

高シール性発泡ラバーガスケット材料の開発

Development of High-sealing Foamed Rubber Gasket Material

村上 康 則*

Yasunori MURAKAMI

青 木 琢 也*

Takuya AOKI

吉 田 潤 平*

Junpei YOSHIDA

山 口 淳 生**

Atsuo YAMAGUCHI

要 旨

自動車の内燃機関用ガスケットとして、優れた圧縮復元特性と粗面吸収性を特徴とした高いシール性と耐久性の両立を目的としたガスケット材料を開発した。発泡ラバー材料に着目し簡易的な締結構造においても高いシール性を発揮するガスケットの研究を行い、発泡ラバー材料の気泡形態を独立微細構造としベースラバーの材料組成、添加剤配合を最適化することにより、既存のガスケット材料に対し低面圧領域でのシール性を大幅に向上したガスケットを商品化した。本ガスケットをエンジンの吸気系部位に用いることにより締結構造の合理化が図れた。

ABSTRACT

For automotive engine sealing applications, a high-performance durable foamed rubber gasket material was developed. This material contains air vessels, which have superior characteristics, such as high compressibility, and conformity to rough surfaces. To achieve durability and reliability performance for engine sealing applications, separate and minute air vessels were incorporated into the material. Additionally, the base components, as well as the additives, were optimized, to achieve the necessary performance. The foamed rubber gasket material is superior to conventional material in the area of sealing rough surface with less torque. a simplified fastener seal structure was realized, by applying the foamed gasket material to the engine air intake system.

1. まえがき

自動車用内燃機関の普遍のニーズである軽量化、コンパクト化、低コスト化が近年急速に進んでいる中、各自動車メーカーにおいては吸気系部品を中心に構造材料を従来のアルミニウム合金から樹脂材料、マグネシウム合金等に置換し、さらに部品のモジュール化を行い軽量コンパクトなエンジンを商品化してきている。このような背景の中、吸気系の締結シール構造部においては、被締結体フランジ部の剛性低下、締結ボルト本数の削減、ボルトサイズのダウン、さらにはシール面の平坦度低下、粗面化と、従来用いられてきたガスケット材料であるラバーコートメタル(以下 RCM)、ジョイントシート、成形ゴムリング等では必要なシール性を確保できない領域が発生し始めており、より低い締結面圧でシールが可能な材料が望まれている^{(1)~(3)}。

そこで著者らは、高い圧縮復元性を有する発泡材料を用

いることにより、既存のガスケット材料の弱点である低面圧シール性の向上を図ったガスケット材料の開発を行った。

2. シール性の決定要因

2.1. シール性の特性要因解析

一般に、ある任意の締結状態において、シール可能圧力は下記実験式(1)により導かれることからシール性を向上させるためには、ガスケット係数、面圧、面粗度を向上させるという手法がある。

$$\text{シール可能圧力} = k \times \rho \times \exp(p \times r) \quad (1)$$

k : ガスケット係数

ρ : シール媒体粘度

p : 面 圧

r : 面粗度

※ 栃木研究所

※※HONDA R&D EUROPE (U.K) LTD

(開発当時: 栃木研究所)

これらシール性の決定因子を更に分解すると、Fig.1に示すようにシール面状態、締結力、締結面のフランジ剛性、およびガスケットの材料特性から構成されている。シール性を高めるには、これら因子の何れか一つを向上させれば高性能化は可能となるが、既存技術では各因子のどれを改良しても、目的であるエンジン部品の軽量化、低コスト化には逆行してしまう。

したがって、シールが必要な系のシール性と軽量化、低コスト化の両立を考えた場合、ガスケット特性中の圧縮復元性の向上と、シール面に対するなじみ性の指標である表面硬さを低くすることによりガスケット自身のシール性を向上させ、フランジ板厚(剛性)とボルト本数(締結力)の低減、および面加工の省略によるシール性の低下を補完して軽量化、低コスト化を成立させる手法が望ましい。

具体的には、近年のエンジン吸気系部品を中心とした樹脂、マグネシウム合金等への材料置換による締結部のシール機能低下に対し、高い圧縮復元特性を有し表面硬度が低く十分な耐久信頼性を持つ高性能なガスケットが適用できれば、軽量化と締結構造の合理化、低コスト化、およびシール性の確保が可能となる。

