

Valqua Technology News

华 尔 卡 技 术 志

2019年 冬季号

No.36 Winter 2019

- 寄语 1
代表取締役社長 兼 CEO 泷泽 利一
- 2019年：华尔卡技术志于冬季号出版之际 2
常务执行董事 研究开发本部长 青木 睦郎
- 客户解决方案《合著》
船舶设备异常振动检测系统的介绍
～预防维护用异常振动检测系统的可行性～ 3
商船三井技术贸易株式会社 常务董事 羽根田 诚
研究开发本部 第1商品开发部 佐藤 央隆
研究开发本部 第1商品开发部 米田 哲也
研究开发本部 先行技术开发部 油谷 康
- 客户解决方案《投稿》
温差导致的法兰连接力变化体验学习设备 7
昭和四日市石油株式会社 四日市炼油厂
工务部装置管理课 高村 健一
- 技术论文
带No.GF300的24英寸管法兰连接体的
力学特性与密封性评价 11
研究开发本部 第1商品开发部 佐藤 广嗣
中国综合研究所 密封工程开发组 郑 兴
广岛大学 名誉教授 泽 俊行
- 技术论文
衬里槽罐（应用篇） 18
功能树脂PM直属 横山 竹志
- 产品介绍
长寿命FEPM TOUGHUORO™ 25
研究开发本部 第1商品开发部 图师 浩文
- 产品介绍
低转矩&长寿命旋转接头 LFR JOINT™ 29
研究开发本部 第1商品开发部 西 亮辅
- 技术志的最近的往期杂志 33



株式会社华尔卡

<http://www.valqua.co.jp>



寄语

株式会社华尔卡
代表取缔役社长 兼 CEO

泷泽 利一



祝大家2019年新春快乐！
衷心感谢广大读者平时对本刊的关注。

回望2018，日本的经济经历了日元贬值、企业收益上升、个人消费的恢复等情况，在上半年实现了稳定的增长。但去年下半年开始，受到中美贸易摩擦的影响，以及人力资源匮乏等劳务市场环境的影响，企业前景未必乐观。在这样的事业环境下，民营企业迫切需要在继续致力于遵守规章制度和提升品质的同时，为了向自身的顾客提供新的附加价值，而要打破延续至今的固有思维，开创新的革新。

正如很多读者已经从各种媒体上了解到的那样，本公司已于去年10月1日更名为株式会社华尔卡。创业至今90多年，本集团始终秉持对“Value（价值）”和“Quality（质量）”的无尽追求，作为密封工程的先驱企业，为全世界的各种产业基础提供支持。新的公司名称以这一“密封工程服务”为核心，反映了我们推进全球事业展开的决心，希望广大读者能够记住我们公司的新名称。本集团将此次的公司更名的机会定义为第二次创业机会，我们怀抱着坚定地决心，要使本集团变为一家H&S企业，我们要开发出由从顾客角度出发的产品和服务所组成的综合解决方案，并将其提供给广大顾客。

正如前面所说的那样，在于去年启动的第8个中期经营计划“New Valqua Stage Eight (NV・S8)”中，我们将从以前所积累的独创性技术的基础上进一步发展而来的“密封工程服务”的解决方案作为主轴，将旨在向顾客提供新的价值的H&S活动定为本集团赖以实现事业成长的中枢。然后，在实践方面，我们决定要努力摆脱过去形成的习惯性的事物认知方式和脱离实际且千篇一律的思维定式，对于广大顾客所面临的挑战我们要回归根本，再进行分析 and 考察，真正掌握顾客需求，开展创造出“创造性破坏”的技术开发。我们希望能够借此来与大家一起实现健全、持续的成长。

最后，希望大家继续给予我们更大的支持，同时也祝愿广大读者在新的一年里事业蒸蒸日上。

2019年：华尔卡技术志 于冬季号出版之际



恭贺2019年新春快乐！

衷心感谢大家平时对华尔卡技术志的关注。

在进入平成时代的最后一年之际，回顾这几年的技术环境和趋势，可以发现IoT和AI等信息技术的飞速进展和变化，极大地改变了产业界所提供价值的本质。而如此这般，给市场带来破坏性变化的技术创新的关键词之一就是“Connectivity（连通性）”，“Connectivity（连通性）”的革新技术的运用，使得在伴随开放式创新理念而生的运用IT技术构建的数字空间中，各种领域和具备各种技术的企业之间的协同作业变成了现实。

全世界范围内正在迎来一股新的技术革新浪潮，而迎来创业92周年的本集团将在今年展开一系列的活动，在技术开发活动中进一步推进全球化和开放式创新，并将本集团所积累的技术经验与尖端技术相融合，加速开发从客户角度出发的真正意义上的顾客解决方案，并将之提供与广大顾客。我们将通过这些活动，在对以本集团与客户之间的伙伴关系和在环境、经济上的可持续发展性为目标的“连通性”珍而重之同时，作为H&S企业活动的成果，向顾客提供其真正需要的产品和技术解决方案。

本期技术志延续上一期的结构，由本集团提供的“客户解决方案”的实例、介绍本集团技术的论文、以及新产品介绍这三部分的内容所构成。在客户解决方案的实例方面，将介绍使用本公司自主开发的传感技术与材料技术相结合的系统来检测船舶设备的异常，确保“放心、安全”的维护预测技术，还登载了客户关于对本集团提供的法兰连接相关体验学习装置和学习计划的体验的投稿文章。在技术论文方面，我们以大口径法兰连接体的特性评价、衬里槽罐的加工技术和评价手法为主题，登载了可供广大读者参考的各种技术评论。另外，作为新产品介绍，还提供了在高温蒸汽环境下的恶劣环境中也显示出良好特性的新材料等、对广大顾客今后的产品选型提供有帮助的信息。

在即将迎来改元的今年，希望大家一如既往地 对华尔卡技术志给予关照。

船舶设备异常振动检测系统的介绍

～预防维护用异常振动检测系统的可行性～

1. 前言

在支撑着日本经济的进出口贸易方面，国际海上运输占到了进出口货物总量的90%以上，船舶运输是国际贸易中非常重要的手段。随着世界经济的发展和贸易壁垒的消失，在复杂关联的全球化风险日益显现的趋势下，海运事业始终是风险相随，为实现杜绝重大事故的目标，确保运输日程和安全运输，在维持和管理船舶的安全航行之外，还需要从各个观点出发采取确保安全航行及保护海洋环境的措施。

维持船舶安全航行的基本，在于高级海员实施的适当监视及考虑到气象、海况的最佳航线选择等，机械室中有着为船舶提供推进力的主发动机、发电机及各种水泵、鼓风机、马达等辅助机械，这些对航运至关重要的设备由轮机员负责状态监视，进行预防维护管理。对于安装在机械室内的各种机械、设备类，为防止重大损伤于未然，在每天巡视检查运行状态的过程中发现异常，并进行开放维护等早期应对非常重要。过去，船舶中搭载设备的监视装置只有最低限度的必要装备，在机械室内巡视检查时主要依靠人的感觉来应对。最近，随着温度、压力、振动传感器等技术的提高，配备了能自动监视多个检查项目，在发生异常时会进行警报的系统，但目前的实际情况是，对于船上装备的所有设备的细微状态变化和异常振动等问题，尚无法实现完完全全的自动监视。此次为大家介绍的是由商船三井技术贸易株式会社与株式会社哈尔卡合作开发的可检测设备异常振动的便携式系统。

2. 以设备的预防维护为目标的举措

2-1) 船上搭载设备的状态监视

对于船上搭载的主机、发电机、锅炉等主要设备，通过以下方法以防止出现对航海造成影响的问题、及发生重大设备损伤。具体方法如下：通过随时监视各部分的温度、压力、转速等运行状态，用机械控制室内装备的数据记录仪进行定时记录，同时，发现异常后不分昼夜地立即发出警报，并进行自动减速或紧急停止，对具有后备功能的设备自动启动后备设备。

然而，对于用来驱动鼓风机、水泵等的马达及小型旋转设备等，没有配备用于监视运行状态的传感器等，在马达轴承损耗引起的发热、异响、振动等问题方面，需要轮机员在定期巡视时通过触诊或使用听音棒等依赖人的感觉进行检查。如果未能及时发现异常，可能会由于轴承部的损伤引起马达烧毁等情况，因此目前采用的方法是对船上搭载的主要设备，以运行时间为基础的定期开放维护等作业进行预防维护。

2-2) 船上大数据的运用

最近，通过利用卫星线路，可以在岸上对状态监视中获得的庞大数据进行随时监视，我们正致力于将这些数据与气象和海况数据相结合，开展将其运用到减轻船体和推进机负担的最佳航线选择和最佳自动操舵等的完善安全运行方面的工作。近来，汽车厂商等纷纷在开展自动驾驶技术开发，船舶方面的自主航行船舶(无人驾驶船舶)的技术开发也已启动，预计将在2020年初进行试航以进行实践验证，气象、海况信息、乃至航海仪器(雷达、撞击预防装置、电子海图)信息和机械室内设备的状态监视信息等，各种大数据在推进自主航行方面将发挥越来越重要的作用。

然而，目前尚无法自动监视船上搭载的所有设备，因此需要能够测量设备状态、确认和判断是否存在异常的工具。

特别是由于船用设备与安装在岸上的设备不同，其安装位置本身可能发生晃动，或者受到其它安装设备的振动影响等，因此对单个设备的异常振动等进行测量和监视是非常困难的。而基于各设备处于这样的一种环境这一点而新开发的“船用设备异常振动检测系统”是一款简易监视工具，它具有干扰消除功能，能在无需对船舶上搭载的各种设备进行改造施工的情况下，即可消除那些非测量对象设备上发生的干扰振动，同时，它还带有无线检测等功能，可对安装在危险位置或高处等出入受限场所的设备进行无线远程测量，因此不仅仅是船舶上所搭载的设备，即便是在陆上产业设备、工厂成套设备等相关设备的预防维护上，也可广泛运用该套系统。

3. 振动检测维护系统的概要

3-1) 振动检测维护系统的功能与特点

本系统目前正在实际船舶上进行验证。如上所述，作为一款无需改造施工即可对设备状态进行监视，且可在不受晃动导致的振动影响的情况下对设备振动进行测量监视的系统，目前它正在进行实际的验证。

Figure1,2所示为振动检测维护系统的外观，Table1所示为系统主体的主要参数。

用于检测振动的传感器部采用了氟树脂，且考虑到了100℃环境下的耐热性，确保能在泵等高温场所中使用。采用可轻松安装的胶带或磁铁固定方式，不受设备形状限制。

远处的平板终端可通过无线扩展坞接收来自传感器的信号，并且可以以经时变化的方式对异常与否进行确认。还可用电线直接连接传感器和平板终端以进行测量。

在功能方面，还搭载了可将船舶和设备的晃动及晃动大小模式作为振动频率加以分析的功能。

它能在减轻因船舶摇晃产生的振动影响(干扰振动)，并与设备自身的振动相区别开来的情况下，连续地对设备单体进行振动监视。



Figure1 振动检测维护系统外观
 左：平板终端
 右上：传感器(约2cm见方)
 右下：无限扩展坞(放大器)



Figure2 薄膜氟树脂有机压电元件子

Table1 系统主体的主要参数

显示部	10inch 平板终端(触摸屏)
Ch数	4ch or 2ch / 放大器 最大 12ch (无线连接 4 台放大器)
输出	SD 卡槽(支持SDHC 最高 32GB)
防水等	相当于 IP54
使用范围	-10℃~ 50℃、90% RH 以下(不结露)
大小重量	40(H)x275(W)x188(D)mm, 1200g(包括 Li-ion 电池 280g)
〔预定〕	无线电机批准(欧洲、美国、中国、日本) CE 标识、WEEE 指令、 中国版 RoHS

3-2)降低干扰振动的相关验证实验示例

对于航行时的风浪状态等航行环境对船上测量的影响(干扰振动),以实验性方法进行了验证。

利用振动装置作为干扰振动源,通过将马达安装在振动台上,对能否区别干扰振动和马达振动进行了确认。振动装置为IMV公司制造的i240SA3M,在5Hz,5mmp-p条件下,振动方向为Z轴方向(上下振动)。使用Super Line单相马达(SC-KR-100W-4P-100V),在1720rpm(28.7 Hz)的条件下,马达旋转轴垂直于振动方向进行安装固定。测量结果如Figure3、4所示。

