

azbil

アズビル株式会社

2012年4月1日、株式会社 山武はアズビル株式会社へ社名を変更しました。

〒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。

azbil Technical Review

azbil



Technical Review

2016年4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

2016年4月発行号

特集：生産現場・執務空間ソリューションを加速する情報化技術



表紙について

気象条件と地形と潮の動きが生み出す「流れ」

ひじかわ 肱川あらし

愛媛県大洲市を流れる一級河川の肱川。この肱川では、毎年10月から翌年の3月にかけて強い風が吹き荒れ、世界でも珍しい現象を見ることが出来ます。それが、「肱川あらし」です。冬の夜、夜半過ぎに発生した霧が大洲盆地に溜まり、強風に乗って海へと運ばれる現象をいいます。まるで白い龍が川の上空を海に向かって飛んで行くような幻想的な風景は、見る者を魅了します。肱川あらしは霧による現象なので、気象条件さえ整えばどこでも発生しそうですが、ここでしか見ることができません。これには、肱川周辺の地形と潮の動きが関係しています。

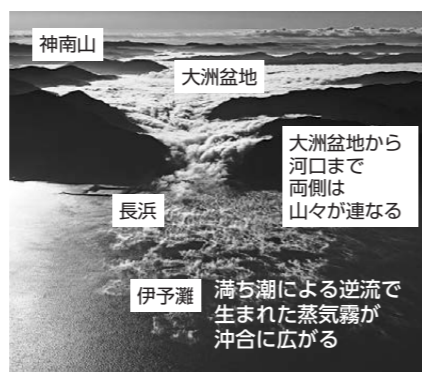
まず、地形の特長を見ていきましょう。霧が溜まる大洲盆地は肱川の中流域にあり、400メートル以上の山々に囲まれています。風が大洲盆地から海に向かうには、肱川が唯一の通り道。しかも、一般的な川の河口には平地が広がりますが、肱川は下流域の両側も山に挟まれています。そのため、風はますます速さを増し、下流に架かる長浜大橋の上では風速10メートル以上に達することもあります。

また、肱川流域の高低差も要因の1つです。大洲盆地から河口まではおおよそ10キロメートルありますが、高低差は10メートルほどしかありません。高低差が大きいと、気温の関係で河口に着くまでに霧は消えてしまいます。しかし、高低差が少ない肱川では、霧は消えることなく、強風に乗って肱川を下り、海へと流れていくのです。

さらに肱川あらしの霧は、大洲盆地から運ばれてくる霧だけではなく、満ち潮によって肱川に流れ込んだ温かい海水は、上流から下ってきた冷気に触れて、新たな霧（蒸気霧）が生まれます。朝の時間帯に満ち潮が重なると河口付近にこの霧が発生し、伊予灘の沖合に広がっていきます。海面に立ち上るこの蒸気霧は、沖合数キロにもおよぶそうです。

肱川あらしの発生予報は難しいのですが、気象条件としては、まず、前日はよく晴れていて暖かいことが大切です。そして、当日の朝はよく冷えこみ、大潮が重なっていると発生確率が高くなります。ただし、冬型の気圧配置によって北風が吹くと見ることができません。これらのポイントに加えて、冬型の気圧配置が緩んでいると、発生の可能性はより高くなるでしょう。現在、地元の人たちが肱川あらし予報会を結成し、肱川あらしの季節になると毎日、Web ページで翌日の肱川あらし情報を伝えています (<http://www.arashi-nagahama.com/index.html>)。

写真提供：愛媛県大洲市



表紙では、自然界のダイナミックな「流れ」を取り上げ、シリーズでお伝えしてまいります。

Contents

巻頭言：人を中心としたオートメーションに向けて …… 1	
京都大学大学院 情報学研究科システム科学専攻 教授	加納 学
特集に寄せて：次の100年に向けた技術開発の方向性について …… 2	
アズビル株式会社 執行役員 技術開発本部長	西本 淳哉

特集論文

自在	産業用センサにおける製造装置の高機能化を実現するネットワーク技術 …… 3
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	西坂 晋
進化	IoT時代のスマート設備管理を目指す操業ビッグデータを活用したオンライン異常予兆検知システムの開発 …… 9
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	木村 大作 山縣 謙一
進化	プラントの保全効率を向上させる診断機能を搭載した差圧・圧力発信器の開発 …… 16
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	近藤 浩市 永松 裕子
アズビル株式会社 技術開発本部	田原 鉄也
進化	ビッグデータ時代に対応し、進化する機器管理システム …… 21
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	津金 宏行 亀井 宏和 工藤 泰
アズビル株式会社 技術開発本部	籠浦 守 山田 功
進化	優れたユーザー体験を提供する新しいビルディングオートメーションシステムの開発 …… 27
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	西羅 大貴 古賀 宏 山本 博之
調和	ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発 全体像とエネルギー管理機能 …… 34
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	高橋 哲也 小間 香保里 澁谷 厚 馬淵 敏暢 田中 巧 山岡 稔
調和	ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発 居住者に快適を提供するテナントサービス機能 …… 41
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	山地 和博 大曲 康仁 鈴山 晃弘 大野 巧真 太宰 龍太
アズビル株式会社 技術開発本部	三浦 真由美
快適	中小規模オフィスビルの空調ニーズに応えるセル型空調システムの開発 …… 47
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	三枝 隆晴 羽場 照芳 伊藤 卓 長尾 泰司

一般論文

融合	サーモグラフィによる工程検査システムの開発 …… 54
アズビルトレーディング株式会社	越口 一敏
アズビル株式会社 技術開発本部	瀬戸 新一郎 金原 圭司
自在	封入液量を極少化した圧力センサ構造の開発 …… 59
アズビル株式会社 技術開発本部	田中 達夫
自在	速度分布による誤差を抑制した都市ガス・LPガス用超音波ガスメーターの開発 …… 64
アズビル金門株式会社	八幡 徹弥 内藤 光

5つの戦略技術領域 azbilグループは事業を取巻く環境変化に対応し普遍的な価値を提供すべく、5つの戦略技術領域を定め研究・開発を進めています。

融合 = 人間・機械融合システム技術	進化 = わかる化プロセス情報技術	快適 = 快適空間計測制御技術
自在 = 自在計測制御技術	調和 = 環境調和計測制御技術	

Preface: Toward Human-Centered Automation 1

Department of Systems Science, Graduate School of Informatics, Kyoto University
Professor

Manabu Kano

Introduction to the Special Issue: Technology Development Directions for Our Next Century ... 2

Executive Officer, General Manager of Technology Development
Headquarters, Azbil Corporation

Junya Nishimoto

Articles on Special Issue

Freedom of Time and Place Industrial Sensor Networking Technology for Improvement of Manufacturing Equipment Efficiency ... 3
Advanced Automation Company, Azbil Corporation Susumu Nishisaka

Evolution through IT Achieving Smart Equipment Management in the IoT Era: An Online Anomaly Monitoring System Using Factory Big Data 9
Advanced Automation Company, Azbil Corporation Daisaku Kimura Kenichi Yamagata

Evolution through IT New Differential Pressure/Pressure Transmitter Diagnostic Functions for Higher Efficiency Plant Maintenance 16
Advanced Automation Company, Azbil Corporation Koichi Kondo Yuko Nagamatsu
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Tetsuya Tabaru

Evolution through IT A Field Device Management System for the Big Data Era 21
Advanced Automation Company, Azbil Corporation Hiroyuki Tsugane Hirokazu Kamei Yasushi Kudo
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Mamoru Kagoura Isao Yamada

Evolution through IT A New Building Management System Offering an Excellent User Experience 27
Building Systems Company, Azbil Corporation Daiki Nishira Hiroshi Koga Hiroyuki Yamamoto

Harmony with the Environment Cloud Services for More Efficient Building Management: Overview and Energy Management Functions ... 34
Building Systems Company, Azbil Corporation Tetsuya Takahashi Kaori Koma Atsushi Shibuya
Toshinobu Mabuchi Takumi Tanaka Minoru Yamaoka

Harmony with the Environment Cloud Services for More Efficient Building Management: Tenant Services for Better Living ... 41
Building Systems Company, Azbil Corporation Kazuhiro Yamaji Yasuhito Omagari Akihiro Suzuyama
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Takuma Ohno Ryota Dazai
Mayumi Miura

High-Quality Living Space Cell Air Conditioning System for Small/Medium-Sized Office Buildings 47
Building Systems Company, Azbil Corporation Takaharu Saegusa Teruyoshi Haba Suguru Ito
Hiroshi Nagao

Articles on Other Subjects

Biomimetic Production A Process Inspection System Using Thermography 54
Azbil Trading Co., Ltd. Kazutoshi Koshiguchi
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Shinichirou Seto Keiji Kanehara

Freedom of Time and Place A New Pressure Sensor Structure with Minimal Enclosed Oil 59
Technology Development Headquarters, Azbil Corporation Tatsuo Tanaka

Freedom of Time and Place Error Minimization in Ultrasonic Gas Meters for City Gas and LP Gas 64
Azbil Kimmon Co., Ltd. Tetsuya Yahata Hikaru Naito

Five Strategic Technology Areas In response to changes in the business environment, the azbil Group will focus its research and development on five strategic technology areas that have been identified as having the potential for far-reaching value.

Biomimetic Production = Machine Systems with Humanlike Abilities
Evolution through IT = Advanced Technology that Clarifies Complex Systems
High-Quality Living Space = Individualized Environmental Comfort Systems
Freedom of Time and Place = Flexible Measurement and Control
Harmony with the Environment = Systems Enabling Us to Live in Harmony with Nature

巻頭言

人を中心とした オートメーションに向けて



京都大学大学院
情報学研究科
システム科学専攻
教授

加納 学

日本人男性の健康寿命は71.19歳、女性は74.12歳で、それぞれ平均寿命よりも9.02年、12.40年短い。これは2013年のデータであるが、日常生活に制限のある健康ではない期間が人生の1割以上を占めていることになる。史記には秦の始皇帝が不老不死を求めて徐福を蓬莱へ遣わしたと記されているが、さらに2千年前には既にギルガメシュ叙事詩に不老不死の話が出てくる。日本では古事記に、垂仁天皇の勅命を受けたタヂマモリ（多選摩毛理）が食べると不死になるというトキジクノカクノコノミ（登岐土玖能迦玖能木資）を持ち帰ったとある。人間が長寿や健康を願うのは自然であり、それを叶えるための医学として古いものには、ギリシャ医学を起源とするユナニ医学、インドのアーユルヴェーダ、そして中国医学がある。これらの伝統医学は全体としての調和を重視している。

生産現場に目を向けてみよう。設備の不老不死は望むべくもないが、設備の健康寿命を延ばすことは重要である。もちろん、怪我や病気はできるかぎり予防すべきであり、仮に発生したならば、速やかに健康な状態を取り戻すことが求められる。そのために、異常検出や異常診断といった技術がある。古典的な異常検出方法として、着目する変数に上下限を設定する方法がある。この方法は、変数のバラツキをモデル化し、正常状態からは容易に観測されないような値が現れれば、異常が発生したとみなす。これは、人間ドックや健康診断と同じ原理であるが、設備全体としての調和を重視していない。設備が正常であれば、計測されている様々な変数が満たしているはずの関係があるに違いない。このような立場から、正常時の変数間の関係をモデル化し、その関係からの逸脱を監視する方法が支持されてきた。1990年代の多変量統計的プロセス管理(MSPC)の実用化を契機に、多種多様な方法が提案されている。さらに、Industrie 4.0やInternet of Things (IoT)、ビッグデータといったキーワードが流行する昨今、大量のデータを効率的に扱い、変数間の関係をうまく抽出する方法の開発は加速している。ただ、気になることもある。それは、異常とは何か?を真面目に考えて定義しているかということである。

ここで少しばかり視野を広げてみよう。設備を運転しているのは人である。制御システムのインターフェースやアラーム

のマネジメントに関する取り組みは、人に作業しやすい環境を提供し、生産現場は洗練されてきている。しかし、設備の状態を把握しようという試みと比較すると、人は放置されたままのように思われる。安全を確保するためにはヒューマンエラーを防ぐことも大切であるため、今後は、人の状態を把握する技術の重要性が増すのではないだろうか。例えば、ストレス、眠気、集中力の程度がリアルタイムに把握できるようになれば、人や設備の安全確保に役立つはずである。

我々の研究グループでも、そのような技術開発に注力している。その1つに、てんかん発作の予知がある。発作が起こる前に、発作の発生を予知して注意喚起できれば、深刻な事故を防ぐことができるはずである。この技術の実現に向けて希望が持てる研究成果が出てきているが、そこで利用している方法は、先述のMSPCである。心拍変動解析の結果にMSPCを適用し、発作が起こらない状態を定義し、その状態からの逸脱を監視する。さらに、ウェアラブル計測機器を用いた眠気検知や疾病のスクリーニングなどにも取り組んでいる。

設備の状態のみならず、その設備を動かす人の状態をも把握できるようになることで、人を中心としたオートメーションが次のステージへと進むことを期待している。

著者紹介:

1992年京都大学工学部化学工学科卒業。1994年京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 修士課程修了、助手に着任。1999年京都大学博士(工学)を取得した後、客員研究者として米国オハイオ州立大学に滞在。2004年同助教授。准教授を経て、2012年京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻教授。現在に至る。

専門分野は、プロセスシステム工学、プロセスデータ解析、プロセス制御、生体・医療データ解析。計測自動制御学会論文賞/武田賞、技術賞、教育貢献賞、日本鉄鋼協会計測・制御・システム研究賞、化学工学会奨励賞/内藤雅喜記念賞、J. Chem. Eng. Japan Outstanding Paper Award等を受賞。

特集に寄せて

次の100年に向けた
技術開発の方向性についてアズビル株式会社
執行役員 技術開発本部長

西本 淳哉

azbilグループは、今年創立110周年を迎えます。戦中、米ブラウン社に支払うロイヤリティを横浜正金銀行に預けていた逸話や、終戦直後、従業員の雇用を守るために電気おひつ(保温ジャー)や電気あんかを作って事業を継続したという「誠心誠意」の精神は、「人を中心としたオートメーション」に受け継がれ、今日に至っています。

当社は空調制御やプラント制御で世界の競合と研鑽を重ね、燃焼制御、温度制御、圧力制御、流量制御等で実績を上げてまいりました。一例として当社の看板商品の1つであるMEMS(半導体製造プロセスを用いた微小電気機械システム)技術の開発史について紹介します。

当社は1980年代初頭から、当時産業応用の可能性が検討され始めたばかりのMEMS技術に着目し、マイクロフローセンサの開発に着手しました。同センサの開発には10年余を要しましたが、その後、MEMS技術は、湿度センサ、ピエゾ圧力センサ、サファイア圧力センサ、磁気センサなどに応用され、現在では、当社の製品の多くにMEMSチップが搭載されています。

もう1つの例として、空調技術を挙げたいと思います。当社はビル空調制御分野において国内外のお客様から多数ご採用をいただいておりますが、この実績は常にお客様と共に、最先端の制御技術を追求し続けた結果であります。IoTの先鞭ともいべき総合ビル管理サービスは1984年にスタートさせています。これからも、揺らぎ制御や個人の感じ方まで考慮した空調制御など、技術を一層進化させてまいります。

中長期的視点から、将来を支える商品やサービスを生み出し、将来にわたって当社がお客様に価値を提供し続けていくために取るべき方針は2つ。それは、徹底的に「個」を磨くことと、徹底的に「ソリューション」を追求することであると考えています。

「個」を磨くとは、センサやコントローラなどの個々の製品レベルで性能向上を目指すことであり、例えば、紫外線検知による燃焼センサ、高度に作り込まれたアルゴリズムを搭載した調節計などは、競争力を持つ製品として、お客様に信頼いただいております。

「ソリューション」を追求するとは、お客様の視点で考え、お客様の事業そのものの問題解決に貢献することであり、エネルギーマネジメント、総合ビル管理サービス、リモートメンテナンスのようなサービスの提供がこれにあたります。

IoTは、この磨き抜かれた「個」と優れた「ソリューション」が業態の枠を超えてネットワークでつながることを意味しており、優れた「個」を持つか、優れた「ソリューション」を持たねば生き残れないと思っています。

この大競争時代の生き残り戦略として、開発のスピードが重要だと考えています。蒸気の品質をオンラインで計測したり、液体中のごく微量の細菌の有無を瞬時に判別する装置は当社独自のものであり、実用化されれば世界に類を見ない機能を有する製品となります。しかし、技術の進化は日進月歩であり、いち早く市場に出し、顧客のニーズに応え、さらなる進化を目指さなければなりません。開発、マーケティング、営業が一体となり、お客様との対話を徹底することで開発のスピードアップを図る必要があると思っています。

オープンイノベーションも重要です。基礎的な技術であればあるほど開発に長期間を要する時代となっており、開発に必要なリソースを全て自前で持ち合わせている企業はもはや存在しないと断言でも過言ではありません。オープンイノベーションはwin-winでなければ成立しません。このためには、相手から頼りにされる独自技術を持つことが重要になってきます。

30年前にMEMSに賭けたような中長期的戦略と、日々の開発におけるスピード感のある果敢な取り組み、この両輪が必要であると考えています。

今回の特集では、この具体的な事例として「生産現場・執務空間ソリューションを加速する情報化技術」への取り組みを紹介しています。

110年生かしていただいた社会に、次の100年も生かされる会社であり続けるために、守りではなく攻めの姿勢で、骨太の技術開発に取り組んでまいりたいと考えています。

産業用センサにおける製造装置の
高機能化を実現するネットワーク技術Industrial Sensor Networking Technology for Improvement of
Manufacturing Equipment Efficiency

アズビル株式会社

西坂 晋

アドバンスオートメーションカンパニー Susumu Nishisaka

キーワード

レーザ、エッジ位置、オープンフィールドネットワーク、フレネル回折近似

装置全体の高精度・高機能化を実現すべく、オープンフィールドネットワークであるMECHATROLINK-IIIに対応した高精度位置計測センサコントローラK1G-C04Mを開発した。本製品によりアナログ出力モデルの持つ課題を解決し、計測周期250 μ s、最小分解能0.1 μ mというセンサとしての性能を最大限活かす計装を可能とした。同時にMECHATROLINK-IIIの持つ定周期性、高速性および通信監視機能により、さらに高い信頼性を要する装置への適用を可能とした。

To improve overall manufacturing equipment precision and efficiency, Azbil has developed its K1G-C04M high-precision position sensor controller, which is compatible with the MECHATROLINK-III open field network. In this product, a problem involving previous analog output position sensor controller models was solved, and sensor instrumentation was optimized to measure at a rate of up to 250 μ s and a resolution of 0.1 μ m. At the same time, the constant periodicity, high speed, and communication monitoring of MECHATROLINK-III made the controller compatible with manufacturing equipment with higher demands for reliability.

1. はじめに

高精度位置計測センサK1Gは、センサヘッドとセンサコントローラによって物体のエッジ位置の変化を高精度に計測するセンサである。



図1 高精度位置計測センサ K1G

投光センサヘッドにはレーザダイオード、受光センサヘッドにはリニアイメージセンサを内蔵し、投受光間の物体のエッジ位置を高精度に計測する。

先行開発機種であるアナログ出力モデルでは、計測結果を電圧などのアナログ量として出力していた。しかし、A/D変換時の誤差要因が多いことから、より信頼性の高いデジタル量による代替が望まれていた。また、大規模装置制御用コントローラでは、多数のセンサおよびアクチュエータの同期を必要とするが、アナログ出力では計測時刻が明確でないという課題があった。

今回、これらの課題を解決し装置全体の高精度・高機能化を実現すべく、リアルタイム性に優れたオープンフィールドネットワークであるMECHATROLINK-IIIに対応するセンサコントローラK1G-C04Mを開発した。

2. 高精度位置計測センサとは

2.1 計測性能について

高精度位置計測センサK1Gは、センサヘッド投光器よりレーザー平行光を物体へ放射し、その端面で生じるフレネル回折を受光器のリニアイメージセンサで観測し、フレネル回折近似補正によってエッジ位置を求める。

フレネル回折近似補正とは旧機種であるエッジセンサPBシリーズで確立した計測原理であり、画素密度が低いリニアイメージセンサでもエッジ位置を高い分解能で求めることができ、さらに必要とする演算量が少ないという特長がある。下記にフレネル回折の様子を示す。

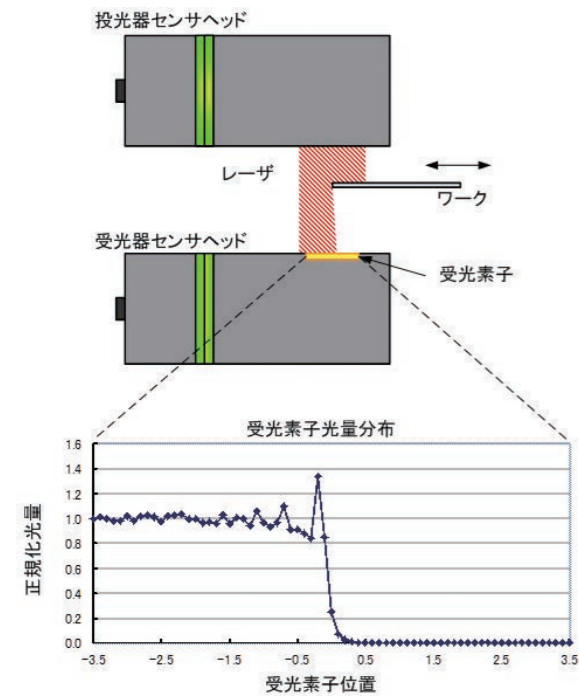


図2 フレネル回折時の光量分布

フレネル回折近似補正では、ワークなし時の光量を基準に正規化した正規化光量から、エッジ位置を導出する。エッジ位置は、フレネル回折パターンをハイパボリックセカントで近似し、しきい値を挟む2点の光量データから逆変換して求める(参考文献1参照)。

K1Gでは、リニアイメージセンサの見直しと内部演算の高精度化および専用エンジンをういた並列処理によって、

- ・旧機種の1/10となる計測分解能0.1 μ m
- ・旧機種の半分となる計測周期250 μ s
- ・旧機種の2倍となるセンサヘッド4台を接続可能を達成し、さらなる高速化、高精度化を実現した。

2.2 K1Gの使用されるアプリケーション

本製品は、センサヘッドが小型であること、透明体/不透明体を問わずに高精度にエッジ位置移動量の計測が可能なことから特にロールtoロール工程のエッジポジションコントロール(EPC)やセンターポジションコントロール(CPC)で蛇行量計測に用いられる。図3に、蛇行量計測の様子を示す。

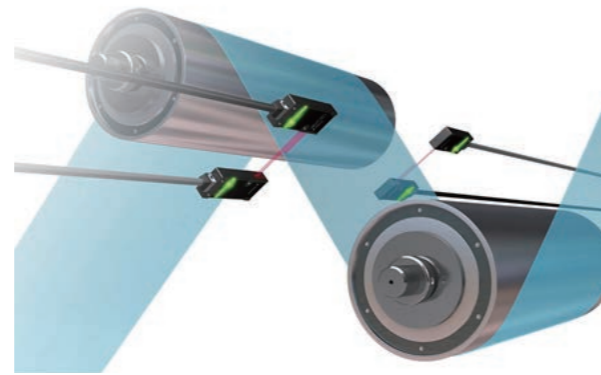


図3 蛇行量計測

リチウムイオン電池などの高性能フィルム素材作成工程では、上記のような蛇行制御をしたワークを複数重ね合わせて製品とする。そのため、制御を必要とする軸数も多くなり、各軸間の同期性能は製品の品質に影響を与える。よって、異なるセンサコントローラ間でもエッジ位置の同期性を担保できるリアルタイムフィールドネットワークへの対応が求められていた。

2.3 出力性能への課題

K1Gには先行開発したアナログ出力モデルのセンサコントローラK1G-C04がある。以下に、K1G-C04の入出力ブロック図を示す。

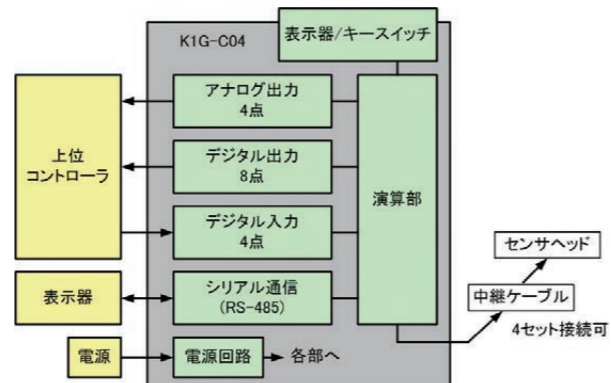


図4 K1G-C04 入出力ブロック図

K1G-C04は、アナログ出力4点(1~5Vもしくは4~20mA)、デジタル出力8点、デジタル入力4点、シリアル通信(RS-485)、センサヘッド接続用インターフェースおよび電源を有する。

アナログ出力はエッジ位置に応じた電圧および電流を出力する。デジタル出力は、エッジ位置がある範囲内にあるか否かなどのイベント発生状況を出力する。デジタル入力では、レーザー投光開始など機器の制御を可能とする。シリアル通信は、計測状態のモニタや設定変更などに用いる。これらのインターフェースは、上位コントローラ(PLCなど)や、表示器に接続され、装置に組み込まれる。

ここで、エッジ位置とアナログ出力の関係を見ると、センサコントローラは接続されたセンサヘッドの計測幅をアナログ出力レンジに割り当てる。15mm幅センサヘッド

K1G-S15のエッジ位置を1~5Vに割り当てた場合、計測分解能0.1 μ mに相当する電圧は約0.027mVという小さな数値になる。

この微小電圧は、AD変換精度や配線などによる誤差を考慮すると扱いやすいものではない。分解能を重視する場合、シリアル通信でエッジ位置を取得することが可能だが、リアルタイム性が確保できないため本製品の優れた計測性能を活かすことができない。

そのため、高速で同期性に優れ、さらにモーション制御に強みをもつMECHATROLINK-IIIに対応したセンサコントローラを開発するに至った。

3. MECHATROLINK-IIIについて

MECHATROLINK-IIIは、安川電機株式会社によって開発され、MECHATROLINK協会によって管理されているオープンフィールドネットワークである。

物理層はEthernetであり、高速なサイクリック通信と、最大62台スレーブ機器の完全な同期動作を専用ICにて実現する。特にモーション制御に関係したサーボ制御標準プロファイル、ステッピングモータ制御標準プロファイルが用意されており、同種の機器であればメーカーによらずスレーブ機器を利用可能である。

3.1 MECHATROLINK-IIIの特長

MECHATROLINK-IIIの特長を以下に述べる。

高速性の追求

最速31.25 μ s、スレーブ機器数が8局時でも250 μ s周期でサイクリック通信可能である。

高い同期性

マスタ機からの遅延時間を補正することで、スレーブ機器間のジッタを1 μ sに収めることができる。

大規模システムへの対応

ノード間距離最大100mが可能であり大規模システムへも適用できる。また、カスケード接続、スター接続などシステムに応じたトポロジーの選択が可能である。

マスタコントローラ(C1マスタ)

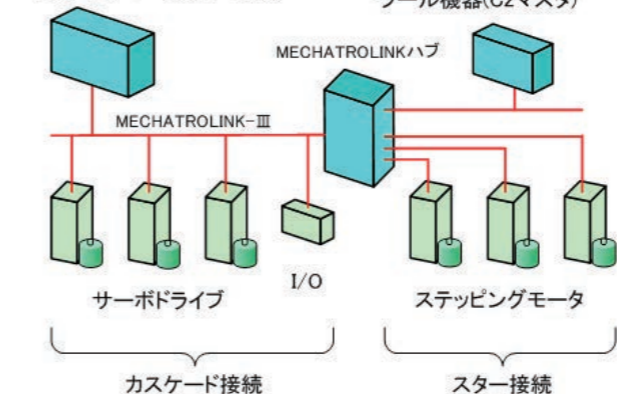


図5 MECHATROLINK-IIIシステム概要

多彩なスレーブ機器への対応

サイクリック通信以外に、非同期通信(イベントドリブン通信)機能に対応する。

また、スレーブ機器ごとに通信データサイズおよび通信周期を設定でき、高速なスレーブと低速なスレーブ、データ数の大きいスレーブとデータ数の小さいスレーブなどで効率のよいネットワークを構築できる。

信頼性の確保

通信異常時に同一伝送周期内でのリトライ機能を有しているため、多軸制御など複数のスレーブ間での同期性が重要なアプリケーションで優れた信頼性を発揮する。また、このリトライ処理は専用ICによって自動的に処理される。

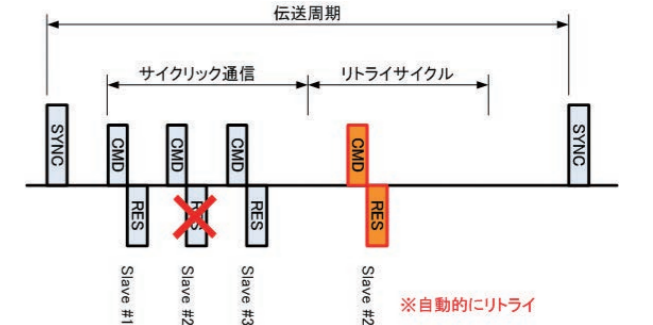


図6 リトライ処理

データの透過性の確保

メッセージ通信およびマスタ機器によるメッセージ中継をサポートする。

この機能によりマスタ機器(C1マスタ)およびツール機器(C2マスタ)によって、MECHATROLINK-IIIネットワーク下のスレーブ機器のパラメータの読み書きや運転状況などの保守用のデータへのアクセスを可能としている。

また、メッセージ中継機能を有するマスタ機器では、MECHATROLINK-IIIネットワーク外の機器が送信したメッセージを配下のネットワークの該当スレーブ機器へ届けることができる。これによりさらに自由度の増したネットワークの構築が可能となる。

MECHATROLINK協会による開発サポート

開発に必要な情報はMECHATROLINK協会の会員用Webページから入手可能である。さらに製品開発にあたり技術的に不明な点を協会に対して問い合わせることができる。

また、製品リリースに先立ち規格への適合性、他社製品との接続性の確保を目的とした認証試験を受けることができる。認証試験は量産試作品を用いてMECHATROLINK協会によって実施される。試験期間は2~4週程度ある。認証試験に合格した製品は、以下の認証ロゴを製品に付与できる。



図7 MECHATROLINK 認証ロゴ

4. MECHATROLINK-Ⅲ対応センサコントローラ

今回開発したMECHATROLINK-Ⅲ対応センサコントローラK1G-C04Mについて説明する。

4.1 外観・構造

K1G-C04Mの外観図を以下に示す。

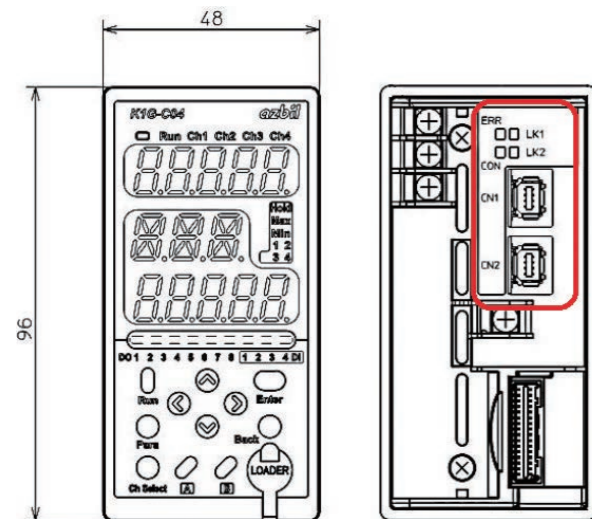


図8 K1G-C04M 外観図

背面部に4つのLED、2つのコネクタを有している。LEDは物理的な接続状態を表示するリンクLED (LK1とLK2)、MECHATROLINK-Ⅲマスタ機器と接続確立完了を示すコネクタLED (CON)および通信エラー発生時に点灯するエラーLED (ERR)である。

コネクタには、MECHATROLINK-Ⅲ機器として標準的なインダストリアル・ミニIOコネクタを採用した。

スレーブ局アドレス指定のためのロータリスイッチなど有しておらず、前面マンマシンインターフェースからソフトウェアを介して設定する形態とした。

4.2 通信仕様

通信仕様を以下に示す。

通信プロトコル:	MECHATROLINK-Ⅲ
種別:	スレーブ
局アドレス:	03~EF (16進数, S/Wにて選択)
伝送バイト数:	32/48バイト (S/Wにて選択)
対応伝送周期:	0.25, 0.5, 1~64ms (0.5ms刻み)
同期モード:	同期, 非同期
対応プロファイル:	標準I/Oプロファイル
対応コマンド:	表1参照
メッセージ通信:	対応

表1 コマンド一覧

サイクリック通信	NOP, ID_RD, CONFIG, SYNC_SET, ALM_RD, ALM_CLR, CONNECT, DISCONNECT, DATA_RWA, DATA_RWS
イベントドリブ通信	NOP, ID_RD, CONNECT, DISCONNECT

ここで、DATA_RWA (非同期I/Oデータの更新)、DATA_RWS (同期I/Oデータの更新)が標準I/Oプロファイルとして必要なコマンドである。この2つ以外はマスタ機器との接続や機器情報の取得のためのコマンドであり、全プロファイル共通である。

DATA_RWA/DATA_RWSで扱うデータ自体は同一である。

以下に、伝送バイト数32バイト時にDATA_RWA/DATA_RWSコマンドと、それに対するレスポンスを示す。

コマンド	
バイト	コマンド
0	DATA_RWS/DATA_RWA
1	WDT
2~3	CMD_CTRL
4	デジタル入力
5~31	Reserved

レスポンス	
バイト	レスポンス
0	DATA_RWS/DATA_RWA
1	RWDT
2~3	CMD_STAT
4~7	PV1
8~11	PV2
12~15	PV3
16~19	PV4
20~21	Ch1 イベント発生状況
22~23	Ch2 イベント発生状況
24~25	Ch3 イベント発生状況
26~27	Ch4 イベント発生状況
28~29	コントローラステータス
30~31	エラーステータスビット

0~3バイト目まではコマンド/レスポンス共通で通信仕様に従ったものである。コマンドの4バイト目はデジタル入力

データとなっており、アナログ出力モデルにおけるそれと同様にレーザ点灯の制御などに用いることができる。

レスポンスにはエッジ位置(PV値1~4)、イベント発生状況(Ch1~4イベント発生状況)およびコントローラの状態(コントローラエラーステータス、エラーステータスビット)が含まれる。ここで、エラーステータスビットにはセンサヘッドの断線有無なども含まれるため、アナログ出力モデルを用いた計装では対応しにくい異常処理も、マスタ側で容易に実現できる。

4.3 メッセージ通信

メッセージ通信はファンクションコードによって実現可能な機能が定義されている。本製品では、MECHATROLINKの関連情報取得機能(メモリ読み出し)に加えて、アナログ出力モデルK1G-C04のシリアル通信に用いる電文形式(MODBUS RTU)をバックした独自プロトコルを定義した。これにより、MECHATROLINK-Ⅲネットワーク外の機器による設定変更や、計測状況のモニタリングを可能となる。

4.4 入出力ブロック図

K1G-C04Mの入出力ブロック図を示す。

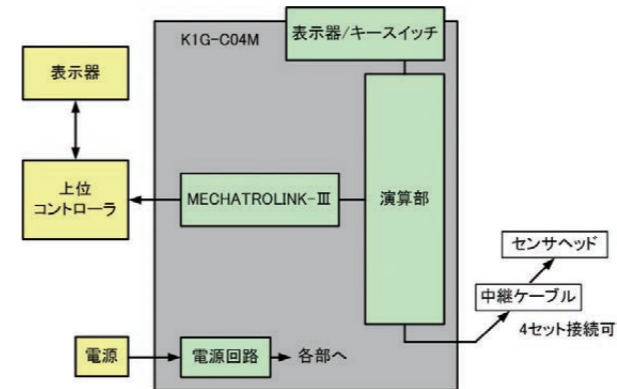


図9 K1G-C04M 入出力ブロック図

アナログ出力などの複数系統あったインターフェースがMECHATROLINK-Ⅲに統合されていることが分かる。また、メッセージ中継に対応した上位コントローラを用いることで、MECHATROLINK-Ⅲネットワーク外の表示器などとメッセージ通信のやり取りが可能である。

4.5 K1G-C04M計装事例

今回、プログラマブル表示器メーカーである株式会社デジタルの協力により、K1G-C04M専用設定/調整用のソフトウェア(コックピットパーツ)を開発いただいた。このソフトウェアはデジタル製プログラマブル表示器にインストールして使用でき、安川電機製モーションコントローラ(MECHATROLINK-Ⅲマスタ)経由でK1Gと通信する。以下に想定される接続の様子を示す。

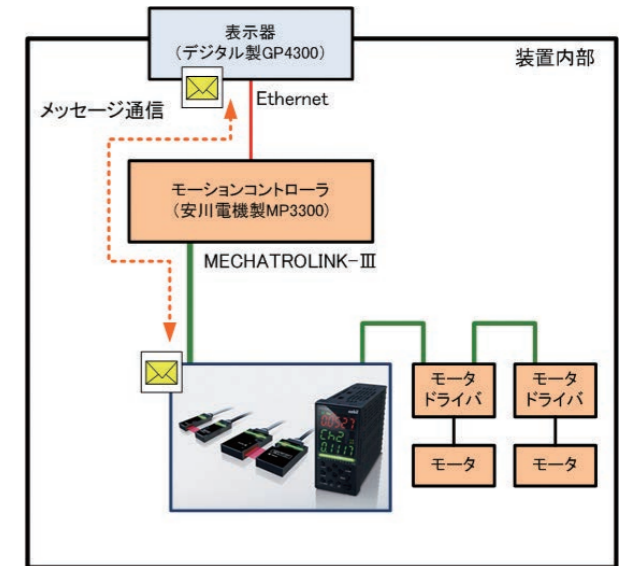


図10 メッセージ通信図

この計装により、装置内部に組み込まれたK1G-C04Mの設定変更およびモニタリングを簡単に実施できるようになった。

5. おわりに

本稿では、新たに開発したMECHATROLINK-Ⅲ対応センサコントローラK1G-C04Mについて紹介した。このセンサコントローラは、センサの性能(高速、高精度)を最大限に活かす計装を可能とした。またメッセージ通信によりMECHATROLINK-Ⅲネットワーク外へセンサ情報を伝達可能とした。これにより工場インフラ系ネットワークとの接続が可能となり、Industrie4.0などで求められる機能を実現できたと考える。

今後もネットワークに関する要望は高度化することが予想されるが、その要望に応える製品を開発・提供し、顧客装置の付加価値向上に貢献していきたい。

<謝辞>

製品開発および本稿の執筆にあたり、多大なるご協力を賜りました株式会社デジタル、株式会社安川電機、MECHATROLINK協会に謝意を表します。

<参考文献>

- (1) 岡山 喜彦, 越 俊樹, 佐々木 宏, エッジセンサの開発, Savemation Review Vol.22, No.2, 2004, pp.56-61
- (2) 岡山 喜彦, 越 俊樹, 加納 史郎, 30mm幅エッジセンサの開発, azbil Technical Review, Vol.24, No.1, 2006, pp.8-15
- (3) MECHATROLINK協会, MECHATROLINK-Ⅲ概要, MLC07-003, 2010
- (4) MECHATROLINK協会, MECHATROLINK-Ⅲプロトコル説明書, MMA TDJP 020A
- (5) MECHATROLINK協会, MECHATROLINK-Ⅲ標準I/Oプロファイルコマンド説明書, MMATDJP022A
- (6) MECHATROLINK協会, MECHATROLINK-Ⅲメッセージ通信コマンド説明書, MMATDJP023A

<商標>

MECHATROLINKは、MECHATROLINK協会の商標です。

Ethernetは、富士ゼロックス株式会社の商標です。

MODBUSは、AEG Schneider Automation, Inc. の商標です。

<著者所属>

西坂 晋 アドバンスオートメーションカンパニー
開発2部

IoT時代のスマート設備管理を目指す 操業ビッグデータを活用した オンライン異常予兆検知システムの開発

Achieving Smart Equipment Management in the IoT Era: An Online Anomaly Monitoring System Using Factory Big Data

アズビル株式会社 木村 大作
アドバンスオートメーションカンパニー Daisaku Kimura

アズビル株式会社 山縣 謙一
アドバンスオートメーションカンパニー Kenichi Yamagata

キーワード

FNN, 非線形回帰分析, 予兆検知, ビッグデータ, IoT, 安全安定, 止まらない工場

近年、欧米を中心にInternet of Things (IoT)の戦略的利活用が急速に進んでおり、日本国内においても産官学挙げての取り組みが始まっている。ビッグデータ活用先の1つに製造業の設備管理分野がある。成熟した日本の製造業において、プラントオートメーション (PA)系プラントでは安全安定が、ファクトリーオートメーション (FA)系工場では止まらない工場がそれぞれの課題とされている。設備の健全性を担保するためには予防保全が大切であるが、時間基準保全 (Time Based Maintenance: TBM) 主流の現状では故障をゼロにすることは難しい。そこで、製造現場の操業ビッグデータを活用し様々な設備の正常時の振る舞いをファジィニューラルネットワークに学習させることにより、いつもと違う動きをオンラインで捉え異常予兆の早期発見を可能とし製造現場におけるトラブルの未然防止を図るため、異常予兆検知システムBiG EYES™を開発した。

The strategic use of the Internet of Things (IoT) has been increasing rapidly in the U.S. and Europe in recent years. Japanese industry, government, and academia are now starting to follow this trend. Equipment management is one area of use for big data in the manufacturing industry. The Japanese manufacturing industry is far from its infancy, but there is still room for improvement. Current objectives include stabilizing production and ensuring safety in processing plants and continually operating factories. Although effective preventive measures are imperative for securing the performance of equipment, eliminating malfunction by means of a standard TBM protocol has proved to be difficult. The BiG EYES anomaly monitoring/detection system described herein can learn and recognize the neutral state of a factory system by analyzing big data with a fuzzy neural network. It is designed to prevent problems at manufacturing plants by predicting and giving forewarning of any irregularities in the system.

