

# 製造ばらつきを考慮した機構解析技術

幸本宏治\* 渡辺和昌\*\*  
 舛田真一\*\* 三木伸介\*\*\*  
 中田光昭\*\*

Method for Analyzing Multibody Motion Considering Production Tolerance

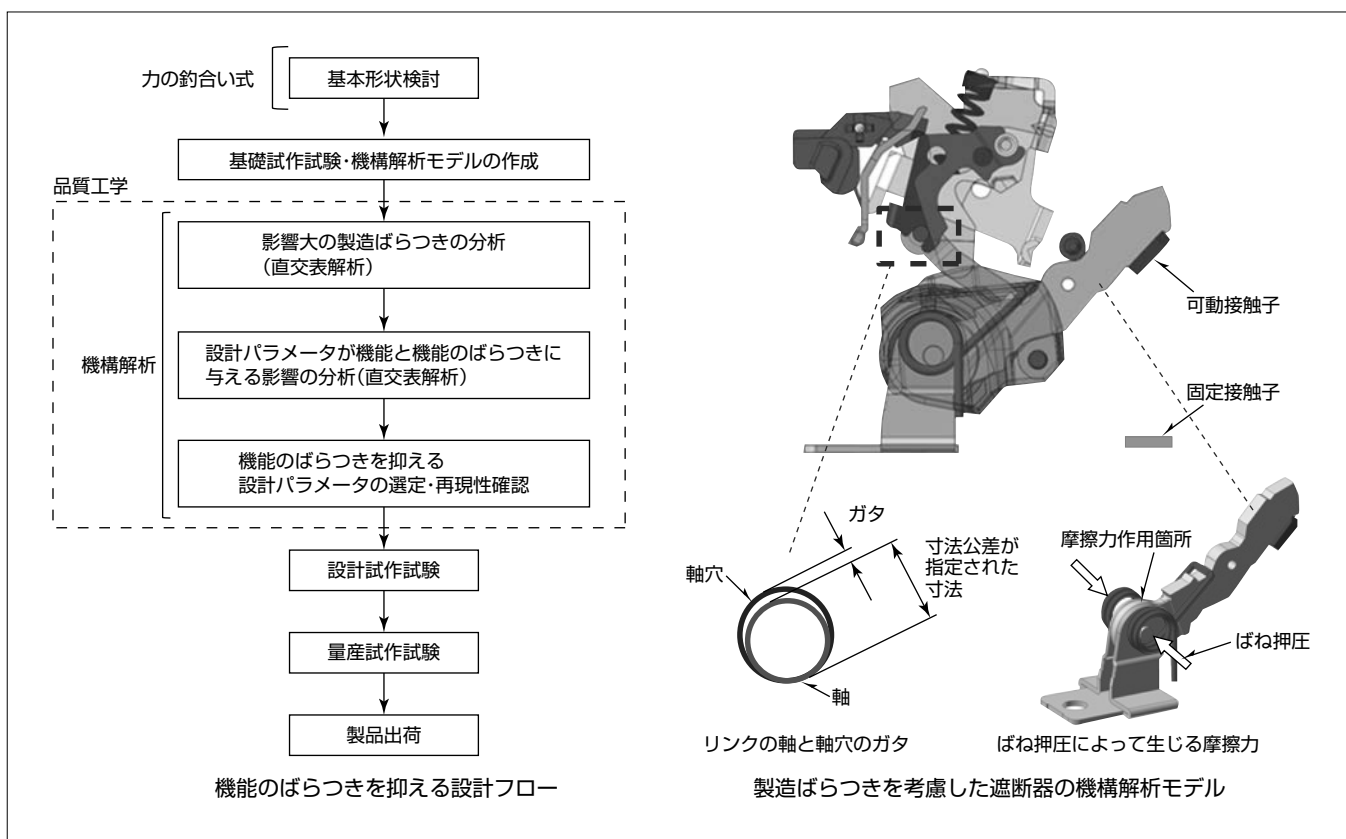
Koji Sachimoto, Shinichi Masuda, Mitsuaki Nakata, Kazumasa Watanabe, Shinsuke Miki

