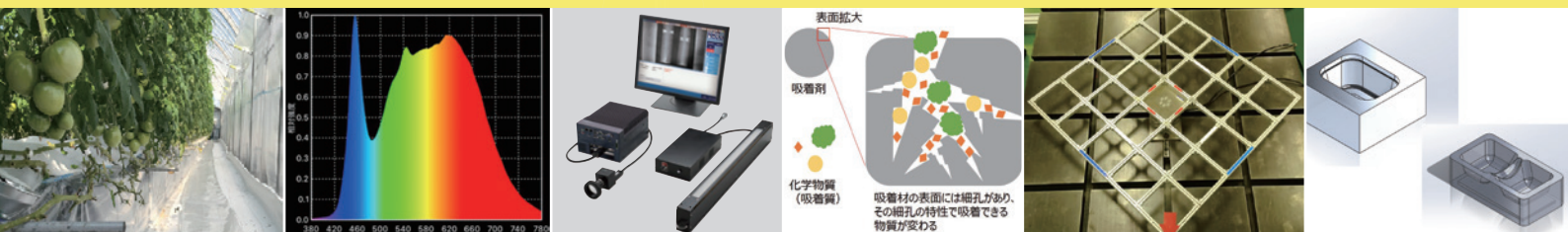


CKD技報

CKD TECHNICAL JOURNAL

Vol.8



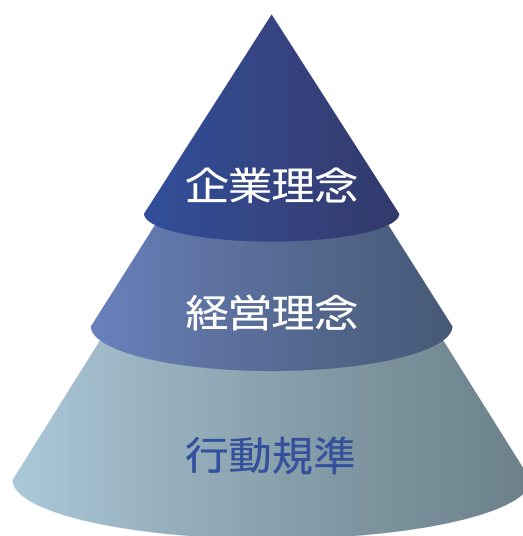
企業理念・経営理念・行動規準

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

ごあいさつ	1
-------------	---

巻内特集 テーマ「環境」

 成形ポケット決定までのアプローチ紹介	2
 農業分野機器における遠隔制御・監視技術の確立	6
 活性炭フィルタのシロキサン除去性能評価	10
 レタス栽培に於ける風によるチップバーン抑制効果	15
 透明体検査技術	21
 薬品包装機の位置合わせ技術	25
 基板のボンド検査技術	28
 アクチュエータの比例制御技術	32
 サーボゲイン自動調整システム“NiEAT”	37
 全体最適への生産性改善活動	42

Table of Contents

Greetings	1
-----------------	---

Special Report on "The Environment"

 Introduction of an approach to decide the specifications of a formed pocket	2
 Establishment of Remote Control and Monitoring Technology for Agricultural Equipment	6
 Evaluation on the Performance of Siloxane Removal in Activated Carbon Filters	10
 Tipburn-suppression by wind in lettuce cultivation	15
 Inspection technology for transparent object	21
 Alignment Technology of Pharmaceutical Blister Packaging Machine	25
 Technology for Glue Inspection	28
 Proportional Control Technology in Actuators	32
 Automatic Servo Gain Adjustment System, "NiEAT"	37
 Productivity Improvement Activities for Total Optimization	42

持続可能な社会の実現に向けて

“Towards the realization of a sustainable society”

林田 勝憲 Katsunori Hayashida

CKD株式会社

取締役常務執行役員

品質・安全・環境担当

CKD Corporation

Director and Managing Executive Officer

Management on Quality, Safety and Environment



世界的に新型コロナウイルスの感染が未だ収束しておらず、一時は沈静化したかに見えた欧米や日本においても変異株が猛威を振るっています。そして多くの製造業界では、アセアンを起点としたサプライチェーンの混乱が生じ、様々な製品の生産に多大な影響を及ぼしました。また、半導体をはじめとした電子部品の需要拡大による供給不足や、北米での記録的な寒波の影響等による樹脂材料の逼迫などもあり、様々な製品において需要と供給のバランスが崩れています。

このような状況の中、モノづくりの現場においても以前とは全く異なる考え方が必要となっており、従来行われてきた対面でのコミュニケーションではなくリモートでのコミュニケーションやデジタル化など、働き方も大きく変わってきています。また、企業には高品質や低価格の商品だけではなく、SDGsやカーボンニュートラルへの取り組みが必須となっており、例えば自動車業界においては急速な電動化への取り組みなどグローバルで地球環境への配慮が必要不可欠となっています。

今回お届けするCKD技報Vol.8の巻内特集は「環境」です。様々な業界で従来とは異なる取り組みが求められており、農業ビジネスへのテーマなどCKDとしても今までにないご提案をいたします。

CKDグループは持続可能な社会の実現に向けてお取引先様と共に歩んでまいります。

引き続き皆様からのご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

The COVID-19 pandemic has still not been brought under control worldwide, and mutant strains are now running rampant in Europe, the US and Japan, where infections seemed once to have subsided. Also, supply chain disruption has occurred in many manufacturing industries, originating in the ASEAN countries, and these have had significant impacts on the production of various products. In addition, partly because of supply shortages due to the expansion of demand for semiconductors and other electronic components, and the tightness of plastic materials due to the impact of the record-breaking cold wave in North America, the balance between the demand and supply of various products has broken down.

Under such circumstances, completely different ways of thinking have become necessary in the field of manufacturing, and we are also seeing major changes in the ways we do our jobs, including remote communication and digitalization instead of the face-to-face communication we engaged in previously. Further, in addition to high quality, low cost products, it is essential for companies to implement initiatives aimed at the SDGs and carbon neutrality. Consideration for the global environment is indispensable, such as efforts towards rapid electrification in the automobile industry, for example.

The special report in this CKD Technical Journal Vol. 8 is on “The Environment”. Different approaches to the past are required in various industries, and CKD will also make proposals we have never made before, such as themes for agricultural business.

The CKD Group will move forwards with its business partners towards the realization of a sustainable society.

We thank you for your continued support and welcome your guidance and suggestions.



成形ポケット決定までのアプローチ紹介

Introduction of an approach to decide the specifications of a formed pocket

山田 健朗 Tatsuro Yamada

当社はブリスタ包装機という機械を持ち合わせている。「ブリスタ包装機で食品を包み保存する」昔から変わらないシンプルなこのシステムに対して、近年ではCKDの新技術を付加し、お客様、包材メーカーと共に更なる食品の安全確保やロングライフ化に貢献している。現在容器側の材料にはプラスチックを使用しているが、世界は持続可能な社会の実現に向けて「脱プラ」へと大きくシフトしている。包装機能や生産性を落とさず、包装材料の使用量が最少になるような最適な成形ポケットの決定の仕方を紹介する。

We manufacture and sell blister packing machine. In recent years, the new technology of CKD has been added to the simple system, which has remained unchanged for a long time, namely blister packaging machine for packing and preserving food, and it has been contributing to the food safety and to the long life together with customers and packaging material manufacturers. Plastic is currently used as the material for container side, but the world is shifting significantly to "plastic free" to realize a sustainable society. This article will introduce the method for determining an optimum formed pocket with minimum use of packaging material, not sacrificing the packaging function and productivity.

1 はじめに

ブリスタ包装とは、容器フィルムを加熱し成形したポケットに内容物を入れ、蓋フィルムを熱シールなどで接着し封をする包装形態である。

本稿では、当社の蓄積された知見と技術により、ブリスタ包装を希望されるお客様に対して包装仕様確定まで多角的にサポートする内容を紹介する。

2 ブリスタ包装の目的とメリット

包装の最も一般的な目的は、内容物の保護である。ポケットに強度を持たせることで、輸送時に発生する外力による内容物の破損や変形を防ぐ。また食品については、酸化や菌類による腐食や変質から守るために、バリア性のある容器フィルムを使用したり、シールでの密閉性を上げることで内容物を保護する。

また内容物の保護だけでなく、輸送、整列や陳列しやすくすることも目的の一つである。包装対象品の形状を一様化することで、液体やジェルなどの不定形のもの、個体差のある食品などの内容物も扱いやすくなる。

成形ポケット形状の自由度が高いため、デザイン性を追求し、さらに透明フィルムを使用することでの内容物の可視化も可能。文字や情報を書き込むスペースの確保により、内容物の説明や価値も付加できる。

ブリスタ包装は、成形ポケット形状の自由度の高さ、容器フィルムの選択肢が広く、メーカー、運送業者、小売店、さらには消費者まで、幅広くメリットを享受できる包装形態である。

3 ブリスタ包装の導入検討

初めてブリスタ包装を検討する場合、どのような包装の形になるか見当がつかないケースが多い。

まずは包装したい内容物の形状や用途に合わせ、包装品の3Dモデル(Fig. 1)を作成し、包装品イメージの共有を図る。次にこの3Dモデルデータを使用し3Dプリンタで簡易型(Fig. 2)を作る。その簡易型を当社保有の真空成形機にセットし、容器フィルムを成形する。この工程により実物のポケットサンプル(Fig. 3)を数日以内で作ることができる。3Dモデルだけではなく、ポケットサンプルの実物を確認することで、細かな形状やデザインなど、製品化に向けてのより具体的な検討ができる。

またこのような取り組みを事前に行うことで、具体的な製品化やブリスタ包装機の導入検討時間が大幅に短縮できる。

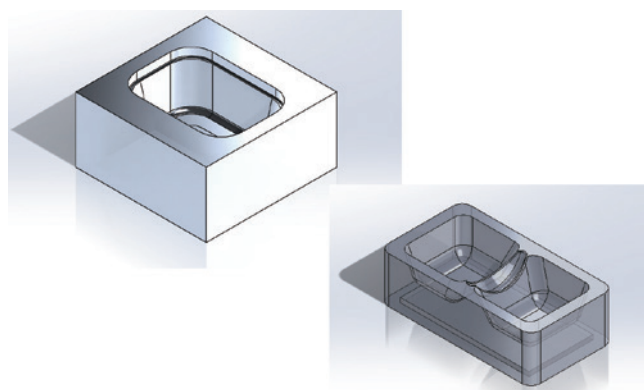


Fig. 1 ポケット3Dモデル



Fig. 2 簡易型



Fig. 3 成形されたポケットサンプル

4 成形ポケットの包材の選定

当社包装機のポケット成形方式はプラグアシスト圧空成形を採用している。プラグアシスト圧空成形とは、Fig.4に示すように加熱された容器フィルムを上型と下型で構成される成形型にて挟み、次に成形プラグで容器フィルムを途中まで成形し、最後にエアブローにて下型の形状に沿って成形する方式である。材料の特性、加熱温度、時間、プラグの動作量やタイミングなど様々なパラメータが存在し、条件を変えることで成形されるポケットの状態も変化する。

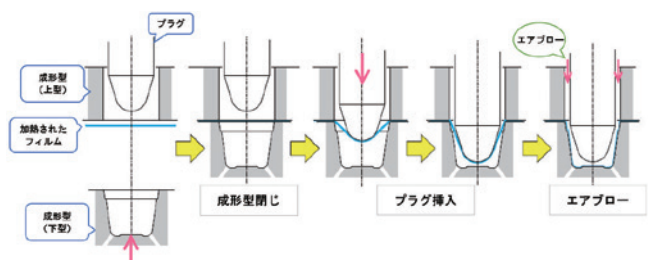


Fig. 4 プラグアシスト圧空成形概要

様々な容器フィルムに対して最適なポケット成形が事前検討及び作成できるよう、成形テスト機(Fig.5)を自社製作した。この成形テスト機はフィルムの加熱時間、成形時間など、細かい調整ができるようなシステムを搭載している。

容器フィルムを選定する際、この成形テスト機は非常に有効である。なぜなら、容器フィルムは機能や厚み、特性、メーカーが多種多様であり、成形性や成形後の厚みや強度などブリスタ包装に適しているかどうかを考慮しなければならない。当社技術員が成形テスト機にて様々な容器フィルムに対して最適な条件を探索し、お客様にサンプルを提示することで、容器フィルム選定の検討時間が大幅に短縮できる。

最近話題になっているバイオマスや不織布などの新しい材料にも対応しており、事前に成形検証をしっかりと行うことで、お客様と包材メーカーとの橋渡しの役割も果たしている。



Fig. 5 成形テスト機

5 より量産に近い形へ

容器フィルム及び成形ポケット形状が決定したら、次のステップに移行する。

当社では食品包装機CFF-360Eを保有している。CFF-360Eはサーボモータを多数搭載しており、パラメータ設定が操作パネルにて容易に可能であり、調整のしやすさと再現性の高さが特徴の最新機種である。この機械は展示してあるだけでなく、実際に稼働し様々なテストが可能である。実生産により近い環境でテストすることで、図面や成形テスト機だけでは洗い出せないリスクを発見することができる。



Fig. 6 食品包装機 CFF-360E

5-1 型を使用しての充填テスト

容器フィルム原反をチャック機構にて搬送、フィルムを加熱し、ポケットを作成する。その後内容物をポケット内に充填し、蓋フィルムでシール後、打抜きまで実施する。充填機は内容物によって仕様が異なるため、充填は人手にて実施する。

当社保有型には様々なサイズがあり、内容物の量や、包装後の形によって選択が可能である。もし実製品と同形状でのテストを要望される場合は、各型を製作し対応することもできる。実際の製品に近い、もしくは同じサンプルができるため、お客様の色々な事前評価に貢献する。

5-2 蓋フィルムのシール性

蓋フィルムと成形されたポケットを熱圧着にてシールする。内容物の保護にはシールが必要であり、内容物によっては密閉性も求められる。シール性、密閉性とは開封性と背反するが、そのどちらも成り立つような調整をしサンプル作成を行う。シールされたサンプルについて開封しやすさや密閉性を確かめることができる。

また、開封時の力の測定も行っている。開封しやすさという感覚的な評価では良否の判断がしづらいため、当社試験機により、開封時の力を数値・グラフ化が可能である(Fig.7)。感覚と数値の両面から確認でき、仕様確定のより確かな根拠となる。

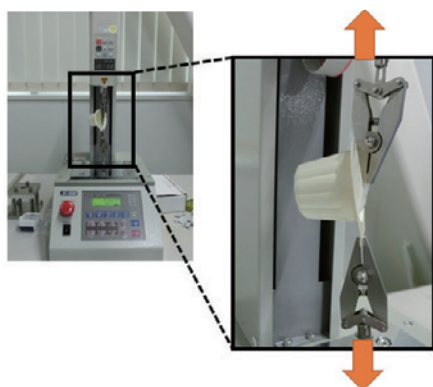


Fig. 7 剥離試験の様子

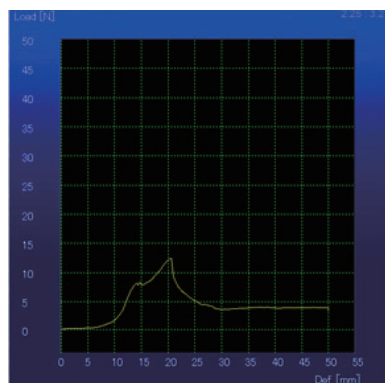


Fig. 8 剥離試験結果例(グラフ)

5-3 生産能力の確認

容器フィルムの種類や厚みなどの要因により、成形にかかる時間は変動する。厚みがあるほどフィルムに与える熱量が増えるため、成形にかかる時間は増える場合もある。使用する容器フィルムが決まっている場合、CFF-360Eを用いて調整を行うことで、実生産と同じ条件まで近づけることができる。機械の生産能力を予め確認することにより、導入後の量産計画をより確かなものにする。

5-4 窒素置換

食品の中には、酸化を嫌うものも多数存在する。当社では、内容物の酸化防止を目的とした窒素ガス精製ユニットもラインアップしている(Fig.9)。フィルム特性の事前確認に加え、内容物の保存性を高めるテストも実施できる。この装置はユニットとなっているため、当社包装機に限らず様々な機械に搭載可能で、多数実績もありさらに今後も導入事例が増えていくと見込んでいる。

このような食品のロングライフを実現する技術力を実感することができる。

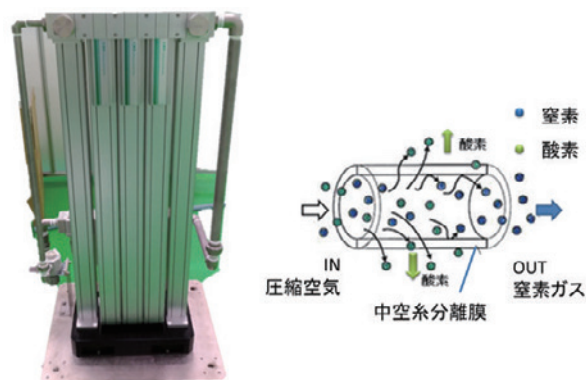


Fig. 9 窒素ガス精製ユニット

6 成形ポケットに更なる可能性

ポケットの形状を工夫することで、強度、デザイン以外に特別な機能を持たせることも可能である。例えばポケット自体に特殊な形状を施すことで、内容物を保持する機能を付加することができる。内容物を保持する役割と取り出しやすさの両面においてバランスが必要であり、試作成型を0.1mm違いで作ることにより、お客様の細やかな要求に応えた実績もある。

またワンハンドで開封できるVパック(Fig.10)という特殊な包装形態にも対応している(CKD技報Vol.6にて詳細を記載)。ポケットの形状を工夫することで、開封性を今までとは全く違うものにすることもできる。

このような今までにない付加価値をブリスタ包装に持たせるという新しい試みも、今まで記述したステップにて実現している。



Fig. 10 Vバック開封の様子

7 環境への配慮

7-1 包装材料厚みの最少化

容器フィルムの厚みを薄くするほど、成形ポケットの強度は下がる、逆に厚くするほど強度は増すが、使用する資材の量は増えることになる。

本稿で述べてきたように事前のシミュレーションやテストにより、包装機能を落とさず、包装材料の厚みが最少になるような最適な成形ポケットを決めることができる。

7-2 スクラップ量削減

容器フィルム原反からいかに効率よく成形ポケットを作り出せるかを検討している。複雑な形状のポケットを単調に並べるのと交互や千鳥のように配置するのでは、製品にならないスクラップ部分の廃棄量が大きく異なる。

しかし成形ポケットを密に配置しすぎると、打抜工程にて使用する打抜型の剛性が不足してしまう。よって事前に打抜型の強度解析シミュレーションを行い、検討した成形ポケットの配置が成り立つかどうか、打抜型の剛性を確認している(Fig.11)。

この確認結果も踏まえ、最適なポケット配置を決定し、スクラップ廃棄量が最少になるような提案を行うことができる(Fig.12)。

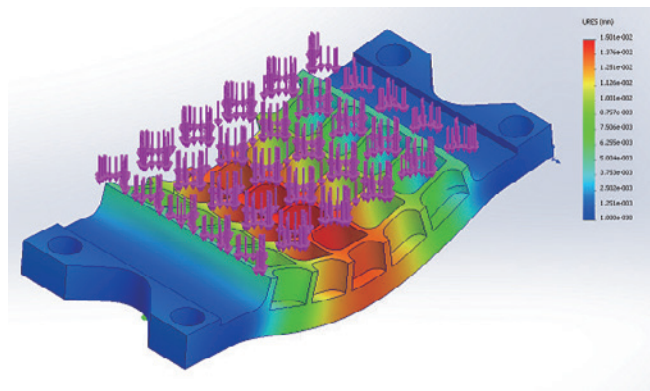


Fig. 11 打抜型強度解析の様子

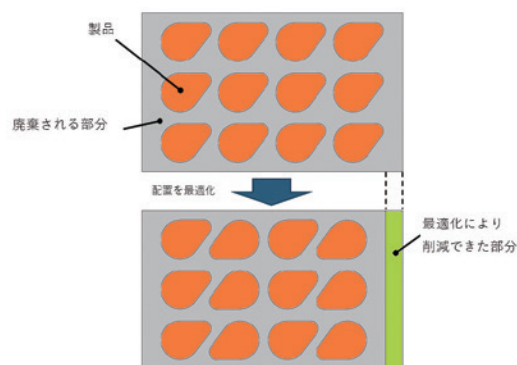


Fig. 12 成形ポケット配置最適化 (イメージ)

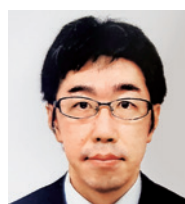
プラスチックである包装材料の使用量を最少にすることで、環境への配慮、ランニングコストの削減に大きく貢献している。

8 おわりに

本稿にて記載した内容に具体的な数値を明記していないのは都度お客様の要望に沿った提案を行っているためであり、営業から技術、製造に至るまで一体となり細やかな対応を行っている。

当社と共に包装のイメージを具現化し、密着したサポートと製品サンプルを文字通り肌で感じていただきたい。

執筆者プロフィール



山田 健朗 Tatsuro Yamada
自動機械事業本部
Automatic Machinery Business Division



農業分野機器における遠隔制御・監視技術の確立

Establishment of Remote Control and Monitoring Technology for Agricultural Equipment

小久保 純一 Junichi Kokubo

近年、日本の農業分野では、スマート農業化と共に環境政策及びSDGsやバイオ技術を加えた新たな取り組みが推進されたことで、様々な課題が見えている。その課題を解決する技術として、当社のスマート農業向け制御機器では、遠隔制御における安心・安全技術、及び制御実績の見える化技術を確立した。その技術は電磁弁などの機器制御ノウハウに、IoT・クラウドのテクノロジーを組み合わせ、安心感のある確実な遠隔制御を行うもので、農作業の労力削減につながると考えている。また、現場の制御実績を遠隔地からも見える化すれば、農作物の品質向上や、水・肥料の省資源化に役立つとも考えられる。本稿では、これらの内容について紹介する。

In recent years, the agricultural field in Japan has been facing various challenges due to the promotion of environmental policy and new initiatives that include SDGs and biotechnology, as well as smart agriculture. To address these issues, CKD has established a safe and secure technology for remote control that allows visualization of control results in our control devices for smart agriculture. This technology combines the know-how of controlling devices such as solenoid valves with IoT and cloud technology to provide secure and reliable remote control, which we believe will lead to a reduction in labor required for agricultural work. In addition, if the control results on-site can be visualized from remote locations, it could help improve the quality of crops and save water and fertilizer. This paper presents an overview of this technology.

