现状与展望

# 受配电、开关、控制设备组件的现状与展望

Electric Distribution, Switching and Control Devices: Current Status and Future Outlook

铃木　健司 SUZUKI, Kenji　　冈本　泰道 OKAMOTO, Yasumichi



## 1　引言

富士电机的受配电、开关、控制设备组件，作为广泛用于电气设备和机械装置中的主要组件，支撑着产业的发展。近年来，燃料电池、太阳能发电、风力发电等可再生能源的需求不断扩大，以领跑者（Top Runner）制度(*1)为代表的节能化以及电动汽车等环保型汽车的普及急速推进。为应对这些能源领域的变化，必须迅速开发如**图 1** 所示的设备组件的核心产品和面向新市场的产品，切实提升作为源泉的产品化设计技术和制造、生产技术水平。

本文将对富士电机的设备组件的产品开发和技术开发进行介绍。

图 1　设备组件和支持开发的基础技术

## 2　环境变化和主要趋势

如**表 1** 所示，富士电机捕捉到如今设备组件所面临的主要趋势和需求变化，以此为根据开展开发工作，并及时将**图 2** 所示的新产品投放到市场。

**表 1** 所示的主要趋势中尤为重要的是节能、可再生能源等，即“创造、输送、使用”电气这一能源管理的革新和变化。例如，在“创造”方面，燃料电池、太阳能发电增加，发电效率提升，实现低损耗化的直流高压化得到促进。在“输送”方面，实现分散电源和电力供应的安全、高效运用的 IT 化和直流送电的低损耗化等正在推进。在“使用”方面，LED 照明和高效电动机增加，搭载直流高压电池的电动汽车以全球规模急速增长。如上所述，能源管理系统正处在向高效、安全、智能的电气系统进化的转型期。

表 1　设备组件所面临的主要趋势

| 分类 | 主要趋势 |
|---|---|
| 能源管理的革新（节能、可再生能源、创能） | ○智能电网、智能城市的扩大<br>○燃料电池、太阳能发电、风力发电的增加<br>○分散电源和凭借 IT 化实现高效运用<br>○直流电源高压化的扩大<br>○环保汽车和电动汽车的增加<br>○高效率 IE3 电机和 LED 照明的增加 |
| 全球化的加快 | ○东南亚经济的全面发展<br>○高功能型产品和经济性产品的两极化<br>○国际标准的标准化 |
| 日本国内劳动人口的减少 | ○少子老龄化，劳动时间缩短<br>○技能水平降低 |
| 安全、安心性能提升 | ○机械、设备的稳定运行，风险降低<br>○地震、火灾等防灾对策<br>○安全、监视系统的增加 |
| IoT 普及，网络扩大 | ○ M2M，互通网络<br>○故障预测，寿命诊断，学习功能<br>○自动设定系统 |
| 设计评价技术的革新 | ○仿真，3D 技术<br>○模块设计<br>○通过加速评价实现高效化，可靠性验证 |
| 材料技术的革新 | ○无镉化，耐环境性材料<br>○适合小型化的高循环性材料 |
| 生产技术的革新 | ○智能工厂，机器人<br>○灵活生产方式 FMS |

**(*1) 领跑者制度**

领跑者制度是根据“能源使用合理化等相关法律”（节能法），在能耗较大的设备中，针对每个对象设备设定一个基准值，该基准值不低于节能性能最为优异的设备（领跑者）性能，然后规定目标年限，以此促进节能产品普及的制度。

