利用湿度环境控制的保鲜技术

Freshness-Keeping Technology with Ambient Humidity Control

市原　史基 ICHIHARA, Shimoto　　**山田　哲也** YAMADA, Tetsuya　　**平方　聪树** HIRAKATA, Satoki

近年来，尚可食用却被丢弃的食品（食品损失）成了一种社会问题。针对此，富士电机着眼于食品干燥问题，开发出了通过控制湿度环境，维持食品鲜度的技术。作为控制湿度环境的一项措施，使用了富士电机的固体高分子型燃料电池技术。在控制方面不使用液态水，因而可大幅降低因细菌及霉菌滋生导致食物中毒的风险。根据食材设置相应的湿度条件，在保存的同时还能维持口感，从而延长销售时间，有望减少食品损耗。

In recent years, food being discarded even though it is still edible (food loss) has become a social problem. Taking note of how freshness is lost as food becomes dry, Fuji Electric has developed technology that controls ambient humidity to keep food fresher for longer. This method applies Fuji Electric's polymer electrolyte fuel cell technology. Using no liquid water significantly reduce the risk of bacterial and fungal growth that causes food poisoning. The technology allows users to determine appropriate humidity conditions for specific food materials, store them with little loss of fresh texture, and increase sales opportunities, reducing food loss.

1　引言

近年来，在食品流通过程中，尚可食用却被丢弃的食品（食品损失）成了一种社会问题。SDGs（可持续发展目标）已在联合国通过，提出了 2030 年前零售及消费层面食物废弃物减半的目标，因此需要将其视为全球性的问题而给予重视。

从微观角度来看，食品损耗会压低便利店及超市的利润，因而如何来减少废弃也是一大课题。便利店柜台周边设置有柜台货架（**图 1**）。货架中摆放着以新鲜或美味为卖点的配菜或甜点等，这些都是未经包装的无包装商品。虽然作为商品具有较强的吸引力，但由于无包装，所以保存环境对口感和味道的影响很大。因此，放置数小时后便会被废弃。以往主要是通过冷却和加热等温度控制来保持口感和味道。除了温度控制外，本文将着重关注食品的干燥问题，介绍通过使用应用燃料电池原理的元件，控制湿度进行保鲜的技术。

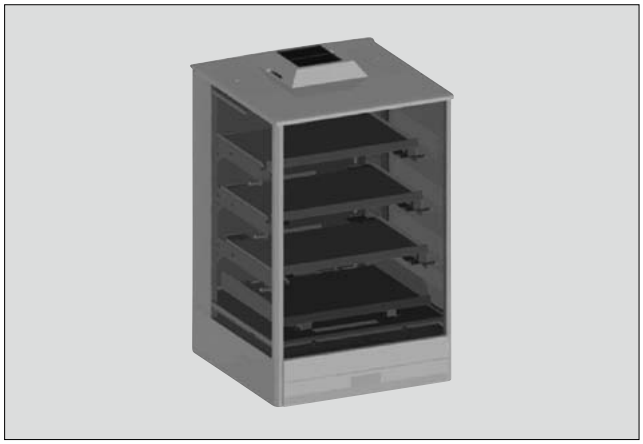

图 1　柜台货架

2　保鲜技术的特点

加湿通常是采用加热及超声波让水汽化从而释放到空间中的方式进行。但是这种方式需存蓄水，水中滋生细菌及霉菌的风险较高。如果在柜台货架上进行加湿，则有可能产生食物中毒等致命性风险，因而我们认为不应选择这一方式。

我们开发了一种新方法，即运用富士电机的固体高分子型燃料电池技术进行湿度控制，而不使用液态水。

图 2 中展示了开发的元件外观及结构。在可以有选择性地通过氢离子（质子）的电解质膜两面，分别涂上成分不同的催化剂，并用集电板金（电极）和树脂外罩将其夹在中间。

元件的反应模式图如**图 3** 所示。向集电板金施加电压，在催化剂面产生反应。在除湿面，水分解成质子和氧气，质子通过电解质膜在加湿面与氧气结合，形成水并被释放出去。由于是空气中水分子级别的分解和释放反应，因而具备加湿时无需加水，除湿也不产生冷凝水的特点。

