

NEO SC シリーズ 新中形電磁接触器

広田 耕人(ひろた たかと)

鈴木 健司(すずき けんじ)

宮沢 秀和(みやざわ ひでかず)

1 まえがき

電磁接触器は、生産設備の自動化、省力化に多く使われており、その果たす役割は重要である。システムの複雑化、高機能化に対応するため、電磁接触器には運転信頼性の向上、省エネルギー化、取付け・配線および保守点検の容易性の向上、保守工数低減のための長寿命化、いろいろな用途にも簡単に対応可能な高機能化、さらには設備の輸出に必要な海外規格対応や安全性の向上、などといった要求が一段と強まってきている。

これらの市場要求にこたえるべく今回開発した NEO SC シリーズ 新中形電磁接触器・開閉器 (N1 ~ N3 : 電動機容量 AC200V, 5.5 ~ 15kW。以下、新シリーズという) は、高性能、高機能、使いやすさの向上、海外規格対応、安全性の向上を追求した電磁接触器である。以下にその概要を紹介する。図1にその外観を示す。

2 特長

2.1 グローバルスタンダードの追求

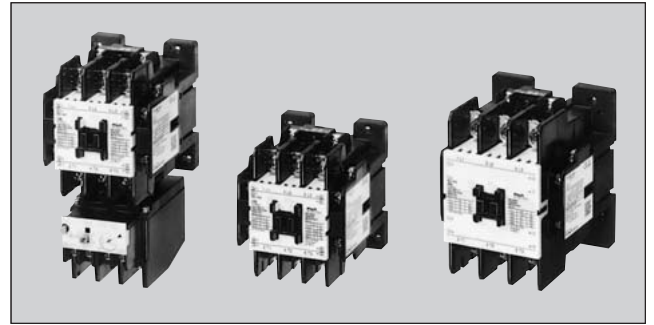
市場のボーダーレス化が一層進むなかで、欧州市場では EU 統合に伴いすでにヨーロッパ規格である EN 規格が IEC 規格に整合されており、各国規格においても同様な動きが進んでいる。

国内でも電磁開閉器、電磁接触器などの低圧開閉装置および制御装置に関する JIS 規格は、国際化対応するため国際規格である IEC 規格に整合されつつある。

このようななか、電磁開閉器や電磁接触器を単独または装置に組み込んで海外へ輸出する機会が増加している今日では、海外規格にも適合していることが当然必要となる。

NEO SC シリーズは、国内規格はもとより各種海外規格に標準で適合または認定を取得している(一部申請中および申請準備中)。表1に適合規格または認定取得規格を示す。

図1 NEO SC シリーズ 新中形電磁接触器・開閉器の外観



AF98-280

2.2 安全性への配慮

感電事故の防止に対する要求レベルの高揚と合わせて、機器や装置が事故を起こさないような配慮の要求も強まってきている。新シリーズは、より安全性の向上に配慮した構造を備えている。

(1) 端子カバー

充電部露出防止に関する指針である VBG4 (ドイツの事故防止規定) および IEC60529, DIN57106, VDE0106 Teil100 の規定に準拠した端子カバーをオプションとして用意した。

この端子カバーは機械の安全性に関する機械指令 EN 60204-1「直接接触に対する保護」の要求事項に適合している。

わが国では、配線端末処理に丸形圧着端子を使用することが一般的なため、配線後に端子カバーを装着できるように着脱可能な構造としている。

(2) 充電部保護カバー

電磁開閉器および電磁接触器の前面を覆い、充電部の露出を防止して保守・点検時の安全性を確保できる充電部保護カバーもオプションとして用意しており、端子カバーと合わせて用途により選択できるよう配慮している。図2に端子カバーと充電部保護カバーを電磁接触器に装着した例を示す。