1 はじめに

現在、日本の農業分野では人口減少・高齢化による労働力不足や作業負担の解決策としてスマート農業化が進められている。さらに、農林水産省の農林水産研究イノベーション戦略2020では、スマート農業に、環境政策及びSDGsやバイオ技術を加えたイノベーションの取り組みを策定している。

環境政策としては、温室効果ガスの削減や、灌漑農業の普及による急速な水不足の進行、それに伴う農地の悪化を防ぐ取り組みが求められている。SDGsの観点でも、食料の持続的確保のため、水や肥料の環境保全、温暖化による気候変動や自然災害に対応できるシステム構築などの取り組みを課題としている。

当社は、これまでも農業向け灌水電磁弁を製造しているが、2018年よりスマート農業用の制御機能を備える機器を開発している(Fig. 1)。スマート農業における自動化で、労働力不足の解消・負荷軽減、データ活用による作物の品質・経営効率向上に加え、省資源や環境政策に適応する製品を目指している。



Fig. 1 スマート農業機器の実証実験の様子

2 実現における課題

スマート農業では、大規模農場や遠方の農場を管理する際の労力低減・効率向上のため、灌水電磁弁やビニールハウスの窓・カーテンの巻き上げ機、換気扇といった機器の遠隔制御が必須となる。遠隔制御の通信方法は、農場の立地を考慮し移動体通信(携帯電話回線)が主流であるが、有線通信や近距離無線と比べると不安定な通信方法であり、確実な遠隔制御を行うための安心・安全な通信品質が求められる。

また遠隔制御により得られる機器やセンサーのデータは、そのままでは分析が困難な形のログデータとして蓄積される。データを農業経営者や作業者が分析に使用したり、他のスマート農業システムと連携したりと有意義に活用できるように、実用的な形で見える化することもスマート農業における目標となる。

以上のように、スマート農業向け機器の開発にあたり次の2点の技術を確立することが課題となった。

- ・遠隔制御における安心・安全技術
- ・制御実績の見える化技術

3 技術の確立

当社でノウハウのある電磁弁など機器制御の知識に、新しい取り組みであるIoT・クラウドのテクノロジーを組み合わせ、課題解決に挑戦した(Fig.2)。

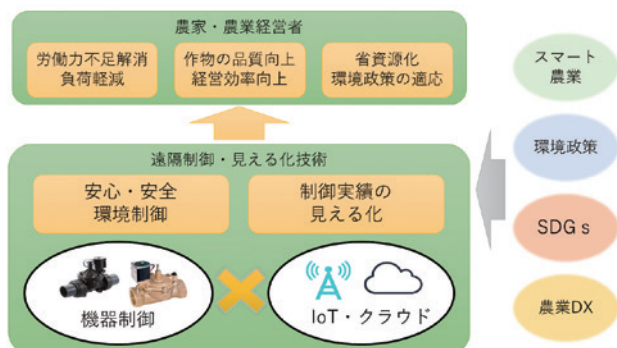


Fig. 2 技術コンセプト

3-1 遠隔制御における安心・安全技術

遠隔制御に関するシステム構成図をFig. 3に示す。この中で、①IoTデバイス通信と②API連携について、技術概要と課題への対応内容を解説する。

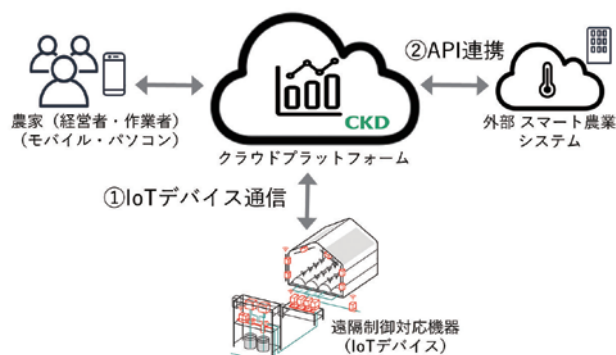


Fig. 3 遠隔制御システム構成図

①IoTデバイス通信

農家のモバイル端末や外部のスマート農業システムから、当社のクラウドプラットフォーム(以降、クラウドと記す)を通じて、農場にあるIoTデバイスである遠隔制御対応機器に指示を送る。それにより電磁弁を開け灌水を行うなどの遠隔制御を行う。

クラウド・IoTデバイス間の通信方式には様々な選択肢があるが、移動体通信の規格としてLTE CAT.1、通信プロトコルとしてLightWeightM2M(以降、LwM2Mと記す)を採用した。LTE CAT.1は、LTE規格の中で電力消費が少なくIoTデバイス向けである。LTE規格は日本国内で通信可能なサービスエリアがすでに整備されているため、様々な農場をカバーできる点が有利である。LwM2Mは、IoTデバイス向けのデバイス管理・

データ転送用通信プロトコルで、特に通信データ量が小さく、限られた通信帯域で効率良く通信できる。クラウドにはLwM2Mのライフサイクル管理を構築し、デバイスの接続・切断・状態変化・ファーム更新などのイベントに応じて、デバイスの初期化など必要な制御を行うことができる。

<課題への対応>

遠隔制御における課題として、農家が遠隔地から操作を行う際に現場の状態が直接見えないことによる不安感を解消する必要がある。対策として、機器から農家へのフィードバックを工夫した。例えば、灌水のため電磁弁を開く操作をした場合、接続された流量センサーの実測値を根拠として実際に水が流れていることを表示する。このように、遠隔制御に対して安心できるフィードバックを応答する方針とした(Fig. 4)。

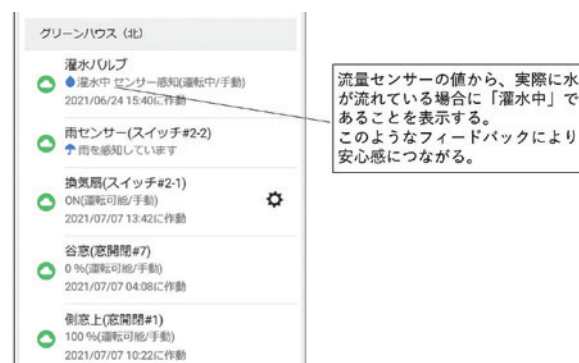


Fig. 4 農家へのフィードバック画面

次に、遠隔制御の安心感を高めるクラウドの施策として、通信の再試行方式と負荷軽減方式を確立した。移動体通信の欠点である不安定さを補うため、作動要求に関する通信失敗時の再試行が必須となる。これについては独自にLwM2Mプロトコルに最適化した再試行判断ロジックと、指数関数的後退手法(Exponential Backoff)による再試行方式(Fig. 5)を用いることにより再試行の効率を高めた。その結果、遠隔制御の可用性は99.11%から99.99%に向上した。ここでいう可用性とは、通信処理数に対する成功率を表す。試験環境上では1ヶ月あたり約200万回の通信処理に対して、約3,000回分の通信失敗を救っている。

また、リアルタイムなデータ取得要求ではクラウド・デバイス間通信速度や機器内マイコンの処理性能がネックになることがある。これに対しては、クラウド側で一時的に記憶したデータを再利用し、デバイス側の負荷を肩代わりする負荷軽減方式(キャッシュによるオフロード)にすることで、データ取得要求の応答時間を25%削減した。独自実装により高価なサービスは利用せず、クラウド設備コストは最小限に抑えている。

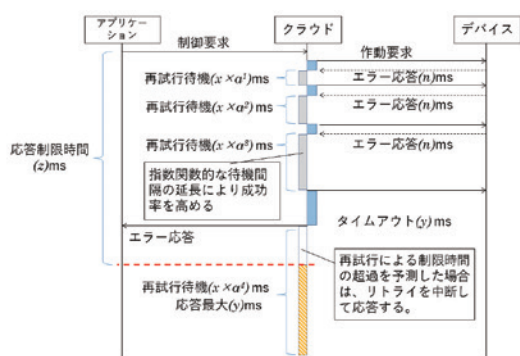


Fig. 5 指数関数的後退手法による再試行方式

②API連携

API(Application Programming Interface)とは、ソフトウェアやシステム間で制御指示などをやりとりするインターフェースである。当社のクラウドでは、クラウドシステム間のAPIを用意しており、外部のスマート農業システムからの制御や情報連携ができる。他社の温湿度などの環境モニタリングデータに応じて当社の制御機器を作動させ環境制御を行うといったサービスが実現でき、双方のサービス・製品の価値を高めることができる。

＜課題への対応＞

このAPIでは、主にセキュリティ観点での安全性と可用性を高める施策として、標準的なHTTP REST APIプロトコルと、RFC6749 OAuth2.0に準拠した認証認可方式を採用し、追加で機器別のアクセス制御を用意した。これにより、セキュリティを確保しながら、同時に複数のスマート農業システム・企業との連携が可能になった。

3-2 制御実績の見える化技術

見える化に関する機能として、運転実績、メンテナンス、異常通知といった機能がある。これらについて、技術概要と課題への対応を解説する。

・運転実績…農家が遠隔で自動運転実績の参照やダウンロードができる。例えば灌水電磁弁の場合、作動日時・条件、灌水時間・灌水量の履歴を参照 (Fig. 6) でき、これを農作業記録や分析に使用できる。

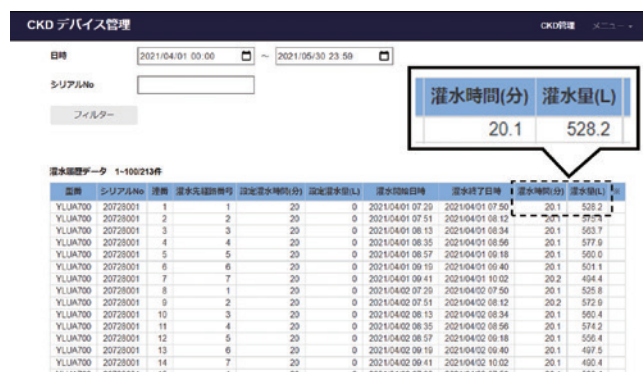


Fig. 6 運転実績の参照画面

- ・メンテナンス…当社サービス業務からは、機器に含む消耗部品の使用度合いや、機器の稼働ログデータとして、例えば電磁弁作動回数の推移グラフを参照(Fig. 7)することができる。これにより遠隔サポートや、予防保全、消耗品交換等のサービスにつなげることができる。

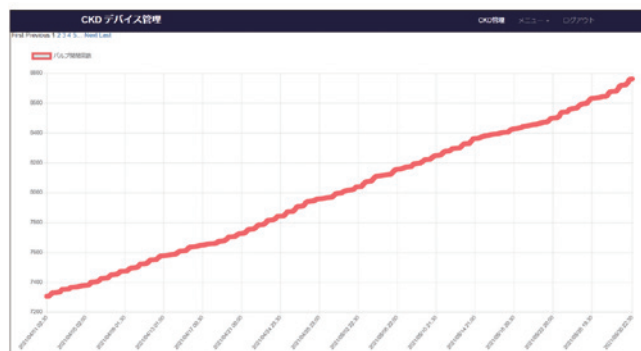


Fig. 7 稼働ログデータ・推移グラフの参照画面

・異常通知…農家、当社サービス業務ともに機器が異常を検知した際にEメールの通知を受け取ることができる。通知の内容には、機器内の部品の性能劣化や配管・周辺環境の異常など、要因の仕分けが含まれるため、復旧作業や初動調査を効率化する。

＜課題への対応＞

機器の状態変化を農家やサービス担当者へ通知するため、機器からクラウドに送信される大量のリアルタイムデータを、途切れることなく仕分けし、通知メールを配信する仕組みや外部システムにデータ連携する仕組みが必要となる。ここで重視する点はデータの安全性であり、高負荷や障害時でもデータが消失しない性能をイベント駆動という方式の組み合わせにより実現した(Fig. 8)。これにより、異常通知などの重要な状態変化も確実に連携することができる。

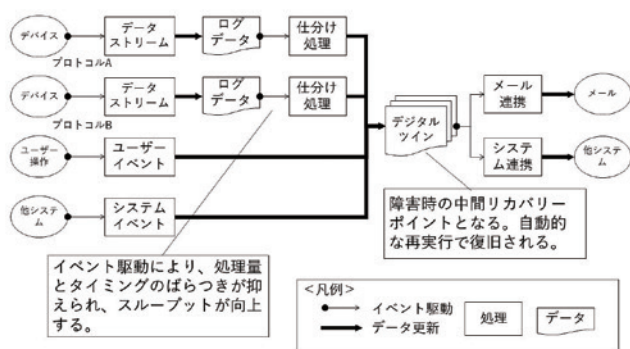


Fig. 8 イベント駆動の組み合わせによるデータ連携

運転実績やメンテナンス情報を収集し、クラウド内にデータ蓄積する仕組みは、データレイクという方式で構築した。これは、データを自由構造で保存することで、デバイスから送信される様々なプロトコル、フォーマットのデータを必要に応じて変換・整形・再保存し、柔軟にデータの見える化を行う方式である。この方式にすることで、新たな分析機能の追加、スケーリング（規模の拡張）、障害復旧などに対応しやすくなり、安価なクラウドストレージが活用できるため、低コストでクラウドが運用できる。

4 成果と考察

実証実験の中で農家や研究機関の方に様々な意見を頂いた。それらの意見を踏まえ、遠隔制御と制御実績の見える化について成果と考察を記す。

4-1 遠隔制御について

遠隔制御については、通信などの問題で農作物に影響が出ることへの心配が大きく、異常があった場合にメール通知やスマートフォンで状態が分かる点は重要という意見を頂いた。成果事例として、農家が異なる作業に従事しながら、スマートフォンでビニールハウスの窓を開閉することで労働力を削減し、豪雨災害の際には、大雨の中、遠隔から現地の窓閉めで対処し、作物の水濡れ被害を防ぐことができた。また、気候変化に合わせて自動運転の追加や停止を遠隔設定することで、水のやり過ぎや不足を解消し、省資源化と作物の品質向上の両方を実現できた。

4-2 制御実績の見える化について

制御実績の見える化により、灌水の自動運転実績を参照しファイル保存できることは、農家から非常に高い評価を頂いた。灌水量などの数値データは育成状況と合わせて記録に残し改善に生かすことが大事だが、これまでは、予定通り動いたものと仮定して、推測の灌水量を記録するしかなかった。それに対して、1回ごとの実際の灌水量が分かる点がデータとして有用とい

うことが分かった。また、実際の灌水量に基づいて灌水量や液肥量の設定を調整することができ、農作物に使用する水や肥料の省資源化にもつなげることができた。

4-3 成果のまとめ

遠隔制御と制御実績の見える化の成果から、以下が有用な点として挙げられる。

- ・スマートフォンで状態が分かり、操作ができる
- ・運転実績が参照でき、ファイル保存ができる
- ・実測された灌水量が分かり、分析に役立つ
- ・実績に基づき遠隔で設定を調整できる

これらの実現により、農家の方々に労力削減・品質向上・省資源化といった価値の提供が可能になった。

5 おわりに

スマート農業の将来としては、蓄積したノウハウやAIによる完全自動運転がある。当社は、それらにも適用できる技術を構築し、効率化を進め、農業の自動化と環境負荷低減に貢献していく。

執筆者プロフィール



小久保 純一 Junichi Kokubo
機器事業本部
Components Business Division



活性炭フィルタのシロキサン除去性能評価

Evaluation on the Performance of Siloxane Removal in Activated Carbon Filters

徳永 麻里 Mari Tokunaga

余語 敏文 Toshifumi Yogo

近藤 佳織 Kaori Kondoh

近年、各種業界において、製造工程や製造機器のクリーン度アップが求められている。当社ではお客様のニーズに応えるべく、半導体製造工程向け薬液・薬ガスバルブ、食品製造工程向け抗菌・除菌フィルタなど、様々なクリーン機器を製造している。

これらの機器のクリーン度を低下させる原因となる汚染物質には種々あるが、有機汚染物質のひとつにシロキサンがある。シロキサンにより機器に不具合が発生すると、本来の機器寿命を大きく損ない、短期故障につながる。機器をより良い環境で使用することで、故障を防ぐことができ、機器交換に伴うライン停止工数、費用を減らすことができる。さらに、機器の故障を減らすことで、産業廃棄物削減となり、環境保全にもつながる。

本稿では活性炭フィルタを利用した、圧縮エア中のシロキサン除去性能評価について紹介する。

In recent years, there has been a demand in various industries to improve the cleanliness of manufacturing processes and manufacturing equipment. To meet the needs of the customers, CKD manufactures various clean equipment such as chemical liquid and gas valves for semiconductor manufacturing processes and antibacterial and sterilization filters for food manufacturing processes. There are a variety of pollutants that can cause the cleanliness of such equipment to deteriorate, and one of the organic pollutants is siloxane. When a piece of equipment malfunctions due to siloxane, the original service life of the equipment is greatly impaired, which leads to a breakdown in a short period of time. However, by using the equipment in a better environment, breakdowns can be prevented, and the man-hours and costs required to stop the line for equipment replacement can be reduced. Furthermore, reducing equipment breakdowns reduces industrial waste and thereby leads to environmental protection. This paper presents an evaluation on the performance of activated carbon filters in removing siloxane from compressed air.

1 はじめに

シロキサンは、車用ワックスや化粧品といった生活用品から、ゴム・プラスチック用離型剤、消泡剤といった産業用製品にも含まれている、ごくありふれた化学物質である。またシリコンオイル、シリコンゴム、コーキング剤などは、シロキサンそのものが主成分であり、様々な用途に使用されている。

しかし、生産工程や製造機器においては、シロキサンはときに不具合を起こすため、シロキサンを除去することが望ましい。本稿ではシロキサンの特性、不具合例、及び活性炭フィルタを利用した圧縮エア中のシロキサン除去性能評価について紹介する。

2 シロキサンについて

2-1 シロキサンとは

シロキサンとは、ケイ素(Si)と酸素(O)からなるシロキサン結合(Si-O-Si)を主骨格とし、ケイ素に炭素(C)と水素(H)からなる炭化水素基が結合している化合物の総称である。シロキサン結合自体は無機化合物の結合であるが、炭化水素基を持つため、一般的に有機化合物に分類される。

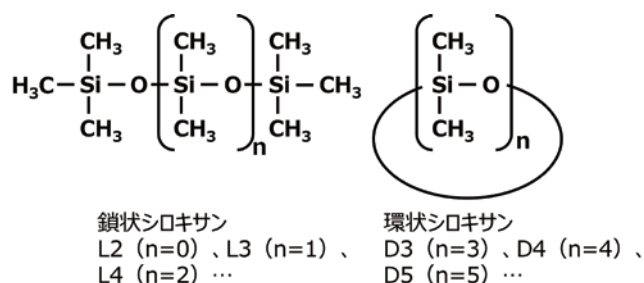


Fig. 1 シロキサンの構造式

Fig. 1に示すようにシロキサンには鎖状、環状があり、一般的に、鎖状シロキサンはL2(ヘキサメチルジシロキサン)、L3(オクタメチルトリシロキサン) ...とL*で表される。また、環状シロキサンはD3(ヘキサメチルシクロトリシロキサン)、D4(オクタメチルシクロテトラシロキサン) ...とD*で表される。鎖状、環状いずれも、低分子のシロキサンは沸点が低く揮発しやすいため、汚染物質として問題になりやすい。

2-2 シロキサンによる不具合

シロキサンは前述の通り一般的にどこにでも使われている化学物質である。それゆえ、環境中に含まれるシロキサンによって機器が不具合を起こし、当社でも

問題になることがある。不具合例の一部を次に示す。

2-2-1 不具合例1

シロキサンのガラス化(無機化)により不具合が発生することがある。シロキサンのガラス化発生メカニズムはFig. 2のように考えられている。

- (1)シロキサンが機器の一部分に付着する。
- (2)シロキサン付着部に熱や物理的なエネルギーが加わる。
- (3)シロキサンが化学変化し、二酸化ケイ素(SiO_2)が形成する。

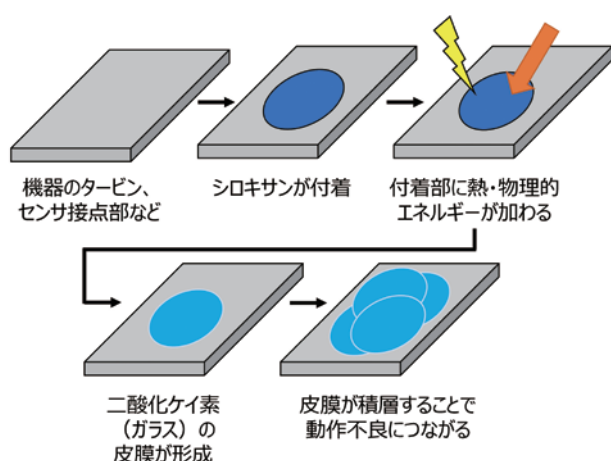


Fig. 2 シロキサンのガラス化

二酸化ケイ素はいわゆるガラスである。センサなどにおいては、シロキサンから生成した二酸化ケイ素が電子接点上に蓄積することで、導通がなくなり、接点不良が起こることが知られている。また、タービンやボイラ配管に蓄積することで、機器の動作不良につながることもある。

なお、この場合の不具合解析において、当社ではSEM-EDS(走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分光分析)で元素分析を行っている。SEM-EDSは試料に電子線を照射し、発生した特性X線により元素分析を行うものである。分析結果から、ケイ素(Si)、酸素(O)の検出により二酸化ケイ素の接点付着有無を確認する。Fig.3はセンサ接点上付着物の分析結果例である。

