

シール環境の変化におけるシリンダヘッドガスケットの対応

高 行男・宇田川恒和

1. はじめに

シリンダヘッドガスケットは、エンジンの運転によって生じる高温・高圧の燃焼ガスや高温の潤滑オイルおよび冷却水を同時にシールする重要な役割を果たす部品である。その機能を有効に発揮させるためにはエンジンに装着された時、ガスケットの各シール部には適正な面圧が配分されていなければならない。

前報¹⁾では、エンジンの高性能によるヘッドガスケットのシーリング問題について検討したが、ヘッドガスケットそのもの自体が、その重要性に係らず十分に認識されていないと考えられる。そこで、本報ではヘッドガスケットとエンジンとの相互関係について歴史的視点を交えて考察し、ガスケットシーリングの重要性について検討する。

2. ヘッドガスケットの変遷

ヘッドガスケットは、その取り巻く環境に影響されて変遷してきた。すなわち、エンジン性能との関係、環境問題、生産性、価格、材料の入手状況などの要因であるが、主にエンジンの高性能化に深く係って推移してきたと考えられる。その変遷を図1に示したが、図中の太い矢印は主

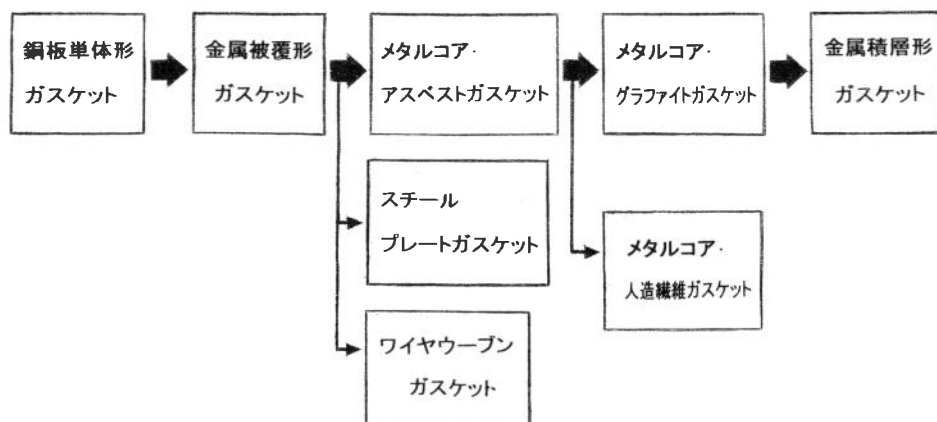


図1 ヘッドガスケットの変遷

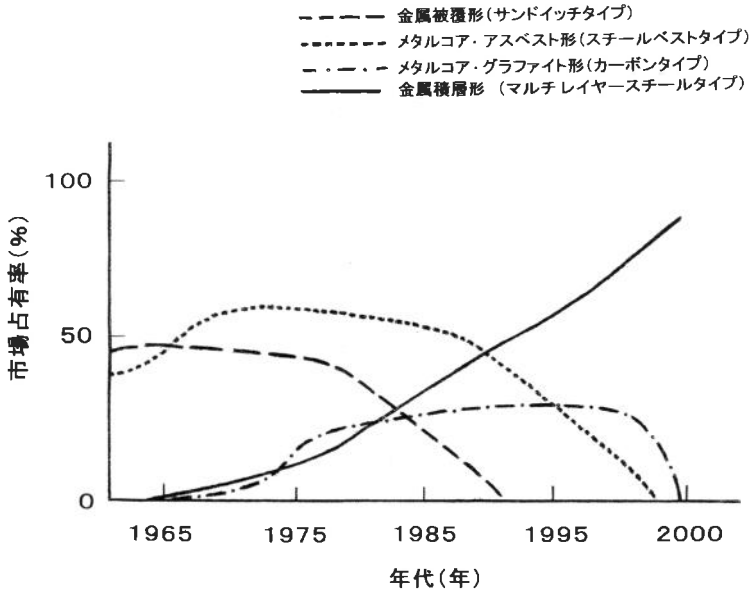


図2 日本における主流ガスケットの発展と衰退

な流れを、細い矢印は派生的な流れを表している。

図2には、日本における自動車エンジン用の主流ガスケットの年代における発展と衰退の様子を示した。図示のように、現在最も多く使用されているガスケットは、金属積層形ガスケットである。各ガスケットの盛衰の推移は、ガスケットが置かれた立場の厳しさを良く物語っている。つまり、ガスケットはエンジンとのマッチングが最も重要であるので、ガスケットの変遷はエンジンの動向に深く関係し、その時々エンジンの変革に大きな影響を受けている。

3. 過去に用いられた主なヘッドガスケット

図3に過去から現在までの主なガスケットの主要部の構造と構成材を示した。

3.1 プレートガスケット

プレートガスケット（金属一層ガスケット）は、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。初期のプレートガスケットは、板厚2mm程度の銅板をバーナで焼鈍したもので、ottoエンジンの時代に用いられていたといわれる。しかし、銅板は「へたる」ので、年代は定かではないが軟鋼板に代わっていく。