(3) アークスペースフリー



広田 耕人

電磁開閉器の開発・設計に従事。現在、吹上工場器具設計部主査。



鈴木 健司

(株)富士電機総合研究所のメカトロニクスグループにて機器の研究開発に従事。現在、機器・制御カンパニー機器事業部器具開発部。



宮沢 秀和

電磁開閉器の開発試験に従事。現在、吹上工場器具設計部。

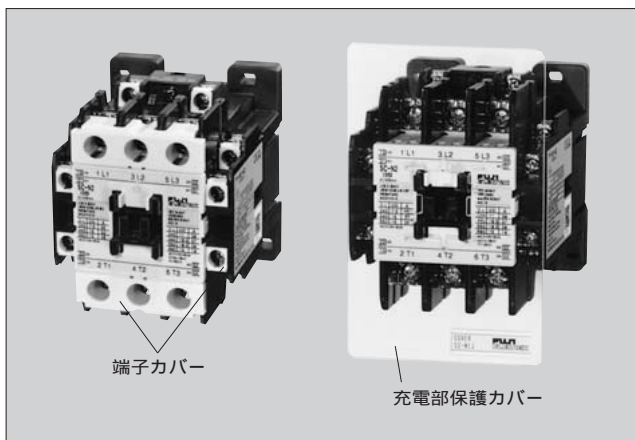
表1 NEO SC シリーズの適合規格と認定取得規格

機種	サマーリレー ヒートエレメント数	形式	適合規格				認証 機関	EC 指令	認定取得 規格		船舶規格				
			JIS JEM	IEC	VDE	EN	TÜV	CE マーク	UL	CSA	NK	LR	BV	KR	
			日 本	国 際	ド イ ツ	ヨ ー ロ ッ パ	ド イ ツ	ヨ ー ロ ッ パ	ア メ リ カ	カ ナ ダ	日 本	イ ギ リ ス	フ ラ ン ス	大 韓 民 国	
電磁接触器 (ケースカバー なし)	標準形	—	SC-												
	可逆形	—	SC- RM			—					—	—	—	—	
	直流操作形	—	SC-N1/G ~ N3/G									—	—	—	
	スーパーマグネット付き	—	SC-N1/SE ~ N4/SE									—	—	—	
電磁開閉器 (ケースカバー なし)	標準形	2	SW-		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3	SW- /3H									—	—	—	—
	2E サマーリレー付標準形	3	SW- /2E									—	—	—	—
	可逆形	2	SW- RM		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3	SW- RM/3H										—	—	—
	2E サマーリレー付可逆形	3	SW- RM/2E										—	—	—
サマーリレー	標準形	2	TR-N		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3	TR-N /3										—	—	—
	2E サマーリレー	3	TK-N										—	—	—

注1 : フレームサイズを示す。 電磁接触器・開閉器・・・N1, N2, N2S, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N10, N11, N12, N14, N16
サマーリレー・・・N2, N3, N5, N6, N7, N8, N10, N12, N14

注2 : 標準品で適合, : 標準形式で認定取得, : 電磁接触器 + サマーリレーで認定取得 (一部申請中, および申請準備中)

図2 端子カバーと充電部保護カバーの装着例



AF99-37/AF99-166

電流を遮断したときのアーク現象を三次元有限要素法 (FEM) による磁界解析を行い、グリッド形状と固定接触子・可動接触子との相対配置の最適化を図った。これにより遮断性能の向上を図りながら、消弧室容積の確保とアークガスの排出経路の工夫を加えて、アークスペースフリー構造を実現した。

(4) 絶縁材料への配慮

機器を長期間安全に使用したいという要求は当然であり、これにこたえるためには、長期間にわたって高電圧が印加される導電部周辺の絶縁材料の性能が重要となる。

絶縁材料には耐トラッキング性能という特性があり、これは絶縁材料に長期間電位がかかった状態が継続すると、絶縁材料の表面は絶縁劣化を起こして絶縁破壊経路 (トラッ

ク) が形成され、それにより電位間の絶縁破壊につながって短絡 (トラッキング) に至る現象である。

耐トラッキングについては UL 規格 (UL746A) や IEC 規格 (IEC60112) で絶縁材料の試験方法として規定されており、絶縁破壊の起こりにくさのレベルを電圧で表している。この電圧を CTI (Comparative Tracking Index : 比較トラッキング指数) といい、この CTI が大きいほどトラッキングが起こりにくいことを表している。

電磁接触器・開閉器に関連する IEC 規格 (IEC60947-1) では、定格絶縁電圧ごとに使用絶縁材料の CTI と沿面距離の関係を規定している。

新シリーズはより安全性の向上を図るため、特に主回路導電部は IEC 規格で規定されている CTI の高い絶縁材料と沿面距離に余裕を持たせた構造、すなわち絶縁材料は CTI 175 V 以上の材料を採用し、沿面距離は 16 mm を確保した。

