

# 海外市場向け 低圧モータコントロールセンタ“D”

関 孝一郎\*  
宮内俊彦\*  
金丸 誠\*\*

Low Voltage Motor Control Center - "D" for Overseas Market

Koichiro Seki, Toshihiko Miyauchi, Makoto Kanamaru

## 要 旨

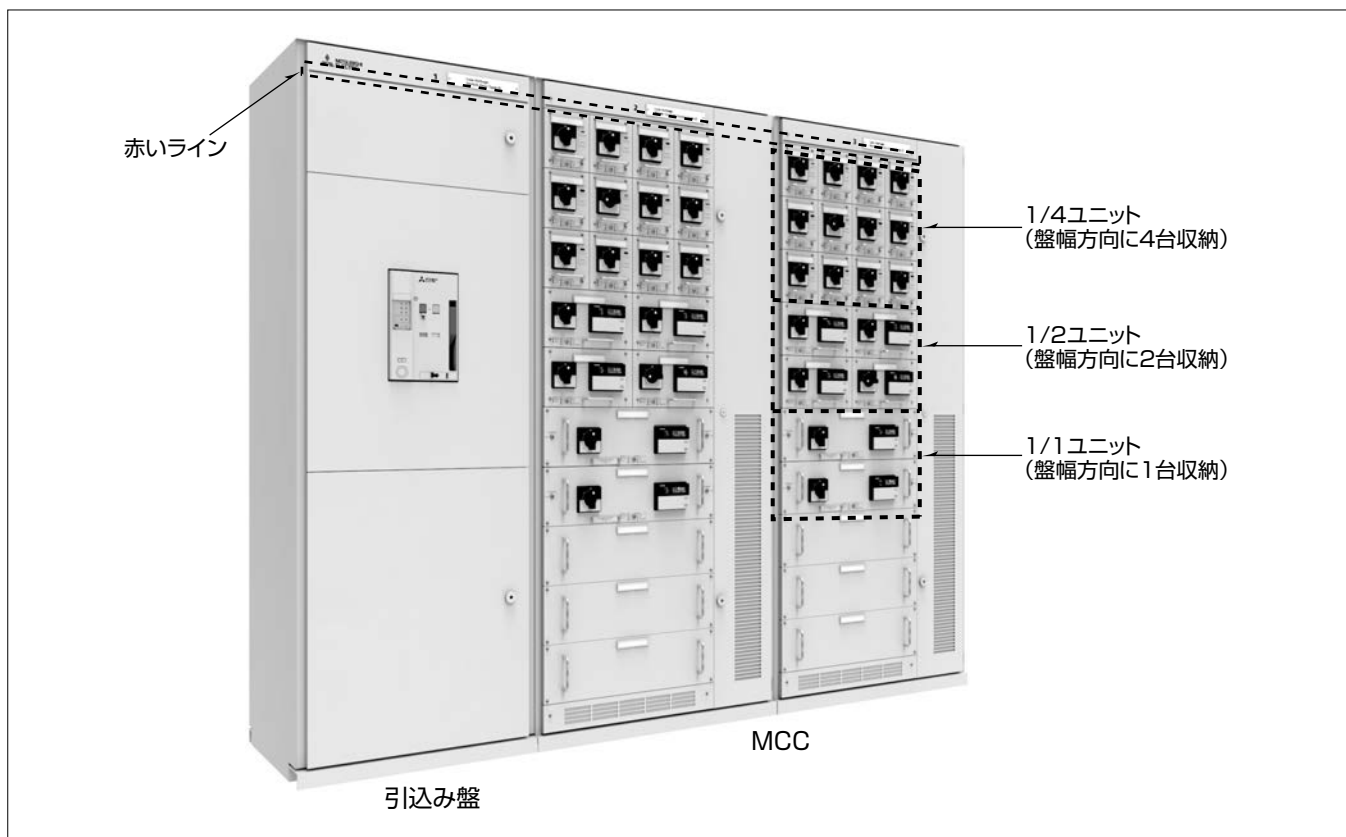
近年の東南アジア・中東・南米などの新興国でのプラント建設では、工期短縮を始め工事費用の削減、品質確保のため、あらかじめモータコントロールセンタ(MCC)などの電気品をコンテナ状のパッケージハウスに設置して、現地に輸送・設置するパッケージハウス型電気室が増加している。

