可使店铺整体实现省力化与节能化的店铺空调解决方案

Store Air Conditioning Solution to Save Storewide Labor and Energy

寺脇　宏幸 TERAWAKI, Hiroyuki　　高野　幸裕 TAKANO, Yukihiro　　马杉　卓弥 MASUGI, Takuya

超市及便利店行业，要求店内作业实现省力化及店铺设备节能化的需求日益高涨。我们开发出着眼于店铺整体热负荷及店内气流的店铺热收支分析工具。将店铺的位置条件及规模、设备构成、店铺布局等作为考虑因素进行解析，显著提高了热收支计算的精度。利用该工具，发现从门进入的外气在店铺热负荷中所占比例较大。为了减少外气进入，我们开发出了正压控制系统，以均衡店内外的压差。通过店铺性能评价设备，确认到实施正压化的店铺节能效果约为 10%。

In the supermarket and convenience store industries, there has been increasing demand to save labor and energy for store equipment. We have developed an in-store heat balance analysis tool that targets storewide heat load and airflow. The accuracy of heat balance calculation has been improved dramatically by performing analysis in consideration of store location conditions, size, equipment configuration, and layout. By using this tool, we found that the intrusion of outside air through the doors is responsible for a large percentage of the store's heat load. To reduce the air invasion, we developed a positive pressure control system that equalizes differential pressure inside and outside the store. We confirmed an energy savings effect of about 10% for stores that implement positive pressure control using our equipment for evaluating store performance.

1　引言

少子老龄化导致劳动人口不断减少，且法律法规也要求采取各种环保对策等，超市及便利店行业对店内作业的省力化及店铺设备的节能化需求日益高涨。

一直以来富士电机以展示柜等单个设备为中心，不断加快着节能化的步伐。但是，扩大店铺的销售额，冷热设备则呈现增加趋势，每家店铺的用电量不断增多。在此背景下，实现节能化重要的是要开展综合研究，不仅针对单个设备，还要考虑店铺整体的热收支问题。

本文将对店铺空调解决方案进行介绍，该解决方案使用着眼于店铺整体热负荷及店内气流的店铺专用热收支分析工具及正压控制系统，努力实现店铺整体的省力化和节能。

2　当前的课题及开发目的

实际店铺的所在位置及规模、设备构成、客流量等各种条件均有差异。导致各店铺耗电量增减的因素也多种多样，因而节能化的切入点也不尽相同。

例如，店内的温度分布及气流受空调及设备布局的影响较大。因此，仅引进可控制店铺整体的系统，有时不能保证获得非常好的效果。

我们开发出店铺热收支分析工具，此工具基于店铺内空调及冷热设备的布局，考虑气流影响进行热气流解析，从而对店铺整体的热收支状况进行解析。

另外还构建了正压控制系统，其可以运用上述分析结果，控制店铺内的气压，实现店铺整体的节能化及店内清洁作业的省力化，同时打造舒适的店铺环境。

3　店铺热收支分析工具

图 1 中展示了开发的店铺热收支分析工具的构成。店铺热收支分析工具分为以下几个部分：输入计算对象店铺的条件及显示结果的用户界面；按照季节和时间计算店铺整体热收支的热收支计算部；用于计算热收支的计算店内温度湿度分布的热、气流解析部。

为使用户界面及热收支计算部方便操作，采用了通用报表软件。热、气流解析部使用通用的热、气流解析软件。通过结合这两种软件，计算店铺设计所需的热收支。

利用仿真研究店铺整体的节能化及店铺布局的优化时，重要的是首先将实际对象店铺的现状进行再现。此店铺热收支分析工具还可考虑店铺的位置条件和规模，以及店铺设备的种类、数量（设备构成）、店铺布局，甚至客流量等。这样，可详细分析店内的温度分布，显著提升了热收支计算的精度。同时，还可将店内气流可视化等，是一款更加易于分析的工具。

