

Valqua Technology News

バルカー技術誌

2002年 秋号

No.4 AUTUMN 2002

●技術論文

ばね入りメタルCリングの三次元有限要素解析

—ガスケットの低締付け力化を目指して—..... 1

神戸商船大学 商船学部 機械電子工学講座

高木 知弘

神戸商船大学 商船学部 機械電子工学講座

福岡 俊道

日本バルカー工業(株) 研究開発部

山中 幸

●技術論文

Low Emission 対応のシール材

—グラウンドパッキンの低漏洩化—..... 9

日本バルカー工業株式会社 研究開発部 事業部研究グループ

石田 誠

●新製品紹介

半導体・液晶ウエットプロセス用エラストマー「ARCURY」.....15

日本バルカー工業(株)事業統括部プロダクトグループ

高機能フッ素ゴム担当

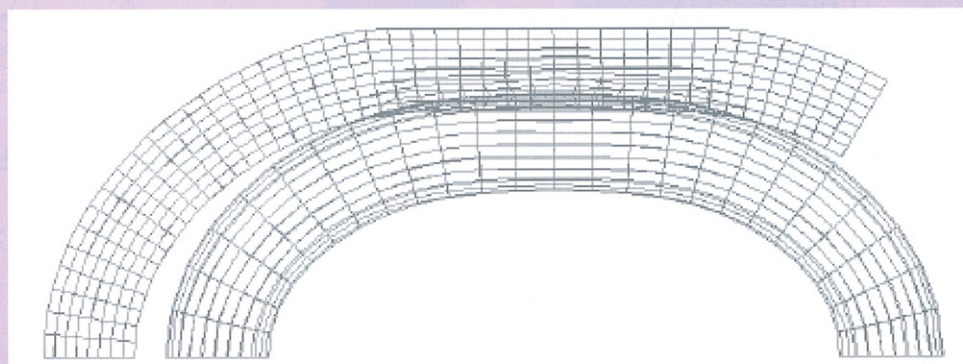
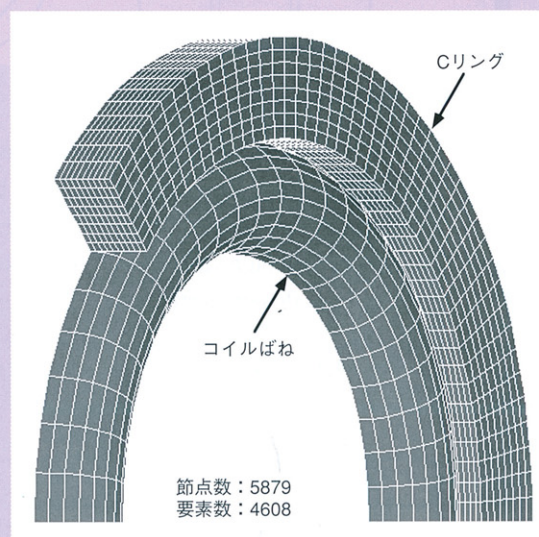
大下 龍宏

●受賞

電気二重層キャパシタ用電極膜

デュボン社2002年プランケット賞アジア・太平洋地域部門1位受賞.....17

●用語の豆知識.....18



日本バルカー工業株式会社

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

表紙の図:「ばね入りメタルCリング三次元有限要素解析」から

(上) 図4.....ばね入りメタルCリング三次元有限要素モデル

(下) 図7.....ばね入りメタルCリング締付け時の変形

ばね入りメタルCリングの三次元有限要素解析 —ガスケットの低締付け力化を目指して—

Three-Dimensional Finite Element Analysis of Spring Energized Metal C ring

--- Design of Low Sealing Load Gasket ---

神戸商船大学 商船学部 機械電子工学講座

助手 高木 知弘

Tomohiro Takaki

Research Associate

Department of Marine Engineering, Kobe University of Mercantile Marine

神戸商船大学 商船学部 機械電子工学講座

教授 福岡 俊道

Toshimichi Fukuoka, Dr. Eng.

Professor

Department of Marine Engineering, Kobe University of Mercantile Marine

日本バルカー工業(株) 研究開発部 (現: 事業統括部プロダクトグループ)

山中 幸

Yuki Yamanaka

R&D Division, Nippon Valqua Industries, Ltd.

《Summary》

A large amount of initial clamping force is required for a metal gasket to achieve the required sealing performance. A spring energized metal C ring has been developed in order to get low sealing load. In this study, three dimensional finite element simulations are conducted for the spring energized metal C ring by using ABAQUS. The effects of design variables of the gasket on the compressive and sealing performance are considered. Finally, the optimum design is attempted to minimize the clamping load of the gasket.

Key Words ; Spring Energized Metal C ring, Finite Element Analysis, Optimum Design

1. はじめに

ば ね入りメタルCリングは、高い締付け力を必要とするメタルガスケットの短所を改善するために開発された、比較的低い締付け力で良好なシール性を有す

るメタルガスケットである¹⁾。図1にその基本形状を示す。ステンレスやインコネル材のコイルばねを、アルミ等の軟質金属板Cリングで被覆した構造となっている。場合によってはCリングを二重にしたり、Cリング表面

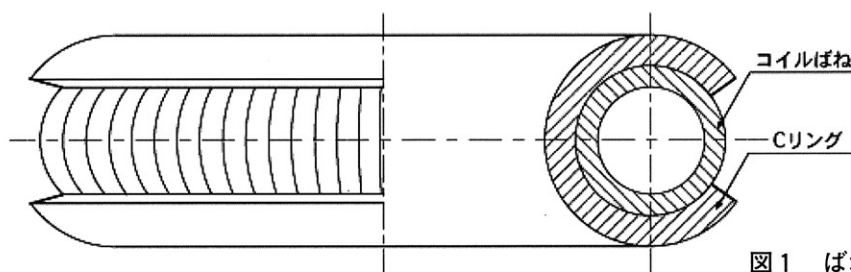


図1 ばね入りメタルCリング基本形状

を加工して低締付け力化をはかったガスケットも開発されている²⁾。このように、ばね入りメタルCリングは非常に複雑な構造をしているため、圧縮特性やシール特性を評価するためには実際に製品を作成し試験を行う手法が採用されてきた。それらの結果から、外径寸法が同じ場合にも構成部材の寸法や材質を変更することで、締付け力を低減できることが報告されている²⁾。しかしながら、設計変数が多いばね入りメタルCリングの力学的挙動を把握し、さらに低締付け力化をはかるためには体系的な検討が必要であり、実験的な評価は多大な労力を要する。

本研究では、ばね入りメタルCリングの各部寸法がガスケットの圧縮特性とシール特性に与える影響を、三次元有限要素解析により評価することを試みる。前に述べたように、ばね入りメタルCリングは非常に複雑な形状を有しているため、まずそのモデル化を検討する。またガスケットはシール特性が重要であるため³⁾、解析によるシール性評価について考察を行う。解析には汎用有限要素解析コードABAQUSを使用し、材料非線形・幾何学的非線形・接触の各問題を考慮する。最後に、統計的な手法を用いた設計支援ソフトDesign Directorを用いることにより⁴⁾、ばね入りメタルCリングの低締付け力化を目指した寸法設計を試みる。

2. 有限要素解析

汎用有限要素解析コードABAQUSを用いて、ばね入りメタルCリングの圧縮解析を行う。

2-1 解析対象

本研究では、JIS B 2290呼び径80のフランジに用いられるばね入りメタルCリングを解析対象とする。ばね入りメタルCリングはみぞ形フランジで使用されることが多く、上記フランジの場合みぞの深さは3.0mmである。図2に示すように、対象とするガスケットの断面径は3.8mmであるので、ボルト初期締付け時に0.8mm(約21

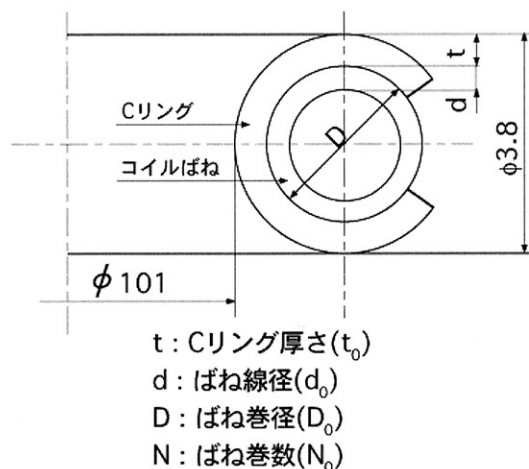


図2 解析対象ガスケット寸法

%) 圧縮されることになる。Cリングの材質はアルミニウム(A1050P)、コイルばねはインコネル(Inco.600)である。

2-2 有限要素モデル

ばね入りメタル、リングをモデル化する場合、コイルばねの取り扱いが問題となる。ここでは、簡素化のため図3に示すように、らせん形状を有するコイルばねを「Oリング形状のばねが円周方向にコイルばねの巻き数個並んだ状態」にモデル化する。このような仮定を行うと、ガスケットは圧縮方向と円周方向に対称性を有する形状となる。つまり、圧縮方向は $1/2$ 、円周方向は $1/(2 \times \text{ばね巻数})$ のモデルの使用が可能となる。これらの点を考慮し、図4に示す有限要素モデルを作成する。要素にはC3D8Rを使用している⁽⁵⁾。

