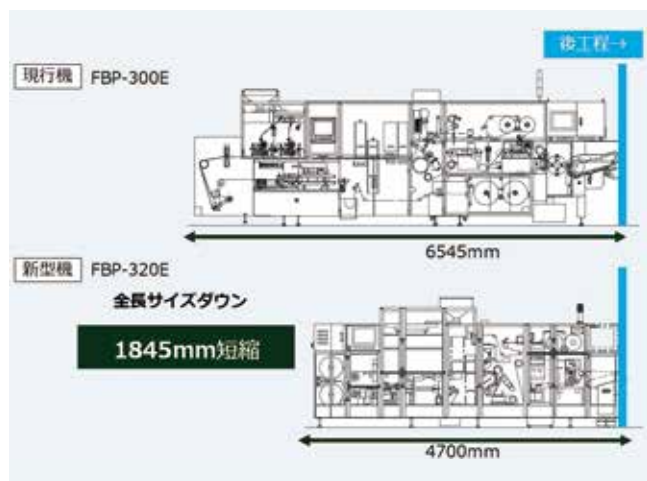


Fig. 10 機械設置寸法

この設置寸法に機械を収めるためには、各装置の小型化だけではなく、従来機とは異なる、新しい機構構造の採用が必要であった。

一例としては、PTPシートを後工程へ接続する際の出出し搬送機構の省スペース化に取り組んだ。

打抜いたシートを後工程へ搬送する際、従来機では、PTPシートを少しずつ斜めにずらしながら搬送する事でスライドしていたが、この方法では搬送に長い距離が必要となり、設置寸法が長くなっていた。

これに対しFBP-320Eでは、打抜いたPTPシートを、その場で後工程用シートピッチにスライドさせてから、直線的に取り出す方式を開発した。スライドするストローク量は、PTPシートのサイズによって変更する事で、多品種に対して同じ後工程用シートピッチに合わせる事も容易である。

この方式の採用により、取出し搬送機構の長さを従来機に比べ1000mm程大幅に短縮することができた。(Fig. 11)

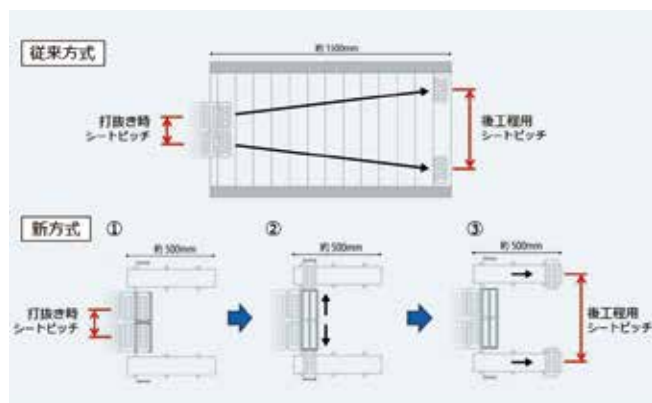


Fig. 11 取出し搬送機構の違い

他にも、自社開発している異物検査装置の省スペース化などにも取り組み、機械全体のコンパクト化を図った。

これにより、薬品包装機の同クラスで最も短い設置寸法となり、クリーンルームの変更なしで容易に既存機からの更新に対応できるコンパクトな機械を実現した。

6 おわりに

本稿では、薬品包装機FBP-320Eの開発コンセプトや取り組みについて紹介した。

薬品包装に求められる要求を分析することで、必要な機能を備えるだけではなく、使いやすくデザインされた、コンパクトな薬品包装機を開発した。

今後も常に変化するユーザのニーズに耳を傾けながら、最適な機械を提案できるように取り組んでいく。

執筆者プロフィール



田代 大輔 Daisuke Tashiro

自動機械事業本部

技術開発統括部 第1技術開発部

Engineering and Development Department No.1

Automatic Machinery Business Division



ダイヤル付きスピードコントローラの小型化技術

Downsizing Technologies of Speed Controller with Adjusting Dial

大石 崇 Takashi Ohishi

製造現場では、ワークの搬送や部品の圧入などを目的にエアシリンダが使用される。

エアシリンダの速度調整用途にスピードコントローラが使用され、従来、調整作業時間は作業者の経験により左右され、再現性もなかった。

この課題に対し、流量特性がリニアでダイヤル目盛によるシリンダスピード設定が可能となる「ダイヤル付きスピードコントローラ」とその小型化に関する取り組みについて紹介する。

なお、小形ダイヤル付きスピードコントローラは、操作性及びデザイン性が認められ、2016年度グッドデザイン賞、そしてiFデザイン賞2018を受賞している。

In manufacturing sites, air cylinders are used for carrying workpieces and press-fitting of parts. For the speed adjustment of air cylinders, speed controllers have been used. However, each worker's experience affected both the operating time for adjustment and the reproducibility of flow rate.

This paper introduces the "Speed Controller with Adjusting Dial" which enables to set the cylinder speed by dial scale and has linear flow characteristic and our efforts on its downsizing.

On a side note, the compact type speed controller with adjusting dial (DSC-C series) was highly evaluated for its operability and design and was awarded the 2016 Good Design Award and the 2018 iF Design Award.

1 はじめに

製造現場では、ワークの搬送や部品の圧入などを目的にエアシリンダが多く使用されている。スピードコントローラは内部の可変オリフィスにより圧縮エアの流量を制御する機器であり、エアシリンダの速度調整用途に使用される。

このスピードコントローラの調整作業は、つまみを操作してからエアシリンダを駆動し、実際の速度を確認しながら狙いの速度になるまでつまみを操作することを繰り返して行われ、作業者の感覚や経験により作業時間が左右される。この作業時間を大幅に削減する提案として、ダイヤル付きスピードコントローラの概要と小型化技術について紹介する。

2 ダイヤル付きスピードコントローラの概要

ダイヤル付きスピードコントローラ(以下DSC)は、オリフィス面積を可変させるニードルの回転数をダイヤル目盛により数値表示する機能を備えた製品である。同時に、ダイヤル目盛と制御流量を比例させているため、同一装置のリピート生産では配管条件を同一にし、本スピードコントローラのダイヤル目盛を設定すれば、流量の再現が可能となる。比較用として、一般的なスピードコントローラの構造をFig. 1に示し、DSCの構造をFig. 2により説明する。

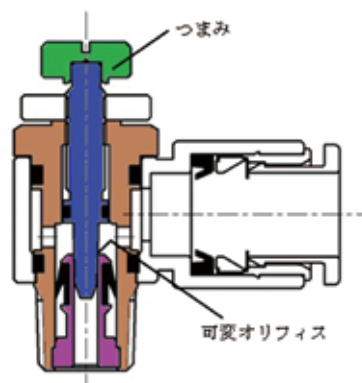


Fig. 1 一般的なスピードコントローラ内部構造

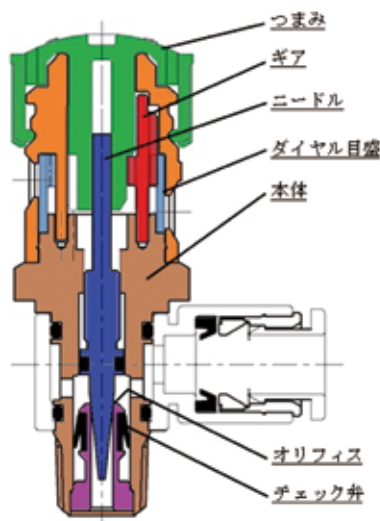


Fig. 2 DSCの内部構造

本体中央部にはねじが切られており、ニードルがねじにより本体に螺合される。ニードル上部には二面幅が形成され、つまみが嵌合している。つまみ下部に接するようにギアが配置され、ギアの外側にダイヤル目盛が構成される。また、ニードルの下部にチェック弁が備わっている。

実際の動作について説明する。

つまみを回転するとニードルが回転し、ねじの作用によりニードルがオリフィスに対して変位するため、オリフィス断面積が可変し、流量が変化する。この時、つまみ（ニードル）の回転に合わせてギアが作動し、ニードルが1回転すると、ギア比によりダイヤル目盛が所定の角度である1目盛分回転する。(Fig. 3)



Fig. 3 目盛外観

一般的なスピードコントローラは、最大回転時に流量を増やすためにニードルの角度を先端に向かう途中で大きくする二段テーパ形状が一般的になっており、最大回転時にオリフィス断面積の変化が大きくなる構造となっている。一方、DSCではニードルの回転による変位、つまりねじピッチとオリフィス面積が比例するようにテーパ形状を形成している。(Fig. 4)

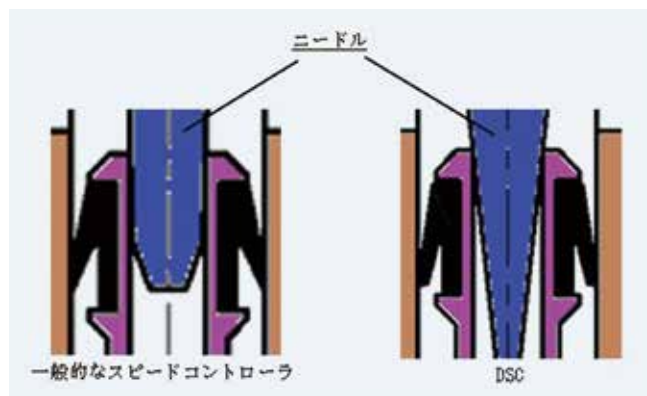


Fig. 4 ニードル形状の違い

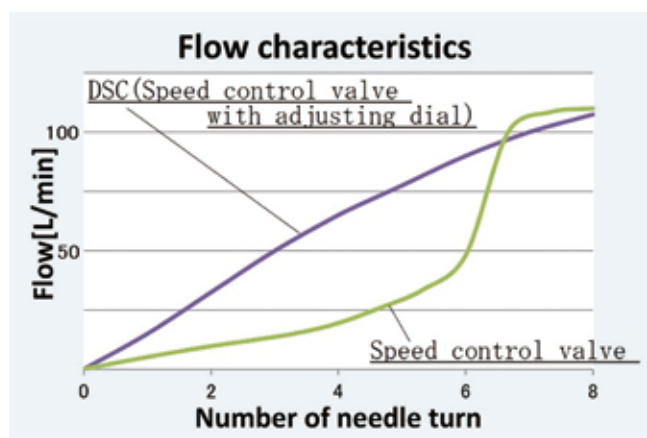


Fig. 5 流量特性比較

この結果、Fig. 5に示すリニアな流量特性がえられ、ニードル回転数(ダイヤル目盛表示)と流量が比例することで、流量のバラツキを抑え、調整作業の効率化に寄与する。

DSCはシリンダ速度調整において、流量のバラツキが少ないためダイヤル表示を合わせるだけで同じ設定が可能であり、一般的なスピードコントローラから格段に作業性を向上した製品である。しかし、これを実現するには構造が複雑となり、目盛と流量調整部が2倍以上の大きさになってしまうため、従来レベル以下にすることが大きな課題であった。次節にて小型化に向けた取り組みを説明する。

3 DSCの小型化に関する主な技術

従来のDSCのダイヤル表示機構は、ニードルの外径にギア形状(A)を設け、360°毎で噛み合うギアをさらに外側へ設けているため、そのスペースで外径が大きくなっていた。しかし小形DSCでは、ギアを径方向ではなく縦方向に配置し、外形が大きくなるように小型化した。

従来のDSCのダイヤル表示機構の詳細をFig. 6で説明する。

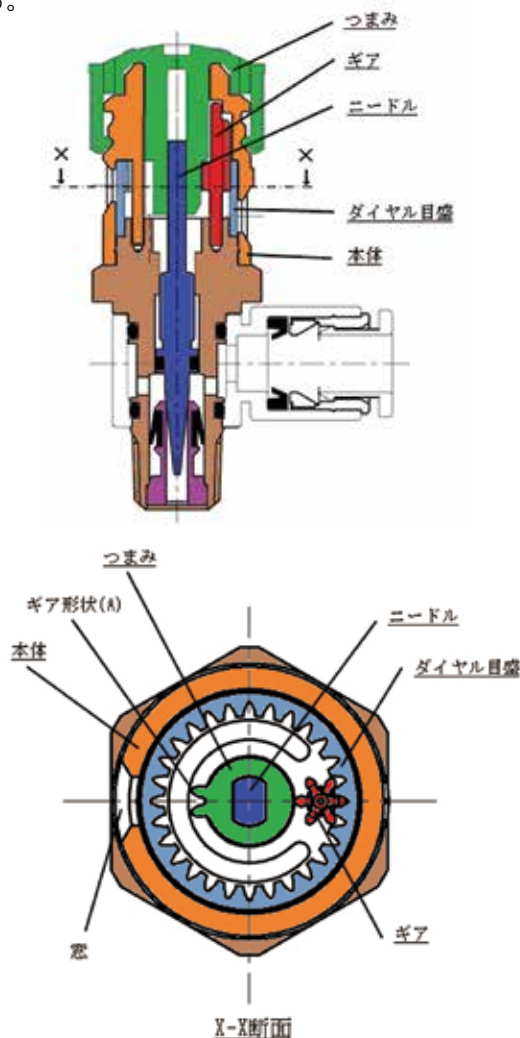


Fig. 6 従来のDSCのダイヤル部断面

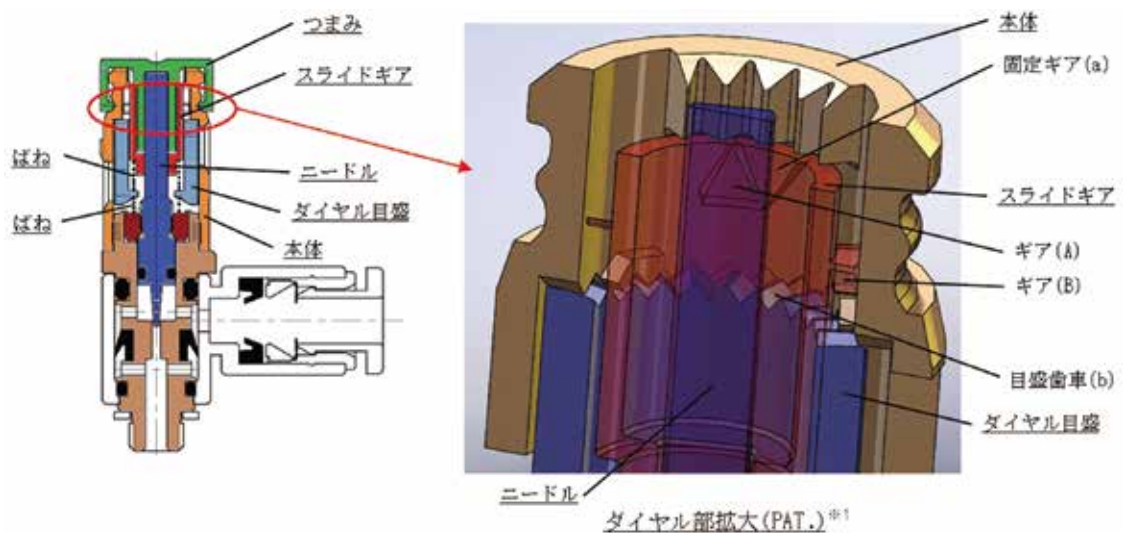


Fig. 7 小形DSCのダイヤル部

中心に二面幅形状のニードルがあり、つまみと嵌合している。つまみには外周上の一部にギア形状(A)が設けてあり、このギア形状(A)の回転軌道上にギアが配置されている。その外側にギアと噛みあった状態でダイヤル目盛が配置され、さらに外側には固定部品である本体があり、本体円周上の一部には窓が設けてある。

動作について説明する。

つまみとニードルは一体に回転する。つまみに設けてあるギア形状(A)が回転軌道上に配置されたギアと噛み合っている間、ギアは回転し、連動してダイヤル目盛も1目盛分(1歯車)回転する。つまりニードルが1回転する毎にダイヤル目盛は1目盛ずつ回転する。