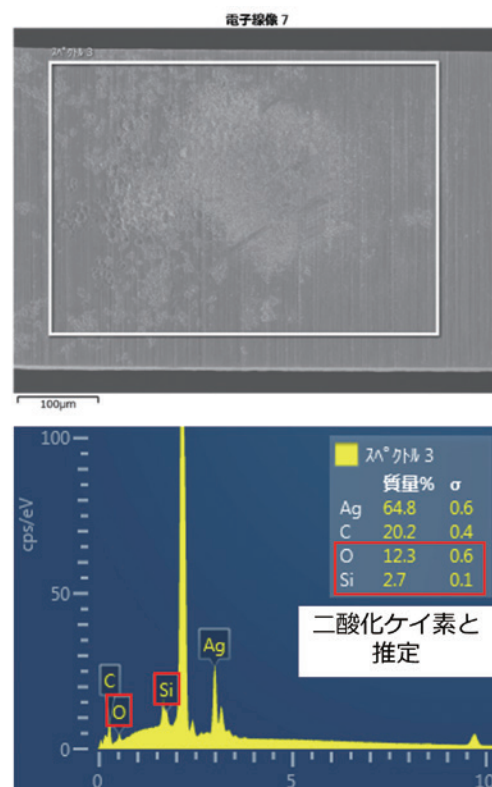


Fig. 3 センサ接点上付着物のSEM-EDS 分析結果

2-2-2 不具合例2

シロキサンは前述のように、生活用品、産業用製品、ゴム材料やコーキング剤をはじめとし、各種部材中に存在するため、クリーンルーム環境にも存在する。半導体製造工程において、製造環境中や機器にシロキサンが存在していると、シリコンウェーハに吸着し、汚染する。これにより、デバイス特性に影響を及ぼし、製造上のトラブルにつながる可能性がある。

3 シロキサン「除去性能」評価について

シロキサンを除去する方法はいくつかあり、そのひとつに活性炭などの吸着剤を利用したケミカルフィルタがある。ケミカルフィルタはクリーンルームなどの空調設備や、分析装置用のガス精製において使用されている。製造工程に使用される圧縮エアラインにシロキサン除去フィルタを組み込むことができれば、2-2項のような不具合を防ぐことができ、機器交換に伴うライン停止工数、費用を減らすことができる。さらに、故障した機器、つまり産業廃棄物を減らすことで、環境保全にもつながるといったメリットがある。

しかし圧縮エアラインでは、におい取りとしての活性炭フィルタの実績は多くあるものの、シロキサン除去用としての使用実績は少ない。また活性炭メーカーでも、シロキサン吸着についての知見が乏しい上、特に圧縮エアの加圧大流量下における評価データは少ない。

そこで今回、インラインでの活性炭によるシロキサ

ン除去性能について、当社での評価方法の確立、及び吸着剤の選定を行った。

4 活性炭について

4-1 吸着原理

活性炭などの吸着剤の表面には細孔という微細な穴が多数存在している。この細孔に、シロキサンや水分、におい成分など種々の化学物質(吸着質)が物理吸着(ファンデルワールス力)により吸着する。イメージ図をFig. 4に示す。

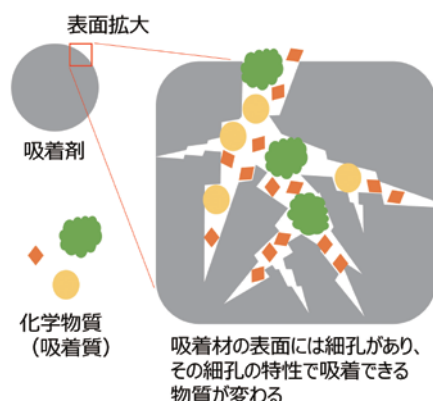


Fig. 4 吸着剤細孔による吸着イメージ

吸着できる成分は、吸着剤に存在する細孔の特性によって決まる。IUPAC(国際純正・応用化学連合)では、細孔のサイズによって直径2nm以下をミクロ孔、直径2~50nmをメソ孔、直径50nm以上をマクロ孔と定義している。また、細孔はアリの巣のように奥行きを持っており、それにより比表面積が大きくなる。

吸着剤はその細孔のサイズ、比表面積、細孔容積、空隙(活性炭粒同士のスキマ)などにより、どんな化学物質をどれだけ吸着しやすいか、といった特性が異なる。

4-2 吸着剤の選定

吸着剤には、タイトルにある活性炭のほか、アルミナ、ゼオライトなどの種類がある。事前試験として、ゼオライトでもシロキサンが吸着除去できることを確認している。しかし、ゼオライトは本来、水分の吸着に特化した吸着剤のため、水分とシロキサンの除去が競合する。つまり、水分が多く含まれる圧縮エアでは水分を優先的に吸着してしまい、シロキサンの吸着性能が落ちる可能性があると考え、活性炭による捕集を検討した。

4-3 活性炭種の選定

4-1項にて示したように、活性炭は細孔のサイズ、容積、比表面積、空隙などにより化学物質の吸着特性が異なる。よって吸着対象成分(吸着質)としてシロキサンD4・D5に着目し、その分子径からD4・D5の吸着

について細孔特性が適していると推定した3種の活性炭種を選定し、評価に供した。選定した活性炭の細孔の違いについては、Table 1に示す。

Table 1 活性炭の特性比較表

種類	活性炭の特性		
	比表面積※	細孔容積※	空隙
活性炭A	0.71~0.99	0.45~0.61	大
活性炭B	1	1	小
活性炭C	1.08	1.50	小

※値は活性炭Bを基準1として算出したもの。

5 評価方法

5-1 試験回路

試験回路の概要をFig. 5に示す。圧縮エア中にシロキサンD5が発生するような独自の装置(Fig. 5中のシロキサン発生装置)を作製し、試験回路に組み込んだ。また、活性炭フィルタへの大流量を確保しつつシロキサン量を定量するため、活性炭フィルタ下流を分岐したサンプリング回路を独自に構築した。

試験の流れは(1)~(4)の通り、活性炭フィルタで捕集できたシロキサン量が多いほど、シロキサン捕集管のシロキサン量が少なくなる、というものである。

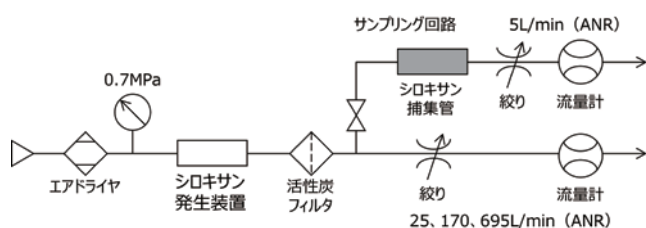


Fig. 5 試験回路

- (1) 回路にシロキサンD5を発生させる装置を組み込み、シロキサンD5含有エアを生成する。
- (2) 下流に設置した活性炭A~Cを組み込んだ活性炭フィルタでシロキサンを捕集する。
- (3) 活性炭で除去しきれなかったシロキサンが下流に流れる。下流に流れたシロキサンは、サンプリング回路に別途活性炭を組み込んだシロキサン捕集管で捕集する。
- (4) シロキサン捕集管に捕集されたシロキサン量を、分析により評価する。

5-2 分析

分析にはGCMS(ガスクロマトグラフ-質量分析計)を使用した。GCMSとはガス化させた試料中の有機化合物の定性・定量を行う分析装置である。エア中のシ

ロキサン評価では、エア中の化学物質を捕集・濃縮するための吸着管であるTENAX管などを使用した加熱脱離GCMSによる分析が一般的である。しかし、TENAX管を使用すると、ほぼ大気圧下でエアを捕集する必要があり、エア加圧下での評価が困難となる。

本試験では、加圧下で活性炭に吸着したシロキサンを評価したく、溶媒抽出及びGCMSによる分析を実施した。シロキサンを吸着した活性炭の一部を、適切な溶媒で一定時間抽出し、その抽出液をGCMSにて分析している。Fig. 6に溶媒抽出の流れを示す。また、シロキサンD5のGCMS分析例について、Fig. 7に活性炭フィルタなしの試験回路、Fig. 8に活性炭フィルタありの試験回路での結果の一例を示す。

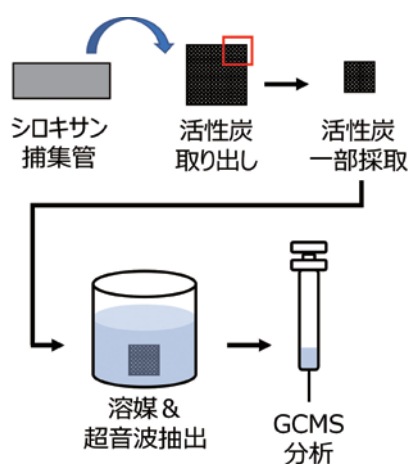


Fig. 6 溶媒抽出の流れ

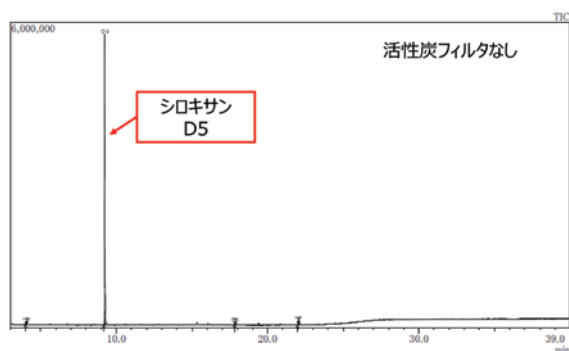


Fig. 7 活性炭フィルタなし試験回路でのシロキサンD5 分析例

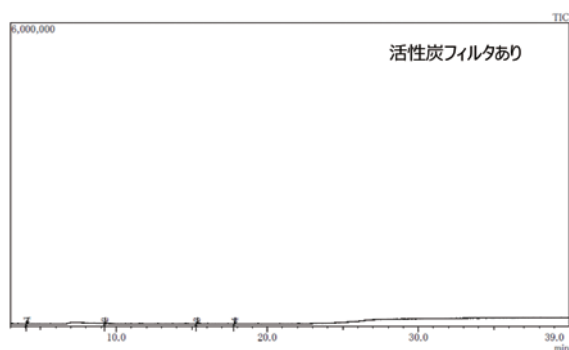


Fig. 8 活性炭フィルタあり試験回路でのシロキサンD5 分析例

6 評価結果

6-1 加圧下での流量に対するシロキサン除去率

圧力0.7MPa下、エア流量を30～700L/minでのシロキサン除去率を測定した結果をTable 2に示す。活性炭Aは30L/minでシロキサン除去率約13%となり、加圧下でのシロキサン捕集能は低い。活性炭B・Cは700L/minまでシロキサン除去率98%以上と安定して高く、加圧下でもシロキサンが捕集できた。活性炭B・Cの特長が、加圧大流量でも高いシロキサン除去率を有する結果に影響したと考える。

Table 2 各活性炭のシロキサン除去率

	エア流量 (L/min)		
種類	30	175	700
活性炭A	12.8%	—	—
活性炭B	98.8%	98.2%	99.2%
活性炭C	—	99.9%	99.2%

6-2 活性炭のシロキサン除去率の推移

活性炭B・Cについて、圧力0.7MPa下、エア流量を175L/minでのシロキサン除去率の推移を測定した結果をFig. 9に示す。

シロキサン除去率において、96%以上の除去率を保持している時間を比較すると、活性炭Cは活性炭Bの約2倍、長寿命という結果となった。またシロキサン除去量においても、活性炭Cは活性炭Bと比べ、約2倍となった。

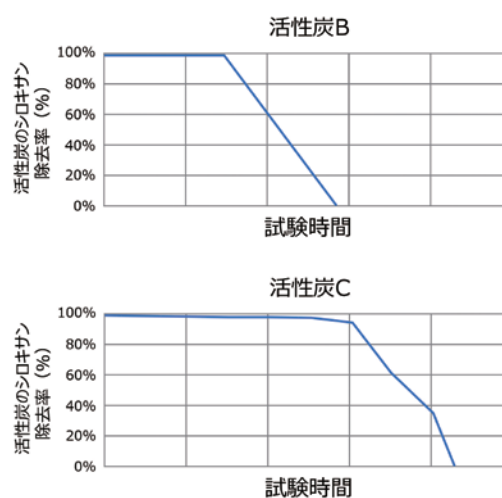


Fig. 9 試験時間とシロキサン除去率の推移

7 おわりに

シロキサン発生工程から捕集工程、分析工程までの

評価方法を確立した。また、活性炭A～Cのシロキサン除去性能を評価した結果、活性炭Cが加圧下でのシロキサン除去性能がもっとも高いことがわかった (Table 3)。

Table 3 活性炭の評価結果

種類	評価結果		
	エア流量 (L/min)	シロキサン 吸着量※	シロキサン 除去性能
活性炭A	<30	加圧下では 吸着不可	×
活性炭B	～700	1	△
活性炭C	～700	2.2	○

※値は活性炭Bを基準1として算出したもの。

今後、本稿にて紹介した基礎的な評価方法及び結果を基に、シロキサン吸着に影響する要因、吸着メカニズムと吸着剤の物性をさらに検証して、シロキサンの除去技術を高めていく。そして、シロキサンによる機器の不具合、故障の防止につとめていく所存である。

執筆者プロフィール



徳永 麻里 Mari Tokunaga
機器事業本部
Components Business Division



余語 敏文 Toshifumi Yogo
機器事業本部
Components Business Division



近藤 佳織 Kaori Kondoh
機器事業本部
Components Business Division



レタス栽培に於ける風によるチップバーン抑制効果

Tipburn-suppression by wind in lettuce cultivation

坂 幸憲 Yukinori Saka

完全人工光型植物工場では、照明器具を蛍光灯から植物の育成に適したLED照明に変更することでレタスの栽培日数の短縮を追求している。しかし、この成長促進で時折レタスのチップバーンが発生し、商品価値を損失している。植物工場でレタスを効率的に生産するためには、この問題の解決が必要とされている。本稿では、LED照明下でのレタス栽培に於けるチップバーンを抑制する新しい空調制御システムを提案する。そして「風あり」と「風なし」の栽培試験の結果から、新しい空調制御によるチップバーン抑制効果を明らかにする。

In artificial-light-type plant factories, changing the lighting equipment from fluorescent light to LED light, which optimized for plant growth, can shorten cultivation period of lettuce. However, growth promotion often cause tipburn in lettuce, and result in loss of marketability.

It is necessary to solve this problem for efficient lettuce production in plant factories. In this research, we propose a new blast method to suppress tipburn in lettuce grown under the LED light.

Our verification experiments with or without the new blast method showed clear tipburn-suppression effect by this method.

1 はじめに

完全人工光型植物工場では栽培室内に多段式栽培棚を複数陳列、LED照明で光を制御、空調設備で温湿度、CO₂濃度を制御、水耕栽培設備で養液を管理することで天候に左右されることなく計画的に野菜を量産している。LED照明技術の進化や栽培棚の構造も多様化、空き倉庫や事務所の空きスペースを活用した植物工場建設なども見られ、植物工場市場の拡大は続いている。

照明機材が蛍光灯からLED照明に置き換わり照明機材からの発熱量は軽減されたが、栽培スペースを抑えるために多段式栽培棚を導入することが多く、栽培棚の上段と下段とで温度差が発生。また、生産性を高めるため栽培植物を密集して栽培することが多く、栽培植物が成長すると隣接する栽培植物と密着、軒高もLED照明に接するくらいに大きくなり、栽培空間の風の流れを阻害する。栽培室内に於ける温度差や風の流れに関する問題は、生産規模拡大と共に表面化することが多く、安定生産を実現するための課題となっている。高機能LED照明機器の導入により栽培日数の短縮が可能とはなったが、時折発生する生育障害に悩まされている。

この課題に対して、大掛かりな設備投資を行わず解決する方法として空気ノズルを栽培棚に設置して栽培植物に向けて強制的に風を噴きかける個別空調システムを開発した。本稿では安定生産を阻害する要因の一つのチップバーンに注視、導入で得られる風によるチップバーン抑制効果について検証したので報告する。

2 材料及び方法

2-1 個別空調システム

栽培棚上段に送風機を配置、栽培室内の新鮮な空気を吸い込み、配管ダクトを通して、栽培棚の前面上部の空気ノズルから栽培植物に向けてストレスなく風を噴きかける個別空調システムの導入事例を示す (Fig. 1)。



Fig. 1 個別空調システムの導入事例

2-1-1 空気ノズル

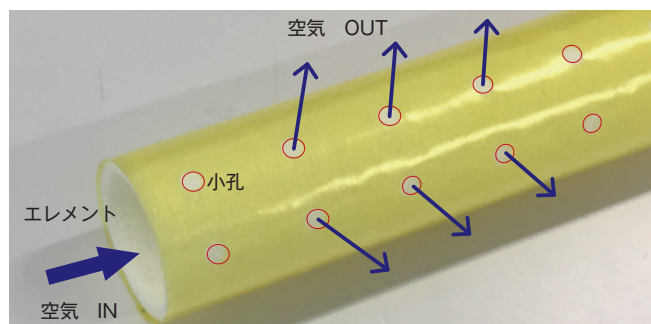


Fig. 2 空気ノズル

感染症予防で身近になった不織布マスクの素材、不織布を何重にも巻き込み円筒状のパイプ(白色)を成形、外周をPETシート(黄色)で覆い、PETシートには小孔を2列均等に設けることで、パイプの内側からPETシートの穴を通して空気が流れる空気ノズル(Fig. 2)を製作した。空気ノズルの両側から空気を供給すると、不織布素材のパイプ(Fig. 3)で空気中の異物を除去するフィルタとして機能すると共に、小孔から空気が排出される際の絞り効果も加わり、更に消音機能まで付加され、空気ノズルの全ての小孔から均一に空気が放出される。

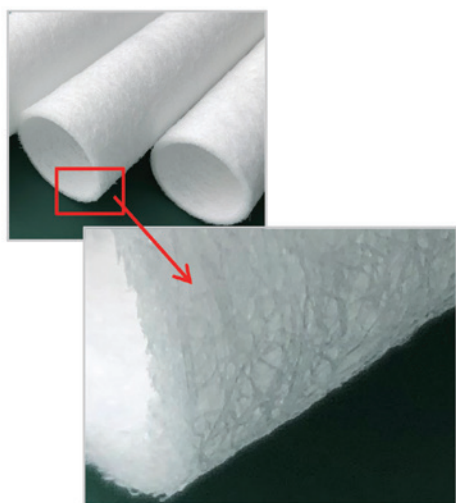


Fig. 3 不織布素材のパイプ (エlement)

当社は空気圧機器の総合メーカーで、制御機器の安定動作に欠かせない空気圧フィルタを提供している。今回、空気圧フィルタのキーパーツであるフィルタエlementをイノベーション、農業分野で植物の育成に必要な風をコントロールする空気ノズルが誕生した。

2-1-2 栽培棚の空気の流れ

栽培棚の前面上部に設置された空気ノズルには複数の噴出口があり、一方はLED照明機器に向けて空気が吹き出され、他方は栽培植物に向けて空気が吹き出される。スモークマシンで空気ノズルから吹き出す空気の流れを見る化して、栽培植物が無い状態ではあ

るが栽培室内の空気の流れを観測、複数の小孔から吹き出された空気は互いに干渉、栽培空間で渦をまきながら空間全体に拡散(Fig. 4)する様子が確認された。

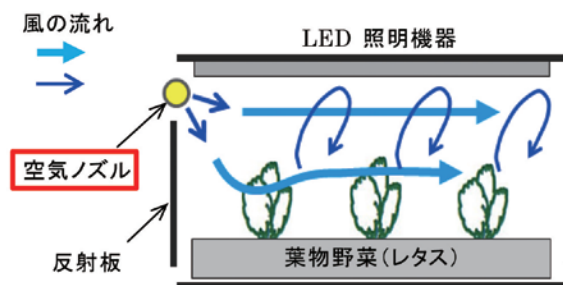


Fig. 4 栽培空間の空気の流れ

サラダナのチップバーン防止効果¹⁾で最適範囲の風速は0.6m/s以上1.0m/s以下程度と報告されているが、不織布素材のエlementを通して最適な風速にコントロールされ吹き出された空気は栽培空間で散乱し、栽培植物の周辺や内葉の中を流れる風となりチップバーンの発症を抑制する。

2-2 栽培試験

2-2-1 環境設定

環境シミュレータ装置内(Fig. 5)の温度設定は明期23℃ / 暗期18℃、湿度はなりゆきで、CO₂濃度は1,500ppmに設定、養液濃度はpH6前後、EC1.6 / 3.0 mS/cmに設定した(Fig. 6)。



Fig. 5 環境シミュレータ装置

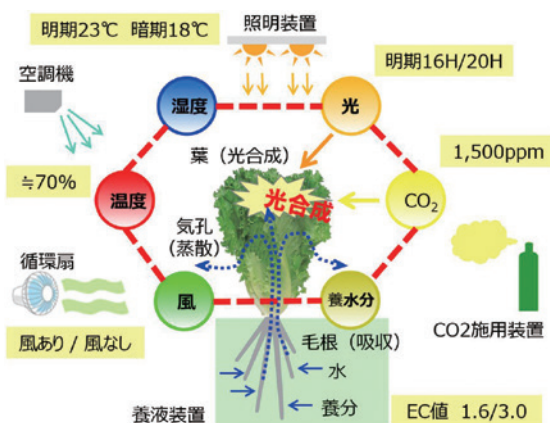


Fig. 6 環境設定

2-2-2 栽培棚

環境シミュレータ装置内に多段式栽培棚を配置し、温度とCO₂濃度を制御してレタスを栽培した。6ヶ所の試験区(Fig. 7)を設け、光と風の環境条件を変え、栽培環境の違いによる生育差とチップバーン発症の有無について確認した。各試験区の上部には植物育成用LED照明機器を設置、タイマにより明期/暗期の設定を変え16時間日長と20時間日長の2条件を設定した。また各試験区には栽培空間に風を送る空気ノズルを設置、「風あり」「風なし」の2条件を設定した。



Fig. 7 栽培棚の試験区

2-2-3 試験区

試験区内には栽培桶を設置(Fig. 8)、栽培パレットをもちいて水耕栽培を行った。栽培パレット上を均等に分割(Fig. 9)、19ヶ所の測定ポイントを定め、風速とPPFDを実測し、環境設定を確認した。

