关于燃料电池的最新开发动向及销售战略

Status of Development and Sales Strategy of Fuel Cell Systems

青木　信 AOKI, Makoto　　堀内　义实 HORIUCHI, Yoshimi

富士电机致力于提高磷酸型燃料电池（PAFC）的功能和扩大其用途。在日本国内，以独立供电、具有灾害应对功能的机种，和对应生物气发电的机种为中心推进交付工作。在海外，则将其运用在使用燃料电池低氧浓度废气的防火措施中进行交付。此外，还作为新一代高效率热电联产系统，以超过 50% 的发电效率为目标，致力于开发固体氧化物型燃料电池（SOFC），并推进实证机的设计、制作和性能评价工作。

Fuji Electric has been working to improve the functions of phosphoric acid fuel cells (PAFCs) and expand their applications. For the Japanese market, we are mainly offering models that have grid independent power supply mode for emergency and models that generate electricity from biogas. For the market outside Japan, we are providing the PAFCs for fire-prevention equipment that utilizes low oxygen concentration exhaust emitted from a fuel cell system. We have also been developing solid oxide fuel cells (SOFCs) for next-generation, high-efficiency cogeneration systems. We are designing, manufacturing and evaluating the performance of them to aim for a electric power generation efficiency exceeding 50%.

1　引言

2015 年 7 月资源能源厅发布的“长期能源供需预测”中规定，必须从能源供应的安全性、稳定供应性、经济高效性和环境符合性的观点出发彻底节能，因此有望加速导入包括燃料电池在内的热电联产系统。与其他热电联产系统相比，燃料电池不仅可以使用各种燃料，而且还具有容量小发电效率高、可以降低运营成本和 CO_2 排放量、环境性优异等众多特点。其中，磷酸型燃料电池（PAFC）长期以来商用方面运用实绩丰富，长达 124000 多小时（约 15 年），是中小规模热电联产系统最实用的选项。此外，比磷酸型燃料电池发电效率更高的固体氧化物型燃料电池（SOFC）也即将在业务用途方面实现实用化。

富士电机于 1998 年开始销售 100 kW 磷酸型燃料电池。针对能源成本较高的中小规模设施，富士电机制造了发电容量为 100 kW 的热电联产系统，实现了采购、生产和工程设计的高效化。同时，富士电机还致力于延长燃料电池主件的寿命和提高设置性，自 2010 年起包括周边设备在内实现了一体化，同时还销售了可在寒冷地带使用的磷酸型燃料电池“FP-100i”（**图 1**）。

图 1　磷酸型燃料电池“FP-100i”

本文将以 FP-100i 的规格和用途扩展为中心，对正在开发的新一代高效率热电联产系统——固体氧化物型燃料电池进行介绍[(1)〜(11)]。

2　“FP-100i”的规格和选配功能

表 1 为 FP-100i 的主要规格。关于燃料，我们利用本公司自行开发改质类设备的优势，除了基础设施完善的城市燃气外，生物气（分解气体）作为可再生能源备受关注，因此还开发出了可对应生物气的产品。并且，还推出了作为新一代的基础设施备受期待的、可利用氢气发电的产品，实现了高达 48% 的发电效率。

除了作为热电联产系统外，还备有可将 LP 气体作为备用燃料独立供电的灾害应对型，以及可供应绿色的低氧浓度

表 1　“FP-100i”的主要规格

项目	规格		
燃料	城市燃气	生物气	纯氢气
输出	105 kW（发电端）		
输出电压 / 频率	210 V/50 Hz 或者 60 Hz		
发电效率（LHV）*	42%	40%	48%
热输出	123 kW	116 kW	99 kW
综合效率（LHV）	91%	84%	93%
废气	NOx：5 ppm 以下 SOx、粉尘：检测界限以下		NOx、SOx、粉尘：无
外形尺寸	W2.2×D5.5×H3.4（m）		
质量	14 t		13.5 t

★ LHV：将某种处于一定状态下的单位量燃料在隔热状态下完全燃烧，该燃烧气体冷却至原来温度时散发的热量称作“发热量”。发热量分为含水蒸气潜热的高位发热量（HHV：Higher Heating Value），和不含水蒸气潜热的低位发热量（LHV：Lower Heating Value）。

表 2 “FP-100i”的选配产品阵容

依据基准	燃料	功能				备注
		热电联产	独立供电	燃料切换	低氧空气供应	
符合 JIS	城市燃气	○	—	—	—	
		○	○	○	—	灾害应对型
	分解气体	○	—	—	—	
	纯氢气	○	—	—	—	
符合 CE	天然气	○	—	—	—	
		○	—	—	○	火灾预防应对型
	纯氢气	○	—	—	—	