## 要旨

複数の部品がリンクやばねで接続された駆動機構を持つ量産製品の設計では、寸法公差、組立て公差等の製造ばらつきが製品の機能に大きく影響を与えるため、設計自由度の高い設計初期段階からそれらの影響を把握することが重要である。しかし、設計の初期段階では量産用の設備がないため少数の試作品しか製作することができず、製造ばらつきが製品の機能に与える影響を正確に把握することは難しい。設計の後工程になって製造ばらつきによる製品機能のばらつきの問題が顕在化すると、対策に多大な時間と費用を要する。そのため、駆動機構を持つ量産製品では、設計初期段階で製造ばらつきによる機能のばらつきを評価し、機能のばらつきを抑える設計技術の開発が望まれている。

そこで、産業用分電盤等で使用される遮断器を対象として、近年普及が進んでいる機構解析ソフトウェアを活用し、設計初期段階で品質工学を適用することによって機能のばらつきを抑える機構解析技術を構築した。

まず、製造ばらつきを詳細に反映した機構解析モデルを構築した。次に、製造ばらつきを反映した多数の機構解析を短時間で実施するために、解析モデルを自動作成する設計環境を整備し、2週間以上かかる解析作業を1日で実施可能にした。また、量産機種で検証試験を実施し、機能の特性値のばらつきが解析による予測値と同様の傾向を示すことを確かめ、構築した機構解析技術の有効性を確認した。この技術は遮断器の新機種開発に適用されている。



## 製造ばらつきによる機能のばらつきを抑える機構解析技術

機能のばらつきを抑える設計フローは、設計初期段階で機構解析ソフトウェアを活用し、品質工学を適用することによって機能のばらつきを抑える。遮断器の機構解析モデルは、リンクの軸と軸穴のガタや摩擦等の製造ばらつきを詳細に反映した。

## 1. ま え が き

複数の部品がリンクやばねで接続された駆動機構を持つ量産製品の設計では、寸法公差、組立て公差等の製造ばらつきが製品の機能に大きく影響を与える。そのため、設計自由度の高い設計初期段階からそれらの影響を把握することが重要である。しかし、設計の初期段階では量産用の設備がないため少数の試作品しか製作することができず、製造ばらつきが製品の機能に与える影響を正確に把握することは難しい。設計の後工程になって製造ばらつきによる製品機能のばらつきの問題が顕在化すると、対策に多大な時間と費用を要するため、駆動機構を持つ量産製品では、設計初期段階で製造ばらつきによる機能のばらつきを評価し、機能のばらつきを抑える設計技術の開発が望まれている。

一方、近年のCAE(Computer Aided Engineering)技術の進歩によって、市販の機構解析ソフトウェアを用いた駆動機構の動作解析技術が普及してきている。

本稿では、産業用分電盤等で使用される遮断器を対象として、機構解析ソフトウェアを活用し、設計初期段階でばらつきを抑える設計技術を構築した事例について述べる。

## 2. 製造ばらつきを考慮した機構解析

### 2.1 遮断器の仕組み

本稿で対象とする遮断器の構成を図1に示す。遮断器は回路を開閉する可動接触子と固定接触子、機械的に接触子の開閉を行う取手と開閉機構部、過電流に応動して接触子を開く過電流引き外し装置を含み、それらがモールドケースで一体に構成される<sup>(1)</sup>。

可動接触子と固定接触子は、取手のON/OFF操作又は過電流引き外し装置の作動によって開閉機構部が動作して開閉される。開閉機構部の動作は、図2に示すトグルリンクと呼ばれるリンク機構によって行われる。図2で取手をONからOFFに操作すれば、ばねの作用線がトグルリンクのデッドポイントラインを超えてリンクが屈曲し、逆に取手をOFFからONに操作すればリンクが伸長する(図2(a),

