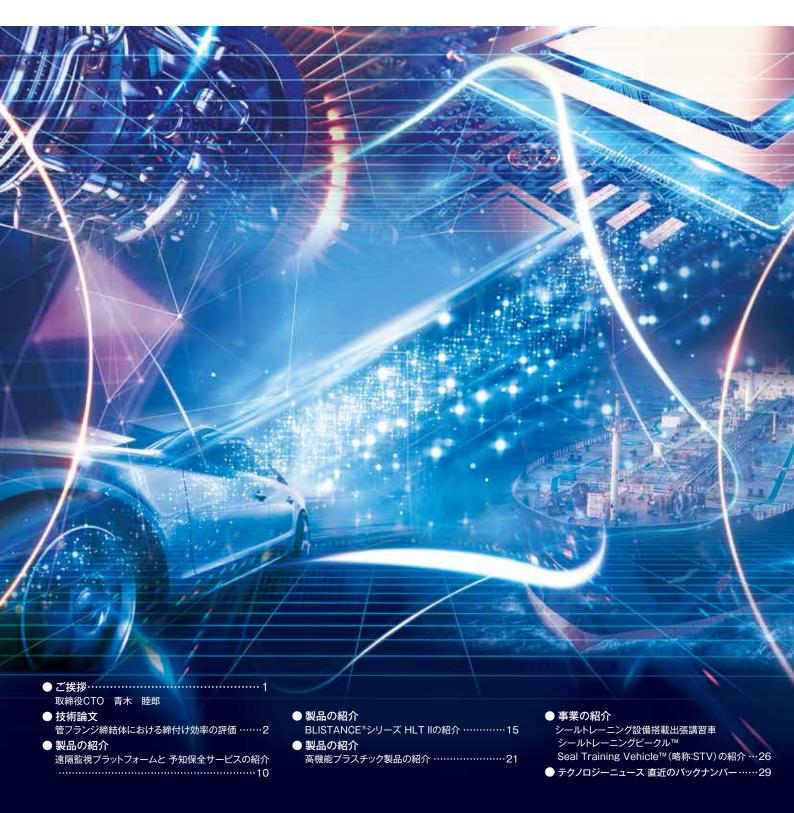
Valgua Technology News

2022年

バルカー技術誌

No.43 Summer 2022



ご挨拶

皆さまには日頃からValqua Technology Newsをご愛読いただき、心より御礼を申し上げます。

当社は、前中期経営計画NF2022を1年間前倒して終了し、新たな2年間の中期経営計画として NF2023を本年度からスタートさせることになりました。この背景には、NF2022について昨年度までに概ねの目標が達成されたこともありますが、世界情勢や技術革新によってビジネス環境が激しく変化する現況において、その変化を凌駕するコーポレートトランスフォーメーション (CX) を進めるには、より革新的な取り組みを加速的に実行していくことが必須であり、その視点から新たな中期経営計画を立ち上げる判断となりました。

この中期経営計画においても、R&Dが当社としての成長目標を実現していくために重要な役割を果たしていくことを基軸としております。具体的には、新素材技術の適用で高性能化された種々のハード製品、IoT関連技術を活用した予知保全技術、材料の機能性を活かす技術開発、そしてこれらのソリューションに対するデーターサイエンスの活用といった、当社としては少し新たな領域への技術開発活動を展開することにより、当社が目指すH&S事業の方向性と同調させて顧客の皆さまへ新たな価値を提供させていただくべく活動を進めてまいります。また、その開発活動においては、既に以前から開始しているオープンイノベーションを活用する試みを継続してまいります。オープンイノベーション活動での相手先としては、日本国内の研究機関や企業に留まらず、コロナ禍による影響を受けながらも欧米のStart Upsや大学等との活動も拡大し、より広い知見に基づいたより価値の高いH&Sソリューションを顧客の皆さまにお届けすることで、NF2023そしてその後の当社の100周年での成長目標の達成に向かっていく所存です。

今号のテクノロジーニュースでは、以上のような背景の中で様々な視点で進めてきた当社の研究成果の一端を読者である顧客の皆さまにご紹介したく存じます。コア事業であるシールエンジニアリング技術からは締結管理の基本的な視点から「締付け効率の研究」を、そして当社の知見を保全活動に活かすとともにIoTやAIを幅広く活用していくという背景から「遠隔監視プラットフォームと予知保全サービスの紹介」を、更には地球温暖化に大きく関わるエネルギー課題にシール技術で貢献を図る「BLISTANCEシリーズ品 "HLTII" の紹介」等を、新たな視点と開発技術の方向性について取り上げております。

当社が、革新的な成長において技術開発活動での成果を推進材としていくために、既存の事業領域内だけで技術分野を選別するのではなく、要素技術として幅広い領域でのエマージング技術についてそれらが持つポテンシャルを量る目を養いながら、使える・活かせる技術の発掘を進めてまいります。

今後とも、当社製品・サービスともども、バルカーテクノロジーニュースを引き続きご愛顧いただきますよう、 よろしくお願い申し上げます。

取締役CTO 青木 睦郎

管フランジ締結体における締付け効率の評価

1. はじめに

管フランジ締結体において、ガスケット密封性能が正常に作動するためには、必要ガスケット接触応力が保持されるためのフランジ締結体のボルト締付けが重要である。フランジの締付け手順を示した規格として、米国機械学会(American Society of Mechanical Engineers, ASME)のASME PCC-1¹⁾ Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assemblyが刊行されており、日本ではJIS B 2251²⁾ "フランジ継手締付け方法"が2008年に制定されている。JIS B 2251は、効率的かつより正確に目標ボルト軸力を達成することを目的としたボルト締付け方法であり、この規格に則って締め付けることが推奨されている。

管フランジ締結体の締付け作業では、片締めなどを防ぎ、より均等にボルトを締め付けることを目的に、段階的に各ボルト軸力を上げることが推奨されている。加えて、目標締付けトルクで複数回にわたって周回締めを行う手順も重要である。

管フランジ締結体のように複数ボルトを順に締め付ける場 合、他のボルトを締め付けている間に、締結体の弾性相互 作用やガスケットのクリープなどの材料特性により、ボルト軸 力が低下する。しかしながら、複数回にわたって周回に各ボ ルトを締め付けることで、徐々にボルト軸力は目標ボルト軸力 に近い値に収束する³⁾。この締結体の弾性相互作用やガス ケットのクリープ特性が各ボルト軸力変動に及ぼす影響は、 ガスケットの種類や締結体の呼び径によって異なるが、いくつ かの研究^{4) 5) 6)}がなされているものの、その挙動は十分に明 らかにされていないと思われる。特に最近の管フランジ締結 体の漏れ量基準の設計の方向に対して、初期ボルト締付け 力のより均一な確保と目標ボルト軸力の確保が必要とされて いる。このため初期ボルト締付け力が目標ボルト軸力に達す るのかという問題に対して、締付け効率η(得られた初期ボル ト軸力の平均値/目標ボルト軸力)が重要な因子であり、各ガ スケットの種類と管フランジの呼び径に対して、この締付け効 率を求めておくことが必要である。更にこの締付け効率に対 して、ボルト軸力が各ボルトによりばらつくため、締結体の漏れ量が変化する。このためまず、初期ボルト締付け時におけるボルト軸力変動を調べる必要もある。

本報では、初期ボルト締付け過程でのボルト軸力変動が 重要な因子であると考え、各ボルト締付け過程での目標ボルト軸力に対する実際のボルト軸力の割合を「締付け効率 (η)」と定義し、ガスケットの種類や呼び径を変えた場合の締付け効率ηを実験と有限要素法(FEM)で求め比較する。また、周回数による締付け効率の変化も評価する。この締付け効率ηの値が求められると、目標ボルト軸力の値を1/η倍することにより、目標ボルト軸力の値を大きくし、軸力変動を加味した目標ボルト軸力が得られる。なお最近は、目標許容漏れ量に対する実際の漏れ量の比を締付け効率とする考え方も提唱されており、いくつかのガスケットの場合に対して、JISB 2251 及び ASME PCC-1のボルト締付け方法による漏れ量基準の締付け効率を検討した研究^{7,8}もなされている。

2. 実験方法

2-1) ガスケット

Table1は実験及びFEM解析で用いたガスケットの種類と管フランジの呼び径を示す。ガスケットは、膨張黒鉛をフィラー材としたうず巻形ガスケット(No.6596V)、ジョイントシート

Table1 実験及びFEM解析に用いた管フランジの 呼び寸法とガスケットの種類

	実験	FEM
	No.6500	No.6500
JPI Class300 4inch	No.6596V	No.6596V
ori Classood 4ilich	No.7020	No.7020
	No.N7030(N)	No.N7030 (N)
		No.6500
		No.7020
JPI Class300 5inch		No.N7030 (N)
		No.6596V
		(Class300、600、1500)
	No.6500	No.6500
JPI Class300 24inch	No.6596V	No.7020
	No.7020	
	No.N7030(N)	

(No.6500)、充填材入りふっ素樹脂圧延シート(No.7020)及 びふっ素樹脂ジャケットガスケット(No.N7030(N))の4種類と する。実験に用いた管フランジの呼び寸法はJPI Class300 4inch 及びJPI Class300 24inchとしている。

FEM解析の妥当性は、JPI Class300 4inch及びJPI Class300 24inch締結体における実験結果とFEM解析結果との比較より示す。そのFEMモデルを用いてJPI Class300 5inch締結体の締付け効率をFEM解析にて求める。またNo.6596Vガスケット付き締結体については、管フランジの圧力クラスが締付け効率に及ぼす影響を調べるために、5インチ管フランジ締結体における圧力クラス300、600及び1500の締付け効率をFEM解析により求め、各値を比較検討する。

2-2) 実験条件

Figurel 及びFigure2は本報告で使用した試験装置を示す。管フランジ締結体にガスケットを組込み、目標ガスケット面圧になるようにボルトを締め付けた時のボルト軸力を軸部に貼られたひずみゲージにより測定した。なお、ボルト軸部にはひずみゲージを2枚貼り付け、予め校正している。Table2は使用する各ガスケットの目標ボルト軸力の値を示す。目標ガスケット面圧は各ガスケットで異なり、Table2に示すようにガスケットNo.6500及びNo.7020がガスケット面圧30MPa、No.N7030(N)はガスケット面圧20MPaとしている。

締付け方法はJIS B 2251に基づいて実施する。ボルト締付け作業は事前に管フランジ締結体ごとに、締付けトルクTに対するボルト軸力Fを測定し、トルク係数Kを実験的に算出し、締付けトルクTを指標にして行った。なお、T=KFdで求める。ここで、Fは目標ボルト軸力、dはボルトの呼び径である。Table3は本報で用いたボルト締付けの周回数と締付けトルクを示す。Table3に示すように、JPI Class300 24inch締結体はボルト本数が24本であり、規格に指定された締付けトルクの110%を目標締付けトルクとしている。

また、ガスケットNo.7020及びNo.N7030(S)を用いた締結体については、クリープの影響を評価するため、締付け完了から4時間経過後に周回締め(2周)の増締めを行う。 Figure3はボルトを増締め後の締付け効率評価のためのボルト軸力測定時の経過時間を示す。ボルト軸力はFigure3に示すように増締めから24時間経過後まで測定する。

式(1)は締付け効率の定義を示し、締付け効率は目標ボルト軸力と実際に測定する各ボルト軸力から算出する。目標ボルト軸力は、各ガスケットの目標面圧から算出したボルト軸力

である。実際のボルト軸力は、各ボルトのボルト軸力の実測値を平均した値としている。24インチ管フランジ締結体の場合、締付けトルクの110%を目標締付けトルクとしているため、締付け効率は、110%目標軸力に基づいた締付け効率①と100%目標軸力に基づいた締付け効率②の2通りにて算出する。

締付け効率
$$(\eta)$$
 = $\frac{ボルト軸カ平均値}{1}$ (1)

注) 24インチ管フランジ締結体の場合110%目標軸力に基づいた締付け効率 ①及び100%目標軸力に基づいた締付け効率②の2通りを算出する。



Figure 1 JPI Class 300 4 inch 管フランジ締結体の試験装置



Figure 2 JPI Class 300 24 inch 管フランジ締結体の試験装置

Table2 2種類の管フランジ締結体に各ガスケットを 使用するときの目標ボルト軸力

大力することの口(ホハハル) 神ノリ					
		目標ボルト軸力[kN]			
ガスケット種	目標面圧 [MPa]	4インチ	24インチ (110%)	(参考) 24インチ (100%)	
No.6500	30	33.2	113	103	
No.6596V	60	30.9	153	139	
No.7020	30	33.2	113	103	
No.N7030 (N)	20	17.5	65	59	