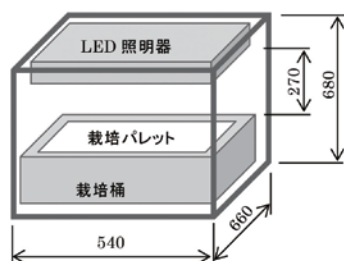


Fig. 8 試験区の詳細

		⑬	⑭	⑮
⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
①	②	③	④	⑤

Fig. 9 栽培パレット上の測定ポイント

2-2-4 光と風

照明機器は共立電照製の植物育成用LED照明を使用、付属の調光器で光強度は調整した。各試験区の左右側面、背面、前面は光強度の均一化を狙い反射板を設置。光量子計(LI-190R)を使用して栽培パレット上の詳細な光合成光量子束密度(PPFD) (Fig. 10)を測定した。また、光源測定装置(Lighting Passport)を使用してスペクトル分布(Fig. 11)を測定した。

5	117	136	132	127	6	136	146	138	111
108	146	174	168	161	120	155	170	158	132
109	152	176	175	162	120	155	174	159	132
96	128	149	148	135	106	133	150	142	112
2	136	150	139	123	3	154	156	140	115
126	153	173	165	139	151	176	187	168	132
123	157	174	162	140	157	177	187	165	134
102	131	146	137	115	133	150	159	140	112
1	155	172	157	128	4	157	166	153	123
122	166	180	168	135	154	169	187	170	135
114	152	171	157	127	152	161	177	160	129
95	121	133	122	99	125	135	149	137	107

Fig. 10 各試験区のPPFD ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

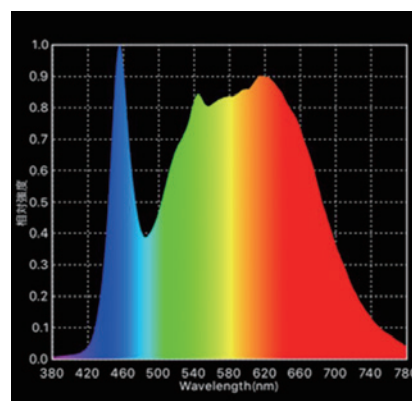


Fig. 11 LED HMW45DC2SV3-RM

5	0.62	0.95	0.69	0.45	6	0.09	0.10	0.04	0.03
0.30	0.68	1.07	0.63	0.42	0.03	0.08	0.12	0.05	0.07
0.33	0.46	0.85	0.55	0.30	0.06	0.04	0.03	0.03	0.06
0.32	0.40	0.39	0.38	0.33	0.21	0.06	0.09	0.06	0.12
2	0.72	0.85	0.72	0.35	3	0.60	1.05	0.83	0.55
0.61	1.00	0.86	0.65	0.22	0.29	0.53	1.11	0.76	0.23
0.29	0.96	0.75	0.71	0.35	0.37	0.41	1.07	0.83	0.21
0.34	0.51	0.78	0.53	0.36	0.40	0.58	0.61	0.53	0.32
1	0.86	0.90	0.62	0.27	4	0.07	0.06	0.07	0.07
0.53	1.03	1.00	1.00	0.33	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06
0.35	0.90	0.91	1.02	0.19	0.04	0.04	0.03	0.01	0.06
0.42	0.49	0.58	0.75	0.23	0.04	0.10	0.07	0.04	0.07

Fig. 12 各試験区の風速 (m/s)

風を与える試験区1、2、3、5には空気ノズルを設置して、栽培植物に向けて強制的に風を吹きかけた。風速計(MODEL 6332D、0965-03)を使用して栽培パレツ

ト上の詳細な風速(Fig. 12)を測定した。栽培パレットに栽培植物が無い状態で、前面の開口部には反射板を設置して外部からの風の流れを遮断して測定した。

2-3 栽培品種と栽培工程

栽培品種はレッドリーフレタス「アンソニー Anthony RZ」(DR)とミニコスレタス「ラファエル Rafael RZ」(VB) (高田種苗株 生産地: オランダ)の2品種。

播種から10日後に移植(Fig. 13)、更に10日後に栽培パレット(12穴)に定植、6ヶ所の試験区に12株ずつ、DRを3パレット(12株×3)、VBを3パレット(12株×3)、合計6パレット、トータル72株を栽培、生育差を比較した。

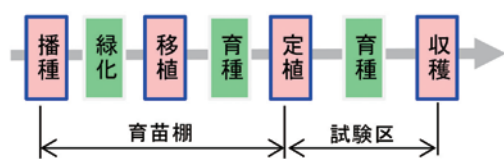


Fig. 13 栽培工程

2-4 チップバーンの判定

チップバーンとは急激な成長時のカルシウム不足を原因とする生理障害で、新葉の縁が茶褐色になり枯れる症状(Fig. 14、Fig. 15)である。障害を受けた葉は回復せず商品価値が損なわれる。



Fig. 14 チップバーンの発症なし (DR)



Fig. 15 チップバーンの発症あり (DR)

チップバーンの判定は目視で行い、発症の判定は葉先に微小の症状が見られる葉が2枚以下の場合には軽症とし、それ以上の症状は全て重症と区別。チップバーン発症確率は軽症と重症の両方をカウントした。

2-5 成育評価方法

栽培桶での植物栽培は2枚の栽培パレット(Fig. 16)を使用、横4列×縦3列に並べ12株を栽培した。

成育評価結果は栽培パレットの穴位置(Fig. 17)で整理、地上部生重量とチップバーン発症の有無で成育状況を判断した。

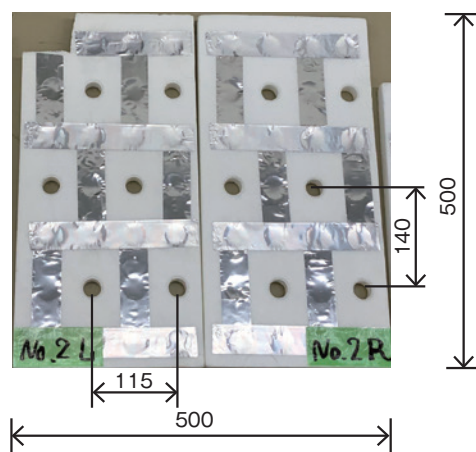


Fig. 16 栽培パレット

⑨	⑩	⑪	⑫
⑤	⑥	⑦	⑧
①	②	③	④

Fig. 17 栽培パレットの穴位置

3 結果

2種類のレタスを6ヶ所の試験区で同時に栽培、播種から37日目に収穫して、収穫物評価を実施した。

下段の試験区1、3、4でミニコスレタス(VB)を栽培、試験区1は明期が20時間(点灯時間を長く設定)で「風あり」、試験区3は明期が16時間で「風あり」、試験区4は明期が16時間で「風なし」と光と風の条件を変えて栽培。上段の試験区2、5、6でレッドリーフレタス(DR)を栽培、同様に光と風の条件を変えて栽培した(Fig. 18)。

栽培試験は2回実施、収穫評価結果は、試験区毎の地上部生体重の合計と平均、チップバーン発症確率を確認した。1回目の養液濃度は濃度1倍($EC \div 1.6$)、2回目は濃度2倍($EC \div 3.0$)と条件を変えて栽培した。

試験区5 (DR)	試験区6 (DR)
植物育成用LED 明16H/暗8H PPFD 110~170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(中) 0.3~0.9m/s	植物育成用LED 明16H/暗8H PPFD 110~170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(なし) ~0.1m/s
試験区2 (DR)	試験区3 (VB)
植物育成用LED 明20H/暗4H PPFD 120~170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(中) 0.3~1.0m/s	植物育成用LED 明16H/暗8H PPFD 120~190 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(中) 0.2~1.1m/s
試験区1 (VB)	試験区4 (VB)
植物育成用LED 明20H/暗4H PPFD 100~170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(中) 0.3~1.0m/s	植物育成用LED 明16H/暗8H PPFD 110~200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 風速(なし) ~0.1m/s

Fig. 18 環境条件

栽培日数37日で収穫物生体重量100gを狙い、1回目の栽培試験を実施した。定植時の実測値で養液濃度はpH6.3、EC1.6に設定した。栽培植物を収穫(Fig. 19)、収穫物評価で試験区毎の地上部生体重量の合計と平均、チップバーン発症確率を確認した(Fig. 20)。



Fig. 19 収穫物 試験区1~6 (1回目)

試験区5 (DR)	試験区6 (DR)
生体重 合計 928g 生体重 平均 77g 発症確率 0% (0株/12株)	生体重 合計 791g 生体重 平均 72g 発症確率 64% (7株/11株)
試験区2 (DR)	試験区3 (VB)
生体重 合計 1,087g 生体重 平均 91g 発症確率 25% (3株/12株)	生体重 合計 1,139g 生体重 平均 95g 発症確率 25% (3株/12株)
試験区1 (VB)	試験区4 (VB)
生体重 合計 1,260g 生体重 平均 105g 発症確率 33% (4株/12株)	生体重 合計 1,015g 生体重 平均 85g 発症確率 100% (12株/12株)

Fig. 20 収穫物評価結果 (1回目)

DR栽培の16時間日長で「風なし」の試験区6のチップバーン発症は64%、対して「風あり」の試験区5は発症が無く、風によるチップバーン抑制効果が顕著にあらわれた。VB栽培の16時間日長で「風なし」の試験区4のチップバーン発症は100%、対して「風あり」の試験区3の発症は25%に低減、品種に関係なく風による

チップバーンの抑制効果が認められた。

サラダナでは積算光量が大きいほど生体重量が大きくなるが、成長量が大きくなる環境条件下ほどカルシウム欠乏によるチップバーンのリスクも増大する²⁾とされている。DR栽培の20時間日長で「風あり」の試験区2の平均生体重量は91gで、16時間日長で「風あり」の試験区5は77gと比べて1割強増、積算光量アップによる成長増が明らかであるのにチップバーンの発症は25%に抑制されている。VB栽培の20時間日長で「風あり」の試験区1の平均生体重量は105g、16時間日長で「風あり」の試験区3は95gと比べて1割増、成長量が明確に発症は33%と低く抑えられており、風によるチップバーン抑制効果が認められた。

DR栽培の16時間日長で「風あり」の試験区5の平均生体重量は77g、対して「風なし」の試験区6の72gと比べると微小増。VB栽培の「風あり」の試験区3は95g、対して「風なし」の試験区4の85gと比べると1割増。品種により程度は違うが、風による生育の促進効果が見られた。

2回目の栽培試験は収穫物の生体重量増を狙い養液濃度をアップして栽培試験を実施、定植時の実測値で養液濃度はpH5.8、EC2.8に設定した。収穫物評価で生体重量とチップバーン発症確率を確認した(Fig. 21)。

試験区5 (DR)	試験区6 (DR)
生体重 合計 825g 生体重 平均 69g 発症確率 0% (0株/12株)	生体重 合計 734g 生体重 平均 61g 発症確率 50% (6株/12株)
試験区2 (DR)	試験区3 (VB)
生体重 合計 971g 生体重 平均 81g 発症確率 17% (2株/12株)	生体重 合計 902g 生体重 平均 75g 発症確率 0% (0株/12株)
試験区1 (VB)	試験区4 (VB)
生体重 合計 1,026g 生体重 平均 85g 発症確率 25% (3株/12株)	生体重 合計 911g 生体重 平均 76g 発症確率 100% (12株/12株)

Fig. 21 収穫物評価結果 (2回目)

16時間日長で「風なし」の試験区6、4のチップバーン発症は50%と100%、対して「風あり」の試験区5、3の発症は無く、1回目と同様に風によるチップバーン抑制効果が顕著に見られた。

20時間日長で「風あり」の試験区2、1の平均生体重量は81gと85gで、16時間日長で「風あり」の試験区5、3は69gと75gと1割増、ここでも1回目と同様に積算光量アップによる成長増が明確にチップバーン発症が抑制されている。

16時間日長で「風あり」の試験区5、3の平均生体重量は69gと75g、対して「風なし」の試験区6、4の61gと76gと比べると微量増と微量減。1回目とは異なり、風による生育の促進効果は確認できなかった。

養液濃度アップで生体重量増を狙っていたが、結果は逆効果で1~2割減となった。しかし、風によるチップバーン抑制効果は、品種に関係なく顕著に見られた。

4 考察

光と風の環境条件を変えて2種類のレタスの栽培実験を実施した。「風あり」と「風なし」の試験区を設けチップバーンの発症を確認、いずれの条件でも「風あり」の試験区ではチップバーンの発症は低く抑えられていた。内葉に空気供給することでチップバーンを防止した³⁾との報告がある。個別空調ユニットによる風のコントロールは、栽培空間の空気を散乱することで栽培植物の周辺や内葉の中に風を流す。試験区内の閉ざされた空間で栽培植物が成長し密集状態(Fig. 22)になっても栽培植物の隙間に風は流れる。その作用で植物の蒸散が活性化され、葉へのカルシウム供給が維持されるため、チップバーン抑制に寄与すると考える。



Fig. 22 収穫直前の試験区内

チップバーン発症は品種により異なること⁴⁾は知られている。栽培試験で使用したレッドリーフレタス(DR)とミニコスレタス(VB)は以前に栽培試験を実施して、それぞれに風によるチップバーン抑制効果⁵⁾⁶⁾を確認している。光と風の環境設定以外に、CO₂濃度、栽培日数を変えて栽培試験を実施、チップバーン抑制効果が認められている。今回は2品種を同時栽培して生育差を比較、DRと比べVBの収穫物生体重量が1~2割多く、チップバーン発症に関してもDRと比べVBの方が高い結果が得られた。VBはDRに比べて成長速度が速い品種で、成長速度が速い品種ほど生育バランスを崩しやすくチップバーン発症が増すと考えられる。

1回目の栽培試験で見られた風による生育の促進効果は、2回目の栽培試験で確認できなかった。養液濃度を変えたことが影響したと考える。風を与えることで植物の蒸散が活性化されると、根から水や養分の供給が増加するため、生育も促進されると考える。

5 まとめ

高機能LED照明機器の導入により、時折発生する生育障害の課題に対し、新しい空調制御システムを提案、成長速度が異なるDRとVBの2品種のレタスで栽培試験を実施して、チップバーン抑制効果を実証した。栽培植物に向けてストレスなく風を吹き付けることでチップバー

ンの発症を抑えることが可能で、個別空調システムは稼働中の植物工場の栽培棚に空気ノズルを追加設置して安定生産を実現する手段として注目されている。

風によるチップバーン抑制効果の研究は、DR、VB以外のレタス品種の検証と、葉物野菜以外のアオジソ、わさび、いちごなどへの展開を進めている。個別空調システムはレタス栽培の植物工場での導入試験に続き、いちご栽培の植物工場での導入試験を実施中で、空気ノズルの耐久面での評価を実施している。

風によるチップバーン抑制効果の研究を今後も継続することで、植物工場における更なる栽培技術と生産性の向上につなげていきたい。

本研究は、大阪府立大学の植物工場研究センターの最適化空調システムプロジェクトの研究テーマの一つとして取り組んでいる。研究に共同で対応いただいた大阪府立大学 大学院の山口タ准教授、畦地学様に深く感謝の意を申し上げる。

参考文献

- 1) 小島孝之、笠原孝義、堀千亜妃、七島琢男、中原光久：野菜工場の実用化に関する研究(V) 佐賀大学科学技術共同開発センター
- 2) 定井静香：“日長と光強度がリーフレタスの生長に与える影響” 農業システム工学分野 農学部地域環境工学科課題研究要旨集(平成26年度)
- 3) 後藤英司、高倉直：“内葉に空気供給することによるチップバーンの防止” Trans.Amer.Soc.Agric. Engrs,1992
- 4) 宇野雄一：“レタスのチップバーン発生機構の解明と抵抗性品種の選抜” 科学研究費援助事業 研究成果報告書(課題番号20580026)
- 5) 坂幸憲、畦地学、山口タ：“レタス栽培に於ける風によるチップバーン抑制効果” 2020生態工学会年次大会”
- 6) 坂幸憲、畦地学、山口タ：“レタス栽培に於ける風によるチップバーン抑制効果” 2019生態工学会年次大会”

執筆者プロフィール



坂 幸憲 Yukinori Saka
新規事業開発室
New Business Development Office



透明体検査技術

Inspection technology for transparent object

太田 英志 Eiji Ota

PTPシートにおいて、包材特性のバラつきや部品の消耗などによって成形ポケットの品質がバラつくことがある。成形時にポケット穴あきや成形不良が発生することで、医薬品品質に重要な防湿性が担保できなくなるため、ポケット検査は重要な項目である。

PTPシートで使用される包材の大半が透明であるため、従来の検査装置・技術ではポケット穴あきや成形不良を検出することはできない。そこで、当社で培ってきた検査技術を応用し、新たに透明体を検査できる技術を開発した。本検査技術は、PTPシートのポケットを検査するだけでなく、食品容器やペットボトルといった透明な製品の検査にも応用ができる。本稿では、PTPシートのポケット検査を題材にし、透明体検査技術について紹介する。

The quality of formed pockets in a blister sheet (PTP sheet = push through packaging sheet) may vary due to variation of packaging material characteristics, wear of machine parts etc. If hole is made in blister pocket or forming defect occurs during forming, moisture proof property important for the quality of pharmaceutical product packed in a blister sheet cannot be secured. To solve these problems, we think the inspection of blister pocket is very important.

Since most of the packaging materials used for pharmaceutical blister packaging is transparent, hole in a blister pocket and forming defect cannot be detected by the conventional inspection device and technology. So, we have newly developed a technology which enables to inspect transparent object by applying the inspection technologies accumulated by our company. This inspection technology can be applied not only to inspect blister pocket but also to inspect transparent products such as food containers, plastic bottles etc. This article will introduce the inspection technology for transparent object when it is used for the inspection of formed pockets in a blister sheet.

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 (Fig. 1) の生産ラインでは、不良シートが市場に流出するのを防ぐため、包装機の各工程に検査装置を搭載し品質の担保を行っている。当社では1980年代から、カメラを用いて錠剤の有無や割れ欠け、異物付着、シール不良といった様々な重大欠陥を検査するために装置の開発を進めており、光学系や画像処理といった多種多様な技術の研究を積み重ね、多くの検査装置を世に送り出してきた。そして、2021年に透明体である成形ポケットを検査する装置を新たに発売した。ポケット検査装置で使用される透明体検査技術は、従来のPTP包装工程だけでなく、他業種の生産工程での応用も見込んでおり、本稿ではその技術及び他業種への展開について紹介する。

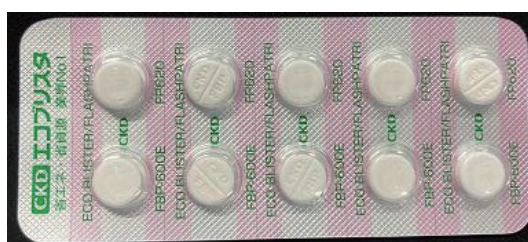


Fig. 1 PTPシート

2 当社の検査装置への取り組み

1980年代に、錠剤の有無や大きな欠けを検査するシステムを開発して以来今日までに、当社ではPTP包装工程向けに様々な検査装置を開発してきた。

2000年代初頭には、現在のフラグシップモデル「フラッシュパトリFP830」の原型である、「フラッシュパトリFP600」を販売した。

FP600は、一般的に普及していたOSであるWindowsを採用し、従来の検査装置と比べ、ユーザーインターフェースやデータ管理といった機能を充実させ、装置として検査能力だけでなく、視認性・操作性といった面でも、注目される装置となった。

そしてFP610、FP620、FP630とリニューアルを重ねる毎に、お客様のニーズに応え、高精度化、多種多様な検査機能の拡充、操作性の向上を図った。更に、フラグシップモデルだけでなく、海外向けの検査装置「ファームビジョンPV610」や廉価版の検査装置「フラッシュパトリFP-330W」といった商品も開発した。

また、成分検査、X線検査、バーコード検査といった異物検査以外の装置も開発してきた (Fig.2)。

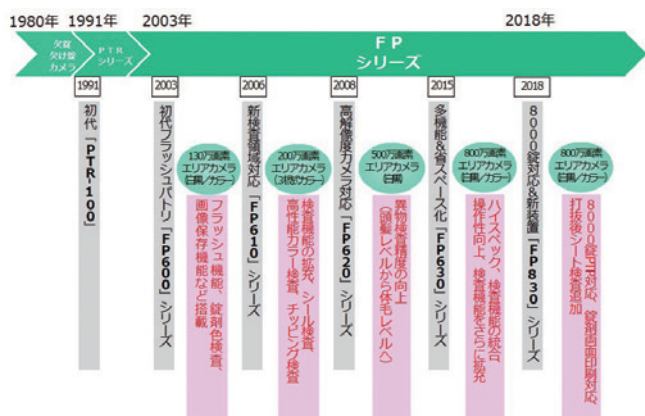


Fig. 2 検査システムの歴史

3 ポケット検査装置

3-1 ポケット検査装置の概要

ポケット検査装置は、Fig. 3に示す通り成形直後に設置する検査装置である。錠剤が充填される前にポケットの成形検査や穴あき検査を実施する。検査したポケットが不良判定された場合、該当シートへの錠剤充填は行われないため、錠剤の回収時間削減に繋がる装置である。

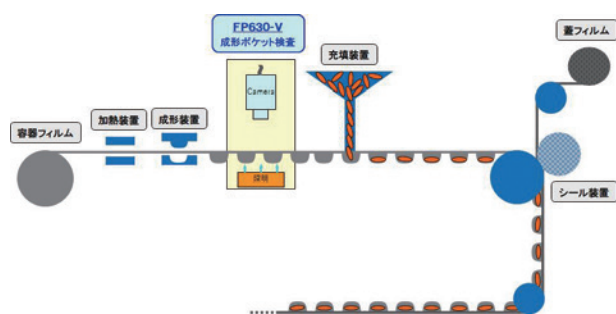


Fig. 3 ポケット検査装置設置例

3-2 ポケット検査装置の重要性

PTP包装工程において、包材特性のバラつきや部品の消耗などによって、成形ポケットの品質がバラつくことが稀にあり、場合によっては成形不良だけでなく穴あきが発生することがある。これらの不良は、PTPシートの外観品質を損なうだけでなく、気密性に影響を与え製剤品質へのダメージが大きい。既存の検査装置では、ポケットの品質を担保することができないため、日々の生産では抜き取りチェックや目視検査員を配備し対応している。しかし、抜き打ちチェックでは全数検査を行うことができず、目視検査では個人の経験や体調によって、検査品質が一定ではない。その点、ポケット検査装置は常に安定した高品質な検査が行える。

