

华尔卡的技术与顾客价值的变迁



作为以技术为先的华尔卡，本公司自1927年（昭和2年）创业以来，始终致力于密封产品及其相关材料的研究开发和普及工作。

从明治时代以来，日本的高级密封产品均依赖进口，本公司为实现其国产化付出了努力，在应对液压系统液压油的矿物油转换的合成橡胶国产化方面，也努力确立橡胶配方技术，从战前开始就一贯为日本国内的工业基础提供支持。

战后，我们很快得知了氟树脂的存在，并注意到其在民生用途方面的耐化学品性之强，以氟树脂成形技术的国产化为目标，在1951年进口了原料颗粒，开始了加工研究和试制。这方面的技术全都是华尔卡所独有，同时也是日本的首创。就这样，在1950年代，氟树脂产品被化学工业所广泛利用，为之后日本的半导体工业的成长提供了支持，对于这一点，我们无比自豪。

华尔卡的产品是构成机械或零件的机械元素或素材，使用领域在战后得到了急速的扩展，但人们能实际看到其应用情形的机会非常有限。但是，为了日本工业的发展，需要让广大社会了解这项技术的贡献，提高相关各方的关注。

于是，1957（昭和32年）时，为纪念创业30周年，华尔卡评论创刊。

华尔卡评论以推广普及本公司技术、为社会发展做贡献为目的，收到了由以各方顾客为首的广大研究机构的诸位专家执笔的投稿文章，致力于密封技术、氟树脂、弹性体等各种材料的介绍。这其中，以带动战后工业复兴的石油化学工业为主体的成套设施方面的技术人员对华尔卡评论报以极大的关注，给予了高度的好评。

之后，随着各种工业的发展，多种多样的材料先后问世，适用于工业用途的各种产品被一一开发出来。进入1970年代后，膨胀石墨出现了。本公司曾将其作为填料密封圈用的材料，之后，作为缠绕密封垫片用填料带，与氟树脂填料带一同被广泛应用。此外，在石油化学工业之后，半导体工业也发展了起来，可承受高温烘烤的氟橡胶O形圈开始为半导体制造工艺所采用。

在上述材料高级化的同时，橡胶的配方技术则趋于常规化，垫片等密封件开始确立基本的构成。从某种意义上来说，这种状况可以认为是技术已经趋于成熟。

因此，要使其能够继续得到进一步的发展，需要加速向增长性市场展开，新技术理念的获取也变得重要。

在半导体制造工艺方面，随着装置的高性能化，排放气体少、且能承受各种等离子的氟橡胶受到欢迎，华尔卡于1998年（平成10年）开发出了ARMOR CRYSTAL™。

同时，这一时期就像石棉管制所代表的那样，正值环境管制应对材料技术开始发生重大变化的时期。

因此，为了进一步丰富半导体市场、各种机器的发展等新领域及新市场相关技术信息，及社会环境变化所催生的技术应对信息，转变成为供更多顾客用作参考的技术性刊物，从2002年度（平成14年度）春季开始，新的季刊华尔卡技术新闻正式刊行，取代了以往的华尔卡评论。

对于上述技术变化，本刊不再局限于过往那样的材料技术介绍，而是将应对新技术动向的新功能的评价技术视为不可或缺的内容。这也就是说，对在新领域及新市场中使用所需的可靠性保障技术提出了要求。

尤其是对于像石棉管制那样对主要构成材料的根本性替换的变化。无法以传统技术为前提，根据使用成绩来向社会提供产品。而是需要让全无使用成绩可言的产品得到全社会在技术方面的认知。也就是说，需要可以取代使用成绩的可靠性评价技术。这一评价技术必须明确产品真正需要的功能，对该功能进行评价以确保长期可靠性。

华尔卡于2006年（平成18年）推出了通用无石棉板GF300，但作为其开发基础的背景，则是长年积累的氟树脂材料加工技术，和在核能及航空航天等尖端技术领域开发出的可靠性评价技术。

此外，近年来，除了上述产品开发、功能评估外，向安全安心社会的转变也在急速推进之中。针对这一状况，仅仅只是向社会提供高可靠性的产品并不足够。还需要向广大顾客就产品的选择和使用方法，提出更技术性且明确的见解。为此，不能单单依靠传统的技术、技能传承，而需要确立更加系统化的培训体系，实现本公司核心技术的进一步普及和运用。在长期可靠性评价方面，今后同样需要扩大其对象领域，运用更积极的分析手法。

因此，作为今后增长的驱动力，华尔卡决定以H&S企业作为自己的目标。H&S的H是代表硬件的H，是本公司现有的产品、商品，S指的是包括软件在内的服务，也代表密封工程技术。

向H&S企业转变的基本方针以顾客价值的最大化为目标，不单单依赖硬件方面的技术优势，而是从产品周边开始、将业务扩展到其生命周期的方方面面，向更全面的密封工程技术企业转变。

作为转变的事例之一的，是于2014年（平成26年）在奈良事业所和町田的MRT中心开设的密封培训中心（STC）。

法兰连接体的密封垫片选择和螺栓紧固方面的问题近年来仍未出现好转迹象。此外，人员更新换代过程中的熟练技术人员、熟练技能人员的技术技能传承问题也开始凸显。各生产厂家都在推进这方面的应对工作，但其教育和培训都是在各企业内部单独进行，存在诸多问题。

要解决上述问题，需要营造可最大限度发挥密封产品性能的技术环境，实施涵盖施工作业人员到施工管理人员、监督人员的系统性教育以培养人才，通过包含实际技术培训的教学，维持和提高适当的技术技能水平。

上述设想在欧美国家已经成为了一种常识。密封垫片连接相关标准方面，欧洲制定了EN1591-4标准，美国则制定了ASME PCC-1标准，并启动了基于上述标准的连接作业技术认证制度。

本公司的密封培训中心（STC）是同样依据上述标准，并融入了公司内外的新技术见解的体验型密封施工教育中心。

我们的上述举措受到了广大用户的瞩目，赢得了工厂业主和工程相关企业等的高度好评。

也就是说，本公司今后的使命不仅仅局限于开发新产品以供应市场，而是要提供在使用方面的各种解决方案。

同时，华尔卡技术新闻今后仍将在发布满足广大顾客需求的技术信息方面倾注心力。

资深专家 西田 隆仁

【投稿】日本华尔卡工业创业90周年特辑寄语



祝贺创业90周年特辑发行。1993年，在当时所工作的山梨大学，我与希望了解欧美的密封垫片和密封技术动向而来访的华尔卡有过接触，尽管名称有所变化，一直获得赠阅华尔卡技术新闻(VTN)。之后，我还多次得到向VTN投稿的机会。当时的美国、加拿大、英国和法国都在推进密封垫片的无石棉化，加之在工作流体为气体时会产生微量泄漏，研究开发人员着力引进新的密封垫片系数和收集数据，急于确立采用该数据的泄漏量基准的法兰连接体设计方法。因为我从1989年开始在美国机械学会(ASME)压力容器配管部门(PVP)的会议上每年发表论文，并且同时还参加了美国压力容器研究委员会(Pressure Vessel Research Council)中的螺栓法兰连接体委员会(Bolted Flange Connection Committee简称BFC)，因此得以了解世界的研究状况和发展方向。BFC的委员长是K. H. Hsu博士，我将他写给我的摘要(汇总在OHP用纸上)直接交给了相关工作人员。还记得在多次的信息交流之后，1994年的PVP会议上，我就该工作人员的提问事项与BFC的连接体设计研究的核心人物Jim Payne先生进行了交流，在得到他的答复之后，我直接将其原话告知了该工作人员。直到2008年的无石棉化为止，当时日本国内石棉密封垫片正处在全盛期，具体的研究开发状况我不了解，但多半是一种闭关锁国的状态，与欧美等国的差异显而易见。但是，我感到华尔卡以我交给相关工作人员的美国新技术相关信息为基础开展了学习，为日本在这个领域的新发展做好了准备。

1997年时，我受命出任日本高压力技术协会的法兰密封垫片委员会委员长，增加了与密封垫片及连接体的密封性能相关研究接触的机会。1996、1998及2000年的PVP会议上，华尔卡的技术人员参与了论文发表环节，对于美国的Jim Payne先生，也在密封垫片技术方面寄予了厚望。在山梨大学及广岛大学任职期间，我参与了多项共同研究，最近就PTFE类密封垫片的连接体的力学特性分析和密封性能评价及大口径法兰连接体的应力分析与密封性能等在PVP会议上发表了论文，受到了美国的国际石油资本的研究人员的瞩目。

现在主流的欧美研究潮流是 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{Pa m}^3/\text{s}$ 级的微小泄漏量的检测技术的开发与环境问题，和这一级别下的法兰连接体设计施工方法的确立。此外，高温及多种复合外力作用下的连接体设计与密封垫片的开发及高效且高可靠性的多根螺栓紧固方法、大口径法兰连接体的防漏设计施工等，需要的不仅仅是密封垫片，而是要对展开连接体整体的研究并确立技术。也就是说，需要确立比泄漏量标准更高的可靠的螺栓紧固方法以及连接体设计和施工方法。对于华尔卡在世界最先进密封技术的开发发展方面的不断贡献，我充满了期待。

广岛大学名誉教授 泽 俊行

【投稿】不断发展的垫片与密封技术

衷心祝贺日本华尔卡工业株式会社迎来创业90周年大庆。对于在90年的漫长历程中，通过密封产品的开发、制造为工业界提供支持的各有关方面的努力，从心底表示尊敬。公司的悠久历史，简直就是一部讲述以密封垫片为中心的密封产品对工业界的重要性的故事。



我开始进行密封垫片的研究是在距今约20年前，我前往沼津高专赴任的时候。当时，以北美的压力容器研究委员会(Pressure Vessels Research Council)为中心，正在推进密封垫片的微量泄漏的研究及标准化。从那时起，我得到了现任华尔卡资深专家西田先生、执行董事朝比奈先生等众多人士的支持，开始了密封垫片泄漏特性相关的共同研究。在研究进行过程中，我们发现密封垫片的泄漏量与密封垫片的压缩量之间的关系极为密切。我们知道密封垫片在压缩时和解除负荷时，即使垫片面压相同泄漏量也会有所差异，而发现密封垫片的压缩量与泄漏量的相关性，是在密封垫片的泄漏特性评价方面取得的重大成果，这一成果在国内外的学术会议上发表的同时，还刊登在了2005年的华尔卡技术新闻上。按密封垫片的压缩量对应泄漏量进行归纳整理的方法还在2008年被JIS B 2490“管法兰用密封垫片的密封特性试验方法”所采用。共同研究的成果被反映到了标准之中，这多少也是我们对社会的一点贡献吧。

密封垫片中使用石棉纤维的情况已经成为了过去，最近以耐热性优异的氟树脂为主要成分的密封垫片被广泛使用。该密封垫片的密封性优秀，与压缩板密封垫片相比，其泄漏量极低。可以大幅减少从化学成套设备等工厂的配管类法兰接头释放到环境中的气体，为环保作出贡献。在法兰接头设计方法方面，在1940年前后开发出的基于密封垫片系数(m, y)的设计方法尽管饱受争议，但仍是目前的主流，而现在也迎来了向适当考虑到密封垫片泄漏特性的更合理的法兰设计方法转变的时期。

希望华尔卡在向着下一个值得纪念的创立100周年迈进，在开展更高性能的密封垫片开发工作的同时，作为提供法兰接头相关综合性密封技术的企业，取得更辉煌的成就。

沼津工业高等专科学校 机械工程学科教授 小林 隆志

【投稿】祝贺华尔卡创业90周年



在创刊于昭和32年的技术宣传刊物《华尔卡评论》中，就像企业名称华尔卡即VALUE and QUALITY(价值与品质)所昭示的那样，作为技术的华尔卡，华尔卡集团领先于其他企业，推出了各种密封产品。

下面，我简略记述了其所开发的产品。

我进入公司的昭和33年正值日本克服战后的艰难，迎来万象更新的时期。从煤炭时代向石油时代大幅转变也是在这一时期，各地涌现出一片片工业区，生产出各种石油衍生物。这也对密封产品的更新提出了要求。

◎氟树脂产品

美国开发出的氟树脂在耐热性、耐化学品性有着前所未有的特性，注意到这一特性的华尔卡为将其添加到自己的产品系列中，于昭和31年派遣员工前往美国学习加工技术，在日本首先于厚木工厂开始加工，并开始了耐化学品用氟树脂衬里管、衬里容器等的开发、销售。此外，还开始了发挥其电气特性，尤其是高频特性的电气零件的生产销售。

但是，氟树脂毕竟是树脂，难以直接作为密封产品使用，因此我们将其与橡胶、毛毡、金属组合，对氟树脂的形状进行设计，作为密封产品进行制作、销售(包覆密封垫片等)。此外，华尔卡的氟树脂产品开发还获得了杜邦公司颁发的Plunkett奖，我也曾2次获奖。

◎橡胶产品的丰富完善

另一方面，对于橡胶这一密封材料，我们也不断开发出新的橡胶材料并推出市场。我们针对所开发的橡胶及橡胶添加剂举办了说明会，并被获准参加由各大学教授讲师举办的讲座，学习到了橡胶的技术。为了对上述各种橡胶材料是否适合密封材料的使用条件进行彻底的调查，我们对各种橡胶原料进行了混合、硫化并浸泡在各种化学试剂中，以调查其膨胀率、物理特性的变化，编制了使用可否的一览表。

◎石棉替代产品

从战前以来，石棉就被用作主流的密封材料。石棉具有耐热性、耐化学品性和廉价等优势，不仅作为多种密封材料，还被用作建筑材料，但研究发现其会对呼吸系统造成影响，并开始被禁止使用，在密封产品行业也开始了禁止使用的举措，因此无石棉产品的开发需求变得迫切。在本公司的产品中，压缩板、VALQUA TIGHT(缠绕密封垫片)、填料密封圈等始终找不到适合的替代材料，开发部门费尽了心思，找到了碳纤维、膨胀石墨、芳纶纤维等替代材料，不断进行开发，终于完善了产品线。

◎核能相关产品

昭和45年，作为当时的能源政策之一，日本各地开建核电站，密封材料方面也先后进行了产品开发。金属波纹管、Flector 挠性接头、橡胶靴、膨胀石墨产品、充气密封等先后被开发出来，并被运用到其他领域，此外，Flector 挠性接头还常被用于脱硫、脱硝装置的管道。