Table3	ボルト締付けの周回数と締付けトル	レク

フランジ寸法	JPI Class300 4inch	JPI Class300 24inch
ボルト呼び径	M20	M39
ボルト本数	8本	24本
最大締付け 周回数	4周	6周
締付けトルク	目標値の100%	目標値の110%

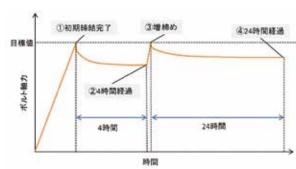


Figure3 増締め後のボルト軸力測定時の経過時間

3. 実験結果

3-1) 初期締付け過程での締付け効率

Figure4及びFigure5は段階的に対角締めを行う手順と周回締めの手順における各締付け過程の締付け効率を示す。横軸は各段階を示し、左の縦軸が締付け効率(式(1))であり、右の縦軸はボルト軸力を示す。横軸は、目標トルク0%から100%までが段階的な対角締め、ラウンド1からラウンド6が周回締めである。Figure4の結果がJPI Class3004inch締結体、Figure5の結果がJPI Class30024inch締結体である。JIS B 2251の締付け方法では、24インチ管フランジ締結体は仮締付けボルトが4本である。仮締付けでは、締め付けているボルトと締め付けていないボルトがあるため、締付け効率は算出していない。また、24インチ管フランジ締結体については、110%目標軸力及び100%目標軸力に対しての締付け効率を示している。

Figure4及びFigure5より、周回締めの初期にあたるラウンド1及び2では目標トルクで締付けているにも関わらず、締付け効率は低い。これは、締結体の弾性相互作用などにより、ボルト軸力が低下してしまうためと考えられる。

しかしながら、周回締めを繰り返すことで、弾性相互作用の影響は収まり、4インチ管フランジ締結体ではラウンド3、24インチ管フランジ締結体ではラウンド4あたりから締付け効率の変化は少なくなり一定値にほぼ収束する。また、ガスケットの種類で締付け効率に大きな違いは見られない。ガスケットNo.7020及びNo.N7030(N)を用いた締結体はガスケットNo.6500及びNo.6596Vを用いた締結体と比較すると応力緩

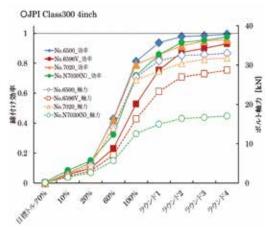
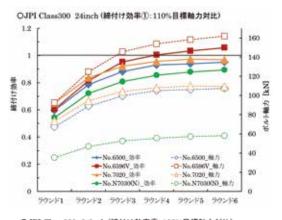


Figure4 初期締付け過程での締付け効率(JPI Class300 4inch)



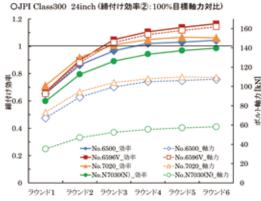


Figure 5 初期締付け過程での締付け効率 (JPI Class 300 24 inch)

和が大きいが、初期締付け時においては応力緩和の影響は 少なく、同じ締付け方法で問題ないと考えられる。

なお、24インチ管フランジ締結体の締付け効率において、 4インチ管フランジ締結体と同様に100%目標軸力対比で締付け効率を算出すると、4インチ管フランジ締結体の締付け効率より高くなった。管フランジの呼び寸法が大きいと弾性相互作用などの影響も大きくなるため、JIS B 2251の締付け方法では、ボルト本数が12本以上の場合、指定された締付け トルクの110%を目標締付けトルクとしている。 目標締付けトルクを110%とすることで、24インチ管フランジ締結体においても締結体の弾性相互作用によるボルト軸力低下を補えることがわかる。

また、110%目標軸力対比の場合でも、ガスケットNo.6596Vで締付け効率が1以上となっているが、トルク係数を各ボルトの平均値としているためと考えらえる。110%目標軸力対比でも、各ガスケットとも締付け効率は0.8以上あるが、この結果は各ボルトの平均値であるため、全てのボルトが安定的に高い締付け効率を得るためには、管フランジの呼び寸法が大きい場合は目標値の110%を目標締付けトルクにすることが推奨される。

3-2) 増締め後のボルト軸力挙動

次にFigure6は、ガスケットNo.7020及びNo.N7030(N)を用いた締結体について、初期締付け後のボルト軸力の経時変化を示す。縦軸は初期締付け完了時のボルト軸力に対するボルト軸力残留率であり、4インチ管フランジ締結体ではラウンド4、24インチ管フランジ締結体ではラウンド6におけるボルト軸力からの変化を示している。

Figure6より、初期締付け完了後はボルト軸力が時間とともに減少している。4時間後に増締めを行うことで、ボルト軸力は初期値近くまで回復し、その後のボルト軸力低下もゆるやかとなっている。

これらの結果より、増締めはボルト軸力の回復に有効な手段であることがわかる。特にふっ素樹脂系のシートガスケットは、初期締付け後、ボルト軸力が大きく低下するため、初期締付けから一定時間(4時間以上)経過後に増締めを行うと、より効果的と考えられる。

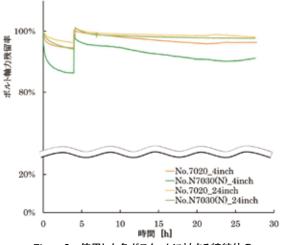


Figure6 使用した各ガスケットに対する締結体の 増締め後のボルト軸力残留率

また4インチ締結体と24インチ締結体を比較すると、4インチ締結体のボルト軸力がより低下している。管フランジ締結体全体で考えた場合、フランジ厚さに対するガスケット厚さが4インチ締結体と24インチ締結体で異なる。4インチ締結体の方がフランジ厚さに対するガスケット厚さの割合が大きいため、クリープ特性の影響も大きくなり、ボルト軸力がより低下していると考えられる。

3-3) 各ボルトの締付け効率のばらつき

同じトルクで締付けを行った場合でも、ボルトごとのトルク係数などのばらつきにより、各ボルトの締付け効率にも差が生じる。Figure7、Figure8及びTable4は初期締付け完了時(ラウンド4もしくはラウンド6完了後)の各ボルトの締付け効率を示す。Figure7がJPI Class300 4inch締結体の100%目標軸力対比における結果である。Table4は各ガスケットの最大値、最小値及び平均値をまとめたものである。

Figure7、Figure8及びTable4より、各ボルトのばらつきは寸法の大きい24インチ管フランジ締結体が大きい結果となった。ボルト本数が多いことと弾性相互作用が大きいことが影響していると考えられる。

しかしながら、24インチ管フランジ締結体の場合でも100% 目標軸力対比で考えると、各ボルトの締付け効率は0.85以上 である。JIS B 2251では目標締付け力の達成率85%を基準 としており、各ボルトでこの達成率は満たされている。

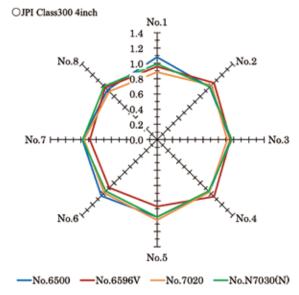


Figure7 各ボルトの締付け効率 (JPI Class300 4inch)

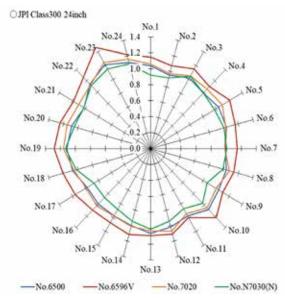


Figure 8 各ボルトの締付け効率 (JPI Class300 24inch・締付け効率②:100%目標軸力対比)

Table4 各ボルトにおける締付け効率のばらつき

寸法	JPI Class300 4inch			
ガスケット種	No.6500	No.6596V	No.7020	No.N7030 (N)
最大値	1.08	1.05	1.05	1.01
最小値	0.92	0.87	0.89	0.95
平均値	0.99	0.95	0.96	0.98
最大-最小	0.16	0.18	0.16	0.06

締付け効率①(110%目標軸力対比)

寸法	JPI Class300 24inch			
ガスケット種	No.6500 No.6596V No.7020 No.N7030			
最大値	1.11	1.33	1.13	1.04
最小値	0.87	0.91	0.86	0.78
平均值	0.95	1.06	0.97	0.90
最大-最小	0.24	0.42	0.27	0.26

締付け効率②(100%目標軸力対比)

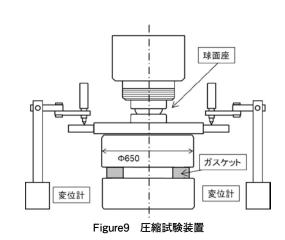
寸法	JPI Class300 24inch				
ガスケット種	No.6500 No.6596V No.7020 No.N7030 (I				
最大値	1.22	1.46	1.24	1.15	
最小値	0.95	1.00	0.94	0.86	
平均值	1.04	1.16	1.06	0.99	
最大-最小	0.27	0.46	0.30	0.29	

4. 有限要素法(FEM)解析

JPI Class300 4inch 及び JPI Class300 24inch 締結体の ボルト締付け実験を行い各ガスケットの締付け効率を求めた が、種々のガスケット及び寸法に対する締結体を用いた実験 を行うことは難しい。そのため、有限要素法 (FEM) 解析を 用いて締付け効率を求める方法を確立する。 管フランジ締結体におけるFEM解析は、円周方向の対称 モデルを作成し、全てのボルトを同時に締付けることが多い。 その場合、締結体の弾性相互作用を考慮することが出来ない。今回は円周方向において全てのモデルを作成し、各ボルトを順番に締め付ける手法を用いる。

まず、FEM解析に用いるため、室温でのガスケットの圧縮における応力-ひずみ関係を測定する。Figure9は圧縮試験装置を示す。プラテンにガスケットを挟み、材料試験機によって圧縮する。Figure10及びFigure11は室温におけるガスケットの応力-ひずみ関係を示す。Figure10は実験から得られたガスケットNo.6500における、ガスケット寸法JPI Class300 4inch 及びJPI Class300 18inchの応力-ひずみ関係である。Figure11はガスケットNo.6596Vにおける、ガスケット寸法JPI Class300 4inch、JPI Class600 4inch、及びJPI Class1500 4inchの応力-ひずみ関係である。ひずみの値は3つの変位計の平均値から得られた圧縮量を初期厚さで除したものである。実験で得られた応力-ひずみ関係のうち、FEM解析には、再圧縮を除く圧縮曲線及び除荷曲線を用いる。

Figure12は管フランジ締結体のFEMモデルを示す。上下対称の1/2モデルとしている。ボルト・ナット部のねじは省略し、ナットも六角形から同じ断面積の円に簡略化しボルトとナットは一体としている。各対称面を拘束し、各ボルトに軸力に相当する引張り力を与えている。フランジ及びボルトは弾性要素、ガスケットはABAQUSガスケット要素によってモデリングする。このモデルに使用した要素数は57,034、及び節点数は86,010であり、六面体要素を用いた。対象ボルトを締め付ける際、他のボルトは全方向の位置を固定することで弾性相互作用の影響を考慮している。JIS B 2251に基づいた締付け方法でボルトに荷重を負荷する。FEM解析では、各ボルトのボルト軸力をラウンドごとに算出し、締付け効率を求める。



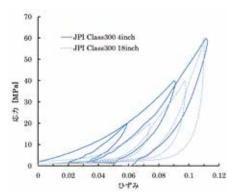


Figure 10 No.6500 のガスケットの応力 - ひずみ関係

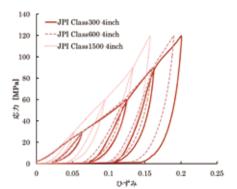
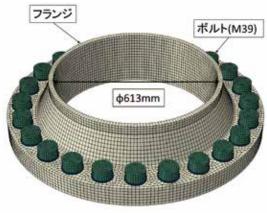


Figure 11 No.6596V のガスケットの応力 - ひずみ関係



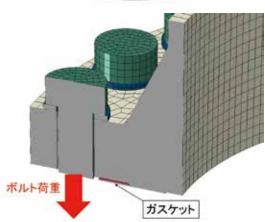


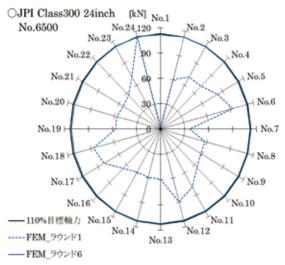
Figure 12 管フランジ締結体の FEM モデル

5. FEM解析結果と実験結果

5-1)ボルト軸力

Figure13は、FEM解析にて得られたガスケットNo.6500 及びNo.7020のJPI Class300 24inch締結体における各ボルトのボルト軸力変化を示す。ボルト軸力は、JIS B 2251における本締付けのラウンド1(破線)、ラウンド6(実線)の抜粋となる。