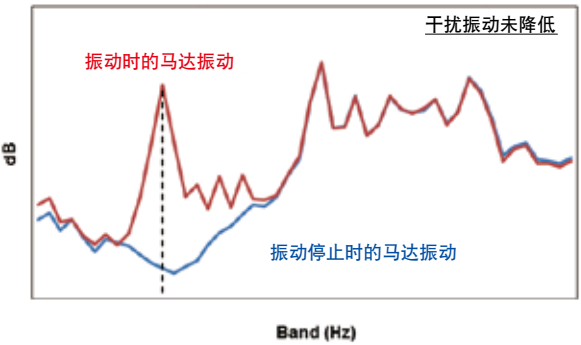


Figure3 受到振动机振动的影响的马达振动频带

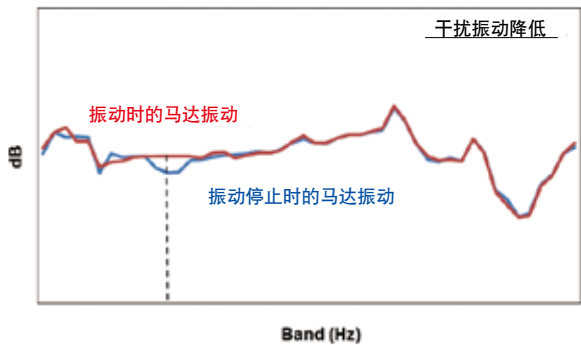


Figure4 降低了振动机振动的影响时的马达振动频带

根据Figure3可知,马达振动受到干扰振动的影响,作为振动条件的5Hz信号强度上升,与振动器停止时相比,振动水平出现较大变化(约50dB)。另一方面,降低了干扰振动时,可以确认5Hz的振动强度上升被缩小到了5dB以内(Figure4)。同样地,改变了振动振幅时(5Hz: 5,7, 10mmp-p)、改变了振动频率时(75Hz :

0.03,0.05mmp-p、200Hz : .005, 0.007mmp-p)的测量结果,在任一条件下,干扰振动的影响均在5dB以内。这昭示了降低航行时的波浪影响的可行性。

3-3)实际船舶上的测量示例

Figure5所示为商船三井技术贸易株式会社的国内航线供油船(Techno Star)的冷却海水泵的测量结果示例。可以发现时间性的信号强度变化。以正式的实证试验为目标,预定还将在加入干扰振动影响的同时进行继续测量。

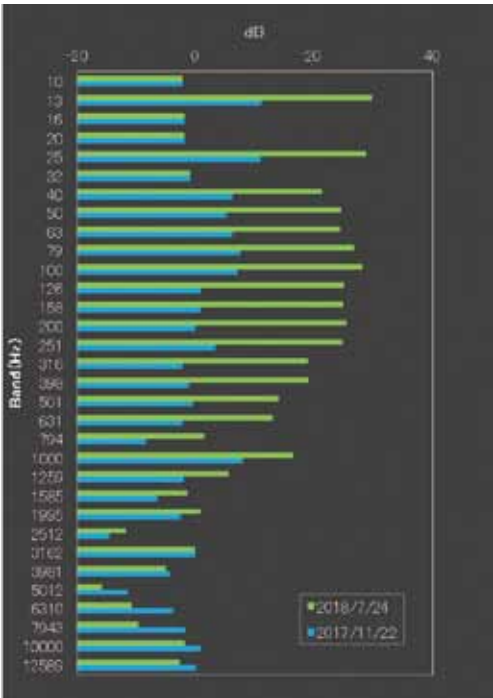


Figure5 实际船舶上的振动测量结果示例
(冷却海水泵)

4. 总结

在已开发的系统中,通过实验室级的验证实验,确认到了干扰振动的降低。此外,在实际船舶的测量中,确认到了时间性的信号强度差异。但是,在实际的航行中,需要在主机输出和出航/返航时的载荷条件、周边设备的运行状况等周边环境不断变化的状态下测量振动状态。以正式的实证试验为目标,今后要解决的课题是在确认和考虑多种多样的干扰振动的影响的同时,检测设备振动的状态变化,设定适当的阈值。

5. 结语

掌握不同设备的问题和易发故障，推进包括维护零件的保管方法等在内的妥善的维护管理，对于在远离陆地

的海上航行的船舶非常有效。我们将通过继续推进实证试验，使之作为能让健全状态与异常状态可视化，并具有预测维护效果的系统，对不管是海上还是陆上的广大产业界的安全和安心作出贡献。



羽根田 诚

商船三井技术贸易株式会社
常务董事



佐藤 央隆

研究开发本部 第1商品开发部



米田 哲也

研究开发本部 第1商品开发部



油谷 康

研究开发本部 先行技术开发部

温差导致的法兰连接力变化 体验学习设备

1. 前言

在石油精炼工厂成套设备中，配管等的连接用的法兰多到难以计数。由于几乎没有内部流体从这些法兰连接部泄漏而出，因此很多人在运行操作工厂成套设备时，几乎都不会意识到还有内部流体可能会从法兰泄漏的这个问题。此外，尽管金属材料会因温度变化而伸缩是众所周知的常识，但能否将其与法兰连接力关联起来进行操作，则很大程度上取决于知识和经验。

老员工会从过往的失败经验中认识到法兰会有泄漏这个问题，但经验不足的年轻员工大多不会想到法兰连接部会发生泄漏这一问题。

配管发生了温度变化时，会对法兰紧固力产生影响，根据情况可能会因面压下降导致内部流体泄漏，对此的学习是工厂成套设备安全作业所不可或缺的，是工厂成套设备作业相关人员必须掌握的知识。

本炼油厂过去曾经发生过运行启动作业中清洗用油(汽油)从法兰连接部泄漏的案例。泄漏是在引入清洗油(约25℃)时，与连接的热油配管(约200℃)之间的连接法兰发生了急剧的温度下降，导致配管发生热变形，法兰连接部的面压下降所致。

有鉴于此，我们认为通过体验学习了解温度变化引起的法兰连接部的面压下降及之后的内部流体泄漏，明白其形成机制在工厂成套设备的安全作业方面是不可或缺的，并委托株式会社华尔卡制作体验用装置，并制定使用该装置的体验学习计划。

本文将对使用体验学习装置进行实际培训的情况进行报告。

2. 体验学习装置概要

2-1)规格研究

在研究体验学习装置的规格时，流体温度(高温、低温)

采用了与本公司的案例相近的温度，并考虑到了作为培训使用时的安全性。我们以培训计划为基础进行装置设计，对设计方案由双方进行协商后，委托华尔卡制作反映了协商结果的装置。

2-2)装置概要

完成的装置外观如Figure1所示。中央部为要监视法兰紧固力的法兰，通过左边桌上的监视器显示各螺栓的紧固力。



Figure1 体验学习装置 外观
(左侧为高温部、右侧为低温部)

2-3)学习步骤(参考Figure2)

- ①将高温侧的流体温度设定为约200℃，对无低温侧流体(约20℃)状态的法兰紧固力进行在线监视，并通过监视器确认紧固状况(平衡)。
- ②慢慢引入低温侧流体，通过观察窗(Figure1的右侧法兰)目测确认配管内的液面。
- ③确认因为低温流体进入，法兰连接力(平衡)发生怎样的变化。
- ④通过本体验，可以体验导致内部流体泄漏的法兰连接力下降，对所担当的工厂成套设备装置运行时的注意事项各自进行考察。



Figure2 体验学习装置学习情景
(近处为学员, 远处为讲师)

3. 培训课程

我们将本体验装置安装在STC奈良, 对在与法兰连接有关的现有装置和培训课程中加入本培训的内容进行了研讨。培训课程方面, 生产部门与工务部门采用了不同的内容。(生产部门因为需要自行实施小直径配管的密封垫片更换和加固, 因此在法兰连接方面的培训时间比工务部门增加了约1小时。)

3-1) 生产部门

课堂学习 1.5小时(参考Figure3)

- 什么是密封垫片
(什么是密封 / 容许泄漏量 / 要求的特性等)
- 密封垫片的种类、施工
(紧固方法 / 追加紧固等)
- 故障案例
(施工不良、选型错误等)



Figure3 课堂学习时的情形

实际技能培训 4.5小时(参考Figure4、5、6)

- 密封垫片的法兰紧固方法
(对于目标紧固力, 与实际由各培训者紧固时的紧固力进行比较, 了解自身的技术水平。)
- 密封垫片的蠕变松弛、密封性、压坏
(体验作为密封垫片温度特性的蠕变现象、过度或紧固力不足导致的故障)
- 螺栓管理状态的影响
- 使用新装置进行的实习(前述)



Figure4 实际技能培训时的情形



Figure5 实际技能培训时的情形

3-2) 工务部门

课堂学习 2.5小时

- 什么是密封垫片
- 密封垫片的种类、选型、施工

实际技能培训 3.5小时

- 密封垫片的法兰紧固方法
- 密封垫片的蠕变松弛、密封性
- 螺栓管理状态的影响
- 使用新装置进行的实习(前述)



Figure6 实际技能培训时的情形

培训将课堂学习与实际技能培训相关联，为了让各参加者自行思考、体验学习目的并切实理解其结果，以每次4人的小班形式，带着紧张感进行实习。另外，虽然事先已经充分考虑到了安全方面的措施，但以小班形式进行培训可以保持紧张感，因此小班形式教学也是为了防止意外伤害事故的发生。

再者，当初的培训时间为9:00～17:00，从四日市到此单程约需2小时，给翻班制员工的工作带来了很大的负担，因此我们进行了变更，将课堂教学合并成多次在公司内实施，在奈良STC只实施实际技能培训。

4. 培训成果

株式会社华尔卡会在培训结束时实施问卷调查，将参加者的意见反馈到之后的培训中。

对本公司迄今为止的参加者(12人)的问卷调查结果进行汇总后，发现：

- ①整体满意度：平均4.7
(5档 满意度高5 低1)
- ②当初期望与实际内容的差异：平均 4.8
(5档 符合期望5 不符合期望1)
- ③课堂教学的理解度：平均 4.3
(5档 非常理解5 不理解1)
- ④实际技能的理解度：平均 4.7
(5档 非常理解5 不理解1)

在实际技能方面的平均分为4.7，反映出较高的理解度。

此外，对于体验学习装置，参加者抱有“法兰迅速冷却带来的紧固力变化比预计的更快，让我吃了一惊”

“可以实时确认冷却带来的紧固力下降，让我更容易理解”

“在与实际发生的案例有关的装置上的体验在10年后、20年后也不会忘却，可以识别危险，是非常出色的体验”等好感。

大部分参加者都希望将该培训介绍给单位的同事(特别是后辈)，加之在满意度和理解度方面也像上述数据反映的那样高，我们判断参加本培训有助于加强对法兰紧固力的管理，计划今后继续将本培训作为教育计划的一个环节，让未听课者参加培训。

5. 结语

本公司在内部设置了培训用配管和阀门设备，作为新员工培训的一环，让员工掌握法兰紧固等基本操作，了解到作为自主维护活动进行的密封垫片更换和法兰紧固作业的重要性。法兰连接部的面压降低可能会导致内部流体泄漏等重大的事故。另一方面，即使负责炼油厂的运转与维护，也几乎没有机会实际体验面压降低的机制，往往是在发生问题后才重新认识到其重要性。

此次，我们认为通过体验学习了解温度变化引起的法兰连接部的面压下降及之后的内部流体泄漏，明白其形成机制在工厂成套设备的安全作业方面是不可或缺的，因此委托株式会社华尔卡制作了体验用装置并制定了使用该装置的体验学习计划。

使用体验学习装置实际进行员工培训后，确认了其有效性，因此希望今后继续通过本装置及体验学习计划的培训，让员工了解法兰紧固力管理的重要性。此外，通过让更多的企业接受本计划培训，如能防止工厂等发生相同的问题，我们将不胜荣幸。

最后，要感谢为我们制作本装置、并提供了本次报告机会的株式会社华尔卡和代理商东洋产业株式会社。

6. 参考文献

- 1) 村松晃：华尔卡技术志No.33，15-18(2017)



高村 健一

昭和四日市石油株式会社
四日市炼油厂
工务部装置管理课

带No.GF300的24英寸管法兰连接体的力学特性与密封性评价

1. 前言

装有密封垫片的管法兰连接体被大量应用于石油化学工厂成套设备、发电工厂成套设备、制铁工厂成套设备等之中。石棉密封垫片因其高耐热性、密封性、高强度和易用性以及廉价而被广泛使用，也进行了石棉密封垫片的相关研究^{1)~3)}。相关研究一直都是欧美国家在推动，但日本也从2000年左右开始，由于对人体的健康危害的大量报告而对石棉密封垫片采取了管制，从2008年开始，石棉密封垫片在日本被禁止使用⁴⁾。

石棉垫片分为石棉填料缠绕式密封垫片和压缩板石棉压缩板密封垫片两种，缠绕式密封垫片由膨胀石墨填料代替后，没有产生大的问题。另一方面，关于压缩板石棉压缩板密封垫片的替代品，研发了加入芳纶纤维的无石棉压缩板密封垫片、膨胀石墨板材密封垫片、含PTFE板材密封垫片⁵⁾。芳纶压缩板密封垫片由于橡胶含量较多，有在高温环境下会硬化破裂、无法进行螺栓追加紧固等问题；膨胀石墨板材密封垫片则出现了容易受伤而操作不便的问题。出于这一背景，含PTFE密封垫片在日本得到了广泛应用。PTFE有着优异的耐热性、耐化学品性和密封性，蠕变较大的问题也通过配方调和及制造方法的改良而大幅改善。但是，含PTFE密封垫片缺少以往石棉密封垫片那样的成绩，需要理论方面的特性研究数据。到目前为止，笔者们正在对装有本公司的含PTFE密封垫片No.GF300的管法兰连接体进行常温下、高温环境下及配管弯曲作用下的带密封垫片管法兰连接体的力学行为调查相关的研究^{6)~8)}。