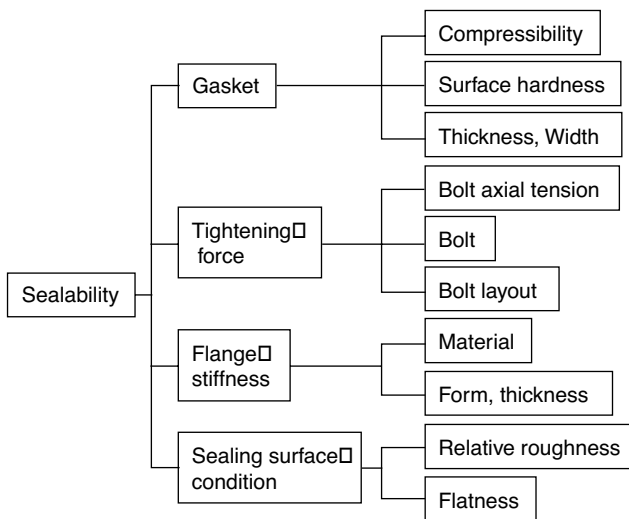


Fig.1 Sealing performance factor analysis chart

2.2. ガスケット材料の圧縮復元特性向上

自動車エンジン用ガスケット材料として、低硬度かつ高い圧縮復元特性を有するものを選定する場合、NBR、FKMに代表される耐熱ラバーが現在最も実績がある材料である。著者らは、さらにこのラバー材料中に意図的に空隙を設け、ラバー弾性と気体弾性を複合化することで、より高い圧縮復元特性を得る手法を選択した。この構造は一般には発泡ラバーと呼ばれるもので、家電製品の制振材や間隙充てん材として広く用いられている。

Fig.2に発泡ラバーの単一気泡を想定した圧縮復元特性の評価モデルを示す。フランジ面を模した2枚のアルミニウ

ム合金製の円盤の間に筒状のラバーを挟み、内部の気体の種類、圧力を任意に操作できるように作製したものである。このモデルによりラバーと気体の圧縮特性を Table 1 に示す条件で評価した。

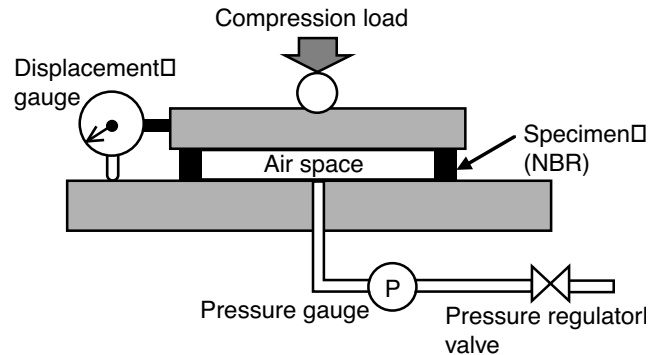


Fig.2 Compressibility evaluation model

Table 1 Compressibility test condition

Specimen specification	
Diameter	40.0 mm□
Thickness	6.0 mm□
Material	NBR
Rubber hardness	60 Hs
Compression speed	0.1 mm/min

Fig.3に示すように、ラバー単体の圧縮特性に比較して気体は低い圧縮面圧でも高い圧縮性を示した。特に面圧 5 MPa以下の領域ではラバーに対し気体は2倍以上の圧縮性を有している。