3-3 ポケット検査装置の仕組み

ポケット検査装置は、検査対象であるフィルムの透過率特性を利用して、撮影・検査を行っている。フィル

ムは、Fig. 4に示す通り種類や波長帯によって透過率が異なる。

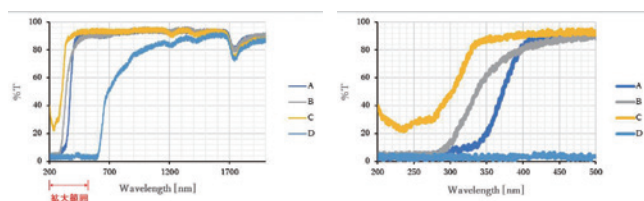


Fig. 4 フィルムの透過率特性（左：全体図 右：拡大図）

Fig. 5は、透明フィルムで作成したPTPシートのポケットを従来のフラッシュパトリで撮影した時と、ポケット検査装置で撮影した時の画像である。従来のフラッシュパトリは、フィルムに対して透過性の高い照明光を用いているのに対し、ポケット検査装置は透過性の低い照明光を用いている。そのため、同じ対象を撮影しても写り方が大きく異なることが確認できる。透過率が高い波長帯で撮影した場合は、光がフィルムを透過するため透けた画像になり、逆に透過率が低い波長帯で撮影した場合は、フィルムに光を遮られるため暗く撮影される。また、ポケット検査装置で撮影した画像を確認すると、ポケットと成形されていないシート面とで明るさが大きく異なることが確認できる。これは、光の透過性がフィルムの厚みにも影響を受けるためである。

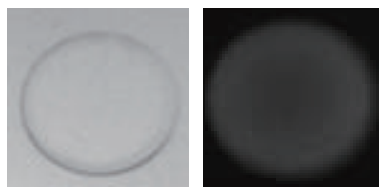


Fig. 5 透明フィルムで作成したポケット
(左：透過率高 右：透過率低)

Fig. 6は、Fig. 5のポケットに穴を開けて撮影した一例の画像である。従来のフラッシュパトリでは、穴が開いている部分と開いていない部分では、光が透過する量に大きな違いがないため、画像上でも輝度差が生じない。その結果、穴あきがポケット面と同化した様な状態で写るため、不良検知不可となる。ポケット検査装置は、穴あきとポケット面で輝度差が顕著に生じるため、画像上に穴あきを写し出して不良検知することが可能となる。

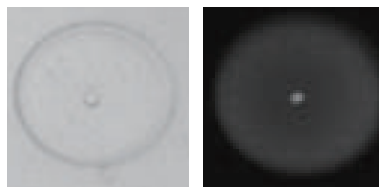


Fig. 6 穴あきポケット（左：透過率高 右：透過率低）

以上がポケット検査装置の原理である。また前述した通り、フィルムは種類によって透過率特性が異なるが、ポケット検査装置は対象のフィルムの透過率特性に合わせて、照明の光を選択するため、様々なフィルムに対応可能となっている。

3-4 検査の紹介

ポケット検査装置は、錠剤が充填される前のポケットを検査するため、Fig. 7に示す通り透過型撮影方式を採用している。透過型撮影方式は、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。また、カメラや照明は従来通りエリア撮影方式を採用している。撮影した画像からは、フィルムの状態により下方から照射される光の透過量が変わってくるため、ポケットの位置が特定できる(Fig. 8)。

そして、ポケットに穴が開いていれば穴部は明るく撮影され、ポケットの厚みが良品より厚ければ、ポケット自体が暗く撮影される。Fig. 9は、実際に検査をした時の画像である。

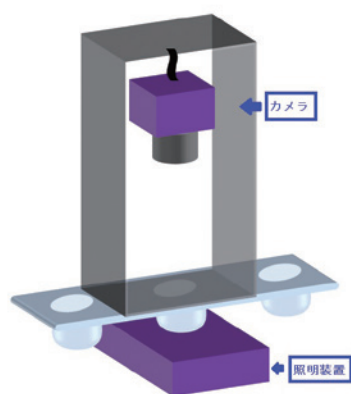


Fig. 7 透過撮影方式



Fig. 8 撮影画像（矢印で示したポケット以外は良品）

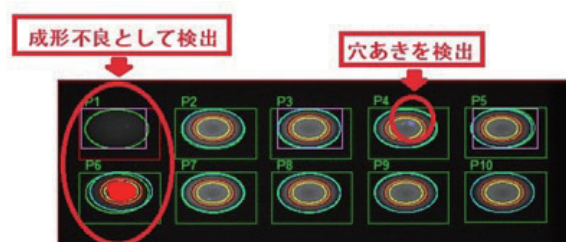


Fig. 9 検査結果を示す画像

①穴あき検査

穴あき検査は、予め撮影した良品画像を用いて、ポケットを抽出するしきい値を調整して、ポケットを検出し、検査ウィンドウを設定する。検査時は、検査ウィンドウ内でポケットのしきい値から外れる画素を求め、その画素数が判定値を超えた場合、不良ポケット（穴あき不良）とする。

②成形不良検査

成形不良検査は、予め良品として抽出したポケットの画素数を求め保存する。検査時は、検査したポケットの画素数と比較し、良否を判定する。また、ポケットの形状確認も同時に行っている。

4 他業界への展開

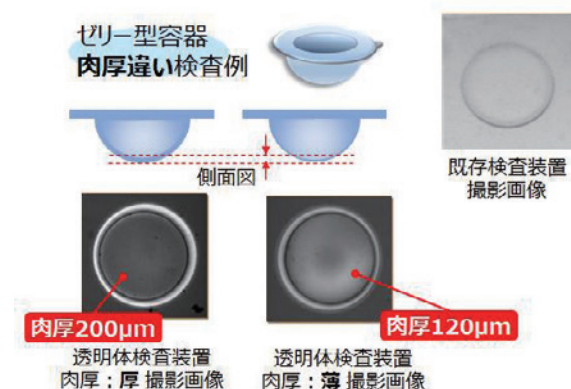
他業界への展開として、ポケット検査装置で培った技術を活用し、透明体検査装置「IS-UVCL01」を開発した(Fig. 10)。

IS-UVCL01は、プラスチック食品容器やペットボトルといった透明な製品を生産するラインで発生する不良をターゲットとした検査装置である(Fig. 11)。

様々な機械に搭載できる様にライン撮影方式を採用し、コンパクトな設計にしている。



Fig. 10 IS-UVCL01



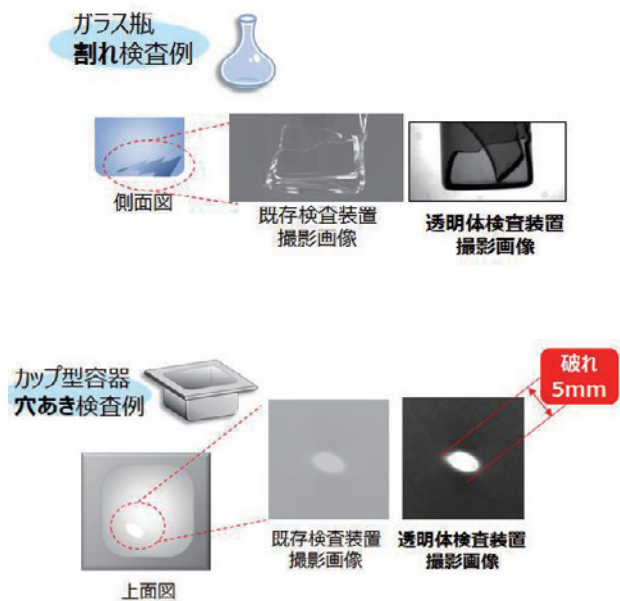


Fig. 11 検査事例

5 おわりに

当社は、時代が進むにつれてフラッシュパトリの基本的な性能向上を図りつつ、新たな検査装置の開発にチャレンジしてきた。ポケット検査装置は、今まで検査できていなかったポケットに対して有効な装置である。

また当社は、今までフラッシュパトリを通じて、PTP包装工程に「安心・安全」を提供することに邁進してきたが、IS-UVCL01を皮切りに他業界にも「安心・安全」を提供できる様、新製品開発を進めていく。

この製品は「2021年“超”モノづくり部品大賞の健康福祉・バイオ・医療機器部品賞」を受賞しました。



執筆者プロフィール



太田 英志 Eiji Ota
自動機械事業本部
Automatic Machinery Business Division



薬品包装機の位置合わせ技術

Alignment Technology of Pharmaceutical Blister Packaging Machine

高柳 広人 Hiroto Takayanagi

当社で製造販売している薬品包装機は、PTP(Press Through Pack)シートを生産する機械である。薬品包装機で多種多様なPTPシートサイズに対応するためには各工程の位置がズレないようにする位置合わせ技術が必要になる。

当社でも一般的に採用しているシート位置合わせ技術として、交換部品で対応する方法や、装置・フィルム搬送経路を移動させる方法がある。しかし、これらの方法では装置の大型化や複雑化による部品点数の増加を避けられない。そこで、省スペースで部品点数の少ない機械を開発するために、新たな位置合わせ技術として『フィルム2回送り』を確立した。

本稿では、従来の位置合わせ方法に加えて、『フィルム2回送り』の取り組みや成果を紹介する。

We manufacture and sell the pharmaceutical packaging machine which produces blister sheets (PTP = Press Through Pack sheets). To cope with various blister sheet sizes on the pharmaceutical packaging machine, position alignment technology which enables to prevent the position of each process from being deviated is required.

Blister sheet position alignment technology we commonly apply is the method to use change parts or to move device/film pass line, however, with these methods, it is inevitable that the number of parts will increase due to the increase in size of device and complexity of mechanism. Therefore, in order to develop the machine that saves space and uses a small number of parts, we have established "Film feeding in two steps" as a new position alignment technology.

This article will introduce our efforts and results on the "Film feeding in two steps" in addition to the conventional position alignment methods.

1 はじめに

PTPシートは成形、充填、検査、シール、スリット・刻印、打抜き、スクラップカットの工程を経て作られる。

当社の薬品包装機械は各工程の動作から、連続搬送と間欠搬送に分けてフィルムを搬送している。具体的には成形、スリット・刻印、打抜き、スクラップカットは間欠搬送、充填、シールは連続搬送を採用している(Fig. 1)。

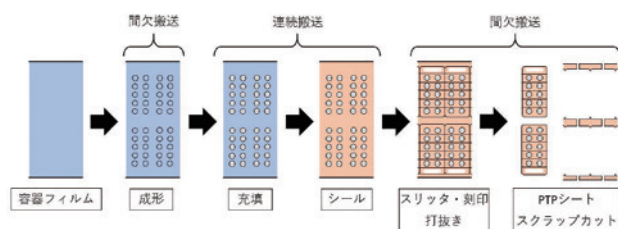


Fig. 1 薬品包装工程

間欠搬送はフィルムの搬送と停止を繰り返す搬送方法で、1台の機械でサイズの異なるPTPシートに対応するには、フィルム停止位置と工程の位置をPTPシートのサイズ毎に合わせる必要がある。

本稿では、フィルムを間欠搬送しているスリット・刻

印、打抜き、スクラップカット工程の位置合わせ方法について紹介する。

2 間欠搬送時の各工程位置関係

PTP機は後工程との受け渡しがあるため、打抜き部を固定とし、打抜きの前後工程で位置合わせを行っている。例えば、幅30mmと幅40mmの異なるサイズのPTPシートでは、スリット・刻印、スクラップカットで位置合わせが必要になる(Fig. 2)。

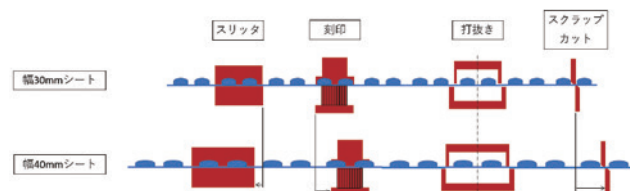


Fig. 2 シート幅と各工程の位置関係

3 従来の各工程の位置合わせ方法

主に採用している各工程の位置合わせ方法を3種類示す。

3-1 交換部品で対応する方法

交換部品で位置合わせする方法をFig.3に示す。

工程の位置が異なる分、機械で対応できるシートサイズの交換部品を搭載するだけなので、隣り合う工程に対しても採用可能な方法だが、装置の大型化や交換部品が重くなるといったデメリットがある。

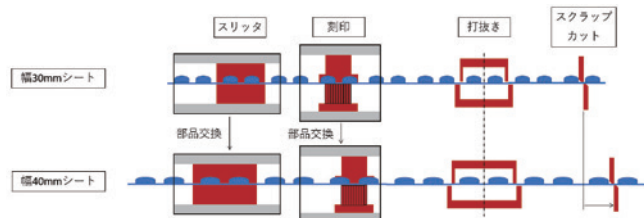


Fig. 3 交換部品で対応する方法

3-2 装置を移動させる方法

装置を移動させて位置合わせする方法をFig. 4に示す。装置の移動には手動による移動と自動による移動がある。

各工程の装置の大型化は不要であるが、移動を含めた装置サイズは3-1の方法と同等になることや、可動部が必要になるため、機構が複雑になるといったデメリットがある。

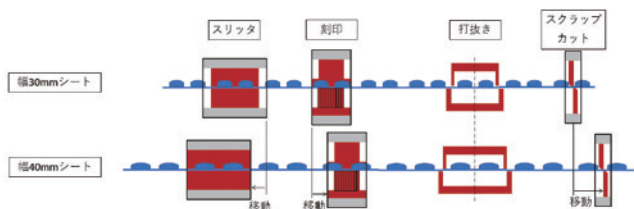


Fig. 4 装置を移動させる方法

3-3 フィルム経路を変更させる方法

フィルム経路を変更させて、各工程をシートサイズに合わせる方法をFig. 5に示す。フィルム経路の変更にはフィルム搬送ローラを移動させる必要があり、直接移動させる方法と、ポケット送り装置を追加し、フィルム張力で移動させる方法がある。

比較的省スペースで対応することができ、移動させる構造も小型となるが、隣り合う工程を近くに配置できないことや、可動部が必要になるため、機構が複雑になるデメリットがある。

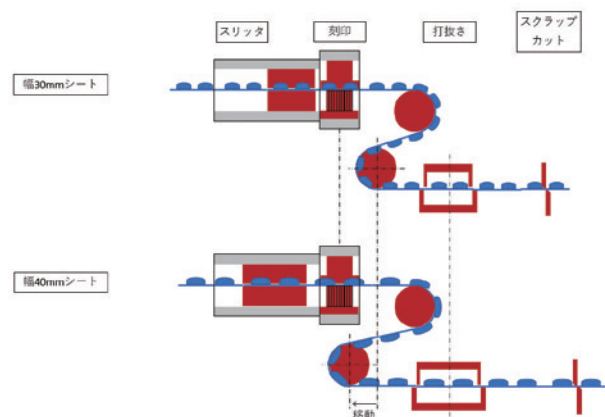


Fig. 5 フィルム経路を変更させる方法

4 新しい位置合わせ方法

3項で紹介した各工程の位置合わせ方法では装置の大型化や複雑化に伴う部品点数の増加は避けられない。そこで、新たな位置合わせ技術として『フィルム2回送り』を確立した。

フィルム2回送りではスリッタ・刻印、打抜き、スクラップカットの工程を同時に動作させず、1サイクル内で打抜き、スクラップカットの動作タイミングとスリッタ・刻印の動作タイミングを分け、フィルムを2回のタイミングで搬送する方法である(Fig. 6)。

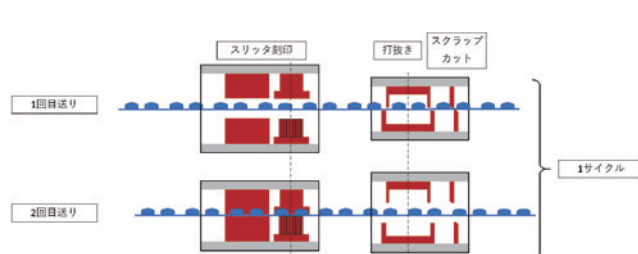


Fig. 6 フィルム2回送り方法

フィルム2回送りのメリットは、機械動作の変更のみとなるため、装置の大型化や複雑化に伴う部品点数を増加させることなく、各工程の位置を合わせられる点である。

5 フィルム2回送りの成果

フィルム2回送りを導入していない機種と導入した機種の全長を比較すると、500mm以上の小型化に成功した(Fig. 7)。

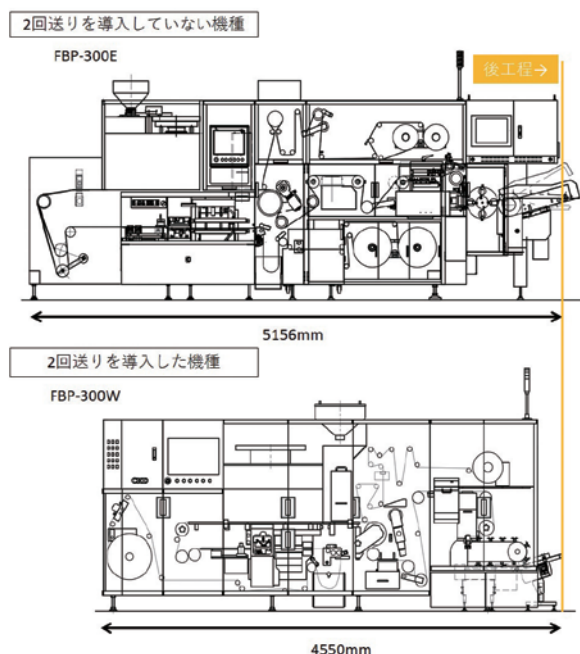


Fig. 7 全長比較

また部品点数を比較したところ、2回送りを導入していない機種に比べて1000点以上の部品点数を削減した(Table 1)。

Table 1 部品点数比較

機種名	2回送りの導入	部品点数 [個]
300E	×	6223
300W	○	4300

6 フィルム2回送りのデメリット

間欠搬送の工程を2回に分けて行うので、機械の生産速度を下げざるを得ない。このため、フィルム2回送りは中低速機に導入している。

7 おわりに

本稿では、当社の薬品包装機の位置合わせ方法を紹介した。どの方法でもメリットとデメリットがあるので、1つの方法に絞ることができない。今回紹介した『2回送り』は中低速機にメリットを発揮できる技術のため、今後は高速機でもメリットを享受できる技術を確立していきたい。

執筆者プロフィール



高柳 広人 Hiroto Takayanagi
自動機械事業本部
Automatic Machinery Business Division

基板のボンド検査技術 Technology for Glue Inspection

菊池 和義 Kazuyoshi Kikuchi

表面実装工程において、ボンドによる電子部品の仮止めは、両面リフロー時の下面部品の落下、位置ずれ、浮き等を防止する役割があり、近年においてもその需要は継続して存在する。

一方、塗布機による塗布不良は、ボンドの接着性を低下させ、仮止め性能を阻害する要因となっているため、ボンドの塗布不良を検出することが求められている。

当社では、これらの問題に対して、はんだ印刷検査装置によるボンド検査機能(オプション)を提供している。はんだ検査時にボンドの検査も可能で、ボンドの高さ、面積、位置ずれを検査することができる。部品搭載前に塗布不良を検出することで未然に電子部品の落下等の問題を防ぐことができる。

本稿では、はんだ印刷検査装置(VP9000)によるボンド検査技術について紹介する。

In the surface mount process, the temporary fixing of electronic components with glue prevents the lower surface components during the double-sided reflow from falling, displacing and floating, and there is a continuous demand for this feature even in recent years.

On the other hand, since the defective dispensing by the glue dispensing machine causes the deterioration of the adhesion and the inhibition of the temporary fixing performance, the detection of the defective glue dispensing is required.

For these problems, we provide a glue inspection function (optional) using our solder paste inspection machine. The inspection of the glue can be performed at the time of solder paste inspection, and the height, area and shift of the glue can be inspected. By detecting defective dispensing before mounting the components, problems such as falling of the electronic components can be prevented.

This article introduces the glue inspection technology of our solder paste inspection machine (VP9000).