带密封垫片管法兰连接体有各种公称尺寸，如果公称直径不同则其特性也不同。据说尤其是公称直径越大，则连接体的密封性越低。但是，由于费用和时间的限制，截

止到目前的带密封垫片管法兰连接体的研究几乎都是以2~6英寸的较小口径尺寸为对象的，大口径法兰连接体的特性仍有很多不明确的地方。

Sawa等使用20英寸的管法兰连接体查明了带缠绕式密封垫片连接体的特性，揭示了其与小口径管法兰连接体的特性差异和密封性的下降^{9)~13)}。但是，ASME规格中规定了公称直径更大的24英寸法兰尺寸，且装有被广泛使用的含PTFE密封垫片的大口径管法兰连接体的力学特性和密封性的研究尚未开展，因而需要对使用此类密封垫片的管法兰连接体进行研究。

本研究的目的是通过FEM分析和实验，对待No.GF300的24英寸管法兰连接体的力学特性进行评价。首先，我们依据JIS B 2490，对No.GF300密封垫片的基础特性进行了调查¹⁴⁾。将这些基础数据输入到FEM分析中，计算螺栓轴力变动和密封垫片接触应力分布。另外，我们利用通过FEM分析计算出的密封垫片接触应力分布和通过实验获得的泄漏量-密封垫片应力关系，推断来自管法兰连接体的泄漏量。为了说明FEM分析的合理性，我们进行了实验，并对实验结果与FEM分析结果进行了比较研讨。通过实验对来自管法兰连接体的泄漏量和螺栓轴力变动进行测量。本研究使用的管法兰连接体为ASME class300 24英寸的连接体。

本研究使用的以No.GF300为代表的本公司含PTFE高性能板材密封垫片因其耐热性、耐化学品性、密封性和使用性优异而被广泛使用。另外，由于不含任何橡胶成分，因此在300℃以下的温度和长时间使用后不会出现材料老化，在本研究中，可以得出其具有高精度力学特性的评价。

2. 实验方法

Figure1 所示为用于测量螺栓轴力变动及泄漏量的带 No.GF300 密封垫片管法兰连接体装置。管法兰连接体尺寸为 ASME class300 24 英寸，材料为 SUS304。我们知道管的有无会大幅改变连接部的特性，本装置采用具有与实机相同长度管道的法兰。密封垫片的尺寸也为 ASME class300 24 英寸，厚度为 3.0mm，螺栓公称直径为 M39。

所有 24 颗螺栓的轴部均贴上了应变规，通过与应变仪连接，可以测量并记录螺栓轴力。并且所有的应变规都事先经过了校准。来自连接体的泄漏量采用压降法，根据以下公式(1)进行测量。

$$L = \frac{MV}{tRT_1} \left(P_1 - \frac{T_2}{T_1} P_2 \right) \quad (1)$$

此处，L：泄漏量、M：摩尔质量、V：装置的内部容积、t：测量时间、R：气体常量、T1：测量开始时的温



Figure1 24 英寸管法兰连接体的实验装置

度、T2：测量结束时的温度、P1：测量开始时的内压、P2：测量结束时的内压。

初始内压 P1 为 2MPa，实验在常温下进行。紧固时承受与密封垫片平均压力 10、20、30 及 40MPa 相当的 34.2、68.5、102.7 及 136.9kN 的初始螺栓轴力。紧固后，从钢瓶流入氦气，测量泄漏量。

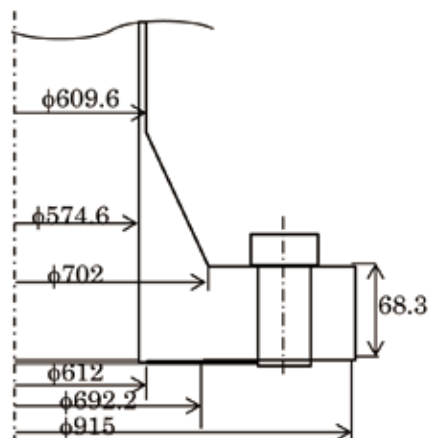


Figure2 24 英寸管法兰连接体的尺寸

3. 密封垫片特性

事先通过实验测量 No.GF300 密封垫片的压缩特性及泄漏量-密封垫片应力关系，将测量值用于 FEM 分析。

3-1) 压缩特性

使用 Figure3 所示实验装置，首先测量 No.GF300 密封垫片在常温下的压缩特性。压缩用的压板拥有 JIS 10K50A 尺寸的凸面。将密封垫片夹在一对压板之间，使用材料试验机进行压缩，测量此时的压缩量。Figure4 所示为通过材料试验获得的应力-压缩量关系(压缩特性)。

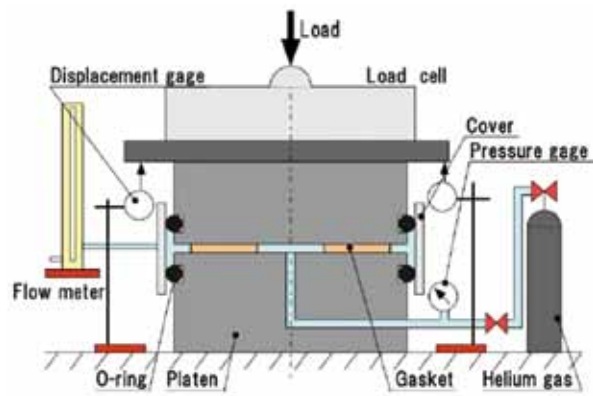


Figure3 密封垫片特性测量装置

压缩及恢复曲线显示出非线性和滞后性。FEM分析时会考虑到这些举动而进行计算。

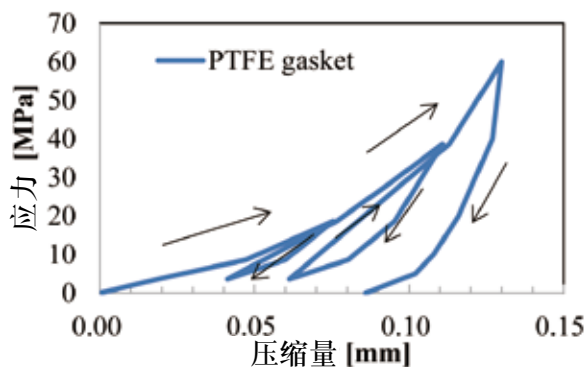


Figure4 密封垫片的压缩特性

3-2)密封性

与测量压缩特性时一样使用Figure3所示压板装置，依据JIS B 2490来测量密封垫片的泄漏量-密封垫片应力关系。使用材料试验机进行阶段性的压缩，测量负荷氮气2MPa时的泄漏量。通过橡胶O形圈和套管来回收从密封垫片部泄漏的气体，使用皂膜流量计进行测量。Figure5所示为测得的泄漏量-密封垫片应力关系。纵轴表示泄漏量的对数，横轴表示密封垫片应力。由此可知，密封垫片应力越大，则泄漏量越少。密封垫片应力在30MPa 以上时，泄漏量少到难以测量，因此未显示数据。

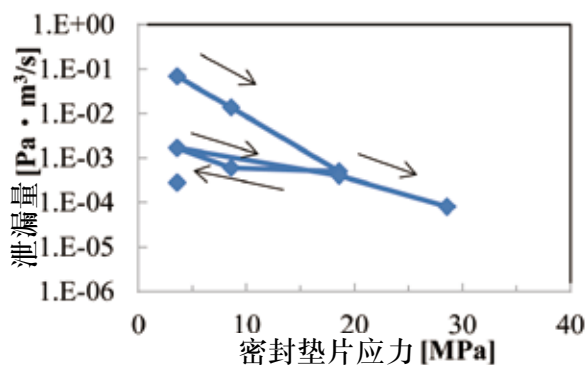


Figure5 密封垫片的泄漏量-应力关系

4. FEM分析

Figure6所示为24英寸尺寸的带密封垫片管法兰连接体的FEM分析模型。分析采用通用代码ABAQUS，元素数为2695，节点数为4408。考虑到连接体的对称性，采用1/96模型(圆周方向1/48、轴方向1/2)。本模型中，将六角形形状的螺母简化为截面积等效的圆形，并省略了螺丝。Figure7所示为FEM分析的边界条件。所有元素在对称边界面上各方向受到束缚。通过螺栓模型承受轴向负荷来施加初期紧固力，负荷内压时受到束缚。内压作用于法兰及管内面。

法兰及螺栓的模型使用弹性元素，密封垫片则使用ABAQUS密封垫片元素。该ABAQUS密封垫片元素可以将非线性和滞后性纳入考虑。FEM分析时，会计算螺栓轴力的变动和密封垫片接触应力分布。

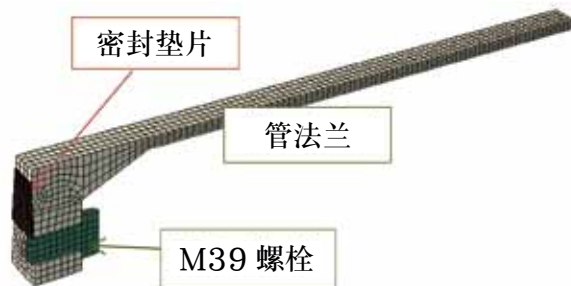


Figure6 管法兰连接体的FEM分析模型

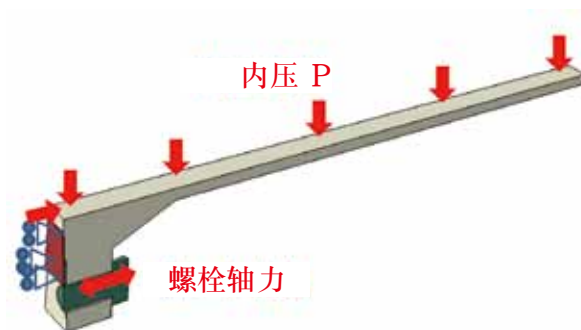


Figure7 FEM分析的边界条件

5. 实验及FEM分析结果

5-1) 螺栓轴力

Figure8所示为通过实验和FEM分析获得的内压作用时的螺栓轴力变动的结果。横轴为内压，纵轴为螺栓轴力，实线表示实验结果，虚线表示FEM结果。实验结果的螺栓轴力为24颗螺栓的平均值。初期紧固采用与密封垫片接触应力10、20、30及40MPa相当的螺栓轴力34.2、68.5、102.7及136.9kN。在所有条件下，内压越大则螺栓轴力越低。这可能是因为内压导致法兰旋转增大，螺栓轴发生收缩造成的。实验结果与FEM分析结果相当一致，说明了FEM分析的合理性。

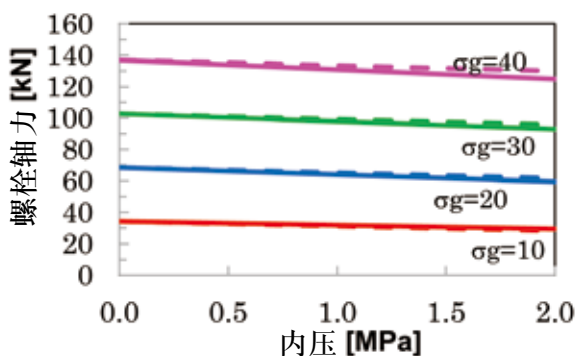


Figure8 内压作用时的螺栓轴力变动

5-2) 密封垫片接触应力和泄漏量

Figure9所示为通过FEM分析获得的紧固时及内压2MPa作用时的密封垫片接触应力分布。初期紧固时的密封垫片接触应力为10、20、30及40MPa。在获得的所有等值线图中，可以发现密封垫片外径部分离开法兰凸面，不与法兰接触，接触应力为零。看初期紧固时的数据可知，法兰旋转导致越靠近外径侧，接触应力越大。此外，即使在密封垫片平均接触应力较大时，内径侧的密封垫片接触应力也为零。这是因为法兰旋转导致密封垫片内径侧与法兰分离，形成非接触。另外还发现，密封垫片接触应力的圆周方向的分布变化极小。在内压作用时，轴向的推力使密封垫片接触应力的总和减小。

此处，由通过FEM分析获得的密封垫片接触应力分布及通过实验获得的Figure4所示泄漏量-密封垫片应力关系，推断来自管法兰连接体的泄漏量^{11)、12)}。Figure10所示为实验时测得的泄漏量与推断泄漏量的比较。纵轴是将总泄漏量除以密封垫片接触外周长度而获得的单位