1. はじめに

今日までコンピュータ同士の接続が主流であったインターネットは、あらゆるモノが直に接続されるInternet of Things (IoT)へとその姿を大きく変えようとしている。IoTはサイバーフィジカル空間を生み出し、新たな価値創造のインフラとして機能し始めている。既に欧米では、自国産業の発展にIoTを戦略的に活かそうとする動きが活発化し、日本においても産官学挙げての取り組みが始まっている。

IoT進展の背景には、コンピュータ、ストレージ、通信インフラなどハードウェアの著しい技術革新があり、これらがビッグデータや人工知能関連技術の利用を可能にしている。IoTはあらゆる方面で利活用の検討が進められているが、製造業において期待されている応用先の1つに設備管理分野がある。製造現場では予期せぬ設備故障による様々なトラブルを回避するため予防保全が行われているが、依然、時間基準保全 (TBM) が主流であり、設備故障を完全にゼロ化することは難しい。そこで当社は、防ぎき

れない予期せぬ故障に対し、予兆段階でいち早く検知することで、その影響を最小限度にとどめるための仕組みとして、異常予兆検知システムBiG EYESを開発しリリースした。本稿では、BiG EYESの機能並びにその期待効果について説明する。

2. 設備管理とビッグデータ・人工知能

2.1 製造業における設備管理の課題

課題先進国である我が国の製造業は、将来の人口減を睨み海外への進出がより一層進み、グローバル最適生産が当然のごとく要求されるようになってきた。

高度経済成長期に建設された石油・石化プラントの多くは、設備の高齢化とともに経験豊富な団塊世代の定年により、安全確保が経営課題の1つとなっている。装置産業においては、従来から予防保全の重要性が認知されており、設備管理が体系的かつ組織的に行われてきた。しかしながら、依然、TBMが主流であることから、頂上目標である重要設備の故障ゼロ化と保全費用の最小化の実現は難しい。よって、状態基準保全(Condition Based Maintenance: CBM)主体の予防保全への移行が待ち望まれている。

一方、労働集約型の組立加工型工場ではロボットなどの自動化の進展に加え、グローバル最適生産を極めた結果、高効率な生産性を維持するためには、装置故障によるライン停止などの機会損失を軽視できない状況にある。「止まらない工場」が、組立加工型の分野においても望まれるようになりつつある。

2.2 異常診断・検知とビッグデータ・人工知能

生産現場における異常診断・検知は古くから取り組まれているテーマである。1980年代後半から1990年代前半にかけ、大型装置を有するプラントを対象にした異常診断手法が幾つか提案されたが、その多くは精度や運用面の問題を乗り越えられず、現場に定着するには至らなかった。

人工知能技術においては、1980年代、人の知識をコンピュータへ移植するエキスパートシステムの研究が盛んに行われたが、実用面では一部の分野に留まっていた。その後低迷期を経て、Information and Communication

Technology (ICT) の発展により膨大なデータから知識を抽出する統計的アプローチが可能となり、近年では、脳科学の研究成果を取り入れた人工知能技術が大きく前進しようとしている。かつて挫折した設備管理の分野においても、局所的な異常診断や異常検知のみならずビジネスと直結した装置や工場全体の最有利運用の観点から技術革新が進むものと期待されている。ICTの発展とインターネットの普及がもたらしたビッグデータは、人工知能と様々な問題解決を結び付け、今まさに新たな扉を開こうとしている。

3. 異常予兆検知システム BiG EYES

BiG EYESは、プラント情報システム (Plant Information Management System: PIMS) など長期履歴データベースに蓄積された操業ビッグデータを活用し、そのデータが物語るプロセスや設備の正常な動作をモデリングすることで、現時点の振る舞いの中から普段と異なる動きを早期に発見し、管理者へ通知するシステムである(図1)。

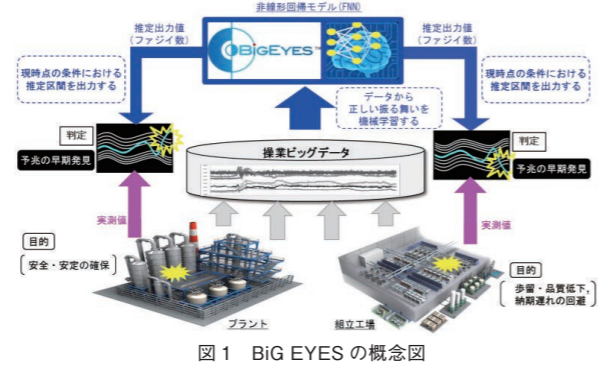


図1 BiG EYES の概念図

3.1 異常予兆の検知原理

BiG EYESはファジィニューラルネットワーク (Fuzzified Neural Networks: FNN) を用いたファジィ非線形回帰により異常予兆を検知する。基本原理は、まず操業ビッグデータを利用してFNNを学習させ、監視対象のモデルを作成する。次に、そのモデルを使用して推定値を出力し、実測値と推定値との包含関係から、いつもと違う予兆を見つけるものである(図2)。

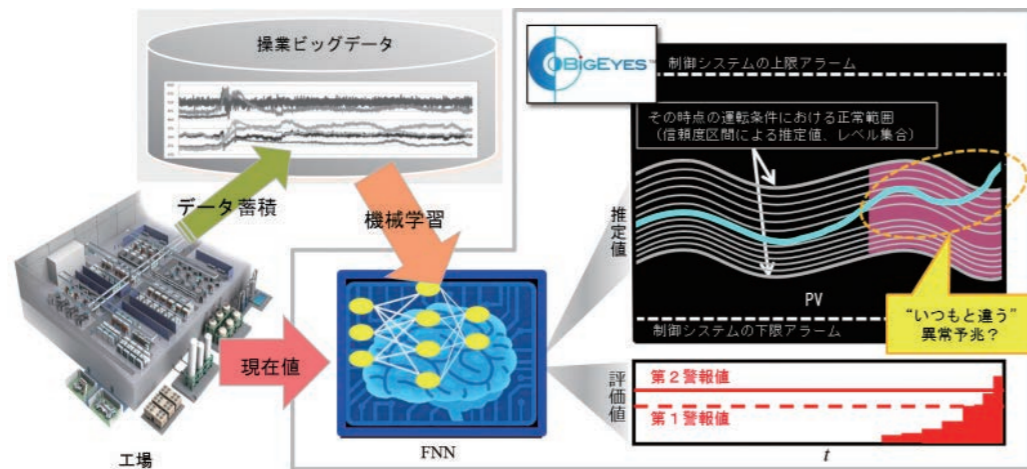


図2 BiG EYES による異常予兆検知の原理

BiG EYESの特長の1つは、推定出力値が等高線のような区間を持ったレベル集合となることである。このレベル集合は、操業ビッグデータからFNNが学習した、その時点の条件下における目的変数の正常な値の分布範囲を示している。すなわち、この区間から外れていくといつもと違う状態であると判断する。

一般的に回帰モデルを使用する異常検知において、その多くは実数で推定値を表現している。その場合、実測値と推定値の差がいくつになれば異常と判断するかの標準尺度を決めることが難しい。そこでBiG EYESでは、FNNを採用し信頼度区間(レベル集合)を用いた推定値を出力することにより、監視対象に依存することなく異常予兆の判定を行えるようにしている(図3)。

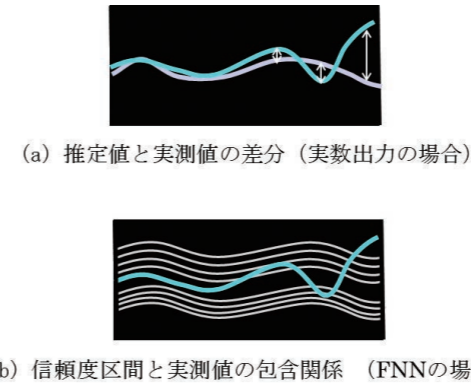


図3 非線形回帰分析における判定方法の比較

3.1.1 ファジィニューラルネットワーク (FNN)

BiG EYESで使用するFNNは、階層型ニューラルネットワークの結合強度やバイアスおよび出力値をファジィ数で表したものである(図4, 5)。

FNNの入出力関係は、入力層ユニット数 n_I 、中間層ユニット数 n_H 、出力層ユニット数 n_O とした場合、式(1) - (5)で示される。

ここで O_k 、 O_j はファジィ数出力値、 W_{kj} 、 W_{ji} はファジィ数結合強度、 B_k 、 B_j はファジィ数バイアス、 $f(\cdot)$ はシグモイド関数である。

$$\text{入力層: } o_i = x_i, \quad i = 1, \dots, n_I \quad (1)$$

$$\text{中間層: } O_j = f(\text{Net}_j), \quad j = 1, \dots, n_H \quad (2)$$

$$\text{Net}_j = \sum_{i=1}^{n_I} W_{ji} \cdot o_i + B_j \quad (3)$$

$$\text{出力層: } O_k = f(\text{Net}_k), \quad k = 1, \dots, n_O \quad (4)$$

$$\text{Net}_k = \sum_{j=1}^{n_H} W_{kj} \cdot O_j + B_k \quad (5)$$

ここで、 $f(x) = 1 / (1 + \exp(-x))$

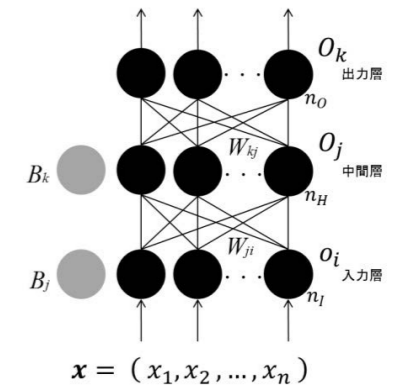


図4 ファジィニューラルネットワーク (FNN)

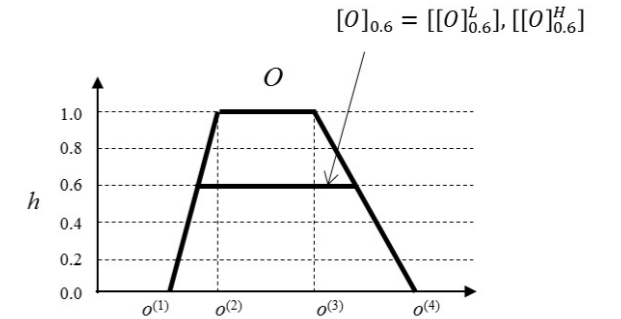


図5 ファジィ数の例

FNNは、与えられた信頼度 h_i に対応したレベル集合に入出力ペアが包含されるようにバックプロパゲーションにより学習する。入力 x_i 、出力 y_i に信頼度 h_i を付けた学習用データを (x_i, y_i, h_i) と表す。 h_i レベルのファジィ数出力をレベル集合の下限値と上限値を用いて $[O]_h = [[O]_h^L, [O]_h^H]$ と表現する。この時、学習用データ (x_i, y_i, h_i) のコスト関数は式(6) - (8)となる。図5にFNNによるファジィ非線形回帰の出力例を示す。

$$(i) [O]_{h_i}^L \leq y_i \leq [O]_{h_i}^H, \text{ then, } e_{h_i} = \varepsilon \cdot (y_i - [O]_{h_i}^L)^2 / 2 + \varepsilon \cdot (y_i - [O]_{h_i}^H)^2 / 2 \quad (6)$$

$$(ii) y_i < [O]_{h_i}^L \leq [O]_{h_i}^H, \text{ then, } e_{h_i} = (y_i - [O]_{h_i}^L)^2 / 2 + \varepsilon \cdot (y_i - [O]_{h_i}^H)^2 / 2 \quad (7)$$

$$(iii) [O]_{h_i}^L \leq [O]_{h_i}^H \leq y_i, \text{ then, } e_{h_i} = \varepsilon \cdot (y_i - [O]_{h_i}^L)^2 / 2 + (y_i - [O]_{h_i}^H)^2 / 2 \quad (8)$$

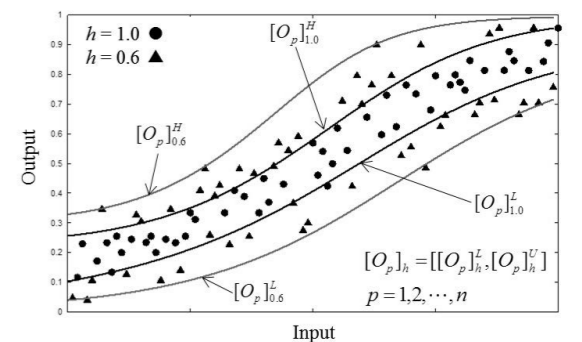


図6 FNN 出力例

3.1.2 予兆の判定方法

BiG EYESは複数の対象を同時に監視するため、正常度合いを示す評価値を採用し、それが閾値を超えた時点で管理者へ通知、状態確認を促す。

評価値の算出は、FNNの推定値と実測値との包含関係に基づいて行う。FNNは入力を信頼度に対応するレベル集合で包含するように学習される。ゆえに、例えば、「実測値の値がレベル1区間に含まれていれば0」というように評価値 P を与え、このポイントの現時点 P_t と過去 n 時点 P_{t-n} までの総和 P_{total} が閾値以上ならば管理者へ通知が必要と判定する。これは、設備故障は一度発生すると自然復旧しないこと、および管理者の日々の時系列データ参照習慣に基づいている。

3.2 BiG EYESのシステム構成

BiG EYESは、ビューア、サーバ、およびコンフィギュレータの3モジュールで構成する(図7)。サーバは、PIMSなど長期履歴データベースから操業データを取得し、FNNの学習、推定、評価値の算出を実行し異常予兆の有無を判定する。ビューアは異常予兆をユーザーに伝える視認性に優れたグラフィカルユーザーインターフェース(Graphical User Interface:GUI)であり、異常予兆検知時にアラームを発報する他、トラブルシューティングを支援する情報を提示する。コンフィギュレータはサーバに対し監視機能を定義するツールであり、データ収集からモデル製作、評価までの一連の作業をワンストップで実行する機能を備えている。

BiG EYESは、工場全域にわたる重要機器の網羅的監視から対象を限定した監視までのスケーラビリティを有している。パッケージライセンスは、監視点400、100、16の3種類をラインナップしており、上位ライセンスへのアップグレードライセンスも提供している。これにより段階的に監視点を増やすことが可能であり、状況に応じて柔軟に利用できる。

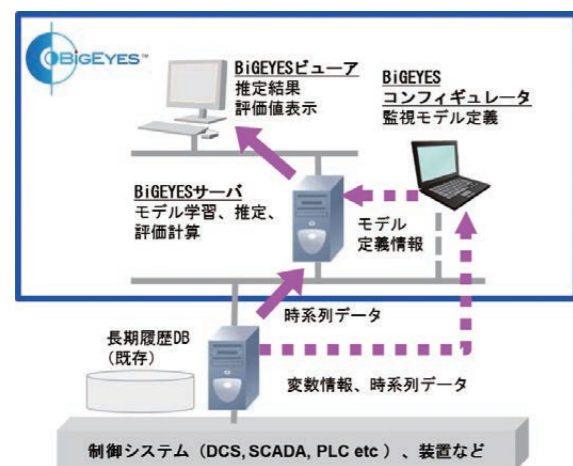


図7 BiG EYESシステム構成

表1 BiG EYESソフトウェアパッケージライセンス

標準ライセンス	400点
	100点
	16点
アップグレードライセンス	100点から400点へ
	16点から400点へ
	16点から100点へ

3.2.1 BiG EYESサーバ

BiG EYESサーバは、前述のFNNを用いた監視モデルを使用した異常予兆検知と、監視モデルの自動更新を行う。異常予兆検知は、1分ごとにPIMSなどの履歴データベースからデータを取得して実行され、その結果はビューアに通知される。監視モデルの更新は、1日単位で、サーバに蓄積されたデータをもとに実行される。

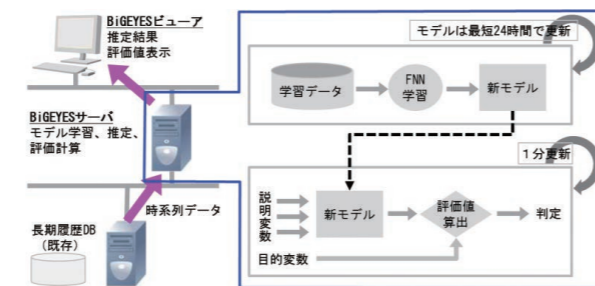


図8 BiG EYESサーバの機能

3.2.2 BiG EYESビューア

BiG EYESビューアは異常予兆をユーザーに伝える視認性に優れたグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)であり、以下の機能を有する。

- ・オーバービュー(工程レベル、変数レベル)
- ・監視トレンド表示(変数一覧、過去との対比など)
- ・監視設定変更(各種パラメータ、アラーム)
- ・アラームサマリ(予兆監視、システムアラーム)

監視トレンド表示は、監視モデルに使用されている説明変数と、監視対象変数(目的変数)の時系列データと、異常予兆検知の評価値を表示する機能である(図9)。予兆検知後のトラブルシューティングを支援するため、説明変数のトレンド表示や過去のトレンドとの比較表示機能を有している。

監視設定変更機能は、監視アラームやFNNモデルの学習設定などをオンラインで行う機能である(図10)。



図9 監視トレンド表示の例

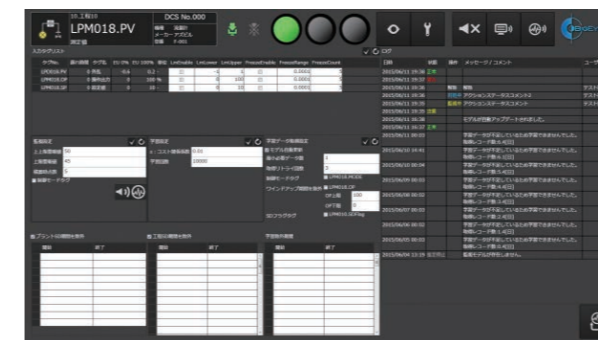


図10 監視設定変更画面の例

3.2.3 BiG EYESコンフィギュレータ

BiG EYESコンフィギュレータは、サーバに対し監視機能を定義するツールであり、データ収集からモデル生成、評価までの一連の作業をワンストップで実行する機能を備えている(図11)。確定した定義情報をコンフィギュレータからサーバへアップロードすることにより、異常予兆監視が可能となる。コンフィギュレータは、以下の機能を有する。

- ・監視モデルの作成(図12)
- ・監視モデルの評価支援(図13)
- ・サーバへのアップロード
- ・各種マスタ設定

これまで、監視モデルの作成は特別なスキルを要する専門家の役割とされていたが、BiG EYESコンフィギュレータを使用することで、エンドユーザー自身による効率的なシステム機能構築と維持運用が可能となる。

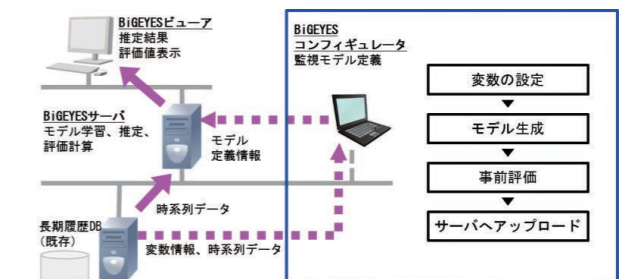


図11 BiG EYESコンフィギュレータの機能

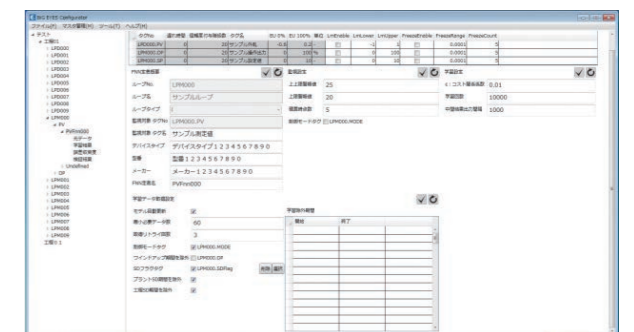


図12 コンフィギュレーション画面の例



図13 学習結果表示画面の例

4. BiG EYESによる異常予兆検知の検証例

本章では、BiG EYESのPA分野における検証例として実際の化学プラントで発生した計装機器の故障時データを使用した異常予兆検知機能の検証結果を紹介する。

1つ目は、ガス圧縮機吐出に設置されている流量計の故障例である。導圧管の詰りによる流量指示低下から工程インターロック停止に至ったケースである。本事例では、当初、流量指示の小さな変動が発生していたが、管理者は通常外乱の影響と考え静観している間に突然、流量指示値が低下したものであり、制御システムからの情報だけでは迅速な判断が困難な事象である。この事例をBiG EYESを用いて検証した結果を図14に示す。ノズル詰まりにより流量指示値が変動を始めた直後から、評価値が高い値を示している。BiG EYESを用いることで、管理者が異常と断定した時刻(8:30頃)から約5時間前の3:30頃には、少なくとも通常と異なる状態であることを管理者へ通知できる。

2つ目は、リボイラ供給蒸気用調節弁の内弁故障によって制御不能に陥り、工程乱れに至ったケースである。本ループは、カスケード制御構成となっており、蒸気供給圧力を制御する圧力制御ループを1次側とし流量制御ループが2次側となっている。この調節弁は数十年にわたり使用されており、機械的破損によってプラグがステムごと内部に脱落した稀な故障であった。管理者は8:00頃に圧力変動を受けて対応を始めたが、その直後に調節弁が動作不能となった。制御システムのアラーム監視のみでは直前まで気づくことの難しい故障モードである。BiG EYESによる検証結果は、5:30頃より制御出力の評価値が上昇し6:00には実際の制御出力が完全に推定範囲外となる50を超え異常状態と判断できる(図15)。しかし、その時点では管理者が気付いた時刻から2時間前であり、もし迅速な点検が行われなければトラブルを回避できない恐れがある。従って、さらに1週間過去に遡り検証を進めた結果、数日前から間欠的に評価値が高くなる状態が見つかった(図16)。この結果は、本故障が数週間を要して進行していたにも関わらず、その間、人の五感や制御システムのアラーム機能では気付くことが難しい僅かな変化しかなかったことを示しており、このような場合でもBiG EYESは数日前に異常予兆を検知できている。

その他、エンドユーザーの協力を得て、機械装置や計装機器などの様々な故障モードに対する検証を行った結果、BiG EYESは管理者による異常発見タイミングと比べ、総じて数時間から数日以上早く異常予兆を検知できることを確認している。ただし、電気回路の断線のような直前まで予兆の現れないものや、センサの設置がなく監視モデルが作れない場合は予兆検知できない。

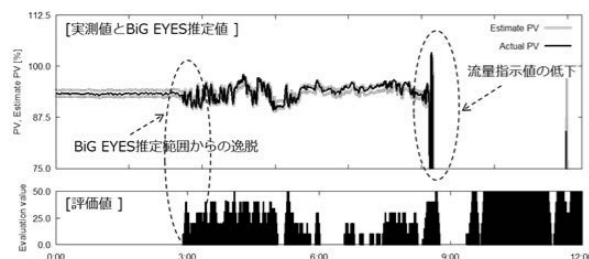


図14 計装機器の故障による工程停止例

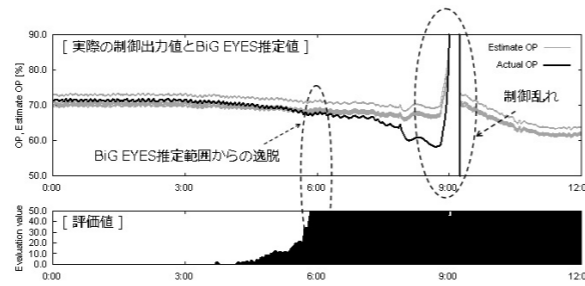


図15 調節弁の故障によるプロセスの制御乱れの例(その1)

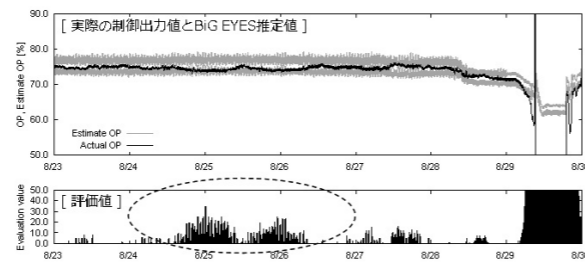


図16 調節弁の故障によるプロセスの制御乱れの例(その2)

5. BiG EYESの特長と期待効果

一般的に、異常検知システムには表2に示す運用上の課題が存在する。また、PA系におけるプラントの安全安定を目的とした場合は、その網羅性が強く要求される。

表2 異常検知システムにおける一般的な課題

	課題	理由
1	システム構築負荷	専門家によるシステム構築が必須であり、長期の開発期間と大きな投資コストが必要。
2	信頼性	誤報や欠報による信頼性の低下。
3	保守性	ブラックボックス化によりタイムリーな保守が難しい。

本章では、BiG EYESの特長をユーザビリティの観点から説明する。

(1) 装置や故障モードに依存せず、工場全域を網羅的に監視

設備管理の目的は、当然のことながらプラント/工場に設置されている全ての重要設備を分け隔てなく、安定稼働させることである。計装機器だけをとっても、多種多様な機器が数多く存在している。BiG EYESはその検知原理から機種や故障モードに依存せず、専用の診断システムが装備されていない全ての機器を監視対象にでき、切れ目の無い異常予兆監視網を構築することが可能である。特に、PA分野ではこの監視の網羅性が安全安定の確保において不可欠である。また、ビッグデータを活用した方式のため、FA分野において要求されるグローバルな適用も比較的容易である。

(2) 管理者のノウハウを踏襲した検知原理とGUI

ベテラン管理者は装置や計装機器の健全性を簡易的に判定する方法として、変動要因を基に経験的に身に付けた正常な範囲を基準とし、制御システムなどから得た実測値から妥当性確認を実施している。BiG EYESビューアは、このベテラン管理者が持つ暗黙知であるノウハウを踏襲し、実データから求めた正常範囲を信頼度区間と評価値として可視化している。よって、管理者のメンタルモデルに適合した情報提示により、心的負担なく受け入れられ迅速な状態認知と意思決定を支援できると考えている。

(3) 導入・運用コストを低減するEUCによるシステム構築、運用保守

一般的に、異常予兆を検知する行為自体は、製品作りのように直接利益を生むものではない。工場経営の観点から、その仕組みの導入と運用にはコスト低減が求められる。しかし、増改造が頻繁に行われる商用プロセスに適用されるモデル内蔵型システムは、継続した専門家の手厚いサポートが必須であり、維持コストの増大やタイムリーなシステム保守の障害になることがある。

BiG EYESはフィールドへの新たなハードウェア設置を必要としない。また、システム構築・運用においては、工場や設備を良く知る管理者とそのスタッフがコンフィギュレータを使用し、構築から維持運用までを自ら主体的に行えるEnd User Computing (EUC)環境を提供している。よって、導入・運用コストの低減と保守性向上が図れる。また、システム構築の過程で原理原則に基づく暗黙知の形式知化がなされ、職場のノウハウ伝承にも貢献できる。

6. おわりに

今日まで、製造業におけるオートメーションやシステム化は、社会情勢や経済環境に対応して高度化してきたが、IoT時代に入り新たなブレイクスルーが期待されている。製造現場のオートメーション化やシステム化が進展するにつれ、設備やシステムの健全性維持がより一層重要になる。オートメーション化・システム化と設備管理は作用反作用の関係にあると言える。BiG EYESは、操業ビッグデータからプロセスや設備の振る舞いを学習し、異常予兆を早期に見出すシステムであり、現行の人による工程監視や制御システムのアラーム機能との併用により、突発故障に起因する工程トラブルや緊急停止の低減に寄与するものと考えている。今後、PAプラントのみならず、FA工場における予防保全ニーズ「止まらない工場」にも応えられるものと考えている。

そして、スマート設備管理の次展開として、通信インフラを利用したBiG EYESのグローバル展開による企業ワイドの設備管理の仕組み作りやBiG EYES評価値データのビッグデータ蓄積・活用による総合的CBM実現を目指していく。

一方、計装機器メーカーである当社は、FOUNDATION FieldbusやHARTデジタル通信対応の計装機器による自己診断機能の拡充、計装機器CBMアプリケーション展開にも注力しており、予防保全と異常予兆検知を両輪として

総合的な設備状態管理の精度向上に貢献する所存である。

今後、BiG EYESが様々なプラント/工場で利用され、「安心、快適」な生産現場を実現するとともに、IoT時代のスマート設備管理発展の一助になれば幸いである。

<参考文献>

- (1) 経済産業省商務流通保安グループ、産業保安のスマート化に向けて～技術基準等の全体的な見直し～、第5回保安分科会配布資料4-1、参考資料1、2015年3月
- (2) 高圧ガス保安協会、平成25年度経済産業省委託 高圧ガス関連事故年報、2014。
- (3) 経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会、CPSによるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革(中間取り纏め)、2015年5月
- (4) H.Ishibuchi and M.Nii, Fuzzy Regression using Asymmetric Fuzzy Coefficients and Fuzzified Neural Networks, Fuzzy Sets and Systems, 119, pp.273-290, 2001
- (5) D. Kimura, M. Nii, T. Yamaguchi, Y. Takahashi, and T. Yumoto, Fuzzy Nonlinear Regression Analysis using Fuzzified Neural Networks for Fault Diagnosis, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15 No.3, 2011
- (6) 木村大作, 山縣謙一, 設備管理のスマート化, 計測技術, pp.6-11, 7月号, 2015
- (7) 木村大作, プロセスビッグデータ活用による設備管理スマート化への取り組み-“設備と人が語り合う”設備管理を目指して-, 2015計装制御技術会議, Oct 26, 2015
- (8) 木村大作, 山縣謙一, 新居学'プロセスビッグデータを用いたプラント計装機器の異常予兆検知システムの開発, 石油学会名古屋大会 第45回石油・石油化学討論会(講演要旨), pp.156-157, Nov.5 and Nov.6, 2015

<商標>

BiG EYESは、アズビル株式会社の商標です。FOUNDATION Fieldbus, HARTは、FieldComm Groupの商標です。

<著者所属>

木村 大作 アドバンスオートメーションカンパニー
エンジニアリング本部アドバンス・ソリューション部
山縣 謙一 アドバンスオートメーションカンパニー
エンジニアリング本部ソリューション技術部

プラントの保全効率を向上させる 診断機能を搭載した差圧・圧力発信器の開発

New Differential Pressure/Pressure Transmitter Diagnostic Functions for Higher Efficiency Plant Maintenance

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

近藤 浩市
Koichi Kondo

アズビル株式会社
技術開発本部

田原 鉄也
Tetsuya Tabaru

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

永松 裕子
Yuko Nagamatsu

キーワード
差圧・圧力発信器, アドバンス診断, 圧力周波数指標, 標準偏差, 導圧管詰まり診断

近年、フィールド機器に対し、FOUNDATION Fieldbus/HART（以下、FF/HART）通信を活用した機器管理システムによるオンラインでの監視、診断が定着してきている。また、診断によるプラント安全、安定操業、メンテナンスの効率化へのさらなる期待が高まっている。こうした背景のもと、プロセスの圧力変動状態を診断するための指標を搭載した差圧・圧力発信器を新たに開発した。本稿では、今回開発した圧力周波数指標、標準偏差の2つの指標と実流による実験結果を紹介する。これらの診断機能により導圧管詰まりのようなプロセスのトラブルの早期発見が可能になる。

In recent years, the online monitoring and diagnosis of field equipment through device management systems utilizing FOUNDATION Fieldbus and HART has become popular. With this development has come the expectation of improved plant safety, safe control, and maintenance efficiency. To meet these expectations, we have developed a differential pressure/pressure transmitter with diagnostic functions designed to increase the efficiency of plant maintenance. This paper reports on two indexes that we have developed, standard deviation and pressure frequency, as well as the results of experiments using actual flow. Our diagnostic functions enable early detection of problems in processes such as impulse line clogging.