Figure13の結果より、ラウンド1後のボルト軸力は目標ボルト軸力より小さい。また、各ボルトのボルト軸力値にも差があり、No.24ボルト締付け時にNo.1ボルトのボルト軸力が大きく低下しており、FEM解析で締結体の弾性相互作用の影響が示されている。ラウンド6の結果が示すように、周回締めを繰り返すことで、各ボルトのボルト軸力の差はほとんどなくなっている。



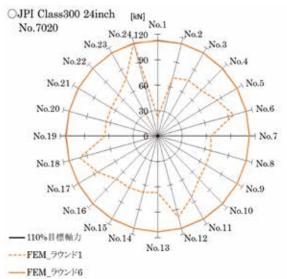


Figure 13 ボルト軸力変化の FEM 解析結果

5-2) 締付け効率

Table5はJPI Class300 4inch締結体におけるFEM解析と実験結果との比較結果を示す。Table5は周回締めのラウンド3と4の結果の抜粋である。Table5より、各ガスケットの締付け効率の実験結果とFEM解析結果との差は最大でも7%であり、FEM解析の妥当性が示されている。

また、Figure14 はJPI Class300 24inchにおけるガスケットNo.6500、及びNo.7020を挿入した締結体の締付け効率の実験結果とFEM解析結果の比較を示す。ガスケットNo.6500及びNo.7020の締結体に対するFEM解析結果と実験結果はかなりよく一致しており、JPI Class300 24inch締結体においてもFEM解析の妥当性が示された。特に締結体の弾性相互作用が大きいラウンド1~3の締付け効率についても両者はかなり精度よく一致している。

次にこのFEM解析手法を用いて、他の管フランジの呼び 寸法における締付け効率を求める。Table6は圧力クラス300 において目標締付けトルクが100%から110%に変わる手前の JPI Class300 5inch締結体のFEM解析結果を示す。Table 7は、ガスケットNo.6596Vにおいて圧力クラス300、600及び 1500の締結体の締付け効率を求めたFEM解析結果を示 す。

Table5 FEM解析と実験から得られた締付け効率の比較

ガスケット種	締付け効率(JPI Class300 4inch)			
ガスソット性	周回数	解析	実験	
No.6500	ラウンド3	1.01	0.98	
10.6500	ラウンド4	1.01	0.99	
No 6506V	ラウンド3	0.84	0.90	
No.6596V	ラウンド4	0.94	0.95	
No.7020	ラウンド3	1.01	0.95	
	ラウンド4	1.01	0.96	
No.N7030 (N)	ラウンド3	1.02	0.95	
	ラウンド4	1.03	0.98	

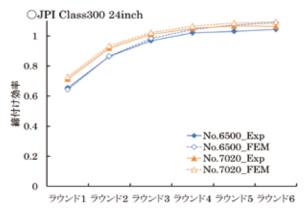


Figure 14 FEM解析と実験から得られた締付け効率の比較

Table6より、5インチ締結体のラウンド4後の締付け効率は、各ガスケットとも1.0程度であり、目標締付けトルクは目標値の100%で問題ないと考えられる。またTable7より、圧力クラスによって締付け効率に大きな違いは見られず、圧力クラスが締付け効率に及ぼす影響は小さいことがわかる。

Table6 締付け効率のFFM解析結果

Tableo 神門の効率の下LIVI所作相木				
ガスケット種	締付け効率(JPI Class300 5inch)			
ガスケット種	周回数	解析		
No.6500	ラウンド3	1.01		
100.0500	ラウンド4	1.01		
No.6596V	ラウンド3	0.89		
110.05967	ラウンド4	0.97		
No.7020	ラウンド3	1.01		
N0.7020	ラウンド4	1.01		
No NZOZO (NI)	ラウンド3	0.99		
No.N7030 (N)	ラウンド 4	1.00		

Table7 締付け効率のFEM解析結果(No.6596Vの圧力クラスの影響)

圧力クラス	締付け効率 (No.6596V 5inch)		
圧ガシノス	周回数	解析	
<i>4</i> =7,200	ラウンド3	0.89	
クラス300	ラウンド4	0.97	
クラス600	ラウンド3	0.98	
	ラウンド4	1.01	
クラス 1500	ラウンド3	0.85	
	ラウンド 4	0.94	

6. おわりに

本報では、ジョイントシート(No.6500)、うず巻形ガスケット (No.6596V)、充填材入りふっ素樹脂圧延シート(No.7020)、ふっ素樹脂ジャケットガスケット(No.N7030(N))を、JPI Class300 4inch及びJPI Class300 24inch管フランジに挿入した締結体において、締付け時のボルト軸力挙動、締付け効率 η ((平均ボルト軸力)/(目標ボルト軸力))を実験及びFEM解析にて検討し、以下の結論を得た。

1) JPI Class300 4inch及びJPI Class300 24inch管フランジ 締結体において、各ガスケットを挿入した締結体の締付 け効率を測定し、FEM解析と比較した。FEM解析結果 と実験結果はかなりよく一致することが示された。その結果、いずれのガスケットを挿入した締結体も周回締め初期 の締付け効率は低いが、周回締めを繰り返すことで、一定値にほぼ収束した。

- 2) 充填材入りふっ素樹脂圧延シート、ふっ素樹脂ジャケット ガスケットを挿入した締結体の最終的な締付け効率はジョ イントシートやうず巻形ガスケットの締付け効率の値と比較 して大きな差異はなく、同じ締付け方法で問題ないと推測 される。
- 3) 初期締付け後、ふっ素樹脂系のガスケットを挿入した締結体では、ボルト軸力が大きく低下するが、締付けから4時間以上経過後に増締めを行うことにより、ボルト軸力の低下が抑制出来ることが示された。
- 4) FEM解析にて求めた締付け効率は実験結果とかなり良く 一致しており、FEM手法の妥当性が示された。このため、 FEM解析にて他の呼びの管フランジ締結体(5インチ)に ガスケットを挿入した場合の締付け効率ηを求めた。 その 結果、最終的な締付け効率ηの値はほぼη=1.0付近に収 東することが示された。

7.参考文献

- ASME PCC-1, "Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly", (2013)
- 2) JIS B2251, フランジ継手締付け方法(2008)
- 3) 高木知弘,"有限要素解析による管フランジ締結体の締付 けおよび力学的特性の評価に関する研究", 神戸商船大 学博士論文(2013)

- 4) 渡邊芳和, 山口篤志, 金田忍, 辻祐一, "JISフランジ継手 締付け方法の適用範囲拡大(延伸PTFEガスケットの締 付シミュレーション)", 山梨講演会講演論文集, 152-153 (2009)
- 5) 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).
- 6) 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).
- 7) X. Zheng, K. Sato, T. Fujihara, Y. Akamatsu, T.Sawa, "Effect of Tightening Procedure on the Sealing Performance of Bolted Gasketed Pipe Flange Connections", PVP2019-93497, Proceedings of ASME PVP 2019 Conference, (2019).
- 8) 鄭 興, "ボルト締付け方法が大口径管フランジ締結体の密 封特性に及ぼす影響について", Valqua Technology News, Vol.32, p3-9, (2020)



澤 **俊行** 広島大学 名誉教授



M.U.KHAN 研究開発本部



高橋 聡美研究開発本部



藤原 隆寛 研究開発本部

遠隔監視プラットフォームと 予知保全サービスの紹介

1. はじめに

当社では、お客様のニーズがモノからコトに変化している ことを踏まえ、持続安定可能なビジネスを目指しデジタル活用 による新たな付加価値サービスの開発を推し進めている。 様々な付加価値サービスがある中で、当社の事業基盤の一 つである「シール製品」というお客様に安全・安心を提供する という価値を考えると、設備を遠隔で監視することで事後で はなく事前にトラブルを検知出来る予知保全サービスは当社 として取り組むべきテーマであり、以前からR&D部門で開発 を進めてきた。実際に市場の動きとしても、何かトラブルが あったときに対処する事後メンテナンスや、定期という時間軸 で設備のメンテナンスを行うTBM (Time Based Maintenance)から、設備の状態を基に事前にメンテナンス をするCBM (Condition Based Maintenance)に移行しつ つあることは周知の事実である。その一方で、現在CBMに 関する様々なソリューションが提供されている中で、ユーザー としては目的に応じて複数のベンダーのサービスを別々に管 理しなければならないという課題も存在しており、一つのシス テム上かつ同様の操作方法で複数の予知保全サービスを 管理出来るプラットフォームが望まれている。

今回は、複数の予知保全サービスを統合管理出来る現在 開発中の遠隔監視プラットフォームMONiPLAT™の紹介と、 そのMONiPLAT™と連携した予知保全サービスとして現在 開発中の建機機械向け予知保全サービスと、回転機器向け 予知保全サービス(VHERME®)を紹介する。

2. 遠隔監視プラットフォーム 「MONiPLAT™」の紹介

2-1) MONiPLAT™とは

遠隔監視プラットフォームMONiPLAT™とは、予知保全を含む複数の遠隔監視サービスを同一プラットフォーム上で一括管理可能なクラウドシステムである。

導入ユーザーは一つのアカウントかつ、同じユーザーインターフェイス(UI)で、MONiPLAT™と連携された複数のサービスを利用出来るため、従来のように異なるシステムに跨った管理ではなく一つのシステムで設備の状態管理を簡単に行うことが出来る。また複数の操作方法を習得する必要がないという運用のしやすさも特徴の一つである。

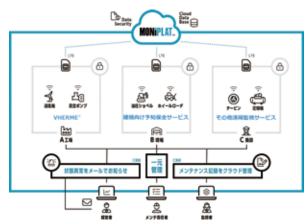


Figure1 MONiPLAT™概略図

2-2) 具体的な機能

ユーザーの求めている価値は、異常を早期に発見し故障を未然に防ぎ、必要なタイミングかつ計画的に保守が出来ることという考えのもと、MONiPLAT™では以下の基本的な機能を実装している。

- ユーザー登録/管理ユーザー登録、ログイン、ユーザー招待、ユーザー管理
- 設備管理、保守履歴 設備登録、ステータス表示、グラフ表示、保守履歴表示
- メール通知 アラート通知、設備の正常化通知

2-2-1) ユーザー登録・管理

導入いただくユーザーは、当社でアカウントを作成後、発行されたIDとパスワードでログインする(Figure2)。



Figure 2 ログイン画面

権限を持っているユーザーは、システム上で許可されているメールアドレスのドメインを所有しているその他ユーザーを招待することが出来る(Figure3)。また、システム上でユーザー情報の変更や、削除などの管理も容易に行えるようにしていく。



Figure3 ユーザー招待、管理画面例

2-2-2)設備管理、保守履歴

設備管理台帳のように、対象の設備機器の設置場所や購入日、メーカー、仕様などの情報をシステムに登録・編集が出来る。登録された設備はFigure4のように一覧化され、どの設備に何のサービスが導入されているかが一目でわかるようになっている。



Figure4 設備一覧画面例

また、設備一覧中右側の詳細ボタンを押下することで、導入サービスが提示する設備ステータスやグラフが表示され、簡単に設備の状態を確認することが出来る(Figure5)。この設備の状態が要メンテナンスのステータスに変化した時、アラートメールがユーザーに送信されるが、この詳細画面で過去のアラート履歴が確認可能である。更にそのアラートに伴うユーザー側での設備更新や部品交換の情報も入力可能であり、それら更新・交換履歴も本システム上で閲覧出来るようになっている。



Figure5 設備詳細画面例

2-2-3)メール通知

設備ステータスが要メンテナンスに変化した時や、危険な 状態が継続している場合、自動的にアラートメールが送信さ れるため、現場から離れた場所にいても設備の異常を事前 に知ることが出来る。また、保守によりステータスが正常に 戻った場合も通知される。メールの通知先はシステム上から 設定可能である(Figure6)。



Figure6 メール通知設定画面例

2-2-4) その他

MONiPLAT™は自社開発サービスだけでなく、外部サービスとの連携も今後進めていく。Figure7のようにそれらサービスラインアップは本プラットフォーム内で紹介し、簡単にお試しいただけるような環境を構築していく計画である。



Figure7 ラインアップ紹介ページ例

更に、MONiPLAT™の機能の一つとして定期点検管理サービスも現在開発中である。CBMだけでなくTBMの機能も実装することで現場の幅広いニーズに応え、より多くのユーザーに使用していただくことを目指し機能の拡充を進めていく。

次項からは、MONiPLAT™と連携済みの自社開発した 予知保全サービスを紹介する。

3. 建設機械向けサービスの紹介

今回紹介する開発中の建設機械向け予知保全サービスは、当社のMONiPLAT™と連携させた、パッキンの寿命を遠隔で監視することが可能なサービスである。

このサービスを利用することで、計画的な油圧シリンダのメンテナンスが可能となり、予期せぬパッキンの破損などによる 突発的な不具合を抑制出来、メンテナンスコストの低減につながることが期待される。