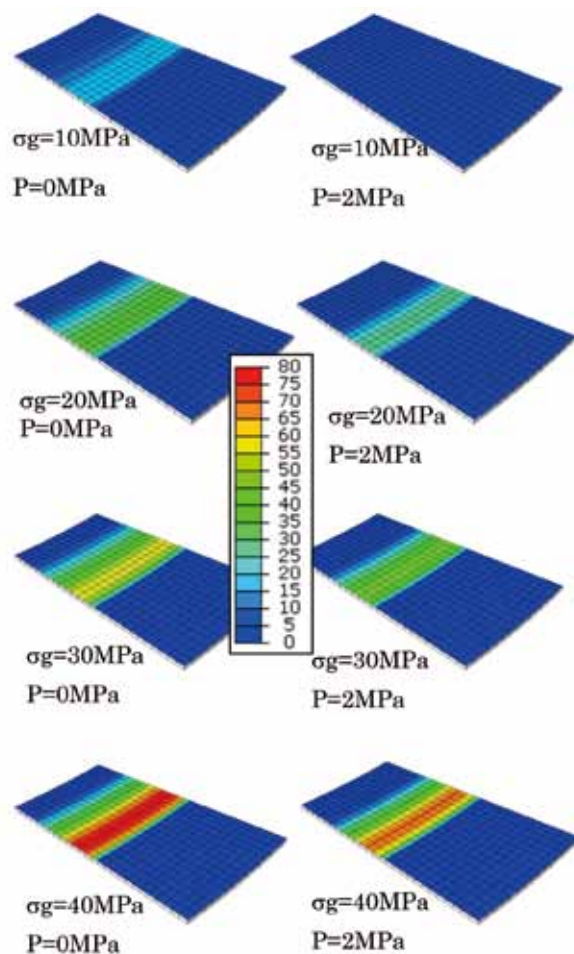


Figure9 通过FEM分析获得的密封垫片接触应力分布

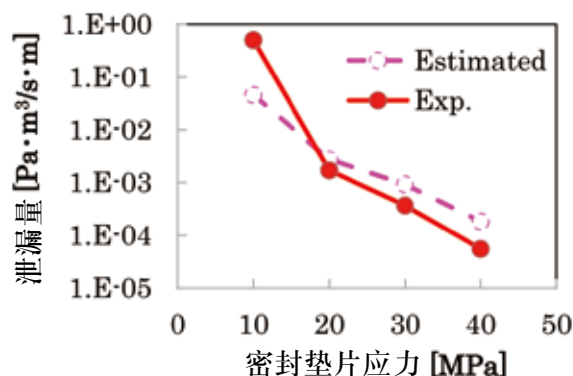


Figure10 来自密封垫片的泄漏量测量值与推断值的比较

长度泄漏量。由此可知，密封垫片接触应力越大，则泄漏量越少。另外，推断泄漏量与实验结果相当一致，说明了泄漏量推断的方法和FEM分析的合理性。

6. 考察

6-1) 管法兰连接体的公称直径对螺栓轴力变动的影响

Figure11所示为通过FEM分析计算出的装有No.GF300密封垫片的2、4、8、12、16、20及24英寸管法兰连接体承受内压作用时的内力系数的值。

目标密封垫片接触应力的平均值为20MPa，内压为2MPa。纵轴所表示的内力系数是受到外力(此时为内压)时的螺栓轴力的增量比例，正值表示螺栓轴力增加，负值则表示螺栓轴力减少。可以看到管法兰公称直径越大，则内力系数越小的趋势。这是因为管法兰公称直径越大则法兰的弯曲刚性越小，在内压作用时容易助长法兰旋转，结果导致螺栓容易收缩。Figure12所示为各管法兰公称直径尺寸的密封垫片接触应力分布。横轴为相对于密封垫片宽度的比率，并进行了无量纲化。在任何尺寸条件下，内压作用时密封垫片接触应力均会降低，但在公称直径越大时越显著。这可能是因为公称直径越大则内压的受压面积越大，推力增大及内力系数的值为负数，导致密封垫片接触应力衰减比率越大。

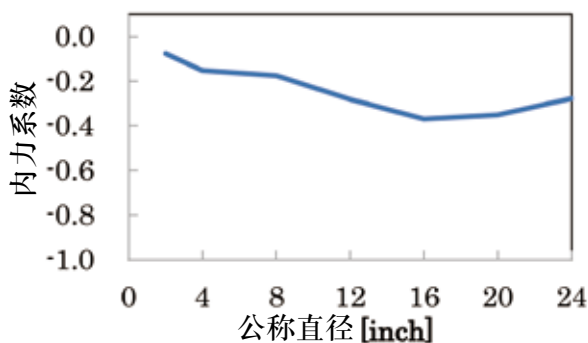


Figure 11 管法兰公称直径对内力系数的影响

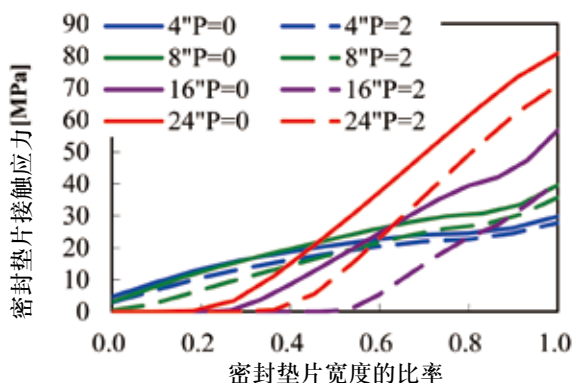


Figure 12 各管法兰公称直径连接体的半径方向的密封垫片接触应力分布

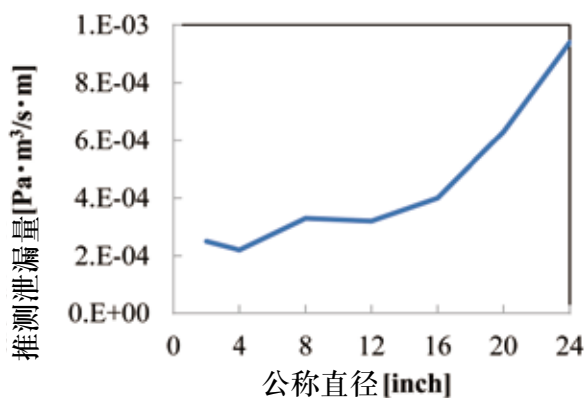


Figure 13 管法兰公称直径对单位长度泄漏量的影响

Figure13表示以2~24英寸管法兰连接体为对象，以与Figure10的结果相同的方法推断出的泄漏量。目标密封垫片接触应力的平均值为30MPa，泄漏量采用总泄漏量除以密封垫片接触外周长度的单位长度泄漏量。

管法兰公称直径越大则单位长度的泄漏量随之增加，但纵轴是线性显示而非对数显示，因此实际差异并没那么大。

6-2) 使用No.GF300与膨胀石墨填料密封垫片

No.6596V的各管法兰连接体的密封性比较

Figure14所示为使用No.GF300与膨胀石墨填料密封垫片No.6596V的管法兰连接体的单位长度泄漏量与密封垫片接触应力的关系。与此前一样，管法兰连接体尺寸为ASME class300 24英寸，内压为2MPa。对使用No.6596V的管法兰连接体也进行了FEM分析和实验的比较，确认了FEM分析手法的合理性。密封垫片接触应力更小的泄漏量较大，但密封垫片接触应力较大时，则使用No.6596V的管法兰连接体的密封性比使用No.GF300的管法兰连接体优异。No.6596V的填料材料采

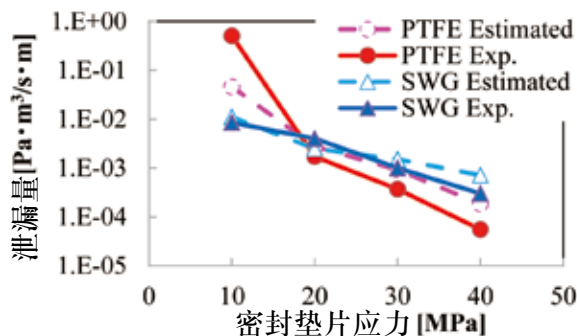


Figure 14 使用No.GF300与No.6596V的各管法兰连接体的密封性比较

用了膨胀石墨, 连接体在较小的应力下也能发挥良好的密封性。另一方面, No.GF300在应力较小时无法贴合法兰面, 但当密封垫片接触应力增大的情况下, 可与法兰面贴合, 并且在受到压缩后会变得高密度化, 从而发挥更高的密封性。

通过强度计算可知, 无法使用缠绕式密封垫片的管法兰连接体在使用No.GF300时, 可以获得比使用缠绕式密封垫片时更好的密封性。

7. 结语

本研究以带No.GF300的ASME class300 24英寸管法兰连接件体为对象, 通过实验和FEM分析调查其力学特性, 得出以下结论。

- (1) 依据JIS B 2490, 对No.GF300的压缩特性、泄漏量—密封垫片接触应力进行了测量。
- (2) 根据上述密封垫片特性和通过FEM分析获得的密封垫片接触应力分布结果, 对来自管法兰连接体的泄漏量进行了推断。另外, 与实验进行比较, 两项结果相当一致, 体现了推断方法的合理性。
- (3) 通过FEM分析和实验表明, 内压作用于带No.GF300 24英寸管法兰连接体时, 法兰旋转会导致螺栓的轴力降低。另外, FEM分析与实验结果相当一致。
- (4) 使用FEM分析和密封垫片基础数据, 可以发现管法兰公称直径越大, 则内力系数越小、泄漏量越大的趋势。
- (5) No.GF300在负荷推荐面压35MPa时, 可以发挥比使用膨胀石墨填料缠绕式密封垫片更高的密封性。通过强度计算可知, 无法运用缠绕式密封垫片的管法兰连接体在使用No.GF300时, 可以获得比使用缠绕式密封垫片时更好的密封性。

8. 参考文献

- 1) T. TAKAKI, K. SATO, Y. YAMANAKA, T. FUKUOKA, "Effects of Flange Rotation on the Sealing Performance of Pipe Flange Connections", ASME PVP Vol.478, (2004), pp.121-128.
- 2) T. SAWA, N. OGATA, T. NISHIDA, "Stress Analysis and Determination of Bolted Preload in Pipe Flange Connections with Gasket under Internal pressure", Transactions of the ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.124, (2002), pp.22-27.
- 3) T. KOBAYASHI, T. NISHIDA, Y. YAMANAKA, "Effect of Creep-Relaxation Characteristics of Gaskets on the Bolt Loads of Gasketed Joints", ASME PVP Vol.457, (2003), pp.111-118.
- 4) 厚生劳动省“对劳动安全卫生法施行令等进行部分修订的法令”, 政令第349号, (2008)。
- 5) 日本华尔卡工业株式会社“密封垫片”, 产品目录 No.YC08, (2016)。
- 6) K. SATO, A. MURAMATSU, T. KOBAYASHI, T. SAWA, "FEM Stress Analysis and Sealing Performance of Bolted Flanged Connections using PTFE Blended Gaskets under Internal Pressure", PVP2015-45268, Proceeding of ASME PVP 2015 Conference, (2015)。
- 7) K. SATO, T. SAWA, T. KOBAYASHI, "FEM STRESS ANALYSIS of Long-term Sealing Performance for Bolted Pipe Flange Connections with PTFE Blended Gaskets under Elevated Temperature", PVP2016-63372, Proceeding of ASME PVP 2016 Conference, (2016)。
- 8) K. SATO, T. SAWA, R. MORIMOTO, T. KOBAYASHI, "FEM Stress Analysis and Mechanical Characteristics of Bolted Pipe Flange Connections with PTFE Blended Gaskets Subjected to External Bending Moments and Internal Pressure", PVP2017-65332, Proceeding of ASME PVP 2017 Conference, (2017)。
- 9) Y. TAKAGI, T. SAWA, H. TORII, Y. OMIYA, "Effects of Scatter in Bolt Preload on the Sealing Performance of Pipe Flange Connections Under Internal Pressure (Case Where the Nominal Diameter of Pipe Flange Connection is 20")", PVP PVP2010-25499, Proceeding of ASME PVP2010 Conference, (2010)。
- 10) Y. TAKAGI, T. SAWA, H. TORII, Y. OMIYA, "Effects of Scatter in Bolt Preload on the Sealing Performance of Pipe Flange Connections Under Internal Pressure (Case Where the Nominal Diameter of Pipe Flange Connection is 20")", PVP2010-25499, Proceeding of ASME PVP2010 Conference, (2010)。
- 11) Y. OMIYA, T. SAWA, Y. TAKAGI, "Stress Analysis and Design of Bolted Flange Connections under

Internal Pressure”, PVP2014-28606, Proceeding of ASME PVP 2014 Conference, (2014).

- 12) Y. OMIYA, T. SAWA, “Stress Analysis and Sealing Performance Evaluation of Bolted Pipe Flange Connections with Smaller and Larger Nominal Diameter under Repeated Temperature Changes”, PVP2014-28730, Proceeding of ASME PVP 2014 Conference, (2014).
- 13) A. MURAMATSU, K. SATO, M. U. KHAN, T. SAWA, “FEM Stress Analysis and the Sealing

Performance evaluation of Bolted Pipe Flange Connections with Large Nominal Diameter Subjected to Internal Pressure”, PVP2016-63407, Proceeding of ASME PVP 2016 Conference, (2016).

- 14) Japanese Industrial Standards. JIS B 2490 “Test method for sealing behavior of gaskets for pipe flanges”, (2008).
- 15) ANSI/ASME B 16.5, “Pipe Flanges and Flanged Fittings”, (1996).