1. はじめに

差圧・圧力発信器(以下、発信器)は、プロセスオートメーションを中心に圧力、流量、液位などの計測に使用される汎用性の高い工業計器として世界中で広く採用されている機器である。近年では、単に機器の診断を求めるだけでなく、プロセスの異常を早期に検知することでプラントの保全効率化が求められている。Industrial Internet of Things (IIoT)技術により、常時通信、多変数出力を活用して様々な指標をフィールド機器から提供ができるよう

になった。これらの情報を活用してもらい、Time Based Maintenance (TBM)からCondition Based Maintenance (CBM)への移行による保全効率向上、およびプロセス品質向上に寄与することが期待されている。

今回、圧力周波数指標と標準偏差によるアドバンス診断機能を搭載したAT9000シリーズを開発した。本稿では、その機能、および実流による実験結果を報告する。

なお、既報⁽¹⁾の導圧管詰まり診断手法は圧力周波数指標により実現している。



図1 AT9000 シリーズ

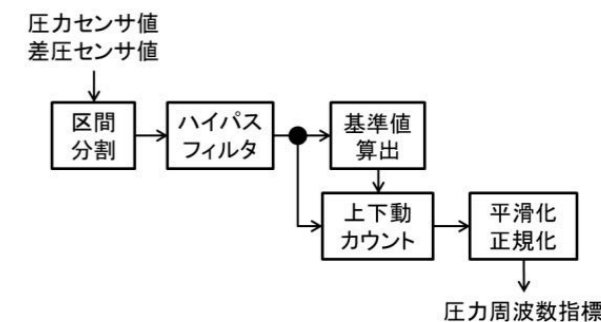


図2 圧力周波数指標の算出手順

2. 圧力変動状態の診断

本章では、プロセスの圧力変動状態を把握するために新しく発信器に搭載された診断指標について説明する。指標は2つあり、1つは圧力周波数指標、もう1つは標準偏差である。以下の節では各指標の内容とその効果について述べる。また、指標の挙動を確認するため、模擬詰まりを用いた実流試験を実施したので、その結果も報告する。

2.1 圧力周波数指標による診断

本節では圧力周波数指標とその利用方法について述べる。

2.1.1 指標の意味と計算方法

流体の圧力は一定に見える場合でも、複雑に変動していることが少なくない。流れがあるところには不規則な揺らぎ、すなわち揺動が存在する。また、ポンプによって周期的な変動が起きる場合もある。

このような変動・揺動の特徴のうち周波数に着目し、上下動をカウントすることで指標化したものが圧力周波数指標である。上下動カウントによる簡便な指標なので精密な周波数分析はできないが、変動や揺動の傾向を大まかに見ることが出来る。

圧力の変動・揺動は、その発生源や、それらを伝える媒体である流体や配管に影響を受ける。これら発生源、流体、配管で発生する現象の中には、特定の周波数で揺動が大きくなるものや、周波数が高くなるほど揺動が減衰するものなど、周波数で見ると特徴的なものがある。そのような現象によって起こる変化を検知することが、圧力周波数指標の狙いである。

圧力周波数指標の計算手順の概略を図2に示す。

圧力・差圧センサから取得されたセンサ値の時系列は、まず、一定のサンプル数を持つ区間に分割される。それからフィルタ処理(オプション)を経て、各区間ごとに基準値が計算される。この基準値を横切る回数を数えることで上下動回数をカウントする。この上下動回数は区間ごとに変動するので、複数区間の値で平均をとって平滑化する。最後に、0~1の値となるように正規化して圧力周波数指標となる。

ハイパスフィルタの目的の1つは、制御などによって圧力や流量を人為的に変えた時に、診断に影響がおよぶのを抑えることである。このような場合に周波数をそのまま計算すると、制御による変動を異常と誤検知することがあるので、フィルタで影響を除去できるようにした。また、周波数変動の要因となる現象が複数ある場合に、周波数の違いを利用して現象を絞り込むために使うこともできる。

2.1.2 導圧管詰まり診断への応用

圧力周波数指標の主要な応用先として導圧管詰まり診断がある。導圧管の詰まりは差圧・圧力発信器に関するトラブルの多くを占めるが⁽¹⁾⁽²⁾、本指標はその進行の診断に有用である。

ここで、圧力周波数指標で詰まりを診断する原理について簡単に説明する⁽¹⁾⁽²⁾。流体の圧力は揺動を含み、細かく上下動している(図3左)。この揺動は導圧管を伝って発信器に到達するため、発信器のセンサで検知できる。ところが導圧管が詰まると、詰まりが圧力揺動に対するローパスフィルタとして作用するので、圧力揺動は周波数が高いほど減衰する(図3右)。これにより圧力周波数指標が変化するため、診断が可能となる。

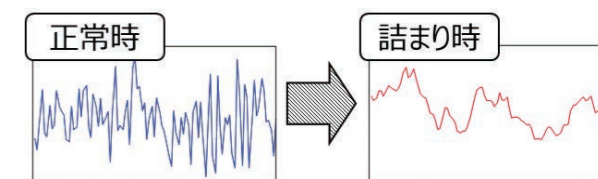


図3 圧力周波数指標による詰まり診断の原理

圧力周波数指標で導圧管詰まりを診断する利点は、比較的広範囲の圧力・差圧に対して同じしきい値を適用できることがある。これは、圧力や流量が変わっても本指標が大きく変化しないためである。これは後述する標準偏差には無い特長である。

ただし、圧力周波数指標は導圧管の詰まり以外の要因でも変化するので注意が必要である。例えば、バルブのハンチングで長周期(低周波)の圧力変動が発生すると本指標値は小さくなる。詰まりは指標変化の主要な要因の1つだが、指標変化が必ず導圧管の詰まりを意味するわけではない。

なお、前述したハイパスフィルタを利用することで、導圧管の詰まりと関係が無い長周期成分を低減できる。これにより診断性能を改善できるが、詰まり以外の要因を完全に

排除できるわけではない。また、フィルタ係数を大きくすると詰まり診断の性能が劣化する場合もあるので注意が必要である。これは、圧力揺動の詰まりによる変化までもフィルタが除去してしまうためである。

2.1.3 その他の利用方法

前述したように、圧力周波数指標は導圧管の詰まりに限らず、圧力揺動の周波数成分に影響するものであればあらゆる変化に反応する。すなわち、様々な異常や状態を検知・診断できる可能性を秘めていると言える。

圧力揺動の周波数成分が変化する異常としては、ハンチングや気泡混入、プロセス配管の劣化、ポンプやコンプレッサの異常が考えられる。また、流体の性状の監視や推定に利用できる可能性がある。

2.2 標準偏差による診断

本節では標準偏差とその利用方法について述べる。

2.2.1 標準偏差の算出

圧力・差圧(入力圧)の標準偏差を算出する機能である。プロセスの状態変化を検知する診断に応用できる。

入力圧は発信器から上位システムへProcess Variable (PV)として伝送されるが、通常、このPVは発信器でダンピングがかけてあるので、ここから計算される標準偏差は診断には適していない。またこのPVを診断に利用するためには受信側でも対応が必要となる。AT9000シリーズでは、機器内部で高速サンプリングしている入力圧から標準偏差を演算しているため、より正確な値が取得できる。

以下の計算式で標準偏差を算出する。

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 = \overline{x^2} - (\bar{x})^2$$

s : 標準偏差
x : 入力圧
n : サンプル数

標準偏差を演算する圧力のサンプルレートは約60msであり標準偏差は約60秒に1回演算される。必要に応じてサンプル数を1,000回(約1分)から60,000回(約1時間)の間で設定できるようにした。また、任意のタイミングで標準偏差演算のサンプル開始ができるため、バッチプロセスの場合、バッチプロセス時間に合わせたサンプル数を設定し、バッチ開始時に演算開始することでバッチごとの標準偏差を求めることもできる。

2.2.2 標準偏差による診断の期待する効果

平均のPVが変わらなくとも変動幅が大きくなる傾向が標準偏差をモニタリングすることで見えるようになる。

さらに、モニタリングした標準偏差は、時系列的なプラント制御状態と重ね合わせることで、ポンプ不調、脈動、ウォータハンマー(水撃現象)など、いつもと異なる状態がどのような時に発生したのかを分析するための基礎データとなる。

発信器がいつもの状態と違うことを検知するので、パ

ロール点検などの重点箇所の絞り込みなども期待できる。

例えば、圧力周波数指標と併せて使うことで、出力変動の要因が詰まりによるものか、他の要因によるものかが判定可能となる。

2.3 実流試験の結果

診断指標の振る舞いを確認するため、導圧管詰まりを想定した試験を実施した。以下ではその結果について報告する。

試験は圧力計と差圧計について行った。差圧計については片側の導圧管だけが詰まった場合(以下、片側詰まり)についても行った。

2.3.1 圧力計の場合

試験設備の略図を図4に示す。流体是水である。主配管の管径は50mmで、主配管から導圧管となる樹脂チューブを介して当社製ゲージ圧発信器GTX60Gに接続した。樹脂チューブの材質はナイロンで、内径は9mm、外径12mmである。導圧管の途中には模擬閉塞とボール弁を設置した。ボール弁を開くと正常状態に、閉じると詰まり状態になる。試験時のゲージ圧は約34kPaである。

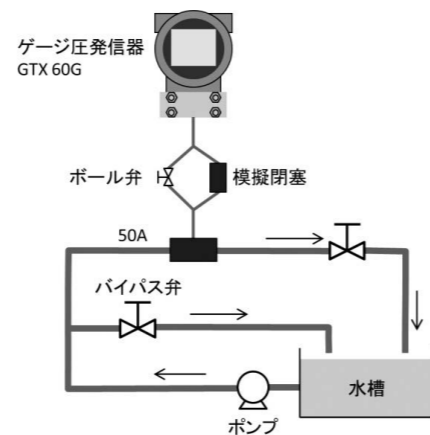


図4 実流試験設備概略図(圧力計)

圧力周波数指標算出時のサンプリング間隔は120ms、ハイパスフィルタのフィルタ係数は0.15に設定した。標準偏差の方はサンプリング間隔が60ms、算出に用いた点数は1,000点である。

図5に得られた圧力周波数指標と標準偏差を示す。圧力周波数指標は正常時に0.435~0.502だったのに対し、模擬詰まり時は0.285~0.301となった。このように、導圧管の詰まりで圧力周波数指標が小さくなることが確認できた。一方、標準偏差は正常時が0.55~0.58kPa、模擬詰まり時は0.29~0.33kPaとなり、やはり詰まりによって小さくなることを確認できた。

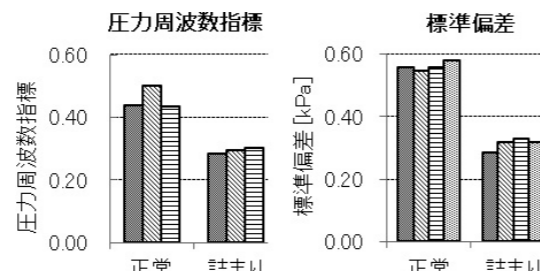


図5 詰まりと診断指標の関係(圧力計)

2.3.2 差圧計の場合

試験環境の略図を図6に示す。流体是水である。主配管の管径はオリフィス(100A用)を含む直管部分では100mm、そこに至るまでのポンプやバイパス弁が設置された区間では50mmである。直管部分の終点から約1/3付近にオリフィスを設置し、オリフィスから導圧管となる樹脂チューブで当社製差圧発信器GTX30Dに接続した。用いた樹脂チューブは圧力計の場合と同じである。導圧管の途中には模擬閉塞とボール弁が設置されており、正常状態と模擬詰まり状態の切り替えが可能である。なお、試験時の差圧は14~15kPaである。

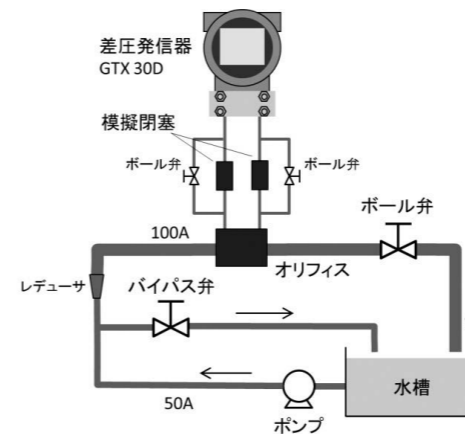


図6 実流試験設備概略図(差圧計)

圧力周波数指標を算出する際のサンプリング間隔は120ms、ハイパスフィルタのフィルタ係数は0に設定した。標準偏差の計算方法は圧力計の時と同じである。

最初に、高圧側と低圧側の両方を模擬つまり状態にした場合(以下、両側詰まり)の圧力周波数指標と標準偏差を図7に示す。圧力周波数指標は正常時には0.360~0.364だったが、両側詰まり時は0.099~0.140まで小さくなった。また、標準偏差は正常時に0.20~0.30kPaだったのに対し、両側詰まり時は0.11~0.17となった。このように、両方の導圧管が詰まった場合は圧力周波数指標、標準偏差、共に小さくなることを確認できた。

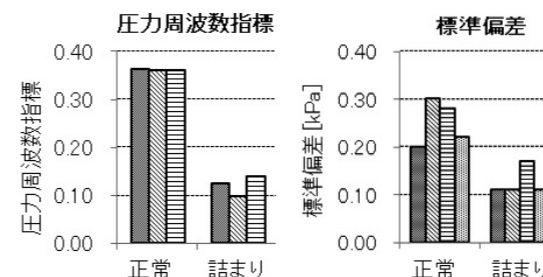


図7 詰まりと診断指標の関係(差圧計、両側詰まりの場合)

次に、片方の導圧管が詰まった場合の結果を図8に示す。圧力周波数指標は高圧側の片側詰まりでは0.448、低圧側の片側詰まり時は0.496となり、いずれも正常時より大きな値となった。一方で標準偏差は、高圧側詰まりでは0.11kPa、低圧側詰まりでは0.10kPaとなり、いずれも正常時より小さい値となった。以上のように、片側の導圧管だ

けが詰まった時に圧力周波数指標や標準偏差が変化する可能性があることを確認した。

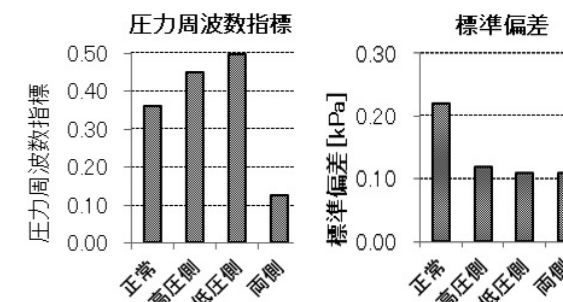


図8 詰まりと診断指標の関係(差圧計、片側詰まりの場合)

なお、この実験結果は片側詰まりを常に検知できることを示すものではない。過去の試験では、片側詰まり時に圧力周波数指標がほとんど変化しない場合があることを確認している。また、この結果では片側詰まり時に圧力周波数指標が大きくなっているが、常にこのように変化するとは限らない。実際、流体やフィルタ係数を変えて行った試験では、片側詰まり時に圧力周波数指標が小さくなった場合もあったことを付記しておく。

本節では、新しいAT9000シリーズに搭載されたアドバンス診断機能が導圧管詰まり診断に利用できることを、実流試験によって示した。また、差圧計において、導圧管の片側詰まりを診断できる場合があることを示した。差圧計測の場合、導圧管の詰まりは片側から進行することが少なくないため、この結果は有用であると言える。ただし、これらの指標値は導圧管詰まり以外の要因でも変わりうることに注意が必要である。

なお、本報告では省略したが、流体が空気の場合でも同様な結果が得られた。

3. 診断データのオンラインでの利用

今回、FF通信またはHART通信機能を持つ発信器に前章で紹介したアドバンス診断機能を搭載した。さらに、通信による診断指標の常時収集を可能にした。

本章では、上位ホストシステムと組み合わせることで価値を生み出す傾向監視と、発信器自身が状態変化を検知/通知するアラーム通知機能、およびそれらの利用方法について説明する。

3.1 傾向監視

診断指標を長期間監視することにより、日々の点検では捉えられないプラントの状態変化に気づくことができる。また、プラントの異常発生時には傾向監視した診断指標を使うことにより故障メカニズム解析に役立てることができる。このように、傾向監視をすることでプラント保全に大きく貢献できると考える。

傾向監視する上で、特定の上位ホストシステムに限らず、より汎用的に利用可能とすることが重要であると考え、各

通信プロトコルの標準仕様に準拠した出力値で診断指標を取得できるようにした。

FF通信プロトコルでは、センサや診断の情報を取り扱う Transducer Blockのパラメータを、プロセス情報を取り扱う AI Function Blockのパラメータに割り当てる仕組みがある。この仕組みを利用し、Diag-Transducer Blockの診断指標パラメータをAI Function Blockに割り当てることで、通常のプロセス値と同様に傾向監視することを可能にした。パラメータの割り当ては、Channel番号にて行い、50番(CH50)は圧力周波数指標、51番(CH51)は標準偏差をそれぞれ割り当てられる。図9にその様子を示す。

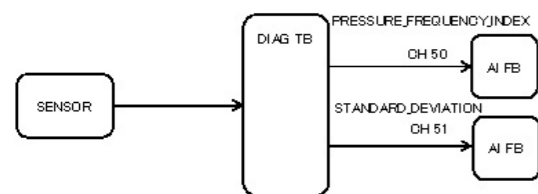


図9 FF通信プロトコルのブロック接続

また、HART通信プロトコルでは診断指標をDynamic Variables (TV=圧力周波数指標, QV=標準偏差)に割り当てているため、HART標準のUniversal Commandを利用することで傾向監視を可能とした。

図10は、上位ホストシステムで接続し、配管詰まりを模擬的に発生させた時の傾向監視のイメージである。差圧の変化幅に合わせて圧力周波数指標と標準偏差が低下して分かる。

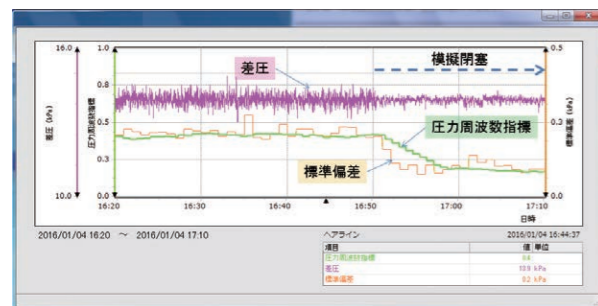


図10 傾向監視の例

3.2 アラーム通知

傾向監視を用いず、プラントの状態変化を簡易に気づく方法として、予め設定した診断指標の正常範囲のしきい値(上下限値)を逸脱した場合に、診断ステータスを通じてアラーム通知をする機能を搭載した。また、常時傾向監視せずともアラーム通知をきっかけに収集データの解析を行い、傾向観察することにも利用できる。

例えば、圧力周波数指標を導圧管詰まり診断として用いる場合のしきい値を求める方法を簡単に説明する。

表1 しきい値の求め方

手順	作業内容
1	プロセスの正常時の状態を観察するため、数時間から1日程度(運転条件が大きく変わる場合はその条件ごとに必要な時間)を目安に運転し、診断指標の推移を観察する。
2	詰まり模擬試験を行い、診断指標の推移を観察する。
3	正常状態と詰まり状態の区別が可能であれば、正常状態の診断指標の推移からしきい値を決定する。

上位ホストシステムとの接続がない場合や継続的な傾向監視が難しい環境においても、診断指標の最大および最小パラメータを確認することにより、しきい値が決定できるようにした。

4. おわりに

本稿では、アドバンス診断を搭載したAT9000シリーズについて以下の報告を行った。

- ・FF/HART通信を利用した常時通信、多変数出力を活用して様々な指標をフィールド機器から提供ができる。
- ・ユーザビリティを考慮してフィールド機器単体でアラーム判定/アラーム出力をすることができる。
- ・診断情報を収集しておくことで、プロセスや制御の状態を把握できるので、新たな利用方法が広がるのが期待できる。

アドバンス診断を加えたことにより、TBMからCBMへの移行による保全効率向上、およびプロセス品質向上に寄与するための機能を提供できた。

ユーザーと共に今後も使い方の可能性を広げていきたいと考えている。

<商標>

FOUNDATIONおよびHARTは、FieldComm Groupの商標です。

<参考文献>

- (1) 田原鉄也, 青田直之: フィールド機器診断の技術動向と差圧・圧力発信器導圧管詰まり診断技術の開発, azbil Technical Review, 2009, Vol. 27, pp. 50-54
- (2) T. Tabaru, N. Aota: Diagnosis of Impulse Line Blockage by Frequency Count Approach, Proceedings of SICE Annual Conference 2010, 2010, pp. 1502-1505, The Society of Instrument and Control Engineering

<著者所属>

- 近藤 浩市 アドバンスオートメーションカンパニー 開発2部
 田原 鉄也 技術開発本部商品開発部
 永松 裕子 アドバンスオートメーションカンパニー 開発2部

ビッグデータ時代に対応し、 進化する機器管理システム A Field Device Management System for the Big Data Era

アズビル株式会社 津金 宏行 アズビル株式会社 亀井 宏和
 アドバンスオートメーションカンパニー Hiroyuki Tsugane アドバンスオートメーションカンパニー Hirokazu Kamei

アズビル株式会社 工藤 泰 アズビル株式会社 籠浦 守
 アドバンスオートメーションカンパニー Yasushi Kudo アドバンスオートメーションカンパニー Mamoru Kagoura

アズビル株式会社 山田 功
 技術開発本部 Isao Yamada

キーワード

HART, FOUNDATION Fieldbus, 機器管理, 仮想化, 診断, ビッグデータ, IoT

ビッグデータ時代を迎え、フィールド機器の運用管理面でもより多くのデータからの変調や異常予兆の検知、状態基準保全の拡充などが期待されている。当社は機器管理システムの開発において、FieldComm Groupで規格化されたHART-IPなどの標準通信プロトコル対応を強化し、より多くの市販接続機器への対応を実現した。加えて接続されたすべてのフィールド機器を対象とした複数機器のリアルタイムトレンドデータの同時表示やヒストリカルデータの活用機能を搭載し、ユーザーの利便性、有用性を向上した。これによりフィールド機器からの情報を活用したデータに基づく安全・安心を担保する機器管理システムを実現した。

The era of big data has brought with it increased expectations for the operation of field devices, such as the ability to detect irregularities from a large amount of data and the ability to conduct condition-based maintenance. By strengthening support for HART-IP and other standard communication protocols of the FieldComm Group, Azbil has developed a device management system with support for a greater number of commercially available networked devices. We have also improved the system's user-friendliness and usability with features for all field devices in the network, such as simultaneous real-time display of time-series data from multiple devices and functions for utilizing historical data. These improved capabilities for utilizing data from field devices have now been implemented in Azbil's safe and reliable device management system.

1. はじめに

モノのインターネット (Internet of Things:IoT)が普及し、様々なデータがサイバー空間に集まるビッグデータ時代を迎えた今、産業界でもセンサやアクチュエータが、従来のアナログや接点による単方向信号伝送からデジタル双方向通信へと急速に進化している。特に、従来の4-20mAアナログ信号と互換性があり、双方向デジタル通信が可能な国際標準規格Highway Addressable Remote Transducer (HART)の普及は、この流れを加速し、フルデジタル規格であるFOUNDATION Fieldbusの普及と相まって、計測・制御機器のインテリジェント化とネットワーク化を促進している。その結果、これらの機器から収集したデータを活用した新しい製造管理や設備管理、サービスなどが産業界に新たな価値を産

み出し始めている。インテリジェント化された機器から集まるデータは、従来の制御・監視点1点に対し、少なくとも数点から数十点あり、従来の制御・操作に関連したデータの他に、機器自身や測定対象の診断データなどを収集できる。したがって、これらのデータを効率よく集め、整理し、有用な情報として提供するシステムが重要となる。それが機器管理システムである。

機器管理システムの主な役割は、次の3つである。

- ① 機器側のデータをできるだけオンラインかつリアルタイムで収集し、気付きを必要とする人に提供すること。
- ② 機器の調整・設定をネットワーク通信経由で行い、その履歴を残し管理すること。
- ③ 収集したデータを分析し、必要とする人やシステムに有用な情報として提供すること。

これらにより、従来の人手による作業や手書きの報告を自動化、電子化することが容易となる。またフィールド機器への作業が通信で実現できることで、遠隔にあり、かつ足場が悪いことが多い現場作業は、本当に必要な時だけで済む。その結果、作業時間が飛躍的に短縮する。さらに機器の状態や自己診断データをタイムリーに確認することができるので、機器起因のトラブルの影響を最小化する可能性が広がり、プラントの安全性、生産性、保全性の向上に大きく寄与する。

当社は、2010年に機器管理システムInnovativeField Organizer™ (以下IFO)を開発以降、継続した機能拡張により、製造現場における機器管理上の価値向上を追求してきた。そして今回、IFO R40シリーズとして通信経路の仮想化技術を採用し、HART-IP※1をはじめ、標準通信プロトコルへの対応を強化すると同時に、データ利用時の利便性、有用性を向上した。本稿は、これらのIFO R40シリーズで開発した新機能を紹介する。従来からのIFOについて記述する文献⁽¹⁾とあわせて目を通していただきたい。

※1 HARTがインターネットプロトコル (IP) ネットワークを活用する能力

2. 様々な形態で様々な機器が繋がる

従来、IFOは、当社独自のHART通信機器BU100H (図1左)またはHART Network Unit (図1右/以下HNU)を利用してHART機器と接続する。これにより一般的なHARTマルチプレクサを利用した際の弱点である機器管理システムとHART機器間の低速な通信周期を克服する特長ある機能⁽²⁾を実現している。しかし、既に市販のHART接続手段を導入している場合は、その機器の再利用が求められる。また、機器管理システムの利用形態として、据置型PC方式だけでなく、従来のハンドヘルド型専用機器調節器のように、可搬型のものも望まれる。この場合、ノートPCやタブレットなどで利用しやすいように、HARTモデムに対応する必要がある。さらにHART通信規格でもIoTを意識した規格として、HARTプロトコルをTCP/IPネットワークで利用するHART-IP規格がリリースされている。このHART-IP規格をサポートすることで、従来の有線HART機器に加え、WirelessHART機器も各社から市販されているゲートウェイ機器を使用することで接続可能となる。

IFO R40シリーズは、フィールドバスの中でもプロセス産業において近年導入が急速に進んでいるHARTに関して、HART標準に従った市販されている接続機器を短期間で対応できる手法を開発した。これにより様々な形態で様々な機器をつなげることが実現した。



図1 BU100H (左) と HART Network Unit (右)

2.1 仮想化技術による通信接続手法の拡張

仮想HNUは、当社がIFO R40シリーズで新たに開発した仮想化ソフトウェアインターフェースモジュールであり、従来のHART Network Unit (HNU)が持つ機能をPC上のソフトウェアとして実現している。これにより、市販のHARTモデム、HARTマルチプレクサ、HART-IP対応機器をそれらの機能仕様範囲内(主にスピード)で利用できるようにした(図2)。

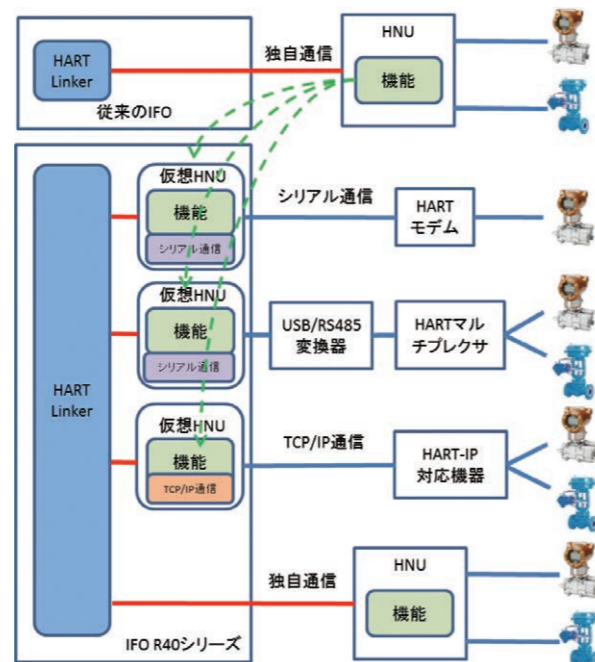


図2 仮想HNUの仮想化イメージ

IFOは、フィールドバスプロトコル規格ごとに統一的に処理できるようにプロトコルに対応した中間処理層を設けている。IFO R40シリーズでは、HART Linker※2を仮想HNUと接続することで当社独自、業界標準、通信メディアなどの接続形態に寄らず、統一的に利用を可能にした。同手法によれば、今後様々なプロトコルに対応することが可能である。また、HART Linkerと仮想HNUの接続はTCP/IPソケット通信を使用しているため、負荷や設置場所の分散も容易である。

仮想HNUの構造は、接続機器の接続経路、通信メディア、同時通信可否などの機能に応じてソフトウェア部品方式とし柔軟に拡張可能なものとした。また、必要な部品は機能単位に選択し、定義ファイルとして記述することができる。機能単位ごとに拡張可能な構成とすることで、今後のHART規格で新たな仕様が追加された場合にも柔軟に対応可能である。例えば、追加された仕様に対応するソフトウェア部品のみを開発し、定義ファイルに記述することで、タイムリーに新たなタイプの機器や規格の進化に対応できるようにしている(図3)。

※2 HARTに対応した処理層

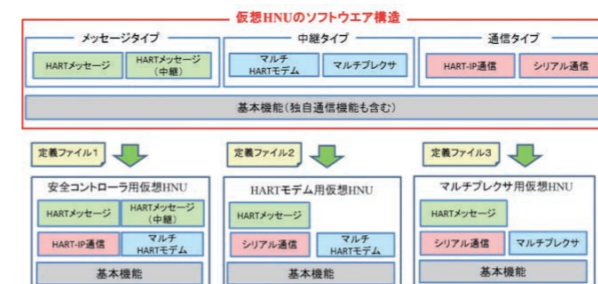


図3 仮想HNUのソフトウェア構造

2.2 仮想HNUの導入効果

仮想HNUを導入することによって、IFOの利用形態が広がり、従来の据置型PCの利用に加えて、可搬型として調整・設定目的の利用が可能となった。また、すでに設置してあるHART接続機器を有効に活用し、ソフトウェアのみの入れ替えでIFOを導入することも可能にした。さらに、HART規格に準拠した機器と接続することが可能となったため、図4のように様々な接続機器を経由したHART機器からのデータを統一的に取り扱うシステムが容易に構築できるようにした。

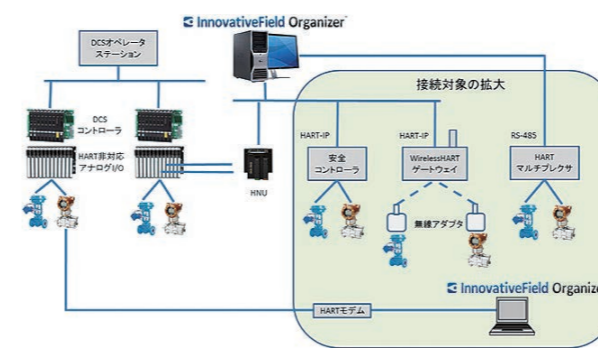


図4 IFO R40 シリーズシステム構成

以下にHART接続機器ごとの主な導入効果を示す。

(1) HARTモデムを利用した可搬型IFOの利用

設置工事を伴うことなく、いつでも可搬型IFOによる機器管理システムを利用することができる(図5)。これにより、可搬型IFOで導入効果の検証後に、本格的な据置型に切り換えるなど導入時の敷居を低下させた。また、システム利用のための習熟人材としての活用も期待できる。



図5 可搬型IFOの利用

(2) HARTマルチプレクサの利用

マルチプレクサ方式のHART接続装置が導入済の場合、それを再利用してIFOを導入できることが求められる。これにより、IFOをPCの入れ替えもしくはソフトウェアのインストールのみで導入することが可能となる。したがって、従来利用していたマルチプレクサ用のPCを残し、接続を切り替えることで簡単に元に戻すことも可能である。このようにすることで利用システム切り替え時に発生しやすい混乱を回避し段階的に移行するように計画することも容易となる。

(3) HART-IPへの対応

HART通信の普及に伴い、コントローラ、Programmable Logic Controller (PLC) そのものがHART-IPに対応するケースが増えている。また、無線システムであるWirelessHARTの接続装置の多くがHART-IPに対応している。IFOがHART-IPに対応したことで、これらの機器もIFOにて管理することができる。

表1 HART変数として取得可能な数値例※3

フィールド機器	HART通信で伝送する変数
バルブポジション	バルブ開度指示値、実開度、ポジションからバルブ操作器への出力空気圧など
圧力/差圧発信器	圧力/差圧、温度、圧力標準偏差、圧力周波数診断指標値など
コリオリ式質量流量計	質量流量、温度、密度など
pH計変換器	pH値、ORP値、ガラス膜抵抗、pH計電極の残り寿命など

※3 伝送できる変数は各社のフィールド機器に依存する。

3. より使いやすく

近年、フィールド機器はインテリジェント化が進み、主変量の精度を高めたり、健全性を担保したりするために様々なデータを内部で持つようになった。HART通信規格であれば、主変量の他に第2変数、第3変数、第4変数など最大で第8変数まで伝送できるようになっている(表1)。この仕組みを活用して、機器やプロセスのデータを機器管理システム等に伝送できる機器が増えている。これらの情報をリアルタイムにトレンドデータチャートとして見る事ができれば、機器の状態やプロセスの状態を従来以上に観測しやすくなる。なお、選択した1台のフィールド機器のデータのみを表示するのが一般的であり、複数のフィールド機器のトレンドデータチャートを同時かつリアルタイムに表示するシステムは殆ど存在しないのが現状である。

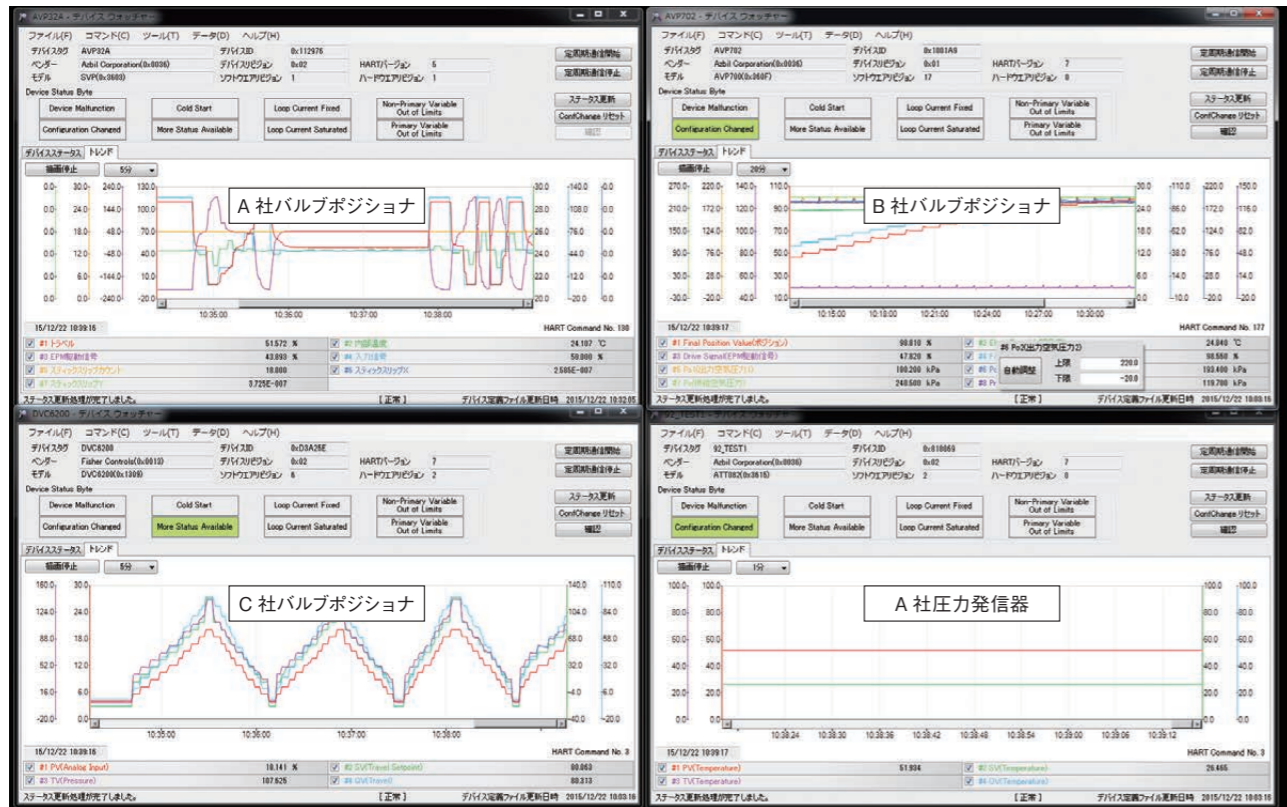


図6 複数フィールド機器のHART変数リアルタイムトレンド

3.1 HART変数リアルタイムトレンド

IFO R40シリーズでは、複数のフィールド機器のHART変数をリアルタイムにトレンドデータチャートとして表示することが可能である。これにより制御ループの調子が良くないと感じた場合、従来はDistributed Control System (DCS)のトレンド機能でProportional-Integral-Derivative Controller (PID)制御ループの入力と出力の関係を確認する程度であったが、図6のようにより広範囲での確認が可能となる。フィールド機器の元データ(PID入力)と、コントローラから出力された制御出力値、ポジションからバルブ操作器に出力された空気圧がどの値で、その結果、バルブの実開度がどうなっているかということまでを全てリアルタイムで確認することができる。このように従来は見る事ができなかった機器のデータをリアルタイムで見ることができ、例えば、バルブの動作遅れによる制御乱れなど、様々な不調、変調の原因究明や原因の切り分けをより迅速に行えるようになる。結果としてトラブルの拡大を防ぐことにも寄与する。また、このリアルタイムトレンドで表示したチャートは、データや画像として再利用しやすいように、クリップボードにコピーできるので、各種帳票の作成時等に効率良く活用できる。

3.2 HART変数リアルタイムトレンド機能の特長

本トレンドの特長は、監視/表示するHART変数を自由にかつ簡単に設定できる点である。フィールド機器が伝送できるHART変数は、各社の機器で様々である。その中からどのHART変数を監視すべきか、その機器の用途や監視の目的によっても異なる。IFOでは、フィールド機器1つ

ひとつに対して、監視/表示するHART変数を自由に選択できる環境を提供している。フィールド機器ごとに設定された定義内容に従い、最短1秒周期*4でのデータ収集およびトレンドへの描画を行っており、非常に自由度の高いカスタマイズ性と使いやすさを両立している。フィールド機器から取得したデータの表示においては、次の4点の工夫を施すことでユーザーにとって分かりやすさを追求した。

*4 トレンド表示機能は接続機器の性能によって制限される。

(1) 8軸表示の実現

トレンドは、X軸(横軸)に時間、Y軸(縦軸)に数値をとる。HART変数を最大8個まで同時に収集することを可能としているが、そのデータの意味は様々であり、値の単位やその取りうる範囲はそれぞれ異なってくる。これらを同時に1枚のトレンド上に分かりやすく表示するためには、データごとにレンジ(上下限值)を設定できるようにする必要があった。この課題の解決のために、Y軸を最大8本まで同時に表示できるトレンド機能を開発した。左右に4軸ずつ計8本の軸を同時に表示し、独立してレンジ設定を行うことが可能となっている。これによりデータごとに適切なレンジで表示できる。また、問題切り分け時に注目したいデータだけを表示するなど、データ(軸)単位での表示/非表示切り替え機能も備えている。

(2) 自動レンジ調整

トレンドのレンジ設定は、一般的に指定したHART変数がどの程度の範囲(上下限值)で推移するのかを考慮して、表示する際のレンジを適切に設定する必要がある。しかし

ながら利用者がその変数自体のレンジを把握していない場合が多く、設定に時間を要する。例えば、値がレンジ範囲外のところで推移している場合、それが現在の上下限設定のどちらに外れているか、当たりをつけて探していくことになる。このような作業を軽減するために、表示レンジを自動で調整/設定する機能を提供している。収集した値の最大値/最小値を基に、すべてのデータが表示領域内に収まるように、かつ切の良い数値メモリとなるように、適切なレンジをワンクリックで設定する。無論、手入力による調整も可能である。

