

# 自動車とシーリング（第2報，エンジンとガスケット）

高 行男・今井敏博

## 1. はじめに

工学では、シール（seal）は密装置を意味し、その役割は流体の漏れまたは外部からの異物の侵入を防止するというのが一般的である。シールは静的シール（ガスケット）と動的シール（パッキン）に大別されている。一般には、両者はパッキンとして認識され、ガスケットは馴染みがないと思われる。

シールの構築や仕組みを含む概念で、シーリングという用語を使用し、その視点からエンジンについて見ると、シリンダヘッドガスケットやピストンリングに代表されるシーリングは、エンジン性能の維持や向上に大変重要な役割を持っている。前者のガスケットは静止面の密封に用いられる固定用シールであり、後者のピストンリングはパッキンに分類され、運動面の密封に用いられる運動用シールである。運動用シールには、回転運動用のオイルシールやメカニカルシールと、往復運動用シールであるピストンリングがある。

前報では、代表的ガスケットであるシリンダヘッドガスケットのシール機能のうち最も重要なガスシールの要点を整理し、検討した<sup>1)</sup>。また、別報においては、シリンダヘッドガスケットのシーリングにおいて特に問題となるシリンダボア間のガス漏れに対し、その技術的問題などを整理し、検討した<sup>2,3)</sup>。対象としたシリンダヘッドガスケットは、ヘッドガスケットを取り巻く様々な問題を克服して現在の主流の位置を獲得した金属積層形ヘッドガスケットと称される金属ガスケットである。

金属積層形ガスケットは、エンジンにおいてヘッドガスケット以外にも使用されているが、その実態についてはあまり知られていない。そこで本稿では、エンジン用ガスケットの概要を述べるとともに、ガスケットシーリングの基礎的内容を整理し、吸・排気系ガスケットの設計項目の一端を紹介する。

## 2. エンジンにおけるガスケット

エンジンに用いられるガスケットは、エンジンを構成する部品の接合部に挟んで用いられ、部品を流通する空気やガス、水、オイルそして燃料を接合部から漏れないようにシールする役目を果たす部品である。

エンジンにおける主なガスケットを図1に示す。ガスケットは、まず①シリンダヘッドガスケット、次に②高温の排気ガスをシールする排気系ガスケット、そして③吸入空気、潤滑油、冷却水などの流体をシールする一般ガスケットに大別される<sup>4)</sup>。

ガスケットの種類は、使用箇所および条件（温度、内圧等）により形状、材質、構造が大きく異なる。一般的に中温、中圧まで（130℃以下、0.8MPa以下）は非金属製が多く使用され、高温、高圧（130℃以上、5MPa以上）では金属製が主に使用される。使用条件が低、高両者の中間の場合には非金属と金属の複合ガスケットが用いられるケースが多い。

エンジンコンポーネントに関するガスケットの呼名は通常、その使用箇所に関連して呼ばれる。例えばシリンダヘッドのシールに用いられるガスケットはシリンダヘッドガスケット（ヘッドガスケット）、エキゾーストパイプの接合部に用いられるガスケットはエキゾーストパイプガスケット等々である。

