

## 解 説

## ガス遮断器用油圧操作器の開発\*

瀬戸信治\*\*  
海老澤大輔\*\*\*  
河本英雄\*\*\*\*

\*平成 19 年 6 月 15 日原稿受付

\*\* (株)日立製作所機械研究所, 〒312-0034 ひたちなか市堀口 832 番地 2

\*\*\* (株)日本 A E パワーシステムズ, 〒316-8501 日立市国分町一丁目 1 番 1 号

\*\*\*\* 元(株)日本 A E パワーシステムズ (現, (株)アジアマシナリー)

## 1. はじめに

ガス遮断器 (GCB: Gas Circuit Breaker) は, 高圧受変電設備の送電ラインに落雷などで異常な電流が流れた際に, 瞬時に回路を遮断して機器を保護する安全装置である. GCB の外観を図 1 に示す.

GCB の内部は, 図 2 に示すように, 可動電極, 固定電極, パッファシリンダなどから構成されており, 操作器の駆動力で遮断部のパッファシリンダを駆動し, パッファ室内に満たされている不活性の SF<sub>6</sub> ガスを可動電極と固定電極間に発生するアークに吹き付けて消弧する方式がとられている. 操作器にはばね式, 空気式, 油圧式などがあるが, 大型の機種では駆動力が大きい油圧操作器が用いられる.

GCB では, 設置場所の不足, 設備投資費削減, 安全装置としての使命から小型化, コスト低減, 高信頼化が求められており, GCB の動作特性, 特に遮断器の特性にとって重要な開極時間 (遮断指令入力から固定電極と可動電極の接点が離れるまでの時間) や平均遮断速度を事前に把握することは, 開発効率と製品の性能・品質を高めるためにきわめて重要である.

油圧操作器単体の解析はこれまでも行われているが<sup>1)</sup>, 小型化などの要求から油圧駆動力の低減が求められ, 油圧駆動力に対して, パッファ室内の圧力上昇の影響が無視できなくなったことや, 開発効率向上のために解析のさらなる高精度化が求められる状況になってきた. そこで, 動作特性の正確な把握のために, 油圧操作器と遮断部のパッファ圧力上昇の統合解析手法を開発し, これを設計に適用し, 製品化を行った.

## 2. ガス遮断器用油圧操作器の構造と解析手法

図 3 に油圧操作器を用いた GCB の構造の一例を示し, その動作について説明する. なお, O(Open) / C(Close)は遮断/投入と同義である. ここでは, ソレノイドで O, C 各パイロット弁を駆動し, このパイロット弁によって O 側, C 側一体で 2 位置 3 方向弁の切換弁を切換え, 操作シリンダを駆動する構成の油圧操作器を示す. なお, この操作器では, パイロット弁の不具合等で発生するおそれのあるポンピング (C 動作, O 動作を繰り返す現象) を防止するためのアンチポンピング (AP) 機構を設けている.

O 動作は以下の順で行われる.

- (1) O 指令により O ソレノイドが駆動し, O パイロット弁が開口する.
- (2) O パイロット弁開口で切換弁制御室が低圧ポートと接続する.
- (3) 切換弁が動作し, 操作シリンダ制御室が低圧ポートと接続する.
- (4) 操作シリンダロッド側の高圧により操作シリンダが遮断動作する.
- (5) 操作シリンダとリンク系でつながっている遮断部では, 遮断の際に発生するアークに SF<sub>6</sub> ガスを吹き付けて消弧し, 電流を遮断する.

C 動作は以下の順で行われる.

- (1) C 指令により、C ソレノイドが駆動し、C パイロット弁が開口する。
  - (2) C パイロット弁開口で切換弁制御室が高圧ポートに接続する。
  - (3) 切換弁が動作し、操作シリンダ制御室が高圧ポートと接続し、操作シリンダが投入動作する。
- つぎに、統合解析技術について説明する。図 4 に示すように、統合解析は油圧操作器動作解析、パuffa 圧力解析、ソレノイド動磁場解析からなる。ソレノイド動磁場解析で出力される駆動力計算結果を油圧操作器解析の入力としている。また、パuffa 圧力解析は、油圧操作器動作解析の中の一つのブロックとしてサブルーチン化されており、時間刻みごとに操作シリンダ変位を入力としてパuffa 圧力を出力している。それぞれの解析の詳細を以下に示す。