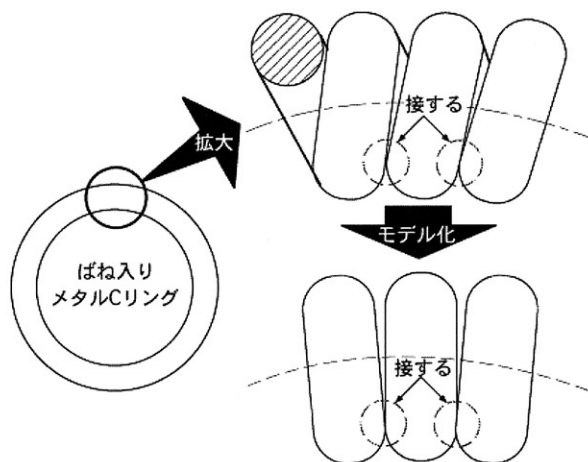


図3 コイルばねのモデル化

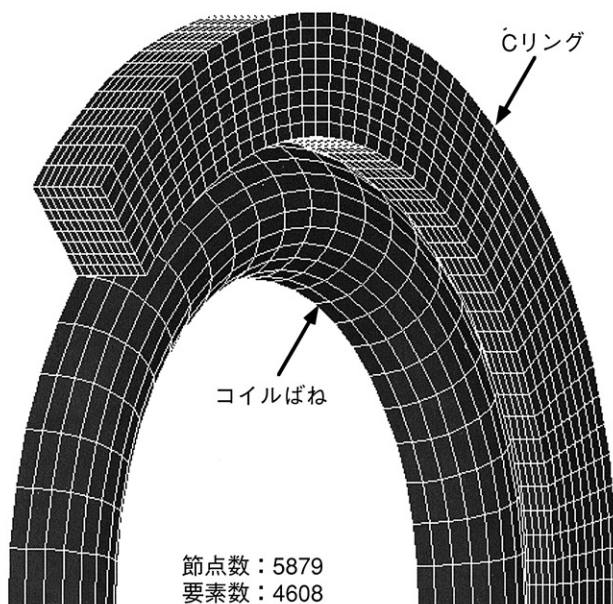
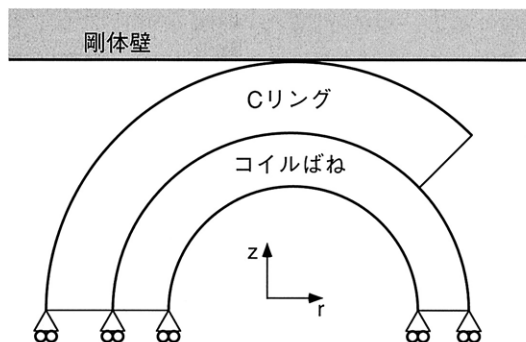
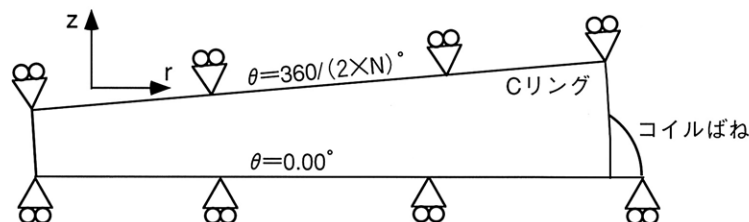


図4 有限要素モデル



(a) 圧縮方向
図5 境界条件



(b) 円周方向

2-3 境界条件

図5 (a)と図5 (b)は、それぞれガスケットの圧縮方向 (z 方向)と円周方向 (θ 方向)の境界条件を示している。Cリングとコイルばねの圧縮方向対称面の変位を拘束し、円周方向の対称面を傾斜支持境界としている。図3に示すように、コイルばねはガスケット内側で接するように作成されている。この場合、図5 (b)に

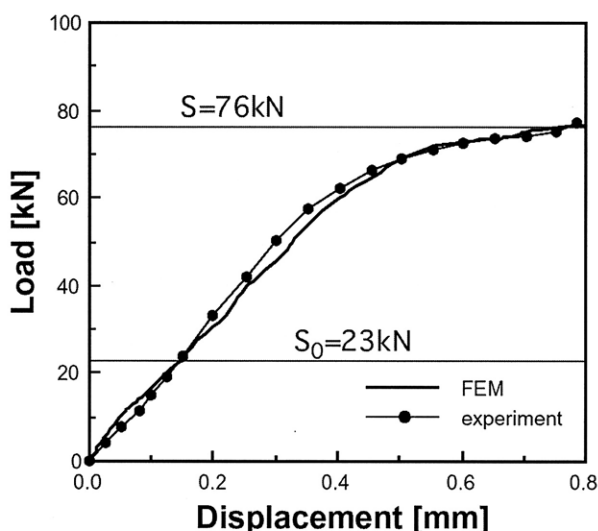


図6 ガスケット圧縮時の荷重-変位曲線

示すようにモデルの中心角は $360 / (2 \times N)$ deg となる。また、ガスケットを圧縮するフランジは剛体壁としてモデル化している。この剛体壁に負の強制変位を与えることにより、締付け状態を再現する。剛体壁とCリング、Cリングとコイルばねの間は接触を考慮し、摩擦係数は0.2一定と仮定している。

2-4 材料定数の同定

ガスケットの剛性を実際のものと一致させるため、コイルばね単体の圧縮試験を行い、その結果得られた荷重-変位曲線と解析から得られたものが一致するように、コイルばねの材料定数を決定する。この結果、コイルばねのヤング率を75GPa、降伏応力1900MPaの弾完全塑性体と決定した。ここで、アルミニウム製のCリングは文献[6]よりヤング率70GPa、初期降伏応力70MPaとし降伏後は $\sigma = 150 \epsilon^{0.27}$ に従うものとしている。ポアソン比はコイルばね、Cリングとも0.3一定と仮定している。

図6は、上記のように決定した材料定数を用い、ばね入りメタルCリングの圧縮解析を行って得られた荷重-変位曲線を試験結果とともに示している。解析では圧縮方向に半分のモデルを使用しているため、圧縮変位を2倍にして示している。図6より試験結果と解析結果は比較的良好に一致していることが分かる。

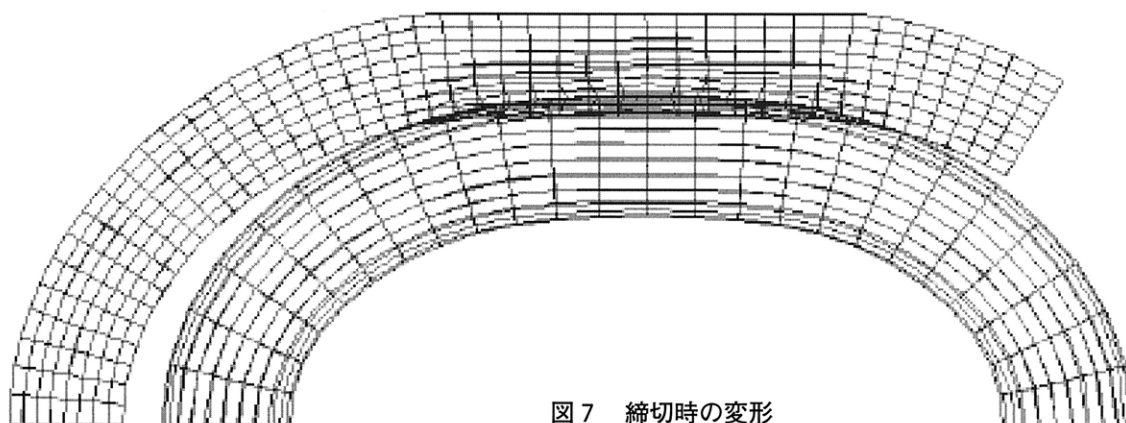


図7 締切時の変形

3. シール開始荷重 S_0 と締切荷重 S

ばね入りメタルCリングの圧縮試験と同時に、ヘリウムリークディテクターを用いた漏洩試験を行っている²⁾。その結果、図6中に示す $S_0 = 23\text{kN}$ のシール開始荷重が得られた。このシール開始荷重 S_0 は、ヘリウムの漏洩量がヘリウムリークディテクターの検出感度(約 $1 \times 10^{-11}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)に達した最小の圧縮荷重として定義している。図6中の $S = 76\text{kN}$ はガスケット厚さがフランジみぞ深さ 3.0mm に達した荷重、つまりガスケットを 0.8mm 圧縮した時の荷重で締切荷重と呼ぶことにする。

第1章で述べたように、メタルガスケットの欠点は内部流体をシールするために高い締付け力を必要とすることである。そのため、低締付け力化がメタルガスケットの開発・設計における課題となっている¹⁾。シール開始荷重 S_0 を締切荷重 S とする使用が可能であれば、最も低い締付け力でガスケットを使用することができる。しかしながら実際は、ガスケットやフランジの加工誤差等のため $S = S_0$ とした使用は危険であり、 $S > S_0$ の状態で使用されるようにガスケットは設計されている。ここでシール開始荷重 S_0 に対する締切荷重 S の比、 S/S_0 を安全率と呼ぶことにする。図6の結果では安全率 $S/S_0 = 3.3$ である。

図7は締切状態(変位 $=0.8\text{mm}$)におけるガスケットの変形を示している。Cリングはコイルばねと接触する部分において薄くなっており、ガスケット内側ではCリングとコイルばねは接触していないことがわかる。

4. FEMによるシール開始荷重 S_0 の決定

ばね入りメタルCリングの各部寸法が、シール開始荷重 S_0 と締切荷重 S に与える影響を把握しておくことはガスケットの低締付け力化設計を行うために重要である。各部寸法を変えて体系的な評価を行うためには有限要素

解析が有用であるが、シール開始荷重 S_0 をどのように決定するか問題である。

ガスケットのシール特性にはガスケット座面の圧力分布が大きく影響していることが考えられる。図8は、ガスケット座面(剛体壁とCリングの接触面)の $\theta = 0.0\text{deg}$ 部の半径方向の面圧分布変化を示している。図中の値は圧縮変位量である。圧縮変位の増加にともない接触面積が広がっていることがわかる。しかしながら、最大面圧値はあまり変化していない。図9は、シール開始荷重 $S_0 = 23\text{kN}$ (圧縮変位 $=0.15\text{mm}$)時の $\theta = 0.0\text{deg}$ と $\theta = 360/(2 \times N)$ deg部の半径方向のガスケット座面圧分布を示している。2点に面圧のピーク値があらわれており、いずれの面圧値も 150MPa 程度となっている。図8の圧縮変位量 0.1mm の時の最大面圧値が 150MPa 以上となっているため、適当なシール状態を達成するためには、ある程度の面圧値に加え接触幅が必要になることが考えられる。以上の点を考慮し、ここではシール開始荷重 S_0 を“ガスケット座面圧の半径方向分布のピーク値が2点以上存在し、それらの値がともに 150MPa 以上となる状態に達する最小の圧縮荷重”と仮定する。また、図9より $\theta = 0.0\text{deg}$ 部と $\theta = 360/(2 \times N)$ deg部の面圧分布は同様な変化を示しており、円周方向の面圧変化は小さいことがわかる。

5. S と S_0 に対するガスケット各部寸法の影響

シール開始荷重 S_0 と締切荷重 S に対するばね入りメタルCリングの各部寸法の影響を評価するために、表1に示すモデルを設定し体系的な有限要素解析を試みる。表中の各変数の値は、図2に示す基準寸法に対する比率として示している。Cリング厚さ t 、ばね線径 d 、ばね巻径 D 、ばね巻数 N の各設計変数を考察の対象とし、それぞれ Model No. 1 - 5、Model No. 6 -11、Model No.12-