プレートガスケットは、全体が平坦な板であったので、ガスシール部に面圧を集中できないことや、圧縮復元性と表面密着性に乏しいので、ガスケットの締め付けが大きくできる剛性の高いエンジンにわずかに用いられたに過ぎない。大半のエンジンは、銅板でアスベストを被覆した金属被覆形ガスケットの出現によりそれに移行した。

プレートガスケットは、近年（1990年代）のエンジン高性能化や耐久性の向上の要求により、

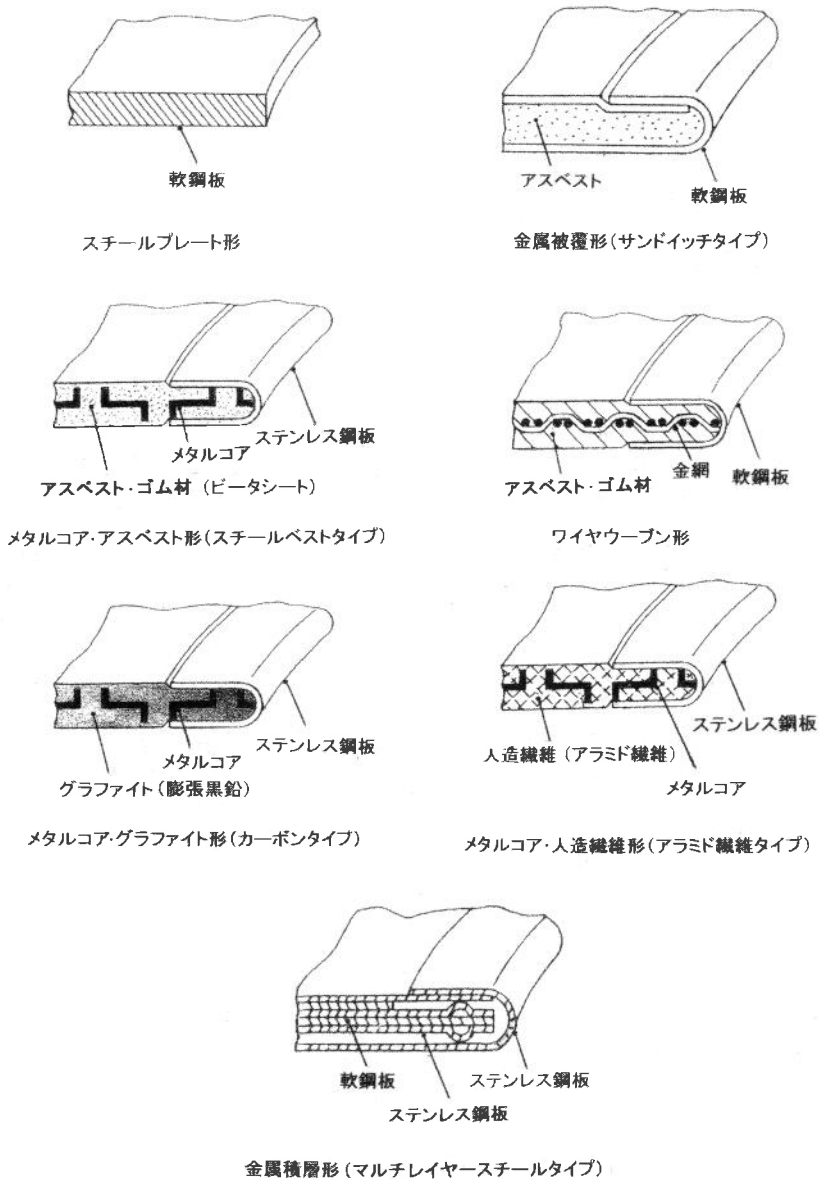
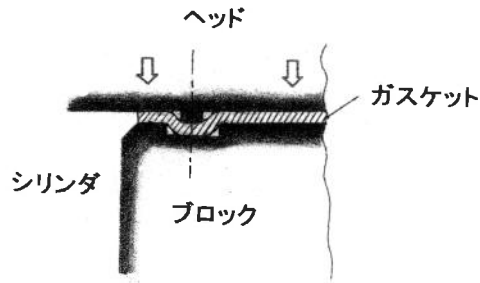
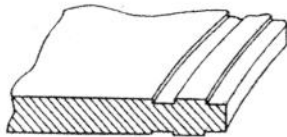


図3 各種ガスケットのガスシール部構造と構成材

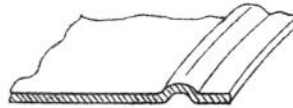
その特長が見直され、欠陥を補う努力が払われた。例えば、ガスシール部の面圧集中には、図4に示すように、シリンダヘッドとブロック側に凹凸部を設けてガスケットを押し込むことで局所的に高面圧部をつくりシールする方法やガスシール部に溝を設ける方法などである。また、圧縮性を補うためにシール部にビードを付けたり、表面密着性を補うためにシール剤を表面にコーティングしたりして、それぞれの改善策が施された。しかし、ガスケット構造における本来の短所を大きく改善できないため、現在では、エンジンの剛性が高くて高締め付けができる大型ディー



