

azbil

アズビル株式会社

〒100-6419
東京都千代田区丸の内2-7-3 東京ビル
<http://www.azbil.com/jp/>



azbilグループは環境に配慮した取組みを推進しています。

送付の取消し/変更 ▶



アンケート ▶



azbil

Technical Review

2021年5月発行号

azbilグループ技術研究報告書 azbilテクニカルレビュー

特集：新しい働き方を支援する「人を中心としたオートメーション」



表紙について

地球を守る地磁気と太陽からやって来たプラズマの「流れ」

オーロラ

北極圏の街に行くと、赤や青、緑やピンクの色とりどりの光がカーテンのように夜空にたなびく、美しいオーロラを見ることができます。その光景はとても幻想的で、一度はこの目で見てみたいと思っている人も多いでしょう。

オーロラを観測できるかどうかは天候などに左右されることがあり、地上から観測する私たちには、出現したり消失したりしているように見えます。しかし、オーロラは常に地球上に出現し続けています。

宇宙から地球を眺めると、北極圏と南極圏でリング状のオーロラが光っている様子が見られます。オーロラが現れるのは、北緯・南緯ともに65～70度付近で、この領域はオーロラベルトと呼ばれています。この領域に暮らす人々は、天気がよければ毎日でもオーロラを見られます。

なぜ、オーロラはオーロラベルトに現れるのでしょうか。オーロラをつくっているのは、プラズマと呼ばれる電気を帯びた粒子と地球の大気です。太陽からやってきたプラズマが上空で大気に

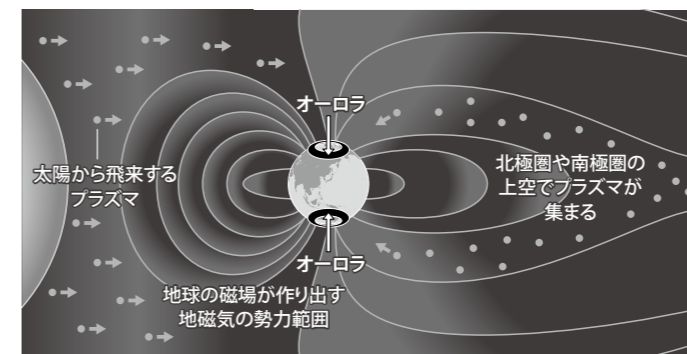
ぶつかるとき、赤、青、緑、ピンクなどの光を放出します。

でもそれなら、プラズマが地球のどこに当たってもオーロラになる気がします。なぜ、北極圏と南極圏の決まった場所にしかオーロラが現れないのか。その謎を解く手がかりは、地球の中心部にありました。実は、地球の中心部は巨大な磁石の役割をしていて、地球のまわりに地磁気と呼ばれる磁場をつくっているのです。

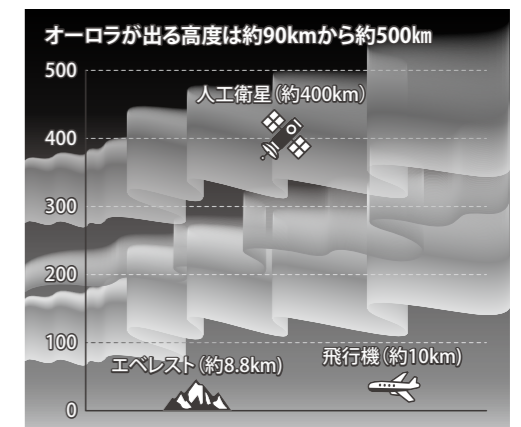
地磁気があるおかげで、プラズマが直接、地磁気の勢力範囲に入ることはありません。地磁気がなければプラズマが地球を直撃して、大気をはぎ取ってしまう可能性があるのですが、地球が現在の姿を保っていられるのは、地磁気のおかげなのです。

地球の周辺を通り過ぎるとき、プラズマの一部が地磁気の勢力範囲の中にとりこまれ、北極圏や南極圏の上空までやってきます。このとき、プラズマが大気にぶつかると光が発生し、オーロラが出現します。オーロラは地球を守ってくれる地磁気の一部を、目に見える形で表しているのです。

監修：三好由純(名古屋大学宇宙地球環境研究所 教授) 文：荒松良孝 画像提供：竹本宗一郎



地磁気があることで、太陽から飛来するプラズマは地球に直撃することはありません。しかし、プラズマの一部が地磁気の勢力範囲に取りこまれることで、北極圏や南極圏の上空で大気とぶつかり光るため、オーロラとして見えます。



プラズマが大気中の酸素とぶつかると赤や緑、窒素とぶつかると青やピンクに光ります。ぶつかるものの種類で色が変わり、高度も発光する色に影響するため、様々な色のオーロラになります。

Contents

巻頭言：持続可能社会とオートメーション	1
(財)建築環境・省エネルギー機構 理事長	村上 周三

「新しい働き方を支援する“人を中心としたオートメーション”」特集にあたり	2
アズビル株式会社 代表取締役社長兼執行役員社長	山本 清博

特集論文

病院におけるパンデミック対応空調システム	3
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	石原 正也 作山 恭一郎

Withコロナ時代にも「安全と安心」を提供する小口径型(150A)定風量ベンチュリーバルブの開発	8
アズビル株式会社 バルブ商品開発部 アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	本間 康正 神出 智之 井坂 威人

全館空調システム きくぱり™のウイルスや細菌への有効性	14
アズビル株式会社 ホームコンフォート本部	石川 尚弘 井口 俊丸 田村 敦

安全・安心なサービスを提供するアズビルのクラウド運用基盤	18
アズビル株式会社 クラウド運用センター アズビル株式会社 IT開発本部 アズビル株式会社 商品サイバーセキュリティ審査室	野間 節 鈴木 唯一 岸 勝 関 英信

ニューノーマルな働き方や業務の変革を支援する 現場でつくる作業記録サービス	23
アズビル株式会社 ITソリューション推進部 アズビル株式会社 IT開発本部	鈴木 丈樹 奥山 剛 尾形 知美 岸 勝

バルブ診断精度向上への取り組みとクラウドサービス提供による新たな業務効率化の実現	30
アズビル株式会社 アドバンスオートメーションカンパニー アズビル株式会社 AIソリューション推進部	山崎 史明 籠浦 守 平尾 耕一郎

一般論文

人を中心とした空調制御の研究	
実オフィスにおける温冷感申告型空調の導入効果検証	36
アズビル株式会社 技術開発本部 アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー 慶應義塾大学大学院 理工学研究科修士課程 慶應義塾大学理工学部 教授 博士(工学)	三浦 真由美 上田 悠 太宰 龍太 清水 悠香 伊香賀 俊治

湿度エレメント小型化によるセンサユニット化技術の開発	43
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	矢野 樹史 杉山 正洋

ネットワーク構成把握技術の開発	48
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	太田 貴彦 神宮 武志

製品紹介

最新のAI画像解析技術を用いた顔認証・温度検知ソリューション	53
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	粒崎 洋一 上田 祐司

アジャスタブル近接センサ 形 H3C	
オートチューニングと余裕度の可視化で調整工数削減と安定稼働に貢献	55
アズビル株式会社 アドバンスオートメーションカンパニー	佐藤 永幸 喜入 信博

Contents

Preface : Automation and a sustainable society	1
President Institute for Building Environment and Energy Conservation	Shuzo Murakami

An introduction to human-centered automation that supports new ways of working	2
Representative Director President and Group Chief Executive Officer	Kiyohiro Yamamoto

Articles on Special Issue

Pandemic-ready airflow control system for hospitals	3
Building Systems Company, Azbil Corporation	Masaya Ishihara Kyoichiro Sakuyama

A small-diameter (DN150) venturi valve for constant air volume that provides safety and security in the coronavirus era	8
Valve Product Development Department, Azbil Corporation Building Systems Company, Azbil Corporation	Yasumasa Homma Tomoyuki Jinde Takehito Isaka

A home central air conditioning system that is effective against viruses and bacteria	14
Home Comfort Headquarters, Azbil Corporation	Naohiro Ishikawa Toshimaru Iguchi Atsushi Tamura

Azbil's cloud operation infrastructure for providing safe and secure services	18
Cloud Operation Center, Azbil Corporation IT Development Headquarters, Azbil Corporation Cyber Security Office, Azbil Corporation	Takashi Noma Tadakazu Suzuki Masaru Kishi Hidenobu Seki

A work-site record-keeping service supporting “new normal” ways of working and business transformation	23
IT Solution Department, Azbil Corporation IT Development Headquarters, Azbil Corporation	Takeki Suzuki Masaru Kishi Tsuyoshi Okuyama Tomomi Ogata

Improving the accuracy of valve diagnosis and facilitating more efficient operation through the provision of cloud services	30
Advanced Automation Company, Azbil Corporation AI Solution Department, Azbil Corporation	Fumiaki Yamasaki Mamoru Kagoura Koichiro Hirao

Articles on Other Subjects

Research on occupant-centric HVAC control: A field study on the effects of introducing HVAC control that is responsive to occupants' thermal sensations	36
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Building Systems Company, Azbil Corporation Graduate student, Graduate School of Science and Technology, Keio University Professor, Faculty of Science and Technology, Keio University, Dr. Engineering	Mayumi Miura Haruka Ueda Ryota Dazai Yuka Shimizu Toshiharu Ikaga

Miniaturization of humidity element leads to advances in sensor unit technology	43
Building Systems Company, Azbil Corporation	Tatsufumi Yano Masahiro Sugiyama

A new technology for visualizing network topologies	48
Building Systems Company, Azbil Corporation	Takahiko Ohta Takeshi Shingu

Product Introduction

Solutions for facial recognition and thermography using the latest AI image analysis technology	53
Building Systems Company, Azbil Corporation	Yoichi Tsubusaki Yuji Ueda

Model H3C adjustable proximity sensor's auto-tuning and visualization of excess gain yields faster adjustment and more reliable operation	55
Advanced Automation Company, Azbil Corporation	Nagayuki Sato Nobuhiro Kiire

巻頭言

持続可能社会とオートメーション

村上 周三
Shuzo Murakami
(財) 建築環境・省エネルギー機構 理事長
President
Institute for Building Environment and Energy Conservation



人類の生産活動の主役が農業、工業、情報と変化するとともに、経済活動のメイン舞台も農地、工場からオフィスへと変化してきた。オートメーションはデジタル技術の支援を受けて、ファクトリーオートメーション、オフィスオートメーションなどの形で上記の生産活動の各分野に導入され、労働環境の改善や生産効率の向上に多大な貢献を果たしてきた。

20世紀の大量生産、大量消費文化の副作用としての地球環境問題の深刻化を受けて、人類は次のパラダイムを探ってきた。その結果として農業社会、工業社会、情報社会の次に、持続可能な開発を目指す社会（以降、持続可能社会）が位置づけられるに至った。本稿では、持続可能社会に向けて、オートメーションの果たすべき役割やそれをもたらす新しい価値創出について述べる。

持続可能社会における産業経済活動を支える原動力として、また産業経済が保全、育成すべき資本として次の6つが指摘されている。

- 1 製造資本
- 2 財務資本
- 3 知的資本
- 4 人的資本
- 5 社会関係資本
- 6 自然資本

20世紀の企業経営は主として1の製造資本と2の財務資本をベースに運営されてきた。したがって当時のオートメーションは、知的資本を活用した製造資本の効率化による財務資本の増加を目指したイノベーションと位置づけられ、この定義が現在も主流として残っている。

アズビルでは創業時から、オートメーション推進の目的の中に、生産効率の向上だけでなく労働環境の改善をもたらす労働者の福祉改善を掲げてきた。これは企業運営で通例留意される前述の3つの資本に加えて、4の人的資本に早くから着目していたということの意味する。オートメーションによる価値創出を一層豊かにするもので高く評価される姿勢である。近年社員のウェルネス重視は持続可能社会における経営戦略の基本的事項となってきたが、アズビルのこの面での実績は先導的である。

今回の特集のテーマは「新しい働き方を支援する“人を中心としたオートメーション”」である。オートメーションに対しては、作る人、働く人、使う人、メンテナンスする人、経営者、自治体、コミュニティなど様々なプレイヤーが参加している。したがって、「人」は「働く人」に限定せず幅広く位置づけることが推奨される。オートメーションはこれらの幅広いプレイヤーを組み込んでデザインされるべきであるという立場に立てば、オートメーションの構成要素に5の社

会関係資本も加わることになる。この立場に立てばオートメーションの推進における社会貢献の視点が一層明確になる。

前述のように、現在の文明のパラダイムは持続可能な社会を目指す運動であると位置づけられ、オートメーションも当然このパラダイムを反映すべきである。したがって、オートメーションを構成する要素に6の自然資本が加わるのは当然のことになる。オートメーションはスタートの段階から省エネルギー、省資源に貢献してきたが、持続可能社会におけるオートメーションには、より幅広く外部不経済の最小化を実現する枠組みを備えることが求められる。このような動きを産業経済において具体化するグローバルな枠組みとして、ESG（環境、社会、ガバナンス）やSDGs（Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標）を指摘することができる。両者とも経済、社会、環境分野への統合的な貢献を目標としており、金融分野、産業分野の指導的理念となっている。今後のオートメーションは、ESGやSDGsの運動を離れては存在しにくいといえることができる。

オートメーションは労働環境改善や経済成長等に多大な貢献を果たしてきた。しかし持続可能性を追求する社会において、オートメーションは従来に勝る幅広い役割を果たすことが求められている。現在進行中のニューノーマルへの移行に際しても、3密回避の計画等においてオートメーションの活躍に期待するところは多い。次世代のオートメーションは前述の1から6の資本の形成に貢献する姿勢を明示的に示し、持続可能社会の構築に貢献できる構造を備えたものにすべきである。次世代のオートメーションの先導的理念がアズビルによって確立され、それらが実践に移されることにより、経済・社会・環境の各分野における幅広い貢献が実現されることを期待する次第である。

略歴:

- 1985年 東京大学 生産技術研究所 教授(～2001年)
- 1999年 デンマーク工科大学 客員教授(～1999年)
- 2001年 慶應義塾大学 理工学部 教授(～2008年)
- 2003年 東京大学 名誉教授
- 2003年 建築環境・省エネルギー機構 理事長(現職)
- 2005年 日本建築学会 会長(～2007年)
- 2008年 建築研究所 理事長(～2012年)
- 2015年 新国立競技場整備事業の技術提案等審査委員会 委員長

「新しい働き方を支援する“人を中心としたオートメーション”」特集にあたり

アズビル株式会社
代表取締役社長兼執行役員社長

山本 清博

今回の特集のテーマは「新しい働き方を支援する“人を中心としたオートメーション”」です。特集に寄せて、ということで、このテーマを選んだ理由についてお話しさせていただきます。

これまで、社会の様々な変化を受けて働き方も多様化してきました。高度成長期に今の働き方の基盤であるオフィスワークが定着し、昭和から平成への移行期には、当時の技術革新（オフィスオートメーションなど）の発展により業務のシステム化、フリーアドレス性の導入等が進みました。また、工場・プラントにおいては人的作業がロボットや各種装置に置き換えられ、人と機械が融合した生産が確立されてきました。

それでは、今回の事象を踏まえて、今求められている「新しい働き方」とはどのようなものでしょうか。場所が変わる、仕事のやり方が変わる、仕事の質が変わるといった観点から考えてみたいと思います。

場所が変わるといった観点では、従来のオフィス、工場、各種施設等の職場に通勤し、その職場での業務から、自宅、サテライトオフィスといった複数の場所での業務へと変化しています。また、仕事のやり方という観点からは、従来の対面での業務からリモートワーク、オンラインでの会議といった、バーチャルな空間でのコミュニケーションへと変化しています。

仕事の質という観点からは、従来の職場での快適、生産性という評価軸に、「安全・安心」という要素が加わりました。従前より、いわゆる入退室管理、あるいは災害時対応という観点からのセキュリティ対策は、着実に実装されていましたが、今後は感染防止という観点から、勤務している空間が「安全・安心」であるかが求められるようになっていきます。

一方、地球温暖化対策という観点からは、日本政府をはじめ、主要各国がカーボンニュートラル社会の実現に向けて舵を切っています。従来の省エネルギー、節電といった取組みを基盤に、再生可能エネルギーのさらなる活用を加えたカーボンニュートラル社会の実現は、新しい働き方を実現する上での、制約条件として解くべき課題となっています。

このように場所や仕事のやり方が変わり、その職場で求められる質が変わる中、人々の安心、快適を実現するためのエネルギー消費を最小限にすることが、今まで以上に求められています。

アズビルのグループ理念である「人を中心としたオートメーション」は、オフィス、病院、研究所といった商業建物、工場・プラント、ガス供給インフラなどのライフラインといった様々な領域において、計測と制御を中心としたオートメーション技術で、人々の安心・快適・達成感を実現するとともに、地球環境に貢献することを目指してきました。人々が働く空間の安心・快適といった「質」と、その質を実現するためのエネルギー、資源などの「量」のバランスを、長年にわたり最適な状態に維持することにより、お客さまの価値創造を進めていただきつつ、地球環境に貢献できる状況を提供することにより、お客さま、社会、社員がともに達成感を共有できることを目指しています。

今回の社会の変化により、今まで以上に「空間の質」と、その質を実現するための「エネルギー・資源の量」のバランスをとることは難しくなってくると考えています。その際、重要なことは、働いている人々に寄り添い、安心・快適といった環境を享受しながら、環境負荷の低減に貢献できる状況を作り出すことであると思います。

azbilグループがこれまで培ってきた技術・製品・施工エンジニアリング・サービスといった様々な要素を用いて、その実現に貢献できると考えています。例えば、工場・プラントにおける制御用バルブ等の製品の状態をオンラインでモニタリングし、異常を予兆し安全に寄与する。同時に状態に応じたメンテナンスを可能とすることにより、現場での働き方の変革を支援することができます。また、オフィスにおける在籍の状態を赤外線アレイセンサで把握し、感染防止といった観点から適切な状態であるかを判断し、換気量を制御することも可能となります。

このようなソリューションを長年にわたり、働き方の変化に合わせて提供できることが、azbilグループの価値であり、これからもお客さまとともに、現場で価値を創り出し続けていきたいと考えています。

「地球は先祖からの相続品ではなく、未来の子供たちからの借りものである」という言い伝えがあります。新しい働き方の支援と、カーボンニュートラル社会への貢献の両立を、長期間にわたり実現することで、お客さまに達成感を感じていただく、そのような企業体であり続けたいと考えています。今回の特集「新しい働き方を支援する“人を中心としたオートメーション”」をご覧いただき、azbilグループの取組みについてのご理解を深めていただければ幸いです。

病院におけるパンデミック対応空調システム

Pandemic-ready airflow control system for hospitals

石原 正也 Masaya Ishihara
作山 恭一郎 Kyoichiro Sakuyama

キーワード
病院, 新型コロナウイルス, 感染症パンデミック, COVID-19, 感染症病室, 風量制御, 室圧制御, ベンチュリー型風量制御バルブ

感染症パンデミック発生時の感染症患者の受入れ要請と空気感染対策に応える解決策として、空調設備のパンデミックモード切替えによって一般病室を臨時の感染症病室に用途変更する手法を紹介する。また、空気感染対策で重要な役割を担う空調設備の風量・室圧制御システムを構築する際の注意点と、アズビルが開発・製造しているベンチュリー型風量制御バルブの特長について述べる。

In response to the need to accept contagious patients while providing countermeasures for airborne infection in a situation such as a pandemic, we propose a method to change the use of a general hospital room to a temporary infectious disease room by switching the air conditioning equipment to “pandemic mode.” We discuss points to note for the construction of an airflow and room pressure control system that can play an important role in airborne infection countermeasures. In addition, we note the features of a venturi air volume control valve developed and manufactured by our company.

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のパンデミックによって、医療従事者を感染リスクから守り、医療体制を維持していくことの社会的な重要性が広く認知されるようになった。感染症パンデミック発生時、病院では感染症患者向けの病床の確保のみならず、空気感染対策の徹底が求められる。感染症パンデミックに備えるために、病院の建築設備をどのような整備をしておけばよいのか、について、本稿では、空気感染対策の要となる空調設備の風量・室圧制御システムについて紹介する。以下に述べる風量・室圧制御システムについて紹介する。以下に述べる風量・室圧制御システムは、約10年前から東京都内の複数の病院で採用されており、今回のCOVID-19パンデミックの際にも活用されている。

2. 感染症パンデミック発生時の課題

2.1 空気感染対策のハード面での要件

感染症パンデミック発生時、病院は多数の感染症患者の受入れ要請と院内感染対策の徹底という2つの課題に直面する。院内感染については、WHO (世界保健機関) が2020年7月9日に「新型コロナウイルスの感染について、空気感染の可能性を排除できない」という見解を示しているように、接触感染・飛沫感染のほかには空気感染についても

万全の対策を行う必要がある。空気感染に関しては、厚生労働省が通知している「感染症指定医療機関の施設基準の手引き」⁽¹⁾に記載されているように、防護具・消毒・動線などのソフト面での対策に加えて、建築的および設備的なハード面での対策も欠かせない。この手引きに記載されている感染症病室(第一種病室)の空調・換気に関するガイドラインを表1に示す。①病原体の封じ込めのため周囲より陰圧にすること、②病原体の速やかな排出のため十分な換気量を維持することの2点が重要な要件である。

2.2 感染症病室の整備についての課題

医療従事者あるいは公衆衛生の観点からすれば、将来のパンデミックに備えるためには、十分な数の感染症病室(第一種病室)を設置して万全な空気感染対策をとっておくのが理想的であろう。しかしながら、病院経営という観点では、通常時には使われる見込みの少ない感染症病室(第一種病室)を多数設置・維持することはコスト面で困難である、という厳しい現実もある。建築的および設備的なハード面の整備において、感染症病床の需要の変化に柔軟に対応できる仕組みが望まれている。

この課題を解決するためのヒントを、国際病院認証機構(JCI: Joint Commission International)の「病院認定基準第6版」⁽²⁾の中に見出すことができる。この基準には「空気感染症患者を陰圧室に入室させるのが望ましい。病院

は、建物の構造により陰圧室をすぐに建設することが難しい場合、空気感染症による隔離が必要とされ、空気感染隔離室(AIIR: Airborne Infection Isolation Rooms)が準備できないか不足しているとき、一時的な陰圧室による隔離(TNPI: Temporary Negative Pressure Isolation)を行う。空気感染症の大流行により感染のおそれのある患者が多数認められる場合、上記の対策を講じる」との記載があり、パンデミック等によって専用の感染症病室(第一種病室)が不足した際には、他用途の部屋を陰圧にしたいうえで臨時の感染症病室として活用するアイデアが示唆されている。

表1 感染症病室の空調・換気に関するガイドライン

	隣接エリアに対する気圧	空調方式 (全外気 or 再循環)	換気回数 (再循環含む)	最小全風量 (外気量)
感染症病室 (第一種病室)	陰圧	・全外気方式が望ましい ・再循環にはHEPAフィルター要 ・他エリアへの再循環は禁止	12回/h以上 (再循環にはHEPAフィルター要)	2回/h以上

厚生労働省「感染症指定医療機関の施設基準の手引き」より、著者にて表に編集

3. 空調設備のパンデミックモード切替え

3.1 病室の空気感染対策

前章の課題を解決するための具体的な手法として導入され始めているのが、空調設備のパンデミックモード切替えである。図1に示すように、通常時には一般病室として利用されている部屋を、パンデミック時には「陰圧」かつ「換気量を増加」させて臨時の感染症病室として利用できるようにする手法である。これによって、感染症患者向け病床数の需要の変化に柔軟に対応することが可能になる。

3.2 共通エリアの空気感染対策

さらにパンデミックモードでは、病室・病棟内の空気感染対策に加えて、病棟外の廊下やエレベーターホールなどの共通エリアの空気感染対策も行われる。図2にパンデミックモードにおける各部屋の室圧と気流方向の一例を示す。共通エリアから病棟エリアに流れ込む内向きの一方向気流をつくることで、入院患者から来院者への空気感染を防止する。また、市中に感染症が大流行しているパンデミック時には、病院を訪れた来院者が既に感染している可能性もあるため、スタッフステーションを周囲よりも陽圧にして気圧の「土手」をつくることで、入院患者および来院者から医療従事者への空気感染も防止する。



図1 パンデミックモード切替えの概念図

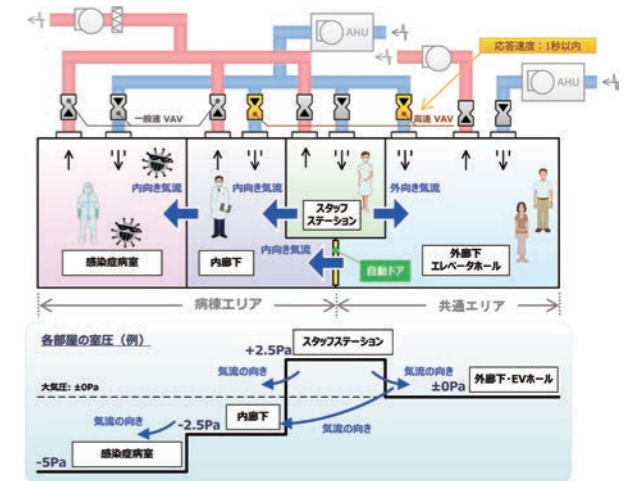


図2 パンデミックモードでの室圧と気流方向の例

3.3 感染症病床の需要変化への柔軟な対応

また、パンデミックモード切替えの対象エリアは、市中での感染流行の程度に応じて適宜広げていく運用が可能である。図3にその1例を示す。感染流行の早期においては、まず1床室(個室)からパンデミックモードへと切り替える。そして感染流行の拡大期やまん延期においては、感染症患者を1人でも多く受け入れることが要請されるため、多床室についてもパンデミックモードへと切り替えて臨時の感染症病室に用途変更する。感染症患者向け病床数の需要の変化に柔軟に対応することができるため、病床稼働率の低下を最小限に抑えつつ感染症パンデミックへの対策を行える合理的な手法として、最近注目を集めている。

既に東京都内の複数の病院では、2009年の新型インフルエンザ発生を契機に進められた感染症対策の一環として、このパンデミックモード切替えに対応した風量・室圧制御システムが導入されているが、今回のCOVID-19パンデミックの際にも、このシステムを活用して感染症患者向けの病床数を大幅に増やして、COVID-19患者の入院治療が行われている。

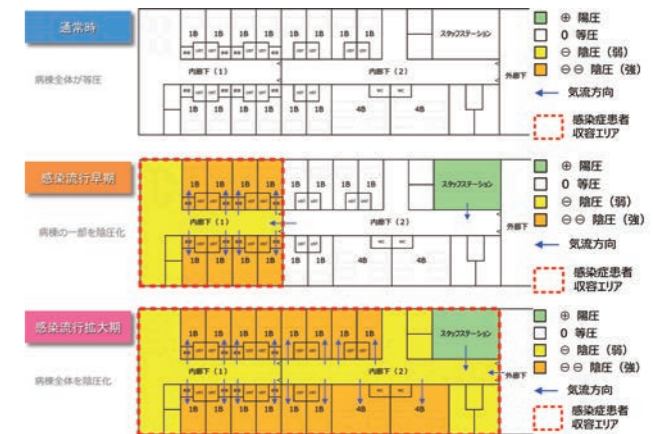


図3 感染状況に応じたパンデミックモード運用の例

3.4 自動ドアと高速VAVの連動制御

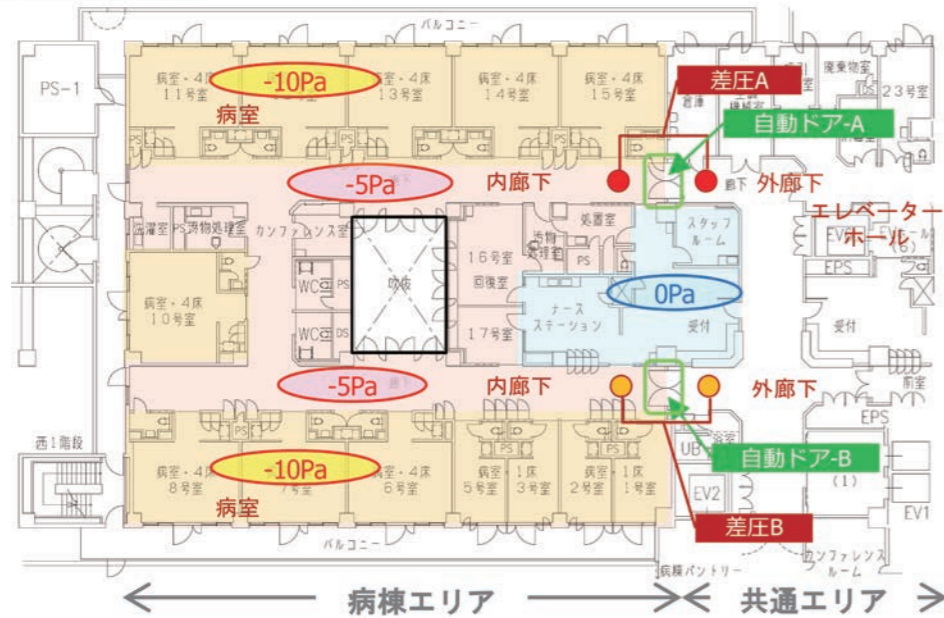
3.2の図2で述べた、病棟エリアから共通エリアへの空気感染対策の際に注意しなければならないのが、両エリアの境界に位置する自動ドアの存在である。この位置のドアは、

ストレッチャーや配膳カートなどの大型器材の通行の利便性を考慮して自動ドアとなっている場合が多いため、自動ドアが開いたときに、開いたドアのスペースから空気は自然拡散によって病原体が広がらないようにするための工夫が必要となる。具体的な解決策としては、自動ドアが開いたときに、外廊下から内廊下に向かって流れ込む内向きの一方気流を増加させるよう、自動ドアの開閉と連動した高速VAV (Variable Air Volume: 可変風量制御装置) の風量制御を行う手法が有効である。この風量制御は自動

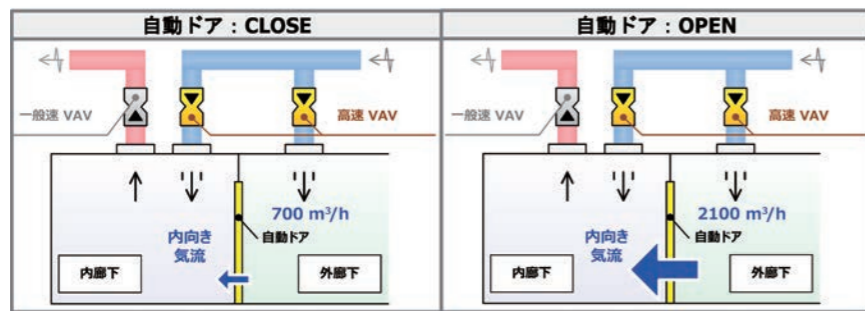
ドアの開閉に瞬時に応答する必要があるため、応答速度1秒以内の高速VAVを使用する。