表 2 に IEC60947-1 における定格絶縁電圧と CTI と沿面距離の関係を示す。

2.3 使いやすさの向上

多様化するニーズに的確にこたえて、より使いやすさの向上を図るために、新たに数々の特長を加えた。

(1) 使用周囲温度を 55 まで拡大

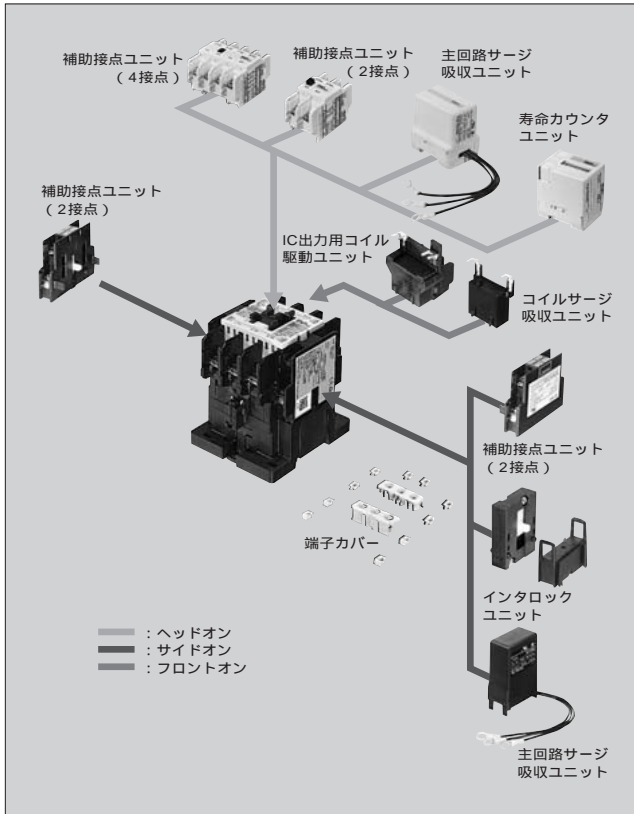
制御盤の小形化に伴う機器の密集取付けなどにより、電磁接触器が使用される周囲温度が高くなってきている。従来からもこのような使用周囲温度の高い環境への適用にも対応してきた。しかし、新シリーズでは導電部の強化と電

表2 IEC 規格の定格絶縁電圧とCTI と沿面距離

定格絶縁電圧	沿面距離 (mm)			
	600 V CTI	400 V CTI<600 V	175 V CTI<400 V	100 V CTI<175 V
630 V	8	9	10	10
800 V	10	11	12.5	注1
1,000 V	12.5	14	16	注1

注1 このクラスの材料は630 Vを超える適用には推奨しない。
 注2 IEC60947-1汚染度3による。

図3 新中形電磁接触器のオプションユニット



磁石の効率化による損失低減により、標準仕様での使用周囲温度を 55 まで適用できるように拡大した。

(2) 直流専用電磁石品を追加

新シリーズでは、直流操作コイルの投入 VA を従来同等機種種の1/10以下まで低減した直流専用電磁石採用の電磁接触器 (SC-N1/G ~ SC-N3/G) シリーズを開発した。投入 VA と保持 VA が同一でありかつ小さいため、制御電源の小形化に貢献できる。

(3) スーパーマグネット品も準備

従来から高い評価を得ている「富士スーパーマグネット」をさらにレベルアップした新形スーパーマグネットを準備した。その主な特長は次のとおりである。

- 電圧変動によるばたつき動作がなく、接点の溶着や損傷を防止する。
- 動作時の電圧変動に強い。
- コイル定格範囲が広く、しかも AC/DC 共用である。
- コイルサージ吸収機能を内蔵している。
- EMC (Electromagnetic Compatibility) 指令に対応し

ている。

- レール取付けが可能である。

なお、スーパーマグネットの詳細な機能や特長については、本特集号の別稿「NEO SC シリーズ 新大形電磁接触器」を参照いただきたい。

(4) レール取付け機種を拡大

IEC 規格、DIN 規格準拠の 35mm 幅支持レールにワンタッチで取付け・取外しができるレール取付け機種を、従来の AC200 V 7.5 kW 機種までを 15 kW 機種 (N3) まで拡大した。電磁接触器、電磁開閉器ともにレール取付けができ、これによりさらに盤設計における合理化や取付けなどの使いやすさの向上を図った。

(5) 高信頼性補助接点の採用

制御システムの電子化に対応するため、電磁接触器の補助接点に接触信頼性の高い双接点を採用した。さらに電磁接触器の外部からのじんあいの侵入を防ぐための防じん構造と、内部から発生するプラスチック樹脂粉などのじんあいを抑制するためのしゅう動部位置構造に配慮した。これにより適用可能な最低使用電圧・電流を DC5 V、3 mA とし、電子機器への直接入力を実現とした。

