面向韩国的磷酸型燃料电池

Phosphoric Acid Fuel Cells for the Korean Market

川上　幸次 KAWAKAMI, Koji　　堀内　义实 HORIUCHI, Yoshimi

韩国采用以包括燃料电池在内的新能源为对象的“可再生能源配额制”(RPS)，燃料电池的导入正在不断扩大。提供给韩国中小规模发电运营商的磷酸型燃料电池，需应对韩国燃料气体、削减安装设置面积、简化现场施工和寒冷气候这些因素。通过迄今为止的研究、开发和使用，富士电机产品可满足上述规格。另外，基于远程监控的稳定运行和日本国内的长时间运作实绩，产品具备高可靠性。基于这些特性，桑拿等温浴设施，正在积极导入本产品，今后其应用有望进一步扩大。

The introduction of fuel cells has been expanding in South Korea following the adoption of the Renewable Portfolio Standard (RPS), a regulation that covers new energy sources including fuel cells. Small- and medium-sized power producers in South Korea, Fuji Electric's target customers, define the specifications for phosphoric acid fuel cells including compatibility with Korean fuel gases, installation area reduction, simplified on-site construction, and cold tolerance. Fuji Electric has achieved these specifications through our research and development and operations. In addition, we provide stable operation using remote monitoring and ensure high reliability based on our prolonged operation in Japan. With these features, the fuel cells have been being introduced into warm bath facilities, such as saunas, and are expected to be widespread.

1　引言

富士电机于 1998 年实现了 100 kW 级磷酸型燃料电池 (PAFC：Phosphoric Acid Fuel Cell) 的商品化，并在 2010 年将周边设备一起进行封装，提高了商品性能，开始销售一体化封装型“FP-100i”。以能源成本较高的中小规模设施为目标，专注于利用发电容量为 100 kW 的电力和热水的热电联产系统，截至 2020 年 3 月，富士电机在日本国内外累计交付达 100 台。

燃料电池是通过氢和氧的电化学反应直接产生电的发电装置。作为有助于实现低碳社会的新一代能源之一，其导入正在得到推进。与其他内燃机的热电联产系统相比，燃料电池除了可利用多种燃料之外，即使是 100 kW 以下左右的小容量，也具有发电效率高、可降低运行成本和 CO_2 排放量、保护环境等诸多特点。

近年来，韩国正在加速导入燃料电池。本文将对韩国导入燃料电池的背景、韩国市场磷酸型燃料电池所需的规格和特点，以及交付给韩国的事例进行介绍。

2　韩国的新能源与可再生能源导入政策和燃料电池市场

作为促进可再生能源电力普及政策，韩国在 2002 ～ 2011 年期间实施了“可再生能源定价收购制度”(FIT)。此外，根据“可再生能源配额制”(RPS：Renewable Portfolio Standard)，从 2012 年开始，要求发电设备容量在 500 MW 以上的大规模发电运营商按一定比例的电力以再生能源或包括燃料电池在内的新能源方式进行发电。义务供给量比率的目标为从 2012 年的 2% 上升至 2022 年的 10%，可自行通过新能源和再生能源发电供应电力，也可通过购买新能源和再生能源发电运营商发行的绿色电力证书 (REC:Renewable Energy Certificate) 来达到义务供应量。[(1)~(4)]

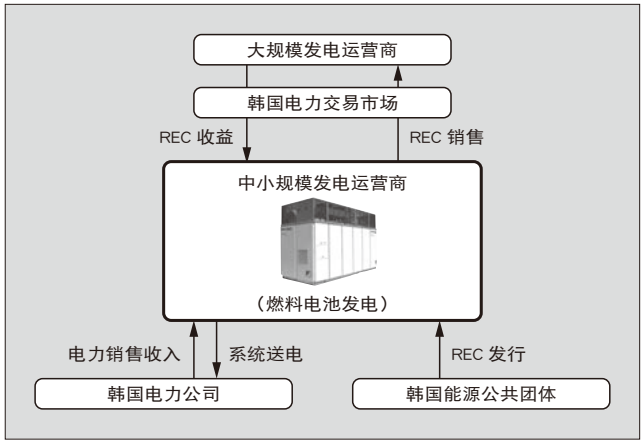

图 1　韩国中小规模发电运营商燃料电池发电的售电方案

如上所述，由于大规模发电运营商须实施基于 RPS 制度的新能源和可再生能源发电，而中小规模发电运营商除了电力销售收入之外，预计还可通过新能源和可再生能源发电获取和销售 REC 信用来得到收益，因此，近年来燃料电池的导入逐渐扩大。