図4に、東京都内の某病院における適用例と性能検証の結果⁽³⁾を示す。ここで紹介した検証結果は、入院患者をストレッチャーで病棟内に移送することを想定して、自動ドアの開閉継続時間を40秒とした場合のデータであるが、この風量制御の効果によって自動ドア開時にも外廊下から内廊下への内向き気流が維持されていることがわかる。

① 病棟の平面図と室圧設定



② 自動ドアと高速VAVの連動制御の概要



③ 自動ドア-Bにおける性能検証の結果

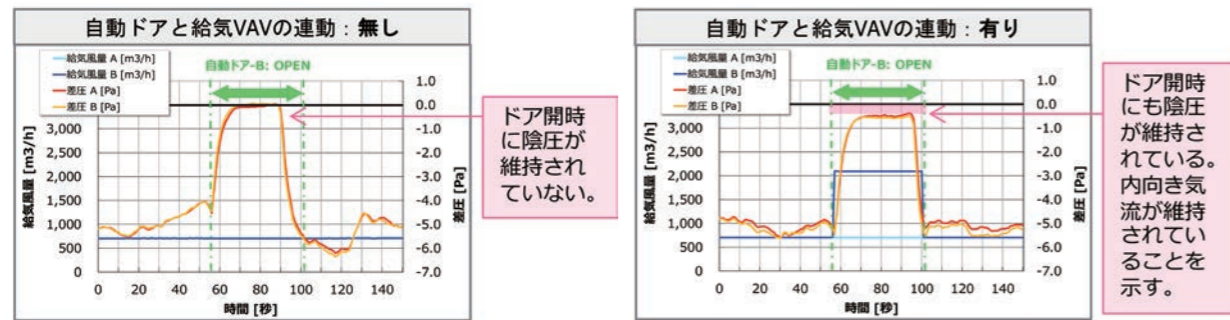


図4 某病院での自動ドアと高速VAVの連動制御の事例

4. 病院における風量・室圧制御

4.1 室圧制御の方法について

これまで、感染症パンデミック対策に用いられる空調設備の制御手法について紹介してきた。ここからは、実際に病院において風量・室圧制御システムを構築する際の注意点について考察する。

病院における空気感染対策では、隣接するエリアとの間に気圧の差を設けて、適切な一方気流 (内向きまたは外向き) をつくるのが重要となる。部屋の排気風量を給気風量よりも多い状態にすれば、周囲より陰圧となって内向きの気流がつけられ、反対に部屋の給気風量を排気風量よりも多い状態にすれば、周囲より陽圧となって外向きの気流がつけられる。例えば、感染症病室では内向きの気流をつかって病原体が室外へ漏れないようにし、スタッフステーションでは外向きの気流をつかって病原体が室外から侵入しないようにする。このように、部屋の給気と排気の風量を調節して、内向きまたは外向きの気流をつくることを目的とした制御は「室圧制御」と呼ばれ、次の2つの方法が知られている (図5)。

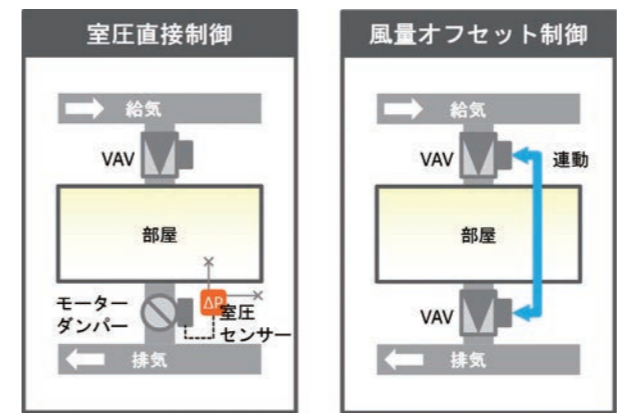


図5 室圧制御の方法とパンデミック対応での適性

1つ目は「室圧直接制御」と呼ばれる方法である。これは、室圧の計測値に基づいて給気や排気のモーターダンパーやVAVを制御する方法である。2つ目は、「風量オフセット制御」と呼ばれる方法である。これは、排気風量を給気風量よりも多く (あるいは少なく) なるように給気と排気の風量をVAVやCAV (Constant Air Volume: 定変風量制御装置) で正確に制御して、風量オフセット (= 給気風量と排気風量の差分) をつくることで、周囲と部屋との間に内向き (あるいは外向き) の一方気流をつくり出す方法である。

4.2 病院に適した室圧制御の方法は

どちらの方法が適しているかは、部屋の特徴や用途によって左右されるため一概には言えないが、特に一般病室のような、人の往来によるドア開閉が頻繁で、気密性がさほど高くない空間においては、米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) のハンドブック⁽⁴⁾ 等にも記載されているよう

に、安定性と信頼性の観点から後者の「風量オフセット制御」の方が適していることが知られている。病室のドアが開いたときには空間差圧が瞬時にゼロになるため、前者の「室圧直接制御」では、室圧計測値に従ってモーターダンパーやVAVが過剰に反応してしまい、室圧や風量が安定しなくなるおそれがある。また、気密性が低い空間においては、室圧計測値が数Pa程度の極めて微小な量となるため、前者の「室圧直接制御」では室圧センサに僅かな誤差が生じただけでも正しい制御が行えなくなる可能性がある。例えば、室圧センサのゼロ点がマイナス側に2~3Paずれただけでも、本当は陰圧になっていないのに十分な陰圧になっているとコントローラが誤判断して排気風量を絞ってしまい、内向きから外向きに気流方向が逆転してしまう恐れがある。

5. 風量制御装置 (VAV・CAV) について

5.1 風量制御装置に求められる要件

次に、風量制御装置 (VAV・CAV) の選定について考察する。病院内の空気感染対策を実現するためには、給気および排気の風量を正確かつ確実に制御できる信頼性の高いVAV・CAVが不可欠である。ダクトを流れる空気の圧力損失は風速の2乗に比例するため、例えば風量が2倍になると、風速も2倍になり、圧力損失は4倍になる。従って、パンデミックモードへの切替えなどによって風量が変わると、空調設備のダクト圧力分布は大きく変動する。また、強風時には、空調機の外気取入れ口や排気ファンの排気口に吹き付ける風圧の影響で、ダクト圧力分布が激しく変動する。正確かつ確実な風量制御を行うためには、ダクト圧力変動の影響を受けずに設定どおりの風量を維持する機構 (圧力独立性機構と呼ばれる) が極めて重要である。適切な風量オフセットを維持して空気感染防止のための安定した一方気流をつくるには、ダクト圧力変動によってVAV・CAVの前後差圧が大きく変動する状況においても、設計された設定値どおりに給気および排気の風量を正確に制御できることが必要である。

5.2 ベンチュリー型風量制御バルブの紹介

このような要件を満たすべく開発・製造されたのが、図6に示すベンチュリー型風量制御バルブである。ベンチュリー管の絞りとコーン内部のスプリングの伸縮のはたらきによる極めて優れた圧力独立性機構を備えており、これまでに紹介してきた感染症パンデミック対策を担う空調設備で使用するVAV・CAVとして、まさに最適である。このベンチュリー型風量制御バルブは、医療施設や研究施設などに長年にわたって採用されており、累計2万5千台以上の豊富な納入実績がその性能と信頼性を裏付けている。

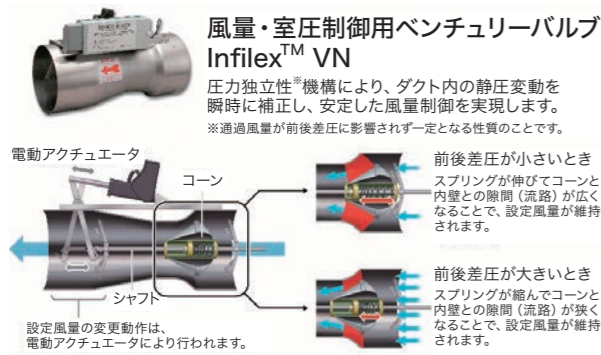


図6 ベンチュリー型風量制御バルブの構造と特長

5.3 ラインアップの拡充

これまでベンチュリー型風量制御バルブの最小口径は200Aであったが、病院では前室や更衣室などの小容積の部屋も多いため、施工スペース低減のための小型化のニーズがあった。当社では、このニーズに応えるため口径150Aのベンチュリー型風量制御バルブの開発を行った^{注1}。現在のところ、口径150A製品は風量設定が固定のCAVタイプのみであるが、風量設定を変更できるVAVタイプのニーズにも応えられるようにしたい。小型・小風量の製品をラインアップに加えることで、より幅広い風量範囲に対して高性能かつ信頼性の高い風量制御を提供し、より多様な部屋での空気感染対策に貢献できるようになることを目指している。

6. COVID-19での経験を通じて

筆者らは2020年2月、横浜港に停泊したクルーズ船におけるCOVID-19感染拡大が起こった際に、東京都内の某病院において風量・室圧制御システムの支援要員としてパンデミックモード切替えの場面に立ち会った。竣工後5年以上が経過していたが、制御システムは問題なく動作してパンデミックモードへの切替えが順調に行われたことを確認した。

当時、同船での感染者の数は日増しに増加しており、同病院では感染症患者の受け入れ病床数を一刻も早く増やして欲しい、という要請を受けて差し迫った状況にあった。医療現場での緊迫した雰囲気を目の当たりにして、感染症患者の命を救うために日夜奮闘を続けている医療従事者らを感染リスクから守り、医療体制を維持していくためにも、緊急時であっても正確かつ確実に動作する信頼性の高い製品が必要であることを改めて実感した。

病院の空調設備で使用される風量・室圧制御システムは、感染症パンデミックという「非常事態」のときに使われるものだからこそ、長期間にわたり安定した性能を維持・発揮することが重要である。

7. おわりに

本稿を執筆している2021年1月現在も、COVID-19の感染拡大が続いている。感染症拡大防止のために緊急事態宣言

が再度発令されて、感染症患者の増加によって医療体制が逼迫している状況が、毎日のように報道されている。医療従事者が粉骨砕身で感染症患者の治療に当たられていることが我々一般市民にも伝わってくる。

今回のCOVID-19がいつ収束するのか、そして新たな未知の感染症によるパンデミックがいつ発生するかわからないが、病院における感染症対策が今後ますます重要になってくることは疑いがない。病院の感染症対策全体の中では、当社のような計測・制御メーカーにできることはごく一部に限られてはいるが、医療従事者等を感染リスクから守り、社会の基盤として重要な役割を担っている病院を支えるためにも、本稿で紹介したような製品や技術を通じて、微力ながらも貢献できれば幸いである。

<参考文献>

- (1) 厚生労働省：感染症指定医療機関の施設基準の手引き(平成16年)
- (2) Joint Commission International:病院認定基準第6版(2017)
- (3) 井田 寛, 新谷 哲史, 石原 正也「圧力可変対応病棟の計画概要と検証結果」, クリーンテクノロジー Vol. 24 No. 1 (2014)
- (4) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: 2019 ASHRAE Handbook - HVAC Applications 17.11 (2019)

<商標>

Inflexはアズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 石原 正也 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部ワークプレースソリューション部
- 作山 恭一郎 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
営業本部営業1部

Withコロナ時代にも「安全と安心」を提供する 小口径型(150A)定風量ベンチュリーバルブの開発

A small-diameter (DN150) venturi valve for constant air volume that provides safety and security in the coronavirus era

本間 康正
Yasumasa Homma

神出 智之
Tomoyuki Jinde

井坂 威人
Takehito Isaka

キーワード

室圧制御, 気流制御, ベンチュリーバルブ, 圧力独立性, パンデミック, 感染症対策, CFD, MATLAB®/Simulink®

風量・室圧制御用ベンチュリーバルブ(Inflex™ VNシリーズ)は、研究施設や病院における安全性・快適性の向上に直接寄与する製品として市場で高い評価を得ている。現行製品の最小口径は200Aであり、さらなる小型化・小風量化に対してのニーズは存在するが、設計上の技術的難易度が高く、長い間製品化されなかった。今般、口径150Aの製品開発に際し、素材の見直しによる軽量化や摺動部分の設計最適化などを通して、現行製品と同等の風量精度と圧力独立性^{注1}を達成したのでここに報告する。

Venturi valves for air volume and room pressure control are rated highly for their contribution to safety and comfort in chemical laboratories and medical facilities. The minimum diameter of our current product (Inflex™ VN series) is DN200, but there is a need for further miniaturization and smaller airflow. Commercialization of a smaller product was long delayed due to technical difficulties in design. In the development of DN150 products, by revising materials for weight reduction, optimizing the design of sliding parts, etc., we have now achieved the same flow accuracy and pressure independence as current products.

1. はじめに

有害な薬品を扱う化学系の研究施設や、ウイルスや細菌を扱うバイオ系の研究施設では、空気を通じた相互汚染を防止するために、ヒュームフード(ドラフトチャンバ)や安全キャビネットなどのいわゆる局所排気装置の排気風量を適切に維持し、さらに部屋間の気流の方向や各部屋の空気圧(以下、室圧)を適切に維持することが求められる。昨今、病院においても院内感染を防ぐための建物・設備側の対応として、病室や病棟の給排気風量を正確に制御し、部屋の換気量と室圧を適切に維持することにより、汚染された空気の漏洩による暴露から患者やスタッフを守ることが非常に重要となっている。

アズビルではかねてより研究施設や病院などを対象として、精度と安定性に優れ、かつ高速に応答可能な風量制御用バルブを使用し、相互汚染が発生しない空気環境を実現する風量制御システムを提供しているが、その基幹製品が風量・室圧制御用ベンチュリーバルブ(Inflex VNシリーズ)である。本製品を使用した風量制御システムの主な2つの用途について述べる。

1つ目の用途は実験室に設置される大型の局所排気装置、特に有害物質を取り扱う際に使用するヒュームフード

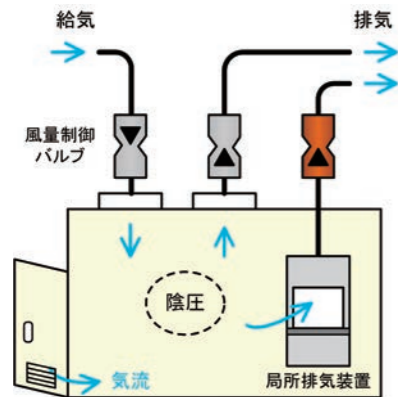
や安全キャビネットの排気制御への適用である。ヒュームフードについては、有害物質への暴露から作業員を守るため、法令により安全性能の指標である面風速が規定されている。面風速とは、ヒュームフードの作業用の開口部を通過する気流の速度のことであるが、有害物質の封じ込めのためには法令で定められた一定以上の速度が必要である反面、速すぎれば作業性が悪くなり、消費エネルギーも増えてしまう。このため開口部の面積に連動させた正確な風量制御によって安全の確保と省エネルギーを実現している。一方、机上の比較的狭い範囲を対象とする小風量の局所排気装置(アームフード、フレキシブルフードなどと呼ばれる)では規制が無い上、適切な大きさや風量の製品がなく、正確な風量制御の提供ができていなかった。結果として使いにくさや安全上の課題となっている。

2つ目の用途として、室圧を維持するために正確な給気風量、排気風量が要求される部屋への適用である。有害な薬品を取り扱う実験室では、外部にそれを漏洩させないために陰圧に、逆に外部からの有害薬品の侵入を防ぎたい部屋では陽圧になるよう風量を制御する。前者の例としては局所排気装置が設置されるような実験室(図1)であり、後者の例としてはその実験室に隣接した廊下や事務室である。また細菌やウイルスなどの病原体についても同様

注1 圧力変化に対応して決められた風量を維持すること。詳細は後述。

注1 詳しくは本冊子p.8をご覧ください。

で、冒頭に述べたように病院における院内感染対策に適用している。すなわち、感染症病室では陰圧にすることで病原体の外部への漏洩を防ぎ、手術室や集中治療室では陽圧にすることでそれらの外部からの侵入を防ぐ。しかし、更衣室や化粧室、エアロック室などの比較的狭い空間では設置スペースが限られていることから風量制御バルブが省略されることが多く、これも安全上の課題となっている。



給気量より排気量を1割程度多くすることで、室内を陰圧にしている。

図1 化学実験室の風量制御の例

このような課題を解決するため、小口径型の風量制御バルブの開発に着手し、現行製品の特長である高い風量精度や圧力独立性機能はそのままに、大幅に小型化と軽量化を実現し、これまで風量制御の適用から除外されがちであった対象への適用を目指したので、その内容について紹介する。なお、バルブには常時一定の風量を流す定風量バルブと、運用条件に応じて自動的に風量を変更できる可変風量バルブがある。本製品は、将来の可変風量バルブの製品化を前提とした定風量バルブである。



図2 小口径型(150A)定風量ベンチュリーバルブ

2. 製品概要

2.1 風量・室圧制御用バルブの特長

当社の風量・室圧制御用ベンチュリーバルブの最大の特長は「圧力独立性」という機能である。一般的に給排気用ダクトはアリの巣のように枝分かれしており、その途中や末端にバルブやダンパに代表される風量制御装置が設置され、部屋や局所排気装置に接続されている。それぞれがダクトで繋がっていることで、各部屋の給排気量すなわち換気回数の変更や局所排気装置の運転・停止などの操作が相互に影響を及ぼす。このためダクト内部の圧力が変動を繰り返すのが常で、風量制御装置として決められた風量を正確に維持するためには、圧力変動に対応して風の流路面積を調整しな

なければならない。つまり「圧力独立性」とはダクト内部の圧力変動の影響を受けずに風量を正確に維持できることを表す。

設定された風量を維持するために、一般的には風量制御装置を通過する風量を常時計測し、流路面積を調整する機構を電気回路によって制御する方法が用いられてきた。しかしこの方法では電源の供給が必要であり、変動する風速の移動平均値を用いて制御を行うため応答性に劣り、調整機構の寿命や故障の懸念、風量計測の方法によってはセンサの定期的な校正や清掃が必要、などの欠点がある。

当社では、気流を絞る形状(図2)をしているベンチュリー形バルブの内部部品に、圧力に応じて伸縮するばねを組み込み、自律的に通過風量を一定にする構造としており、風量計測用のセンサや電氣的な制御機構を伴わずに優れた圧力独立性を実現している。ばねを中心とした可動部分に限れば、極めて単純な構造でありメンテナンスが不要で長期間の安定した動作が可能になっている。

圧力独立性が正しく機能するには一定の範囲のバルブ前後差圧が必要である。何らかの原因で空調機や排気ファン能力が低下または停止した場合には、正しい風量が維持されず最悪の場合は有害物質による汚染が発生しかねない。そのため、すべてのバルブにはバルブ前後差圧の不足を検出するためのセンサを搭載し、必要に応じて当社はもちろんのこと他社のシステムと接続して遠隔監視ができる仕様としている。

バルブは工場1台ごとに、注文時に指定された風量に校正して出荷される。現場では改めて風量の調整をする必要はなく、施工現場の負担を軽減する一助となっている。一方、設備の追加・削除や運用見直しなどで、あとになって給排気風量を変更しなければならないことがある。このため、現場で風量設定を変更できる機構になっているが、風量の校正設備がない環境においても正しく調整ができるような仕組み(風量フィードバック機能)も用意している。

2.2 本製品(小口径型)の仕様

今回開発を行った小口径型定風量バルブの主な仕様を次に示す。

表1 主な仕様

項目	仕様
接続口径	150A (6インチ)
全長(バルブ面間)	420 mm
質量	●1.9 kg (挿し込み型) ●2.2 kg (フランジ型)
風量範囲(*1)	50~600 m ³ /h
風量精度	±10 m ³ /h (50~100 m ³ /h) ±10 %rdg (100~600 m ³ /h)
バルブ前後差圧(*2)	150~750 Pa
ダクトへの接続	●挿し込み型 ●フランジ型
設置姿勢	●水平 ●垂直(下から上への気流)
耐腐食コーティング	●無し(部屋の給排気用途) ●主に有機溶剤の排気用途 ●高腐食性ガスの排気用途
結露防止用保温材	●無し(排気用途) ●有り(給気用途)
風量フィードバック機能	●無し ●有り
電源	不要

(*1) 製作可能な風量範囲で、5 m³/h刻みで指定が可能。

(*2) この範囲内で使用することで、圧力独立性が担保される。

3. 製品の構造

3.1 圧力独立機構

本製品は図3に示すコーンとボディにより形成されるドーナツ状の流路面積を有しているが、そのコーンの位置はダクト内の流れによりコーンが図の右から左方向へ押されていく力(受圧力)と、この力に対抗するようにコーン内部に配置した非線形ばねによりコーンを左から右方向へ押し返す力(ばね力)の釣り合いによって瞬時に変化するように設計している。

例えば、一般的には、製品の入り口側の圧力が大きくなると、製品の前後差圧も大きくなり、製品下流に流れる風量は増加するが、本製品の場合、図4、図5に示すように、差圧が増加した分、コーンが下流側に押し込まれて流路面積が小さくなる。これにより、製品の前後差圧が変化しても風量を一定に保てる構造となっている。

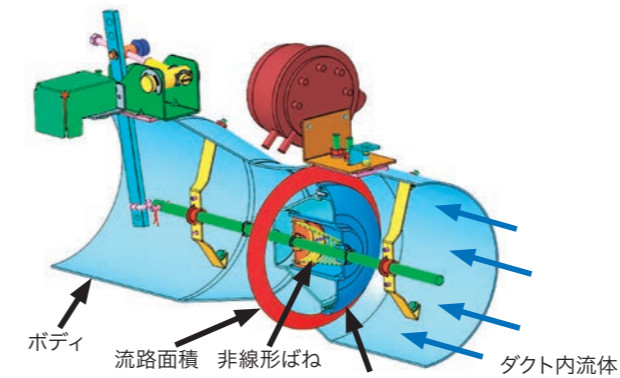


図3 圧力独立機構イメージ図

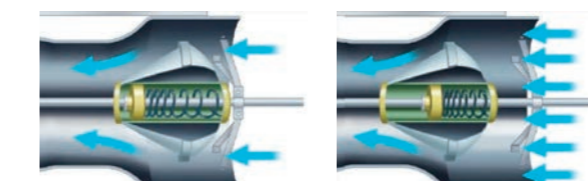


図4 前後差圧小

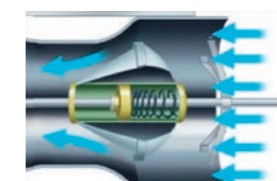


図5 前後差圧大

3.2 風量設定機構

製品の設定風量は、図6のピボットアームの位置を変更しシャフトに接続されたコーンの初期位置(差圧が0Paのときのコーン位置)を調整することで、5m³/h刻みに指定することが可能な構造となっている。

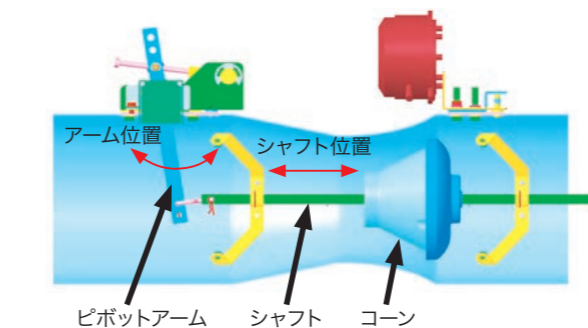


図6 風量設定機構イメージ図

4. 圧力独立性機能の設計

現在の製品ラインアップに小口径型を追加した。口径が小さくなると、流体から受ける力(受圧力)が小さくなり、コーンが動きにくくなるため、応答性および風量精度が低下してしまう。これを解決するためには、コーンの軽量化および摺動性の向上が大きな課題であった。そこで、下記の運動方程式を用いて、コーンの構造やばねの設計を重点的に行った。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + f_{spring} + \mu mg = f_{air}$$

- m : コーンの質量 [kg]
- x : コーンの変位 [m]
- c : コーンのエアダンピング係数 [N/(m/s)]
- f_{spring} : コーン変位におけるばねの力 [N]
- μ : 摺動部の摩擦係数 [-]
- g : 重力加速度 [m/s²]
- f_{air} : 流体からの受圧力 [N]

ここで、コーン位置の算出には、汎用数値解析ソフトウェアMATLAB®/Simulink®を用いた。コーンにかかる力のモデル図、コーンの構成およびSimulink®のモデルを図7~図9に示す。

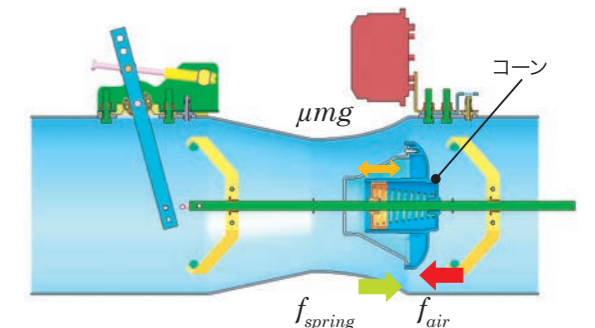


図7 コーンにかかる力のモデル図

4.1 コーンの軽量化

コーンの質量は摺動抵抗力の大きさに直結し、それは圧力増加時と減少時のコーン位置の差になり、風量精度に影響する。そこで、現行製品ではアルミニウム製のコーンを樹脂化することにより軽量化を図った。

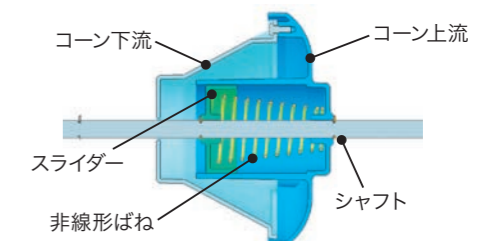


図8 150Aコーンの構成

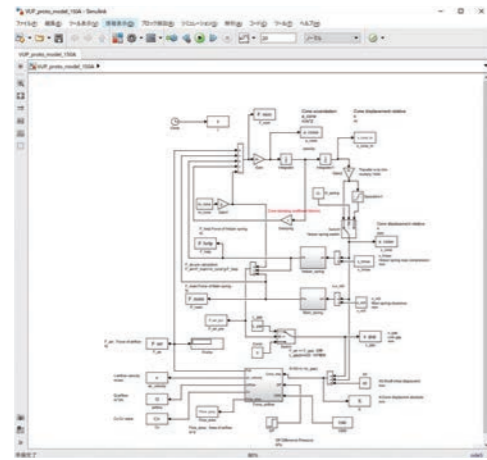


図9 コーンにおけるSimulink®のモデル

4.2 エアーダンパ

エアーダンパはダクト内の流れが変化するときにおいて、コーンの安定した動作に必要な。もし、エアーダンパの力が十分ではない場合は、コーンの動きが不安定になり、その結果、風量のふらつき・変動につながる。エアーダンパは、コーン上流およびスライダの内側のばねが格納されている部分で構成される空気の種類変化により、ダンピングを得ている。ここで、内部の空気の体積が減少する場合（ばねが圧縮される場合）は、エアーダンパ部のすき間から空気が流出し、逆に体積が増加する場合は、すき間から空気が流入することによりダンピング効果を得ている。

この製品は、差圧変化に対して高速応答（1秒以内）が要求されている。そのため、ダンピング係数を大きくすると流れの外乱に対する安定性は高くなるが、差圧変化に対する応答性は悪くなり、トレードオフの関係にある。図10に応答性の試験結果（ステップ応答試験）を示す。以上より、コーンアセンブリにおける摺動性と非線形ばねにより優れた風量精度（図17）、また、適切なエアーダンパの実現により、流れに対する安定性および高速応答性を確保した。

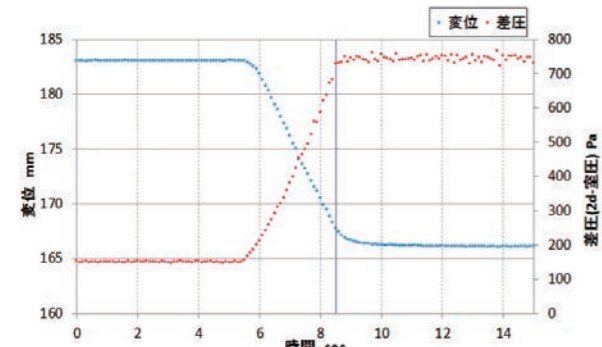


図10 ステップ応答試験結果

5. コーン周りの流路設計

5.1 流路形状の影響

図11に2つの形状案を示す。また、これらの断面図を重ねて表示したものを図12に示す。案①はコーン外形に凸部を設けているため、図12に示すように、流路絞り部から下流側を緩やかに拡大させる流れとなる。一方、案②はコーン

ン外形を1段垂直に細くすることで、流路絞り部から急拡大させる流れとなる。これらについてCFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体解析）および風量試験を実施し、風量精度を確認した。以下にその内容を示す。

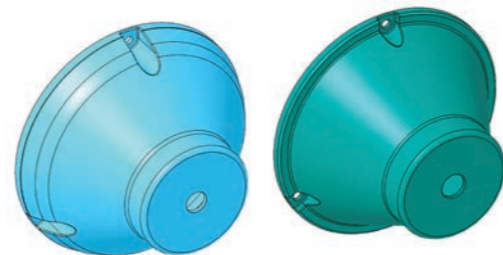


図11 案①(左)と、案②(右)の形状比較

より魅力的な製品とするためには、最大風量はできるだけ大きいこと（最小風量は反対に小さいこと）が望ましい。そのためには流路絞り部通過後の流路の拡大を緩やかにして、スムーズに流れるようにすると風量は大きくなる傾向がある。

実際に、案①のように凸形状を設けるだけで、流路絞り部の面積は同一のまま、最大風量値を大きくできた。しかも、最小風量は小さいままであり、理想的であった。

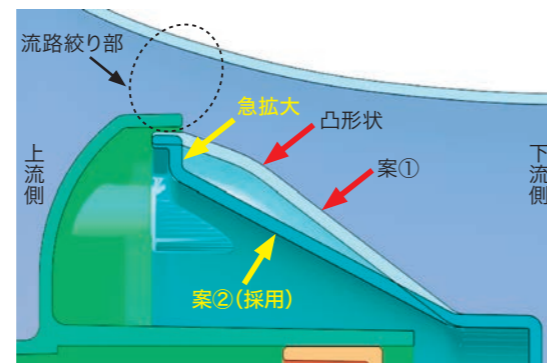


図12 案①と案②の形状比較

しかし、この案①では図13に示すように、大きく2つの風量特性が発生した。どちらの特性になるかについては規則性も見られず、特に低差圧領域において、風量差5%以上の差異が生じることがあった。

