# 新グローバル MCCB/ELCB の要素技術開発

中野　雅祥（なかの　まさあき）　恩地　俊行（おんち　としゆき）　杉山　修一（すぎやま　しゅういち）



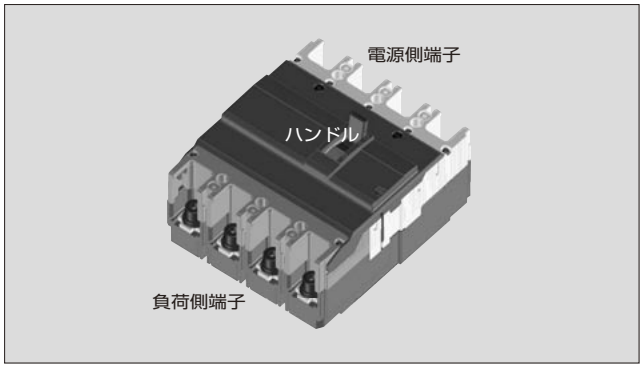
## 1　まえがき

配線用遮断器（MCCB）や漏電遮断器（ELCB）は，過電流や地絡電流の発生時に配線，機器，人体などを保護する役割を果たすことから，電気を使用するすべての機器，装置，設備，建造物に設置されており，世界の至る所で使用される製品である。しかし，その性能については，国あるいは地域により規格で規定されているが，歴史的な背景や系統の構成による考え方の違いなどもあり，内容は異なっている部分もある。

現在，規格を統一しようという動きはあるものの，実際には，世界を見渡すと，IEC（欧州，アジアなど），UL（米国など），GB（中国：IEC とほぼ同じ），JIS（日本：IEC とほぼ同じ内容と日本固有の内容の 2 本立て）などの規格が存在しており，例えば，IEC 仕様，UL 仕様，JIS 仕様など，それぞれの規格に合致した製品群を準備し，供給しているのが実情である。そこで，今回，新グローバル MCCB/ELCB として，真のグローバル製品群を目指し，これらの規格に対応する性能を 1 機種にて満足することを基本コンセプトとして開発を行った。

本稿では，従来の JIS 規格品の寸法をキープして，かつ世界の規格を同時に満足する製品を実現するための基本的な技術を述べる。

図 1　新 MCCB/ELCB の外観




## 2　新開発した MCCB/ELCB の構造

開発品は現行品と同じツインブレーカ（MCCB と ELCB が同一寸法）である。**図 1** にその外観を示す。

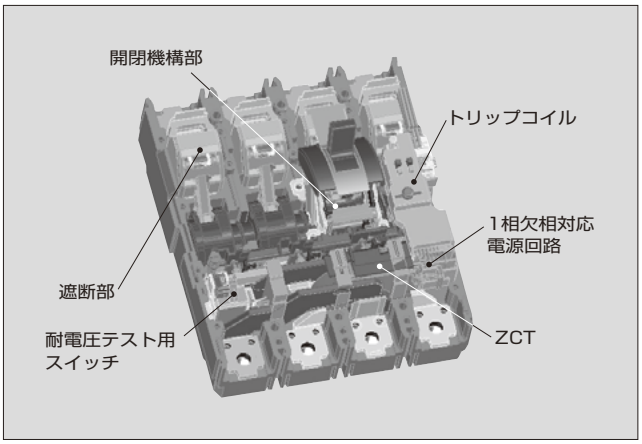
**図 2** には新 ELCB の構造を示す。IEC60947–2 附属書 B Ed. Ⅲに対応し，3 相のうち 1 相が欠相しても漏電保護動作が可能となるように，漏電電流の検知回路に各相から電源を供給する新しい電源回路を開発し搭載している。また，通常は機器や配線の異常の有無を回路の耐電圧の測定により確認するが，その際に印加する電圧は，ELCB の内蔵回路素子には過大となり，故障の原因となることがある。これを防止するため，点検時に回路素子を通電部から切り離す耐電圧テスト用スイッチも新たに開発し ELCB に搭載している。

なお，MCCB の構造は，ELCB の構成機器から漏電の検知や動作に関係するユニットや部品を除いて構成されており，筐体（きょうたい）をはじめ，遮断部や開閉機構部などは同一構造としている。