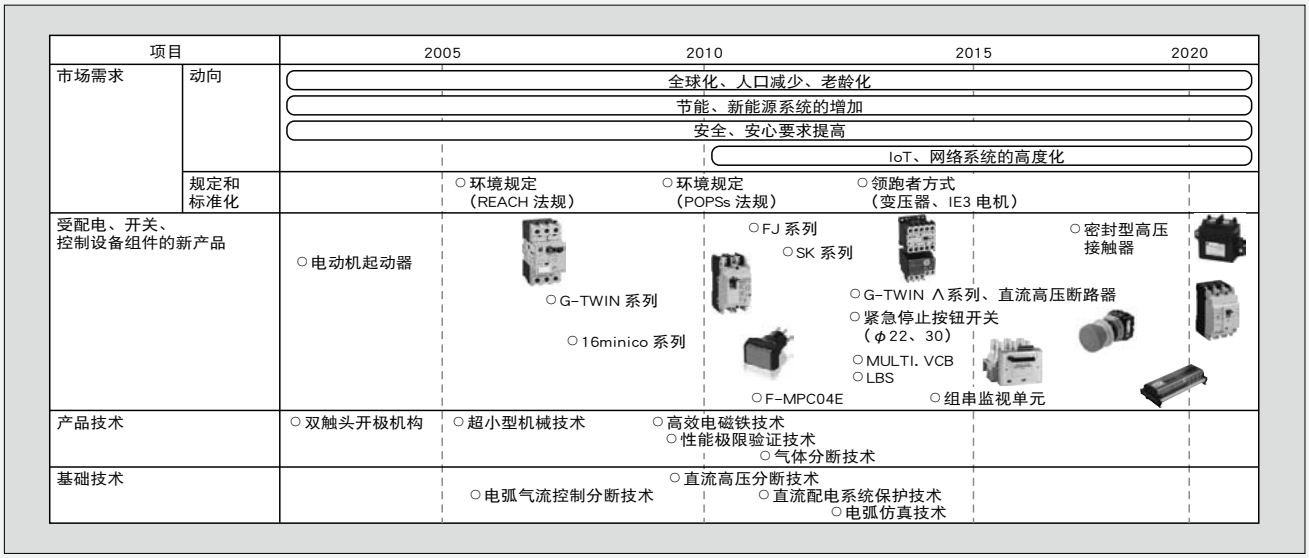



图 2　近年的产品开发历史

## 3　市场要求和富士电机至今所采取的措施[(1)]

下面介绍在设备组件被广泛使用的设备控制、受配电各领域富士电机至今所采取的措施。

### 3.1　应对领跑者电动机的要求

电动机起动器[(*2)]的国际标准 IEC 60947-4-1 预定在 2019 年 3 月修改，发行第 4 版。此次修改，将加入应对日本 2015 年 4 月在《能源使用合理化等相关法律》(节能法) 中规定的领跑者电动机相关要求。领跑者电动机由于高效化，起动电流偏高。使用这种电动机时，过去的塑壳式断路器 (MCCB[(*3)])、漏电断路器 (ELCB[(*4)]) 和热过负荷继电器[(*5)] 可能因较高的起动电流，会发生不必要的动作。因此，富士电机在 2016 年开发出在额定电流的 7.2 倍的电流下，与可确保 3 秒以上动作时间的新型热过负荷继电器组合的小型电动机起动器 “SW-N03”、“SW-N5-1” 等 (**图 3** (a))。

此外，这种新型热过负荷继电器以断相保护功能为标配，强化了电动机保护。

同样的，为抑制 MCCB、ELCB 的不必要动作，富士电机在 2015 年开发出优化了 100 AF、125 AF、250 AF 的瞬间特性值的高瞬间断路器 (MCCB、ELCB)。针对电动机的额定规格，用户可以在不扩大 MCCB、ELCB 框架尺寸的情况下选择机种 (**图 3** (b))。

(a) 小型电动机起动器 “SW-N03”　　(b) 塑壳式断路器 “BW100EAK”

图 3　满足领跑者电动机要求的电动机起动器和 MCCB

### 3.2　应对太阳能发电用 PCS 的要求

设置在将太阳能发电系统产生的电力从直流转换为交流的功率调节器 (PCS) 一次侧的交流接触器[(*6)]在维护和设备故障时，会将太阳能发电设备从电力系统中断开。富士电机为应对被称为百万瓦级太阳能的、输出达到 1 MW