一方、パッケージハウス型電気室に従来機種の両面形MCCを壁面設置する場合、片面が使用できなくなるため、ユニット収納力の向上や操作性・保守性の改善が課題であった。

今回三菱電機では、片面形で高い収納力、高い操作性・保守性を実現し、海外市場向けにIEC(International

Electrotechnical Commission)規格に適合させた低圧モータコントロールセンタ“D”(以下“MCC-D”という。)を開発した。MCC-Dの主な特長は次のとおりである。

- (1) IEC規格(IEC61439-1/2:2011)に適合
- (2) 前面操作・保守対応
- (3) 保守の効率化
- (4) 高いユニット収納力
- (5) 省スペース
- (6) 安全性向上
- (7) ヒューマンエラー低減のためのデザインを採用
- (8) 負荷劣化診断機能付き“EMC-B形”マルチモータコントローラ搭載



## 低圧モータコントロールセンタ“D”

引込み盤とMCCの奥行き寸法や主回路母線の位置を統一することで、従来機種で必要であった盤間接続のための母線変換盤や不要スペースを削減した。コンパクトな1/2・1/4ユニットの採用によって、高いユニットの収納力を実現した。また、盤の正面上部に赤いラインを設けることで、列盤配置時にシステム全体に統一感を与えると同時に、ラインの上に盤番号と盤名称の表示を設けることで、保守作業員が設備を判別しやすくしている。

## 1. ま え が き

MCCは工場や上下水道プラント、発電所などで使用されるモータ群の制御・保護・計測・監視などを一括で集中管理する開閉装置である。東南アジア・中東・南米などの新興国の海外市場では、MCCを含め新規設備投資が活発であり、そうした国々のプラント建設では、工期短縮や工事費用の削減、品質確保のために、MCCなどの電気品をパッケージハウス型電気室に設置して現地に輸送・設置するケースが多い。このような状況に対し、片面形で高い収納力、高い操作性・保守性を実現し、パッケージハウス型電気室への設置に適したMCC-Dを開発して2016年に発売した。

本稿では、MCC-Dの仕様や特長について述べる。

## 2. MCC-Dの概要

MCC-Dの主な仕様を表1に示す<sup>(1)</sup>。

MCC-Dの特長を次に示す。

### 2.1 IEC規格に適合

海外プラント向けで多く要求される低圧開閉装置及び制御装置の国際規格IEC61439-1/2：2011(Low-voltage switchgear and controlgear assemblies)に適合させた。

表1. MCC-Dの仕様

項目	仕様	
規格	IEC61439-1/2：2011	
盤構造	片面形	
盤外形 高さ×幅×奥行き (mm) (チャンネルベース含まず)	2,200×1,000×600	
定格絶縁電圧	1,000V(主回路母線) 800V(ユニット)	
定格使用電圧	~480V	
定格周波数	50/60Hz	
水平母線定格電流	~4,000A	
定格短時間耐電流	85kA-1s	
内部仕切り	~Form 4b	
保護等級	IP20~IP43	
短絡保護装置との協調 <sup>(注1)</sup>	タイプ1/タイプ2	
引出しユニット	主回路接続	自動連結
	制御回路接続	自動連結
	最大容量	最大300kW at 480V
内部アーク <sup>(注2)</sup>	85kA-0.3s at 480V(オプション)	

(注1) IEC60947-4-1：2009(Contactors and motor-starters - Electromechanical contactors and motor-starters)で規定されている短絡保護装置とスタータの協調(定義を表2に示す)。

(注2) 内部アーク事故時の人・設備の保護。IEC/TR61641：2014(Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault)で定める試験方法によって確認。