## 3　新 MCCB/ELCB に採用した要素技術

ここでは代表例として，高遮断性能，1 相欠相対応の漏

図 2　新 ELCB の構造



**中野　雅祥**

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。電気学会会員。

**恩地　俊行**

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。電気学会会員。

**杉山　修一**

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所副所長。電気学会会員。

電保護動作，筐体構造の高強度化に関する要素技術について紹介する。

### 3.1　高遮断性能

低圧遮断器の遮断責務は，IEC 規格に $I_{cs}$ 責務（O–CO–CO〈注〉）が規定され，UL 規格では，極間に大きな回復電圧が印加される 1 線地絡時の単極遮断が規定されている。1 機種でこれらの責務すべてに対応するものは，外形寸法が大きくなり，顧客要求に合致するには困難であった。この解決には遮断技術の深化がきわめて重要な課題である。以下，遮断時のガス流制御および細げき構造の最適化について紹介する。

#### 3.1.1　ガス流制御

従来，短絡電流など大電流遮断時には，固定接触子や可動接触子の周囲に設置したグリッドや磁気ヨークなどの磁性体を介してアークに磁界を加え，アークに流れる電流との相互作用で発生する電磁力によりアークを駆動し，グリッドに押し込み冷却し電流を遮断していた。このとき，アークにより遮断部は高温高圧となり，圧力の低い周囲に向かってガス流が生じる。今回の開発では，前述の電磁力に加えこのガス流を利用することにより高遮断性能化を図っている。**図 3** にはこのときのガスの流れを示す。図に示すように，ガスの流れはグリッドを介して電源側に向かう流れと，逆に開閉機構部や過電流・漏電検知部を介して負荷側に向かう流れとに分かれ，前者のガス流を増大させることによりアークをグリッドに向かって駆動させることができる。

**図 4** には，グリッドにアークが押し込まれているかどうかを検証するために，各グリッドの電位を測定した例を示す。検証は，回復電圧が高く過酷な UL489 に規定されている定格電圧 480 V/Δ 結線の単極遮断条件にて実施した。測定結果から各グリッドの電位から何枚のグリッドにアークが押し込まれているかを判定し，遮断の成否との関係を求めた結果を**図 5** に示す。この図に示すように，電源側と負荷側に排出されるガス流量の比が一定以上必要なことから，電源側と負荷側の排気形状を最適化しアークに吹き付けるガス流を制御することにより，アークが押し込まれるグリッド枚数を増加でき，遮断が可能となることが判明した。

#### 3.1.2　遮断部の細げき構造

遮断部ではアークの周囲をプラスチック製の樹脂で囲う細げき構造を用い，樹脂のアブレーション効果によりアークを冷却する方法が採られている。限流性能を向上し高遮断性能化を図るには，樹脂とアークとの距離を狭くしアブレーション効果を高めることが必要である。しかし，逆に樹脂から蒸発するガス量の増加や冷却によるアーク電圧の増加により，内部圧力が上昇[(1)]し[(2)]，筐体が損傷するおそれがある。今回の開発では，細げき形状を最適化することによ