富士电机 100 kW 磷酸型燃料电池的主要目标客户，是利用上述 REC 信用的中小规模发电运营商。燃料电池发电的售电方案概要如**图 1** 所示。

3　富士电机的燃料电池

3.1　概要及主要规格

图 2 所示为一体化封装富士电机磷酸型燃料电池 FP-100i 的外观。

表 1 所示为 FP-100i 的主要规格。根据所用燃料，燃料电池可分成三种类型，基础设施齐全的城市燃气、被用

图 2　磷酸型燃料电池“FP-100i”的外观

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	NO_X： 5 ppm 以下 SO_X， 粉尘： 低于检测极限		NO_X、 SO_X、 粉尘： 无
外形尺寸	W2.2×D5.5×H3.4 （m）		
重量	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）。

作再生能源的生物气（下水分解气体）及有望成为新一代燃料的以纯氢为燃料的发电。FP-100i 除了作为热电联产外，还备有可将 LP 气体作为备用燃料独立供电的灾害应对型，以及可供应绿色低氧空气的火灾预防应对型等选配功能。

图 3 所示为 FP-100i 结构。为便于现场安装，FP-100i 采用了封装结构。另外，考虑到卡车运输，横向宽度为 2.2 m，高度为 2.5 m（安装后为 3.4 m）。以往需要单独安装的氮气供应设备、水处理设备的附带设备也内置于封装中，同时将用于排热处理的空冷式散热器设置在天花板上，因此现场安装时的配线和配管工程大幅减少，设置安装面积减半。

3. 2　交付实绩和运行情况

图 4 所示为 100 kW 燃料电池的交付实绩，**表 2** 所示为交付对象国家和所用气体种类，**表 3** 所示为交付对象设施。

1998 年至 2020 年 3 月，在日本国内外共交付了 100 台，燃料气体种类包括城市燃气、天然气、分解气体、纯氢及各种气体。主要交付对象为污水处理厂、办公大楼与商业大楼、工厂与煤气公司、桑拿、医院。燃料电池主要用作热电联产系统。已交付产品中，经过电池组、重整器等主机交换等大幅修整（即大修）后，部分设备的累计运行时间