そしてダイヤル目盛の数値(回転数)が本体に設けた窓に表示される。

中心にあるニードルの回転をつまみが外側のギアへ、さらに外側のダイヤル目盛へと平面的に動きを伝える構造であり、結果として外径の大形化を招いている。

これに対し小形DSCのダイヤル表示機構をFig. 7で説明する。

本体に螺合されているニードル上部の二面幅形状にはつまみおよびスライドギアが嵌合している。このスライドギアが前述した縦方向に配置していたギアであり、外周面上にはギア(A)とギア(B)が形成されている。ギア(A)の回転軌道上には固定部品である本体に固定ギア(a)が形成されている。また、スライドギア下部空間にばねが配置され、ばね荷重によりスライドギアは上方向に保持されている。さらにギア(B)の下部、スライドギアの外側にダイヤル目盛が構成されており同じくばねにより上方向に保持されている。またダイヤル目盛の上端面には目盛歯車(b)が形成されておりギア形状(B)とは一定のクリアランスで保たれている。そしてダイヤル目盛の外側に本体が構成され円周上の一部に窓が設けてある。

時系列的な動作について、Fig. 8を用いて説明する。

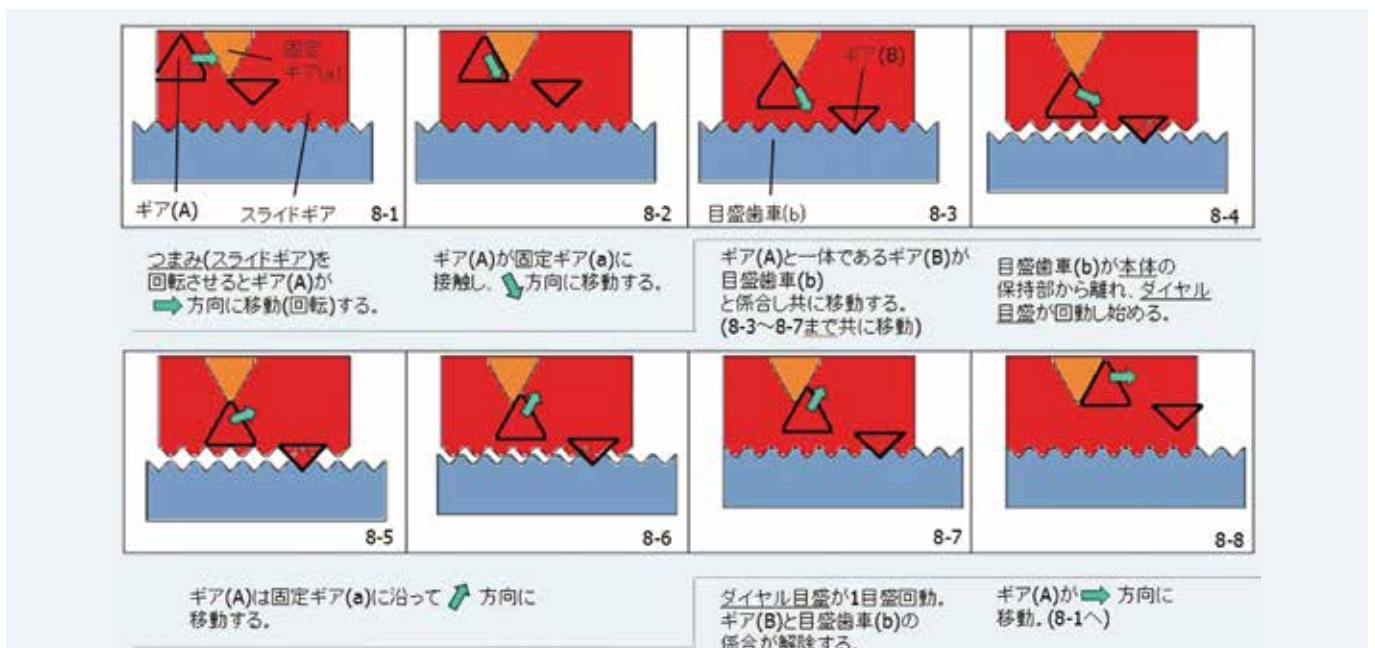


Fig. 8 ダイヤル表示機構展開図

Fig. 8はニードルを回転させたときにスライドギアに形成されているギア(A)とギア(B)の動きにより、ダイヤル目盛が切り替わる動作を展開図として表したものである。

初期の状態は、ばねの力により本体とダイヤル目盛の歯車がかみ合っている。つまみを回転するとニードルおよびスライドギアが一体に回転し、スライドギアのギア(A)が本体の固定ギア(a)と接触する。これにより、スライドギアは本体の固定ギア(a)の逆三角形に沿って、回転と共に上下に移動する。このスライドギアの動きに合わせてギア(B)がダイヤル目盛の目盛歯車(b)とかみ合い、ダイヤル目盛を1目盛分、つまり1歯車分回転する。そしてニードルの回転に合わせて、本体窓に回転数が表示される。

中心(ニードル)の回転と一体となり直接ギアが動き、外側のダイヤル目盛を回転させる構造である。

以上の取組みにより、

【従来比】

外径1/2、高さ2/3、容積1/6

の小形化を達成した。



Fig. 9 DSCと小形DSCの外観

その他の特徴として、数値表示が変化する際に“カチツ”というクリック感を追加し、機器の設置スペースおよび調整スペースが限られた場所で数値表示を見られなくても数値の変化が分かるような機構となっている。

ダイヤル目盛が回転する際、ばね荷重による回転抵抗変化が触感で伝わる。また、スライドギアが上下方向に移動する際、本体と接触する衝突が音で伝わ



Fig. 10 小形DSCクリック感

る。これらがクリック感となり使い手に伝わる。心地良いクリック感とするためばね荷重とギア形状にこだわり、使い手の操作性向上に配慮しており、標準DSCではできない小形独自の特徴である。

4 おわりに

製造装置において、見える化・定量化のニーズはさらに高まって行くと思われる。この市場の流れに対し、業界最小サイズのダイヤル表示機構の技術は有意である。

他のスピードコントローラへの展開だけではなく、他ジャンル製品への応用も考えていく。本小形化技術の展開と合わせ、更なる改善・革新により顧客に満足頂ける商品を開発していく。

※1 公開番号 特開2017-48902

執筆者プロフィール



大石 崇 Takashi Ohishi
コンポーネント本部
FAシステムBU 第1技術部
Engineering Development No.1
FA System Business Unit
Components Business Division



酸素濃縮器用電磁弁の小形化技術

Miniaturization of Solenoid Valve for Use in Oxygen Concentrators

末松 修 Osamu Suematsu

岸 亮 Akira Kishi

超高齢社会を迎えた日本は、医療機関や介護保険施設等の受入れにも限界が生じることが予測される中で、在宅医療は慢性期および、回復期患者の受け皿として、医療提供体制の基盤の一つとして期待されている^{*1}。

当社では、在宅医療を受ける患者のQOL (Quality of Life) 向上に貢献するため、自社の流体制御技術を活用し、在宅酸素療法に使われる酸素濃縮器用電磁弁を開発した。本製品は、主に携帯用酸素濃縮器向けとして、「患者さんが気軽に外出できるための手助け」をコンセプトに電磁弁の小形化を実現した。

本稿では、この小形化技術を紹介する。

Japan has become a super aged society, and the number of people that medical institutions and long-term care insurance facilities can admit is predicted to reach a limit. Under these circumstances, home medical care is expected to be an alternative choice for patients in the chronic and recovery phases and to be one of the foundations for the medical care system¹⁾.

In order to contribute to the improvement of the quality of life (QOL) of patients receiving home medical care, we at CKD have developed a solenoid valve for oxygen concentrators used in home oxygen therapy by utilizing our fluid control technology. Based on the concept of “helping patients leave their home freely”, we accomplished to develop a solenoid valve that is small enough for use even in portable oxygen concentrators. This paper describes the technology used in the miniaturization of the solenoid valve.

1 はじめに

在宅酸素療法(HOT: Home Oxygen Therapy)用の携帯用酸素濃縮器(POC: Portable Oxygen Concentrators)は、患者が気軽に外出を楽しめることを目的に、装置の小形・軽量化を目指している。社団法人 日本呼吸器学会の調査によると、HOTを受ける患者の約2割が外出しないと答えしており、その理由の半数以上に「携帯用酸素ポンペの問題」が挙げられている。外出しない患者の多くは、携帯用酸素ポンペを使用しているが、「重い、人目が気になる、交換用ポンペを持っていく手段がない」など、改善すべき点として、「重さ・サイズ・携帯性」を挙げている^{*2}。また、米国では酸素ポンペを危険物とみなし、米国発着路線全ての飛行機への持ち込みを法律で禁じている。

このような酸素ポンペの課題を解決するため、POCの改良が進められている。POCを小形・軽量化するために、POCに搭載される機器にも同じことが求められる。

当社では自社の流体制御技術を活用し、POC向けに小形・軽量化を目指した電磁弁の開発に取り組んだ。

2 従来製品での課題

小形・軽量化の他に、電磁弁に求められる機能として、高濃度の酸素を供給するために、圧縮空気を最適流量流すことも必要である。

当社製品の中からPOC用途として、小形・軽量化に特化した3QRシリーズ(直動式電磁弁)または、大流量を特長とするEXAシリーズ(パイロット式電磁弁)が選定対象となる。3QRシリーズは、製品幅10mm、重量19gと小形・軽量化のニーズにはマッチするが、最大流量がPOC用途としては不足する。一方、EXAシリーズは、最大流量は確保できるが、製品サイズがニーズにマッチしない。このように、電磁弁は「小形であること」と「流量を流せること」は相反するものであり、両立させることが難しい。

3 薄型パイロット電磁弁SPシリーズの開発

小形化と大流量化の両立を実現したSPシリーズを開発した。

最大流量の課題を解決するため、EXAシリーズと同じダイヤフラム弁構造を採用し、ダイヤフラムを縦置きとする構造により、3QRシリーズと同じ製品幅

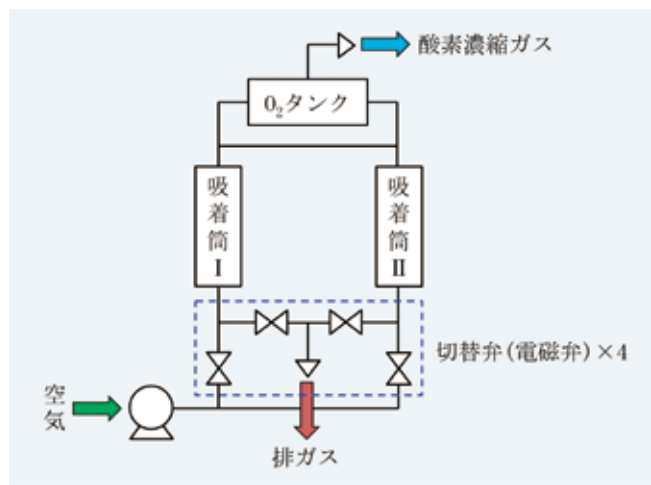


Fig. 1 酸素濃縮器回路例



Fig. 2 3QRシリーズ

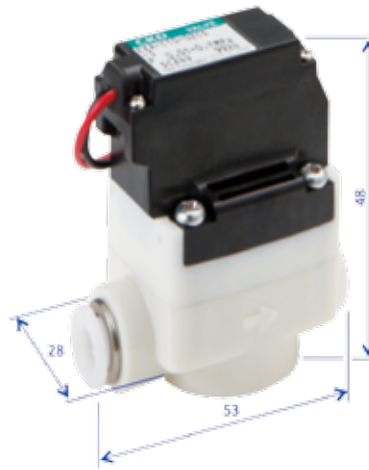


Fig. 3 EXAシリーズ



Fig. 4 SPシリーズ

10mmの小形化(薄型化)を実現した。

ダイヤフラム弁は、オリフィス径を大きく確保できる構造により、最大流量を上げることができる。しかしその反面、ダイヤフラムの外径分、製品サイズが大きくなってしまふ。従来、ダイヤフラム弁はEXAシリーズのように大概横置きとする構造であったが、この定説を覆す発想により小形化を可能とした。

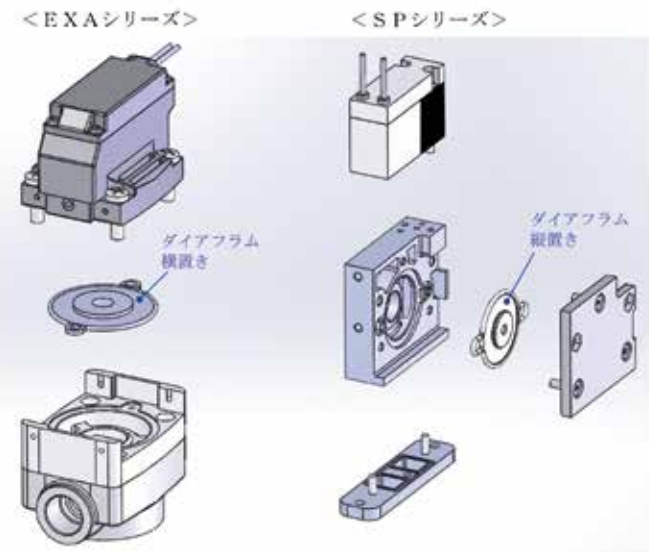


Fig. 5 EXA, SPシリーズ分解図

また、本製品は業界初の旋回流路構造を採用し、薄型・扁平流路であっても更なる大流量化を可能としている。

製品幅を10mmとしたことで、ダイヤフラムストロークを多く取れず、IN・OUTポートの流路断面積も小さくなってしまふ。大流量化実現のためには、ロスの無い効率の良い流路構造が必要となる。そこで、サイクロンの原理を基に旋回流路構造を採用した。Fig.6の流体解析結果が示すように、流体が流路内で旋回流を形成し、従来品(EXAシリーズ)に比べ効率良く流れていることが分かる。また、実測データにおいても、製品幅10mmで従来比3倍の流量を流せることが確認できた。

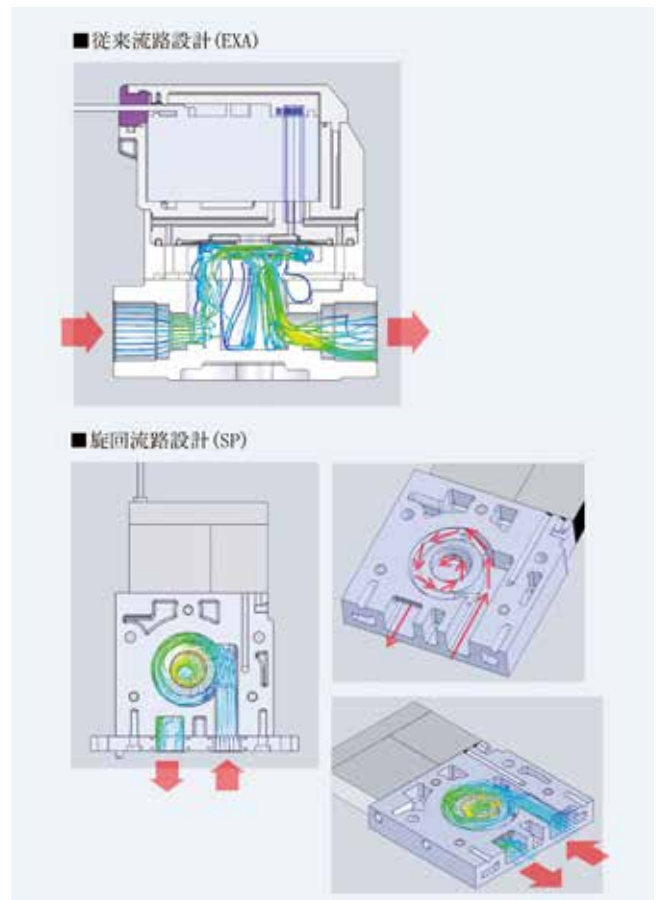


Fig. 6 流体解析結果

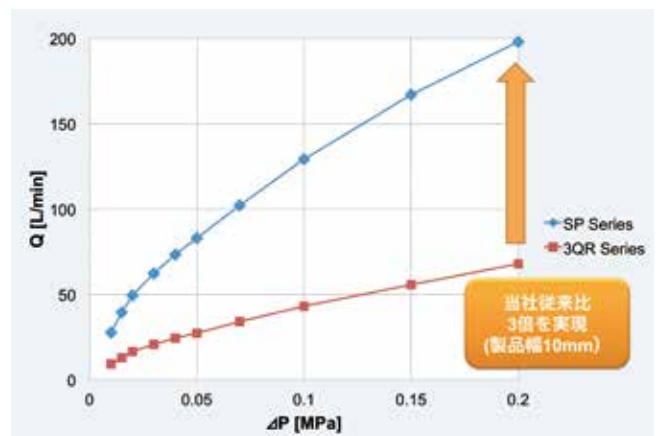


Fig. 7 流量測定結果

4 バリエーション・シリーズ展開

SPシリーズは、IN・OUTポートが同一面にあることから、装置スペースに合わせた様々なマニホールド対応が可能である。酸素濃縮器は、電磁弁を吸気側と排気側で各2ヶ(計4ヶ)使う構造であり、Fig. 8のようにノーマルタイプや薄型タイプのマニホールド化ができ、装置の省スペース化に貢献できる。