〈注〉O–CO–CO：遮断 – 投入遮断 – 投入遮断

図 3　電流遮断時の模式図

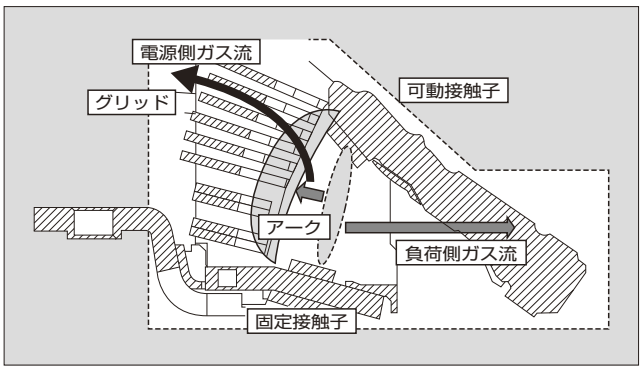



図 4　グリッド電圧の測定例

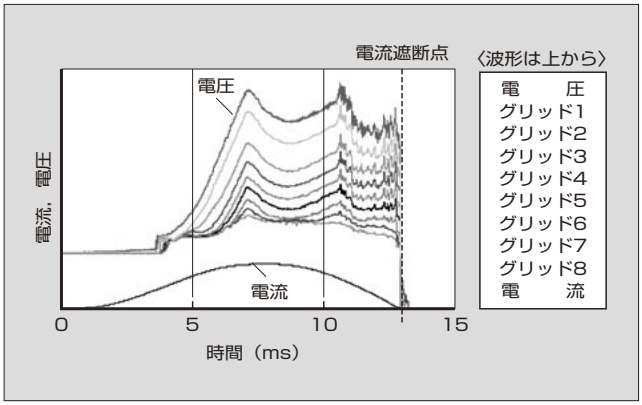



図 5　アークが押し込まれたグリッド枚数と遮断性能

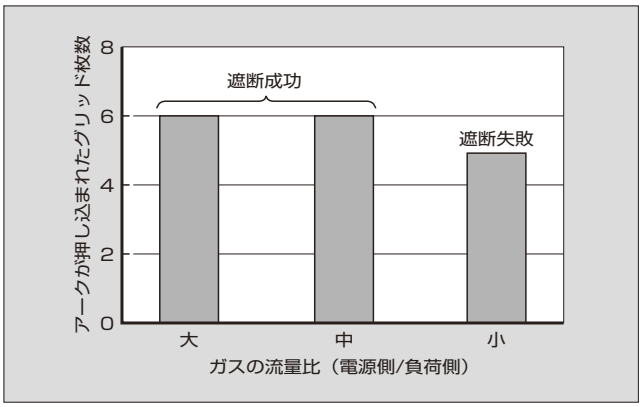
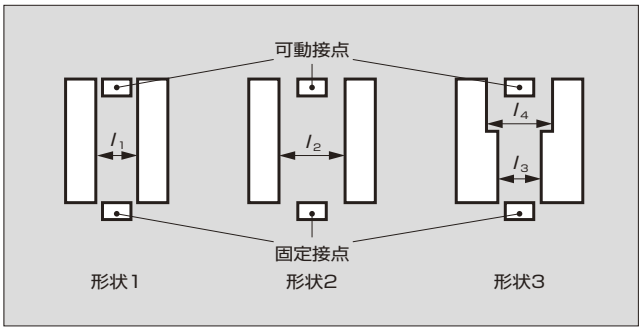



図 6　細げき樹脂の形状



リ，内部圧力の上昇を抑えながら高遮断性能を実現した。

短絡電流遮断時のオシログラムを見ると，まず電流が最初にピーク値に到達し，ある時間をおいてアーク電圧と内部圧力の上昇がほぼ同時か内部圧力の上昇がやや遅れてピーク値に到達している。今回の開発では，この時間差に着目し，遮断初期，すなわち可動接触子が固定接触子に近い範囲では細げき幅を狭くし，アブレーションにより限流性能を高めることにより電流ピーク値を抑え，遮断後期，すなわち可動接触子が固定接触子から離れた位置では細げき幅を広くしアブレーションガスの発生やアーク電圧の増加を抑えることにより内部圧力の上昇を抑制することを可能とした。

**図 6** に細げきの形状，**図 7** に検証試験結果を示す。これらの図から，細げき幅を固定子に近い範囲では狭く，離れた位置では広くすることにより，細げき幅の狭い場合（形状 1）と同等に電流ピークを抑え，かつ，内部圧力の上昇を抑制できることが分かる[3]。

以上，ガス流制御と細げき形状の最適化について述べたが，ほかにも，遮断シミュレーション[4]を適用し，固定接触子，可動接触子，グリッド，磁気ヨークなど遮断部の形状を最適化し，高遮断性能化を図ることにより，IEC 規格や JIS だけでなく，従来困難であった UL489 に規定されている定格電圧 480 V/Δ 結線の電流の遮断を 1 機種にて可能とした。