押し込みシール構造



溝付きシール構造



ビード付きシール構造

図4 スチールプレートガスケットのガスシール構造

ゼルエンジンにわずかに使われているに過ぎない。

3.2 金属被覆形ガスケット

金属被覆形ガスケット（サンドイッチタイプ）は、アスベスト板を主に銅板や軟鋼板で表面を被覆した構造をもっている。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が、その素材配置から通称サンドイッチと呼ばれている。このガスケットは、用途に応じて被覆金属を銅板や軟鋼板あるいは上板と下板との組み合わせを変えることができる。例えば、ガソリンエンジン用では銅板被覆、ディーゼルエンジン用では軟鋼板被覆と広範囲の対応性がある。

初期の被覆金属には薄い銅板（板厚：0.2～0.25mm）が用いられ、T型フォードの時代から使用されていた。後に、亜鉛めっきした軟鋼板が使われるようになり、主にディーゼルエンジンに使用された。

金属被覆形ガスケットは、最盛期にはガスケットの主流として活躍したが、その表面が金属であるのでシール面に密着性が悪く、シール剤のコーティングが必要であり、構造が複雑であったので、生産性が悪くコスト高で、量産に不向きであった。また、エンジンの高性能化に対応できなかったことも、衰退の原因であると考えられる。現在、自動車先進国では金属被覆形ガスケットは生産されていない。

3.3 複合形ガスケット

複合形ガスケットは、主に小型エンジンに使用されてきた。非金属と金属材料を組み合わせられているので、複合と呼ばれる。その構造は上下両面に軟質の圧縮材の層があり中に軟鋼板の

芯金が入っている。圧縮性に富み、密着性に優れている反面、クリープ・リラクゼーションが大きく、また、水穴、オイル穴においてその側面から漏れが生じやすいなどの弱点がある。弱点を補うため、漏れのひどい穴にグロメット（銅板の環）を嵌め込むなど、ガスケット設計上の配慮が必要であるが、低コストの利点があるので、シール性が厳しく要求されないガソリンエンジンに多く使用されてきた。

複合形ガスケットの代表的なものとして、メタルコア・アスベストガスケット（スチールベスト）、ワイヤウーブンガスケット、メタルコア・グラファイトガスケット、メタルコア・人造繊維ガスケットがある。

3. 3. 1 メタルコア・アスベストガスケット

メタルコア・アスベストガスケット（スチールベストタイプ）は、米国において第2次世界大戦前に一部使われていたが、急速に普及したのは、大戦中に軍用車両のエンジンに使われるようになってからである。

日本には進駐米軍車両とともに補修品（修理用）として多く入ってきたが、米軍払い下げのエンジンが民間に多く出回ったため、用いられるようになった経緯がある。後に、国内でもガソリンエンジン用に多く生産されるようになった。

メタルコア・アスベストガスケットの構造は、「わさびおろし」のように、両面に爪を立てた軟鋼板を芯金とし、その両面にアスベストビータシート（アスベスト繊維をNBRのエマルジョン液の中に入れNBRを繊維に吸着させ、シート状に漉き上げた圧縮材）を圧着して一体としたものをガスケットの形状に加工し、本体の燃焼室穴のみにグロメットと呼ばれる軟鋼板の環を嵌め込んだ簡単なものである。生産性がよく、コストが安価で原料の入手が容易であったので、自動車の普及とともに最も使用されたガスケットであったが、アスベスト公害問題が起こると次第に使われなくなって行った。

3. 3. 2 ワイヤウーブンガスケット

ワイヤウーブンガスケットは、第2次世界大戦末期、ドイツで発明されたといわれる。大戦後、ドイツのラインツ社の製品がヨーロッパで多く使われていた。アスベスト繊維を短く粉碎してNBR（ニトリルゴム）と加硫剤を溶剤で練り合わせてペースト状とし、熱ロールで金網に充填して加硫し、シートにしたものをガスケットの形状に加工し、燃焼室穴に亜鉛めっきした軟鋼製のグロメットと呼ばれる環を嵌め込んである。

その構造上、高荷重時に金網が水平方向に伸びて急激に面圧が低下する現象が起こるので、締め付け力の大きい中、大型ディーゼルエンジンには不向きであるが、日本においてガソリンエンジンには一時期多く使われた実績がある。しかし、ワイヤウーブンガスケットは、原料にアスベストを用いているので、アスベスト公害問題が重視されるようになると、急激に衰退して行った。

3. 3. 3 メタルコア・グラファイトガスケット

メタルコア・グラファイトガスケットは、メタルコア・アスベストガスケットの代替品として

1990年代初期に開発されたものであり、その歴史は比較的新しい。米国ユニオンカーバイド社が宇宙船用として開発した耐熱材で、黒鉛粉を高熱で綿状に膨張させてロールで圧縮してシートにしたものを、「わさびおろし」のように両面に爪を立てた芯金の上下面に圧着して一体とし、ガスケットの形状に加工して、その燃焼室穴にステンレス鋼板製のグロメット（環）を嵌め込んだガスケットである。