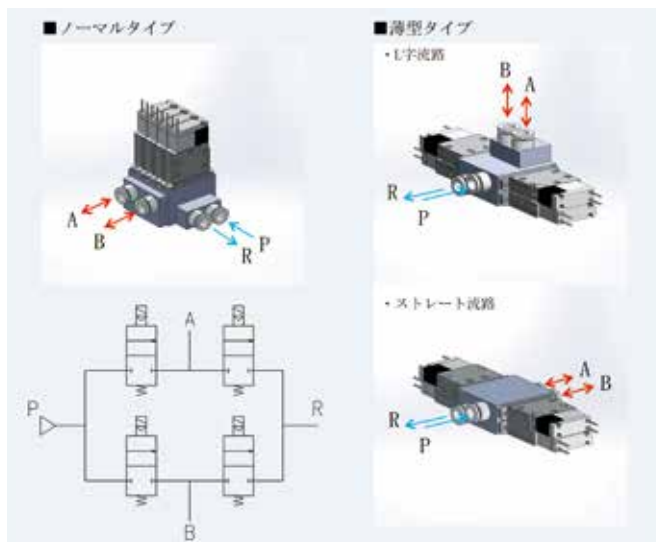


Fig. 8 SPシリーズ・マニホールド例

更に、IN・OUTポートの流路断面積を増やすことで、更なる大流量化が可能である。製品幅を3mm広げるだけで、流量が1.8倍($\Delta P=0.2\text{MPa}$ 時)になることが確認でき、これは多くのHOT患者が使用する据置用酸素濃縮器にも展開できる。

5 おわりに

国内でのPOC普及率はかなり低い現状だが、装置の小形・軽量化により、患者さんにとっての使い勝手が向上されれば、今後需要は高まっていくと考えられる。

当社としては新しい要求に対し、今後も従来技術の応用と、更に新しい技術も取り入れ、付加価値の高い魅力ある製品を開発し、社会に貢献していきたいと考える。

※1 厚生労働省:在宅医療の体制構築に係る指針(平成24年)

※2 一般社団法人 日本呼吸器学会:在宅呼吸ケア白書(平成25年)

※3 出願番号:特願2014-159780

執筆者プロフィール



末松 修 Osamu Suematsu
コンポーネント本部
制御システムBU 技術部
Engineering Department
Fluid Control System Business Unit
Components Business Division



岸 亮 Akira Kishi
コンポーネント本部
制御システムBU 技術部
Engineering Department
Fluid Control System Business Unit
Components Business Division



PTPシート・打ち抜き・印刷ズレ検査装置の開発

Development of Blister Sheet Inspection Machine for Punching and Printing Displacement

神戸 聡 Satoshi Kanbe

当社は、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「フラッシュパトリ」シリーズを、1980年代から展開している。現在では様々な機種がラインナップされ、工程内で発生し得る様々な不良を検査できるようになった。

そして2018年には、フラッシュパトリでは初となる、PTP包装機の最後の工程「シート打ち抜き後」の検査装置をリリースした。

PTPシート打ち抜き後特有の不良である、打ち抜きズレは、外観品質の観点だけでなくPTPシートの目的である防湿性の担保という面から見ても重要な検査である。

本稿では、PTPシート打ち抜き後の検査装置フラッシュパトリUタイプについて紹介する。

Since 1980s, we have launched in-line inspection system “Flash Patri” series using camera system to be equipped on pharmaceutical blister packaging machines.

As of today there are various models available in this lineup, enabling to inspect various defective items which are likely to happen in the pharmaceutical blister packaging process.

In 2018 the inspection machine model for “inspection after blister sheet punching” (last process of the blister packaging machines) has been released for the first time in Flash Patri series.

Punching displacement, which is special to inspection after blister sheet punching, is considered critical inspection item not only from the view of outer appearance quality but from the view of ensuring moisture proof as an original purpose of blister sheet.

This article introduces in-line inspection machine Flash Patri U type for “inspection after blister sheet punching”.

1 はじめに

錠剤・カプセルなどの包装に用いられるPTPシートの生産ラインには、不良品の混入を防ぐため、包装機の各工程に検査装置が搭載されている。近年では、錠剤の有無や割れ欠け、異物付着といった重大欠陥を検査する、アルミ蓋材のシール前およびシール後工程の検査装置は、製薬メーカーにとって必要不可欠な設備となっている。メーカーによっては、これらの工程に検査装置を搭載することで、品質が保証できると判断し、目視検査員をラインから外して製品の生産を行っている。しかし一方で、最後の工程となる打ち抜き後に発生し得る不良を検査する装置が無いため、「目視検査員を外すことに不安がある」という声も少なくない。

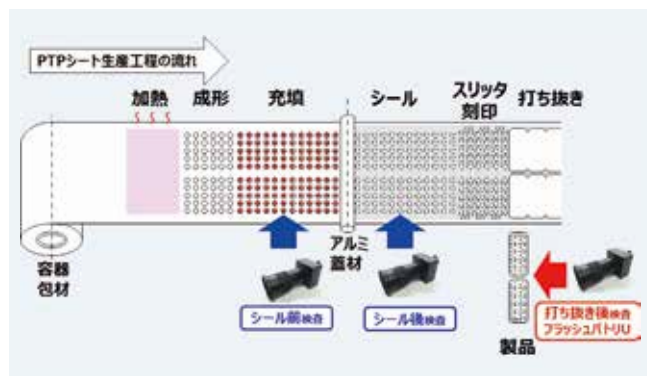


Fig. 1 PTPシート生産工程と検査

このような背景の中、当社ではPTPシート生産ラインの目視検査の無人化に貢献すべく、打ち抜き後特有の不良を検査する「フラッシュパトリUタイプ」を開発した。(Fig. 1)

2 打ち抜き後検査の重要性

打ち抜き後特有の不良として、シート端面から錠剤が充填されたポケットまでの距離が適正でない「打ち抜きズレ」、アルミ蓋材に印刷されたデザインが適正な位置でない「印刷ズレ」が挙げられる。(Fig. 2)



Fig. 2 打ち抜きズレ・印刷ズレ不良

これらの不良が与える影響は、PTPシートの外観品質を損ねるだけではない。例えば、「打ち抜きズレ」が発生し、シート端とポケットが近接し過ぎることで、PTPシートの本来の目的であるシール機能の気密性に影響を与える場合がある。(Fig. 3)

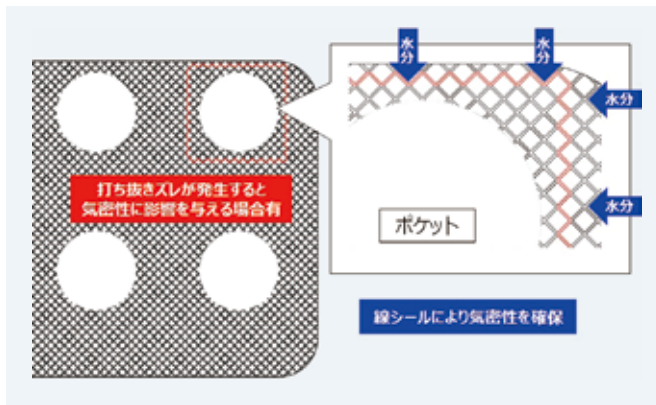


Fig. 3 PTPシート 気密性の確保

また、現在のPTPシートには製品を識別できるようにバーコードの表示が義務付けられており、主にPTPシートの裏面、つまりアルミ蓋材の裏面にはバーコードが印刷されている。「印刷ズレ」が発生し、アルミ蓋材の印刷デザインが正規の位置からズレることで、裏面のバーコードの位置も同様にズレが発生する。PTPシートのサイズやバーコードの印刷の位置によっては、僅かにズレただけで、バーコードリーダーでの読み取りの正確性が損なわれる場合がある。(Fig. 4)

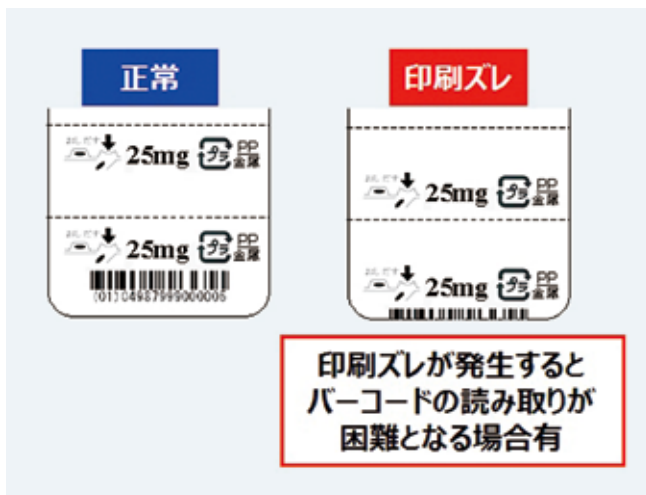


Fig. 4 印刷ズレ バーコードへの影響

3 打ち抜き後検査装置フラッシュパトリ

当社では、2003年よりシール前およびシール後工程の不良を検査する「フラッシュパトリ」という外観検査装置をシリーズ展開している。今回、打ち抜き後特有の不良を検知するため、フラッシュパトリでは初となる、PTPシート打ち抜き後の工程にて検査を実施するUタイプを開発した。本検査装置は、最後の工程となるシートの打ち抜きが完了した後、打ち抜いたシートがコンベアで搬送される途中で撮影を行い、異常の有無を検査する。(Fig. 5)

フラッシュパトリUは、当社PTP包装機のフラッグシップモデルFBP-600Eシリーズの搬送コンベアに搭載できるよう、カメラや光源筐体を収納した撮影機構を小型化した。特に、打ち抜きズレ検査・印刷ズレ検査を1台のカメラで実施できるよう、フラッシュパトリFP630で採用した、光伝送による画像の高速撮影・転送技術を利用して、撮影機構の小型化を実現している。

3-1 既存検査装置との違い

①回転補正機能

本検査装置が既存のフラッシュパトリと大きく異なる点として、打ち抜いたシートに対して撮影・検査を行うことが挙げられる。

従来の検査装置は、シートが打ち抜かれる前、つまり帯状のシートに対して検査を行う。帯状のシートは機械内のローラで常にテンションを保った状態で搬送されるため、検査対象となる錠剤やシートは比較的安定した姿勢で検査をすることが可能である。

しかし打ち抜き後の工程では、コンベア上にシートが1枚ずつ乗った状態で搬送されるため、シートの姿勢は安定しない。特に打ち抜き前の工程では起こり得ない、検査対象となるシートの回転が発生するため、この対策を行う必要がある。(Fig. 6)



Fig. 5 PTP 機搭載フラッシュパトリ

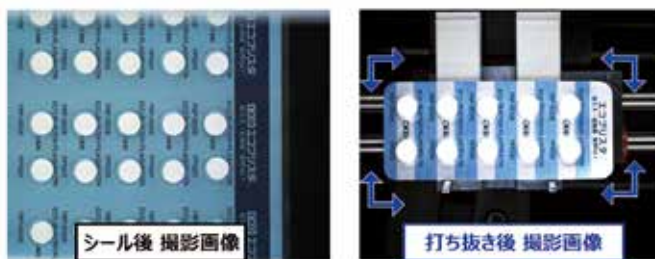


Fig. 6 検査工程による撮影画像の違い

シートの回転に対応するため、フラッシュパトリUには回転補正の機能を搭載し、常にシートが水平な状態と同等の検査が可能となっている。検査対象のシートが回転しても、ソフトウェアで水平状態からどれだけ傾いたかの計算を行い、傾いた分の検査枠の追従、計測量の補正を自動で行う。

②ポケット輪郭抽出機能

既存のフラッシュパトリは、錠剤やシートといった被写体が非透明体で、撮影画像上に明暗の差を写し出しやすいものが検査対象となっている。

打ち抜きズレ検査では、シート端とポケット輪郭との距離が重要な要素となるため、ポケット輪郭を撮影画像上に写す必要がある。しかしポケットは透明体で、光源からの光を透過しやすいため、従来の撮影方式では撮影画像上に写すことが困難である。

フラッシュパトリUでは、光源の照射方法を見直し、透明体のポケット輪郭を光らせることで、画像上に鮮明に写し出すことができる撮影機構となっている。(Fig. 7)

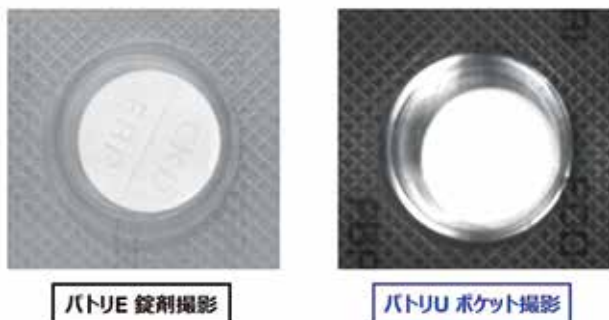


Fig. 7 錠剤とポケット撮影

また、ポケット輪郭の抽出精度を上げるため、光源には近赤外光を利用している。近赤外光の特性を利用すると、特殊なインクを使用したアルミ蓋材の印刷デザインは消えてしまい、まるで無地のアルミを撮影したような画像となる。これにより、印刷デザインのようなポケット輪郭の抽出の妨げとなる外乱要素を取り除くことができる。

このように、撮影画像上に写し出されたポケットに対して、ソフトウェアでポケットの輪郭および中心を抽出して、そこからシート端までの計測処理を行う。

③アルミデザインの抽出機能

PTPシートとアルミ蓋材のデザインの位置関係の良否を検査するために、シート上の印刷デザイン

の位置を正確に抽出する必要がある。

しかし、検査対象のシートが回転する打ち抜き後の検査では、単純な画像処理の技術のみで、正確にデザインの位置を抽出することは困難である。

本検査では、フラッシュパトリFP630の機能の一つである錠剤印刷マスク機能を応用し、シートデザインの形状を認識する技術を導入した。錠剤印刷マスク機能では、錠剤印刷の形状や錠剤の回転に合わせて、最適な検査除外範囲を自動認識、設定することができる。これをシートデザインに実施することによって、回転するシートであっても、デザインの正確な座標を計算することができるようになり、計測精度を高めることができる。(Fig. 8)

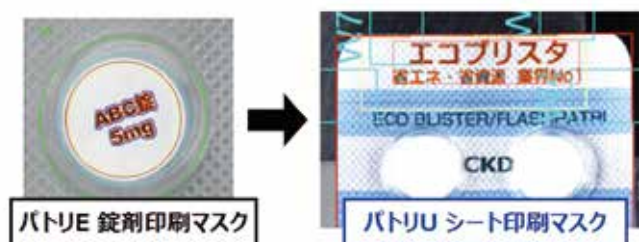


Fig. 8 錠剤印刷マスクとシート印刷マスク

3-2 検査原理

フラッシュパトリUは、以下の流れで打ち抜きズレおよび印刷ズレの検査を実施する。

①シートの撮影

搬送コンベアの駆動に合わせて、打ち抜いたPTPシートの撮影を1シート単位で実施する。1枚のシートに対し、打ち抜きズレ検査に使用する「近赤外発光+白黒画像撮影」と、印刷ズレ検査に使用する「白色発光+カラー画像撮影」の計2回撮影を実施する。

②シート端の抽出

予め設定した、シート4辺の端を抽出する検査枠から、背景となるコンベアとシートの明暗の差を利用してシート輪郭を抽出する。

併せて、そのシート輪郭の傾きが、シート水平状態に対して何度傾いているかを計算によって求める。(Fig. 9)