図 7　細げき形状が電流および内部圧力上昇に与える影響

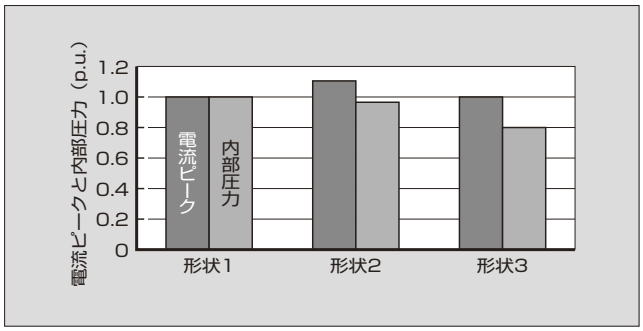
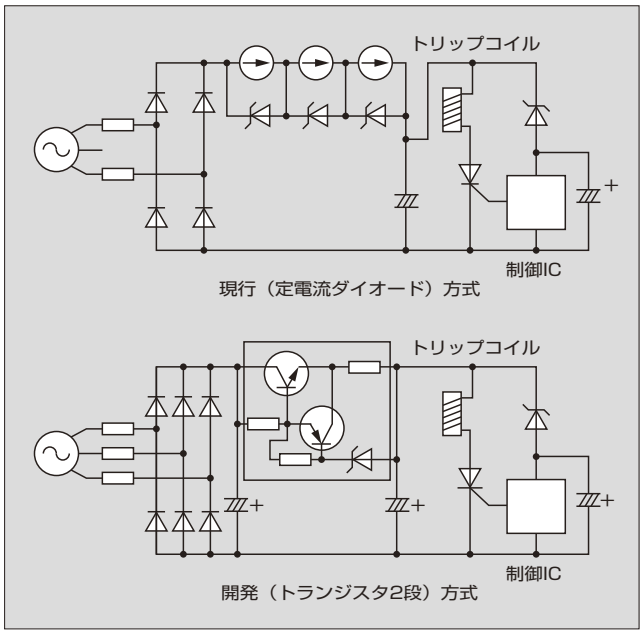



図 8　電源回路の比較




### 3. 2　1 相欠相対応の漏電保護動作

IEC60947 では，3 相のうち 1 相が欠相した場合でも漏電保護動作ができることを要求している。また，JIS C 8201 にも同様のカテゴリー規定が追加されている。

ここでは，これに対応して開発した漏電検知部に電源を供給する電源回路とトリップコイルに適用した要素技術を紹介する。

#### 3. 2. 1　電源回路

1 相欠相時にも漏電引外し用のトリップコイルに電源供給を可能とするためには，検出・引外し回路への電源供給を 2 相から 3 相へ変更する必要がある。これは 2 相方式では 1 相が欠相すると電源供給ができなくなるが，3 相方式では 1 相が欠相しても残りの 2 相から電源供給が可能となるためである。3 相方式において，1 相欠相時は通常時と比較し電源電圧が低下する。その場合でもトリップコイルに安定的に電源を供給する必要があることから，高電圧を低電圧化するための高耐圧トランジスタと負荷電流を定電流化するための低耐圧トランジスタの 2 種類を組み合わせたトランジスタ 2 段方式を採用した。