メタルコア・グラファイトガスケットは、その表面がグラファイト特有の柔らかさを有し、表面密着性が良いので、ガスケット表面にシール剤を塗る必要がない特長があったが、耐液体性が充分でなかったため、液体穴に銅製のグロメットを嵌め込むなどの対策が必要であった。また、高荷重時に横方向に滑る性質があり、その時急激な面圧低下が起こるので、締め付けの強い中、大型ディーゼルエンジンには用いられなかった。しかし、金属積層形ガスケットが出現するまでの間、日本においてはガソリンエンジンに多く用いられた。欧米では日本より金属積層形ガスケットの普及が遅れたので、更に遅くまで用いられていた。

3. 3. 4 メタルコア・人造繊維ガスケット

メタルコア・人造繊維ガスケットは、メタルコア・アスベストガスケットの代替品として開発されたガスケットである。人造繊維とは米国デュポン社が宇宙船用に開発したアラミド繊維で、耐熱性を有し、引張強度が高い。この繊維を短く切断して、NBRのエマルジョン液と混合してビータ（こう解機ともいい、混合液を攪拌しながらNBRのエマルジョンを繊維に吸着させる装置）により繊維にNBRを吸着させ、紙を漉くようにシート状に漉き上げたものを、前述したメタルコア・グラファイトガスケットと同様の製法でガスケットにしたものである。一部商品化されたが、原料が高く、性能も他の複合形ガスケットに比較して優れた点が見当たらなかったため、普及せず市場から姿を消した。

4. 金属積層形ガスケット

エンジンのシール環境の変化とともにガスケットの種類やシール構造は変遷してきたが、特に大きな変化は軟鋼板製の金属ガスケットの出現である。金属ガスケットの特徴は、その構成材料の特性からクリープ・リラクゼーションが少ないため、経時的なシール性能の劣化が小さく、耐久性に優れている点である⁴⁾。

金属ガスケットには代表的な二つのタイプがある。一つは前章で述べたスチールプレート形で、板厚0.8~1.0mmの一枚の平坦な形状のものであり、主に軟鋼板を用いる。このタイプのガスケットは基本的にガスシール部にエンジン側（ヘッドまたはブロック）に数ミリ幅の突起をシリング周囲のシール部に設け、締め付け時にガスケットに突起を食い込ませてガスシールを構築するものである。水、オイルのシールは、別体のゴム製のシールリングを水穴やオイル穴にはめ込んだ構造になっている。したがって、その構造上、エンジン製造ラインでの組み付け性が悪いので、非量産性の大型ディーゼルエンジン以外には用いられていない。

今一つは、本章で述べる積層タイプで、3～5枚程度のステンレス鋼板を重ね、必要に応じて板厚や材質の異なったものを組み合わせたもので、シール状況に応じて選択できる便利さがある。燃焼ガスや水およびオイルのシール穴には積層板の上板または下板の何れかを反対側の外板の上に折り返すか、または別体のグロメットを各シール穴にはめ込んで、シールする構造になっている。耐久性に優れるが、シール部との密着性が悪い短所などは改善され、現在では金属ガスケットの大部分を積層形ガスケットが占め、特に自動車エンジン用では金属積層形ガスケットが用いられている。

金属積層形ガスケットの代表的なタイプは2種類ある。一つはホールドオーバータイプと呼ばれるもので、日本で最初に開発された。大型ディーゼルから小型ディーゼルおよびガソリンエンジンまで、その使用範囲は広い。今一つは後から出てきたノンホールドオーバータイプと呼ばれるもので、そのガスシール構造から日本においてはガソリンエンジンに多く用いられている。それぞれ一長一短があり、採用にはコスト、シール性能など適合したものが用いられている。金属積層形ガスケットの主な用途と代表的なシール部断面構造を図5に示した。






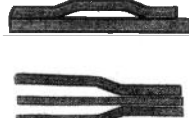
	ガスシール部構造	液体シール部構造
大型 ディーゼル		
中・小型 ディーゼル		
ガソリン		

図5 金属積層形ガスケットの主な用途とシールの断面構造

4.1 ホールドオーバータイプ

ホールドオーバータイプガスケットはその名が示すように、ガスケットのシリンダボア部を積層材の上板または下板の何れかをガスケットの燃焼室穴において相対する外板の上に折り返す構造になっている。この折り返し板は、燃焼室穴側面において、高温、高圧の燃焼ガスから積層部にガスが侵入しないように保護する役割を果たす。

ホールドオーバータイプガスケットは、その燃焼室穴の側面構造からディーゼルエンジンのような高燃焼圧力のシールに適している。その積層構造は2～6枚の積層材の構成である。2～3枚

構成のものは主に小型エンジン用、3～4枚構成は中型エンジン用、4～5枚構成は大型エンジン用に多く用いられている。エンジンにより積層枚数が違うのは、ガスケットの圧縮性に関係する。小型エンジンでは乾式ライナ（スリーブ）を採用しており、トップデッキは平坦に仕上げられているので、ガスケットに大きな圧縮性は必要としない。一方、中、大型エンジンでは湿式ライナを用いている関係上、トップデッキのライナの突出量（0.05～1.0mm）がある。そのため、これを吸収する目的で、ガスケットの圧縮性を大きくする必要があるので、積層枚数を増やし対応している。また、図6に示すように、シール性を考慮し、ビード構造においてもシングルビード、ダブルビードなど種々のものが用いられている。