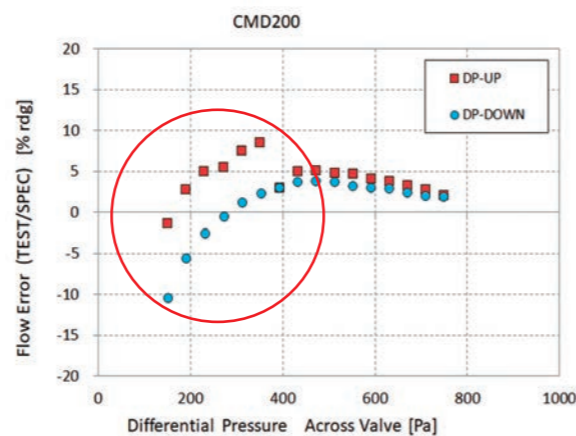


図13 バルブ前後差圧と風量誤差(案①)

CMD200:バルブの風量設定が200m³/hであることを示す。
 DP-UP (DOWN) : 差圧を変更する際に、差圧が大きくなる方向で設定し、測定した風量であることを示す。同様にDP-DOWNは差圧を小さくする方向で設定し、測定した風量である。

図13の赤丸の領域において、風量が大きく異なっているが、その原因は差圧の違いではないことがわかる。しかし、流路面積の違いについては判別できない。そこで、図14に示すように、特定の差圧のときのバルブの流れやすさを示す容量係数 C_v ^{注2}と、流路面積^{注3}を使ってプロットしなおして確認を行った。

図14を見ると、赤丸の領域において、 C_v 値（ここでは単位面積当たりの C_v とした）が大きく異なっているが、その原因は流路面積の違いではないことがわかる。したがって、今回風量が大きく異なった原因として、差圧も流路面積も無関係であることがわかった。

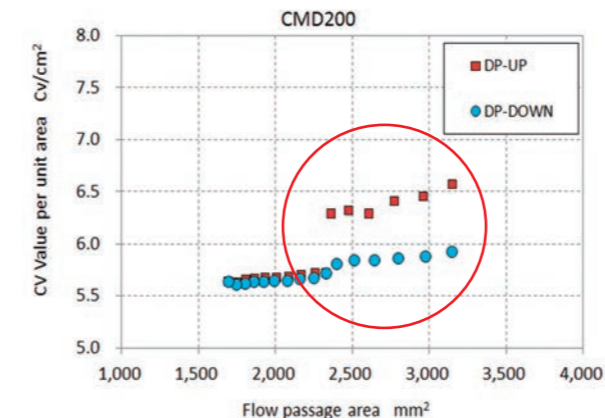


図14 単位面積当たりの C_v 値と流路面積(案①)

5.2 不安定流れの解析

案①の形状について非定常CFD解析を行った。図15の点線部で示すボディ拡大部の流れは、非定常性の強い不安定な流れとなっていた。また、流速が部分的に速い流れが存在するが、その位置が絶えず変化している様子が見られた。

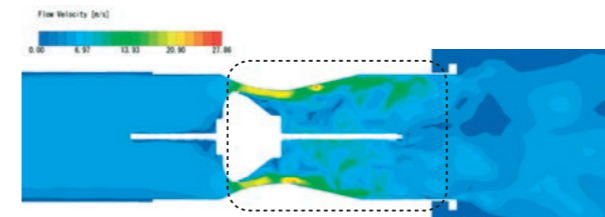


図15 CFDによる流速コンター図(案①)

図16に拡大図を示す。コーン上流側とバルブボディで絞られた流れは噴流（赤矢印）となって流路絞り部（A点）を通過する。流路絞り部通過後、噴流はまわりの流体を巻き込んで質量を増加させるが、コーン下流部の凸形状により流体の流れこみを阻害されると噴流が壁の方に引き込まれるコアンダ効果が生じる。そして、そのまま噴流が拡散、減速することなくボディの最小絞り部（B点）に到達する。

注2 C_v 値とは風量 Q と差圧 ΔP により、下記式で算出される容量係数で、一般的に流路の形状ごとに定まる係数である²⁾。流れやすい形状であるほど、 C_v 値は大きな値となる。
 $Q = \text{定数} \times C_v \times \sqrt{\Delta P} \times (P_1 + P_2)$
 Q : 風量 C_v : バルブの容量係数 ΔP : バルブの前後差圧で、上流圧 P_1 と下流圧 P_2 で算出
 注3 流路面積はレーザー変位計で測定したコーンの位置と、3DCADデータにより算出した。

その結果、B点でも流体を巻き込む力が強くなり、流れが壁面に吸い寄せられるコアンダ効果が生じて、B点以降でも壁に沿った流れとなる場合がある。壁面に沿った流れは、壁面から剥離するケースに比べて、剥離による圧力損失がないだけ流れやすくなり、風量値が大きくなる。

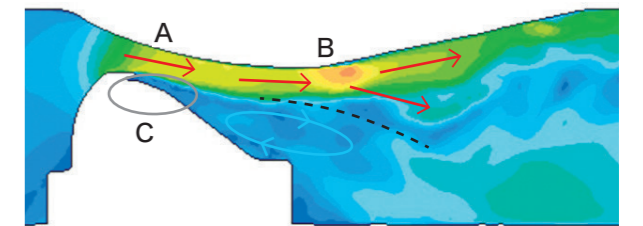


図16 CFDによる流速コンター図拡大(案①)

一方、コーン側の流れ（水色矢印）は流路絞り部下流で剥離して下流で逆流が生じる。噴流（赤矢印）と逆流部（水色矢印）の境界は不連続面（黒点線）となる。不連続面は不安定で渦が分裂し、渦は絶えず変動する。その結果、B点での流れも不安定となる。

以上のことから、B点付近およびその下流で、上記不連続面による流れの不安定性により、コアンダ効果による壁面に沿った流れと、壁面から剥離しようとする流れの2パターンが存在することが、案①の流れが不安定となる原因であると考えられる。

5.3 採用したコーンの風量特性

案②の風量特性を図17に示す。この形状にすると案①のように流れが不安定になることはなく、風量試験での繰り返し性も良好となった。これは、図12で示したように、案②では流路絞り部から垂直に急拡大させてから、直線的な形状とすることで、噴流をしっかりと拡散し、減速させるとともに、確実に流れの剥離が生じるようになったためと考える。

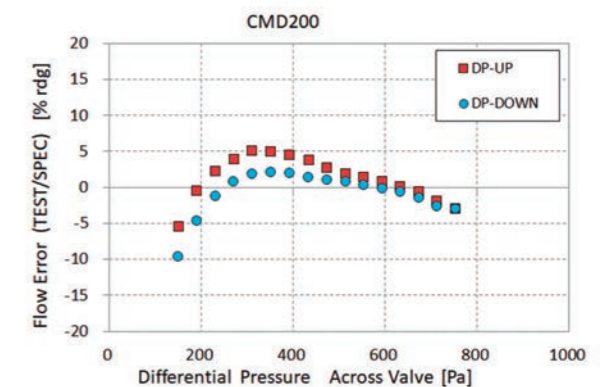


図17 バルブ前後差圧と風量誤差(案②)

6. 今後の展開

今回開発したバルブは常時決められた風量で運用するための定風量バルブである。さらなる製品拡充を図り市場に展開できるように、早い時期に風量設定を変更できる可変風量バルブのニーズにも対応したい。そのためには小型

の本体に見合う大きさの制御機構の設計やコストの抑制などの課題を解決し実現を果たしたい。

7. おわりに

昨年から続いているコロナ禍においては、病院の院内感染対策のため、発熱者専用の外来窓口の設置や、感染が疑われる人の専用動線の確保など、建物設備の対応も必要になってきている。特に空気感染対策は注目されており、そのためには患者が収容されている病室や病棟の換気量を十分確保し、空気を外に漏らさないよう内向きの一方向気流を作る制御が必須である。当社では以前より風量制御バルブを使用した病院向けのパンデミック対応空調システムの提案を行っており、今後のwithコロナ時代や新たな感染症の流行に備えるための事業を強化している。高性能でありながら小型・軽量という特長の商品がラインアップに加わったことにより、感染症指定医療機関のみならず、中小規模の一般病院にまで室圧制御による安全な空間を提案し、医療従事者や来院者の安全確保、感染拡大の防止を行い社会に広く貢献したいと考える。

<参考文献>

- (1) 大村林太郎, 大沢信雄, 風量・室圧制御用ベンチュリーバルブによる安全性と長寿命化を両立させた室圧補正制御技術の開発, テクニカルレビュー, 2015, pp.39-44
- (2) Fluid Controls Institute Inc.: Recommended voluntary standard formulas for sizing control valves, FCI 62-1(1962)

<商標>

Inflexはアズビル株式会社の商標です。
MATLAB, Simulink は米国MathWorks社の登録商標です。

<著者所属>

本間 康正 アズビル株式会社
バルブ商品開発部
神出 智之 アズビル株式会社
バルブ商品開発部
井坂 威人 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部
ワークスペースソリューション部

全館空調システム きくばり™の ウイルスや細菌への有効性

A home central air conditioning system that is effective against
viruses and bacteria

石川 尚弘
Naohiro Ishikawa

井口 俊丸
Toshimaru Iguchi

田村 敦
Atsushi Tamura

キーワード

飛沫感染, 空気清浄, 電子式エアクリーナ, 換気, エアロゾル, 空気感染

ウイルスの感染経路は、飛沫感染、接触感染、空気感染の3つである。このうち感染者が咳やくしゃみをすることで発生する粒径 $5\mu\text{m}$ 未満の飛沫核が長時間浮遊し、室内または空調を介して移流し非感染者の呼吸器に到達するのを空気感染という。この空気感染を防止するための全館空調システム「きくばり」に搭載されている電子式エアクリーナのウイルスや細菌を含んだエアロゾルの除去の検証を行った。検証の結果、ウイルスの粒径での集じん能力から、電子式エアクリーナはウイルスや細菌にも有効であると考えられる。また、全館空調システム「きくばり」に搭載されている熱交換型換気装置により居住空間は「換気が悪い密閉空間」にはならないことが確認された。

We verified that the electronic air cleaner installed in the whole-building air-conditioning system removes aerosols containing viruses and bacteria for the prevention of airborne infection. As a result, we consider the electronic air cleaner to be effective against viruses and bacteria due to its ability to collect dust at the particle size of a virus. In addition, we confirmed that living spaces where the system is installed do not become “poorly ventilated closed spaces” due to the system’s heat-exchange type of ventilation.

1. はじめに

一般的に、コロナウイルスやインフルエンザウイルスのように呼吸器系に症状が認められる感染症の場合、感染源のウイルスは主に感染者の咳やくしゃみ等で生じる飛沫を介して環境中に放出される。密閉された空間や換気が不十分な空間では、ウイルスを含んだ飛沫が空気中を漂い、感染源になるといわれている。また、人間は飲食をはじめとして、様々な行為を通じて物質を体内に摂取している。この人体への物質摂取量は、8割以上が空気や排気が占めており、残りが飲料や食物となっている。その中で、室内空気は全体の57%を占めており室内空気の清潔度合いが重要であると言える。

以降、2章ではエアロゾルと空気感染について、3章では電子式エアクリーナの役割と原理について、4章では電子式エアクリーナの集じん性能について、5章では全館空調の換気について、6章では開発した加湿システムについて述べる。

2. エアロゾルと空気感染

2.1 エアロゾルとは

日本エアロゾル学会によると、気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と周囲の気体の混合体をエアロゾルと言う⁽³⁾。エアロゾルは、空気中に浮遊する粒子径が分子やイオンとほぼ等しい $0.001\mu\text{m}$ 程度から花粉のような $100\mu\text{m}$ 程度までにわたる広い範囲が対象となる⁽³⁾。

2.2 空気感染とは

新型コロナウイルスは、直径 $0.06\sim 0.14\mu\text{m}$ の球形で感染者の咳やくしゃみ、会話などで飛沫として放出される。この飛沫の $5\mu\text{m}$ 以上の大きさの飛沫は水分を含むため重く $1\sim 2\text{m}$ 程度飛散し床面に沈着する。飛沫から水分が蒸発したのが飛沫核で(図1)これは $5\mu\text{m}$ 以下と小さく乾燥しているので長時間空気中に浮遊し空気の流れによって広範囲に飛散する。飛沫核は乾燥しているので、ウイルスは長く感染力を保てないといわれている。しかし、3つの「密」(密閉空間・密集場所・密接場面)では空間に湿気がこもるなどウイルスを含むエアロゾルが水分を保ち感染力を保った状態で、長時間空中を浮遊して感染するのではないかとされている。

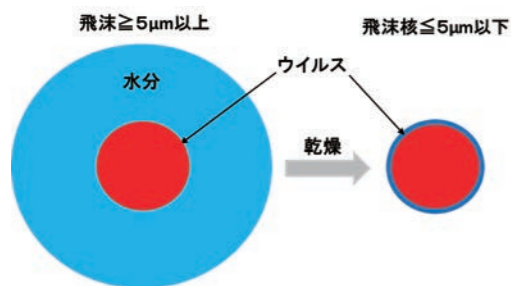


図1 飛沫と飛沫核

3. 電子式エアクリーナの役割と原理

電子式エアクリーナの役割と原理について以下に示す。

3.1 電子式エアクリーナの役割

全館空調システム「きくばり」の構成を図2に示す。「きくばり」は、冷暖房と送風機能の室内機・空気清浄機能の電子式エアクリーナ・換気機能で構成されている。「きくばり」では室内の空気を循環させ、電子式エアクリーナにより家全体の空気をクリーニングし、粉じんを除去したきれいな空気を室内機に供給することで空気清浄を行っている。全館空調システムでは、最大1時間に3~5回クリーニングされたきれいな空気が室内機を通じて各部屋の吹出し口に供給されている。

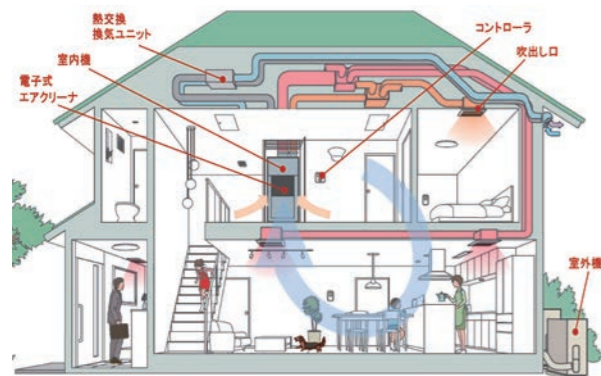


図2 きくばりシステムの構成

3.2 電子式エアクリーナの原理

電子式エアクリーナの仕組みを図3に示す。

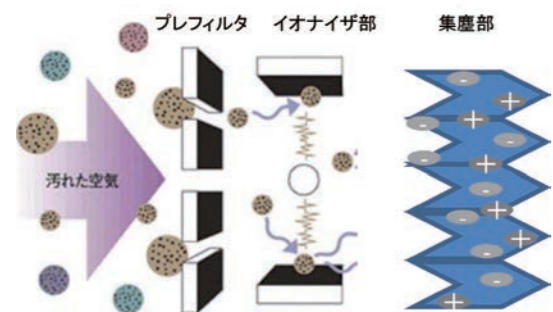


図3 電子式エアクリーナの仕組み

電子式エアクリーナは、電気式の集じん装置であり、粒子を荷電させクーロン力により捕集する方式である。電子式エアクリーナに取り込まれた室内の空気は、プレフィルタで直

径約50μmより大きな粒子を除去する。通り抜けた直径約50μm以下の小さな粒子は、イオナイザ部の高電圧線により荷電され、後部にあるプラスとマイナスに分極した静電繊維でできた静電フィルタに吸着させる仕組みである。遠隔力であるクーロン力を利用するので一般的なフィルタよりも小さな粒子を除去することができ、大気微小粒子 (PM2.5) を除去する性能がある。一般的なフィルタと電子式エアクリーナが除去できる粒子の大きさを図4に示す。一般的なフィルタが10μm程度までの粒子を除去するのにに対して電子式エアクリーナは0.01μm程度までの粒子を除去する性能がある。

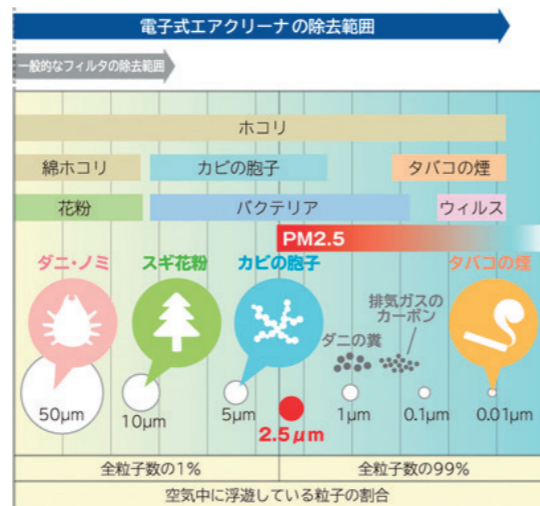


図4 粒子の大きさと除去範囲

4. 電子式エアクリーナの集じん性能

電子式エアクリーナは、理論的な設計値として0.01μmまでを集じん範囲に設定した上で0.3μm以上の微粒子を除去できる性能を検証、確認している。確認の方法は、JIS B 9908 2011形式1に準じ、自前の風洞試験装置を使用した「計数法」でワンパス (1回通過) での集じん効率の測定と日本電機工業会自主基準 (HD-128) 「家庭用空気清浄機の微小粒子物質 (PM2.5) に対する除去性能試験及び算出方法」に基づいた第三者機関による試験を実施した。

4.1 ワンパス (1回通過) での集じん効率

ワンパスでの集じん効率は、2台の同じ型番の粒子計測器 (パーティクルカウンター) を使用して、電子式エアクリーナの上流側と下流側の空気0.1cf (立法フィート: 約2.83L) 中に含まれる0.3μm以上の粉じん数を同時にカウントした。「計数法」は、それぞれの大きさの粉じん数を測定するため、粉じんの質量差で効率を計測する「重量法」よりも、小さな空气中に浮遊する粉じんを計測することに適している。「計数法」での集じん効率は下記式で計算される。

「集じん効率=1-下流側の粉じん数/上流側の粉じん数」
電子式エアクリーナを風洞試験装置に設置し、線香の煙により粉じんを発生させ、集じん効率の測定を実施した。

測定条件

・測定風量: 14.6, 22.5, 29.6, 35.1, 40.7m³/min

- ・測定回数: 各風量にて5回
- ・粉じん数量: 風洞実験装置の入口側で線香を焚き扇風機を弱風にして0.3μm以上の粉じんが20~30万個の間になるように調整

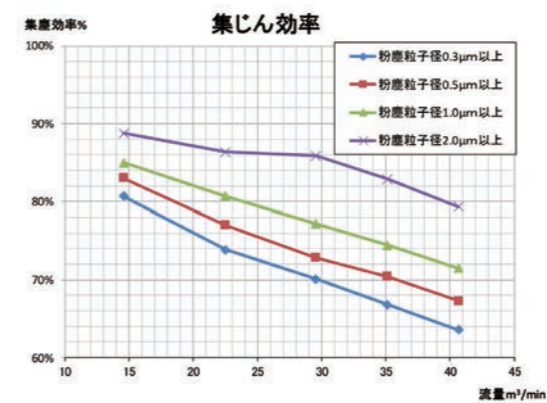


図5 ワンパスでの集じん効率

測定の結果、図5のように「電子式エアクリーナ」で標準的な流量30m³/minにおいて0.3~5.0μm以上の粒子を70%~86%集じんするという結果が得られた。

4.2 集じん性能 (PM2.5除去性能)

電子式エアクリーナのPM2.5除去性能について、日本電機工業会自主基準 (HD-128) 「家庭用空気清浄機の微小粒子物質 (PM2.5) に対する除去性能試験及び算出方法」に基づいた第三者機関による試験を実施した。

測定条件

- ・測定室容積: 21.8m³ (測定後、容積32m³に変換)
 - ・測定器: PM2.5デジタル粉じん計
- タバコの煙を使用し、0.1~2.5μmの粉じんの質量濃度を測定する。図6に測定結果を示す。

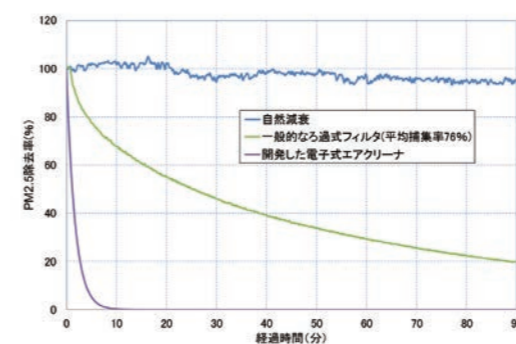


図6 PM2.5除去率の時間変化

試験の結果、微小粒子物質 (PM2.5) に対する一定の除去性能を有し、「0.1~2.5μmの粒子を99%除去する」という結果が得られエアロゾルの除去に有効であることが確認された。

5. 全館空調システムの換気について

厚生省によると季節を問わず、新型コロナウイルス対策には、こまめな換気が重要といわれている。一般的なルームエ

アコンは、換気機能がないため密閉空間を防ぐには窓の開閉等による換気が必要となる。全館空調の「きくばり」の場合は、熱交換型換気装置を搭載しており、機械的に法定換気量 (2時間に1回家全体の空気を入れ替える分) の空気を入れ替えている。また熱交換型を採用し、排気される室内の空気から熱を回収して、新しく取り入れた外気に熱を移すので省エネルギーとなる。

また、「きくばり」の場合、1システムあたり換気量は120~180m³/hなので家族4~6人と仮定すると、建築物衛生法における必要換気量 (1人あたり毎時30m³) を満たす設計となっており、「換気が悪い密閉空間」にはならないと考えられる。

6. エアワッシャー型加湿システム

アズビルの全館空調システムのオプションとして住宅全体の湿度を適切に保つ目的で、エアワッシャー型加湿システムを開発した。本加湿システムは、加湿ユニット内を清潔に保つために次亜塩素酸を発生させており、加湿空気による空間の浮遊ウイルス減少にも寄与できることが確認された。

6.1 加湿の仕組み

加湿システムは自動給水型の加湿システムで、加湿用水を噴霧した充填材に空気を通すことで加湿するとともに空気を水で洗う。加湿用水は加湿ユニット内に水道水を自動給水し、電解電極により次亜塩素酸 (電解水) を発生させることで、細菌の増殖を抑制する効果が生まれる (図7)。

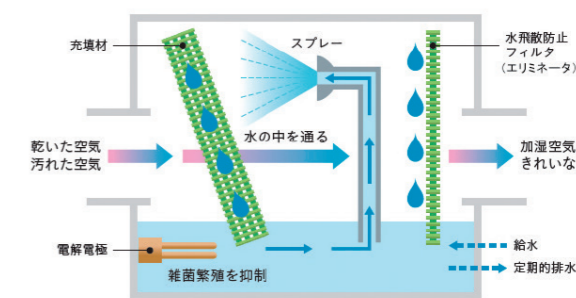


図7 加湿の仕組み

6.2 浮遊ウイルスに対する効果

JEM1467「家庭用空気清浄機」付属書D「浮遊ウイルスに対する除去性能試験」を参考に、加湿システムによる浮遊ウイルスの抑制性能を求めた。加湿システムから放出される有効成分を考慮し、初期 (0分) のウイルス数を経過時間ごとのウイルス数で除した対数減少値を計測し、対象を差し引いた正味の対数減少値 (減少率) を求めた。

- ・試験空間: 25m³チャンバー
- ・ウイルス: Escherichia coli phage MS2 NBRC 102619 (大腸菌ファージMS2)
- ・試験条件
 - ・自然減衰: 加湿システムを運転しない試験空間
 - ・電解水噴霧: 加湿システムを運転した試験空間
 - ・水道水噴霧: 加湿システムは、運転するが電解電極は運転しない試験空間

試験結果を図8に示す。

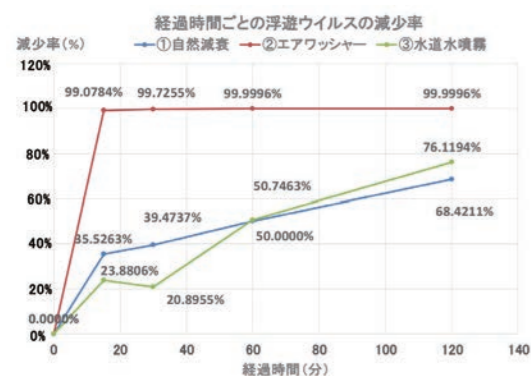


図8 経過時間ごとの浮遊ウイルスの減少率

試験の結果、加湿システムで次亜塩素酸を発生させない水道水の場合は、自然減衰とほぼ同じ結果となったのに対して、加湿システムで次亜塩素酸（電解水）を発生させた場合は、浮遊ウイルスを99.99%以上抑制する能力があることが確認された。

7. まとめ

空气中を漂う細菌やウイルスの粒径は、5 μ m以上では重く落下するため0.1~5 μ m以下の粒径となる。電子式エアクリーナは電気式の集じん装置のため、測定結果より0.1~5 μ mの粒子である細菌やウイルスの集じんする性能を有しており、ウイルスや細菌にも有効であると考えられる。また、「きくばり」での熱交換型換気装置での機械的な換気や開発したエアワッシャー型加湿システムを使用することで換気性が高く、浮遊ウイルスの抑制効果が高いことが確認された。

8. おわりに

これまでは空気環境というと、ホルムアルデヒドなどのシックハウス症候群を起こす物質やPM2.5・花粉などが対象であった。今回の新型コロナウイルスの世界的な流行や今後のインフルエンザの流行、より一層の高齢化社会が進むことを考えると、室内の空気環境をよりよくすることの重要性がさらに増すと考えられる。今後の検証・評価ではより一層ウイルスや細菌なども対象として実施するとともに、その時代の状況に合わせた空気環境を作り出す商品を開発する必要がある。

<参考文献>

- (1) 岩田, azbil Technical Review 2013年4月号, P.82-86
「暮らしのさらなる安心・安全・快適を目指して
～azbilハウスでの技術融合」
- (2) 村上周三, 臨床環境第9巻2号: P.46-62, 2000
「住まいと人体」
- (3) 日本エアロゾル学会「エアロゾルとは」
(最終閲覧日:2021年2月18日)
https://www.jaast.jp/new/about_aerosol.html

- (4) 大衛株式会社「エアロゾル感染とは」
(最終閲覧日:2021年2月4日)
<https://amethyst.co.jp/1432/>
- (5) 一般社団法人室内環境学会
(最終閲覧日:2021年2月18日)
<http://www.siej.org/sub/sarscov2v1.html>
- (6) 厚生労働省ホームページ:新型コロナウイルスに関するQ&A(一般の方向け)
(最終閲覧日:2021年2月18日)
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/dengue_fever_qa_00001.html#Q1-1

<商標>

「きくばり」は、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- | | |
|-------|------------------------------|
| 石川 尚弘 | アズビル株式会社
ホームコンフォート本部技術開発部 |
| 井口 俊丸 | アズビル株式会社
ホームコンフォート本部技術開発部 |
| 田村 敦 | アズビル株式会社
ホームコンフォート本部技術開発部 |

安全・安心なサービスを提供する アズビルのクラウド運用基盤

Azbil's cloud operation infrastructure for providing safe and secure services

野間 節 Takashi Noma	鈴木 唯一 Tadakazu Suzuki	岸 勝 Masaru Kishi	関 英信 Hidenobu Seki
----------------------	--------------------------	---------------------	-----------------------

キーワード
SaaS, サイバーセキュリティ, ISMS, ITIL, DevSecOps, DX

クラウドを活用したSaaS (Software as a Service)としての価値提供が増えているが、サイバーセキュリティのリスクは日々増大しており、常に変化する。リスクに応じたセキュリティ対策、そして、運用上のセキュリティ対策が必須となる。しかし、セキュリティを十分考慮したクラウドサービスを個別に構築するのは容易ではない。そこで、セキュリティ対策が整備され常にアップデートされるクラウドサービス開発・実行の共通基盤を構築した。また、運用面でのセキュリティを確保するためにクラウド運用の専門組織を設置し、ITサービスマネジメントフレームワークの活用や情報セキュリティマネジメントシステム認証取得により、常に運用上のセキュリティ向上にも努めている。さらに、商品開発プロセス全般でのセキュリティ確保、実施状況審査のための専門組織も設置した。これらクラウド運用基盤整備の取組みにより、アズビルの安全・安心なサービスが提供できており、さらに強化を続けている。

As the provision of value in the form of cloud-based software as a service (SaaS) increases, cyber security risks are also increasing day by day, and they are assuming new forms. Commensurate measures to maintain secure operation are indispensable. However, it is not easy to build an individual cloud service that adequately addresses security. For that reason we have built a common platform for cloud service development and implementation that is equipped with security measures and is constantly updated. In addition, by establishing a specialized organization in charge of cloud operational security, by utilizing IT service management frameworks, and by acquiring information security management system certifications, we are constantly striving to improve operational security. Additionally, a specialized organization has been set up to ensure security in the overall product development process and to monitor its progress. Through these efforts to enhance our cloud operation infrastructure, we have been able to provide the safety and security of Azbil's services, which we continue to strengthen.