Fig. 9 シート4辺の抽出と傾き計算

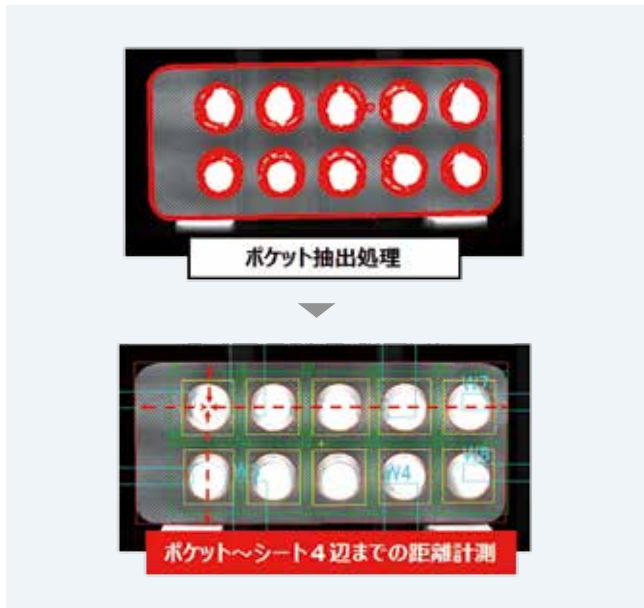


Fig. 10 ポケットの抽出と距離計測



Fig. 11 印刷デザインの抽出と距離計測

③打ち抜きズレ検査

上述3-1②項に記載した方法で、ポケット輪郭を抽出し、シート上の全ポケット中心位置からシート端までの距離を計測する。

シートが傾いている場合は、その傾き分の補正を行い、距離計測を行う。(Fig.10)

④印刷ズレ検査

上述3-1③項に記載した方法で、シート上の印刷デザインの中心位置からシート端までの距離を計測する。打ち抜きズレ検査と同様に、シートが傾いている場合は、その傾き分の補正を行い、距離計測を行う。(Fig.11)

⑤不良判定

③、④項で計測した距離が、検査仕様となる±1mmの不良判定値を超えた場合、打ち抜きズレまたは印刷ズレと判定し、該当シートを不良とする。

不良検知時の動作は、該当シートをPTP包装機から排除する系外排出以外に、打ち抜きのズレ量が大きい場合は、PTP包装機の打ち抜きの機構に異常が発生した可能性があるかと判断し、機械の稼働を停止させる処理を行う。

4 ズレ量のグラフ表示

本検査装置では、画像検査した打ち抜き・印刷のズレ量をmm換算して検査を行っている。

これらのズレ量データは生産中でも、直近600枚のデータをグラフで閲覧できる。

ズレ量の傾向を監視することで、打ち抜きズレおよび印刷ズレの不良が突発的に発生したもののなか、または時間経過によって徐々に発生したのかを確認でき、不良発生要因の解析に利用できる。(Fig. 12)



Fig. 12 打ち抜きズレ量のグラフ表示

5 おわりに

フラッシュパトリUの検査工程であるPTPシート打ち抜き後のポジションは、目視検査員がPTPシートの良否判断を行う、つまり包装工程における最終検査を行う場所である。

この工程では、打ち抜き後特有の不良以外にも、錠剤有無・割れ欠け・異物検査など、既存のフラッシュパトリが検査している不良内容を最終確認したいという要望が多くある。

市場にある多種多様なシートに対して、シール前後の工程と打ち抜き後の工程で、同レベルの検査精度を保証することは現状困難であるが、今回開発したフラッシュパトリUの検査技術を発展させ、PTPシート打ち抜き後の検査内容の充実を検討していく。

執筆者プロフィール



神戸 聡 Satoshi Kanbe

自動機械事業本部

技術開発統括部 第1技術開発部

Engineering and Development Department No. 1

Automatic Machinery Business Division



スパイラル形蛍光灯におけるガラス加工技術

Glass Processing Technology for Spiral Type Fluorescent Lamp

林 雅博 Masahiro Hayashi

蛍光灯や電球などのランプは、一般的に本体部にガラスが使用されている。そのため、ランプの製造においてガラスの加工は必須技術である。

- ・ランプ本体となるガラス管の成形
- ・ランプの内部に電線を通すための電線とガラスの溶着加工 等

これらの中で、ランプ本体となるガラス管の成形工程は、ランプの製造工程で最も動的で複雑な加工を行う工程であり、ガラスの知識と経験により積み上げられたノウハウが重要となる。

本稿では、ガラス管成形の中でも独特であるスパイラル(螺旋)形蛍光灯のガラス加工技術について紹介する。

- ①CFLスパイラル形蛍光灯(スパイラル成形、脚曲げ、カット)
- ②CCFLスパイラル形蛍光灯(スパイラル成形)

Lamps such as fluorescent lamp, incandescent lamp etc. generally use glass for their body part, so glass processing technology is very essential for lamp production.

For example,

- ・Forming of glass tube for lamp body
- ・Welding of glass and wire to insert wire inside lamp etc.

Glass tube forming for lamp body is one of the most dynamic processes in the lamp production and requires know-how based on the knowledge about glass and accumulated experiences.

This article introduces glass processing technology for following spiral type fluorescent lamps which is especially unique in the glass tube forming technology.

1. Spiral type CFL (compact fluorescent lamp) (Spiral forming, leg bending and cutting)
2. Spiral type CCFL (cold cathode fluorescent lamp)(Spiral forming)

1 はじめに

環境問題を背景にランプメーカーより従来の白熱電球に置換わる商品として、現在では、より環境性能に優れたLED電球に置換わっているが、数年前までは、スパイラル形蛍光灯が主力商品として生産されていた。当時、スパイラル形蛍光灯は主に中国で半自動機や手作業によって生産されており、それらの工程を自動化するために当社では製造工程の基礎テストを実施した。本稿では、テストにより得られたスパイラル形蛍光灯のガラス加工技術の一部について紹介する。

スパイラル形蛍光灯にはCFLとCCFLタイプがあり、使用するガラスの特性や製造工程が異なる。

ランプの種類	ガラスの材質	ガラスの軟化点(°C)	成形工程
CFLスパイラル形蛍光灯	鉛フリーガラス	665	ガラス素管を成形
CCFLスパイラル形蛍光灯	ホウケイ酸ガラス(BFK)	705	直管ランプ完成品を成形
	ホウケイ酸ガラス(BFW)	775	

Table 1 CFLとCCFLの比較表

2 CFLスパイラル形蛍光灯のガラス加工

CFLとはCompact Fluorescent Lampの略で、コンパクト蛍光灯を示す。その中で、ガラス管を螺旋状に成形したものをCFLスパイラル形蛍光灯と呼ぶ。コンパクト蛍光灯では3U、4Uと呼ばれるU字に成形したガラス管3組あるいは4組を溶着して必要となる発光部の管長を得るものが主流であったが、製造工程が複雑であるためコスト面に影響した。CFLスパイラル形蛍光灯では、1本のガラス管を螺旋状に加工する技術を確立することにより、シンプルな工程で必要となる発光部の管長を得ることができるようになった。

CFLスパイラル形蛍光灯の製造工程の概要をFig. 2に示す。その中で、CFLスパイラル形蛍光灯のガラス



Fig. 1 スパイラル形蛍光灯 左CFL、右CCFL

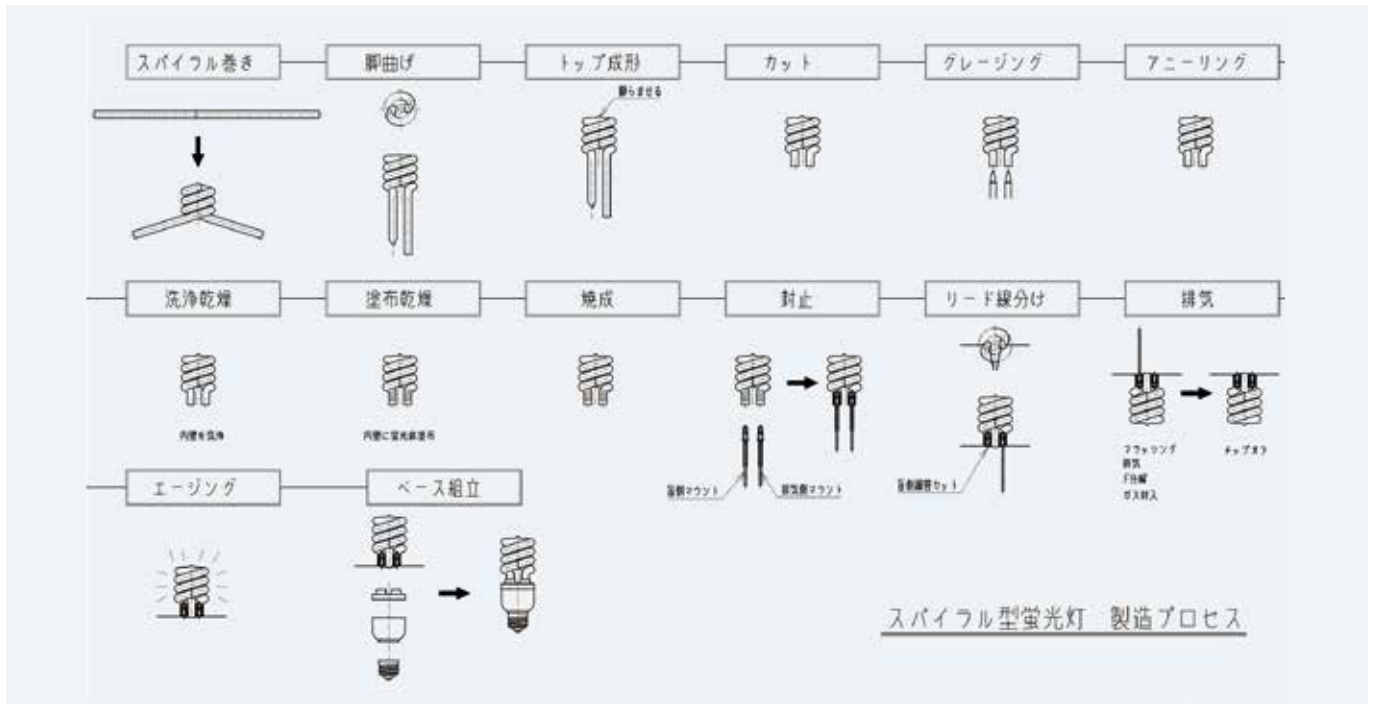


Fig. 2 CFLスパイラル形蛍光灯製造工程

加工として以下の順で紹介する。

- ①材料について
- ②スパイラル成形
- ③脚曲げ
- ④カット

Fig. 2に示すようにCFLスパイラル形蛍光灯では、ガラス管成形は製造工程の最初の工程である。

2-1 材料について

材料はストレートのガラス管を使用する。

- ・ガラス管の素材:鉛フリーガラス
- ・ガラス管のサイズ: $\phi 10 \times t1 \times 420\text{mm}$ (白熱球60W相当品の場合)
- ・ガラスの軟化点(ガラスが溶け始め、自重で変形する温度):665℃

2-2 スパイラル成形

スパイラル成形は1本の軟化したガラス管を工具により螺旋状に巻き上げる加工である。円筒にガラス管径に合わせた溝が2列平行に等ピッチで螺旋状に彫ってある(2条螺旋溝)工具(Fig. 3)を用いて、ガラス管の中央部より巻き上げる。巻き数は1.25である。スパ

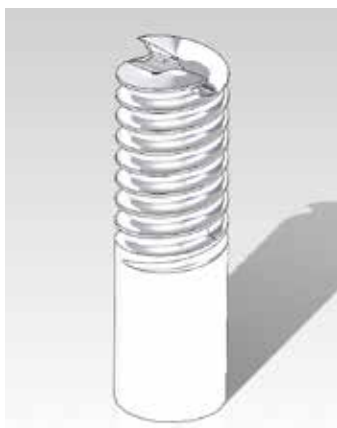


Fig. 3 スパイラル成形工具

イラル成形の工程は①加熱、②移送、③成形、④加圧の順に行う。



Fig. 4 スパイラル成形サンプル

①加熱

ガラス管を工具にムラなく巻きつけるためには、ガラス管は軟化点以上に加熱され、かつ全長にわたり均一な温度分布による均等な軟化状態である必要がある。そのため、ガラス管の加熱は電気炉によりガラス管全体を同時に加熱する。電気炉の設定温度は750℃とし、ガラス管を軟化点以上に加熱する。

電気炉の幅は350mmであり、ガラス管の両端は片側35mmずつ電気炉からはみ出す形となり、搬送時のチャックの掴み代と加圧ノズルの取付に使用する。電気炉での加熱時間は55～60秒である。

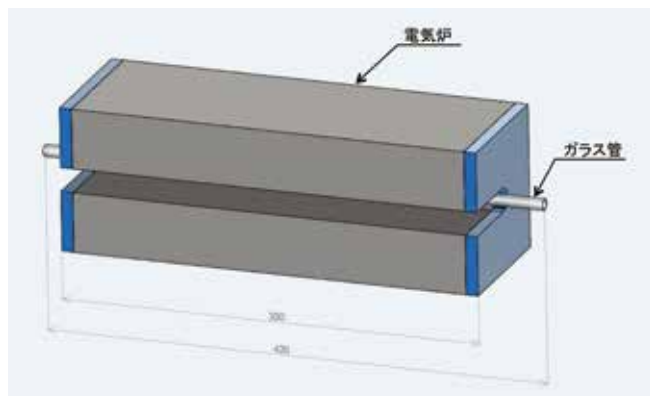


Fig. 5 電気炉とガラス管の関係

②移送

電気炉で加熱後、炉内より軟化したガラス管を素早く取出し、ガラス管の中央を工具に載せる。

注意点として、炉からガラス管を取出し、成形完了までを2秒以内に行わないと、ガラスが硬化し成形できなくなる。

③成形

工具を回転しながら上昇させ、軟化したガラス管を巻きつける。回転と上昇は工具の螺旋ピッチと一致していることが重要。

工具はガラスが急速に冷えて固くならないように約400℃に加熱する。

ガラスの軟化点を下回らないように、巻き上げは0.5～1秒で行う。巻き速度は1.25～2.5巻/秒である。

加熱から成形までのガラス管の温度カーブをFig. 6に示す。

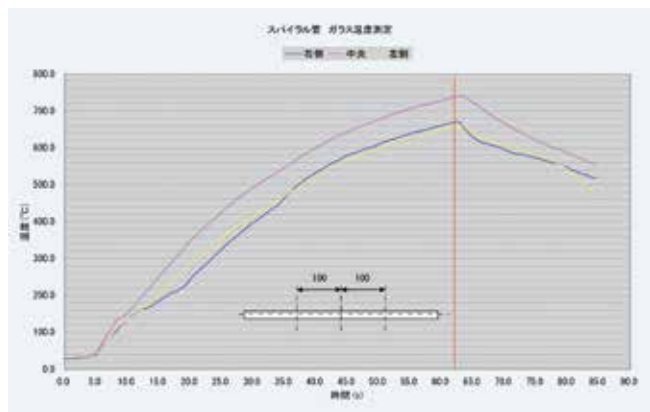


Fig. 6 加熱温度カーブ

④加圧

巻き終わり直後にガラス管内を加圧し、巻き取り時にガラス管断面がつぶれたところを工具に合わせて円形にする。

加熱～成形～加圧までの工程はおよそ57～62秒となる。

2-3 脚曲げ

「脚曲げ」とはスパイラル成形後のガラス管の両端に残るストレート部を巻き軸の中心線と平行となる方向に所定のピッチに曲げる工程で、①加熱、②成形、③加圧を行う。



Fig. 7 脚曲げサンプル

①加熱

スパイラル成形済ガラス管の脚曲げ部を局部的にバーナで加熱する。バーナはガス・エア・酸素バーナである。

②成形

局部的に軟化したガラス管の端をつかみ曲げ成形を行う。曲げは機械的には2軸(Fig. 8)で曲げる必要がある。

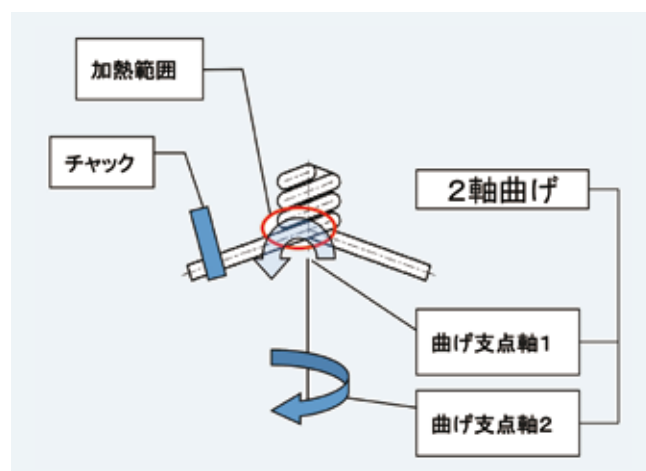


Fig. 8 脚曲げの軸

③加圧

脚曲げ直後に、成形部の形を整えるため、ガラス管の内部を加圧する。手作業の場合は目で見て適度な状態で加圧を止めることが可能であるが、自動機で行う場合は前工程からの条件(材料の寸法、形状の精度など)のバラツキを無くす必要がある。