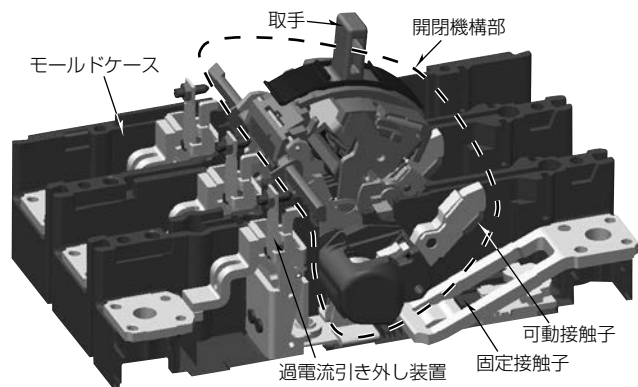


図1. 遮断器の構成

(b))。過電流が流れたときは過電流引き外し装置が作動し、レバーとラッチの係合がはずれ、ばねの荷重が解放されて接触子が開閉する(図2(c))。

### 2.2 機能のばらつきを抑える設計フロー

遮断器の設計では、各動作における力の釣合い式によって動作の成立性を検討し、基本形状を決定する。このとき、設計パラメータとなるリンクの長さやばね荷重等の寸法公差のばらつきの影響は考慮することができるが、摩擦等の組立て公差まで含めた製造ばらつきの影響を正確に評価することは難しい。設計後工程の量産試作で機能の特性値のばらつきが仕様を満たさない場合は、設計パラメータの調整によって改良が施されるが、製造ばらつきは実験で測定できないことも多く、対策には多大な時間とコストを要する。

そこで、製造ばらつきを詳細に反映した機構解析モデルを構築し、設計初期段階で品質工学<sup>(2)</sup>を適用してばらつきを抑える設計を実施することにした。図3に設計フローを示す。

