全球首创蒸汽浪费可视化夹紧式蒸汽用超声波流量计

World's First Clamp-On Ultrasonic Flowmeter for Steam Enabling the Visualization of Steam Losses

宫本　汐里 MIYAMOTO, Shiori　　木代　雅巳 KISHIRO, Masami　　坂上　智 SAKAUE, Satoru

近年来，为减少温室气体，通过电力可视化来进行节能的技术取得了进展，但另一方面，蒸汽的节能举措却有所落后。其原因在于蒸汽浪费难以实现可视化。为此，富士电机开发了夹紧式蒸汽用超声波流量计，无需切开配管即可实现蒸汽浪费的可视化。目前，夹紧式流量计已经用于液体的测量并得到普及。但是，蒸汽因从配管的超声波穿透率极小，产品化存在困难。针对这一课题，富士电机利用去干扰技术、板波利用技术和信号处理技术，使全球首创低压蒸汽测量用流量计实现了实用化。

In recent years, energy savings through electricity visualization has been progressing to help mitigate greenhouse gases. On the other hand, initiatives to achieve energy savings in using steam have been delayed due to the difficulty of visualizing steam loss. To address the challenge, Fuji Electric has developed a clamp-on ultrasonic flowmeter for steam that enables visualization of steam loss without the need of pipe cutting. Although clamp-on flowmeters have already been used to measure liquids, they have been difficulties developing products due to the extremely low ultrasonic transmission coefficient of steam from a pipe. To overcome this challenge, we have used technologies for noise removal, lamb wave utilization, and signal processing to achieve the world's first product capable of measuring low-pressure steam.

1　引言

根据 2016 年生效的气候变化对策的国际框架《巴黎协定》，世界各国正在推进削减温室气体的政策。为减少温室气体，通常采取引进可再生能源、用电量的可视化和削减用电量等电力节能措施。迄今为止，富士电机已经创造出了有助于减少温室气体的节能设备。近年来，通过利用能源的可视化与优化实现节能的系统——能源管理系统（EMS：Energy Management System），为电力节能做出了贡献。

不过，在最终能源消耗量方面，热能比电能更多。例如，日本工业部门的最终能源消耗量中，约 56% 为热利用[1]（**图 1**）。因此，如果能削减热能的消耗量，则有望在温室气体削减方面取得重大效果。

富士电机提供利用工厂的热排水产生蒸汽的热泵等作为热能节能设备。今后，富士电机将充分利用这些商品，提供包括电能和热能在内的能源管理系统，为综合节能做出贡献。

2　热能的节能课题

为高效地推进节能，首先应实现“可视化”，通过测量确认能源浪费位置、浪费量，再采取“优化”步骤才更为有效。**图 2** 所示为热能可视化示例。

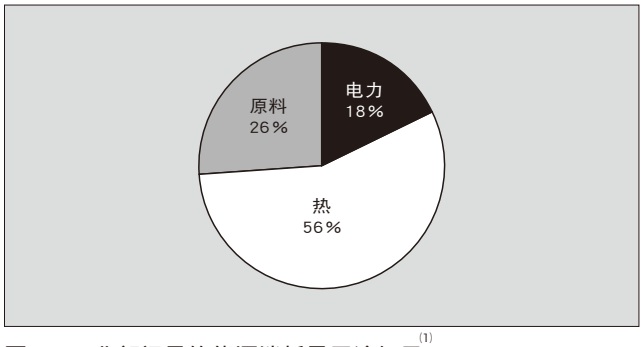

图 1　工业部门最终能源消耗量用途细目[1]

在工厂，蒸汽的热能用于加热、灭菌、空调等领域。蒸汽的热能除了通过锅炉的废气等排放热量外，还通过输送中蒸汽配管的散热、蒸汽配管和周边设备故障引起的蒸汽泄漏、排水（蒸汽冷凝水）的排放等而损失。将这些能量损失进行可视化，发现平均损失了 44% 的能量[2]（**图 3**），还存在很大的改进余地。作为针对这些能量损失的节能例，可考虑通过锅炉运行台数控制提高燃烧效率、优化配管路径、修补泄漏部位、引进由排水生产蒸汽进行再利用的热泵等。

各公司的工厂进行着怎样的能源可视化举措呢？富士电机对此进行了调查访问。结果发现，很多工厂因电能的可视化比较容易而采取了措施，但对于热能，因蒸汽的可视化困难，进展迟缓。