3-1)システム概要

搭載例として、油圧ショベルの油圧シリンダへ搭載した場合を紹介する。油圧シリンダに装着されているパッキンの状態を監視することでパッキンの寿命を予知し、適正なパッキンの交換時期をアラートで発信することで、未然に外部への油漏れを防止することが可能である。更に、当社の遠隔監視プラットフォームと連携させることで、パソコンや携帯端末にアラートの内容が通知されるため、機械が稼働している現場ではなく、遠隔で監視が可能なサービスである。

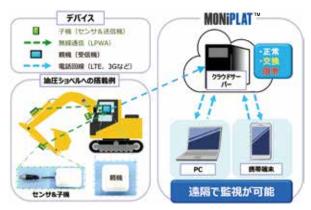


Figure8 システム概要図

3-2) 監視方法

センサーにより、漏れの情報をセンシングしてパッキンの状態を監視し、パッキンの適正な交換時期や使用限界時期を 予知しシグナルを発信する。



Figure9 パッキン構造

3-3) 監視画面

遠隔監視対象のパッキンの状態をクラウドの監視画面で 表示し、状態の見える化が可能である。

デバイスからのシグナルをあらかじめ設定したアルゴリズムにより、パッキンの状態を判断し表示する。また、アラートの履歴により、いつどのような状態に変化したかの確認も可能である。

【アラート内容】

- ・正常→正常な状態
- ・交換→パッキンの交換が必要な状態
- ・限界→パッキンの限界であり、外部漏れの危険性がある状態



Figure 10 監視画面

3-4) アラート通知

機械名、各シリンダのパッキンの交換時期や使用限界、クラウドサーバーへのリンクなどを、あらかじめ登録した指定先へメールで通知することが可能である。添付されたURLより当社のクラウドサーバーにアクセスし、監視画面でパッキンの状態を確認することが可能である。この通知により、どこにいても遠隔で監視が可能になり、安心、安全な操業に貢献出来るものと考えている。



Figure11 アラート通知

3-5) 対象機械例

搭載出来る機械としては、キャビン付きモデルの油圧ショベルや、ホイールローダーなどの油圧シリンダを想定している。

4. VHERME®の紹介

VHERME® (ベルム)は、ポンプやモーターといった回転機器の状態変化を振動で検知して故障の予兆を捉えるシステムである。これを当社のプラットフォームであるMONiPLAT™と連携させて、遠隔から状態監視と予知保全を行うことが可能となるサービスを提供する。本サービスにより、ユーザーはこれまで以上に計画的な保全対応やメンテナンスの実施が可能となり、予期せぬ機器の突発的な故障によるメンテナンスコストの低減にもつながることが期待される。

4-1)システム概要

本システムは、機器側に「振動センサー」と「センサーユニット」、「予知保全解析プログラム」(PCにインストールして使用する)を設置してセンシングと解析まで行い、PCのSIMを介して、MONiPLAT™にデータをアップして遠隔による状態監視と予知保全を実施していくものである。なお、センサーユニットはLANケーブルとスイッチングハブを介して増設が可能であり、これにより振動センサーを増やして多くの保全対象機器の

センシングにも対応が可能になる。



Figure12 システム概要図(VHERME®)

4-2)解析手法と予知保全

振動のセンシングデータからオクターブ解析を行い、そのデータから「トレンド分析(状態解析)」と「MT法(異常度解析)」を実施することで状態監視と予知保全¹⁾を行う。どちらの手法も機器の正常時の振動データを元に、トレンド分析では周波数帯域別の振動変化から状態解析を行い、MT法では異常度を解析する。これらの解析結果とあらかじめ設定したしきい値とを比較することで、機器の状態変化の予兆を捉えて予知保全を行う。

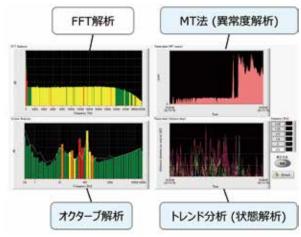


Figure13 解析プログラムの概要

4-3) 監視画面

機器の状態は、MONiPLAT™上で確認出来る。画面上では、トレンド分析のピーク値と、MT法による異常度のスコア値及び、しきい値に応じたアラート状態が表示される。また、事前に設定したしきい値(実際の機器状態をもとに途中で変更も可能)に対応した状態表示とアラートレベルも画面に表示されるため、ユーザーはこれらの情報をもとに、予知保全を実施することが出来るようになる。



Figure14 監視画面とアラート内容

4-4) アラート通知

アラートの種別と発生時刻、対応に関するメッセージなどを登録済みのメールアドレスに通知が可能である。この通知により、遠隔においても機器の状態変化を把握することが可能になる。



Figure15 アラート通知

4-5) 対象機器例

対象機器としては、連続的に回転運動する機器として、ポンプや電気モーターなどを想定している。

なお、連続運転ではなく間欠的に運転する機器であって も、センサーユニットに設けられている外部トリガーにより運転 時が分かる信号入力が出来れば、運転時のセンシングデー タを収集して解析をすることが可能な場合があるため、選定 の際にはぜひご相談をいただきたい。

5. おわりに

今回紹介した商品はいずれもまだ開発中であるが、今後もアジャイル開発を実践することでより柔軟にかつ迅速にサービスをユーザーに届け、サービスの品質を向上させていく。また、品質だけでなく、2項で記述した外部サービスとの連携推進やTBM機能の追加などラインアップを拡充していき、お客様とのつながりを活かしながらリモート監視という領域での事業化を着実に進めていく。

6. 参考文献

1) 佐藤 央隆: バルカー技術誌, No.41, 12-15 (2021)



本居 学 事業変革推進室



山下 純一 研究開発本部



佐藤 央隆 研究開発本部

BLISTANCE[®]シリーズ HLT IIの紹介

1. はじめに

現在、日本を含めた世界の多くの国では石油や石炭・天然ガスを代表とする化石燃料由来のエネルギーに依存している。それら化石燃料は燃焼時に温室効果ガスの代表であるCO₂を排出することが、1985年にオーストリアで開催されたフィラハ会議以降、現在に至るまで長らくの間、問題視され続けている。その後1997年に定められた京都議定書の後継にあたるパリ協定が2015年に採択され、そこでは『世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求すること』といった「2℃目標」と、『今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成すること』といった「2050年カーボンニュートラル」の2つが世界共通の長期目標として掲げられた¹¹。

上記目標を達成するため、水力や風力、バイオマスといった代替エネルギーの活用推進のための研究や開発が、それまで以上に盛んになった。その中の一つとして、水素をエネルギー源として活用した燃料電池技術が注目されている。日本においては、第5次エネルギー基本計画の構成第2章第2節6に「水素社会実現に向けた取り組みの抜本強化」として掲載されており、温室効果ガス削減の取り組みとしても期

待度が高いことがうかがえる2)。

更に日本に限らず、2016年10月に中国では、中国汽車工程学会より発表された「省エネルギー車と新エネルギー車の技術ロードマップ」の策定や、その後の商用車の普及、2020年6月にドイツの「国家水素戦略」の策定、2020年7月のEUにおける「水素戦略」の発表といった動きをみると、各国の「2℃目標」や「2050年カーボンニュートラル」を達成するための力の入れ具合や注目度合いは明らかである³⁾。

水素をエネルギーとして活用したアプリケーションの中でもポピュラーな例では「家庭用燃料電池」や「燃料電池自動車(FCV)・水素ステーション」が挙げられる。これらアプリケーションの中で、エラストマー製シール材に焦点を当てた際の課題は、水素ステーションから自動車への充填過程に存在していると考えられる。

課題について述べる前段として、水素ステーションから自動車へ充填する際の簡略図をFigurelに掲載する。

Figure1の中で、エラストマー製シール材にとって過酷な 環境は多数存在している。

まず一つは水素がプレクーラーで-40℃まで冷却される点である。この冷却の過程が必要な理由としては、例えば水素ガスをプレクールなしで、ガス温20℃で車へ充填した場合、断熱圧縮熱の影響により、車載水素タンク内で120℃まで上

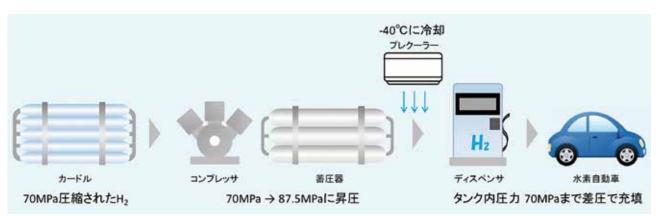


Figure1 水素ステーションでの自動車への水素充填 概略図

昇するとされている⁴。水素タンクの素材は、強度上の関係から、現行のType IVではCFRPが採用されている。CFRPの耐熱温度は100℃程度であり、安全性を考慮すると最大85℃程度までに抑えることが望ましいと考えられている。このことから、ガス温20℃での充填では、車載タンクの破裂といった事故発生につながる可能性が非常に高くなる事が予想出来る。そのため、水素ガスをディスペンサへ流入する直前にプレクーラーで-40℃まで冷却し、車載水素タンクの内部が上昇しないように設計されている。

-40℃という環境下において、汎用エラストマー材料が曝された場合、分子の運動が制限され、ゴム弾性が消失することで、シール材としての機能を果たさなくなるといった問題が発生する。

二つ目に、大きな圧力変動が頻繁に発生する点が挙げられる。

水素ガスはFCVに充填される際、蓄圧機やディスペンサ 内は87.5MPaといった高圧状態になる。またFCVのタンクへ は、差圧を利用する事で70MPaまで充填される。その後ディ スペンサや、それに付随しているカプラ周辺は高圧状態で保 たれるわけでは無く、大気圧環境下になると考えられる。

よって、ディスペンサ周辺に搭載されている、配管系の部材は87.5MPaから大気圧までの範囲内で加圧・減圧が頻繁に繰り返されることとなり、その部材にはエラストマー製シール材も含まれている。

そのような個所では、ブリスターと呼ばれる、エラストマー 製シール材を内部から破壊する現象が発生することがある⁵⁾。

ブリスターはエラストマー製シール材が、ガスや揮発性液体などの流体と高温・高圧で接触するとき、急激な圧力変動の影響で、流体がシール材内部に滞留したまま膨張することにより、内部や表面層に気泡や亀裂を生じさせる現象である(Figure2)。



Figure2 ブリスターが発生したOリング

このような事象が発生した場合、水素ガスが漏えいし、時 には人命にかかわる災害に繋がり得る。

今後の水素社会の発展に伴い、そのような事態が発生しないためにも、当社では低温環境下でゴム弾性が失われず、

かつ大きな圧力変動でもブリスターが発生しないという、2つ の特性併せ持ったエラストマーシール材料の開発を行った。

今回、当社独自の配合設計技術を活用することで、低温特性とブリスター耐性を両立させた、高圧水素ガス用EPDMシール材料として、BLISTANCE®(ブリスタンス)-HLT IIを開発したので、本報にて紹介する。

2. BLISTANCE®-HLT IIの特徴

BLISTANCE[®]-HLT IIはバルカーテクノロジーニュース 2020年夏号にてご紹介させていただいたBLISTANCE[®]-HLTと比較し、低温領域下での弾性回復率を改良しつつも、同等のブリスター耐性を有する製品である。本報にてそれらの特徴を記載する。

2-1) 低温特性

低温特性はJIS K6261-4に則り、低温弾性回復試験(以下TR試験)を実施し評価した。

評価用のサンプルは、厚さ2 mm ± 0.2のシート準備し、伸長部幅 2 mm ± 0.2、長さ50 mm ± 0.2、つかみ部 6.5 mm 四方の専用の型で打ち抜いた試験片を用いた。

評価は ①試験片をTR 試験機のつかみ部に装着 ②50% 伸長させてつかみ部を固定 ③-70 $^{\circ}$ 0のエタノール中で10 min 試験片を冷却 ④つかみ具の固定を解除したのち、1 $^{\circ}$ $^{\circ}$ 7 min で温度上昇させるといった手順で実施する(Figure3)。

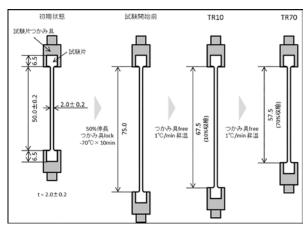


Figure3 TR試験 模式図

雰囲気温度(=試験片温度)の上昇に伴いゴム弾性を取り戻すため、試験片は徐々に収縮する。その収縮率を2℃昇温するごとにプロットし、材料の低温特性の評価を行う。

中でも、JIS K 6261-4では、収縮率が10・30・50・70% になったときの温度をTR10・TR30・TR50・TR70として表 記し、その数値も併せて記録をする(Figure4)。

