

新規金属シールの開発 - 低締付力の金属シール -

Development of New Metal Seals

- Metal Seals with Low Compression Force -

芦田 哲哉*
T. Ashida

笈田 弘紀*
H. Oida

三ツ井 孝禎*
T. Mitsui

要 約

近年、機器の高機能化に伴い、シールに対しても耐熱性、耐極低温性、耐油性、耐薬品性などの要求が厳しくなっている。また、半導体業界ではアウトガスやガス透過の問題もあり、従来から数多く使用されているゴムや樹脂材料を使用したシールでは、対応が難しい場合が多くなっている。これらの理由から、メタルOリングに代表される金属シールが注目され、需要が増えてきている。

しかしながら、メタルOリングは締付力が大きい、弾性復元量が小さい、フランジへのダメージが大きくフランジの寿命が短いという問題があり、限られた用途で使用されているのが現状である。

当社では、これらの問題を改善し、それぞれに特長を持った下記の3種類の新規金属シールを開発した。

本報ではそれぞれの金属シールについて、構造、特長および機能特性について紹介する。

- (1)「サンリーメス」…ばね弾性を活かして、締付力が低く、かつ弾性復元量が大きいシールである。取り扱いが容易で汎用性に優れる。
- (2)「サンリーメス」…締付力が著しく低く、ゴムシールに近いシールである。めっきをせずに高真空用途に適用可能である。またセンターリングとして応用が可能である。
- (3)「サンリーメス」…締付力が低い。小サイズ品の製造が可能なシールであり、半導体規格のSEMI2787.1にも対応可能である。

注)「サンリーメス」は当社の商品名である。

キーワード：金属シール、締付力、弾性復元量、高真空、耐食性

Summary

In recent years, the use of industrial equipment in severe conditions are growing. The seals applied in such conditions must endure high and very low temperatures, various kinds of fluid and gases. In addition, in the semiconductor industry, seals using elastomer or plastic materials cannot endure out gas and gas penetration. Therefore, elastomer or plastic seals are being replaced with metal seals represented by metal-O-rings.

However, it is difficult for engineers to apply metal-O-rings to various equipments, because of their larger compression force, smaller spring back and their tend to damage the flange surface. Therefore, metal seals are used only in limited situations.

We have developed three kinds of new metal seals. These seals are improved to overcome the weak points of metal-O-rings.

- (1) "SUNLIMES" … Larger spring back, lower compression force, easy to handle than metal-O-rings.
- (2) "SUNLIMES" … Lowest compression force, high performance for sealing capability without surface treatment (plating and coating), suit to the center-ring application of vacuum seal.
- (3) "SUNLIMES" … Lower compression force than metal-O-rings, suit to small size seals as semiconductor specification "SEMI 2787.1".

Key words : Metal seal, Compression force, Spring back, High vacuum, Corrosion resistance

1. まえがき

当社では、ゴム材料や樹脂材料を用いたシール、金属シールなど各種のシールを製造・販売しており、特にゴムOリングは使用時の取り扱いやすさなどから、さまざまな用途に数多く使用されている。

しかしながら、近年、機器の仕様が多様化、高機能化していることで、当然ながらその機器に使用されるシールに対する要求も厳しくなっており、ゴムシールや樹脂シールではその材料特性から使用に耐えない場合が増えてきている。要求の中で代表的なものは、温度（高温・極低温）、耐食性、低ガス透過、低アウトガスなどであるが、特に低ガス透過については高真空を得るためには必要不可欠な要素である。

そのような背景から、上記要求を満足しうるシールとして金属シールが選択されており、特に高真空用途や半導体装置では需要が増えてきている。

しかしながら、メタルOリングに代表される金属シールは、ゴムや樹脂シールに比べて以下の問題点があり、限られた用途で使用されているのが現状である。

- ① 締付力が大きいため、フランジ構造が大きくなる。
- ② 弾性復元量（以後、復元量とする）が小さく、溝加工の寸法精度が厳しくなる。
- ③ フランジに対するダメージが大きく、フランジの再使用に限界がある。

そこで、当社では金属シールの長所（シール性、耐熱性、耐極低温性、耐油性、耐薬品性など）を残したまま、上記問題点を大幅に改善した従来にない金属シールを開発した。本報ではそれら金属シールについて紹介する。

2. サンリーメス

2.1 開発目的

ゴムや樹脂材料を使用したシールから金属シールへの置き換えを考えた場合、先に述べた問題点からフランジの強度や溝寸法の精度などで大幅な見直しが必要であり、機器の大型化・コストアップが避けられない。また、金属シールの取扱いは難しく高価なこともあり、限られた分野でのみ使用されているのが現状である。