1. はじめに

第4次産業革命やSociety5.0といわれるように、社会・産業の在り方、ニーズが大きく変化している。さらに、新型コロナウイルス感染拡大により、解決すべき様々な課題が顕在化し、新たに出現してきている。azbilグループが果たすべき役割は拡大し、価値創造の機会が増加している。azbilグループとしては、SDGsを道標として、持続可能な社会へ「直列」に繋がる貢献を目指している。

IoT, AIといった先進技術も活用した高付加価値なサービスをお客さまに素早く、ライフサイクルに応じて提供するため、そして、お客さまのシステム運用・保守コストを削減するため、azbilグループとしてクラウドを活用した価値提供を

推進している。一方、クラウド上のサイバーセキュリティのリスクは日々増大し、常に変化する。リスクに応じたセキュリティ対策、運用上のセキュリティ対策が必須となる。

本稿では、安全・安心なサービスを提供するアズビルのクラウド運用基盤、およびその上で提供されているアズビルのクラウドソリューションについて述べる。

2. アズビルの取組み

クラウドサービスを安全・安心に提供するためには、まず、セキュリティ対策が十分整備された開発・実行基盤が必須である。そして、運用面でのセキュリティ対策、商品開発プ

ロセス全般でのセキュリティ確保・審査機能も極めて重要である。これらの取組みについて説明する。

2.1 クラウドサービス開発・実行の共通基盤

情報セキュリティの3原則である、可用性、機密性、完全性の要件を満たすシステム構成を、アプリケーション開発プロジェクトごとに設計、構築することは、アプリケーション開発者にとって大きな負担となるばかりでなく、設計漏れ、構築不備などを引き起こすリスクとなる。まして、クラウド利用環境でそれらを設計、構築していくことは、専門の知識を要し、アプリケーション開発における大きな足かせとなる。そこで、アズビルでは、アプリケーションの基盤となる部分を共通に設計し提供することで、アプリケーション開発時に考慮すべき構成範囲を限定させ、可用性、機密性、完全性を担保しつつ、アプリケーション開発にかかる工数の削減と、開発期間の短縮を実現している。また、この共通基盤を利用することは、運用設計、および実運用の共通化による、運用面での効率化にもつながっている。

共通基盤で提供される機能は、エンジニアリングプラットフォームとランタイムプラットフォームに大別される。本稿

では、「安全・安心なクラウドサービスを提供」へ直接的に寄与する、ランタイムプラットフォーム部分について説明する。ランタイムプラットフォームでは、安全に、かつ高可用性を担保するコンテナ (Docker) オーケストレーション環境を提供している。アプリケーションサービスとして作成されたコンテナは、この基盤上で動作させることにより、安定稼働のための構成とコンテナ管理の機能が享受される。

次に、安定稼働のために欠かせないセキュリティリスクに対する基盤側の対策としては、サービス提供の外界との境界線である、入口と出口に徹底した入口対策と出口対策を共通基盤として構築し、運用での監視、管理を行っている。これらの入口、出口対策は、設計や構築が難しいばかりでなく、徹底したセキュリティ対策を行うためには大きな初期導入コストと運用コストを必要とする。これらを単独のアプリケーションで実施することは、そのためのコストがアプリケーションサービス提供コストにそのまま反映されてしまい、ビジネス面での重荷になりかねない。そこを共通基盤として提供することで、複数のアプリケーションで分割して負担することが可能になり、セキュリティとコストの相反する2つの要求を同時に実現している。

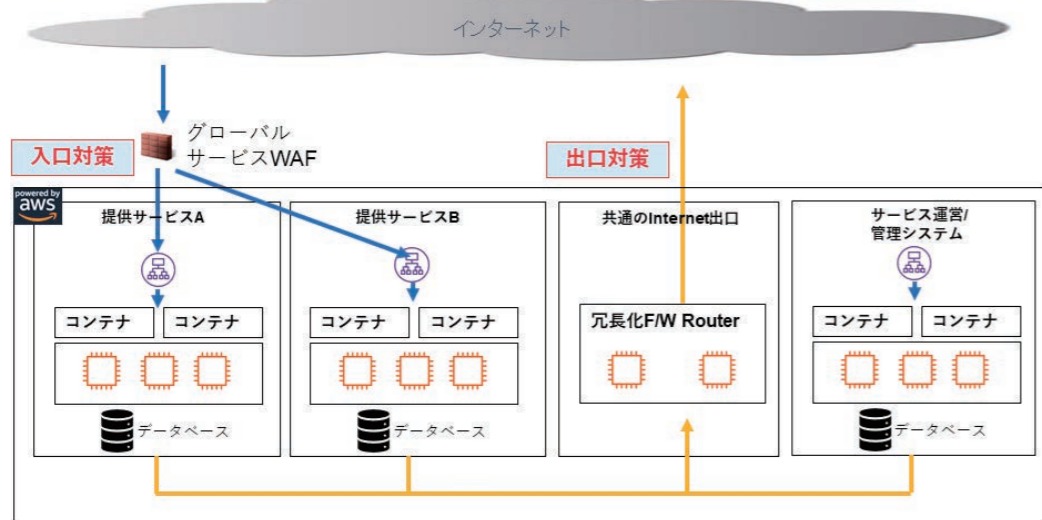


図1 全体構成図

2.2 クラウド運用センター

クラウドサービスは、従来の売り切り型の商品とは異なり、サービスを提供した後もお客さまが安全・安心にサービスを利用し続けられるよう維持する必要がある。これまでアズビルではクラウドサービスの運用を各部門が実施しており、そのノウハウも各部門内に閉じていた。この状況は、個別最適の観点では有効に機能していたが、今後クラウドサービスを拡充していく中では、アズビルとしてお客さまに均質なサービスを提供する、という観点で課題が残る。この課題を解決し、azbilグループのクラウドサービスをより安全・確実に提供可能とするための専門組織としてクラウド運用センターを2019年4月に設置した。

均質なサービスを提供するための取組みの一例として、プロジェクトの企画段階で運用に関する機能要求を提示するという活動を行っている。従来、企画段階では運用に関

する機能要求が明確になっておらず、そのため、運用に関する機能の実装状況は各サービスにより異なっていた。各サービスの運用差異は人手でカバーすることとなり、運用コストの増大はもちろんのこと、作業ミスによるインシデント発生リスクも大きくなる。運用機能を統一することで各サービスの運用品質を均質化することができ、その結果、サービス提供開始時から安全・安心にサービスを提供することが可能となる。また、これらの活動を通じて、運用業務の重要性を関係者に周知することにより、運用部門にも適切に情報が展開され、お客さまからの問い合わせ情報の集約やインシデント発生時の迅速な対応などを可能としている。

そのほかにも、各種セキュリティ施策や運用施策を実施することで、確実な運用を担保している。これらの概要を図2、図3に示す。



図2 共通基盤運用イメージ

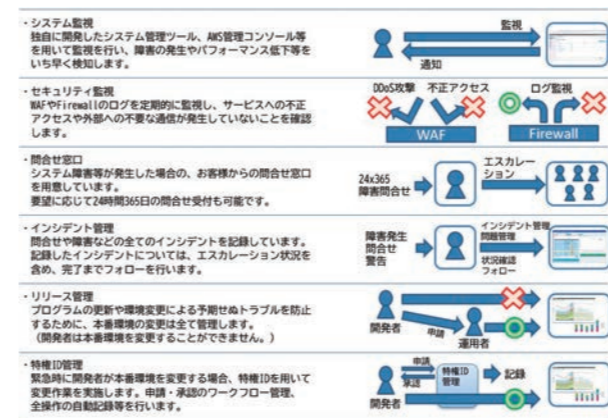


図3 主な運用業務

2.3 ITIL (ITサービスマネジメントフレームワーク)

顧客が安心してサービスを利用可能とするためには、各種の運用業務を確実に遂行する必要がある。そのため、クラウド運用センターではITIL (IT Infrastructure Library) を参考にして各種運用業務の設計を行っている。ITILとはITサービスマネジメントのベストプラクティスを体系化したガイドラインであり、ITILを参考にすることにより短期間で効率的に運用体制や仕組みの構築が可能となる。

ITILは戦略・設計・移行・運用・継続的な改善という、ITサービスのライフサイクル全体を視野に入れているため、運用に適用するだけではその効用を十分に享受できない。そこでクラウド運用センターでは、ITILの知見を企画・開発などの関係者に対しても展開し、ITサービス全体でITILを活用可能とするための活動も行っている。当初はITILという言葉も知らない状態であったが、現在ではサービスカタログの作成など具体的な活動が行われる状況になりつつある。ITILの知見が浸透することで、ITサービス全体として、顧客満足度の向上を図ることが可能となると考えている。

2.4 ISMS (情報セキュリティマネジメントシステム)

クラウドサービス利用者の最大の懸念事項として情報セキュリティが挙げられる。サービス提供者は、利用者の不安を解消する取組みを実現し、明示することが重要である。そのため、クラウド運用センターでは情報セキュリティの国際規格であるISMS認証 (ISO27001) およびクラウドセキュリティ認証 (ISO27017) を取得している。認証の取得にあたっては、適合状況の確認、各種セキュリティ対策の拡充、関連

ドキュメント類の整備、利用規約内容の調整など、整備には多くの時間を費やしたが、その結果として、よりセキュアな運用が行える状態を実現することができたと考えている。

情報セキュリティインシデントは、万が一にも発生してはならないものであり、各種認証を取得すれば大丈夫というものではない。時間の経過とともに、情報セキュリティを担保するための運用が形骸化してしまいインシデントを防止できなくなる恐れもある。そのため、クラウド運用センターでは、ISMS教育の実施や、定期的な改善活動を行うことで、情報セキュリティに対しての高い意識を維持し、よりセキュアな運用を目指す活動を行っている。



図4 ISMS 27001, 27017認証取得

2.5 サイバーセキュリティ審査室

当社が販売しているまたは今後販売予定の商品 (製品やクラウドサービス等) のサイバーセキュリティ確保を確実に遂行していくための専門組織として、商品サイバーセキュリティ審査室を2019年4月に設置した。商品のサイバーセキュリティの確保とは、「サイバー空間における、商品の可用性、完全性、機密性、真正性、責任追跡性、否認防止、信頼性などを喪失しないよう保護し、また維持すること」と定めている。

この組織を中心とした商品のサイバーセキュリティ確保の取組みは、

- ①商品におけるライフサイクル全般でのサイバーセキュリティ確保を実践していくための規則および方針の整備
- ②商品開発プロセスにおけるサイバーセキュリティ確保活動およびその実施状況の審査
- ③販売商品における脆弱性情報の収集および対応の推進などである。商品のサイバーセキュリティ確保を適切かつ効率的に実現するためには、商品企画から開発・保守へと長期間にわたるライフサイクル全般に関わるすべての担当者にサイバーセキュリティ確保の重要性を認識してもらい、それぞれの業務タスクの中でサイバーセキュリティ確保を意識した活動を実施し、一丸となって取り組む必要がある。

まず商品開発プロセスにおいて、従来の開発プロセス標準や実践活動に加えて、サイバーセキュリティ確保を意識した継続的なプロセスの見直しを実施した。見直し項目は、サイバーセキュリティリスクアセスメントに基づく、サイバーセキュリティ要件の検討、セキュアな設計および実装、それらの妥当性検証、含有するサードパーティコンポーネント等の脆弱性情報対応など、多岐にわたる。プロセスの標準化については、様々な規格やガイドラインを参照し、作成した。これらの方針や標準は、定期的で開催している全社的な、商品のサイバーセキュリティを強化する会議で随時展開している。

次に商品のライフサイクル全般におけるサイバーセキュリティ審査については、当社で開発・販売しているクラウドサービスを中心にまずは実施している。このクラウドサービスについては、サービス提供開始後の運用上のセキュリティが特に重要であると考えている。

商品に含まれるサードパーティコンポーネントの脆弱性情報については、脆弱性情報対応要領標準を策定し、これに沿った活動が定期的実施されている。

以上、これまでの取組みの中で見えている次のような課題に対して、PDCAをしっかりと回しながら、改善していく。

- ・サイバーセキュリティ確保の対策実装および検証が効率的に開発プロセスに組み込めていない。
- ・商品企画開発者のサイバーセキュリティ確保の意識向上への活動がまだまだ不足している
- ・商品リリース後のサイバーセキュリティ確保の維持・向上活動についての認識が薄い

これらの改善とともに、商品開発・改善スピードを加速していくために、図2のイメージ図にも示しているように、商品の開発や運用の企画設計段階からセキュリティを考慮するDevSecOpsの導入・実践、開発プロセスにサイバーセキュリティ診断ツールを組み込み、さらなる自動化の推進、サイバーセキュリティ確保を意識して実現できる人材の育成、情報処理安全確保支援士資格取得の加速化などを進めている。今後もお客さまに安心して当社商品をご利用いただけるよう、改善していきたい。

3. アズビルのクラウドサービス

次に、アズビルのクラウド運用基盤上で提供されている、クラウドサービスについて紹介する。エネルギー、設備、品質の監視・管理クラウドサービスとして、ISMS27017クラウドセキュリティ認証を取得している。

3.1 ビル向けクラウドサービス

クラウドサービスの長を活かし、ビルオーナーだけではなく、オフィスで働く人々やビル管理者等、ビルに関わるあらゆる人々がそれぞれの目的に合わせて、時間や場所を選ばずにサービスを利用することができ、関係者間での情報共有も促進できる。

ビルオーナーやビル管理者には、ビルのエネルギー管理や設備管理業務の効率化を提供し、管理コストの削減を実現する。居住者にとっても、空調・照明のON/OFF、設定変更等をPC、タブレット、スマートフォンから簡単にすることができる。居住者の「暑い」「寒い」といった温冷感に基づいて設定温度を変更することもでき、執務環境の向上を支援する。また、エネルギーの見える化により省エネ活動促進、意識の啓もう活動に役立てることができる。



図5 ビル向けクラウドサービスの利用場面



図6 エネルギー管理画面事例(熱源最適運用)

3.2 現場でつくる作業記録サービス^{注1}

現場に数多く残る、紙に手書きで記録している作業を、簡単、スマートにデジタル化するためのクラウドサービスである。クラウドサービスの長である、ハードウェア資産が不要で、自社に運用者を必要とせず、必要なときにすぐに始められるという柔軟性を活かしたサービスである。

製造・メンテナンスの現場などをはじめとする、幅広い各種業務での手書き作業を、PC、スマートフォンやタブレットを使ってその場でデジタル化し、そしてクラウドに保存できる。テキスト、数値、日時などのデータに加えて、その場で撮影して画像として記録することができる。

注1 詳しくは本冊子p.23をご覧ください

日付	時間	作業者	型番	製造コード	検査項目		
					距離歩数	トング	レベル
2019/11/20	10:32	Tanaka	112201/0200	2019/11/20	✓	✓	✓
11	10:37	11	11	2019/11/20	✓	✓	✓
11	11:38	11	11	2019/11/20	✓	✓	✓
11	11:40	11	11	2019/11/20	✓	✓	✓
11	12:30	11	11	2019/11/20	✓	✓	✓
11	12:35	11	112201/0200	2019/11/20	✓	✓	NG



図7 手書き記録作業をデジタル化

それぞれの業務用途に合わせた記録画面の構築を、ドラッグアンドドロップ・文字入力といった簡単な操作だけで実現できる。また、紙の記録では不可能だったQRコードやバーコードからのデータ取得、画像の記録など、モバイルならではの多彩な入力フォーマットによる情報収集機能を利用することが可能である。

直感的な操作で記録を行えるので、ミスの削減や作業時間短縮につながる。その場でデータ化し、クラウド保存することで、リアルタイムに情報共有し現場の状況を把握することができる。データを活用することで現場の状況を正しく把握でき、業務の改善やDXに繋げることができる。

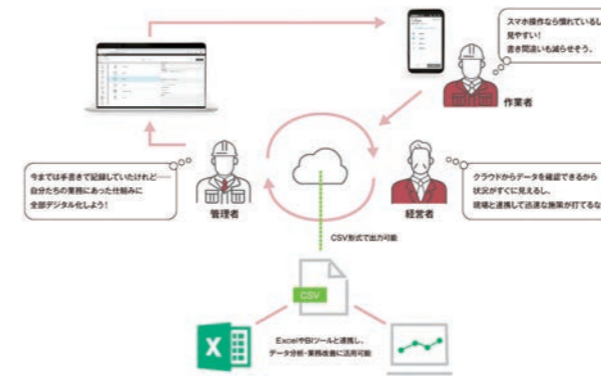


図8 作業記録サービスの利用場面

3.3 Dx Valve Cloud Service^{注2}

調節弁メンテナンスサポートシステム PLUG-IN Valstaff (以下Valstaff)で収集したバルブの稼働データをクラウド上に自動送信・解析を実施する。顧客は、クラウドサービスの長を活かし、「必要なときに」「必要なカタチで」「必要なシーンで」診断結果を確認できる。従来、日常的にバルブの健全性を確認するためには、Valstaffに蓄積する稼働デー

注2 詳しくは本冊子p.30をご覧ください

タを顧客が日々確認や評価をする必要があった。Dx Valve Cloud Serviceは、顧客が稼働データの確認や評価をしなくても診断データからバルブの異常早期発見や異常進行予測の確認が可能となり、生産設備の安定化や保安力強化に貢献する。概要を図9に示す。

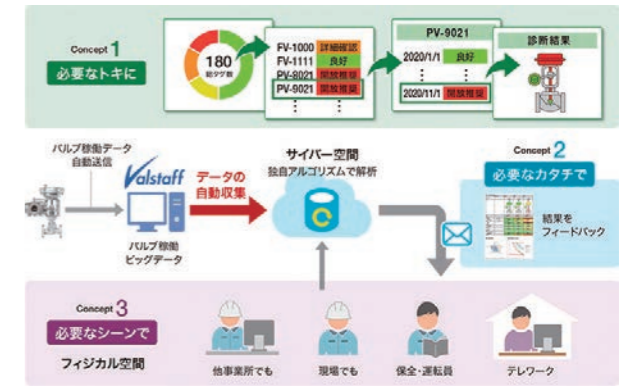


図9 Dx Valve Cloud Serviceの利用場面

4. おわりに

azbilグループ各社ではクラウドサービスを活用した価値提供をさらに加速している。そのために必須となるクラウド運用基盤を、継続的にさらに強化していく。

そして、アズビルのクラウドサービスをより多くのお客さまに安全・安心にご活用いただければと願っている。お客さまのパートナーとしてデジタルトランスフォーメーション(DX)推進をサポートし、事業環境の変化に迅速に対応できるように貢献したい。

<商標>

ITILは、AXELOS Limited の登録商標です。Amazon Web Services, 『Powered by Amazon Web Services』ロゴは、米国および/またはその他の諸国における、Amazon.com, Inc.またはその関連会社の商標です。Valstaffは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 野間 節 アズビル株式会社
クラウド運用センター
- 鈴木 唯一 アズビル株式会社
クラウド運用センター
- 岸 勝 アズビル株式会社
IT開発本部 IT開発1部
- 関 英信 アズビル株式会社
商品サイバーセキュリティ審査室

ニューノーマルな働き方や業務の変革を支援する現場でつくる作業記録サービス

A work-site record-keeping service supporting “new normal” ways of working and business transformation

鈴木 丈樹
Takeki Suzuki

岸 勝
Masaru Kishi

奥山 剛
Tsuyoshi Okuyama

尾形 知美
Tomomi Ogata

キーワード

人の作業のデジタル化, クラウドサービス, サブスクリプション, マイクロサービス, ノーコード/ローコード開発^{注1}, リモートワーク, ペーパーレス/ハンコレス

アズビルのクラウドによるソフトウェアアプリケーションサービスとして2020年7月に現場でつくる作業記録サービス(以下、本サービス)をリリースした。これは紙に手書きしていた記録業務をデジタルに置き換えるサービスである。様々な現場では人とモノと一緒に働いており、現場で起きていることを正しく把握するには「人とモノ」両方の情報が必要である。しかし、IoT化が進むモノと比べて、人の情報のデジタル化は遅れており、その情報を活用することが困難であった。本サービスはITスキルを問わず、作業を容易に編集・管理し、継続的な業務改善を支援するものであり、人の作業データを簡単にデジタル化し、他のコンピュータシステムデータやIoT機器データなどと組み合わせることで、現場の真の姿をデータで表し、業務に対する思い込みや勘・コツからの脱却を図る、正にDXを支援する基盤として、現場の方が身近な業務を見直せるような活用を想定したクラウド型のアプリケーションソフトウェアサービスである。

In July 2020 Azbil released a cloud-based work-site record keeping service. This service digitally replaces the work of recording work results on paper. At various sites work is done by both people and things, and therefore to properly understand what is happening on the site, information on both people and things is necessary. This service provides easy editing and managing of work records without the need for IT skills, supports continuous business improvement, and provides convenient digitization of human work records, with the intention of making the digitized data usable with other data from computer systems and IoT devices. In this paper we discuss the strengths, functions, and technical elements of this service, as well as the possibility of applying it to new methods of working that have arisen as a result of the coronavirus pandemic.

1. はじめに

2020年2月以降、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)が急激に拡大した。このような状況下での事業継続のため、あらゆる企業で業務の進め方、働き方が急速に見直されてきた。

リモートワークもその1つだが、コロナ禍をDX実現の機会と捉えている企業も多くある。

DX(Digital Transformation)とは2004年にスウェーデンのウメオ大学教授のエリック・ストルターマン氏が提唱したとされる概念で「われわれ人間の生活に何らかの影響を与え、進化し続けるテクノロジーであり、その結果、人々の生活をよりよい方向に変化させる」と定義されている。つまり、

ITの浸透が人々の生活をあらゆる面でよい方向に変化させるという考え方が、企業活動においては「デジタル技術を用いて自社を変革すること」に尽きる。

すなわち、これまで言われてきたDigitization(デジタル化、例えば紙の帳票をExcelに変える、人の作業をRPA^{注2}に変える)やDigitalization(デジタルによる最適化/生産性向上)のように、情報のデジタル化や作業の自動化を目的としたものではなく、新しい価値を創造するための取り組みである。

注1 コード(プログラム)を書かないもしくは少ないコードでアプリケーションを開発すること。
注2 RPA(Robotic Process Automation)とはソフトウェアロボットによる業務自動化のこと。主にデータの転記や集計などのパソコン上の定型作業に適用すると効果が高い。

IoT化が進むモノと比べて、人の情報のデジタル化は遅れており、その情報を活用することが困難であった。

本サービスは様々な現場に数多く残る、作業の結果を人が紙に記録するという業務、すなわち人の情報をデジタルに置き換えるサービスであり、本サービスで記録した人の作業データを他のコンピュータシステムデータやIoT機器データなどと組み合わせることで、現場の真の姿をデータで表し、業務に対する思い込みや勘・コツからの脱却を図る、正にDXを支援する基盤として、現場の方が身近な業務を見直せるような活用を想定したクラウド型のアプリケーションソフトウェアサービスである。

2. 開発コンセプト

(1) 品質不正問題への対応

本サービスの開発の発端は2017年~2018年にかけて数多く発覚した日本の製造業におけるデータ改ざんや無資格検査などの品質不正問題である。製造業における重要なこの問題に対し、検査などで不正を起ささないように、人の作業の5W1Hを正しく記録できることを目指した。

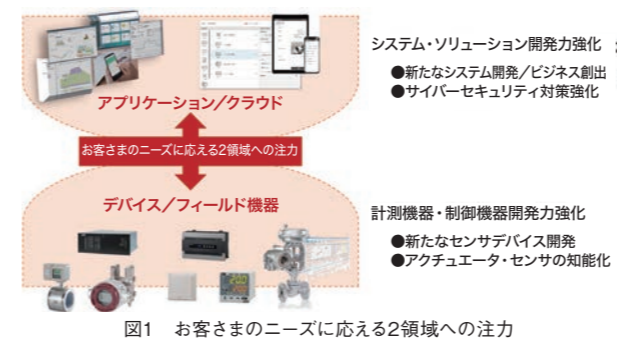
(2) クラウドへのこだわり

アズビルは持続可能な社会の実現に向けて、「計測と制御」の技術・製品を基盤とした新しいソリューション/新オートメーション領域の商品開発を進めているが、クラウドサービスはその1つである。

企業におけるこれからのITシステムは、事業環境の変化に対する柔軟性が求められる。

柔軟性とは、必要なときにすぐに始められる手軽さや、ハードウェア資産を持たず、自社に運用者を要しないことであり、これはクラウドサービスの利点の一部である。クラウドサービスを利用することで、例えばDXで新たな取組みを始める場合でもシステム開発や体制構築にかかる時間とコスト、要員を大幅に削減でき、手軽に始めることができるようになる。

近年、基幹系やOA系システムではクラウド利用が急速に進んできたが、工場での生産/製造など、現場業務に関わるシステムについても近い将来はクラウドにシフトすると考えている。



アズビルでは、クラウドネイティブなアプリケーションの開発/実行基盤を整え、ここで動作するアプリケーションを開発し、運用も含めて提供することを計画し実現に向けて進んできた。

(3) 誰にでも扱えること

「人を中心としたオートメーション」を掲げ、「お客さまとともに、現場で価値を創る」アズビルならではのサービスとして、IT部門やITベンダーの力を借りず、現場の方々だけで作り上げていける仕組みを目指した。このため、プログラミングやデータベースの定義といった専門的なITスキルを必要としない、誰にでも扱えることをサービスのコンセプトとした。

2018年9月に経産省が発行した「DXレポート」の中でも日本企業のIT人材の少なさが述べられており、これに対する解の1つとしても有効であると考えている。

(4) 素早い開発と継続した改良

本サービスが提供するものは、これまでになかった新しい支援を行うアプリケーションである。様々な業種/業務に適用できることを目指しているが、適切な機能や使い勝手は実際に使いながら改善していくこととし、まずは速やかに形にして早く使える状態にする必要があった。

サービスを提供したらそれで終わりではなく、継続して改善リソースを積み重ねて育てていくことが重要である。

3. アーキテクチャと開発環境

ここでは、クラウドサービスの迅速な開発と継続した改良を実現するためのアーキテクチャと開発環境を紹介する。

3.1 アーキテクチャ

(1) マイクロサービス

クラウドネイティブな環境に適合したアーキテクチャとして、マイクロサービスアーキテクチャを採用している。マイクロサービスアーキテクチャは、2000年代前半から広まったサービス指向アーキテクチャ(SOA)をクラウド/ネットワーク/セキュリティ/コンテナ化といった現代の技術によって再構築したものといえるが、マイクロサービス化することは、これまで主流であった、すべての機能を1つのプロセスとして開発し、稼働させるモノリシックなアプリケーションに比べて小さく独立した、お互いが疎結合なサービスを連携させて、1つのアプリケーションを構築していく構造を取りやすくする。

この構造で作られたアプリケーションをマイクロサービスアプリケーションと呼ぶ。

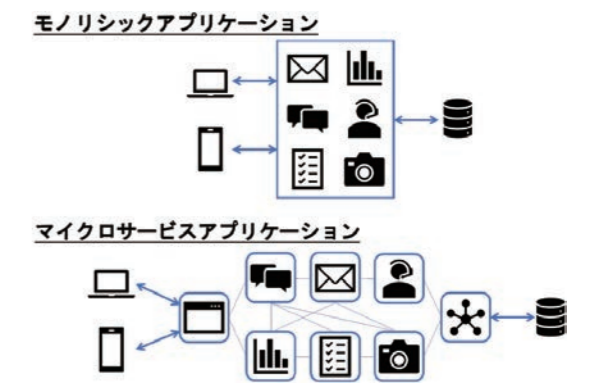


図2 アプリケーション構造の違い

マイクロサービスによるアプリケーション開発は、すべての要件や仕様が固まる前に、特定部分の小さなサービスから、設計/実装を行い、迅速にサービスをリリースすることを可能にする。その後のサービスの更新や追加を小さなサイクルで行うことも容易になる。

つまり、モノリシックアプリケーションでは長い時間をかけていた仕様作成からリリースまでの連続した開発プロセスを、マイクロサービスでは必要なサービス単位で並行して進められるということである。

アズビルではマイクロサービスによるクラウドアプリケーションの開発基盤と動作/運用基盤を開発した。基盤開発もアプリケーション開発と同様に継続した改良を続けており、開発からセキュリティ、運用に関わるすべての工程について、従来のやり方を見直し、いわゆるDevSecOps^{注3}の実現を進めている。

(2) コンテナ

マイクロサービスの実装形態としてコンテナを採用した。コンテナの特長として

- ・OSに依存しない
- ・コンテナ間の独立性が高い
- ・起動が高速
- ・バージョン管理機構が整っている
- コンテナを利用したアプリケーションの特長として
- ・同一コンテナを複数起動できる(負荷分散)
- ・冗長化構成が可能
- ・CPU、メモリの割当変更が容易
- ・ストレージの割当変更が容易
- ・ネットワーク設定(セキュリティ、ロードバランス)の自由度が高い
- ・アプリケーションのスケールアップが可能
- ・アプリケーションを無停止で更新できる

このようなものが挙げられるが、これらはクラウド上での動作を前提としたアプリケーションに適したものである。

これらの特長はアプリケーションを構成するマイクロサービスごとに独立した設計/実装を行うことも容易にしている。

コンテナ化されたマイクロサービスは、前述した動作/運用基盤上で各々が連携しながら動作し、高い可用性/機密性/完全性を実現している。

3.2 開発環境

アプリケーション開発はフロントエンドアプリケーションと呼ばれる、UI(ユーザーインターフェース)により利用者が直接操作する部分の開発と、バックエンドアプリケーションと呼ばれる、WebAPIとして構成され、フロントエンドアプリケーションや他のサービスからの呼び出しにより、データベースアクセスや演算処理といったビジネスロジック(対象業務独自の処理)を実行する部分の開発に分けられる。

開発者が注力すべきはアプリケーション独自のUIでありビジネスロジックである。そのためにはデータベースアクセスや例外処理、ログ出力といった汎用処理や統一した

UIデザインなどは、開発者が意識することなく実装できるようにしたい。

そこで、独自に開発したテンプレートやライブラリ、ソースコードの自動生成などを開発環境に用意し、開発効率の向上と品質の均質化を図っている。

共通した設計思想を開発者に示し、これを引き継ぐことを助けることにより、継続して改善リリースを積み重ねていく中で、担当者が代わっても品質低下を招くことなく開発を継続できると考えている。

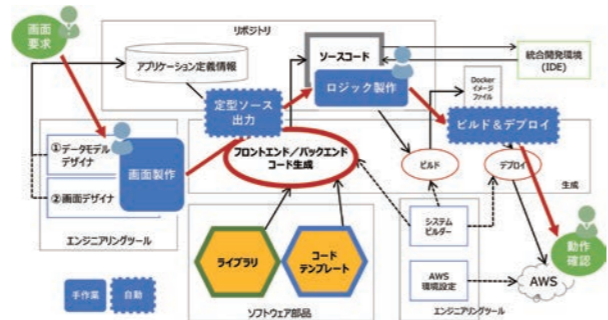


図3 開発環境概略

本サービスはIoTのような「モノ」ではなく「人の作業」を対象としてデータ化するため、簡単で、迷わず、ストレスを感じずに操作できるようなユーザビリティが重要になる。

たとえ高機能であっても、使いにくさや見た目などの印象の悪さを利用者を与えてしまうと、徐々に使われなくなったり、入力が適当になったりしてしまい、収集できるデータの質と量が低下し、結果としてデータを活用しなくなることに繋がる。

機能を実現するだけではなく、利用者に受け入れられて、使われ続けるアプリケーションでなくてはならない。

テンプレートとライブラリを利用することで、統一したデザインのもと、機能と使いやすさを両立させたアプリケーションを実現した。

アプリケーションが増えることで得られるソフトウェア資産やノウハウを開発環境に反映させていくことで、開発効率やアプリケーション品質をさらに向上させていきたい。

4. サービス(商品)の特長

企業が導入するシステムの多くは自社のIT部門やITベンダーに依頼し開発しているであろう。このような場合、依頼先のスケジュールに少なからず影響を受けてしまう。また、将来を見据えたしっかりとしたものになりたいとの考えが強くなることもある。この場合にはプロジェクトを起し、綿密な導入計画を立てることから始めることになり、システムに求める要求も増え、大規模/長期間の開発になることも多いだろう。

しかし自社/自部門を取巻く状況は社内外を問わず、絶えず変化するものであり、開発終了時には状況が変わり、稼働したシステムが使い物にならない、もしくは改修が必要だということにもなりかねない。

注3 ソフトウェア開発手法の1つ。開発(Development)担当と運用(Operation)担当が連携した開発手法であるDevOps(デブオプス)にセキュリティ(Security)担当を加えたもの。