◎汽车工业

我们从创业之初就进行工业用制动器的生产，之后本公司顺应汽车技术的变化，领先于时代开发了汽车用离合器衬片、电器件封口用橡胶产品(线束用密封件)、油封等华尔卡自有的产品。

◎机械密封

在工业用机械密封方面，我们也作为国产的先驱，进行了开发和生产。我们还在汽车空调用机械密封相关的密封件、及作为其基础的密封材料的开发方面投入力量，推出了取代填料密封圈的具有高密封性能的密封材料。

◎阀门生产

过去我们曾生产过含有密封圈的柱塞阀，在氟树脂的生产开始后，我们以化学工业等为对象，进行了以氟树脂为密封材料的球阀的开发并开始生产，为广大化学企业所采用。此外，还进行了腐蚀性强的化学试剂用的各种氟树脂衬里阀门的开发。并且，我们还进行了可高速开闭、使用寿命优异的气缸形式的独创性阀门的开发，在制铁相关设备和气体发生装置中被广泛采用。

◎耐腐蚀材料的开发

密封材料经常与金属接触，接触面的金属腐蚀问题在各地都有发生，催生出耐腐蚀性密封材料的需求。我们得到大学等方面的协助，进行了耐腐蚀性密封垫片、耐腐蚀性密封圈的开发，领先于其他企业特定了密封材料中含有的腐蚀性成分，和配比量并对密封性能进行优化，对之后的耐腐蚀密封材料的形态产生了重大影响。

◎建筑机械用密封件的开发

随着建设大潮的到来，建筑机械不断涌现。其绝大部分都采用液压驱动，因此需要使用液压用密封件。此类密封件以往使用的是通过帆布等对橡胶进行补强的夹布密封圈，随着耐高压的聚氨酯的开发问世，聚氨酯U型密封圈成为了主流。聚氨酯具有极为强韧的机械强度和耐磨损性，是最适合高压液压密封圈的材料，作为夹布密封圈的替代产品，我们进行了聚氨酯密封圈的功能试验，并开始生产销售。这一时期，我们设立了制造聚氨酯原料的日本Elastollan株式会社，开始制造聚氨酯原料。聚氨酯具有橡胶的弹性，能够进行注射、挤压成形，作为运动鞋、机械零件等的材料被广泛应用于各种用途。在昭和30年代进行密封件开发时，在新的成套设备方面毫无经验的我们在密封材料的开发阶段需要进行功能试验和实践验证。但是，又不可能建造一个成套设备来进行试验，因此是在试验设备上进行基础试验，最终需要在实际的成套设备上进行确认试验。正是获得了当时的客户在最终试验方面的协助，我们才能得到有效的数据，确立了相关密封产品，对于广大客户一直以来的厚爱，在此表示衷心的感谢。

以上是我关于昭和30年代开始的密封产品及其开发的介绍。

日本华尔卡工业株式会社 前董事技术本部长 岩根 孝夫

【投稿】华尔卡技术新闻90周年特辑刊行寄语



日本华尔卡工业株式会社技术开发部门的各位大家好，祝贺“技术新闻90周年特辑号”的发行。

作为曾经在华尔卡的技术开发部门中受到关照的一员，由衷地感到高兴。

我任职于作为华尔卡密封事业产品素材之一而引进的氟树脂相关的研究开发部门。基础研究虽然也有，但在应用研究和用途开发方面花费的时间更多。

在这里，我想就用途开发过程中的故事说几句。

氟树脂因其卓越的特性而被半导体制造装置、化学成套设备、汽车相关、电子零件等各种工业领域所采用，在作为新能源之一的地热发电场所的探测方面，也采用了日本国产氟树脂电线(华尔氟龙电线)。

地热发电开发调查需要使用地下探测电缆。因为是火山地带，探测需要承受地下的高温，因此理所当然要求具备出色的耐热性，当时没有比四氟化乙烯树脂电线(电缆)更好的产品了。

但是，这种树脂具有卓越性能的同时，在加工性方面存在难点，要确保数千米的长度，需要花费相当的功夫，在一番辛苦之后，我们通过缠胶带电线解决了问题。

提着前端带有各种传感器的电缆，我与探测人员一起驾车穿行于火山带的山路之中，顺利步入发电预定地区，与地质调查所的人员一起测量地下数千米处的高温热水，弄得满身是泥。这是很久以前(约40年前?)的事情。

另外，我还曾参与过构筑起现代IT社会基础的大型半导体制造商生产线上的耐化学品加热器等零件开发和故障应对。在制铁现场检查耐化学品氟树脂衬里储罐、氟树脂衬里配管，在被强酸强碱环绕而冷汗直流的恶劣现场中的开发体验，都是宝贵的回忆。

通过众多技术开发团队推进各种用途开发，我们四次获得氟树脂的原创制造商——美国杜邦公司颁发的用于犒赏优秀用途开发的Plunkett奖，证明了以优秀的研究开发成员为代表，各位相关人士不懈努力的成果，以及高水平的技术力量，这令我感到十分欣喜。

今年是公司90周年华诞，衷心祝愿当更辉煌的100周年来临之际，作为公司发展原动力的技术开发部门能取得更大的飞跃。

日本华尔卡工业株式会社 前常务董事(技术、事业开发担当) 森 嘉昭

【投稿】CTO时代的回忆

2003年11月，我被聘用为产品商品开发担当执行董事以来，包括近2年时间担任技术顾问期间在内，已经为华尔卡工作达15年以上。其间，从2010年4月开始，我担任CTO职务有4年半时间。我的前任，五十岚先生具有从基础领域到应用领域的广泛化学知识和见解，对于重视实用性技术的我来说，是在出任CTO期间也能给我宝贵建议的良师益友。体验了担任CTO时的紧张感之后，五十岚先生任职CTO期间的潇洒风度令我敬佩不已。



但是。给我印象最深刻的是，在入职华尔卡的当天到奈良研究所出差一事。受社长的指示，在踏入公司的第一天，在当时城谷常务的安排下，以奈良的研究所全体成员为对象，进行所谓的方针阐述。我记得当时重点强调了为企业收益做出贡献的R&D的必要性。近年来，企业的R&D应该为企业收益做贡献的想法已经成为了理所当然的事，但在当时，不仅仅是华尔卡，在企业的R&D中也应像公共研究机构一样开展中长期R&D的想法根深蒂固，因此强调为企业收益做贡献的R&D太过于超前，当时的研究人员很难接受。另外，这次出差是当日来回，需要在京都换乘近铁线，前往位于田园地带的研究所。后来，在整个CTO时代，我还曾多次来到这里。即便如此，距离仍是相当遥远(去上海的话，在时间上来说还比较快)。遗憾的是，除了橿原神宫以外，都没在附近逛过，所以很想专门去旅行一次。

关于R&D，在培养人才的同时构建公司外部的人脉是最大的课题。特别是在中国等海外进行研究开发活动，与大学教师之间适当的互动合作是必不可少的。当时，我也有过与日本的大学及欧美国家的大学开展共同研究的经历，但没有与中国的教师共同研究的经验。关于大学等公共机构的研究人员对社会的贡献，被日本社会广泛讨论，因此对共同研究的成果有着相当具体的事先规定。另一方面，在中国没有这种背景，因此在向中国的教师说明期望的研究成果，设定R&D Program目标的做法在当时遭到了强烈的抵触。这也令我深切地认识到，对于社会、文化的背景，需要足够的关注。

最近，从完全不同的领域孕育出适用性广阔的技术种子的可能性比以往有所提高，因此，开放研究的门户，加深与其他企业或其他研究开发机构的交流也变得越来越重要。通过上述举措，将研究人员的视线提高到世界层面，使研究所不断向创造更高价值的组织转变，这在今后依然是重要的课题。

日本华尔卡工业株式会社 前CTO 黑田 博之

在PTFE中添加了填充材的材料种类与用途介绍

1. 前言

与其他塑料类材料相比，PTFE具有耐热性、耐化学药品性、绝缘性、非粘性和低摩擦性等诸多特性。其应用范围涵盖了从半导体装置和化学成套设备领域、汽车、办公自动化设备到家庭用品的广泛领域。

另一方面，PTFE在耐磨损性和耐蠕变特性方面有所欠缺，因此用于类似轴承的滑动零件时，自身可能会受到严重损伤，在承重的部位中使用时，可能会产生较大变形。这时，在PTFE中混入不同的填充材料，可以改善这些问题。

本报中，对具有代表性的填充材料，就其种类和特点、用途等进行说明。

2. 特点

2-1) 可以改善的特性

可以通过添加填充材料加以改性的特性有耐磨损性和耐蠕变性、热传导率、热膨胀系数等。与纯PTFE相比，耐磨损性最高可提升约1000倍，耐蠕变性可提升约2倍，热传导率最高可提升2倍。需要根据要进行改性的特性来选择适当的填充材料。

2-2) 填充材料的种类

作为填充材料，通常采用玻璃纤维、石墨、二硫化钼、青铜等无机填充材料。另外，也有使用有机填充材料的情况。

下面介绍添加各种填充材料的PTFE的特点。

○无机类填充材料

• 玻璃纤维：

对化学、电气性质几乎不产生影响。

与纯PTFE相比，压缩蠕变阻力改善约2倍，耐磨损性改善约1000倍，因此适用于耐磨损性的提升。另外因为是白色，便于使用。但是，作为轴承使用时，

可能会造成对象轴破损。

• 石墨：

耐蠕变性提高，初期磨损、起动阻力降低。热传导性、耐化学药品性良好。不易造成对象材料磨损，因此尽管耐磨损性不足，但经济性出色。

• 碳纤维：

压缩强度、蠕变特性、耐磨损性好，在200℃以上的高温领域有大幅改善。另外，水中的滑动特性优异，耐化学药品性也较好，因此可以在酸、碱等低润滑性的流体中保持出色的滑动特性。

• 二硫化钼：

耐蠕变性、润滑性提升。不损害电气绝缘性，因此适用于电气用途。但是，几乎不会单独用作填充材料，而是与玻璃纤维和青铜同时使用。

• 青铜：

耐磨损性、压缩强度、耐蠕变性、硬度、尺寸稳定性明显改善。滑动面的油保持性和油润滑下的耐磨损性出色，因此也可用于油润滑用途。但是，需要注意的是不适用于电气、化学用途。

Table1 填充材料的种类与特点³⁾

填充材料的种类	填充材料识别符号	特点
玻璃纤维	15%…2K0 20%…2N0 25%…2T0	耐磨损性良好。 电气特性良好。 易被碱腐蚀。 不耐水中磨损。
玻璃纤维+石墨	20%+5%… 2N1	耐蠕变性良好。 滑动特性改善。
玻璃纤维+MoS ₂	15%+5%… 2K7	耐蠕变性、压缩强度良好。 滑动特性改善。 电气绝缘性良好。
石墨	15%…1K0	滑动特性良好。 不损伤软质的对象材料。
青铜	60%…3M0	耐蠕变性、压缩强度良好。 热传导性好。
青铜+碳纤维	3U8	油中滑动特性良好。
碳、石墨	25%…6T0 33%…6P0	耐蠕变性、高温承重性良好。
碳纤维	10%…8H0	水中滑动特性良好。 耐蠕变性良好。
有机类填充材料	9A1 9A2 9B1	不损伤软质对象材料。 滑动特性稳定。 耐蠕变性、压缩特性良好。

Table2 含填充材料PTFE的物性一览³⁾

项目	单位	ASTM测量法	填充材料识别符号										
			纯PTFE	2K0	2N0	2T0	2N1	2K7	1K0	3M0	6T0	6P0	8H0
填充材料含量	重量百分比	—	无	玻璃纤维 15%	玻璃纤维 20%	玻璃纤维 25%	玻璃纤维 30% +石墨 5%	玻璃纤维 15% +MoS ₂ 5%	石墨 15%	青铜 60%	碳、石墨 25%	碳、石墨 33%	碳纤维 10%
比重		D792	2.1	2.23	2.24	2.26	2.23	2.29	2.17	3.91	2.10	2.05	2.09
拉伸强度	MPa	D638	30.9	23	20.6	18.6	14.7	18.5	16.0	18.5	17.5	13.5	20.0
伸长率	%	D638	400	320	300	280	235	280	230	215	55	15	200
压缩蠕变性	60min {MD CD} %	D621 (23°C 13.7MPa)	—	6.6	6.0	5.2	5.8	4.6	5.2	3.2	3.4	1.9	6.8
			—	10.3	9.4	8.3	7.0	5.4	5.8	3.5	3.6	2.6	9.0
			14.3	9.6	8.7	7.9	8.0	6.5	6.9	4.5	4.5	3.7	9.4
			16.7	14.3	13.1	12.4	9.8	7.8	8.0	4.9	4.9	3.7	13.2
			7.9	5.3	4.9	4.5	3.9	3.0	3.3	2.0	2.0	1.7	5.1
永久变形 (24h后)	{MD CD}	D621 (150°C 19.6MPa)	8.4	7.6	7.5	7.5	5.2	4.0	4.5	2.3	2.3	1.8	7.1
			51.8	52.4	51.3	50.7	36.8	45.5	43.0	40.4	35.0	32.4	33.7
0.2% 偏置 弹性率	CD	D790	5.6	3.9	4.1	4.2	8.3	8.5	6.0	8.0	9.6	—	8.3
			340~620	1,550	1,730	1,900	1,540	1,690	—	1,380	1,190	—	1,030
0.2% 偏置 弹性率	{MD CD}	D695	7.6	11.6	12.3	13.1	10.0	12.9	10.2	11.9	11.2	—	8.7
			—	8.9	8.9	8.9	10.1	12.7	10.7	12.2	8.4	—	9.6
硬度	硬度计“D”	D2240	55	60	62	63	64	65	61	70	67	68	64
			—	600	650	700	960	830	—	800	840	—	770
冲击强度 (izod)	J/m	D256	155	144	129	117	154	159	140	10.5	—	—	168
热传导率	W/(m·K)	Cence Fitch	0.24	0.37	0.40	0.45	0.20	0.33	0.45	0.47	0.43	—	0.19
线膨胀系数	25~90°C {MD CD} 10 ⁻⁵ /°C	D696	—	14.2	13.4	12.6	13.5	15.0	12.6	9.7	8.5	—	13.4
			12.2	10.6	10.2	8.3	9.0	6.3	7.9	7.8	7.2	—	9.9
			—	15.1	14.2	13.2	13.1	15.8	13.5	10.3	9.4	—	14.5
			12.6	10.9	10.3	8.6	9.0	6.4	8.5	7.9	7.7	—	10.0
			—	16.3	15.4	14.4	13.9	17.3	14.6	11.4	10.6	—	15.7
25~150°C	{MD CD}	D696	13.7	12.3	11.4	9.7	9.9	6.9	9.2	9.0	8.5	—	11.1
			—	18.5	17.7	16.8	15.9	20.0	17.6	14.0	13.5	—	18.2
25~200°C	{MD CD}	D696	16.4	14.8	13.4	11.9	11.7	8.0	10.8	10.4	9.7	—	13.1
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25~260°C	{MD CD}	D696	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
吸水率	%	D570	0	0.015	0.014	0.013	0.016	0.010	0	0	—	—	—
极限 P V 值	MPa·m/s		—	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	1.0	1.0	0.9
			—	0.7	0.9	0.9	1.4	1.5	1.4	1.0	1.4	1.5	1.5
			—	1.1	1.2	1.2	1.8	1.8	1.3	0.6	1.8	1.9	1.8
磨损系数 (空气中, 50h后)	cm·s / MPa·m·h × 10 ⁻⁵	使用松原式试验机进行测量	7,100	5	7	7	7	6	9.8	13	8	13	6
			—	5,500	—	5,100	—	—	470	—	20	26	20
动摩擦系数 (50h后)	—	P=0.69MPa V=0.5m/s	—	0.39~0.42	0.29~0.35	0.50~0.54	0.30~0.32	0.29~0.31	0.22~0.25	0.12~0.17	0.31~0.37	0.31~0.35	0.27~0.30
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
静摩擦系数	—	P=3.4MPa	0.05~0.08	0.10~0.13	0.10~0.13	0.10~0.13	0.08~0.10	0.08~0.10	0.08~0.10	0.08~0.10	—	—	—