積層板の材質配置に関してもこのタイプ独特の構成がある。図7にその代表的なガスシール部の構造と材質構成を示した。シリンダボア部を覆う板（通常は上板）には鈍し鋼板（SUS304-0H）が多く用いられる。これはシリンダボア部のパリング加工をしやすくするための配慮であり、また、クラッキング防止のためでもある。ビード板（中板）には、ビードの復元性を保持するためにばね鋼板（SUS301-3/4H）が主に用いられる。下板は主に2次シール部や液体穴のシールビード板として使われるので、ばね鋼板（SUS301-3/4Hまたは4/4H）が主に用いられる。

4.2 ノンホールドオーバータイプ

ノンホールドオーバータイプガスケットは、ガスケットのシリンダボア部の側面において、ガスケット構成板がそのまま積層された状態になっている。したがって、構造が単純で生産性に優れているが、燃焼圧力が高いディーゼルエンジンには燃焼ガスが燃焼室側面の積層間に侵入する可

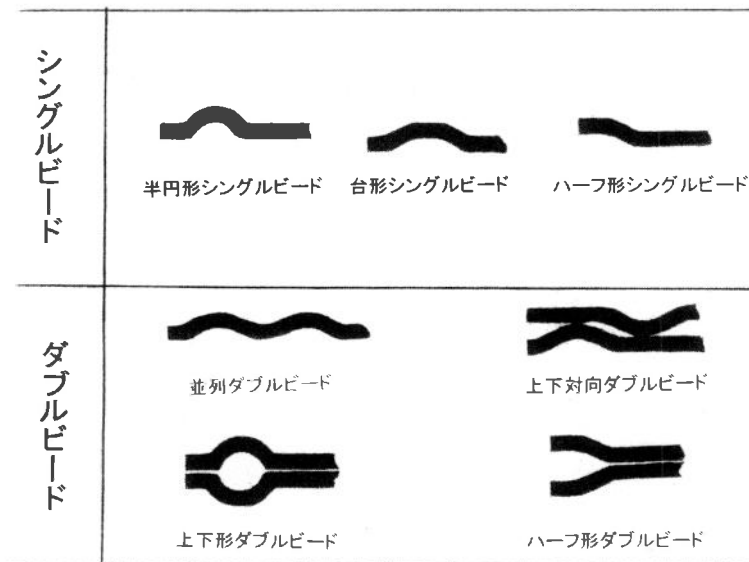


図6 代表的なビード構造

性能が高いので、あまり用いられていない。一方、燃焼圧力の低いガソリンエンジンには、性能上の問題がなく、コスト面の有利さから多く用いられている。

図8にノンホールドオーバタイプガスケットの代表的な構造を示す。使用される多くはガソリンエンジンであるので、トップデッキのライナ突出がない。そのため、ガスケットは高い圧縮性を必要としないので、ビード構造はハーフビードと呼ばれるクランク型の断面構造を持つビードが用いられる。板の積層は3枚構成が標準的であるが、稀に4枚構成もある。構成板の材質の配置は、上下板共にばね鋼板（SUS304-4 / 4 H）を用い、中板は燃焼室穴部を折り返し加工するため鈍し鋼板（SUS304-0 H）を用いることが多い。

5. エンジンとヘッドガスケット

エンジンの高性能化によりヘッドガスケットのシーリングは一段と厳しい環境に直面している。その主因は、エンジンの高出力化や熱効率の向上による最大燃焼圧力の上昇と、軽量指向に伴う低剛性化である。これらの要因はガスケットのシール環境を悪化させ、ガス漏れなどシーリングに支障をもたらしている。ガス漏れは従来からガスケットのシーリングにおいて重要な課題の一つであるが、近年の急速なエンジン高性能化の進展により、ガス漏れなどの漏れ現象が顕在化するとともに、その対応も難しくなっている。

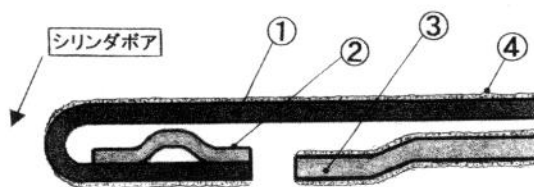
最大燃焼圧力（ P_{max} ）の推移を見ると、ディーゼルエンジンでは、最大燃焼圧力の上昇が顕著であり、排気量が大きくなるに伴い、最大燃焼圧力は急激な上昇が認められる²⁾。これはターボ過給エンジンの普及とその過給率の増加が関係しているものと考えられる。一方ガソリンエンジンでは、直噴エンジンの出現により最大燃焼圧力は一気に上昇し、中には従来のディーゼルエンジンに匹敵する最大燃焼圧力のエンジンも出現している。ガスケットのシール性に及ぼす最大燃焼圧力上昇の影響について、その概要を図9に示した。