(6) 電磁接触器と電磁開閉器の取付寸法を統一

電磁接触器と電磁開閉器のねじ取付穴寸法の統一を、従来の AC200 V 7.5 kW 機種までを 37 kW 機種 (N7) まで拡大した。これは盤設計や取付けなどの工数低減に寄与できる。

(7) オプションユニットの充実

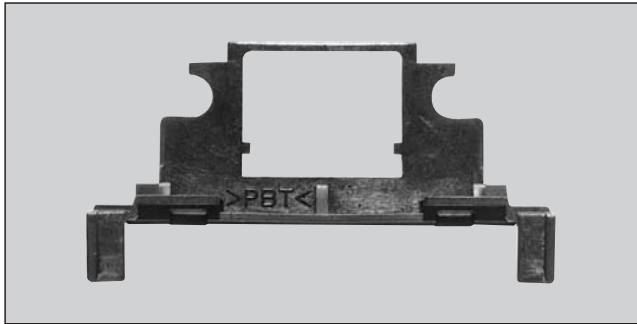
新シリーズは多様なニーズに即応できるように、新 SC シリーズ (03 ~ 5-1) の思想を AC200 V 15 kW (N3) まで拡大した。その豊富なオプションユニット群を図3に示す。

オプションユニットは、取り付けられる位置により新 SC シリーズ用と同様、頭部に取り付ける「ヘッドオン」、側面に取り付ける「サイドオン」、コイル端子部に取り付ける「フロントオン」タイプがあり、補助接点ユニット (ヘッドオン、サイドオン)、寿命カウンタユニットおよびインタロックユニットは AC200 V 2.2 ~ 15 kW (SC-03 ~ SC-N3) まで共用化している。

2.4 環境への配慮

新シリーズは環境負荷の低減に対しても配慮している。製品開発にあたっては製品開発アセスメント評価を実施し、環境負荷への影響度を評価・低減する取組みを行ってきた。その主な内容は次のとおりである。

図4 プラスチック部品の使用材料名の表示例



AF99-182

(1) コイル容量の低減

交流操作形新シリーズは、高効率電磁石の開発によりコイル容量、消費電力を低減し、省エネルギー化を図っている。従来機種と比較し、N2S, N3 では投入 VA は約 25 % 低減、保持 VA は約 45 % 低減している。これは使用時の消費電力の低減と合わせて、制御変圧器容量の小形化への効果もある。

(2) 使用材料名の表示

プラスチック部品のリサイクル化は今後ますます加速されてくると考えられる。その規模は現在、ペットボトルに代表されるような単一材料製品（部品）だけでなく、リサイクル技術の進歩とともに複数材料部品からなる製品のリサイクル化へと拡大している。

新シリーズは、今後確実に加速していくと予想されるリサイクル化への対応を考慮し、主要なプラスチック部品には使用材料名を表示している。図4にその一例を示す。

(3) 使用材料の減量化

限りある資源の利用のためには、リサイクル化と合わせて使用材料の削減も重要となる。

新シリーズは接点部や電磁石部の高効率化と構造全体形状の最適化を図って、使用材料の適正化を追求し、従来機種と比較して SC-N1, N2 は 10 %, SC-N2S, N3 は 20 % 軽量化し、使用材料の減量化を図っている。

③ 種類と定格

新シリーズの製作機種を表3に、定格を表4に示す。

製作機種は今回新たに直流専用電磁石を搭載した直流専用操作形（SC-N1/G ~ SC-N3/G）を加え、機種ぞろえもより豊富にした。また前述したオプションユニットとの組み合わせにより、多様なニーズに簡単に対応できる仕様としている。

④ 構造

図5に新シリーズの構造の一例を示す。

電磁接触器の主接点部には、小形化や大容量・長寿命化のために、ますます過酷な責務が課せられるようになってきている。主回路電圧も従来の 200 V 級から 400 V 級へと高圧化し、世界的には 600 V 級の適用も行われてきている。

表3 新中形電磁接触器・開閉器の製作機種

機種 (ケースカバーなし)		形式 : N1, N2, N2S, N3	
電磁接触器	標準形*	SC-	
	可逆形	SC- RM	
	直流操作形	SC- /G	
	スーパーマグネット形	SC- /SE	
	機械ラッチ形	交流操作	SC- /V
		直流操作	SC- /VG
低電圧補償形	SC- /U		
電磁開閉器	標準形*	SW-	
	可逆形*	SW- RM	
	直流操作形	SW- /G	
	スーパーマグネット形	SW- /SE	
	低電圧補償形	SW- /U	
	サーマルリレー3素子付き*	SW- /3H	
	重負荷始動用	SW- /2L	
	速動形サーマルリレー付き	SW- /3Q	
2Eサーマルリレー付き*	SW- /2E		