1 はじめに

表面実装工程におけるボンドによる電子部品(以下、部品とする)の仮止めは、両面リフロー^{*1}時の下面部品の落下、位置ずれ、浮き等を防止する役割がある。

しかし、仮止め性能を阻害する要因として、ボンド塗布不良等により、部品との接着性を低下させることが知られている。

この問題に対して、はんだ印刷検査装置によるボンド検査でボンドの不良を検出することで未然に部品の落下を防止できる。本稿では、当社のボンド検査技術を紹介する。

2 ボンドの役割

部品を仮止めする際のボンドの役割は、主に基板の部品面のリフロー時に、はんだが熱で溶けて下面側の部品が落下するのを防止することである(Fig. 1)。

また、基板搬送による振動で発生する部品の位置ずれや浮きを防ぐ目的もある(Fig. 2)。

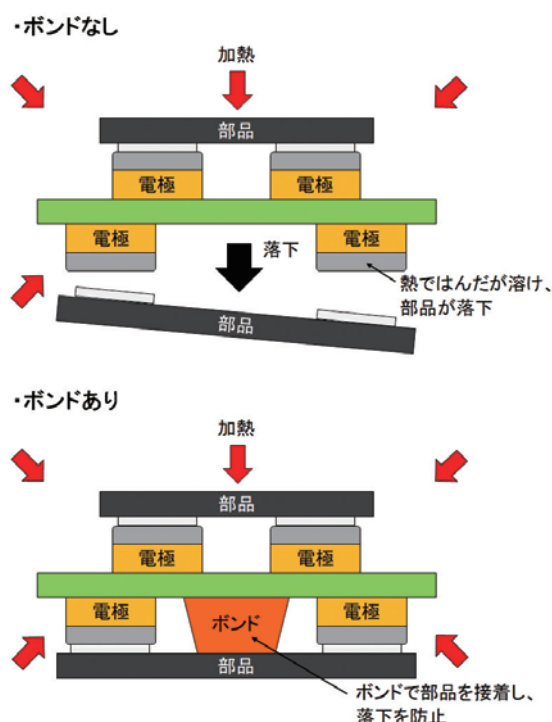
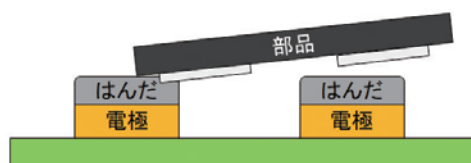


Fig. 1 部品落下防止 (リフロー時)

・ボンダなし



・ボンダあり

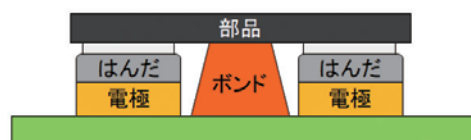


Fig. 2 位置ずれ、浮き防止（基板搬送時）

3 ボンドの問題点

ボンドには部品を固定する役割があるが、以下の塗布不良やボンドの硬化温度特性の問題によって、その性能が著しく低下する。

3-1 塗布不良の問題

塗布機による塗布不良によって、ボンドの接着力が落ち、接着不良になる問題がある。

塗布不良には、塗布量の過少、過多、位置ずれ等があり、塗布機の調整ミスやボンド特性等が原因にある。ボンドの塗布量が少ない場合、リフロー時にボンドと部品が接着しない現象が発生する(Fig. 3)。

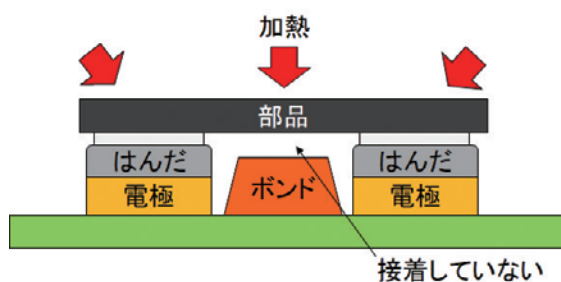


Fig. 3 ボンド過少塗布と部品の接着不良

3-2 ボンド硬化温度の問題

リフロー時において、ボンドの熱硬化温度がはんだの融点よりも低い場合(Fig. 4)、ボンドの方がはんだが溶けるよりも先に硬化する。そのため、はんだが溶けてもボンドで固定された部品は沈み込めないため、部品に浮きが生じ、部品の電極とはんだに接触不良が発生する(Fig. 5)。

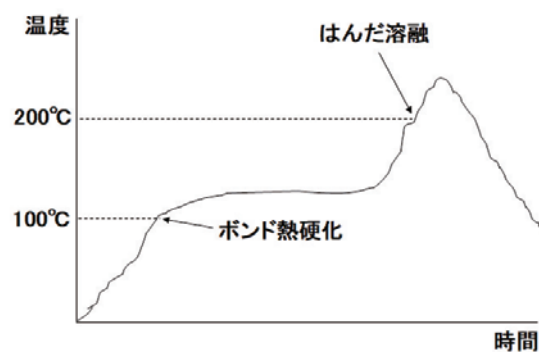


Fig. 4 リフロー 温度特性

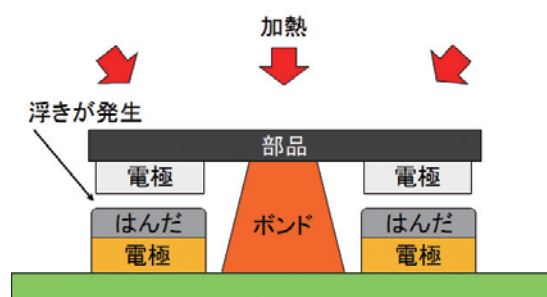


Fig. 5 部品浮きの発生

4 解決方法

はんだ印刷検査装置によるボンド検査機能でこれらの問題の解決方法を示す。

ボンド検査では、3次元計測によりボンドの体積、高さ、面積、位置ずれを検査することができる(Fig. 6)。事前にしきい値を設定し、範囲外の場合、不良として対象のボンドを検出する。詳細は次節のボンド検査機能で説明する。

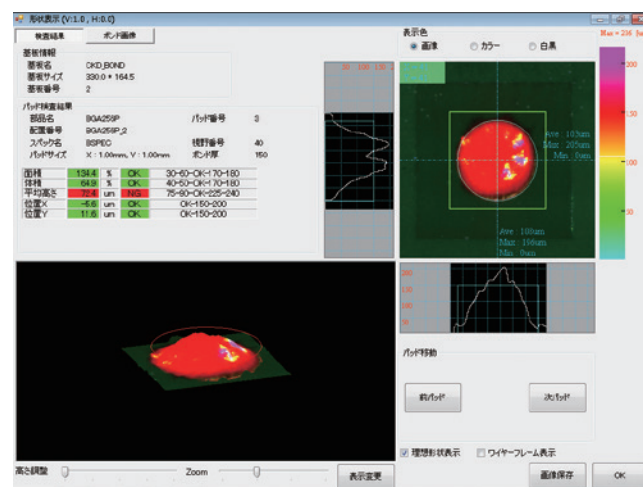


Fig. 6 ボンド検査結果画面

また、ボンドの硬化温度がはんだの融点よりも低い場合に発生する部品の浮きの問題は、はんだ溶融後のはんだの高さを考慮したボンドの高さをしきい値とし

て設定、検査し(Fig.7)、その後、部品実装機で部品をボンドの高さまで押し込むことで防止できる。これは当社保有の技術である。(特許第6329667号)

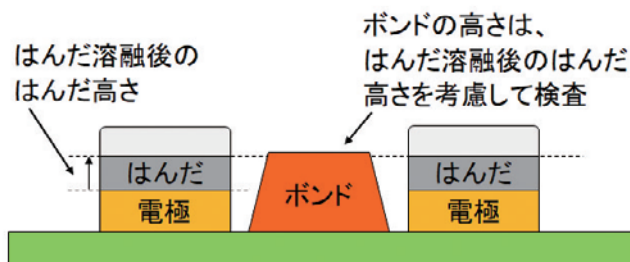


Fig. 7 ボンドの高さ検査

5 ボンド検査機能

はんだ印刷検査装置のボンド検査機能について紹介する。ボンド検査に必要なプログラム作成からボンド検査・結果確認までの流れは、Fig. 8のようになる。

- ①塗布データ読み込み
- ↓
- ②スペック設定
- ↓
- ③ボンド検査・結果確認

Fig. 8 ボンド検査までの流れ

5-1 塗布データ読み込み

ボンドの検査エリアを取得するために、塗布機から出力される塗布データを読み込む(Fig. 9)。

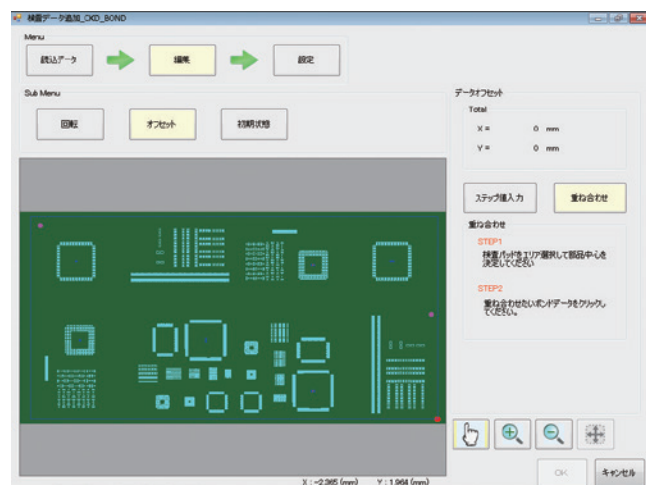


Fig. 9 塗布データ読み込み画面

5-2 スペック設定

ボンドの検査項目は、体積、面積、高さ、位置ずれがあり、事前にしきい値を設定する(Fig. 10)。

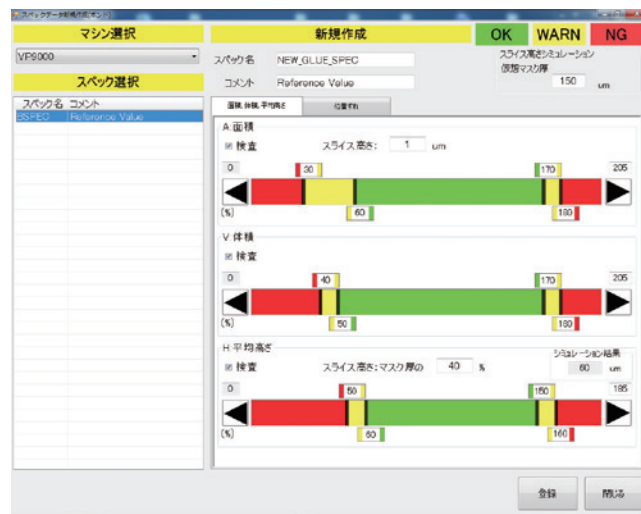


Fig. 10 スペック設定画面

5-3 ボンド検査・結果確認

スペックを設定した後、ボンド検査を開始する。はんだ検査と同時にボンド検査が可能で、ボンドの不良を検出する。確認画面でボンドの検査結果を確認することができる(Fig. 11)。

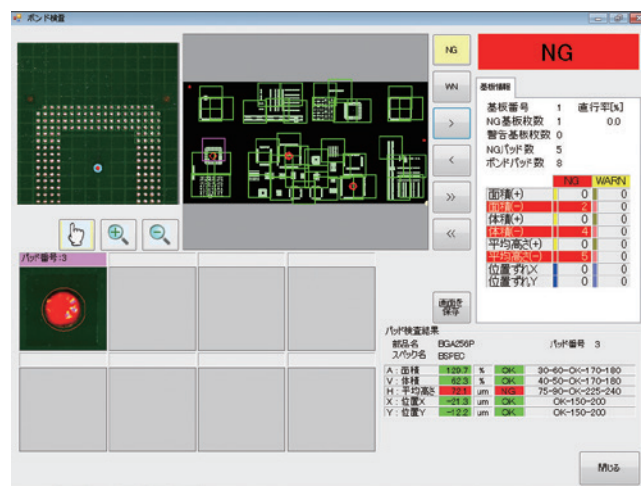


Fig. 11 ボンド確認画面

また、ボンドの検査履歴は、統計機能ソフトを用いて確認することができる。指定した日時、品種で検索することでボンドの結果(画像、形状)が参照でき(Fig. 12)、HTML形式によるレポート出力も可能である(Fig. 13)。



Fig. 12 履歴参照画面

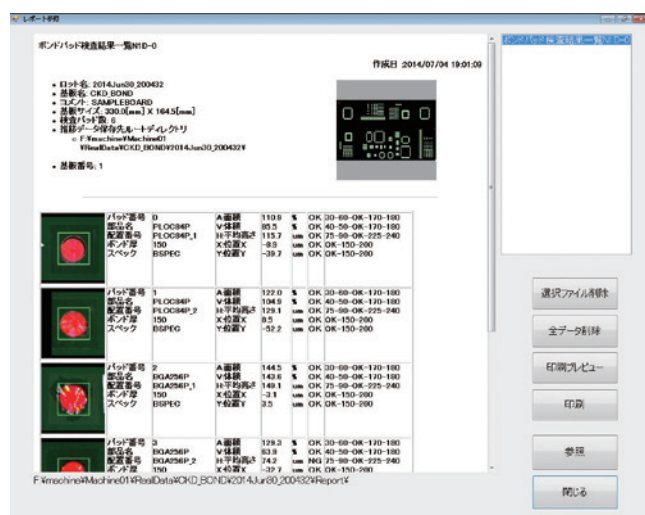


Fig. 13 レポート出力画面

6 おわりに

本稿では、部品の仮止め性能を阻害する塗布不良等によるボンドの問題点を述べ、はんだ印刷検査装置によるボンド検査機能での解決方法を紹介した。今後は、ボンド検査の機能拡張、使い勝手の向上を目指す。

※1 基板上にペースト状のはんだを印刷し、その上に部品を載せてから炉で加熱して接合すること。

執筆者プロフィール



菊池 和義 Kazuyoshi Kikuchi
自動機械事業本部
Automatic Machinery Business Division



アクチュエータの比例制御技術

Proportional Control Technology in Actuators

HOANG XUAN HAI DUC

当社は、長年にわたり様々な作動方式の弁を開発してきた。その中でも単純な動作ではなく、必要に応じて特性が可変可能な比例制御弁をラインアップしている。近年省エネ、省資源の観点においてさらに関心が高まる中で、本稿では必要となる必要量の流体を制御するためのアクチュエータ比例制御技術を紹介する。

Over the years, CKD has developed valves of various actuation methods. Among them, we have a lineup of proportional control valves that perform operations in which characteristics can be varied as needed, rather than simple operations. In recent years, there has been a growing interest in energy and resource conservation; and this paper introduces a proportional control technology that is used in the actuator and that controls the required amount of fluid to where it is required.

1 はじめに

当社では、1970年頃から給湯器をはじめとした民生機器で使用する弁の開発を通じて、流量調整技術を培ってきた。お湯の温度調整、流量調整を効率よく制御し私たちの快適な生活を見えないところで支えている。効率よく制御するためには、流量特性を比例的に直線性のある特性にすることが望ましい。一般産業界においても、様々な温度調整や冷却用途で流量調整を行う場面が多くある。水や特殊流体などを媒体として扱う場合、昔は流量を流すことでその機能を維持していたが、装置や設備の小形化、省エネ、省資源のニーズが高まる中で、適切な量のコントロールが必要となってきた。媒体として使われる水は工場などでも多く使われ、近年工場全体での使用量などを管理、監視するようになり、環境に配慮した省エネ・省資源への意識がさらに高まっている。機能に必要な流量を制御し、かつ機能を維持するために必要な量を必要だけ流すことが求められる。

産業界では様々な弁構造や駆動方式の弁が使用されている。弁の構造により、弁の開度を制御するため、流体の影響を受けたり、外乱の影響を受けたりする。以下に一般的な弁の作動方式による区分と比例制御弁の駆動方式による区分を示す(Table 1)。当社は、弁とセンサを提供するメーカーとして今まで培ってきた設計のノウハウを活かし比例制御弁の開発を進めている。

Table 1 産業界における比例制御弁の分類

弁作動方式による区分

弁作動方式	流体方向に対する作動方向	適用流体	弁形態
移動式	垂直	気体 液体	ゲート
			スプール
	水平	気体	ダイヤフラム
			ボベット
回転式	垂直	気体	ニードル
	水平	液体	グローブ
			ボール
			バタフライ

※移動式：上下、左右を示す。

駆動方式による区分

駆動方式	名称 (代表)	駆動状態	強み
エア	ピストン式	連続制御	高荷重
電気	電磁式 (弁作動方式が移動式の場合)	連続制御	高応答
	電動式 (弁作動方式が回転式の場合)	パルス制御	高精度

2 比例制御技術と特長について

流体の比例制御に関わる技術は、弁自体の動き方の区分である弁作動方式と弁を動かす駆動源の区分によりそれぞれ特長がある。

弁作動方式においては、大きく分けると移動式と回転式の2つの方式がある。移動式は回転式に対し、構造をシンプルにすることができ、応答性・寿命・サイズ・コストの面で優れている点が多い。

また、駆動方式についても、駆動源が圧縮エアと電気の大きく2種類がある。エア駆動は、簡単に大きな力が得られる一方で、コンプレッサ等で圧縮エアを作り出さなければならないため、コンプレッサ設置スペースや配管設備などインフラ面での課題も多い。それに比べ電気方式は電源を用意すれば、駆動することが可能であり、比較的容易に準備することができる。

今回は移動式と電気駆動の特長を活かし、汎用性が

最も高い電磁式の比例弁について説明する。

2-1 電磁式

電磁式は、Fig.1の④コイルに流す電流をコントロールすることで、③可動鉄心の位置を制御し、弁の開度を可変させ、⑤ボディを流れる流量をコントロールしている。

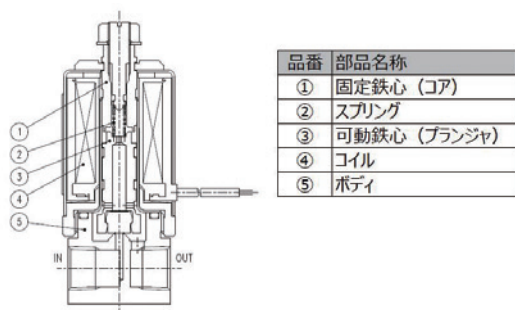


Fig. 1 比例電磁弁の内部構造図

比例電磁弁の流量特性をFig.2に示す。電磁弁で精密な流量制御を行う上で、直線性とヒステリシスは非常に重要である。

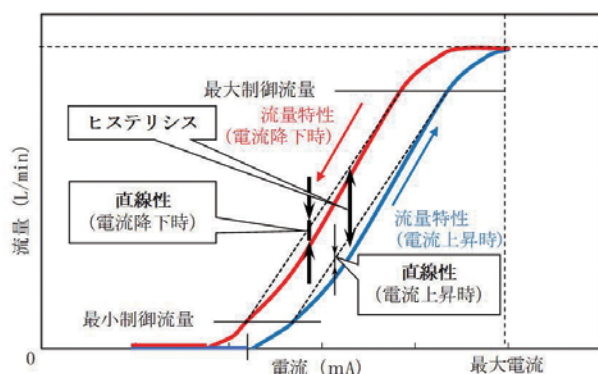


Fig. 2 比例電磁弁の流量特性

2-2 比例電磁弁の吸着部形状設計

弁の開度は可動鉄心の位置に依存しFig.3に示した5つの力がバランスすることで決まる。

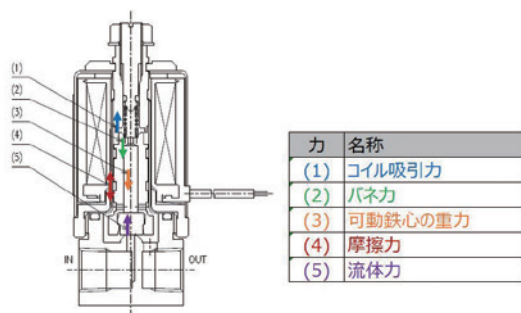


Fig. 3 比例電磁弁の力解析

それらの力のうち、最も影響力の大きいポイントは(1)コイル吸引力であり、コイル吸引力の特性は主に

コイル全体の形状及び可動鉄心と固定鉄心の吸着部形状により変化する。

一般的に可動鉄心の形状にはFig.4のような吸引力との関係がある。

それぞれの特長について説明する。

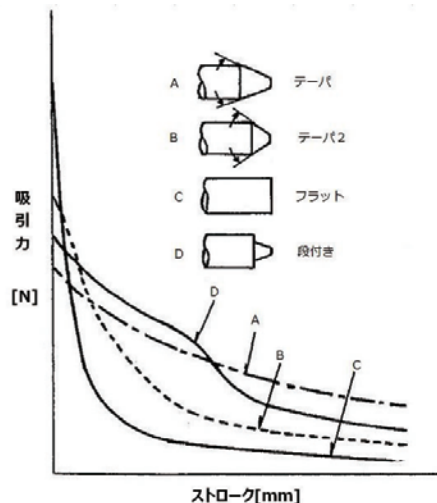


Fig. 4 可動鉄心の形状と特性

※ストロークとは、可動鉄心の移動量のこと固定鉄心吸着時はストローク0mmとなる。

Aテーパ形状:可動鉄心と固定鉄心の形状において角度を付けることで吸着時（ストローク0mm時）の力は落ちる代わりにストロークが長いところでも吸引力が落ちにくい。

Bテーパ形状:Aのテーパ形状に対し開き角が大きくなることで吸着時に近いストロークの吸引力が大きくなる。これは角度を大きくすることで、可動鉄心と固定鉄心の間隔が狭くなり、反比例特性に近づく。

Cフラット形状:一般的な汎用電磁弁の形状。製作においては非常に作りやすい反面、吸引力とストロークの関係は鋭い反比例特性となっており、比例弁として使用できるストロークが短くなる。吸着時付近の吸引力が非常に大きいため、ストロークが短くて力が必要な用途に最適である。

D段付き形状:A形状とC形状をミックスさせた特性を持つ。ある範囲で吸引力を維持することが可能な形状である。

当社の電磁式比例制御弁は、固定鉄心と可動鉄心の吸着部付近の形状をD段付き形状にしている。

段付きの設計において、重要な寸法は段の高さ・外径・内径・磁路の厚みである。また、可動鉄心・固定鉄心の間隔も重要であり、直線性・ヒステリシス及び「弁」の機能であるシール荷重とのバランス設計となる。例えば、段の高さを長くするほど、摺動方向に押し付ける磁力が発

生しやすくなるため、ヒステリシスが悪くなる一方、直線性は改善される。コイル吸引力とバネ力をうまくバランスさせれば良い比例特性が得られる。

これらの寸法の最適設計はCAE解析を用いて評価した(Fig.5)。

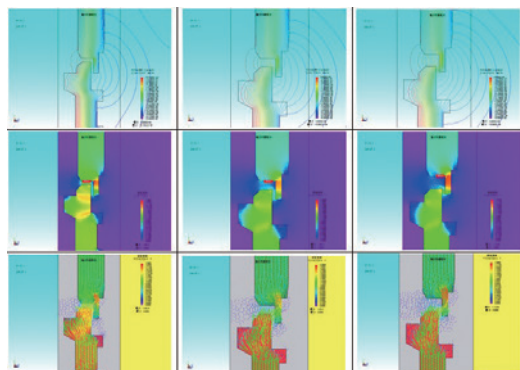


Fig. 5 磁気特性のCAE 解析

CAE解析を用いて最適設計を行うと、ヒステリシスに影響しない範囲で、吸引力特性においてストロークを変化させてもコイルの吸引力の変化が少ない領域が0.3mm⇒0.8mmと大幅に拡張される(Fig.6)。これにより、バネ力とのバランスにのみ依存する範囲が広くなり、比例特性が非常に安定し直線性の良い比例弁となる。