○有机类填充材料

• 聚酰亚胺类树脂：

摩擦系数低，在使用碳和石墨填充材料时可能会受损的软质金属活动零件作为对象材料的情况下有效。

• 聚苯硫醚树脂：

赋予耐蠕变性、尺寸稳定性。

• 芳香族聚酯类树脂：

改善压缩、屈服等机械特性，赋予稳定的滑动特性。

如上所述，填充材料多种多样，需要根据负荷、滑动速度、寿命、摩擦环境、对象材料、线膨胀、电气性质等使用条件，选定适当的填充材料。

另外，纯PTFE是白色的，因此添加填充材料可能会导致外观变为黑色或黑褐色等，需要根据使用的部位和用途加以考虑。

3. 结语

PTFE具有出色的化学特性，滑动和粘附性也很优异，

因此适合用作轴承和滑动零件。进一步添加填充材料，可以提升其摩擦特性及蠕变性，适用于机械用途。

不同种类的填充材料可改善的特性也有所不同，希望我的经验能对大家在材料选择方面有所帮助。

4. 参考文献

- 1) 池田 隆治：华尔卡评论，1No.35，1(1991)
- 2) 里川 考麻绩：氟树脂手册
- 3) 华尔卡手册



和田 阳一郎

研究开发本部 开发部
功能树脂产品开发小组

PTFE加工品的精度与成形品的方向性说明

1. 前言

PTFE的热膨胀系数比金属大，且在室温相变点20℃附近会产生约1~2%的体积变化。

另外，还具有柔韧性和弹性，薄壁产品难以切削，很难保证尺寸精度。因成形加工的残留应力，材料会因切削加工时的摩擦热，或切削后的经时性变化而发生变形，对尺寸精度造成影响。

由于上述性质，在加工精度要求与金属材料同等的尺寸公差时，可能会成为使用方和生产方之间的纠纷因素之一。下面，为大家说明PTFE的加工精度。

2. 常规尺寸公差

Table1中所示为JIS K6884-1971中规定的“四氟化乙烯树脂常规尺寸公差(切削加工)”。

Table1 四氟化乙烯树脂常规尺寸公差(切削加工) 单位:mm

公称尺寸分类		公差	
		1级	2级
1以上	16以下	±0.1	±0.3
超过16	40以下	±0.2	±0.6
超过40	63以下	±0.3	±0.8
超过63	100以下	±0.4	±1.0
超过100	160以下	±0.5	±1.2
超过160	250以下	±0.6	±1.4
超过250	400以下	±0.7	±1.7
超过400	630以下	±1.0	±2.0
超过630	1000以下	±1.5	±2.5

本标准是在通过压缩成形或挤出成形进行PTFE成形品材料的机械加工的情况下，对1mm以上1000mm以下的尺寸做出的规定。该标准中的“···常规···”是指，适用于图纸中未使用数值或符号进行指示的情况。

在要求PTFE的加工精度时，需要考虑到本质特性，其项目如下所示。

1. 热传导率小。
2. 热膨胀率较大。
3. 23℃附近体积变化大(约1%~2%)。
4. 有弹性。
5. 存在残留变形。

综上所述，加工精度取决于大小和形状公差，最小公差在±0.05左右，或JIS K6884规定值(1级)的约1/2。但是，因为具有弹性，尺寸测量时如果测量器端部过于压紧，则无法得到正确的值。例如，根据千分尺的压紧方法，可能会产生0.1 mm以上的误差。请用户和制作方务必注意这一点。

3. 退火处理效果

通常，PTFE在压缩成形后会进行烧结处理，与进行压印(放入模具中进行烧结，并加压冷却)，或表层被迅速冷却的成形品相比内部应力较小。

但是，在要求高尺寸精度时，或形状复杂时，需要对材料进行退火处理。

通过消除材料成形时的压力，是提高尺寸精度，或抑制经时性变化的有效方法。

·退火：

为去除因热量或机械性应力而产生的成形品的内部变形，保持一定的温度后，慢慢冷却的操作。

4. 表面粗糙度

加工精度可以说也就是表面粗糙度，需要与常规尺寸公差一样在考虑到材料特性的基础上进行数值设定。

树脂是会受到加工表面的切削热影响的弹性体，因此金属加工表面的要求很严格。

通常，表面粗糙度会因为加工设备的转速和进给速度的关系，因不同加工切削工具(刀具)而产生加工差异。

Table2：PTFE表面粗糙度的加工参考的标记

Figure1：计算平均粗糙度(Ra)

Figure2：最大高度(Rmax)

Figure3：圆棒、套筒材料的加工方法

Figure4：板材的加工方法

Table2 粗糙度的分类

新 JIS 标记		旧 JIS 标记		加工可否的参考
符号	算数平均粗糙度 Ra	符号	最大粗糙度 Rmax	
√	12.5~25a	▽	50~100S	○
√	3.2~6.3a	▽▽	12.5~25S	○
√	0.4~1.6a	▽▽▽	1.6~6.3S	○(板材为△)
√	0.012~0.2a	▽▽▽▽	0.05~0.8S	x

(单位：μm)

2种(新、旧)的相互关系是为方便起见而标出的，并不那么严密。

现在使用老 JIS(旧)标记的企业也不少。

该旧标识约在 60 年前制定，已经习以为常，而且要落实到制作现场需要时间，并且功能零件有沿用现有技术的倾向。

因此，了解新、旧的相对关系也很重要。

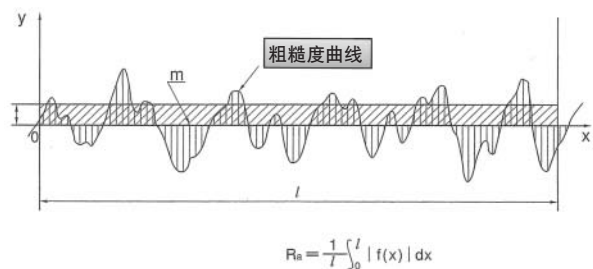
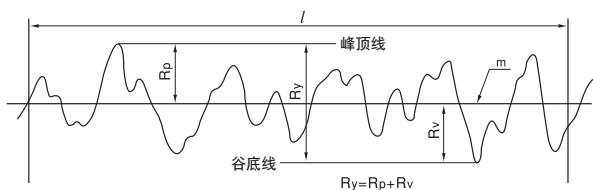


Figure 1 表面粗糙度的种类：计算平均粗糙度(Ra)



备注：求解Ry时，要排除可能是伤痕处的部分，要避免高峰以及谷底仅仅抽取基准长度

Figure2 表面粗糙度的种类：最大高度(Rmax)

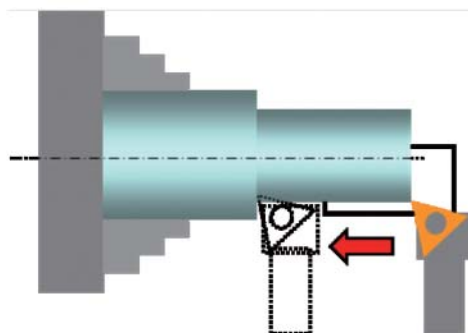


Figure3 外径加工

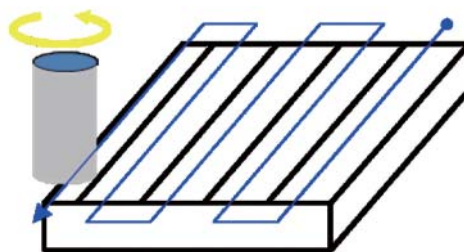


Figure4 面加工

5. 成形品的方向性

PTFE 成形品因其成形方法不同而存在方向性，方向会产生不同的物理特性。PTFE 的常规成形方法是压缩成形法。

Figure5 所示为压缩成形方法的工序。

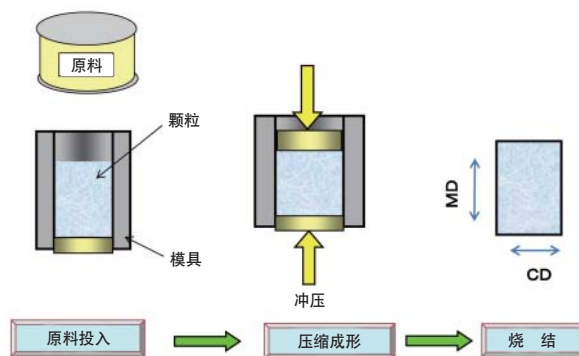


Figure5 压缩成形方法的工序

压缩成形方法是将原料投入模具内，在垂直方向上压缩凝固，因此会产生方向性。

成形时的在压缩方向上成形的方向称为 MD：molding direction，其直角方向称为 CD：crosssectional direction。

PTFE 材料中，有将填充材料混入 PTFE 原料中的含填充材料 PTFE，纤维状的填充材料在成形中会定向排列，物理特性会有明显差异，因此在设计、使用的时候需要予以

注意。

会发生变化的特性有

压缩蠕变性：MD方向的值比CD方向高

拉伸强度、伸长率：CD方向的值比MD方向高，容易伸长

线膨胀系数：MD方向的值比CD方向大

材料为套筒状和圆棒状时，肉眼即可分辨成形方向并进行加工，但板状材料且需要复杂的加工时，需要在初期的加工阶段进行标记以明确方向。

6. 结语

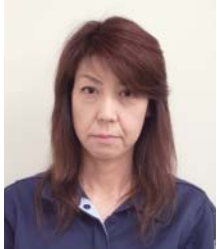
PTFE具有化学惰性，耐化学品性优异，可以在广泛的温度范围内使用，在固体物质中具有最小的摩擦系数，因

此在众多用途中被采用。另外，与金属相比，机械加工极为容易，在树脂材料中也属于比较柔软，在组合使用时具有容易贴合的特点的材料。

近年来，在精密机械领域也大量采用PTFE加工品，同时尺寸精度要求也越来越高。伴随着机床和工具的进化，要跟上加工技术的加速脚步。但是，需要用户和制作方就与用途相符的尺寸精度要求和容许值进行确认。

7. 参考文献

- 1) 华尔卡手册 技术篇 2010年9月
- 2) Du Pont-Mitsui Fluorochemicals Co., Ltd.
氟树脂 杜邦™特氟龙实用手册
- 3) JIS K 6884-1971



川井 成子

研究开发本部 开发部
功能树脂产品开发小组
树脂第3组



太田 伸幸

研究开发本部 开发部
功能树脂产品开发小组
树脂第3组

修订和致歉 华尔卡技术新闻夏刊 No.31 中刊登的“PTFE线膨胀系数说明”3.尺寸修正计算示例中有错误，特此修订并致歉。

误：尺寸变化 = $1000 \times (100 - 0) \times 20 \times 10^{-5} = 20$ **正**：尺寸变化 = $1000 \times (0 - 25) \times 20 \times 10^{-5} = -5$
因此，0℃时的长度变为995mm(收缩)。

密封件快速查找器 (SQS) 的说明和运用方法 (垫片篇)

1. 前言

在本公司网站主页上,从平成26年(2014年)开始提供用于帮助顾客选择工业用密封产品、解决问题的密封产品搜索网站“Seal Quick Searcher®”(密封件快速查找器)。本搜索网站通过巧妙设计,使得不具备密封垫片专业知识的相关技术人员也能够方便地搜索顾客所需技术信息。另外,还能以所期望的形式来提供技术信息。

网站上线以后,得到了顾客的极度好评,目前除日语之外,还开始提供英语、中文支持。

2. 什么是密封件快速查找器 (SQS)

密封件快速查找器(SQS)除了可通过流体、温度、压力等工业用密封产品选型条件进行搜索外,还能通过关键词、产业领域等多样化的切入点,广泛地搜索本公司推荐的密封产品。另外,还以常见问题(FAQ)形式提供本公司积累的技术,并可以实时进行螺栓紧固压力计算、压力等级选型、其他公司同等产品搜索及目录、华尔卡手册等的搜索。

并且,该系统还可以按实际使用条件进行垫片选型,只需对现场的问题通过密封件快速查找器进行确认,就能提出解决问题的方法。另外,还可以不受产业领域限制地以产品、条件作为切入点,对咨询做出答复。以下所示为密封件快速查找器的基本使用方法,请务必访问本公司网页,利用本系统。

3. 密封件快速查找器(sqs)的运用方法① (通过流体、温度、压力进行搜索)