除了设备构成及布局以外，受季节及时间段等外气环境变化的影响也较大。因此，可以利用以往各种试验结果数据，将全年温度及湿度的外气环境变化作为参数加以反映。

3.1　热收支计算部

图 2 中展示了热收支计算部在计算时所考虑的参数。店铺中安装有油炸锅等烹饪设备、分开安装型展示柜、内置展示柜、空调、换气扇等。热负荷不仅要考虑照明、烹饪及保温器产生的热量、内置展示柜的废热，还需考虑从门或换气扇进入的外气、日照或从墙面进入的热量、人体产生的热量。通过空调及展示柜的冷气对这些进入及产生的热量进行冷却，来取得热收支平衡。

图 3 中展示了热收支计算结果。输入店铺设备的种类、数量及外气条件等后，可以按照外气进入及日照、展示柜等

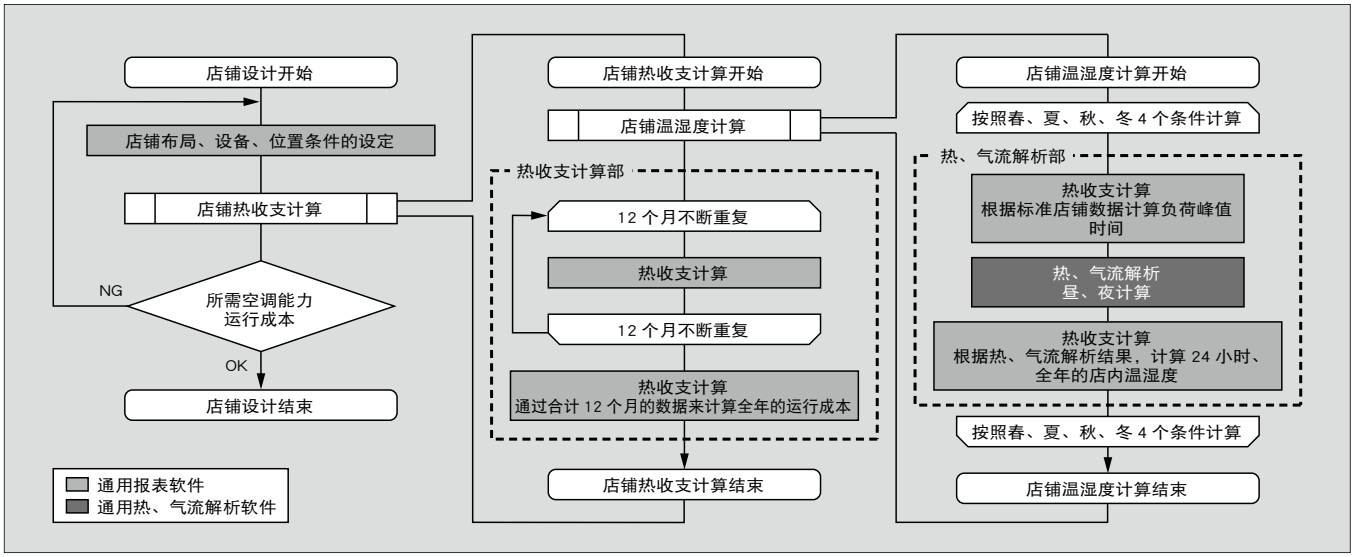

图 1　店铺热收支分析工具

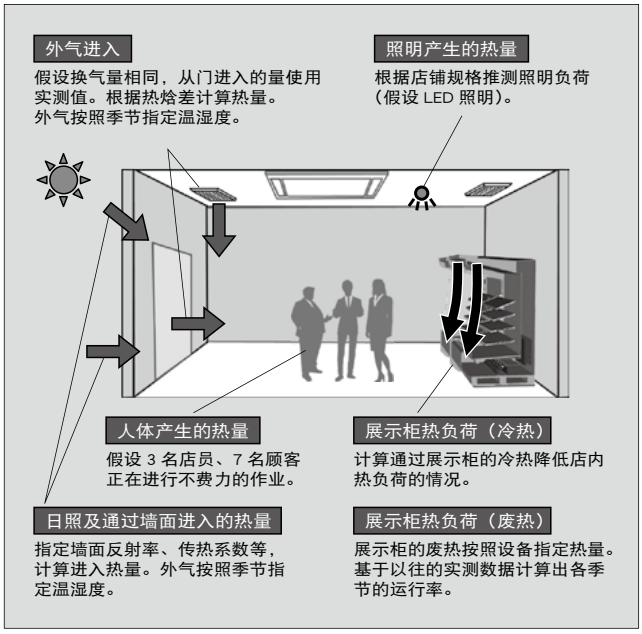

图 2　在热收支计算部所考虑的参数

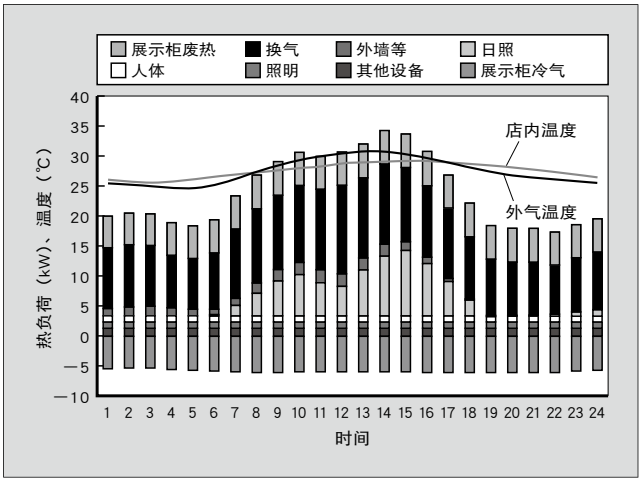

图 3　热收支计算结果

因素，在 24 小时（1 天）中每小时计算一次热负荷、耗电量及运行成本。此外，由于按照夏季、冬季、中间期（春季和秋季）计算年耗电量（季节平均值）误差会变大，因此按照月度计算年耗电量，从而提高预测精度。

3．2　店铺的热、气流解析部

为了提高店铺热收支分析工具的计算精度，需要正确的温湿度数据。以往均使用店铺布局及**图 2** 所示参数有所不同的现有店铺的温湿度实测数据，因而在计算结果精度上存在问题。为此，热、气流解析部使用通用的热、气流解析软件，可高精度地推测温湿度。

图 4 中展示了店铺热、气流解析中使用的模型。再现了空调、展示柜、中岛架、柜台及天花板管道等的形状。此外，还再现了店内用餐区、步入式展示柜、仓库、卫生间、事务所等的布局。利用仿真进行解析时，还考虑了内部空气的自然对流及温湿度。将空调吹气及吸气、展示柜的气帘、货架产生的热量、步入式展示柜冷却或换气等作为极限条件，还考虑到日照、地热的影响及天花板照明设备产生的热量等。