(3) 表示パターン保存機能(テンプレート化)

各HART変数に設定したレンジ情報は、トレンド画面の終了時に保存するかどうかを選択できる。保存しておくことで次回起動以降、レンジ設定作業は不要となる。尚、保存時にレンジ設定を同一機種に対するテンプレートとすることも可能である。これにより、同一機器の表示は、テンプレート情報によって以降はすべて好みのスタイルで表示される。例えばA社バルブが500台あっても、最初の1台で開度設定と実開度を選びテンプレートで保存しておくことで、他の499台も同じように表示される。

(4) HART変数の単位

値の単位(文字列)は、実際にフィールド機器自体に設定されている単位情報を読み取り、その情報を基に表示している。これにより、フィールド機器側の設定で計測単位を変更した場合(例えば、kPaからmPaに変更した場合)でも、自動的に対応した単位表示に変更し表示する。

これら機能の提供により、どのようなフィールド機器に対しても、1つのトレンド上に最大8個のHART変数を同時に分かりやすく表示することを実現している。レンジの異なる変数を複数重ね合わせて見ることができ、1つの値に変化があった時に、他の値はどのように推移しているのか、影響があるのか、その相関を容易に把握することができる。また複数の計器をリアルタイムで同時に見ることができるので、プロセスの状態を従来とは異なる視点で観測することが可能となる。

4. フィールド機器のデータの長期保存と活用

IFOは、市販のヒストリアンからのデータ収集もできるように従来からOLE for Process Control (OPC)サーバ機能を搭載している。しかし、これまでヒストリアンと接続しての利用が進んでいなかった。そこでIFO R40シリーズでは、全機器をリアルタイムトレンドとして表示するだけでなく、ヒストリーデータとして長期にストレージに保存し、過去データも活用できるヒストリアンをオプション機能としてIFO内部で提供する。このヒストリアン機能を利用すれば、調節弁のグラントの摩擦力や圧力・差圧発信器の導圧管の詰まり、pH計の電極寿命などを長期にわたり記録することができる。これらの値の変化は、非常にゆっくりと変化する場合も多く、長期の相関を可視化することが必要である。例えば、調節弁のグラントの摩擦力変化では摺動距

離との相関、pH計の電極寿命はpH値や温度との相関などである。また、近年の圧力・差圧発信器では圧力の振動傾向を機器自体が測定し指標として取得可能なものがある。そのような機器の場合に、この指標の変化傾向を長期で見ることによってプロセスの上流側にあるプロワやコンプレッサの状態変化を捉えられる可能性があると考えられる。

このIFO内蔵ヒストリアンでは、長期間の傾向を可視化するためのヒストリートレンド機能やExcelに直接ヒストリーデータを読み出すためのアドイン機能を提供する。

なお、ヒストリアンで保存すべきデータは従来のプロセスデータの1分周期に比べ、機器の診断データとして利用するので、より多く、より早くとなる。例えばバルブの状態を動作挙動から診断する場合は最低でも1秒間隔で開度設定と実開度、それが例えば500台とすると、単純に計算しても $500 \times 2 \times 86400 \times 4 \text{バイト} = 360 \text{MB/Day}$ で、年単位での評価が必要となるので131GBのデータが必要となる。

4.1 ヒストリートレンド

ヒストリートレンド機能は、フィールド機器から収集したデータを生値で表示するだけでなく、必要に応じて平均値、補間値、最大値、最小値などでトレンドグラフを表示することができる。特長は、フィールド機器を横断して1つのチャート上に複数の機器からのデータをグラフ表示することである。例えば、同一プラントにある複数の調節弁の摺動距離を1つのチャート上に重ね合わせて表示した場合、同じ仕様、利用方法の調節弁であるにもかかわらず、ある調節弁だけ摺動距離が極端に伸びているということを目視化して容易に発見することができる。特異な動きを精細に検証すれば、調節弁のサイジングが正しくない、PIDパラメータのチューニングが適切でないなどの不具合を起す潜在原因に容易にアプローチすることができる(図7)。

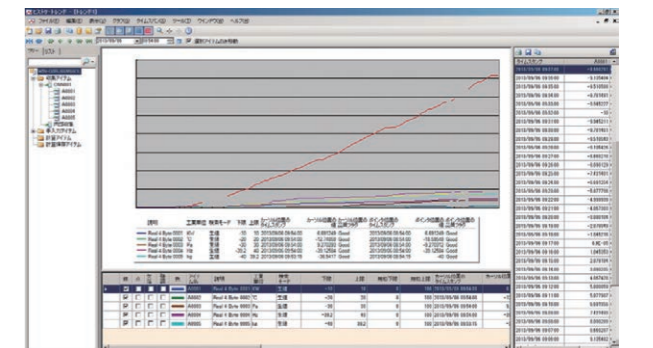


図7 バルブの摺動積算一覧トレンド

4.2 収集アドイン

収集アドイン機能は、IFO内蔵ヒストリアンに蓄積されている長期のデータを指定ファイル上に直接取り出すためのインターフェースを提供する。指定ファイルには、フィールド機器からの収集データを生値だけでなく、必要に応じて平均値、補間値、最大値、最小値などを指定し読み出すことが可能である。利用者側で情報の見方(診方)が決まっているフィールド機器がある場合には、そのデータの取り出し方を例えばExcel形式など特定のファイル形式に設定することができる。よって、そのファイルを開くだけでその機器の

状態を長期のデータとして見る事が可能となり、傾向診断などを簡単に行うことができる。

例えば、圧力計では、圧力の日ごとの平均値、最大値、最小値に加え、圧力の標準偏差(HART変数)の平均値、最大値、最小値を月次で見ること、DCSに入力されているデータだけでは現れないプロセスの緩やかな変化を捉えられる可能性がある。また、電極の残り寿命を日数で診断している最近のpH計の場合には、設置している全てのpH計の寿命日数情報を1枚のシートに集約することで、現場巡回点検の頻度低減と記録の再利用が可能となる。さらに時系列的な比較により、寿命予測や傾向分析などに利用可能となる。

工票単位	pH	°C	Ohm	day
TAG	1. pH Value	2. Temp	3. Resist	4. Dynamic Lifetime
pH001	6.07	24.6	354	360
pH002	6.07	24.6	354	360
pH003	9.87	24.6	354	7
pH004	6.07	24.6	354	253
pH005	6.07	24.6	354	137
pH006	6.07	24.6	354	267
pH007	9.02	24.6	354	29
pH008	6.07	24.6	354	125
pH009	6.07	24.6	354	360

図8 pH計電極の寿命診断一括監視

5. おわりに

通信技術、データ活用技術の進歩は急速で、今後も様々なプロトコルやフィールド機器、あるいはデータ活用技術に適宜対応する必要性を痛感している。同様にOSプラットフォームの変化、利用機器(パソコン、タブレット等)の変化へのキャッチアップは必須と考えている。一方プロセス装置産業では設備寿命が50年、フィールド機器のライフサイクルも10年以上と民生機器に比べて長い期間を期待されている。したがって機器管理システムも当然ながら長期にわたりデータ資産を維持しながら進化しなければならない。いつの時代、どの世代でも「アズビルの機器管理システムは直感的に使えるので使い勝手がよく仕事が楽になる。古い機器から新しい機器までカバーされ、かつ日々進化しているので長く安心して利用できる」と言ってもらえるよう、ユーザー目線での機能開発を心掛けていく所存である。

最初のリリースから約5年を経過しているが、まだまだ進化の余地は多いと感じている。今後は今まで以上に利用者の声を聴きながら使いやすさの向上を図り、結果として安全安心を担保するキーシステムとなるように進化させていきたい。

<参考文献>

- (1) 渡邊桂, 尾形竜太, 尾形知美:計装保全の効率化, 生産ロスの低減を実現するプラントライフサイクルを通じた価値を提供する機器管理システムの開発, azbil Technical Review, 2012年1月号, 2012, pp.48-55
- (2) 鈴木伸:HART通信対応プロセスコントローラ用I/Oモジュールの開発, azbil Technical Review, 2012年1月号, 2012, pp.56-61

<商標>

- ・HART, HART-IP, Wireless HART, FOUNDATION Fieldbusは FieldComm Groupの商標です。
- ・Ethernetは、富士ゼロックス株式会社の商標です。
- ・Excelは、米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における商標です。
- ・InnovativeField Organizer, Valstaffはアズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 津金 宏行 アドバンスドオートメーションカンパニー マーケティング部
- 亀井 宏和 アドバンスドオートメーションカンパニー マーケティング部
- 工藤 泰 アドバンスドオートメーションカンパニー マーケティング部
- 籠浦 守 アドバンスドオートメーションカンパニー 開発1部
- 山田 功 技術開発本部商品開発部

優れたユーザー体験を提供する 新しいビルディングオートメーションシステムの開発 A New Building Management System Offering an Excellent User Experience

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

西羅 大貴
Daiki Nishira

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

古賀 宏
Hiroshi Koga

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

山本 博之
Hiroyuki Yamamoto

キーワード

savic-net G5, UI, UX, ビルディングオートメーションシステム, BAS, BMS

ビルディングオートメーションシステム (BAS)のユーザーは、ビル管理業務やシステム機器操作に不慣れな初心者からベテランまで習熟レベルの幅が広い。savic-net™G5は、様々なレベルのユーザーであっても使いこなせるシステムとするため、アズビルが長年の開発および販売で得たノウハウを元に、新たに開発したBASである。これまでのシステムとの最も大きな違いはユーザー体験(User Experience:UX)という視点を取り入れた点である。単なる機能追加や使いやすさの改良という枠を超え、ビル管理業務に携わる「人」の業務体験を高めることを目指して開発したBASの事例を紹介する。

Building Management System (BMS) users range from beginners to experts in building management operation and system device operation. Based on Azbil's long experience in development and sales, savic-net G5 was designed and built to be a BMS for all levels of user. The main difference between it and existing systems is the consideration given to user experience (UX). Rather than simply adding more features or improving user-friendliness, we have aimed at developing a BMS that improves the experience of managing building operation.

1. はじめに

当社は1960年頃から現在までビルディングオートメーションシステム (BAS)を開発・製造・販売してきた。特に、ディスプレイを用いたグラフィカル・ユーザー・インターフェース (Graphical User Interface:GUI)を備えたBASとして、図1のように、1980年販売開始のSAVIC™から2004年販売開始のsavic-net™FXまで、35年以上にわたり自社開発し、これらの製品シリーズだけでも25,000システム以上の導入実績がある。

この間、沢山のお客様からいただいたご意見・ご要望を元に継続的にGUIの改善・改良を重ねてきたが、基本的なユーザー像として「高齢者が多く、マイコン/パソコンといった装置に慣れていない」と捉えていたため、極力単純な操作体系にし、また既存システムに慣れたユーザーのために大きく使い勝手を変えないことを重視してきた。

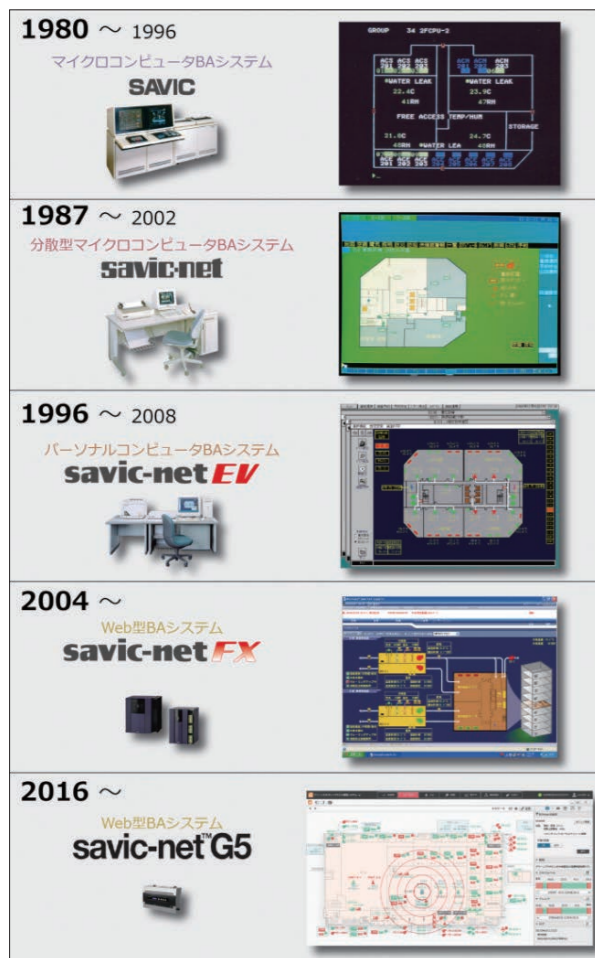


図1 システムの変遷

しかし、パソコンがオフィスや家庭に本格的に普及し始めてから20年が経過し、またここ数年ではスマートフォンやタブレット端末が広く普及したため、高齢層であっても、これらのGUIに慣れ親しんだユーザーが急増した。そこで、新システムsavic-net G5の開発では近年のGUI技術を積極的に採用した。

さらに、ビル管理に携わる「人」の業務を確実にサポートするためには、システムが実際に有効活用されなければならない。そのために、savic-net G5では、システムの有効活用を促す様々な機能を付加し、今まで以上に適切かつ有益な設備の監視・管理・制御ができるというユーザー体験 (User Experience:UX) の実現を目標とした。

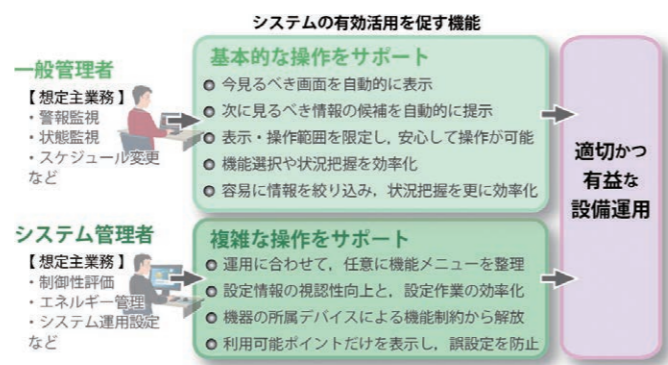


図2 システムの有効活用を促す機能

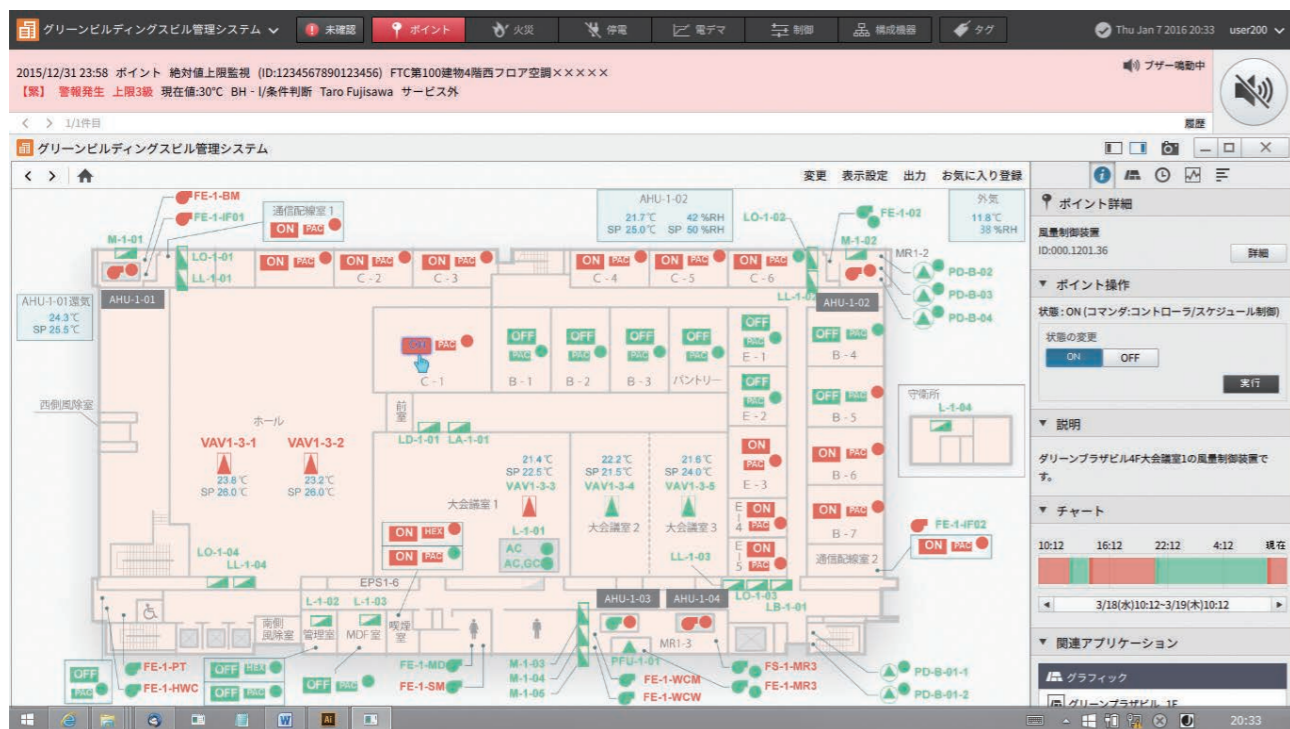


図3 製品画面イメージ

2. 基本的な画面構成

ユーザーには、警報監視が主で、普段BASに触れる頻度が少ない一般管理者と、設定・評価・分析作業を主とするシステム管理者の大きく2種類が存在すると捉えた。

そして、両者の日常業務をサポートするために、以下の2つの目標の元で画面デザインを進めた。

- ・基本的な操作をガイドして業務の質を底上げする
- ・高度な操作をサポートして複雑な業務を効率化する

どちらのユーザーにとっても使いやすくなるため、画面の基本構成としては、図3のように基本業務に必要な情報と操作が1つのまとまりとして見えるシングルウィンドウのようにレイアウトした。

ただし、実際には図4のようにシステムステータスウィンドウ、警報通知ウィンドウ、アプリケーションウィンドウの3つのウィンドウで構成されており、高度な操作を行いたいユーザーは、図5のようにアプリケーションウィンドウを複数起動し、任意のサイズに変更、配置して使用することもできる。

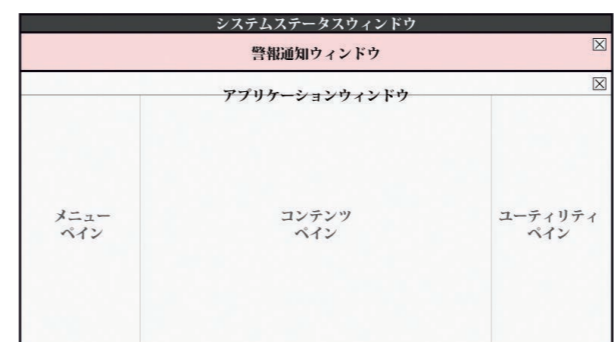


図4 画面構成と各部の名称

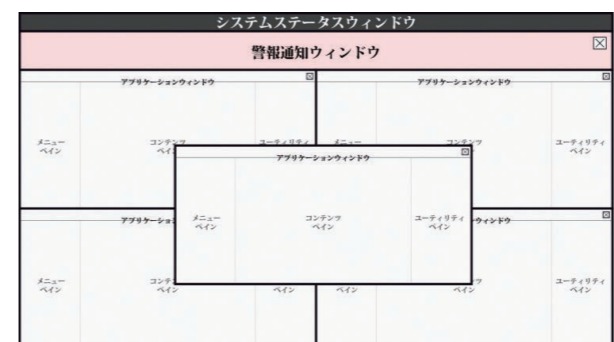


図5 アプリケーションウィンドウの複数起動

2.1. システムステータスウィンドウ

システム状態 (警報インジケータ、システム時刻、ログイン情報など) を常時表示する。また、インジケータ部の操作によって警報中一覧や未確認警報一覧を直接呼び出したり、あらかじめ登録したホーム画面を呼び出すことができる。

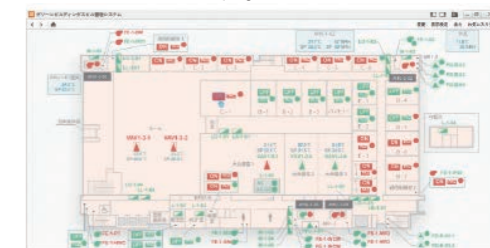
2.2. 警報通知ウィンドウ

警報通知ウィンドウは、警報が発生していない時には非表示であるが、警報発生時に自動表示され、ブザーを鳴動し、その警報内容が表示される。ブザー停止操作もこのウィンドウで行う。このウィンドウから、警報履歴を確認する画面を呼び出すこともできる。

2.3. アプリケーションウィンドウ

メニューペイン、コンテンツペイン、ユーティリティペインと呼ぶ3つの領域から成る。メニューペインには、機能ごとに分類された画面のリストや、ユーザーが独自に整理したリストをツリー表示する。このリストを選択することによって該当する機能画面をコンテンツペインに表示する。ユーティリティペインは、コンテンツエリアで選択されたポイントやデバイスの操作や情報表示を行う領域である。メニューペインやユーティリティペインは任意に表示・非表示を切り替えることができ、非表示の際にはコンテンツペインの情報が自動的に拡大表示され視認性を高めることができる。

▼コンテンツペインのみ表示



▼コンテンツペインと、ユーティリティペインを表示



▼メニューペインと、コンテンツペインを表示



▼全てのペインを表示

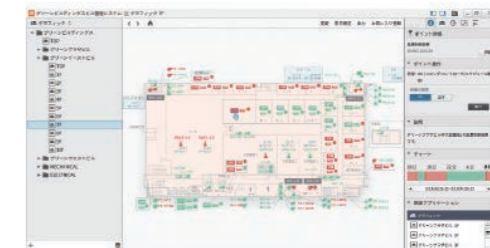


図6 メニューペインとユーティリティペインの表示・非表示

以後の説明では、グラフィックやチャートなどの「アプリケーション機能」を使い、ある目的を実現するための設定 (平面図や電力量グラフなど) を「プログラム」と呼ぶ。

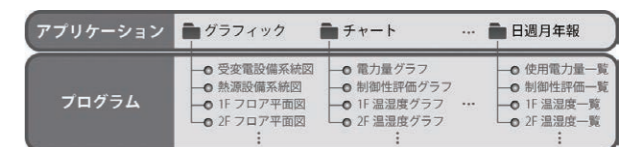


図7 アプリケーションとプログラムの関係

3. 一般管理者向けの基本的な操作のサポート機能

一般管理者とは、日常業務として、警報発生時のブザー鳴動をきっかけに監視画面を確認し対処したり、空調運転時間延長や設定値変更の依頼があった場合にそのような操作を行うことを主業務としたユーザーと捉えている。

一般管理者向けの画面デザインの目標は、前述の通り「基本的な操作をガイドして業務の質を底上げする」ということである。一般管理者はBASに触れる時間が短く、複雑な操作への学習機会が少ない。そのため操作手順を覚えていなくても、次に見るべき画面・情報が自動的に提示され、次に必要な行動に自然に誘導されるという体験を実現するため、以下のような機能を実装した。

3.1 今見るべき画面を自動的に表示

システム内で警報が発生したとき、そのポイントもしくはデバイスにあらかじめ登録しておいたアプリケーションのプログラム画面(例えば、空調平面図)を自動的に表示する。この機能によって、警報発生時には何も操作せずに、最初に見るべき画面を確認することができる。

さらに停電時など警報が多発した際に全ての画面を表示しては、正常な監視操作を継続することができなくなるため、各警報には優先度が設定できるようになっている。自動表示された画面は、より重要な警報が発生した場合に更新され、軽度な警報の場合には更新されず重要な警報の画面を維持する。



図8 警報発生時の自動画面表示

3.2 次に見るべき情報の候補を自動的に提示

コンテンツペインに表示されたグラフィック・チャート・ログなどでポイントを選択すると、ユーティリティペインに図9で示すようなポイントに関する様々な有益な情報が自動的に表示されるようにした。関連アプリケーションとして、その

ポイントが利用されているアプリケーションのプログラムをリスト表示し、該当の画面を呼び出す機能も持つ。この方式は、ダイアログなどの別画面で表示する方式と比較して、ユーザーにグラフィック画面内の情報を隠さずに次の行動に移れるという点で優れている。

警報発生時には3.1で紹介した自動画面表示とともに警報発生ポイントが選択状態となる。これにより、一切操作を行わなくても、いつから異常が始まったのかや、対処法や注意事項、さらには他ポイントとの関連を把握するために必要となるチャートやグラフィック画面などの関連アプリケーションを一気に確認できる。

本機能を実現するために、ポイントが選択されるたびに関連アプリケーションを検索するような仕組みではシステム負荷が大きく、レスポンスが悪くなるため、各アプリケーションの設定時に、ポイントの付加情報として自動的に関連アプリケーションが登録される仕組みとし、ユーザーにストレスがかからないよう配慮している。

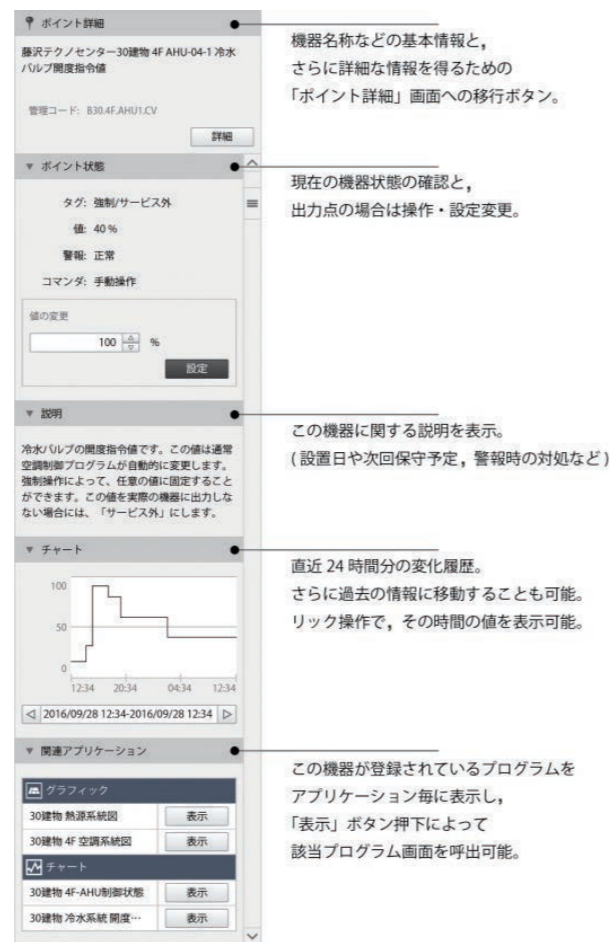


図9 ポイント選択時のユーティリティペイン

3.3 表示・操作範囲を限定し、安心して操作が可能

従来システムでは、「様々な機能や画面があるが、下手に触ると誤操作・誤作動を起こしてしまいそうで不安」といったユーザーの声があった。

savic-net G5ではアクセス権・運用区分の仕組みを全面的に見直し、従来のポイントおよびアプリケーションに対する権限だけでなく、プログラムごとにも権限を設定できるようになった。また、従来の非表示/表示/操作の3段階の権限

から、非表示/表示/一般操作/管理操作/エンジニアリング操作の5段階の権限設定が可能になった。これにより、それぞれのユーザーが見るべき情報のみを表示することができるため、目的の情報を探しやすくなっている。また、各ユーザーがアクセスできる範囲で自由に操作しても、システム全体に悪影響は与えないようにできるため、ユーザーはこれまでの不安から解放され、気兼ねなく利用することができる。

3.2の機能では、選択されたポイントが設定されている各種プログラムをリスト表示するが、例えば、空調設備の担当者は電気設備向けのチャートや日週月年報は非表示とし、また火災時空調停止制御を設定した制御機能の画面は表示のみにするといったことが可能である。

ある一般ユーザーに対する権限設定の例

【アプリケーション】
日週月年報は自由に表示・設定できるが、機器連動などの制御機能に関しては非表示とする。
【プログラム】
日週月年報でも、空調のみ表示・設定可能とする。
【ポイント】
空調用の日週月年報でも、特定のフロアのポイントのみを設定可能とし、他フロアのポイントは非表示とする。

図10 アクセス権による画面の表示/非表示の例

3.4 機能選択や状況把握を効率化

従来システムでは、特定の用途に特化した多数のアプリケーションで構成されていたため、ユーザーは多くの画面を巡り、それらから得た情報を照らし合わせて、ようやく知りたかった状況を把握できるということがあった。

そこでsavic-net G5では、類似機能を統合しさらに拡張することで、ユーザーが設備や制御の状況把握を効率的に行えるようにした。

(例1) 従来は1分周期のスキャンデータと、状態変化通知によるデータは別々に管理しており、提供される画面も状態変化履歴とチャートに分かれていたため、正確に状態変化の経緯を辿るためには、双方の機能画面を見る必要があった。

savic-net G5ではデータ蓄積方法を見直し、スキャンデータも状態変化データも、それらをシステムが認識した時刻と値で蓄積することで、チャート表示のみでも発停や警報のデータを欠損なく確認できる。

(例2) 従来は日報・月報・年報がそれぞれ別機能であった。savic-net G5では日週月年報がセットとなり、年報から電力消費量の多い月を探し、月報から電力使用量の多い日を探し、日報から電力使用量の多い時間を探すといった作業が容易にできる。

(例3) 従来はグループリスト、ポイント検索、各種のポイント状態別一覧といった用途に応じた複数の機能が存在した。

savic-net G5ではポイント一覧というアプリケーションに集約した。これによってグループ・現在状態・ポイント属性などを横断したポイントの絞り込み表示などができる。

(例4) 従来はイベントプログラム、グローバルイベントプ

ログラム、コンディショナル設定値制御のように、ポイントタイプやシステム構成の違いによって様々なアプリケーションが存在した。

savic-net G5では「条件演算」というアプリケーションに集約し、より柔軟な制御が可能となった。

(例5) 従来はタイムプログラム、スケジュール設定値制御といったポイントタイプによって異なる2つのアプリケーションが存在した。

savic-net G5では、機器発停も設定値変更も「スケジュール」というアプリケーションに集約した。

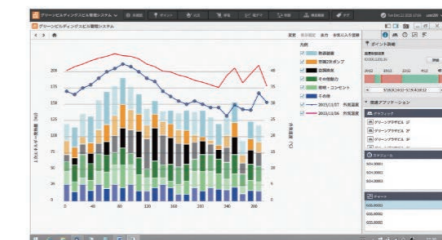
3.5 容易に情報を絞り込み、状況把握をさらに効率化

従来システムは、あらかじめ設定された表示項目以外の画面表示はできなかった。例えばチャート画面において、設備ごとの電力使用量の積層グラフを表示したとき「空調設備の電力使用量を除外したグラフを見たい」と思っても、設定項目から空調設備を除外するか、あらかじめ空調設備を除外したプログラムを追加する必要があった。

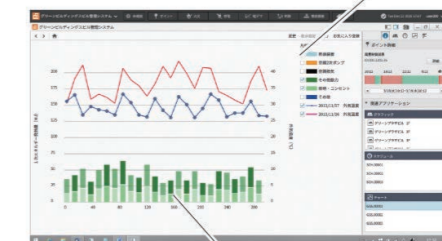
savic-net G5では、このようなとき図11のように凡例のチェックボックスのチェックを外すことによって、簡単に特定のデータ表示を除外することができる。したがって、あらかじめ同時に見る可能性のあるデータを登録しておき、必要に応じてデータを除外していくといった操作が可能となっている。また、ポイント一覧やログなどの表形式の機能画面ではExcel®のように列ごとにフィルタリングが可能となっており、段階的に情報を絞り込んでいくことができる。将来的には並べ替えにも対応し、例えば警報のレベル順に並べ替えなどが行えるようになる予定である。

このように、ユーザーが知りたいと思った観点で、その場で表示を切り替えられるため、状況把握を効率化するだけでなく、新たな発見につながる可能性も生まれる。

(チャート)



凡例のチェックボックスにより、データの表示/非表示を切り替えられる。



一時的に他のデータを除外したチャート表示が可能

図11 チャート画面でのフィルタリング

4. システム管理者向けの複雑な操作のサポート機能

システム管理者とは、システムの様々な機能をどのように運用するか設定したり、建物のエネルギー使用状況や制御性評価などシステム全体の評価・分析を行うことを主業務としたユーザーと捉えている。

システム管理者向けの画面デザインの目標は、前述の通り「高度な操作をサポートして複雑な業務を効率化する」ということである。このユーザー向けには、一般管理者向けの機能に加えて、様々なプログラム画面を直感的な操作が可能のようにグループ化したり、各種設定において自由かつ確実な設定が行えるようにするために、次に示すような機能を実装した。

4.1 運用に合わせて、任意に機能メニューを整理

アプリケーションウィンドウのメニューペインは、従来システムに慣れたユーザー、およびパワーユーザー向けのメニュー機能である。システム内で運用される多くのプログラムを、フロアごとや設備ごと、テナントごとに整理して、直感的に選択することができるようになっている。

各アプリケーションは、ツリー形式でプログラムの整理が可能となっている。例えば、条件演算機能(機器連動制御などが行えるプログラム)の場合、「火災時空調停止」といったフォルダを作成し、その中に各空調機用の複数の火災時空調停止プログラムを配置できる。

お気に入り機能であれば、異なるアプリケーションのプログラムを1つのフォルダに整理することもできる。例えば、「1Fフロア」「2Fフロア」といったフォルダの中に、各階の平面図と空調温湿度チャートと電気使用量日月年報などのプログラムを配置することができる。

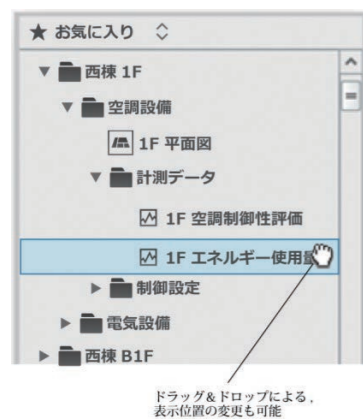


図12 お気に入りツリー表示と、ドラッグ&ドロップ操作

4.2 設定情報の視認性向上と、設定作業の効率化

従来各種の設定画面には、システムに不慣れたユーザーが不要な箇所の変更を行わないように、設定項目ごとに設定変更ダイアログを表示するためのボタンを配置していた。しかし、設定内容の確認時には設定変更ボタンが情報の識別性を低下させる原因となり、また画面遷移が図13のように複雑化することで、システム操作に習熟したユーザーにとっては手数の多い操作体系になっていた。

そこでsavic-net G5では、図14のように設定状況を確認

するための視認性に優れた閲覧モードと、各項目の設定変更を一括で行うための編集モードを設けた。誤操作に関しては、設定変更可能な項目をユーザーの操作レベルによって制限可能とした。

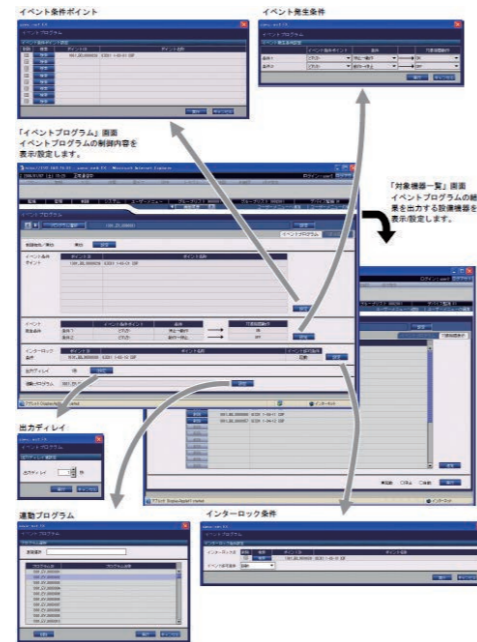


図13 従来の画面遷移の多い設定画面

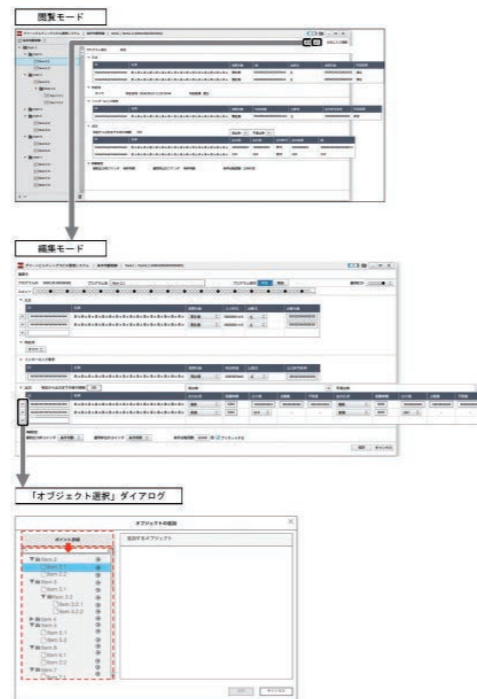


図14 savic-net G5の設定画面

4.3 機器の所属デバイスによる機能制約から解放

従来、機器連動制御や、複数計測機器の平均値演算・蓄積などは、統合制御デバイスにて実現していた。そのため、機器が統合制御デバイスをまたがる場合や、統合制御デバイスの世代間による機能差が存在する場合、他社デバイスにそのような機能が存在しない場合などは、任意の制御や演算が実現できないため、ユーザーにストレスを与えていた。

そこでsavic-net G5ではシステム構成を大幅に変更し、中央監視装置にこれらの機能を実装することで、他社デバイス接続時や複数のデバイスにまたがる場合でも、自由に制御や演算を組むことができるようになった。

また、本来は統合制御デバイス側で実現すべきである機器の運転時間積算や上下限監視などのポイント監視機能などについても、そういった機能を持たないデバイスである場合には、中央監視装置側で機能代行が行えるように拡張していく予定である。

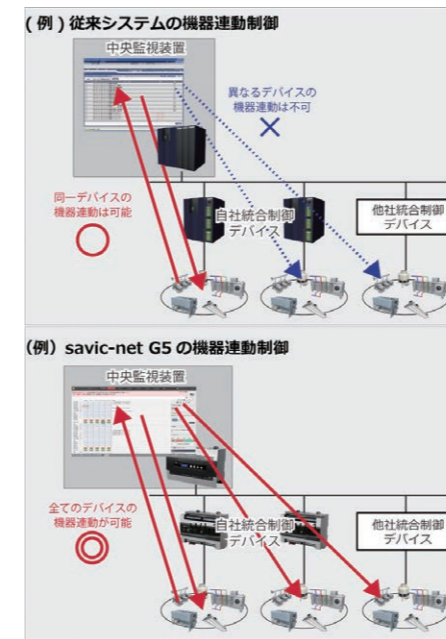


図15 従来システムと savic-net G5 の機能提供範囲

4.4 利用可能ポイントだけを表示し、誤設定を防止

3.3で述べたように、ユーザーに表示または操作権限があるポイントのみが表示され、また4.3で述べたように、ほとんどの機能ではデバイスを意識することなく設定が行える。

しかし、各プログラムにポイントに登録する際には、各設定項目ごとに登録可能なポイントタイプに制約があったり、初期リリース段階における上下限監視のインターロック機能(ポイントの状態によって、上下限監視の有効/無効を切り替える機能)など、一部特定のデバイスに所属するポイントでしか利用できない機能がある。このような設定項目については、ポイント選択時に登録できないことが明確なポイントについては表示されないようになっている。これによって、誤設定を防止し、またポイント選択の効率化を実現している。

インターロックに登録可能なポイントタイプのアプリケーションによる違い

- 【条件演算・数値演算】**
全てのポイントが登録可能であり、選択肢として表示される。
- 【警報移報】**
ポイントタイプが BI/BO/BV であるポイントのみが登録可能であり、選択肢として表示される。
- 【アナログ上下限監視】**
監視対象と同一デバイスに所属し、ポイントタイプが BI/BO/BV であるポイントのみが登録可能であり、選択肢として表示される。

図16 利用可能なポイントの事例

5. おわりに

savic-net G5は2016年度から販売を開始するシステムであり、現在鋭意開発中である。今回の紹介内容は、開発ロードマップにおいて第1段階でリリースする機能であり、第2段階以降のバージョンアップの際に実現する予定の機能については紹介を省略している。今後、開発が進むことによって、ユーザーの操作体験をさらに高められる見込みである。是非、今後のsavic-net G5の進化にご期待いただきたい。

<参考文献>

- (1) 山武社史編纂委員会: 第2編 建物オートメーション史、山武百年史、2007年、(pp.249-299)、株式会社山武
- (2) エリック・ライス: ほんとに使える「ユーザビリティ」、2013年、ビー・エヌ・エヌ新社
- (3) 山崎和彦ほか: エクスベリエン্স・ビジョン、2012年、丸善出版株式会社

<商標>

savic-netはアズビル株式会社の商標です。Microsoft Excel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。

<著者所属>

- 西羅 大貴 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
- 古賀 宏 ビルシステムカンパニー
開発本部開発2部
- 山本 博之 ビルシステムカンパニー
開発本部開発1部

ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発

—全体像とエネルギー管理機能

Cloud Services for More Efficient Building Management: Overview and Energy Management Functions

アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	高橋 哲也 Tetsuya Takahashi	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	小間 香保里 Kaori Koma
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	澁谷 厚 Atsushi Shibuya	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	馬淵 敏暢 Toshinobu Mabuchi
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	田中 巧 Takumi Tanaka	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	山岡 稔 Minoru Yamaoka

キーワード
クラウドサービス, エネルギー管理, 見える化, エネルギー分析

ビルの管理業務を支援するシステムとして、「ビル向けクラウドサービス」を開発し、サービスを開始した。ビル管理業務の基本となるエネルギー管理機能や設備保全管理機能、テナントサービス機能だけでなく、将来的には、熱源運転計画支援機能やデマンドレスポンス機能、遠隔制御機能などの複数のメニューを用意し、顧客の様々なニーズに応えられるサービスを構築していく予定である。本稿では、本サービスの全体概要および、本サービスの第1弾として開発したエネルギー管理機能について紹介する。

Azbil has developed and launched Cloud Services for Buildings as a supporting system for building management. In addition to basic building management functions of energy management, facility security, and tenant services, in the future we plan to include assistance for heat-source operation planning, demand response, remote control, and other features in the system. This document presents an overall picture of our cloud services as well as the related energy management capabilities, which we developed as a first step.