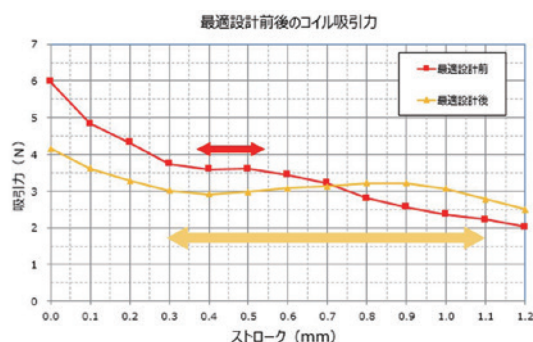


Fig. 6 コイル吸引力特性のCAE 解析

直線性を良くする方式として、可動鉄心を可動側にする方式と異なり、コイルを可動側にする方式があり、特長の異なる比例特性が得られる。

コイル可動式は、コイルと磁気回路(磁気が流れる構成部品)の位置関係が相対的に変化しないことにより、一定の荷重を維持しつづけることが可能で、吸引力を安定させることができる。この方式はムービングコイル方式と呼ばれている(Fig.7)。

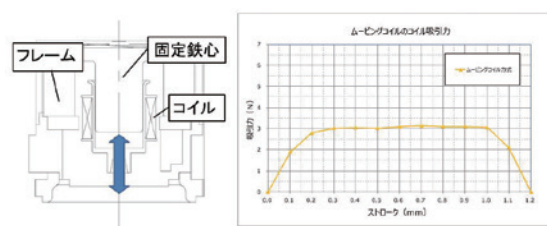


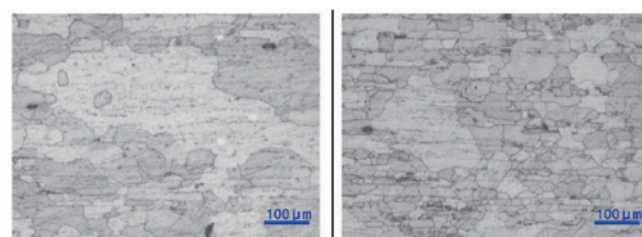
Fig. 7 ムービングコイル方式

2-3 熱処理による磁気ヒステリシスの改善

流量特性のヒステリシスとは、電流を上昇させた時と下降させた時の同電流値での流量の差を示し、流量特性のヒステリシスの大きくなる原因は、磁気ヒステリシスや可動鉄心の摺動摩擦などがある。当社では、磁気ヒステリシスや摩擦を低減させる方法として磁気材料の熱処理技術、磁気回路の設計技術、摩擦力軽減のためのウェアリングを搭載した可動鉄心などを採用し、ヒステリシスが少ない製品を実現している。

Fig. 8は、熱処理技術を用いて処理前後の磁性材料の組織を観察した結果である。加工後の材料は金属組織の大きさがばらついているため、磁気特性が部分的に変化し本来の材料特性を活かすことができていない。加工後の材料に最適な条件で熱処理を行うことで材料の組織の大きさがほぼ均一になり、保磁力が小さくなり、磁気ヒステリシスが低減につながっている。

なお、熱処理には炉の温度勾配や処理時間、処理後の冷却時間などが大きく関係するため、当社独自の熱処理条件となっている。



加工後 熱処理後
Fig. 8 材料の熱処理前後の組織変化

熱処理前後で磁気特性を測定した結果がFig. 9である。磁気特性は磁界の強さHと磁束密度Bで表されるグラフで評価し、B-Hヒステリシスカーブと呼ばれる。同じ磁界をかけた場合、熱処理後は処理前と比較し磁束密度が大きくなっているのがわかる。磁気ヒステリシスは線が囲む領域が小さいほど小さい。流量特性のヒステリシスは磁気ヒステリシスに依存するため磁気ヒステリシスが小さくなることで流量特性が安定する。また、磁束密度が大きくなることで吸引力が大きくなり、コイルに流す電流を少なくすることができ、省エネにもつながる。

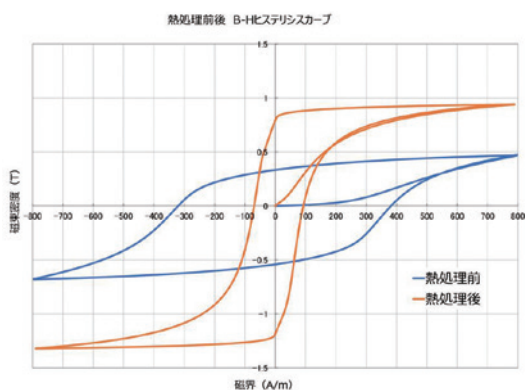


Fig. 9 熱処理前後のB-H 特性

2-4 センサを用いた電子制御との融合

気体用流量コントローララピフロー®FCMシリーズ (Fig.10) は、前述の電磁式の比例制御弁を搭載した小形・軽量・高速制御を実現する製品である。電磁式の比例制御弁と流量センサを内蔵し、流量の目標値に対しセンサからの信号をフィードバックしてコントロールできる。機械設計だけでは解決できないヒステリシスの問題をコントローラ側のソフト制御で抑え安定させ、フィードバックをしない場合は流量精度±10%、繰り返し精度±3%に対し、フィードバック制御することで流量精度±3%、繰り返し精度±1%を実現している (Fig.11)。



Fig. 10 流量コントローララピフロー®FCMシリーズ

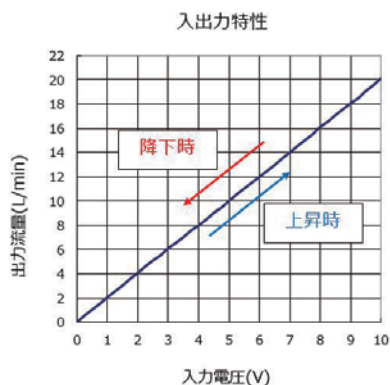


Fig. 11 FCM 入出力特性

また、FCMに搭載している流量センサは当社独自構造で内製化している白金薄膜のMEMSセンサであり、超高速応答性を実現しているため、圧力変動などの外乱が入った場合でも高速フィードバックすることで比例制御弁を作動させ1秒以内に流量を安定させることができています (Fig.12)。

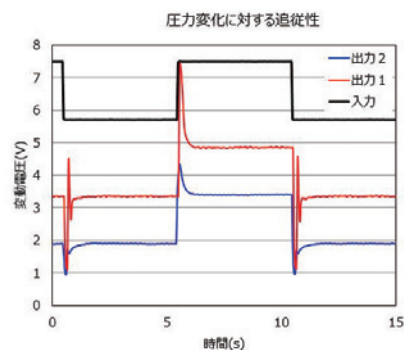


Fig. 12 圧力変化に対する追従性

3 その他専用弁

今回紹介した技術を応用しCKD技報Vol.6にて紹介した非接触サーボバルブ (Fig.13) や電動円筒式バルブ (Fig.14) といった異なる方式での比例制御弁も開発しており、当社の比例制御技術の基盤を強固なものにしている。



Fig. 13 非接触サーボバルブ

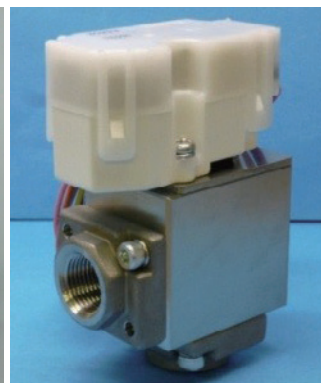


Fig. 14 電動円筒式バルブ

4 おわりに

弁の単純な開閉のみでは難しい比例制御を実現することにより、必要な箇所に必要な量を供給することができるようになる。最適設計を活かし、有限な資源や希少価値のある流体、高精度な流体を制御する場面が今後増えてくる。当社は、FAトータルサプライヤーとして産業基盤を構築し、手動で行ってきた調整作業を比例制御技術の活用などで自動化に貢献していく。さらには、ネットワーク通信、遠隔操作、最適制御など、省エネ、省資源、地球にやさしい製品の開発につなげ持続可能な社会を実現していく。

執筆者プロフィール



HOANG XUAN HAI DUC

機器事業本部

Components Business Division



サーボゲイン自動調整システム“NiEAT”

Automatic Servo Gain Adjustment System, “NiEAT”

竹原 良太 Ryota Takehara 川崎 裕一郎 Yuichiro Kawasaki 川原 崇史 Takafumi Kawahara

当社は創業以来、市場の高い要求に応えるべくサーボ制御の性能を磨いてきた。さらにDDモータを製品化したことにより、DDモータが機械の駆動源として減速機などの中間機構を介さず直接組み込まれるようになり、DDモータとそれを制御するサーボ制御の性能が機械の性能に大きく影響するようになった。

サーボ制御の性能を左右する機能の一つとしてゲイン調整がある。ゲイン調整とはDDモータの応答性を調整する機能である。DDモータが組み込まれる機械に合わせてゲイン調整を行うことにより、機械の性能を最大限に発揮することができる。当社従業員は高度なゲイン調整技術を有しており、これにより世界でも高い性能が求められる機械への対応を可能にしてきた。その反面、ゲイン調整技術を会得するには時間がかかるという問題があり、対応が求められている。

Since our founding, CKD Nikki Denso has been refining the performance of the servo control to meet the high demands of the market. Furthermore, with the commercialization of DD motors, DD motors are now directly integrated into machines as a drive source without intermediate mechanisms such as reduction gears, and the performance of DD motors and the servo control that controls them has come to greatly affect the performance of machines.

Gain adjustment is one of the functions that affect the performance of servo control. Gain adjustment is a function that adjusts the responsiveness of the DD motor. By adjusting the gain to match the machine in which the DD motor is integrated, the performance of the machine can be maximized. Since our employees are highly skilled in the gain adjustment technology, we have been able to handle machines in the world that require high performances. However, there is one problem that needs to be addressed: it takes time to be skillful in the gain adjustment technology.

1 はじめに

機械には多くの種類のサーボモータがその駆動源として組み込まれている。当社では、創業当初から汎用的な回転型のACサーボモータとそれを制御するサーボドライバを製品化している(Fig.1)。そして、ACサーボモータに適したゲイン調整を自動化する機能としてオートチューニング機能を実装している。



Fig. 1 ACサーボモータ

その後、DDモータを製品化した際に、ACサーボモータのオートチューニングをDDモータに適用した(Fig.2)。しかし、DDモータはACサーボモータに比べて要求される性能が高く、オートチューニングを実施した後にマニュアルでゲイン調整を実施し、それに

り求められる性能を満足させてきた。



Fig. 2 DDモータ

マニュアルでゲイン調整をするには、ゲイン調整の技術以外にも当社のDDモータとサーボ制御の知識に加え、機械の機構知識も必要となり、技術及び知識を習得するために多くの時間がかかっている。

本稿では、これらの課題を解決するために開発したサーボゲイン自動調整システム「NiEAT」について述べる。

2 NiEATの名前の由来

本システムの名前である「NiEAT」は、「Nikkidenso」[Engineering]「Auto Tuning」の頭文字で構成されている。

3 NiEATの詳細

NiEATの調整手順をFig. 3に示す。

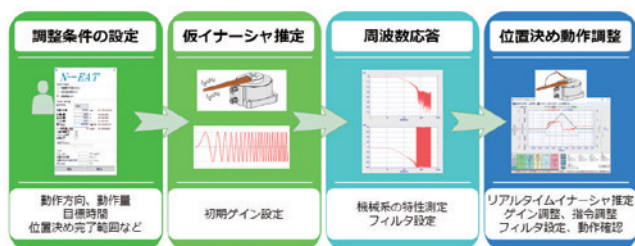


Fig. 3 NiEATの調整手順

NiEATは調整条件の設定後、開始ボタンをクリックするだけで、調整条件を満たす調整を自動で行う。

3-1 調整条件の設定

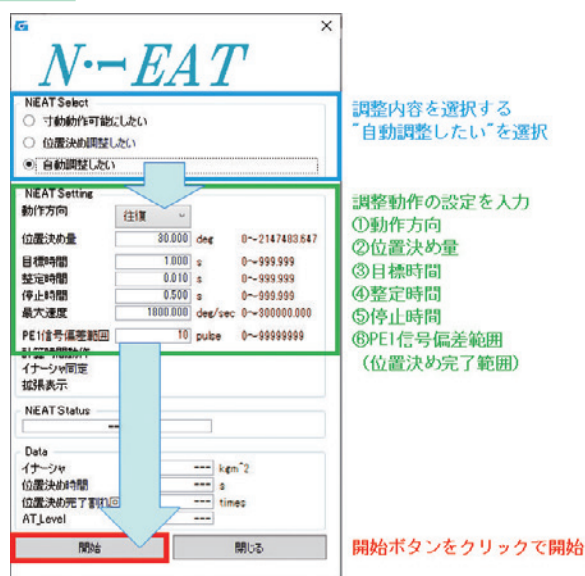


Fig. 4 調整条件の設定画面

NiEATを実行するにはFig.4の①動作方向、②位置決め量、③目標時間、④整定時間、⑤停止時間、⑥PE1信号偏差範囲(位置決め完了範囲)の項目を設定する。

3-2 仮イナーシャ推定

調整を行う上でモータに取り付けられたイナーシャ(慣性モーメント)を推定することは重要であり、正しいイナーシャを推定できない場合は、最適なゲイン調整が行えない。

現行のオートチューニングは速度指令によりイナーシャの推定を行っているため、推定精度は高いがゲインの影響を受ける。そのため、ゲインが合わない場合モータが暴走する危険性があった。

NiEATの仮イナーシャ推定では、この課題を解決するため、トルク指令を使用しゲインの影響を受けない方法とした。ただし、ゲインの影響を受けない反面、イナー

シャの推定精度が現行のオートチューニングより低くなってしまったため、仮イナーシャ推定としている。

なお、正しいイナーシャへの補正は3-4節にて行う。

仮イナーシャ推定はFig. 5のように周波数を変動させながらトルク指令を入力し、実トルク指令と速度フィードバックよりイナーシャの推定を行う。

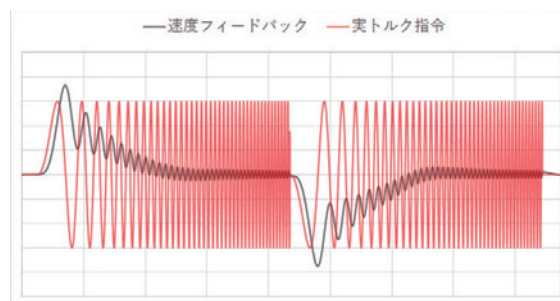


Fig. 5 仮イナーシャ推定の動作波形

仮イナーシャ推定処理の流れをFig. 6に示す。



Fig. 6 仮イナーシャ推定処理の流れ

はじめにイナーシャ推定動作を実行しイナーシャ値を推定する。推定されたイナーシャ値が安定するまで動作条件の設定を変更しながら繰り返し実行する。

イナーシャ値が安定したところで、イナーシャ値をもとにゲイン関係のパラメータを変更する。

以上で仮イナーシャ推定を終了する。

3-3 周波数応答によるフィルタ設定の自動化

作業者がゲイン調整を行う上で、共振の発生が調整の難易度を上げる一つの要因となっている。

この要因を解消するため、NiEATでは共振点の確認とフィルタ設定を周波数応答により自動化した。

周波数応答によるフィルタ設定処理の流れをFig. 7に示す。



Fig. 7 周波数応答によるフィルタ設定処理の流れ

周波数応答により周波数特性を測定し、共振点の確認を行う。共振点がある場合は共振周波数にノッチフィルタ(帯域除去フィルタ)を設定して、共振を除去する。

共振の確認は主に利得の値を使用して行う(Fig. 8)。

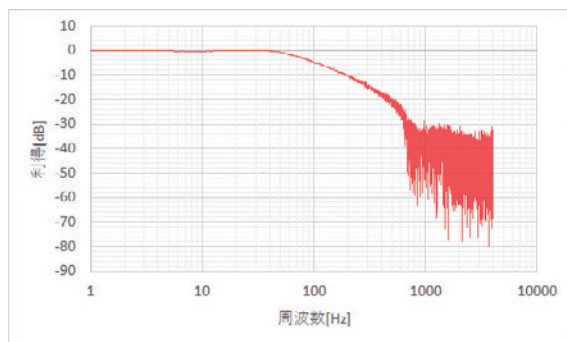


Fig. 8 周波数応答の利得線図

共振が発生している場合は、共振周波数の利得が0dBを大きく超えるため、この点に着目しノッチフィルタを設定する。また、同様にノッチフィルタ設定後の有効性の確認にも利得の値を使用している。

ノッチフィルタ設定例をFig. 9に示す。

共振が発生していた共振周波数の1000Hz付近へノッチフィルタを設定したことで、利得が0dB以下へ下がり、共振が抑制された。

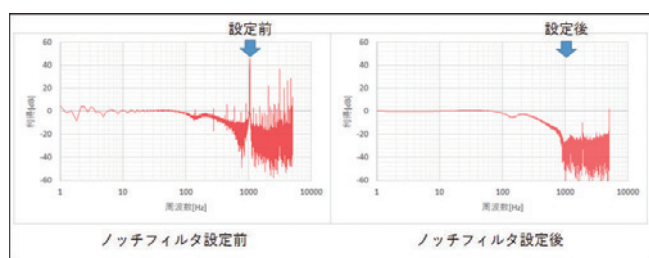


Fig. 9 ノッチフィルタ設定例

ゲインが低い状態で共振が発生していなくても、ゲインを上げると共振し始めることがある。

そのためゲインを上げながら周波数特性の測定を繰り返し、共振が発生した場合はノッチフィルタの設定を行う。

ゲインを上げても共振が発生しないことが確認できた時点で、周波数応答によるフィルタ設定処理を終了する。

3-4 位置決め動作調整

位置決め動作で目標時間を達成させるために、モータを動作させながら位置決め動作調整をFig. 10の流れで行う。



Fig. 10 位置決め動作調整の流れ

位置決め動作調整にはテスト運転の機能を使用する。テスト運転とは位置決め動作を繰り返し実行する

機能である。3-1節から目標時間を達成できるようにテスト運転の動作指令を調整し、開始する。

仮のイナーシャ値を補正するため、位置決め動作中にイナーシャをリアルタイムで推定する。その値が正規の値であるとし、それをもとにゲイン関係のパラメータを変更する。

この状態で位置決め時間が目標時間を達成できない場合、ゲイン調整をすることで徐々に位置決め時間を短縮する。この過程で共振が発生した場合、自動でノッチフィルタを設定し、調整を継続する(Fig. 11)。

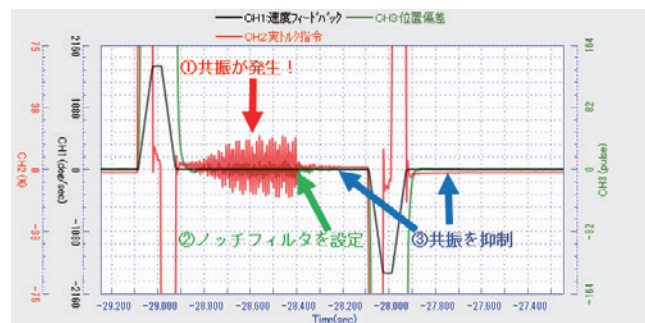


Fig. 11 動作中にノッチフィルタを設定

ゲイン調整により目標時間を達成したことが確認できれば位置決め動作調整を終了し、NIEATは完了する。

4 安全対策機能

NIEATは以下のような安全対策機能を備えている。

4-1 機械干涉確認

3-4節位置決め動作調整の実行前に機械干涉がないことを自動で確認する。

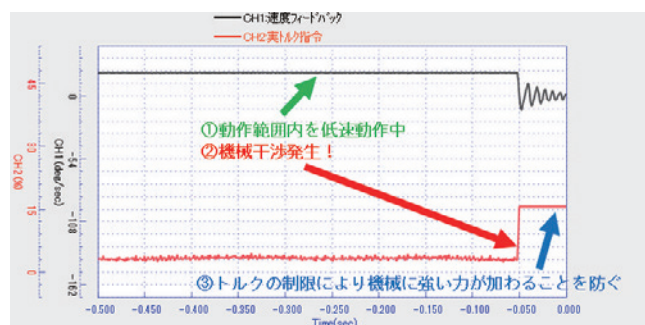


Fig. 12 機械干涉時の波形

位置決め動作の範囲内を低速でモータを動作させながら、機械干涉を確認する(Fig. 12①)。

機械干涉確認の動作中は最大トルクを一時的に制限することで、Fig. 12②で機械干涉が発生した場合でも機械に強い力が加えられないように保護を行う(Fig. 12③)。その後、即座にモータの動作を停止する。

4-2 モータの過負荷保護

モータが過負荷となることを予防するため、3-4節の実行時に制限を加える。

NiEATの開始時はイナーシャが不明であり、調整条件の設定次第ではモータの能力を超える動作になる可能性がある。

実運用においてはモータが過負荷にならないように、余裕をもった動作とする必要があるため、以下の制限を加える。

- ・不適切な調整条件の設定である場合は調整動作を中断する、もしくは開始しない
- ・モータ負荷率が一定値を超えた場合は調整動作を中断する

4-3 NiEAT実行中のUSB通信切断

NiEATはパソコンのソフトを用いており、USBの通信が切断されたときは調整を中断する。

5 NiEATの調整結果

NiEATの調整結果を2つ紹介する。

5-1 実験機械1

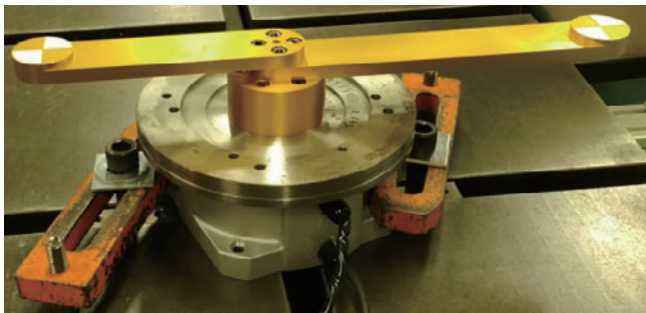


Fig. 13 実験機械1の外観

Fig. 13に示すアームが2つ取り付けられた機械でNiEATを実行した。イナーシャ比は約32倍であり、位置決め量を180度、目標時間を0.180秒に設定した。NiEATによる調整に要した時間はおおよそ3分であった。