* : ケースカバー付きも製作可能

接点寿命においても、生産設備などの高機能・高性能化への対応や保守工数の低減のために、長寿命化への要求が強まってきている。

また、電磁石部については、電磁接触器全体の小形化のためや、省エネルギーや制御電源容量の小形化などのためにも、コイルの投入 VA や消費電力の低減が要求されてきており、そのためにはより電磁石の高効率化を追求する必要がある。

4.1 主接点部構造

主接点の長寿命化のためには、接点消耗量を少なくする必要があり。この接点消耗は、電流の開閉時における接触子同士の間欠的衝突、すなわち接点バウンスに起因したアーク現象が主要因である。

一般的に用いられる電動機の始動・停止（AC-3 適用）などのように始動電流（閉路電流）が大きく（定格電流の約 6 倍）、遮断電流が小さい（定格電流）場合には、電磁接触器の接点バウンスが大きいと、そのバウンス時間だけ定格電流の約 6 倍の始動電流を開閉するために接点消耗量が多くなり、接点寿命が短くなる。

今回、電磁接触器の全体構造を考慮した「バウンスシミュレーション技術」を開発して接点バウンスの低減を追求した。

電磁接触器の構成は、接触子（可動接触子と固定接触子）や可動接触子を保持する支えや電磁鉄心、これらを収納するケースなどの機構部と、吸引力を発生する電磁石部に大別される。バウンス解析を行うためには、機構部品ごとの剛性を考慮したうえでそれらの衝突を考慮した非線形運動解析と、電磁石間の空げきや印加電圧、逆起電圧、時定数に伴って逐次変化する電磁力の過渡特性を考慮した電磁場解

表 4 新中形電磁接触器・開閉器の定格

形 式		電磁接触器	SC-N1	SC-N2	SC-N2S	SC-N3
		電磁開閉器	SW-N1	SW-N2	SW-N2S	SW-N3
定 格 容 量 (kW)	三相かご形電動機 (AC-3)	200~240 V	5.5	7.5	11	15
		380~440 V	11	15	22	30
		500~550 V	11	15	22	37
定 格 使 用 電 流 (A)	三相かご形電動機 (AC-3)	200~240 V	26	35	50	65
		380~440 V	25	32	48	65
		500~550 V	20	26	38	60
	抵抗負荷 (AC-1)	200~240 V	50	60	80	100
		380~440 V	50	60	80	100
定 格 通 電 電 流 (A)			50	60	80	100

注1 AC-3の電氣的開閉耐久性(寿命)は、200万回である。
AC-1の電氣的開閉耐久性(寿命)は、50万回である。
注2 AC-1および定格通電電流は電磁接触器に適用する。
注3 適用盤内温度は、55 以下である。

図 5 新中形電磁接触器の構造例

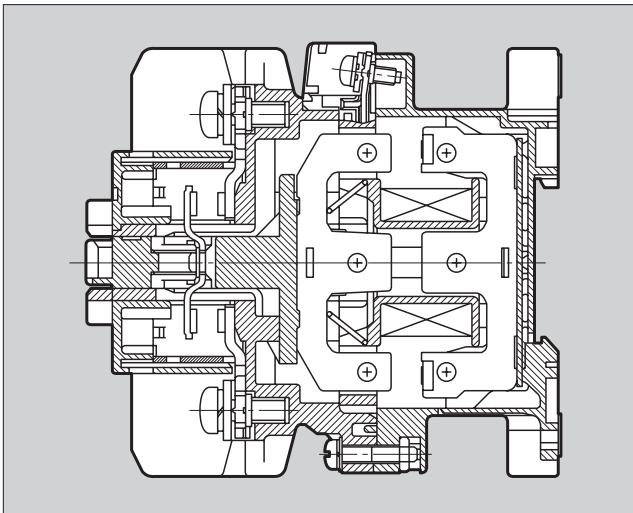
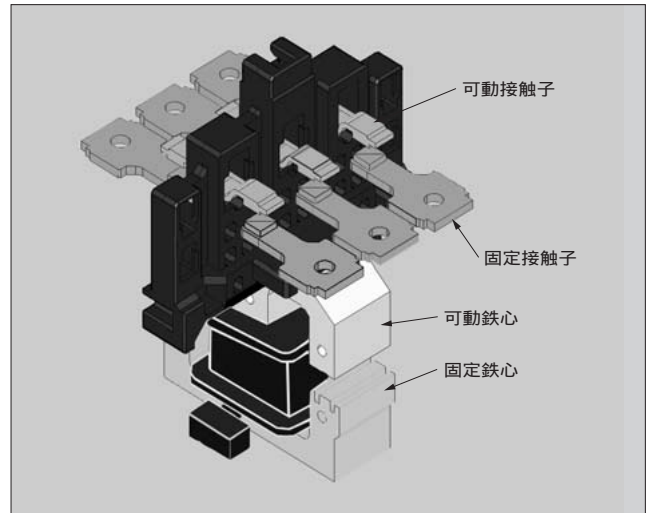