此外，对象容器上安装元件的一面可通过内外切换，同时具备加湿和除湿两种功能。

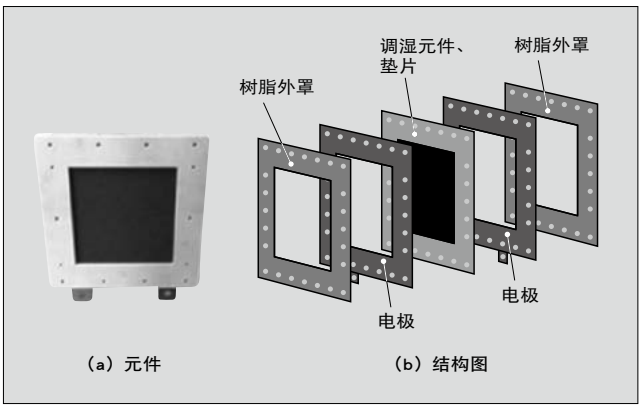

图 2　元件的外观和结构

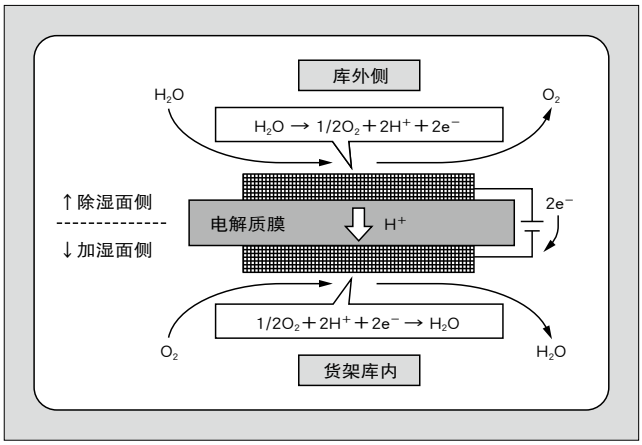

图 3　反应模式图

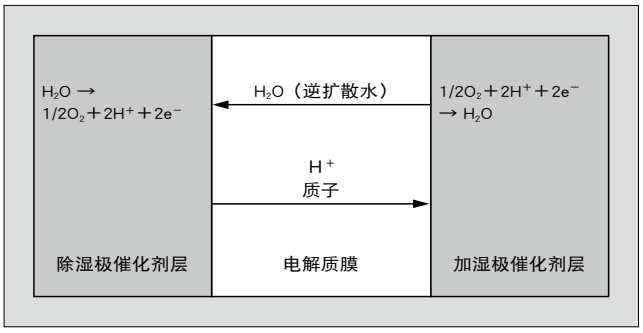

图 5　元件内的水动向模式图

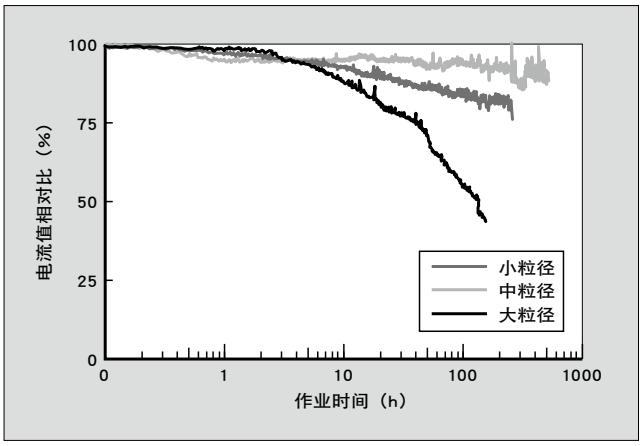

图 6　耐久试验结果

3　元件的技术开发

3.1　提高水分处理能力的技术

在开发元件时，将对柜台货架容积和密封程度进行加湿和除湿时所需的水分处理速度设为目标值。为了满足水分处理速度，可通过扩大元件面积来轻松提升。但是，如果扩大元件，则电解质膜及催化剂的需求量增加，会直接影响成本。因此，如何既提高除湿加湿性能，又能用小型元件满足必要功能，是此次开发的关键点。

为了保证必要的元件性能，我们首先研究了电解质膜。具有质子穿透性的电解质膜从燃料电池到水电解，用途种类繁多。**图 4** 中展示了使用电解质膜厚度为 30 μm 的元件（T30）和 180 μm 的元件（T180），对同一容积的容器加湿时库内的湿度变化和电流值变化。

一般而言，通过电解质膜的质子量与电流成正比。因此，电解电流流量越大，通过电解质膜的质子量越多。从 T30 和 T180 的元件性能比较来看，与 T30 相比，T180 的电解电流值虽低，但是库内湿度上升速度却较快。

如**图 5** 所示，电解质膜中水由湿度高的加湿侧向湿度低的除湿侧逆扩散。这可能是由于 T180 的水扩散阻抗较高，因而除湿加湿性能也高。为了提升元件的除湿加湿性能，需要对确保电解电流值以及防止逆扩散这两大因素实现优化控制。基于这些研究结果，我们优化了电解质膜的厚度及催化剂层，开发出了以较少耗电量便可实现规定目标值的元件。