**(*2) 电动机起动器**

这是一种一般在电动机电路上使用，并且拥有电路开闭以及电动机过负荷保护能力的设备，装有交流接触器 (*6) 和过负荷继电器 (*5)。

**(*3) 塑壳式断路器 (MCCB)**

这是因过负荷、短路等要因导致二次侧电路有异常过电流流过时，通过开放电路分断一次侧的电源供应，从而保护负载电路和电线免受损伤的过电流断路器的一种。根据过电流检测原理，可分为全电磁式、热磁式、电子式等类型，也称为 MCCB (Molded-Case Circuit-Breaker)。

**(*4) 漏电断路器 (ELCB)**

这是一种具备检测漏电导致的漏电流，自动分断电路功能的断路器。塑壳式断路器保护电流免受过负荷、短路导致的过电流的损害，而漏电断路器是为防止接地故障导致的触电而设置在电路中的。包括兼具塑壳式断路器功能的兼用型、仅因接地故障工作的接地故障保护专用型等。也称为 ELCB (Earth Leakage Circuit-Breaker)。

**(*5) 过负荷继电器 (热过载继电器)**

一般是指为防止电动机烧毁而用来检测过载电流的设备，与交流接触器组合使用。利用加热器将电流转换为热能，根据双金属片的位移量检测过载。也称为热过载继电器。

**(*6) 交流接触器 (接触器)**

这是一种驱动连接电磁铁触头的设备，可通过操作电磁铁来控制电路的开闭。与一般的继电器功能相似，但相比较而言，可进行大电流的开闭以及具备鲁棒性的特点。也称为接触器。

图 4　交流接触器“SC-N12/DS”

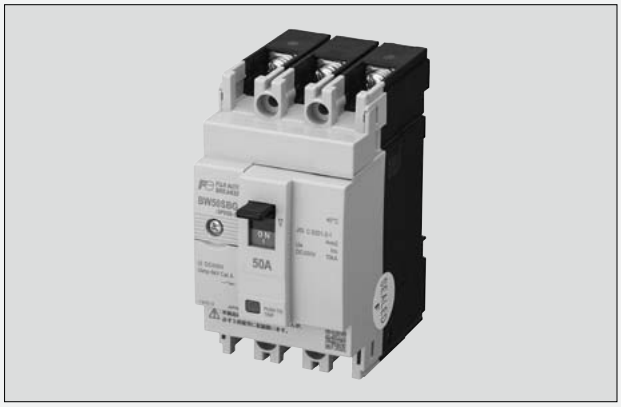
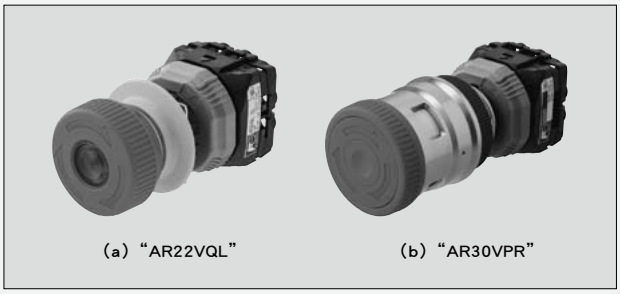



图 5　DC600V 小型直流 MCCB



（a）“AR22VQL”　（b）“AR30VPR”

图 6　紧急停止用按钮开关

表 2　插入式 MCCB、ELCB 产品阵容一览

| 项目 | 规格 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 结构区别 | 总线直联式 | | | | 插座式 |
| 主要用途 | 配电柜 | 电灯分电箱 | 服务器分电箱 | | |
| 分支最大额定 | 630 A | 30 A | 60 A | 50 A | 50 A |
| | | | | | |
| 插头连接 | 一次侧 | 一次侧 | 一次侧 | 一次侧 | 一次侧<br>二次侧 |
| 总线配置 | 垂直 | 水平 | 垂直 | 垂直 | — |
| 总线间距 | 70mm | 15mm | 30mm | 30mm | — |