佐藤 广嗣
研究开发本部
第1商品开发部



郑 兴
中国综合研究所
密封工程开发小组



泽 俊行
广岛大学 名誉教授

衬里槽罐（应用篇）

1. 前言

继上期的衬里槽罐(基础篇)之后,本期介绍其“应用篇”。

基础篇中记载了氟树脂的种类和特点、氟树脂板材衬里的工序、氟树脂衬里槽罐设计注意事项等基本事项。本期则将介绍本公司的板材衬里加工的特点及本公司使用的衬里用板材的特点。

2. 本公司的衬里加工方法的特点

本文将对本公司加工技术的特点——高纯度氟树脂衬里槽罐的制作方法进行说明。

2-1)封头部分的衬里板的弯折及粘贴

通常,氟树脂衬里槽罐会将氟树脂板粘贴在外壳的金属罐体上。板材为卷状,切断为短棒状后使用。罐体主体部分可以直接粘贴短棒状的板材,但封头部分为曲面,难以粘贴短棒状的板材,因此须将板材进行多次等分后贴合。

本公司的粘贴方法为在粘贴前对封头部分的衬里板进行加热,按封头形状进行弯折后使用。

通过事先对封头用衬里板进行弯折加工,可以获得以下3大效果:

- 通过同时使用后述的真空粘贴法和板材的封头弯折来粘贴板材时,可以减少摩擦板材表面的作业,从而大大减少表面的伤痕,可以降低板材的污染。
- 弯折前的板材加工成正方形,焊缝较少。由此可以降低焊接部破损等故障风险。
- 弯折温度比粘合剂硫化温度高,板材的残留应力较少。

由此可以降低粘合剥落的故障风险。



Figure1 其他公司制造的槽罐



Figure2 本公司的衬里

Figure1 为其他公司施工的衬里槽罐。底部的封头部分焊缝较多。

Figure2 为本公司进行了加热弯折的镜面部分的衬里,没有焊缝。

如Figure3 所示,内径大于1200mm的槽罐的衬里上会有1 或2条焊缝。



Figure3 大型槽罐的封头部分衬里

本公司的封头部分弯折的最大内径为 $\phi 2800$ 。3块板材通过2条自动焊缝进行连接和弯折。

封头衬里延伸至主体部,因此封头衬里与主体衬里的连接也是进行自动焊接。

2-2)板材表面擦伤痕迹较少的真空粘合法

真空粘合法是指,使平坦的板材和封头成形的板材贴住罐体,排出板材背面与罐体之间的空气以形成真空,利用大气压将衬里板压紧在罐体上,无需摩擦即可粘合的方法。

使用这一粘合方法，可以获得以下2大效果：

- 板材表面的伤痕大大减少，降低了板材的污染。
- 实现不均衡较少的粘合，粘合强度稳定。

2-2-1)“封头成形”“真空粘合”的外观差异

Figure4 为其他公司采用的摩擦粘合的示意图。

Figure5 为本公司开发的真空粘合法的示意图。

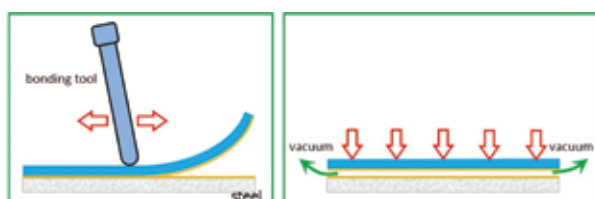


Figure4 凝固粘合

Figure5 真空粘合

传统的板材粘合方法使用摩擦夹具将衬里压紧在槽罐上。因此，整个衬里面上都会留下擦伤痕迹。

真空粘合则是利用大气压将板材压紧在槽罐上，仅在板材端部等极少部分会出现伤痕，可大幅减少摩擦面积。

Figure6 为采用真空粘合法粘合封头部分的照片，Figure7 为其放大图。



Figure6 真空粘合的槽罐的衬里封头



Figure7 本公司衬里表面放大图

2-2-2)衬里后的表面粗糙度

下面，对使用M-PTFE板材的“摩擦粘合”与“封头成形+真空粘合”的槽罐封头部分的衬里表面进行了比较。

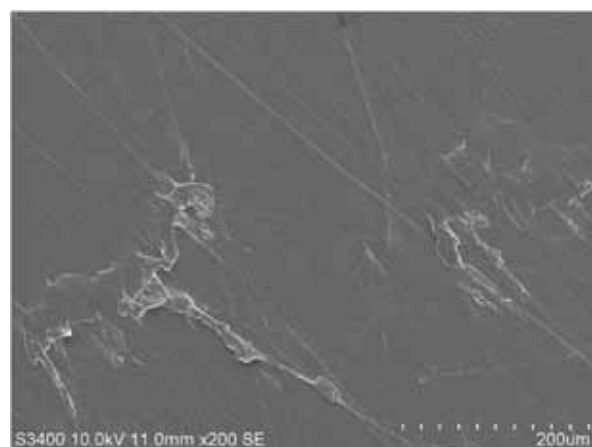


Figure8 摩擦部分电子显微镜照片

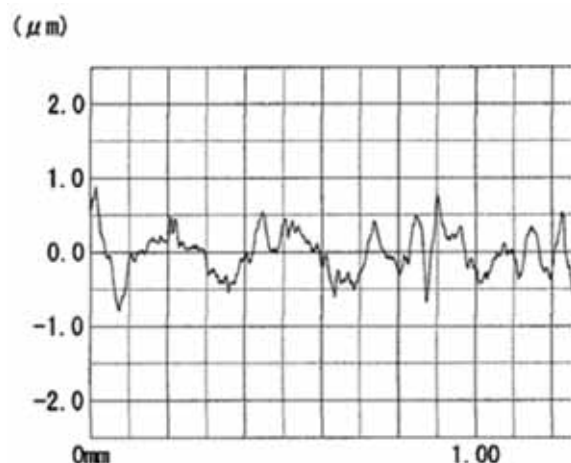


Figure9 本公司衬里表面($Ra0.25 \mu m$)

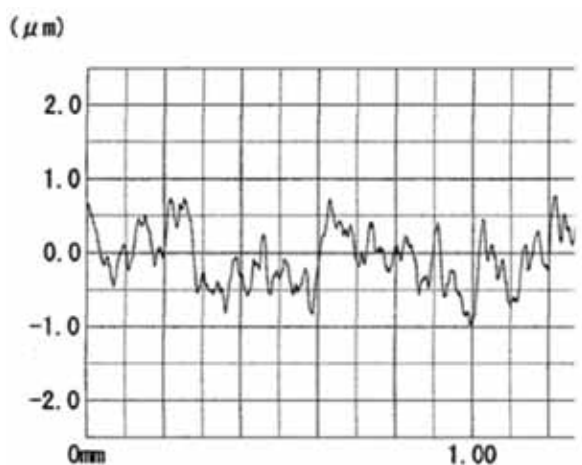


Figure10 其他公司衬里表面($Ra0.34\mu m$)

Figure9是对采用真空粘合法的衬里槽罐表面粗糙度进行测量的图表,为 $Ra0.25\mu m$ 。Figure10是对传统粘合的板材表面进行测量的图表,为 $Ra0.34\mu m$ 。

2-3)焊接的机械化带来的稳定品质

Figure11为衬里的焊接部截面。

衬里槽罐的衬里粘合采用PFA焊接进行。焊接分2阶段进行,在衬里端部加工出坡口后使用PFA焊条进行底部堆焊,接着使用PFA焊带进行带焊(加固焊接)。

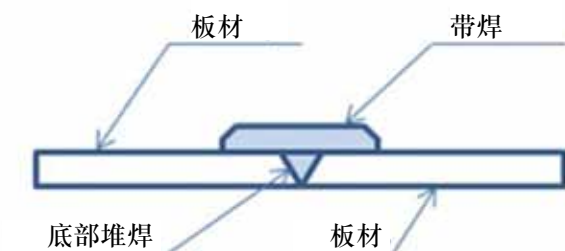


Figure11 焊截面形状

本公司使用自行式焊接机(自动焊接机),实现“温度”、“速度”和“压力”等焊接重要条件的稳定。由此,与作业人员手动焊接相比,焊接条件稳定,强度偏差显著减少。

此外,可实现焊缝的“起伏”、“曲折”和“变形”较少的带焊。

此外,其他公司的手动带焊宽度为14mm,但是本公司通过机械化将带宽扩大到17mm,提升了焊接部的强度,从而提高了焊接部的可靠性。

Figure13为通过自动焊接进行的带焊,宽度大且曲折少。

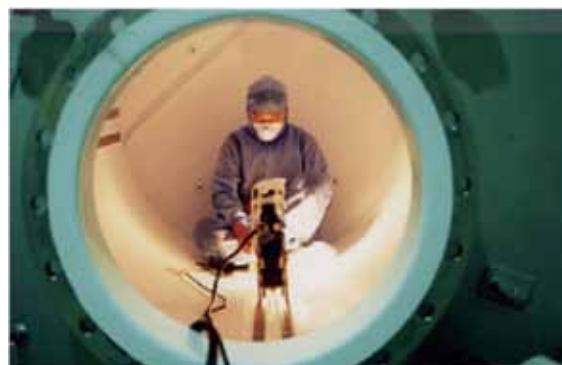


Figure12 使用自动焊接机进行的焊接作业



Figure13 公司产品 自动焊接(M-PTFE-ET)

2-4)部件结构的安全设计

2-4-1)喷嘴结构

喷嘴的管部分难以牢固粘到罐体上,因此是焊接破损的多发部位。

如Figure14所示,其他公司采用的是温度变化引起的衬里膨胀收缩应力由焊接部直接承受的结构。本公司则如Figure15所示,在槽罐内部也进行了扩口加工,采用由该扩口部分承受应力的结构,不易对焊接部施加伸缩应力负担。



Figure14 喷嘴的温度变化引起的举动和损伤示例

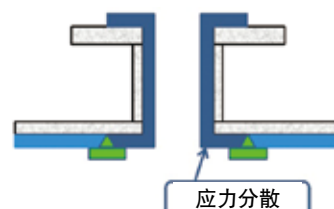


Figure15 本公司的喷嘴部施工方法

2-4-2) 集液槽结构

设在槽罐底部的集液槽的结构与喷嘴相同。



Figure 16 集液槽周边的衬里剥落



Figure 17 原因是集液槽与板材焊接部的破损

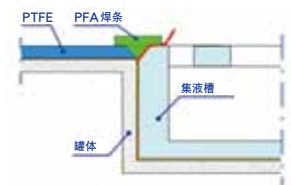


Figure 18 其他公司的施工示例

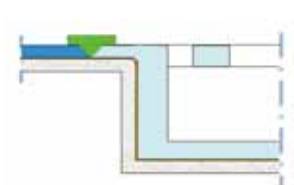


Figure 19 本公司的施工方法示例

3. 衬里材料的选择

本公司使用的氟树脂衬里用板材的材质有PTFE、PFA、M-PTFE的3种，粘性赋予方法采用了对氟树脂表面进行化学处理的化学蚀刻板和将玻璃布板层压而成的玻璃背板的两种。

3-1) 本公司使用的衬里用板材的功能性评价

下表是对本公司使用的衬里用板材的5项功能性分5档进行的自评结果。

评价板材的种类

- PTFE-ET : PTFE化学蚀刻板
- M-PTFE-ET : 改性PTFE化学蚀刻板 (PLP板)
- M-PTFE-GB : 改性PTFE玻璃背板
- PTFE-GB : PTFE玻璃背板
- PFA (NEW) -GB : PFA玻璃背板
- PFA (HP-PLUS) -GB : PFA玻璃背板

评价内容

表面平滑性 : 表示清洗时污渍去除性能的优劣。

粘合性能 : 表示板材与粘合剂的粘合强度的优劣。

焊接性能 : 表示板材连接部的焊接可靠性。

耐透过性 : 表示对化学药剂的耐透过性。

该性能受到对化学药剂透过的寿命的影响。

价格 : 表示板材成本的优劣。

Table 1 衬里用板材的功能性评价

评价 : (优) 5 · 4 · 3 · 2 · 1 (劣)

材质	表面平滑性	粘合性	焊接性	耐透过性	价格
PTFE-ET	3	3	3	4	5
M-PTFE-ET	4	3	4	5	4
PTFE-GB	3	3	3	2	3
M-PTFE-GB	4	3	4	4	2
PTFE-GB	5	3	5	3	2
PFA (HP-Plus) -GB	5	3	5	4	1