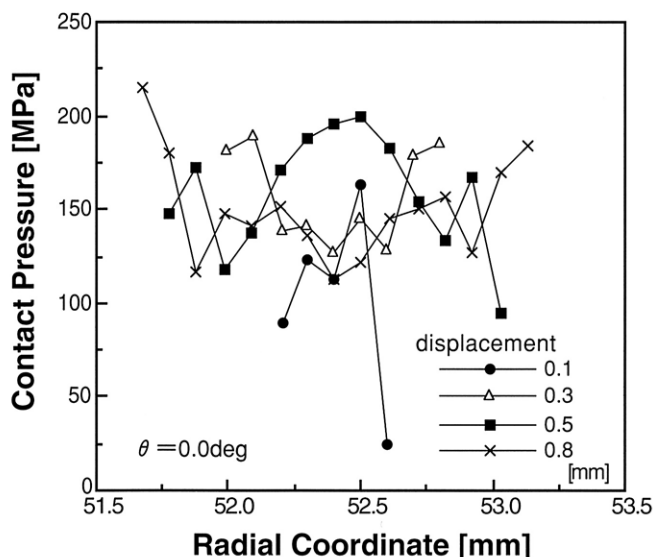


図8 ガスケット座面の半径方向面圧分布変化

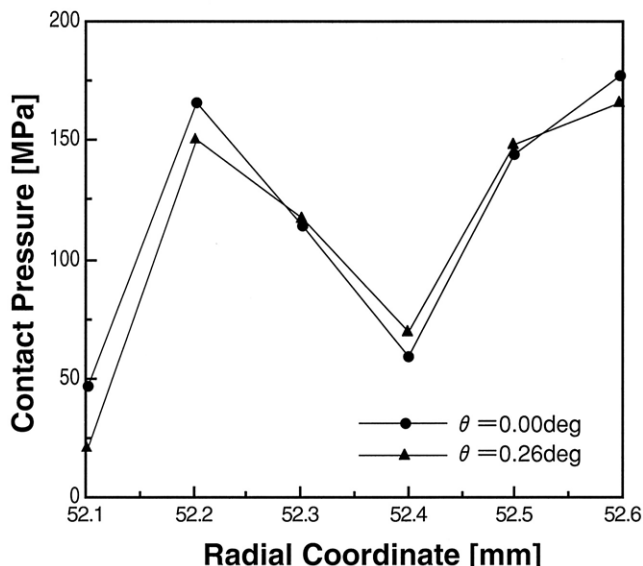


図9 シール開始荷重 S_0 時のガスケット座面圧分布

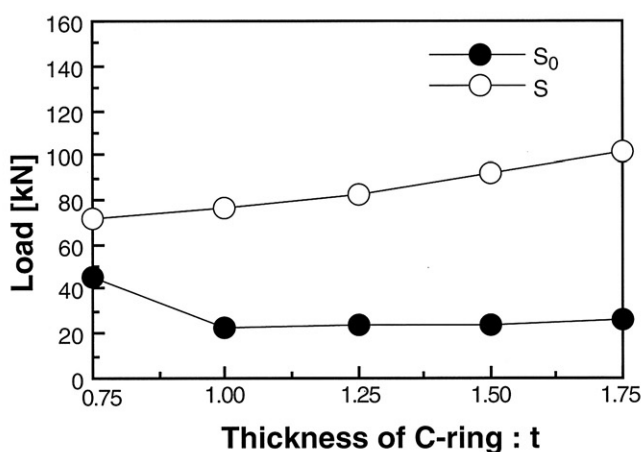
14、Model No.15-17により評価を行う。Model No. 2、8、13、17は図2に示す基準となるモデルである。Cリング厚さ t とばね巻径 D の影響を評価するモデルにおいては、ガスケット断面径が異なるため締切状態（みぞ深さ3.0mm）までの圧縮変位量が変化する。また、コイルばねは図3に示すようにガスケット内側で接するようにモデル化しているため、ばね線径 d を変えた場合ばね巻数 N が変化する。

図10は表1に従って解析モデルを作成しガスケットの圧縮解析を行った結果、各設計変数に対してシール開始荷重 S_0 と締切荷重 S がどのように変化するか示している。

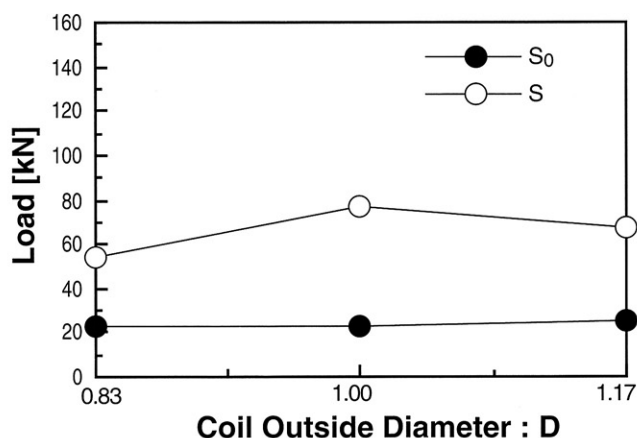
締切荷重 S については、図10(c)のばね巻径 D 以外は各変数を増加させると S も増加しており、その影響は図10(b)のばね線径 d の場合最も顕著である。ばね巻径 D については、各モデル毎に締切状態までの圧縮変位量が大きく異なるため、図10(c)に示すような変化となっている。図11は荷重-変位曲線の一例として、ばね

線径 d を変化させた場合の結果を示している。圧縮変位0.8mmの時の荷重値が、図10(b)に示す締切荷重 S に対応する。

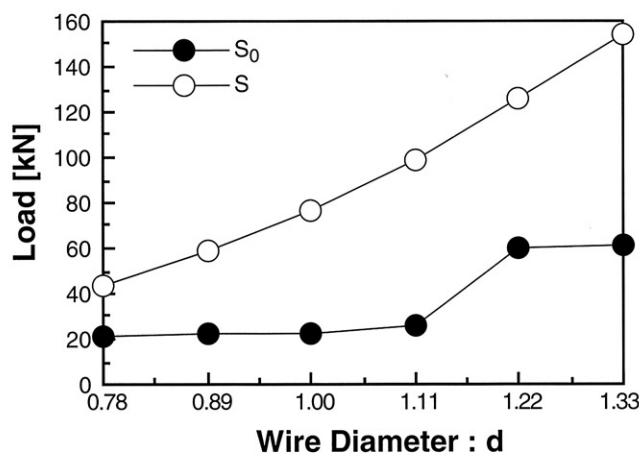
シール開始荷重 S_0 については、図10(a)に示すCリング厚さ t の小さい場合と、図10(b)に示すばね線径 d の大きい場合に高くなる傾向を示している。図12は、ばね入りメタルCリングの半径方向中心部の円周方向断面をガスケットの側面から見た図である。Cリングとコイルばねの接触面においては、ばねがはじめてCリングに接触しているばね頂部 a と、ある程度圧縮荷重が作用してCリングがばねに食い込まなければ接触しない b 部が存在する。Cリング厚さ t が小さくなり、ばね線径 d が大きくなるとばね間の b 部においてCリングとばねが接触し難くなり、その上部の剛体壁とCリングの接触面圧が低い部分が生じ、その結果シール開始荷重が高くなる。しかしながら、Cリング厚さ t が t_0 以上、ばね線径 d が $1.11d_0$ 以下、および図10(c)に示すばね巻径 D を変化させた場合はシール開始荷重 S_0 の変化はほとんど



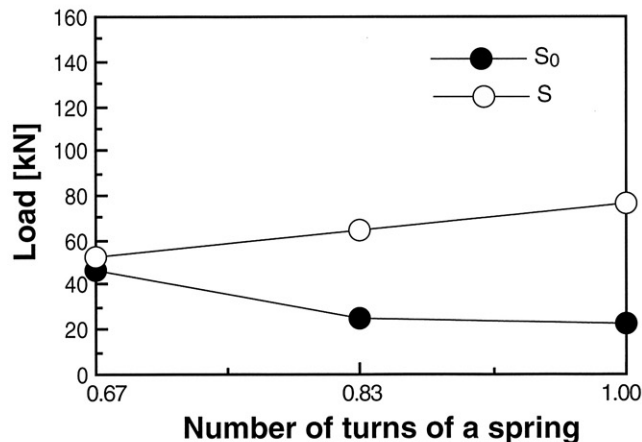
(a) Cリング厚さ t



(c) ばね巻径 D



(b) ばね線形 d



(d) ばね巻数 N

図10 シール開始荷重 S_0 と締切荷重 S の変化

表1 解析モデル寸法

Model No.	[mm]					
	Cリング厚さ:t	ばね線径:d	ばね巻径:D	ばね巻数:N	ガスケット断面外径	締切状態までの圧縮変位量
1	0.75	1.00	1.00	1.00	3.6	0.6
2	1.00	1.00	1.00	1.00	3.8	0.8
3	1.25	1.00	1.00	1.00	4.0	1.0
4	1.50	1.00	1.00	1.00	4.2	1.2
5	1.75	1.00	1.00	1.00	4.4	1.4
6	1.00	0.78	1.00	1.28	3.8	0.8
7	1.00	0.89	1.00	1.12	3.8	0.8
8	1.00	1.00	1.00	1.00	3.8	0.8
9	1.00	1.11	1.00	0.90	3.8	0.8
10	1.00	1.22	1.00	0.82	3.8	0.8
11	1.00	1.33	1.00	0.75	3.8	0.8
12	1.00	1.00	0.83	1.00	3.3	0.3
13	1.00	1.00	1.00	1.00	3.8	0.8
14	1.00	1.00	1.17	1.00	4.3	1.3
15	1.00	1.00	1.00	0.67	3.8	0.8
16	1.00	1.00	1.00	0.83	3.8	0.8
17	1.00	1.00	1.00	1.00	3.8	0.8

どみられない。また、図10(d)に示すばねの巻数を増加させた場合、締切荷重 S は増加するがシール開始荷重 S_0 は低下しており、他の設計変数を変化させた場合とは異なった特性を示すことが分かる。

6. ガスケットの低締付け力化設計

前章では、基準となる寸法から個々の設計変数のみを変化させた場合のシール開始荷重 S_0 と締切荷重 S を評価した。しかしながら、各部寸法を決定する際には各変数相互の影響を検討する必要がある。ここでは、統計的手法を用いる設計支援ソフトDesign Director⁴⁾を使用し、ばね入りメタルCリングの低締付け力化設計を試みる。Design Directorを用いた設計手順を簡単に次に示す(詳細は文献[4])。