また、Fig.4はラバーに気体を複合化させた単一系モデルで、空隙の容積を変化させることにより気体の含有率に対する圧縮特性の挙動を確認した結果である。気体の含有率

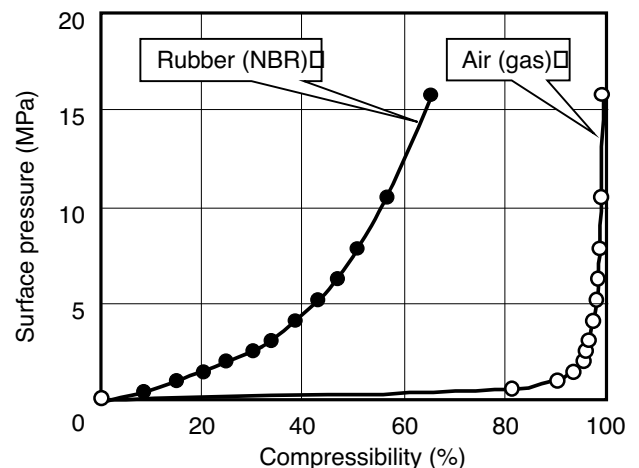


Fig.3 Comparison of compressibility between rubber and air

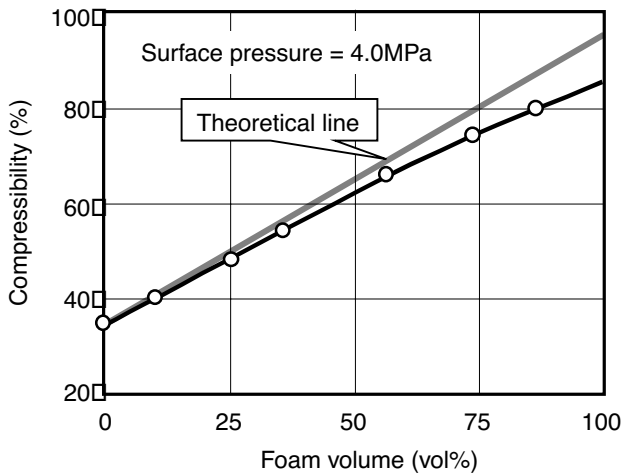


Fig.4 Relationship between volume function of air and compressibility

の増加に伴い、ほぼ理論通りに圧縮性も向上した。

以上より、ラバーと気体の複合化がシール性の向上因子である低硬化化と高圧縮性を向上させる手段として合理的であり、体積当たりの気体の比率が高いほど圧縮性がよいことがわかった。

次に著者らは、ラバーへの気体の固定化において、その形態により圧縮特性がどのように変化するか、外気と連続している系および密閉(独立)している系の2種類について確認を行った。試験方法としては、Fig.2に示したラバー試験片の空間につながる通路バルブを開閉することにより、連続系と密閉系のモデルとした。この結果をFig.5に示す。気泡形態が連続系と密閉系では復元性に顕著な差が生じ、密閉系の気泡形態の方が1.5倍程度復元率が高くなる。これは密閉系の場合気体が外部へ流出しないため気体弾性が復元力として付加されたためである。

以上のことより、ラバーへの気体の複合形態としては連続系に比較して密閉系(独立タイプ)の方が高い復元性をも

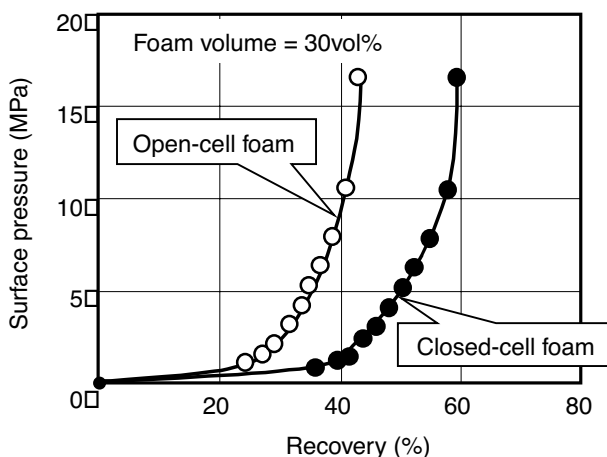


Fig.5 Relationship between foaming cell shape compressive recovery

つことから高い耐圧シール性が確保でき、ガスケット材料としては優れている。

3. ラバーの発泡組織化

ラバーの発泡法としては、化学発泡法と称されるアゾジカルボンアミドに代表される熱分解性発泡剤をラバー中に添加し、加熱処理により発生する N_2 、 CO_2 等のガスによってラバー中に気泡を分散させる方法が一般的である。この方法は発泡構造を得ることが比較的容易であり、製造された発泡ラバーの組織は気泡が互いに連続した100~500 μm の比較的大きな気泡構造を持つ。化学発泡法による発泡ラバーの断面写真をFig.6(a)に示す。

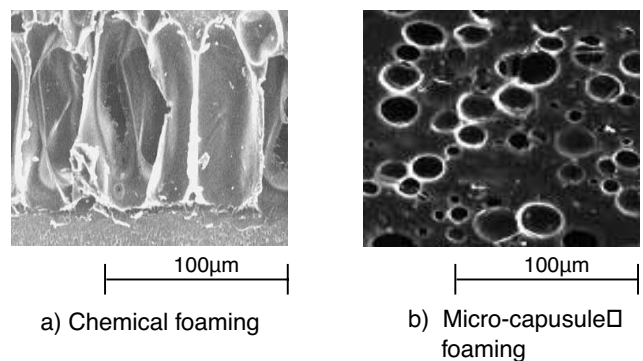


Fig.6 Cross section pictures of foamed rubber

この発泡ラバー材のシール部品としての適合性を検証すると、Fig.4で期待された高い圧縮特性は得られるものの、気泡が連続しているためFig.5のように高い復元性を得ることが困難であり、且つシール媒体が気泡を通じ浸透し、やがては漏洩に至るというガスケット材料としては致命的な欠点を持つことがわかった。