表2. 短絡保護装置との協調の定義

短絡保護装置との協調	定義
タイプ1	機器は短絡時に人又は設備に危害を与える要因にはならない。ただし、部品の修理又は交換をしないで引き続き用いることができなくてもよい。
タイプ2	機器は短絡時に人又は設備に危害を与える要因にはならない。かつ、引き続き用いることができなければならない。

### 2.2 前面操作・保守対応

部品の配置や取付け方法の見直しによって、前面からの操作や保守を実現し、MCCの壁面設置を可能にした(図1)。

### 2.3 保守の効率化

ユニットの主回路接続部に従来機種の主回路グリップを採用し、制御回路接続部に新規開発した自動連結制御コネクタを採用することで(図2)、引出しユニットの完全自動連結を実現し、保守の際のユニット脱着を容易にした。自動連結制御コネクタは可動式にすることで、ユニットの試験位置で主回路を未接続状態にしつつ、制御回路は接続された状態を構築しており、安全・容易に試験ができる構造になっている。

### 2.4 高いユニット収納力

MCC-Dでは盤幅方向に4台収納可能な1/4ユニット、

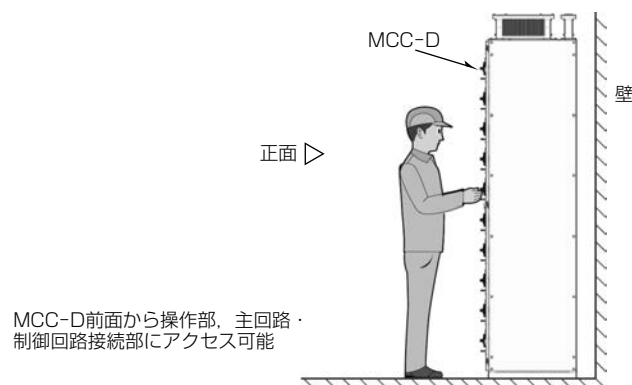
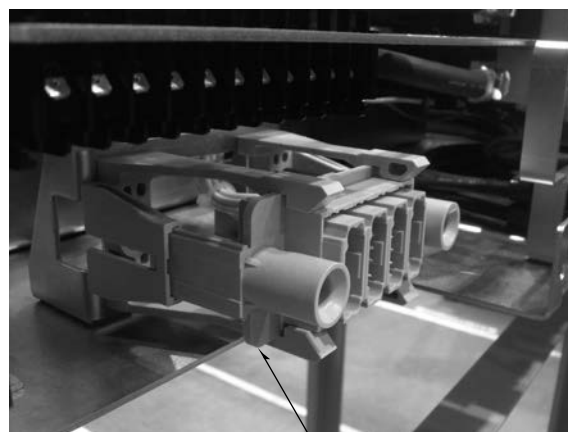


図1. 前面操作・保守



グリップ  
(a) 主回路グリップ



コネクタ  
(b) 自動連結制御コネクタ

図2. 主回路グリップと自動連結制御コネクタ

及び盤幅方向に2台収納可能な1/2ユニットを新規開発し(図3), 1面当たり最大40ユニット収納を実現した(当社従来機種は1面当たり最大18ユニット収納)。

2.5 省スペース

従来機種の引込み盤と両面形MCCをパッケージハウス型電気室に壁面配置した場合, 引込み盤の奥行き寸法が大きく母線変換盤が必要であることから, 盤の設置スペースが大きくなっていった。また, 両面形MCCの片面が使用できなくなるため, ユニット収納力の向上が課題であった。それに対し, MCC-Dでは引込み盤とMCCの奥行き寸法や主回路母線の位置を統一することで, 母線変換盤やデッドスペースを削減し, また3.4節で述べた高いユニット収納力の実現によって, パッケージハウス型電気室に省スペースで盤を設置することが可能になった(図4, 図5)。

2.6 安全性向上

内部アークの規格IEC/TR61641: 2014(Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault)の試験に合格し, 近年海外市場で要求が増えている内部アーク仕様(短絡事故時のアークガスから周囲の人・設備を保護)に対応可能となり, 安全性が向上した。