これらの問題を解決するために、金属シールとしての長所を持ちながら、小さな締付力で大きな復元量を有する金属シール「サンリーメス」を開発した。

注)「サンリーメス」は当社の商品名である。

2.2 構造および材料

サンリーメスはFig. 1に示すように、ばね用ステンレス鋼を断面S字状、いわゆる皿ばね形状としている。メタルOリングでは締付力の大半がシールの塑性変形に費やされるのに対し、サンリーメスでは塑性変形が分散され、締付力

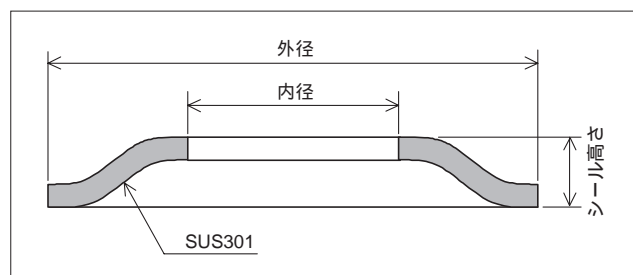


Fig. 1 Design of SUNLIMES
サンリーメス の構造

がばねの反発力として蓄えられることで大きな復元量を確保している。また、シール面での塑性変形もほとんどないため、小さな締付力でシールに必要な高い面圧を実現している。

小さな締付力と高いシール性を両立させるためには、形状や各寸法は重要なパラメーターとなる。そこで、最適な形状を決定するためにFEM解析を用いた。ここでは一例としてFig. 2に接触圧力の解析結果を示すが、このように内部応力や接触圧力などのバランスを考慮して最適形状および寸法を決定した。

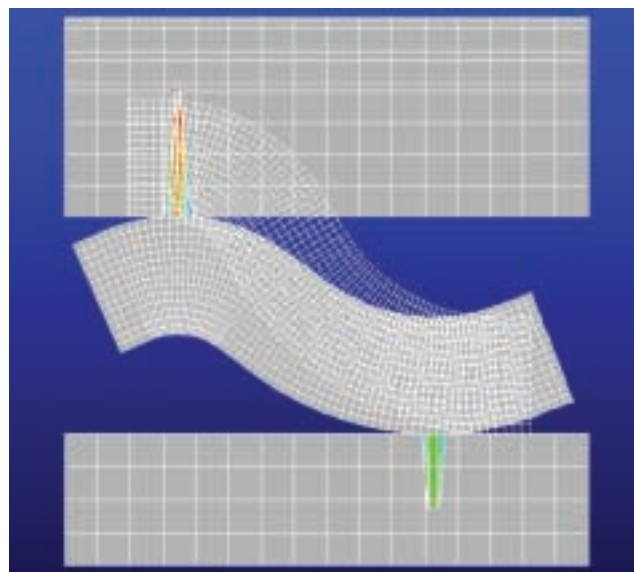


Fig. 2 Example of FEM analysis of the contact pressure distribution on the seal surface of SUNLIMES
サンリーメス のシール面における接触圧力分布のFEM解析例

2.3 特長

サンリーメスの特長を以下に示す。

- ① 締付力はメタルOリングの30%程度と低い。
- ② シールにとって重要な復元量は、最大でメタルOリングの10倍（約0.5 mm）以上であるため、温度サイクルや圧力サイクルによりフランジが変位した場合でも高いシール性能を示す。
- ③ 真空から10 MPaまでの幅広い圧力範囲で使用可能である。また、金属めっきを行うことで、メタルOリ

ングと同等のシール性を発揮することも可能である。

- ④ 大きな復元量を有するため、フランジの表面粗さが良好であればシールを再使用できる。
また、上下シール面のシール径が異なるため、フランジのシール面がダメージを受けた場合にもシールの上下を入れ替えてシール面の位置を変更することで、フランジを研磨することなく再使用できる。
- ⑤ メタルOリングのように溝壁への拘束を必要としないため、高さ調整にスペーサを使用した場合でも高いシール性が得られ、フランジ加工が簡易になり低コストとなる。

2.4 機能特性

ここでは、代表として外径23.3 mm、内径18.5 mm、シール高さ2.1 mm（表面被覆厚さ0.1 mm含む）のサンリメスについて主な機能特性を紹介する。

2.4.1 締付力

シールの締付力はシール性にとって重要な特性である。Fig. 3に示すように、引張試験機を使用して圧縮時の荷重を求めた。つぶし量と圧縮荷重(締付力)の関係を Fig. 4に示す。