品質工学では、まず製品の機能に影響を与える製造ばらつきの候補を抽出し、直交表に基づいた解析を実施して影

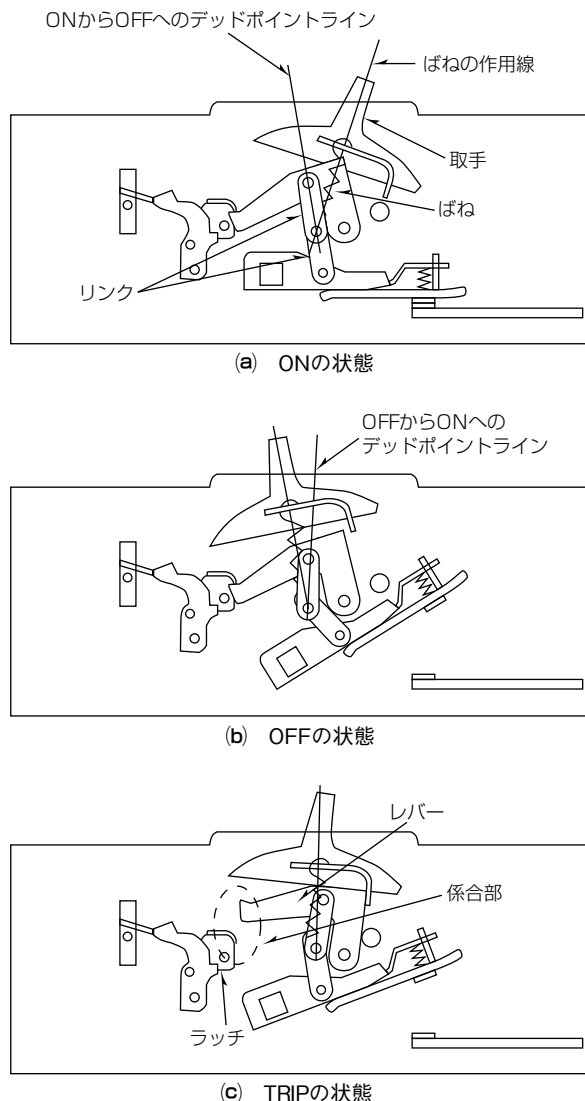


図2. 開閉機構部の動作の仕組み

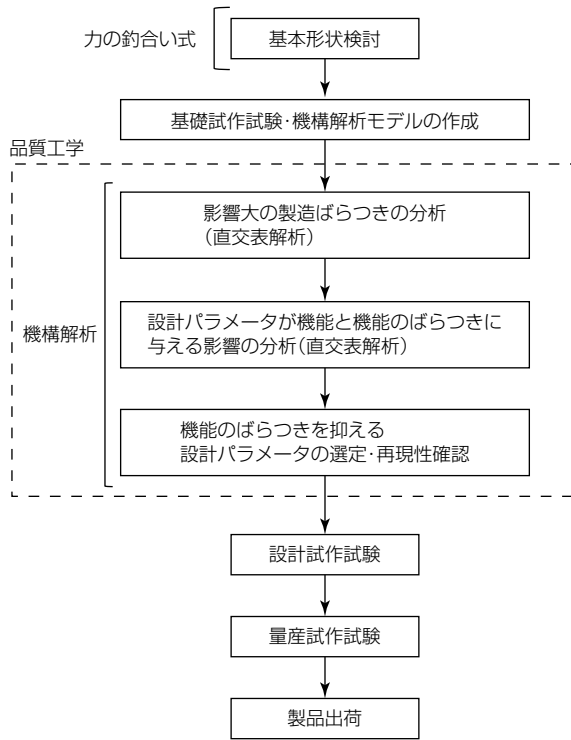


図3. 機能のばらつきを抑える設計フロー

響の大きい製造ばらつきを特定する。次に、影響が大きい製造ばらつきの影響下で、設計パラメータが製品の機能と機能のばらつきに与える影響を直交表に基づいた解析を再度実施して分析する。得られた分析結果から製品の機能のばらつきを抑える設計パラメータの組合せを選定し、確認解析を実施して選定した仕様の再現性を確認する。

図3のフローを実現するには、製造ばらつきを詳細に反映した機構解析モデルの構築と、品質工学でばらつきを反映した多数の解析を実施するための解析モデルの作成工数の削減が課題であった。

### 2.3 機構部の詳細解析モデルの構築

量産機種をベンチマークとして、製造ばらつきを詳細に反映した機構解析モデルを構築した。機構解析では、部品間にリンク拘束、接触拘束、それらに作用する摩擦を定義することで、解析モデルを構築する。まず、これらの構成要素で遮断器の開閉動作を模擬する初期解析モデルを構築したところ、トグル機構の開閉動作は模擬できたが、可動接触子と固定接触子の接触荷重が実測と整合しなかった。

そこで、解析モデルに反映されていない製造ばらつきを網羅的に洗い出し、その中で影響が大きいと推測される次の製造ばらつき(1)、(2)を反映したところ、接触荷重が実測と整合するようになった。開閉機構部の解析モデルを図4に、製造ばらつき(1)、(2)の模式図を図5に示す。