#### (1) 油圧操作器動作解析

油圧操作器動作解析は、まず解析に必要な管路、圧力損失、オリフィスなどの要素モデルを作る。式の詳細は省略するが、各要素では、油の運動方程式、圧縮の式、バルブの運動方程式などの計算を行う。また、各要素モデルを組み合わせて切換弁、パイロット弁などブロックを作成し、さらにこれらのブロック要素を組み合わせて全体の解析モデルを構築する手法を採った。これらのブロック間では圧力、流量の受け渡しを行って計算を実行する。また、パuffa 圧力解析のルーチンもこの中のブロックの一つとして扱う。またソレノイド解析による駆動力の結果も一つのブロックとして表される。こうして、図 5 に示すように油圧操作器解析モデルを中心とした遮断器解析モデルができる。これにより、パイロット弁動作開始からの動作時間、各部の圧力、流量、シリンダ変位、弁体の変位などを出力することができる。

#### (2) パuffa 圧力解析<sup>2)</sup>

パuffa 圧力解析の概要を図 6 に示す。図 6 に示すように、シリンダストロークの位置を入力としてパuffa 室(V1)および可動側排気空間(V2)の SF<sub>6</sub> ガスの流入出を計算しパuffa 圧力上昇を出力する。このとき、発生するアークによるガスの加熱およびノズル材のアブレーション（アーク光による蒸発）を考慮し、高精度化している。詳細は省略するが、アークの計算にはエンタルピーフローモデルを改良したものをを用いる。

#### (3) ソレノイド動磁場解析

油圧操作器のパイロット弁駆動はソレノイドを使っており、コイル電流により発生する電磁力によりプランジャを動作させ、パイロット弁を開口させる。指令からパイロット弁動作までの時間がわかれば、油圧操作器動作解析を用いて開極時間を予測することが可能となる。したがって、ソレノイド動磁場解析での解析が重要となる。解析では電圧指令により電気回路から発生する電流とそれにより発生する磁束を求め、この磁束から駆動力、プランジャ変位を求め、パイロット弁動作までの時間を求めることが可能となる。

### 3. 解析結果および実験結果との比較検証と製品化

以上述べた油圧操作器遮断部統合解析ツールを設計に活用し、遮断器を製作した。一例として遮断動作を行った場合の比較検証結果を図 7、図 8 に示す。

図 7 に示す操作シリンダ特性では、実測値と解析値がほぼ一致していることがわかる。シリンダの始動時や制動時は、リンク系の弾性の影響やセンサに遮断器全体の振動が乗ってしまうことなどが原因で一致しないところが見られるが、遮断器の特性にとって重要な開極時間や平均遮断速度では解析値と実測値の誤差は 1%以内である。以上から、十分な精度で解析できることを確認できた。一方、図 8 に示すように、パuffa 圧力に関しても、実測値と解析値がほぼ一致した傾向が見られることを確認した。また、図示しないが、ソレノイド解析でも開極時間を推定するには十分な精度で解析できることを確認した<sup>3)</sup>。

このような解析手法を利用し、国内外の遮断器用油圧操作器の設計に活用し、試作回数を削減することが可能となり、コスト低減や製品の性能、品質を高めることができた。現在 161kV、300kV、550kV 遮断器用として、この技術で開発した操作器が用いられており、国内外で運用中である。

#### 4. おわりに

- 1) 油圧操作器・遮断部統合化解析の方法を示した。
- 2) 実測値との比較で、開極時間、平均遮断速度では1%以内の誤差で解析できることを確認した。
- 3) 以上の解析技術を利用し、試作回数削減など開発効率向上を図り、製品化を行った。

#### 参考文献

- 1) 瀬戸，ほか3名：ガス遮断器用油圧操作器の動作解析，平成11年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集，(1999)，pp.133/135.
- 2) 浦井，ほか5名：ガス遮断器のパuffa圧力と操作機構の統合解析手法：平成15年電気学会全国大会，6，(2003)，pp.378/379.
- 3) 瀬戸，ほか5名：ガス遮断器の油圧操作器・遮断部統合解析：平成15年秋季フルードパワーシステム講演会，(2003)，pp.30/31.