図 6 電磁接触器の主要部品構成



析の双方を同時に行う連成振動解析が必要である。この連成振動解析を可能にしたバウンスシミュレーションを開発した。

このバウンスシミュレーションによって、従来は接触子同士の電氣的なオンオフでしか解析できなかったバウンス現象について、接触子や鉄心などの機械的な過渡的現象(ダイナミクス)を机上にて解析することができる。このシミュレーションでは、各部品における変位および速度の時間履歴が数値とアニメーションで表示可能であるほか、各部品にかかる衝撃力、接触圧力などの時間履歴が算出可能である。

図 6 に電磁接触器の部品構成を、図 7 には開発したバウンスシミュレーションの三次元解析モデルを示す。

シミュレーションのなかで各部品要素の相互衝突を含めた振動解析する部分に用いた主な支配方程式は次のとおりである。

$$\begin{aligned}
 m_s \ddot{x}_s &= -k(x_s - x_1) - k(x_s - x_a) \dots\dots\dots (1) \\
 m_a \ddot{x}_a &= -k_a x_a - k(x_a - x_s) + F_m \dots\dots\dots (2) \\
 m_1 \ddot{x}_1 &= -k(x_1 - x_s) \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = -k_1 x_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$m_m \ddot{x}_m = -c_m \dot{x}_m - k_m x_m - F_m \dots\dots\dots (5)$$

$$F_m = \frac{B_m^2 S_m}{2\mu_0} \dots\dots\dots (6)$$

$$\dot{B}_m = -\frac{R_m}{N^2} RB_m + \frac{V}{NS_m} \dots\dots\dots (7)$$

$$R_m = \frac{2}{\mu_0 S_m} (\quad + x_m - x_a) + \int \frac{dl}{\mu_0 \mu_r S_m} \dots\dots\dots (8)$$

- F_m : 電磁力
- B_m : 磁束密度
- S_m : 接極面積
- N : 巻 数
- R_m : リラクタンس
- l : 磁路長さ
- μ_0 : 空気の比透磁率
- μ_r : 鉄心の比透磁率

なお、各要素の衝突については、式 9 に示した反発係数 e_c を用いて不完全弾性衝突として取り扱った。

$$m_1 \dot{x}_1' - m_2 \dot{x}_2' = -e_c (m_1 \dot{x}_1 - m_2 \dot{x}_2) \dots\dots\dots (9)$$

図7 バウンスシミュレーションの三次元解析モデル

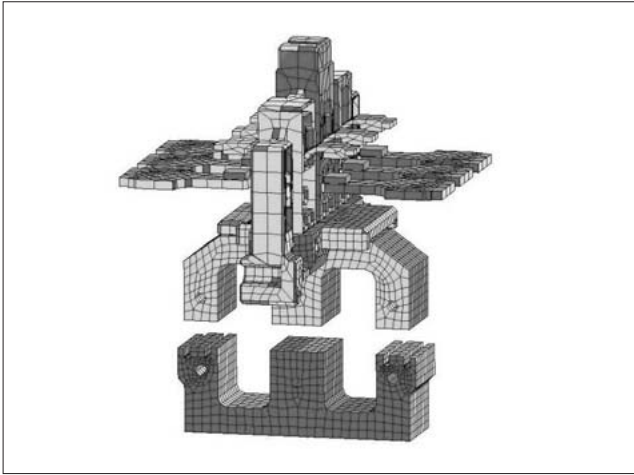
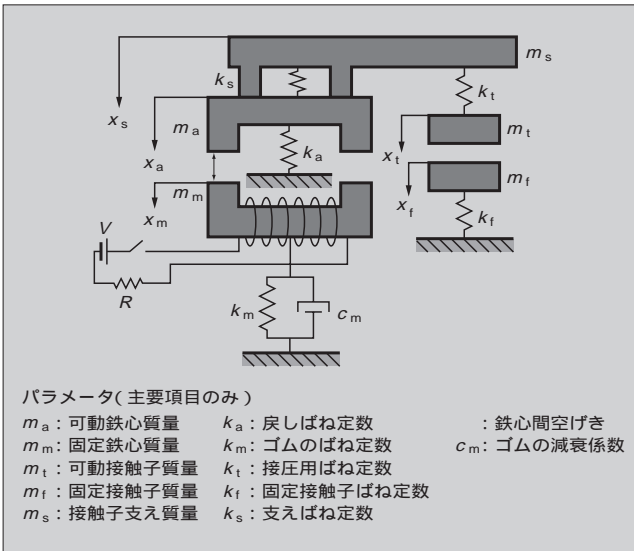