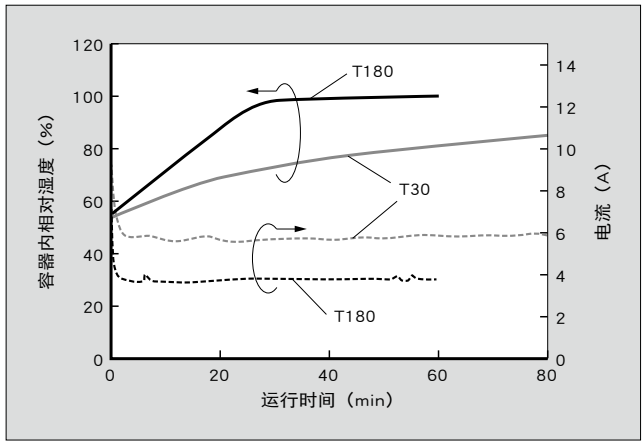

图 4　加湿量和电流的变化结果

3.2　提高耐久性能的技术

元件要搭载于食品流通设备需要具备良好的耐久性，可长时间、稳定的保持元件功能。在类似结构的燃料电池中，电极催化剂凝集是重要的劣化模式之一。因此，我们对本元件的耐久性进行了研究。以催化剂的初期粒径为着眼点，使用小、中、大 3 种类型不同粒径的催化剂制作了元件。在高温环境下，对各个元件实施了 1000 小时的加速耐久试验。

如**图 6** 所示，发现初期粒径会对耐久性能造成巨大影响，还找出了最佳粒径。通过明确初期粒径的管理范围，稳定制作出可满足耐久性的元件。

4　效果验证

4.1　放到柜台货架上验证效果

我们将开发出的元件放到柜台货架上，对效果进行了验证。假设货架规格为容积 50 公升，在冷却（分为 10℃以下、18℃ 2 档）、常温下保存。商品选择了配菜面包，针对库内湿度变化对无包装摆放的配菜面包的影响进行了评价。**表 1** 中展示了具体的试验条件。

在放置于 25℃、50%RH 恒温恒湿槽的柜台货架中保存配菜面包。不运行元件时，任其自然变化，结果湿度保持在 50%。保管 12 小时后，配菜面包的重量减少了 2%。保管 24 小时后重量减少加倍，为 4%，可以看出水分随时

表 1　效果验证的试验条件

项目	条件
货架容量	50L
货架冷冻机	关闭（常温）
外气环境	25 ℃ 50%RH
商品	配菜面包
测定时间点	刚开封后
	12 小时后
	24 小时后
测定项目	重量
	外观检查
	感官检查

间推移不断减少、呈现逐渐干燥的倾向。

接下来让元件运行，柜台货架的库内湿度可保持在 80%。12 小时后减少 1%，24 小时后减少了 2%。如**图 7** 所示，库内保持高湿状态，可有效减轻商品干燥程度。

另外还实施了简单的感官试验，对各种样品进行实际品尝。我们选择本公司从事设计工作的 20 岁到 50 岁的男性员工 10 名作为评价者。实际品尝后，在不告知样品条件的情况下对于该商品有无购买价值，用调查问卷方式要求其进行了回答（**表 2**）。表中的回答为对实际品尝样品后，就口感和味道回答“不打算购买”的统计数量。

从结果来看，重量减少 2% 是有无商品价值的临界点，减少 4% 的商品可认为已经没有商品价值了。这表明，在湿度 50% 的环境下保存 12 个小时左右就得废弃商品，而通过将湿度保持在 80%，保存 24 小时仍可保持配菜面包的商品价值不变。

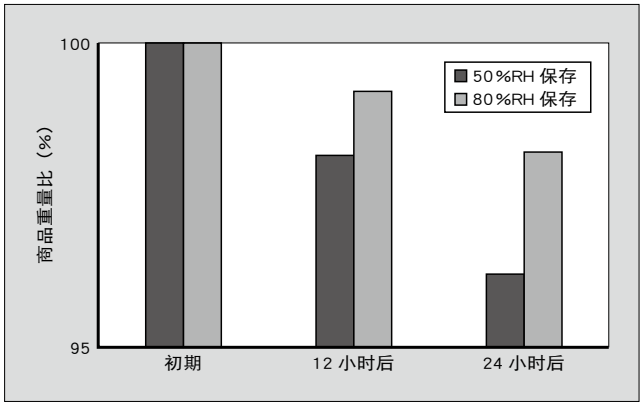

图 7　重量变化率

表 2　感官试验的调查问卷结果

	保存时间	重量变化率	回答数量 *
初期状态	—	—	0/10
湿度 50% 下保存	12 小时	-2%	5/10
	24 小时	-4%	9/10
湿度 80% 下保存	12 小时	-1%	1/10
	24 小时	-2%	4/10