本サービスは後述する特長のとおり、誰でも簡単に人の作業を記録するシステムを構築できるため、身近な「やってみよう/見てみたい」ぐらいの小さな規模で始めることができ、自分たちで、自分たちのペースで、自分たちに合った形に変えていける。

これはDXについても同様で、求められる大きな変革に対しても、小さく素早く進めていける、スモールスタートで始めるDXが状況変化の激しい今の時代にフィットする。

本サービスはこのような目的達成に適した特長を持つものである。

4.1 誰でも使える

最も重要な特長が「誰でも使える」ことである。記録するという業務だけでなく、記録システムの構築においても誰でも使えることを重視した。

(1) プログラミング不要

QRコード/バーコード読み取り、端末のカメラで撮影した写真の記録など、モバイルならではの入力フォーマットを活用した記録部品をドラッグアンドドロップと文字入力で組み合わせるだけで記録システム(画面)をすぐに作成できる。

(2) 現場での使いやすさ

アズビルは、長年、数多くの現場でお客さまと接してきたが、この現場ノウハウを使いやすさに活かしている。

例えば、記録作業の画面をタブレットやスマートフォンでの利用を前提として開発したが、これは作業場所や作業者の状態を考慮した結果である。つまり、製造記録や製品検査のような製造ラインでも設置が容易なことや、巡回点検などの移動しながらの仕事でも軽く、操作性がよく、作業者の負担にならないことを条件としている。操作画面は、初めてでも迷わず使えることや、現場作業をしながらでも間違えずに操作できるなど、直観的でわかりやすいUIを目指した。

4.2 インストール不要

WEBブラウザで動作するため、端末にはWEBブラウザ以外のプログラムをインストールする必要はない。

このことはWindowsやiOS、AndroidプラットフォームといったOS(オペレーティングシステム)に依存せずに端末を選べることを意味する。

必要なWEBブラウザはOSにより異なるが、WindowsとAndroidプラットフォームはChromeブラウザ、iOSはSafariブラウザを対象としている。

4.3 「クラウド」&「サブスク」

本サービスはクラウドサービスであり、利用者ごとの月額課金であるサブスクリプションサービスとして提供している。

1名でも利用でき、利用者の増減も可能なため、組織や業務の体制に合わせて柔軟に利用できる。

(1) 初期導入費無料

クラウドサービスのため、専用サーバーの購入、そのための設置場所の確保や運用要員を確保する必要がない。端末を用意する必要があるが、既存の端末を流用できる

場合には、初期導入費用は不要である。

(2) 安全/安心なサービス運用

アズビル社内に開設したクラウド運用センター^{注4}が本サービスを運用している。同センターは国際規格「ISO27001」に基づくISMS(情報セキュリティマネジメントシステム)認証および国際規格「ISO27017」に基づくISMSクラウドセキュリティ認証を取得しており、お客さまには安全なサービスを安心してお使いいただくことができる。

5. 機能紹介

本サービスは「人」のサービスを記録することを主な役割としているが、継続的な業務改善と作業結果の管理・活用を容易にする、そのために必要な以下の機能を有している。

- ・記録作業の定義
- ・記録作業の実施と結果の記録
- ・記録作業の中断と再開
- ・記録データの確認と編集
- ・記録データの出力
- ・ユーザー管理と作業グループ管理

5.1 記録作業の定義

作業者が行う記録手順を定め、保存したものを「定義」と呼び、「定義」は複数の「記録項目」を組み合わせることで作成する。

「記録項目」は作業者が記録作業を行うときの最小入力単位であり、記録画面1ページに表示するものである。



図4 定義画面

定義の作成にはプログラミングやデータベースの知識は不要である。定義に必要な要素部品(記録項目)が用意されており、マウスによるドラッグ&ドロップとキーボードによる文字入力といった簡単な操作だけで画面をすぐに作成することができる。

注4 詳しくはp.18ページをご覧ください。

5.2 記録作業の実施と結果の記録

前述のとおり、記録作業は現場で行うことを前提としスマートフォンやタブレットでの操作を前提としている（PCでの操作も可）。



図5 タブレット、スマートフォンの記録画面

ページをめくる感覚で、作業項目ごとにタッチ操作で結果を記録。すべての項目を記録し終えたらクラウドに登録。記録作業中のデータは端末に保持しており、ネットワークを使えない状況でも記録作業を行える（クラウドへの登録はネットワークを使える場所で行う必要あり）。

5.3 作業の中断・再開

記録作業を中断し、中断した記録作業をいつでも再開できる。ある記録作業を実施中に別の記録作業を実施し、その後、元の作業を実施するようなことや、記録作業を中断し、そこから別の人が別の端末で作業を再開する（引き継ぐ）ことができる。



図6 作業の中断画面と再開画面

5.4 記録データの確認・編集

登録済みの記録データを確認し、編集することができる。編集結果を登録すると、編集したデータだけでなく編集者、編集日時も記録され、編集前のデータとともに履歴管理される。



図7 記録データの一覧(登録日時と改番)

5.5 記録データの出力

日付または期間と定義を選択すると、選択条件を満たす記録データをCSVファイルに出力する。

市販の表計算ソフトやBIツールに取り込むことで、帳票の作成や、可視化し分析することが可能となる。

CSVファイルに出力するデータは、作業記録画面で入力したデータだけでなく、入力者、入力日時も含まれる。

このほか、入力場所としてGPSによる緯度・経度^{注5}も含まれる。

5.6 ユーザー管理と作業グループ管理

5.6.1 ユーザー管理

本サービスを利用するユーザーの登録や削除といったユーザー管理も、本サービスの管理者権限を持つユーザー自身が本サービス上で簡単に行える。



図8 ユーザー管理画面

5.6.2 作業グループ管理

本サービスの利用が進み、定義が増えてくると、目的や業務、組織などで分類や管理が必要になってくる。

管理者権限を持つユーザーが作業グループを作り、グループごとにユーザー・定義を振り分けることで、各ユーザーには自身が属する1つまたは複数の作業グループの定義のみが表示されるようになるため、定義の管理が容易になる。

注5 端末のWEBブラウザ設定でGPSデータの取得を許可している場合に限る。



図9 作業グループ管理画面とグループ運用画面

ここまで、本サービスの機能を紹介したが、紙面上では実際の動きや使い勝手までをご理解いただくことは難しい。具体的なイメージは本サービスを紹介しているWEBサイト(<https://www.azbil.com/jp/rcd/>)や、同WEBサイトでご案内している2カ月の無料トライアルで実感していただきたい。

6. アズビルでの業務利用事例

これまでのアズビルのイメージや現場でつくる作業記録サービスという商品名から、製造業のお客さまが多いが、この他にも建設業、メンテナンス業、介護サービス業などからのお問い合わせもいただいている。

当社では製造、サービス、営業など複数の部門で利用されている。

湘南工場では流量計製造ラインの製品検査工程に本サービスを導入しているが、ペーパーレスだけでなく、記録データを活用した品質の可視化や工程の最適化に効果を上げている。

例えば、市販のBIツールと組み合わせることにより、月40時間ほどを要していた品質レポートの作成時間をほぼゼロにできたこと、品質不良の発生数と時間帯の関係や作業者ごとの品質の傾向といった、検査記録を紙で運用していたときには見えなかった「現場の真の姿」が見えるようになった、というような効果が現れてきた。

このような効果が品質会議などで共有され、複数の製品製造ラインへの展開が進んでいる。

7. ニューノーマルな働き方への貢献

COVID-19が日本国内で確認されて1年数カ月が経つが、この感染症拡大により私たちの生活は大きく変わらざるを得なくなったことは周知のとおりである。

感染拡大を防ぐために出社を控えたくても、どうしても出社を要する業務に就いている方も多いのが現実であろう。

現場の作業は出社しないとできないが、作業の計画や指示、作業結果の確認や承認、このような業務は出社しなくてもよいケースも多いだろう。お互いの接触の機会を減らす

工夫もしなくてはならない。

そういった業務に対して、本サービスは非常に有効だと考える。

クラウドサービスの利用はサーバーメンテナンスのための出社を不要とし、インストール不要のWEBアプリケーションは、どこでも/どんな端末でも作業できる。

手書きによる記録業務をデジタルに置き換えることで、手書きした紙のやり取りやファイリングによる接触がなく、記録結果を共有することができる。

本サービスは様々な現場における記録業務をデジタルに置き換えるサービスであり、適用先は、製造現場の検査記録業務や設備の点検記録業務に限らない。例えば我々の部署では、コロナ禍での在宅勤務率の登録/確認や止むを得ない外出の際の体温や外出先、経路などの記録にも活用している。

社内利用を通じて、より多くの新しい働き方への適用を見つけていきたい。

8. 今後の展開

記録に特化している本サービスがカバーしていない記録作業の計画や指示、記録結果の承認といった関連業務の領域をカバーする「計画管理サービス」を開発中である（執筆時点）。

このサービスにより、どこにいても作業の計画、作業進捗の確認、作業結果の承認を行えるようになるため、より進んだペーパーレスやハンコレスを実現できるだろう。

このほかにも、周辺業務や関連業務のサービスを拡充していく計画なので、ご期待いただきたい。

9. おわりに

本サービスを企画当初と比べると、企業におけるクラウドサービス利用の高まりもあり、私たちのサービスをクラウドでご提供することへの肯定的な意見が増えてきたと感じている。

コロナ禍により、新しい働き方やDXの取組みへの動きが急加速し、人の作業や紙の記録をデジタル化する本サービスへの注目や期待も高まっている。

現場でつくる作業記録サービスは成長するサービスであり、クラウドならではの長を活かし、迅速に、きめ細かく改良を続け、お客さまのニーズに対応していきたい。

<商標>

Windowsは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。

iOSはApple Inc.のOS名称です。

Androidは、Google LCCの商標です。

ChromeはGoogle LCCの商標です。

Safariは、Apple Inc.の商標です。

<著者所属>

鈴木 丈樹 アズビル株式会社
ITソリューション推進部
岸 勝 アズビル株式会社
IT開発本部IT開発1部
奥山 剛 アズビル株式会社
IT開発本部IT開発1部
尾形 知美 アズビル株式会社
IT開発本部IT開発1部

バルブ診断精度向上への取り組みと クラウドサービス提供による新たな業務効率化の実現

Improving the accuracy of valve diagnosis and facilitating more efficient operation through the provision of cloud services

山崎 史明
Fumiaki Yamasaki

籠浦 守
Mamoru Kagoura

平尾 耕一郎
Koichiro Hirao

キーワード

バルブ, 調節弁, メンテナンス, 診断, 状態基準保全, IoT, クラウド, ビッグデータ

プロセス産業のデジタル化が進んでいるなかで、生産設備の重要な機器であるバルブの状態を把握する技術が発展してきている。アズビルでは、バルブが発端となるトラブルを未然に防止するためにバルブ解析診断サービスを提供している。さらに、顧客のバルブ診断に費やす業務負荷の低減を実現するDx Valve Cloud Serviceの提供も開始した。Dx Valve Cloud Serviceを用いて、生産設備の安全性向上・保安力の強化に貢献する。

Along with the digitalization of the process industry, technology for diagnosing the status of valves, which are critical equipment for production facilities, has been developed. We provide valve analysis and diagnosis services to prevent production problems from developing due valve failure. In addition, we have begun to provide the Dx Valve Cloud Service, which assists plants by facilitating valve diagnosis work. Through the use of this service, we contribute to better equipment safety and stable operation of production facilities.

1. はじめに

生産設備におけるバルブは、生産設備のプロセス量（流量・圧力・温度・液位などがある）を調節する機器であり、プロセス制御では欠かせない重要な機器である。バルブは、生産設備ごとに異なった環境（高温や低温、高圧や低圧）で稼働しており、このバルブが発端となるトラブルが発生すると生産設備の停止・品質低下や事故・災害につながる危険性を持ち合わせている。顧客は、生産設備を安定操業させるためにバルブの自主的な検査やメンテナンスに取り組んでいる。しかしながら、増加するメンテナンスに対し、優れた技能を持った保全員の引退などもあり、十分に人員を確保することが難しくなりつつある。それらの制約を補うために診断ツールを導入しノウハウの蓄積や業務効率化を目指している。

一般にバルブ診断ツールの構成は、バルブを調節しながらバルブの稼働状態を検出する機能を搭載したスマート・バルブ・ポジション（以後、スマートポジション）とスマートポジションで検出する稼働データを蓄積・可視化する診断システムから構成される。当社調査ではこれらの診断ツールを導入してもバルブの稼働データを十分に活用できていないことがわかった。原因としては、生産設備で稼働するバルブの状態をスマートポジションが正しく検出できていない

ことや診断ツールを活用する人員の確保ができていないことが挙げられる。また、診断ツールで可視化した情報に対して内容を把握し対処するノウハウも求められている。さらに、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な感染拡大に伴い、感染防止の観点から保全員の製造現場への入出が制限され、さらにテレワークが推奨されるなど、コロナ禍以前の環境以上にバルブの健全性を把握するのが困難な状況である。

当社では、生産設備におけるバルブの安定稼働を支援するために、スマートポジションである300シリーズ／700シリーズと当社製調節弁メンテナンスサポートシステム PLUG-IN Valstaff（以後、Valstaff）の提供とValstaffに収集した膨大なバルブの稼働データを当社ノウハウと組み合わせ複合的に解析・診断し、バルブの健全性を評価（以後、診断データ）するバルブ解析診断サービスも提供している。また、そのサービスを持続可能な取組みとして活用できるように、SaaS（Software as a Service）型ソリューションDx^{注1} Valve Cloud Serviceの提供も開始した。

本稿では、生産設備におけるバルブの状態を正しく検出し、得られた稼働データを適切に評価し、バルブの安定

注1 「Dx」は医療分野において診断を意味する「Diagnosis（診断）」の略称。本サービスでは、バルブの健康状態の把握によって、常にバルブを安全に利用できるという意味を、この言葉に込めている。

稼働を持続的に支援する取り組みについて報告する。2章では、バルブの稼働データを活用するために取り組んできたことについて、3章では、バルブ診断データの活用課題と解決方法について、4章では、バルブ診断の今後の展望について述べる。

2. バルブの稼働データを活用するための取り組み

当社は以前より、顧客の新設設備やポジショナの老朽化更新の際にスマートポジショナの導入に力を入れている。具体的には、当社製スマートポジショナである300シリーズや700シリーズが該当する。これらはバルブの形状によらず、フィードバックレバーを精度保証回転角内(±4°~±20°)に取り付けてバルブの制御および状態監視ができる。特に700シリーズでは、空気圧センサが搭載されており、摩擦力の異常や空気回路の異常などを検出でき、300シリーズより多くの稼働データを活用して詳しくバルブの状態を把握できる。

また、スマートポジショナで検出する稼働データを収集・可視化するためのValstaffも提供している。Valstaffは、当社製デバイス・マネジメント・システムInnovativeField Organizer™または、横河電機株式会社製 統合機器管理パッケージPRM (Plant Resource Manager) 上で動作するシステムである。Valstaffにより、300シリーズや700シリーズの稼働データからバルブの状態を把握できる。

本章では、これらの診断ツールで有効な稼働データを検出するために取り組んできたことを説明する。2.1では、従来の制御電流範囲からの変更について、2.2では、スマートポジショナとバルブの開度誤差について、2.3では、不定常時におけるバルブの稼働データの対処について述べる。

2.1 従来の制御電流範囲からの変更

既設の生産設備は、運転制御にDCS (Distributed Control System:分散制御システム)が多く採用されている。バルブ自体の制御は、力平衡方式の電気・空気式ポジショナ(以後、アナログポジショナ)が主流で動作している。アナログポジショナの仕組みは、内部機構がスプリングや摺動部品の集合体となっているため、プラント稼働中の振動や使用環境によって摩擦・劣化が発生する。それにより、バルブ開度(PV)のゼロ点やスパン位置が変化してしまう欠点があり、バルブを全閉や全開にできない場合がある。それを補うために、DCSからの入力信号(SP)では、正常動作範囲4~20mA(0~100%)だけでなく、4mA以下(0%以下)や20mA以上(100%以上)に電流値を変化させて、アナログポジショナのゼロ点やスパンの位置が変化していても全閉や全開を満たせるように構築している(図1上)。

スマートポジショナを導入するにあたっては、制御電流値を見直す必要がある。スマートポジショナは、内部にCPUを搭載しており最低駆動電流値が存在する。従来の制御電流値のままスマートポジショナを導入すると、電流値が低くなりすぎてCPU(演算回路)が停止し、結果的に、必要な稼働データが収集できなくなる。

当社製スマートポジショナ300シリーズや700シリーズは、強制全開・全閉機能を搭載しており、入力信号(%)に対して、強制的にスマートポジショナの出力空気圧力を制御できる。従来、課題であったゼロ点・スパンの変化に関係なく、フェイルセーフ方向へ動作する。したがって、DCSからの入力信号を最低駆動電流値以上に値を維持するように入力信号を変更している。それにより、有効な稼働データが収集できるようになる(図1下)。

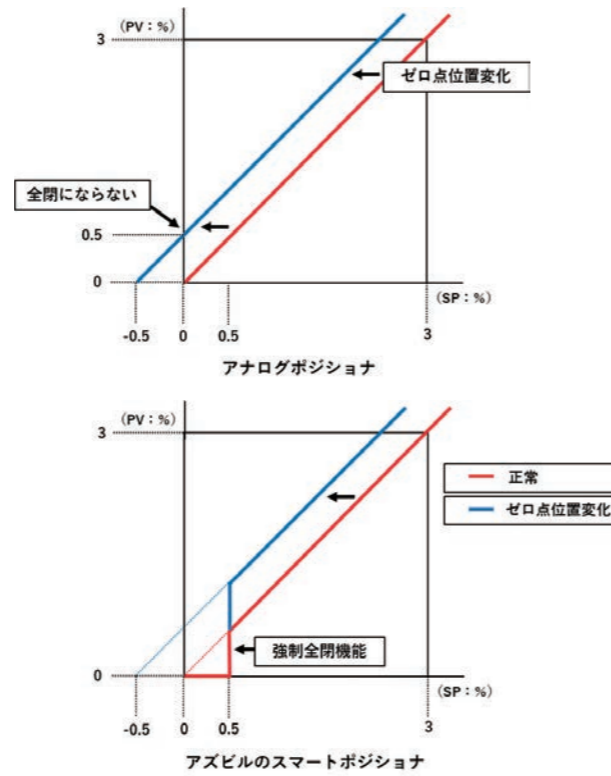


図1 ゼロ点変化の違い

2.2 スマートポジショナとバルブの開度誤差

当社製スマートポジショナは、バルブ開度の検出に角度センサを使用しており、バルブの開度はフィードバックレバーを介して電気信号で検出している。それにより、入力信号(SP)に対してバルブ開度(PV)の値を確認できる。一方、バルブの開度調整は従来、バルブの目盛りだけを基準にし、スマートポジショナの内部で検出しているバルブ開度(PV)を保全員が意識していないことがある。これにより、バルブの開度とスマートポジショナで検出しているバルブ開度(PV)に誤差が発生してしまい、バルブの状態を正しく検出できない。

例えば、図2に示すようにバルブ開度が0%(全閉)にもかかわらず、ポジショナ開度値が(-5%)になることがある。この場合、はじめからポジショナ開度値がマイナス値で検出されるためバルブの内弁が損傷している状態にあるという誤った稼働データとなる。有効な稼働データを収集するためには、スマートポジショナをバルブに取り付けた際に入力信号(SP)、バルブ開度(PV)、バルブ目盛りを一致させる必要がある。

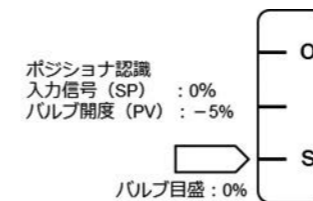


図2 ポジショナのバルブ開度が誤っている例

2.3 不定常時におけるバルブの稼働データの対処

生産設備で稼働するバルブは、生産設備の稼働環境により様々な動作をする。そのため、稼働データ内に有効なデータに加えて不定常時(例えば、手動操作による制御など)のデータも含まれてしまう。不定常時のデータが含まれると、バルブが正常な状態と異常な状態との区別ができなくなり、バルブの健全性の把握が難しくなる。当社では、不定常時のデータを考慮した、解析・診断方法を開発した。本節では、その手法の1つを紹介する。

■最大作動速度診断

「最大作動速度診断」とは、1日ごとに開方向と閉方向それぞれで弁軸速度の最大値を取得し、異常な速度やその変化からグランドパッキンなどの摺動部の状態を判定する解析アルゴリズムである。従来の課題として、運転条件によっては最大作動速度にバラツキが発生し、正常なバルブであっても異常として判断される場合があった。そのため、運転条件を考慮した解析アルゴリズムが求められていた。

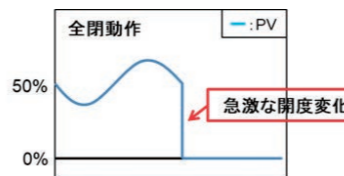


図3 全閉動作例

最大作動速度のバラツキは当社サービス員の知見や蓄積された稼働データの分析結果により、全閉動作時などに発生するステップ的な変化が原因だと判明した。この結果に基づき、全閉動作の有無でデータの分割を行い、それぞれのデータに対するしきい値設定や解析アルゴリズムを改良して過検出の低減を実現した(図3)。

図4、5は全閉動作日によるデータ分割適用例である。対象のバルブでは異常が発生していないにもかかわらず、異常速度しきい値を超える速度が発生しているため、従来では異常と誤判定していた。全閉動作日によるデータ分割を適用すると、図5のように全閉動作日(灰色のデータ)と全閉動作日以外(青色、赤色のデータ)に分割される。そのため、異常な速度の発生がバルブの異常ではなく、全閉動作による急激な開度変化が原因だと判断できる。この分割したデータそれぞれの条件に合わせた異常速度のしきい値を設定(赤色、青色の破線)することで、過検出を抑制できる。

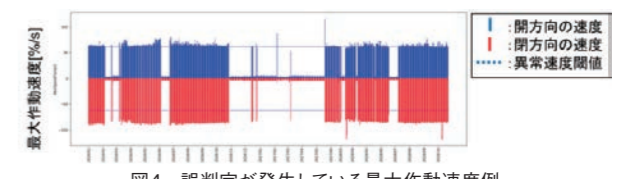


図4 誤判定が発生している最大作動速度例

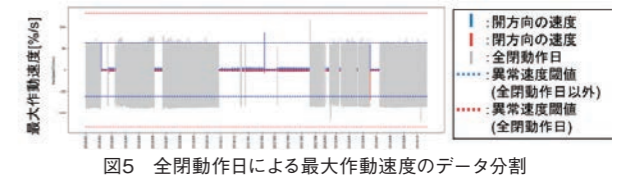


図5 全閉動作日による最大作動速度のデータ分割

3. バルブ診断データの活用課題と解決方法

顧客は、バルブ以外にも生産設備を安定操業させるために多種多様な機器の維持・管理を担っている。そのため、バルブに特化して業務を遂行できず、診断ツールで得られたバルブの診断情報を評価しバルブのタイムリーな状態把握やノウハウの蓄積ができていないのが実情である。昨今の省力化・省人化による労働力減少で保全員1人が担う業務範囲が広がっていることから、バルブに限らず他の診断ツールを導入した際にも同様の事象が発生することが考えられる。

従来当社では、顧客がバルブの診断情報を評価する業務を支援するためのバルブ解析診断サービスを提供してきた(図6)。本サービスは、Valstaffに収集した膨大なバルブの稼働データを当社ノウハウと組み合わせ複合的に解析・診断し、バルブの健全性を評価した結果を顧客へ提供するサービスである。

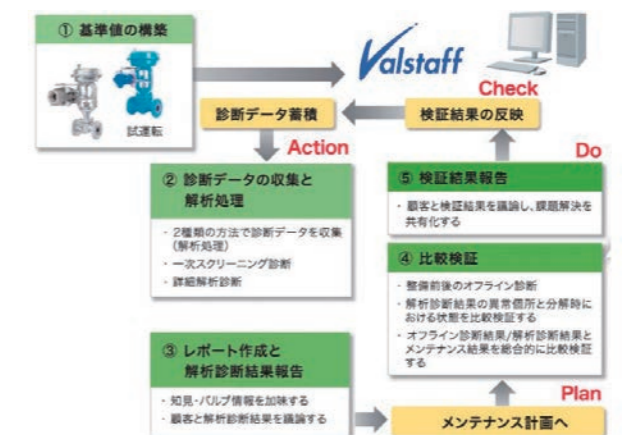


図6 バルブ解析診断サービスのサイクルの代表例

本サービスでは2つのサービスレベルを提供している。1つ目は、診断対象全部の診断データを一覧にした1次スクリーニング診断である。2つ目は、バルブごとに詳しい診断データを記した詳細解析診断である(図7)。バルブ解析診断サービス提供開始当時、顧客の要求により、この2種類のサービスレベルを提供した。

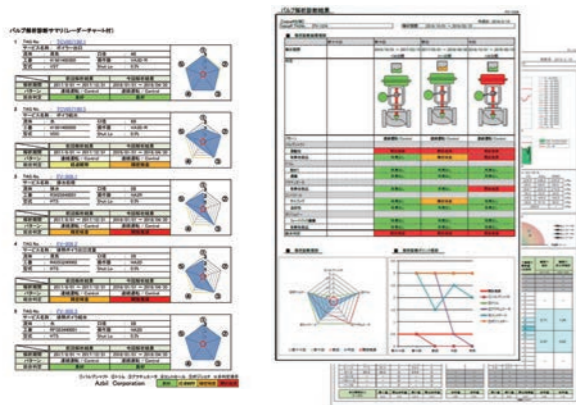


図7 1次スクリーニング診断(左)
詳細解析診断(右)

顧客はその診断データを活用し、バルブのメンテナンス計画策定やバルブの状態把握を行うが、本サービスを提供するなかで、顧客に提供した診断データが十分に活用されていないことがわかってきた。当社では、このサービスを持続可能な取組みとして活用できるよう、SaaS型ソリューションDx Valve Cloud Serviceの提供を始めた。

本章では、診断データの課題とその解決方法について説明する。3.1では、診断データ活用における顧客の課題について、3.2では、Dx Valve Cloud Serviceについて、3.3では、Dx Valve Cloud Serviceでの診断データ活用課題解決について述べる。

3.1 診断データ活用における顧客の課題

診断データの活用を持続可能なものとする取組みのなかで、顧客にとって下記に示す2つの課題がわかった。Dx Valve Cloud Serviceは、これらの課題を解決し、顧客業務を支援する。その2つの課題を以下に述べる。

(1) 業務負荷

顧客は、生産設備の安定化を図るために多くの業務を担っている。生産設備におけるバルブの維持・管理は重要な業務の1つである。バルブの健全性を把握し生産設備の安定化やメンテナンスの最適化を目的としてValstaffやバルブ解析診断サービスを導入している。しかしながら、それらの運用や評価をする時間を確保できないため、結果として、Valstaffやバルブ解析診断サービスの結果が活用されない。また、導入当初の担当者の交代や退職により活用されなくなってしまうケースもある。

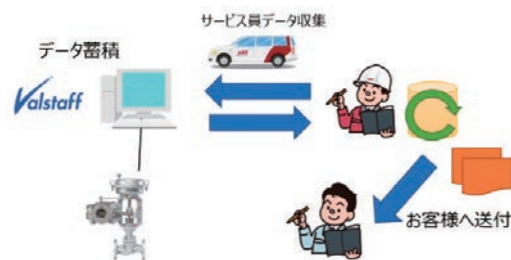


図8 従来のバルブ解析診断サービス流れ(イメージ)

(2) 診断データの提供タイミング

当社が提供しているバルブ解析診断サービスでは、最新の稼働データによる解析が困難であった。バルブ解析診断サービスは、Valstaffに蓄積する稼働データを半年または1年ごとに当社サービス員が手動で収集する。収集した稼働データを当社内で解析・診断を行い、診断データとして顧客に提供している。そのため、稼働データの収集作業から診断データ提出までに3週間から6週間かかり、結果として、顧客は、メンテナンス計画策定時やバルブ健全性を把握したいタイミングで診断データを得ることが困難であった(図8)。

3.2 Dx Valve Cloud Service

診断データ活用における顧客の課題を解決するために開発したDx Valve Cloud Serviceとは、バルブの健全性をクラウド環境で把握するSaaS型ソリューションである。バルブの稼働データをクラウドに自動送信し、解析・分析するため、顧客は「必要なときに」「必要なカタチで」「必要なシーンで」診断データをクラウド上で確認できる。従来、日常的にバルブの健全性を確認するには、Valstaffに蓄積する稼働データを顧客が日々確認や評価をする必要があった。Dx Valve Cloud Serviceは、顧客が稼働データの確認や評価をしなくても診断データからバルブの異常早期発見や異常進行予測の確認が可能となり、生産設備の安定化や保安力強化に貢献できる(図9)。

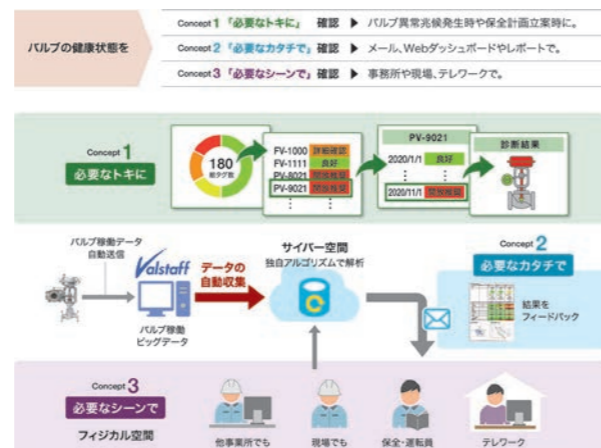


図9 Dx Valve Cloud Service提供イメージ

(1) セキュリティについて

プラントのIoT化にとって命題の1つにセキュリティの確保がある。Dx Valve Cloud Serviceは、外部からの不正アクセスに対し、制御ネットワークを守るために3つのセキュリティを組み合わせている(図10)。1つ目は、外部からの不正アクセスやウイルスの侵入を不可能とする片方向通信機器を採用している。これは、物理的(内部配線)に片方向にしかデータを送信できない構造である。2つ目は、通信領域における不正アクセスに対し、通信事業者が提供する閉域網(専用回線)を採用している。これにより、現場からクラウド網は閉鎖領域を確立し、診断データをクラウド環境へ直接送信が可能になる。3つ目は、WEBアプリケーションに対する不正ログイン・不正アクセスを防止するためID・パスワード管理に加えて顧客環境からしかアクセスできない対策を講じている。