展示柜外漏的冷气及内置展示柜的废热对店内温湿度的影响较大。因此，编入了根据店内温湿度计算展示柜的运行

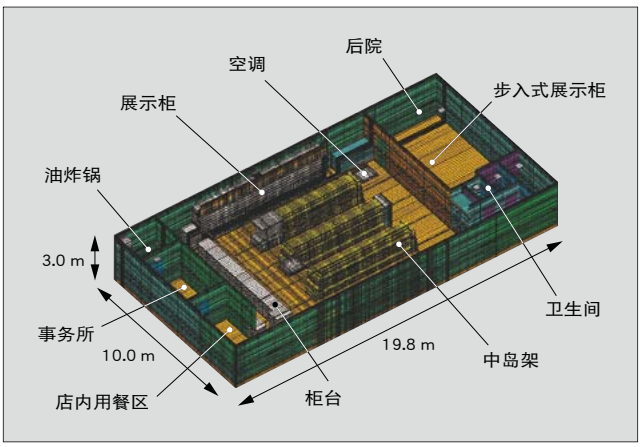

图 4　热、气流解析模型

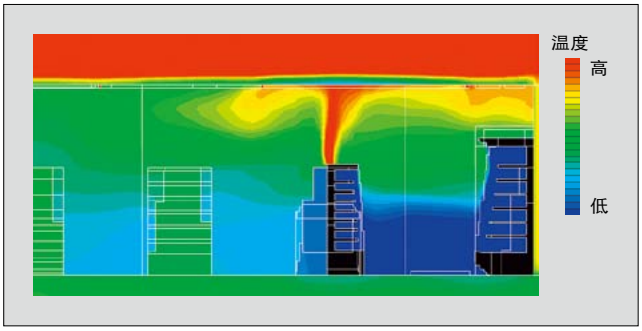

图 5　热、气流解析的温度分布

图 6　模拟店铺外观

率，并计算废热量及冷气量的公式。而且还将展示柜、中岛架及空调等的解析模型做成程序库，以便应对季节条件、设备更换、布局变更等。除此之外，还考虑到了操作性，无需专业解析人员也可进行仿真，能够迅速满足顾客要求。

图 5 中展示了在夏季环境条件下对店内进行热、气流解析时的温度分布。其对象为**图 6** 所示的实验用模拟店铺。再现了天花板的温度、内置展示柜的废热及气帘外漏的冷气。可确认到，店内实测值与解析温度分布值大体一致。

3.3　耗电量的计算结果

利用热、气流解析求出店内温度分布，并将该结果输入到店铺热收支分析工具中，计算耗电量。与传统机型相比精度更高，使用本工具所求出的耗电量与实测值的误差为 ±12%（**图 7**）。

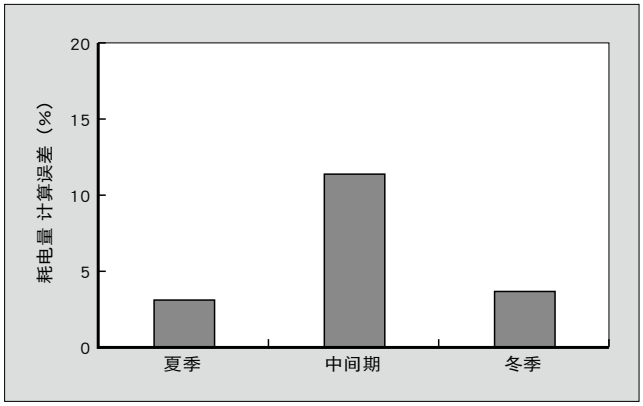

图 7　使用店铺热收支分析工具算出的耗电量的计算误差

4　正压控制系统

4.1　通过系统抑制外气进入

运用开发的店铺热收支分析工具，对便利店标准店铺的热收支进行了分析。如**图 8** 所示，我们发现从店铺出入口即自动门进入的外气在店铺热负荷中所占比例较大。此外，减少外气进入量，还可防止进入污浊空气，因而可实现店内清洁作业的省力化，打造舒适的店铺环境。因此，对抑制从自动门进入的外气技术进行了研究探讨。

一般而言，由于需要对店内的油炸锅及卫生间的异味进行排气，所以换气量会增多。因此店内空气压力比外部低（负压），由于这一压差，导致外气从自动门进入。我们发现如果在负压状态下打开自动门，会产生巨大的气流，进入的空气量将远超消除压差所需的空气量。

因此，开发出一种正压控制系统，可以保持店内空气压力高于外气压力（正压）的状态。在手术室及无菌室、食品工厂等，为了防止污浊空气进入室内，会采取措施以保证室内形成正压。用于店铺时，如果正压过高，店内温度受管的空气开始向外部排放，反而导致能源消耗增多。因此，需要以低廉的价格实现高精度控制的“均压化”，尽量减少店内外压差。