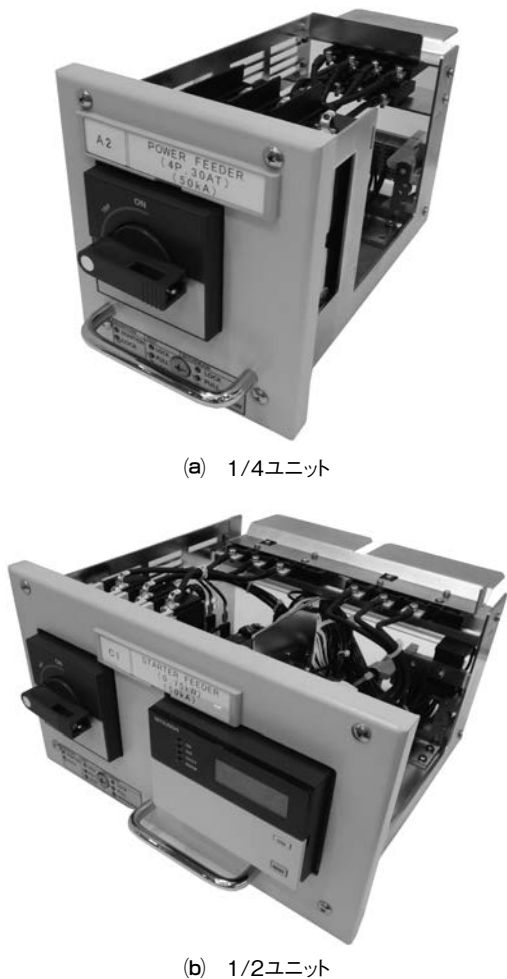


図3. 1/4ユニットと1/2ユニット

2.7 ヒューマンエラー低減のためのデザインを採用

ヒューマンエラー低減のため, 次の3つのデザインを採用した(図6)。

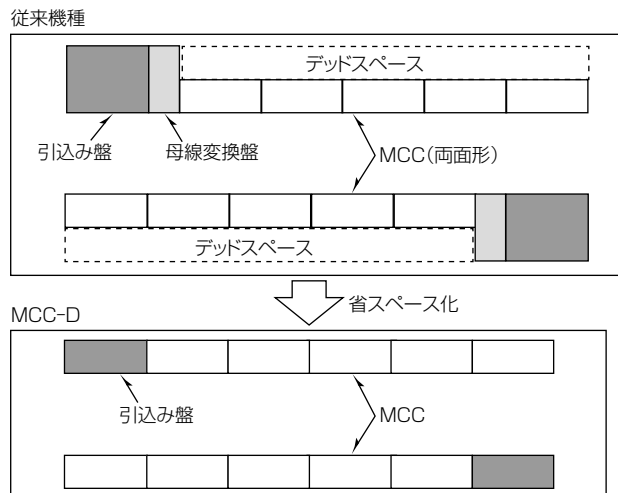


図4. パッケージハウス型電気室のMCC配置(上面図)



図5. パッケージハウス型電気室



(a) MCC-Dの正面上部



(b) MCCB操作ハンドル (c) EMC-B形マルチモータコントローラ

図6. ヒューマンエラー低減のためのデザイン

- (1) 各盤の正面上部に赤いラインを設け、ラインの上に盤番号と盤名称の表示を設けることで、運転・保全時に該当設備を一目で判別可能
- (2) MCCB(Molded Case Circuit Breaker)操作ハンドルには2分割したコントラストの高いデザインを採用し、斜め方向からでも運転状態の確認が容易
- (3) EMC-B形マルチモータコントローラの運転状態を示すLED表示器は本体から突出させ、横方向からでも運転状態の確認が容易

## 2.8 負荷劣化診断機能付きEMC-B形マルチモータコントローラ

連続運転が要求される石油・化学プラントでは、点検周期の延長によって、モータの設備診断技術による異常予兆把握の重要度が増している。また、メンテナンス部門の人員不足、世代交代による技術力低下、素人化及び設備の老朽化傾向が指摘され、安全・効率に対する関心が高まっており、故障診断機能のニーズは高いことから、EMC-B形マルチモータコントローラに負荷劣化診断技術を開発して搭載可能とした。