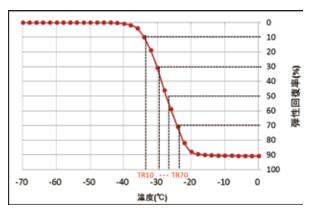


Figure 4 温度-弾性回復率曲線の例

TR試験の結果は、収縮率 = ゴム弾性の回復と見なし、 TR値(特にTR10)の数値が低いほど、低温環境下でもシールが可能な材料であり、TR10とTR70の温度差が小さいほど、ゴム弾性の回復が早い材料であるという判断をする。

使用される雰囲気の温度や圧力、流体といった要素に大きく左右されるところではあるが、一般的にTR試験の結果より得られたTR10で示された温度が、低温領域でのシール限界として用いられることが多い。しかし、本報で紹介するBLISTANCE®-HLT IIの使用想定環境下は、約90 MPaと非常に高圧であるため、TR10 = -40℃前後では-40℃の水素ガスをシールするには性能不足になるということは十分に想定される。

そのような中、BLISTANCE[®]-HLT IIはTR10 = -57[©] という値を示し、汎用EPDM H0970 のTR10 = -43[©]という数値と比較すると明らかに良い低温特性を有している。更に、2020年度に上市した、同じく高圧水素ガス用エラストマーシール材で、低温特性に特別優れたBLISTANCE[®]-HLT のTR10 = -51[©]Cという数値よりもさらに優れている。またTR10以降の弾性回復の速さはBLISTANCE[®]-HLTと比較して緩やかではあるが、弾性回復率が約60%となる-41[©]まではBLISTANCE[®]-HLT IIに優位性があり、以降も同程度の低温特性を有する材料である事が確認された(Figure5・Table1)。

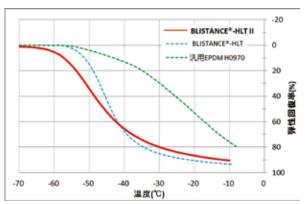


Figure 5 BLISTANCE®-HLT II TR試験結果 (グラフ)

Table1 BLISTANCE®-HLT II TR値比較

	BLISTANCE®- HLT II	BLISTANCE®- HLT	汎用 EPDM H0970
TR10 (℃)	-57	-51	-43
TR30 (℃)	-51	-47	-30
TR50 (℃)	-46	-44	-21
TR70 (℃)	-38	-39	-13
-40℃時の 収縮率(%)	66	67	13

2-2) 機械的特性

BLISTANCE[®]-HLT IIと、比較のためBLISTANCE[®]-HLTの常態物性、及び120℃での空気老化試験、圧縮永久ひずみ率の測定結果をTable2に示す。

試験はそれぞれJISの測定方法に準用した試験を実施しており、対応するJISの規格番号も併せて表中に記載する。 また表中の数値は、実測値であり、規格値とは異なる旨を ご了承いただきたい。

Table2 BLISTANCE®-HLT II 機械的特性

			BLISTANCE®- HLT II	BLISTANCE®- HLT
	硬度	_	90	93
常態物性	引張強度	MPa	13.0	14.3
JIS K 6251 **1	伸び	%	100	110
	100% 引張応力	MPa	13.0	10.4
引裂試験 JIS K 6252 ^{**2}	引裂強度	N/mm	31.1	42.0
	硬度変化	_	±0	+2
空気老化試験 (120℃×72h)	引張強度 変化率	%	-11	+4
JIS K 6257*1	伸び 変化率	%	-15	-9
圧縮永久ひずみ試験 (120℃×72h) JIS K6262 ^{**3}		%	8	16

No.4

前表からBLISTANCE®-HLT IIはBLISTANCE®-HLT と比較しても遜色なく、低温特性だけでなく、圧縮永久ひずみ率も向上していることが分かる

2-3) 水素暴露試験

BLISTANCE[®]-HLT IIのOリングを、実機模擬評価として継手に組み込み行う、高圧水素ガス圧力サイクル試験の実施前に、ブリスター耐性を確認する試験を行った。試験方法は、高圧容器中にOリングなどの試験片を投入し、30℃90MPaの条件で水素ガスに24h暴露し、その後急減圧させる。減圧後のサンプル外観や断面のブリスターの有無を確認することで、材料のブリスター耐性を評価した。当社ではこの試験を水素暴露試験と呼んでおり、本試験は公益財団法人水素エネルギー製品研究試験センター(以下HyTReC)にて実施した。

以下、試験条件及び試験後の試験片の表面・断面状態の写真を掲載する(Table3・4)。

Table3 水素暴露試験 試験条件

項目	条件
圧力	90МРа
温度	30℃
保持時間	24h
減圧速度	大気圧まで10秒未満
試験片寸法	AS568-214 (φ3.53×24.99)

Table4 水素暴露試験後 Oリングの表面・断面

	BLISTANCE®- HLT II	試作品 1	試作品2
表面			
断面			

また今回比較評価として、BLISTANCE®-HLT IIの配合内容をベースとし、添加量を変え、物性を調整した試作品2つの評価結果も併せて掲載する。

暴露試験後のサンプルを確認したところ、試作品1・2は 共に少なくとも断面を見るとブリスターの発生が確認された が、BLISTANCE®-HLT IIでは、確認されなかった。

以上の結果から、高圧水素ガスが急減圧されるといった 状況における、BLISTANCE $^{\otimes}$ -HLT Π のブリスター耐性の 高さが確認された。

2-4) 高圧水素ガス圧力サイクル試験

2-3)で行ったブリスター耐性の評価に加え、同じく HyTReCにて実機模擬評価として、継手に組み込んだ状態 での高圧水素ガス圧力サイクル試験を実施した。

本試験では、高温 90℃、低温-40℃の環境下において、95MPaの水素ガスの圧力負荷・急減圧を繰り返し行い、規定の圧力負荷回数までの間、漏れの発生がないこと、そして試験後のOリングの状態(ブリスターの発生が無いか)を確認した。

圧力負荷のサイクル数は、よりブリスターが発生しやすいと考えられている90℃の条件で11,250サイクル 6 、-40℃の条件で6,600サイクル実施した。下表に試験条件、及び継手を組み込んだ試験機と継手の写真を掲載する(Table5・Figure6)。

Table5 高圧水素ガス圧力サイクル試験 試験条件*1

		高温	低温
温度	(°C)	90	-40
圧力(MPa)		大気圧 ⇔ 95	
サイクル条件	サイクル数(回)	11,250	6,600
	昇圧時間(s)	7	
	保持時間(s)	1	
	減圧時間(s)	1	

※1 高温サイクル試験から低温のサイクル試験の間に、Oリングの取り換えは行っていない。

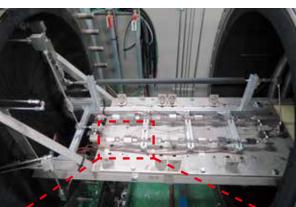




Figure6 高圧水素ガスサイクル試験 試験機・継手外観

次に高圧水素ガス圧力サイクル試験の高温側・低温側 それぞれの規定サイクル数付近の圧力波形を掲載する (Figure7・8)。

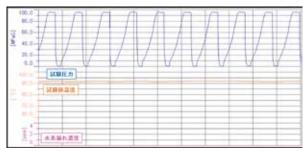


Figure7 90°C 95MPa 11,250サイクル付近の波形

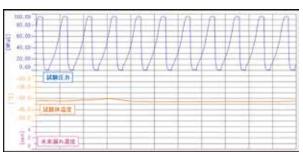


Figure8 -40℃ 95MPa 6,600サイクル付近の波形

また、試験に際して継手や試験機には、水素ガスの漏えい個所を明確にするために検知テープを貼っていた。Figure 9に試験後の該当個所の写真を掲載する。



Figure9 試験後の継手と水素ガス検知テープの状態

上のチャートと写真より、BLISTANCE®-HLT IIは95MPa 90 $^{\circ}$ 11,250 サイクル、95MPa -40° 6,600 サイクルの条件において、水素ガスをシールすることが出来る材料であることが確認された。

最後に、継手に組み込んだOリングの試験後の表面、及び断面を以下に掲載する(Table6)。

Table6 高圧水素ガス圧力サイクル試験後のサンプル

	1 do 100 http://www.ie.com/		
	シール面	内径	断面
新品		76	
サイクル試験後品		ř.	

以上、高圧水素ガス圧力サイクル試験の結果より、BLISTANCE®-HLT IIは水素市場での要求仕様である、温度 $-40\sim90$ °C、圧力 87.5 MPa(大気圧までの急減圧有)の環境下で使用するシール材に適した製品であることが確認された。

ただし注意していただきたい点としては、得られた試験結果は用いた継手の設計も重要なファクターであり、最適に設計された継手と、このBLISTANCE®-HLT IIのOリングを併用することで、ユーザー各位に問題なくご使用いただける製品になるということである。

そのため、ご使用の際は一度ユーザー各位の実機(または類する設備)でBLISTANCE®-HLT IIが性能上問題無いという点を確認していただくことが必須である旨は、ご了承いただきたい。

2-5) 製品形状

BLISTANCE[®]-HLT IIは、Oリング(No.640)、V パッキン(No.2631)、X リング(No.641)など、様々な断面形状や大口径製品についても製作可能である。

3. BLISTANCE®-HLT IIの用途

BLISTANCE®-HLT IIは高圧水素ガス用途を目指して開発されているが、低温特性・ブリスター耐性を有しているため、それぞれの特性を切り分けた用途にも適用可能と考える。

1. 低温特性

冷凍機用シール

寒冷地で使用されるEPDM材料の置き換え

2. ブリスター耐性

水素以外のガスで、圧力変動の激しい部位のシール

4. 謝辞

高圧水素ガス用シール材料 BLISTANCE[®]-HLT IIの開発に当たっては、イハラサイエンス株式会社 開発統轄室の皆様は、当初よりともに開発・評価に携わっていただいた。ここに厚く御礼を申し上げ、深謝の意を表する。

5. おわりに

今回ご紹介させていただいたBLISTANCE®-HLT IIは、 高圧水素ガス環境下で最も優れた特性を示す材料である。 今後の水素燃料電池自動車業界の発展に伴い、自動車や 水素ステーションに組み込まれるシール材への要求がより一 層高くなった場合においても、十分に適応可能な製品になる と考える。

水素市場向けのシール製品に限定した話ではなく、様々な 市場において、今後ともユーザー各位へのご要望に対して 迅速にお応え出来るよう、新たなエラストマー材料の開発、 既存材料の改良に勤めていく所存である。

6. 参考文献

- 1)経済産業省 資源エネルギー庁 HP:CO₂排出量削減に必要なのは「イノベーション」と「ファイナンス」、(2020)
- 2)経済産業省 資源エネルギー庁 HP:新しいエネルギー基 本計画の構成.(2018)
- 3)経済産業省 試験エネルギー庁:水素社会実現に向けた 経済産業省の取組,(2020)
- 4) 門出 正則: 高圧水素充てん中の容器内水素温度と容器 壁温度特性,(2008)
- 5) 圖師 浩文: バルカー技術誌, No.31, 17-20 (2016)
- 6)経済産業省 商務流通保安グループ 高圧ガス保安室: 70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器に掛かる技術基 準の策定について,(2013)
- ※BLISTANCEは(株)バルカーの登録商標です。



西原 亮平 研究開発本部

高機能プラスチック製品の紹介

1. はじめに

当社のプラスチック事業は1951年に米国よりPTFE原料パウダーを10kg輸入し、1952年にふっ素樹脂加工技術研究を終えPTFEを「バルフロン®」として製品化し販売したことから始まった。以来PTFEを中心とした様々なバルフロン®製品の供給を行っている。ふっ素樹脂は耐薬品性、耐熱性、絶縁性、非粘着性、低摩擦性など様々な特性を有する優れたプラスチックである。その特有な性質から半導体分野をはじめ化学プラント、自動車、OA機器、食品産業など様々な産業分野で使用されている。しかし市況変化の著しい現在、ふっ素樹脂に特化した供給体制では多様化した顧客要求に応えるのは難しくなっている。そこで、国内外のサプライチェーンを新たに再構築し、一般工業から先端産業用途に適した高機能なプラスチック製品を中心にラインアップの拡充を図っている。本報ではふっ素樹脂以外の当社が取り扱う高機能プラスチック製品から一部の素材製品を抜粋し紹介する。