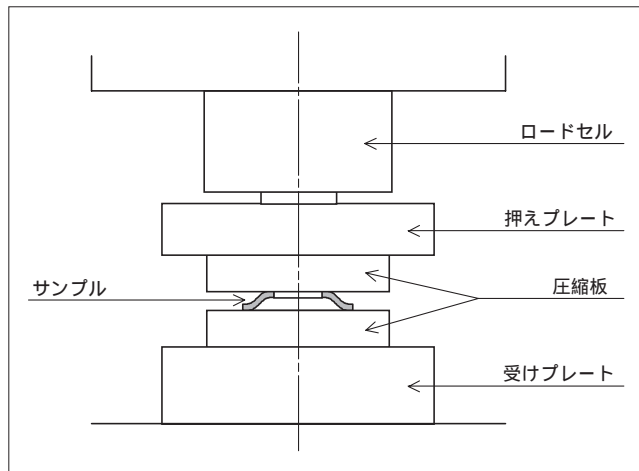


Fig. 3 Measuring method of the compression force
締付力の測定方法概略図

なお、Fig. 4にはサンリメスと同じ外径のメタルOリング（チューブサイズは外径1.57 mm、肉厚0.35 mm）の締付力を合わせて示している。グラフのようにサンリメスの締付力はメタルOリングの30%程度であり、また、メタルOリングと比較して広いつぶし量の範囲で締付力の変化が小さく安定していることがわかる。

2.4.2 復元量

復元量とは、規定つぶし量まで圧縮し、荷重開放後の規定つぶし量からのシール高さの戻り量である。

サンリメスについて、つぶし量0.2, 0.4, 0.6, 0.8,

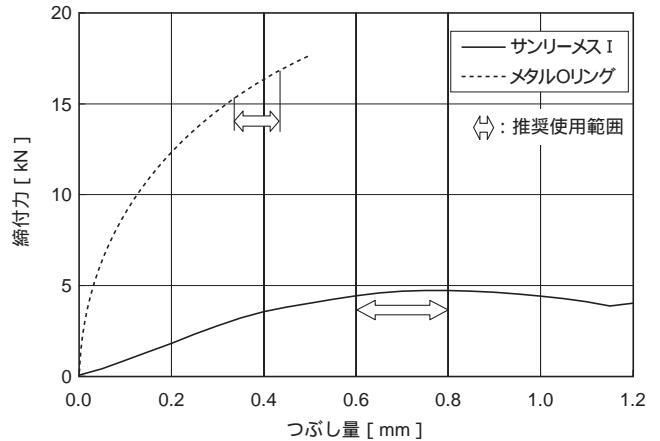


Fig. 4 The relation between amount of compression and compression force of SUNLIMES

サンリメス のつぶし量と締付力の関係

1.0, 1.1 mmの各点から荷重を開放した場合の荷重曲線を Fig. 5に示す。グラフから明らかなように、つぶし量が0.8 mmから荷重を開放した場合には0.5 mm以上（メタルOリングの10倍以上）の復元量がある。

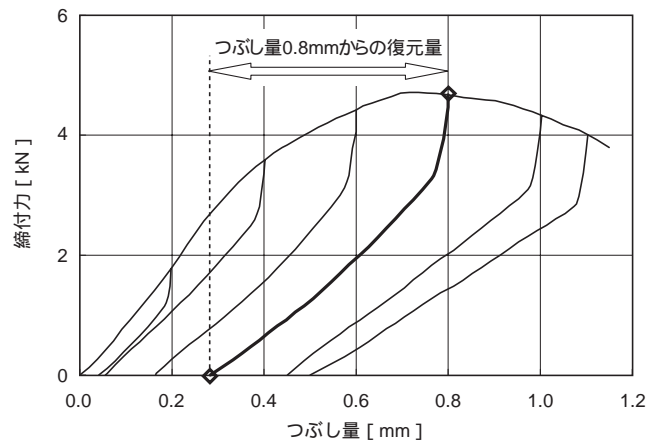


Fig. 5 Spring back characteristic of SUNLIMES
サンリメス の復元特性

2.4.3 シール性能

表面被覆が銀めっき、PTFEコーティングのサンリメスについて、真空（常温、高温、液体窒素温度）および内圧（常温）でのHeリーク試験（以後リーク試験とする）を実施した。Fig. 6にリーク試験の概略を示す。

フランジの材料にはステンレス鋼（SUS304）を用い、シール高さの調整には各種厚さのスペーサを用いた。

Table 1に液体窒素温度（-196℃）、常温、高温（+250℃）のそれぞれの温度条件における真空でのリーク試験結果を示す。表に見るようにサンリメスのシール性能は、つぶし量0.2 mm～1.1 mmの広い範囲でメタルOリングと同等のシール性能（銀めっき品で 1×10^{-10} Pa・m³/sec. [He]以下、PTFEコーティング品で 1×10^{-9} Pa・m³/sec. [He]以下）であることが確認できた。