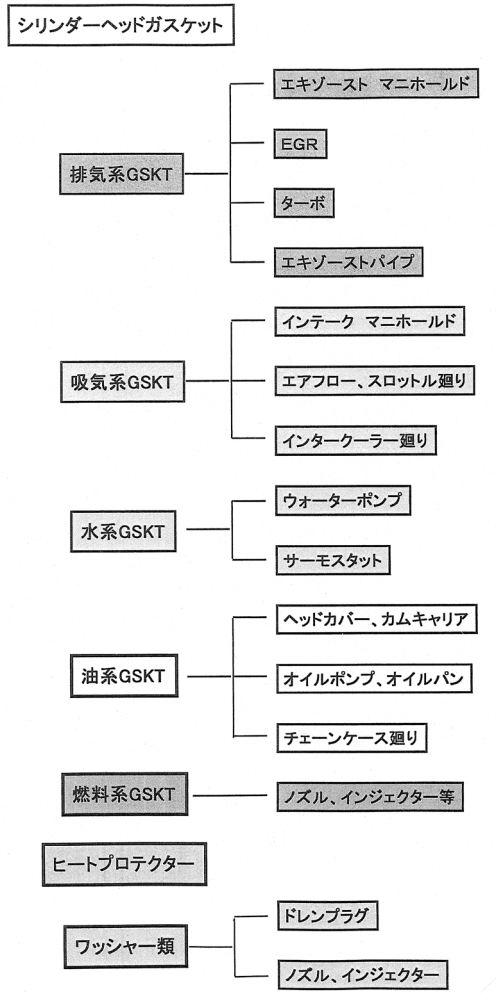


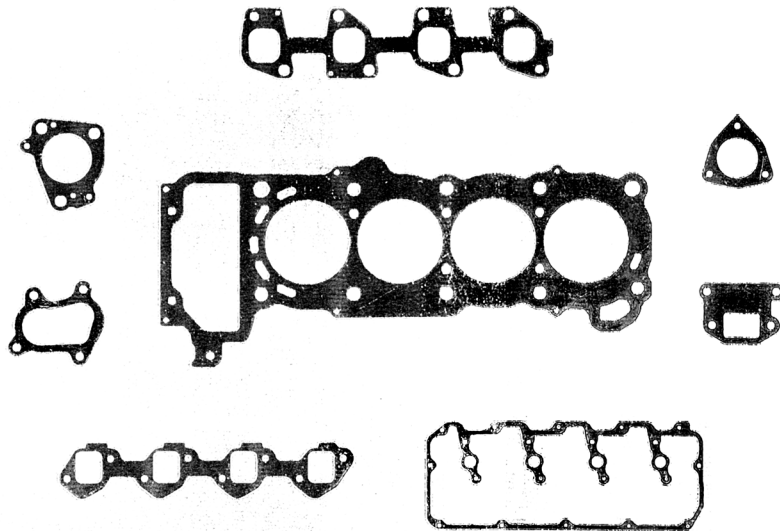
図1 エンジンにおける主なガスケット

図2には金属ガスケットの外観と構成材料の一例を示した。図に示した外観は、ガスケットのシール技術シンポジウム（石川ガスケット主催の第10回会議、2004年）の資料から引用した。図中、中央に位置するシリンダヘッドガスケットは、シリンダヘッドとシリンダブロック間に挟み込まれ、エンジン運転時に生じる高温・高圧の燃焼ガス、潤滑オイルおよび冷却水を共にシールし、エンジンの性能維持に重要な役割を果たす部品で、ガスケットの代表例と言える。

ヘッドガスケットの構成はエンジンの高性能化に深くかかわって変遷してきたが、金属ガスケット（金属積層形ガスケット）が主流になっている。このガスケットは1973年に大型ディーゼルエンジンに採用され、1979年以降には中型、小型ディーゼルエンジンそして1988年にはガソリンエンジンに拡大してきた。図に示した各ガスケットの構成材料は、ステンレス鋼 (SUS)、冷間圧延鋼板 (SPC) で、シーリングに対応した鋼種が選定されている。NBR (ニトリルゴム) はコーティング材料である。

### 3. ガスケット各論

ガスケットの役割は、流体の漏れや外部からの



場所	名称	材質
上	エキゾーストマニホールドガスケット	・SUS301 4/4H
中央	シリンダーヘッドガスケット	・SUS304 ・SUS301 3/4H ・SUS301 4/4H
左上	ターボガスケット	・SUS304 ・SUS301 3/4H
左中央	ターボガスケット	・SUS304
左下	インテイクマニホールドガスケット	・SPCD+NBRコート
右上	エキゾーストパイプガスケット	・SUS304
右中央	EGRガスケット	・SUS301 3/4H
右下	ヘッドカバーガスケット	・SPCD+NBRコート

図2 金属ガスケットの外観

異物の侵入を防止することである。そのため、使用温度と流体の種類によりシール機能を発揮させる材料が選定される。例えば、200℃以上の温度環境では、ゴムやプラスチックによるシール機能は難しくなるので、金属が選定される。

このように、ガスケットのシール機能には材料が密接に関連するので、ガスケットは一般的に主材料によって分類される。そのほかにガスケットは構造別や用途別に分類する方法もある。これらはその時の事情により使い分けられる。表1には、ガスケットの構成材料について示した<sup>5)</sup>。

### 3.1 金属ガスケット

金属ガスケットはメタルガスケットとも称される。板状やリング状のものがある。多用される板状のガスケットには、1枚もの（単板、単層）と積層形がある。単層においても下述のビードと称される板加工を施されるものと施されないものがある。多用されている積層形ガスケットはスチールラミネートガスケットと称されているが、鋼板の一種であるラミネート鋼板（積層鋼板）とは異なる。

表1 ガasketの構成材料

材 料		板厚および形状 [mm]	用 途
金 属	冷間圧延鋼板	0.15 ~ 0.3	ヘッドガスケットおよび排気マニホールドガスケット
	ステンレス鋼板	0.05 ~ 0.3	
非金属	ビーターシート	0.5 ~ 2.0	液体シールガスケット, オイルパンガスケット, ウォーターポンプガスケット
	コンプレッドシート	0.5 ~ 2.4	
	ゴム	シリコン フッ素 ニトリル	Oリング 角リング
金属と非金属	グラファイトスチール	0.8 ~ 2.0	ウォーターポンプガスケット, 液体シールガスケット
	ビーターシートスチール		
	コンプレッドシートスチール		
コーティング材	NBR	塗膜 25 ~ 30 [μm]	ガスケット表面または層間シール
	シリコン樹脂		
	シリコンゴム		
	フッ素樹脂 フッ素ゴム		