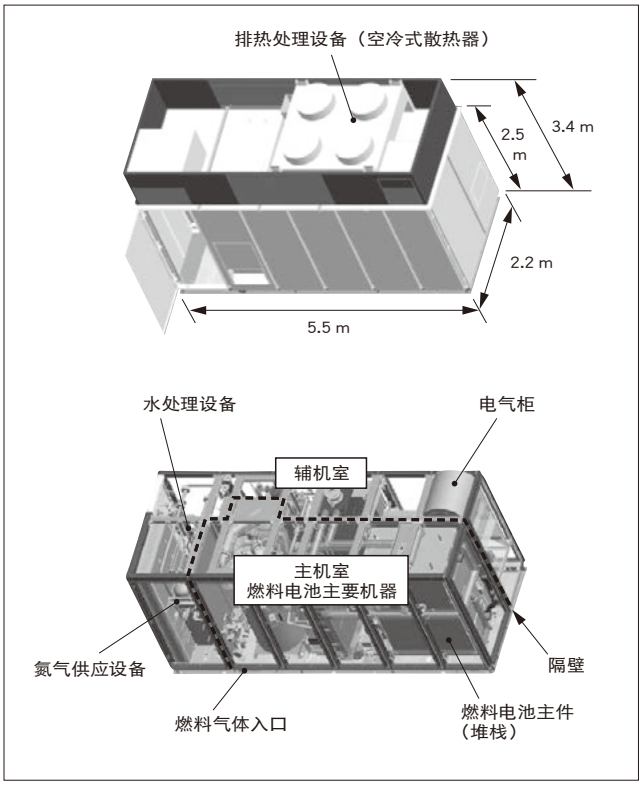

图 3　“FP-100i”的结构

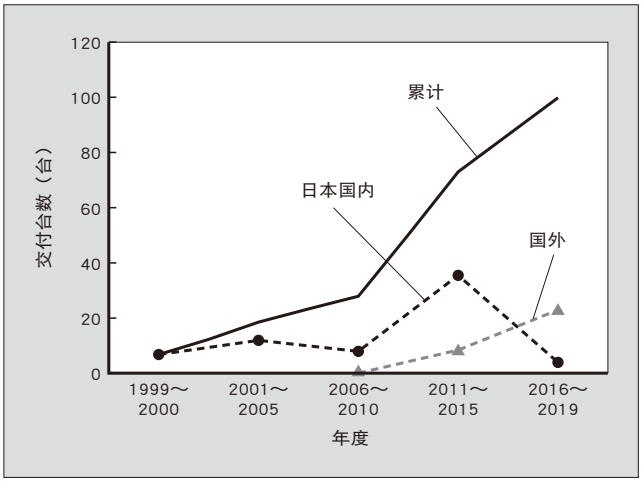

图 4　100 kW 磷酸型燃料电池的交付实绩（2010 年度以后，交付 FP-100i）

表 2　交付给各国的台数和气体种类

国家名称	台数	气体种类			
		城市燃气	天然气	分解气体	纯氢气
日本	67	28	6	32	1
美国	2	—	2	—	—
德国	10	—	10	—	—
韩国	19	1	18	—	—
法国	1	—	1	—	—
南非	1	1	—	—	—
合计	100	—			

表 3　PAFC 交付对象设施

交付对象设施	日本国内	国外
污水处理厂	31	0
办公大楼、 商业大楼	6	4
工厂、 燃气公司	8	10
桑拿	0	8
医院	7	0
大学	5	1
仓库	0	5
其他	10	5
小计	67	33
合计	100	

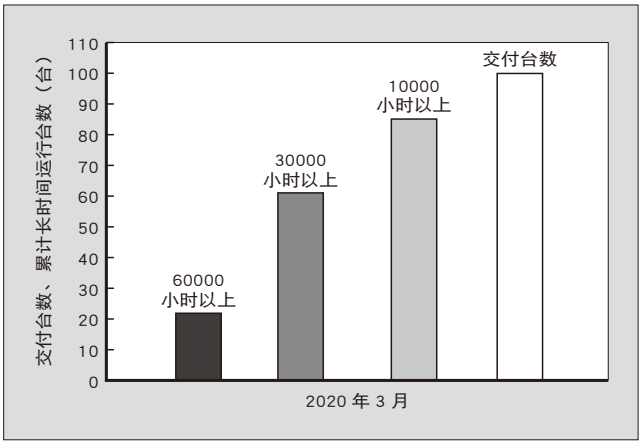

图 5　累计长时间运行的燃料电池台数的变化

达到 13 万小时（约 15 年），富士电机磷酸型燃料电池的可靠性和耐久性在实际使用现场得到了证实。

图 5 所示为截止到 2020 年 3 月的交付台数以及累计运行时间超过 1 万小时、3 万小时、6 万小时的装置台数。通过有效利用基于以往实际运作经验的知识以及下文所述远程监控系统，分析运作故障原因，研讨并执行对策，装置得以稳定地运行。

4　面向韩国的燃料电池

面向韩国的燃料电池所需规格如下所示。

4.1　韩国燃料气体的应对措施

表 4 所示为日本与韩国典型燃料气体的比较说明。韩国的燃料气体中甲烷比例高，发热量比日本的城市燃气低。根据迄今为止日本国内外的设置安装和运行业绩，富士电机计算出供应给重整器的水蒸气和燃料气体的流量，根据各设置安装场所燃料气体的组成和发热量设定最佳流量比率进行应对。

4.2　现场工程的简化

FP-100i 为一体化封装型，可提供给韩国中小规模发电运营商，设置在安装面积较小的市区等狭小空间。另外，

表 4　日本与韩国燃料气体的比较

成分名称	分子式	城市燃气 13 A（日本东京瓦斯）	天然气（韩国大邱市）
甲烷	CH_4	89.60%	93.10%
乙烷	C_2H_6	5.62%	4.47%
丙烷	C_3H_8	3.43%	1.53%
丁烷	C_4H_{10}	1.35%	0.69%
戊烷	C_5H_{12}	—	0.02%
氮	N_2	—	0.20%
合计	—	100.00%	100.00%
发热量（LHV*）	单位 MJ/Nm^3	40.6	38.5

★ LHV： 低位发热量。 参照表 1 的脚注

因为可在短时间内进行配线配管工程，有利于扩大 FP-100i 在韩国的导入。

4.3　寒冷地带应对措施

在韩国首尔等高纬度地带或高地，冬季有时会出现 -10℃以下的严寒气候。

以往，在气温低于 -5℃的寒冷地区通常要设置在室内，如**图 3** 所示，FP-100i 在封装内设有隔板来划分需要防止冻结的辅机室区域，通过对该区域内的设备散热和供气排气量进行最佳控制，即使外部气温为 -20℃，该区域内的气温也不会低于 0℃，因此即使在寒冷地区也可安装在室外。