备注 1 ET : Etched sheet、GB : Glass Backing、M : Modified的缩写。

备注 2 数值用于表示优劣，分5档进行评价。

3-1-1) 表面平滑性

以下所示为3种不同材质的衬里用板材表面的照片及表面粗糙度。



Figure 20 PTFE-ET×100

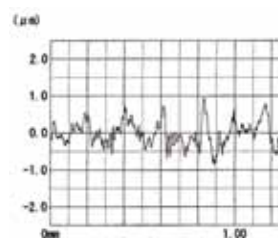


Figure 21 Ra0.29 μm



Figure 22 M-PTFE-ET×100

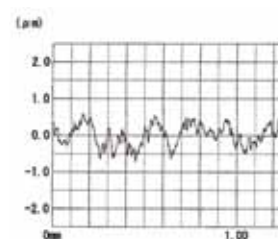


Figure 23 Ra0.24 μm



Figure 24 NEW PFA×100

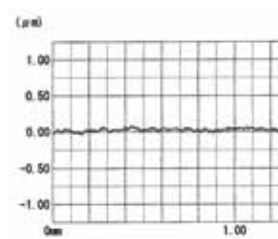


Figure 25 Ra:0.03 μm

- PTFE : 表面粗糙度最差。
- M-PTFE : 表面粗糙度略好于PTFE。
- NEW PFA : 表面最平滑。

本测量是对板材阶段的材料进行，前述的衬里施工方法不同导致的衬里后表面粗糙度Ra会发生较大变化。

3-1-2) 粘合性能

氟树脂为非粘着性，即使在氟树脂板材上涂抹粘合剂，也会剥落而无法粘合。

为了使氟树脂板具备粘合性，本公司的蚀刻处理板材会在板材制造后进行化学蚀刻以赋予粘合性。

另一方面，作为赋予粘合性的方法，玻璃背板则是使PFA熔融并进入到氟树脂板与玻璃布板之间，从而实现锚固的产品。

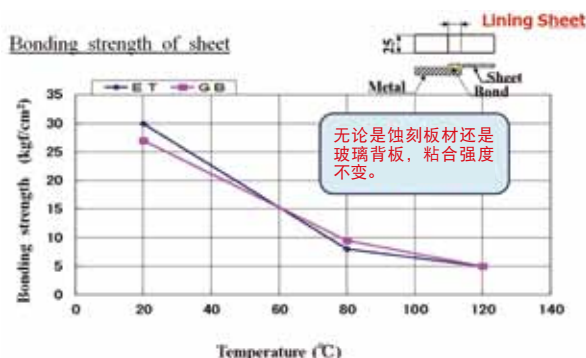


Figure26 ET板与GB板的粘合强度(剪断)

Figure26所示为在ET板和GB板上使用橡胶类粘合剂与金属粘合时的剪断强度测量试验结果。

剥落部位均在金属面上，说明具有同等的粘合力。

3-1-3) 焊接性能

Figure27为衬里用板材的焊接强度比较。

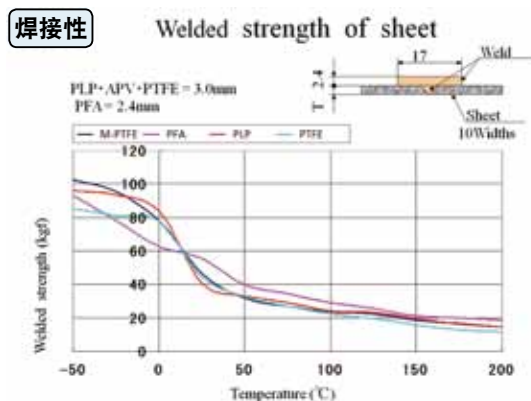


Figure27 焊接强度测量结果

(PLP: 本公司制造的提升了耐透过性的M-PTFE板材。)

在常用温度范围内，所有板材的焊接强度未发现明显差异。但是，与焊条、焊带材质相同的PFA板材理论上在焊接时的融合性较好，因此可以认为其焊接的稳定性较高。

根据氟树脂的材质(分子结构)进行推测，焊接的稳定性为PFA > M-PTFE > PTFE。

3-1-4) 耐透过性

据悉，化学药剂的透过主要发生在树脂内部的非结晶部。

Figure28所示为对氟树脂板的厚度截面的结晶结构的模型化表现。

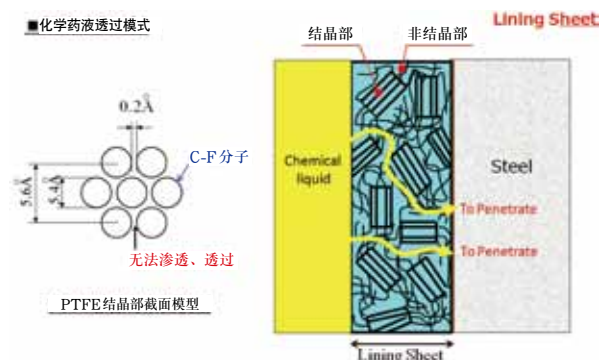


Figure28 氟树脂内的化学药液透过示意图

排列整齐的分子部分为结晶部，分子复杂缠绕的部分为非结晶部。

结晶部分子密集，密度较高。非结晶部分子缠绕，随机

配置因而密度较低。

因此，结晶部越多的板材比重越大。

化学药液的透过经由非结晶部逐渐扩散到板材内，最终到达有粘合面的板材内侧，即罐体侧。

Figure29是表示氟树脂的比重与盐酸透过量的图表。图表中追加了市售的氟树脂板材的比重的位置。

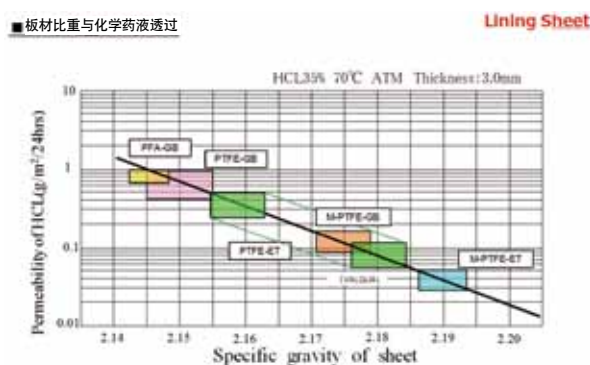


Figure29 与氟树脂的比重相对的透过率

比重越高，化学药液的透过量越少。

PTFE在超过熔点后会发生凝胶化，但能够保持形状，因此可对影响结晶化的冷却条件进行控制。利用这一特点，可以控制结晶度。

通常，考虑到生产效率，市售的PTFE比重在2.14～2.16左右，本公司的衬里用板材为提高耐透性，将比重提升至2.18左右。

PFA是熔融树脂，其成形方法决定了难以对冷却条件进行控制，比重通常在2.14～2.15的范围内。

Figure30为M-PTFE-GB板截面。

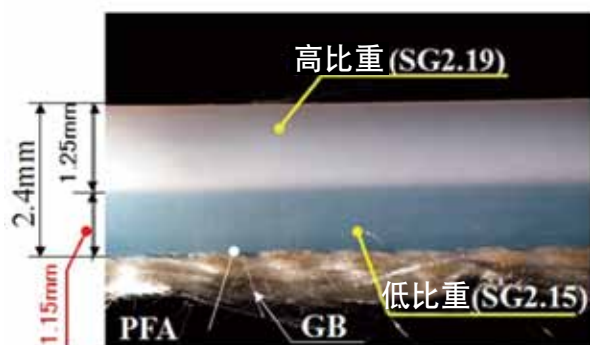


Figure30 M-PTFE-GB板截面

PTFE-GB及M-PTFE-GBGB板在将玻璃布层压到板材上时需要将板材凝胶化。凝胶化后进行冷却时，由于难以去冷，因此比重会降低。

照片的GB侧半透明部分是比重降低了的部分。

Figure31为本公司的PLP板截面。



Figure31 PLP板截面

PLP板为可实现比PTFE更高密度的树脂，无需加热的蚀刻处理不会使板材凝胶化，因此可在不降低比重的前提下使用。

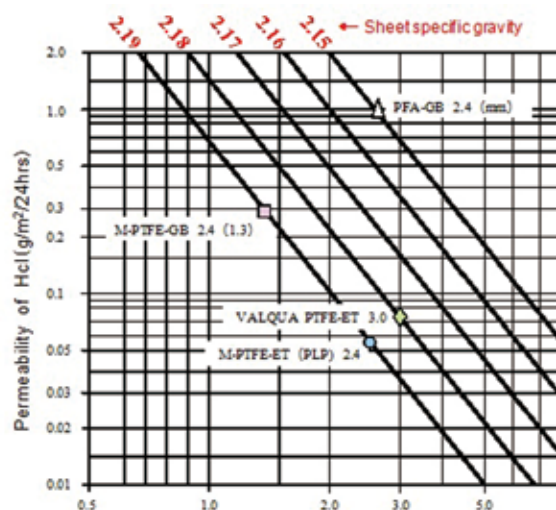


Figure32 氟树脂的比重及透过率

板材的壁厚也是耐透性的重要因素。

3-1-5) 价格

Figure33为衬里用板材的表面平滑性与衬里板材的市场价格的关系、Figure34为与耐透性的关系的模型化表现。

横轴右侧越往右功能越强，纵轴上侧越往上成本越高。

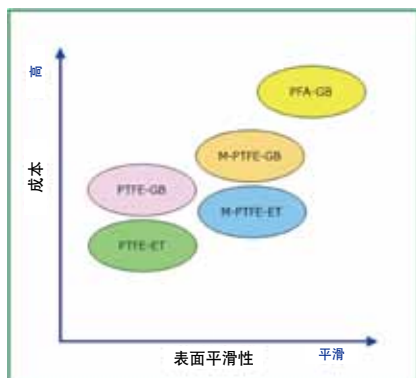


Figure33 表面平滑性：成本

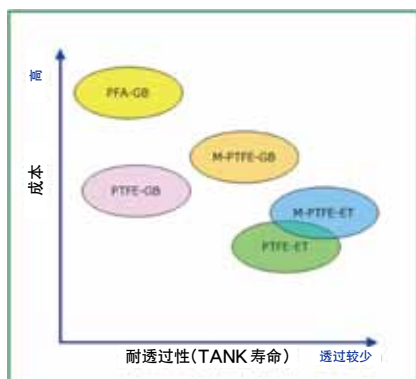


Figure34 耐透过性：成本

氟树脂原料的成本高低为PFA > M-PTFE > PTFE。

粘合性赋予成本的高低为ET > GB。

未加工板材表面平滑性高低为PFA > M-PTFE > PTFE。

这是由于原料特点和加工为板材的方法不同而引起的，但也需要考虑到衬里粘合的方法。

4. 结语

本公司自开始生产衬里槽罐以来，在衬里槽罐发生异常或更新时，会对退货调查委托进行处理。异常的原因虽然多种多样，但大致可分为3种。

分别是“化学药液透过”“预料之外的结构性缺陷”“施工技术不完善”。

本公司不断对各原因进行调查并开展改善，直至今日。

例如，在化学药液透过方面实施了衬里用板材的原料选择和板材的高密度化，在结构性问题方面实施了上文罐体设计方法和喷嘴结构改善等措施，在施工技术方面推进了带焊的自动化。

随着半导体行业的繁荣，化学类工厂成套设备过去要求较少的清洁性受到了重视，我们通过真空粘贴和封头衬里的弯折技术的开发，极力减少了衬里表面的伤痕。

今后，我们将继续开发响应市场需求的新技术。

下一期计划将对目前使用的技术的概要和今后的方向进行介绍。



横山 竹志
功能树脂PM直属

长寿命FEPM TOUGHUORO

1. 前言

四丙氟橡胶(FEPM)是氟橡胶(FKM)的一种,是四氟乙烯(TFE)与丙烯(Pr)的共聚物构成的聚合物,有着与普通的氟橡胶(FKM:偏氟乙烯(VDF)与六氟丙烯(HFP)共聚物)不同的分子结构。

Table1 所示为FEPM与FKM的分子结构。

Table1 FEPM与FKM的分子结构

种类	分子结构
FEPM	$-(CF_2-CF_2)_p-(CH(CH_3)-CH_2)_q-$ TFE Pr
FKM (2元体系)	$-(CF_2-CH_2)_p-(CF_2-CF_2)_q-$ VDF HFP

具有此种分子结构的FEPM拥有FKM所欠缺的优异耐水蒸汽性和耐化学药品性,被用作食品、饮料设备的密封材料和轮胎硫化机用密封材料。但是,随着设备的高性能化和小型化,需要满足设备的清洗等采用的化学药液的高温和高浓度化、以及在更恶劣环境中的使用,对密封材

料的特性要求日益增高。

本次为大家介绍的是,通过运用本公司独有调配设计技术,作为提高了耐热性和耐水蒸气性而开发出的长寿命型FEPM的TOUGHUORO耐水蒸气用SS系列,和低压压缩永久变形用ZS系列。

2. TOUGHUORO的特点

TOUGHUORO是耐热性及耐水蒸气性比本公司现有FEPM的D0970及D0890大幅提升的材料。下面记载了TOUGHUORO的各种特性。

2-1)压缩永久变形特性

压缩永久变形率是密封材料的耐热性指标之一。在相同环境下,压缩永久变形率越小,则作为良好的密封材料可使用的期限越长。

压缩永久变形率的测量及计算方法如Figure1所示。

通常,压缩永久变形率80%被视为密封材料中使用的材料寿命¹⁾,而TOUGHUORO的压缩永久变形率比本公司现有FEPM更为出色,在200℃干热环境下可实现4倍以上的长寿命化。200℃干热环境下的压缩永久变形试验结果如Figure2所示。