1. はじめに

近年の情報通信技術の発達や通信インフラの整備により、従来は利用者が手元のPCで利用していたアプリケーションやデータをインターネット経由でサービスとして利用者に提供するクラウドサービスが日常生活のあらゆるところで急速に普及してきている。

一方で、地球温暖化によるとされる海面の上昇や異常気象、生態系の変化などの問題はもはや無視できないものとして、地球レベルでのCO₂の削減、省エネルギーが求めら

れている。ビルにおいても、いわゆる省エネ法や東京都環境確保条例等によって、CO₂排出量の報告や省エネルギー対策が義務付けられており、ビル運営におけるエネルギー管理の重要性が増々高まってきている。

このような状況の中で、情報通信技術を活用し効率的にエネルギー管理を行いたい、ビル運営に関わる利害関係者間の情報共有を促進させたいなどの様々なニーズに対応するため、エネルギー管理機能、設備保全管理機能、テナントサービス機能を主要機能とした「ビル向けクラウドサービス」の開発に着手し、第1弾として、エネルギー管理

(EM)のサービスを開始した。

本稿では、ビル向けクラウドサービスの全体像および、エネルギー管理機能について紹介する。

2. ビル向けクラウドサービスの全体像

はじめに、クラウドサービスの特長、製品上の位置付けについて述べた上で、クラウドサービスの概要を紹介する。

2.1 クラウドサービスの特長

クラウドサービスはその提供形態から、大別して次の3つの特長がある。

(1) 利便性の向上

インターネット環境のある、あらゆる場所から利用できる手軽さと、常に最新のアプリケーションや情報を利用できる利便性を享受できる。また、高性能で大容量のサーバで処理するため、高度な制御や分析が可能となるだけでなく、大容量の長期データを蓄積することもできる。

(2) システム管理品質の向上

システム管理の専門家が一括して運用することで管理品質の向上が見込め、さらに、データセンターを利用することで、耐災害性やセキュリティ対策を高いレベルで確保することができる。

(3) コスト削減

利用者は、アプリケーションを利用するためにサーバ等の情報機器を保有する必要がなく、初期投資をかけずにサービスを利用できる。また、サーバの保守や買い替えなど、ハードウェアの維持管理コストを大幅に削減することができる。

このように、クラウドサービスは、その利用形態から、利用者に様々なメリットを提供することができる。

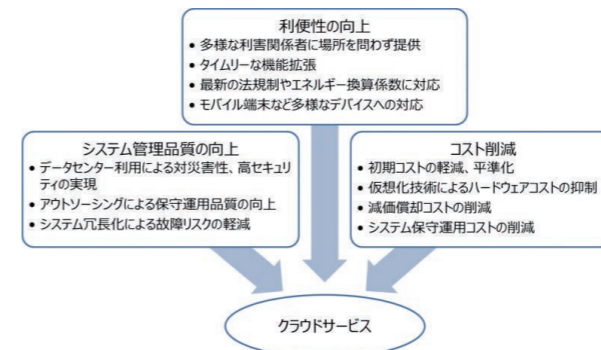


図1 クラウドサービスの特長

2.2 製品上の位置付け

次に、アズビルのビルシステム事業におけるクラウドサービスの位置付けについて述べる。

ビルシステム事業で提供している製品やサービスには、主にビルの空調設備を監視・制御する中央監視システムや自動制御機器などのビルディングオートメーション (BA) シス

テム製品と、エネルギーソリューションサービスなど現場の課題を解決するコンサルティングサービスがある。BAシステム製品は主に「監視・制御」といった機能を提供し、コンサルティングサービスでは、主に「分析・評価、対策立案、対策実施、効果検証」といったソリューションを提供している。しかし、例えば、コンサルティングサービスにおいて集計・分析も含めて手作業で行うと、どうしても現状把握に時間がかかりタイムリーな課題解決を阻害してしまう場合がある。そこで、クラウドサービスが主に分析・評価を担うことで、計測・監視から課題解決までをシームレスに提供する基盤を強化することができると考えている。

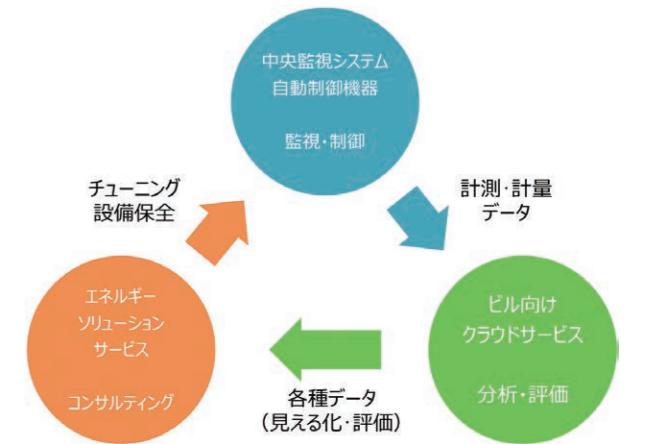


図2 クラウドサービスの位置付け

2.3. クラウドサービスの概要

ここでは、ビル向けクラウドサービスの全体概要を把握してもらうために、主な利用シーンや主要機能、システム構成を紹介する。

まず一例としてオフィスビルにおける主な利用シーンを図3に示す。オフィスビルで働く居住者や、ビル運営を担う建物オーナー、設備オペレータがクラウドサービスの利用者であり、様々なシーンでサービスを利用することで、室内環境を快適に保ちつつ、エネルギーや設備を効率的に管理することができる。

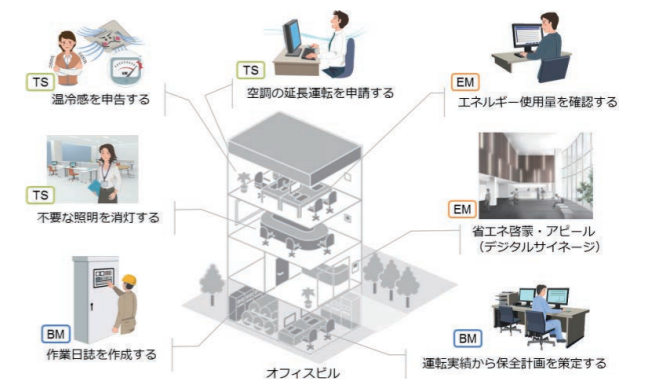


図3 主な利用シーン

次に、主要機能を一覧に整理した。

表1 主要機能一覧表

サービスメニュー	提供価値	主要機能	主要ユーザー
EM エネルギー管理	省エネ見える化	・消費傾向分析 ・総量目標管理 ・需要予測 ・サイネージ	プロ/ティーマネージャ (ビルオーナー会社)
TS テナントサービス	快適性 利便性	・照明/機器発停 ・空調設定 ・申告空調制御	居住者(テナント)
BM 設備安全管理	LCC低減	・設備安全管理 ・中長期保全計画 ・点検支援	設備オペレータ (ビル管理会社)
OP 最適運用	省エネ/省CO ₂ 省コスト	・最適運転ガイド ・COP管理 ・CO ₂ 削減制御 ・学習型VVT制御	設備オペレータ (ビル管理会社)
DR デマンドレスポンス	電力需給連携	・DR管理機能 ・節電制御	-

* 2016年1月現在の予定であり、今後変更の可能性があります。

クラウドサービスには先に紹介したエネルギー管理(EM)、テナントサービス(TS)、設備安全管理(BM)の他に、最適運用(OP)や、デマンドレスポンス(DR)などのサービスメニューがある。なお現時点(2016年1月)ではエネルギー管理(EM)のみがサービス提供を行っており、その他のサービスメニューは今後順次拡充していく予定である。最後にシステム構成を示す。

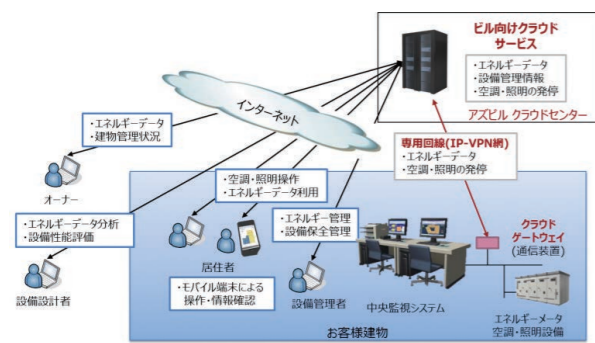


図4 システム構成

利用者は、インターネットを経由してクラウドセンターにアクセスし、サービスを利用する。それとは別に、ビル内の中央監視システムとクラウドセンターが接続されており、ビル内の温度や湿度などの計測情報をクラウドセンターに蓄積する。

なお、利用者が安心してクラウドサービスを利用できるように中央監視システムとクラウドセンター間の通信は専用回線(IP-VPN網)を用いており、中央監視システムへの不正なアクセスを未然に防いでいる。また、インターネットからの不正アクセスに対しては、不正アクセスを検知・防御する仕組みを導入し、大切な情報を保護している。

3. エネルギー管理(EM)

ビル向けクラウドサービスのエネルギー管理(EM)について紹介する。

一般に、ビルのエネルギー管理に必要なとされる機能は、その目的や対象の範囲によって異なってくる。本サービスでは、そのような利用者のニーズに柔軟に応えるため、以下

の2つのメニューと各種オプションを用意している。

- EMベーシック
- EMエキスパート
- 各種オプション

3.1 EMベーシック

EMベーシックは、エネルギー使用量の見える化を目的とするメニューである。

ビルのエネルギー使用量の確認、目標値との比較などの機能を提供し、エネルギー管理業務を支援する。また、エネルギー管理の専門家でなくても容易に情報を把握できるよう、グラフ表示を見やすくした。

3.1.1 ダッシュボード

利用者が、まず目にするのがこのダッシュボード画面である。

様々な業務をこなすエネルギー管理者のために、瞬時に必要な情報を把握できるようなデザインを採用している。

画面には、以下のようにエネルギー情報だけでなく、気象予報会社から提供されるビル付近の気象データも表示している。気象データは、この他にもエネルギー使用量の予測に利用している。

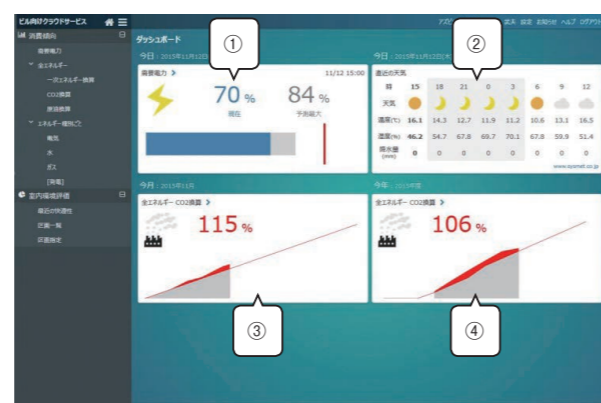


図5 ダッシュボード画面

- ① 上限需要電力(縦線)に対する現在の使用率と、予測最大使用率
- ② 建物所在地周辺の直近の天気予報
- ③ 今月のCO₂排出量の目標値と現時点までの累積実績
- ④ 今年のCO₂排出量の目標値と今年までの累積実績

今後は利用者自身が表示内容をカスタマイズできるような機能を提供する予定である。

3.1.2 需要電力管理

需要電力グラフの日報画面では、需要電力量と外気温度の推移が確認できる。契約電力に影響する最大電力の管理を目的としたグラフである。

また、計測値は30分単位で1つの棒グラフを表示しており、契約電力の算出基準である30分と単位を合わせて表示している。

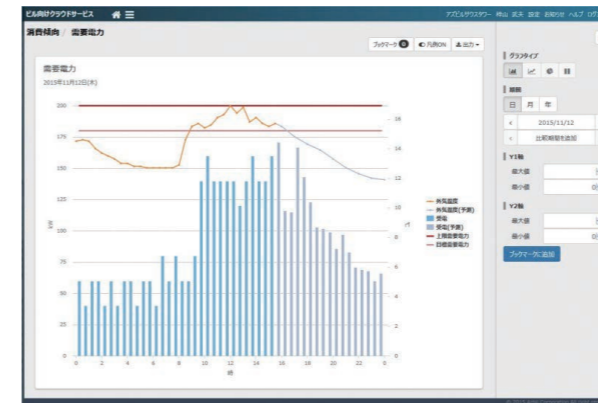


図6 需要電力グラフ(日報)

3.1.3 総量目標管理

総エネルギー使用量を、1次エネルギーやCO₂排出量、原油に換算したグラフである。エネルギー費やCO₂の削減を目的としている。

エネルギー種別ごと、エネルギー用途ごと、建物・区画ごとに内訳を確認できるので、エネルギー使用量の全体感だけでなく、内訳の細分化による原因分析ができる。

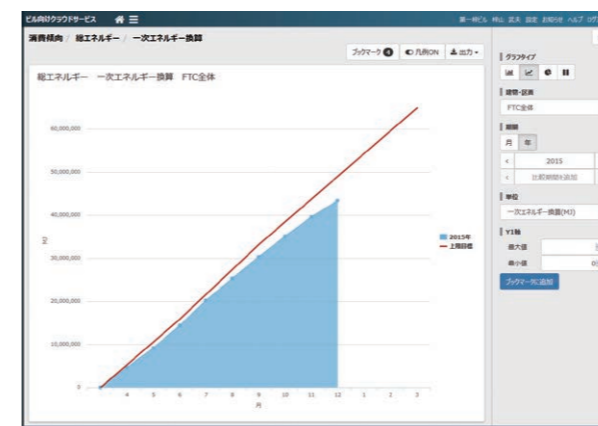


図7 総量目標管理グラフ(1次エネルギー換算)

図7のグラフでは、エネルギー使用量の目標値に対する年間累計量を確認できる。

さらに、2期間比較表示も可能で、図8のように時系列グラフで昨年度の実績を併せて表示できる。図8を見ると、今年度の実績がやや多めに推移しており、7月(上限目標を示す赤線を棒グラフが超えている部分)には月間使用量目標値を超過していたことが分かる。

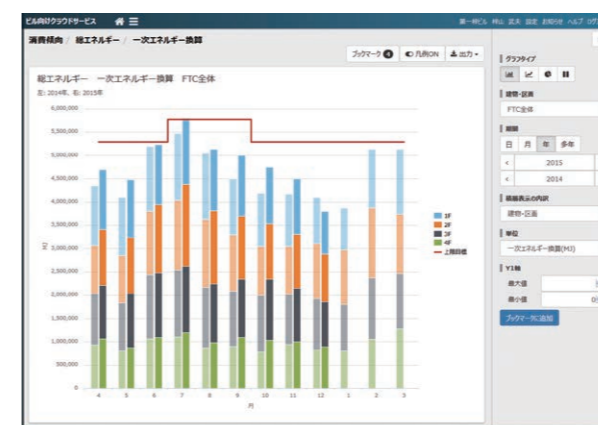


図8 総量目標管理グラフ(2期間表示)

7月の使用量の分析をしてみる。図8で7月のデータを選択して月報表示にしたのち、グラフの形状を円グラフにすると、図9のようになる。建物・区画ごとの内訳を確認すると、昨年度に比べて2Fの使用量(図9の円グラフのオレンジ部分)の割合が増加しており、省エネルギー施策の協力依頼が必要であることが分かる。

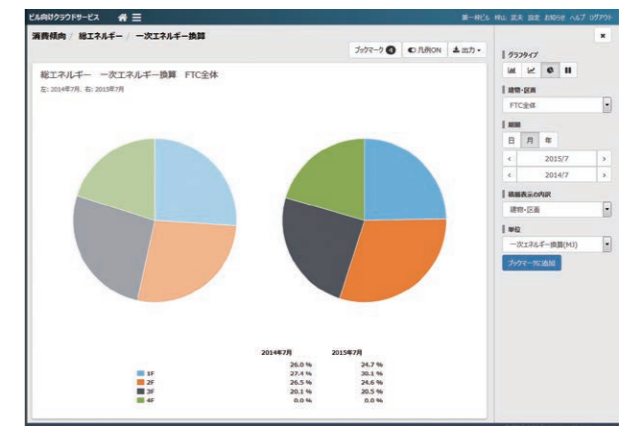


図9 総量目標管理グラフ(円グラフ 2期間比較)

3.1.4 消費傾向分析

エネルギー種別ごとの、エネルギー使用量を表示したグラフである。

建物・区画ごと、エネルギー用途ごとに内訳が確認できるため、グラフの形状を円グラフに切り替えるなどして、エネルギーが増加した箇所(期間、場所、用途)の要因分析を行うことができる。

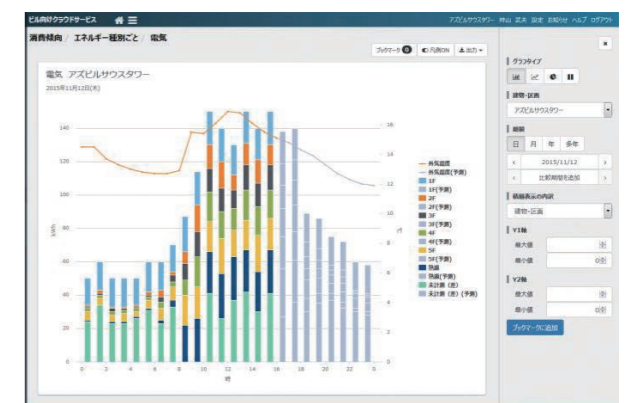


図10 消費傾向グラフ(日報)

3.1.5 予測機能

EMベーシックのグラフでは、電気やガスなどの使用量について、当日の予測使用量を表示することができる。図6および図10のグレーの棒グラフが予測使用量を表示している。

予測には、アズビル独自の位相事例ベースモデリング(Topological Case-Based Modeling:TCBM)を使用している。エネルギー使用量の実績値と気象予報データをもとに予測値を演算し、さらに1日1回モデルの学習を行うことで、予測精度の向上を図っている。

3.1.6 ベンチマーク

ビルのエネルギー使用量が、同じ建物用途のエネルギー使用量の平均値とどの程度近似しているかを比較できるグラフである。

平均値と比較することで、省エネルギーの余地がどの程度あるか把握することができる。

3.2 EMエキスパート

EMエキスパートは、エネルギーの高度なデータ分析を要望する顧客向けのメニューである。任意の分析用グラフを作成できるグラフ作成機能のほか、分析を容易にするレイアウト機能を用意している。

3.2.1 グラフ作成

Webブラウザ上で、任意の分析用グラフを作成する機能である。BAシステムからデータをダウンロードして汎用グラフ作成ソフトで作業するよりも、効率よくグラフを作成することができる。

グラフには、BAシステムの計測値のほか、計測値を使って予め作成しておいた仮想ポイントの値も表示できる。

本サービスで作成できるグラフの一覧を以下に示す。

表2 EMエキスパートで作成できるグラフ

グラフ	説明
時系列グラフ	X軸を時間軸、Y軸を計測値として表示する。 グラフの形状は折れ線、累積、棒、積層、ステータスから選択でき、組み合わせて表示できる。
長期時系列グラフ	長期間の時系列データを表示する。(1時間データの場合、最大1年分の表示ができる) 表示期間の絞り込みやスライドができ、ピーク電力の分析などに役立つ。
散布図	複数の計測値の相関を表示する。
ヒストグラム	計測値の頻度分布を表示する。
円グラフ	計測値の比率を表示する。
空気線図*	空気線図を表示する。 X軸に乾球温度、Y軸に絶対湿度を設定する。
ヒートマップ*	計測値を数値の大きさによって色分けして表示する。 視覚的に計測値の傾向を把握できる。
値監視グラフ*	あらかじめ設定した目標値と計測値を同時に表示する。 目標値に対する計測値の推移を確認できる。

(*) 随時リリース予定

表2のうち、長期時系列グラフと、散布図について紹介する。

長期時系列グラフでは、時系列データを最大で1年分表示でき、特定の期間を拡大して確認することで、ピーク電力の分析などに活用できる。図11では6ヵ月分の時系列データ

を表示している。画面下部のスライダーを操作することで表示期間を絞り込むことができ、図12では、1週間の時系列データを表示している。



図11 長期時系列グラフ



図12 長期時系列グラフ(期間拡大表示)

散布図では、系列の色を設定して透過度を設定することができる。図13のように透過度を調整すると、点の重なり具合が色の濃淡に現れ、分布の密集度を確認することができる。また、近似線を引くことも可能である。



図13 散布図

3.2.2 レイアウト機能

複数のグラフを同時に表示して比較したいという要望に応え、レイアウト機能を用意した。グラフは最大4枚まで表示が可能で、グラフの比較・検討をサポートする。

例えば、図14のようなグラフを並べると、1日の電力使用

量の消費分析ができる。

- ① 受電電力量推移(用途別で積層)
- ② 受電電力量推移(棟別で積層)
- ③ 用途別電力量比率
- ④ 棟別電力量比率



図14 レイアウト機能(グラフ4枚表示)

3.3 各種オプション

3.3.1 室内環境評価

EMベーシックのグラフを駆使して省エネルギーを達成しても、室内環境が悪化しては意味がない。そこで室内環境が把握できるよう評価画面を用意している。

評価には、予測温度感申告(Predicted Mean Vote:PMV)値を採用している。あらかじめ定めた着衣量、活動量、気流、そして評価区画で計測した室内温湿度をもとにPMV値を算出し、快適度が把握しやすいよう色分けしている。

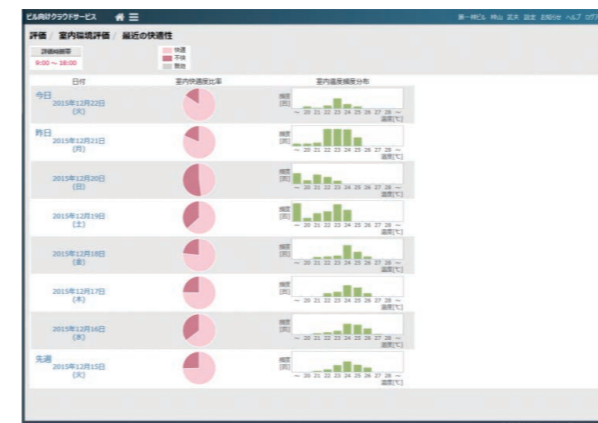


図15 室内環境評価(最近の快適性)

図15では、直近1週間の室内の快適度と室内温度の傾向を確認できる。

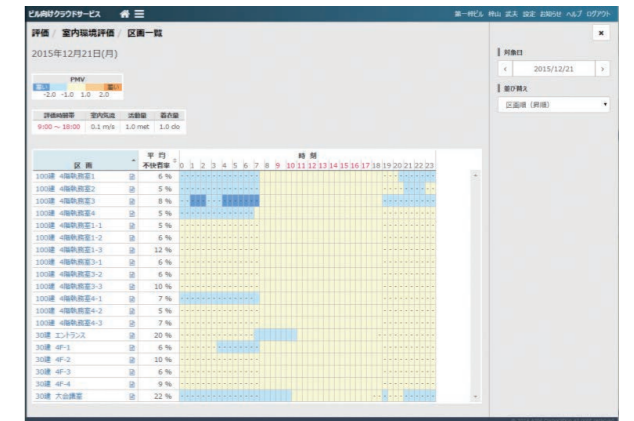


図16 室内環境評価画面(区画一覧)

図16では、快適度の1日の推移を確認できる。図15で不快傾向の日があった場合に、その日の詳細な快適度を確認することで、不快傾向の区画を特定できる。

3.3.2 見える化コンテンツ

EMベーシックのグラフやエネルギーデータを、ビルの来館者やWEBサイトに公開する機能として、以下の見える化コンテンツを用意している。

- ① 来館者向け情報表示
- ② 顧客WEBサイト向けリンク提供
- ③ 顧客WEBサイト向けデータ提供

来館者向け情報表示では、Microsoft社のPowerPoint®に、グラフやエネルギーデータを取り込むことができる。顧客はPowerPoint®でスライドショーを自由に編集し、デジタルサイネージとしてビルの来館者に向けて上映できる。省エネルギーの啓蒙やアピールへつながる。



図17 来館者向け情報表示

3.3.3 EM多棟比較

EM多棟比較は、複数のビルを所有する顧客向けの機能である。EMベーシックを複数件分契約した顧客に提供している。

EMベーシックのグラフを用いて、契約している建物グループ全体のエネルギー使用量の分析ができる。また、各ビルのエネルギーデータの値を図18のように表で比較することもできる。



図 18 多棟比較表

4. おわりに

ビル向けクラウドサービスの全体像およびエネルギー管理機能を紹介した。本編では主に利用者側の視点で述べたが、提供者側にとってもクラウドサービスという提供形態にすることで、機能改善や機能追加を迅速に利用者に提供できるというメリットがある。今後もタイムリーな価値提供を実現するために、クラウドの特性を活かし、ステップ開発・短期リリースを繰り返すことで、機能の拡充を進め、顧客との長期パートナーとなり得るサービスを提供していきたい。

<商標>

TCBMは、アズビル株式会社の商標です。
PowerPoint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。

<著者所属>

- 高橋 哲也 ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
- 小間 香保里 ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
- 澁谷 厚 ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
- 馬淵 敏暢 ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
- 田中 巧 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
- 山岡 稔 ビルシステムカンパニー マーケティング本部環境マーケティング部

ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発

—居住者に快適を提供するテナントサービス機能

Cloud Services for More Efficient Building Management: Tenant Services for Better Living

- | | | | |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー | 山地 和博
Kazuhiro Yamaji | アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー | 大曲 康仁
Yasuhiro Omagari |
| アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー | 鈴山 晃弘
Akihiro Suzuyama | アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー | 大野 巧真
Takuma Ohno |
| アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー | 太宰 龍太
Ryota Dazai | アズビル株式会社
技術開発本部 | 三浦 眞由美
Mayumi Miura |

キーワード
テナント向けサービス, クラウド, 快適性, 温冷感申告

以前より提供してきたテナント向けアプリケーション製品「テナントサービスサーバ」を今後、ビル向けクラウドサービスTSとして提供する。クラウド化により、機能の柔軟性や拡張性の向上、および、保守性や情報セキュリティ強度を高めることが出来る。テナント向けサービスの機能および新機能として開発中の居住者からの温冷感申告に対応する空調システムを紹介する。

Azbil's Tenant Service Server, an application for tenants which has been a part of our previous services, will be provided as a part of Cloud Services for Buildings tenant services from now on. Cloud computing improves the features of our services by making them more adaptable and extensible. It also improves maintenance and strengthens information security. This document describes the tenant services function, as well as a new air conditioning system that responds to tenant feedback on temperature, which is being developed as a new function.

1. はじめに

環境満足度は、オフィスで働く人(以下、オフィス居住者)の生産性に影響をおよぼす。環境に対する満足度が高いほど、作業成績が高く疲労が少ない、また、同じ温熱環境でも自ら調整した環境の方が(環境選択権がある方が)満足度が高いという結果が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

アズビルでは、居住者に温冷感や照度といった要素を自ら調整できるようにするため、テナント向けサービスアプリケーション製品を提供してきた。従来の製品は、サーバを

ビルごとに購入・現地に設置していただき、アプリケーション機能を提供する形態(以下、オンプレミス型)であった。近年、データセンター内で管理するサーバからサービスを提供する形態(以下、クラウド型)のサービスが普及してきている。スマートフォンやSNSの普及に伴い、クラウドサービスへの抵抗が薄れてきている。総務省が公表している平成25年通信利用動向調査⁽⁴⁾において、一部でもクラウドサービスを利用していると回答した企業の割合は33.6%であり、平成24年末の28.0%から5.6ポイント上昇している。クラウドサービスを利用する理由としては、「資産、保守体制

を社内を持つ必要がない「新システムの導入コストが安価」などが挙げられている。そのような背景の中、アズビルとしても、お客様の利便性向上のため、ビルオーナーやテナント向けのアプリケーション機能のクラウド化開発を進めている。

本稿では、ビル向けクラウドサービスTSの基本機能の他、クラウド化開発におけるコンセプト・実現方法および、新機能として開発した温冷感申告システムを紹介する。

2. テナントサービス概要

アズビルが提案している主なテナントサービスを表1に示す。居住者が空調機器や照明を操作できる機能の他、テナントで消費しているエネルギーデータの表示・省エネ法対応の報告書の出力機能を提供する。

表1 テナントサービスの機能

ホーム (ダッシュボード)	
情報一括表示	
天気予報表示	
設備操作	
空調起動・停止	
照明操作・調光設定	
スケジュール予約 (空調時間外運転)	
空調温度設定/空調温冷感申告	
エネルギー関連	
テナントエネルギー見える化	
省エネ法対応報告書出力	
コミュニケーション機能	
ビル管理者からのお知らせ	
管理者用機能	
ユーザー管理	
テナント管理	

ログイン後のホームページには、複数の情報把握や各種操作をしやすいような画面(ダッシュボード)を用意した。ホームページの画面例を図1に示す。空調・照明の操作画面や、エネルギー情報・管理者からのお知らせなどを表示する。



図1 ログイン後の画面例

テナントエネルギー表示画面の例を図2に示す。各テナントで利用しているエネルギー量をトレンドグラフで表示する。2期間の比較やデータのCSVファイル出力、グラフのPDF出力が可能である。テナントの省エネルギー啓蒙やエネルギー管理業務の効率化に貢献する。

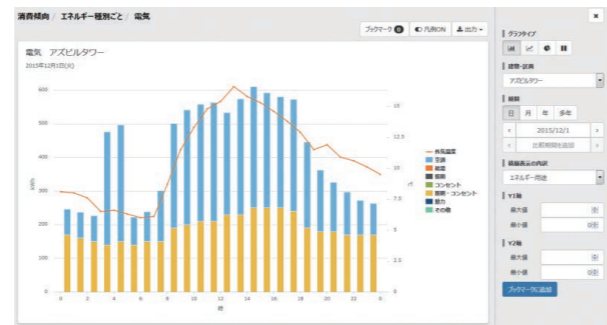


図2 テナントエネルギー表示画面例

3. クラウドシステム開発

ここでは、テナントサービスのクラウドシステム化へのコンセプトや実現に向け留意した点、およびシステム構成を紹介する。

3.1 開発コンセプト

今回の開発コンセプトを“One to One Comfort (居住者1人ひとりの快適を提供する)”と定義した。より多くのオフィス居住者に利用され、快適さや省エネルギーといった価値を利用者や関係者に提供するシステムの開発を目指した。具体的には、以下の点を意識している。

- ① 個人レベルの快適さの追求
本来は中央集中制御であるシステムを使いつつ、個人レベルの快適さを追求する。
- ② 手軽に利用できるサービスの提供
居住者視点を中心としたデザインにより、手軽で操作が分かりやすい機能を、多様な利用環境に提供することで、より多くの居住者に利用してもらうことを目指す。
- ③ 居住者とのコミュニケーション向上
居住者とのコミュニケーションを向上させ、1人ひとりに向けたきめ細やかなサービスを提供しやすくする。

3.2 コンセプトの実現

3.2.1 個人レベルの快適さの追求

一般的には指定された室温に向けて空調制御されるが、それが多くの居住者にとって快適な環境とは限らない。同じ温度でも人により「暑い」「寒い」の感じ方が異なる。また、一部の居住者が設定を変えることが不公平感につながる場合がある。そこで、本システムでは、温冷感申告対応空調システムを提案する。この点については後述する。

3.2.2 手軽に利用できるサービスの提供

(1) 身近なツール、多様な利用環境への対応

より多くのユーザーに利用してもらうことや多様な状況で利用してもらうために、テナント向けクラウドサービスは、PCだけでなく、タブレットやスマートフォンからも利用可能とした。特に、スマートフォンは日常において身近なツールであるため、居住エリアの温度設定のような、頻繁で身近な操作を中心に利用されると考え、スマートフォン向けには、シンプルなりモコンのような機能を提供する。ユーザーは、一度、自席の場所(エリア)を登録しておけば、自席の空調の温度設定や運転/停止、照明の照度設定や点灯/消灯がすぐにできる。(図3 スマートフォンの画面イメージ)

PCやタブレット向けには、ダッシュボード画面(前述)により、よく使う場所の現在の状態が表示され、運転/停止操作や温度設定がすぐに操作できるようにした。また、ログイン操作の手間を軽減するため、一度、ログイン操作をした後の一定期間は、ログイン操作をせずに、ダッシュボード画面が表示可能である。

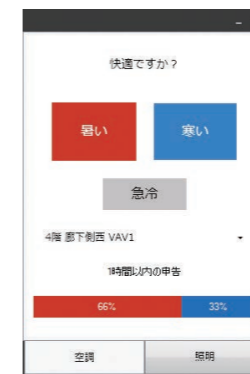


図3 スマートフォンの画面イメージ

(2) 一般社員が利用できるサービス

従来、テナント向けサービスの利用者は、主に総務部などのテナント内で居住環境を管理している一部の社員(以下、テナント管理者)であり、一般社員には公開されずに運用されているケースが多かった。この理由の1つとして、残業時間帯や休日の空調運転が従量制であるため、テナント管理者は一般社員の操作によって不必要に空調が運転されることを回避し空調運転時間を管理したいことがある。

テナント向けクラウドサービスでは、一般社員が予約可能な時間帯や月間合計運転時間数などを、テナント管理者が制限することを可能とする。図4にスケジュール画面のイメージを示す。これにより、テナント管理者が許容する範囲内で、一般社員は自由に空調を運転させることができるため、テナント管理者の管理業務の負荷が軽減され、一般社員は手軽に快適な環境を得ることができる。



図4 スケジュール画面イメージ

また、テナント管理者は、一般社員が操作可能な機能や操作可能な機器を制限することができる。機能制限と機器制限は組み合わせ設定が可能であり、従来のシステムに比べてより柔軟な権限設定を可能とした。これによってテナント管理者が最低限必要な操作権限だけを持ったIDを一般社員に提供可能とし、一般社員への利用促進を図る。