密封件快速查找器(SQS)需要大书特书的功能是“搜索符合规格条件的推荐密封产品”。利用该功能,任何人都能进行基于“流体、温度、压力”的垫片选型。以下将对“查找推荐产品”的方法进行说明。

3-1)访问密封件快速查找器(sqs)

从本集团中国的主页点击『Seal Quick Searcher®』。



①点击按钮



3-2)访问垫片搜索

在密封件快速查找器(SQS)的画面中点击“搜索垫片”。



②点击按钮

推荐垫片检索

3-3)访问“通过流体、温度、压力进行搜索”

在搜索垫片的画面中点击“通过流体、温度、压力进行搜索”。

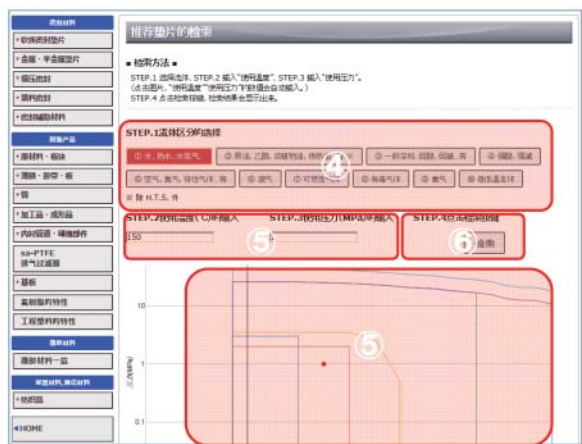


③点击按钮

3-4)输入搜索条件

在“搜索推荐垫片”的画面中选择流体，输入温度、压力。

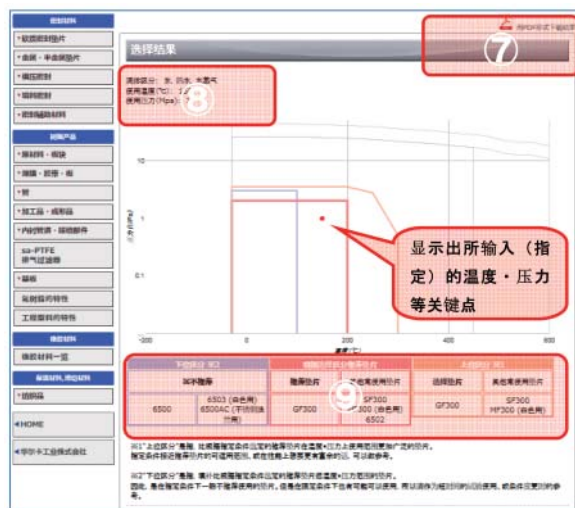
由此，通过直观的操作方式，只需鼠标即可反复实施搜索。



- ④选择流体分类。
红色高亮显示的是流体分类的选择状态。
- ⑤输入温度、压力的值。
在图表内点击也能自动输入温度、压力。
- ⑥最后点击“搜索按钮”

3-5)选型结果的确认

点击“搜索”后，图表下部会显示产品选型结果。



- ⑦可以将结果下载为PDF。
- ⑧显示选型条件。
- ⑨显示基于选型分类的推荐垫片以及上级分类、下级分类关于上级分类、下级分类，请参阅以下说明。
点击搜索结果中显示的“产品编号”，可以转到产品的详细信息画面。

说明

“上级分类”是指，温度、压力的适用范围比按照指定的条件选型的推荐垫片更广的垫片。指定条件接近推荐垫片的可使用范围极限的情况下，需要在性能方面留有余地的情况下，可供参考。

“下级分类”是指，温度、压力的适用范围低于按照指定的条件选型的推荐垫片的垫片。因此，通常不推荐在指定条件下使用。但是，因为可以在限定条件下使用，在试运行等短期使用或条件变更时，可供参考。

4. 密封件快速查找器 (sqs) 的运用方法② (通过其他公司产品编号搜索同等产品)

可以通过其他公司的产品搜索同等的华尔卡垫片。

4-1) 访问“搜索同等产品”

在搜索垫片的画面中点击“搜索同等产品”。



① 点击按钮

4-2) 输入搜索条件

在“通过其他公司产品搜索同等的华尔卡垫片”的画面中输入搜索条件。

可通过“任意字词”“其他公司产品编号”进行搜索。



- ② 可通过任意字词(可以不完整)进行搜索。
- ③ 还可通过其他公司名称和产品编号进行搜索。

同时, 搜索结果会显示“推荐产品”和“提案产品”, 分别按以下条件进行提案。

- 推荐产品: 构成材料类似、使用范围几乎相当的产品
- 提案产品: 色调及使用范围存在部分差异, 但能够使用的可能性较高的产品

5. 密封件快速查找器 (sqs) 的运用方法③ (垫片紧固力的计算)

密封件快速查找器(SQS)中, 集成了在使用本公司产品时有帮助的各种信息和工具。这里对计算紧固力用的工具的使用方法进行说明。

5-1) 访问辅助工具

在密封件快速查找器(SQS)的画面中点击“辅助工具”。



① 点击按钮

5-2) 访问“紧固力计算器”

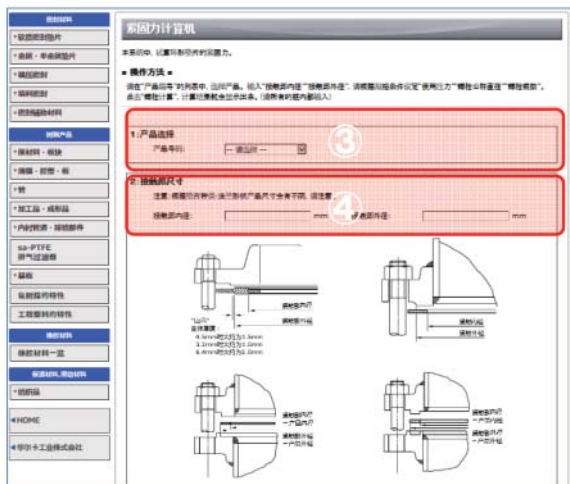
在辅助工具画面中点击“紧固力计算器”。



② 点击按钮

5-3) 输入计算条件①

在“紧固力计算器”的上方画面中输入产品的选型和尺寸。



- ③选择作为计算对象的产品产品编号。
- ④以图为例，输入接触部内径和接触部外径。
尤其需要注意缠绕密封形垫片的主体外径尺寸位置。

5-4) 输入计算条件②

在“紧固力计算器”的下方画面中输入计算对象压力和螺栓条件。

之后点击“计算”按钮。



- ⑤输入计算对象压力和螺栓的公称直径、数量。
- ⑥最后点击按钮 **计算**

5-5) 计算结果的显示

紧固计算结果显示如下。

此外，还可将结果下载为PDF。



- ⑦对基于 JIS B8265 的 Wm1 与 Wm2 进行对比，显示较大的值。
- ⑧以液体密封为对象，显示基于本公司推荐垫片应力的值。
- ⑨以气体密封为对象，显示基于本公司推荐垫片应力的值。
- ⑩显示基于对象垫片的容许垫片应力的值。
- ⑪对基于 JIS 的计算结果和本公司推荐应力进行对比，以较大的值作为最终计算结果。

6. 结语

本文对本公司密封件快速查找器(SQS)的部分功能进行了说明。

请务必善加利用，希望能对您的业务有所帮助。此外，今后我们将继续根据顾客的需求，不断完善其功能。



江西 俊彦
营业本部 技术解决方案团队

油缸用活塞密封系统的异响故障的原因和解决方法

1. 前言

近年来,作为对液压设备的要求,需要对随着液压系统的效率化产生高压、高温化、小型化、轻量化等多种多样的使用条件做出对应。因此,以液压油缸为代表,对液压油缸用密封圈提出的性能要求也变得多种多样,为提升各种密封圈的性能而进行了改良。

本公司也开发了高压油缸用密封系统,作为面向建筑机械市场的液压挖掘机用油缸的维护套件。在其开发阶段的实际设备评估中,发现在某个特定条件下,油缸会发生异响(爬行现象)。油缸发出异响,说明油缸工作时往复运动的密封圈的接触部发生了爬行现象,从而导致异响和振动,这被视为液压油缸的问题。

这次的异响故障,判断为密封圈与对象面接触部发生了油膜成形不良,下面将对通过密封圈的设计来提升油膜吸入特性,从而加以改善的事例进行说明。

2. 液压油缸用密封圈的构成示例

类似液压挖掘机用油缸的高压用油缸,通常如使用Figure1所示的多个密封圈与零件。¹⁾

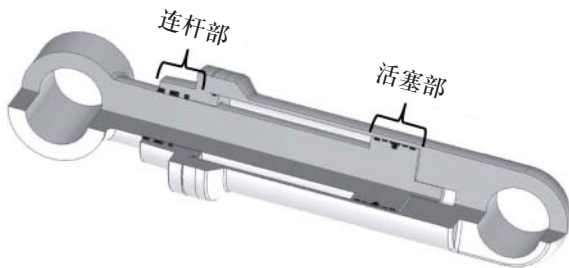


Figure1 液压油缸的构成

2-1) 连杆部的密封系统结构

连杆部使用的密封圈在防外部泄漏这一受到重视的油缸性能方面承担着重任。连杆部的密封系统结构如Figure2所示,构成零件的概要见表Table1。

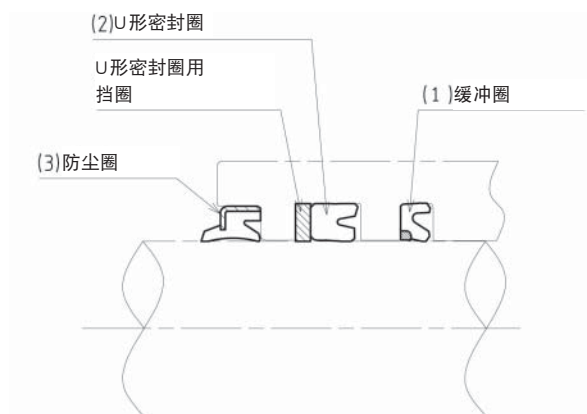
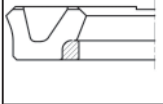
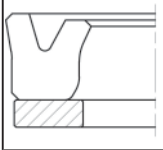
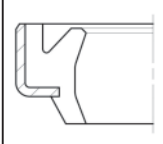


Figure2 连杆部的密封系统构成

Table1 连杆部的密封系统构成零件概要

<p>(1)缓冲圈</p> 	<p>用于承受初期高压,减轻对U形密封圈的负荷的密封圈。通过与高强度树脂材料挡圈组合使用,确保耐压性。</p>
<p>(2)U形密封圈</p> 	<p>用于防止外部漏油的主密封。通过与高强度树脂材料挡圈组合使用,确保耐压性。</p>
<p>(3)防尘圈</p> 	<p>用于防止外部异物、泥沙等侵入的密封圈。还具有防止来自U形密封圈的微量泄漏的功能</p>

2-2) 活塞部的密封系统构成

用于活塞部的密封圈在保持液压、使活塞具备适当的推力和负重保持能力之外，还负责驱动油缸。²⁾ 活塞部的密封系统结构如Figure3所示，构成零件的概要见Table2。

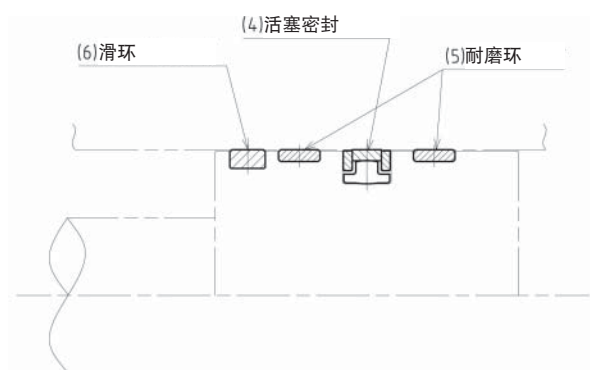


Figure3 活塞部的密封系统构成

Table2 活塞部的密封系统构成零件概要

(4) 活塞密封	
	用于在油缸工作时保持压力的主密封。有以下的多个零件构成。 ①：用于提高滑动特性的滑动环 ②：用于确保密封性的橡胶制衬圈 ③：用于加强耐压性的挡圈
(5) 耐磨环	
	在油缸工作时起到活塞的轴承功能。主要材料使用夹布酚醛树脂。
(6) 滑环	
	用于防止油中所含异物等侵入活塞密封。主要材料使用PTFE(聚四氟乙烯树脂)。

3. 异响（爬行现象）

爬行现象与作用在密封圈和对象面的接触面上的静摩擦力和动摩擦力有着密切的关系，是静摩擦力(启动阻力)产生作用时停的(粘着)状态和动摩擦力(滑动阻力)产生作用时走的(滑动)状态在接触面上瞬间且周期性发生的现象。²⁾³⁾

该现象根据液压油缸的使用条件，主要在低速区域发生，有的情况下会发出声音或产生振动。这种发出声音的现象被称为异响。²⁾⁴⁾

4. 异响评估

我们将本公司开发的高压油缸用密封系统安装在实际的液压挖掘机的油缸中，实施了油缸工作测试。测试的结果，在低速运行及油温高的情况下，油缸发生了异响(爬行现象)。在开发阶段的公司内部评估中，确认是不会发生异响的，这表明我们未能再现实际设备上的运行状况，让我们重新认识到异响评估的难度之高。

4-1) 内部评估

本公司在高压有油缸用密封系统开发阶段实施的内部评估(爬行试验)的内容如下所示。试验的结果并没有发生异响，未能确认有爬行现象。

爬行现象中，难以进行定量评估，需要在准确重现使用状况、环境，在充分掌握密封圈的特性的基础上，计划并实施试验。⁴⁾ 但是，在内部评估中，油缸的侧向负荷、及油温高导致的油粘度降低等实际运用情况未能再现。

Table3 爬行试验条件

项目	试验条件
油温	常温(自然温度, 约40℃)
速度	0.01m/sec
负荷	25kg
润滑油	液压油(运动粘度(40℃): 46.0mm ² /sec)
确认方法	通过油缸上下移动时的加速度计的波形进行判断

