# 防水形省電力アクチュエータの耐環境、省電力技術

## Environmental-Resistance and Power-Saving Technologies in Waterproof Power-Saving Actuators

米田　充孝　Mitsutaka Yoneda

近年の労働力人口の減少に伴い、FA機器は、長寿命、かつメンテナンスが容易であることが求められてきている。また、様々な使用環境で使用できるよう耐環境性能と、エネルギーコストを低減するための省電力化も重要である。これら市場動向に合致する製品として、当社で開発した空気圧バルブ「TVGシリーズ」の設計手法について紹介する。

As a consequence of the recent decline in the labor force, the need for FA equipment to have a long service life and be easy to maintain is increasing. It is also important for it to have environmental resistance so that it can be used in a variety of environments and to save power to reduce energy costs. This paper presents the design technique applied to the TVG Series pneumatic valve CKD has developed as a product that meets these market trends.

## 1　はじめに

空気圧バルブの使用環境は、食品加工、医療、化学プラントなどの業界において、機器が水や湿気にさらされたり、頻繁に洗浄されたりすることがある。また、保管及び輸送時に高温多湿の環境になる場合もある。IP67規格を有した空気圧バルブは、塵や一時的な水没に対する耐性を持ち、厳しい環境条件においても性能を発揮し、機器の信頼性と寿命が向上する。このように、防水性能を有したバルブは、設置とメンテナンス性で、様々な産業における耐環境性の要求に対応した空気圧バルブである。

## 2　IP67規格への対応

IPコードは、電子機器などの防塵と防水に関する程度を示す等級文字で、IP67規格は、防塵かつ、一定の水圧で一定時間（30分間）水中に浸けても有害な影響がないことを示している。

Fig.1のようなパイロット式空気圧バルブのIP67規格対応の開発において、ソレノイド部の耐水性への対応が最大の課題である。従来は、Fig.2に示すように、磁路面積を最大にするため、磁気フレームを外部に露出させている。しかし、長時間水分にさらされることで腐食が発生するため、コイルを樹脂でモールドするよう、構造を見直す必要がある。

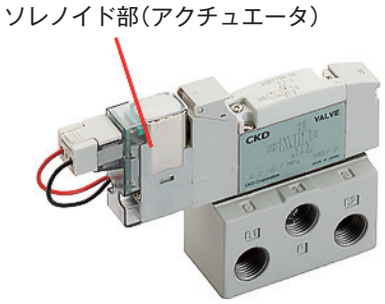


Fig. 1　従来品パイロット式空気圧バルブ

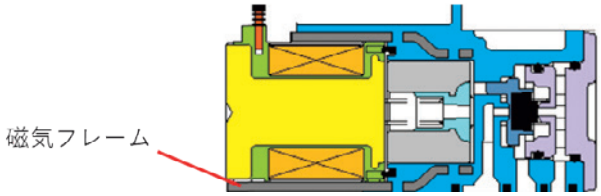


Fig. 2　従来品アクチュエータの内部構造

### 2－1　樹脂モールド構造

モールドする樹脂材は、適切に選定しないと、Fig.3のように成形圧で巻線部に樹脂が流入してしまい、断線に至る場合がある。従来は、巻線と磁気フレーム内に他材料を注入して保護する方法や、熱硬化性樹脂のエポキシ成形の実績があるが、硬化するまでに時間が掛かり、成形サイクルが長くなるため、生産性に課題がある。今回、Fig.4に示すように新規樹脂材によるモールド成形の開発に取り組んだ。