### 2.8.1 機械系異常検出機能

変流器で取得したモータ負荷電流を周波数解析(FFT(Fast Fourier Transform)解析)し、特徴成分を監視することによってモータ稼働中に機械系異常(偏心、ミスアライメント、軸受異常、振動異常等)を検出する機能である。

#### (1) 検出原理

機械系異常が発生すると、固定子と回転子間のエア・ギャップ間の空間磁束線に機械振動が影響を与え、逆起電力によって固定子電流へ反映される(図7)。その結果、モータの機械振動が電流信号に変換され、電流スペクトルの電源周波数近傍の特定周波数信号強度が変化する。そのため、周波数解析して特徴成分を監視することで機械系異常を検出できる。

#### (2) 検出手法

機械系異常検出手法を図8に示す。変流器で取得した負荷電流をFFT解析する。そして、電源周波数(例えば60Hz)を中心に、左右均等に側帯波として発生する特徴を捉え、特徴成分Aと特徴成分Bを抽出する。2つの特徴成分はモータの回転速度に依存し、モータの定格情報から発生周波数帯を理論的に特定できる。その後、抽出した特徴成分Aと特徴成分Bの信号強度の傾向監視を行う。正常状態の信号強度を学習させ、しきい値を決定し、信号強度がしきい値以上となったときに機械系異常と判定する。

### 2.8.2 レジャショート検出機能

変流器と計器用変成器で取得したモータ負荷電流と電源電圧の不平衡成分を監視することによってモータ稼働中にレジャショート(巻線短絡)を検出する機能である。

#### (1) 検出原理

レジャショートが発生するとモータ巻線のインピーダンス

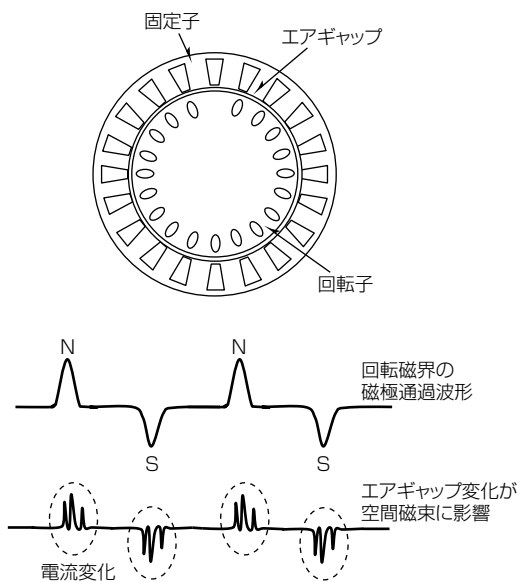


図7. 検出原理

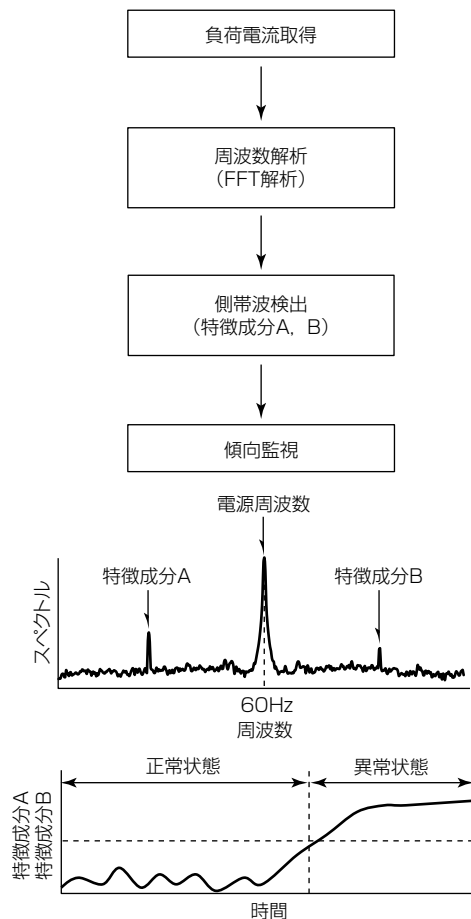


図8. 機械系異常検出手法

が不平衡となる(図9)。そのため、負荷電流と電源電圧の不平衡性を解析することで、レジャショートを検出できる。

#### (2) 検出手法

レジャショート検出手法を図10に示す。変流器でモータ負荷電流情報、計器用変成器で電源電圧情報を取得する。次に、取得した負荷電流と電源電圧を式(1)と式(2)で対称