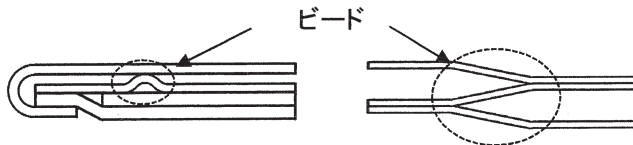


図3 ビード

金属積層形ガスケットの場合, ①図3に示したシール面圧を発生させるビードの特性, ②シールにコーティングが必要な場合はコーティングの特性が, ガスケット設計において重要な検討項目となっている。

ビード(鋼板に丸やハーフ形の山)は, シール面圧を発生させるため, ビードがなくフラットな板であると適正なシール面圧を発生することができない。このビードの特性は, シール環境に合わせた設定が必要である。ヘッドガスケットにおいては, 通常, ガスシール部には圧縮抵抗が高い低圧縮低復元性ビード, 液体シール部(水, オイル)には圧縮抵抗が低い高圧縮高復元性ビードが用いられる。これはガスシールと液体シールでは, 内圧の関係でシール面圧が大きく異なり, ガスシール面圧は液体シール面圧の約10倍以上になるためである<sup>1)</sup>。

図4には, エンジンに使用されている金属積層形ガスケットの概要と積層構造の代表例を示し










エキゾーストマニホールド	エキゾースト(排気)マニホールドとシリンダーヘッドとの間に挟みこみ燃焼ガスをシールするガスケットで、高温になる為金属積層ガスケットとなる。	
インタークーラマニホールド	インタークーラ(吸気)マニホールドとシリンダーヘッドとの間に挟みこみ吸入した空気や吸入した空気に混ざったオイルを密封(シール)するガスケットで、高温にならない為ハッキン・ゴム及び塗料を用いたガスケットとなる。	
EGR	排気ガスの一部を吸気側に戻して吸入空気と混ぜるシステムであるEGRに取付けるガスケットで、排気ガスや排気ガスに含まれる水分が凝縮した凝縮水を密封(シール)するガスケットで高温になる為金属積層ガスケットとなる。	
ターボチャージャー	エキゾースト(排気)マニホールドとターボチャージャーの間及びインタークーラ(吸気)マニホールドとの間に装着されるガスケットで、非常に高温な部位に使用するガスケットとなる。	
ウォーターシール	ウォーターポンプとシリンダーブロック等の間に装着されるガスケットで、冷却水(LLC)を密封(シール)する。特に高温での使用ではない為、表面ゴム材やハッキンシート材を使用する場合もある。	
オイルシール	オイルパイプやオイルドレンパイプとシリンダーブロック又はシリンダーヘッドとの間装着されるガスケットで、オイルを密封(シール)する。特に高温での使用ではない部位には、表面ゴム材を使用するが150℃以上の高温部での使用の場合はハッキンシート材を使用する場合もある。	
吸気ガスシール	エアターリーナからインタークーラマニホールドの間にあるパイプ同士をつなぐガスケットで、吸入した空気をシールするガスケットで、高温にならない為ハッキン・ゴム及び塗料を用いたガスケットを使用する場合もある。	
エキゾーストパイプ	排気ガスを車外に排出パイプに繋ぎ部に使用するガスケット。主にパイプとパイプをつなぐフランジガスケットとなる。高温となる部位に使用するため金属積層ガスケットとなる。	
カバー(オイル)	主にシリンダーヘッドとシリンダーカバーの間に装着されるガスケットで潤滑油(オイル)を密封(シール)するガスケット。また、シリンダーヘッド及びシリンダーブロックとの前面部に装着するカバーガスケット等も含まれる。	

図4 金属積層形ガスケットの概要と積層構造

たが、シール環境によりガスケットの仕様は異なる。

### 3.2 複合ガスケット

複合ガスケットはセミメタリックガスケットとも称される。図5には、自動車エンジン用ヘッドガスケットとして、主流となっている金属積層形ガスケット（スチールラミネートガスケット）とともに複合ガスケットの構造断面例を示した。ヘッドガスケットの変遷は、エンジンの高性能化とともに環境問題（アスベストフリー）に深く係って推移してきた<sup>6)</sup>。