エンジンの軽量化指向に伴う低剛性化は、ガスケットシーリングに大きな支障を与えるが、特にヘッドの低剛性化による影響が大きい³⁾。その要因は、ガスケット締め付け時に生じるヘッド下面の変形によるシール面圧低下である。ヘッド下面の変形の主なものは、ヘッドの長手方向に生じるたわみと、シリンダ周囲のヘッド下面に生じる波状の変形である。これらの大きい部分がシール面圧の低下に影響する。この現象はアルミヘッドのような低剛性ヘッドに顕著に現れる。

5.1 クランピングレシオとシール環境

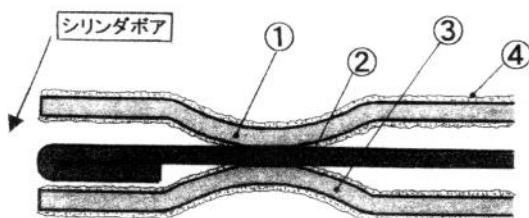
良好なシーリングを構築するためには内圧に見合う十分なシール面圧が必要である。面圧はボルトの締め付け力と与えられる荷重によって決まるが、その度合いは、シリンダ当たりの燃焼圧力とガスケットに掛かる荷重の比（クランピングレシオ）で知ることができる。

クランピングレシオは、エンジンのシール条件の良否を判断する一つの目安であるが、図10に示すように、この数十年、年毎に低下する傾向を示す。つまり、燃焼圧力は上昇するが、ボルト締め付け力は増加していない。この傾向は、軽量小型エンジンにおいて顕著であり、低剛性化す



使用箇所		材 質
①	上板	鈍し鋼板 SUS304 0H
②	中板	ばね鋼板 SUS301 3/4H
③	下板	ばね鋼板 SUS301 4/4H
④	コーティング	フッ素ゴム系

図7 ホールドオーバータイプガasketのガスシール部断面構造と材質



使用箇所		材 質
①	上板	ばね鋼板 SUS301 4/4H
②	中板	鈍し鋼 SUS304 0H
③	下板	ばね鋼板 SUS301 4/4H
④	コーティング	フッ素ゴム系

図8 ノンホルドオーバータイプガasketのガスシール部断面構造と材質

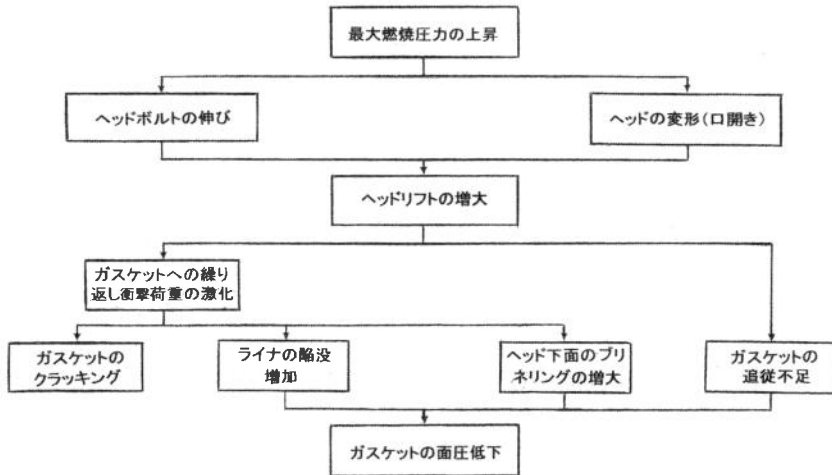


図9 最大燃焼圧力上昇によるシール環境悪化の影響

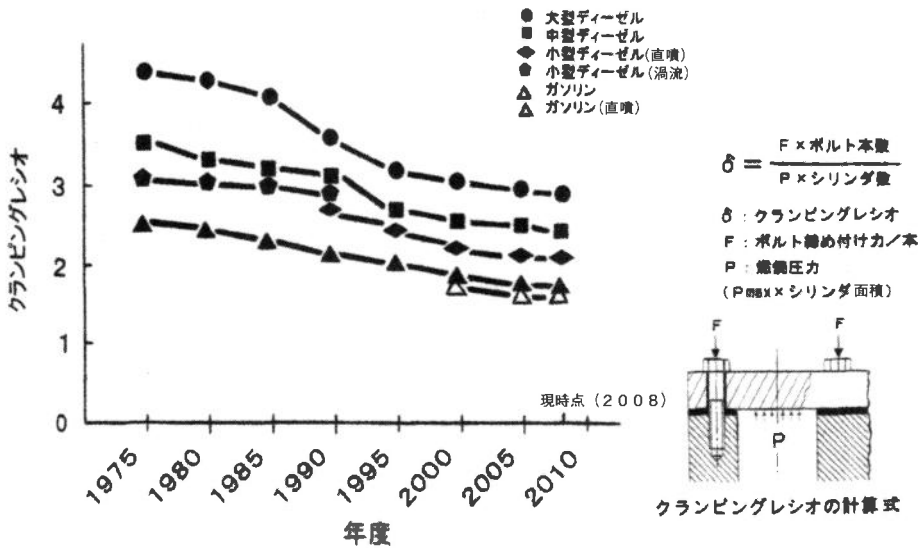


図10 日本における自動車用エンジンのクランピングレシオの推移

るエンジンに大きな荷重負担を掛けないという設計上の配慮と考えられるが、シール環境を悪化させる大きな要因の一つでもある。

5.2 シール環境悪化に対応するガスケット

ガスケットのシール環境は、時代のニーズによるグローバルな流れによって生じる各エンジンに共通のものと、個々のエンジン固有によるものがあるが、エンジンの高性能化に伴う高P max化や低剛性化などによってシール環境はより厳しいものになっている。ガスケットシーリングは、それらエンジン個々の状況に対応しなければならないので、シール環境の変化に対し広範囲で柔