#### (1) リンクの軸と軸穴のガタ

通常の機構解析ではリンクの軸と軸穴のガタは含まないが、全ての部品のリンクの軸と軸穴のガタに接触拘束を定義してモデル化した(図5(a))。

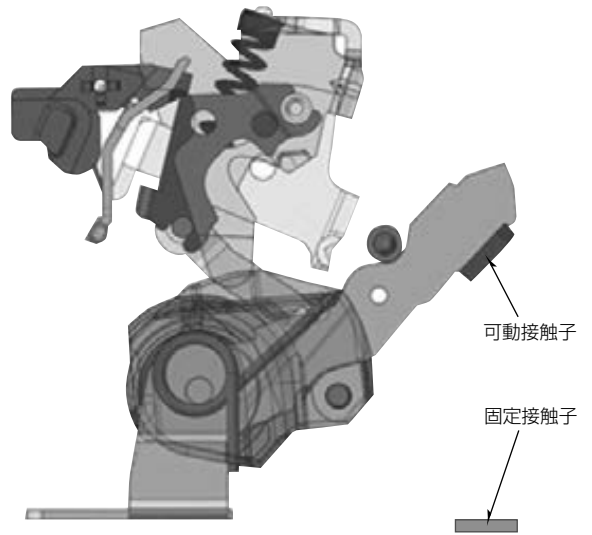
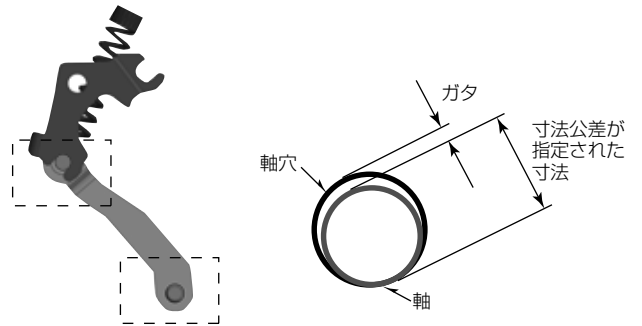
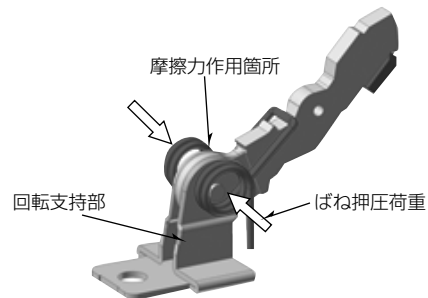


図4. 開閉機構部の解析モデル



(a) リンクの軸と軸穴のガタ



(b) ばね押圧によって生じる摩擦力

図5. 詳細解析モデルのポイント

#### (2) ばね押圧によって生じる摩擦力

可動接触子の回転支持部で、通電を確保するためのばね押圧によって生じる摩擦力をモデル化した(図5(b))。

### 2.4 機構解析モデルの作成工数の削減

機構解析モデルは図6に示すように、三次元CADソフトウェアで形状を作成した後、中間CADファイルを機構解析ソフトウェアにインポートし、機構解析の設定をして作成する。そのため、製造ばらつきを反映し、寸法が異なる機構解析モデルを複数作成するためには、CADソフトウェアで寸法が異なる形状を作成した後に、機構解析ソフトウェアにインポートして解析設定を付け直す作業が必要であった。なお、CADソフトウェアに付属した簡易的な

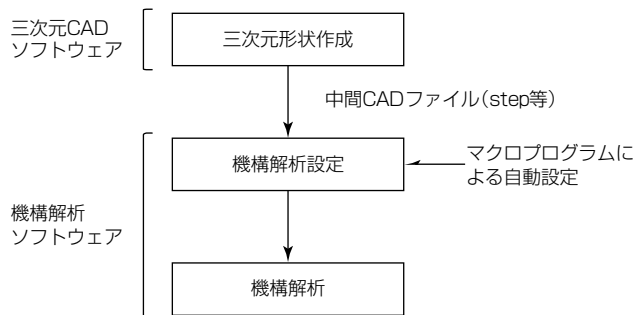


図6. 機構解析モデルの作成手順

機構解析ソフトウェアの中には、CADソフトウェアで形状を変更可能なものもあるが、専用の機構解析ソフトウェアと比較すると接触機能が弱く、ガタの影響を精密に再現することができない。

そこで、機構解析ソフトウェアにインポートしたCAD形状に対して、2.3節で定めた機構解析設定を自動で設定するマクロプログラムを整備した。マクロプログラムでは、部品間のリンクや接触面全てにIDを設定し、プログラムで同じIDを参照することで、寸法が異なる複数のCADモデルに同一の機構解析設定を自動作成できるようにした。