初期のヘッドガスケットは、プレートガスケット（金属一層ガスケット）である。金属の一枚板をガスケットの形状に加工したもので、その歴史は古い。その後登場した複合ガスケットは、非金属と金属材料を組み合わせ用いている。

金属被覆タイプのガスケット（サンドイッチタイプ）は、アスベストを銅板あるいは軟銅板やステンレス銅板で表面を被覆した構造で、アスベストの圧縮性と金属の引張強度を組み合わせている。その材料配置から通称サンドイッチと呼ばれている。

メタルコアタイプのガスケットの構造は、上下両面に軟質の圧縮材の層があり中に軟銅板の芯金が入っている。圧縮材にアスベストを用いたメタルコア・アスベストガスケット（スチールベスト）、膨張黒鉛を用いたメタルコア・グラファイトガスケット、アラミド繊維などを用いたメタルコア・人造繊維ガスケットがある。

ヘッドガスケットの変遷を見るとき、ノンアスベスト時代の主流として注目され、今日に至る金属積層形ガスケットは、初期のヘッドガスケットであるプレートガスケットのシール機能を改善したものとも言える。

### 3.3 非金属ガスケット

非金属ガスケットはソフトガスケットとも称される。非金属ガスケットには代表的なものとして、繊維系シート材料を打抜いてガスケット形状に加工した繊維質シートガスケット（繊維質ガスケット）と、ゴムや合成樹脂を成型加工したOリングなどの成型ガスケットがあるが、現在最も多く用いられているのは、処理紙、ビータシート、コンプレッドシートなどの繊維質ガスケット

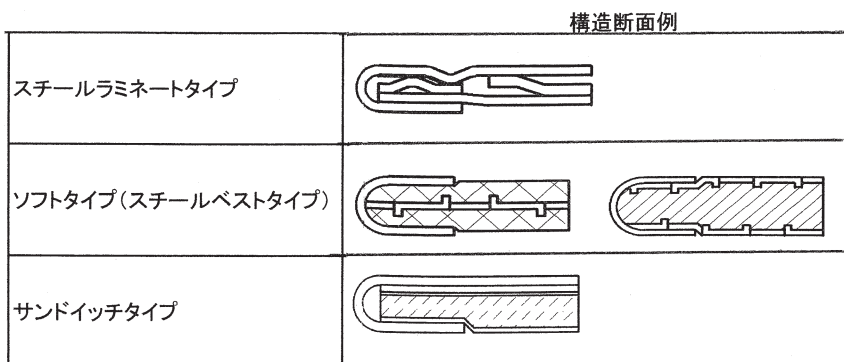


図5 シリンダヘッドガスケットの代表的タイプ

トである。主原料に植物や人造繊維を使い、補強材として樹脂やゴムなどを用いて造るシートを構成材としたガスケットである<sup>7)</sup>。

図6には、ウォータポンプ、オイルパンそしてオイルポンプにおける各繊維質ガスケットの外観を示したが、シール条件に対応して採用される繊維質ガスケットの種類が異なっている。つまり、繊維質ガスケットは、使用される繊維や補強材の種類によって、その性状やシール性能が大きく異なるので、吸液性による浸透漏れ、耐圧性や耐熱性など、そしてコストを考慮して選定される。繊維質ガスケットは、一般的に馴染みがないので、少し補足しておく。

処理紙ガスケットは処理紙をガスケットの形状に加工して作られる。処理紙は紙製ガスケット材の主流で、原紙（未処理紙）を補強処理したものである。米国では処理紙（トリートメントペーパー）と称されるが、日本ではオイルシートと呼ばれている。オイルをシールするのに多用されたことが呼ばれる由縁であると思われる。

ビータシートガスケットはビータシート材をガスケットの形状に加工して作られる。ビータシート材は製造工程にビータ（叩解機、繊維をほぐす機械）を用いるのでその名が付いた。米国ではビータ・アディションシートとも呼ばれる。もともと繊維にアスベストを用いていたが、アスベストがガン原物質に指定されて使用禁止になったため、代替にアラミド繊維やグラスファイバ等の人造繊維が用いられるようになった。

コンプレッドシートガスケット（ジョイントシートガスケット）は、コンプレッドシート材をガスケットの形状に加工して作られる。コンプレッドシート材の製造工程はロールにて原料を圧延しながらロールに巻付けて、シート状にすることから米国ではコンプレッドシートと呼ばれている。英国や日本ではジョイントシートと呼ぶ場合が多い。

なお、上述した金属ガスケット、複合ガスケット、非金属ガスケットは、フランジ面の形状に合わせた定形であり、これを成形ガスケットとも称される。これに対比する不定形ガスケットとして液状ガスケット（液体ガスケット）がある。一般的に液状パッキンという呼名のほうが液状