図8 ばね-質量モデル



(' は衝突後を示す。)

図8に、上記の式1)-(9)を説明するために、簡単なばね-質量モデルを示す。

本シミュレーションによる計算結果は実測結果と比較して、例えば可動電磁鉄心が固定電磁鉄心と衝突する時刻や速度において、誤差数%以内で一致する高精度なシミュレーションである。図9に可動接触子と可動鉄心の実測とシミュレーション結果を示す。

このシミュレーション技術を活用した感度解析 (Sensitivity Analysis) を行い、接触子や鉄心、ばねの形状や寸法、材料特性のほか、接触子圧力などの最適化設計を行った。

4.2 電磁石部構造

新形電磁石の開発にあたっては、三次元 FEM 磁界解析により各部断面積の最適化を行い、磁束飽和や無駄な形状を排して小形でパワーのある構造とした。また、リベットは磁束経路に影響を与えないような最適位置に配置し、リベットによる渦電流損の低減を図った。さらにシェーディ

図9 可動接触子と可動鉄心の実測とシミュレーション結果

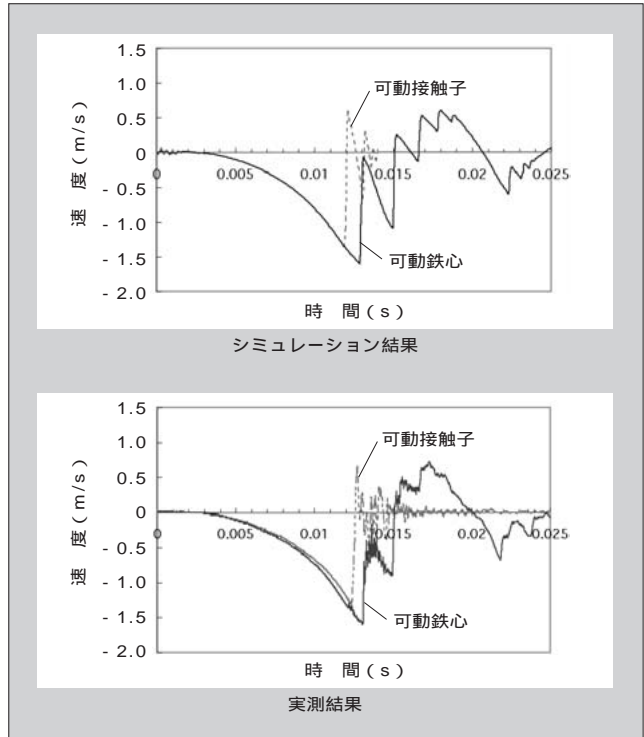


図10 三次元 FEM 磁界解析の例

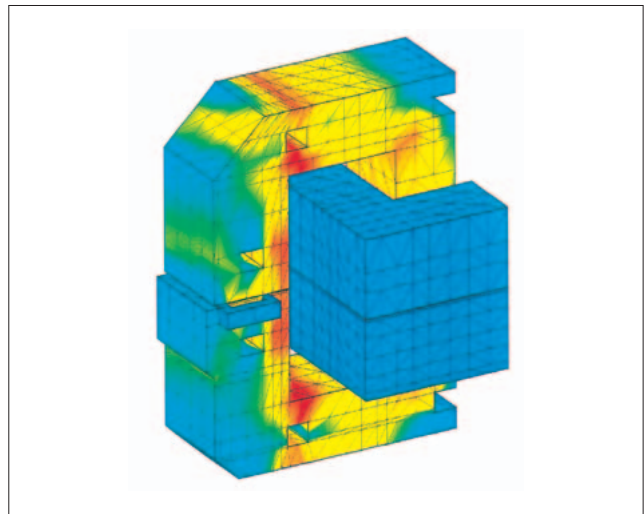
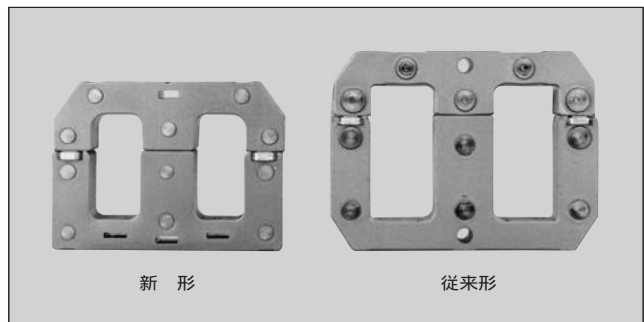