蒸汽流量计有差压式和旋涡式，但这些产品必须切断配管才能安装。因此，在 24 小时运行的工厂和不允许混入异物的生产线上，不切断配管就不能安装这一要求成为蒸汽可视化的障碍。

为解决该问题，富士电机生产了世界上第一台可从配管外部测量工厂生产线所用的低压〔0.1 ～ 0.9 MPa(G)〕蒸汽流量的夹紧式蒸汽用超声波流量计（**图 4**）。

3　产品的的特点

此次开发的蒸汽流量计，其最大特点在于使用了超声波，可在配管外部（夹紧式）进行测量。与其他方式的比较如**表 1** 所示，夹紧式蒸汽用超声波流量计的规格如**表 2** 所示。另外，优于其他方式的特点如下所示：

(a)　无需配管工程，即使设备处于运行状态，也可在任意场所安装。

(b)　与差压式和旋涡式流量计相比，没有配管内结构物

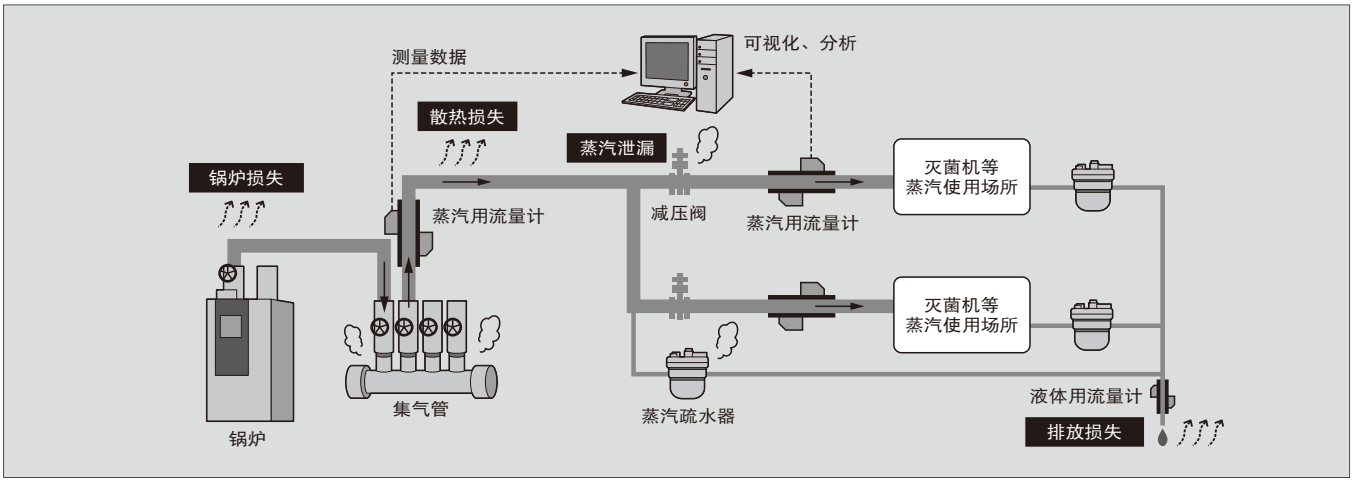

图 2　热能可视化示例

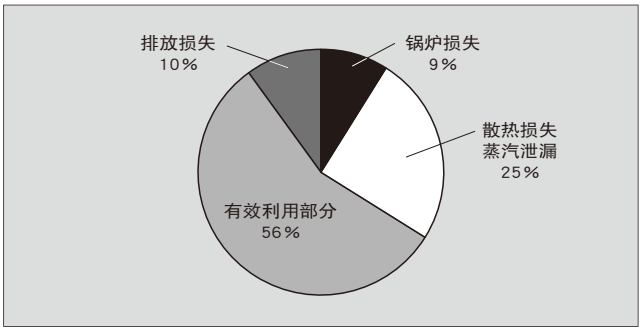

图 3　蒸汽有效利用率[2]