脚曲げ工程は片脚で加熱時間約20秒、成形～加圧時間約5秒である。

2-4 カット

ここでの「カット」工程は、脚曲げたガラス管の不要部をカットする工程である。



Fig. 9 カットサンプル

①加熱

脚曲げを行った成形済ガラス管のカットする側のガラス管端ストレート部を中心にガラス管を回転させ、水素・酸素バーナによりガラス管を局部的に急加熱し歪を発生させる。

- ・回転速度: 110rpm
- ・加熱時間: 約6秒

②カット

歪の境界にカッターを当て、クラック(微小なヒビ割れ)を派生させカットする(チルクット)。

- ・カッター当て時間: 約0.4秒

3 CCFLスパイラル形蛍光灯のガラス加工

CCFLとはCold Cathode Fluorescent Lamp(冷陰極蛍光灯)の略で、主にLCDのバックライト用に使用するランプである。CCFLスパイラル電球は直管のCCFLを螺旋状に成形したもので、CFLに比べ寿命が長く(40,000時間)紫外線を出さないガラスを使用するなどの特徴を活かし、CFLの置換え商品として販売されている。

CCFL製造工程の概要をFig. 10、CCFLスパイラル形蛍光灯の製造工程の概要をFig. 11にそれぞれ示す。

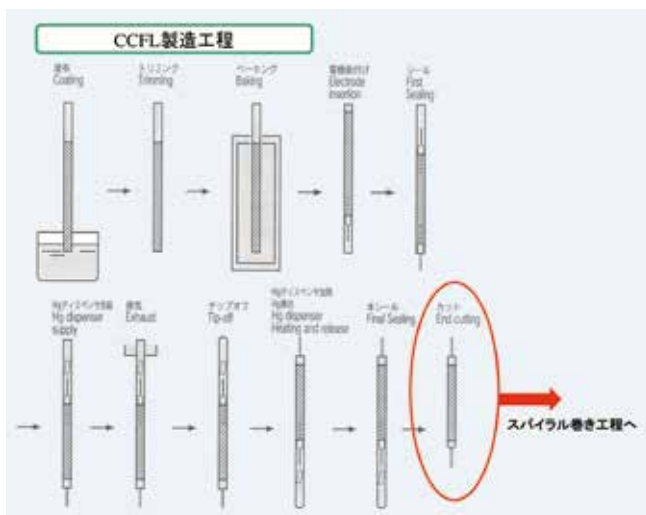


Fig. 10 CCFL 製造工程

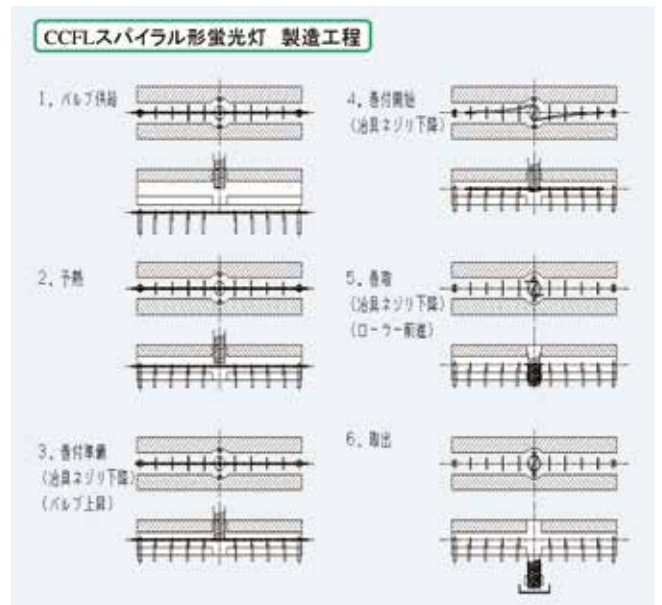


Fig. 11 CCFLスパイラル形蛍光灯製造工程

CCFLスパイラル形蛍光灯では、スパイラル成形を直管ランプ完成後に行う点が、CFLスパイラル形蛍光灯と大きく異なるポイントである。またガラス材料も異なる。ここでは、CCFLスパイラル形蛍光灯のガラス加工として以下の順に紹介する。

- ①材料・条件
- ②スパイラル成形

3-1 材料・条件

- ・CCFL直管ランプ完成品を使用 (φ4×1150mm)
- ・ガラスの材質: ホウケイ酸ガラス (BFK、BFW)

3-2 スパイラル成形

CCFL直管ランプ完成品を使用して加熱成形するため、軟化点を超えて加熱するとCCFL直管ランプの内圧は大気圧より低くなっていることから、ガラス管が潰れてしまう。また、加熱温度が軟化点より大幅に低いとガラス管が割れてしまい工具に巻きつけることができない。そのためガラス管全体の温度を軟化点より少し低い温度まで加熱し、巻くことは可能でありかつ外気圧によって潰されない温度での加工が必要となる。巻き上げはランプの温度を一定に保ちながらゆっくり巻く必要がある。そのため、巻き上げは電気炉内で行う。

成形工程は以下となる。

①加熱

電気炉によりランプを均一に加熱する。

- ・予熱時間: 約50秒

②成形

ランプが軟化点より少し低い温度に到達したところで、電気炉内でランプの温度を一定に保ちながら

ランプの中央部よりゆっくり巻き上げる。

・巻き上げ温度:

BFK…650～700℃、BFW…700～750℃

・巻き上げ時間:約45秒

・巻き数:4.5巻き

工具は2条螺旋で、CFL同様に回転と上昇は工具の螺旋ピッチと一致していることが重要である。巻き速度はCFLと比較すると遅く、0.1巻/秒となる。Fig. 12に巻き上げサンプルを示す。



Fig. 12 CCFLスパイラル成形サンプル

4 おわりに

本稿では当社でこれまでに培ってきたガラス加工技術の一部について紹介した。製品により加工方法は様々であるが、基本はガラスの特性を理解し、最適な加工方法を考案することが重要である。当社ランプ製造設備部門ではこれまでは一般照明、自動車照明用のランプ製造設備を中心に手掛けてきたが、LED照明の普及により、これまでのような設備は求められなくなった。今後は、ランプ製造設備で積み上げられた技術ノウハウ(ガラス加工技術、熱関係技術、真空技術など)の独自性を活かし、ランプの製造設備以外の分野でも社会に貢献していきたいと考えている。

執筆者プロフィール



林 雅博 Masahiro Hayashi

新規事業開発室 第85開発P

Department Project No.85

New Business and Development Office



窒素ガス精製ユニット

Nitrogen Gas Extraction Unit

上野 都砂子 Misako Ueno

桑名 伸好 Nobuyoshi Kuwana

私たちの周りには空気は窒素78%、酸素21%、アルゴン0.9%、その他0.1%で構成されている。空気の大半を占める上位3種のガスは産業用ガスと呼ばれ、鉄鋼や化学、半導体、食品向けなど幅広い産業で使用されている。その中でも、不活性ガスの窒素は分析機のキャリアガス、食品の鮮度保持、金属材料の酸化防止やタイヤへの充填など、様々な用途で使われ、ガス市場全体で最も多い約26%を占めている。現状、窒素を用いる場合、ガスボンベや、大型の窒素ガス精製装置など、手軽に必要な分だけ入手可能なものは少ない。また、今後製造現場においては、集中製造から分散製造化によるリスク回避が進むと予想され、手軽に窒素ガスを精製可能なユニットの需要は増えると考えられる。本稿では、当社のスーパードライヤ(SD)の中空糸膜を活用した技術を応用して開発した窒素ガス精製ユニットを紹介する。

The air around us consists of 78% nitrogen, 21% oxygen, 0.9% argon, and 0.1% other gases. The top three gases that make up the majority of the air are called industrial gases and are used in a wide range of industries including steel, chemical, semiconductor, and food. In particular, nitrogen is commonly used as an inert gas in various applications such as for carrier gas in analyzers, keeping food fresh, preventing metals from corroding, and inflating tires. It accounts for the largest share in the gas market at about 26%. At present, there are only a few devices (for example, gas cylinders for small-scale use and large nitrogen extraction devices for large-scale use) that can produce nitrogen easily and as much as needed. In addition, it is expected that risk reduction by shifting from centralized manufacturing to decentralized manufacturing will be implemented in production sites in the future and demand for devices that can easily extract nitrogen gas will increase.

This paper will introduce a nitrogen gas extraction unit CKD has developed by applying the hollow fiber membrane technology used in our Super Dryer (SD).

1 はじめに

窒素ガスの供給方法は、

- ①空気中から分離して精製
- ②ガスボンベに充填
- ③液体窒素をタンクローリーにて配送し、ガス化

の大きく3つが挙げられる。高純度の窒素ガスを安定して供給できるボンベの使用が一般的だが、高圧ガス保安法の対象となるため、許可が必要である点と、ガス会社によるボンベの交換のため、残量の管理が必要になる。分離法は空気から窒素を取り出すため、純度はボンベよりも劣るが、必要な時に必要な分だけの窒素を得ることができる。当社では、スーパードライヤ(SD)の中空糸膜を活用した技術を応用し、窒素ガス精製ユニットを開発した。本稿ではその技術を紹介する。

2 ガス精製方法

空気の中から窒素を分離する方法は、大きく3つに分けられる。

- ①圧力変動吸着法(PSA法)
- ②膜分離法
- ③深冷分離法

①圧力変動吸着法(PSA法) Fig. 1

窒素の圧力変動吸着法は、吸着剤にモレキュラーシービングカーボンを使用し、酸素と窒素の吸着速度の差を利用して分離する。図中A槽の加圧下で吸着剤に空気中の酸素分子を吸着させて窒素分子を取り出す。B槽では大気圧まで減圧し、A槽で精製された窒素ガスでパージすることで、吸着された酸素分子を脱着し、吸着剤を再生する。脱着された酸素分子は排気ガスとして排出する。この動作を連続して行うために、吸着槽を二つ用いて加圧と減圧の圧力変動を交互に繰り返して窒素を取り出す。

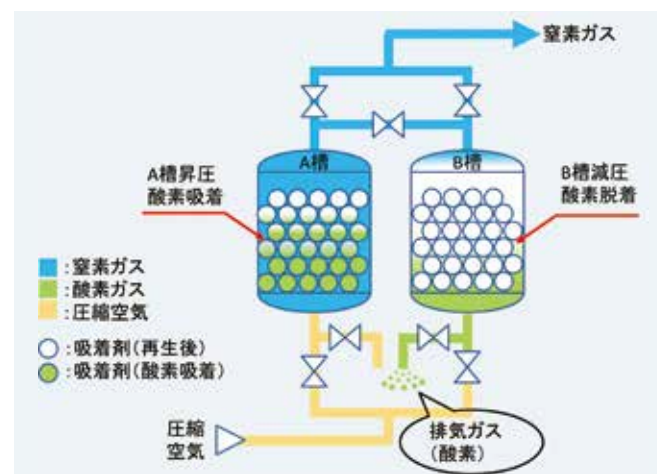


Fig. 1 圧力変動吸着法 (PSA法)

②膜分離法 Fig. 2

窒素の膜分離法は膜に対する酸素と窒素の透過速度の差を利用して分離する。中空糸膜の分離膜に圧縮空気を流すと、中空糸の内側を流れていく間に、酸素が選択的に膜を透過し、中空糸膜出口に窒素を多く含んだガスが得られる。

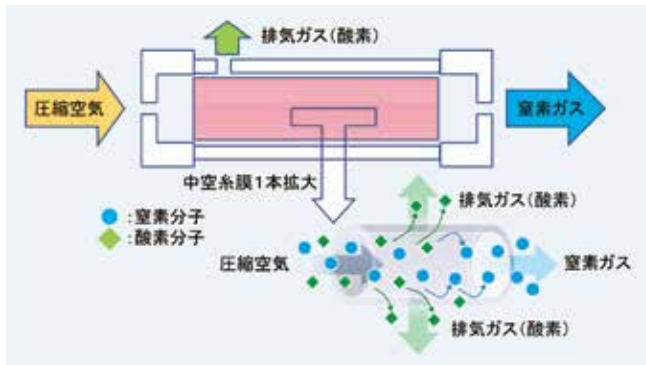


Fig. 2 膜分離法

③深冷分離法 Fig. 3

窒素の深冷分離法は空気をマイナス200℃近い極低温まで冷却し、空気中の他の主成分である酸素、アルゴンとの沸点の差を利用して窒素を取り出す。高純度ガスを大量に生産する際に適した空気分離方法である。

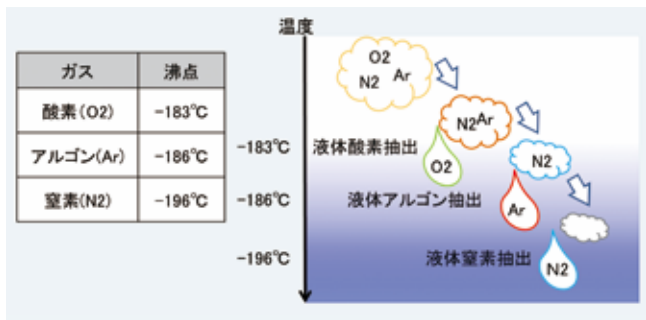


Fig. 3 深冷分離法

3 開発課題

窒素ガスは様々な用途で広く使われているが、少量使用の場合は、ガスボンベ、大量使用の場合は大型の窒素精製装置を使うなど、必要な分だけ入手可能なものが少ない。また、窒素精製装置として主流の圧力変動吸着法(PSA法)は吸着剤に加圧・減圧を繰り返すため、吸着剤が擦れて発塵する問題がある。食品業界では、食品の酸化防止の封入用に窒素ガスを使用しているが、高い純度は要求されず、95~99.9%程度であることと、異物を嫌う業界である。そこで、ターゲット市場を食品業界とし、手軽にクリーンな窒素ガスを精製可能なユニットを次にあげる製品イメージのもと開発を行った。

- ・設置場所を選ばない:小形化、モジュール設計、電源不要

- ・低コスト:ランニングコストが安い
- ・メンテナンスが容易:配管したままで交換可能、長寿命

4 窒素ガス精製ユニット(NS)の構造

前述の課題を解決する膜分離法による窒素ガス精製ユニット(NS)を開発した。給気ポートから入った圧縮空気は筒状の膜モジュールの中空糸1本1本の中をFig.4図中の上から下に向かって流れ、その間に膜を透過した酸素は正面より排気される。そして、窒素を多く含んだガスが筒の中心を下から上に向かって流れ、製品ガスとしてOUTポートに送られる。膜モジュールが長ければ、ガスを分離する中空糸膜の中を長い間流れる為、多くの酸素を分離でき、より高い濃度の窒素を大流量で得ることができる。NSシリーズでは、膜モジュールが最も長いNS-4Lを8本まで連結できる複筒タイプを揃えており、最大で窒素濃度99.9% 244.8L/minの大流量の窒素ガスを供給できる(Fig.5)。NSシリーズにおける窒素ガス流量と、濃度のグラフをFig.6に示す。小形・低流量から大流量まで用途に応じて使い分ける事が出来る。

また、食の安心・安全を守るCKD独自の食品製造工程向け商品規格であるFP1に対応し、潤滑油による汚染リスクを低減している。

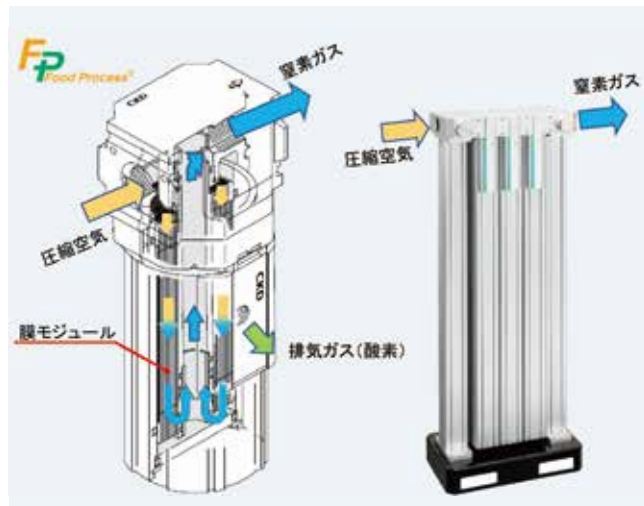


Fig. 4 NSの内部構造

Fig. 5 複筒タイプ(NS-4L6)