Figure1 バルフロン®素材

2. 素材製品ラインアップ

2-1)樹脂製品の分類

樹脂は成形加工過程の加熱時の挙動によって熱硬化性 樹脂と熱可塑性樹脂に大別される。両者の違いとして熱硬 化性樹脂は加工過程で加熱されると、材料として使用される プレポリマーが化学反応を起こして三次元網状構造となり、 硬化するのに対して、熱可塑性樹脂では当初からポリマー 状態のものが加熱すると溶融し、また冷却すると固化する挙 動を繰り返す。また、熱可塑性樹脂は分子構造、分子量、 分子量分布の差によって耐熱性、機械的性質などの性能差 が生じ、汎用樹脂、エンプラ、スーパーエンプラに分類され る。Figure2に示すのは当社が取り扱いをしている樹脂素材 製品である。樹脂素材とは樹脂原料をシート、ロッド、スリー ブ形状に成形加工した製品である。樹脂素材は主に機械加 工の母材となり、当社ではグループ生産子会社における PTFE製品の一貫生産の他、多種多様な加工技術を得意と した加工メーカーとパートナーシップを締結し多品種少量の 要求仕様に応じた機械加工品の供給も行っている。

2-2) HMWPE

PTFEはプラスチックの中で最小の静摩擦係数を有し、ほとんどの化学薬品に対して安定していることから食品産業での摺動・離型材料として使用されている。PTFEに匹敵する摺動性を有し、食品産業での使用実績も多いHMWPE(超高分子量ポリエチレン)を紹介する。HMWPEは汎用プラスチックのPEと同じ分子構造であるが、一般の高密度PEの平均分子量が2~30万であるのに対して、100~900万まで高めたプラスチックである。その高い分子量ゆえ加工法や特性が汎用プラスチックのPEとは異なるため、エンプラとして区分されている。PTFEと同様に分子量の高さから流動性が極めて悪く圧縮成形にて成形されるのが一般的である。特性としては、ふっ素樹脂に次ぐ静摩擦係数を有しており、耐摩耗性はふっ素樹脂や摺動材として広く採用されるPA66や

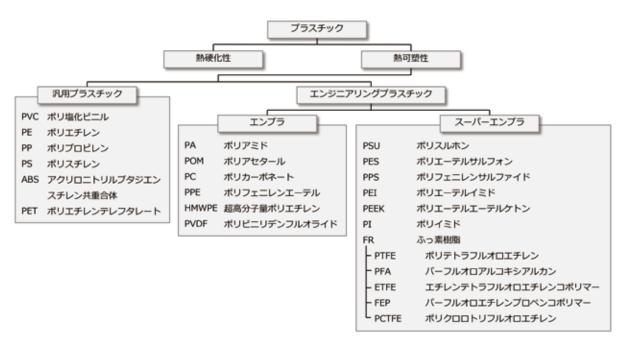


Figure 2 プラスチック製品の分類

POMより優れている。高い耐衝撃性と耐摩耗性は-100℃の 低温環境下においても持続するため、冷凍工程で使用され る部材としても適している。PTFEと比較すると安価であるも のの、耐熱温度は約80℃であるため、仕様環境温度に応じ て材料選定が必要である。

Table1 HMWPE板取り扱いサイズ

名称	厚さ(mm)	幅 (mm)	長さ(mm)
HMWPE	3~60	100	2000

Table2 HMWPE棒取り扱いサイズ

名称	外径 (mm)	長さ(mm)
HMWPE	10~300	1000

2-3) PEEK

PEEK (ポリエーテルエーテルケトン) は耐靭性に富むエーテル結合と剛性、耐熱性に富むフェニレン基からなる分子構造を有しており、耐熱性、耐薬品性、耐衝撃性、摺動性、電気特性に優れるスーパーエンプラである。特に耐熱性は連続使用温度 250℃かつ UL94 V-0 規格に適合する難燃性を有しており、摩耗特性も優れているため、航空宇宙用途など金属代替材料として採用されている材料である。PTFEは優れた耐薬品性や低溶出性から半導体製造装置の部材として広く使用されている材料であるが、耐摩耗性や機械的

強度に関しては十分な性能を持っていない。PEEKは濃硫酸を除くほとんどの薬品に耐性を有し、低溶出性に優れ、PTFEが不得意とする耐摩耗性や機械的強度にも優れているため、半導体製造装置の部材としても適している。また、半導体やFPD製造工程で使用される搬送ツールなどは静電気対策としてカーボンファイバーを添加した帯電防止グレードのプラスチックが主に採用される。当社が取り扱うPEEKも帯電防止グレード(PEEK CF30)を用意している。一般的に押出成形をした素材は分子配向の影響により表面抵抗率のバラツキが生じるが、当社では圧縮成形したグレードを取り扱っているため、表面抵抗率の均一性に優れる。

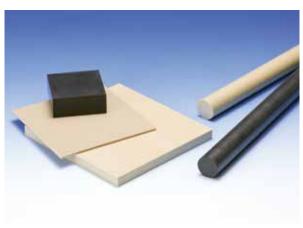


Figure3 PEEK素材

Table3 PEEK板取り扱いサイズ

名称	厚さ(mm)	幅 (mm)	長さ(mm)
PEEK	1~60	500~620	1000
PEEK CF30	6~60	395	395

Table4 PEEK棒取り扱いサイズ

名称	外径 (mm)	長さ(mm)
PEEK	6~200	1000
PEEK CF30	6~200	1000

2-4) PPS

PPS(ポリフェニレンスルフィド)は、ベンゼン環と硫黄が交互に繰り返した結合を有した結晶性のスーパーエンプラである。PPSはPEEKと比較し耐熱性や機械的特性に劣るが、安価でPEEKに匹敵する耐薬品性、寸法安定性、難燃性、電気特性を有しており幅広い産業で使用されているプラスチックである。機械加工品としては半導体製造装置部材や医療機器部材として主に使用される。PPSの市場全体としては自動車部品や電気電子部品の用途が多く、そのほとんどが多量生産でコスト低減を図れる射出成形品が占めている。当社は長年溶融ふっ素樹脂であるPFAをはじめ各種エンプラの射出成形品の供給も行っており、要求形状や数量に応じて射出成形品の提案も可能である。

Table5 PPS板取り扱いサイズ

名称	厚さ(mm)	幅(mm)	長さ(mm)
PPS	8~50	620	1000

Table6 PPS棒取り扱いサイズ

145.55 11.514-12.32.4 3.10		
名称	外径 (mm)	長さ(mm)
PPS	6~20	1000

2-5) PI

PI(ポリイミド)は分子主鎖骨格中に環状イミド基を含むプラスチックの総称である。イミド基に結合する結合基の構造によって特徴も異なるが、一般的に熱的性質、電気的性質、機械的性質に優れているため、電気電子部材や航空宇宙用途などで使用されるプラスチックである。当社では自社ブランド品として航空宇宙など過酷な環境下での使用を想定したポリイミド積層品を長年供給している。ポリイミド積層品はポリイミドフィルムを加熱圧着し積層することでポリイミドの持つ優れた耐熱性、電気特性、寸法安定性を有しながら機械的強

度を向上した製品である。素材製品としては主鎖にエーテル結合を持つPEI(ポリエーテルイミド)を新たにラインアップしている。PEIは他のイミド系プラスチックと比較すると耐熱性に劣るものの、優れた機械的性質、電気的性質、寸法安定性を有し航空宇宙、半導体製造装置、医療機器などで使用されている。

Table7 PI 板取り扱いサイズ

名称	厚さ(mm)	幅 (mm)	長さ(mm)
PEI	8~50	620	1000
PI積層品	0.25~3	300	300

Table8 PI棒取り扱いサイズ

名称	外径 (mm)	長さ(mm)
PEI	6~100	1000

Table9 PI積層品特性

TOOLOG T. IN/HARTYIE								
項目	規格	物性値						
引張強度	ASTM D 638	147 MPa以上						
引張弾性率	TYPE 1	3920 MPa						
曲げ強度	ASTM D 790	235 Mpa 以上						
曲げ弾性率	METHOD 1	4410 MPa						
比重	JIS K 6911	1.5 以下						

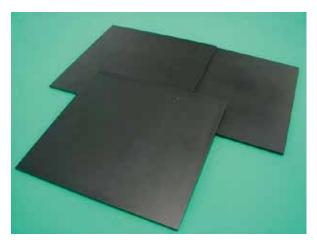


Figure4 PI積層品

2-6)特性

熱可塑性プラスチックの代表特性を以下に示す。特性はグレードによって異なるため、詳細は問い合わせいただきたい。

Table10 汎用プラスチック・エンプラの代表特性

	性 質	低 密 度 ポリエチレン	高 密 度ポリエチレン	硬質塩化ビニル	軟質塩化 ビニル	ナイロン 6	ガラス強化 ナイロン 6	ナイロン66	ガラス強化 ナイロン66	ナイロン12
成形性	成形性(秀, 優, 良、可、不可のうち) 圧 縮 成 形 温 度 (℃) " 圧 力 (MPa) 射 出 成 形 温 度 (℃) " 圧 力 (MPa)	優 135~177 0.7~7	良 200~230 5~15	秀 190 任意	秀 180	秀 230~250 30~40	秀 250~270 30~40	秀 280~305 70~140	優 288~310 7 0~140	良 210~240 70~100
	成形吸収率 (%)			27.6 1 to 2600 . S	WIA L. L. L. WORTH	1.0~1.5	0.2~0.8	1.5%	0.4~1.1	0.5~0.7
物理	透明性(透明、半透明、不透明のうち)	半透明~不透明	半透明	配合により透明から 不透明まで可能	配合により透明から 不透明まで可能	半透明	不透明	半透明	不透明	不透明
的性	比	0.910~0.925 1.100~1.080 1.51	0.940	1.40	1.25	1.13	1.35	1.13~1.15 877	1.38 725	1.23
質	摩擦係数(同種材料間の静、動)		0.10~0.22			0.22 (動)		0.36/0.11	0.15~0.4	
機械	引 張 強 さ (MPa) 伸 び (%) 引 張 弾 性 率 (MPa) 圧 縮 強 さ (MPa)	7~16 90~650 117~241	22 500	52 150	20 320	77 130 2900	190 5 7400	77 (23°C) >300 34 (1%変形)	190 3.3 240	$60 \sim 70$ $4 \sim 6$ $2300 \sim 2500$ $60 \sim 70$
的性	曲 げ 強 さ (MPa) 衝撃強さ、シャルビー (J/m)	>160	590	152		108	210	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	262	140~150
質	硬さ、ロックウエル ク その他の方式	D41~D46 (ショア)	破壊せず 40	(ショアD)85	(ショアA)84	80 R-120	120 R-120	112 (23°C) R108, M59	M101、R122	60~80 R110
_	機械加工性(優、可、不可のうち)	可	優	優	優	優	優	優	可	可
熱的性質	熱 伝 導 率 (W(m·K)) 比	2.3 41~49 -70以下	(10~20)×10 ⁻⁵ 85 <-80	84		$ \begin{array}{c} 1.7 \\ 0.8 \times 10^{-4} \\ 160 \\ 70 (60) \\ -60 \\ -40 \end{array} $	$ \begin{array}{c} 1.3 \\ 0.3 \times 10^{-4} \\ 224 \\ 214 \\ -60 \\ 40 \end{array} $	0.24 1.3~2.1 8.1×10 ⁻⁵ 243 104 -80	2.5×10 ⁻⁵ 249 249	0.16 2.1 0.3×10^{-4} 170 155
	連続耐熱温度 (℃)	100	<70			130	140	105	120	100~110
電気的性質	体 積 抵 抗 率 (Ω-cm) 絶 縁 破 壊 強 さ (kV/mm) 誘 電 率 誘 電 正 接 耐 ア ー ク 性 (s)	$>10^{16}$ $18.0\sim27.5$ $2.25\sim2.35$ 0.0003 $135\sim160$	10^{17} 48 2.3 $(1\sim3)\times10^{-4}$	1016	5×10 ¹³	10^{14} 20 $4\sim5$ 0.03 $180\sim190$	10 ¹⁴ 15 4~6 0.02 130~140	10 ¹³ 4.1 0.05	5×10 ¹⁵ 21.2 3.7 0.022 135	7×10 ¹³ 27 3.2 0.03 120
化学的性質	吸 水 率 (%) 平 衡 吸 水 (%) 耐 薬 品 性 耐候性(屋外保証寿命) (年) 燃 焼 性 UL離燃等級	<0.015 関 耐える 黄 酸 耐える サルカリ 耐える 燃焼速度非常に遅い	優	良 94V-0		4 優 94V-2	2.7 優 94—HB	1.5 8.5 優 94V-2	1.0 5.4 優 94HB	0.3 1.2 優 優 94HB
他	強化材の種類と含量 (wt%)				DOP 50PHR		グラスファイバ 30wt%		ガラス短繊維33%	グラスファイバ 30%