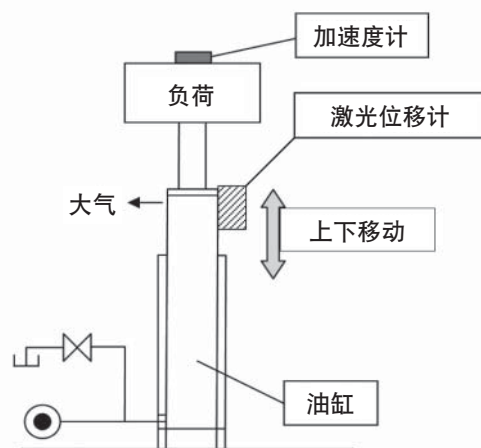


Figure 4 爬行试验装置

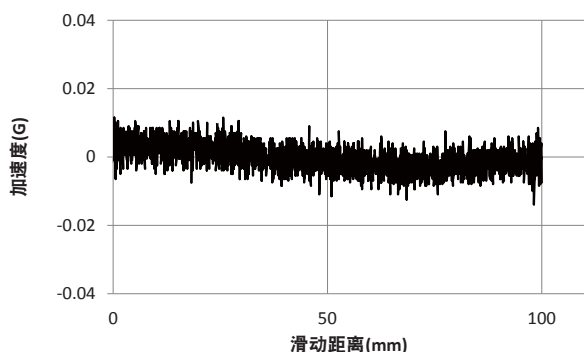


Figure5 爬行试验结果

5. 密封圈的爬行与油膜的关系

密封圈的爬行现象与接触面的润滑不良造成的摩擦阻力的影响有关，因接触面的粘着和滑动的周期性的重复而发生。此时，密封圈在粘着状态下发生变形并留在原地，在因外力等强制滑动时则恢复原状。密封圈的爬行现象会受到温度、速度、压力、表面粗糙度、液压油的粘度、油性等因素的影响，无法定量地加以明确。但是，在定性方面，有高压低速运行时、润滑油不足时、液压油粘度低且润滑膜容易发生断裂时等几种情况。⁵⁾

作为密封圈爬行现象的改善对策，可以降低整体的摩擦阻力。作为降低密封圈的摩擦阻力的方法，可以通过确保与对象面的滑动面间的油膜来加以改善。²⁾

5-1)密封圈的油膜形成

要在通常的往复用密封圈滑动面上维持适当的油膜，与密封圈的流体入口侧及大气开放侧的面压分布的压力梯度有很大关系。⁶⁾ 压力梯度的大小决定了是会吸入油膜，还是去除油膜，对油膜厚度和密封性产生影响。

本公司在开发高压用连杆密封(U形密封圈)时，着眼于踵部的形状与面压分布的压力梯度，证明了通过设定最佳的值可以开发出吸入特性良好的密封件。¹⁾

5-2)油膜形成方法向活塞密封系统的展开

发生异响的油缸的连杆密封系统中，采用了上述本公司开发的U形密封圈，能够维持适当的油膜，因此判断异响发生在活塞密封系统中。

根据实际设备的异响评估结果，异响在油温较高导致油粘度下降，且活塞密封系统承受横向负载时发生。承受

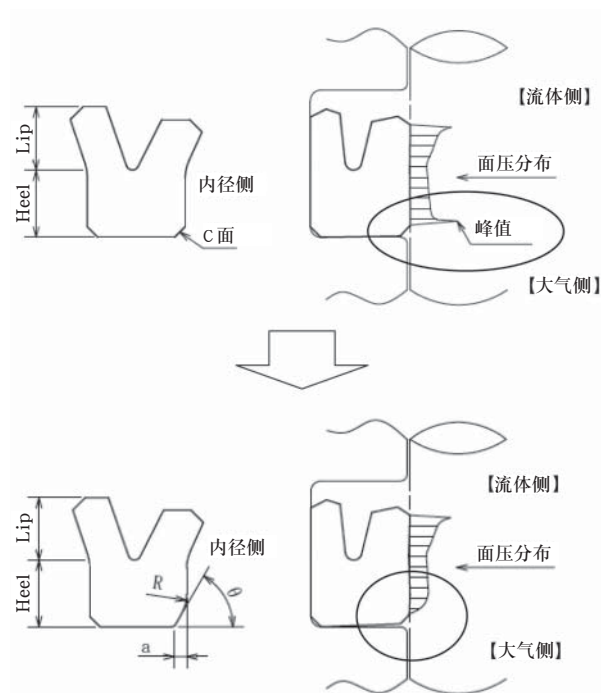


Figure6 开发产品中的油膜吸入技术

横向负载时，轴承的耐磨环被压紧在对象面上，在接触面上产生峰值面压，因此推测压力分布的压力梯度也变大。由以上几点，推测异响是因为耐磨环刮去油膜，导致摩擦阻力升高而发生的。

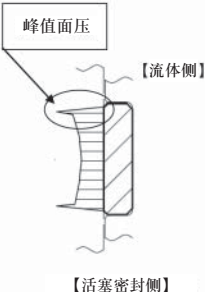
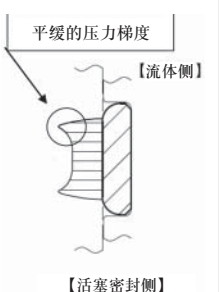
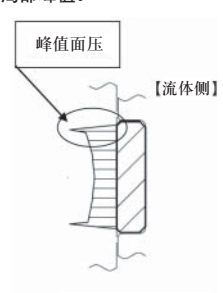
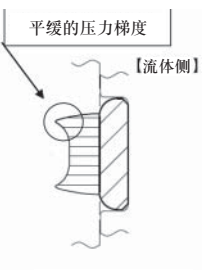
为验证这一情况，通过FEA对耐磨环的面压分布进行确认，结果发现两端部的C倒角部的峰值面压及压力梯度较大。

作为对策，决定运用新开发的U形密封圈中得到确认的油膜刮除及油膜吸入特性。分析结果及其对策产品研究结果如Table4所示。

为运用U形密封圈的吸入性，在滑动面上形成适当的油膜，耐磨环两端部的形状被加工成圆弧形。

使用该耐磨环在实际设备上进行了异响评估的结果，未发生异响。根据这一结果，判断可以维持适当的油膜。

Table4 耐磨环的分析结果、及对策产品验证结果

项目	分析结果	对策产品研究结果
端部形状	C倒角(边缘) C倒角 	圆弧形状 R 
滑动面的面压分布	端部的C倒角部发生面压的局部峰值。  【流体侧】 【活塞密封侧】	通过将端部加工成圆弧形,降低了压力梯度。  【流体侧】 【活塞密封侧】
材料特性	产品材质是夹玻璃纤维尼龙。相比PTFE和夹布酚醛树脂等具有代表性的材料,价格实惠且强度高。摩擦特性不如PTFE,因此还有在滑动面进行滚花加工的产品。 ²⁾	出于成本考虑,材料没有做改变。

6. 实际油缸的异响评估

在前项所述对策前和对策后,对实际的液压挖掘机进行异响评估,Figure7所示为对异响声音通过频率加以可视化的确认图。对策后的异响评估结果,未发现异响波形。

7. 结语

检验发现,通过在液压油缸用密封圈中维持适当的油

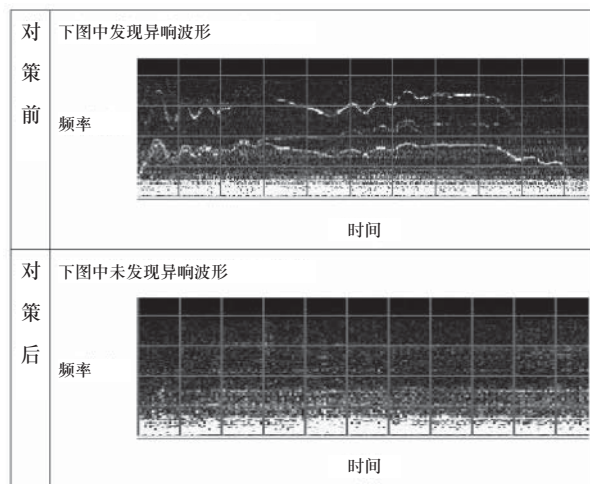


Figure7 油缸的异响评估结果

膜,可以改善异响现象。要维持适当的油膜,油膜刮除和吸入特性是不可或缺的元素。通过了解这种特性,可以形成在其他产品中展开的改善异响和降低摩擦阻力的技术。但是,由于尚无法数值化地掌握不同使用条件和不同产品的适当油膜厚度等,还存在多个课题,需要通过今后的产品开发进行验证。

8. 参考文献

- 1)山下纯一, 华尔卡技术期刊, No 30, 3-8,(2016).
- 2)安藤忠, 油空压技术, 2003年5月号, 28-33.
- 3)中野健, 日本橡胶协会期刊, 第80卷, 第4号, 134-139,(2007).
- 4)高牟礼辰雄, 辻和明, 村松晃, 吉田勉, 油空压技术, 2003年5月号, 34-37.
- 5)赤井英夫, 油空压技术, 2003年5月号, 13-20.
- 6)兼田祐宏, 日本橡胶协会期刊, 第72卷, 第4号, 194-201,(1999).



高桥 谦一
研究开发本部 开发部

O形圈的粘着故障原因和解决方法

1. 前言

橡胶制O形圈是同时适用于静态密封(垫片)、动态密封(密封圈)的密封材料。此外,因为材质是软质的弹性体,有着易于与对象面的贴合,使用较小的紧固力即可实现密封以及如下所示的诸多优点。

- 可在从高压到低压的范围内使用。
- 能够节省安装部分的空间。
- 安装部分的构造简单,因而易于进行安装作业。
- 已经实现标准化,易于获取且成本低。

因此,作为最具通用性的密封产品,被汽车、油空压、机床、食品、半导体、航空航天等为代表的各种产业领域的各种装置、设备所使用。

除了本身恢复原来形状的弹性外,橡胶是具有不易打滑、容易粘连等性状的材料,充分发挥止动、不易脱落等性质,被用作轮胎、软管、皮带等各种设备零件。另一方面,其性质使得在使用产品是会发生难以安装、难以取出等问题。橡胶制O形圈甚至可能出现产品相互黏连、粘着在对象面上等故障。

本文将介绍O形圈的粘着原因及其解决方法和以降低粘着为目的而开发的本公司产品。

2. 粘着现象和原因

2-1) O形圈的粘着

橡胶O形圈如果在被加压的状态下与金属等对象面接触,会发生粘着在对象面上的现象。这一现象程度较轻时,也被称为粘附。根据不同的使用环境,可能会发生剥离时会损坏橡胶材料的牢固粘附情况。静态密封的情况下,很多时候即使发生粘着,密封性能本身也不会产生问题,但在更换O形圈时需要非常大的力才能打开法兰,大口径O形圈的情况下,与对象面的接触面积大,形成很大的粘着力,甚至可能导致法兰无法打开。另外,打开法兰时粘着的橡胶会断裂并粘附在沟槽或对象面上,导致难

以清除等维护上的问题。

另一方面,动态密封的情况下,粘着会导致O形圈从沟槽中脱落,进而影响到密封性能,导致运行迟缓、异音和异常震动等设备运行故障,直接引起所使用设备的故障。

2-2) 粘着原理

粘着现象是由于橡胶与对象面接触,导致橡胶链段分子扩散、吸附到对象面而产生的二次键(氢键和范德华力等),并因此而形成界面,首先发生的是初始粘着(物理粘着)。尽管没有明确的区分,且说法口径不一,但粘着程度较轻时,也被称为粘附。此外,初始粘着有时会受到锚固效应和负压效应等的影响。接着,在该界面中生成一次键(化学键等)的同时,粘着强度逐渐增大,最终发展成为牢固粘着(化学粘着+物理粘着)。¹⁾²⁾

2-3) 粘着影响因子

粘着强度因橡胶的种类和对象材料的材质而异,但除此之外影响粘着强度的主要因子有橡胶的硬度,使用温度和湿度、橡胶与对象面的表面粗糙度等。关于这些因子对粘着强度的影响,与其他因子一起进行了详细的报告,³⁾我筛选出其中具有代表性的因子并总结如下。⁴⁾

- 橡胶硬度越高,粘着强度越小。
- 温度越高越容易粘着,但也不能一概而论。
- 湿度的影响因橡胶与对象材料的组合而异。
- 表面粗糙度方面,橡胶和金属越粗糙,粘着强度越低。这与接触面积有关。

3. 粘着对策

作为防止粘着的对策，简单的有涂抹润滑脂和润滑油等，但因为容易成为污染产品和安装部分的原因，以及从缩短作业时间等的观点出发，需要对O形圈本身采取防粘着对策。Figure1所示为O形圈具有代表性的防粘着方法。

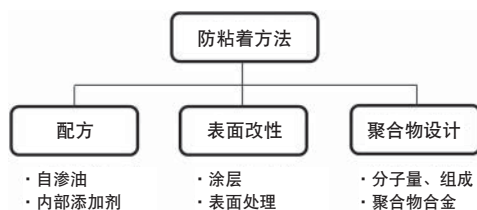


Figure1 防粘着方法的分类

3-1) 基于配方的方法

橡胶混炼时加入油、PTFE等固体润滑剂，或润滑成分、脱模成分等内部添加剂等，通过选择配方化学品以降低粘着的方法。通常上述配方化学剂会对橡胶的物理特性和压缩永久变形等产生影响，因此需要考虑到各项特性的平衡。

3-2) 表面改性方法

赋予橡胶表面以不易粘着的特性，从而降低粘着的方法。有在橡胶表面形成不易粘着的薄膜的涂层方法，和浸泡在化学试剂等中、用等离子或射线照射以进行表面处理的方法。涂层分为通过物理熔融的类型和在橡胶表面发生反应形成提高与母材的贴合性的类型，薄膜是否对橡胶母材具有追随性也很重要。表面处理时，比较常见的方法有在含有硫化剂的化学试剂中浸泡橡胶，加热以使橡胶表面硬化的方法。但是，表面改性的改性范围局限于橡胶表面，当磨损导致改性层消失后，其效果也就烟消云散，因此在运用于动态密封时需要予以注意。

3-3) 基于聚合物设计的方法

是通过作为O形圈原料的聚合物本身进行改良以降低粘着的方法。通常，分子量较高的聚合物粘着较少，因此侧链和末端基团(如COOH、-OH、>CO等)越少，粘着越低。另外，抑制分子链运动的结构，例如提高玻璃相变点的结构也有一定效果。但是，要在保持橡胶弹性的同时具备降低粘着的结构目前仍无法实现，这有待于今后基于新结构的聚合物和聚合物合金等在分子设计层面上