一般社員が、テナント向けクラウドサービスを手軽なツールとして利用することで、こまめに不要な照明が消されたり、適切に温度設定が行われ、結果として省エネルギーが図れるといった効果も期待される。

(3) 簡単に分かりやすい操作

図5に、機器状態リストの画面イメージを示す。5段階(低め/やや低め/標準/やや高め/高め)の温度設定を表示している例である。現在の状態を、文字とスライダのポジションで示している。スライダを利用することで、1つの機器の状態が明確となるだけでなく、複数の機器の状態が視覚的に把握しやすくなっている。設定変更は、スライダの移動により可能であり、直感的に操作できる。

機器状態リストは、温度設定だけでなく、空調機器のON/OFFや風量設定、照明の点灯/消灯や照度設定など多様な用途で利用可能である。この例ではスライダを青から赤のグラデーションバーとしているが、風量設定や照度設定などの用途に応じて、適切なスライダを表示できる。設定は、5段階以外の段階にも対応可能であり、スライダでなくコマンドボタン表示にすることも可能である。

ホーム / 22F / 機器状態リスト



図5 機器状態リストの画面イメージ

従来のテナント向けサービスでは、サマリグラフ(平面図)ベースの機能だけであったが、テナント向けクラウドサービスは、サマリグラフベースの機能に加え、機器状態リスト機能をラインナップする。機器状態リスト機能は、サマリグラフに比べてエンジン作業が少いため導入コストが抑えられる。簡略で低コストなメニューを用意することで中小規模ビルにもテナント向けクラウドサービスを採用していただき、ビルの価値向上に貢献したいと考えている。

3.2.3 居住者とのコミュニケーション向上

ビル管理者からテナントへのお知らせ機能を提供する。ビル管理者とテナントとの双方向コミュニケーション機能も検討している。居住空間における不具合(温冷感クレームや機器交換依頼)などを管理者に容易にシステムを通じて伝えることができる。本機能は現在開発中であり、今後のバージョンアップ時に機能拡張予定である。

3.3 システム構成

図6にクラウドサービスのシステム構成を示す。ビル向けクラウドサービスは、クラウドセンターに設置されるフロントエンドサービスとバックエンドサービス、および、ビル内のBAネットワークに設置されるクラウドゲートウェイにより構成される。

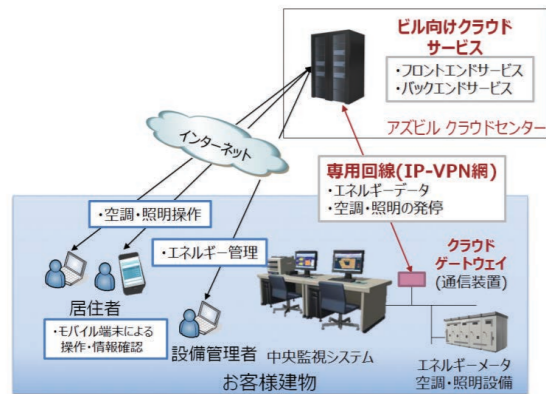


図6 システム構成

フロントエンドサービスは、利用者からのアクセスに対応し、Web画面などを提供する。その際、ビルディングオートメーション (BA) の情報取得や設定変更が必要であれば、バックエンドサービスに要求する。バックエンドサービスは、フロントエンドサービスとクラウドゲートウェイの仲介をする。クラウドゲートウェイは、バックエンドサービスからの要求に応じて、BACnetなどBAネットワーク内のプロトコルを使用し、BA情報取得や設定変更を実施し、結果をバックエンドサービスに返す。

テナント向けクラウドサービスの特長として、ビルの現在の状態をリアルタイムに表示すること、利用者の操作により機器の運転や停止、設定の変更を即時に実行することが挙げられる。従来のオンプレミス型では、システムがBAネットワーク内に設置されていたが、クラウド型では、BAネットワークと専用回線を介しての接続となる。

バックエンドサービスとクラウドゲートウェイは、専用設計した独自メッセージでの通信とする。本サービスに必要なデータだけを独自メッセージでコンパクトな形式でやりとりすることにより、通信データの軽量化を図ることができる。また並列実行による同時処理性能の向上により、通信の高速性、ひいては利用者に対する応答性を高める。

4. 温冷感申告対応空調システム

個人レベルの快適さの追求のために、ビル向けクラウドサービスTSの一機能として温冷感申告対応空調システムを開発している。居住者からの「暑い」「寒い」といった温冷感申告に基づいて設定値を変更する空調システムである。ここでは、申告手段や基本動作、および居住者からの反応を紹介する。

4.1 申告手段

システムは居住者から「暑い(涼しくしてほしい)」「寒い(暖かくしてほしい)」という要求を受け付ける。その手段としてWeb画面の他、利便性向上のためにPC上やスマートフォン上のアプリケーション (図3) や、個人が携帯できる端末での申告を検討している。

4.2 基本動作

4.2.1 申告への即応性向上

「暑い」申告を受けた際の、設定値の変更方法の例を図7に示す。申告受付後、室温設定値を下げる際、一時的に設定値を大幅に下げた後に所定の設定値とする。通常の制御よりも居住者要求により早く対応させることを狙っている。

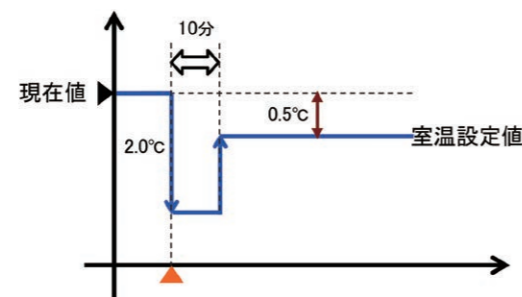


図7 暑い申告に対するシステムの挙動

4.2.2 申告内容の判別

食事後や外出先からの帰社後は、代謝量が上がっており暑く感じる人が多い。その人・その時間固有の「暑い」という要求に応じて設定値を下げたのち、そのまま放置され、代謝量が落ちたときに寒くなってしまいうことも起こりがちである。そこで、その要求を一時的なものか、恒久的なものかを判別し、一時的な要求である場合には、設定値を一定時間経過後に元に戻す機能を持たせている。一時的/恒久的の判別方法としては、環境情報による判別方法、時間帯による判別方法を用意している。

環境情報による判別法の簡易的な例を図8に示す。実際には不快指数や体感温度で判別するがこの例では説明を分かりやすくするために、温度による判別方法で説明する。涼しい(室温が低い)環境で「暑い」という要求がきた場合、その要求はその人固有の要求であり一時的な申告であると判別する。逆に暑い(室温が高い)環境で「暑い」という要求がきた場合には、恒久的な申告であると判別する。

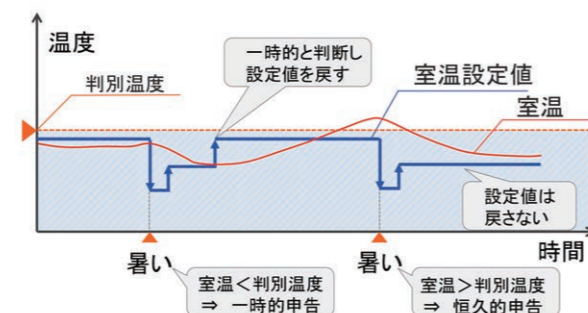


図8 環境情報による一時申告/恒久申告の判別

時間帯による判別法の例を図9に示す。出勤直後や昼食後など、人の行動により代謝量が一時的に変化している時間帯の申告を一時的な申告であると判別する。

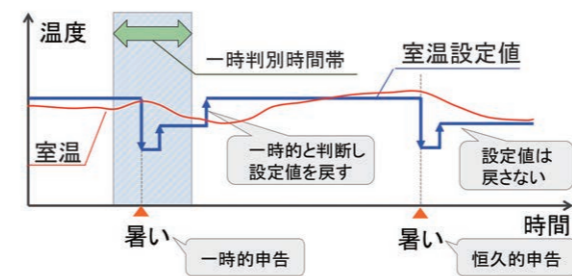


図9 時間帯による一時申告/恒久申告の判別

4.3 居住者の反応

温冷感対応空調システムは新しい試みであるため、実際の居住者がどのように感じるのか確認する必要があった。そこで、2015年8月から当社藤沢テクノセンター内の建物(居住者数約1000名)にシステムを導入し、運用した。その際に実施したアンケート結果を元に考察する。

まず、温冷感を申告する空調システムのコンセプトについて尋ねた結果を図10に示す。結果として、94%の人が良いと回答した。理由としては、「肌で感じる感覚で操作できるのは良い」「暑さ寒さの感じ方は人それぞれなので、自分の感覚を主張することは妥当だと思う」という回答があった。本システムのように温冷感により制御する方法は居住者に受け入れられると言える。

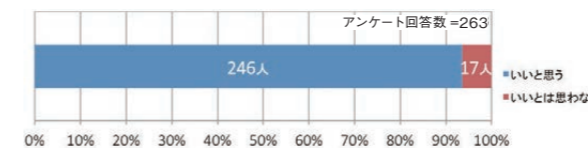


図10 システムのコンセプトについて

申告をしたことがある人を対象に、申告した後に申告通りにシステムが反応し、環境が改善したかどうか尋ねた。結果を図11に示す。59%の人が改善することがあったと回答している。一方で、全く効果がないと回答した人も12%いる。空調システムが既に最大能力で運転している場合など、改善しないこともある。システムがどのように反応したのかをフィードバックする機能が必要である。

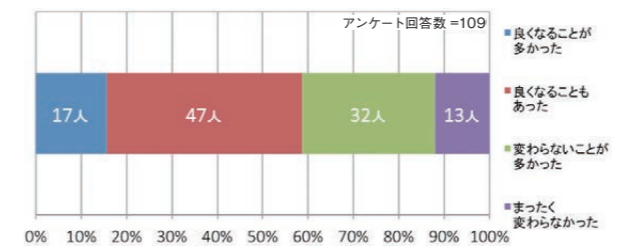


図11 申告への反応について

図12に前回と申告内容が異なる割合を示す。全体の申告の中で、90%以上が前回と同様の申告であり、居住者同士で「暑い」「寒い」という申告が、同時に発生する頻度が少ないことを確認した。一定期間の多数決を取る方式ではなく、最新の申告内容に反応する方式で設定値を変更しても良いことが確認できた。

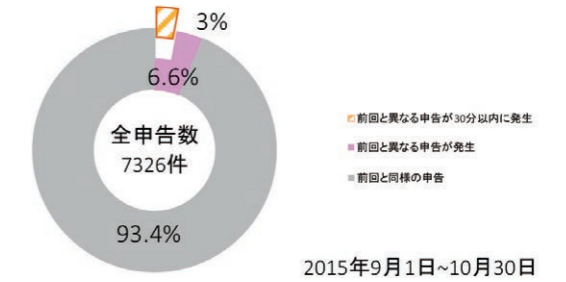


図12 前回の申告と異なる割合

また、他の居住者の申告操作をどう感じるかについて尋ねた結果(図13)、「気にならない/分からない」が84%と最も多く、「代わりに操作してくれて満足している」の10%と合わせると90%以上の結果となった。一方で、他の人の操作に不満の人は3%と少なく、実際に操作をしない人にも抵抗感なく許容されていることが分かった。

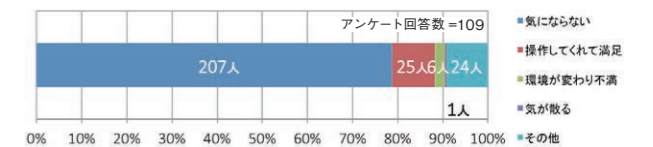


図13 他人の申告について

5. おわりに

ビル向けクラウドサービスの1つとしてテナントサービス機能を開発した。今後、2016年度からサービスを開始するが、今後も機能追加が容易というクラウドシステムならではのメリットを活かし、より多くの人に利用していただき、居住者一人ひとりの快適を実現できる商品として機能を拡張していく予定である。また、機能の一部として温冷感申告対応空調システムを開発している。居住者からの反応も良く、居住者の快適性向上に貢献するものと信じている。これからもグループ理念である「人を中心としたオートメーション」の下、オフィス居住者の快適性向上のために開発を続けていきたい。

<参考文献>

(1)川口玄 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, 2008, 2015-2018

(2)野部達夫:快適と省エネの両立を目指して, NEDO, ZEB・ZEHの最新動向の調査分析ならびに普及に向けた取り組みに関する検討(成果報告会)

<http://www.nedo.go.jp/content/100528958.pdf>

(3) 空気調和・衛生工学会 温熱環境委員会 我慢をしない省エネへ - 夏季オフィスの冷房に関する提言- 報告書, 2014

(4) 総務省 平成25年通信利用動向調査
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/pdf/HR201300_002.pdf

<商標>

BACnetは、ASHRAEの商標です。

<著者所属>

山地 和博	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
大曲 康仁	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
鈴山 晃弘	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
大野 巧真	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
太宰 龍太	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
三浦 真由美	技術開発本部基幹技術開発部

中小規模オフィスビルの空調ニーズに応えるセル型空調システムの開発

Cell Air Conditioning System for Small/Medium-Sized Office Buildings

アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	三枝 隆晴 Takaharu Saegusa	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	羽場 照芳 Teruyoshi Haba
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	伊藤 卓 Suguru Ito	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	長尾 泰司 Hiroshi Nagao

キーワード

セル型空調システム, ネクスフォート, 環境選択権, ダクト/冷凍サイクルシミュレーション, CFD, 気流切替付吹出口

中小規模ビル向けに、従来の部屋やゾーンより細かい空調エリア単位として「セル」という概念を導入した空調システムを開発した。本システムは、室内への風向を切り換える「体感気流切替機能付き吹出口」、セルごとの風量を変更する「セル風量分配ユニット」、設定器やコントローラなどから構成される。VAV空調やダクトビルマルチなど従来のダクト空調にない新たな機能として、より細かい単位での風量や風向の切替機能を備えている。本開発では、「人の温冷感」と「風量・風向制御」の関係を理論・実験・シミュレーションで分析し、そこで得られた知見をもとに、制御ロジックを考案した。そのロジックにより、人の温冷感申告に応じて、吹出口の風量や風向、室内温度といった個々の制御ループの設定を変えながら、「きめ細かな気流制御」や「気兼ねなく操作しやすい設定」など快適かつ利便な環境制御を提供する。

We have developed a cell air-conditioning system to meet the needs of small and medium-sized buildings. Instead of the conventional air-conditioning zoning method, our design applies smaller cells for more precise air distribution. The system is composed of diffusers whose direction can be changed, air branch units enabling air volume control, user interface units for occupants, and controllers. The system allows control of the air volume and direction to smaller spaces than VAV systems or variable refrigerant flow AC. We analyzed the relationship between thermal comfort and airflow volume/direction, based on theory, experimentation, and simulations, and applied the results to design the system's control logic. Based on the occupants' "votes," the control logic maintains a comfortable environment by adjusting the airflow volume and direction and the temperature in each control loop, providing finely tuned airflow control with a high level of usability that eliminates any user hesitation.

1. はじめに

ダクト空調は、ダクトや吹出口を設けて室内に空調空気を供給する方式で、吹出口の形状や数を設計することで、ビルオーナーや設計者の要望に合わせて、室内気流をデザインできる利点がある。しかし、ダクト空調は、空調機や熱源も含めて、占有スペースやコストがかかるため、中小規模ビルでの採用が減ってきている。

一方、最近の中小規模ビルでは、天井カセットビルマルチに代表される天井設置や床置のダクトレス空調機が主流

の方式として定着している。しかし、ダクトレスの場合では、室内の気流性能が装置固有の性能に左右されるが、風量や風向の制御範囲が限定され、気流や温度に関するクレームが起きやすい実態がある。

本製品の着眼点は、ダクト空調の良さを活かしつつ、個別空調性や省サイズ・省コストを満たすことである。そこで、空調機には、小型・分散化に優れるダクト接続タイプの小型ビルマルチを採用し、吹出口個別に風量や風向の制御機構をもたせている。

このたび紹介するセル型空調システム「ネクスフォート™」

は、中小規模のビル空調におけるクレームをいかにして減らすかに挑戦した空調システムである。その特長を以下に示す。

- (1) 空調クレームの皆無化を目指す手段の1つとして、居住者に設定操作を解放する手法に着目した。そのクレーム減少効果を高めるため、細かい単位で設定操作できる仕組みを構築する。(従来よりも細かい空調ゾーニングとなるため、本システムの設定単位をセルと名付けた。)
- (2) 最も理想的なシステムはパーソナル空調であるが、各居住者に専用の空調機器を提供することは施工上の制約が大きく、レイアウト変更等の運用変化に柔軟に対応しにくい。特に居住者のあらかじめ定まっているテナントビルには適用しにくい。そのため、従来の一般的な空調設備(天井部に吹出口等の空調機器を配するシステム)を前提とし、天井面の空調機器であっても細かいセル単位で環境を調整できる機能を実現する。
- (3) 居住者が設定器を自由に操作すると、極端な設定となり省エネルギーに反してしまうことが危惧される。過剰な空調設定を防ぐ仕組みも提供する。

以降は、2章と3章で製品のコンセプトや概要を、4章で提供機能の詳細解説を、5章と6章で製品を支える技術を紹介していく。

2. システム概要

セル型空調システムの構成を図1に示す。室内機は、天井隠蔽型のビル用マルチエアコンを採用し、標準的なパターンとしておよそ100㎡に1台の室内機を配置することを想定した。

セル型空調システムの風量制御機器として、セル風量分配ユニット、および体感気流切替機能付き吹出口がある。これらの機器を室内機からのダクトルートに組み込むことで、標準パターンでは1台の室内機を4つのセルに分割し、およそ25㎡(3.6m×7.2m)のセル単位で設定操作が可能とした。

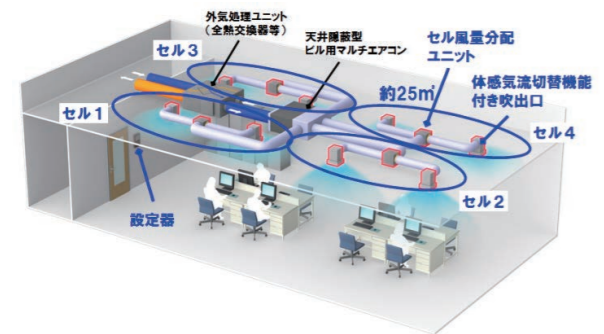


図1 セル型空調システム

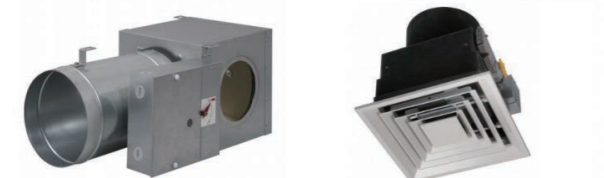


図2 セル風量分配ユニット 図3 体感気流切替機能付き吹出口



図4 設定器

3. 細かいセル単位の設定操作の実現

3.1 「環境選択権」の提供

空調への居住者満足感を高める方法の1つは、居住者が自由に設定操作できることである。これは、「環境選択権」と呼ばれる考え方に基づくものであり、クレームを減らす概念として注目されている。例えば、執務の効率と省エネルギーなどを勘案してビル管理者が設定した室内温熱環境下では、執務者は与えられた環境と感じ、クレームを発する。一方、同等の環境でも執務者がリモコン操作し、設定を選択した環境では、クレームが減少するとの知見が報告されている⁽¹⁾。

セル型空調システムでは、この「環境選択権」の考え方に基づき、従来の空調よりも細かいセルと呼ぶ単位で設定操作できる仕組みを構築し、居住者が操作しやすい環境を提供している。その実現のために、「セル風量分配ユニット」と「体感気流切替機能付き吹出口」をダクトに設置し、セル単位での設定操作を実現している。

3.2 気流の活用で「自己効力感」を提供

居住者の満足感を高めるためには、「環境選択権」とともに「自己効力感」という考え方も非常に重要である。「自己効力感」とは、行動した結果を確信する能力と定義される⁽¹⁾。設定を変更してもその効果を確認できなければ却ってクレームに繋がりがかねない。本システムでは、当該セルの居住者に設定変更の効果を感じてもらうことが必要であり、その実現が、大きな要求仕様の1つであった。

開発仕様の検討を重ねた結果、風量に加えて風向も制御する方法を採用した。従来の空調では、居住者にドラフト感を与えないように、冷気は直接居住域に吹かないのが一般的な考え方である。しかし、その一方で涼を要望する居住者にとっては、冷気は必ずしも不快なものではなく、むしろ「自己効力感」を高める上で非常に有効な手段になり得る。

セル型空調システムはこの居住者の要望に着目し、冷やす方向への設定変更があった場合には、風向を水平から斜めの気流に変更することで、居住者にその効果を体感してもらおう仕組みを組み込んだ。また、冷気を直接居住域に届けるため、冷える時間を短縮する効果も期待できる。



図5 気流活用による「自己効力感」の向上

風向変更のために開発した製品が、「体感気流切替機能付き吹出口」で、拡散(水平)気流と斜め気流の切替が可能となる。図6に、それぞれの風向の気流特性を示す。斜め気流では、居住域の風速が0.4~0.5m/sec以下になるようにし、過度なドラフト感がないように配慮した。また、ビル管法の基準である「気流0.5m/sec以下」の範囲内であり、ソフトで心地よい冷涼感のある気流を実現している。

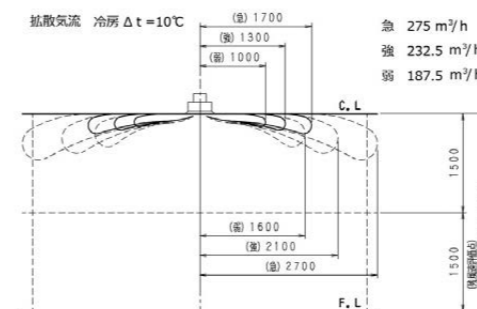


図6 体感気流切替機能付き吹出口 気流特性

4. 温冷感設定による「快適」「省エネ」の両立

前述のように、セル型空調システムは、細かいセル単位での設定操作を特長としている。その結果、居住者には設定操作できることによる満足感(=快適)を提供している。その一方で、過剰な設定値になりにくいという安心感と合わせて省エネルギーを実現する必要があり、そのための温冷感設定方式である。

4.1 気兼ねなく操作しやすい設定方式

ビルで働く人々の本質的な空調要望は、「現状より涼しくしたい」または「現状より暖かくしたい」というものである。暑くも寒くもないときには、特に要望を発することは少ない。また、暑い(寒い)と感じても我慢し設定変更しない人も少なくない。

こうした空調操作に対する心理的特性を踏まえ、本システムでは温冷感設定という新しい設定方式を考案した。その時の平均的な空調環境(=温冷感設定の中心位置)に比べて涼しめにしたのか、あるいは暖かめにしたのかを直感的に設定する方式である。この設定方式により、自分のセルの温熱環境を「涼しめ」「暖かめ」にすることが可能となる。

また、「一時的に涼しく」する設定も可能である。斜め気流の活用により、当該セルを急速に冷やす機能である。ただし、一定時間後には元の状態に戻るため、涼しい環境が長時間継続することはない。周囲の人達への気兼ねが少なく空調操作できる設定方式である。



図7 温冷感設定方式

4.2 過剰な温度設定値の抑制

セル空調の温冷感設定の概念を図8に示す。涼しめ(または暖かめ)の要求があると、第1段階として、気流(風量と風向)を変更する。温度変化に比べて、気流変化の方が応答が速く、人の温冷感にも即座に影響を与えるので、気流変更を最初に行う。

その後、居住者がその環境に満足しない場合には、さらに第2段階の変更操作が加わる。そこで、室内温度設定を変更する。なお、本システムでは、室内の天井に温度センサを設置しているが、その温度センサで室内温度を計測する。室内温度と設定の偏差に応じて、室内機側の温度設定を増減させる。

居住者は、温冷感設定の変更により、あたかも温度設定値を変更していると感じるであろうが、実際には設定変更の初期段階では気流(風量・風向)の状態だけを変化させ、温度設定値は変化させない。この際には前述した気流による「自己効力感」の向上作用も働かせることにより、設定変更した環境は居住者に受け入れられやすくなる。従来空調と異なり、むやみに設定値が変更されなくなる効果が期待される。

また、居住者の操作により変更される温度設定値を管理者が管理できる仕組みも用意している。1日数回温度設

定値をリセットすることができ、上下限値を定めることが可能である。これらの機能の活用により、管理者は意図する省エネ運用を確実に実行できる。しかも、居住者に設定操作という「環境選択権」を提供しているため、クレームが減少する効果も期待できる。

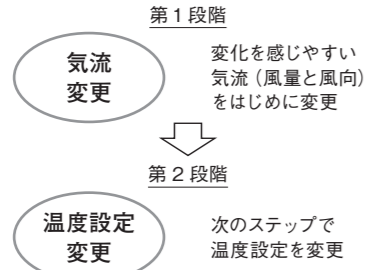


図8 温冷感設定 省エネ概念

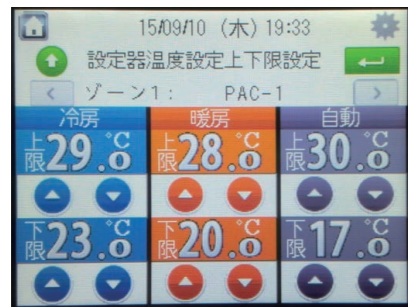


図9 設定値の上下限値設定画面

5. 製品の設計・検証環境の構築

ここまでは、開発製品について述べてきた。5、6章では、制御設計や検証で活用した制御技術やシミュレーション技術を紹介します。

5.1 実機実験環境

当社の温熱環境実験室に製品実機を設置し、制御設計と検証を進めた。また、後述のシミュレーションではモデル化を行っている。本実験室では、空調対象室の周囲6面に、温度を制御できるチャンバ空間があり、内壁3面、外壁、天井、床を模擬している。つまり、所定の周囲温度や外部負荷を与えることができるので、再現や比較の実験が可能である。実験室の外形と条件を、図10と表1に示す。

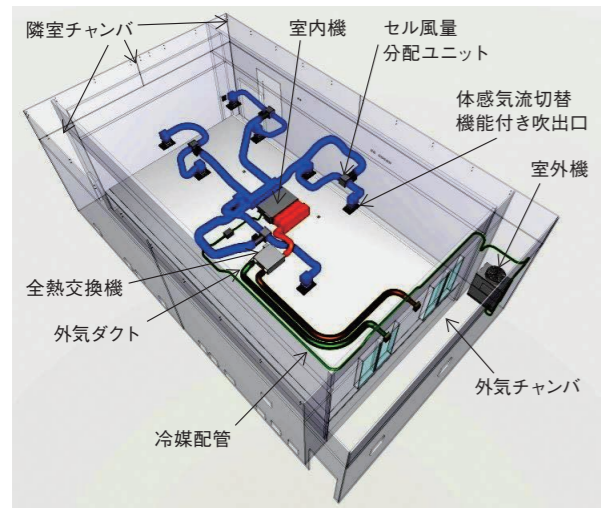


図10 実験環境の鳥瞰

実験対象室	縦8m×横15m×高さ3m;床面積120m ²
周囲チャンバ	外気チャンバ1面、隣室チャンバ3面 天井チャンバ、床チャンバ
内部負荷	9kW, 1kW電気ヒータ8台, 照明1kW
空調設備	室内機14kW, 室外機22.4kW

5.2 シミュレーション環境構築

当社では空調制御システムの開発のために、空調シミュレーションの研究を積み重ねてきている。本開発向けにシミュレーション環境を構築し、制御設計や効果検証に活用した。

従来のシステムより細かい単位での設定操作を可能としたセル型空調システムを評価するためには、それぞれの空調ゾーンでの温度分布など、温熱環境評価が重要である。その制御検討のためにはビル用マルチエアコンの冷凍サイクルモデリングが必要となった。そこで、冷凍サイクルの挙動から制御動作、室内環境まで動的に計算可能な数値解析シミュレータを研究し構築した。図11に示すように、セル型空調システムの一般的な計装を対象としてモデル化している。室内環境は図12のようにComputational Fluid Dynamics (CFD)ソフト上で空間モデルを作成する。

室内環境とビル用マルチエアコン、制御はそれぞれ別のシミュレータを用いて計算する。室内環境の計算には市販のCFDソフト「Flow Designer」を、ビル用マルチエアコンの計算には、早稲田大学齋藤研究室で開発した「Energy Flow +M」を、制御の計算には「MATLAB/ Simulink」を、それぞれ用いた。シミュレータ間で相互に情報をやりとりしながら計算させることでシステム全体の動的計算を実現している。

構築したシミュレーションを用いることで、室内温熱環境(図13)、ビル用マルチエアコンの冷凍サイクル(図14)、室内温度制御の挙動(図15)などの例のように、システムのあらゆる挙動・特性を把握することが可能である。

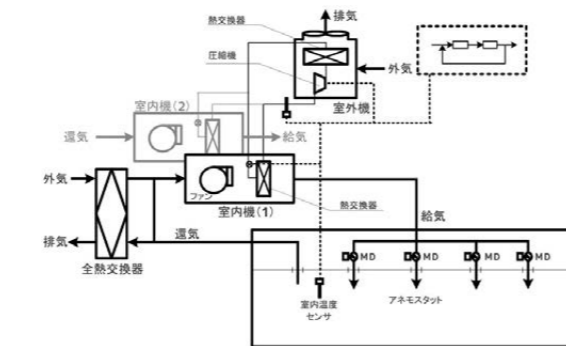


図11 システムのモデル概略

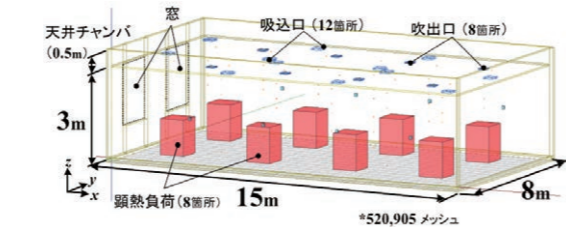


図12 部屋モデル (CFD)

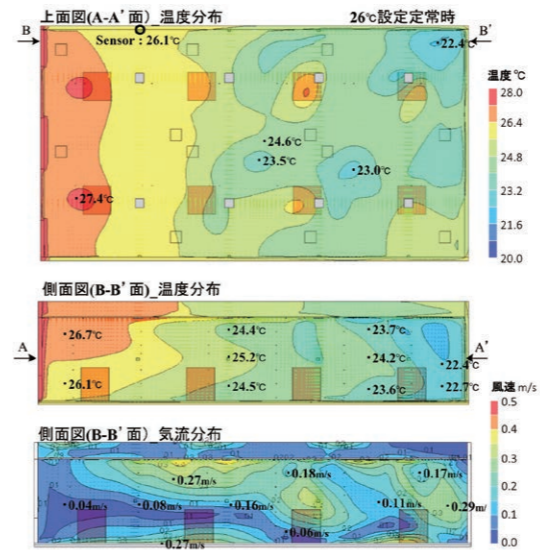


図13 室内環境の計算

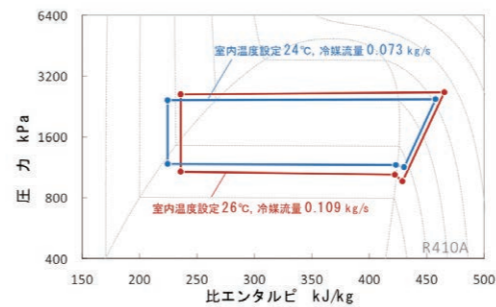


図14 ビル用マルチの状態計算

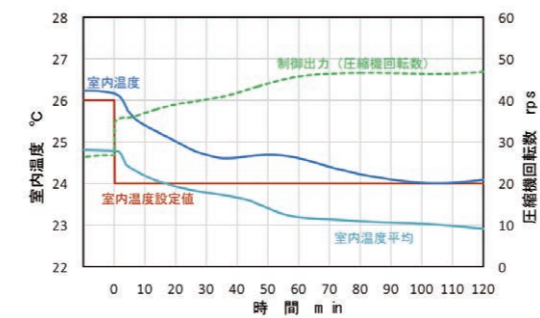


図15 室内温度制御の挙動計算

6. 設計・検証

前述した実験環境やシミュレーション環境を活用し設計や検証を行った。その代表事例として、「ダクト系の制御設計」、「室内温度分布検証」、「エコモード制御」を紹介する。

6.1 ダクト系モデリングと制御設計

風量・風向制御に関しては、本製品の標準的なパターンである図16のダクトシステムに対して、前述のシミュレータを用いて制御設計を行い、実機検証を行っている。

(1)シミュレーション

空調機ファンは、急/強/弱の設定のP-Q (圧力-風量)性能曲線(図17)をそれぞれ多項式化し、ファンへの運転指

令(急/強/弱)に応じて、曲線が切り替わるモデルとした。ファンの運転点は、ファンに接続される系全体のダクト抵抗に応じて決まる。すなわち、ダンパが閉じ気味で系全体の圧力抵抗が高ければ、ファン静圧が増し風量が減少する。逆に、ダンパが開き気味で系全体の圧力抵抗が小さければ、ファン静圧が減り風量が増加する。

吹出口に関しては、このたび開発した実機(図2、図3)に対して風量と圧力の関係を測定し、斜め吹出/水平吹出のそれぞれの圧力抵抗を求めモデルに設定した(図18)。

系全体の圧力抵抗は、その構成要素である「ダクト抵抗」、「ダンパ」や「吹出口」の装置抵抗などで決まってくる。ダクトにはフレキシブルダクトを用いていて、その直管や曲り(45°や90°)のダクト抵抗値の仕様値をモデルに設定している(図19)。

ファンP-Q特性と各部の圧力抵抗から、圧力バランス計算を行うことで、各部の風量や圧力が求まる。図20はシミュレーション結果の一例で、8個の吹出口風量のシミュレーション結果が、実測にほぼ一致していることを確認した。

(2)制御設計

次に制御設計について解説する。目標とする制御量は各吹出口の「風量」と「風向」であり、図16のように操作量は、①風量制御ダンパ②風向切替ダンパ③ファン運転指令(急/強/弱)となる。また、設定は設定器からの温冷感設定となる。

コントローラに実装されたロジックを図21に示す。コントローラは、設定器からの温冷感設定に応じて、ファン運転指令や開度、気流切替の指定を行っていく。そのための制御テーブルが用意され、温冷感指定に応じて、ファン運転指令や開度、気流切替を指令している。例えば、設定器で「涼しく」という指令があれば、制御テーブルを参照して、ダンパ開度を上げ、ファンを「急」に変更し、「涼しく」という居住者要求に追従させる。

前述のように、実測とシミュレーションでダクト制御系の挙動を明らかにしており、その結果をもとに、制御テーブルを定数化している。

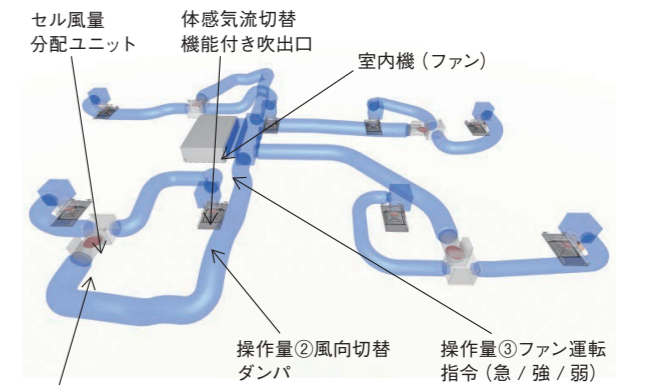


図16 ダクトシステム実機

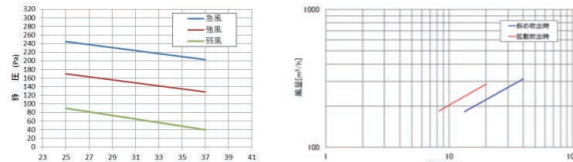


図17 室内機ファン 図18 吹出口の装置抵抗 P-Q 特性

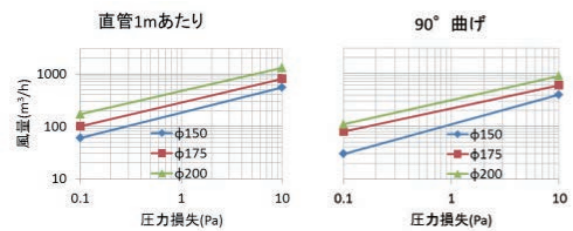


図19 ダクトの抵抗

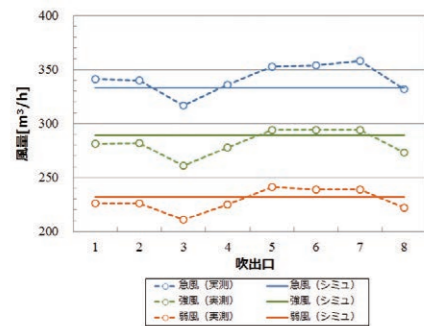


図20 実測とシミュレーションの比較

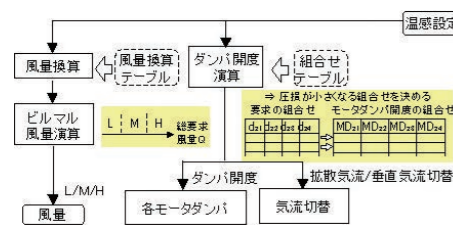


図21 ファン指令とダンパ開度指令

6.2 室内温度制御とその検証

セル型空調システムは細かなエリアごとに空調操作が可能であることが特長である。ここでは、細かなエリアで風量・風向を操作できることにより、室内環境へどう影響を与えるかをシミュレーションで検証した事例を示す。なお、本シミュレーションは室内環境の評価に特化しているため、CFDソフトのみを用いた。

縦14.4m×横7.2m×高さ2.7mの空間に対し、室内機を1台設置している一般的な天井隠蔽型の空調(従来型)と、同じく室内機を1台設置し、約25.7m²ごとにセル単位を設定したセル型の空調(セル型)を比較する。