	性 質	ポリカーボネー ト	ガラス強化 ポリカーボネート	ポリエステル	不 飽 和 ポリエステル	ポリアセタール (ホモポリマー)	強化ポリアセタール (ホモポリマー)	ポリスチレン	耐衝撃ポリスチレン
成形	成形性(秀、優、良、可、不可のうち) 圧縮成形温度 (℃) ″ 圧 力 (MPa)	優 260~300 3~16	優	秀	優 注 型	優	優	良	良
性	射出成形温度 (℃) " 圧力 (MPa) 成形吸収率 (%)	250~290 80~120 0.6~0.8	270~310 120以上 0.05~0.30	280~300 0.2		190~220(205℃最適) 70~140 平均2.5	180~230 40~140 1.0~2.5	190~290 50~150 0.2~0.6	180~290 50~150 0.2~0.6
物	透明性(透明、半透明、不透明のうち)	透明	不透明	透明	透明	不透明	不透明	透明	不透明
理的性	比 重 比 容 積 (cm³/kg) 屈 折 率 (nd)	1.2 1,587	1.42 704	1,385 722 1.52	1.20 833	1.42 704.2	1.56 641	1.05 1.59~1.60	1.05 1.59~1.60
質	摩擦係数 (同種材料間の静、動)			静0.43 動0.40		0.3			
機械	引 張 強 さ (MPa) 伸 び (%) 引 張 弾 性 率 (MPa)	63 · 74 9~11 · 118	110~130 5以下	64 300~400 1320	49 1.9	69 (23℃) 12 3590(23℃) 125(10%変形)	65 15 6200	53 2.3 3290 (曲げ)	33 50 2200 (曲げ)
的	圧 縮 強 さ (MPa) 曲 げ 強 さ (MPa) 衝撃強さ、シャルビー (J/m)	92	150~190	83 93		97	100	93	54
性質	" アイゾット (J/m) 硬さ、ロックウエル での他の方式	590~900·120~140 M70~80	80~160 R122 M92	50	15	123 (23°C) M94、R120	44 M90/R118	13 84	69 80
	機械加工性(優、可、不可のうち)	優	優	優	可	優	優	可	可
熱的性	 熱 伝 導 率 (W/(m·K)) 热 (J/(K·g)) 熱 要 (K⁻¹) 熱 度 (°C) 脆 化 温 度 (°C) 	0.19 7×10 ⁻⁵ 140~142 133~138 -100以下	2.01×10 ⁻⁵ 145~155 142~150	0.15 2.3 $(6\sim8)\times10^{-5}$ 80	0.29 1.3 8×10 ⁻⁵ 110	0.23 1.5 9×10 ⁻⁵ 170 124 -60	0.23 1.5 3.4~8.1×10 ⁻⁵ 174 1.61	6~8×10 ⁻⁵	6~9×10⁻⁵ 82
質	ガラス 転 移 温 度 (℃) 連 続 耐 熱 温 度 (℃)	145~150 115~120	145 120	67~81	100	80			
電気的性質	体 積 抵 抗 率 (Ω-cm) 絶 縁 破 壊 強 さ (kV/mm) 誘 電 率 耐 ア - ク 性 (s)	$2\sim5\times10^{16}$ $80\sim100$ 2.90 0.009 120	(22.0 (常徳) 22.8 (20°C、敵和吸水) 3.15 0.0074 112 (タングステン電極)	10 ¹⁹ 16 2.7 0.021	10 ¹⁵ 15 2.7 0.007 130	1×10 ¹⁵ 20 3.7 0.0048 0.38mm試験片で129	1015	>10 ¹⁶ 2.5 0.0002~0.0005	>10 ¹⁶ 2.5 0.0003~0.0005
化学的性質	吸 水 率 (%) 平 衡 吸 水 ペ 耐 葉 品 仕 耐候性(E外保証寿命) (年) 燃 焼 性 UL雕巻等級	0.24 0.58 (1/16" 94V-2 1/8" 94V-2 1/4" 94V-2	(0.09(20°C,24時間) 0.21(20°C,飽和) 94V-0(1/16″ 厚)	0.12 0.30 優 優	0.3 94HB	0.25 0.9 優 0.5 94HB	0.20 0.25 優 94HB(1.47mm厚)	0.04 有機溶剤、オイル類不可 94HB	0.08 有機溶剤、オイル類不可 94HB
他	強化材の種類と含量 (wt%)	(1/4 341-2	ガラス繊維30%				ガラス短繊維20%		

Table11 スーパーエンプラの代表特性

41 14		224 11																		
物性	試 験 法	単 位	PPS	PAR	PTFE	P S	S U	PI	ES	物性	試 験 法	単 位		LCP		PE	ΕK	PEI	PAI	TPI
分類および特長			GF40% 架橋タイプ	ナチュラル	ナチュラル	ナチュラル	GF30%	ナチュラル	GF30%	分類および特長			GF30% I 型	GF30% Ⅱ型	GF30% Ⅲ型	ナチュラル	GF30% 高流動	ナチュラル	ナチュラル	非晶質 ナチュラル
機械的性質										機械的性質										
引張強さ	ASTM D 638	MPa	150	70	27~34	71	108	84	140	引張強さ	ASTM D 638	MPa	137	211	113	97	236	105	191	92
引張破断伸び	$\mathrm{ASTM} \; \mathrm{D} \; 638$	%	1.2	70	200~400	50~100	2	80	3	引張破断伸び	ASTM D 638	%	1.7	2.2	3.8	80	5	60	15	90
曲げ強さ	$\mathrm{ASTM} \; \mathrm{D} \; 790$	MPa	206	78	118(3)	108	157	129	190	曲げ強さ	ASTM D 790	MPa	157	250	176	142	330	145	240	137
曲げ弾性率	$\mathrm{ASTM} \; \mathrm{D} \; 790$	GPa	13.7	1.9	0.34~0.62	2.6	7.6	2.5	8.3	曲げ弾性率	ASTM D 790	GPa	13.3	14.7	12.6	3.7	21.1	3.3	5.0	2.9
Izod衝撃強さ:ノッチ付き	$\mathrm{ASTM} \; \mathrm{D} \; 256$	J/m	69	245	157	69	78	88	78	Izod衝撃強さ:ノッチ付き	ASTM D 256	J/m	108	137	118	88	_	49	147	88
ロックウェル硬度	$\mathrm{ASTM} \; \mathrm{D} \; 785$	Rスケール	123	125	_	120	134	120	134	ロックウェル硬度	ASTM D 785	Rスケール	77	84 (M)	69	126	124	109(M)	86(E)	129
熱的性質										熱的性質										
荷重たわみ温度(1)	ASTM D 648									荷重たわみ温度(1)	ASTM-D-648									
: 0.45MPa荷重		°C	260	175	55	_	_	203	216	: 1.82MPa荷重		℃	346	240	180	152	300	200	278	238
: 1.82MPa荷重		°C	_	_	121	174	181	210	_	: 0.45MPa荷重		°C	_	_	_	_	_	210	-	-
連続使用温度(2)	UL746B	°C	200~220	140~160	180	140~160	140~160	180~190	180~190	連続使用温度(2)	UL746B	°C	240~280	~220	-	240	240	170~180	200~220	-
線膨張係数	ASTM D 696	10 ^{−5} ×K ^{−1}	2.9	6.2	10	5.6	1.9	5.6	2.3	線膨張係数	ASTM D 696	10-5×K-1	1.2	_	-	4.6	-	5.6	3.1	5.5
燃焼性		_	V- 0/5V	V-2	V-0	НВ	V-0	V-0	V-0	燃焼性		_	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V- 0/5V	V-0	V-0
物理的性質										物理的性質										
比 重	ASTM D 792	_	1.67	1.21	2.14~2.20	1.24	1.49	1.37	1.60	比 重	ASTM D 792	_	1.60	1.62	1.60	1.30	1.44	1.27	1.42	1.33
吸水率	ASTM D 570	%	0.05	0.26	< 0.01	0.3	0.49	0.43	0.30	吸水率	ASTM D 570	%	< 0.1	0.05	0.02	0.14	_	0.25	0.33	0.34
成形収縮率	ASTM D 955	mm/mm	0.0025	0.008		0.007	0.002	0.006	0.002	成形収縮率	ASTM D 955	mm/mm	-	_	0.0023(4)	_	0.006	0.006	-	0.008
電気的性質										電気的性質										
体積抵抗率	ASTM D 257	Ω·mm	1×10 ¹⁵	2×10 ¹⁶	>1017	_	_	10 ¹⁶	10 ¹⁵	体積抵抗率	ASTM D 257	Ω·mm	1×10 ¹⁵	3×10 ¹⁵	5×10 ¹⁵	10 ¹⁶	_	10 ¹⁶	2×10 ¹⁶	_
絶縁破壊強さ	ASTM D 149	kV/mm	17.2	_	30~35	17	19	16	16	絶縁破壊強さ	ASTM D 149		25	43	_	19	_	30	24	_
誘電率 (10 ⁶ Hz)	ASTM D 150	_	3.8	3.0	< 2.1	3.1	3.7	3.5	_	誘電率(10 ⁶ Hz)	ASTM D 150	_	3.6	3.8	2.7	3.3	_	3.15	3.9	3.1
誘電正接 (10 ⁶ Hz)	ASTM D 150	_	0.0014	0.01	0.0001	0.005	0.004	0.0035	_	誘電正接(10 ⁶ Hz)	ASTM D 150	_	0.034	0.017	0.030	0,003	_	0.0013	0.031	0.0034

- 注(1) 以前の「熱変形温度」 (2)機械的強度(衝撃あり、なし)、電気的性質の3項目がある。
 - (3) 圧縮強度
 - (4) MD、TDの平均値 実際値は:MD/TD=0.0013/0.0033

- 備 考 各樹脂の略号と名称は、以下の通りである。 PPS: ポリフェニレンスルフィド、PAR: ポリアリレート、PTFE: ポリテトラフルオロエチレン、 PSU: ポリスルホン、PES: ポリエーテルスルホン、LCP: 液晶ポリマー、 PEFE: ポリエーテルエーテルケトン、PEI: ポリエーテルイミド、PAI: ポリアミドイミド、 TPI: 熱可塑性ポリイミド、GF: ガラス繊維

- 引用文献
 1) 三井デュポンフロロケミカル株式会社「テフロン実用ハンドブック」1989
 2) 里川孝臣編「ふっ素樹脂ハンドブック」日刊工業新聞社、1990
 3) 工業材料、1976.11 日刊工業新聞社
 4) 池田隆治、バルカーレビュー、VOL.35 No.1
 5) 高分子学会編「プラスチック加工技術ハンドブック」日刊工業新聞社、1995
 6) ダイキン工業株式会社 技術資料
 7) 三井デュポンフロロケミカル株式会社 技術資料

3. おわりに

当社はふっ素樹脂加工のリーディングカンパニーとして長 年製品供給責任を果たしてきた。近年は環境的リスク、地政 学的リスク、経済的リスクなどサプライチェーンリスクが顕在化 している。当社では現在、サプライチェーンの強化を図り、軸 であるふっ素樹脂事業の基盤を強固にすべく推し進めてい る。更に、昨今の多種多様な顧客要求に応えるべく従来の ふっ素樹脂に捉われない高機能プラスチック製品の拡充によ り様々な市場に提供していく所存である。

4. 参考文献

- 1) バルカーハンドブック技術編:株式会社バルカー (2007)
- 2) 宮坂 啓象:プラスチック事典,株式会社朝倉書店 (1992)
- 3) 旭化成アミダス株式会社、「プラスチックス」編集部共編:プ ラスチック・データブック (1999)
- 4)日刊工業新聞社:プラスチック加工技術ハンドブック (1995)



佐藤 俊輔 高機能樹脂・製品本部 調達グループ

シールトレーニング設備搭載出張講習車 シールトレーニングビークル™ Seal Training Vehicle™(略称: STV) の紹介

1. はじめに

近年、プラントメンテナンスの現場では、技術継承の問題や定修間隔の延長による実践機会の減少により、正しい施工やシール材の選定方法など、必要な技能等を習得する人材育成の機会が十分に確保出来ないという課題がある。

また、Figure1に経済産業省が報告している要因別事故件数の推移を示すが、近年、事故件数は増加の傾向にあり、うち約9割が噴出・漏えいによる事故と記載されている。

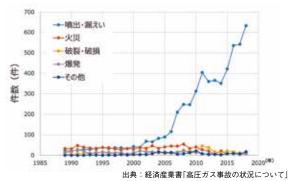


Figure 1 要因別事故件数の推移

当社は、このような状況に応えるため、シールトレーニング センター (STC)を2014 年に東京都町田市と奈良県五條市 に開設した(Figure2)。シールエンジニアリング教育の場を 提供することにより、人材育成によるプラントの安全安心操業 に貢献することを目指している。

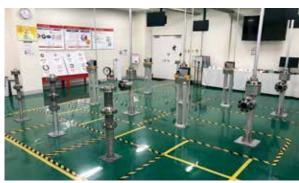


Figure 2シールトレーニングセンター(町田市)