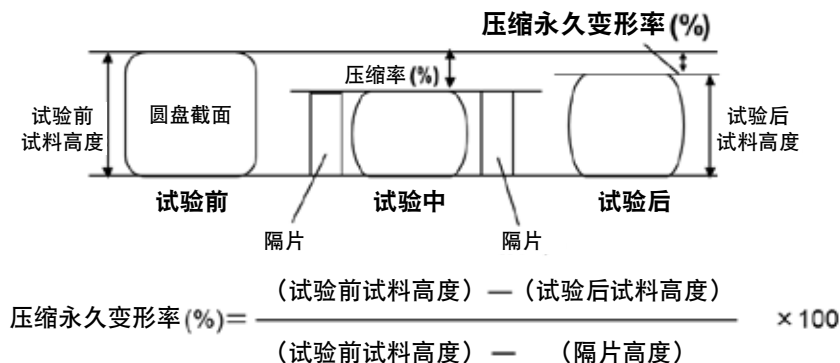


Figure1 压缩永久变形率的测量及计算方法

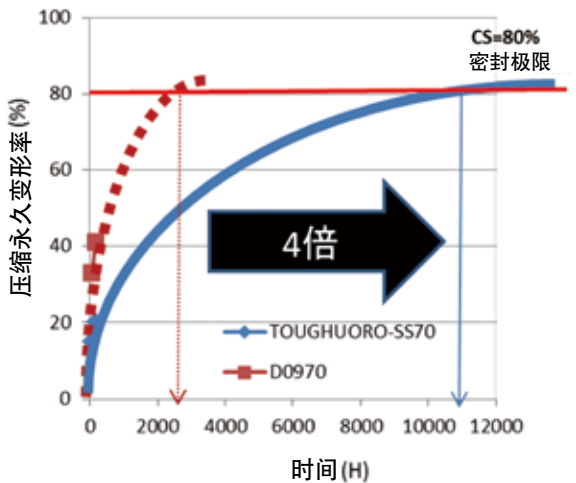


Figure2 200℃ (干热)环境下的压缩永久变形

2-2)耐水蒸气特性

在水蒸气环境下，为抑制被称为水泡的发泡现象，以往采用的是HNBR或EPDM²⁾，但在150℃以上的环境下，由于材料特性，难以使用上述材料。本次开发的TOUGHUORO还提高了机械强度，在230℃蒸汽环境中也未发现水泡痕迹，可作为良好的密封材料使用。各种材料在水蒸气环境下使用的范围如Figure3所示。

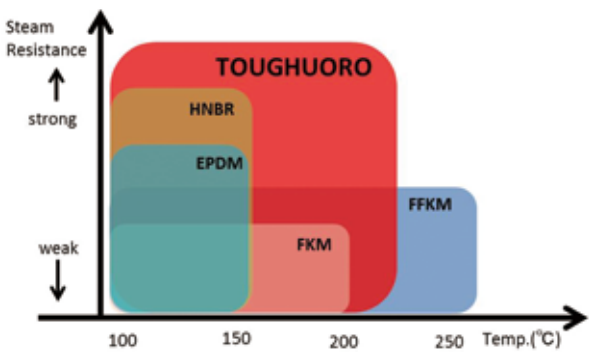


Figure3 各种材料在水蒸气环境下使用的范围

230℃蒸汽中的压缩永久变形试验后试料的截面图如图Figure4所示。

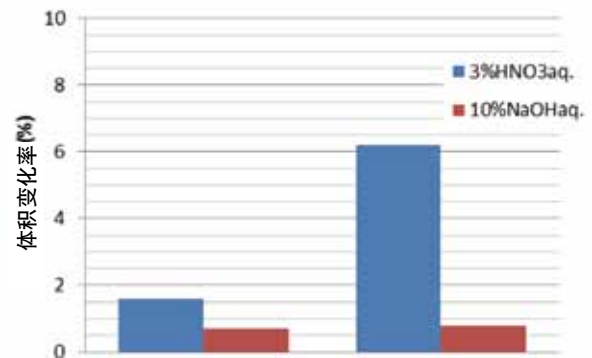


无水泡
TOUGHUORO-SS70
有水泡
D0970

Figure4 230℃蒸汽中压缩永久变形试验后试料的截面图

2-3)耐酸、耐碱性

TOUGHUORO-SS70具有与D0970相同或更高的耐酸、耐碱性。TOUGHUORO的耐热性得到了提高，因此可在更高的温度环境下使用，或在相同环境下实现更长寿命。酸和碱浸渍试验的结果Figure5所示。



试验条件：90℃ × 168Hrs

Figure5 酸和碱浸渍试验后的体积变化率

2-4)耐水-乙二醇系难燃性液压工作液性

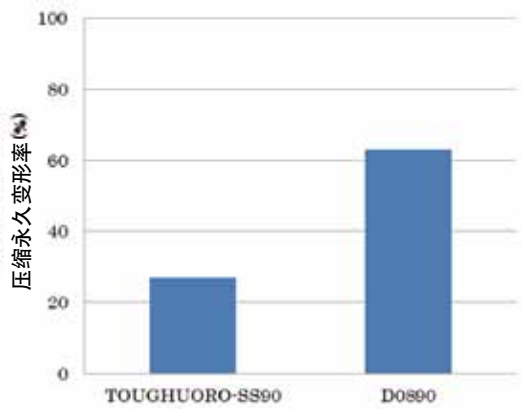
TOUGHUORO-SS90具有与D0890相同或更高的耐水-乙二醇系难燃性液压工作液(MORESCO制造的Hydraulic HAW)性。合格判定通过伸长变化率和体积变化率进行(判定标准：伸长变化率±50%以内、体积变化率+10% 以内为○，略微超出标准的为△，明显超出标准的为×³⁾)。对水-乙二醇系难燃性液压工作液的耐性判定结果如Table2所示。

Table2 对难燃性液压工作液的耐性判定结果

种类	TOUGHUORO-SS90	D0890
伸长变化率	○	○
体积变化率	○	○

备注 试验条件：120℃ × 1000小时

经确认，TOUGHUORO-SS90 的压缩永久变化率更优秀，并可更长久使用。水-乙二醇系难燃性液压工作液试验后的压缩永久变形率如Figure6 所示。



试验条件：120℃ × 1000Hrs

25% 压缩，φ 29×12.5H

Figure6 对难燃性液压工作液的压缩永久变形率的比较

2-5)食品卫生法

TOUGHUORO 是符合厚生劳动省告示第595号所规定标准(析出条件：使用温度超过100℃的)的材料。

2-6)产品形状

TOUGHUORO 可以加工成O形圈(No.4640)、V形填料密封圈(No.4631)、X形圈(No.4641)等各种截面形状和大口径产品。

2-7)机械特性

TOUGHUORO 有耐水蒸汽用SS系列和低压压缩永久变形用ZS系列的2个等级。各级的常态物性及200℃空气/蒸汽中的压缩永久变形率如Table3 所示。

Table3 TOUGHUORO 的材料特性

材料名称	开发产品			
	耐水蒸气用SS系列			低压压缩永久变形用ZS系列
	TOUGHUORO-SS70	TOUGHUORO-SS80	TOUGHUORO-SS90	TOUGHUORO-ZS80
常态物性				
硬度 (ShoreA)	74	84	90	85
拉伸强度 (MPa)	23.1	24.6	22.8	24.3
伸展率 (%)	190	150	110	120
100%模数 (MPa)	8.3	15.2	20.9	19.9
压缩永久变形试验_200℃ × 70小时				
压缩永久变形率 (%) 空气中	16	19	18	14
压缩永久变形率 (%) 蒸汽中	14	20	18	11
压缩永久变形试验_230℃ × 70小时				
压缩永久变形率 (%) 空气中	22	26	27	21
压缩永久变形率 (%) 蒸汽中	20	26	27	19

备注 数值为实测值，并非规格值。

3. TOUGHUORO的用途

TOUGHUORO具有优异的耐热性和耐水蒸气性，因此预计将被应用到下列用途。

1. 挖掘市场
钻头密封(Bit Seal)
2. 制铁市场
旋转接头用密封
3. 轮胎制造市场
轮胎硫化机用密封
4. 食品、饮料市场
食品、饮料设备用密封
5. 核能市场
高温动态用密封

4. 结语

本次介绍的TOUGHUORO是在高温蒸汽环境下显示出最佳特性的材料。今后，密封材料预计需要面对比以往更高的要求，而TOUGHUORO则是可充分满足这些要求的材料。

为了满足广大用户的需求，今后我们将继续努力开发新材料，并对现有材料进行改良。

5. 参考文献

- 1) 川村敏雄：华尔卡评论，Vol26, No.6 (1982)
- 2) 图师浩文：华尔卡技术志，No.31 (2016)
- 3) 铃木宪：华尔卡技术志，No.24 (2013)



图师 浩文
研究开发本部
第1商品开发部

*“TOUGHUORO”是株式会社华尔卡的商标。

低转矩&长寿命旋转接头 LFR JOINT

1. 前言

目前，人口老龄化成为了日本的重大社会问题之一，产品制造现场也面临着非常严峻的事态。特别是年轻技术人员的人数和技术传承追不上现场熟练工老龄化的速度，现场的技术力衰退现象在各个企业的生产现场都已经出现。另外，海外的人口老龄化趋势也呈急加速状态，从全球视角来看，也是非常重要的课题。

在这一背景下，将设备的维护也纳入各工序的运用成本中进行综合性思考的效率化趋势变得活跃。要凭借有限的人数取得最大成果，不仅要削减设备和材料采购费等短期成本，还要从包含维护所需工时和长期可靠性的持久性视角出发来提高效率。这样的课题并不仅仅落在作为工序主力的设备上，密封件类和接头类等所谓的消耗品也应当起到很大的作用。

本文中介绍的旋转接头产品“LFR JOINT”是在听取了此类顾客现场的课题后诞生的“解决方案型产品”。

下面，为大家介绍本公司运用作为密封件制造商而积累的技术，为降低顾客的维护成本、提高各设备的生产效率做出很大贡献的产品。

2. 以往旋转接头的课题

旋转接头是对可进行低速连续旋转及摇动运动的接头的统称。迄今为止，旋转接头被广泛用作作为运输相当于各工序血液的各种流体（机油、空气、水等）的重要部件。

例如，在铸铝工序等的自动生产线中使用的机器人的

软管部，旋转接头被用作接头，以消除因机器人动作的复杂性和高运行频率导致的软管扭曲并减轻负荷。



Figure1 LFR JOINT的切割模型图

然而，通常情况下旋转接头旋转时的阻力较高，难以有效减轻软管的负荷，从而引起软管提前破裂，结果导致生产效率大幅降低。

另外，在制铁现场等周边环境非常恶劣的条件（高温、高压流体、粉尘等）下使用时，旋转接头中安装的密封件提前磨损，导致生产线的维护周期缩短的情况也不在少数。

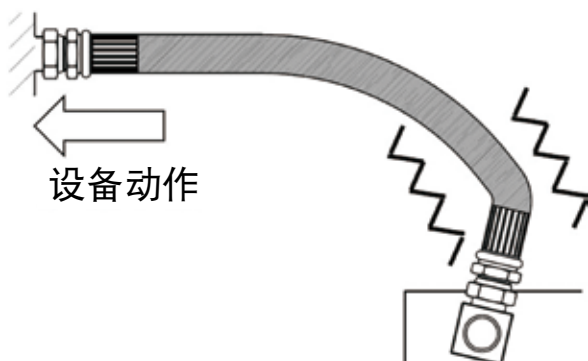


Figure2 软管提前破裂示例

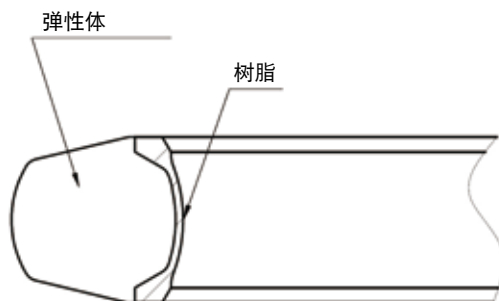


Figure3 LFR SEAL的截面图

3. 课题的原因

上述旋转接头的2大课题①高旋转阻力、②短寿命在很大程度上受所使用密封材料的影响。

过去，旋转接头使用主要采用橡胶材料的O形圈作为密封件。在低速旋转或摇动运动时，该O形圈在旋转轴上滑动以填补缝隙，防止流体泄漏。

但是，根据橡胶材料的特性，在旋转轴上滑动时的摩擦阻力会变得非常高。另外，当流体压力为高压时，这一趋势更加显著。因此，这一因素导致旋转接头的旋转阻力非常高，妨碍了旋转和摇动运动等原本的功能。

另外，橡胶材料通常都不是耐磨损的材料。因此，特别是在高温、高压下，润滑条件较差时O形圈会剧烈磨损，从而导致旋转接头自身的使用寿命缩短。

4.通过“LFR JOINT”解决课题

LFR JOINT可以解决常年困扰旋转接头的课题，是兼顾低扭矩和长寿命的旋转接头。

除了密封机构外，以密封槽为代表的周边设计也采取了密封件生产商所独有的各种独创设计，本文中将对该密封机构进行阐述。

5.“LFR JOINT”的密封机构

为解决旋转接头的课题，LFR JOINT1采用了我们独创设计的旋转用密封材料LFR SEAL。

Figure3所示为其截面图。

5-1)低扭矩化

要使旋转接头低扭矩化，需要降低密封材料的滑动阻力，本公司认为密封材料的滑动阻力与摩擦系数、与对象面(旋转轴)的接触面积、压紧力有关，通过逐一采取措施，形成如Figure3所示的设计。

I. 摩擦系数

在与对象面(旋转轴)接触的密封内面，使摩擦系数较低的树脂与弹性体同时成形，实现复合化。

II. 接触面积

流体压力发挥作用时，通过非压力侧的锥面与槽侧面接触而产生的倾斜，可控制与旋转轴接触的圆弧状密封面的接触面积。由此，可抑制接触面积随压力上升而增加。如Figure4所示。