以上的太阳能发电系统，推出了额定 550 A、600 A、800 A 的 PCS 用交流接触器“DS 系列”。**图 4** 为额定电流 550 A 的“SC-N12/DS”。通过改良电磁铁的控制电路，使保持 ON 状态时的耗电量比旧型产品降低 10%，且提升了触头部分的通电性能，降低了损耗，相比旧型产品实现了节能。

在低压设备方面，富士电机除直流高压无极性分断技术外，还开发并发售了主要针对百万瓦级太阳能的 PCS 的 DC1000 V、750 V 直流电路保护用 MCCB 和 600 V 电路用、以电弧换流分断(*7)方式进一步实现小型化的产品（**图 5**）。

### 3．3　搭载“同步安全接触”结构的按钮开关

国际标准 IEC 60947-5-1、IEC 60947-5-5 针对控制设备的工业用操作开关，在使用方面有多项规定。富士电机开发了符合这些规定的按钮开关，以“指令开关”为产品名投放进了市场。

最近，又开发了用于各种机械装置、搭载了可防止事故的“同步安全接触”结构紧急停止用按钮开关（**图 6**）。即使触头部分意外从操作部脱落，主电路也会保持开路，具备高度安全性。

### 3．4　应对省力化、省工时化的要求

2014 年 5 月，国土交通省制定的基础设施长寿命化计划提出了基础设施维护的重要性。大楼、商业设施的翻新需求增加，少子老龄化的加剧导致劳动人口减少，这些状况要求我们提供可贡献于设备组件自身省力和省工时产品。

在插入式 MCCB、ELCB 方面，富士电机面向各产业领域扩充了产品阵容（**表 2**），推出了面向配电柜、电灯分电箱、数据中心的分电箱等产品。

## 4　满足市场要求的最新开发状况

### 4．1　开关设备(*8)

富士电机开发了静音交流接触器“SL 系列”和密封型高压接触器“SVE135”，前者可满足如今不断高涨的开关时的静音要求，后者则应对了直流高压要求。

**（*7）电弧换流分断**

这是一种使触头断开时产生的电弧换流到名为电弧滚环的导体上，以降低分断时通过的能量的分断技术。可实现塑壳式断路器等设备的小型化、提高分断容量。

**（*8）开关设备**

这是一种为了频繁开关电动机等的电路而在低压电路上使用的设备。

在本专辑中指交流接触器和电动机起动器。

⑴ 静音交流接触器“SL 系列”

高级酒店和公寓的电梯正在向无机房化发展。在电梯轿厢附近设置收纳了接触器等控制设备的控制柜的情况很常见。因此，交流接触器要求动作时实现静音化。于是，富士电机在 2016 年开发了静音交流接触器“SL 系列”，该系列相比过去的标准品，大幅降低了动作音（**图 7**）。其主要特点如下所示。

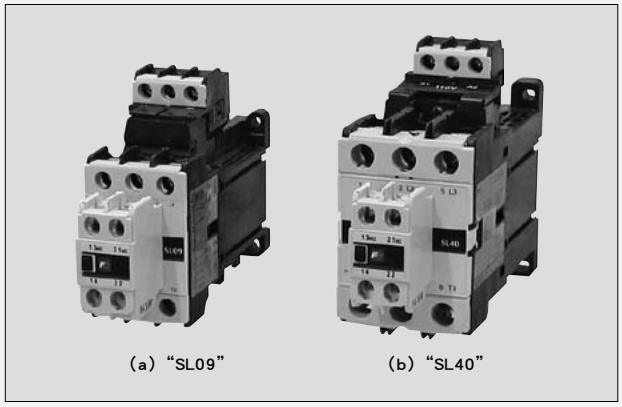
⑻ 动作音降低（相比标准品降低约 10 dBA 以上）
⑼ 操作电源 AC/DC 共用
⑽ 内置线圈浪涌吸收功能
⑾ 获得了中国强制性产品认证（CCC）