また、講習の方法や内容も多岐にわたり、STC拠点が遠方のため受講を躊躇されるお客様や少人数でなく多くの方々に現地で受講したいとのご要望にお応えするために、組立式のモバイルシールトレーニングシステム(MSTS)を用いた出張講習も行っている(Figure3)。

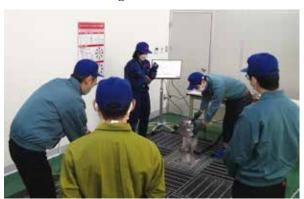


Figure3 MSTSを用いた出張講習

こうした取り組みは、多くのお客様から受け入れられ、2014年~2021年度までに石油化学、石油精製、エンジニアリング、鉄鋼、電力などの企業に講習を実施した。講習は好評を博しており、新人教育を含めた社内の安全教育の一環として、定期的に講習を実施いただく企業も年々増加している。

本報では、コロナ禍でのオンサイトでのトレーニング需要の 高まりに応えるため、講習設備をトラックに搭載し、設置の簡 略化と場所を選ばず講習が開催出来ることを目的としたシー ルトレーニングビークルTM (STV)を紹介する(Figure4)。



Figure4 シールトレーニングビークル™(略称:STV)

2. STVの特徴

MSTSと比べ、トレーニングまでの準備時間が短縮され、 STVが駐車可能な場所なら場所を選ばず開催出来る。

- ・車両仕様: 全長8,610×幅2,320×高さ3,530 (mm)
- ・ウイング開放時の最大高さ:4,600mm
- · 総重量: 約5t
- ・100V 電源で設備が使用出来る

3. 搭載設備概要

実技講習設備は3種類を搭載している。

① フランジ締付け実習装置(垂直配管、水平配管)

受講者の締付けにより発生したボルト軸力や変化したフランジ面間平行度を可視化することが出来、これを点数化することでフランジ締付けの技量レベルを判定することが出来る(Figure5)。判定結果にある[Feedback]やリプレイ(動画再生)から、作業の内容を振り返ることで技量の向上・維持が可能となる。



Figure5 技量判定結果

また、ボルトの締付けがJIS B 2251 の規格に従って行われているかも判定している。締め忘れや最初から強い力で締付けがあると減点となる。

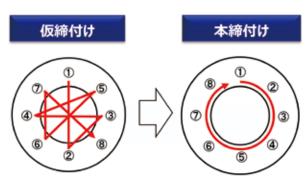


Figure 6 JIS B2251 締付け手順

② トルク感覚実習装置

受講者の締付けの力加減が把握出来、引き上げる、押す、引くなどの力の加える姿勢により発生する締付力や調整のしやすさの違いを確認することが出来る(Figure7)。

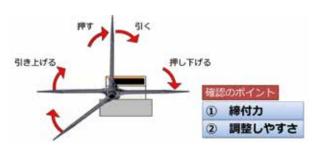


Figure7 姿勢による締付力、調整のしやすさ

③ ボルト管理状態の影響体感装置

管理状態の異なる各ボルトを同じトルクで締付けた時、発生するボルト軸力とトルク係数を表示する装置である。これにより、ボルトの管理状態、例えば、潤滑剤有無やサビによる影響を視覚的に確認出来る(Figure8)。

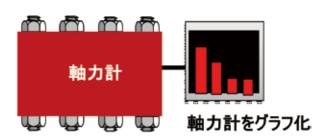


Figure8 ボルト管理状態の影響体感装置

4. 講習コースの紹介

Table1に講習コースの紹介を示す。3種類の中から選択していただき、受講人数の追加や、他のMSTS装置を用いた実技を追加してほしいなどのカスタム対応も可能である。

座学は日本高圧力技術協会がフランジ締結技術者のトレーニング指針を示した規格 HPI TR Z 110:2018に準拠した内容となっている。

実技はSTVを使用し、シールトレーニングを実施する。

Table1 講習コースの紹介

講習コース	内容	人数 ⁽³⁾	時間 ⁽⁴⁾
【管理者】 コース	座学(管理者)(1) フランジ締付け実習 ⁽²⁾ フランジ締付け技量判定 ボルト状態の影響体感実習	4~5人 (対象者) ・管理者 ・作業監督者	
【作業監督者】	座学(作業者) ⁽¹⁾ フランジ締付け技量判定	20人 (対象者) ・作業監督者 ・作業者	1日 (約6時間)
【作業者】	フランジ締付け技量判定	30人 (対象者) ・作業者	

- (1) HPI TR Z 110:2018準拠
- (2)フランジ締付け実習は来所型 STC と同様の内容
- (3)人数は目安であり、目安人数以上の受講を希望する場合は講習日数 延長等で対応する
- (4)時間は設置・撤去の時間は含まない

5. おわりに

今回、シールエンジニアリングの学習機会をより提供出来る手段の一つとして、シールトレーニングビークルTM (STV)を紹介した。当社は今後もシールエンジニアリングサービスを提供し、漏えいによる災害や事故の撲滅に貢献する。また、シール施工と技能教育の関心をいっそう高めるべく、常にお客様の視点に立ち、独自の、様々なサービス展開を行い、更なるお客様満足を目指していく。

STV はお客様のお役立ちを求めて、これからも日本全国を駆け巡っていく。

6. 参考文献

- 1) 村松 晃:バルカー技術誌, No.33, 15-18 (2017)
- 2)山本 隆啓:バルカー技術誌, No.35, 2-4 (2018)
- 3) 野々垣 肇,山本 隆啓:バルカー技術誌,No.37,7-9 (2019)
- 4) 古賀 洋介: バルカー技術誌, No.40, 3-7 (2021)
- 5) 桐山 真也:バルカー技術誌, No.42 3-6 (2022)



出口 善久 H&S営業本部 サービスソリューション営業部

No.43

テクノロジーニュース 直近のバックナンバー

No.42 Winter 2022

●ご 挨 拶

代表取締役会長CEO 瀧澤 利一

●バルカーテクノロジーニュース 冬号発刊にあたって

取締役CTO 青木 睦郎

●カスタマー・ソリューション《寄稿》

フランジ締付けトレーニングによる気密試験の成果

日本通運株式会社 周南支店重機建設課 桐山 真也

●カスタマー・ソリューション

ガスケットの適切な施工について

H&S営業本部 中出 賢志郎 研究開発本部 商品開発部 高橋 聡美

●デジタル・ソリューション

IPランドスケープの取組

知的財産部 薄井 伸太

製品の紹介 PTFEナノファイバーのフレキシブルデバイスへの活用

研究開発本部 先行技術開発部 素材応用開発チーム 武藤 裕孝

研究開発本部 先行技術開発部 新領域開発チーム 米田 哲也

バルフロン®ライニング鋼管ガスケットレス機構

株式会社バルカーメタルテクノロジー 生産部 河合 伸幸

No.41 Summer 2021

●ご 挨 拶

取締役CTO 青木 睦郎

●カスタマー・ソリューション

使用検討における注意事項及び使用トラブルとその対策(フレクター®)

H&S営業本部 テクニカルソリューショングループ 坂本 貴紀

●技術論文 耐ブリスター材料BLISTANCE®のシリーズ化

研究開発本部 商品開発部 エラストマーチーム 西原 亮平

■製品の紹介 振動測定による設備の予知保全技術の報告

ネットワーク型予知保全システムの紹介

研究開発本部 先行技術開発部 新領域開発チーム 佐藤 央隆

圧電シートを利用したマットセンサー

研究開発本部 先行技術開発部 新領域開発チーム 米田 哲也

耐熱性アクリルゴムL6070

研究開発本部 商品開発部 エラストマーチーム 圖師 浩文

高濃度薬液・オゾン用エラストマー 「ARCURY® (アーキュリー)シリーズ」

H&S営業本部 テクニカルソリューショングループ 村木 弘昌

29

No.40 Winter 2021

●ご 挨 拶

代表取締役会長CEO 瀧澤 利一

●バルカーテクノロジーニュース 冬号発刊にあたって

取締役CTO 青木 睦郎

●カスタマー・ソリューション《共著》

共通フランジ締結認定制度による施工品質改善の取り組み

ENEOS株式会社 川崎製油所 定修計画グループ 古賀 洋介 株式会社バルカー H&S営業本部 坂井 重夫

●カスタマー・ソリューション《寄稿》

台湾中油林園石化プラントのフランジ締結トレーニング実施の効果とバルカー H&Sへの期待

台灣中油股份有限公司 石化事業部林園石化廠 工安課 課長 林 於正

●技術論文 過酸化物架橋系エラストマーにおける圧縮永久ひずみへのカーボンブラックの影響

研究開発本部 商品開発部 エラストマーチーム 西 亮輔

●製品の紹介 高耐熱非シリコン粘着テープ(AGC グループ韓国 Taconic 社製 P-KT:6323)

高機能樹脂本部 プロダクトグループ 鈴木 健之

フランジギャップゲージの紹介

H&S営業本部 テクニカルソリョーショングループ 伊奈 正文

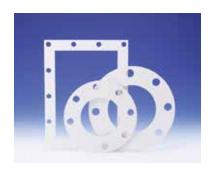
LFR SEAL®の往復動用途 適用事例

研究開発本部 商品開発部 徳丸 哲也

地球に、そして人にやさしいモノづくり……



高性能ガスケット



バルカーヒートレジストシート®(HRS)

1000℃以上の高温で使用可能なシートガスケット です。従来の織布ガスケットより漏れにくく、排出ガスの 環境対応にも効果的です。RCF(リフラクトリーセラミック ファイバー)を含まず労働安全衛生法規制対象外です。

● 使用温度範囲:-200~1200° ● 最大圧力: 1.0MPa ※詳細は当社カタログをご参照ください。



ユニバーサルハイパー®(UF300)

薬液ラインにおけるガスケットの統合を可能にするシートガス ケットです。高温・長期安定性に加え、耐薬品性を向上させたこと により、適応流体が大幅に広がりました。

強酸、強アルカリ、どちらのラインにもご使用いただけます。

● 使用温度範囲:-200~300° ● 最大圧力:3.5 MPa ※詳細は当社カタログをご参照ください。

株式会社JÜLL力·

〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower 24F TEL.03(5434)7370(代) FAX.03(5436)0560(代) https://www.valqua.co.ip

株式会社」(1111)

■本社(代)	ជ(03)5434-7370	Fax.(03)5436-0560
■M·R·T センター	☎(042)798-6770	Fax.(042)798-1040
■奈良事業所	☎(0747)26-3330	Fax. (0747) 26-3340

■H&S営業本部 第1ブロック(北海道) ☎(03)5434-7375 Fax.(03)5436-0565 第2ブロック(東北) **ロ**(03)5434-7375 Fax.(03)5436-0565 第3ブロック(北関東·信越) **2**(03)5434-7375 Fax.(03)5436-0565 ●第4ブロック(南関東) ☎(03)5434-7374 Fax.(03)5436-0564 ●第5プロック(東日本カスタマーサービス) **☎**(03)5434-7375 Fax.(03)5436-0565 ●第6ブロック(中部) **☎**(052)811-6451 Fax.(052)811-6474 ●第7ブロック(関西·北陸) ☎(06)6265-5031 Fax.(06)6265-5040 ●第8プロック(西日本カスタマーサービス) ☎(06)6265-5032 Fax.(06)6265-5041 第9ブロック(中四国) ☎(06)6265-5031 Fax (06)6265-5040 第10ブロック(中国) ☎(093)521-4181 Fax. (093) 531-4755 ●第11ブロック(九州) ☎(093)521-4181 Fax.(093)531-4755

■高機能シール本部

●営業部(東京) **☎**(03)5434-7382 Fax.(03)5436-0562 **☎**(06)6265-5036 Fax.(06)6265-5042 ●営業部(大阪)

■海外統括本部

☎(03)5434-7376 Fax.(03)5436-0562 ●貿易チーム

■高機能樹脂·製品本部

●営業部 **☎**(03)5434-7385 Fax.(03)5436-0562 **☎**(0749)26-3191 Fax (0749)26-7503 ●彦根営業所 ☎(096)364-3511 Fax.(096)364-3570 ●熊本営業所

VALQUA TECHNOLOGY NEWS

9 No.43 → Summer 2022

発行日・・・2022年8月15日 編集発行・・株式会社バルカー 〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1

ThinkPark Tower 24F

TEL.03-5434-7370 FAX.03-5436-0560

制 作・・・・株式会社 千 修

グループ会社 国内販売拠点

■株式会社バルカーエスイーエス

●本社(千葉) **☆**(0436)20-8511 Fax (0436)20-8515 ●鹿島営業所 ☎(0479)46-1011 Fax.(0479)46-2259

■株式会社バルカーテクノ

●本社·東京営業所 ☎(03)5434-7520 Fax.(03)5435-0264 大阪営業所 ☎(03)5434-7520 Fax.(03)5435-0264 福山営業所 **☎**(03)5434-7520 Fax.(03)5435-0264