また、常温での10 MPaの内圧リーク試験においても、メ

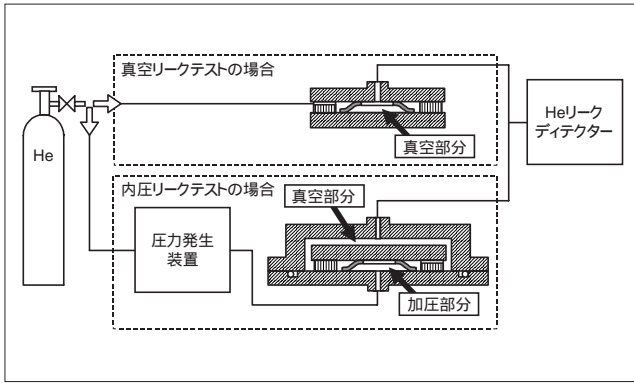


Fig. 6 Measuring method of Helium leak test for metal seals under vacuum and inner pressure condition
真空および内圧における He リーク試験方法

Table 1 Helium leak test results of SUNLIMES I under vacuum condition

サンリーメス の真空中における He リーク試験結果

表面被覆	温度条件	つぶし量 (シール高さ)			
		0.2 mm (1.9 mm)	0.5 mm (1.6 mm)	0.8 mm (1.3 mm)	1.1 mm (1.0 mm)
銀めっき	常温				
	+ 250				
	- 196				
PTFE コーティング	常温				
	+ 250				
	- 196				

: 1×10^{-10} Pa · m³/sec. [He] 以下

: 1×10^{-9} Pa · m³/sec. [He] 以下

タル O リングと同等のシール性能を確認している。

今回の試験はフランジ加工が簡易で、低コストなスペーサによる高さ調整を行ったが、サンリーメスはメタル O リングのように溝壁への拘束を行わなくても高いシール性が得られた。

常温 高温 (250°C × 1 h 保持) で 3 サイクルのヒートサイクル試験を行い、真空リーク試験を実施した。つぶし量 0.2 ~ 1.1 mm の範囲で 3 サイクルの試験後も初期と同等のシール性能を持つことが確認できた。

2.4.4 再使用性

メタル O リングは通常 再使用はできないが、サンリーメスの再使用性を確認するため、銀めっき品について、つぶし量を 0.8 mm に設定してフランジの表面粗さを確認しながら同一サンプルでの着脱を繰り返し、真空リーク試験を実施した。

Table 2 に示すように、10 回の着脱においても初期と同等のシール性が確認できた。

当社では、原則として金属シールの再使用は推奨していないが、サンリーメスは大きな復元量を達成することにより、シールの再使用が実現できた。

Table 2 Reusability of SUNLIMES

サンリーメス の再使用性

回数	シール試験結果	回数	シール試験結果
初回		---	---
再使用 1 回目		再使用 6 回目	
" 2 回目		" 7 回目	
" 3 回目		" 8 回目	
" 4 回目		" 9 回目	
" 5 回目		" 10 回目	

: 1×10^{-10} Pa · m³/sec. [He] 以下

2.5 まとめ

ゴムや樹脂シールよりもシール性に優れ、条件によってはメタル O リングと同等のシール性能を持つ金属シール、サンリーメス について紹介した。

サンリーメスは締付力が小さいため、極端にフランジを変更することなく、ゴム O リングからの置き換えが可能である。また大きな復元量を有するため、温度・圧力サイクルによりフランジが変位した場合でも高いシール性能を維持できる。

さらに、これまで困難とされていた金属シールの再利用が可能となる上に、取り扱いが容易であるという長所がある。

また、PTFE などのコーティングを行った場合でも、シール本体が金属であるため、ゴムや樹脂シールよりもガス透過が少なく、高いシール性能が得られることから、新エネルギーの水素や次世代冷媒として期待されている二酸化炭素などの高透過性ガスに対しての適用が期待されている。

3 . サンリーメス

3.1 開発目的

真空業界や半導体業界でも機器の高真空化や耐食性向上のため、ゴムシールから金属シールへの置き換えが検討されている。しかし、メタル O リングは締付力が大きいため、アルミニウムなどの低硬度あるいはセラミックスやガラスなどのフランジでの使用には困難が伴う。また、半導体装置ではアウトガスやコンタミの原因となるめっきやコーティングなどの表面被覆が使用できないことから、メタル O リングへの置き換えが容易ではない。