図11 AC200V 15kW 機種の電磁石の新形と従来形との比較



ングコイルは配置や形状の最適化を行い、損失を低減させながらもシェーディングコイルの効果を最大限に高めて保

持力を向上させた。図10に三次元 FEM 磁界解析の例を、図11に AC200 V 15 kW 機種 (SC-N3) の電磁石の新形と従来形の比較を示す。

5 あとがき

NEO SC シリーズの新中形電磁接触器 SC-N1 ~ N3 は、富士電機の長年の経験と蓄積技術を基に完成させたものであり、世界市場ニーズにマッチした商品であると確信している。今後とも多様化するニーズに即応できるよう、より一層の充実を図っていく所存であり、需要家各位のご指導をお願いする次第である。

参考文献

(1) 高松厳ほか：電磁開閉器の技術動向と新 SC シリーズの開

発，富士時報，Vol.61，No.10，p.628-632 (1988)

(2) 接点バウンスシミュレーション，富士時報，Vol.72，No.1，p.12 (1999)

(3) 鈴木健司ほか：電磁式接点開閉機構におけるバウンス現象，日本機械学会論文集 C 編，Vol.65，No.631，p.940-947 (1999)

(4) Suzuki, K.: Bounce Phenomena in Electrical Switching Devices. International Symposium on Impact and Friction of Solids, Structures and Machines. CSME, B-8 (1998)

(5) 鈴木健司ほか：有接点リレーにおけるバウンスに関する研究，平成10年電気学会全国大会 (1998)

(6) 鈴木健司・広田耕人：電磁式接点開閉機構におけるバウンス現象の解析，平成9年神奈川県産学公交流研究会 (1997)

(7) Suzuki, K.: Contact Bounce Phenomena in an Electrical Switching System. International Symposium on Non-Linear Electromagnetic System (1997)

技術論文社外公表一覧

標 題	所 属	氏 名	発 表 機 関
多燃料型燃料電池におけるシステム挙動	技 術 開 発 室 " " SI セ ン タ ー	小松 正 千田 仁人 鈴木 聡	日本電気協会第78回通常総会研究発表会 (1999-6)
大形空気冷却タービン発電機の試作実験機による信頼性検証	富士電機総合研究所 " " " "	小原 孝志 大久保憲悦 日和佐寛道	
IEC61131-3 準拠 汎用 PLC の鉄鋼設備への適用	情報制御システム事業部 " "	渡辺 悟 方山 真司	電気学会金属産業研究会 (1999-6)
油中ガス分析へのヘッドスペース法の適用	変電システム製作所 " " " " " " 千 葉 テ ッ ク 富士電機総合研究所	斉藤 文人 西山 彰一 伊藤 敬三 三橋 貞臣 和田 元生 岩上 守彦 仲神 芳武	石油学会第19回絶縁油分科会研究発表会 (1999-6)
圧力下における油浸絶縁物の熱劣化特性	富士電機総合研究所 " " " " " " 変電システム製作所 " "	浅田 規 清水留美子 小出 英延 宮本 昌広 伊藤 政芳 高坂 正明	
磁気ディスク上潤滑剤の高空間分解能観察	富士電機総合研究所 " " " " 松 本 工 場	熊谷 明恭 折笠 仁 石渡 統 高橋 伸幸	日本トライボロジー学会ファイル記憶のトライボロジー研究会 (1999-6)
New high voltage integrated circuits using self-shielding technique	富士電機総合研究所 " " " " " " " " " "	山崎 智幸 熊谷 直樹 小谷部和徳 多田 元 武田 久雄 関 康和 桜井 建弥	International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD) 99 (1999-5)
Electromagnetic Micro-Parts Conveyer with Coil-Diode Modules	富士電機総合研究所 " " " " " " " "	中澤 治雄 渡辺 泰正 森田 修 江戸 雅晴 油科 政行 米澤 栄一	Transducers 99 (1999-6)



*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。