4.2　系统构成

为了让店内保持正压状态，如**图 9** 所示，本系统根据压

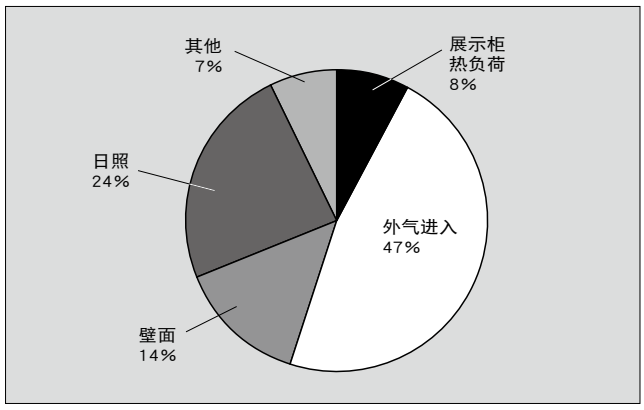

图 8　空调的热负荷因素分析结果

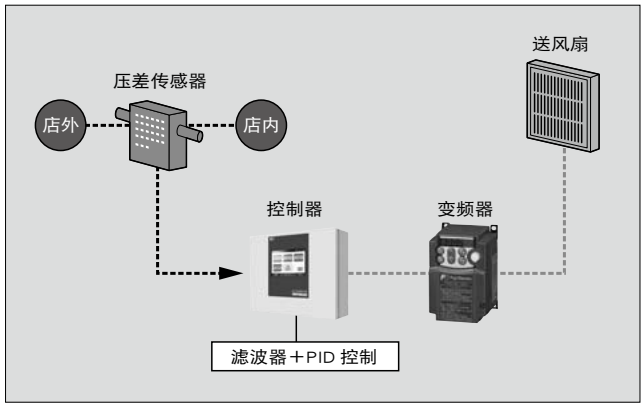

图 9　正压控制系统

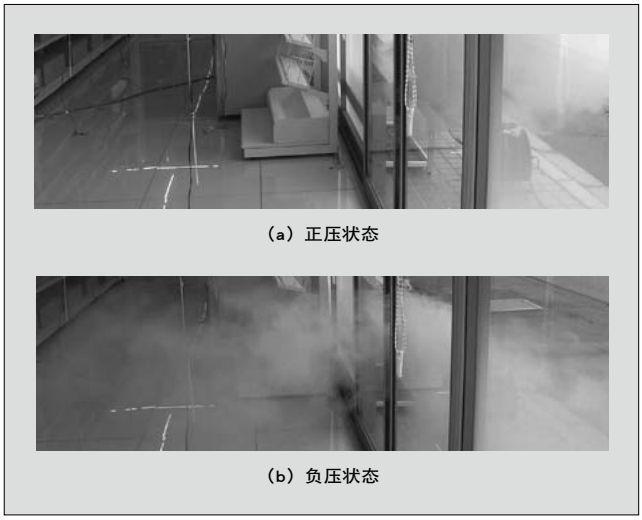

图 10　减少从门进入外气的效果

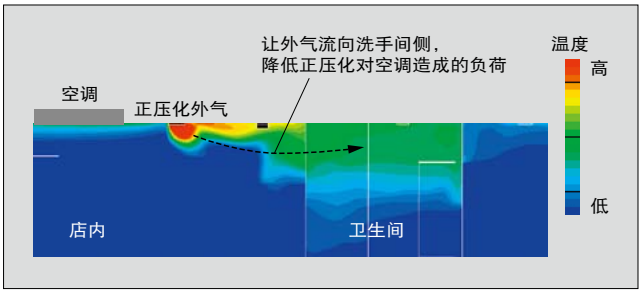

图 11　外气导入时的店内温度分布

差传感器检测到的店内外压差，使用正压化风扇从送气口向店内输送空气，防止从外界进入空气。

基于店内外的压差对正压化风扇的转速进行反馈控制，即使在条件各异的店铺中也可以实现高精度控制。此外，传感器采用可以减少店外吹风等干扰的结构，并结合滤波器信号处理，实现了高精度化。