- (1) 設計変数の決定
- (2) 水準数・水準値の決定
- (3) 直交表割付
- (4) 有限要素解析
- (5) 推定式の作成
- (6) 目的関数・制約条件設定
- (7) 最適設計

	設計変数		
	d[mm]	D[mm]	R
水準値1	0.78d ₀	0.93D ₀	0.8
水準値2	1.00d ₀	1.00D ₀	1.0

表2 水準表

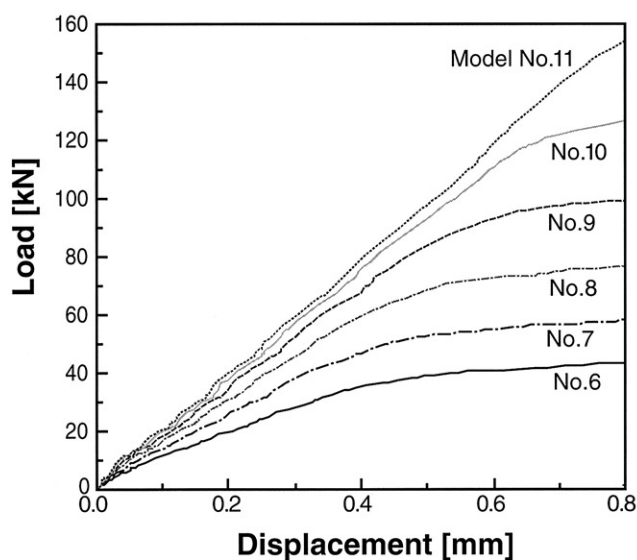


図11 ばね線径を変化させた場合の荷重-変位曲線

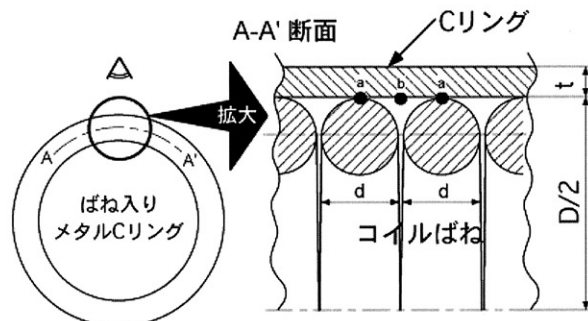


図12 Cリングとコイルばねの接触

6-1 設計変数の決定

前章の結果より、ばね線径 d 、ばね巻径 D 、ばね巻数 N を設計変数とする。図 10 (c) より、 S_0 と S に対するばね巻径 D の影響は小さいが、ばね線径 d とばね巻数 N のみではガスケット断面径が変化しないことから、ばね巻径 D も設計変数として導入している。また、ばね巻数 N はばね巻率 R として導入する。図 2 に示す寸法のばね入りメタル C リングでは、コイルばねはガスケット内側で接しており、ばね巻数 N_0 が最大巻数となる。この場合をばね巻率 $R = 1$ とする。表 1 に示す Model No.15 と No.16 の場合、ばね巻率 R はそれぞれ 0.67、0.83 となる。

6-2 水準数・水準値の決定

シール開始荷重 S_0 、締切荷重 S 、安全率 S/S_0 を特性値とし、後で示す有限要素解析の結果より、 S_0 、 S 、 S/S_0 を d 、 D 、 R の多項式として表す。このとき各特性値が d 、 D 、 R に対してどのように変化するか前もって予測しておく必要がある。ここでは、 d 、 D 、 R を S_0 と S が線形的に変化する比較的狭い範囲に設定する。このため、 S_0 、 S 、 S/S_0 は d 、 D 、 R の 1 次の多項式で表される、つまり水準数を 2 としている。表 2 は使用した水準値を示している。

6-3 有限要素解析

表 3 は、表 2 の水準表を基に割付を行った直交表を示している。直交表には $L_8 (2^7)$ を使用している。 $L_8 (2^7)$ は、最大 7 設計変数まで解析が可能で、各変数の値が 2 段階に設定されている 2 水準系の直交表である。組み合わせられる入力データは 8 通りである。ここでは設計変数 3 (d 、 D 、 R)、水準数を 2 としているため全組合せ数

表 3 直交表

Model	設計変数		
	d [mm]	D [mm]	R
No.1	$0.78d_0$	$0.93D_0$	0.8
No.2	$0.78d_0$	$0.93D_0$	1.0
No.3	$0.78d_0$	$1.00D_0$	0.8
No.4	$0.78d_0$	$1.00D_0$	1.0
No.5	$1.00d_0$	$0.93D_0$	0.8
No.6	$1.00d_0$	$0.93D_0$	1.0
No.7	$1.00d_0$	$1.00D_0$	0.8
No.8	$1.00d_0$	$1.00D_0$	1.0

$S/S_0 \geq 2$ の場合

締切荷重 : $S=40.5\text{kN}$
 シール開始荷重 : $S_0=20.2\text{kN}$
 安全率 : $S/S_0=2.0$
 ばね線形 : $d=0.78d_0$
 ばね巻径 : $D=0.93D_0$
 ばね巻率 : $R=0.85$

締付け力低減率=53%

$S/S_0 \geq 3$ の場合

締切荷重 : $S=67.7\text{kN}$
 シール開始荷重 : $S_0=22.1\text{kN}$
 安全率 : $S/S_0=3.0$
 ばね線形 : $d=0.91d_0$
 ばね巻径 : $D=0.93D_0$
 ばね巻率 : $R=1.00$

締付け力低減率=89%

図 13 低締付け力化解析結果

表 4 F E 解析結果

Model	特 性 値		
	S	S_0	S/S_0
No.1	38.5	20.4	1.89
No.2	46.8	20.5	2.28
No.3	36.4	20.1	1.81
No.4	44.2	21.9	2.02
No.5	67.3	24.5	2.75
No.6	84.5	23.7	3.57
No.7	64.6	24.8	2.60
No.8	76.7	23.0	3.33

[kN]

[kN]

は $2^3 = 8$ となり、 $L_8 (2^7)$ の直交表を用いる場合全ての組合せを解析することになる。しかしながら、設計変数が少ないため全ての交互作用を考慮することが可能となる。ここでは、 d 、 D 、 R 全ての交互作用を考える。

表 3 に基づき 8 個の有限要素モデルを作成し、ばね入りメタルガスケットの圧縮解析を行う。解析結果を表 4 に示している。

6-4 最適設計

表 4 の結果より以下に示す推定式が得られた。

$$S = -297.24 + 445.7d + 101.825D + 124.75R - 146.35dD + 330dR - 69DR$$

$$S_0 = -56.365 + 245.1d + 8.8D + 20.625R - 38dD - 113.5dR + 8.25DR$$

$$S/S_0 = -3.2 - 7.125d + 2.625D + 2.975R - 1.25dD + 23.75dR - 3.375DR$$

目的とするのはガスケットの低締付け力化であるため、締切荷重 S を目的関数とする最小化計算を行う。制約条件としては、各変数が表 2 に示す水準値内にあること、安全率 S/S_0 がある値以上であることとする。ここでは、 S/S_0 が 2 と 3 以上の条件を設定する。

最適化計算の結果を図 13 に示している。図より S/S_0 が 2 と 3 以上の条件の場合、図 2 に示す寸法のガスケットに対してそれぞれ 53% と 89% の低締付け力化が達成された。この場合、ばね線形 d が最も大きく変化していることがわかる。

7. おわりに

ばね入りメタル C リングの各部寸法がガスケットの圧

縮特性とシール特性に与える影響を、汎用有限要素解析コードABAQUSを用いることにより体系的に評価した。その結果、ガスケットの締切荷重に対してはばね線形の影響が最も大きいことを示した。また、それらのデータを基にガスケットの低締付け力化設計を試み、安全率が2の場合53%、3の場合89%の低締付け力化を達成できることを示した。

今後は、本研究で示した解析手順の妥当性を確認するために、算出された寸法を基に作成したガスケットの圧縮・漏洩試験を行う必要がある。また、シール開始荷重に対する締切荷重値の割合を安全率としたが、実際この安全率をどの程度の値にすればよいのか検討する必要がある。さらに、ガスケット座面の状態とシール特性の関係をより明確にすることも、今後の重要な研究課題であると考えている。

最後に、幾何学的非線形問題に関して貴重な助言を賜った神戸大学工学部富田佳宏教授に深甚の謝意を表します。また、実際にモデルの作成と解析を行っていただいた本学学生飛岡竜太郎君（現ヤンマー株式会社）に深く感謝いたします。

〈参 考 文 献〉

- 1) 山中 幸、メタルガスケットの特長と適用、配管技術、43-12(2001)、57-59。
- 2) 中川慎也、低締付力メタルガスケット-トライパックLS-、バルカーレビュー、43-1 (1999)、8-12。
- 3) 山中 幸、シール技術の動向と課題、配管技術、42-4 (2000)、31-35。
- 4) 柏村・白鳥・干、実験計画法による非線形問題の最適化-統計的設計支援システム-、(1998)、朝倉書店。
- 5) ABAQUS/Standard User's Manual (Version 6.2) Volume II.
- 6) 野田直剛・中村 保、基礎塑性力学、(1994)、19、日新出版。

Low Emission 対応のシール材

—グランドパッキンの低漏洩化—

Seal Products for Low Emission Use

---Grand Packing Design for Low Leakage---

日本バルカー工業株式会社 研究開発部 事業部研究グループ

石田 誠

Makoto Ishida

R&D Division, R&D Group, Nippon Valqua Industries, Ltd.

《Summary》

Leakage from valves has been estimated at about 80% of the whole leakage source at the extractive industry plant. It becomes important in reducing leakage to control leakage from the gland packing in valves, because gland packing is dynamic seal which basically utilize leaking fluid as a lubricant.

In general, to reduce the leakage, gland packing needs re-torquing. However, it is not easy to control leakage from gland packing because the torquing direction is parallel to the sealing surface. Therefore, we developed the low emission gland packing with new technology.

New gland packing design transformed the parallel torquing pressure to the vertical direction to the sealing surface, and the pressure of sealing surface was increased with low torquing force. This design enabled torquing force to half. Moreover, a more advanced seal was accomplished, when regular torquing force was applied.