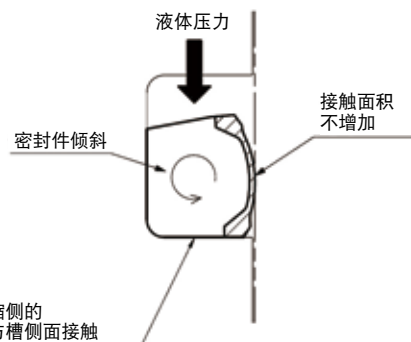


Figure 4 接触面积的控制

III. 压紧力

通过缩小作为基础部分的弹性体的外径大小，将作为密封面的内面与外面设为圆弧状，以降低压紧力。

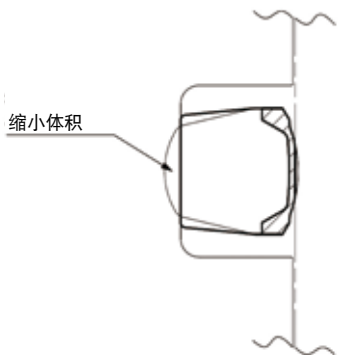


Figure5 弹性体部的外径形状

5-2)长寿命化

旋转接头的寿命与来自密封材料的泄漏紧密相关，因此，提高密封材料的耐久性可说是延长旋转接头使用寿命的有效手段。

本密封件在密封件滑动面使用了树脂，耐磨损性优于以橡胶材料面进行滑动的O形圈。此外，如5-1项所示地实施了低扭矩化的处理能够减轻密封件滑动时产生的摩擦热，从而抑制密封材料的磨损和老化。

6. “LFR JOINT” 的效果

6-1)延长软管材料等附件的寿命

LFR JOINT与使用O形圈的普通旋转接头的旋转扭矩的比较如Figure6所示。即使流体压力增加，LFR JOINT的扭矩上升也非常小。

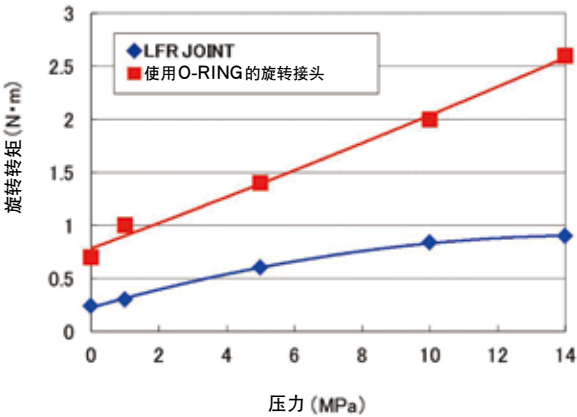


Figure6 旋转扭矩的比较

由此，可大幅降低旋转给软管材料等附件带来的负荷。
在市场成绩方面，可切实延长软管材料的耐用期限，有的产品最大可产生10倍以上延长效果。

6-2)延长接头寿命

LFR JOINT和使用O形圈的旋转接头的寿命比较如Figure 7所示，评价条件如Table 1所示。

与本公司产品相比，LFR JOINT的寿命延长了约2倍以上，可削减接头的维护成本。

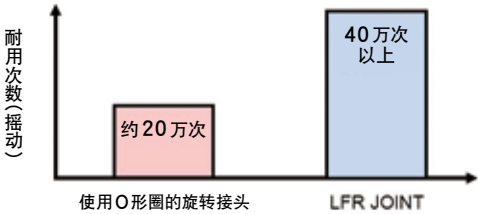


Figure7 寿命比较

Table1 寿命比较的试验条件

流体	空气
压力	0.7 MPa
温度	120℃
摆动角度	90度
旋转轴径	φ42

另外，Figure 8所示为寿命比较评价前后的密封材料截面的比较。细线为评价前的截面形状，实线为评价后的截面形状。

现有旋转接头的O形圈在约20万次的摆动后产生较大磨损，这一磨损导致了泄漏。另一方面，LFR JOINT中安装的LFR SEAL在约40万次摆动后也未出现较大磨损，仍可继续使用。

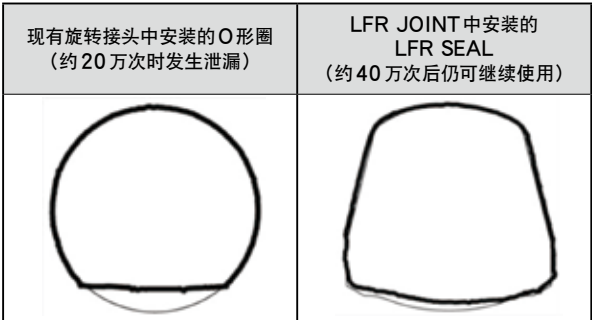


Figure8 寿命评价前后的密封件截面比较

7. 结语

本公司正在努力向全方位提供密封材料产品乃至周边服务的“H&S企业”转变，本产品作为其中的一环，是本公司首个模块产品。

今后，除了开发市场需求的产品，我们还将与顾客一起挖掘 Unmet Needs，将独创技术与服务相结合，为提供真正的解决方案而努力。



西 亮辅
研究开发本部
第1 商品开发部

8. 参考文献

- 1) 永野 晃广: 华尔卡技术志. No.30, 9-13 (2016)

*“LFR JOINT”、“LFR SEAL”是株式会社华尔卡在日本的注册商标。

技术志的最近的往期杂志

No.35 Summer 2018

● 寄 语

常务执行董事 研究开发本部长 青木 睦郎

● 客户解决方案

符合国际公约(STCW 公约)的海员技术培训用密封培训介绍

H&S事业本部 山本 隆启

● 客户解决方案《投稿》

使用低压复合水流清洗机(空穴清洗)进行工厂设备清洗的可能性

BLUE ENGINEERING株式会社 北川 将

● 技 术 论 文 DYNAMICBELLOWS™(动态波纹管)的设计方针和设计问题及其对策措施

衬里槽罐(基础篇)

营业本部 技术解决方案组 伊奈 正文

功能树脂PM直属 菊川 智志

研究开发本部 第2商品开发部 岩田 敦利

研究开发本部 第1商品开发部 滨出 真人

● 产 品 介 绍

耐火陶瓷纤维替代密封材料

高温用板材密封垫片 VALQUA HEAT RESIST SHEET™ No. HRS

研究开发本部 第1商品开发部 高桥 聪美

● 商号变更通知

No.34 Winter 2018

No.36

【客户解决方案特辑】

● 寄 语

代表取締役社长 兼 CEO 泷泽 利一

● 华尔卡技术志于冬季号出版之际

常务执行董事 研究开发本部长 青木 睦郎

● 说 明 ASME PVP2016 获奖论文说明

H&S事业本部 村松 晃

● 技 术 论 文 承受配管弯曲力矩的带PTFE密封垫片的管法兰连接件的力学特性评价

研究开发本部 第1商品开发部 佐藤 广嗣

广岛大学 泽 俊行

三菱化学株式会社 森本 吏一

沼津工业高等专科学校 小林 隆志

研究开发本部 第1商品开发部 元野 雄太

研究开发本部 第1商品开发部 鈴木 宪

中部电力株式会社 松田 真一

中部电力株式会社 杉村 卓哉

改良 EPDM 材料的高温环境特性的评价

密封垫片的选择指南以及选择错误时及其对策

营业本部 技术解决方案小组 松下 明日香

●投稿	进行大口径法兰的螺栓紧固时的工具选择和施工注意事项	扭矩系统株式会社 代表取締役	北原 真一
●事业简介	H&S演示车的介绍	H&S事业本部	野野垣 肇
●产品介绍	改良版密封膏	研究开发本部 第1商品开发部	滨出 真人
	多用途化学用盘根	研究开发本部 第1商品开发部	须川 修司
		研究开发本部 第1商品开发部	滨出 真人

No.33 Summer 2017

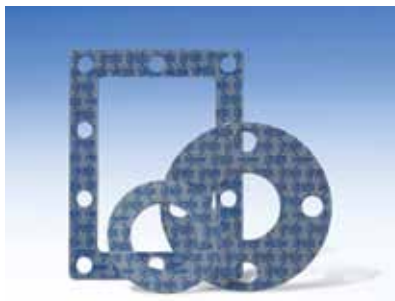
【客户解决方案特辑】

●寄语		常务执行董事 研究开发本部长	青木 睦郎
●技术论文	密封垫片不符合使用条件的情况及其解决对策	海外统括本部 海外技术解决方案小组	江西 俊彦
	带金属扁平型密封垫片的管法兰连接体的基础密封特性评估	研究开发本部 开发部	佐藤 广嗣
		新兴PLANTECH株式会社	近藤 康治
		广岛大学名誉教授	泽 俊行
		研究开发本部	高桥 聪美
	安装密封垫片时的问题及其解决对策	营业本部 技术解决方案小组	秋山 聪
	密封快速搜索(SQS)的介绍和使用方法(弹性体篇)	研究开发本部 开发部	上田 彰
	体验型密封施工研修中心 密封培训中心	H&S事业本部	村松 晃
●投稿	工厂设备中的法兰连接体的紧固管理	三菱化学株式会社 水岛事业所 设备技术部 机械2组	森本 吏一

关爱地球、人类的产品制造



板材密封垫片



UNIVERSALHYPER® (UF300)

是可整合化学药液生产线中的密封垫片的板材密封垫片。

在高温、长期稳定性之外，提高了耐化学品性，大幅拓宽了适用流体范围。

可在强酸、强碱等任意生产线中使用。



BLACKHYPER™ (GF300)

凭借大量实际成绩支撑的可靠性和高性价比而深受好评的最畅销的板材密封垫片。

■UF300・GF300共通

●使用温度范围：-200～300℃ ●最大压力：3.5MPa

※请参阅产品目录、技术资料的注意事项。

株式会社华尔卡

邮编 141-6024 东京都品川区大崎 2-1-1 ThinkPark Tower 24F

联系窗口：总务人事部

Email: sr@valqua.co.jp

TEL: (81) 3-5434-7370

FAX: (81) 3-5436-0560

VALQUA's Sales Network

■JAPAN

VALQUA, LTD.

【Main Number】 TEL: (81) 3-5434-7370 FAX: (81) 3-5436-0560

【Sales Group】 TEL: (81) 3-5434-7379 FAX: (81) 3-5436-0571

VALQUA SES CO., LTD.

TEL: (81) 436-20-8511 FAX: (81) 436-20-8515

VALQUA TECHNO, LTD.

TEL: (81) 3-5434-7520 FAX: (81) 3-5435-0264

GARLOCK VALQUA JAPAN, INC.

TEL: (81) 3-5510-2177 FAX: (81) 3-3591-5377

■CHINA

VALQUA(SHANGHAI) TRADING CO., LTD.

TEL: (86) 21-5308-2468 FAX: (86) 21-5308-2478

SHANGHAI VALQUA FLUOROCARBON PRODUCTS CO., LTD.

【Head Office】 TEL: (86) 21-5774-1130 FAX: (86) 21-5774-1244

【Jingansi Office】 TEL: (86) 21-3253-5588 FAX: (86) 21-3253-5568

■TAIWAN

TAIWAN VALQUA ENGINEERING INTERNATIONAL, LTD.

【Head Office】 TEL: (886) 7-556-6644 FAX: (886) 7-556-9907

【Hsinchu Office】 TEL: (886) 3-572-0467 FAX: (886) 3-573-7232

【Luzhu Office】 TEL: (886) 7-696-2400 FAX: (886) 7-696-7100

■KOREA

VALQUA KOREA CO., LTD.

【Head Office】 TEL: (82) 2-786-6718 FAX: (82) 2-786-6719

【Ulsan Office】 TEL: (82) 52-227-6717 FAX: (82) 52-227-6719

■SINGAPORE

VALQUA INDUSTRIES SINGAPORE PTE, LTD.

TEL: (65) 6352-2650 FAX: (65) 6352-2653

VALQUA TECHNOLOGY NEWS

No.36 Winter 2019



VALQUA, LTD.

1-1, Osaki, 2-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 141-6024, Japan

TEL: 81-3-5434-7370 FAX: 81-3-5436-0560

<http://www.valqua.co.jp>

■THAILAND

VALQUA INDUSTRIES(THAILAND), LTD.

【Bangpoo Head Quarters】

TEL: (66) 2-324-0400 FAX: (66) 2-324-0787

【Rayong Branch】 TEL: (66) 38-026-136 FAX: (66) 38-026-137

■USA

VALQUA AMERICA, INC.

TEL: (1) 408-986-1425 FAX: (1) 408-986-1426

VALQUA NGC, INC.

TEL: (1) 713-691-1193 FAX: (1) 713-691-4407

■VIETNAM

VALQUA VIETNAM CO., LTD.

【Head Office】 TEL: (84) 220-357-0075 FAX: (84) 220-357-0079

【Hanoi Branch】 TEL: (84) 24-3222-2213 FAX: (84) 24-3222-2216

*The VALQUA registered trademark stands for VALUE and QUALITY.

*The contents of this journal also appear on our home page. *Unauthorized reprinting/reproduction is prohibited.