そこでこれらの短所を補うべく、比較的小さな気泡を互いに独立した状態でラバー中に分散させることが可能なマイクロカプセル発泡法を採用することとした。この発泡法は、塩化ビニリデンのカプセル被膜中に常温では液体の低沸点炭化水素を封入し、加熱によって気化、膨張させ発泡ラバーを得る方法である。この方法ではFig.6(b)に示すように最小で20 μm 程度の微細な独立した気泡組織を持つ発泡ラバーが製造可能である。Fig.7に示すように、マイクロカプセル法による独立気泡型の発泡ラバーは連続気泡型の発泡ラバーに対してより高い復元率を得ることができる。一方マイクロカプセル法の欠点として、カプセル被膜の耐溶剤性が低いためラバーとの混練が難しく、また発泡条件によっては期待する発泡物性が得られない等の製造が難しい点がある。したがって、高いシール性と耐久性を併せ持つガスケット材料を安定的に得るため、マイクロカプセル法を用いた発泡ラバーガスケットについて以下のように材料仕様を設定した。

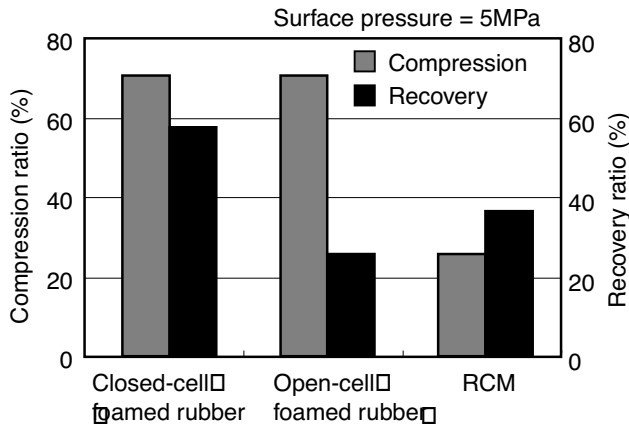


Fig.7 Compression characteristics of foamed rubbers

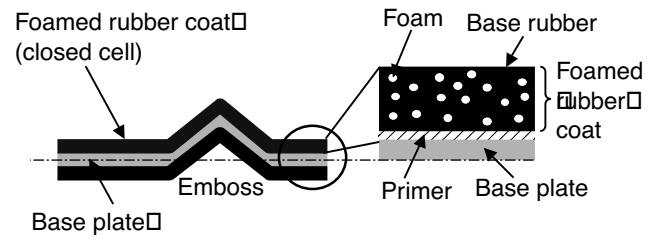


Fig.8 Schematic drawing of foamed rubber gasket

Table 2 Foaming test conditions

Foaming temperature	150°C
Foaming time	30 min
Micro capsule content	10 PHR

4. 発泡ラバーガasketの材料仕様

4.1. 発泡ラバーガasketの構成要素

マイクロカプセル法を用いた発泡ラバーガasketは Fig.8に示すような構造をしており、シール性を決定づける主要な構成要素としては、Fig.9に示す気泡構造、ベースラバー、基材、等のパラメータが挙げられる^{(4)~(5)}。これらの項目について高性能ガasketを得る為の最適仕様を見出した。

4.2. ベースラバーの性状

マイクロカプセルを用いた発泡ラバーの場合、ベースラバーのムーニー粘度に発泡物性が大きく左右される。Fig.10に示すように、ラバーのムーニー粘度が 50Poise 以下の領域では良好な発泡挙動を示し、それ以上に粘度が高くなると発泡性は急激に低下する。

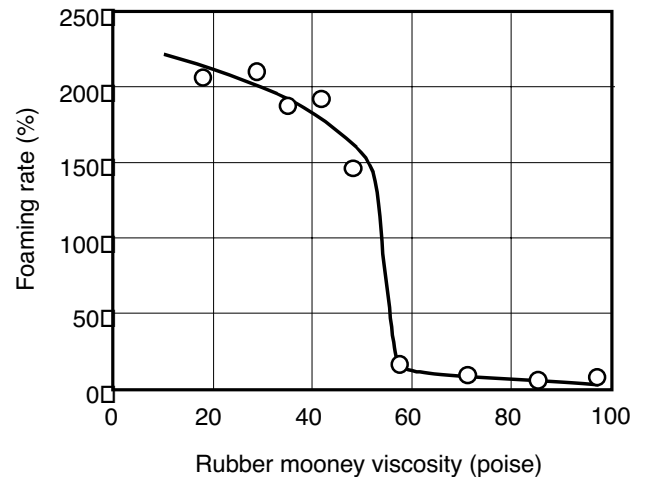


Fig.10 Relationship between rubber mooney viscosity and volume function of foaming