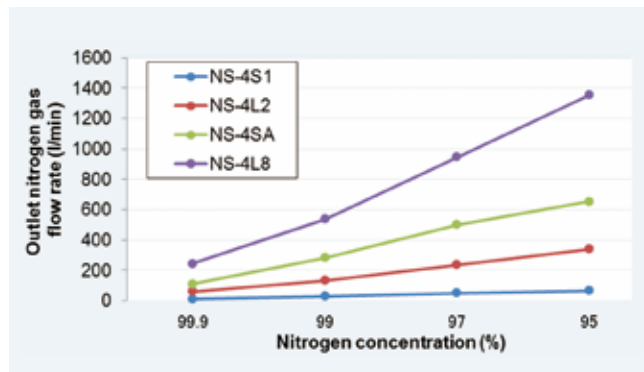


Fig. 6 窒素ガス発生量

5 システム商品 (NSU)

窒素ガス精製ユニットに必要なエア質を供給できるフィルタや、窒素ガスの圧力を調整するレギュレータ、窒素濃度(流量)を調整するニードルバルブを一体化したNSU (Fig.7)は、空気圧源に直結するだけで手軽に窒素ガスを得ることができる。更に、現在当社で開発中の酸素濃度計を組み込めば、窒素の濃度監視や調整の目安にすることが可能となる。また、モジュール設計なので、NSの上流に除菌・抗菌フィルタを組み込むことができるため、食品の酸化防止でパッケージ内に封入する場合でも、清浄な窒素ガスを供給できるので、安心して使用できる。

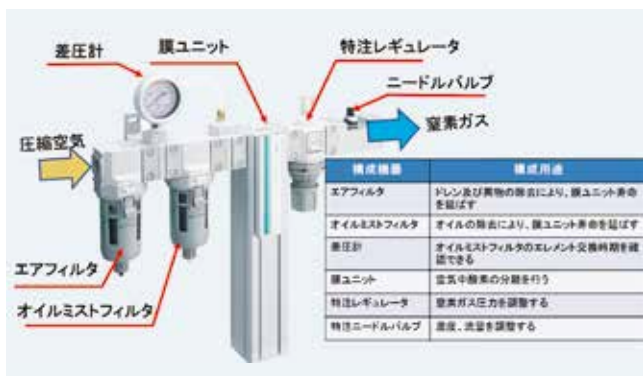


Fig. 7 NSU

の鮮度維持や変色防止、香気保存などに有効であるため、大手メーカーに採用されるようになってきた。しかし、食品業界には小規模なメーカーも多いため、より手軽に採用いただける小形・低コスト化の実現に向けた開発を引き続き行う。

6 おわりに

窒素ガス精製ユニットは2017年9月発売以来、電源不要で省スペース、ランニングコスト低減などの優位点から、電子部品業種において採用されている。ターゲット市場としている食品業界においても『食の安全と安心』に関心が高まる中、窒素置換による食品

執筆者プロフィール



上野 都砂子 Misako Ueno
コンポーネント本部
FAシステムBU 第2技術部
Engineering Department No. 2
FA System Business Unit
Components Business Division



桑名 伸好 Nobuyoshi Kuwana
コンポーネント本部
FAシステムBU 第2技術部
Engineering Department No. 2
FA System Business Unit
Components Business Division

流量モニタリングシステム

Flow Monitoring System

中田 明子 Akiko Nakada

当社では半導体製造装置向けにプロセスガス用のエアオペレートバルブやマニュアルバルブ、レギュレータなどの製造、販売を行っている。またこれらの製品と圧力計、マスフローコントローラなどを搭載した集積化ガス供給システム(Fig. 1)の製造、販売も行っている。半導体製造工程においてプロセスガスの高精度な流量制御は不可欠であり、流量制御異常によるプロセストラブルを回避するため、マスフローコントローラは定期的に点検・校正を行う必要がある。しかしマスフローコントローラの点検・校正には脱着のため装置を停止するなど、半導体製造装置の稼働率の低下につながっていた。ここでは、マスフローコントローラの流量制御異常によるプロセストラブルを回避するため開発した流量モニタリングシステムを紹介する。

CKD manufactures and sells process gas components such as air-operated valves, manual valves, and regulators for use in semiconductor manufacturing equipment.

We also manufacture and sell an integrated gas supply system (Fig.1), which is equipped with products mentioned above and devices such as pressure gauges and mass flow controllers. In semiconductor manufacturing processes, controlling the flow rate of process gases with high precision is indispensable. To avoid problems caused by the abnormal flow rate control, the mass flow controller must be periodically inspected and calibrated. However, for inspection and calibration, the semiconductor manufacturing equipment needs to be stopped to mount and dismount the mass flow controller and this may decrease the operating rate of equipment. In this paper, we introduce the flow monitoring system which was developed to avoid problems caused by the abnormal flow rate control of the mass flow controller.

1 はじめに

近年、半導体の積層化、微細化に伴いプロセスガス制御の信頼性向上の要求が高まっている。プロセスガスの流量はプロセス品質の良否に直接影響するため、その流量を厳格に管理することが求められている。

プロセスガスの高精度な流量制御は半導体製造工程において不可欠であり、その流量制御の多くは熱式流量センサを用いたマスフローコントローラが利用されている。マスフローコントローラは流量センサ内部に細管を使用しており、そこにプロセスガスの生成物が

付着すると、流量精度が悪化してしまう。このため、定期的な点検・校正が実施されている。

マスフローコントローラの流量測定には、基準流量計の測定値と比較する方法がある。これは、配管の一部やマスフローコントローラを外して接続するため、装置を停止する必要がある。また、プロセスチャンバを用いた圧力上昇法による流量測定(Fig. 2)は、装置に搭載したままで測定できる。しかし、この方法はチャンバ容積が大きいため測定に長時間を要する。

そこで当社は、これらの課題を解決するため、流量モニタリングシステムを開発した。



Fig. 1 集積化ガス供給システム

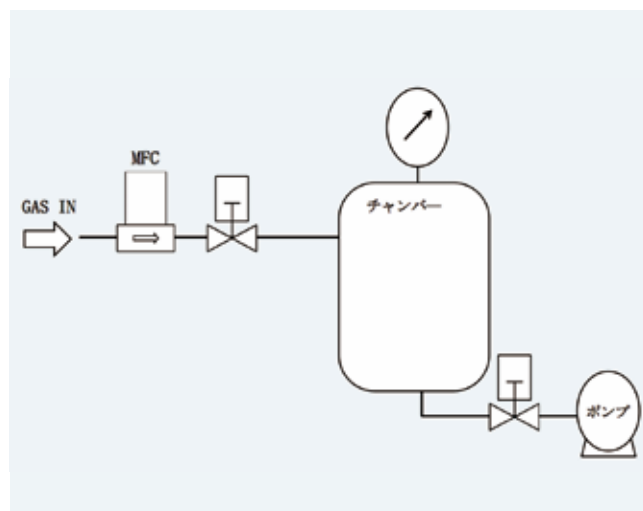


Fig. 2 プロセスチャンバを用いた流量測定

2 開発コンセプト

流量モニタリングシステムは、前記課題を解決するため、次にあげるコンセプトのもと開発を行った。

①集積化ガス供給システム内への設置

- ・装置からの脱着を不要とし、装置を停止することなく、インラインでの測定を可能とする。

②測定時間の短縮

- ・装置のスループット向上に貢献する。
- ・プロセス毎に重要ガスの流量測定を可能とする。

③高精度

- ・従来方法以上の測定精度を確保する。
- ・正確な測定容積の把握。

④圧力上昇法による測定

- ・流量モニタリングシステムをマスフローコントローラの下流側に設置し、1台で複数台のマスフローコントローラの測定を可能とする。

3 構成と動作原理

当社の流量モニタリングシステムは、圧力上昇法により流量測定を行う。

圧力上昇法は、容積V内に一定の流量で、ガスを充填すると容積V内の圧力が一定の傾きで上昇することを利用し、ある圧力 ΔP 間を時間 Δt で充填するときの流量を気体の状態方程式を用いて算出している。(Fig. 3)

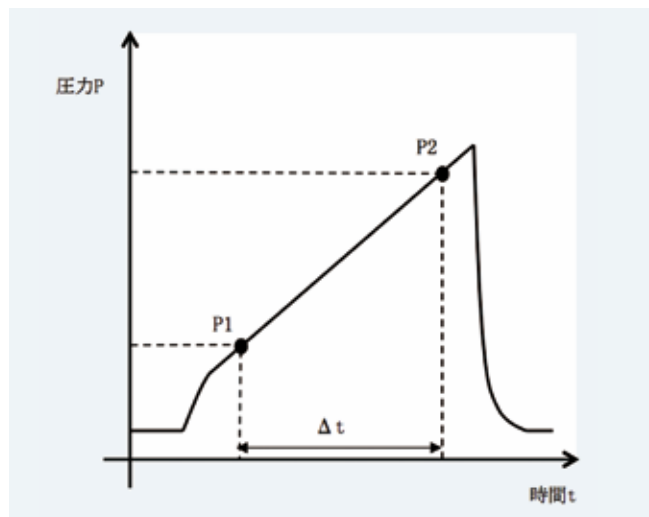


Fig. 3 圧力上昇法

流量モニタリングシステムの構成をFig. 4に示す。ガスを供給するための第1遮断弁、下流にガスを遮断するための第2遮断弁、充填されるガスの圧力と温度を計測するための圧力センサと温度センサがタンクに設置されている。

また、制御基板では、遮断弁の駆動制御、圧力センサ・温度センサの信号取込、流量演算、測定結果の出力を行っている。

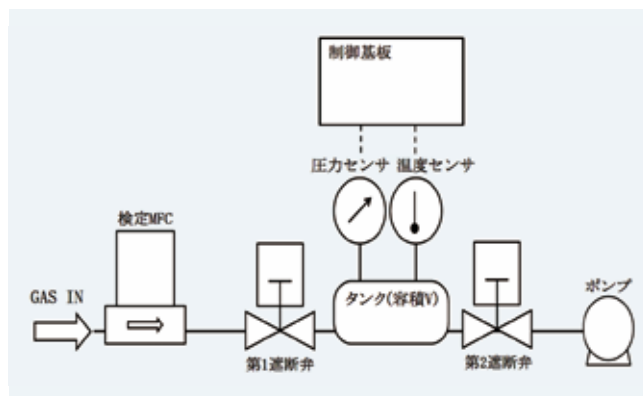


Fig. 4 流量モニタリングシステム構成

流量モニタリングシステムにおける測定手順をFig. 5に示す。

- 第1遮断弁、第2遮断弁を開き、タンク内を真空引きする。
- マスフローコントローラでタンク内にガスを供給し、制御流量が安定するまで待機する。
- 制御流量が安定したところで第2遮断弁を閉じ、タンク内の圧力を上昇させる。
- 圧力が上昇し、圧力センサが既定の測定開始圧力を検出した後、測定終了圧力を検出するまでの時間を計測する。
- 測定終了圧力を検出したところで測定終了とし第2遮断弁を開き、タンク内のガスを放出する。

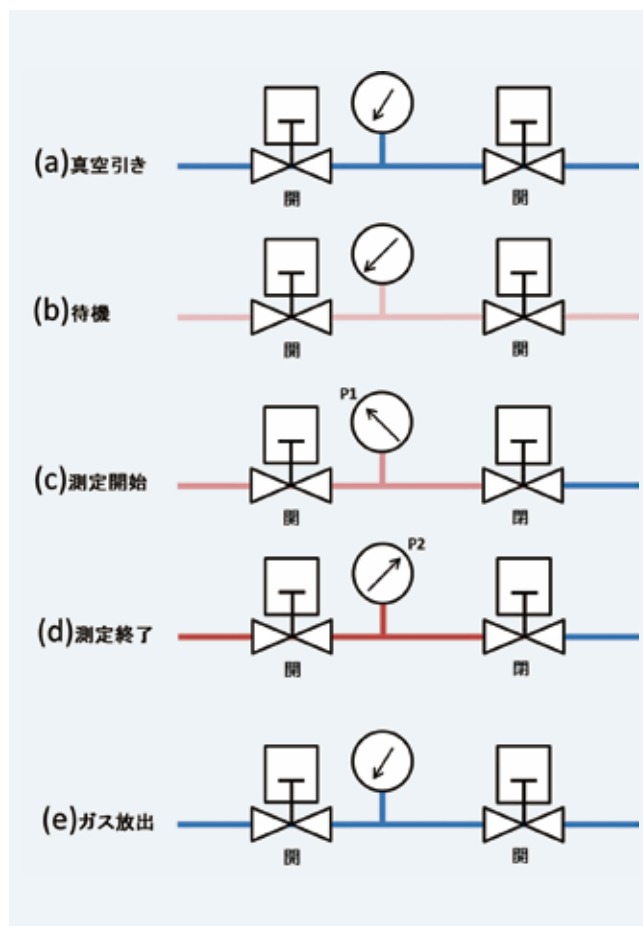


Fig. 5 測定手順

また流量の算出は以下の要領で行う。

測定で得られた圧力値と気体の状態方程式より、測定開始時の状態は $P_1V=n_1R_0T_1$ 、測定終了時の状態は $P_2V=n_2R_0T_2$ となる。

上式より容積 V 内のガスの増加量 Δn は、

$$\Delta n = n_2 - n_1 = V/R_0 (P_2/T_2 - P_1/T_1) \dots \textcircled{1}$$

となり、流量 Q は計測時間 Δt と①より次式で求められる。

$$Q = \Delta n \times V_0 / \Delta t \dots \textcircled{2}$$

ここで、測定開始圧力 P_1 [Pa]、測定終了圧力 P_2 [Pa]、測定開始温度 T_1 [K]、測定終了温度 T_2 [K]、タンク容積 V [m³]、測定開始時物質量 n_1 [mol]、測定終了時物質量 n_2 [mol]、ガス定数 R_0 [J/mol·K]、標準体積 V_0 [m³/mol]、計測時間 Δt [min]、流量 Q [m³/min]とする。

4 開発のポイント

集積化ガス供給システム内への設置、短時間測定を実現するために、流量モニタリングシステムを小型化する必要があった。そこで、流量モニタリングシ

テムを構成する第1遮断弁、圧力センサ、温度センサ、第2遮断弁をひとつのブロックに集積し、集積化ガス供給システム内に収まる大きさとした。また、測定タンクを搭載すると、大きくなってしまふことから流量モニタリングシステムはタンクレスにすることとした。(Fig. 6) (Fig. 7)

しかし、タンクレスにすると測定容積は、第1遮断弁から第2遮断弁間の流路のみとなり、極端に小さくなる。測定容積が小さくなると、測定時の圧力上昇スピードが速くなるため、圧力検出誤差が大きくなり、測定精度は悪くなってしまふ。タンクレスにしても測定精度を保つため、集積化ガス供給システムの既存流路(Fig. 8赤線部・約100ml)を測定容積として利用した。

次に、目標精度を満たすため、使用する圧力センサのレンジを容積・流量・測定時間から計算し決定した。

また流量の算出には、測定容積を正確に管理することも必要である。当社では、集積化ガス供給システムの製造を行っていることを生かし、製造時に流量モニタリングシステムを搭載する集積化ガス供給システムの配管容積を±0.2%R.D.という高精度で正確に計測している。そのため、容積を厳密に管理することができ、より高精度の流量測定を可能とした。