解析設定を自動作成する環境を整備することで、解析モデルの作成時間を大幅に短縮した。例として、ばらつき設計検討に80個の解析モデルが必要な場合、品質工学の適用に2週間以上かかったが、1日で検討できるようになった。

### 3. 実機検証

構築した機構解析技術を用いて、ベンチマークとした量産機種種のON動作に関わる特性値の改善を検討した。検討対象の特性値は、可動接触子と固定接触子の間にスペーサをはさんだときにON動作が成立しなくなるスペーサの厚みとした。はさめるスペーサの厚みが大きいほど、製造ばらつきによってON動作の動きが鈍くなる現象に対してマージンがある。

まず、製造ばらつき因子を15個抽出し、それらがスペーサ厚みに与える影響を直交表に基づいた解析によって分析した。その結果、図7に示す“開閉機構部の浮き”と可動接触子の“回転ばねの荷重”の2つの影響が大きいことが判明した。

次に、設計パラメータとして、可動接触子の“回転ばねの荷重”“リンクAの長さ”、可動接触子の“ばね押圧荷重”を選定し、主な2つの製造ばらつきの影響下で、設計パラメータがスペーサ厚みに与える影響を分析した。その結果、設計パラメータの組合せとして2パターンの仕様1、2で、製造ばらつきによってON動作の動きが鈍くなる現象に対

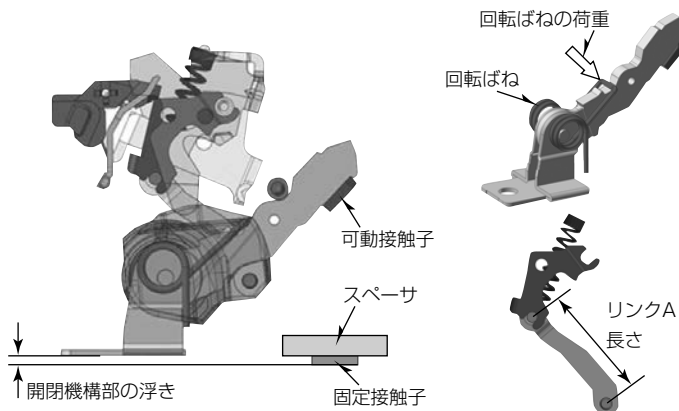


図7. ばらつき因子と制御パラメータ

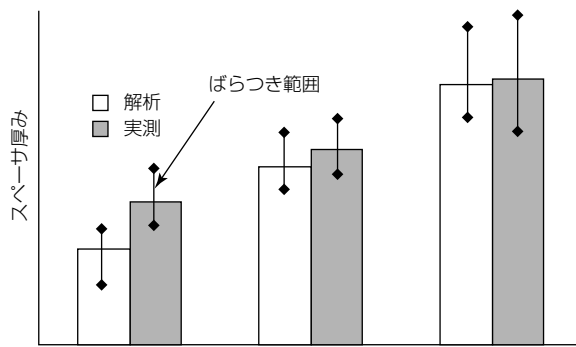


図8. 実機検証結果

してマージンが増える改善仕様であることが分かった。

改善前の仕様と改善後の仕様1、2について、実機検証試験を実施したところ、スペーサ厚みとばらつきが機構解析による予測値と同様の傾向を示した(図8)。そのため、構築した設計技術が有効であることを確かめることができた。

### 4. むすび

遮断器を対象として、機構解析ソフトウェアを活用し、設計初期段階で品質工学を適用することによってばらつきを抑える機構解析技術を構築した。この技術は遮断器の新機種開発に適用されている。

今後は適用機種を増やして製品のQCD(Quality Cost Delivery)改善に貢献するとともに、製造ばらつきのデータの蓄積を行い、製品機能のばらつきの解析精度の向上を行う。

### 参考文献

- (1) 三菱ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器 技術資料集, 三菱電機(株) (2013)
- (2) 立林和夫, 入門タグチメソッド, 日科技連出版社 (2004)