図 9　電源回路の特性比較

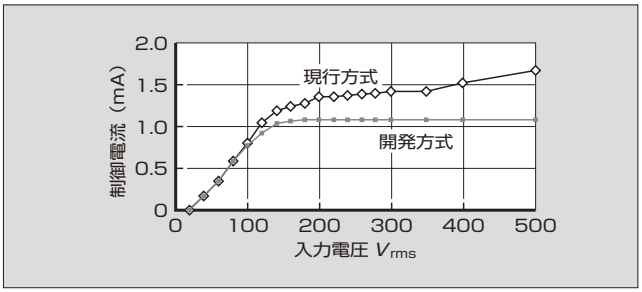



図 10　トリップコイルの構造

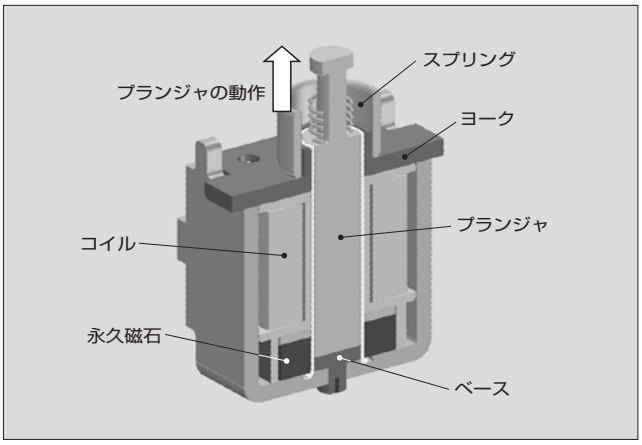


図 11　トリップコイルの動作解析例

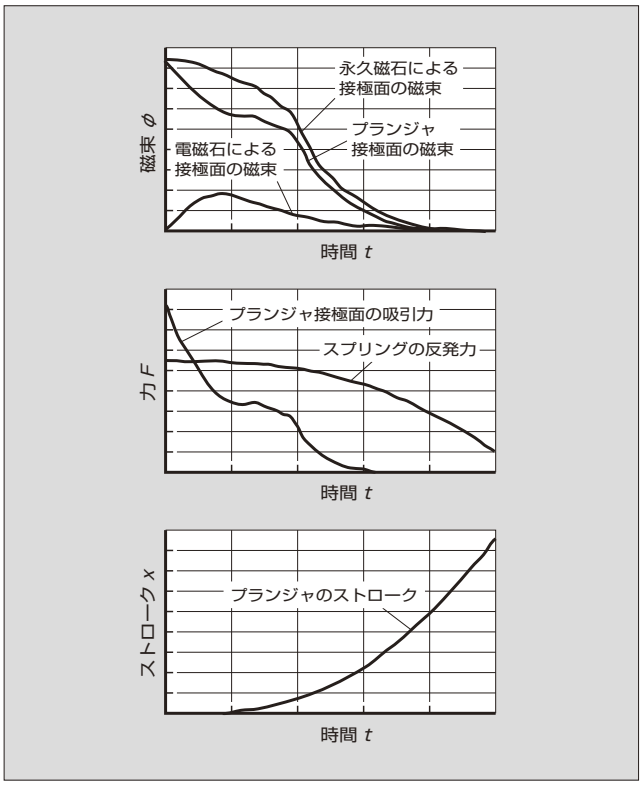



図 12　筐体のひずみの解析例

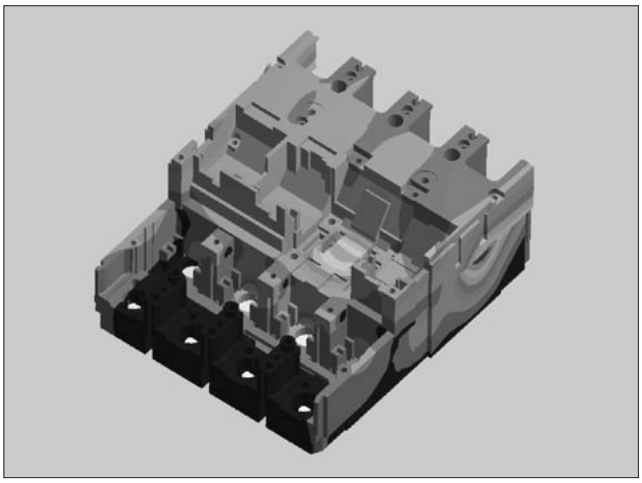


**図 8** には現行方式と開発方式との回路構成の比較を，**図 9** には同じく電流－電圧特性の比較を示す。図から分かるように，従来に比較し，定電流特性が大幅に向上している。さらに，現行比で実装面積は 71 %に，消費電力は 43 %と，それぞれ大幅に低減した。

### 3. 2. 2　漏電引外し用トリップコイル

トリップコイルの構造を**図 10** に示す。トリップコイルは，漏電を検知した場合に検知回路からの出力を受けてプランジャを動作させ，図にはないが開閉機構部のラッチを外すことにより ELCB をトリップさせる役割を持っている。通常は永久磁石の吸引力によりスプリングを圧縮し，プランジャを下方に保持している。漏電発生時にはコイルに電流を流し，永久磁石とは逆向きの磁束を発生させ，スプリングの反発力によりプランジャを上方に動作させて，ELCB をトリップさせる。