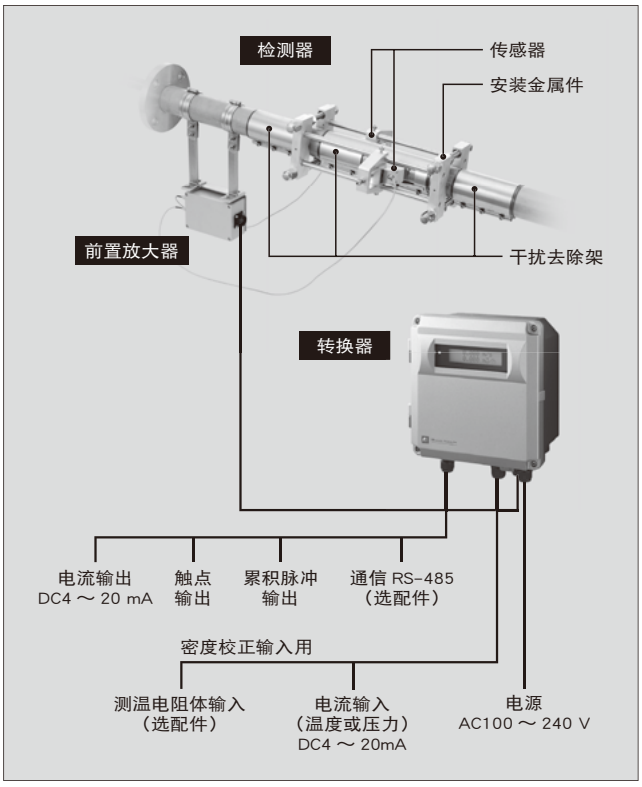

图 4　夹紧式蒸汽用超声波流量计

（节流孔和旋涡发生体）引起的压力损失，因此不会产生不必要的能量损失。

表 1　与其他方式的比较

方式	超声波式（夹紧式）	旋涡式	差压式
配管工程	○无需	× 需要	× 需要
精度	○ ±3% of rate	◎ ±1% of rate	○ ±2% of rate
压力损失	○无	× 有	× 有
流量是否可从 0 开始测量	○	×	×

表 2　夹紧式蒸汽用超声波流量计的规格

项目	规格
测量流速范围	0～±50 m/s
精度	直管长：上游 20D＊1（1.0 m）以上 下游 10D（0.5 m）以上时 流速 10 m/s 以下：±0.3 m/s 流速 10～30 m/s：±3% of rate 流速 30 超～50 m/s：±5% of rate
适用配管	材质：钢、不锈钢 口径：50 A＊2 壁厚：2.8～4.0 mm
流体温度	120～180 ℃
流体压力	0.1～0.9 MPa(G)
输入信号	1 处：DC4～20 mA、1 处：测温电阻体（选配件）
输出信号	1 处：DC4～20 mA、2 处：触点
通信功能	RS-485（Modbus＊3）（选配件）
电源	AC100～240 V 50/60 Hz
功耗	20 VA 以下

★ 1 ：D：配管内径
★ 2 ：其他口径预定陆续提供
★ 3 ：Modbus：Schneider Automation, Inc. 的商标或注册商标

（c）　不会因水锤和过流量造成流量计破损，无需维护。

此外，从测量原理上看，差压式和旋涡式流量计均无法进行流量 0 附近的测量，而本产品因为使用了超声波技术测量，所以可从流量 0 开始测量，也可以检测出阀门老化等引起的微量蒸汽泄漏。

4 测量原理

本产品使用传播时间差法进行测量。传播时间差法是基于以下原理，即，使超声波脉冲从上游和下游倾斜传播，检测由水流产生的时间差并测量流量（**图 5**）。

使用本原理的液体流量计产品业已上市。液体自金属配管的超声波穿透率约为 6.3%。0.1 MPa(G) 左右的低压蒸汽的穿透率为 0.0026%，仅为液体时的 1/（2.4×10^3）（**图 6**）。即使想将本原理应用于蒸汽流量计，但因从配管向蒸汽的超声波穿透率极小，难以实现产品化。