的研究。

本公司备有运用各种防粘着方法的降低粘着性的产品阵容，下面为大家介绍其中具有代表性的产品。

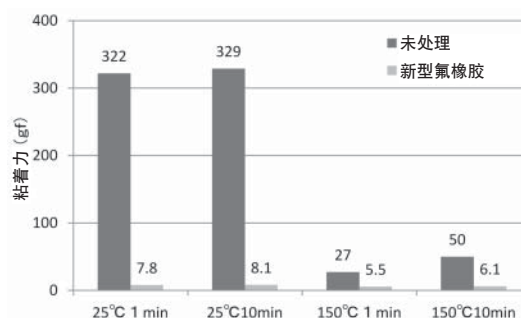
4. New Rubberflon (新型氟橡胶)

接下来为大家介绍的是作为具有防粘着效果的本公司产品之一的新型氟橡胶(Rubberflon是本公司的注册商标)。

新型氟橡胶是采用表面改性方法的产品，并不仅仅采用涂层，还通过反应性处理实现了与橡胶母材的出色贴合性，不易剥落。同时，不会对橡胶母材的物理特性产生影响，可以对除丁腈橡胶和氟橡胶等硅橡胶以外的绝大部分橡胶材料进行处理。新型氟橡胶具有低粘着性的同时，还具有低摩擦性，可以防止产品之间或与对象面之间的粘着，还可降低在安装圆筒面密封等O形圈时的插入阻力。⁵⁾⁶⁾ Figure2所示为新型氟橡胶的粘着力测量结果，Figure3所示为摩擦系数测量结果。

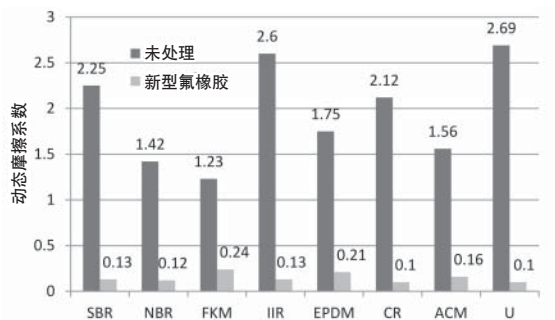
通过对O形圈实施新型氟橡胶处理，可以期待如下效果。

- 防止O形圈之间的粘着
- 防止与对象面粘着
- 改善O形圈的安装性(免润滑脂)
- 防止O形圈的扭曲现象和损伤



试验方法：粘着力试验机
使探针以规定条件与试片接触后，测量拉开时的力
试片：厚度2mm的丙烯酸橡胶片，负荷：100gf，
探针：不锈钢(#5mm)，拉起速度：600mm/min

Figure2 新型氟橡胶处理后的橡胶粘着力



试验方法：球状压头试验机，试验速度：60mm/min
 试验品：厚度2mm橡胶片，负荷：200gf，滚珠压子：SUS(Φ6)
 SBR：苯乙烯丁二烯橡胶，NBR：丁腈橡胶、FKM：氟橡胶，IIR：丁基橡胶
 EPDM：乙丙烯橡胶，CR：氯丁橡胶，ACM：丙烯酸橡胶，U：聚氨酯橡胶

Figure3 新型氟橡胶处理的动态摩擦系数

5. 非粘着用氟橡胶 D2370

氟橡胶具有耐热性、耐化学品性等优良特性，因而被广泛使用。通常说到“氟”，总会给人难以紧贴、易滑的感觉。但是，氟橡胶则与人们的预想相反，容易发生粘着现象，绝不是什么难以粘着的材料。

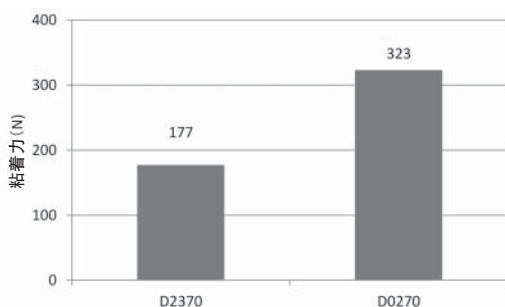
D2370采用本公司独有配方方法，在维持原有氟橡胶的耐热性和物理特性等的前提下，降低了粘着性。

Table1所示为D2370的物理特性一览，Figure4所示为D2370的粘着力测量结果。

Table1 非粘着用氟橡胶 D2370的物理特性一览

	D2370 非粘着用氟橡胶	D0270 本公司标准氟橡胶
硬度(Shore A)	70	71
拉伸强度(MPa)	14.0	13.9
伸展率(%)	190	230
压缩永久变形率(%)*)	14	16

*) 200℃ / 70hrs、25%压缩、Φ29盘
 表中数值均为测量值，并非标准值。



试验方法：使试片与对象材料按规定条件发生接触，在温室中冷却4小时后，测量拉开时的力
 试片：厚度2mm橡胶片，接触面压：5.88MPa，加热条件120℃：×20hrs
 对象材料：Φ25×Φ19的环状(SUS304)，拉起速度：50mm/min

Figure4 D2370的粘着力测量结果

D2370在使用常规的氟橡胶O形圈的闸门密封、闸阀密封等各种阀门中，作为常规氟橡胶的替代材料，通过减轻密封材料的粘着现象，有助于改善开闭位置的动作故障。此外，作为与法兰等对象面的粘着对策措施也很有效。

6. 结语

关于O形圈的粘着现象，以上对粘着原因和防止方法进行了说明，并介绍了本公司的粘着对策产品。

静态密封的情况下，粘着现象是导致维护性显著恶化的原因之一。但另一方面，在永久变形较大而判断为不可使用的领域，O形圈粘着能够保持密封性，有时会延长其使用寿命，因此不能仅仅局限于改善粘着，而是要在考虑到各种使用状况的基础上，推进解决对策。

此外，粘着现象会受到使用环境、条件等各种因素的影响，仅仅依靠密封材料很难彻底解决。因此，需要准确把握O形圈的使用状况，从广大用户那里获取最新的意见和信息，开发充分发挥橡胶材料特性的高附加值产品，并将其介绍给用户。

7. 参考文献

- 1) 森邦夫等，橡胶协会期刊，第60卷 第7号(1987)
- 2) 日本橡胶协会编纂的橡胶工业便览第四版(1994)
- 3) 森邦夫等，橡胶协会期刊、第60卷 第4号(1987)
- 4) 目功，华尔卡评论，第38卷 第8号(1994)
- 5) 目功 冈崎雅则，华尔卡评论，第41卷 第1号(1997)
- 6) 目功，月刊摩擦学，1998.3(1998)



冈崎 雅则

研究开发本部 开发部

带PTFE系列垫片螺栓法兰 连接体的高温长期特性评估

1. 前言

带垫片管法兰连接体在石油精炼成套设备、化学成套设备、发电成套设备等高温和长期使用条件中被广泛采用。在日本,因其高耐热性、密封性、强度、易用性和低成本,到2008年为止,主要使用石棉垫片。此前开展了很多关于石棉垫片的研究^{1)~5)},带石棉垫片连接体的密封性能等特性被一一判明。在日本,随着2008年开始的石棉产品禁令,使用无石棉产品成为一种义务⁶⁾,这也推动了无石棉垫片产品的开发和改良。

以往的石棉垫片主要分为含石棉填料带的缠绕密封垫片,和石棉压缩板这两大类。石棉替代方面,缠绕密封垫片在替换为膨胀石墨后没有发生严重的问题,石棉压缩板方面则开展了无石棉压缩板垫片、膨胀石墨垫片和PTFE类板材垫片的改良。⁷⁾含芳纶纤维的压缩板垫片因为含有大量橡胶成分而耐热性较低,膨胀石墨垫片则存在容易受损的问题。于是,PTFE系列垫片在日本得到了全新改良,被广泛使用。新开发的PTFE类垫片对蠕变特性这一课题实现了大幅改善,但密封垫片的应力-形变线图、基本泄漏特性(文献, JIS B 2490)及蠕变特性等机械特性的详情没有被发表。并且,相对于现有的带石棉垫片连接体的密封性能,带PTFE类垫片连接体的密封性能是否良好也不明确。

迄今为止的研究中,对常温下的带PTFE类垫片连接体的密封性能、法兰的轴应力、螺栓轴力变动(内力系数)及垫片接触应力分布等力学特性展开了研究,与带石棉压缩板垫片连接体相比,其密封性能相当出色⁸⁾,但高温下的特性仍有很多不明确的部分。⁸⁾因此,有必要对高温下的蠕变及密封性能等连接体的力学特性展开研究。

本报中,通过实验和FEM解析,以对高温下的带PTFE系列垫片管法兰连接体的蠕变特性及其影响在内的螺栓轴力变动及密封性能等力学特性的评估为目的。首先,测量PTFE类垫片的应力-形变特性、线膨胀率及基本泄漏特性等基础特性,并测量高温下的蠕变特性。通过有限元素

分析(FEM),计算带PTFE类垫片法兰连接体的螺栓轴力变化、法兰轴应力及垫片接触应力的分布,使用垫片接触应力分布和基本泄漏特性来推测各温度下的泄漏量。通过对实验中得到的螺栓轴力、法兰轴应力及泄漏量进行对比,确认FEM解析的可行性。

实验中对带PTFE系列垫片法兰连接体的密封特性、轴应力及螺栓轴力的变化进行了测量。

本研究中,评估垫片为本公司产品No.GF300。No.GF300耐热性好不含任何橡胶成分,因此不会发生热老化和经时劣化,在力学研究方面能够高精度地进行评估。

2. 实验装置

Figure1所示为连接体试验装置,使用该装置测量连接体的氢气泄漏量、螺栓轴力及法兰轴应力。法兰为SUS304制,尺寸为ASME/ANSI class300 2inch。结构中嵌入了加热器,以3℃/min的速度升温。使用热电偶进行温度测量和控制,并使用变位计来测量法兰颈部应力。各螺栓也带有变位计,以测量螺栓轴力。螺栓紧固依照“JIS B 2251-2008 法兰接头紧固方法”进行。

采用压力下降法测量泄漏量,使用公式(1)进行计算。

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

此处, L: 泄漏率 [Pa·m³/s]、M: 摩尔质量[kg]、V: 装置内容积 [mm³]、t: 测量时间[s]、R: 气体系数[J/kg·K]、T₁: 测量开始时温度[℃]、T₂: 测量时间经过后温度[℃]、P₁: 测量开始时内压[MPa]、P₂: 测量时间经过后内压[MPa]。

垫片尺寸依据ASME/ANSI class300 2inch,厚度为1.5mm。作用内压为2MPa,管温度为常温、100℃及200℃。螺栓初始紧固时,以相当于平均垫片应力35MPa的螺栓轴力均为16.4kN的方式进行紧固作业。

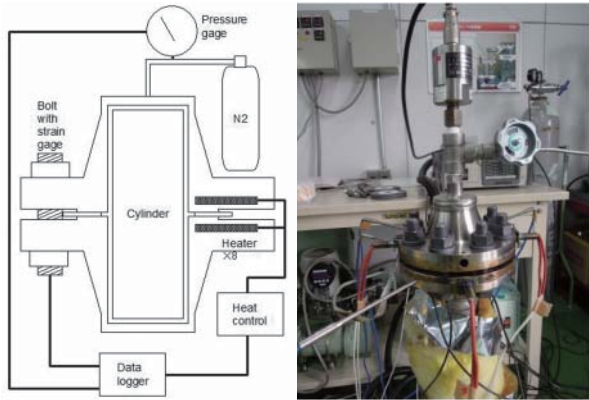


Figure1 连接体试验装置

3. 垫片特性测量

测量FEM解析中使用的垫片压缩特性、基本泄漏特性、线膨胀系数、及蠕变特性。

3-1) 垫片应力-形变特性

使用Figure2所示装置测量常温、50℃、100℃、200℃及300℃下的垫片应力-形变关系。装置采用基于JIS 10K50A的尺寸，通过法兰内埋设的加热器加热管内壁(Figure1)。

Figure3所示为各温度下的垫片接触应力和形变测量结果。温度越高，形变越大，显示出温度依存性。这可以认为是高温导致垫片材料软化而造成的。

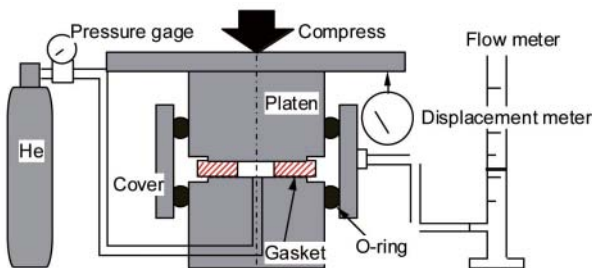


Figure2 使用法兰模块的垫片泄漏量测量装置, JIS B 2490)

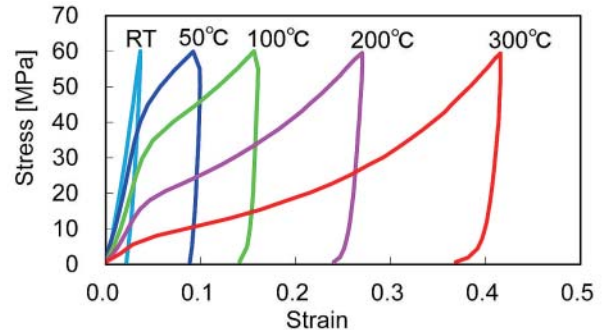


Figure3 所测量的垫片的应力-形变关系

3-2) 密封特性

依据JIS B 24901¹⁾进行常温泄漏量测量和200℃下解除负荷过程中的泄漏量测量。试验装置与压缩试验相同,使用Figure2所示装置,试验气体使用2MPa的氦气。

Figure4所示为通过试验得到的常温基本泄漏率(单位时间泄漏率, Pa·m³/s)。垫片接触应力在20MPa以上时,泄漏率在测量下限值5×10⁻⁵ Pa·m³/s以下,因此无法测量。