#### 著者紹介

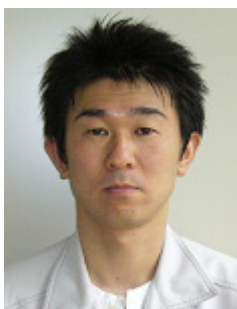


せと しんじ  
瀬戸信治君

1997年慶應義塾大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。現在に至る。油圧機器、自動車機器などの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、自動車技術会、計測自動制御学会などの会員。

E-mail: [shinji.seto.wd@hitachi.com](mailto:shinji.seto.wd@hitachi.com)

URL: <http://www.hqrd.hitachi.co.jp/merl/>



えびさわ だいすけ  
海老澤大輔君

1994年茨城大学工学部卒。同年(株)日立製作所入社。現在(株)日本AEパワーシステムズにて勤務。電力用ガス絶縁遮断器の開発に従事。電気学会の会員。

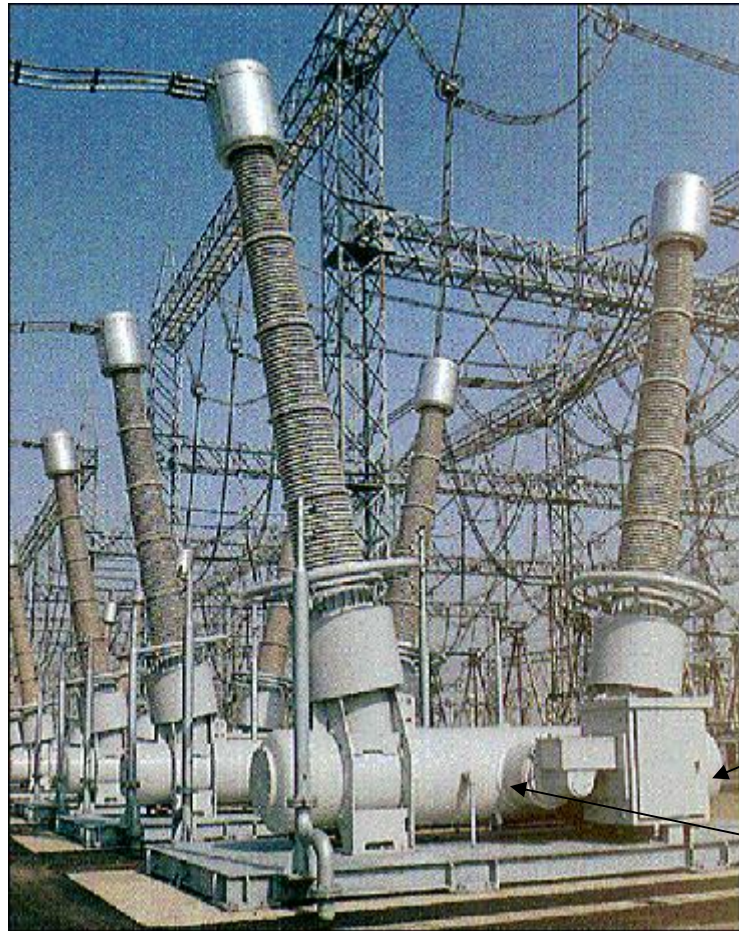
E-mail: [ebisawa-daisuke@mb.jaeps.com](mailto:ebisawa-daisuke@mb.jaeps.com)

URL: <http://www.jaeps.com/jp/index.htm>



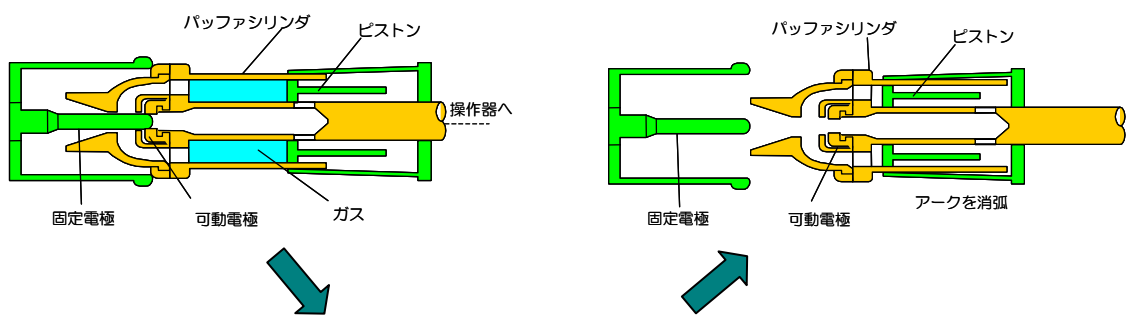
かわもと ひでお  
河本英雄君

1990年九州大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社，(株)日本AEパワーシステムズを経て，現在(株)アジアマシナリー代表取締役。