为此，富士电机利用去干扰技术、板波利用技术、信号处理技术解决了该课题。

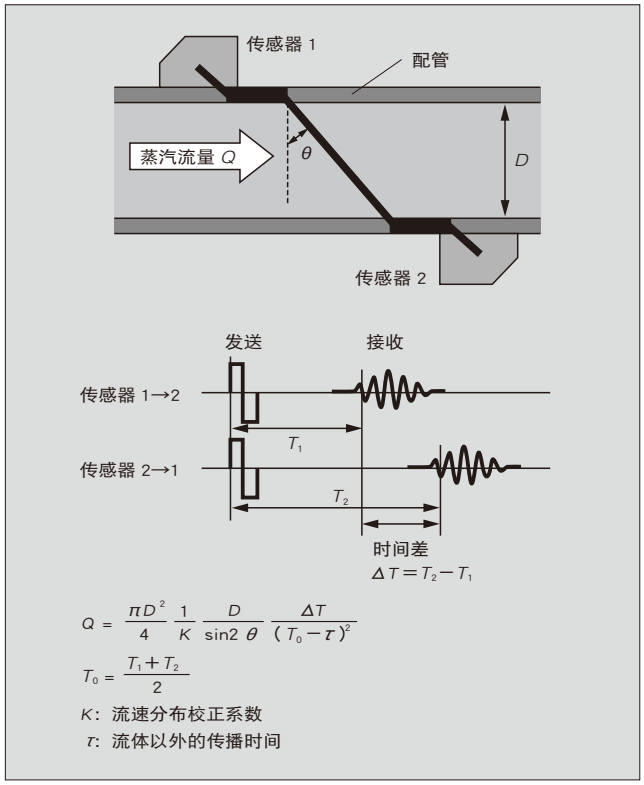

图 5　测量原理

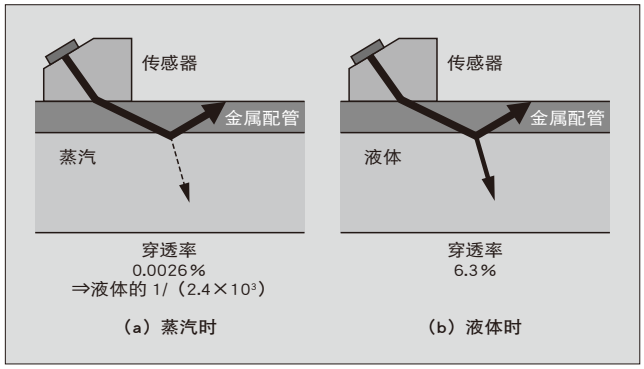

图 6　蒸汽测量的难度

5 适用技术

5.1 去干扰技术

在蒸汽管道中，进入配管金属内部的信号会变成干扰。由于该干扰比从金属穿透过蒸汽的信号更大，具有与信号相同的频率，所以难以通过滤波器处理来去除。如**图 7** 所示，可考虑在配管外部缠绕干扰去除片。但配管上可能有曲面或凹凸不平处，干扰去除片难以贴合。涂料类干扰去除材料虽然贴合性良好，但装卸较难。富士电机为此开发出了片状金属框架结构的干扰去除片，实现简单装卸。

5.2 板波利用技术

超声波流量计通常使用纵波和横波。但是，本产品通过利用板波[3]（Lamb 波）的新技术，即使是蒸汽也可获得足够的接收振幅。板波是指超声波在板表面复杂地重复反射，以较低的衰减率传播至远处的波（**图 8**）。板波可根据板的厚度将传感器的频率及入射角设计成特定值而生成。通过将板波以较宽的幅度入射至流体内，成功地提高了接收强度。另外，蒸汽配管内大量存在的蒸汽被冷却，具有抗凝结飞沫能力强