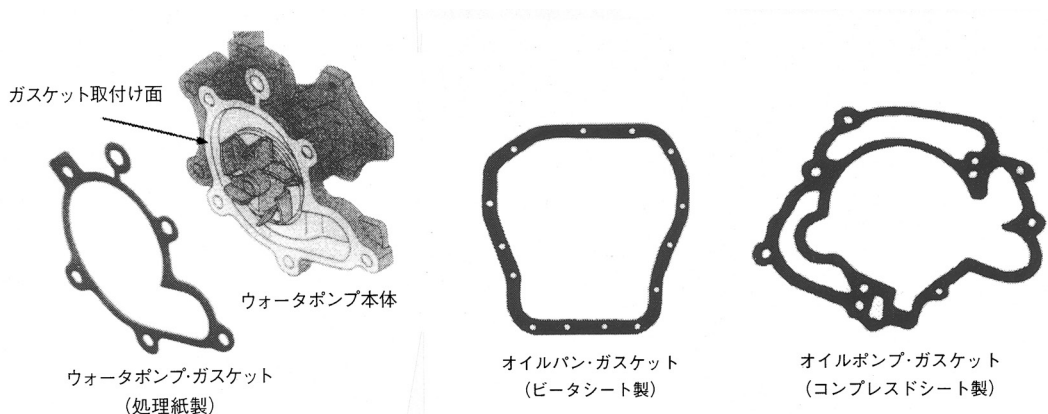


図6 非金属ガスケットの事例

ガスケットより馴染みがあるかもしれない。

#### 4. ガスケットのシール機能

ガスケットがシール機能を果たすために求められる主な性質を図7に示す。以下その概要を述べる。

##### (1) 圧縮・復元性

ガスケットが荷重を受けた時に圧縮され、荷重を除いた時に戻る性質を圧縮・復元性と言う。圧縮性はガスケットの取付け面（フランジ）のうねりや凹凸に良くなじんで、密着性を補う重要な性質である。一方、復元性はシール面の動的変化に追従してシールを確保するのに必要なものである。つまり、復元性はフランジが動的に変化した場合にフランジの変動に追従してシールを保持する。このように、ガスケットのシール性は圧縮・復元性の良否により影響を受ける。

ガスケットにとってボルトの締付け荷重に対して適正な面圧が確保でき、適正な圧縮量と復元量（追従量）があることが望ましい。金属積層形ガスケットにおいては、3.1節で述べたように、所要の鋼板にビードが加工される。単純に鋼板を重ね合わせた構造では、ガスケットに必要な圧縮・復元性が殆んど得られないためである。圧縮・復元特性は、ビード部の材質、板厚、ビード形状により変化する。

一例として、図8には、ターボチャージャガスケットの圧縮・復元特性を模式的に示した。ビードを全屈まで圧縮し、荷重を開放したときの様子である。図に示すように、折り返し構造のガスケットは、ハーフビード構造のガスケットに比べ、圧縮・復元性が低いことがわかる。