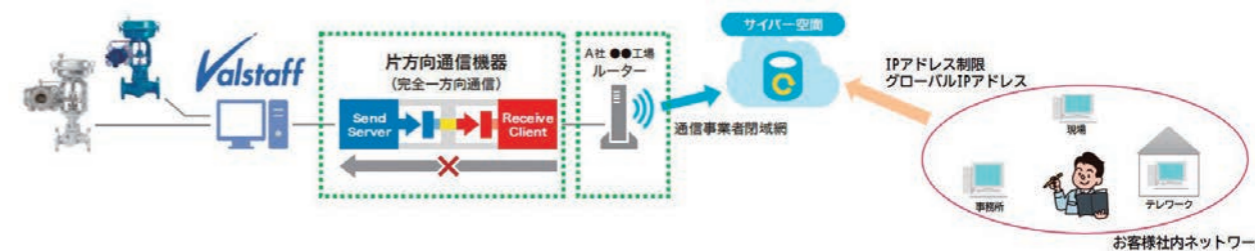


図10 セキュリティの構成

(2) 運用監視について

昨今、工場プロセス市場においてもIoTが進み、進化し続けるウイルスの標的型攻撃やランサムウェアなどの脅威がある。Dx Valve Cloud Serviceは、情報セキュリティに関し高い信頼性を確保したクラウドサービスを提供するため、ISMS^{注2}の国際規格認証を取得している当社専門部門の「クラウド運用センター」で運用監視している。これにより、ウイルスの標的型攻撃やランサムウェアなどの脅威から顧客の資産を守る。また、クラウドサービスにおける品質確保のためサービスレベル目標(SLO: Service Level Objective)も定めている。



CLD 722670
IS 722669
図11 ISMSの国際規格認証マーク

3.3 Dx Valve Cloud Serviceでの課題解決

(1) 業務負荷

Dx Valve Cloud Serviceでは、顧客にかわってバルブ健全性の監視を目指している。バルブの稼働データは、クラウド上で自動的に解析・診断が行われており、解析・診断の結果である診断データは、インターネット上のWebアプリケーションとして公開される。顧客は、ダッシュボードにより診断データの全体感(判定結果の分布や傾向)を把握し、気になるバルブについてはレポートをダウンロードし、より詳細な情報を確認できる。これにより、顧客がバルブの健全性確認・評価をする時間の大幅な削減を実現している。また、顧客の担当者が交代した場合でも、診断データはクラウド上で維持されており、過去の結果を容易に把握できる(図12)。



図12 WEBアプリケーション画面イメージ

(2) 診断データ提供のタイミング

Dx Valve Cloud Serviceでは、Valstaffからクラウド上へバルブの稼働データを自動転送する。これにより、従来当社サービス員が顧客に出向き手動で稼働データを収集していた作業を完全に排除した。クラウド上には常に最新の稼働データが蓄積されており、解析・診断処理もスケジューリング機能により自動で実行される。顧客は、インターネット環境からアクセスして最新の診断データを必要なときにWEBアプリケーション上で確認できる。また、従来2種類のサービスレベルとして提供していた1次スクリーニング診断と詳細解析診断も同時に提供する。さらに、クラウド上のWEBアプリケーションは、場所を選ばず必要なシーンで利用が可能である。保全事務所や現場、昨今のコロナ禍におけるテレワークでもバルブの診断データを把握できる。

4. 今後の展望

当社では、様々な生産設備で稼働するバルブの稼働データ(ビッグデータ)の蓄積・分析を進め、使用環境に応じたデータベースを構築することでバルブの状態をさらに詳しく把握し、トラブル防止やバルブ消耗箇所の余寿命予測が可能になると考えている。また、クラウド環境を活用し、診断データとバルブに関する情報(整備履歴やトラブル事象など)を繋ぎ、顧客の業務サイクルの一部を担うことも目指している。それにより、顧客の業務負荷低減しつつも高度なバルブ診断技術でバルブの安定稼働を実現する。さらに、海外で稼働しているValstaffもクラウド環境と接続し、国内マザープラントと海外コピープラントで稼働しているバルブの状態を国内にいながらにして比較・分析・評価ができるようにし、顧客が現地への支援を柔軟に行える環境を整え、国内外問わず当社のバルブ診断技術を顧客に提供し、海外の生産設備の安全性向上・保安力の強化にも貢献していきたい。

5. おわりに

本稿では、生産設備におけるバルブの状態を正しく検出し、得られた稼働データの活用を持続可能なものとする取組みについて報告した。昨今、新型コロナウイルス感染症の世界的な感染拡大に伴い、保全スタイルも大きく様変わりしてきており、コロナ禍以前と同様な保全スタイルに戻る

注2 ISMSとは、ISO/IEC27001:2013、JIS Q 27001:2014およびISO/IEC27017:2015、JIS Q 27017:2016に準拠した情報マネジメントシステムで、社会インフラとして不可欠なITシステムやネットワークを、標的型攻撃やランサムウェアなどによる脅威に対して適切にリスクアセスメントを実施し、企業における総合的な情報セキュリティを確保する仕組みのこと。

ことはないと考えます。Dx Valve Cloud Serviceでは、様変わりしていく保全スタイルに対応し、顧客と共に持続可能な取組みを実現していく。当社は「人を中心としたオートメーション」の理念の下、バルブが発端となるトラブルの未然防止に努め、顧客の生産設備の安全性向上・保安力の強化に貢献し続けたい。

<参考文献>

- (1) 一般社団法人 日本経済団体連合会：Digital Transformation(DX)～価値の協創で未来をひらく～
- (2) 公益社団法人 日本プラントメンテナンス協会：2019年度メンテナンス実態調査報告書概要
- (3) 青田ほか：プラントの安心・安全操業に貢献するバルブ解析診断サービス, azbil Technical Review, 2017, 2017年4月発行号, pp.20-26
- (4) 福田ほか：安心・安全操業を実現するバルブ・ボジション, azbil Technical Review, 2014, 2014年4月発行号, pp.54-61
- (5) 飯田ほか：状態基準保全を支援する調節弁診断アプリケーションの開発, azbil Technical Review, 2015, 2015年4月発行号, pp.3-10

<商標>

PRMは、横河電機株式会社の米国および日本における登録商標です。
Valstaff, InnovativeField Organizerは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 山崎 史明 アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー
IAPマーケティング部
- 籠浦 守 アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー
IAS開発部
- 平尾 耕一郎 アズビル株式会社
AIソリューション推進部

人を中心とした空調制御の研究

実オフィスにおける温冷感申告型空調の導入効果検証

Research on occupant-centric HVAC control: A field study on the effects of introducing HVAC control that is responsive to occupants' thermal sensations

三浦 眞由美
Mayumi Miura

上田 悠
Haruka Ueda

太宰 龍太
Ryota Dazai

清水 悠香*
Yuka Shimizu

伊香賀 俊治**
Toshiharu Ikaga

キーワード

室内環境, 快適性, 温熱満足度, 知的生産性, 温冷感申告型空調

建物内に健康・快適で知的生産性に優れた空間を形成する上で、空調制御は大きな役割を担っている。このような空間形成の空調制御技術の1つとして、居住者が自身の温冷感(暑い/寒い)の情報を空調制御ループに直接フィードバックする温冷感申告型空調が提案されている。本研究では、温冷感申告型空調を導入した実オフィスにおいて、導入前後の室内環境・執務者の温冷感・満足度・知的生産性、空調の消費エネルギーについて調査した結果を報告する。

The control of heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) plays a large role in creating an indoor environment that contributes to office workers' well-being and high productivity. An occupant-centric HVAC control with a control loop directly connected to occupants' thermal sensation feedback has been proposed. We investigated the thermal sensations, thermal comfort, and subjective performance of office workers and the energy consumption of an office which employs the proposed control technology.

1. はじめに

人々が建築空間内で過ごす時間は生涯の約9割というデータ⁽¹⁾も報告されており、建築空間は人の生活に大きく関わっている。2014年には人の健康とウェルビーイング(身体的、精神的、社会的に良好であること)に着目した空間・建築の評価システムWELL認証(WELL Building StandardTM)⁽²⁾が公開され、健康で快適な空間が世界的な標準で評価されるようになった。また、2015年の国連サミットで採択された持続可能な開発目標SDGsでは、包摂的かつ持続可能な経済成長の促進が重要とされており⁽³⁾、持続的な経済発展を支える上で人々の生産性の向上も重要なファクターとなっている。このような中、執務環境の改善、知的生産性の向上、優秀な人材確保等の観点から、働く人の健康性や快適性に優れた不動産への注目が国際的に高まっている。日本では、このような建築物の普及のための認証制度としてCASBEE[®](建築環境総合性能評価システム)のWO(ウェルネスオフィス)認証⁽⁴⁾の運用が2019年よりスター

トした。CASBEE-WOでは、建物内で執務するワーカーの健康性、快適性に直接影響を与える要素だけでなく、知的生産性の向上に資する要因についても評価される。

以上で述べたような健康・快適で知的生産性の高い空間を形成する上で、建物の空調制御は大きな役割を担っている。国際的な標準やガイドラインを牽引している米国の暖房冷凍空調学会ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)では2019-2024年のstrategic planにおける戦略的強化領域としてIEQ(Indoor Environmental Quality: 室内環境の品質)を掲げており、ASHRAE Handbook⁽⁵⁾には現在、人を中心とした計測・制御を取り扱うOccupant-Centric Sensing and Controlというチャプターも追加されている。

知的生産性の向上には室内環境への満足度が影響を及ぼすとされており⁽⁶⁾、空調環境に対する満足度は質の高い室内環境実現において重要な要素となる。しかしながら、温冷

* 慶應義塾大学大学院理工学研究科 修士課程
** 慶應義塾大学理工学部 教授 博士(工学)

感(暑い/寒い)や満足度の感じ方は同じ環境でも人によって異なるため、室温を一定の設定値とするような一律な空調制御で居住者の環境満足度の向上を追求するには限界がある。

そこで、より一層居住者の環境満足度を向上させる空調ソリューションとして、実際の居住者の温冷感(暑い/寒い)をWEB画面や専用端末を通じて空調制御ループに逐次フィードバックする温冷感申告型空調が提案されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。温冷感申告型空調は自身の環境を自ら変更できるという環境選択権⁽⁹⁾の付与や自己効力感^{注1)}の観点からも居住者の満足度の向上が期待できる。

本研究では、大人数が執務するオープンスペースのオフィスを対象として、温冷感申告型空調の導入が執務者の温熱満足度や知的生産性に及ぼす影響を調査した。導入前後の室内環境や空調エネルギーについても調査・分析を行ったので、併せて報告する。

本稿では、2章において従来型空調と温冷感申告型空調の違いについて述べたあと、3章において実オフィス調査の概要を、4章において調査・分析の結果を提示する。

2. 室温を一定とする従来空調と温冷感申告型空調

2.1 室温を一定とする従来型空調

図1は設備管理者が一定の室温設定値を決定する従来型の一般的な空調制御ループの例を示している。設備管理者は、例えば、自身の経験やビル管法^{注2)}に記載されている室内温度範囲、ISO-7730やANSI/ASHRAE Standard に示されている快適指標PMV (Predicted Mean Vote: 予測平均温冷感)などを考慮しながら、居住者が快適になるように配慮した室温の設定値を決定する。そして、これを空調システムに設定することで、室温はこの設定値となるように制御される。しかしここで、居住者の感じ方は「標準的」な感じ方とはならず、人によって感じ方も異なるので、実際の居住者の快適室温とはズレが生じやすい。

2.2 温冷感申告型空調

図2は居住者の温冷感申告を空調制御ループに直接フィードバックする温冷感申告型空調の制御ループの例を示している。図1と同様に設備管理者が室温の設定値を決定するが、温冷感申告型空調の場合には、実際の居住者からの温冷感申告に応じて室温の設定値が補正される構成となっている。このように居住者の情報が空調制御ループにフィードバックされる構成は、前述したASHRAEのOccupant-Centric Sensing and Controlのスキームにも合致する。

室温設定値の補正は、例えば、居住者からの「寒い」申告を受信すると室温設定値を0.5℃上げ、「暑い」申告では室温設定値を0.5℃下げる、というように、受信する情報に応じて補正動作が決定される。図1と図2に対応する室温設定値のイメージを図3に示す。

注1 外界の事柄に自分が何らかの働きかけをすることが可能であるという感覚

注2 構築物における衛生的環境の確保に関する法律

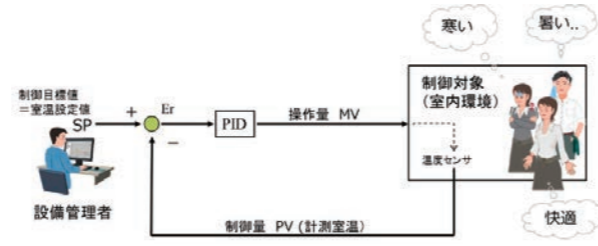


図1 設備管理者が設定値を入力する空調制御ループの例

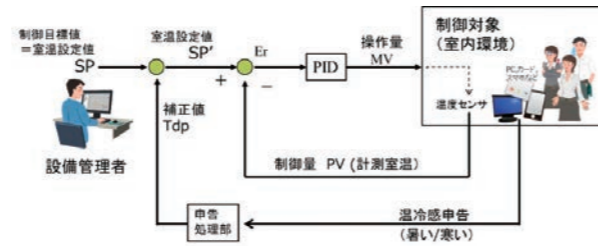


図2 温冷感申告型空調の空調制御ループの例

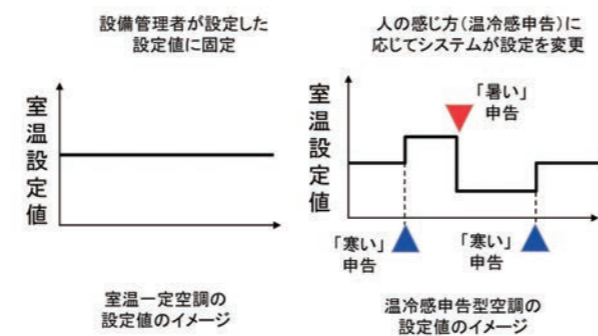


図3 室温設定値のイメージ

3. 温冷感申告型空調導入オフィスの調査

本章では実施した調査研究の概要について述べる。

3.1 調査概要

A社事務棟の執務エリア(3階フロア、執務者296名)で2019年夏季に調査を実施した。本調査の概要を表1に示す。7月23日~31日は室温設定値を固定する室温一定方式の制御、8月1日~8日は温冷感申告に応じて室温設定値が変更される温冷感申告方式の制御を運用し(以降、各々の期間を「導入前」および「導入後」と記述する)、執務環境の実測・執務者へのWEBアンケートを実施した。実施期間中の空調運用情報(室温設定値等)は空調システムに定期的に収集されている。

3.2 執務エリアの概要

3.2.1 空調ゾーンの概要

対象とした執務エリアの空調ゾーンを図4に示す。インテリアゾーン(SI)・ペリメータゾーン(SP)共に東西方向に8ゾーンずつに分割され、1台の空調機で稼働するVAV(Variable Air Volume: 可変風量)式のセントラル空調が採用されている。インテリアゾーンの風景を図5に示す(図4右の矢印位置より撮影)。ペリメータゾーン(SP)の座席は数席であり、

執務者の座席はインテリアゾーン(SI)に集中している。

3.2.2 温冷感申告型空調の概要

導入した温冷感申告型空調システム⁽⁸⁾は、「寒い」申告を受信すると室温設定値を0.5℃上げ、「暑い」申告では室温設定値を0.5℃下げる補正を行うが、「暑い」申告を受信後の10分間は室温設定値を2.5℃下げ、その後元の設定値から0.5℃下げた本来の補正值に戻す設定値変更を行う。これにより、温冷感申告に対応する空調制御の即応性を向上させ、居住者が環境変更を感じやすくしている。執務者の温冷感申告は、自身のPCのブラウザ上の画面(図6)を利用し、自席の空調ゾーン名を選択した後、「暑い」「快適」「寒い」から自身の温冷感を選択する。

3.3 執務環境実測

執務エリア内の環境実測点を図4に示す。フロア内に12カ所配置し、温湿度・グローブ温度^{注3)}・照度は10分間隔、風速は5分間隔の連続測定を行った。また、代表日においてCO₂濃度の1分間隔の連続測定を1時間行った。

表1 調査概要

	導入前	導入後
調査期間	2019/7/23-31	2019/8/1-8
調査対象建物	A社 事務棟3階	
空調方式	VAV式セントラル空調	
調査対象者	執務者298名(男196名, 女102名)	
調査方法	・執務環境実測(12カ所) 温湿度、風速、照度、CO ₂ 濃度 ・WEBアンケート調査 個人属性(導入前1回) 主観評価(導入後1回ずつ)	
アンケート調査	1回(7/23-25)	1回(8/7-8)

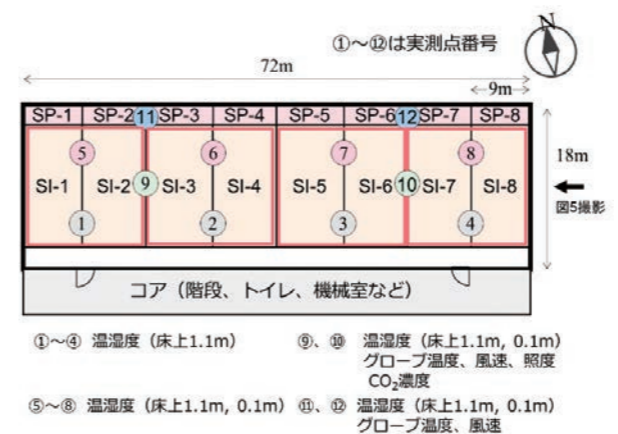


図4 空調ゾーンと環境実測点



図5 執務空間の風景



図6 執務者の温冷感申告の画面

3.4 WEBアンケート調査

アンケートはすべてWEB形式で実施した。性別、年代、BMI^{注4)}、暑さ・寒さに対する感受性(暑がり/寒がり)、在席率などの個人属性について、導入前の期間に1回のアンケートを実施した。また、導入前・導入後それぞれの期間で、温冷感や温熱満足度などの心理量、および知的生産性評価のための主観作業効率についてアンケート調査を行った^{注5)}(表2)。

4. 調査結果

本章には3章で述べた調査の結果を示すが、4.1室内環境の評価については図4の環境実測点に対応する4つのエリア「SI-1+2」、「SI-3+4」、「SI-5+6」、「SI-7+8」(図4の赤枠エリアに対応)を評価単位とした。

4.1 室内環境の評価

4.1.1 室内環境の実測結果

表3に温冷感申告型空調導入前後の室内環境の実測結果(各調査期間の就業時間帯におけるフロア内環境実測点の平均値と標準偏差)を示す。導入前のCO₂濃度データが欠損しているが、空調システム側で室内還気のCO₂濃度に大きな変化がなかったことを確認しており、導入前後の照度・CO₂濃度は同等であったといえる。また、導入後に室温が0.4℃、平均的な温冷感を示すPMV^{注6)}も0.2上昇していることから、

注4 Body Mass Index. ヒトの肥満度を表す体格指数

注5 導入前アンケートの回答数は179名、導入後の回答数は127名であり、前後ともに回答した人は89名であった。そのうち体調不良者の回答を除外した87名をサンプルとして用いた。

注6 2.1で説明したように、PMVは国際標準の温熱快適指標である。-3 ≤ PMV ≤ +3の範囲で定義され、PMV=0は暑くも寒くもない熱的中立の状態(工学的には快適の状態)を示す。マイナス側は寒い側、プラス側は暑い側(-3「非常に寒い」、+3「非常に暑い」)の温冷感を示し、快適域は-0.5 ≤ PMV ≤ +0.5とされる。

注3 黒球温度。室内では壁・窓などの周囲からの放射影響を観測するために計測する。

導入後の室内環境が執務者にとって暖かい側にシフトしたことがわかる。PMVの上昇についてはエリア毎のばらつきも少なく、導入前-0.1~0.0から導入後0.1~0.2へといずれも0.2程度上昇していることを確認した。ここで、表3でPMVの算出に関わる4つの物理量(室温, グローブ温度, 湿度, 風速)^{注7}のうち、風速と相対湿度は導入前後ではほぼ同等か、導入後いずれも涼しい側に向かう変化(PMVが小さくなる変化)となっているため、PMV上昇の要因は、室温とグローブ温度(放射環境に関わる物理量)の上昇が要因である。国際標準であるPMVは大人数を前提とした平均的な指標であるため、実際のオフィス執務者の熱的中立点や快適域にズレが生じることは珍しくない⁽¹⁰⁾。よって、導入後に見られる室温上昇が、執務者の温冷感申告によるものであれば、室内環境は執務者の好みの方向に調整されたこととなる。温冷感申告への対応は室温設定値の変更履歴として空調システムに蓄積されるため、次項では室温設定値について分析する。

表2 心理量の測定項目

項目	評価スケール
体調	悪い~良い(5段階)
温度	寒い~暑い(7段階)
湿度	乾いている~湿っている(5段階)
気流	非常に不快~非常に快適(7段階)
上下温度差	強く感じる~全く感じない(4段階)
温熱満足度	不満~満足(5段階)
空気質環境満足度	不満~満足(5段階)
主観作業効率	0~100% (最も作業効率が良い時を100%とする)

表3 室内環境実測結果(フロア平均値±標準偏差)

	測定箇所	導入前	導入後
室温[°C]	床上1.1m	24.7±0.7	25.1±0.6
	床上0.1m	24.5±0.4	24.9±0.6
グローブ温度[°C]	床上1.1m	24.5±0.3	25.1±0.7
相対湿度[%]	床上1.1m	51±7	47±5
風速[m/s]	床上1.1m	0.11±0.06	0.15±0.15
PMV	床上1.1m	-0.1±0.2	0.1±0.3
CO ₂ 濃度[ppm]	床上1.1m	—	813±45
照度[lx]	床上1.1m	929±88	918±110

4.1.2 室温設定値と室温の分析

4.1.1で示したPMVの上昇が、執務者の温冷感申告によるものかどうかを確認するため、空調システムに1分ごとに蓄積されている室温設定値のデータを分析した。導入前の室温設定値は一定に固定された運用であるが、2.2で述べたように、導入後は執務者の温冷感申告に応じて室温設定値が

注7 PMVの算出には4つの物理量(室温, 平均放射温度, 湿度, 風速)と2つの人の状態量(着衣量, 代謝量)が用いられる。表3中のPMV計算において、着衣量と代謝量は夏季オフィスを想定した一定値(着衣量0.6 [clo], 代謝量1.2[met])を用いているため、PMVの変化は主に4つの物理量の変化に起因する。また、平均放射温度は放射環境を示す物理量であり、表3中のグローブ温度と風速から演算することができる。

変化する。図7は導入後(期間中就業時間帯)の室温設定値の出現時間割合を示している。導入前の室温設定値はSI-1のみ26.0°C, SI-2~SI-8は24.0°Cだったため、エリア別に見た導入前の出現時間割合(不図示)は、SI-1+2のみ24.0°Cと26.0°Cが各々50%, 他の3つのエリアは24.0°Cが100%である。これに対し、導入後の各エリアの室温設定値は執務者の温冷感申告により21.0~28.0°Cまで広がっていることがわかる。SI-1+2では25.0°C未満の時間帯が68%を占め、平均的には導入前より涼しい側に移行しているが、SI-5+6およびSI-7+8では24.0°C以上の時間帯がそれぞれ90%, 68%と、導入前より暖かい側に移行し、SI-3+4の設定値は両側に広がった。

ペリメータゾーンは執務者も少数であることから導入前後の設定値の変化はほとんどなかったが、これらを併せてフロア全体で見ると、24.0°C未満が14%増加したものの、25.0°C以上が36%増加し、執務者による温冷感申告によってフロア全体として設定値が緩和されたことがわかった。執務者は4.1.1で述べた放射環境(グローブ温度上昇)の影響も感じながら温冷感申告を行っているため、設定値の緩和は執務者による環境調整が機能した結果と考えられる。また、図8に示した各エリアの室温の変化を見ると、設定値が平均的に涼しい側に移行したSI-1+2は下降、他は上昇していることも確認できる。

次節では、このような環境調整で執務者の温冷感・温熱満足度・知的生産性がどのように変化したかを評価した結果を示す。

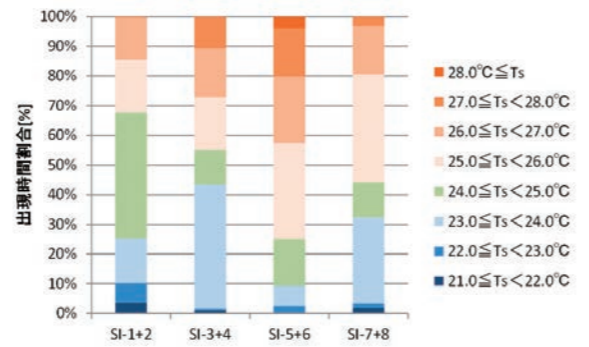


図7 室温設定値の出現時間割合(導入後)

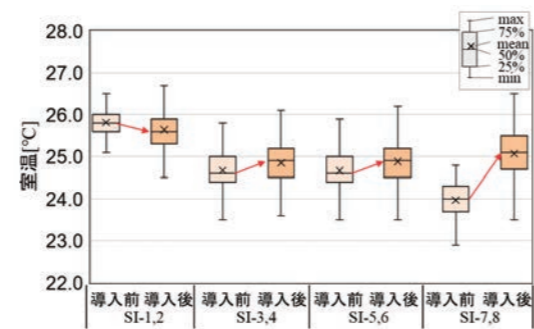


図8 室温(床上1.1m)の変化

4.2 温冷感・温熱満足度・知的生産性の評価

執務者へのアンケート結果により、温冷感申告型空調導入前・導入後の温冷感・温熱満足度・知的生産性(主観作業

効率)の比較を行った。4.2.1ではアンケート結果全体を評価し、4.2.2では温冷感申告を行った執務者(申告有)と行わなかった執務者(申告無)の差異に着目し、申告有無の2群に分けて同様の評価を行った。

4.2.1 温冷感申告型空調の導入前後の比較

(1) 温冷感の評価

導入前後の温冷感の回答結果を図9に示す^{注8}。暑い側(「やや暑い」「暑い」)および寒い側(「やや寒い」「寒い」)の回答者は導入後に減少し、中立側(「涼しい」「どちらともいえない」「暖かい」)の回答者が19.5pt有意に増加した。表3より期間内のPMV平均値は導入後に上昇したことがわかっているが、導入後に暑い側(「やや暑い」「暑い」)の回答者が減少している。表3において導入後の風速が上昇して標準偏差も広がっていることから、空調が「暑い」申告に対応した所定時間内(室温設定値が下がり、空調の吹出し風速が上昇する時間帯)においては暑さが緩和されていた可能性が考えられる。

(2) 温熱満足度の評価

導入前後の温熱満足度の回答結果を図10に示す^{注8}。不満側(「やや不満」「不満」)の回答者は導入後に減少し、満足側(「満足」「やや満足」「どちらともいえない」)の回答が9.3pt有意に増加した。温熱満足度の向上は、温冷感の中立側の回答が増加した結果(図9)とも矛盾していない。

(3) 主観作業効率の評価

導入前後の主観作業効率の回答結果を図11に示す^{注9}。導入後の主観作業効率は2.5pt有意に向上した。温冷感申告型空調の導入により温熱満足度が高い側にシフトしたことが、主観作業効率の向上につながったと考えられる。

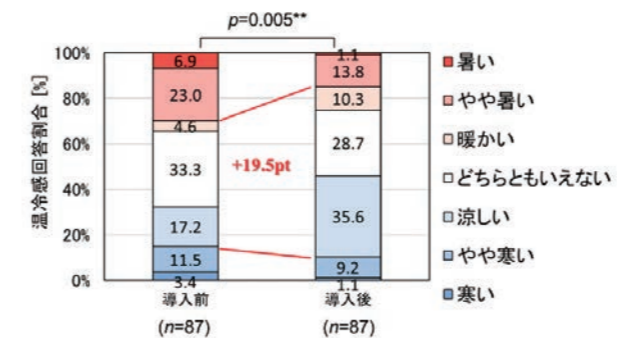


図9 温冷感評価

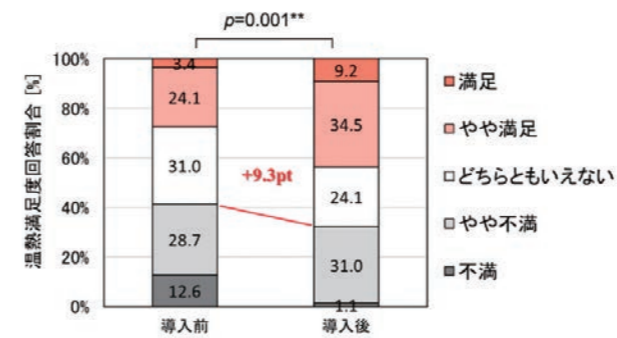


図10 温熱満足度評価

注8 Wilcoxonの符号付順位検定を実施(†:p<0.10, *:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)
注9 対応のあるt検定を実施(†:p<0.10, *:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

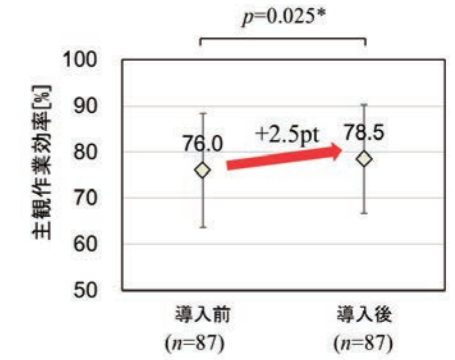


図11 知的生産性評価

4.2.2 申告操作の有無が温冷感・温熱満足度・知的生産性の比較結果に及ぼす影響の分析

同じ環境でも自ら調整した環境の方が高い満足度を得られることが報告されている⁽¹¹⁾。1章で述べたように、温冷感申告型空調は、自身の環境を自らが調整可能であるという環境選択権を付与されることになるため、実際には自身で温冷感申告をしていない執務者も環境の受容度や温熱満足度が向上する可能性がある。本項では、温冷感申告を行った執務者と行わなかった執務者を2群に分けて(以降、申告有り群/申告無し群と記述する)、温冷感・温熱満足度・知的生産性に及ぼす影響を比較した結果を示す^{注10}。

(1) 温冷感の評価

導入前後の温冷感の回答結果を申告有無で2群分けした比較結果を図12に示す^{注11}。申告無し群において、中立側(「涼しい」「どちらともいえない」「暖かい」)の回答が導入後に20.8pt有意に増加していた。また、導入後は、両群において「暑い」「やや暑い」という回答が減り、「涼しい」という回答が増えた。申告無し群においても、申告有り群からの「暑い」申告に対応した所定時間内で暑さが緩和された可能性が考えられる。

(2) 温熱満足度の評価

導入前後の温熱満足度の回答結果を申告有無で2群分けした比較結果を図13に示す^{注11}。導入後の温熱満足度は、満足側(「満足」「やや満足」「どちらともいえない」)の回答が申告有り群において4.5pt、申告無し群において14.0pt有意に向上した。申告有り群においては自身の申告操作による空調動作の対応と自己効力感により満足度が向上したと考えられる。申告無し群においては、アンケートの自由記入(アンケートを操作しなかった理由)の回答などから、不満を持ちながらも煩わしさなどの理由から申告を行わなかった一定の割合の執務者が他の執務者の申告による温熱環境の変化に満足したことも要因と考えられる^{注12}。