空气的火灾预防应对型等选配功能。FP-100i 的主要选配产品阵容如**表 2** 所示。

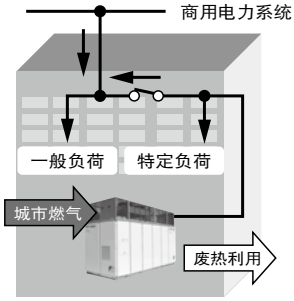
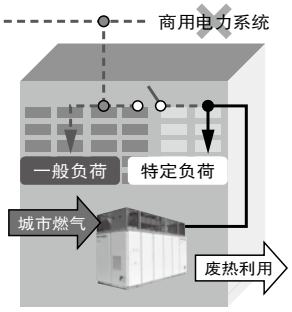
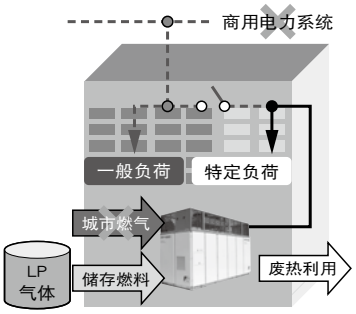
3 日本国内的交付情况和导入事例

日本国内热电联产系统的导入量受燃料价格高涨的影响，自 2004 年达到峰值后一直呈减少趋势，2011 年 3 月东日本大地震以后，能源安全受到关注，呈恢复趋势。富士电机开发出了即使电气和城市燃气停止供应，也能够将燃料瞬间切换成 LP 气体、可为重要负载独立供电的灾害应对型产品，并已交付给灾害发生时作为据点使用的医院和公共设施等。

表 3 为应对灾害时各模式下的运行切换动作。通常与商用电力系统互联运行。发生停电时，会自动从系统解列(注)，并暂时转为待机运行模式，然后在检测到停电后约 30 秒内开始独立运行。待机运行模式是指燃料电池单独继续发电，发电的电力在燃料电池发电设备内消耗的运行模式。独立运行状态下与负荷连接时，可通过过电流保护功能、负荷保护功能和限制器功能，连续接通会产生冲击电流的旋转设备。城市燃气停止供应利用 LP 气体运行时，虽然输出限制为 70 kVA，但可利用 50 kg钢瓶进行约 3 小时的供电。

2015 年富士电机在东京工厂中设置了不仅能够一直供应电气、热量，而且紧急时还能与太阳能电池和蓄电池联动，向重要负载独立供电的燃料电池设备。并且，作为新用途，富士电机利用燃料电池的清洁废气，向一同设置的植物工厂实验设施供应部分 CO_2 浓度高于大气约 150 倍的废气，以

表 3 灾害应对时的运行切换动作

状态	平常时	停电时	停电 + 城市燃气切断时
切换动作	与系统互联运行	从系统中解列， 之后向特定负荷供电	从系统中解列，通过切换燃料向 特定负荷供电
输出	105 kW	100 kVA	70 kVA
燃料	城市燃气	城市燃气	LP 气体（50 kg 钢瓶 3 h）
运行	并网运行	独立运行	独立运行
电力供应范围			