图 10 中展示的是从门进入的外气可视化图像。通过正压控制，抑制从门进入外气，夏季可以对高温空气进行温度管理，冬季则可以对低温空气进行温度管理，防止其进入店内对空调造成负荷。

而且，优先向店外排放进入店内的外气，在不产生热负荷的地方安装送风扇。考虑空调及换气等在店铺内的布局，在空调和换气量大的油炸锅或卫生间等之间安装送风扇。**图 11** 中展示了利用热、气流解析仿真所得出的解析结果。实施正压吸入的外气，被用于油炸锅或卫生间的换气，因而不仅可以减少对空调的影响，还能以低廉的设备构建系统。

5　店铺性能评价设备

如果要通过现场测试进行综合性能评价，考虑到四季的变化，需要约 1 年时间。而且，还必须考虑所在位置及气象条件的差异等。富士电机拥有如**图 12** 所示的店铺性能评价设备。在巨大的恒温室内再现实际的店铺，并模拟日本全国各地的春夏秋冬、昼夜变化等外气条件，对节能效果进行验证。

图 12　店铺性能评价设备

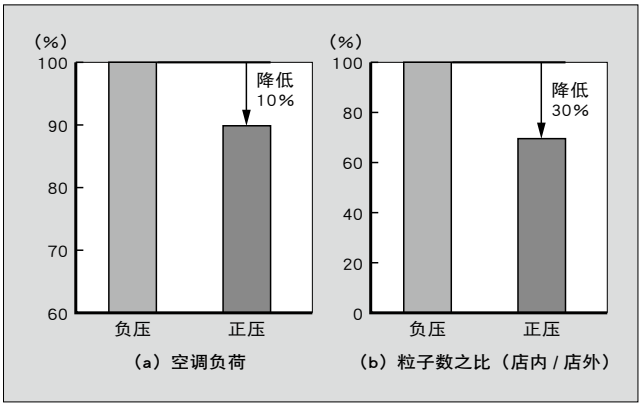

图 13　效果验证结果

我们利用店铺性能评价设备，对使用正压控制系统来减少自门进入的外气所产生的节能效果，以及外部污浊空气的评价指标即空气中粉尘量的降低效果进行了验证，并根据夏季和冬季的空调负荷变动对进入的空气量进行了换算。还以同样方法根据空调负荷变动求出了节能率。本验证的条件为，通过正压控制使店内外的压差值几乎为零，店内入口自动门的开关频度保持在 1 分钟 1 次。

如**图 13** 所示，与未实施正压控制的负压店铺相比，采取正压措施的店铺可实现约 10% 的节能效果。此外，通过粒子计数器对店内空气中粉尘量进行了测定，从结果可以确认到店内外粒子数之比，正压店铺比负压店铺减少约 30%。而且，进入的空气量和空调节能效果与使用店铺热收支分析工具进行预测的结果基本一致，可以确认到工具的通用计算精度。

6　后记

本文就为店铺整体实现省力化与节能化的店铺空调解决方案进行了介绍。

店铺整体的节能与省力化会创造更高的价值，今后我们将继续运用店铺热收支分析工具及模拟实际店铺的店铺性能评价设备，进一步为节能和省力化做贡献。除便利店外，还将不断向超市等店铺推广扩大应用范围。

寺胁　宏幸

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。日本冷冻空调学会会员。

高野　幸裕

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课长。精密工学会会员、测量自动控制学会会员。

马杉　卓弥

从事食品流通事业所有产品的产品开发。现就职于富士电机株式会社食品流通事业本部生产统括部三重工厂设计第二部。

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。