Key words: low emission, gland packing, low friction,

1. はじめに

近 年、環境問題の高まりなどにより、シール材の周囲を取り巻く環境が激変しつつある。そのため、シール材に対する要求は年々厳しさを増している。そこで、本稿ではグランドパッキン低漏洩化の新技術を紹介し、併せて環境関連の規制動向（規格化動向を含む）を紹介する。

2. Low Emission 対応グランドパッキンの開発の経緯と概要

2-1 開発の経緯

工業プラントにおける漏洩発生源としてはバルブが全漏洩の約80%を占めると見積もられている。バルブのシール部位では、動的シールとなるグランドパッキンからの漏洩が占める割合は約75%とも言われており、グランドパッキンからの漏洩をコントロールすることが重要となる。そこで、各国の漏洩規制をクリアする Low Emission 対応グランドパッキンの開発を行った。

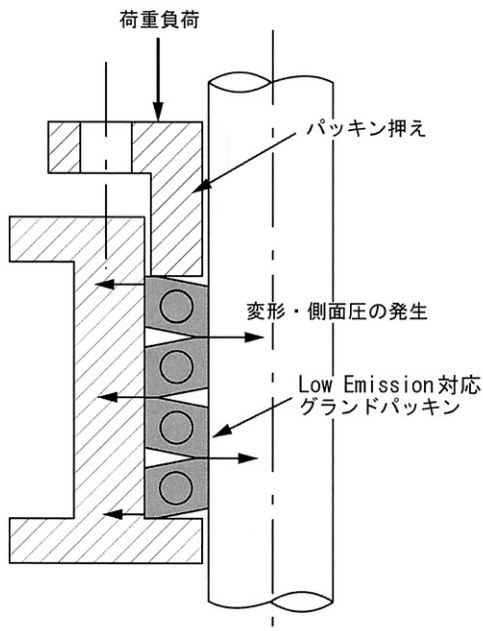
2-2 Low Emission 対応グランドパッキンの概要

今回開発したLow Emission 対応グランドパッキンは、接面漏れ、背面漏れを少なくすることを主眼にしている。

グランドパッキンにおけるシールの難しさは、締付け方向とシール面が垂直な位置関係にあることである。Low Emission対応グランドパッキンは、締付けと垂直な方向へ容易に変形し、接面への応力（側面圧）が低い締付力から発揮される構造となっている（第1図参照）。

主な特徴

- 低漏洩
Low Emission 対応である。
- 低締付
締付力が大幅に低減される。
- 低抵抗
軸抵抗が相対的に小さくなる。
- 低コストに貢献1



第1図 Low Emission 対応グランドパッキン

スタッフィングボックスおよびステムに特別な加工（表面処理、表面荒さなど）を要求しない。

○低コストに貢献2

パッキン、スタッフィングボックスおよびステムに特別な寸法精度（真円度、厳しい寸法公差）を要求しない。

一般的なグランドパッキンで漏洩量を少なくする場合、パッキンとスタッフィングボックスおよびステムのクリアランスを極限まで小さくすることや、寸法が僅かに大きいグランドパッキンを押し込めることで、ある程度までの低漏洩化が可能である。ただし、このような方法を用いた場合、作業性の悪化やスタッフィングボックスとステムの高精度化、ステムトルクの増大などユーザー側に大きな負担をかけることになる。

パッキンの詳細は後述する。

3. 漏洩に関する法規制 および規格化動向^{1,2)}

近年、世界的に環境問題が注目され、各国で有害物質の排出に対する法規制および規格化（漏洩規制量、試験方法、測定方法等）が進みつつある。公的機関であるISOでは、2002年に規格作成完了、2003年に施行予定で進められてきたが、ドラフト（試験方法）の審議（ISO/TC153/SC1 WG10）が継続中であり、規格化のスケジュールは大きく遅れている。

しかし、既に法規制を実施している国もあり、シール材に対してLow Emission 指定といった要望は確実に増えてきている。

第2図に規格化動向とLow Emission 対応グランドパッキンの動向を示す。

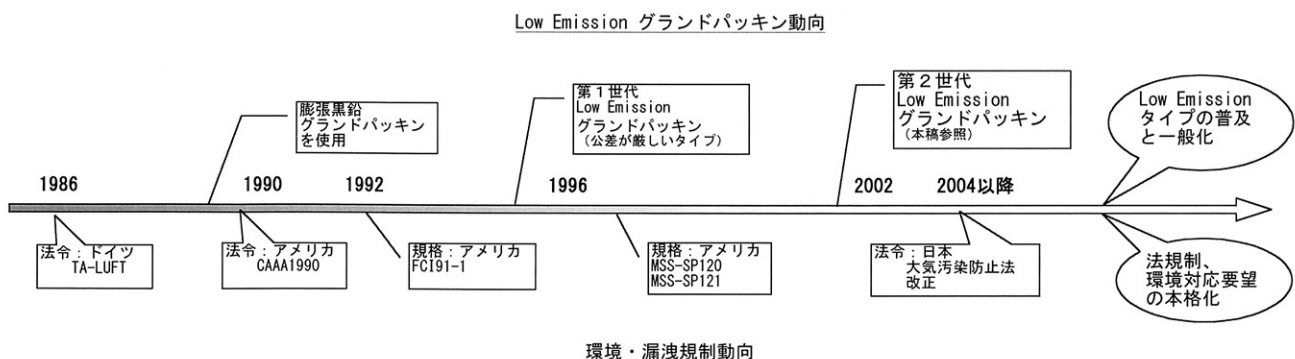
3-1 米国の動向

米国では1990年に大気浄化法が改正（Clean Air Act Amendment: CAAA）された。これにより、揮発性有機化合物（Volatile Organic Compound; VOC）に対する微量漏洩の排出規制は大気濃度500ppmに規制された（カリフォルニア州では1997年から100ppmへ引き上げられている）。

その他、規格化されたものとして、FCI（Fluid Control Institute）のバルブ格付け評価方法があり、ANSI/FCI91-1 Standard for Qualification of Control Valve Stem Seal to Meet EPA Emission Guidelines For Volatile Organic Compounds として米国標準となっている。また、MSS-SP（DRAFT）VALVE FUGITIVE EMISSION MEASUREMENT AND CLASSIFICATIONという、バルブにおける微小漏洩の測定方法と格付けを行う規格のドラフトが策定中である。

3-2 ヨーロッパの動向

ドイツでは、TA-LUFT（Technische Anordnung zur Reinhaltung der Luft）というC A A Aに相当する規制が1986年に制定され、指定有毒ガスのプロセスに使用する



第2図 規格化動向とLow Emission 対応グランドパッキンの動向

バルブとしてペローズバルブまたは、これに準ずるシール性能を有するバルブを使用することを義務づけている。

3-3 日本の動向

日本では、環境庁が2004年に大気汚染防止法の改正を予定している。J P I では、「石油工業用バルブのシール性能確認試験指針 (JPI-7R-85-1998)」を1998年2月に規格化している。

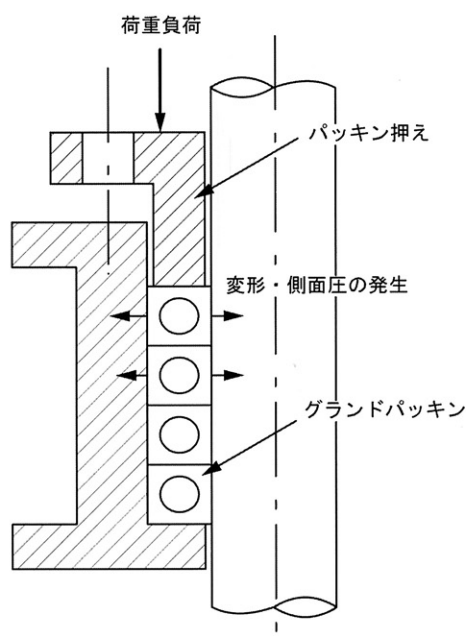
4. グランドパッキンの低漏洩化

工業プラントにおける漏洩発生源としてはバルブが全漏洩の約80%を占めるといわれ、バルブのシール部位では、動的シールとなるグランドパッキンからの漏洩が占める割合は約75%とも言われており、グランドパッキンからの漏洩をコントロールすることが重要となる。

4-1 グランドパッキンとは

グランドパッキンとは、スタフィングボックス (Stuffing Box) の中に装着し、パッキン押え (Gland) で押さえつけることで軸に対する緊迫力を高め、内部流体をシールするパッキンの総称を言う (第3図参照)。

軸シール方法としては、メカニカルシールやペローズシールも使用されているが、取扱の容易性、低価格、極限状態に使用可能 (耐熱、耐圧、耐薬品) 等の面からグランドパッキンが使用されることも多い。しかし、そのシール性能はペローズシールのような完全なものではな



第3図 一般的なグランドパッキン

く、接面漏れ、背面漏れ、浸透漏れなどがある (第4図参照)。

4-2 Low Emission 対応

グランドパッキンの新技術 (特許申請中)

3種類の漏洩パターンを第4図に示したが、図中の浸透漏れは、グランドパッキンを十分に高密度にすることや、樹脂や金属のスペーサーを用いて防止できることが一般的に知られている。

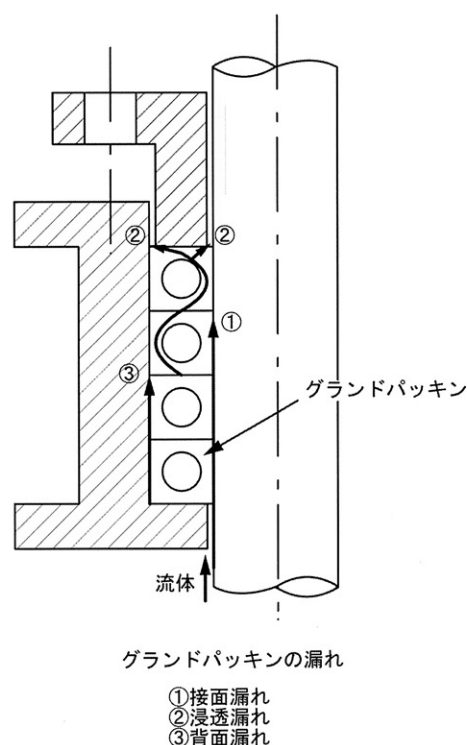
したがって、低漏洩化の新技術は、接面漏れ、背面漏れを少なくすることを主眼において開発した。

グランドパッキンにおけるシールの難しさは、締付け方向とシール面が垂直な位置関係にあることである (第3、4図参照)。Low Emission対応グランドパッキンは、締付けと垂直な方向へ容易に変形し、接面への応力 (側面圧) が低い締付力から発揮される構造となっている。