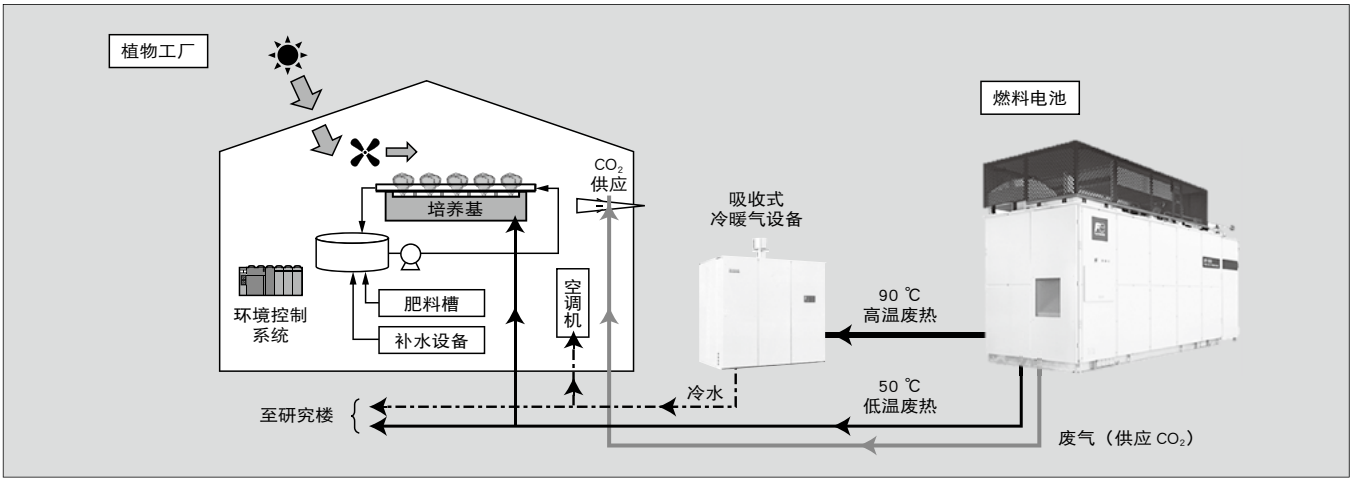


图 2 东京工厂的热电联产系统和向植物工厂供应 CO_2

〈注〉解列：将发电设备等从电力系统中分离

图 3　设置在东京工厂的燃料电池

控制植物培育环境（**图 2**、**图 3**）。

另一方面，富士电机还乘着 2012 年 7 月实施的“可再生能源定价收购制度”（FIT）之东风，不断推进向下水处理厂的导入工作。利用碳中和的下水分解气体发电时，发电电力按每千瓦时 39 日元计算，共可售电 20 年。由于发电效率较高的燃料电池与相同规模的其他方式发电装置相比可产生更多的电力，因此越来越多的企业开始从生命周期内的优势这一角度出发选择燃料电池。2014 年向 4 处共交付了 10 台，2015 年向 1 处共交付了 8 台，预计今后也能够继续保持旺盛的交易。

4　海外的交付情况和导入事例

在海外，与家庭用相比，业务用燃料电池的导入步伐更快。富士电机自 2010 年起向海外发货，截至目前已向德国、韩国、美国、南非这 4 个国家交付了共 11 台。

德国已决定在 2022 年前将国内的 17 座核电站全部停运。但是，随着太阳能发电、风力发电、生物质发电等可再生能源导入的深化，电力系统不稳定的问题显露出来。作为缓解手段，人们对易调整输出的热电联产系统寄予厚望。通过降低室内氧气浓度预防火灾的防火系统在德国逐渐普及，作为热电联产系统的新附加价值，富士电机在该系统中运用燃料电池排放出的清洁低氧浓度空气，并将之交付给了仓库和数据中心。与使燃料和空气燃烧后发电的引擎发电机不同，燃料电池是利用被电解质相隔的燃料和空气发生电气化学反应来发电。因此，对空气而言，发电过程中只有氧气被选择性地消耗，排放出的空气则变为不含有害燃烧废气的低氧浓度空气。在相当于几千米高原的低氧分压下，不仅建材和纸等不会着火，而且还有不会对人体立即产生影响的效果。如**图 4** 所示，它利用传统的膜分离和吸附分离从空气中制造氮气进行供应，与可降低室内氧气浓度的系统相比，能够抑制压缩机所需的能源消耗（运营成本）和噪音、振动，实现环保、高效的系统构成。**图 5** 为德国的实证机设置情况。

2016 年 1 月，富士电机收购了低氧防火系统的合作伙伴、在德国不断扩销的 N_2telligence 公司。并运用该公司的专利和销售网络，加速扩大在德国等欧洲地区的销售。在欧盟销售的产品必须贴有 CE 标志。燃料电池是电气和机