軟な対応性と一層の耐久性が求められる。そのような多様な要求に対応できるのが、金属積層形ガスケットといえる。このガスケットは、薄いステンレス鋼板（板厚：0.2～0.35mm）を必要に応じて2～5枚積層して構成されている積層構造であるため、それぞれの板厚、材質および各板に付けるビードの有無、幅、高さ、断面形状などを選択し、各板に役割を分担させ、必要に応じて適宜組み合わせを変えることによって、種々のシール条件に適合できる対応性と耐久性を保持している。

エンジンの高性能化に伴ってガスケットに掛かる負担が大きくなり、シール性は経時的に低下する。その要因はガスケットのクリープ・リラクゼーションが進むためである。その対応にはクリープ・リラクゼーションの少ないガスケットが要求される。そのニーズに適合できるのが金属積層形ガスケットである。構成材の大部分が金属であるので、基本的にクリープ・リラクゼーションが他のガスケットより少ない特徴がある。図11に金属積層形ガスケットとメタルコア系ガスケット（グラファイト、人造繊維タイプ）のクリープ・リラクゼーションの模式図を示した。金属積層形ガスケットは、メタルコア系ガスケットに比べてクリープ・リラクゼーションが少なく、クリープが平衡状態に達する時間が短くて、シール状態が早く安定する特長をもっている。

5. 3 ガスケットによるエンジンへの支障

従来、ガスケットの設計にはシール性の構築が重点的に考えられてきたが、最近ではシール性

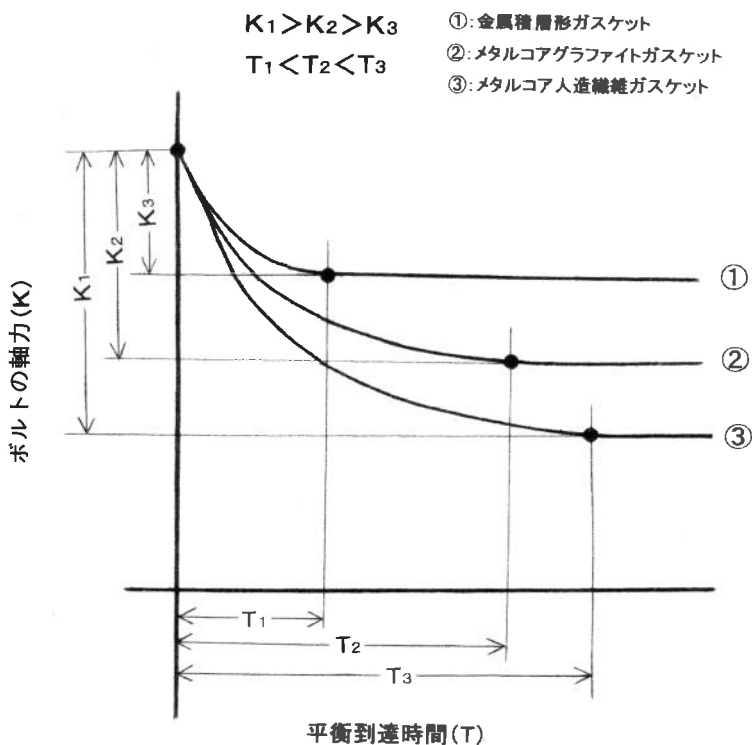


図11 金属積層形ガスケットと他のガスケットとの耐クリープリラクゼーションの比較

に加えてガスケットがエンジンに与える支障を考慮する必要性もある。これはクランピングレシオに係る問題であるが、前述したように、クランピングレシオは年々低くなる傾向がある。つまり、燃焼圧力の上昇に見合うだけのガスケットの締め付け力が増加していない。そのためにガスシール面圧は不足し、シールを保持できないので、燃焼圧力に対応できるシール面圧を発生させるため、ガスケット締め付け総荷重のなかでガスシール部の荷重配分率を高め、その部分の面圧を増加させて対処している。