このような背景から、当社は締付力が従来のメタル O リングの 20% 以下と極めて小さく、かつ高真空対応可能な金属シール「サンリーメス 」を開発した。

3.2 構造および材料

サンリーメスは Fig. 7 に示すように、リップを設けた断面 C 字状のアルミニウムのジャケットに特殊形状のゴム D リングを内包した構造としている。

ジャケットの材料にはフランジとのなじみが良いアルミニウムを、またゴム D リングの材料には耐熱性や圧縮永久ひずみを考慮してふっ素ゴムを採用しており、真空側をアルミニウムとすることでガス透過とアウトガスを低減

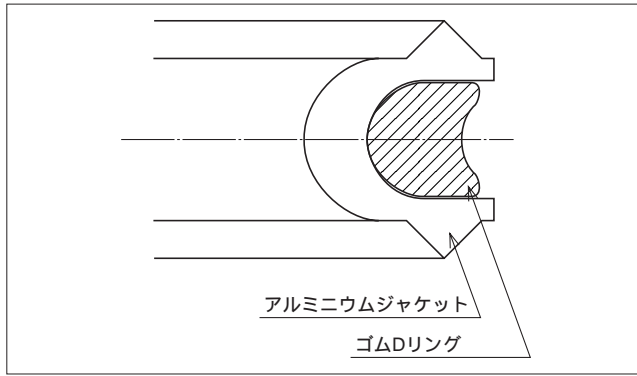


Fig. 7 Design of SUNLIMES
サンリーメスの構造

し、高いシール性能を実現している。

また、内包したゴムDリングの弾性により得られる復元力により、安定したシール面圧と低い締付力を実現している。

3.3 特長

サンリーメスの特長を以下に示す。

- ① 締付力は金属Oリングの20%以下と極めて小さく、ゴムOリングに近い。
- ② 表面被覆をせずに金属Oリングと同等のシール性能が得られる。従って、アウトガスやコンタミが低減できるため、半導体分野などの高純度用途に適用できる。
- ③ ゴムOリングに比べて耐食性、耐オゾン性、耐プラズマ性、耐放射線性に優れる。

3.4 機能特性

ここでは代表として、内径56mm、シール高さ3.8mmのサンリーメスについて主な機能特性を紹介する。

ジャケットの材料はアルミニウム合金A5056、ゴムDリングはふっ素ゴム(当社配合No.1349-80)とした。

3.4.1 締付力

2.4.1項に記載の方法で求めた「つぶし量と締付力の関係」をFig. 8に示す。

併せて、図中にヘリウムタイト(1 × 10⁻¹⁰ Pa・m³/sec. [He]以下)が得られる点を示している。

また、各種シールの実用域での単位長さあたりの締付力を比較したグラフをFig. 9に示す。

この図からサンリーメスの締付力は、他の金属シールに比べて著しく小さく、ゴムOリングに近いことが確認できる。

3.4.2 シール性能

アルミニウム合金(A2017)およびステンレス鋼(SUS316L)のフランジを使用し、つぶし量を変化させたときの常温での真空シール性能をTable 3に示す。

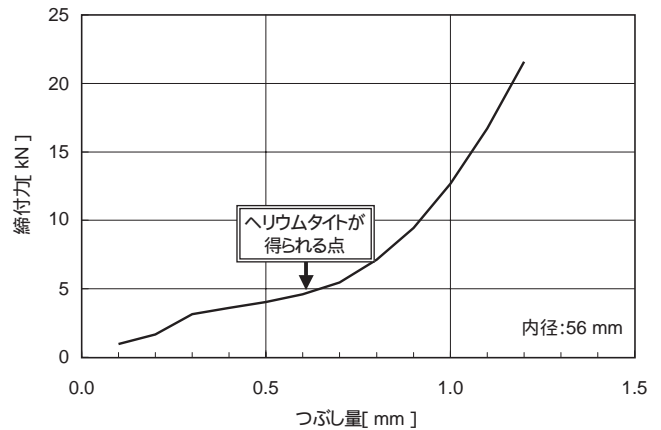


Fig. 8 The relation between amount of compression and compression force of SUNLIMES
サンリーメスのつぶし量と締付力の関係