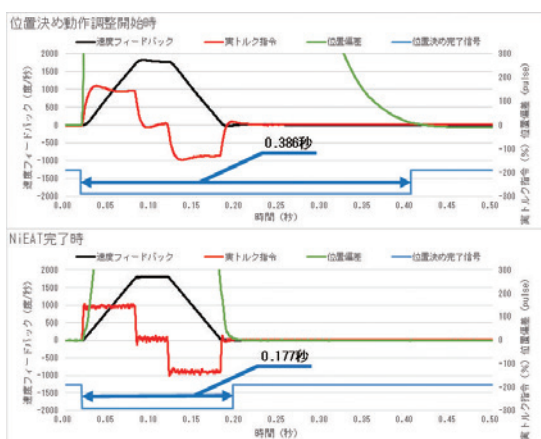


Fig. 14 実験機械1の調整前後の位置決め時間

位置決め時間はFig. 14のように調整開始時には0.386秒であったが、調整完了時には0.177秒となり、自動で目標時間の0.180秒に収まるように調整された。

Fig. 15に実験機械1の調整中のデータを示す。

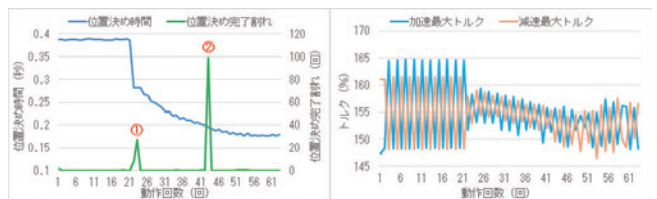


Fig. 15 実験機械1の調整中のデータ

Fig. 15で位置決め完了割れの回数が途中で増加している箇所がある。Fig. 15①はイナーシャ値の更新によりゲイン関係のパラメータが変化したためである。Fig. 15②はゲイン調整により共振が発生したことで、位置決め完了信号がチャタリング状態となったためである。共振が途中で発生しても、自動でノッチフィルタを設定することで調整を継続し、目標時間を達成した。

なお、位置決め完了割れの回数とは位置決め動作の指令完了後に位置決め完了信号がONからOFFに切り替わった回数である。

5-2 実験機械2

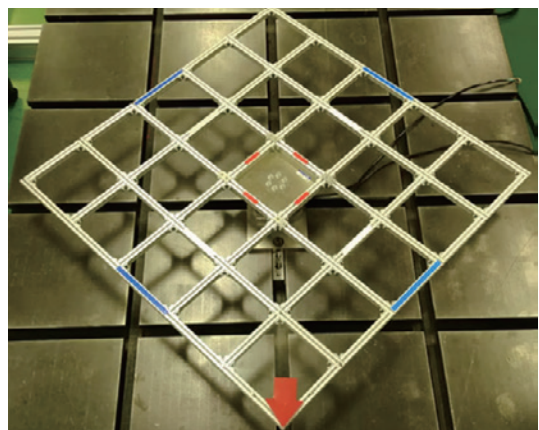


Fig. 16 実験機械2の外観

Fig. 16に示す格子状のイナーシャが取り付けられた機械でNiEATを実行した。イナーシャ比は約1000倍であり、位置決め量を90度、目標時間を0.800秒に設定した。NiEATによる調整に要した時間はおおよそ6分30秒であった。

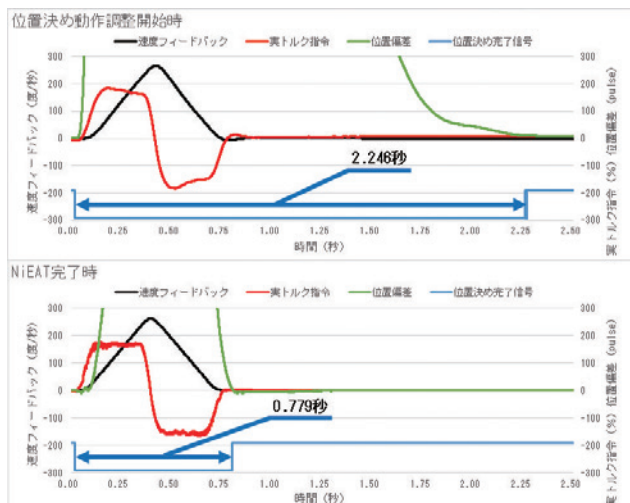


Fig. 17 実験機械2の調整前後の位置決め時間

位置決め時間はFig. 17のように調整開始時には2.246秒であったが、調整完了時には0.779秒となり、自動で目標時間の0.800秒に収まるように調整された。

Fig. 18に実験機械2の調整中のデータを示す。

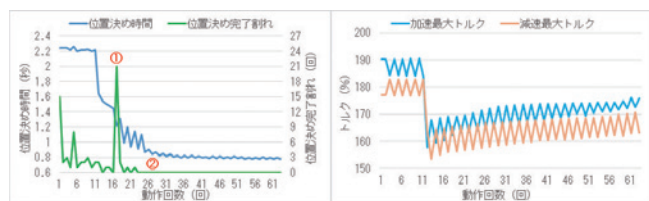


Fig. 18 実験機械2の調整中のデータ

実験機械2においてもイナーシャ値の更新によるゲイン関係のパラメータ変化で位置決め完了割れ回数が一時的に増加した(Fig. 18①)。しかし、調整が進むにつれその回数は減少する傾向にあり、調整完了時には位置決め完了信号が安定して出力されている(Fig. 18②)。

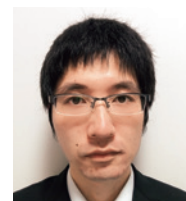
執筆者プロフィール



竹原 良太 Ryota Takehara
CKD日機電装（株）
CKD Nikki Denso Co., Ltd.



川崎 裕一郎 Yuichiro Kawasaki
CKD日機電装（株）
CKD Nikki Denso Co., Ltd.



川原 崇史 Takafumi Kawahara
CKD日機電装（株）
CKD Nikki Denso Co., Ltd.

6 NiEATの完成による効果

NiEATにより今までマニュアルで行っていたゲイン調整よりも調整時間を短縮できることがわかっている。また、NiEATを使用することで持続可能な社会の実現に向けて次に示す効果が期待できる。

- ①最適なゲイン調整が短時間でできることによる、顧客機械の最適性能の実現と作業効率アップ、及び使用電力の低減
- ②当社従業員がゲイン調整のために顧客企業へ訪問することが減ることによるCO₂の削減。またオンラインでのサポートが可能となることによるデジタル化の促進

7 おわりに

NiEATによりサーボゲインの調整を自動化するシステムを実現した。今後もシステムの改善を継続し、ゲイン調整の性能向上はもとより、「より簡単で使いやすい」を追求したシステムを目指す。また、ニューノーマルな時代に向けて、ゲイン調整のオンラインでのサポートやDXの活用も推進していく。持続可能な社会の実現に向けて、当社の制御技術で貢献できることがあれば、前向きに取り組んでいく。



全体最適への生産性改善活動

Productivity Improvement Activities for Total Optimization

青木 俊樹 Toshiki Aoki

近年、少子高齢化による労働人口減少が問題となっており、企業は、従業員一人当たりの労働生産性を向上させることが急務である。当社は独自の生産方式であるCPSを運用し、その運用の中で「受注から出荷まで」の全体最適な改善に取り組んでいる。その取り組みの一つとして、半導体製造装置に使用される製品を対象に改善タスクを発足した。本稿ではそのタスクでの現状把握から対策までの内容を抜粋して紹介する。

In recent years, the decline of the labor force due to the fall in birthrate and an aging population have created an urgent problem for companies to improve labor productivity per employee. We are operating our own production system, CPS, and are working to improve the overall optimization of the "order to shipment" process. As one of these efforts, we launched an improvement task for components used in the semiconductor manufacturing equipment. This paper introduces excerpts to understand the current task activities to countermeasures taken.

1 はじめに

近年、我が国では少子高齢化による労働人口減少が問題となっている。政府は「働き方改革」を推奨し、企業は従業員一人当たりの労働生産性の向上に早急に取り組まなければならない。当社では、受注都度生産と計画生産を併用した独自の生産方式「CPS(CKD Production System)」を運用している。この生産方式をベースに、「しくみ・買い・造り・運び」の4つの視点で「受注から出荷まで」の全体最適を目指した改善を「CPS推進活動」と称し、日々改善に取り組んでいる。春日井工場では半導体製造装置に搭載されるプロセスガス用エアオペレイトバルブ(Fig. 1)の製造をしており、この製品を対象に「CPS推進活動」として改善タスクを立ち上げた。



Fig. 1 プロセスガス用エアオペレイトバルブ

2 活動の背景と目的

2-1 改善タスクの発足

タスクを発足するにあたり、生産技術・生産管理・調

達・加工現場・組立現場・品質保証といった受注から出荷に関わるすべての部門から若手社員1名を選出した。当社における改善活動は、利益を上げ会社を発展させる目的もあるが、若手社員の人財育成も兼ねている。今回は各部門の若手社員で半年間改善活動に取り組んだ。

2-2 改善対象製品

今回対象とした製品は、半導体製造装置に搭載されるエアオペレイトバルブの中でも、今後の受注増加が見込まれる製品を選定した。この製品は短納期対応が必要であるため、受注都度生産ではユーザーの要求納期に対応できない。その対策として、営業所にて在庫を持つことで短納期に対応している。この在庫の調整は営業部門と生産管理部門で決定しており、適正な在庫を維持するために「受注が1か月に1回まとまって入る」といった特徴を持った運用をしている。

2-3 現状把握

現状把握には、「物と情報の流れ図」と「KPI(重要業績評価指標)」の2つのツールを使用し分析した。「物と情報の流れ図」とは名前にある通り、生産部品などの「物」の流れと指図といった「情報」の流れを1枚の図にしたもので、ひとめで「物」の動きや「情報」の動きを把握することができる。この「物と情報の流れ図」を作成し、「しくみ・造り・買い・運び」の4つの視点で生産工程をタスクメンバーで巡視し、問題点を抽出した。そして、抽出した問題を「物と情報の流れ図」に書き込むことで、どこに問題が集中しているかを洗い出した。「KPI」ではQCDの視点から受注から出荷に関わる工程の「不良率・生産性・納期遵守率」を評価・判定した。

①物と情報の流れ図からわかったこと

「物と情報の流れ図」(Fig. 2)に書き込んだ問題の中で、特に目立ったのが「欠品」であった。4つの視点のうち、「造り」では社内加工品の欠品、「買い」では購買品の欠品の2つが特出すべき問題としてあがった。この欠品の発生は、当然のように製品出荷納期への影響を及ぼすことになる。さらには欠品への対応、納期督促、部品補充など、生産管理や調達部門において、通常業務以外のムダな工数が発生するといった悪循環に陥っていた。

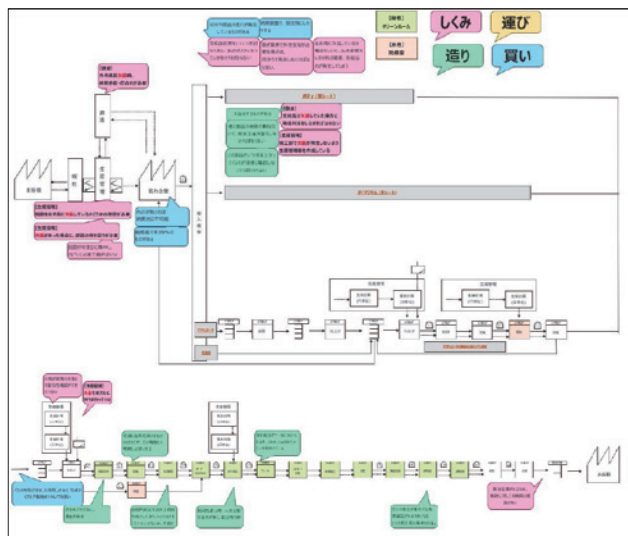


Fig. 2 物と情報の流れ図

②KPIからわかったこと

加工現場や組立現場の「不良率・生産性」、生産管理部門における「初期納期遵守率」を評価したところ、組立現場における「不良率・生産性」が目標値に対して未達であることがわかった。

3 問題の抽出と対策

3-1 欠品の要因分析と対策

【要因分析】

①社内加工品

はじめに、欠品している社内加工品の計画数量と実績数量を比較した。すると、計画数量に対して多く生産されている部品と、少ない部品があり、後者にて欠品が発生している状態であった。調査した結果、現場には「同じ納期の指図が1か月分まとまって入って」きていることがわかった。これは2-2項で前述した、最終製品の「受注が1か月に1回まとまって入る」ことにより、下位部品である社内加工品も同様にまとまった納期で展開されていることが原因であった。この指図の運用では、加工現場はどのような順番で加工しても納期さえ守れば良いことになる。そのため、加工現場は効率を優

先し、数が多いものを連続して生産し、数が少ないものは後回しに生産するなどしていた。しかし、後工程である組立現場では、1か月の納期分を日当たりに分散して生産しているため、タイムリーな部品供給が必要であった。結果、加工現場で指図納期通り生産しても、組立現場では欠品が発生する状況となっていた(Fig. 3)。

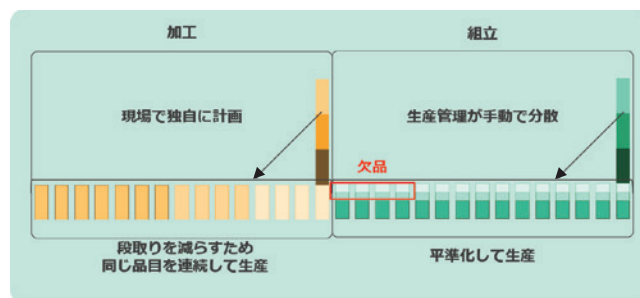


Fig. 3 欠品の原因

②購買品

購買品で欠品が発生している部品は、生産リードタイムが約1か月で設定されているが、協力企業ではCKDの要求納期や市況の変化に追従できるよう、CKDからの先行情報をもとに2か月先を見据え生産体制の準備をしている。しかし、実際には、先行情報での数量に対して、発注数が2倍3倍になることがあり、協力企業では増加した発注数に対応ができなくなっていた。先行情報と実際の発注数に、なぜ乖離が発生しているのかをさらに分析したところ、協力企業からの納入実績をもとに予測した数量を先行情報として使用していたためであるとわかった。これでは、CKDの要求納期や市況の変化に追従するための先行情報が意味のないものになっており、これが原因で「先行情報と実際の発注数の乖離」が発生し、納期遅れによる欠品が発生していた。

【対策】

①生産指示の最適化

欠品解決には加工現場に対する「同じ納期の指図が1か月分まとまって入る」とことと協力企業に対する「先行情報と実際の発注数の乖離」の2点への対策が必要だとわかった。この2点に共通するのは、生産指示の方法である。私たちは、前述した2-2項「受注が1か月に1回まとまって入る」ことに目を付け、「計画生産」を今回の製品に適用した。2018年からの新基幹システムの導入で使用可能となった「計画生産」は生産管理部門が月単位での生産数をインプットすると自動的に「日ごと」の生産指示が可能となる(Fig. 4)。結果、タイムリーな納期の指図に分散されることとなった。

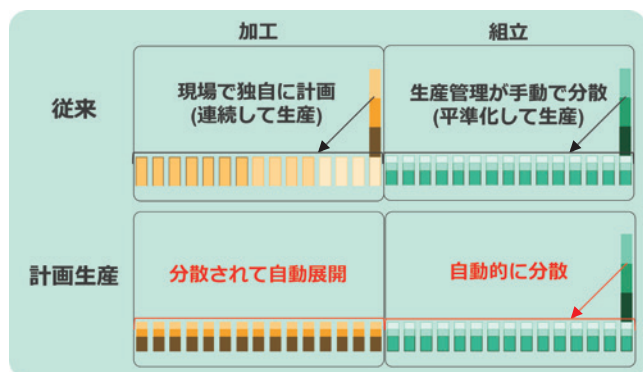


Fig. 4 計画生産

②指図納期を日ごとに管理

前項の生産指示の最適化により、加工現場への「同じ納期の指図が1か月分まとまって」入ってきたものが、分散され「日ごと」の必要な納期で生産指示が出るようになった。これにより、日当たりの必要な部品が見える化され、より緻密な納期管理ができるようになった。その結果、課題であった計画数量と実績数量に乖離がなくなり、欠品を大幅に減らすことができた。

③先行情報を実際の発注数に変更

前項の「計画生産」を導入したことにより、先行情報の数量を実際の発注数として提示することが可能となった。従来、協力企業へ提示していた先行情報は、過去の生産実績から予測したものであり、市況の変化に対応できていなかった。「計画生産」導入後は、「計画生産」で実際に発注する数量を、そのまま先行情報として提示することが可能となった(Fig.5)。結果、「先行情報と実際の発注数の乖離」をなくすることができ、納期遅れの減少及び欠品を減らすことができた。

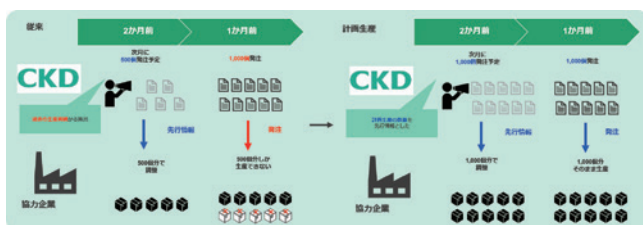


Fig. 5 先行情報を実際の発注数に

3-2 生産性・不良率の分析と対策

【要因分析】

・アクチュエータラインにおける不良

KPI分析により、生産性・不良率が未達であったラインは、アクチュエータ組立であるとわかった。アクチュエータとは、エアオペレートバルブの弁体駆動部に使用されている中間組立品である。不

良内容としては円柱状のアクチュエータ外表面にラベルを自動で1周させ貼り付ける工程において、ラベルのつなぎ目が上下にずれているというものであった。このずれの許容値は0.5mmであり、目視検査で判定していたため、作業者によって判断にばらつきが発生し、不良品を後工程に流出させてしまっていた。また、特徴的なのは不良品が連続して発生していることであった。これは新人作業者が段取りを変更し、OKだと判断して生産していたものが、後工程の検査でNGと判断されたためである。また、この不良品の手直しとして、ラベルを貼り直す、ムダな工数が発生していた(Fig. 6)。

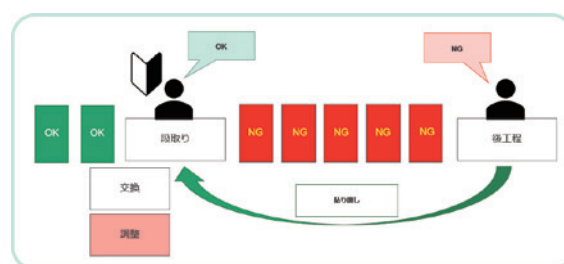


Fig. 6 不良発生状況

【対策】

・画像処理ビジュアルプログラミングツール「Facilea」の活用

アクチュエータ組立ラインの不良対策として、目視による判定にばらつきがあることに目を付け、当社の製品である画像処理ビジュアルプログラミングツール「Facilea」を使用することにより、機械的な判定へと変更した(Fig. 7)。「Facilea」のコンセプトとして「初めてでも20分！即検査」とあるように、画像処理のスキルがない人でも簡単に画像処理機器を導入することができる。今回実際に導入した担当者も画像処理機器を扱うのは初めてであったが、テスト期間を含め1か月足らずで量産ラインに組み込むことができた。全数目視検査していたものを機械化したことにより、段取り後に連続して発生していた不良がなくなり、さらには貼り直し工数の削減にもつながり、生産性も上げることができた。「Facilea」は1か月間の無料サンプル貸出も実施しているため、ぜひ一度使用してみてほしい。

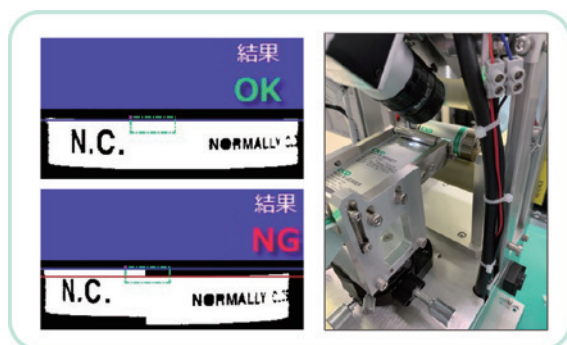


Fig. 7 「Facilea」の導入

4 活動の成果

本改善を通して、生産指示の最適化や欠品対策を実施したことにより、生産管理や調達部門にて、その対応にかかるムダ工数を半分以上減少させることができた。また、検査工程の機械化といった不良低減などの現場改善で、生産性も上げることができた。結果として、今回の改善が会社の利益に大きく貢献できたといえるだろう。

5 おわりに

当社での生産性改善活動について事例を交え述べてきたが、企業が生産性を改善し、利益を上げていくことは永遠の課題である。個人や部門単位での改善の積み重ねも大事だが、本稿のような、「受注から出荷まで」というすべての工程を一つの塊として俯瞰してみるとにより、大きな改善につながる。「受注から出荷まで」とはいわば、顧客で始まり顧客で終わることであり、顧客満足につながる改善ともいえる。この考えのもと、部門単位での部分最適な改善のみならず、顧客を軸とした全体最適な改善を定期的を実施していき、社会・企業に貢献できるよう、愚直に労働生産性の向上に取り組んでいく。

執筆者プロフィール



青木 俊樹 Toshiki Aoki
機器事業本部
Components Business Division

■ 会社概要

設 立	1943年4月
資 本 金	110億16百万円
株 式 上 場	東京証券取引所、名古屋証券取引所第一部
事 業 内 容	自動機械装置、駆動機器、空気圧制御機器、 空気圧関連機器、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.8

発 行	2022年 1 月 1 日
発行責任者	宮田 章
監修責任者	山口 祐介 水野 純一 佐藤 正義 野田 尚彦
発行事務局	諫山 洋子

印 刷 所	株式会社アイワット
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。



CKD