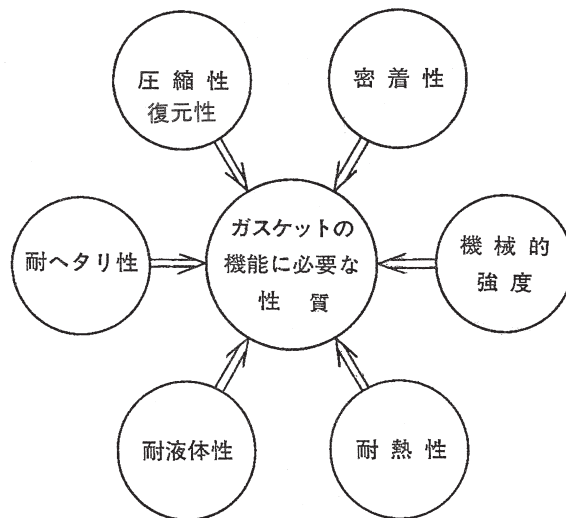


図7 ガスケットのシール機能に必要な性質



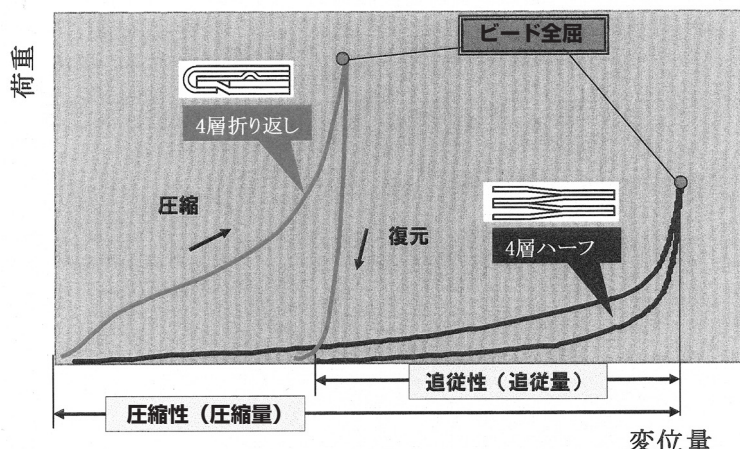


図8 ターボチャージャガスケットの圧縮・復元特性

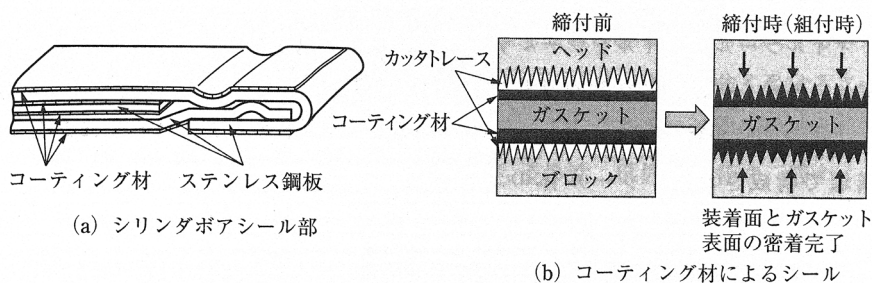


図9 金属積層形ヘッドガスケットのマイクロシール

## (2) 密着性

一般的にガスケットの密着性の達成には、上述の圧縮性が必要である。金属積層形ガスケットの場合、密着性とはガスケット表面のコーティングとフランジ面に対して言う。つまり、コーティングがないと、メタルフィットとなるため、密着性との表現はあまり用いない。

図9には、金属積層形シリンダヘッドガスケットのコーティング材による密着性の様子を示した<sup>5)</sup>。コーティングはマイクロシール性の確保のためである。エンジンプロックのガスケット装着面には、加工時に生じるカットレースと呼ばれるカッタの削り跡がある。通常カットレースのエンジン1台中の最大深さは8-15 $\mu\text{m}$ 程度であるが、これを埋め、ガスケットとエンジンのガスケット装着面との密着を図り、両者の接面をシールする機能をマイクロシールという。つまり、ガスケット表面にコーティングを施し、そのコーティング膜の密着作用によりマイクロシールを達成する。コーティング材にはフッ素ゴム系が多用される。

## (3) 機械的強度（耐圧性）

ガスケットには内圧の作用に抵抗する機械的強度が必要である。これを耐圧性と言うが、抗張

力性（材料の引張強度）とも称される。ガス圧、水圧、油圧などの使用環境にガスケットの耐圧性を維持するために必要な性質であり、特に、高圧の流体をシールするには欠かせないものである。

#### （４）耐熱性

ガスケットの構成材料が熱によって劣化しシール機能が保持できなくなることに留意する必要がある。一般的に言われる耐熱性であるが、シール上、温度が高い場合の問題は、ガスケットのクリープ・リラクゼーションによるシール面圧の低下である<sup>8)</sup>。

#### （５）耐へたり性（耐クリープ・リラクゼーション）

熱や振動（繰り返し圧縮荷重）により、ガスケット締結時のシール圧が、使用過程で降下する現象がある。この現象をクリープ・リラクゼーション（へたり）と言う。時間の経過により生じるヘッドガスケットのガス漏れなど、ガスケットシーリングにおいて問題となる現象である。当然、へたりが小さいガスケットが望まれる。一般的に知られていないが、耐へたり性はガスケットの優劣を判断する重要な性質である。

#### （６）耐液体性

ガスケットの構成材料が液体によって劣化しシール機能が保持できなくなることに留意する必要がある。3.3節で述べた繊維質ガスケットでは、材料の内部（層間）に液体を吸込む性質（吸液性）が浸透漏れに直接関係するので、耐液体性はシール上重要な性質である。

金属積層形ガスケットにおいては、ガスケットを構成する鋼板やコーティング（フッ素ゴムやシリコンゴム）などの耐液体性を評価する。具体的には、冷却水、潤滑油そして燃料に対する鋼板の腐食やコーティングの密着性低下などが検討される。

### 5. ガスケットシーリング

ガスケットは使用箇所に適正に装着されてその機能を発揮する。したがってシーリング（シール構築）には、使用条件に対応するガスケット自体のシール機能とともにガスケットの装着についても留意する必要がある。つまり、フランジ、ガスケットそしてボルト締結の3つのマッチングが、ガスケットシーリングにおいて重要である<sup>9)</sup>。