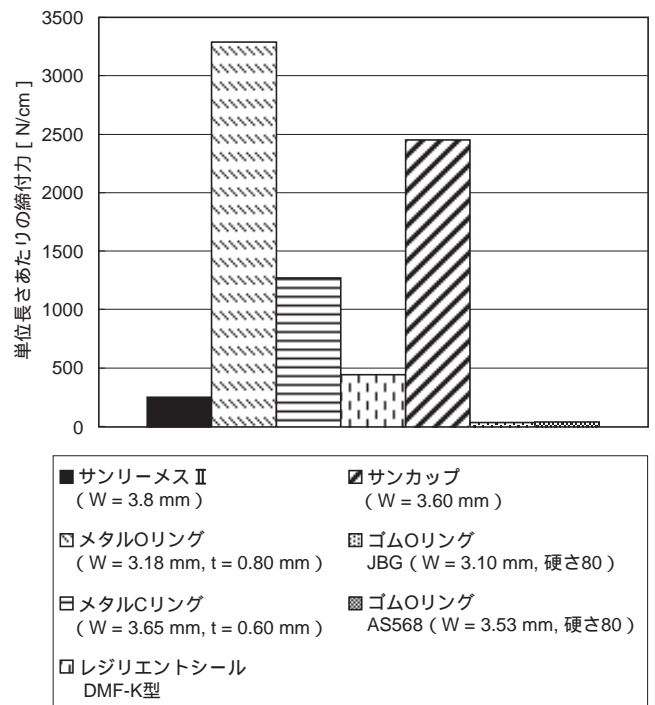


Fig. 9 Comparison of the compression force for unit length in various seals
各種シールにおける実用域での単位長さあたりの締付力の比較

Table 3 Helium leak test results of SUNLIMES under vacuum condition
サンリーメスの真空におけるHeリーク試験結果

フランジ材料	つぶし量(シール高さ)			
	0.6 mm (3.2 mm)	0.8 mm (3.0 mm)	1.0 mm (2.8 mm)	1.2 mm (2.6 mm)
アルミニウム				
ステンレス				

○ : リークなし (1 × 10⁻¹⁰ Pa・m³/sec. [He]以下)

× : リークあり (1 × 10⁻¹⁰ Pa・m³/sec. [He]以上)

常温において、つぶし量 0.6 mm ~ 1.2 mm (シール高さ 3.2 ~ 2.6 mm) の範囲でメタルOリングと同等のシール性能 (1×10^{-10} Pa · m³/sec. [He] 以下) が確認できた。

3.4.3 ヒートサイクル性

高真空が要求される装置は、容器、管路内表面から水分などの吸着成分を除去するベーキングが行われるため、機器に使用されるシールも同様にベーキング時の高温環境にさらされる。

そこで、ベーキングを考慮して、常温 高温 (150°C × 100 h 保持) で3サイクルのヒートサイクルを行い、真空リーク試験を実施した。この際、つぶし量は 0.8 mm に設定し、ヒートサイクル前後および 150°C でのシール性能を確認したが、アルミニウム合金、ステンレス鋼のいずれのフランジ材料でも初期と同等のシール性能が確認できた。

3.4.4 応用例

サンリームスの低締付力および高真空対応の特長を活かして、真空用途などで汎用品として使用されている配管継手 ISO-KF フランジ用のセンターリングとしての性能を確認した。

構造は Fig.10 に示すように、サンリームスにセンターリング機能を付与している。

NW25 サイズ品にてシール性能を評価した結果、従来のゴムのセンターリングに比べて、リーク量が 2 ~ 3 オーダー低いシール性能が確認できた。

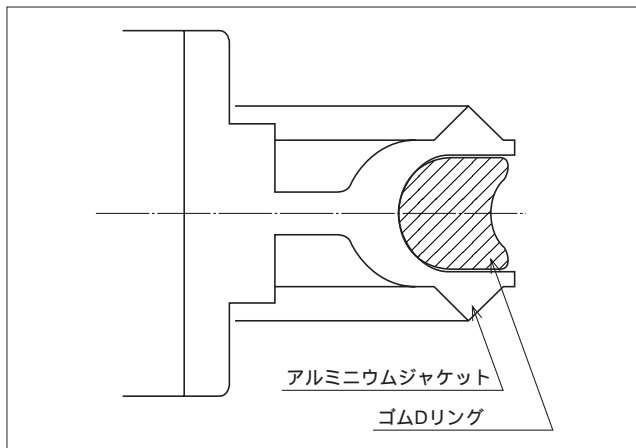


Fig.10 Design of SUNLIMES for center-rings
センターリング用サンリームスの構造

なお、このセンターリング用サンリームスは、汎用のカップリング式クランプで締め込むことが可能であり、従来のゴムセンターリングから容易に置き換えることができる。

3.4.5 まとめ

締付力がメタルOリングの20%以下と極めて小さくゴムシールに近く、かつ高真空用途への適用が可能なサンリ

ームスについて紹介した。

サンリームスの低締付力を活かして、ISO-KF フランジに使用するセンターリングとして応用した場合、ゴムセンターリングで用いられる汎用のカップリング式クランプでの締め込みが可能である。このようなゴムセンターリングからの置き換えで容易に機器の高性能化を行うことができる。