⑵ 密封型高压接触器“SVE135”

随着混合动力汽车和电动汽车的普及、百万瓦级太阳能等直流高压系统的增加，近年来，直流电路用接触器的需求日益增加。搭载在电动汽车上的接触器，要求实现小型化、高度的安全性和可靠性以及耐环境性。富士电机为满足这些要求，开发出可适用于车载用途以及燃料电池、太阳能发电、电池系统等、额定电压为 DC450 V、额定电流为 135 A 的密封型高压接触器“SVE135”（**图 8**）。其主要特点如下所示。

⑻ 在封入气体的密封胶囊内设置触头部分，从而提升了分断性能和防尘性，相比过去的接触器，大幅度实现了小型化和高接触可靠性。
⑼ 凭借独创的触头部分结构，实现了 20 kA 的高过电流耐量，确保了高度的安全性。
⑽ 凭借支持电池充放电的无极性化和正反向相同的分断性能，确保了安全性。
⑾ 可全方位安装，易用性得到提升，还实现了小型化。

（参照 211 页“具备耐受高过电流性能的密封型高压接触器‘SVE135’”）




（a）“SL09”　（b）“SL40”

**图 7　静音交流接触器“SL 系列”**

**图 8　密封型高压接触器“SVE135”**

## 4. 2　控制设备(*9)

⑴ 面向中国和亚洲的指令开关

富士电机面向安装孔 $\phi$22 开关需求不断扩大的中国和亚洲地区，开发了指令开关“AY22 系列”和“DY22 系列”（**图 9**）。其主要特点如下所示。

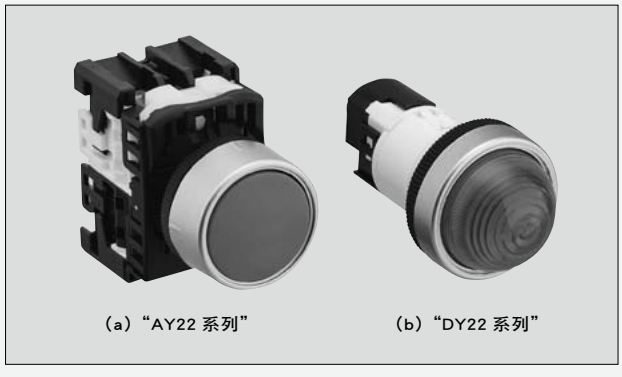
⑻ 具有高级感的外观
⑼ 结构零部件模块化
⑽ 端子部满足 IP2X 要求
⑾ 无变压器式的 LED 灯

（参照 193 页“面向中国和亚洲地区的指令开关（$\phi$22）‘AY22 系列’、‘DY22 系列’”）

⑵ 省工时设备、省线化设备

可削减控制柜组装和维护作业工时、简化作业的省工时设备、省线化设备在欧美已逐渐被广泛使用，日本在少子老龄化导致劳动人口减少、熟练作业者减少导致技能水平低下的背景下，对其需求也在不断增加。

⑻ 通过削减机柜中器具安装和配线工时降低成本
⑼ 以机柜的小型化实现省空间
⑽ 提升机柜内配线作业中电气连接的品质



（a）“AY22 系列”　（b）“DY22 系列”

**图 9　指令开关（$\phi$22）**

**(*9) 控制设备**

这是一种为了控制机械和系统，而在低压控制电路上使用的设备。

在本专辑指操作开关、继电器、传感器、计时器。

最近，富士电机开发了控制柜用的无螺丝端子技术。另外，在受配电柜方面，向市场投放了同时实现产品安装和配线的插入型塑壳式断路器（参照 179 页“可为节省机柜装配工时做贡献的无螺丝端子技术和产品群”）。