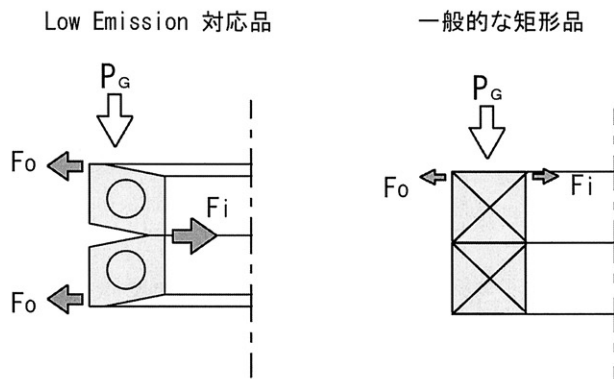
Low Emission対応品と一般的な矩形パッキンを、F E A (有限要素解析) によって比較すると、同一締付面圧を負荷した場合、側面圧のピーク値は1.5~2.5倍になることが示唆された (第5図参照)。また、確証試験においても、シール開始面圧が半減し、その効果が証明された。

5. Low Emission 対応 グランドパッキンの特性

膨張黒鉛テープモールドグランドパッキンを用いて、



第4図 グランドパッキンの漏洩経路



P_G : 締付面圧 F_i : 内径側側面圧 F_o : 外径側側面圧

第5図 側面圧のピーク発生箇所

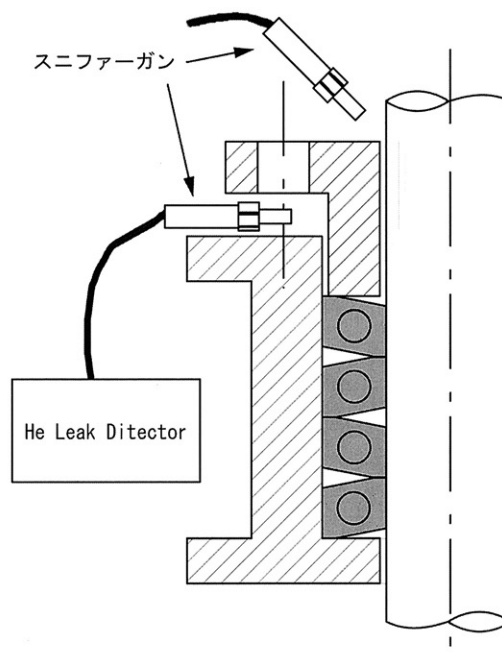
従来形状のVF-10T (第3、4図参照)とLow Emission 対応グラウンドパッキン (第1図参照)を比較した。

5-1 シール性

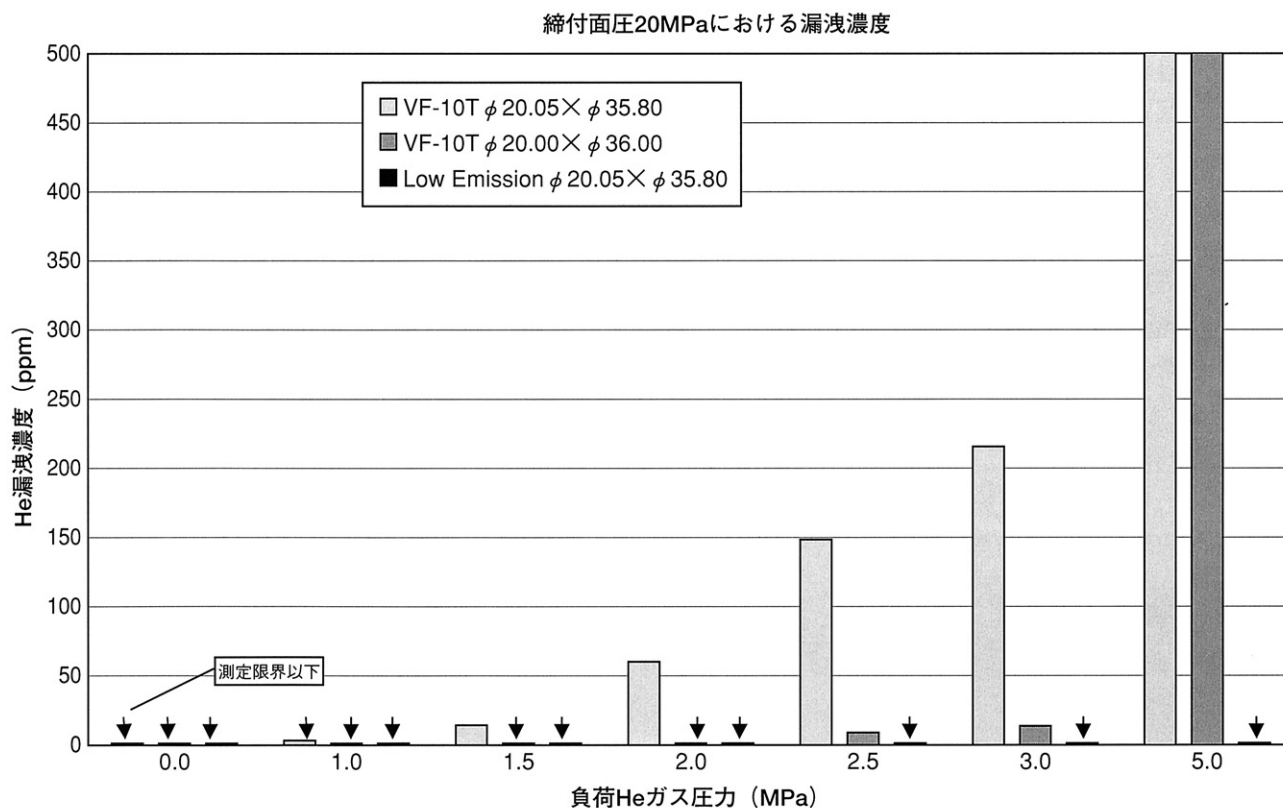
5-1-1 漏洩量測定方法

漏洩量測定方法は、C A Aに指定されているEPA Method 21を採用した。EPA Method 21は、炭化水素系蒸気やガスを取り扱うポンプやバルブ・システムおよびガスケットからの漏れの大气濃度測定方法を規定しており、具体的には、測定部より風上側1 mにて、バックグ

ラウンド値を測定した後、測定部から1 cm以内に測定器の検出端 (Sniffer) を近づけて計測し、その差より濃度 (ppm) 計測値を算出する方法である。流体はヘリウムガスを用いた (第6図参照)。



第6図 Method21による測定



第7図 負荷ヘリウムガス圧と漏洩量 (矢印は測定限界以下を示す。)

5-1-2 Method 21 による試験結果

試料寸法)

Low Emission 対応グランドパッキンがシール面方向への変形に優れていること、および、装着性に優れていることを確認することも含め、以下の試料寸法で試験を実施した。

ステム径： ϕ 20.00

スタッフィングボックス内径： ϕ 36.00

単位 (mm)	内径公差	外径公差	呼称高さ	リング数
試料 1	+0.05~+0.1	-0.15~-0.25	8	4
試料 2	± 0.05	± 0.05	8	4
試料 3	+0.05~+0.1	-0.15~-0.25	9.5	4

締付面圧)

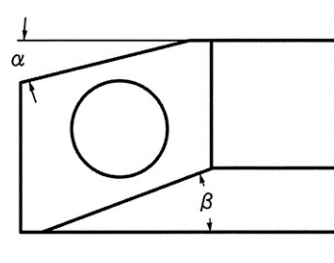
締付面圧：20MPa

漏洩量)

Method 21 による測定では、Low Emission 対応グランドパッキンは測定限界以下（測定限界は大気中のヘリウム濃度）であった。今回用いたヘリウムリークディテクターのバックグラウンド測定値は $1.0 \sim 3.0 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であるので、漏洩量もその数値以下であると言える。これは、バルブ用グランドパッキンの当社シール基準 ($5.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$) より、さらに一桁低い漏洩レベルである。

第 7 図に、 $2.0 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 5 \text{ ppm}$ （大気中の He 濃度）とした場合の、負荷 He ガス圧と漏洩濃度の関係を示す。

また、内外径にクリアランスを持たせた寸法設定であるにもかかわらず、一桁低い漏洩量である。したがって、



第 8 図 パッキン上下面の角度

Low Emission 対応グランドパッキンの形状はシール面方向への変形に優れていることを示唆し、スタッフィングボックスやステムの公差にかかわらず高次元のシールが得られることを示している。