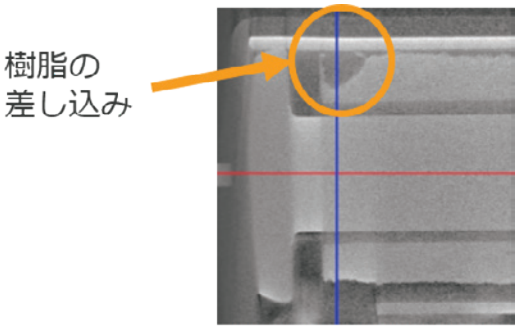


Fig. 3　樹脂の流入（X 線画像）

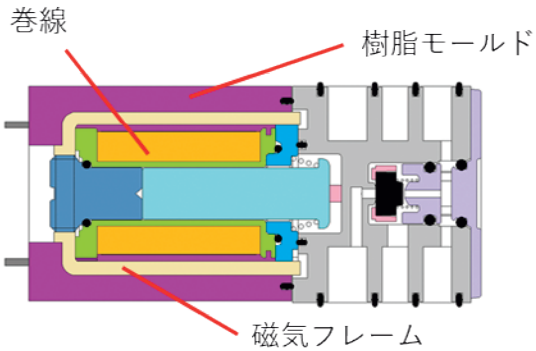


Fig. 4　開発品アクチュエータの内部構造図

## 2−2　材料選定と成形条件

コイルの発熱に耐えるため、線材は耐熱性の良い銅線を選定した。また、コイル部は、巻線に成形圧が均一に掛かるよう均肉設計とした。設計段階から、流動解析を実施(Fig.5)して、巻線に負荷が掛からない、最適なゲート位置、成形条件を模索した(Fig.6)。

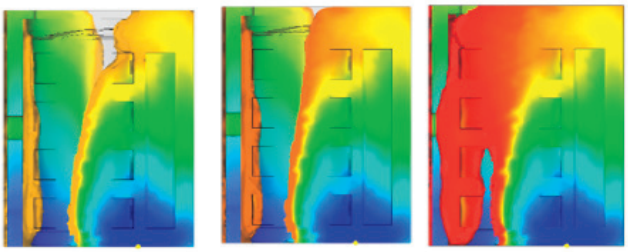

Fig. 5　流動解析結果

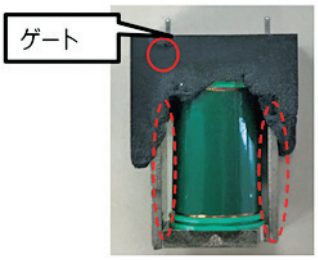


Fig. 6　ショートモールド試作

## 2−3　金型構造の検討

成形時に磁気フレームに負荷が掛かり、溶接破断等の不具合を起こさないよう、Fig.7に示すように、溶接部に負荷が掛からない金型構造とした。

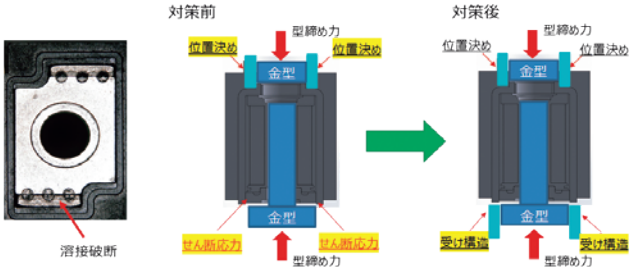


Fig. 7　金型構造見直し

成形条件の最適化、金型構造の見直しを実施することで、成形時の断線がなくなり(Fig.8)、IP67規格対応のモールド成形技術が確立できた(Fig.9)。しかし、巻線は、磁気フレームの外側にモールド樹脂を有するため、ソレノイドは現行品に対し、より小型化、省電力化に対応する必要があった。次項にその設計手法を述べる。