Fig. 6 流量モニタリングシステム外観

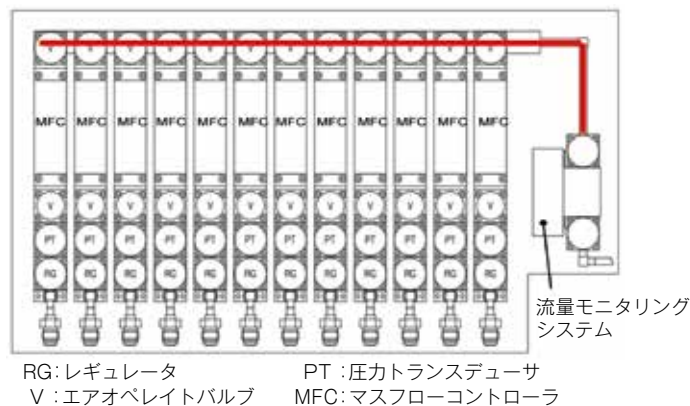


Fig. 8 集積化ガス供給システム内設置の例

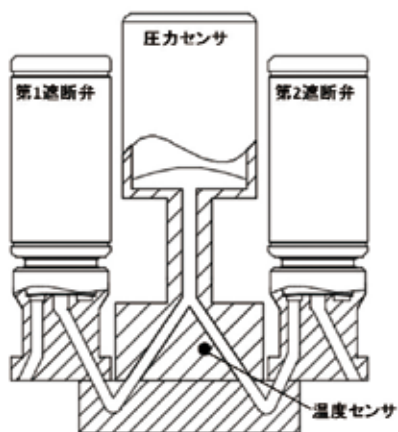


Fig. 7 流量モニタリングシステム内部構造図

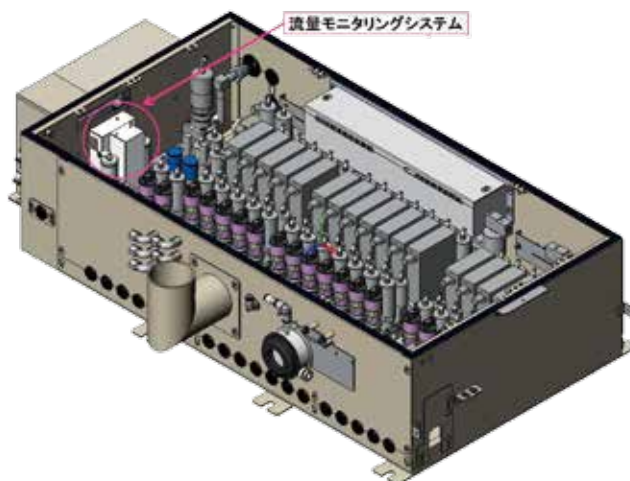


Fig. 9 集積化ガス供給システム内設置の例

5 評価結果

流量モニタリングシステムの評価結果をFig. 10～Fig. 13に示す。

Fig.10は流量に対する測定時間を示したグラフである。各流量で1min以内という短時間測定が可能であることがわかる。Fig. 11は新手法の測定時間を従来方法と比較したグラフである。従来のプロセスチャンバーによる測定と比較して、装置全体(10ライン)で測定時間を72%削減できた。

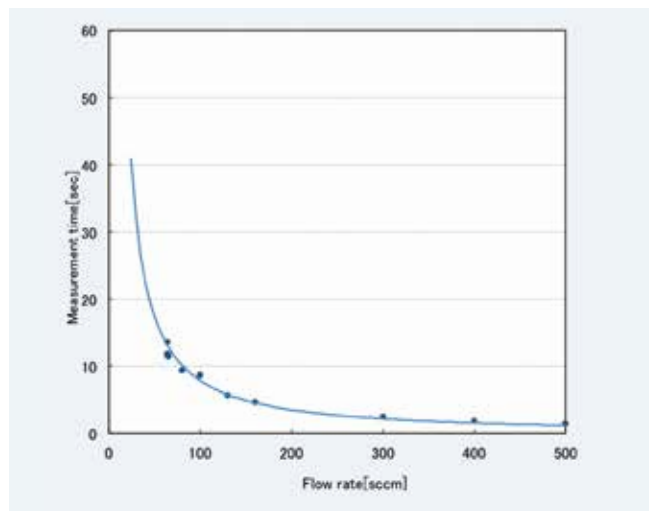


Fig. 10 流量－測定時間

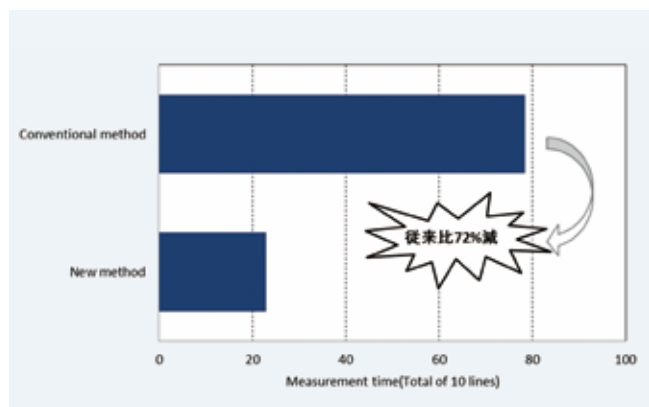


Fig. 11 新手法と従来方法の測定時間比較

Fig. 12は流量モニタリングシステムの測定精度を示す。各プロットは同一サンプルで10回繰り返し測定した時の当社基準流量計との差の平均値である。

この結果から全流量域において±1%R.D.以下という高精度で流量測定が再現可能であることを示している。

Fig. 13に流量モニタリングシステムの長期再現性を示す。横軸は測定日である。測定日が異なると温度などの変化により測定環境が変わることもある。しかし、流量モニタリングシステムは高い再現性を示しており、マスフローコントローラの流量変化を正確に測定できたことがわかる。

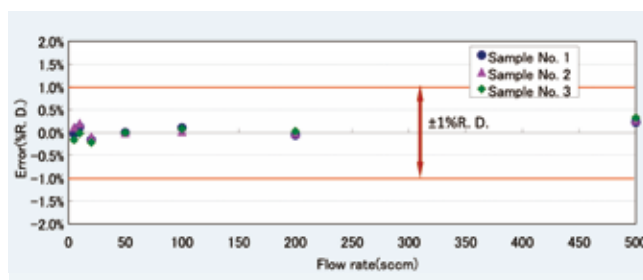


Fig. 12 流量精度

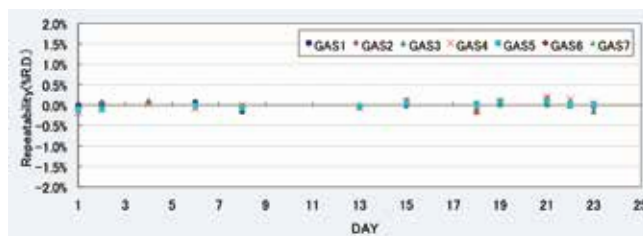


Fig. 13 長期再現性

6 おわりに

本稿で紹介した流量モニタリングシステムは定期的を使用することでマスフローコントローラの制御流量の経時変化を見える化し、プロセストラブルを未然に防ぐことができる。また半導体製造プロセスの高精度化にも対応でき、当社集積化ガス供給システムの付加価値を向上させる製品である。

今後、半導体プロセスの製造技術はますます生産性向上とプロセスの複雑化により構成パーツへの品質管理要求も厳しくなる。

当社はこれからも半導体製造業界の開発スピードに追従し、より高度な要求に応えることのできる製品の開発に取り組んでいく。

執筆者プロフィール



中田 明子 Akiko Nakada
 コンポーネント本部
 ファインシステムBU 第2技術部
 Engineering Department No.2
 Ultra High Purity Products Business Unit
 Components Business Division

■ 出典 ■

出願特許: ガス流量検定ユニット 特許第4801726号
 ガス流量検定ユニット 特許第5222935号



塩酸蒸気環境下によるSUSXM7材ボルトの応力腐食割れ評価

Evaluation of Stress Corrosion Cracking of SUSXM7 Bolts under Hydrochloric Acid Vapor Environment

宮下 路生 Michio Miyashita

塩酸蒸気環境下におけるSUSXM7ステンレスボルトの応力腐食割れ(SCC)感受性に及ぼす温度、負荷荷重、塩酸濃度の影響を定荷重試験により調べた。その結果、以下の結果が明らかになった。

- a) 温度に関してはアレニウス型の単調な温度依存性が認められ、得られた活性化エネルギーは65.7kJ/molであった。
- b) 塩酸濃度が約15.9wt%程度の中間濃度が最もSCC感受性が高かった。
- c) SCCが発生しない限界応力値は4.8N/mm²よりも小さい。
- d) SUSXM7素材部には亀裂が発生したが、ねじ部はSCC感受性が低く亀裂が発生しなかった。

The effect of temperature, applied load, and hydrochloric acid concentration on the stress corrosion cracking (SCC) susceptibility of SUSXM7 stainless steel bolts under hydrochloric acid vapor environment was examined by a constant load test. As a result, the following results were found.

- a) In terms of temperature, a monotonous temperature dependence of Arrhenius type was observed and the obtained activation energy was 65.7 kJ/mol.
- b) An intermediate concentration of about 15.9 wt% hydrochloric acid concentration was the most susceptible to SCC.
- c) The critical stress value at which SCC does not occur is smaller than 4.8 N/mm².
- d) Cracks occurred in the material section of SUSXM7, but the threaded section had low SCC susceptibility and no cracks occurred.

1 はじめに

半導体製造工程では大量の薬液が使用され、それらを制御するバルブには、PTFE等のフッ素樹脂製の薬液用バルブが使われている。フッ素樹脂は優れた耐薬品性を持っているが、長期の使用では、塩酸等の薬液が浸透、透過することが知られている。

塩素イオン等の腐食因子と引張応力の作用下では、オーステナイト系のステンレスは、応力腐食割れ(SCC)が発生することが知られており、透過塩酸ガスによるボルト等のステンレス部品(Fig. 1参照)への影響が懸念される。

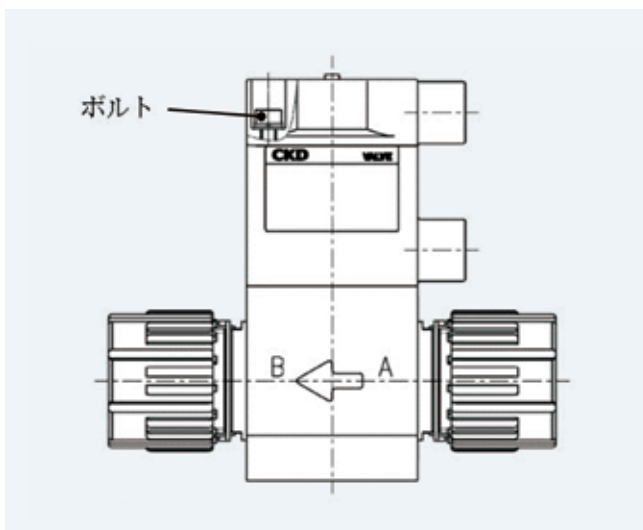


Fig. 1 薬液用バルブ

しかし、塩酸によるオーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れの研究事例は少なく、十分なデータが得られていない。

本稿では、当社にて行った塩酸環境下におけるSUSXM7ボルトの応力腐食割れ試験について紹介する。

2 試験方法

2-1 供試品

本試験では、冷間加工用ステンレス鋼(SUSXM7)のM5ねじを供試品とした。(Fig. 2参照)供試品の化学組成および引張強度をTable 1に示す。



Fig. 2 供試品

Table 1 供試品の化学組成および引張強度

	化学成分 (重量%)								引張強度 (N/mm ²)
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	
SUSXM7	0.02	0.27	0.50	0.031	0.002	9.45	17.80	3.30	515

2-2 荷重負荷

供試品に引張荷重を加えるための治具をFig. 3に示す。耐食性に優れ、熱膨張の小さいガラス入りPPS樹脂

脂にて、ボルト貫通用の穴が4箇所空いた六面体治具を用いた。供試品が治具周囲の腐食環境に暴露されるように、治具には切り欠きを設けた。供試品に加える負荷荷重は締付トルクから計算し、 $4.8\text{N/mm}^2 \sim 27.6\text{N/mm}^2$ の範囲になるよう設定した。

なお、応力緩和によるボルトの締付トルク低減を最小限に留めるため、一定時間放置後に増し締めを行った。

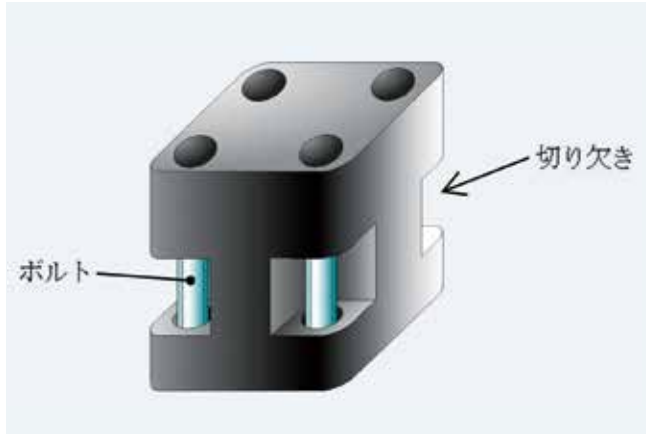


Fig. 3 荷重負荷用治具

2-3 腐食環境

負荷を加えた供試品を塩酸環境に暴露するための試験装置イメージをFig. 4に示す。

容器内に塩酸を入れ、供試品を設置した荷重負荷治具を塩酸と直接触れないように容器内に吊り下げ、ヒーターにて容器ごと加熱した。

塩酸は濃度を8.7wt%から23.1wt%とし、7日毎に交換した。塩酸蒸気の温度は $45 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $56 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $66 \pm 3^\circ\text{C}$ に設定した。

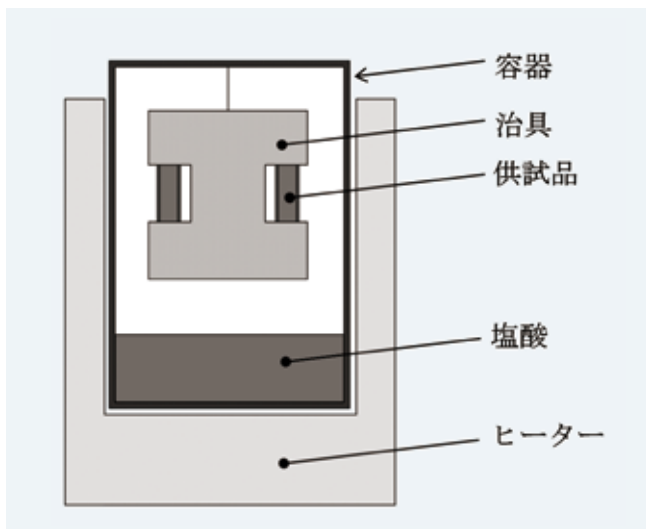


Fig. 4 試験イメージ

2-4 供試品の観察

4本のボルトを1セットとして試験を行なった。任意の時間、腐食環境下に暴露した供試品を治具から外して、光学顕微鏡にて観察した。腐食環境に曝された供

試品は、表面に腐食膜が生じるため、その膜を剥がして観察した。観察のために腐食膜を1度でも剥がした供試品は、たとえ亀裂が発生していなくても再度、腐食環境に曝すことはなく、観察は供試品1セットにつき1度のみとした。

SCCが発生した条件で、4本のボルトの内、1本でも亀裂が発生した時間を潜伏期間とした。

2-5 亀裂進展速度の測定

潜伏期間の3~5倍の時間、供試品を腐食環境に暴露した後、破断面を観察して亀裂の深さを測定した。亀裂深さを暴露時間から潜伏期間を差し引いた時間で割ることにより、亀裂進展速度を求めた。

進展速度の測定は、塩酸水溶液濃度は15.9wt%、負荷荷重は 9.6N/mm^2 、塩酸蒸気温度 $56 \pm 3^\circ\text{C}$ および $66 \pm 3^\circ\text{C}$ 時の2条件とした。

3 試験結果

3-1 塩酸濃度の影響

本試験では 9.6N/mm^2 の負荷荷重を加え、 $56 \pm 3^\circ\text{C}$ の塩酸蒸気温度に設定し、8.7wt%から23.1wt%の塩酸濃度にて試験を行った。

結果は、ねじ部には亀裂は発生せず、素材部に亀裂が発生した。塩酸濃度とSCC潜伏期間の関係をFig. 5に示す。Fig. 6に亀裂の観察例を示す。本試験結果では、塩酸濃度が低いと亀裂の潜伏期間長くなり、高すぎると全面腐食により全体が細くなる傾向となった。中間濃度である15.9wt%が最もSCC感受性が高い結果となった。