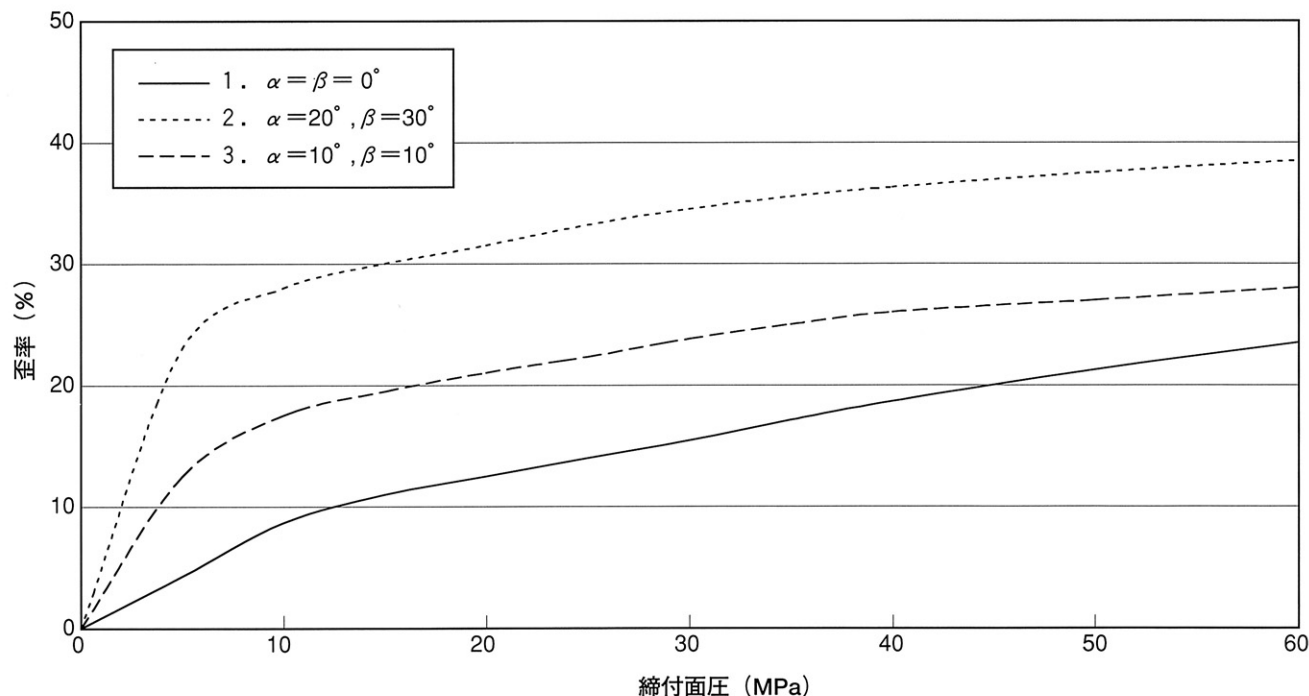
5-2 Low Emission 対応グランドパッキンのその他特性

5-2-1 歪率

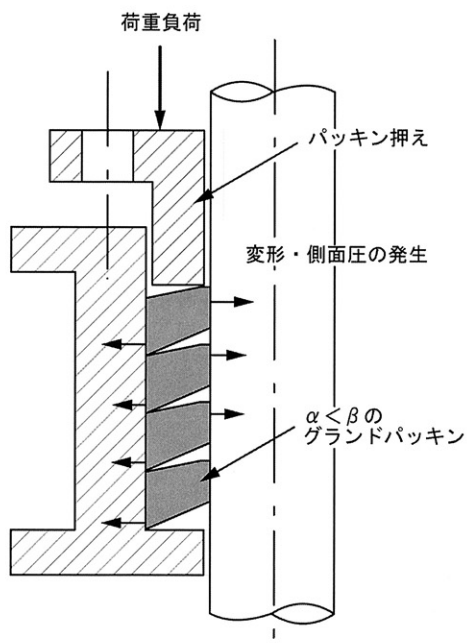
Low Emission 対応グランドパッキンは、締付けと垂直な方向への変形を容易にするため、装着時に空間を持たせた構造となっている。したがって、歪率は一般に大きくなり、また、各パッキンの面角度（第 8 図参照） α 、 β が大きくなるほど歪率も大きくなる。また、 α 、 β はユーザーの要望で設定可能である。

膨張黒鉛製グランドパッキン試料を第 1 図のように装着した場合の試験結果を第 9 図に示す。

- 1 : $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$
(一般的な断面矩形グランドパッキン)
- 2 : $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$
(Low Emission 対応グランドパッキン)



第 9 図 角度による歪率の違い



第10図 αとβが異なるグラントパッキン

3 : $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$
(Low Emission 対応グラントパッキン)

5-2-2 角度差の効果

第8図に示した Low Emission 対応グラントパッキンは、 α と β の設定に自由度があり、同じ角度である必要はない。したがって、 α と β に角度差を設けた場合、第10図に示すような使用方法でも断面矩形のグラントパッキンと比較して、側面圧が効果的に得られる。

異なった例として、断面矩形のグラントパッキンのうち、数リングをLow Emission対応グラントパッキンに変更してもシール性の向上が見込まれる(第11図参照)。

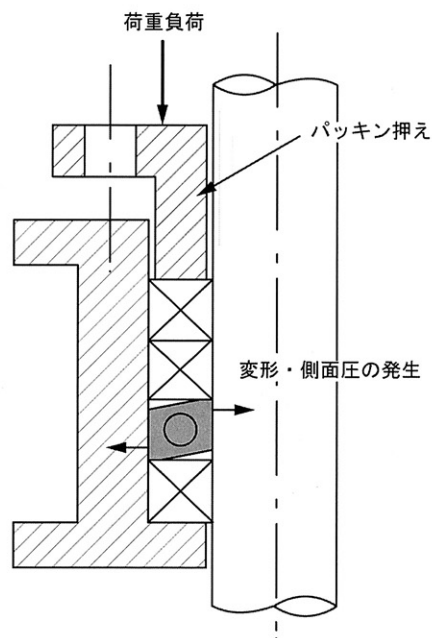
5-2-3 軸抵抗

Low Emission対応グラントパッキンは、従来品同等のシール性が、より低い締付け力によって達成される。これに伴い、第12図に示すように軸抵抗は見掛け上減少する。

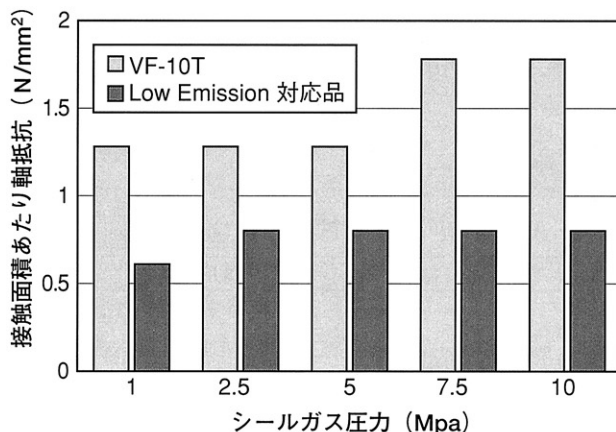
6. おわりに

近年の強まる規制の中、グラントパッキンの低漏洩化技術を開発することができた。今回、紹介した Low Emission 対応グラントパッキンは手動弁 (ON-OFF 弁) 用として、十分な性能を備えている。現在、自動弁 (コントロール弁) への適用可否判断のため、動的シール試験を検討している。

本報およびLow Emission 対応グラントパッキンが、グラントパッキン使用機器からの漏洩低減や、環境負荷を低減することに寄与できれば幸いである。



第11図 組合せ使用例



第12図 シール時の軸抵抗

〈参考文献〉

- 1) バルブ技報 第13巻第2号(通巻第41号)(Vol.13, No.2, 1998)
- 2) バルブ技報 第26巻第1号(通巻第46号)(Vol.16, No.1, 2001)

半導体・液晶ウエットプロセス用エラストマー

アーキュリー
「ARCURY」

日本バルカー工業(株)事業統括部プロダクトグループ

高性能フッ素ゴム担当

大下 龍宏

1. はじめに

本 格的な情報通信ネットワークの時代を迎え、その基幹部品である半導体はよりいっそうの高機能化が必要とされるとともに、その製造プロセスにて使用されるあらゆる材料は高機能化、クリーン化が要求されている。

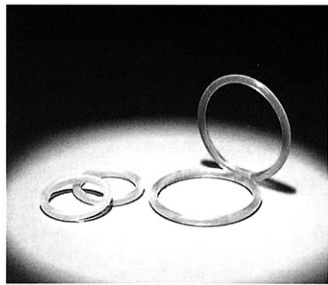
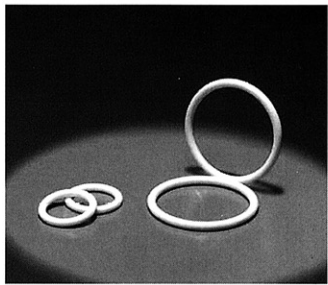
半導体製造工程のおよそ1/5～1/3を占めるウエットプロセスにおいては、従来からRCA洗浄が採用されており、濃厚かつ高温の酸・アルカリと超純水が洗浄薬液として多用されてきた。

半導体の微細加工技術の急速な進展により、それらの洗浄薬液はますます高い純度が要求されると同時に、洗浄接液部材から発生する微粒子やメタルコンタミネーション、有機物の管理も厳しいものになってきている。

近年この様な要求が強まる中、日本バルカー工業では半導体・液晶ウエットプロセス向けに耐薬品性に優れ、尚且つ純粋性に優れたシール材「ARCURY」を開発、上市致しました。

2. 製品の概要

表1. ARCURYの基本特性と用途

製品名称		ARCURY-AD	ARCURY-AL	ARCURY-SO
特 徴		酸性溶液に対する耐性が優れ、金属・有機物溶出量が低減されているため純粋性に優れている。	従来のフッ素ゴムでは使用困難であったアンモニアをはじめとするアルカリ溶液に対する耐性が優れている。	ケトン類、エステル類、アミン類などの極性有機溶媒に対する耐性が優れている。
基本特性	外観色	琥珀透明	黒 色	白 色
	硬さ(ShoreA)	67	75	73
	引張り強さ(MPa)	12.0	23.8	9.4
	伸び(%)	190	220	185
	100%応力(MPa)	3.3	7.5	4.6
	圧縮永久歪み(%)	25※1)	31※1)	16※2)
主 用 途		・ウエハー、ガラス基板洗浄装置 ・スピスコータ、スピンドベロッパ ・薬液搬送容器 ・バルブ、フィルター、継ぎ手		
外 観 写 真				

※1) 圧縮永久歪み：200℃×72hr、圧縮率25%、AS568A-214 Oリング使用

※2) 圧縮永久歪み：150℃×72hr、圧縮率25%、AS568A-214 Oリング使用

3.製品の特徴

3-1 純粋性

ふっ酸 (25℃×30日間)

(ng/ml)

ARCURY-AD	A社FFKM	B社FFKM
0.6	1.6	1.3
0.6	2.8	0.4
0.9	<0.5	0.7
0.9	0.6	0.5
6.7	13	21
2.0	5.8	3.5
<0.5	<0.5	<0.5
<0.5	<0.5	<0.5
<12.7	<25.3	<28.4

超純水 (80℃×30日間)

(ng/ml)

金属元素	ARCURY-AD	A社FFKM	B社FFKM
Na	0.6	2.1	0.5
K	0.6	1.8	<0.5
Ca	0.6	0.6	<0.5
Mg	<0.5	0.9	<0.5
Al	<0.5	9.8	18
Fe	<0.5	3.4	0.6
Cu	<0.5	<0.5	<0.5
Pb	<0.5	<0.5	<0.5
計	<4.3	<19.6	<21.6