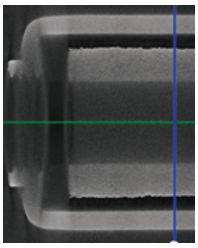

Fig. 8　対策品（X 線画像）

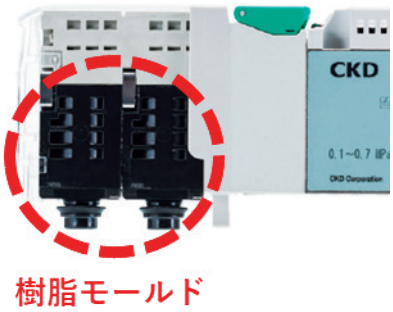


Fig. 9　製品外観

# 3　小型化、省電力化への取り組み

## 3−1　アクチュエータ開発の課題

ソレノイドバルブの小型化、省電力化は、可動鉄心の駆動に必要な吸引力を低い電流で発生することで実現できるが、与えられた制約や目標とする仕様のもとで磁気回路の性能を限界まで引き出す、最適化が必要となる。しかし、従来の設計は、電磁現象に精通した技

術者が経験則に基づき、カット＆トライで設計していたため、効率や質に課題があった。

具体的には、Fig.10に示す方法で、Fig.11のようなCAEの解析モデルを作成し、条件の設定、解析、結果の検証からフィードバックし、再びモデルの作成という流れを繰り返し、時間をかければ最適解にたどり着ける場合もあるが、膨大な工数や技術者の力量に依存していた。

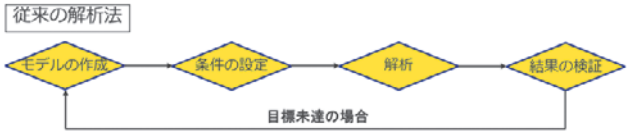


Fig. 10　従来の解析の流れ

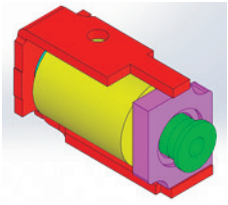

Fig. 11　解析モデル

## 3−2　遺伝的アルゴリズム法を導入した磁場解析

遺伝的アルゴリズムとは、生物が環境に適応しながら進化していく過程を工学的に模倣した最適化手法である。Fig.12に示すように設定した条件の中からサンプルがランダム抽出され、親個体の優秀な傾向を引き継いだ子が生成される。そして設定した目標値に近づくような個体で満たされる。一定の間隔でまたランダム抽出されたサンプルと融合することで突然変異を引き起こし、局所的な収束を回避しながら計算を行っていくアルゴリズムである。

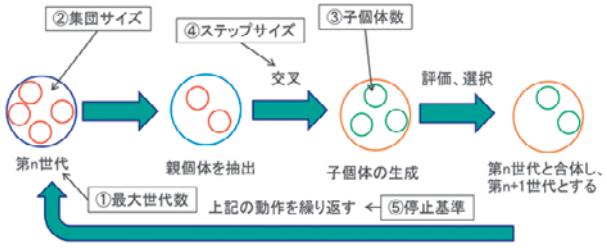


Fig. 12　遺伝的アルゴリズムの流れ

磁気回路を最適化するために、Fig.13に示すように磁気フレームや可動鉄心、固定鉄心等の磁路面積についてパラメータを設定し、遺伝的アルゴリズムを用いたシミュレーションを実施した。