夏期の昼間を想定しており、南西の日射負荷が大きい条件とした。吹出口は8つあり、セル型はセルごと2つの吹出口がある。風量や風向、給気温度などのシミュレーション条件を表2に示す。

図22にシミュレーションにより得られた床上高さ1.1mの温度分布を示す。従来型は南西に熱が残ってしまい、29℃程度となっている一方で、北東は24℃以下に冷えており、大きな温度分布がついていることが分かる。一方、セル型

は南西と北東の温度分布の差は小さく、部屋全体がほぼ24℃~27℃に収まっていることが分かる。

このようにセル型空調は、総風量や給気温度は従来と同じでも、空調操作できるゾーンを細かくしたことで、部屋の負荷偏在にあわせてきめ細かい空調が可能となる、部屋全体を均一な環境にすることができる。

表2 シミュレーションの吹出口条

	従来型	セル型
給気温度 °C	16.0	16.0
給気風量合計 m ³ /h	2100.0	2095.4
吹出口風量 m ³ /h	262.4	北東: 143.0 北西: 262.4 南東: 262.4 南西: 379.9
吹出口風向	水平	北東: 水平 北西: 水平 南東: 水平 南西: 斜め

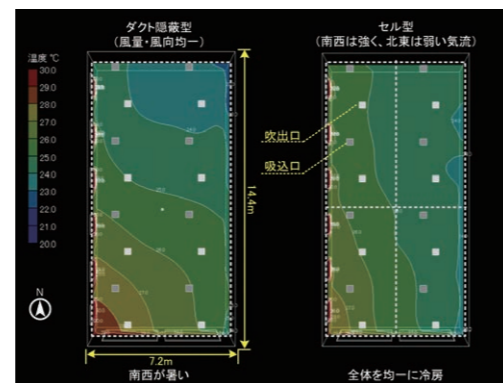


図22 従来型とセル型の室内環境比較

6.3 エコモードとその検証

セル型空調システムには、当社がセントラル空調の制御技術で培った省エネ制御技術も適用している。その1つがエコモード運転である。利用者は、設定器でエコモードを選択するだけで簡単に快適性を損なわれにくい省エネルギー運転に切り替えることができる。温熱実験室(図10)のセル型空調システム実機にて、エコモードを稼働させ検証・比較を行った。通常モードでは、26℃一定とし、エコモードでは26~28℃設定が周期的に変動してゆく。設定値を周期的に変動させることからゆらぎ制御とも呼んでいる。

エコモードでは、外気温度が室内より高い夏期に、温度設定値を周期的に上下させながら設定値を緩和する独自の省エネ運転を行う。図23に示すとおり、設定値の上下に伴い室内温度も上下する。このときの電力消費の状況が図24である。この図より、大部分の時間帯においてエコモードのほうが通常モードよりも低消費であることが分かる。

一部の時間帯(設定値を下げている1:00~1:30)には、エコモードの電力消費が高くなったが、2時間30分間の電力消費量は、エコモードのほうが約9%省エネルギーであった。

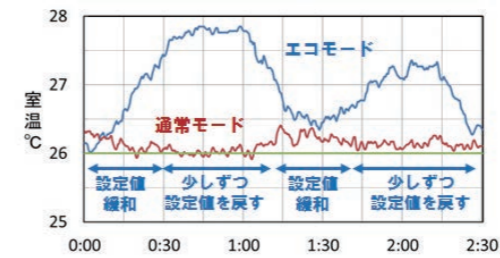


図23 室内温度の推移

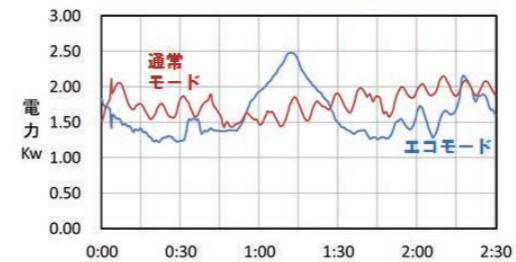


図24 電力消費の推移

7. 謝辞

冷凍サイクル制御やシミュレーション技術に関して、早稲田大学基幹理工学部齋藤潔教授に多大なご支援・指導を頂きましたので、御礼を申し上げます。なお、本開発に活用した冷凍サイクルシミュレータ「Energy Flow+M」は、齋藤研究室で研究開発されたものです。

8. おわりに

新たな製品として中小規模オフィスビルの空調ニーズに応えるべく、セル型空調システムを開発した。

空調ゾーンをより細分化し、専用の設定器で温冷感を設定するという機能を提供し、「きめ細かな気流制御」や「気兼ねなく操作しやすい設定」を実現した。

一方で、ダクト施工や天井意匠に関しては、サイズや形状など様々な要求が予想される。また、近年のIoT技術の進歩に伴い、新たな操作端末や通信方式の利用要望も想定される。想定される将来の顧客ニーズに対応するために、さらなる技術開発を進め、将来に新たな製品ラインアップを拡充することも計画している。

<参考文献>

- (1)野部達夫:次世代空調特論「ヒューマンファクターの可能性」, 東京ガス情報誌「Live Energy 102号」pp12-15 (2013.6)
- (2)齋藤, 大野他, 空間-熱源-制御のマルチフィジックス連成シミュレーションに関する研究 -空気熱源ヒートポンプと連成アルゴリズムの構築-, 2014年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, 2014.9
- (3)齋藤, 伊藤, 齋数, 三枝他, 空間-熱源-制御のマルチフィジックス連成シミュレーションに関する研究 -第二報 冷凍サイクル/ダクト空調の連成解析-, 2014年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集

<商標>

- ・FlowDesignerは株式会社アドバンスドナレッジ研究所の商標です。
- ・MATLAB及びSimulinkはThe MathWorks, Inc.の商標です。
- ・ネクスフォートは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 三枝 隆晴 ビルシステムカンパニー 開発本部開発2部
- 羽場 照芳 ビルシステムカンパニー 開発本部開発2部
- 伊藤 卓 ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
- 長尾 泰司 ビルシステムカンパニー セキュリティワークスペース本部 ワークスペースソリューション部

サーモグラフィによる工程検査システムの開発

A Process Inspection System Using Thermography

アズビルトレーディング株式会社

越口 一敏
Kazutoshi Koshiguchi

アズビル株式会社
技術開発本部

瀬戸 新一郎
Shinichirou Seto

アズビル株式会社
技術開発本部

金原 圭司
Keiji Kanehara

キーワード
熱画像, サーモグラフィ, 画像処理, ホットメルト, 温度分布, 自動判定

飲料用のペットボトルや缶の梱包は、ホットメルトを用いた接着を行うことで段ボール箱を形成する「パッケージ成形ホットメルトライン」という工程で行われている。従来の良否判定装置は、可視画像を用いて行っており、塗布直後のホットメルトの形状しか検出できず、実際の接着状態の判定ができない課題があった。そこで、可視画像の代わりに熱画像を取得可能な赤外線サーモグラフィを用いて、塗布後に段ボールを張り合わせた状態でのホットメルトの形状を収集して、それを画像処理することにより良否判定が行えるシステムを開発した。

Packaging of plastic beverage bottles and cans is done on a package production line which constructs cardboard boxes using hot melt adhesive. Existing quality testing equipment uses a visible-light image that detects only the shape of the hot melt immediately after application, leaving uncertainty as to whether the box is actually bonded. Instead of using a visible-light image, our testing system processes infrared thermographs of the hot melted cardboard bond in order to judge its quality.

1. はじめに

人件費の高騰、品質の安定などの様々な要因により、生産現場における自動化の要求が増えてきている。生産の自動化において、ワークの位置決めや検査などで人の目の代わりとなる画像処理技術が重要な要素となっている。当社においても生産に適用するための画像処理技術の開発を行っており、実際の生産現場にて利用している。生産の自動化を進めていく中で、食品や飲料、鉄鋼、化学、自動車、電気電子など温度の計測を必要とする対象がある。温度計測の方法として熱電対を用いた接触式の温度計測が多く用いられているが、食品など非接触で離れた場所から温度を測定しなければならない場合がある。非接触による温度計測の方法として、放射温度計が以前から用いられているが、放射温度計では計測箇所は点での計測となるため温度分布を求めることは難しい。点による計測ではなく温度分布による面の2次元データの計測ができると、温度ムラ

や局所的な温度異常なども分かり品質の安定が望める。従来から、可視光カメラのように面である2次元データとして温度計測可能な赤外線サーモグラフィがあるが高価であった。しかし近年、赤外線サーモグラフィは比較的安価な製品を手に入れることができるようになってきた。また大きさについても生産現場で適用可能なサイズであり、データを取得するためのインターフェースも、可視光の画像処理で用いられている汎用のカメラ接続インターフェースを持つ製品が入手可能となってきている。そこで、赤外線サーモグラフィと画像処理技術を組み合わせ、塗布したホットメルト検査に有効な「サーモグラフィ良否判定システム」を開発した。

2. パッケージ成形ホットメルトライン

開発した赤外線サーモグラフィを用いた良否判定システムの適用対象である「パッケージ成形ホットメルトライン」について説明する。パッケージ成型ホットメルトラインは主に

運搬用段ボール箱(飲料やトイレタリー商品)を閉じるために160℃程度のホットメルト(糊付け)を塗布し接着を行うラインである。飲料の缶ケースの場合、3面(左右面合計16箇所程度、上面6箇所程度)にホットメルトを塗布し接着を行う。1分間に60箱から100箱のスピードで生産されており、繁忙期になると24時間稼働を行っている工場も多い。ホットメルトを塗布し段ボールを接着する工程では、塗布による不良が発生する場合がある。発生する不良モードとしては、「位置不良」、「のり不足」、「のり欠け」、「のり過多」、「のり飛び」、「圧着不足/温度不足」、「のり切れ」がある。現在は検査方法として主に以下の方法がある。

- ① 抜き取り目視検査
- ② 可視光カメラでの確認

①の場合は30分に1回程度抜き取り検査を行っている。接着面を剥がし、糊付け部分の接着具合を確認、糊が塗布されている長さ確認などを行っており、不具合を発見した場合、30分前までの生産数量分すべてをチェックする必要がある、それらの人的コストや作業時間を要する。②に関しては、ホットメルト接着部分が紙の間にあるため、可視光カメラで確認しようとする箱を閉じる前に判定を行う必要がある。この場合は接着前の確認になり、実際、接着できたかどうかの確認はできない。これら従来の検査方法では課題があり、パッケージ成形ホットメルトラインでは検査工程において生産性と品質の向上が期待されていた。

3. サーモグラフィ良否判定システムの構成

これらの課題を解決するため、接着後の段ボール表面温度を測定し、ホットメルト位置や数量、面積等を検査し判定することで、ラインを止めることなく接着後の全数チェックを可能とする「サーモグラフィ良否判定システム」を開発した。パッケージ成形ホットメルトラインにサーモグラフィ良否判定システムを導入するにあたり、必要となるシステムの構成を図1に示す。システムは3台のサーモグラフィとパネルコンピュータおよびサーモグラフィへの電源供給も兼ねるPower over Ethernet (PoE)ハブで構成される。3台のサーモグラフィを用いることで、段ボールの3面に塗布されたホットメルトの2次元熱画像を取得することができる。動作としては、まずサーモグラフィによりホットメルトが塗布された段ボール表面の2次元温度データ(以下2次元熱画像)を取得する。図2に段ボールに塗布したホットメルトの2次元熱画像をサーモグラフィで取得した例を示す。サーモグラフィで取得した2次元熱画像データは、PoEハブを通してパネルコンピュータに渡される。パネルコンピュータは、サーモグラフィで取得した2次元熱画像データを、後述するアルゴリズムに基づき判定処理し、また本システム全体のコントロールを行う。

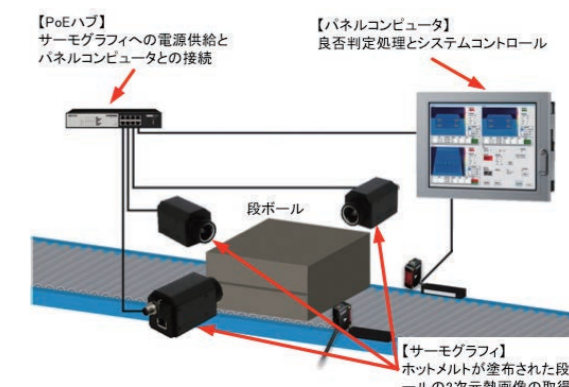


図1 システム構成図

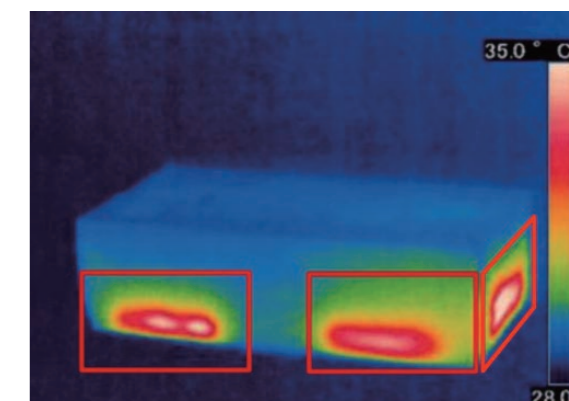


図2 段ボールに塗布したホットメルトの2次元熱画像

4. パッケージ成形ホットメルトラインにおける検査技術

パッケージ成形ホットメルトラインにおける検査(良否判定)は、ホットメルトを塗布し、段ボールを張り付けた状態で行う。通常の可視光カメラでの輝度情報と異なり、サーモグラフィを用いることで2次元熱画像を取得することができ、放射温度計とは異なり面として温度情報が得られる。ホットメルトを塗布し段ボールを張り合わせた状態で、伝熱による段ボール表面でのホットメルトの間接的な温度分布を測定することが可能となるため、得られたデータを元に画像処理を行うことで、実際に接着したホットメルトの塗布位置と範囲およびその温度分布を求めることができ、ホットメルト塗布の良否判定を行うことができる。以下で各モードの検査方法を紹介する。

4.1 各不良モードの検査方法

ホットメルトを段ボールに塗布した状態で、塗布したホットメルトの形状による不良の種類を模式図を図3に示す。



図3 ホットメルト不良の種類模式図

不良モードとしては、「位置不良」、「のり不足」、「のり欠け」、「のり過多」、「のり飛び」、「圧着不足/温度不足」、「のり切れ」がある。ホットメルトの塗布状態は、サーモグラフィから得られた1枚の2次元熱画像に対して以降4.1.1から4.1.3に示す3つのアルゴリズムを用いることで、良否判定および各不良モードの検出が可能となる。

4.1.1 位置不良、のり飛び不良

位置不良、のり飛び不良の例を図4に示す。位置不良は通常塗布されるべき位置からずれた場所に塗布されてしまった不良である。のり飛び不良は、塗布されてはいけない場所に塗布された不良である。これらの不良モードは、塗布されてはいけない場所に塗布されているという点で良否判定アルゴリズムとしては共通の処理にて可能となる。良否判定の方法について示した模式図とその処理手順のフローチャートを図5に示す。

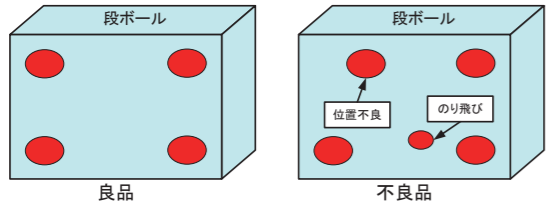


図 4 位置不良、のり飛び不良模式図

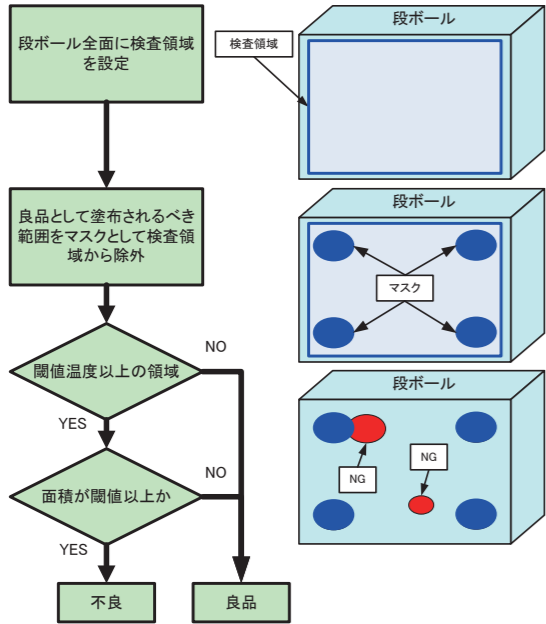


図 5 位置不良、のり飛び不良の判定フローチャート

2次元熱画像を元に、良品として塗布されるべき範囲をマスクして検査領域から除外した残りの領域に対して温度で閾値を設定してホットメルト塗布領域を抽出し、その面積を求め良否判定を行っている。これにより、単純な温度での判別ではなく温度分布を元にした判断が可能となり特にのり飛び不良の検出が容易に可能となっている。

4.1.2 のり不足、のり過多、圧着不足/温度不足、のり切れ不良

のり不足、のり過多、圧着不足/温度不足、のり切れ不良の例を図6に示す。のり不足不良は、ホットメルトの量が少ない不良であり、のり過多不良は、逆に多く塗布された不良である。圧着不良は、塗布後に段ボールを折り曲げて張り合わせた際に圧着が不足して隙間が生じてしまい接着力不足となる不良であり、温度不足不良は、塗布したときのホットメルトの温度が低いため流動性が低下し、段ボールを折り曲げて張り合わせてもホットメルトが広がらず接着力不足となる不良である。のり切れ不良はホットメルトが塗布されていない不良である。これらの不良モードは、塗布されたホットメルトの温度と面積を元に判定が可能であり、共通のアルゴリズムで処理が可能である。良否判定の方法について示した模式図とその処理手順のフローチャートを図7に示す。

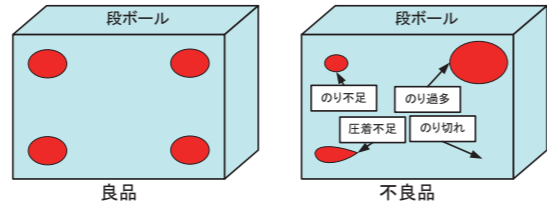


図 6 のり不足、のり過多、圧着不足/温度不足、のり切れ不良模式図

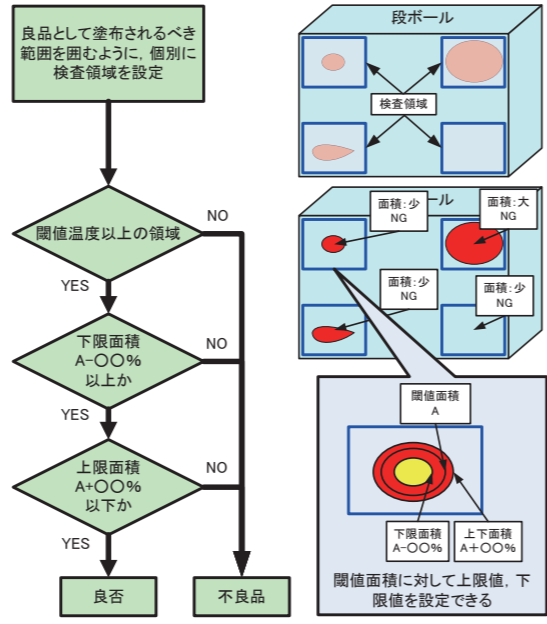


図 7 のり不足、のり過多、圧着不足/温度不足、のり切れ不良の判定フローチャート

2次元熱画像を元に、画像処理にて温度の閾値でホットメルト塗布領域を抽出し、個別の検査領域ごとのホットメルト塗布面積を算出する。求めた個別の検査領域ごとの面積値から良否判定を行うが、良品の面積値にばらつきが存在するため、面積の閾値に上限値、下限値を設けその範囲内であれば良品とする。単純な温度判定のみでは、本来は不良とすべき「閾値温度以上だがホットメルト塗布領域が小さい場合」に良品と誤判定してしまうが、面積を用いること

で誤判定をなくすることができる。また、閾値温度以上のホットメルト塗布面積のばらつきを考慮した判定が可能となる。

4.1.3 のり欠け不良

のり欠け不良の例を図8に示す。のり欠け不良は、ホットメルトの塗布された領域が途中で分断されてしまっている不良である。途中で分断されている状態は、ホットメルト塗布装置における異常であるため不良として検出する必要がある。良否判定の方法について示した模式図とその処理手順のフローチャートを図9に示す。

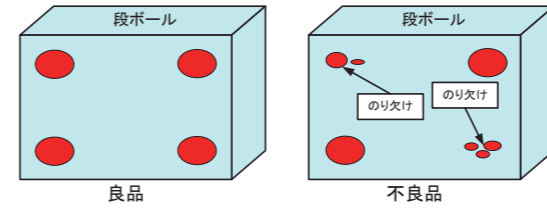


図 8 のり欠け不良模式図

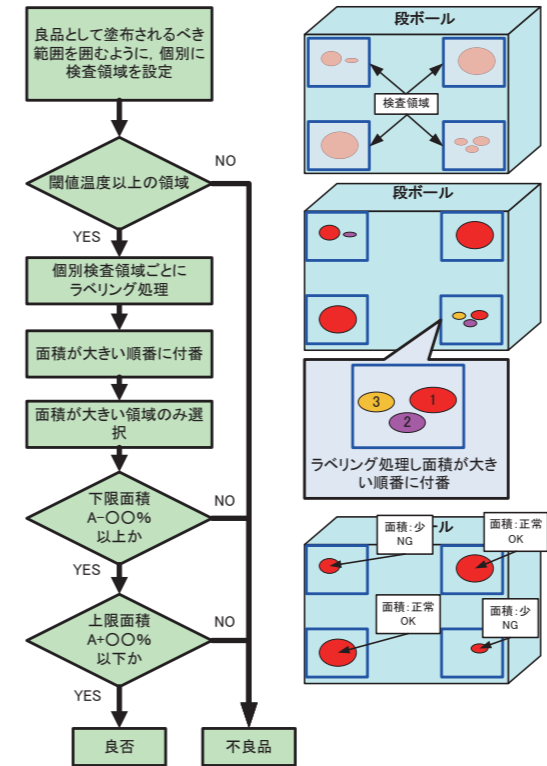


図 9 のり欠け不良の判定フローチャート

2次元熱画像を元に、画像処理にて温度の閾値でホットメルト塗布領域を抽出し、個別の検査領域ごとのホットメルト塗布面積を算出する。ただしのり欠け検査では、検査領域内に複数の分離したホットメルト塗布領域が存在する。そのため単純に温度閾値を元に求めた面積値では、複数領域面積の和となり、ホットメルト塗布領域が分かれていても良品になってしまう場合がある。そこで、求められたホットメルト塗布面積領域に対してラベリング処理を行う。ラベリングした各領域に対して面積が大きい順に番号を付番し、個別の検査領域ごとに一番大きな面積を持つホットメルト塗布領域のみを選択する。選択した領域を元

に面積値で判断することで複数のホットメルト塗布領域に分かれた場合でも良否判定を行うことができる。この時、面積の閾値に上限値、下限値を設定することでホットメルト塗布におけるばらつきを考慮した判定が可能である。

4.2 トレンド表示機能

前記4.1章の各不良モードの検査方法で述べた「閾値温度」の設定を行う補助ツールの1つとして、トレンド表示機能がある。2次元熱画像に、温度変化を知りたい領域を設定することで、その領域の温度変化を、数値データおよびグラフとして表示することができる。求めた温度のトレンドから、検査設定における温度閾値の目安を求めることが可能となる。トレンド表示機能では以下の設定が可能である。

- ①領域設定は、矩形領域を10箇所まで設定可能。
- ②各領域のモニタ温度として、領域内最高温度or最低温度or平均温度を選択し、そのトレンドを表示することが可能。
- ③サンプリング周期は1秒~100秒が選択可能。

図10はトレンド表示機能の例として、ホットメルトの自然冷却状態を測定したものである。

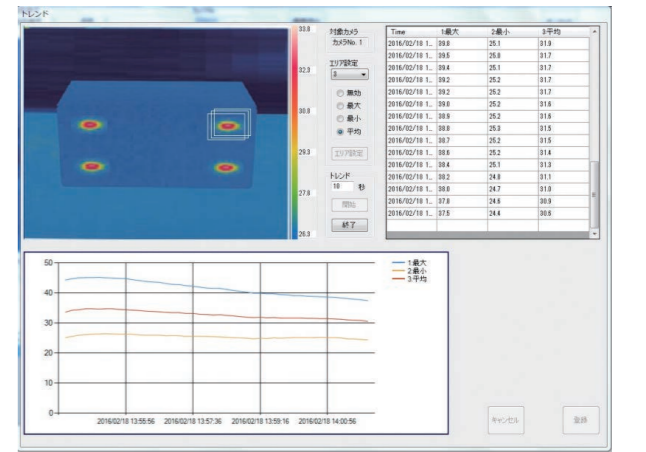


図 10 トレンド表示機能

ホットメルトは、最初約45°Cの状態から、周囲温度約24°Cに向かって、徐々に自然冷却している。図10におけるトレンド表示の設定は以下である。

- ・領域設定は1, 2, 3の3箇所。特定のホットメルトおよび周囲を含んでほぼ同一領域に設定(図10内白枠)。
- ・各領域は、領域1(最高温度), 領域2(平均温度), 領域3(最低温度)をモニタとして選択。

図10のトレンド表示から、領域3(最低温度)は約24°Cで、これは周囲温度を意味しほとんど変化していない。領域1(最高温度)は、約38°Cで、ホットメルト温度がここまで冷却したことが分かる。

本例では特定のホットメルトの冷却過程を測定したが、領域設定は10箇所可能なので、例えば他のホットメルトの温度変化も測定し、比較することも可能である。

このように、トレンド機能を用いることにより、2次元熱画像中の、背景/物体の各部位の温度変化を、簡便に知ることができ、検査設定における閾値温度を設定するための指標とすることができる。

5. サーモグラフィ良否判定システムの現場への適用

開発したサーモグラフィ良否判定システムは基本検査機能として、以下の(1)、(2)を、付加機能として以下の(3)、(4)、(5)を有する。

- (1) 良否判定
ホットメルトの位置、たれ、飛び散り、面積の増減等の判定
- (2) 検査速度・データ保存
100箱/分に対応した検査速度、および結果画面のスクリーン保存、検査結果の数値をCSVデータに保存
- (3) 品種設定
15品目の品種設定
- (4) 検査位置補正
段ボールの位置あわせのための判定エリアの位置補正機能
- (5) 温度基準差分判定
基準との温度比較による、朝晩の温度差や季節による温度差の影響低減

これらの基本機能、付加機能によりパッケージ成型ホットメルトラインにおけるホットメルト塗布検査の生産性向上および品質向上を実現する。

実際にパッケージ成型ホットメルトラインに導入した際の判定画面を図11に示す。図11よりホットメルトの温度を段ボールの表面からサーモグラフィで測定することで、2次元熱画像にてホットメルト塗布による接着部を確認できる。サーモグラフィ良否判定システムにより接着部の面積を求めることで、確実に接着されているか、また、ホットメルト塗布量が適当かどうか全数チェック可能となる。そのため、従来の人による抜き取り検査を行う必要がなく、ホットメルト塗布検査の時間短縮に大きく貢献できる。

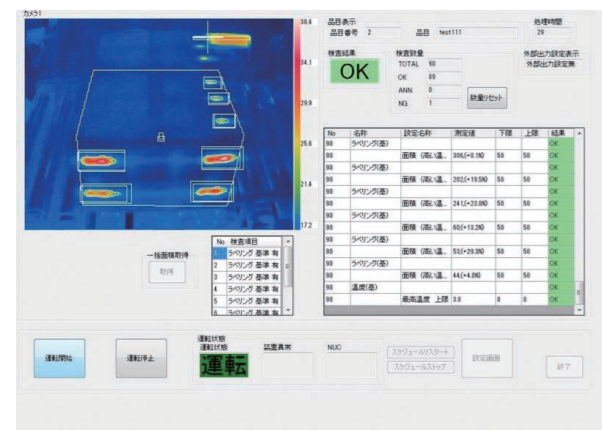


図11 判定画面

6. アプリケーションの展開例

開発したサーモグラフィ良否判定システムは、食品/飲料/鉄鋼/化学/自動車/電子・電気等の市場における幅広いアプリケーションに展開できる。以下にその一例を示す。

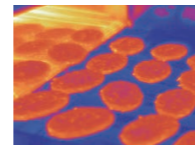
- 成形品の品質管理
ペットボトル成形時の温度管理
形状検査



- 充填物容量検査
飲料の充填容量可否検査
ガスボンベのガス充填有無検査



- 食品製造時の品質管理
製造時の温度管理(面積・長さ・幅)
冷凍食品の解凍時の温度管理



- 温度上昇によるトラブル監視
ゴミピットの温度異常監視
設備の温度監視



7. おわりに

赤外線サーモグラフィから得られるデータは2次元データであるため、可視光カメラで用いられている画像処理技術をそのまま適用可能である。また本文で記載したパッケージ成型ホットメルトラインでの検査への適用のように、可視光では不可能であった温度分布を元にした画像処理が可能となり、今後生産現場だけでなく様々な用途でサーモグラフィから得られる2次元熱画像を用いた画像処理技術の利用が広がると考えられる。

<参考文献>

- (1) 吉田 慎吾, 診断に使われる赤外線サーモグラフィ, 画像ラボ, 2013年8月号

<著者所属>

- 越口 一敏 アズビルトレーディング株式会社
営業推進本部安全営業部
- 瀬戸 新一郎 技術開発本部基幹技術開発部
- 金原 圭司 技術開発本部基幹技術開発部

封入液量を極少化した圧力センサ構造の開発

A New Pressure Sensor Structure with Minimal Enclosed Oil

アズビル株式会社
技術開発本部

田中 達夫
Tatsuo Tanaka

キーワード
圧力センサ, 封入液, 圧力センサ構造, ダイアフラム

プロセスオートメーション (PA)、ファクトリオートメーション (FA)、さらにサニタリ市場等、多岐にわたる市場に多くの価値を提供できると考えられる、小型圧力発信器向けの圧力センサ構造を開発した。この圧力センサ構造は、過大圧保護機構を内蔵した新型圧力センサ素子を搭載している⁽¹⁾。新型圧力センサ素子は、圧力検出部の上下に圧力導入室を備え、圧力伝達媒質である封入液の量を極めて少なくすることが可能である。封入液量が極少化されると、周囲温度影響による特性劣化を最小限に抑えられ、高精度化が可能となる。今回開発の圧力センサ構造の封入液量は、従来比1/10以下となっている。

We have developed a pressure sensor structure for small pressure transmitters that we believe will benefit process automation, factory automation, and various markets such as the sanitary market. The pressure sensor structure is equipped with a new pressure sensing element with built-in overpressure protection. The new pressure sensing element has a pressure introduction chamber both on the top and the bottom of the sensor detector, and contains only a very small amount of enclosed oil as the pressure transmission medium. Minimizing the amount of oil minimizes the degradation of characteristics caused by the ambient temperature, allowing higher precision. The amount of enclosed oil is reduced to less than 10 % compared with the existing structure.

1. はじめに

圧力は物理現象を把握する上で基本的な指針となる物理量であり、その計測のための手法および機器類の研究、開発が長年繰り返されてきた。現在も圧力計測は、その重要度を増しており、技術的改良が続いている。当社は空気式圧力計の開発、販売からスタートし、約60年間の圧力発信器の開発、販売の実績を持つ。1980年代半ばには圧力検出部を半導体素子化し、その出力をマイクロコンピュータを搭載したエレキモジュールによりキャラクターゼーションすることで高精度化する製品を開発し、販売を開始した。以来、半導体ピエゾ抵抗式圧力センサでは、国内屈指の実績を誇る。現在ではプロセスオートメーション (PA)、ファクトリオートメーション (FA)、さらにサニタリ市場等、多岐にわたる市場へ、図1のような製品を提供し、多くの顧客から高い評価をいただいている。



図1 当社の圧力発信器製品群

これらの製品は、計測対象の多種多様な条件に対応し、かつ圧力検出部周辺の雰囲気安定化させるために、圧力検出部を封入液で覆い、バリアダイアフラムと呼ばれる隔膜経由で圧力計測する方式を採用している。

一方、この封入液は前記特長を持つ反面、温度変化による膨張・収縮によりバリアダイアフラムを変形させ、圧力センサ出力に影響を与える。よって封入液量を低減するほど、温度特性は改善されることになる。

一般に封入液充填空間は、バリアダイアフラムの可動域を維持するための空間と、圧力検出部への圧力伝達のための空間との2つの領域に区分でき、その比率は1:1程度である。このうち圧力伝達のための空間は、理想的には伝達経路を確保する最少量まで低減可能である。これにより、バリアダイアフラムの可動域の比率が高まり、バリアダイアフラムの直径の小型化が可能となり、封入液量を大幅に低減できる。

今回当社では、上記の思想に基づき、従来に比べバリアダイアフラムの直径が小さく、封入液量を極少化した圧力センサ構造を開発した。本開発により多岐にわたる市場に、より多くの価値を提供できると考えている。

2. 従来の圧力センサ構造

今回開発した新型圧力センサ構造の説明に先立ち、半導体ピエゾ抵抗方式を使用する代表的な圧力センサ構造について、図2を用いて説明する。

図2の中央部には従来の圧力センサ素子の構造を示す。シリコン層の上部に圧力検出部が形成され、シリコン層の下部には金属筐体であるダイアフラムベースと絶縁するためのガラス層が接合されている。

圧力検出部とピンはワイヤで接続されている。このピンを経由し圧力センサ素子の出力は外部へ取り出される。ピンは、ガラスによりダイアフラムベースに絶縁支持される。また充填された封入液をハーメチックシールで絶縁封止する。

圧力センサ素子の構成要素の1つであるガラス層の線膨張率は、ダイアフラムベースの材料であるステンレスの線膨張率とは大きく異なる。よってこれら2部品を接合する際に、直接エポキシ系接着剤等で接着すると、温度変化時にこの線膨張率の差に起因するひずみを圧力検出部に発生させる。このため、温度変化が大きい場合には、測定精度を低下させる一因となる。

この影響を低減させるために、従来から各種の構造上の工夫がされてきた。多くの場合、2部品の間にこれら2部品の中間程度の線膨張率を持つ緩衝材をはさみ、圧力検出部への熱ひずみ伝搬を低減させる手法が採用されている。このような部品の材料としてKOVAR、42アロイなどの低線膨張率がよく使用されている。

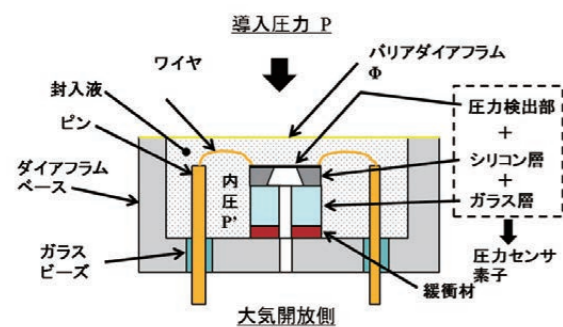


図2 従来の圧力センサ構造

圧力センサ素子の周囲には封入液が充填される。封入液は圧力伝達媒質として、プロセス圧を圧力検出部へと伝える。今、プロセス圧をP、内部の封入液部の圧力をP'とすると、これらの圧力差 ΔP とダイアフラムの変位、すなわちプロセス圧による封入液の圧縮による体積変化 $\Delta V1$ との間に、

$$\Delta P = P - P' = \Delta V1 / \phi \quad (1)$$

という関係が成立する。ここで ϕ はバリアダイアフラムのコンプライアンスで、

$$\phi = Kd^6 / t^3 \quad (2)$$

であらわされる。単位圧力変化あたりの容積変化の割合を示す物理量である。式(2)でKはバリアダイアフラムの形状によって決まる定数、dは直径、tは厚みである。

封入液の容積変化は、周囲温度変化による封入液の膨張・収縮によっても発生する。この場合の容積変化量を $\Delta V2$ 、封入液量の容積をV、膨張係数を α 、周囲温度変化幅を ΔT とすると、

$$\Delta V2 = \alpha V \Delta T \quad (3)$$

となる。この場合も、

$$\Delta P = P - P' = \Delta V2 / \phi \quad (4)$$

が成立する。

圧力センサ構造の設計思想は、「式(1)の $\Delta V1$ 、式(4)の $\Delta V2$ をそれぞれ小さくする、あるいは式(1)の ϕ を大きくすることで、 ΔP を小さくする」、である。 ϕ は式(2)に示すようにバリアダイアフラムの直径と厚みに大きく影響される。すなわち直径が大きく、薄いほど ϕ が大きく、 $\Delta V1$ 、 $\Delta V2$ による圧力損失が小さくなり圧力センサ構造の出力の高精度化が可能となる。

上記のように従来の圧力センサ構造は、ハーメチックシール構造および低線膨張率性の台座を持つ。これらにより圧力センサ素子の出力精度の低下は抑制されるが、特殊構造、特殊材料であり、コストの観点から適用時に最も工夫が要求される部位である。また、圧力センサ素子出力の精度は、バリアダイアフラムの直径と封入液量とのバランスの取り方に大きく依存する。

ところで ΔP は、圧力センサ構造の後段に接続されるエレキモジュールによりキャラクター化が可能である。よって封入液量が多くてもバリアダイアフラムの動作の再現性さえあれば問題はない、という考え方もある。しかし封入液量の増加は、バリアダイアフラムの変位域の増加を招き、圧力ヒステリシスやサーマルヒステリシスの増加を誘発する。ヒステリシスは補正では除去できないため、ヒステリシスが小さいほど、圧力センサ構造の出力高精度化へ寄与できることになる。