操作器  
遮断部

図1 ガス遮断器



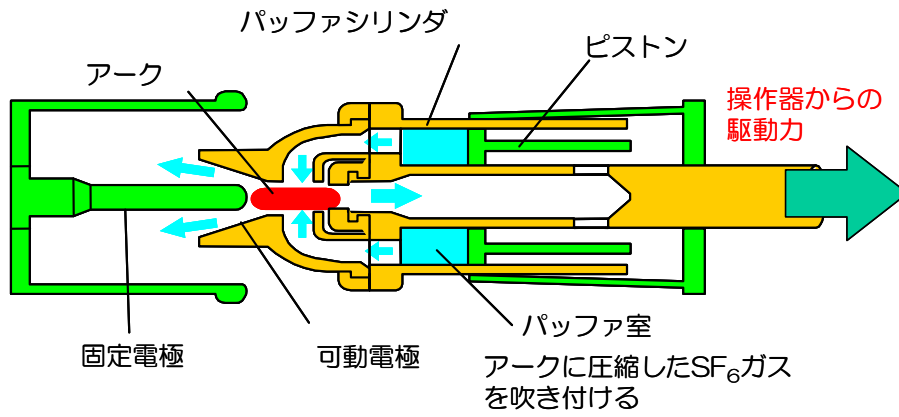


図2 遮断動作原理

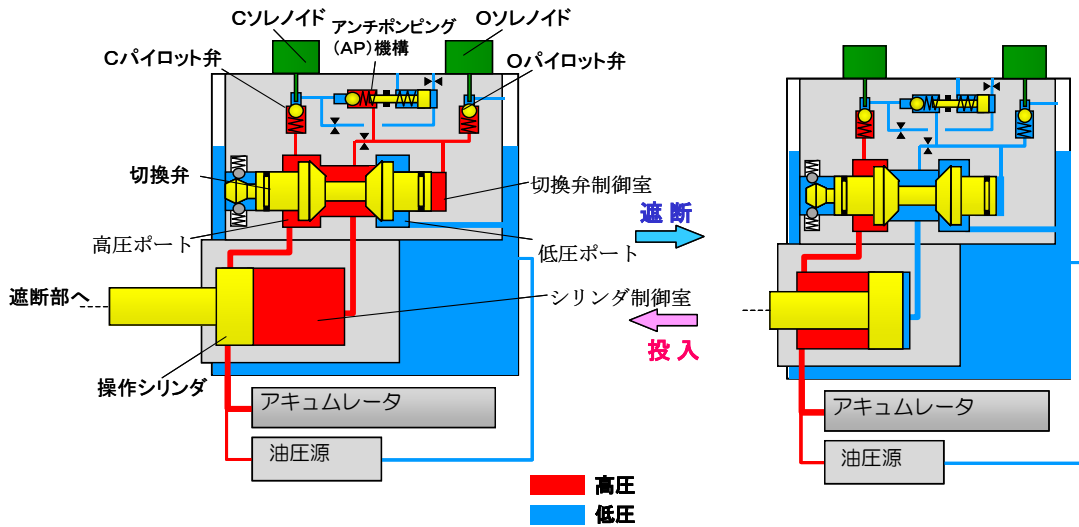


図3 油圧操作器の動作

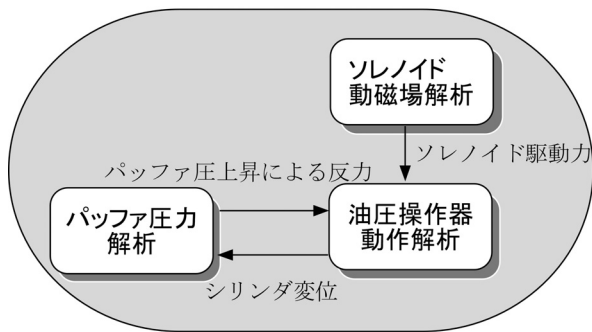


図4 統合解析技術