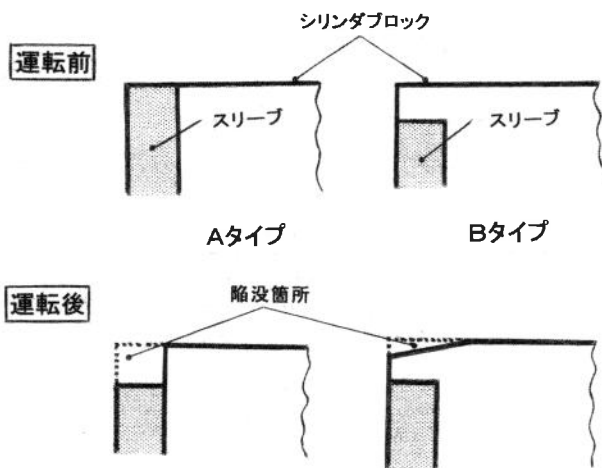
ガスシール部への荷重配分率の状況を調査すると、年代が新しくなる程、ガスシール部への荷重配分率が高くなる傾向を示す⁵⁾。特に、軽量小型エンジンにおいて、荷重配分率の顕著な上昇が認められる。しかし、シール面圧がガスシール部に過剰になると、エンジンに支障をもたらす。

ガスシール部に面圧を集中すると、エンジンに支障が起り易くなるが、その代表的な現象は、①シリンダボア変形の増幅、②シリンダヘッド下面に発生するブリネリング（圧痕）の拡大、③シリンダライナの陥没である。

シリンダボア変形は、ガスケットの装着により増幅する。ボア変形の増幅はシリンダからのオイル上がりやスカuffingの原因になるので問題となるが、最近、軽量小型エンジンにおいて、ピストンおよびピストンリングの摺動抵抗を軽減させ燃費向上を図る手段の一環としてボア変形を低減しようとする動きがある⁶⁾。何れにしてもボア変形増幅の抑制は、ガスケット設計において重要項目の一つである。

ブリネリングとは、エンジン運転中、ヘッドリフトの上下運動による繰り返しの衝撃荷重によってガスケットの高面圧部（ガスシール部）が接触するシリンダヘッドの下面やシリンダブロックの上面に発生する圧痕（凹み）である。通常、ガスケットとの接面における高面圧部のシリンダヘッド下面に生じることが多い。ガスシール部に面圧を集中すると、ブリネリングが発生する可能性が高くなるが、ブリネリングは深くなるとシール性を悪化させる²⁾。使用したエンジンのガスケット装着面を調査して見ると、ブリネリングが深さ20~30 μm 以上になるとガス漏れの痕跡であるカーボンの付着が認められている。

シリンダライナの陥没の増大は、ガス漏れに直結するので重大である。ライナの陥没要因は種々あるが中でも、ガスケットのガスシール部に面圧を集中するとライナの陥没が大きくなる。陥没量はライナの嵌め込み形式などにより異なるが、最大値で0.2~0.4mm である。湿式ライナではトップデッキからの突出量が0.07~0.10mm 程度であるので、通常の陥没量ではシール性には影響は少ない。一方、乾式ライナ（スリーブ）ではトップデッキは平坦に仕上げられているので、陥没がシール性に及ぼす影響は大きい。図12にアルミシリンダブロックエンジンの例を示したが、陥没量は最大燃焼圧力が大きくなると、増加する傾向を示す。これは燃焼圧力の上昇によりヘッドリフトが増大して、スリーブの頭部に掛かる動圧（繰り返しの衝撃荷重）が大きくなるためと考えられる。



陥 没 量

エンジン	ガソリン	ディーゼル	
	1.4L、4Cyl.	1.3L、4Cyl.	1.5L、4Cyl.
最大燃焼圧力	8	15	18 MPa
Aタイプ	15.8	30.1	40.1 μm
Bタイプ	12.0	26.2	31.2

図12 アルミシリンダブロックエンジンにおけるスリーブの陥没例

6. お わ り に

ヘッドガスケットは、エンジンの発達を支えてきた重要な部品の一つであるにも係らず、その存在感が低いので、エンジンとともにどのように発展し、どのようにエンジンの高性能化に対応してきたか、また、ガスケットが単にシール性能の向上のみではなく、エンジンにもたらす弊害についても考慮すべき問題点があることを総括してまとめた。今後も高性能化するエンジンに対応するガスケットには、さらに高度なシール機能が要求されるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 高 行男, 宇田川恒和, エンジン高性能化におけるシリンダヘッドガスケットシーリングの問題点, 中日本自動車短期大学論叢, 第38号, P.1-17 (2008)
- 2) 宇田川恒和, 高 行男, ディーゼルエンジンのP max 上昇によるヘッドガスケットシーリングへの影響とその対応, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.41, No.6, P.107-113 (2006)
- 3) 宇田川恒和, 高 行男, シリンダヘッドの変形によるガスケットシーリングへの影響とその対応, 日本マリ

ンエンジニアリング学会誌, Vol.42, No.5, P.122-128 (2007)

4) 宇田川恒和, 自動車用ヘッドガスケットの現状, 自動車技術, Vol.33, No.10, P.872-879 (1979)

5) 宇田川恒和, 高 行男, 軽量小型エンジンのシリンダヘッドガスケットによるボア変形の増幅とその抑制, 日本陸用内燃機関協会, LEMA, No.493, P.13-21 (2008)

6) 宇田川恒和, 高 行男, ヘッドガスケットのガスシール部面圧調整によるシリンダボア変形の抑制, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.2, P.111-116 (2008)