(3) 主観作業効率の評価

導入前後の主観作業効率の回答を申告有無で2群分けした比較結果を図14に示す^{注13}。主観作業効率は両群ともに

注10 導入前後ともに回答した89名のうち体調不良者を除いた87名を申告操作の有無のサンプルとして用いた。
注11 導入前後ではWilcoxonの符号付順位検定、導入前・後同士ではMann-WhitneyのU検定を実施(†: p < 0.10, *: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001)。
注12 アンケートで操作をしなかった理由として、申告が面倒・他人頼り・他人に遠慮した等と回答した執務者の半数以上が導入後の温熱満足度において満足側の回答をした。
注13 対応のあるt検定を実施(†: p < 0.10, *: p < 0.05)

向上したが、申告有り群において3.2pt有意に向上した一方で、申告無し群においては、有意差は確認されなかった。

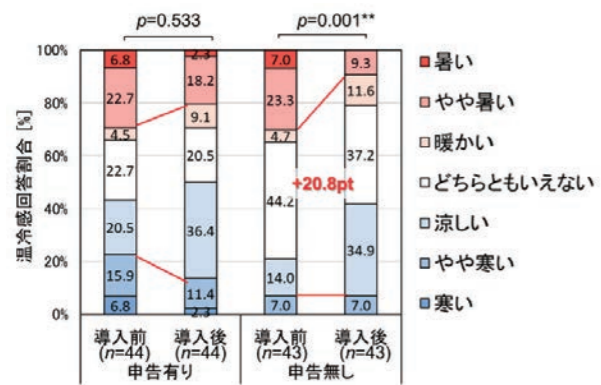


図12 温冷感評価(申告有無2群分け)

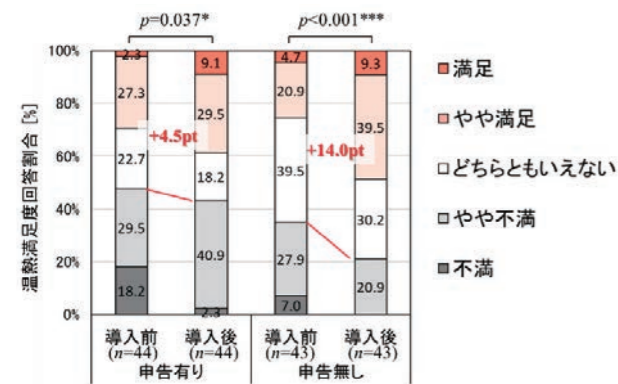


図13 温熱満足度評価(申告有無2群分け)

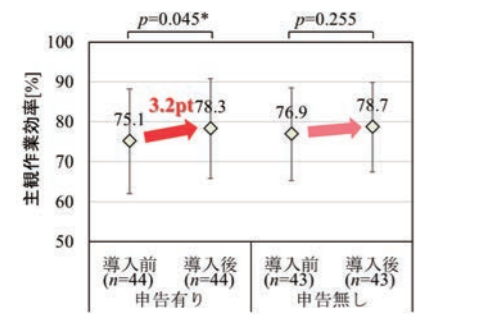


図14 知的生産性評価(申告有無2群分け)

4.2.3 エネルギーの評価

就業時間における外気エンタルピーと日積算熱量(冷房)との関係を図15に示す。外気エンタルピー・積算熱量はともに、導入前に比べて導入後の方が大きかった。本項では、外気エンタルピーの高い導入前2日間と導入後6日間(図中の青枠内)についての評価結果を示す。

(1) 消費エネルギー

熱源および空調機の導入前後の日平均消費エネルギー量を図16に示す。導入前に比べて、熱源エネルギー(チラー)が6%減少した一方、空調機エネルギー(給気・排気ファン)は8%増加した。熱源エネルギーおよび空調機エネルギーの合計では導入後に3%削減された。

(2) 給気温度・給気風量と消費エネルギーの分析

給気温度は導入前 $15.8 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (平均値 \pm 標準偏差)に対して、導入後 $17.3 \pm 1.8^\circ\text{C}$ まで緩和された。温冷感申告型空調の導入により設定値が緩和されて給気温度が上昇したためと考えられる。一方で、フロア全体の総風量には変化がなかったが、吹き出し風量の標準偏差は導入前に比べて約2.8倍に広がった。表3において、室内風速やその標準偏差も導入後に大きくなっていることを確認できる。居住者の温冷感申告に応じた設定値の変更に伴い、VAVの吹き出し風量が増え、風量バランス維持のため給気・排気ファンのインバータ出力値が増加したことが、ファン動力が増加した原因と考えられる。

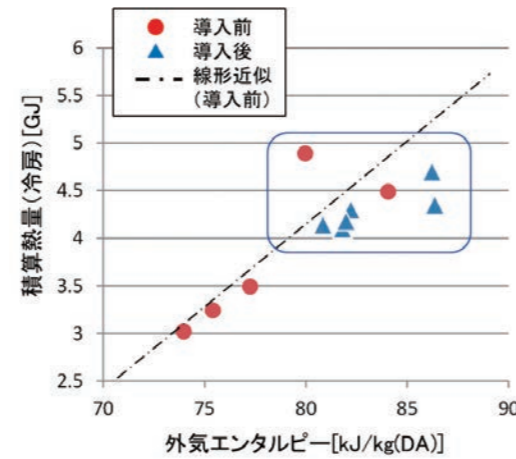


図15 外気エンタルピーと積算熱量

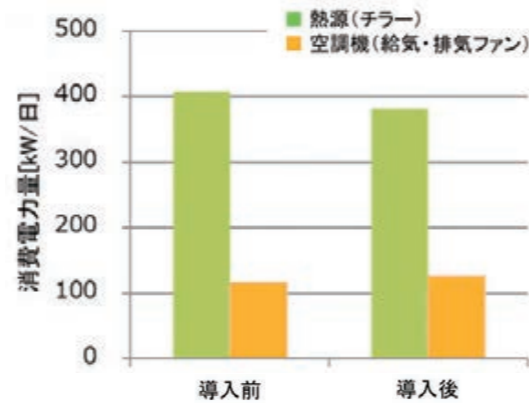


図16 消費エネルギー

5. まとめ

温冷感申告に応じて室温設定値が変更される温冷感申告型空調の導入が、室内環境・執務者の温熱満足度と知的生産性・空調の消費エネルギーに及ぼす影響について、調査を実施した。この結果、調査対象とした夏季の実オフィスについて、以下のことがわかった。

- ・執務者の温冷感申告により、フロア全体として室温設定値が緩和され、室内環境(PMV)も暖かい側にシフトした。

- ・執務者の温冷感は「暑い・やや暑い」「寒い・やや寒い」が減少して中立側に移行した。室内環境は平均的に暖かい側にシフトしたが、「暑い」申告に対応した所定の制御時間帯において暑さが緩和された可能性が考えられる。
- ・執務者の温熱満足度・主観作業効率は有意に向上した。
- ・温冷感申告を行った執務者／行わなかった執務者を2群に分けて分析を行った結果、いずれの執務者も温冷感在中立側に移行して温熱満足度が向上し、知的生産性も向上する可能性が示された。
- ・導入後は3%の省エネルギーとなった。設定値緩和による給気温度の上昇が熱源エネルギー減少の主な要因であった。

以上により、温冷感申告型空調の導入が、多くの執務者の温熱満足度と知的生産性の向上に寄与する可能性が示された。

6. おわりに

人を中心とした空調制御の技術開発・技術改良には、様々な居住者が活動する実フィールドでの調査研究が重要な意味を持つ。今後も実フィールドでの調査を継続し、一人ひとりの居住者に配慮した健康性や快適性に優れた空調制御の技術開発を進めていきたい。

<謝辞>

本研究は、アズビル株式会社・慶應義塾大学共同研究費、JSPS科研費JP17H06151により実施した。本調査研究にご協力いただいた皆さまに感謝の意を表す。

<参考文献>

- (1) 塩津, 古澤, 池田 他:生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量:室内空気汚染物質に対する曝露量評価に関する基礎的研究 その1, 日本建築学会計画系論文集:63(511), 45-52, 1998
- (2) WELL Building Standard, Ver.1, International WELL Building Institute, 2017
- (3) 外務省:SDGs実施指針改定版(2019年12月決定), https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/kaitei_2019.pdf, 2019/12/20, 2020.1.29参照
- (4) 一般財団法人 建築省エネ機構:CASBEEウェルネスオフィス評価認証, https://www.ibec.or.jp/CASBEE/certification/WO_certification.html, 2021.2.2参照
- (5) 2019 ASHRAE Handbook:Heating, Ventilating, and Air-conditioning Applications chap.65
- (6) 川口玄, 西原直枝, 羽田正沖 他:室内環境における知的生産性評価(その8)採涼手法の導入による温熱環境満足度の向上が知的生産性に与える影響, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集Ⅲ:2015-2018, 2008.8
- (7) 立岩一真, 村澤達:次世代空調システムに向けた「8つのトライ」 -クラウドを利用した温冷感申告型空調システムの検討-, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集Ⅲ:37-40, 2016.9

- (8) 大曲康仁, 太宰龍太, 鈴山晃弘 他:温冷感申告対応空調システムの実証試験, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集:41-44, 2016.9
- (9) 日本建築学会編:環境のヒューマンファクターデザイン -健康で快適な次世代省エネ建築へ, 井上書院:2020.9.10
- (10) J. van Hoof:Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?, Indoor Air 18(3):182-201, 2008
- (11) ISO7730, 2006: Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria

<商標>

CASBEEは、一般財団法人建築環境・省エネルギー機構の登録商標です。

<著者所属>

- 三浦 真由美 アズビル株式会社
技術開発本部商品開発部
- 上田 悠 アズビル株式会社
技術開発本部商品技術部
- 太宰 龍太 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部IBシステム部
- 清水 悠香 慶應義塾大学大学院 理工学研究科
修士課程
- 伊香賀 俊治 慶應義塾大学理工学部
教授 博士(工学)

湿度エレメント小型化による センサユニット化技術の開発

Miniaturization of humidity element leads to advances in sensor unit technology

矢野 樹史 Tatsufumi Yano
杉山 正洋 Masahiro Sugiyama

キーワード
湿度センサ, 湿度エレメント, 小型化, センサユニット, デジタル化

ダクト用温湿度センサは、製品性能を維持するために定期的なメンテナンス作業が必要であり、その作業工数の削減が望まれていた。その要求に応えるため、新たに小型湿度エレメントFP5™を開発し、温湿度計測部が交換可能となるようにセンサユニット化した。また、湿度エレメントの小型化から生じるS/N比の低下を補うため計測信号の処理をデジタル化し、それを利用して製品設計および生産管理上の課題解決を図った温湿度センサを開発した。

Duct temperature-humidity sensors require regular maintenance in order to maintain performance. To reduce the required man-hours, we developed a new compact humidity element (FP5™) and made it into a sensor unit to replace our existing one. Additionally, in order to compensate for the decreased S/N ratio resulting from miniaturization of the humidity element, we digitized the measurement signal processing, allowing us to develop a temperature-humidity sensor that solves problems in design and production control.

1. はじめに

建物空調制御に用いられる、ダクト用温湿度センサ設置環境には高湿環境や結露環境、腐食性ガス環境があり、経年劣化を避けることが難しく、定期的なメンテナンスが必要である。しかしながら、メンテナンス時でも簡単に空調を止めることができないため、作業工数の削減が望まれていた。また、湿度計測値が仕様から逸脱した際などは製品本体ごとの交換が必要であり、計測部だけを交換してメンテナンス費用を削減したいという要望があった。

2. 湿度計測部の構造と計測原理

アズビルでは湿度センサの計測方式として高分子容量式を採用している。湿度計測に使用する湿度エレメントはセンサチップをパッケージした構造である(図1)。

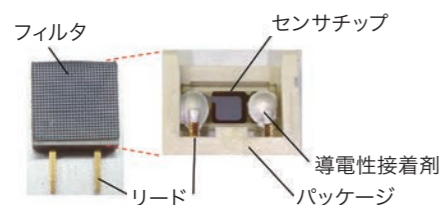


図1 湿度エレメントの構造

図2、図3のとおり、センサチップはガラス基材上に、高分子からなる感湿膜を上下の金属電極で挟み込んだ平行平板型コンデンサ構造を形成している。そして静電容量の式(1)のパラメータにより、静電容量CpUが決まる。

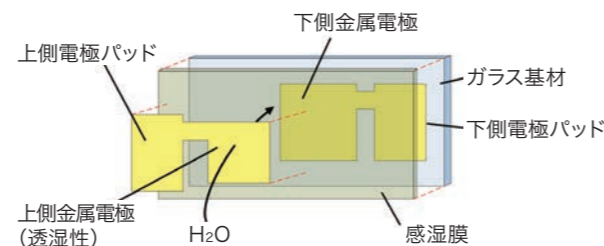


図2 センサチップ立体図

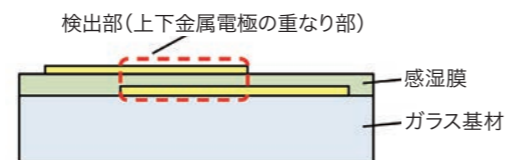


図3 センサチップ断面図(イメージ)

$$CpU = \alpha \times \epsilon_0 \times \epsilon U \times \frac{S}{t} \quad (1)$$

CpU : 相対湿度Uにおける湿度エレメントの静電容量
 α : 定数
 ϵ_0 : 真空の誘電率
 ϵU : 相対湿度Uにおける感湿膜の比誘電率
 S : 電極の有効面積
 t : 電極間距離

計測の原理は以下である。

- 感湿膜には適度な吸水量があり、その表面や内部では周囲の相対湿度に比例して水分子の吸着や吸収、および脱離が起こる。
- 水の比誘電率は約80と感湿膜のそれよりも高いため、水分子が取り込まれると感湿膜の見かけの比誘電率が低湿から高湿にかけて直線的に変化する。
- そのため感湿膜の比誘電率は周囲の相対湿度と正の相関関係を持ち、その値に応じて静電容量に変化が生じる(図4)。したがって湿度エレメントの静電容量値を計測することで相対湿度を求めることができる。

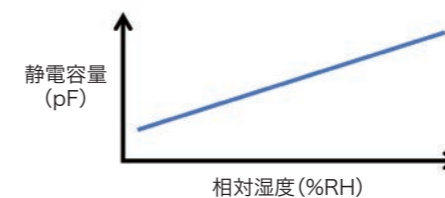


図4 湿度エレメントの静電容量と相対湿度の関係

3. 従来製品の課題

3.1 メンテナンス作業時の課題

従来製品では計測値が精度外となった場合には製品本体ごとの交換が必要であった。その原因は、高湿環境や結露環境、腐食性ガス環境におけるセンサチップの静電容量値のシフトであることが多いため、計測部のみを交換することが望ましい。その際、交換箇所を最小化できれば、製品本体ごとの交換よりも現場工数と部材コストを下げる事が可能となる。

3.2 製品開発の課題

- 開発期間
新規に湿度センサを開発するときは、おおよその回路構成は固定していたものの、部品や定数等は固定できていなかったため、製品ごとに設計を見直しており時間がかかっていた。
- 製品性能
従来製品では、温度特性の補正や低湿、高湿での湿度直線補正を行っていないため、15℃から35℃かつ30%RHから70%RHまでの領域での湿度精度が、それ以外の領域では低下する傾向があった。

3.3 生産管理の課題

湿度出力値の調整はアナログのボリューム調整であった

ため、生産における出力調整時の個々のデータは異常な値となったとき以外では記録されていなかった。そのため、調整値変動の傾向を把握することができなかった。
今回新たに開発した温湿度センサではこれらの課題を解決している。

4. 温湿度計測部のユニット化

4.1 センサユニット構成

メンテナンス作業時の課題を解決するために、温湿度計測部をセンサユニット化して交換可能な構造としている。またセンサユニットはエレメントと電子部品を同一プリント基板上に配置した構造で、調整データを記憶させておく記憶部により、ユニット間に互換性をもたせることで交換後の現場調整を不要としている。

図5にセンサユニットの回路ブロック図を示す。センサユニットを次のような構成としている。

- 温度計測部
- 湿度計測部
- 演算部
- 記憶部
- コネクタ

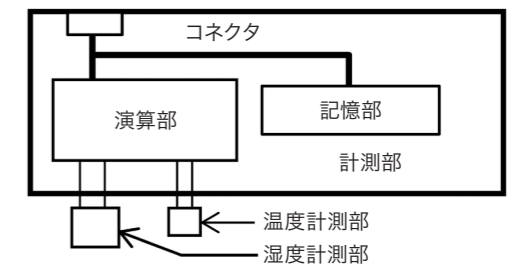


図5 センサユニット回路ブロック図

4.2 新しい湿度エレメントFP5の設計

4.2.1 設計指針

センサユニットを構成するにあたって、湿度エレメントを小型化することとした。
しかし、湿度エレメントを小型化するとその容量値および変化幅が低下する(図6左)。
それに伴い、従来の回路ではS/N比も低下するため、これをカバーする目的で、容量デジタルコンバータ(以下CDC)を使用した。CDCの優位性としては、複数の部品からなる従来の容量測定回路を1つのCDCに置き換えて、センサユニットの部品点数を減らすことができる。
ただし、CDCの特性を十分に活かすためにはエレメントの湿度特性変化幅を調整する必要があった。そのため、新しい湿度エレメントの容量値および変化幅をCDCのオフセット可能範囲で、かつ計測範囲内に相対湿度0~100%RHの静電容量の変化範囲を収めることとした(図6右)。

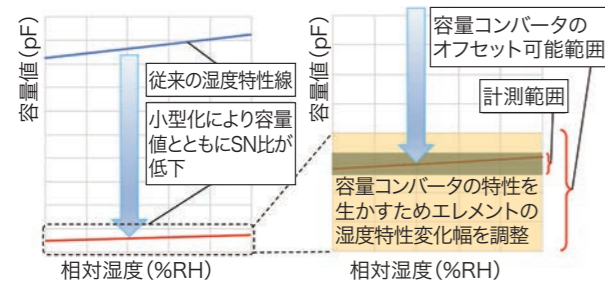


図6 エレメントの小型化による静電容量値の低下(左)とCDCの仕様に合わせて容量値の調整(右)

4.2.2 新しいセンサチップの設計

湿度エレメントの計測部であるセンサチップの外観を図7に示す。新しいセンサチップ(図7右)の面積を従来のセンサチップ(図7左)の約30%の大きさに小型化した。

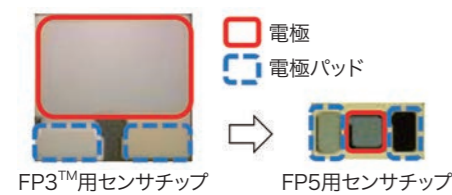


図7 センサチップ外観

小型化にあたり、従来のセンサチップの単純な縮小ではなく、以下を考慮して新しいセンサチップを設計した。

(1) 容量値特性(電極面積)

湿度エレメントの静電容量値がCDCのオフセット可能範囲内に入り、かつ静電容量変化範囲がCDCの計測範囲内となるように電極面積を決定した。またCDCのビットあたりの相対湿度値に相当する分解能(%RH/bit)が十分な値であることを確認した。

電極パターンを形成する際の寸法精度が変わらないため、電極面積を小型化すると、相対的に容量値のばらつきが大きくなるのが懸念された。そのため、電極パッドへの接続部パターンを中心部よりも狭めて、チップ形成後のトリミングによる容量値調整等を行うことなく安定した生産を可能とする構造とした(図8)。

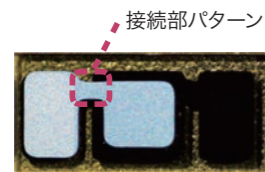


図8 FP5用センサチップ外観

(2) 湿度エレメントの組付け性

センサチップサイズの小型化で湿度エレメントの組付け作業性が低下しないように、電極の両側に電極パッドと配置して信号取出し用のリードを接続しやすくした。

また、小型化したセンサチップに合わせてパッケージを設計した。

4.3 完成した湿度エレメントFP5

新しい湿度エレメントFP5を図9に示す。従来湿度エレメントに比べて約30%の大きさに小型化した。

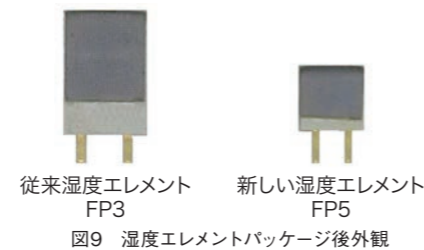


図9 湿度エレメントパッケージ後外観

新しい湿度エレメントの小型化による静電容量値低下に対して、相対湿度0~100%RH変化における静電容量変化幅をCDCの入力幅に合わせてことで、S/N比を維持させた。

5. 課題解決

5.1 回路プラットフォームによる開発期間短縮

新製品開発では効率よく開発を行うことが重要な要素である。将来の製品にも使用できる設計を行い共通化ができれば、開発効率だけでなく品質の向上にもつながる。

これまでの湿度センサの回路は基本的には似ている回路ではあったが、製品ごとに設計や部品構成などが異なっていた。そこで、湿度センサの回路および電子部品のプラットフォームを設計し、回路構成や部品の共通化により開発効率を高めていくこととした。

これにより、ダクト用温湿度センサ、ダクト用露点温度センサ、室内用温湿度センサといった異なる製品の開発を同時に進め、短期間に効率よく開発することができ、さらに今後の新製品の開発にも利用可能とした。

5.2 デジタル化による製品性能課題の解決

製品の回路ブロック図を図10に示す。

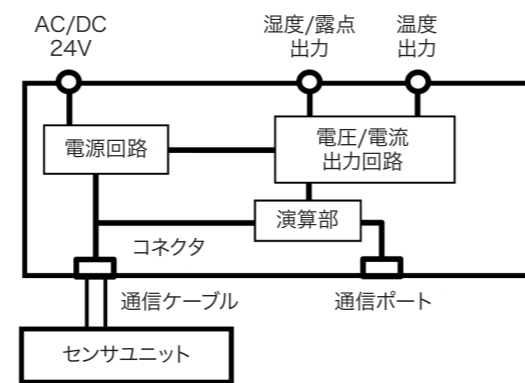


図10 回路ブロック図

センサユニットのCDCでは湿度エレメントの静電容量をデジタルに変換し、同じくセンサユニットに搭載されているEEPROMにはCDCのオフセット量や湿度感度特性などの調整データを記憶させており、これらのデータを回路の演算部で読み取る。その結果、従来よりも湿度エレメントの個々のばらつきを正確に補正するとともに、温度特性の補正や低湿、高湿での湿度直線補正をプログラムにより行って湿度計測精度を向上させた。詳細を第6章に記載している。

5.3 生産管理の課題解決

製品のデジタル化により、出力回路調整については従来のアナログのボリューム1点調整から、デジタルのデータを通信ポートより製品本体に送信して多点調整を行う方式へと変更した。それにより、生産時の調整データを記録してトレンドを管理することで、不具合を早期に発見できるようにした。図11は実際の湿度調整時のデータ推移である。この図からは検査合格範囲に対して十分狭い範囲で調整データが分布しており、安定した品質で湿度エレメントを生産できていることがわかる。

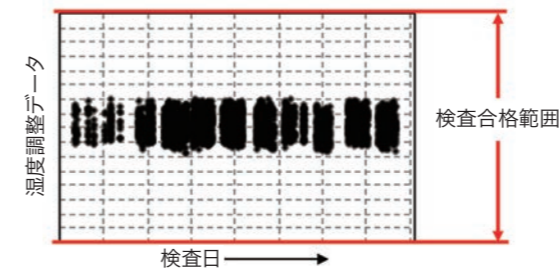


図11 湿度オフセット調整データ推移

6. センサユニット搭載センサの開発

6.1 製品概要

前記の技術を盛り込んだ、新しい湿度エレメントFP5を搭載したダクト用温湿度センサ、ダクト用露点温度センサ(図12)および室内用温湿度センサ(図13)を開発した。



図12 ダクト用温湿度センサ、ダクト用露点温度センサ(外観は同じ製品)



図13 室内用温湿度センサ

ここでは、ダクト用温湿度センサについて、特長を説明する。構成を図14に、仕様を表1に示す。

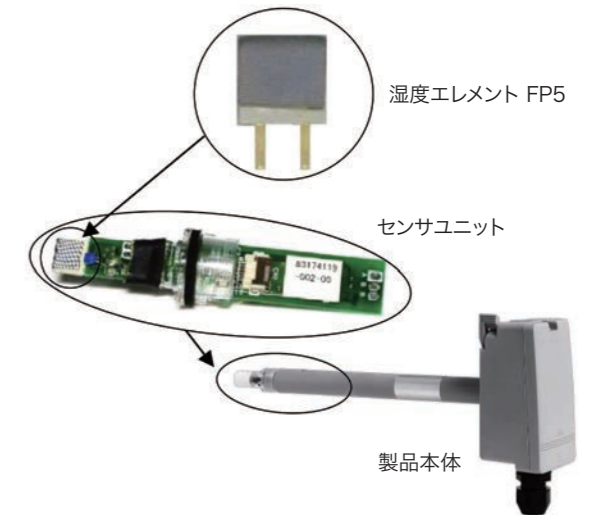
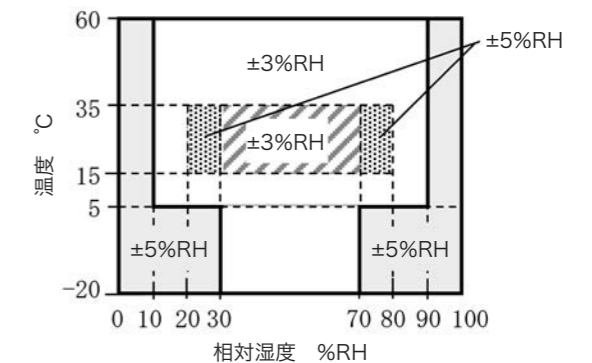


図14 ダクト用温湿度センサ構成

表1 ダクト用温湿度センサ仕様(項目抜粋)

項目	仕様	
計測範囲	温度	-20~60°C
	湿度	0~100%RH
精度	湿度	±3%RH@5~60°C 10~90%RH

新たに開発した温湿度センサと従来製品の精度を比較した湿度精度範囲図を図15に示す。従来製品で精度範囲は斜線/点線網掛けで示した範囲であり、新たに開発した温湿度センサでは精度範囲が拡張していることがわかる。



□ 新たに開発した温湿度センサの精度±3%RH 領域
 ■ 新たに開発した温湿度センサの精度±5%RH 領域
 ▨ 従来製品の精度±3%RH 領域
 ▩ 従来製品の精度±5%RH 領域

図15 ダクト用温湿度センサ 湿度精度範囲図

6.2 その他の製品改良点とその効果

主な改良点とそれによる効果について記載する。

(1) 部品交換の容易化

図16にセンサ計測部の交換箇所を示す。図16(左)は前述したセンサユニット交換である。図16(右)は塵や水滴飛沫を防ぐためのフィルタで、従来製品ではキャップを外さないと交換できなかったが、キャップを外さずに交換できる構造

にした。ユニット交換により、メンテナンス作業時の課題であった現場工数を約50%、部材コストを約80%削減した。



図16 センサ計測部の交換箇所

(2) センサ部シール性の向上

従来製品ではダクト内外の圧力差が大きい場合に、センサ本体内部を通して空気が流れてしまうことがあった。このときダクト内外の温度差により保護管内部で結露し、機器を破壊するという事象が起きていた。これを解決するため、開発したセンサではセンサユニットが保護管内とダクト内とのシール性を高めた構造にしたことで、保護管内への空気の流入を防止した(図17)。

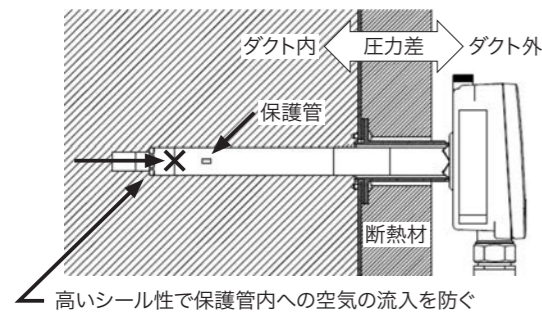


図17 ダクト内外圧力差による空気流入への対応

(3) 環境配慮設計による環境ラベル取得

アズビルでは環境配慮設計に取り組んでおり新製品に対して環境設計アセスメントを実施している。評価結果が社内基準に達したものは環境配慮製品に認証されazbilグループ環境ラベル(図18)を取得できる。本製品はセンサユニット化により、製品本体の長期使用を可能にし、廃棄を減らしたことなどが評価され環境ラベルを取得している。



図18 azbilグループ環境ラベル

7. おわりに

従来製品の設置現場での課題を解決するため、新たに小型湿度エレメントFP5を開発し、温湿度計測部のみを交換可能とするセンサユニット化して、それを搭載した新しい温湿度センサを開発した。

開発したセンサにより、現場メンテナンスの工数と部材コストを削減し、製品開発および生産での課題の解決を可能とした。

今回開発したセンサユニット化技術を今後デジタル通信やIoTに対応する次世代製品に応用する。

<商標>

FP5, FP3はアズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

矢野 樹史 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー開発本部開発4部
杉山 正洋 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー開発本部開発4部

ネットワーク構成把握技術の開発

A new technology for visualizing network topologies

太田 貴彦
Takahiko Ohta

神宮 武志
Takeshi Shingu

キーワード

SNMP, MAC アドレステーブル, RSTP, ネットワーク構成, ネットワーク冗長化

システム機器のマルチベンダー化に伴い大規模化・複雑化が進むネットワークシステムに対して、ネットワーク構成を自動把握する技術を開発し、可視化するシステム監視アプリケーションを試作した。本技術はSNMP対応スイッチングハブ(以下、スイッチ)内の情報を解析することにより、ローカルネットワーク内の機器を階層構造で把握することを実現する。本技術により、ネットワークシステムの構築時や運用時においてネットワーク構成把握の確認作業コストを大幅に削減する。

In response to the growth in size and complexity of network systems that accompanies the multi-vendorization of system equipment, we have developed a technology for automatically detecting the configuration of networks, and we have experimentally produced a system-monitoring application that visualizes the configuration. By analyzing the information in an SNMP-compatible switching hub, this technology is able to detect the local network devices in their hierarchical structure. This technology significantly reduces the time and cost required to check the configuration of a network when constructing or operating a network system.