3. 開発した新型圧力センサ構造

今回当社では、2章で説明した従来の圧力センサ構造を発展させた、新型の圧力センサ素子および圧力センサ構造を開発した。この構造図を図3に示す。

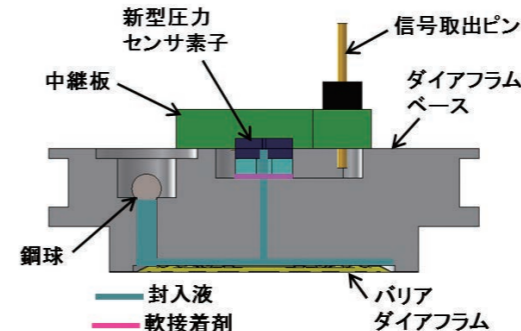


図3 新型圧力センサ構造

新型圧力センサ構造では、封入液は図3に示すとおりわずかな空間にのみ存在する。新型圧力センサ素子は、圧力容器であるダイアフラムベースに直接接着され、封入液を封入後、鋼球を抵抗溶接することで封止する。中継板は新型圧力センサ素子からの出力を、信号取出ピン経由で外部へ取り出すための部品であり、ダイアフラムベースへ直接接着される。

本新型圧力センサ素子の主な構造上の特長は2つある。1つは受圧ダイアフラムと圧力検出部の間に封入される液量を極少化した構造である。もう1つは超低ヤング率接着剤による、圧力センサ素子とダイアフラムベースの直接接着構造である。

第1の特長である、封入される液量を極少化した構造について説明する。新型圧力センサ素子は、図4に示すように積層構造化することで、圧力検出部の両側に圧力導入室1、2を持つ。この構造により封入液の存在を圧力センサ素子内部のみに限定できる。すなわち、従来の圧力センサ構造のように、圧力検出部出力を取り出す配線部までを封入する必要がなくなる。これにより、バリアダイアフラムから圧力検出部までの圧力伝達のための封入領域を小さくでき、封入液量を低減できる。

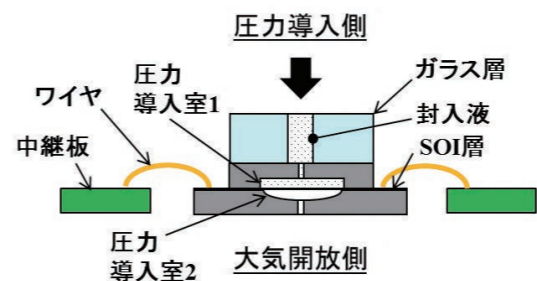


図4 新型圧力センサ素子構造図

この効果により、新型圧力センサ構造のバリアダイアフラムを当社従来製品より約20%小型化し、封入液量の極少化を図ることで封入液量を1/10以下にすることができた。これにより、周囲温度変化による膨張または収縮も極少化し、センサ出力の0点変動を $\pm 0.6\%FS$ 以内に抑制可能となった。また、ワイヤを含む電極取出し部分までを封入液で満たす必要がないので、多くの製品で採用されているハーメチックシール構造が不要となり、コストダウンが可能となった。

新型圧力センサ構造の第2の特長は、圧力センサ素子とダイアフラムベース部品の接合法である。

新型圧力センサ構造では、硬化後に超低ヤング率となる軟接着剤により、直接接着する手法を採用した。軟接着剤層が、発生する熱応力とそれに起因するひずみを抑制する。これにより図2で示される緩衝材が不要となり、コストダウンが可能となった。図5にこの軟接着剤の応力-ひずみ曲線図を示す。

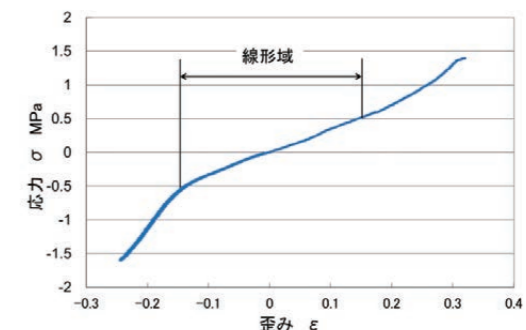


図5 軟接着剤の応力-歪み線図

図5より、応力と歪みの関係が線形である領域は、歪みが $\pm 15\%$ の範囲であり、この範囲の線図の傾きより軟接着剤のヤング率は約3.6MPaである。この値は従来の接着材に比べ極めて小さいので、今回使用した軟接着剤は、新型圧力センサ構造用の接着剤として適していることが確認できた。

一方、軟接着剤は超低ヤング率であるために、パッケージ構造の耐圧性能はこの接着剤層の耐圧性能に制約される。そのため過大圧が印加された場合にも、接着層に発生する応力を図5の線形領域に収まるように、接着面積と導圧路の断面積の比を20倍以上とすることで10MPa以上の耐圧性能を得た。

以上、大きく2つの特長を持つ構造により、従来にない小型の圧力センサ構造を実現した。この圧力センサ構造を、製品である圧力発信器に組み込むことで、従来はサイズの問題から屋内使用の装置への組み込みには不向きであった高精度な工業計器が、その性能を維持した状態で組み込み可能になる。また、小型化による材料節約により、環境負荷を低減させる効果も得られる。

4. 新型圧力センサ構造の性能評価

本章では、3章で述べた新型圧力センサ構造の評価結果を説明する。評価に際しては、封入液量低減の効果を確認するために、従来品に相当する封入液量にした評価サンプルも準備し、比較対象とした。評価項目は、主要な誤差要因である圧力センサ構造出力のゼロ点の温度特性および温度ヒステリシス特性とした。これらの結果について、以下順に説明する。

4.1 ゼロ点の温度特性

図6に圧力センサ構造出力のゼロ点の温度特性評価結果を示す。

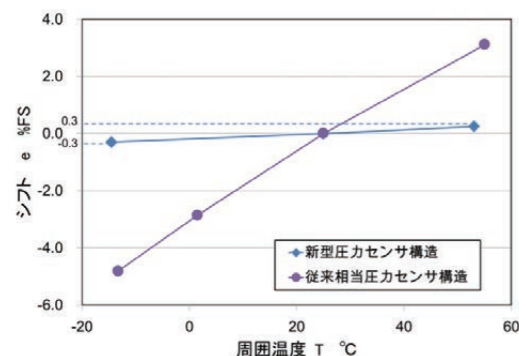


図6 新型圧力センサ構造のゼロ点温度特性

同図で横軸は周囲温度で、縦軸のシフト量とは、25℃を基準に、各温度でのゼロ点の差を%FS表示している。新型圧力センサ構造での、封入液の影響による0点シフト量の計算値は±0.55%FS以内であったが、実測値では±0.3%FSであった。この差について、封入液による温度特性の影響を明確にするために、同新型圧力センサ構造の封入前後のゼロ点温度特性を比較した。その結果を図7に示す。

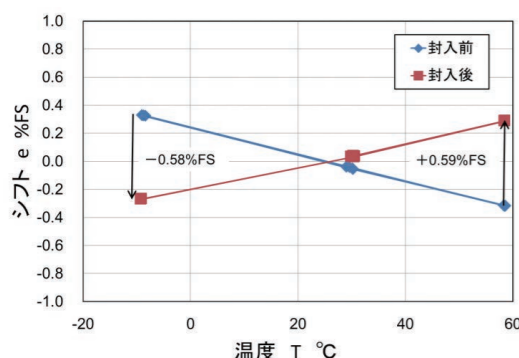


図7 封入前後での出力特性の変化

図7で、横軸は周囲温度で、縦軸は図6と同じシフト量である。封入前後の特性値の差をとると、±0.59%FSとなり、封入液の影響による0点シフト量の計算値に概ね一致している。

なお、図6において新型圧力センサ構造は従来相当品に比べ、周囲温度変化に対するゼロ点シフト量が大幅に小さい。よって製品化に際して実装される、キャラクターゼーション機能を簡略化する可能性を持つ。

4.2 温度ヒステリシス特性

圧力測定を高精度化させるためには、圧力センサ構造の温度ヒステリシスが小さいことが必要である。今回の開発では、温度ヒステリシスの目標値を±0.01%FSとした。このためにも、封入液の封入前の状態でバリアダイアフラムを意図的に変位させたときの変位量のヒステリシスを把握した。この結果を図8に示す。

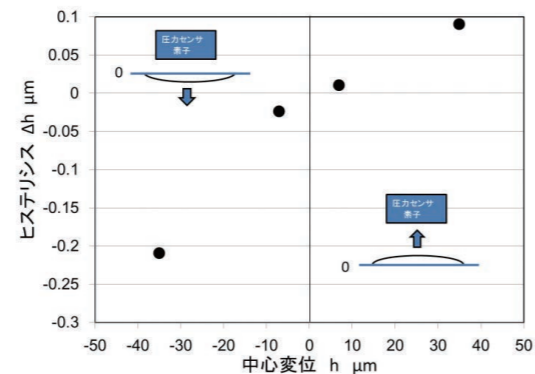


図8 バリアダイアフラムのヒステリシス

図8で、横軸はバリアダイアフラムの中心変位であり、縦軸は変位負荷の印加前後の中心変位の差、すなわちヒステリシスを示す。ここで、横軸のマイナス側は封入液封入後の状態で、周囲温度高温時に封入液が膨張した場合を示し、プラス側は封入液封入後の状態で、周囲温度低温時に封入液が収縮した場合を示す。

図8より、バリアダイアフラムのヒステリシスは、封入液が膨張した場合に、より大きく発生することが分かる。この結果をもとに、本圧力センサ構造の封入液許容値を求め、評価した。

圧力センサ構造の温度ヒステリシスを±0.01%FS以内とするためには、バリアダイアフラムのヒステリシスが0.23μm以内であることが必要と判明している。図8より、バリアダイアフラムのヒステリシスが0.23μmとなるときに封入液量から換算した中心変位量は約40μmである。これに対し、今回開発した新型圧力センサ構造では、周囲温度が25℃から55℃まで変化した時のバリアダイアフラムの中心変位は11μmである。よって、十分な精度を保證できる。

続いて温度ヒステリシスの評価結果について説明する。

図9に新型圧力センサ構造の温度ヒステリシス特性の結果を示す。

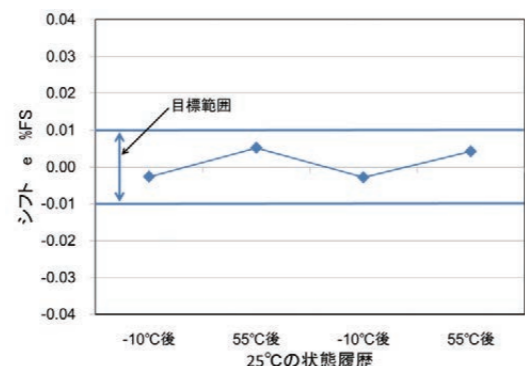


図9 温度ヒステリシス評価結果

評価は、周囲温度を変化させた際の基準温度でのゼロ点出力の遷移状況を見ることで実施した。基準温度を25℃として、周囲温度を25℃→-10℃→25℃→55℃→25℃と変化させている。この温度変化を1サイクルとして、今回の評価では2サイクル継続し、評価した。

図9で、「-10℃後」のプロットは、周囲温度を-10℃に変

化させる前後の、25℃でのゼロ点出力の差を示し、「55℃後」とは周囲温度を55℃に変化させる前後での、25℃でのゼロ点出力の差を示す。縦軸はゼロ点のシフト量を%FSで表示している。図9より、-10℃後の温度ヒステリシスは0.003%FSに抑えられている。また、55℃後の温度ヒステリシスは0.005%FSである。-10℃後と55℃後で0.002%FSのシフト量の差が発生しているが、これは先に述べた、図8が示す封入液封入前のバリアダイアフラムのヒステリシスの傾向に起因している。

以上により、目標設計値を達成する圧力センサ構造が実現できた。

5. 結論

封入液量を極少化した圧力センサ構造を開発し、周囲温度特性±0.6%FS以内、温度ヒステリシス±0.01%FS以内の性能を達成した。今後この新型圧力センサ構造を新製品に適用し、顧客に多くの価値を提供するために、多岐にわたる要求仕様、例えば応答速度の改善や差圧式への拡張などの開発を行っていく。

<登録商標>

Bravolight, SuperAceはアズビル株式会社の登録商標です。

<特許>

本稿で示す圧力センサ素子および新型圧力センサ構造について特許出願済。

<参考文献>

- (1) T. Tokuda, et al., "A NOVEL PRESSURE SENSOR WITH BUILT-IN OVERPRESSURE PROTECTION UTILIZING THREE-DIMENSIONAL ETCHING AND WAFER-LEVEL STACKING TECHNOLOGY", The 29th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2016)

<著者所属>

田中 達夫 技術開発本部基幹技術開発部

速度分布による誤差を抑制した都市ガス・LPガス用超音波ガスメーターの開発

Error Minimization in Ultrasonic Gas Meters for City Gas and LP Gas

アズビル金門株式会社

八幡 徹弥
Tetsuya Yahata

アズビル金門株式会社

内藤 光
Hikaru Naito

キーワード
超音波ガスメーター, 安全機能, HEMS

2014年4月に経済産業省が公表したエネルギー基本計画のガスシステム改革により、市場が変革していくことが予想される。そこで、パルス出力を標準搭載し、HEMS (Home Energy Management System) にも対応した超音波ガスメーターを開発した。超音波ガスメーターは、超音波が伝搬する領域内において、速度分布に偏りがある場合は誤差が発生し性能に影響を与える。この課題に対し、超音波ガスメーターにおける計測部の流路を複数の層に分けることで良好な性能を確認できたので報告する。

Changes in the gas market can be expected as a result of the revisions to the Basic Energy Plan announced by Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry in April 2014. In this context, we have developed an ultrasonic gas meter that is equipped with pulse output as a standard feature and is compatible with home management energy systems. Depending on the area where ultrasonic waves propagate, deviation in speed distribution is a known problem that can result in measurement error or decreased performance level of the ultrasonic gas meter. With regard to this problem, we report on the achievement of improved performance through division of the meter's measurement channels into multiple layers.

1. はじめに

1.1 ガスメーターとは

ガスメーターは主に都市ガスやLPガスを計量する流量計であり、一般家庭用から工業用まで幅広く使用されている。

1980年、静岡駅地下街にて死者15人、負傷者223人を出すガス爆発事故が発生した。この事故を契機にガスの安全性がより一層問われ始め、異常を検知した場合にガスを遮断する安全機能を付加したマイコンメーターが開発された。このようにガスメーターは計量を行うだけでなく、事故を未然に防止する安全機能を兼ね備えた流量計へと変化し、ライフラインを支える役割を担うようになった。

1.2 エネルギー基本計画について

2014年4月に経済産業省がエネルギーに関する基本的な方向性を示すエネルギー基本計画を公表した。

例えば、電気システム改革では供給側が供給量を確保するだけでなく、需要側でも需要量を抑制することで需給バランスを安定させ、エネルギー供給の効率化を進める方針へと切り替わる。具体的には、供給側が時間帯に対応して価格差を設けたサービスを提供し、エネルギー消費パターンの変更を需要側に促すことで、需給バランスを安定させるような体制が進むと考えられる。このとき、需要側がエネルギーの消費状況を把握する必要があるため、今後はHome Energy Management System (HEMS) の導入が進んでいくと考えられる。

HEMSとは、電力メーターおよびガスメーターなどと連携し、家庭内のエネルギーを管理するシステムのことである。このシステムを活用し、計量した結果をモニターなどに表示することで、消費者が家庭のエネルギーの消費状況を把握し易くなる。

1.3 ガスシステム改革への波及

ガスエネルギー関連ではガスシステム改革が公表されており、ガスを低価格かつ安定的に供給し、消費者に新たなサービスを示すことのできるガスシステムの構築を掲げている。このガスシステムを用いた、エネルギー供給の効率化や、小売の自由化が検討されている。

例えば、小売の自由化により新規のガス事業者が参入した場合、これまでの地域独占的な市場が撤廃されることで、ガス事業者間の競争が激化すると予想される。このとき、ガス事業者は他者よりも優位な提案をすることで、顧客を確保することに繋がると考えられる。

1.4 超音波ガスメーターでできること

超音波ガスメーターは、従来のマイコンメーターが備えていた安全機能に加えHEMSとの連携も可能である。

また、超音波ガスメーターは瞬時流量を測定できるため、ガスの使用量をリアルタイムに表示できる。この機能を活用することにより、消費者がガスの使用量を容易に把握できるようになるため、ガス事業者は優位な提案を押し進められると考えられる。

さらに、超音波ガスメーターは機械的に動作する機構がないため、マイコンメーターと比較して小型かつ軽量にできる。そのため超音波ガスメーターは、設置時の作業性や、少ないスペースで保管できるため、取扱い易いガスメーターとしてガス事業者に提供することができる。

2. 超音波ガスメーターの開発

2.1 超音波ガスメーターの測定原理

超音波ガスメーターは超音波の伝搬時間から流速を求め、断面積との積により流量を測定する。図1のように流速Vの気体が断面積Aの流路を流れる場合を考える。

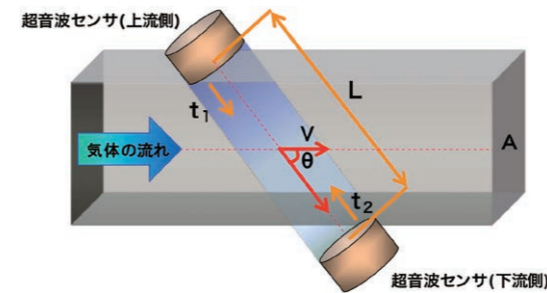


図1 超音波ガスメーターの測定原理

流路内には超音波センサが対向して取り付けられており、それぞれが超音波の送信と受信をすることができる。上流側の超音波センサから下流側の超音波センサに到達するまでの超音波の伝搬時間を t_1 とする。このとき、伝搬時間 t_1 は式(1)のように表される。

$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad (1)$$

ここで、Cは音速、 θ は超音波の入射角、Lは超音波センサ間の距離である。気体が流速Vで流れているため、伝搬時間 t_1 は流速V=0の場合と比べて短い時間になる。

また、下流側の超音波センサから上流側の超音波センサに到達するまでの超音波の伝搬時間を t_2 とする。このとき伝搬時間 t_2 は式(2)のように表される。

$$t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta} \quad (2)$$

流速Vに逆らって伝搬するため、伝搬時間 t_2 は流速V=0の場合と比べて長い時間になる。次に、式(1)、(2)を音速Cについて変形すると式(3)、(4)のようになる。

$$C = \frac{L}{t_1} - V \cos \theta \quad (3)$$

$$C = \frac{L}{t_2} + V \cos \theta \quad (4)$$

式(3)、(4)より、音速Cを削除すると式(5)のようになる。

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (5)$$

ここで、流量Qは断面積Aと流速Vの積であるため、式(6)のように表すことができる。

$$Q = \frac{AL}{2V \cos \theta} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (6)$$

式(6)より、流量を伝搬時間で表すことができた。

2.2 計測部の設計

2.2.1 課題と対策

超音波ガスメーターは、超音波の伝搬する領域内で速度分布の偏りがある場合に誤差が発生する。速度分布の偏りは、気体の流れが層流から乱流へ遷移する場合に発生すると考えられるため、流路を複数の層に分けることで解決する。図2に計測部の概略図を示す。

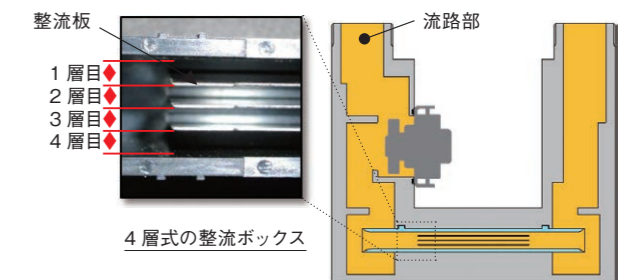


図2 計測部の概略図

図2に示すように、気体の流れに対して平行な整流板を設けた場合、流路における1層当たりの幅が小さくなるため、レイノルズ数を小さくすることができる。レイノルズ数を小さくすることで、層流から乱流への遷移を抑制できると考えられるため、整流板とそのケースを一体化した整流ボックスを用いて超音波ガスメーターの器差性能を確認する。

2.2.2 器差性能の確認

計量法により、ガスメーターの検定は空気を用いる必要がある。しかし、ガスメーターはガスの種類によらず同等

の器差性能を要求されるため、ガスの種類を変えて器差試験を実施し、その性能を確認した。図3に4層式の整流ボックスを用いた超音波ガスメーターの器差性能を示す。

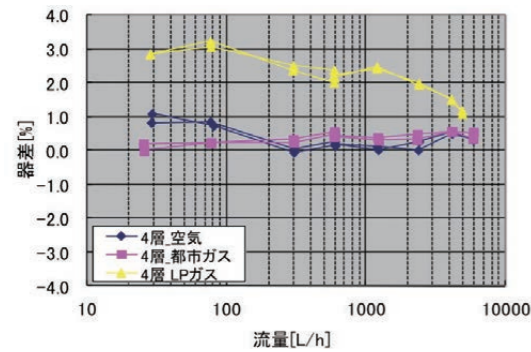


図3 4層式の整流ボックスにおける器差性能

図3より、空気と都市ガスにおける器差の差はおよそ1%であり、レイノルズ数が大きくなる傾向にある大流量域においても安定した器差性能を確認することができた。

しかし、LPガスと空気での器差の差はおよそ2.5%であり都市ガスと空気の器差の差と比較して大きな差となった。

LPガスは空気や都市ガスと比較して密度が高く、粘度が低いレイノルズ数が大きくなる傾向にある。したがって、4層式の整流ボックスはLPガスにおける流れの遷移を十分に抑制することができなかつたと考えられるため、これを改善する必要がある。

2.2.3 器差性能の改善策

LPガスでの器差性能を改善させるため、整流板の枚数を多くし、1層当たりの幅を小さくすることで器差性能の改善を図る。

図4、5に5層式および6層式の整流ボックスを用いた超音波ガスメーターの器差性能を示す。

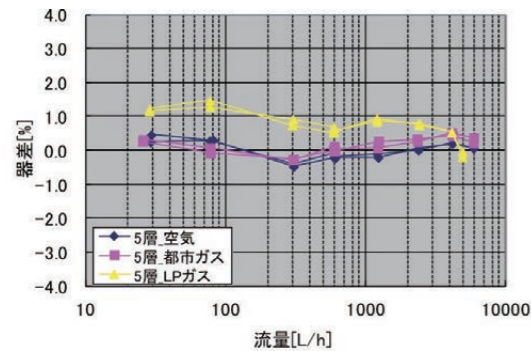


図4 5層式の整流ボックスにおける器差性能

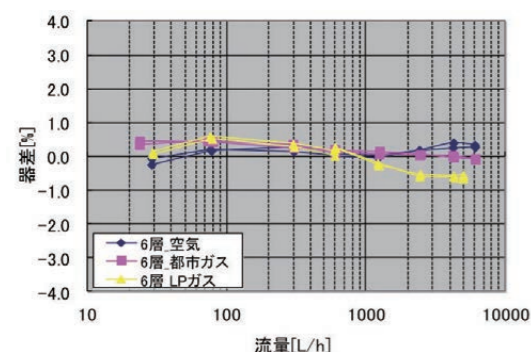


図5 6層式の整流ボックスにおける器差性能

図4、5より5層式および6層式の整流ボックスのいずれも空気と都市ガスにおける器差の差は小さいため、空気と検定した場合でも、都市ガスを使用することが可能である。また、6層式の整流ボックスの場合は空気とLPガスの器差の差が小さいので、空気と検定した場合でもLPガスで使用することが可能である。しかし、5層式の整流ボックスの場合は空気とLPガスの器差の差が大きいため、LPガスを使用することが困難と考えられる。

図6に7層式の整流ボックスにおける器差性能を示す。

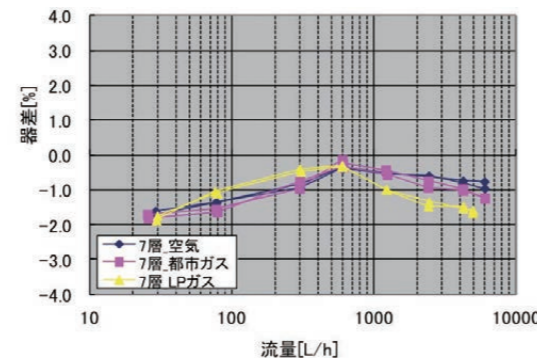


図6 7層式の整流ボックスにおける器差性能

図5、6より6層式および7層式の整流ボックスにおける空気とLPガスの器差の差はおよそ同等の性能であり、いずれの整流ボックスでも空気による検定でLPガスを使用することができると考えられる。

しかし、6層式と7層式の整流ボックスでは7層式の整流ボックスの方が整流板の枚数が多いため、摩擦により圧力損失が大きくなると考えられる。ガス事業者は圧力損失を考慮した上でガスを供給しなければならないため、圧力損失は小さい方が望ましい。また、整流板の枚数が増える場合、部品点数が多くなることにより超音波ガスメーターの生産性が低下する。

上記の理由から、超音波ガスメーターの整流ボックスには、器差性能が良好で整流板の枚数が少ない6層式を採用する。

2.2.4 計測部の形状

図7に量産品における計測部の形状を示す。

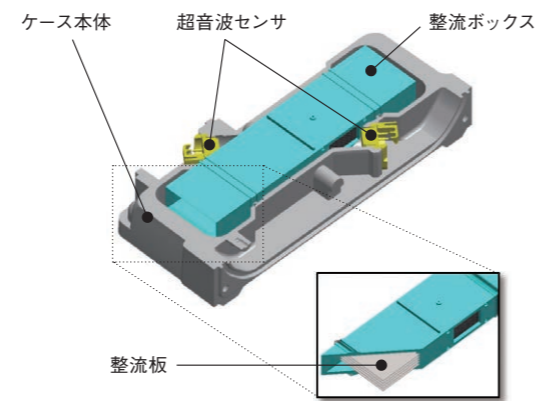


図7 量産品の計測部

図7のように量産品の計測部はケース本体の流路内部に6層式の整流ボックスが取り付けられており、対向して取り付けられた超音波センサから送信される超音波はこの整流ボックスを通過する構造となっている。

量産品における器差試験の結果を図8に示す。

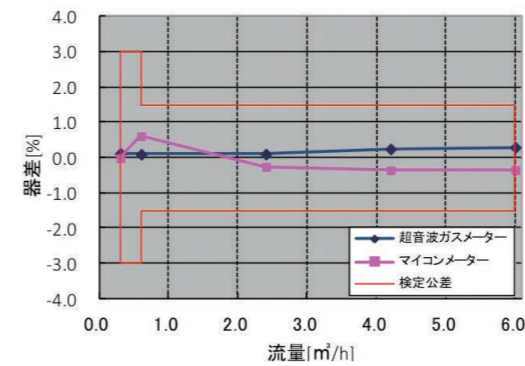


図8 超音波ガスメーターの器差性能

図8に示すように、量産品の超音波ガスメーターの器差性能は検定公差内であり、マイコンメーターの器差性能と同等の器差性能を持つことが確認できた。

2.3 ケーシングの改善

2.3.1 試作品のケーシング

図9に試作品におけるケーシングの構造を示す。

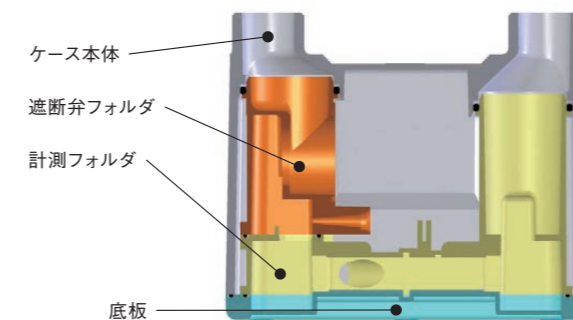


図9 試作品におけるケーシングの構造

試作品のケーシングはケース本体、遮断弁フォルダ、計測フォルダ、底板で構成されている。各々の部品はねじによって締結され、締結する面にはパッキンが取り付けられている。この構造により、計測フォルダと遮断弁フォルダの組立精度が悪い場合、ケース本体に取り付けられない可能性があった。

上記のように、試作品のケーシングは部品点数が多く、組立性が良好でなかったため、これらの課題を解決する必要がある。

2.3.2 量産品のケーシング

図10に量産品におけるケーシングの構造を示す。量産品は遮断弁フォルダおよび計測フォルダがケース本体に一体化されており、ケーシングはケース本体と底板で構成されている。

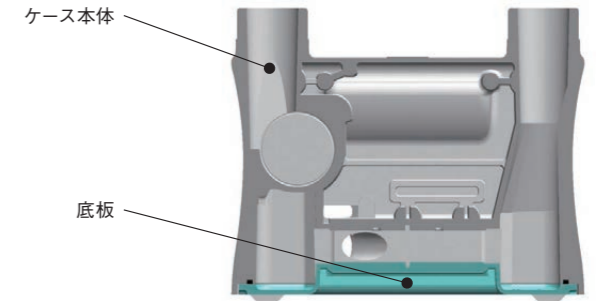


図10 量産品におけるケーシングの構造

量産品のケーシングは一体化されているため、使用するパッキンを減らすことができた。また、ケーシングの一体化により精度よく組立を行う工程が不要になったため、試作品の課題であった組立性も改善することができた。

2.4 圧力取出口の検討

一般家庭用のガスメーターには都市ガス仕様とLPガス仕様があり、都市ガス仕様では遮断弁の下流側に圧力取出口を設け、LPガス仕様では遮断弁の上流側に圧力取出口を設ける必要がある。図11に示すように、量産品のケース本体はそれぞれの仕様に合わせて取付け穴があらかじめ設けられており、仕様に合わせて追加工を行うことでいずれの仕様にも対応できるケーシングとなっている。

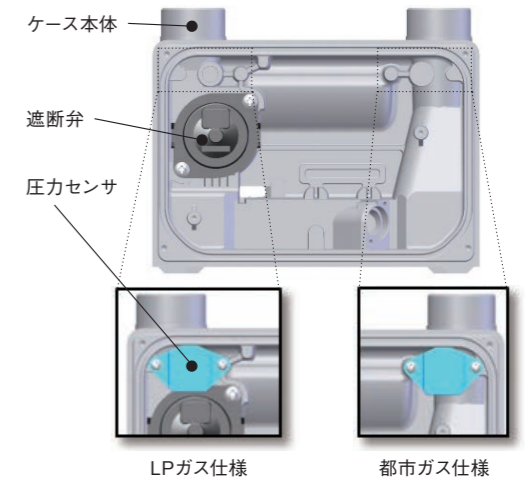


図11 圧力取出口の位置

2.5 復帰ボタン

マイコンメーターと同様に、超音波ガスメーターは異常を検知しガスを遮断する安全機能を持っている。安全機能が働き遮断弁が閉じた場合はガスが使用できなくなるが、その場合は復帰ボタンを押すことで遮断弁を開くことができる。復帰ボタンの構造を図12に示す。

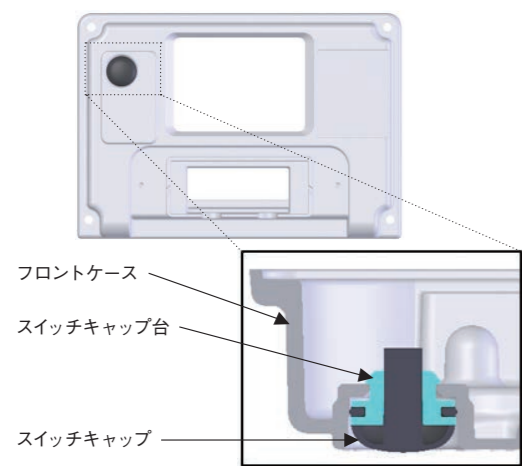


図12 復帰ボタンの構造

ガスメーターは屋外で使用されることが多いためスイッチキャップの材質には耐候性を持つEPDMを採用し、それをスイッチキャップ台に押し込むことで取り付けられる構造となっている。

また、スイッチキャップ台はスナップフィットにより、押し込むだけでフロントケースに取り付けることができ、ねじなどの締結部品は不要となっている。

2.6 コントローリアケース

安全機能を制御するコントローラは電池により駆動しており、それぞれケース本体に内蔵されている。試作品においては、専用のケースで電池を保持する構造になっていたが、量産品では専用のケースを必要としない構造に変更した。図13にその構造を示す。

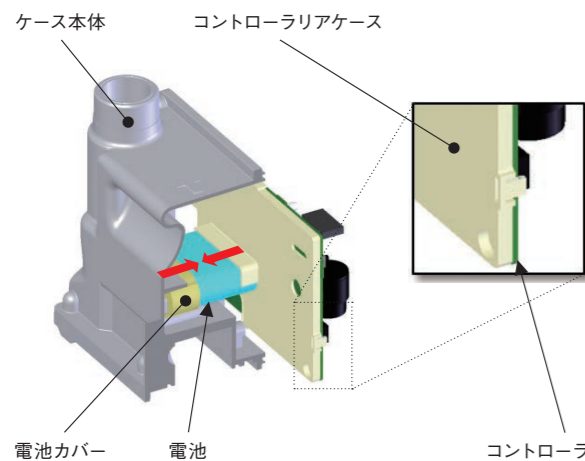


図13 量産品における電池の保持構造

図13に示すように、コントローリアケースとケース本体にガイドを設け、その間で電池を保持するような構造になっているため、専用のケースを必要としない構造になっている。

3. 超音波ガスメーターの機能

3.1 概要

図14に都市ガス用超音波ガスメーター（以下、U型）およびLPガス用超音波ガスメーター（以下、EK型）の外観を示す。



(a) U型 (都市ガス用) (b) EK型 (LPガス用)

図14 超音波ガスメーターの外観

超音波ガスメーターは計量室がないため、同等の性能を持つマイコンメーターと比較して小型、軽量にすることができた。また、U型およびEK型はパルス出力する機能を標準で搭載しており、HEMSに対応した機器と接続ができる。表1にU型およびEK型の仕様を示す。

表1 超音波ガスメーターの仕様

項目	U型	EK型
質量 [kg]	1.8	
高さ [mm]	141	
幅 [mm]	173	
奥行 [mm]	106	113
パルス出力 [L/P]	1/10/100/1000	1/10/100

3.2 ガスの漏えい検知機能

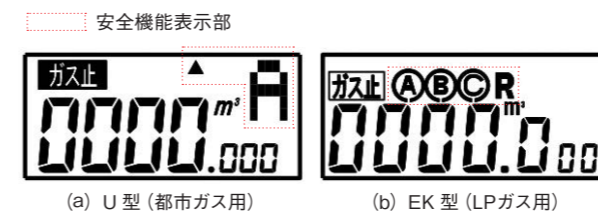
ガスの漏えい検知機能は、ガス事業法により規定されており、30日間連続してガスの流れを検知した場合に、自動的に表示により警報し、ガスの漏えいがないことを確認するまで警報を続けるものとしている。超音波ガスメーターおよびマイコンメーターのいずれもこの規格を満足した漏えい検知機能を備えているが、超音波ガスメーターはマイコンメーターに比べ単位時間当たりに検知できる回数が多い。

例えば微少なガスの漏えいが発生している場合、超音波ガスメーターは2分ごとに漏えいを検知できるが、マイコンメーターは計量室の容積が一巡したときに検知するため60分ごとに漏えいを検知する。すなわち、マイコンメーターが1回の漏えい検知をするまでに要する時間で、超音波ガスメーターは30回の漏えい検知をすることができる。

このように、ガスの漏えい検知時間が短くなったため、消費者は安全にガスを使用することができ、ガス事業者は漏えい検査の点検回数を減少させることができる。

3.3 表示機能と安全機能

超音波ガスメーターは電子式のカウンタを採用しており、計量した流量はLiquid Crystal Display (LCD)に表示される。図15に超音波ガスメーターの表示部を示す。



(a) U型 (都市ガス用) (b) EK型 (LPガス用)

図15 超音波ガスメーターのLCD表示

また、図15に示すように、超音波ガスメーターは働いた安全機能の異常内容を表示するため、これまでと同様に都市ガスおよびLPガスを安全に使用することができる。表2に安全機能とLCD表示の詳細を示す。

表2 超音波ガスメーターの安全機能

機能	LCD表示	
	U型	EK型
ガス栓の誤開放などの異常な大流量が流れたときに遮断。	Q	○○○
ガスが長時間、流量の変動なく流れたときに遮断。	J	①○○○
逆向きに取り付けた状態で流量が流れたときに表示。	R	○○○ R
復帰した後、ガス漏れの疑いなどがあるときに遮断。	▲	○○○
警報器や不完全燃焼警報器などの信号と連動して遮断。	A	○②○○
大きな地震を検知したときに遮断。	G	○③○○
ガス圧力が異常に低下したときに遮断。	P	○④○○ P
計測部に異常が発生したときに遮断。	X	B
脈動の影響により機能に影響が起きたときに警報。	W	B
コントローラや遮断機能を確認したときに表示。	T	○⑤○○
電池が所定の電圧以下になったときに遮断。	V	A
連続してガスが流れ続けたときに警報を表示。	N	○⑥○○
遮断弁が断線などで異常な状態になったときに遮断。	B	B

4. おわりに

超音波ガスメーターは、超音波の伝搬する領域内で速度分布の偏りがある場合に誤差が発生する。この課題に対し、流路を複数の層に分けることで都市ガスやLPガスにおいても安定した器差性能を持つ超音波ガスメーターを開発することができた。

今後はガスシステム改革により、市場が変革していくことが考えられる。従来のガスメーターに加え、安全機能を搭載し、HEMSとの連携も可能な超音波ガスメーターを開発できたことで、今後も安定かつ安全なガスの供給に貢献し

ていくことができると考えられる。

<参考文献>

- (1) 日本ガスメーター工業会:日本ガスメーター工業会50年史, 2003, pp.114
- (2) 経済産業省:エネルギー基本計画, 2014, pp.36-54
- (3) 日本計量機器工業連合会:流量計の実用ナビ, 2005, pp.10,31,128

<著者所属>

- 八幡 徹弥 アズビル金門株式会社
開発本部製品開発部
内藤 光 アズビル金門株式会社
開発本部製品開発部

Technical Review

azbil Technical Review azbilグループ技術研究報告書 2016年4月発行号

発行日 2016年4月1日(通巻57号)
発行責任者 高橋実加子(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：塩手良知
委員：長田光彦、野間節、奥野啓道、筒井宏明
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/library/review>

©2016 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。