現在は、ステンレス、アルミニウムなどの金属フランジへの適用が確認できている。今後はセラミックスやガラスなどの非金属フランジへの適用を検討し、使用用途の拡大を図っていく予定である。

4. サンリームス

4.1 開発目的

2章および3章で紹介したサンリームス、サンリームスは、先に述べたとおり、締付力が低い、復元量が大きいなどの特長があるが、その反面、加工・製作上の関係で外径 10 mm 程度の極端に小さいサイズは製作困難である。また、サンリームスとサンリームスのゴムDリングを製作するためには金型が必要であり、小ロット生産ではコストメリットが小さい。

そこで、切削加工のため金型を使用せず、かつ小サイズ品が製作できる「サンリームス」を開発した。

4.2 構造および材料

サンリームスは Fig.11 に示すように、上下面の対角にシール面となる R 状の突起を設けた形状としている。

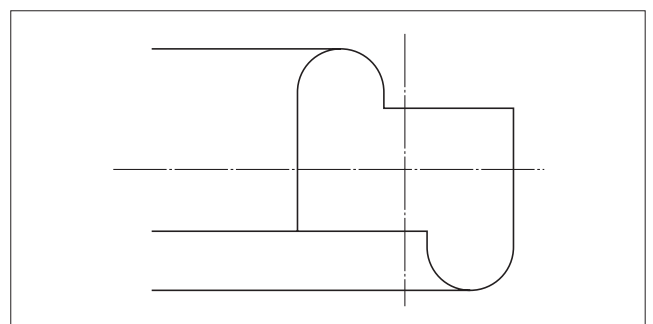


Fig.11 Design of SUNLIMES
サンリームスの構造

この構造によりシールを圧縮した際にはシール断面にねじりが生じ、固体を単純に圧縮した場合に発生する急激な締付力の増加を防いでいる。シール面を突起部とすることで小さい締付力でもシールに必要な面圧を得ることができる。

Fig.12 に FEM 解析によるサンリームスの圧縮時の接触圧力分布を示す。

図のように、シールを溝壁に拘束させることで余分なねじりを発生させず、また、いわゆる「てこの原理」を利用して拘束を受けていないシール内径側にも高い反力を発

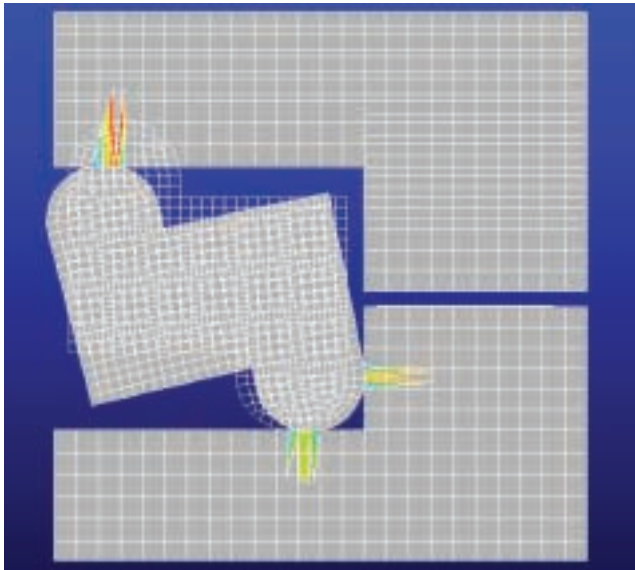


Fig.12 FEM analysis example of the contact pressure distribution on the seal surface of SUNLIMES
サンリーメスのシール面における接触圧力分布のFEM解析例

生させ安定したシール性能を得ている。

材料は耐食性に優れたSUS316Lを標準材料としている。

4.3 特長

サンリーメスの特長を以下に示す。

- ① 締付力は金属Oリングの70%程度である。
- ② フランジ状態（表面粗さ、硬度など）により、表面被覆をせずに高いシール性能が得られる。
- ③ 表面被覆を行うことで幅広いフランジ状態で安定したシール性能が得られる。
- ④ 小サイズ品（内径4mm程度）も製作可能であり、半導体規格のSEMI2787.1へも対応可能である。
- ⑤ 上下シール面のシール径が異なるため、フランジのシール面がダメージを受けた場合にもシールの上下を入れ替えてシール面の位置を変更することで、フランジを研磨することなく再使用できる。