この結果、Fig.14に示すように、磁路面積についてある寸法におけるパラメータの変化が、起磁力に寄与していることがわかった。

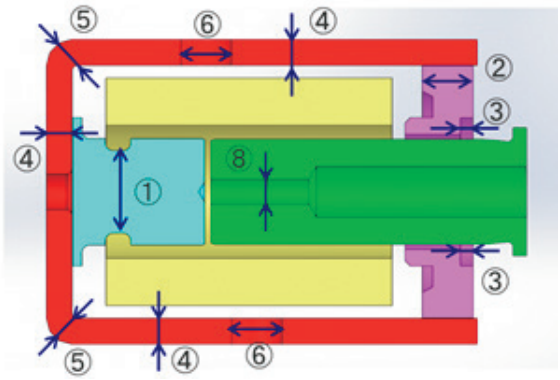


Fig. 13　アクチュエータ断面図

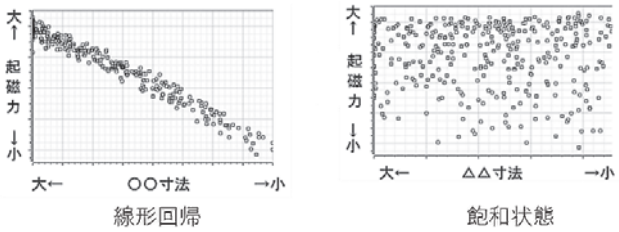


Fig. 14　磁路面積と起磁力

## 3−3　起磁力の最適化

次に、巻線の条件によって変化する起磁力と、磁路面積について最適化している。ソレノイドバルブの外形寸法を維持したまま巻数を変化させるために、固定鉄心と可動鉄心、磁気フレームの寸法と巻線容積をリンクさせる必要がある。

Fig.15に示す通り磁路面積を小さくすると、起磁力は小さくなるが、巻線容積が大きくなることで巻数が増え、起磁力が大きくなる。磁路面積と巻数はトレードオフの関係にあり、係数xを用いてパラメータがリンクして変化するように設定し最適化解析を行った。その結果、Fig.16に示す通りトレードオフの関係であっても最適解を得ることができた。

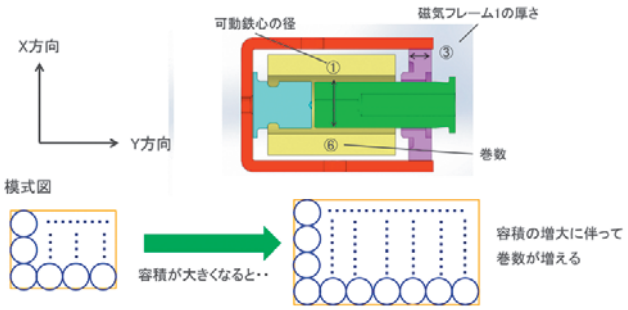


Fig. 15　アクチュエータ断面図

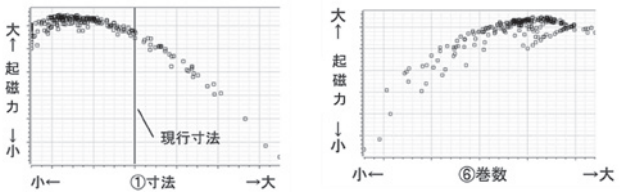


Fig. 16　磁路面積と起磁力

最終的に、Fig.17に示すように遺伝的アルゴリズムを用いた最適解は、現行品と比較して起磁力が82.4%向上し、目標とする起磁力を満足することができた。

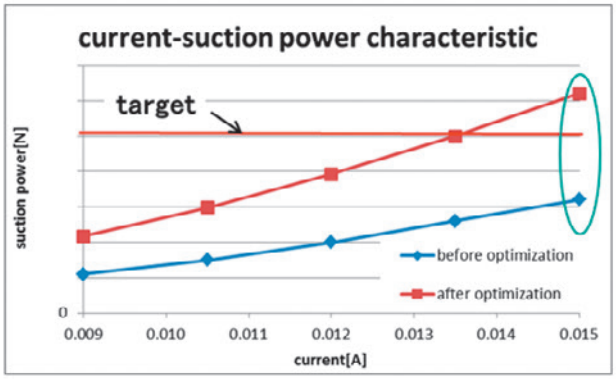


Fig. 17　吸引力特性

## 4 おわりに

今回、耐環境性と省電力性能を有した空気圧バルブの設計手法を紹介した。本稿で紹介した技術は、当社のプラグイン方式バルブ「TVGシリーズ」のアクチュエータとして採用しており、使用環境を問わないオールインワン製品として、産業の様々な分野で利用されていくであろうと考える。今後も、当社のコア技術であるコイル技術を活用し、環境負荷低減型商品の提案を継続し持続可能な社会に貢献していく。

執筆者プロフィール

米田　充孝　Mitsutaka Yoneda
機器事業本部
Components Business Division