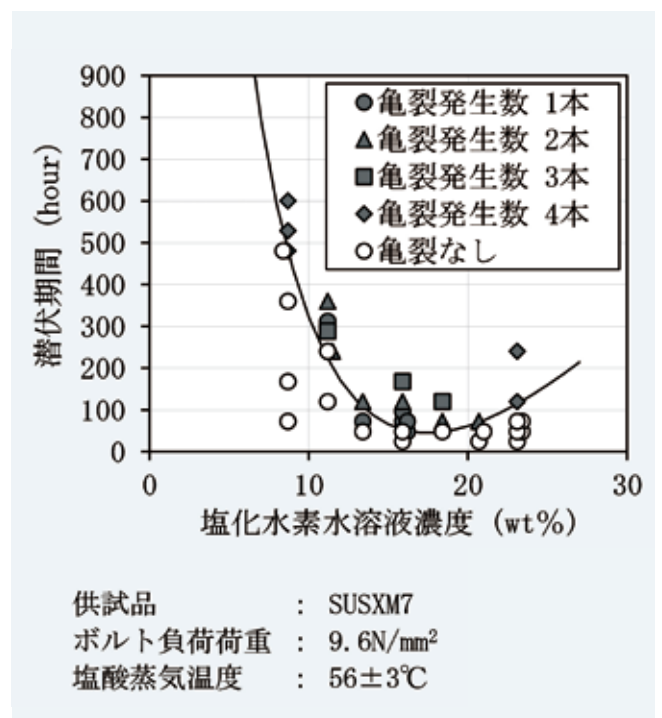


Fig. 5 塩酸濃度とSCC潜伏期間との関係



供試品 : SUSXM7
 塩酸濃度 : 15.9wt%
 塩酸蒸気温度 : 56±3°C
 ボルト負荷荷重 : 9.6N/mm²
 塩酸蒸気暴露時間 : 120hour

Fig. 6 亀裂の光学顕微鏡写真

3-2 温度の影響

SUSXM7材のSCC感受性に及ぼす温度の影響を、潜伏期間および亀裂進展速度を指標として評価した。本試験では、9.6N/mm²の負荷荷重を加え、15.9wt%の塩酸を用い、45~66°Cの塩酸蒸気温度で試験を実施した。

塩酸蒸気の温度と潜伏期間の逆数値との関係をFig. 7に、塩酸蒸気の温度と亀裂進展速度との関係をFig. 8に示す。Fig. 9に破断面の観察例を示す。

温度に対して潜伏期間の逆数値および亀裂進行速度ともに顕著に増加した。これにより、SUSXM7のSCC感受性は温度の依存性が高いことがわかった。

本試験では、活性化エネルギーを算出した。潜伏期間の逆数値、亀裂進展速度ともにアレニウスの式に従っていると考えられるので、Fig. 7およびFig. 8の直線の傾きから、次式(1)(2)よりSCC感受性の活性化エネルギーを求めた。

$$V_1 = V_0 \exp\{-Ea/R \times (1/T_1 - 1/T_0)\} \quad (1)$$

$$Ea = R \times \ln(V_1/V_0) / (1/T_1 - 1/T_0) \quad (2)$$

ここで、 Ea : 見かけの活性化エネルギー
 R : 気体常数=8.3143J/K·mol
 T_0, T_1 : 絶対温度
 V_0 : 温度 T_0 の時の速度
 V_1 : 温度 T_1 の時の速度

その結果SCC感受性の活性化エネルギーは、

潜伏期間の逆数 : 65.7kJ/mol

亀裂進展速度 : 64.9kJ/mol

であった。

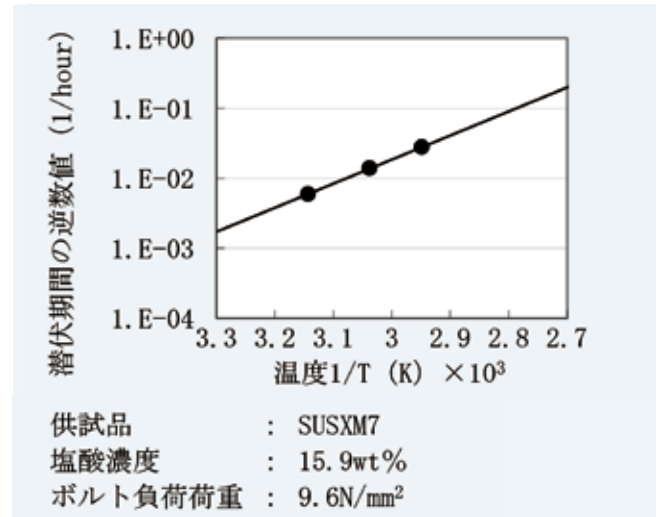


Fig. 7 温度とSCC潜伏期間の逆数との関係

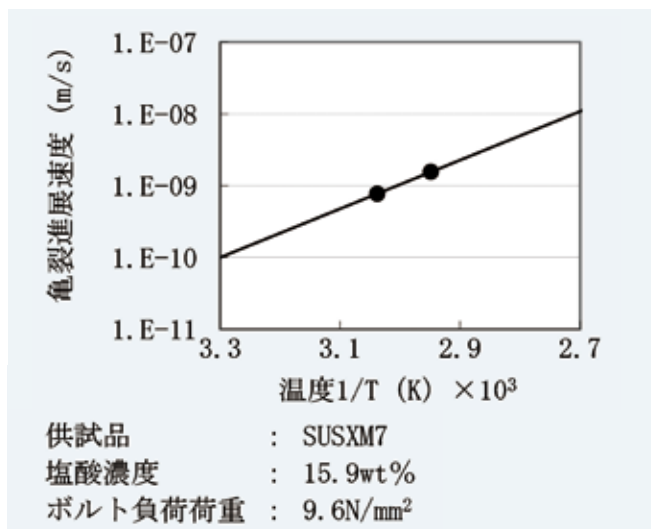
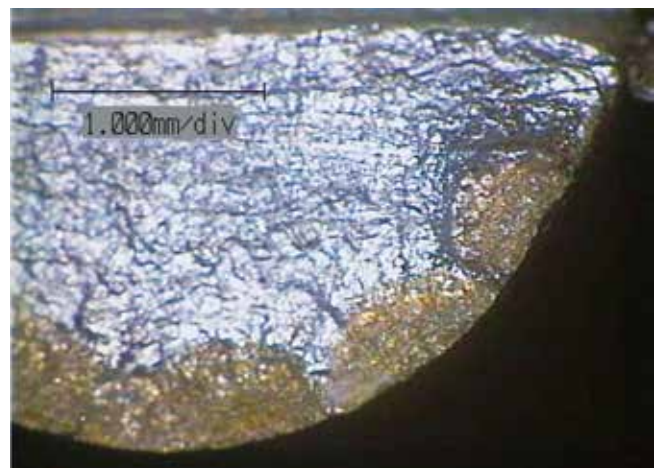


Fig. 8 温度とSCCの亀裂進展速度との関係



供試品 : SUSXM7
 塩酸濃度 : 15.9wt%
 塩酸蒸気温度 : 66±3°C
 ボルト負荷荷重 : 9.6N/mm²
 塩酸蒸気暴露時間 : 120hour
 潜伏期間 : 36hour
 最大割れ深さ : 470 μm
 進展速度 : 1.5 × 10⁻³ μm/sec

Fig. 9 破断面の光学顕微鏡写真

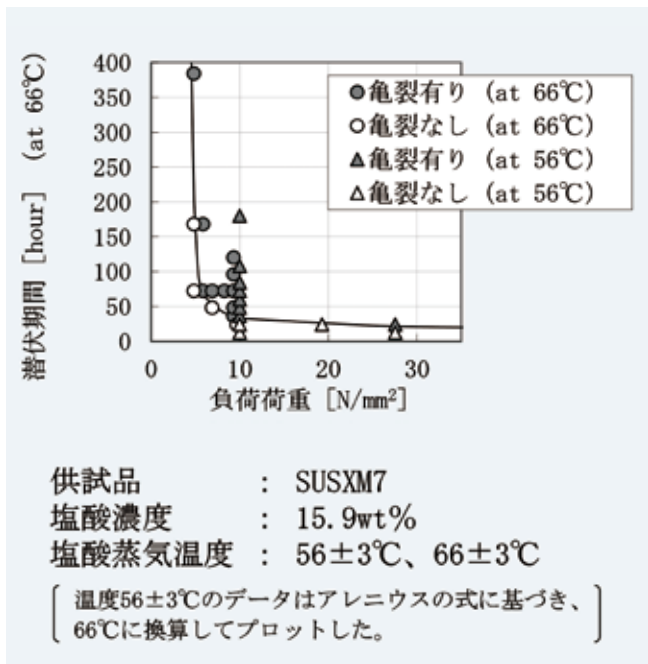


Fig. 10 負荷荷重とSCC 潜伏期間の関係

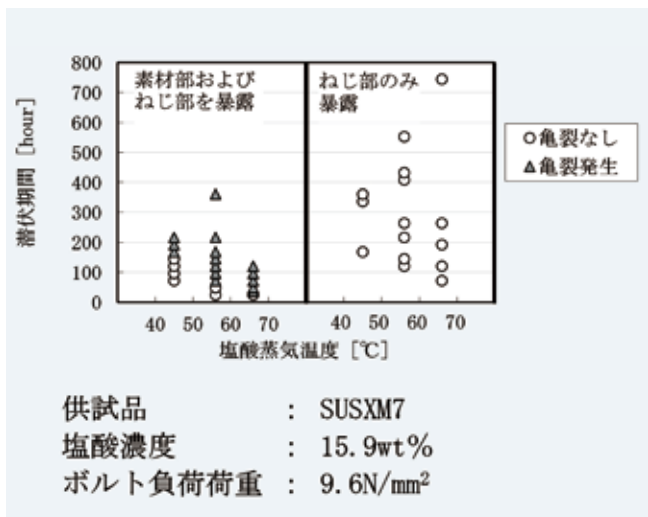


Fig. 11 供試品とSCC 潜伏期間の関係

3-3 負荷荷重の影響

SUSXM7材のSCC感受性に及ぼす負荷荷重の影響を、潜伏期間を指標として評価した。本試験では、4.8N/mm²~27.6N/mm²の負荷荷重を加え、15.9wt%の塩酸を用い、56±3°C、66±3°Cの塩酸蒸気温度で試験を実施した。

負荷荷重とSCC潜伏期間の関係をFig. 10に示す。ここで56±3°Cにて得られた結果は、アレニウスの式により計算し、66°Cに換算してプロットした。

本試験の結果では、負荷荷重を5.9N/mm²まで大きくすると急激に潜伏期間は小さくなり、その後は緩やかに小さくなる結果が示された。

また、応力腐食割れが発生しない限界応力値は、4.8N/mm²より小さい値で存在すると推測される。

3-4 素材部とねじ部の比較

供試品ボルトの素材部をマスキングして、ねじ部のみを腐食環境下に暴露した場合と、素材部とねじ部の両方を暴露した場合を比較試験した。

本試験では、9.6N/mm²の負荷荷重を加え、15.9wt%の塩酸を用い、45~66°Cの塩酸蒸気温度で試験を実施した。

各供試品と潜伏期間の関係をFig. 11に示す。本試験の結果では、素材部のみに亀裂が発生し、ねじ部は明らかにSCC感受性が小さい結果が示された。

4 考察

4-1 ねじ部の組織

ボルトの素材部およびねじ部を切断し、電子顕微鏡にて観察した。Fig. 12およびFig. 13に観察例を示す。

素材部は全体に渡って約30μm程度の結晶粒が存在していた。一方、ねじ部では、断面の中心付近は素材部と同様に結晶粒が確認されたが、表層部は結晶粒が確認されなかった。

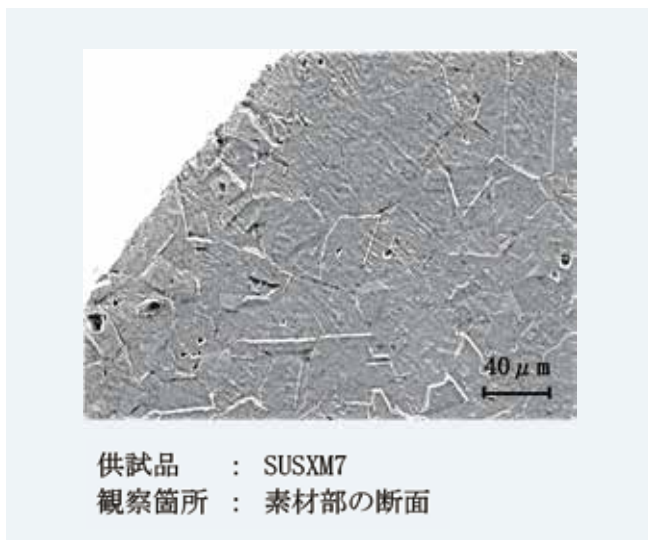


Fig. 12 素材部の電子顕微鏡写真

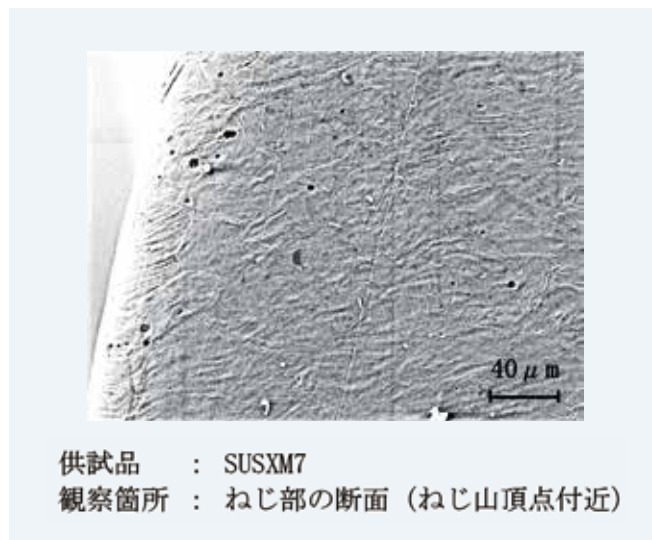


Fig. 13 ねじ部の電子顕微鏡写真

本試験において、ねじ部の耐SCC性が優れていた原因として、結晶粒が無く均一であることがSCC感受性に良い影響を与えていると考えられる。

4-2 室温でのボルト破断時間の予測

負荷荷重 $9.6\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $15.9\text{wt}\%$ の塩酸雰囲気下、室温(23°C)でのSUSXM7ボルトのSCC潜伏期間を $66 \pm 3^\circ\text{C}$ のデータから、アレニウスの式を用いて計算した。同様に、 $66 \pm 3^\circ\text{C}$ の亀裂進展速度データから、 23°C での亀裂進展速度を求め、破断までの時間を算出した。その結果、

潜伏期間=1070 hour (約44日)

破断時間=9800~14700 hour

(約1年1ヶ月~1年8ヶ月)

となった。

5 まとめ

塩酸露点腐食を想定した塩酸蒸気中におけるSUSXM7ボルトの応力腐食割れ感受性を評価し、SCC感受性に及ぼす塩酸濃度の影響、温度の影響、負荷荷重の影響の影響を調べた結果、以下のような知見を得た。

- a) 温度 45°C 、 56°C 、 66°C における潜伏期間、亀裂進展速度をプロットすると、温度に対しSCC感受性は顕著に増加する。得られた活性化エネルギーは $65.7\text{kJ}/\text{mol}$ であった。
- b) 塩酸水溶液濃度が中間濃度の $15.9\text{wt}\%$ の時に最もSCC感受性が高く、負荷荷重 $9.6\text{N}/\text{mm}^2$ 、室温にて1年1ヶ月から1年8ヶ月で破断する結果が得られた。
- c) SCCが発生しない限界応力値は $4.8\text{N}/\text{mm}^2$ よりも小さく、バルブ設計におけるボルトの締め付け力は、それ以下が望ましい。
- d) SUSXM7素材部には亀裂が発生したが、ねじ部はSCC感受性が明らかに低く亀裂が発生しなかった。

執筆者プロフィール



宮下 路生 Michio Miyashita

コンポーネント本部

ファインシステムBU 第1技術部

Engineering Department No. 1

Ultra High Purity Products Business Unit

Components Business Division

6 おわりに

今回、塩酸環境下におけるボルトのSCCについて調査し、素材部に対してねじ部はSCC感受性が低いことが分かった。

実際の薬液用バルブでは、本評価で得た知見を元にSCC感受性が低いボルトを使用し、かつ透過した塩酸ガスがボルトにまで届き難くなるような透過ガス対策が施してある。

また、高濃度塩酸でも長く安心して使うためには、ボルトが無いメタルレスバルブを使うことや、定期点検によりボルトの腐食の有無を確認することが有効である。

■ 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.5

発 行 2019年 1 月 1 日
発行責任者 国保 雅文
監修責任者 山口 祐介 伊藤 彰浩
発行事務局 加藤 崇 黄 利恵

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。

<https://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。



自動化で未来を拓く

CKD