4.4 機能特性

ここでは外径7.3mm、内径4.8mm、シール高さ1.4mmと小サイズのサンリーメスの主な機能特性について紹介する。

このサイズは当社金属OリングのP/N「G00281A」サイズに近似し、半導体規格SEMI2787.1の1.125インチの溝寸法に対応している。

材料は先にも述べたSUS316Lとし、表面被覆は行っていない。

4.4.1 締付力

2.4.1項に記載の方法で求めた「つぶし量と締付力の関係」をFig.13に示す。

なお、Fig.13には比較例として同じ外径7.3mmの金属

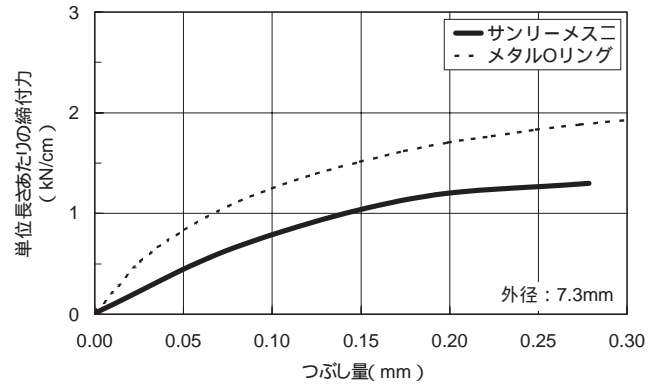


Fig.13 The relation between amount of compression and compression force of SUNLIMES

サンリーメスのつぶし量と締付力の関係

Oリング（チューブサイズは外径0.89mm、肉厚0.25mm）の締付力を合わせて示している。サンリーメスの締付力が金属Oリングの70%程度であることがわかる。

4.4.2 シール性能

ステンレス鋼（SUS316L）のフランジを使用して、つぶし量ごとに常温での真空リーク試験を行った。

Table 4に示すように、表面被覆のないサンリーメスにおいてSEMI2787.1の溝深さである1.22 ± 0.1mmで金属Oリングと同様のシール性能（1 × 10⁻¹⁰Pa・m³/sec. [He]以下）が確認できた。

Table 4 Helium leak test results of SUNLIMES under vacuum condition

サンリーメスの真空におけるHeリーク試験結果

No.	つぶし量（シール高さ）				
	0.08 mm (1.32 mm)	0.13 mm (1.27 mm)	0.18 mm (1.22 mm)	0.23 mm (1.17 mm)	0.28 mm (1.12 mm)
1					
2					
3					
4					
5					

：リークなし（1 × 10⁻¹⁰ Pa・m³/sec. [He]以下）
 ×：リークあり（1 × 10⁻¹⁰ Pa・m³/sec. [He]以上）

しかしながら、サンリーメスは締付力としては小さいが突起部で局所的に荷重がかかるため、先に述べたサンリーメスやサンリーメスに比べてフランジへのダメージが大きくフランジの再利用に難がある。

この場合、上下シール面のシール径が異なる構造を利用し、フランジのシール面がダメージを受けた場合にもシールの上下を入れ替えてシール面の位置を変更することで、フランジを研磨することなく再使用することが可能である。

4.4.3 ヒートサイクル性

ベーキングを考慮して、シール高さをSEMI2787.1の溝深

さの中心値である1.22 mmに設定して常温 高温(150°C × 1 h 保持)で3サイクルのヒートサイクルを行い,シール試験を行った。その結果,ヒートサイクル後でも初期と同等のシール性能が確認できた。

4.5 まとめ

ねじりによる反力を利用することにより,メタルOリングの70%程度の締付力で高いシール性能が得られるサンリーメス について紹介した。

サンリーメス は切削により製作するため金型を必要とせず,また小サイズ品の製作も可能である。

また,フランジ状態(表面粗さ,硬度など)によっては表面被覆を行わずに高いシール性能が得られるため,半導体や高真空用途に適用可能である。

今後は,圧力用途でのシール性能の確認を行うとともに,更なる低締付力や温度サイクル性などを図るために材料や形状の検討を進め,用途の拡大を図っていく予定である。

5. むすび

締付力が大きい,復元量が小さいなどの従来のメタルOリングをはじめとする金属シールの問題点を大幅に改善した3種類の新規金属シールを開発した。

低締付力という特長を活かすことでゴムシールからの置き換えが可能となり,機器の高性能化を図ることができるだけでなく,機器の小型化やフランジへのダメージ軽減によるフランジの再使用などのコストメリットも期待できる。

それぞれ異なる特長を持つ3種類のシールを検討対象に加えることで,ユーザーが用途に合わせた金属シールを選択することができ,機器の性能向上やコストダウンに貢献できるものと期待している。



芦田哲哉(あしだ てつや)
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部 第三グループ
金属シールの設計・開発に従事



笈田弘紀(おいだ ひろのり)
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部 第三グループ
金属シールの設計・開発に従事



三ツ井孝禎(みつい たかよし)
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部 第三グループ
金属シール・複合シール・電波吸収体の開発に従事