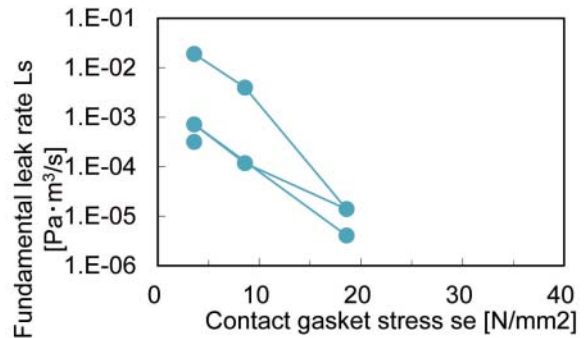


Figure4 基于法兰模块试验的常温下泄漏率-垫片接触应力关系

Figure5所示为初始垫片接触应力设为19.8、25.5及35.0MPa时的200℃下解除负荷时的基本泄漏率。由结果可知,高温时的密封特性更强。这可以推测是高温时垫片材料发生软化,更紧密地填满了法兰的微小间隙。

3-3) 线膨胀率

Figure6所示为使用TMA(Thermal Mechanical Analysis)测量的线膨胀率。可以发现,温度越高线膨胀率越高。

3-4) 蠕变特性

针对长期使用, 采用 Figure7 所示装置测量垫片的蠕变特性。垫片尺寸为 $\phi 22 - \phi 58$, 垫片应力为 12.5、25.0 及 35.0 MPa, 温度为 200°C 。Figure8 所示为测得的垫片的蠕变。横轴表示测量时间, 纵轴表示蠕变。蠕变随时间经过而增加。此外, 垫片应力越高, 蠕变越大, 存在应力依存性。将上述试验结果通过公式(2)加以确定, 输入到有限元素(FEM)解析中。

$$\overline{\varepsilon_c} = a \cdot \sigma^n \cdot t^j \quad (2)$$

此处, $\overline{\varepsilon_c}$: 蠕变速度 [1/s]、 σ : 应力 [MPa]、 t : 测量时间 [s]、 a 、 n 、 j 实验得到的系数 $a = 1.61 \times 10^{-5}$ [MPa] $^{-n}$ 、 $n = 1.25$ 、 $j = -0.915$ 。

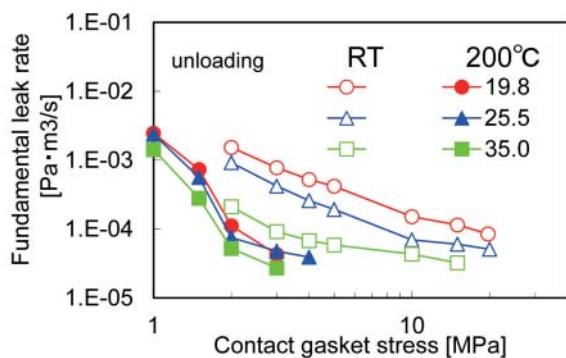


Figure5 基于法兰模块试验的常温和 200°C 下解除负荷的过程中, 垫片接触应力对泄漏率的影响

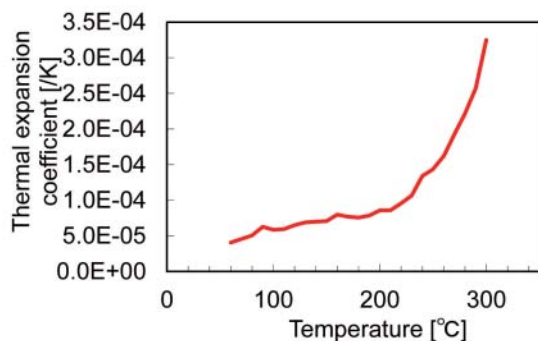


Figure6 垫片的线膨胀率

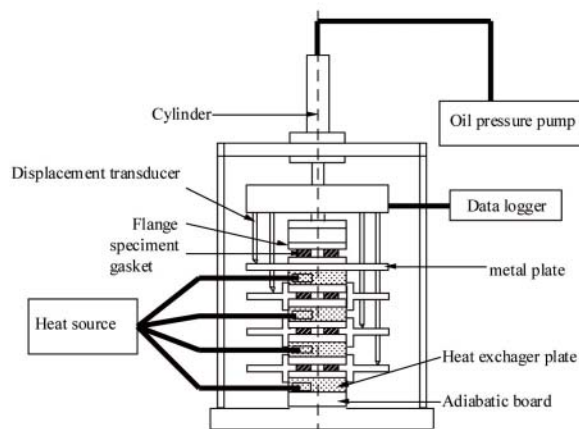


Figure7 垫片的蠕变试验装置

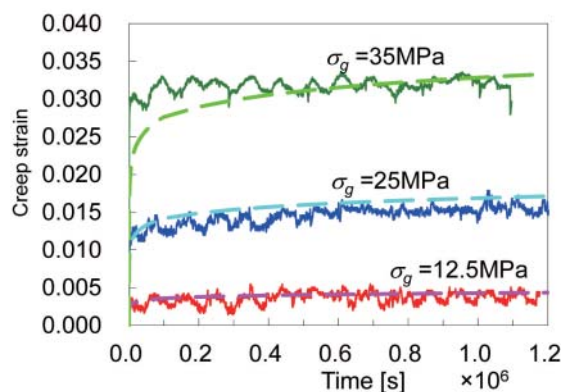


Figure8 测得的垫片的蠕变

4. 有限元 (FEM) 解析

有限元(FEM)解析使用的是通用代码ABAQUS (Ver.6.13.4)。Figure9所示为FEM解析模型。考虑到对称性, 以轴方向为1/2, 圆周方向为1/16。螺栓与螺母视作一体, 省略螺纹。此外, 螺母从六边形简化为圆形。

Figure10所示为边界条件。螺栓的对称面承受各个螺栓应力。Step2中, 温度和内压作用于容器内侧。法兰及螺栓螺母使用弹性-导热元素、垫片使用弹塑性-导热-粘性元素进行建模。Table1所示为各材料的材料系数。

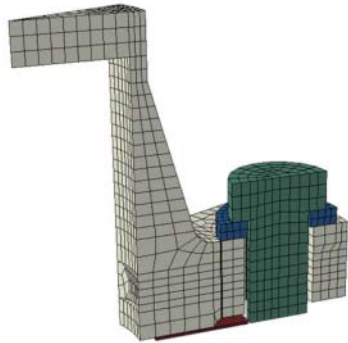


Figure9 FEM解析模型

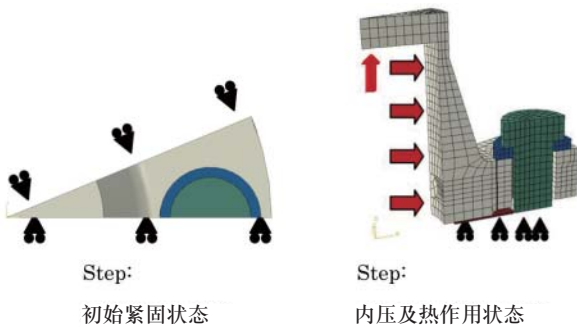


Figure 10 边界条件

Table1 各材料的材料系数

	法兰	螺栓	密封垫片
纵弹性系数[GPa]	200	200	Fig.3
泊松比	0.3	0.3	0.45
线膨胀率[1/K]	1.12 E-05	1.09 E-05	Fig.6
热传导率[W/m·K]	4.4 E-02	1.1 E-02	2.5 E-05
比热[J/kg·K]	500	500	1000
密度(常温)[kg/m ³]	7800	7800	2.3

5. 实验及FEM解析结果

5-1)螺栓轴力变化

Figure11及12所示为通过FEM解析得到的100℃及200℃条件下的螺栓轴力变化。实线表示FEM解析结果，虚线表示实验结果。该图中还标出法兰温度。初始螺栓轴力为16.4kN。将法兰加热到100℃后保持24小时，之后每隔24小时冷却至室温进行4次热循环。

通过Figure11及12，可知螺栓轴力很大程度上会受到连接体温度影响。初始加热时，由于垫片刚性下降，垫片形变的增加，即垫片厚度的减少导致轴力出现较大下降。随着热循环的温度增减，螺栓轴力也出现增减是因为各

材料之间热膨胀的差所导致的。关于螺栓轴力的变化，加热温度为100℃时相比，200℃时的轴力更大，由此可知温度的影响很大。200℃时，螺栓轴力降低了与垫片接触应力为4.3MPa相当的2kN，但未发现泄漏。

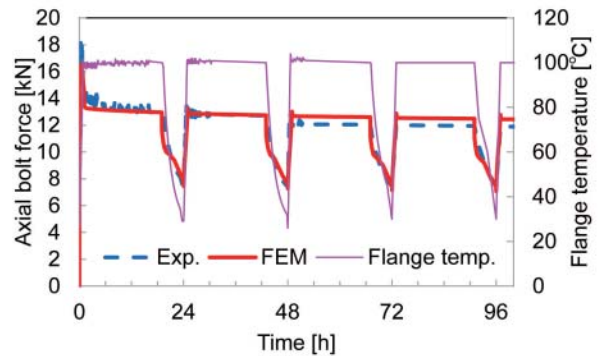


Figure 11 100℃下的连接体的螺栓轴力变化的对比

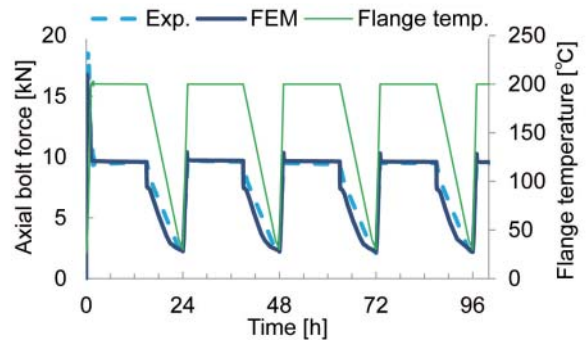


Figure 12 200℃下的连接体的螺栓轴力变化的对比

5-2)法兰颈部应力

Figure13所示为初始螺栓紧固时，及之后加热时的法兰颈部应力的值。图中还记载了基于ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII Division 1⁽⁴⁾的计算结果。关于法兰颈部应力的值，实验结果与分析结果相当一致，显示了FEM解析的可行性。

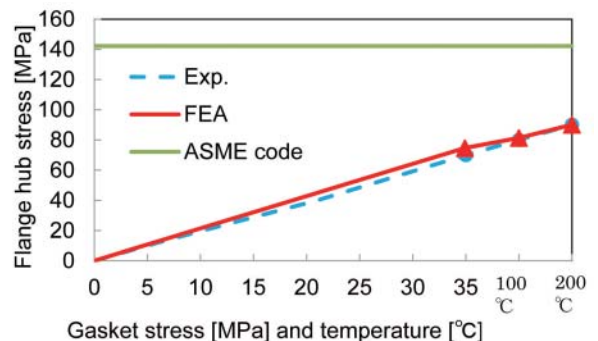


Figure13 法兰颈部应力

5-3) 垫片接触应力分布与泄漏率

Figure14 所示为反映初始螺栓紧固时、100℃加热时及 200℃加热时的连接体中的垫片接触应力分布的等值线图。外径侧不与法兰座接触，因此接触应力为 0。在接触部，起因于法兰旋转的外径侧垫片接触应力较大，在圆周方向上的分布很少。加热时与螺栓接触，外径侧发生部分变形。

Figure15 所示为垫片接触应力在半径方向上的平均值，Figure4 及 5 所示为使用密封特性推测的泄漏量的结果。纵轴为泄漏率除以接触外径后的单位长度泄漏率，横轴为垫片接触应力。FEM 解析结果与实验结果相当一致，显示出使用 FEM 解析进行泄漏率推测的可行性。

5-4) 连接体的高温长期特性预测

垫片连接体在高温长期条件下使用，因此需要对高温长期条件下的密封性能进行评估。Figure16 所示为使用 FEM 解析推测出的 10 年间的垫片接触应力变化。该图中还记载了密封极限应力(发生 $1.7 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以上的泄漏率的应力)，当密封垫片接触应力低于该值时，视作发生泄漏。连接体条件与以往的评估相同，尺寸为 ASME/ANSI class 300 2inch，流体(管内壁)温度为 200℃。每 2 年会停运 1 次，因此在 FEM 解析时也需要列入考虑。初始垫片应力为 25MPa 时，停运时密封极限面压下降，可能会发生泄漏。

与之相对的，初始垫片应力为 35MPa 时，垫片面压保持在密封极限应力以上，可以认为能保持密封性。进行追加紧固时也一样可以保持密封特性。

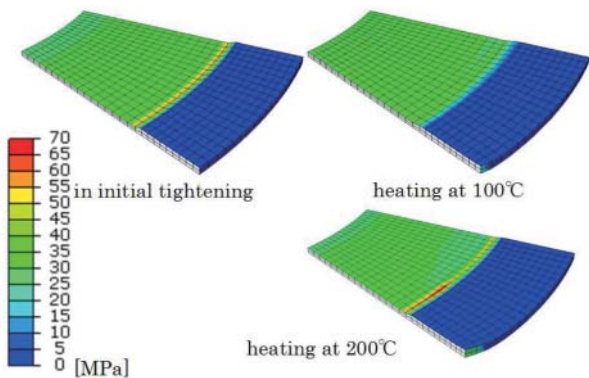


Figure 14 基于 FEM 解析的垫片接触应力分布

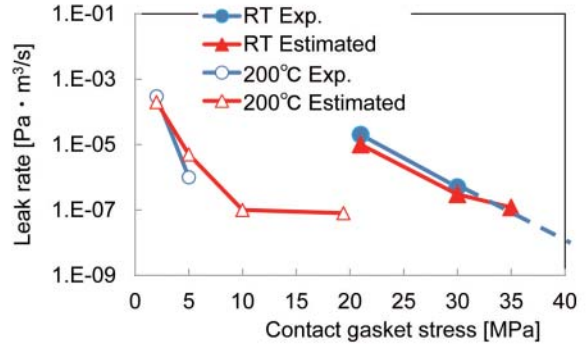


Figure 15 通过实验得到的连接体的泄漏率与通过 FEM 解析推测出的泄漏率的对比

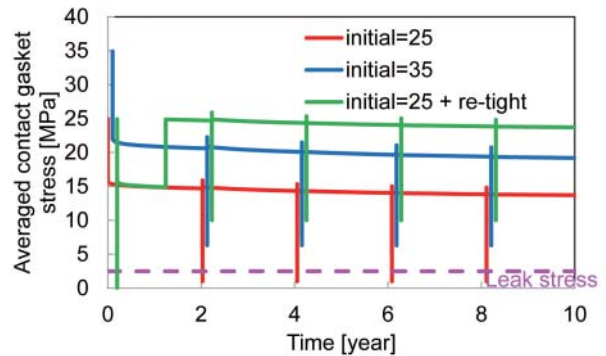


Figure 16 通过 FEM 解析推测出的 10 年间的连接体的垫片接触应力变化

6. 结语

本研究通过实验和 FEM 解析，对带 PTFE 系列垫片(No. GF300) 2 英寸法兰连接体的高温长期特性进行评估，表明了连接体的常温及 200℃ 下的长期健全性方面的良好性能。得到的结论如下所示。