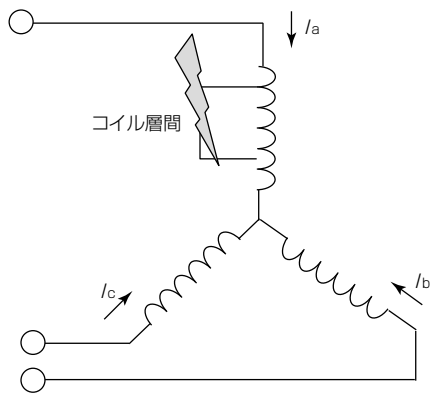


図9. レヤシヨートの原理

座標変換し、逆相電流 $I_n$ と逆相電圧 $V_n$ を算出する。 $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ は三相負荷電流,  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ は三相電源電圧,  $a$ はベクトルオペレータである。

$$I_n = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots\dots\dots (1)$$

$$V_n = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c) \dots\dots\dots (2)$$

電源不平衡時も逆相成分が変化することから、逆相電流 $I_n$ と逆相電圧 $V_n$ の両方を考慮して式(3)のレヤシヨート評価値 $\Delta I_n$ を定義した。

$$\Delta I_n = |I_n - Y_n V_n| \dots\dots\dots (3)$$

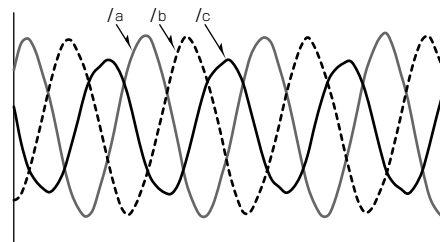
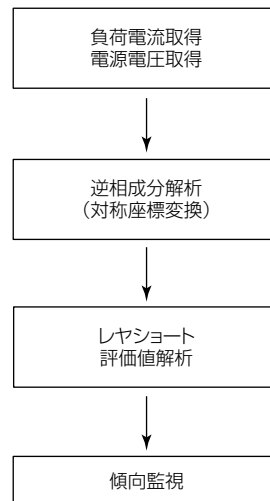
ここで、 $Y_n$ は初期逆相アドミタンスで、測定開始時に算出できる。そして、レヤシヨート評価値 $\Delta I_n$ の傾向監視を行い、信号強度が増加したときにレヤシヨートと判定する。

2.8.3 負荷トルク推定・監視機能

変流器と計器用変成器で取得したモータ負荷電流と電源電圧を解析することによって、負荷トルクを推定・監視する機能である。

負荷トルク $T_e$ の理論式は、固定子電流と鎖交磁束を用いて式(4)のように表される。 $P$ は極数,  $\phi_d$ ,  $\phi_q$ は固定子のコイル鎖交磁束,  $i_d$ ,  $i_q$ は固定子電流である。

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} (\phi_d \cdot i_q - \phi_q \cdot i_d) \dots\dots\dots (4)$$



レヤシヨート時の三相負荷電流波形

レヤシヨート評価値  
 $\Delta I_n = |I_n - Y_n V_n|$   
 $\Delta I_n \geq \sigma$ : レヤシヨート  
 $\Delta I_n < \sigma$ : 正常

図10. レヤシヨート検出手法

3. む す び

今回、海外市場向けの低圧モータコントロールセンタ“D”を開発した。今後は国内市場向けに対しても客先要求に応じて開発する。

参 考 文 献

- (1) 関 孝一郎, ほか: 新市場向け低圧配電盤, 三菱電機技報, 88, No.11, 705~708 (2014)