具体例として、表2には、吸・排気系ガスケットの設計にあたり検討される主な項目を示した。シール条件である内圧が高いと必要なシール面圧も上げるが、ここで対象としているガスケットにおいては最大500kPaが一般的な要求値であるので、シール条件として固定されている。前報で述べたヘッドガスケットにおいては、エンジンに設定されるシール面圧は、小型ディーゼルでは120MPa、中型ディーゼルでは140MPa、大型ディーゼルでは160MPa、そしてガソリンでは80MPa程度である。設定面圧の違いは、エンジンの燃焼圧力の大きさによる<sup>1)</sup>。

一方、シール条件である温度は部位により要求値が異なるため、各ガスケットの仕様を変えて対処している。つまり、ターボチャージャ周辺ガスケットを図10に示したが、高温の排気ガスの

表2 吸・排気系ガスケットの設計における主な検討項目

部位	シールするもの	内圧	ガス温度	フランジ面粗さ	ボルト本数 (1ポート当たり)	ポート径 (周長)	ボルト軸力 (1本当たり)	フランジたわみ量 (締付時)	フランジ厚さ	ボルト間加工 バラツキ	フランジ幅 (Min)	ボルトピッチ	フランジ縮み	ビード オーバー ハング	締付時 厚さ
エキマニ	ガス	~500kPa	~800°C	~Ra3.2	2本~	~φ46	5kN~	~0.186mm	8mm~	±1mm	5.55mm~	~80mm	~4mm	~27mm	0.5mm
EGR	ガス +凝縮水	~500kPa	~750°C	~Ra6.3	2本~	~φ67	5kN~	~0.336mm	8mm~	±1mm	5.55mm~	~104mm	-	~30mm	0.38~0.5mm
ターボ	ガス	~500kPa	~800°C	~Ra3.2	3本~	~294	5kN~	~0.034mm	8mm~	±1mm	8.4mm~	~95mm	-	~12mm	0.9~1.0mm
吸気	ガス +凝縮水 +油	~500kPa	~200°C	~Ra6.3	2本~	~255	3kN~	~0.038mm	8mm~	±1mm	5.8mm~	~155mm	-	~30mm	0.28~0.38mm