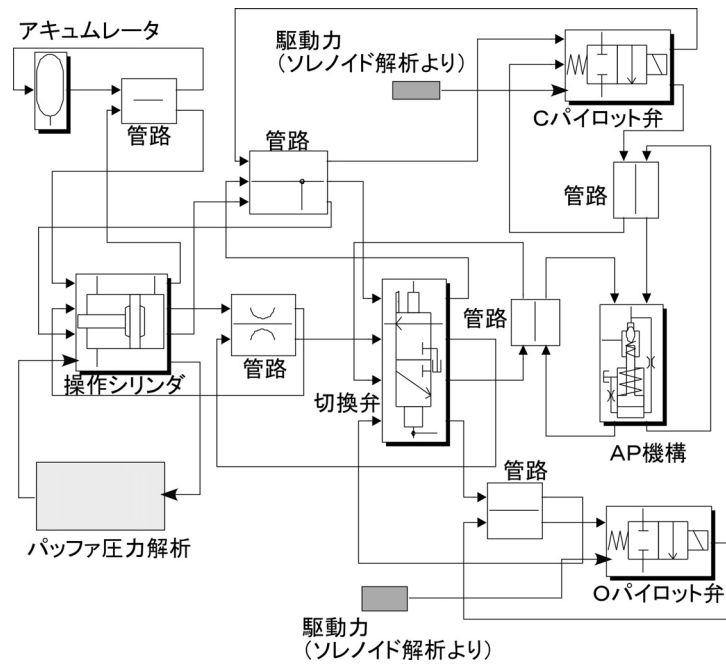


図5 油圧操作器解析

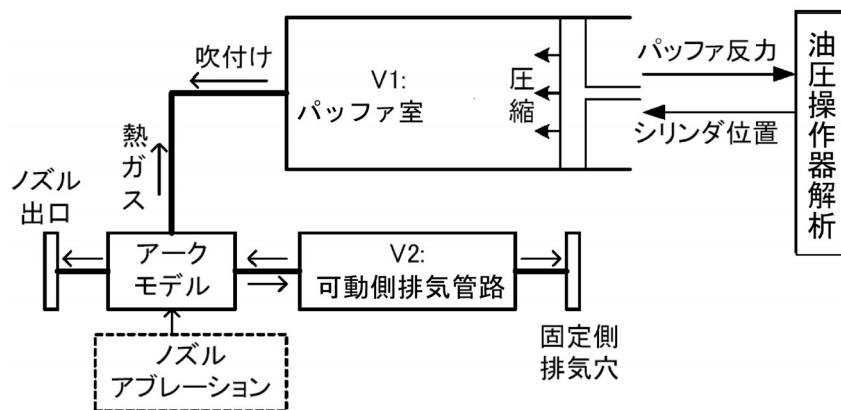


図6 パッファ圧力解析

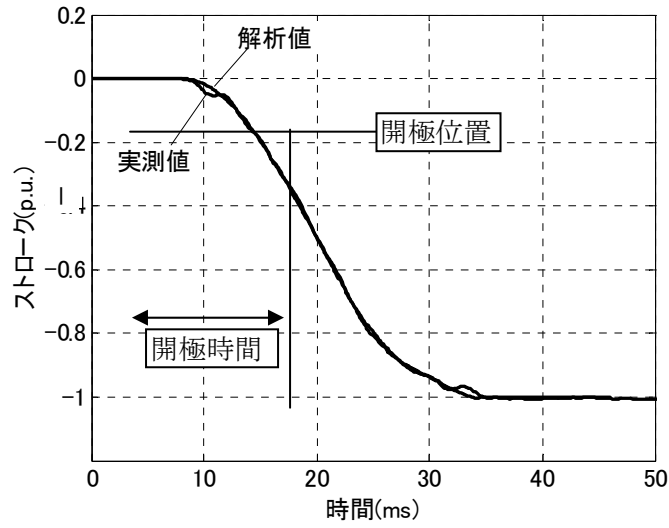


図7 操作シリンダ変位

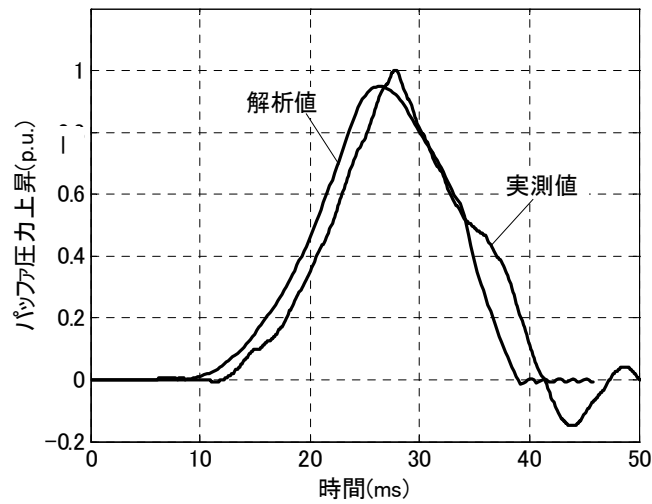


図8 パッファ圧力