1. はじめに

近年、IoTやクラウドサービスの普及に伴い、ネットワークに接続する機器が増え、ネットワークの大規模化・複雑化が進んでいる。また、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大に伴い、企業では在宅勤務の推進など働き方改革の関心が高まり、人手不足が課題となっている。

多くの組織や企業は、自身のビルや建物内にネットワークを利用しているが、ネットワークの構築や運用、保守において人の手作業が必要なことが課題となっている。ネットワークの新規構築においては、ネットワークが設計図どおりに構成されているか目視や手作業による確認が必要であり、増改築時においては、ネットワークの構成変更が行われた際に設計図の更新が必要となる。また、障害が発生した際には、原因特定のため設計図を参照し目視や手作業による確認作業が必要となるが、設計図の更新がされていないこともあり、さらに確認作業の時間を要することが課題となっている。

以上の課題や背景から、ネットワーク構成を自動で把握する技術を開発し、本技術を利用したシステム監視アプリケーションを試作した。

2. ネットワーク監視における課題

従来のネットワーク構成の自動把握技術においては、IPv4ネットワークの場合、ネットワークアドレスの範囲内のすべてのアドレスに対してアクセスを試みる手法により、システム内のネットワークに接続している機器を列挙するのにとどまっているのが一般的である。例えば、192.168.1.1~192.168.1.254のネットワークセグメントであれば、ARP(Address Resolution Protocol)リクエスト^{注1}を254回送信することにより接続している機器を把握する。しかし、実際に構築したネットワークが設計図どおり正しいかどうか確認するためには、スイッチの階層構造を含め把握する必要がある。そのため、従来の技術では設計図どおりネットワークが構築されているか正確に確認するには不十分であり、規模が大きくなるほど人の目視や手作業による確認作業にコストを要している。

また、近年では、STP(Spanning Tree Protocol)などによる冗長化ネットワークが適用されているシステムも多く、そのようなネットワーク構成において、冗長化構成情報についても正しく構築されているか確認する必要がある。しかし現状では冗長化ラインであるブロッキングポートは容易に把握できるが、ブロッキングポートの接続先については自動把握する技術がないため、人の目視や手作業により接続状態を把握する必要があり、確認作業にコストを要している。

注1 ARPはIPアドレスからMACアドレスを取得するプロトコルであり、ネットワーク上の機器の有無を確認するために使用する。

3. ネットワーク構成把握技術

本章では、ローカルネットワーク内の複数のスイッチの構成を自動把握する技術を説明する。各スイッチがどのスイッチの何番ポートに接続されているか把握することにより、ネットワーク全体の物理的な接続情報を可視化することができる。

このネットワーク構成の自動把握は、SNMP (Simple Network Management Protocol) によってネットワーク上に存在する全スイッチのMACアドレステーブル^{注2}を取得、解析することによって実現する。なお、本技術は、ネットワーク上の全スイッチがSNMP対応かつMACアドレステーブルの取得が可能であることを前提とする。

3.1 SNMP (Simple Network Management Protocol)

SNMPは、IPネットワークに接続された機器を管理するためのプロトコルである。管理対象は、スイッチやルータ、サーバ、パソコン、セキュリティ機器やネットワークプリンタなど多岐にわたり、管理対象から、インターフェース、ARPテーブル、MACアドレステーブル、ポートステータスなど様々な情報を取得できる。管理情報はMIB (Management Information Base) として標準化されている。

3.2 MACアドレステーブル

MACアドレステーブルは自身の物理ポートと接続先機器のMACアドレスの対応表であり、各スイッチがそれぞれ保持している。MACアドレステーブルの情報は、スイッチを通じた通信が行われる際に自動で学習し、スイッチが効率良く通信を行うために利用される。なお、一定時間通信が行われない場合、自動で消去される。

3.3 ネットワーク構成把握

本技術は主に次の2ステップで構成される。

- (1) MACアドレステーブルへの学習
- (2) MACアドレステーブルの解析

3.3.1 MACアドレステーブルへの学習

各スイッチのMACアドレステーブルに、他の全スイッチの情報を学習させる。各スイッチにブロードキャストメッセージを送信させ、他の各スイッチのMACアドレステーブルに自身のスイッチMACアドレスを記憶させる必要がある。そのためには、ネットワーク上に存在しないダミーのIPアドレスを送信元に設定したpingを利用する。pingを受信したスイッチは送信元へ返信を行おうとするが、ネットワーク上に存在しないIPアドレスは自身のARPテーブルに登録されていないため、MACアドレスを取得するためにARPリクエストをブロードキャストする。例えば、図1のようなネットワーク構成において、MACアドレステーブルが空の状態、スイッチCに対して、ネットワーク上に存在しないダミーのIPアドレスを送信元に設定したpingを送信すると、各スイッチのMACアドレステーブルは図2のようになる。なお、図2ではMACアドレステーブルのうち、スイッチに関する情報のみ抽出している。このように、全スイッチに対して

注2 MACアドレスはネットワーク機器固有の識別番号であり、ローカルネットワーク内の機器同士が通信するために使用する。MACアドレステーブルに関しては3.2に記述する。

ネットワーク上に存在しないダミーのIPアドレスを送信元に設定したpingを送信することで、ネットワーク上の全スイッチ同士が通信することとなり、各スイッチのMACアドレステーブルに、他の全スイッチの情報が学習された状態となる。そのMACアドレステーブルを図3に示す。図3ではMACアドレステーブルのうち、スイッチに関する情報のみ抽出している。

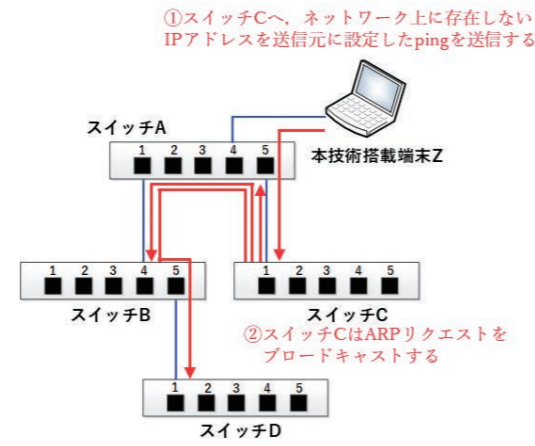


図1 存在しないIPアドレスを利用したping

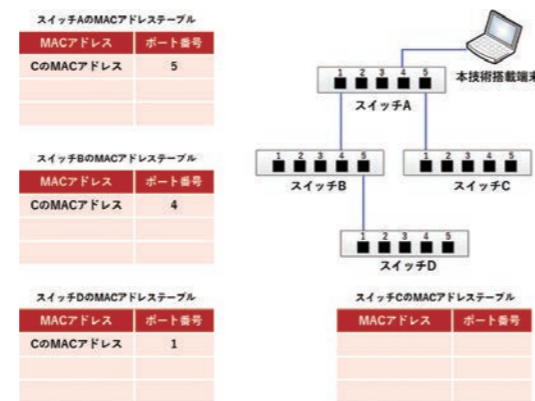


図2 MACアドレステーブルへの学習例

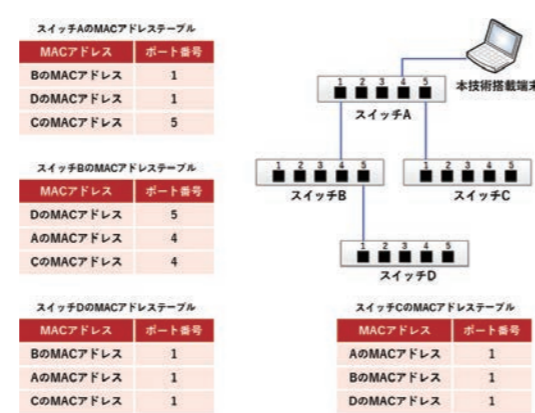


図3 MACアドレステーブルへの学習結果

3.3.2 MACアドレステーブルの解析

3.3.1で学習させたMACアドレステーブル情報をネットワーク上の全スイッチから収集し、解析を行う。MACアドレ

ステーブル情報からネットワークの末端となるスイッチを判定し、その上位に接続しているスイッチの探索を繰り返すことにより、ネットワーク構成を把握する。

はじめに、ネットワークの末端にあるスイッチを探索する。各スイッチのMACアドレステーブルを参照し、図4の赤枠のような任意の1つのポートに自身以外の全スイッチのMACアドレスが登録されているものを、ネットワーク末端のスイッチと判定する。図4ではMACアドレステーブルのうち、スイッチに関する情報のみ抽出している。

次に、この末端のスイッチと直接接続している上位のスイッチを探索する。各スイッチのMACアドレステーブルを参照し、任意の1つのポートに末端のスイッチのMACアドレスのみが登録されているものを、直接接続していると判定する。接続が確定したスイッチの情報を、各スイッチのMACアドレステーブル情報から削除し、前述の上位スイッチの探索を繰り返すことで、ネットワーク構成を把握することができる。

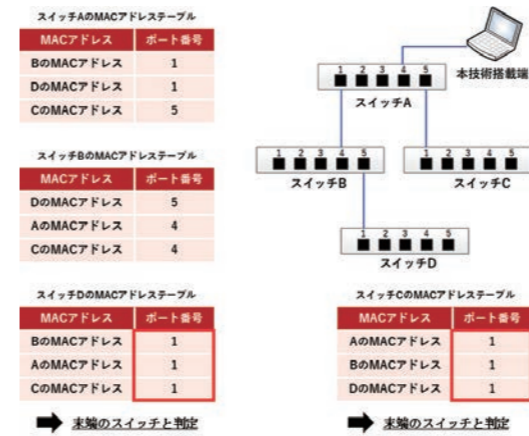


図4 末端のスイッチの判定

4. ネットワーク冗長化構成把握技術

本章では、冗長化が構成されたネットワークにおいて、STP (Spanning Tree Protocol) などの冗長化プロトコルにより、ブロッキング (Blocking) 状態となったポートの物理的な接続先ポートを自動把握する技術を説明する。

このブロッキングポートの接続先ポート自動把握は、各スイッチのポートステータス情報とMACアドレステーブルを解析することによって実現する。なお、本技術は、3章と同様に、ネットワーク上の全スイッチがSNMP対応かつMACアドレステーブルの取得が可能であること、および冗長化構成が1つであることを前提とする。

4.1 STP (Spanning Tree Protocol)

STPはネットワークにおいて、冗長化構成を可能とするプロトコルである。冗長化とは、障害発生時の迂回路として、ネットワーク上に複数の経路を物理的に設けることである。しかし、ネットワーク上にループ状の経路がある場合、ブロードキャストストームによるネットワーク停止を招くため、そのままでは使用できない。そこでSTPを用いることで、ループの一部のポートをブロッキング状態とし論理的に切

断することで、ループを防ぎ、障害発生時に一部の経路が不通になった際には、ブロッキング状態だったポートをフォワーディング (Forwarding) 状態として通信可能にすることで、新たな経路に切り替えることができる。STPはIEEE 802.1Dで規格化されており、複数の異なるベンダー機器で構成されているネットワークにおいても適用可能である。また、高速化・高機能化されたRSTP (Rapid STP) やMSTP (Multiple STP) もそれぞれIEEE 802.1w, 802.1sで規格化されており、現在は一般的にRSTPが使用されている。

4.2 ネットワーク冗長化構成把握

本技術は主に次の2ステップで構成される。

- (1) MACアドレステーブルへの学習
- (2) ブロッキングポートおよび接続先の探索

4.2.1 MACアドレステーブルへの学習

各スイッチのMACアドレステーブルに、他の全スイッチおよび全機器の情報を学習させる。4.2.2にて後述するブロッキングポートおよび接続先の探索において、各スイッチの全ポートのステータス情報と接続している機器を参照する必要があるため、スイッチと機器の情報をMACアドレステーブルに学習させる必要がある。スイッチの学習は3.3.1と同様に、ネットワーク上に存在しないダミーのIPアドレスを送信元に設定したpingを利用して行う。機器の学習は、IPv4機器に対してはARP、IPv6機器に対してはMLD (Multicast Listener Discovery) を利用した機器検索⁽¹⁾を行い、各機器からの返信により、MACアドレステーブルへの学習を行う。

4.2.2 ブロッキングポートおよび接続先の探索

ネットワーク上の全スイッチから全ポートのステータス情報を収集する。はじめにブロッキングポートを探索する。収集した全ポートのステータスを見ると、ブロッキング状態となったポートが1つ見つかり、それ以外のポートはフォワーディングとなっていることがわかる。なお、接続されていないポートは「ディセーブル (Disable)」となる。図5に冗長化ネットワークの構成例と各ポートのステータスを示す。STPによりスイッチDの5番ポートがブロッキング状態となり、スイッチC-D間の接続が論理的に切断された状態となる。

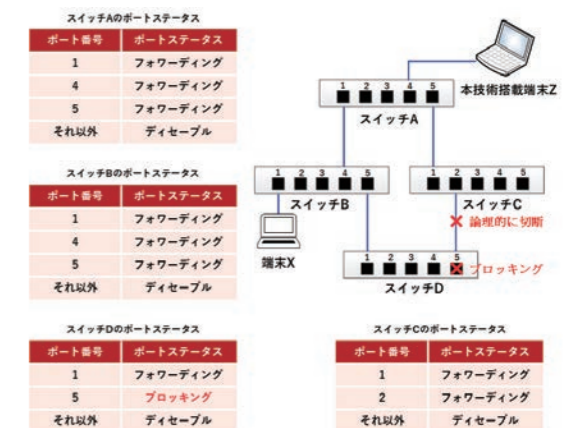


図5 冗長化ネットワークにおけるポートステータス

次に、MACアドレステーブル情報をネットワーク上の全スイッチから収集し、ブロッキングポートの接続先を探索する。各スイッチのMACアドレステーブルを参照し、「フォワーディング状態かつ対応するMACアドレスが登録されていないポート」をブロッキングポートの接続先ポートと判定する。これは、ブロッキングポートの接続先ポートは物理的なケーブルが接続されておりフォワーディング状態となるが、接続先のポートはブロッキング状態で、この両ポート間は論理的に切断された状態となり、実際にはデータ通信が行われないからである。図6に図5と同じ冗長化ネットワークにおける各スイッチのMACアドレステーブルを示す。スイッチCの2番ポートのみが「フォワーディング状態かつ対応するMACアドレスが登録されていないポート」に該当し、ブロッキングポート（スイッチDの5番ポート）の接続先であると判定する。

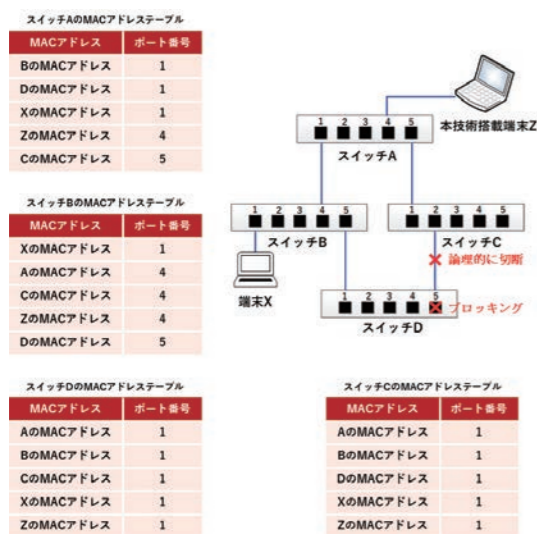


図6 冗長化ネットワークにおけるMACアドレステーブル

5. 成果

SNMP対応スイッチ内の情報を解析することによりローカルネットワーク内の機器を階層構造で把握できる技術の開発およびネットワーク冗長化の構成を把握できる技術の開発を開発した。また、それを利用したシステム監視アプリケーションの試作を行うことで、ネットワークシステムの新規構築時・増改築時において、従来図面を参照しながら目視や手作業で確認していたネットワーク構成の確認作業コストを大幅^{注3}に減らすことおよび、運用時において、障害が発生した際に、障害箇所を早期に特定できることを検証可能とした。

システム監視アプリケーションの実装機能を以下に示す。

(1) スイッチの多段構成の把握機能

ローカルネットワーク内のスイッチの階層構造を自動把握しツリー形式で表現することで、ネットワーク全体の構成を把握可能となった。

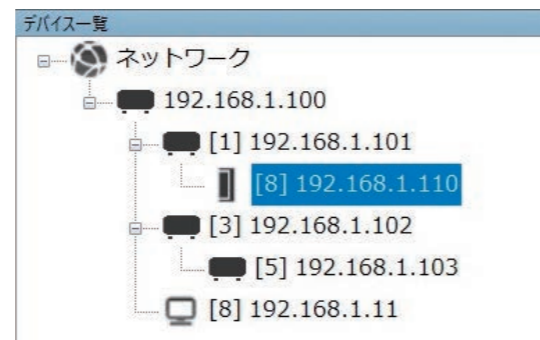


図7 把握したネットワーク構成のツリー表現

図8はシステム監視アプリケーションが障害を検知した際の表示例である。新規構築時や運用開始時など正常な状態でネットワーク全体を探索し、ネットワーク内に存在する機器のアドレス情報をホワイトリストとして保持しておく。運用時にネットワーク内のパケットを監視し、パケットの送信元アドレス情報をもとに、ホワイトリストに存在しない機器を見つけた場合、その機器を未許可機器として上部に警告を表示し、左部の赤枠のように障害が発生した場所をすぐに把握可能である。

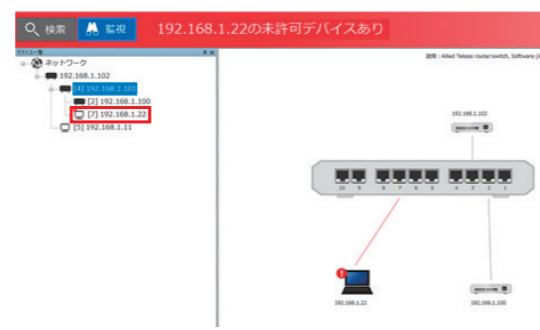


図8 障害箇所の特定

(2) ネットワーク冗長化構成把握機能

冗長化のネットワーク構成において、図9に示すようにルートブリッジ、ブロッキングポートおよび接続先ポートが把握可能となった。

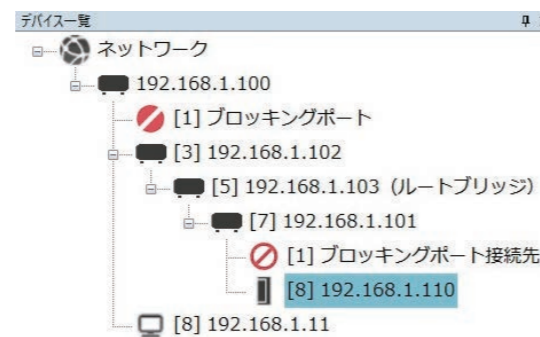


図9 冗長化構成情報の把握

6. おわりに

ネットワーク内の機器を階層構造で把握する技術を説明した。

今後の課題は、汎用的に適用可能なネットワーク構成把

握技術の開発である。この背景は、今後5Gを活用したネットワークや機器が普及し、さらにネットワークの大規模化・複雑化が考えられるからである。本稿で説明した技術は、ネットワーク内の全スイッチがMACアドレステーブルの取得に対応していることを前提とし、有線で接続されている機器の構成把握のみを行っているが、今後はスイッチの種類や接続機器の有線・無線を問わず、どのようなネットワーク構成であっても適用可能とすることを目標とする。

<参考文献>

- (1) 佐々木太一, 太田貴彦, 佐内大司, IPv6におけるノードの発見とプロミスキャスモードの検出, azbil Technical Review, 2020年4月, pp.15-18

<著者所属>

- 太田 貴彦 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー開発本部開発2部
- 神宮 武志 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー開発本部開発2部

注3 クラスCで254台を想定した環境においては、これまで数日が必要だったが、1分以内に把握可能。

最新のAI画像解析技術を用いた 顔認証・温度検知ソリューション

Solutions for facial recognition and thermography using the latest AI image analysis technology

粒崎 洋一 上田 祐司
Yoichi Tsubusaki Yuji Ueda

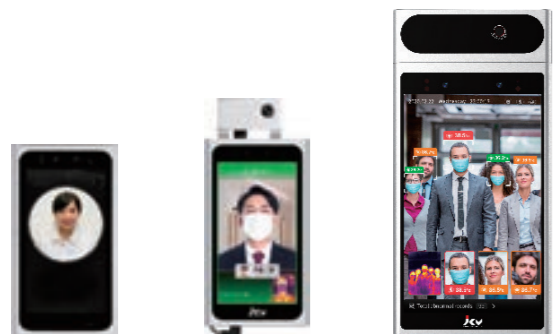
1. はじめに

2020年2月に日本コンピュータビジョン株式会社と業務提携し、AI顔認証・温度検知ソリューションの販売を開始した。

当社は1987年よりビルセキュリティ事業に取り組み、現在は非接触ICカードリーダーを中心とした入退室管理システムを様々な建物や企業に販売している。顔認証技術は入退室管理システムの利便性を飛躍的に向上させるとともに、温度検知(発熱の疑いのある人を検知する)技術はパンデミック時において安全と安心を提供する手段となる。

2. 製品概要

AI顔認証・温度検知ソリューションは、先進的なAI技術に基づく高速で高精度の顔認証機能、2つのカメラ、検知センサ、サーモグラフィカメラなどのハードウェアを集約した専用デバイス(図1)と、それらを統合管理するソフトウェアSenseLink(センスリンク)により構成される。



顔認証デバイス 温度検知デバイス 温度検知デバイス
SensePass SenseThunder-Mini SenseThunder-Air

図1 AI顔認証・温度検知ソリューション専用デバイス

2.1 顔認証デバイス SensePass

SensePass(センスパス)は、ハンズフリーでの入退室(図2)を実現するデバイスであり、次のような特長を備えている。

- ・最大2万人のデータを搭載し、0.3秒で認証
- ・暗所(0.5 lux, 月明り程度)でも認証可能

- ・マスクをしていても認証可能
- ・写真などによるなりすましを検知

SensePassの顔認証アルゴリズムは、香港に本社を置くAI企業、SenseTime(センスタイム)社が開発したものである。SenseTime社のアルゴリズムは、NIST(National Institute of Standards and Technology:アメリカ国立標準技術研究所)が実施した顔認証ベンチマークテストFRVT(Face Recognition Vendor Test)2020において、8つの評価項目のうち5つの主要分野で1位を獲得している。



図2 顔認証によるハンズフリー入退室

SensePassを利用することにより、入退室管理システムの利用者はセキュリティカードの紛失、持ち忘れなどのリスクから解放され、管理者はそれらへの対応コストを削減することができる。また、同じく顔認証技術を使って、勤怠管理、来客受付などを行うこともできる。

2.2 温度検知デバイス SenseThunder

SenseThunder(センスサンダー)シリーズは、顔認証デバイスに小型のサーモグラフィカメラを組み合わせ、温度検知機能を付加したものである。顔認証機能を利用して目や顔の位置を特定、サーモグラフィカメラが計測した多数の温度点から演算に最も適した点を選び出し、体表温・体温・室温の3種類のビッグデータにてディープラーニングしたAIにより、高精度で体温を推定する。そのため、背景や照明などの影響を受けにくい。

コンパクトなSenseThunder-Mini、大型画面を採用し外部モニタ出力端子も備えたSenseThunder-E、さらに最大5人を同時に計測することができるSenseThunder-Airがある。

表1 SenseThunderシリーズ 仕様比較

	SenseThunder Mini	SenseThunder E	SenseThunder Air
画面サイズ	5.5インチ	8インチ	8インチ
測定誤差	±0.4℃	±0.3℃	±0.4℃
測定距離	~1.2m	~1.5m	~2.5m
モニタ出力	なし	あり	あり
同時計測人数	1人	1人	5人

2.3 管理プラットフォーム SenseLink

SenseLinkは、最大300台の顔認証・温度検知デバイスを統合管理するソフトウェアであり、次のような機能を備えている。

- ・デバイス管理
 - 登録している各デバイスの状態確認、設定変更
 - ・登録者管理
 - 従業員、グループ情報の登録や更新
 - ・イベント管理
 - 顔認証、温度検知履歴や異常温度アラートの管理
- また豊富な外部連携API(Application Programming Interface)により、入退室管理、勤怠連携などの外部システムとの連携が容易である。



図3 管理プラットフォームSenseLink

3. 入退室管理システムとの連携

当社の入退室管理システムの専用コントローラには、SensePass、SenseThunderシリーズを非接触ICカードリーダーと同じように接続することができる。入退室管理システムを導入する各部屋やエリアの用途、セキュリティレベルに応じて、カードリーダー(コスト重視)、顔認証(利便性重視)、指静脈(セキュリティ性重視)などの認証方法を自由に選択することができる。またSenseThunderの温度検知機能により、発熱の疑いのある人を入室させない、また入室に応じて室圧や気流を素早く制御するなどの応用も可能である。

システムレベルでは、SenseLinkのAPIを利用して、顔とカードの一括管理、ビルの受付や搬入口における来客登録の仕組みなどを順次開発して提供する計画である。

4. おわりに

AI顔認証・温度検知ソリューションにより入退室管理の利便性を向上させるだけでなく、ユーザー管理、履歴管理も含めた連携機能を提案し、入退室管理システムおよびビルディングオートメーションシステムと併せて、お客さまに新たな価値を提供していく。

<謝辞>

執筆に際しご協力いただいた日本コンピュータビジョン株式会社に感謝の意を表する。

<著者所属>

- 粒崎 洋一 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部プロダクトマーケティング部
- 上田 祐司 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部プロダクトマーケティング部

アジャスタブル近接センサ 形 H3C

オートチューニングと余裕度の可視化で調整工数削減と安定稼働に貢献

Model H3C adjustable proximity sensor's auto-tuning and visualization of excess gain yields faster adjustment and more reliable operation

佐藤 永幸
Nagayuki Sato

喜入 信博
Nobuhiro Kiire

1. はじめに

近接センサは、センサに近づいた金属に反応し、出力をON/OFFする非接触スイッチである。

従来の近接センサは動作距離が固定であり、ねじ状になっているセンサのねじをずらすことで検出位置の調整を行っている。ねじによる検出位置の調整は、微調整が難しく時間がかかる。作業によって調整位置がばらつく、という課題がある。また、出力のON/OFFしかわからないため、調整後の検出余裕度がLEDの表示でおおよそしか確認できないという課題もある。これらの課題を解決するため、アズビルはアジャスタブル近接センサ 形 H3Cを開発した。



図1 アジャスタブル近接センサ 形 H3C

2. 製品概要

形 H3Cは出力を2つ搭載し、従来センサが2つ必要であったアプリケーションではセンサを1つで対応することができる。それぞれの出力に対してしきい値を設定することにより、検出位置を出力ごとに調整することができる。

2.1 IO-Linkによるセンサの設定

本製品はIO-Linkに対応しており、しきい値などの各種設定、チューニングを通信で行うことができる。また、稼働時間や発振周波数などセンサの状態を取得することができる。

2.2 チューニング

各出力の設定をマニュアルで行うほか、オートチューニング機能を搭載している。チューニング機能にはしきい値の設定を2つの出力それぞれで行うStandard Modeと、しきい値と動作モード、動作ロジックを一括して行うCombination Modeがある。

Combination Modeはアズビルが新規開発したチューニングであり、その1つに4ポイントチューニングがある。これはティーチングポイントとして4点を指定すると、図2のように4点(図中のT1~T4)の間に2つ出力のしきい値(図中のS1,S2)を設定し、4つの状態を区別することができる。このチューニングはマシニングセンタの主軸に装着されるツール(工具)のクランプ状態の確認をアプリケーションとして想定している。

2.3 設定ツール

設定を簡単に行えるよう設定ツールを開発した。設定ツールはFDT® (Field Device Tool) 仕様に基づき、DTM™ (Device Type Manager) アプリケーションとして開発している。

設定ツールは各種設定やチューニングを行うことができるほか、動作の余裕度の確認や検出レベルのグラフ化機能を搭載している(図3)。

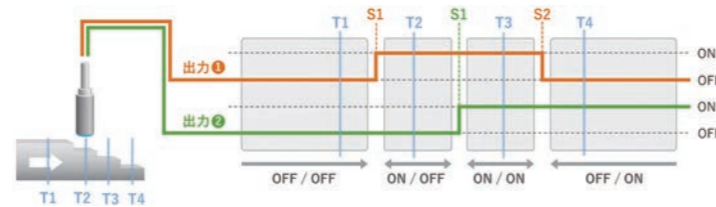


図2 4ポイントチューニング

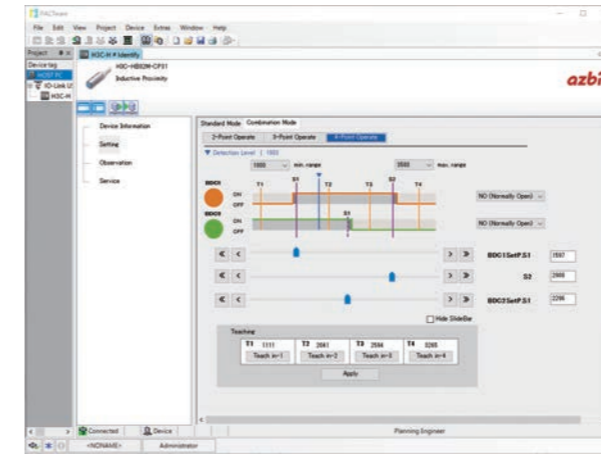


図3 設定ツール

3. おわりに

形 H3Cでは、今回紹介した4ポイントチューニングのほか、各種チューニングにより様々なアプリケーションへの応用を想定している。アプリケーション例を図4に示す。

今回開発したアジャスタブル近接センサ 形 H3Cのチューニングや専用設定ツールは、お客さまに快適な設置設定と工数削減、動作の余裕度の確認による安定した装置の稼働に貢献できると考える。

図4 形 H3Cのアプリケーション例

<商標>

FDTはFDTグループの商標です。
DTMはFDTグループの商標です。

問い合わせ先

アズビル株式会社
アドバンスドオートメーションカンパニーCPマーケティング部
電話:0466-20-2226

<著者所属>

佐藤 永幸 アズビル株式会社
アドバンスドオートメーションカンパニーCP開発部
喜入 信博 アズビル株式会社
アドバンスドオートメーションカンパニーCPマーケティング部



azbil Technical Review azbilグループ技術研究報告書 2021年5月発行号

発行日 2021年5月1日(通巻62号)
発行責任者 高橋美加子(アズビル株式会社 経営企画部広報グループ)
編集委員会 委員長: 吉村俊哉
委員: 百瀬修、衣笠静一郎、筒井宏明、大塚尚樹、鹿島亨、
久保田耕、倉科裕行
事務局: 小貝正義、菅野裕子
発行所 アズビル株式会社 経営企画部広報グループ
〒100-6419 東京都千代田区丸の内2-7-3 東京ビル
TEL.03-6810-1006

本誌掲載の論文は下記サイトでご覧いただけます。
<http://www.azbil.com/jp/corporate/pr/library/review/>

©2021 Azbil Corporation All Rights Reserved. Printed in Japan
●本誌から無断転載・複製はご遠慮ください。
●本誌に掲載した名称の中には、それぞれの各社が商標として使用している場合があります。