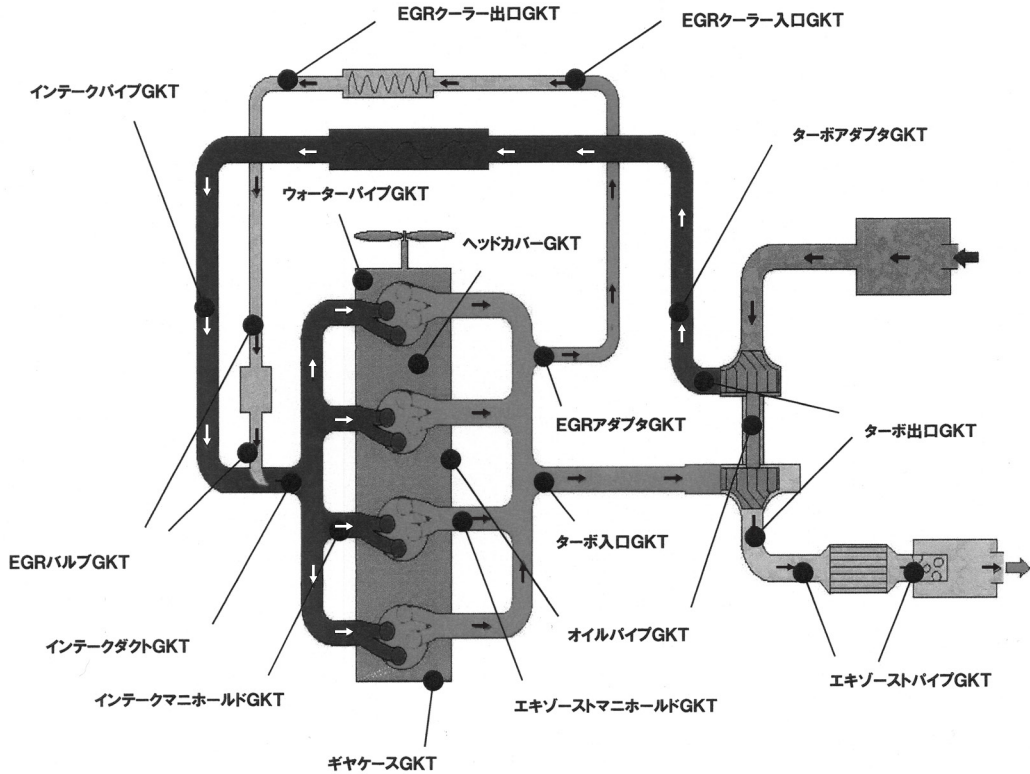


図10 ターボチャージャ周辺ガスケット

ため、ターボ部のガスケットにおける高温シールが最も設計難易度が高くなる。特にターボ入り口では、ガスが集まる箇所でも最も温度が高い。エキマニ部ではガス温度に対しフランジ（ガスケット装着面）温度は、200～300℃低下するのに対し、ターボ入り口ではガス温度そのものがガスケット被熱となる。耐熱要求は、最大でディーゼル800℃、ガソリン900℃程度となるので、ガスケットの設計にはコストを考慮し、シール条件に対応できる金属積層形ガスケットの仕様が選定される。

シール条件に対応するガスケットにおいて、シールの構築にはフランジの特性が関与する。例えば、フランジの剛性について見ると、フランジの剛性が弱いと、ガスケット装着時（ボルト締付け時）にボルト間にフランジのたわみが発生し、その中央付近では面圧が低くなる。そのため、シーリングには、①フランジの剛性を高くする、②ボルト間隔を狭くする、③シール幅を拡大する、などが考慮されている。

一例として、図11には、図中のガスケットモデルに対し、フランジ厚さを変えたときのシール面圧をCAE解析した結果を示した。フランジが厚い、つまりフランジの剛性が高いと、ガスケットの面圧が高くなることがわかる。また、ボルトの締付け力（軸力）が同じ場合、ボルト間隔が

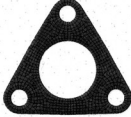
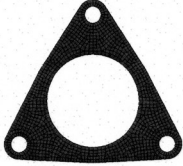
	ALT1		ALT2		ALT3		ALT4	
モデル								
フランジ厚さ(mm)	8		12		8		12	
軸力(kN)	5		5		5		5	
ボルト本数	3		3		3		3	
ポート径(mm)	φ30		φ30		φ50		φ50	
ボルトピッチ(mm)	50		50		80		80	
オーバーハング(mm)	4.3		4.3		5.6		5.6	
ビード周長(mm)	112.155		112.155		174.987		174.987	
線圧(kN/mm)	0.13		0.13		0.09		0.09	
最小面圧(MPa)/ALT1比	<b>34</b>	1.00	<b>45</b>	1.31	<b>11</b>	1.00	<b>18</b>	1.67

図11 フランジ厚さとシール面圧

広いとガスケットの面圧は低くなる。このように、フランジの特性やボルト締結は、ガスケットシーリングと密接な関係がある。

## 6. お わ り に

シリンダヘッドガスケットに代表される金属積層形ガスケットは、エンジンの高性能化を支えるエンジン部品の一つである。このタイプのガスケットが、ターボチャージャガスケットなどシリンダヘッドガスケット以外にも活躍している現状を紹介し、ガスケットシーリングの重要性の一端を述べた。本稿が、エンジンの高性能化を陰で支えるガスケットに対する認識を深める一助となれば幸いである。

終わりに、本稿作成にあたりご助力をいただいた故宇田川恒和博士（工学）に深甚なる謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 高 行男, 自動車とシーリング (第1報, シリンダヘッドガスケットのガスシーリング), 中日本自動車短期大学論叢, 43号, P.1-14 (2013)
- 2) 高 行男, 宇田川恒和, シリンダヘッドガスケットにおけるボア間のガス漏れ要因, 中日本自動車短期大学論叢, 45号, P.9-21 (2015)
- 3) 高 行男, 宇田川恒和, シリンダヘッドガスケットにおけるボア間のガス漏れ対応, 中日本自動車短期大学

論叢, 46号, P.17-32 (2016)

- 4) 日経マテリアル&テクノロジー, 設計技術者のためのやさしい自動車材料, 日経BP社 (1993)
- 5) 高 行男, 自動車材料入門, 東京電機大学出版局 (2009)
- 6) 宇田川恒和, ヘッドガスケットの変遷, 自動車技術, 42巻, 1号, P.104-110 (1988)
- 7) 宇田川恒和, 高 行男, 非金属シートガスケット, ポリファイル, 49巻, 583号, P.58-63 (2012); 49巻, 584号, P.50-55 (2012)
- 8) 宇田川恒和, 高 行男, ディーゼルエンジンの最大燃焼圧力上昇によるシリンダボア間のヘッドガスケットシーリングへの影響とその対応, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.6, P.119-124 (2007)
- 9) 宇田川恒和, 高 行男, 小形・過給エンジンのガスケットシーリングに及ぼすヘッドとヘッドボルトの影響, 日本陸用内燃機関協会, LEMA, No.514, P.65-74 (2014)