- (1) PTFE 系列垫片(No. GF300)的压缩特性及基本密封特性中的温度依存性、蠕变特性的应力依存性等。其结果说明，常温下该带 PTFE 系列垫片连接体的密封性能良好。
- (2) 说明带 PTFE 系列垫片连接体中的螺栓轴力受到热循环的影响很大，且在 200℃ 下连接体的密封性能依然良好。确认轴应力小于 ASME Code 的计算值。
- (3) 使用通过 FEM 计算出的垫片接触应力分布和通过试验得到的泄漏率—垫片接触应力关系，对连接体的泄漏率进行了预测。此外，通过将该预测值与实验值对比，确认了泄漏量预测手段的可行性。常温下密封极限应力在 10MPa 左右，200℃ 下最大为 35MPa 左右，可以得到良好的密封特性。

(4) 提出了带PTFE系列垫片(No.GF300)螺栓法兰连接体的高温长期条件的变化预测手段。其结果,在本次研究的情况下,初始垫片接触应力设为35MPa时,可以确保长达10年的健全性,如果进行追加紧固,则健全性将变得更好。

7. 参考文献

- 1) TAKAKI, T., SATOU, K., YAMANAKA, Y., FUKUOKA T., “Effects of Flange Rotation on the Sealing Performance of Pipe Flange Connections”, ASME PVP Vol.478,(2004), pp.121-128.
- 2) 高木知弘, 福岡俊道, 山中幸, “基于FEM的管法兰螺栓紧固模拟”, Valqua Technology News, No.2, (2002), pp5-13
- 3) 泽俊行, 尾方尚文, 西田隆仁, “承受内压的带缠绕密封垫片管法兰连接体的应力解析与密封性能评估”, 日本机械学会论文集(A篇), 68卷671号(2002), pp. 1120-1128.
- 4) KOBAYASHI, T., NISHIDA, T., YAMANAKA, Y., “Effect of Creep-Relaxation Characteristics of Gaskets on the Bolt Loads of Gasketed Joints”, ASME PVP Vol.457,(2003), pp.111-118.
- 5) KOBAYASHI, T., NISHIDA, T., YAMANAKA, Y., “Consideration on the Representations of Sealing Behavior of Gaskets: Effects of the Internal Pressure and the Gasket Width”, ASME PVP Vol.45,(2003), pp.133-138.
- 6) 劳动安全卫生法令第318号(2008)
- 7) 日本华尔卡工业株式会社, “无石棉垫片”, 产品目录 No.ZY03,(2011).
- 8) SATO, K., MURAMATSU, A., KOBAYASHI, T., SAWA, T., “, 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,m(2015)
- 10) 日本工业标准. JIS B 2251 “法兰接头紧固方法”, (2008)
- 11) 日本工业标准. JIS B 2490 “管法兰用垫片的密封特性试验方法”,(2008).
- 12) OMIYA, Y., SAWA, T., TAKAGI, Y“., Stress Analysis and Design of Bolted Flange Connections under Internal Pressure”, PVP2014-28606, Proceeding of ASME PVP 2014 Conference,(2014).
- 13) OMIYA, Y., SAWA, T., “, 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).
- 14) ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 “Rules for construction of Pressure Vessels” App.2, (2004).



佐藤广嗣
研究开发本部 开发部

公元	年号	本公司技术事项
1927	昭和2	以制造汽车及各种高速机械用制动衬带为目的，设立日本制动衬带制作所
1929	昭和4	开始石棉压缩板及各种密封圈的研究
1930	昭和5	开始生产离合器衬片
1931	昭和6	开始生产石棉编织密封圈 开始生产Hi-test衬里
1932	昭和7	开始生产石棉螺旋密封圈 开始研究试制夹布橡胶模制密封圈 开始生产层积式压缩板
1933	昭和8	受海军舰政本部委托，研究特殊高温、高压用金属密封圈 开始生产层积式石棉辊压板(No.902, 305, 1000)
1934	昭和9	完成特殊高温、高压用密封圈(No.1250)的研究 特殊高温、高压用密封圈被登记入“海军采购名录”
1935	昭和10	设置日本首创的大型石棉压缩板制造装置(120英寸用) 开始试制压榨大型石棉辊压板
1936	昭和11	开始合成橡胶加工的研究
1937	昭和12	作为日本最初的产品，合成橡胶密封圈被安装到环绕地球航行一圈的神风号上 开始生产密封件用润滑剂(第一号)
1939	昭和14	获得多硫化合成橡胶“Hitakooru*1”，开始耐油性密封圈的研究
1941	昭和16	开始生产飞机用合成橡胶密封圈、石棉辊压板
1943	昭和18	受陆军燃料厂委托，开始研究“制油装置用密封圈” 开始生产飞机用密封圈 根据国家总动员法第25条的规定，受命进行“发电用高温高压密封圈”的研究试验 开始制造燃料工业用金属垫片
1947	昭和22	开始制造活塞阀
1949	昭和24	完成氯乙烯树脂的成形加工法，并开始销售 着手研究石棉交织密封圈的新编制方法 受通商产业省委托，开始研究“高温、高压、过量蒸汽用密封圈”
1950	昭和25	新编织法的研究成功，即开始生产交织(格子编织)密封圈 完成通商产业省委托的“高温、高压、过量蒸汽用密封圈”的研究
1951	昭和26	完成轴承油封的合成橡胶制油封的研究 开始硅橡胶的加工研究 从美国进口特氟龙*2颗粒，开始特氟龙成形加工方法的研究 开始O形圈的研究
1952	昭和27	特氟龙加工技术相关研究完成，以“华尔氟龙™”的名义开始加工销售 开始生产合成橡胶制油封 完成金属片缠绕密封垫片的研究，以“VALQUA TIGHT”的名义开始生产销售
1953	昭和28	完成旋转设备用“机械密封”，开始生产、销售 获得通商产业省关于“以硅橡胶、特氟龙为主要材料的飞机用密封圈的性能研究”的补助金
1954	昭和29	开始生产、销售O形圈
1955	昭和30	获得通商产业省关于“聚四氟乙烯加工制造技术”的补助金
1956	昭和31	开始生产、销售特氟龙表面处理黏胶带 进口特氟龙挤出机，开始研究薄壁管、软管及包覆电线的研究 开始生产、销售氟橡胶产品 喷气战斗机(F-86)用合成橡胶密封圈首次采用日本产品
1957	昭和32	“聚四氟乙烯加工制造方法”的工业化试验完成通过通商产业省的认证 技术宣传刊物《华尔卡评论》创刊
1958	昭和33	开始生产、销售联合收割机的油环密封(No.2800)

公元	年号	本公司技术事项
1959	昭和34	开始生产、销售螺纹接头用密封件“胶带密封”
1960	昭和35	开始生产、销售华尔氟龙™玻璃布(No.7920) 开始生产、销售球阀
1962	昭和37	开始生产、销售超高分子量聚乙烯(Hosutaren GUR* ³)产品, 商品名「VALREN」
1963	昭和38	开始生产、销售特氟龙润滑剂“Spray Wax”(“U-NON S”)
1964	昭和39	最先开发日本特氟龙纤维, 并开始生产、销售 完成世界最大(400mm)的华尔氟龙™大口径管
1965	昭和40	与德国弹性体AG合并, 设立日本Elastollan株式会社, 开始生产、销售热塑性聚氨酯Elastollan* ⁴ 开始生产、销售“华尔氟龙®CODESEAL”
1966	昭和41	与美国DURA金属公司开展技术合作, 开始生产、销售DURA密封件。
1967	昭和42	新开发的耐火包覆材料“REFLIGHT”获得建设部认证 与美国Dinner公司开展阀门密封件的技术合作 开始生产、销售高温用金属包覆“华尔氟龙™波纹管”
1968	昭和43	开始生产、销售碳纤维编织密封圈(No.97-CT, 今No.6232) 完成搅拌机用机械密封的标准化, 开始生产、销售
1969	昭和44	开始生产、销售“纯华尔氟龙™波纹管” 开始生产、销售风管用挠性接头“Flector™”
1970	昭和45	开始生产、销售金属中空O形圈
1971	昭和46	开始生产、销售华尔氟龙™粉末密封圈“FURORO TIGHT” 符合美国石油协会标准 API standard 6D的球阀 获准标注API认证标志 开始生产、销售华尔氟龙™衬里球阀 开始销售DOH式及MS式气体除害装置 开始生产、销售热交换器用带分枝缠绕密封垫片“热交换器用带分支 VALQUA TIGHT” 开始生产、销售球阀防火安全球阀
1972	昭和47	开始销售空调用挠性管“VAL FUREKI” 开始生产、销售Elastollan层压薄膜 开始生产、销售新设计的垫片切割机。 开始生产、销售“华尔氟龙™Flawless垫片”
1973	昭和48	开发完全湿式喷涂“VALQUA WET”, 实施接单施工 开始销售新设计的密封圈工具 开始生产、销售“华尔氟龙™热缩管”
1974	昭和49	开始生产、销售碳纤维编织填料“CHEMISEAL” 开始生产、销售隔音施工材料“NOISE DAMPER”
1975	昭和50	开始生产、销售日本首个完全免供油密封圈“NORU PACK™” 获得通商产业省工业技术院关于“非接触密封相关应用研究”的开发补助金 开发防腐蚀石棉辊压板(NO.1500AC, No.1501AC, No.921AC), 开始生产、销售 与鹿岛建设共同开发混入钢纤维的情形水泥板 受新技术开发事业团体委托, 进行“耐热、耐碱性玻璃纤维的制造技术”的开发
1976	昭和51	开发白石棉制耐酸石棉辊压板(NO.1000), 开始生产、销售 获得通商产业省工业技术院关于“使用火山灰的玻璃纤维的耐热耐火建筑材料制造相关工业化试验”的重要技术研究开发补助金 与英国TBA Industrial Products Ltd.签订“防尘处理石棉布”的技术合作协议
1978	昭和53	与美国Fluoroware Inc.签订氟树脂PFA注射成型技术、氟树脂转换及压缩成型技术的交叉许可协议
1979	昭和54	半导体制造用熔融氟树脂PFA的硅片载体容器·夹具的生产、销售
1982	昭和57	开始无石棉辊压板™的生产、销售 开始夹弹簧金属包覆垫片“TRYPACK”的销售
1983	昭和58	开始销售华尔卡油封

技术年表

公元	年号	本公司技术事项
1983	昭和58	开始销售芳纶纤维制旋转轴用填料
1984	昭和59	开始销售“华尔氟龙水晶橡胶(Valflon Crystal Rubber)™”
1985	昭和60	不使用石棉的产品以“[ノンアス](无石棉™)”作为注册商标 促进各种无石棉™产品的开发 开始销售“GLEAN TIGHT™”
1990	平成2	开始销售“华尔氟龙™柔性(SEMI-RIGID)”同轴电缆
1993	平成5	“全氟树脂条形码”获得美国杜邦公司颁发的Plunkett奖 在奈良县五条市新设奈良工厂，开始制造高性能橡胶产品
1994	平成6	开始销售“CLEAN TIGHT™”
1995	平成7	“复印机辊筒用PFA管”获得美国杜邦公司颁发的Plunkett奖 开始大容量现场施工型华尔氟龙™板衬里水箱的销售
1997	平成9	现场施工型华尔氟龙™板衬里水箱获得美国杜邦公司颁发的Plunkett奖
1998	平成10	开始面向液晶、半导体装置的高纯度氟橡胶密封件“ARMOR™系列”(4种)的销售
1999	平成11	开始面向半导体制造装置及FPD制造装置厂商的矩形闸阀的销售
2001	平成13	作为对《华尔卡评论》的发展性继承,《华尔卡技术新闻》创刊
2002	平成14	双电层电容器电极膜获得美国杜邦公司颁发的Plunkett奖
2004	平成16	开始耐热型无石棉™板垫片“Black Hyper”的销售 在中国上海市设立“氟树脂研究所(上海)”、“华尔卡密封研究所(上海)”
2005	平成17	全面终止含石棉产品的生产
2006	平成18	终止含石棉产品的销售 开始高温用华尔氟龙高温™包覆型垫片“No.N7030(H)系列”的销售
2008	平成20	将“氟树脂研究所(上海)”、“华尔卡密封研究所(上海)”合并为“中国综合研究所(于上海市新设)”
2010	平成22	以强化延伸氟树脂(sa-PTFE™)事业为目的,设立华尔美株式会社(本部 东京) 在中国综合研究所辖下,设立中国膜研究所 大金工业株式会社与中国的氟树脂事业达成资本、业务协作 开始含白色填充材料PTFE板垫片“Bright Hyper™”的销售
2011	平成23	在上海华尔卡氟树脂产品有限公司内设立技术网点“中国机能树脂技术中心”
2012	平成24	作为环境对策,开始以非晶硅替代结晶硅的“无结晶硅系列”的销售
2013	平成25	在中国与意大利的利氟龙公司设立合资企业阿德邦氟塑科技(上海)有限公司 开始含填充材料PTFE板垫片“Universal Hyper™”的销售 开始防震对策垫片“No.6596A”的销售
2015	平成27	现代垫片概论刊行(著者:本公司资深专家 西田 隆仁)
2016	平成28	作为环境对策,开始用其他材料取代陶瓷纤维的“无RCF系列”的销售 在韩国的平泽市设立“韩国应用研究所” 开始凭借不含致癌性有毒物质的安全、环保配方而被归类为非危险物的“改良版密封胶”的销售

* 1 Hitakooru是株式会社日立制作所的商品名。

* 2 特氟龙是杜邦公司制造的氟树脂的商品名。

* 3 Hosutaren G U R是Hoechst AG的商品名。

* 4 Elastollan是BASF Polyurethanes GmbH的注册商标。