今回の開発においては，前述の欠相動作が可能な電源回路の内蔵化に伴う内部スペースの減少に対応するため，トリップコイルの動作解析シミュレータを開発して最適化を図った。その結果，従来のほぼ 1/2 の容積まで縮小することができた。

対象となるトリップコイルは ms レベルの短時間で動作することが求められる一方，プランジャの位置により磁気回路や電気回路のパラメータが相互に依存しかつ大幅に変化することなどから，計算ステップを細かくする必要があり，動作解析に有限要素法を利用した汎用の解析手法を適用すると膨大な手間や解析時間を要するため実用的ではない。そこで，磁気回路系，電気回路系，および機械系をそれぞれ定式化し，連成させることにより，動作を解析するシミュレータを開発した[(5)(6)]。

**図 11** に動作解析例を示す。このシミュレータの解析誤差は最大でも 10 %程度であり，実用上問題のないことを確認するとともに，品質工学の手法を利用したロバスト性の検討にも利用し，トリップコイルの形状や**図 8** に示した制御電源回路の最適化を図った。

### 3. 3　筐体構造の高強度化

**3. 1. 2** 項でも述べたように，今回の開発では，遮断部消弧室の細げき形状の最適化を図ることにより，筐体内部の圧力上昇を抑制している。さらに，以下に述べるように，筐体の強度解析を行い構造を最適化することにより圧力上昇による破損を防いでいる。

今回適用したシミュレータ解析では，事前の検証実験にて得た結果を筐体内部の圧力分布のパラメータとして入力するとともに，分割して構成している筐体同士を締結しているねじを考慮して一体解析するなどの工夫をしている。**図 12** に短絡電流遮断時のひずみ解析の一例を示す。

結果を基に，短絡電流遮断時などの実験との比較検証を行い筐体構造の高強度化を図った。

## 4　あとがき

低圧遮断器の開発は，相互に関連した事象（特性あるいは性能）をいかにうまくコントロールするかにかかっている。例えば構造を左右する最も大きな要因である短絡電流遮断時を想定すると，数 ms ～ 10 ms 程度のごく短時間で，温度はアーク中心で 10,000 K にも達する高温に，圧力は大気圧から最大で数 MPa という高圧力に上昇する状態となっており，それらが互いに影響しながら最終的に遮断の成否が決まる。従来は，電流，電圧など性能に直結する事象を対象に遮断器の外面に現れる特性を測定していたが，ブレークスルーには，遮断器の内部で発生している現象であるガス流や温度，圧力分布などを把握し，コントロール

することがさらなる性能向上には不可欠となる。その場合には数値計算の手法も有力な武器となり，それを裏付けるデータの取得もより重要となる。そのためには，上記のような通常では考えられない高温・高圧の条件で，しかも短時間の現象を精確に測定する技術の開発も必要不可欠となる。

今回の開発に適用した要素技術は，その第一歩を踏み出したに過ぎず，今後も関係各位のご指導・ご支援をお願いする次第である。

### 参考文献

(1)　磯崎優ほか．密閉容器における大電流気中アークの特性．平成 13 年電気学会電力・エネルギー部門全国大会．no.416, 2001.

(2)　磯崎優ほか．内における大電流アーク特性の検討．電気学会合同研究会資料．ED-04-48/SP-04-05/SA-04-31, 2004.

(3)　秦淳一郎ほか．配線用遮断器における短絡電流遮断時における内部圧力上昇の検討．平成 17 年電気学会全国大会．no.6-202, 2005.

(4)　恩地俊行ほか．配線用遮断器の遮断シミュレーション技術．富士時報．vol.76, no.4, 2003, p.217-220.

(5)　工藤高裕ほか．コンデンサ動作形リニア電磁ソレノイドの吸引力解析．第 28 回日本応用磁気学会学術講演概要集．no.20aE-1, 2005.

(6)　工藤高裕ほか．コンデンサ動作形リニア電磁ソレノイドの動的応答簡易解析．日本応用磁気学会論文誌．vol.29, 2005, p.41.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。