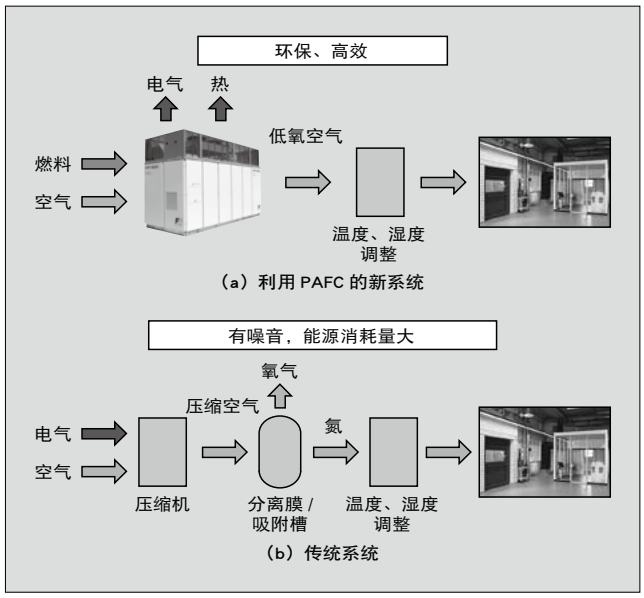


图 4　降低室内氧气浓度的系统的比较

图 5　设置在德国维斯马的防火用实证机

械一体的一种化学成套设备，涉及多个欧盟指令。虽然日本国内燃料电池没有符合 CE 标志的先例，但是我们通过推进包括改造装置在内的措施，从第三方认证机构处获得了符合证明。此外，对于德国的并网规格 VDE 4105，我们也通过第三方认证机构取得了符合性证书。

在德国，很多地区的城市燃气中都流通着含 10% 左右氮气的低热值气体。在燃料电池内是通过燃料处理装置将燃料气体转换成含大量氢气的气体后，供应至燃料电池主件进行发电。如果在传统的燃料处理装置中使用含大量氮气的燃料气体，则会生成对燃料电池主件有害的氨气等副产物。因此我们进行了改良，如选择新催化剂等，开发出了全新的燃料处理装置，即使使用含大量氮气的燃料气体，也可以转换成不会产生氨气且含有大量氢气的气体。今后，有望在低热值气体流通的地区普及。

在韩国，乘着“可再生能源义务分配制度”（RPS）和必须在新房屋中导入可再生能源等政策之东风，业务用燃料电池的导入不断扩大。富士电机从 2014 年开始向韩国发货，截至目前已交付给商业大楼和数据中心等。

南非作为“BRICS”的一角，有望实现成长，但另一方

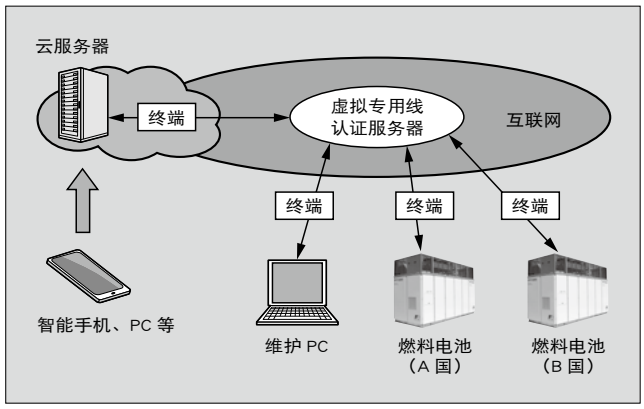


图 6　云型燃料电池远程监视系统和维护系统

面，由于发电设施老化等，电力不足问题日益深刻。作为防卫手段，企业积极推进着自备电源的导入。富士电机于 2014 年向南非的办公大楼交付了燃料电池。此电池具有平时与系统互联后向大楼内送电，计划停电时向重要负载供应电力的独立供电功能。

对于这些提供给海外的产品，富士电机开发出了利用互联网的云型燃料电池远程监控系统和维护系统，可以从日本进行状态监控和软件变更等（**图 6**）。可同时向云服务器保存运行数据和从维护 PC 远程更新燃料电池软件，且只需通过便携式终端登录云服务器，便可随时随地监控运行数据。通过运用本系统，实现了燃料电池的稳定运行。

5　固体氧化物型燃料电池

除磷酸型燃料电池外，富士电机还不断推进着固体氧化物型燃料电池的开发（**图 7**）。其最大的特点就是可以获得高发电效率，并根据**表 4** 所示的实证机目标规格，设想了几十 kW 规模的业务用热电联产系统，从 2014 年起在国立研究开发法人 新能源产业技术综合开发机构（NEDO）的支援下不断推进着开发。虽然完全利用回收热量时的综合效率与磷酸型相同，但与热量相比，其电气的输出比例较大。因此，可以在热利用不太多的设置站点中实现经济且高效的运用。

2014～2015 年度进行了常压型电池模块等核心技术的开发，2016～2017 年推进了热电联产系统实证机的设

图 7　固体氧化物型燃料电池实证机的外观示意图

表 4　固体氧化物型燃料电池实证机的目标规格

项目	目标规格
发电输出	50 kW 级
发电效率（LHV）	50% 以上
废热回收效率（LHV）	30% 以上（温水输出）
综合效率	80% 以上
装置尺寸	W5.0×D2.2×H2.8（m）