### 4. 3 高压受配电设备(*10)

富士电机针对日本国内市场，于 2013 年开发了高压交流负载开关（LBS）和高压真空断路器（VCB）这 2 个主要机种，并进行了产品的更新换代。今后，在 VMC（真空交流接触器）和分断电流 20 kA 以上的大型 VCB 等方面，将应对产品翻新、更新带来的需求，促进长寿命型润滑脂的使用和提升绝缘部件的耐漏电起痕性能。

纵观海外，在不断发展的东南亚各国被广泛使用的高压受配电柜必须满足国际标准的要求。与过去一样，除符合日本 JEC 标准和 JEM 标准外，还要符合 VCB 等高压开关装置相关的国际标准 IEC 62271 系列，打造具备更高安全性的产品。为此，富士电机开发了 VCB“HS 系列”的 12 kV、24 kV 的产品（**图 10**）。其主要特点如下所示。

(a) VCB 的推进拉出机构
(b) 维护时的主电路部金属活门
(c) 短时短路耐受电流 3 秒（旧型产品为 1 秒）

另外，为实现 24 kV VCB 的小型化，富士电机首次采用了真空阀的固体绝缘方式，容积比过去的空气绝缘方式缩小约 40%，实现了小型化（参照 197 页“符合 IEC 标准的面向东南亚市场的高压真空断路器（12 kV、24 kV）”）。

这些高压设备在进行维护和管理作业、电力异常检测时经常会用到保护继电器和电力指示仪表。富士电机正在推进数字式多功能继电器“F-MPC60G 系列”的更新换代。在维持过去功能的同时，新采用了事故波形记录功能和彩色 LCD 显示屏，改善了人机界面，同时具备符合 IEC 标准的保护特性，以应对全球市场（**图 11**）（参照 202 页“可见性和操作性提升的数字式多功能继电器‘F-MPC60G 系列’”）。

图 10 符合 IEC 标准的 24 kV VCB

图 11 数字式多功能继电器“F-MPC60G”

### 4. 4 低压受配电设备(*11)

加工机械、制造装置等的控制柜中会搭载多个组件设备，连接各设备的控制配线数量庞大。因此，为实现更高的作业效率，消除作业失误，市场强烈要求提供具备配线连接时不使用螺丝的速连型端子结构的设备。

受配电电气设备还要求在增设和容量变更时实现短交货期和机柜小型化。因此，需要能通过提升作业效率削减工时、实现配线省空间化的设备。

为满足这些要求，并且“创造具备高附加值的商品”，富士电机收集现有客户和包括潜在客户在内的广泛群体的需求信息，并通过原型制作，对理念和规格进行事前验证。

在产品企划阶段，使用组装了试制品的模型机柜，创建设想客户实际使用场景，将具体需求反映到产品理念中。例如，推进弹簧式接线端子型的配电、控制设备的开发。

另外，设置在医院、数据中心等的受配电设备，要求具备高度的供电可靠性。为此，其中使用的配线保护设备，必须能凭借细致的协调保护特性抑制不必要的动作，以及对过电流和漏电等电路异常进行事前预测和警报等功能。为此，富士电机开发了装有小型漏电及测量单元的电子式漏电断路器“EX 系列”（**图 12**）。其主要特点如下所示。

(a) 凭借额定电流和长 / 短限时、瞬时脱扣特性的可调节功能，可轻松实现协调保护，有益于提升供电可靠性。

**(*10) 高压受配电设备**

这是一种根据用户的负载设备，以安全、稳定地供应电力公司提供的电力而设置在高压电气设备中使用的设备。是 3.6/7.2 kV 到 36 kV 的真空断路器、负载开关、断路器、保险丝、交流接触器、保护继电器等的总称。