通过针对寒冷地带采取应对措施，在冬季寒冷的韩国也可正常地运行。

4.4　基于远程监控的稳定运行

针对在韩国运行的磷酸型燃料电池，使用富士电机开发的互联网云端燃料电池远程监控系统，可以从日本国内监控运行状态、更新软件等。通过采用上述方式，即使远在国外，发生异常时，也可迅速应对。**图 6** 所示为远程监视系统的概要。目前，已实现了在云服务器上保存运行数据，可通过维护 PC 远程更新燃料电池软件。此外，如果通过便携终端登录云服务器，则可随时随地浏览运行数据。

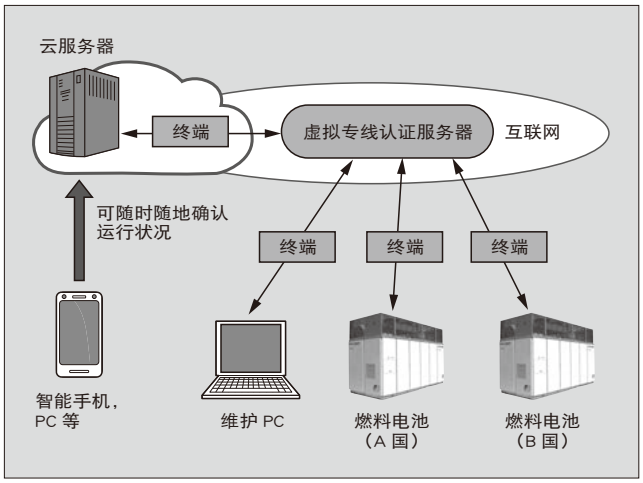

图 6　云端燃料电池远程监控系统

5 韩国交付事例

如上所述，受韩国政府新能源和再生能源导入优惠政策的影响，2017 年以后，向韩国交付的 FP-100i 增加。下面介绍几个交付事例。

图 7 所示为交付给 YUIL 产业的事例。最初交付了 5 台，随后再次追加，现在共有 8 台燃料电池用于发电。

图 8 所示为交付给 KT（原 Korean Telecom）疗养院的事例。虽然设置空间狭小，但是因为所需设置面积也小，所以得以顺利设置安装。另外，该疗养院位于高原，冬季降雪、气候严寒，全年均可顺利进行热电联产（发电 + 废热利用）。

图 9 所示为交付给千户桑拿健康的事例。为有效利用桑拿设施建筑物旁的停车场，新建了两层钢结构框架结构体，并在其上部设置了 FP-100i。桑拿设施通常位于市区，设置空间受到限制的情况较多，本事例则在设置方法上下了功夫，结果满足了客户的要求。

图 10 所示为交付给桑拿东湖休兰德的事例。本设施也位于市区，在桑拿建筑物屋顶的室内高尔夫练习场的空地上设置安装了 3 台。

除以上事例外，热需求大的桑拿设施、温水游泳池等的导入事例正在增加，作为小规模发电运营商，可有效地利用 FP-100i 发电时产生的废热。

图 7　交货事例：交付给 YUIL 产业 100 kW×8 台

图 8　交货事例：交付给 KT 疗养院 100 kW×1 台

图 9　交货事例：交付给千户桑拿健康 100 kW×2 台

图 10　交货事例：交付给东湖休兰德 100 kW×3 台

6 后记

以上对面向韩国的磷酸型燃料电池进行了介绍。利用 FP-100i 的规格和特点，今后仍将继续以使用热电联产的中小规模发电运营商为中心扩大销售。另外，发挥在生物气和氢等多种燃料方面的优势，在韩国拓展新市场。

富士电机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，在日本国内以及海外，为防止全球气候变暖、实现低碳社会和可持续发展社会做出贡献。

参考文献

⑴ 李秀澈ほか . 日韓の再生可能エネルギー政策転換の成果と課題. 環境経済政策学会 2014 年度大会報告資料.
⑵ 鄭承衍ほか . 日韓の再生可能エネルギー政策の転換とその成果 . 名城論叢 . 第 14 巻第 4 号 , 2014 年 3 月 , p.61-76.
⑶ 一般社団法人 海外電力調査会 . 各国の電力事業（主要 12 か国）. 韓国 . https://www.jepic.or.jp/data/w11 skra.html,（参照 2020-08.18）.
⑷ 環境省 . 1. 諸外国における再生可能エネルギーの普及動向調査 . 2016 年 , 1.2.11 韓国 , p.183-198.

川上　幸次

从事水处理测量仪器、环境处理装置的开发设计、燃料电池的工程设计业务。现就职于 Fuji Electric Korea Co., Ltd. 营业本部开拓营业 Team 燃料电池技术统括。

堀内　义实

从事燃料电池和新能源的工程设计业务。现为富士电机株式会社发电成套设备事业本部工程统括部品质保证部长。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。