* 回答“不打算购买”的人数 / 评价人数

4. 2　验证不同保存条件下的口感变化

如上所述，食品的保存除了温度外，在较大程度上还受湿度参数的影响。为了查明保存环境对食材的影响，我们将湿度作为参数，以点心面包和油炸食品为对象，对口感进行了调查。

使用恒温恒湿槽，在一定温度条件下以湿度为参数，将食材保存一定时间，然后将其作为样品，通过感官评价对食材的口感进行了评价。对食材的口感进行评价时，我们分别设定了表示相反口感的质感词语，点心面包使用“松脆”和“松软”，油炸食品则使用“酥脆”和“软塌”。评价者基于 JIS Z9080，按照评分尺度法进行了判定。**图 8** 中展示了评价结果。

针对**图 8** (a)所示的点心面包，在 28 ℃的环境下将湿度分为 3 档，分别保存 6 个小时后进行验证，可以确认到“松脆”和“松软”的相反口感强度，在湿度由低到高的变化过程中呈交差趋势。这表明通过控制湿度，可以在保存过程中保持特定的口感。

针对**图 8** (b)所示的油炸食品，在 60 ℃的环境下将湿度分为 3 档，分别保存 6 个小时后进行验证，并对“酥脆”和“软塌”的相反口感强度进行了验证。该验证结果与点心面包不同，确认到即使是相反的口感，在湿度由低到高的变化过程中，也呈相同的减少趋势。食材成分及水分量不同则变化趋势也不同，因而在食品保存上，不同食材其适用的湿度条件也不同，需要具体查明。

根据商品理念改变保存湿度，可以在保存过程中保持要突出的口感等商品价值。

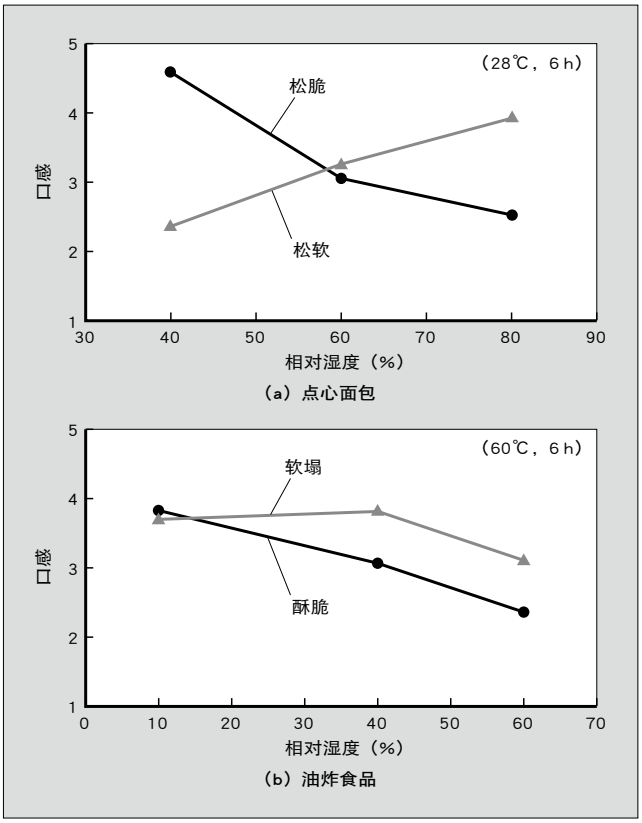

图 8　通过感官试验进行口感评价

对于此类口感的评价，我们将继续验证，不断积累不同食材所需的保存环境条件数据，努力提高评价技术。

5 后记

本文对利用湿度环境控制的保鲜技术进行了介绍。控制湿度可保持商品价值，延长保存时间。这不仅有利于店铺延长销售机会，还有望减少食品损耗。此外，由于湿度控制过程中不使用水，因而可以大幅降低细菌及霉菌带给食品行业的致命性风险。

作为食品流通设备制造商，今后我们将继续致力于改善保存环境的技术开发，为减少食品损耗这一课题贡献一己之力。

市原　史基

从事食品流通事业所有产品的要素技术开发。现为富士电机株式会社食品流通事业本部开发统括部要素开发部担当课长。

山田　哲也

从事食品流通事业所有产品的要素技术开发。现就职于富士电机株式会社食品流通事业本部开发统括部要素开发部。

平方　聪树

从事磷酸型燃料电池用部件开发。现就职于富士电机株式会社技术开发本部先进技术研究所能源技术研究中心热能源技术研究部。工学博士。

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。