**(*11) 低压受配电设备**

这是保护以直流 750 V 以下、交流 600 V 以下的配电电路和电气元件为目的的电气保护设备的总称。包括空气断路器、塑壳式断路器、漏电断路器、熔断器、设备用断路器等。

图 12　电子式漏电断路器“EX 系列”

(b)　配备有测量功能、通信功能、预警功能。
(c)　搭载 MODBUS 接口，可结合电力监视设备进行保护和状态监视。
(d)　采用和旧型塑壳式断路器“BX 系列”相同的外形尺寸，更新简单。
(e)　准备了 250 A、630 A 这 2 种框架，实现了高度的分断性能。

(参照 184 页“可为智能社会的发展做贡献的电子式漏电断路器‘EX 系列’”)

### 4.5　电力监视设备(*12)

正如富士电机的 IoT (Internet of Things) 关键词“Small，Quick Start & Spiral-up”所强调的，产业领域在导入 IoT 之际，多是从 small-start 开始的，例如用电量的数据收集等。

不仅要像过去那样监视照明和空调等设备，还要求节能对象实现自动控制。另一方面，为实现用户用电量的平准化，必须从按需监视向按需控制 (按需响应) 转变。

图 13　新型“F-MPC Web 单元”

新型“F-MPC Web 单元”(**图 13**) 是搭载了数据收集专用 Web 服务器、可构建小规模电力监视和节能系统的设备。在 PC 上使用 Internet Explorer 等浏览器，就能进行监视。还设想了从智能手机、平板电脑上操作时的情况，采用不依赖于 Windows 等的 OS 机制。硬件接口使用利用 UBS 的通信转换器，从而可持续、灵活地应对通信技术的变化 (参照 206 页“实现能源管理系统的‘F-MPC Web 单元’、‘F-MPC ZEBLA’”)。

## 5　支持产品开发的最新技术

富士电机在新产品开发不可或缺的核心技术开发方面，使用了日本国内屈指可数的短路发电机、先进的材料分析设备、运用了最尖端的有限元法的分析技术等。

### 5.1　材料技术

设备组件所使用材料的规格要求日趋高度化。例如，为提升推进小型化不可或缺的外壳和带电部件的绝缘性能，富士电机推进实机验证，以实现材料配比的优化和适用。

另外，还必须及时应对环境规定。富士电机对于设备所使用的树脂，以循环性高的热塑性树脂代替热固化树脂，并为实现阻燃性树脂的非卤化，采用了磷化合物类材料。触头材料方面，为应对 RoHS 指令规定，富士电机促进了无镉化，正在开发提升了焊接性且可抑制温升的材料。最近，对于将从 2019 年开始受到 RoHS 指令限制的邻苯二甲酸酯，也在推进相关工作 (参照 221 页“支持受配电、开关、控制设备组件的材料技术”)。

### 5.2　仿真技术

富士电机凭借利用最先进电脑的有限元法和其他分析方法，提升了结构、电磁场、热流体、机构、振动冲击等仿真技术的水平，并结合这些方面开展综合性仿真。为了将仿真运用于实际的设计讨论，富士电机致力于提升计算精度、缩短计算时间，以追求最佳设计和设计品质提升，实现产品的超小型化、高性能化和低耗电化。

最近，特别是为了实现带触头设备的小型化和高性能化，正致力于结合了热流体分析和电磁场分析的电弧仿真技术的高精度化研究开发工作。通过考虑金属和树脂的蒸发计算，和基于毕奥 – 萨伐尔公式的磁场计算，以及运用表面电流法并考虑了磁性体的磁场计算，可在短时间内获得与实际的电弧动作基本一致的计算结果 (参照 216 页“支持密封型高压接触器开发的仿真技术”)。