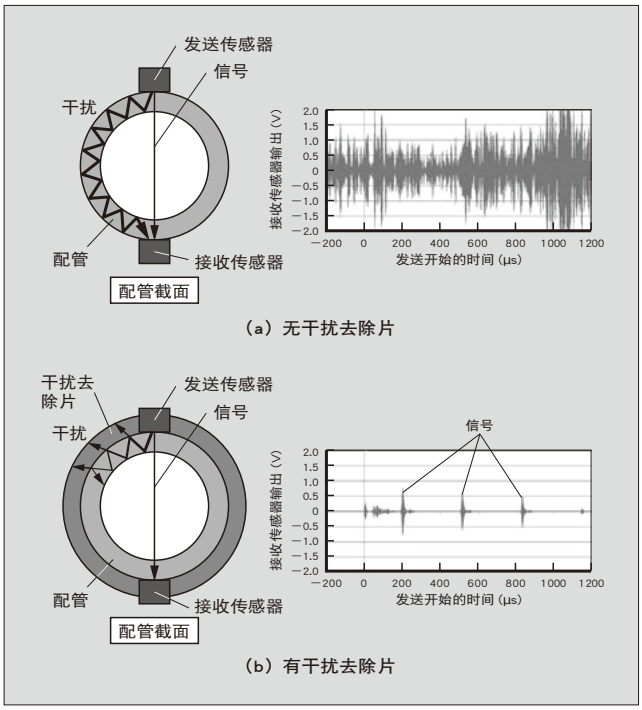

图 7　去干扰技术

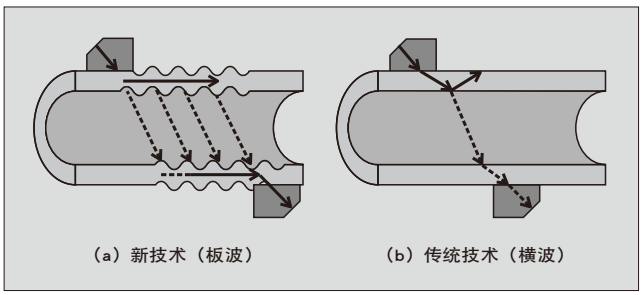

图 8　板波技术

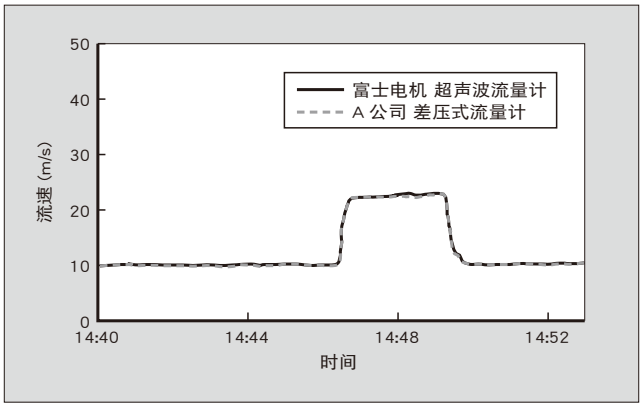

图 9　0.1 MPa(G) 蒸汽测量例

的特点。

5. 3　信号处理技术

与液体测量相比，蒸汽测量的接收信号弱。此外，还存在信号传播至转换器之前信号已经衰减的问题。通过在检测器附近设置干扰滤波器和用于放大微弱信号的超低干扰前置放大器，可解决上述问题，接收可测量水平的信号。

5. 4　测量数据例

通过上述去干扰技术、板波利用技术和信号处理技术，使蒸汽流量的测量成为可能。蒸汽流量的测量例如**图 9** 所示。将差压式流量计与超声波流量计并列设置，对测量值进行了比较，发现误差在 ±3% 以下。

6　应用例

现在，正在销售 50 A 配管用产品。今后，将开发 25 ～ 100 A 配管用产品，使之适用于如**图 2** 所示的整个工厂的热能可视化系统。

目前，已经在食品加工厂、化工厂、半导体工厂等进行了现场测试，其良好的实用性已得到实证。下面对事例进行阐述。

6. 1　过剩蒸汽流速的确认（应用例 1）

某 A 工厂使用本产品测量了蒸汽流速，发现蒸汽流动流速超过设计值。蒸汽流速快，会导致侵蚀，引起配管壁厚度变薄，以及水锤引起的设备故障，存在引发重大事故的危险性。另外，压力损失增加，还会发生能量损失及使用蒸汽的设备无法得到足够压力的问题。今后，计划针对该问题，在配管重新设计时采取控制流速的节能、安全对策。

6. 2　设备停机过程中蒸汽流入的确认（应用例 2）

构建了某 B 工厂远程、实时监视流入杀菌设备的蒸汽量的系统。在本设备中进行了现场测试，发现设备停机过程中也有蒸汽流动，存在浪费。今后，计划修理老化阀门和蒸汽疏水器，减少浪费。

7　后记

本文对全球首创蒸汽浪费可视化夹紧式蒸汽用超声波流量计进行了论述。今后，富士电机计划针对 25 ～ 100 A 配管的测量进行开发，将本产品应用于热能管理系统，为热能的节能做出应有的贡献。

参考文献

⑴　“熱の有効利用について”. 資源エネルギー庁 . 平成 27 年 . https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/012_03_00.pdf,（参照 2019-12-08）.
⑵　“蒸気ロス診断”. 東京電力エナジーパートナー株式会社 . http://www.tepco.co.jp/ep/solution/heatpump/seisan/about02.html,（参照 2019-12-08）.
⑶　尾上守夫ほか . 板を伝わる超音波 . 生産研究 . 1966, vol.18, no.12, p.319-328.

宫本　汐里
从事测量仪器的营销、流量计的开发。现就职于富士电机株式会社电力电子系统工业事业本部开发统括部测量仪器开发部。日本机械学会会员。

木代　雅巳
从事测量仪器的开发。现为富士电机株式会社电力电子系统产业事业本部开发统括部测量仪器开发部主任。测量自动控制学会会员。

坂上　　智
从事测量仪器的开发。现为富士电机株式会社电力电子系统工业事业本部开发统括部测量仪器开发部主任。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。