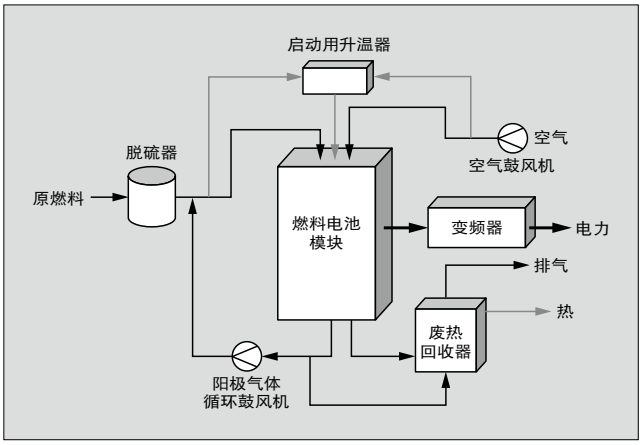


图 8　固体氧化物型燃料电池的设备构成

计、制作和性能评价工作。开发中的固体氧化物型燃料电池的设备构成如**图 8** 所示。本系统采用了内部改质型的电池组。因此，设备数量少、结构简单，主要设备有脱硫器、燃料电池模块、废热回收器和阳极气体循环鼓风机。通过循环燃料电池模块的燃料侧废气（阳极气体），循环电池反应中生成的水，供应燃料气体改质反应所需的蒸汽。这样，运行中便不需要从外部补给水，可以实现水的独立，并提高整个系统的燃料利用率，实现高发电效率。水的独立是延长水处理装置的维护间隔、抑制维护成本所必需的技术，也是实现实用化不可或缺的。此外，我们还以高发电效率为目标推进着开发，例如对燃料电池模块进行最佳设计，采用三电平变频器提高效率，以及以使用 3D 模型进行热流体解析为基础的封装内装置配置设计等。

6　后记

对于磷酸型燃料电池，我们在发挥电源安全功能和供应低氧浓度空气的防火功能等附加价值特性的同时，以支持生物气和氢气等各种燃料为优势不断扩大销售。针对一般的热电联产系统市场，除磷酸型外，还投入了发电效率较高的固体氧化物型燃料电池。

我们将运用长年积累的燃料电池技术，推进可发挥燃料电池特性的各种应用程序的开发，并扩大其应用范围，在日本乃至世界，为防止全球气候变暖、环境保护和实现可持续发展的社会做出贡献。

参考文献

(1)　千田仁人ほか. PAFC のポテンシャリティと導入実績. 燃料電池. 2010, vol.9, no.4, p.11-17.

⑵ 堀内義実, 吉岡浩. 停電時対応燃料電池について. クリーンエネルギー. 2012, vol.21, no.1, p.21-25.
⑶ 岡嘉弘. 低酸素濃度空気供給燃料電池発電設備について. 電機. 2013, vol.760, p.41-44.
⑷ 腰一昭等. 满足新需求的燃料电池. 富士电机技报. 2013, vol.C5, no.3, p.189-192.
⑸ 吉岡浩. 富士電機のりん酸形燃料電池の開発. 日本エネルギー学会誌. 2013, vol.92, no.11, p.1065-1070.
⑹ 黒田健一, 吉岡浩. りん酸形燃料電池の稼働状況について. 燃料電池. 2015, vol.14, no.3, p.10-16.
⑺ 黒田健一. 燃料電池. 電設技術 . 2015, vol.61, no.2.
⑻ 黒田健一. 富士電機の水素事業への取組み. 電機. 2015, vol.778, p.32-35.
⑼ 大内崇ほか. りん酸形燃料電池の適用事例. 日本ガスタービン学会誌. 2016, vol.44, no.4, p.259-264.
⑽ 青木信ほか. 富士電機におけるりん酸形燃料電池の展開. 燃料電池. 2016, vol.16, no.1, p.42-48.
⑾ 大栗延章ほか. 業務用 SOFC の開発状況. 第 23 回燃料電池シンポジウム講演予稿集. 2016, p.73-74.

青木　　信
从事燃料电池和无机材料的开发、工程设计业务。现就职于富士电机株式会社发电和社会基础设施事业本部新能源设备事业部燃料电池技术部。工学博士。日本化学会会员。

堀内　义实
从事燃料电池和新能源的工程设计业务。现就职于富士电机株式会社发电和社会基础设施事业本部新能源设备事业部燃料电池技术部。电气学会会员。

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。