### 5.3　评价技术

在设备组件的产品开发方面，富士电机考虑到实际的

**(*12) 电力监视设备**
这是以实现电气设备的预防保全和支持节能活动为目的，测量电压、电流、电力等电气量，进行监视和警报的设备和系统的总称。包括数字式多功能继电器、低压绝缘监视系统、配电监视单元等。

用户需求，开展以下所示的四种评价，以确保产品品质。

(a) 决定产品性能的因素聚焦评价

(b) 考虑到使用环境的可靠性评价

(c) 考虑到操作性的界面评价

(d) 基于产品规格的特性评价

为迅速、准确地实施这些评价，富士电机建了集结技术部门的开发评价楼，提升了评价效率，还强化了设备能力。富士电机将这些评价技术提升至业界顶级水平，评价试验设备在低压产品方面，获得了日本唯一的客户实验室认证试验所认证。

为满足客户需求、及时向市场提供具备以高可靠性为支撑的先进性能和品质的产品，富士电机将高效运用现有设备，提升开发效率。评价技术人员将积极与客户交流，收集市场的声音，推进产品的评价工作，从而开发出对客户而言安全、安心且使用便利的产品（参照 225 页“支持受配电、开关、控制设备组件的评价技术”）。

### 5.4 制造技术

为了以稳定的品质向客户提供产品，富士电机致力于提升以下所示的生产技术力量，不仅强化产品的组装，还推进零部件加工的内制化。

(1) 接合技术

将构成通电线路的银、铜、铁类材料结合起来的技术。近年来，以小型化和品质稳定为目标，扩大了激光焊接的应用。

(2) 表面处理技术

除防锈外，近年来为了对复杂形状的端子运用超薄绝缘涂层，富士电机还致力于推进高度的表面处理技术。

(3) 塑性加工技术和模塑成型技术

品质稳定、生产率高的金属、塑料加工技术。正在推进精密化和复合化。

(4) 自动化技术

富士电机正在推进构建具备高度灵活性的自动化生产线，以应对多品种少量生产。同时还致力于开发更接近于人工制造的机器人组装（**图 14**）。

图 14 使用双臂机器人的电动机起动器生产线

由日本向中国、亚洲地区扩大，尤其是强化本地设计和地产地消、扩大全球采购、实现在海外有成本竞争力的制造是制造业如今所面临的课题。在这种状况下，日本国内工厂担负着未来继续改善和强化品质，并作为母工厂向海外生产据点传播制造技术的责任。

## 6 未来展望

过去，富士电机一直致力于开发和提供应对 FA 化发展的设备组件。在此基础上，今后还将活用 IoT，大力开发将工厂内的设备和机器全部连接起来、适用于智能工厂的设备组件，以及传感器和通信模块。并运用硬件技术和富士电机所拥有的 AI 技术，将结合了具备更强预测和判断能力的算法和传感器的综合模块组装到设备中，从而实现长期免维护，以及提供节能性出众的系统方案。

今后，作为半导体元件运用和电子化方面的措施，将富士电机 SiC（碳化硅）半导体元件与触头结构结合一体的混合开关设备的开发等也同样备受期待。这些先进技术预计重要度将日益增加，因此，富士电机今后也将以公司所拥有的高度技术力量为武器，通过革新实现持续的成长。

## 7 后记

本文对富士电机设备组件方面的产品开发和技术开发进行了介绍。今后，富士电机也将把新能源管理时代的到来视为主要趋势，开发受配电、开关、控制设备组件方面的新技术，并携手客户、地区和社会、关联企业等持续向客户提供新价值，为社会做贡献。

**参考文献**

(1) 浅川浩司 . 受配电、开关、控制设备组件的现状与展望 . 富士电机技报 . 2014, vol.C6, no.4, p.170-176.

**铃木 健司**

从事开关控制设备的产品开发和技术开发。现为富士电机机器制御株式会社开发本部新一代开发项目部部长电子信息通信学会会员、电气学会会员。

**冈本 泰道**

从事低压断路器和高压受配电设备的开发设计。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部部长。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。