表2. 超純水、ふっ酸における金属元素溶出量

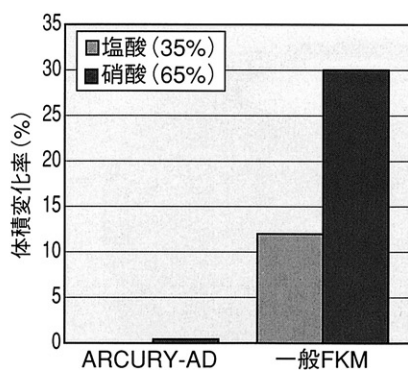
3-2 耐薬品性

ARCURY-AD

【試験条件】

塩酸 (35%) : 40℃×168hr

硝酸 (65%) : 40℃×168hr

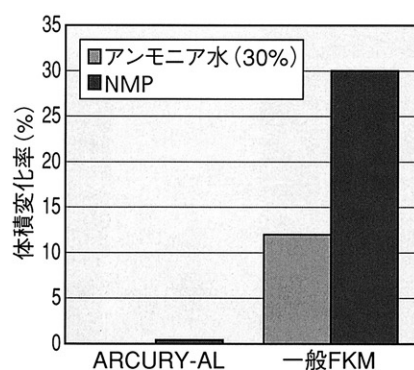


ARCURY-AL

【試験条件】

アンモニア水 (30%) : 40℃×168h

N M P : 80℃×168h



ARCURY-SO

【試験条件】

M E K : r.t. ×168h

モノエタノールアミン : 80℃×168h

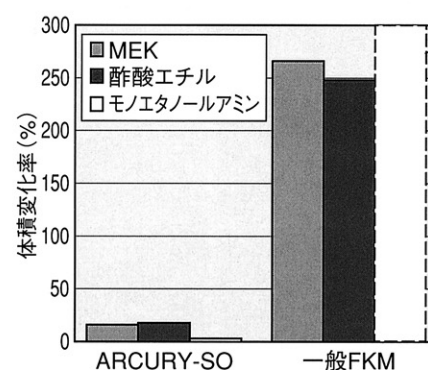


図1. 各溶液浸漬後の体積変化率

電気二重層キャパシタ用電極膜 デュポン社 2002 年プランケット賞 アジア・太平洋地域部門 1 位受賞

この度、電気二重層キャパシタ (Electric Double Layer Capacitor = 以下 EDLC) 電極膜で、米国デュポン社の 2002 年度プランケット賞アジア・太平洋地域第 1 位を受賞致しました。過去、1993 年には「ふっ素樹脂製バーコード」、1995 年には複写機ロール用「PFA 製薄肉チューブ」、1997 年には現地施工タイプの「ふっ素樹脂ライニングシート大型タンク」で、それぞれ 1 位、3 位、1 位の賞に輝いており、今回で 4 度目の栄誉です。

EDLC 電極膜

EDLC は携帯電話、パソコンなどのバックアップ電源として普及が進み年々増加し、近年では、電力貯蔵、電気自動車をターゲットとした大容量 EDLC の開発が進んでいます。

このように注目を浴びているのは、

- ・ 化学反応ではなく物理現象利用のため理論的には永久に繰り返し使用可能。
- ・ 重金属等の有害物質も含まないため無公害で、環境に優しい。
- ・ 環境保全の CO₂ 低減の切り札である燃料電池自動車や

ハイブリットカーの補助エンジン (電源) として採用が検討されている。

などの理由からです。

EDLC 電極膜は、EDLC の性能、コスト共に大きく影響を与える重要部材です。今後の EDLC の普及の観点から、電極の更なる高性能化、コスト低減が重要課題です。

今年度のプランケット賞では、EDLC 用電極の開発過程で粉体を連続的に製膜する技術を確認し、製品化に成功したことが高く評価されました。この技術をもって、EDLC の普及を通じた将来のエネルギー問題、環境問題の改善に貢献して行きたいと考えています。

また従来技術では、機能性粉体 (例えば触媒等) をシート化するとその表面活性を低下させてしまいますが、今回開発した粉体を製膜する技術は、粉体の機能を最大限に活かして、連続的にシート化できる可能性があります。各種電池の電極への応用はもちろんのこと、各種機能膜への用途展開が期待できます。





《用語の豆知識》



1 膨張黒鉛テープモールド グランドパッキン

(本文 12 頁より)

テープ状に裁断した膨張黒鉛シートを渦巻き状に予備成形して金型でリング状に圧縮成型したグランドパッキン。

膨張黒鉛シートがラジアル面に対して平行に配列されており、スラスト方向に荷重をかけた場合、シートがさらに折り曲げられる為、内径側及び外径側に歪みやすい。パルプ用のグランドパッキンに適している。

2 有限要素解析

(本文 1 頁より)

有限要素解析は、解析対象物をいくつかの要素に分割し、各要素が節点で連結された集合体として近似した数値解析の一手法である。

このため、従来の弾性論や塑性論を扱う材料力学では対応不可能であった複雑な形状の解析を容易にし、さらに弾塑性問題、疲労破壊などの多くの問題も扱えるようになった。近年、ABAQUSやMARCなど汎用ソフトが開発されており、装置設計などに使用されている。

3 ばね入りメタルCリング

(本文 1 頁より)

ばね入りメタルCリングはコイルスプリングを弾性要素とし、これをアルミニウムなどの薄い金属板で被服したガスケットである。

バルカー製品名称は「トライパック (製品No. 3645)」。

低い締付荷重でも、所定の機密性能が得られるように、トライパックの上下シール面にV溝加工を施し、シール面とのなじみ性を改善した「低締付トライパック (製品No. 3645LS)」がある。

4 ヤング率

(本文 3 頁より)

ある物質を一樣な太さの棒として、一端を固定し逆側端部を軸方向に引き伸ばす。

この時、棒断面にはたらく応力 T として、単位長さあたりの伸びを ϵ とすると、比例限界内では $T = E \epsilon$ という関係が成り立ち、比例定数 $E = T / \epsilon$ をヤング率という。伸び弾性率ともいう。ヤング率は基本的に物質固有の定数であるが、複合材料や高分子材料は測定条件に依存する。

5 降伏応力

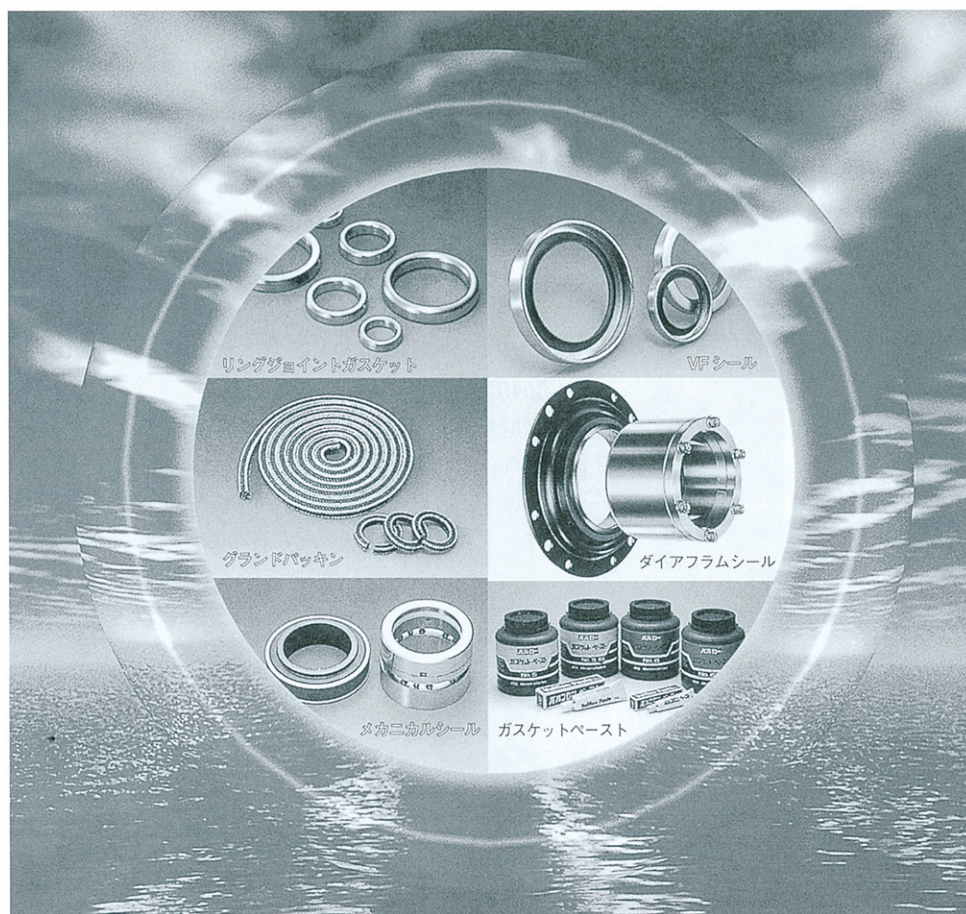
(本文 3 頁より)

物体に応力がはたらいた場合、弾性(比例)限界を超えたある値から、応力を増加しなくても塑性変形を起こす。

この時の応力の値を降伏応力または降伏点と呼ぶ。

豊かな経験と実績をもとに

シール製品の総合メーカーとして、
ソフトな快適さをお届けします。



〔事業所名〕	〔電話番号〕	〔FAX番号〕
本社	(03) 5325-3421(代)	(03) 5325-3436(代)
東京事業所	(03) 3560-0701(代)	(03) 3560-0727(代)
大阪事業所	(06) 6443-5221(代)	(06) 6448-1019
仙台営業所	(022) 264-5514(代)	(022) 265-0266
福島営業所	(0240) 34-2471(代)	(0240) 34-2473
日立営業所	(0294) 22-2317(代)	(0294) 24-6519
横浜営業所	(044) 223-1381(代)	(044) 210-0410
甲府事務所	(055) 242-0018(代)	(055) 242-0018
豊田営業所	(0566) 77-7011(代)	(0566) 77-7002
名古屋営業所	(052) 671-6251(代)	(052) 682-7264
京滋営業所	(077) 581-3201(代)	(077) 514-3346
神戸営業所	(078) 577-0045(代)	(078) 575-2590
岡山営業所	(086) 460-1181(代)	(086) 460-1182
松山営業所	(089) 974-3331(代)	(089) 972-3567
北九州営業所	(093) 521-4181(代)	(093) 531-4755
中国営業所	(0827) 81-0230(代)	(0827) 81-0250
宇部駐在所	(0836) 31-2727(代)	(0836) 32-0771
長崎営業所	(095) 861-2545(代)	(095) 862-0126
熊本営業所	(096) 364-3511(代)	(096) 364-3570

VALQUA TECHNOLOGY NEWS

秋号 No.4
AUTUMN 2002

発行日・・・2002年10月28日
編集発行・・・日本バルカー工業株式会社
研究開発部研究企画グループ
〒163-0406
東京都新宿区西新宿2丁目1番1号
新宿三井ビルディング
TEL:03-5325-3422
FAX:03-5325-3437
E-mail:t-ikeda@valqua.co.jp
制作・・・創言社

日本バルカー工業株式会社



VALQUA の登録商標は VALUE と QUALITY を意味します。

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

本誌の内容は当社のホームページにも掲載しております。