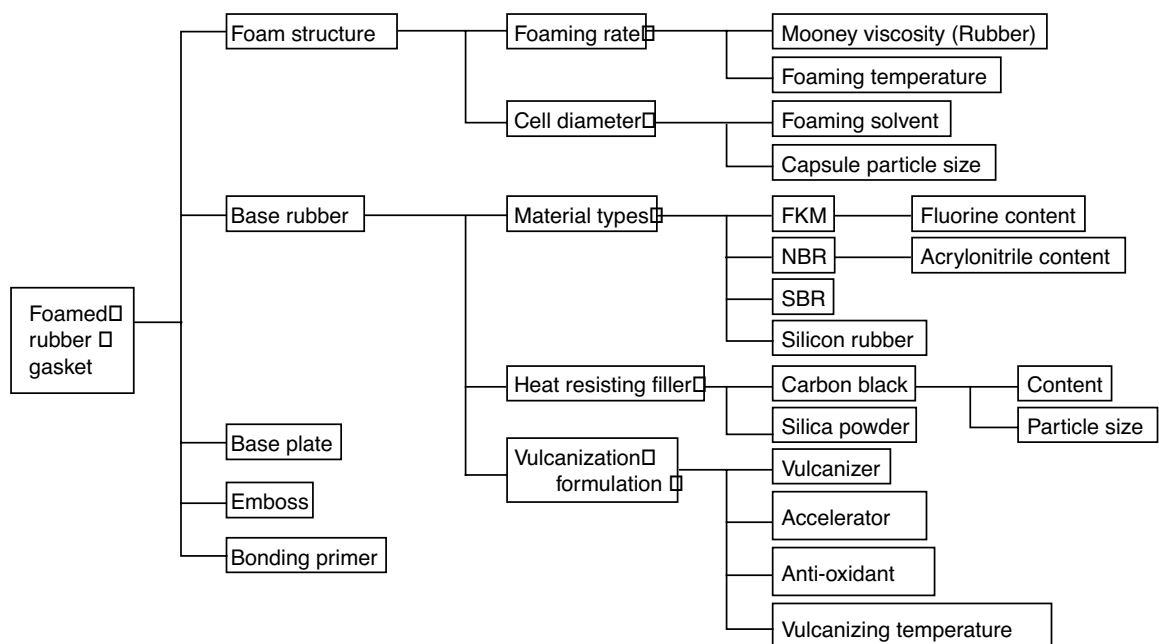


Fig.9 Component parts drawing of foamed rubber

4.3. 発泡処理の条件

良好な発泡状態を得るためには、Fig.11 に示すようにベースラバーの加硫硬化が開始する温度以下でマイクロカプセルの膨張が起らなければならない。

そのためマイクロカプセルの封入溶剤(低沸点炭化水素)とラバーの加硫処方とを吟味し発泡処理温度を設定する必要がある。

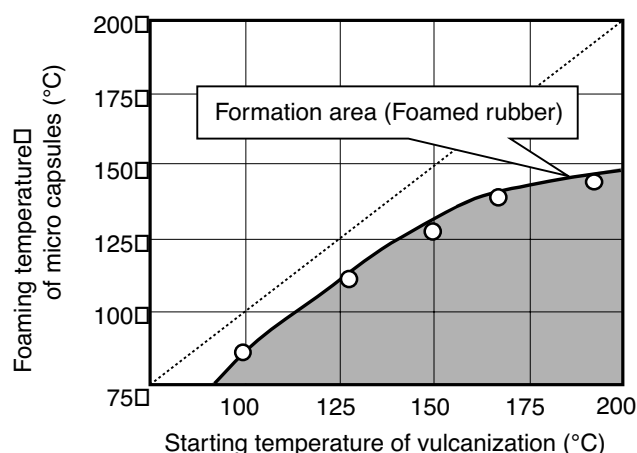


Fig.11 Possible area of foamed rubber production

4.4. ベースラバーの仕様設定

ベースラバーの設定はガスケット部品として使用される環境を考慮し選定する必要がある。代表例としてラバー材料の中で耐熱性、耐燃料油性に優れたフッ素ゴムについて述べる。発泡ラバーガスケットの骨格素材となるベースラバーに求められる特性として、気泡構造の保持がある。そのためベースラバーには高い耐久信頼性が必要となる。

Fig.12 にベースラバー(フッ素ゴム)の耐久性の指標である圧縮永久ひずみ特性を示す。フッ素ゴムの場合、含有フッ素量を増やすことにより圧縮永久ひずみは減少傾向を示し、

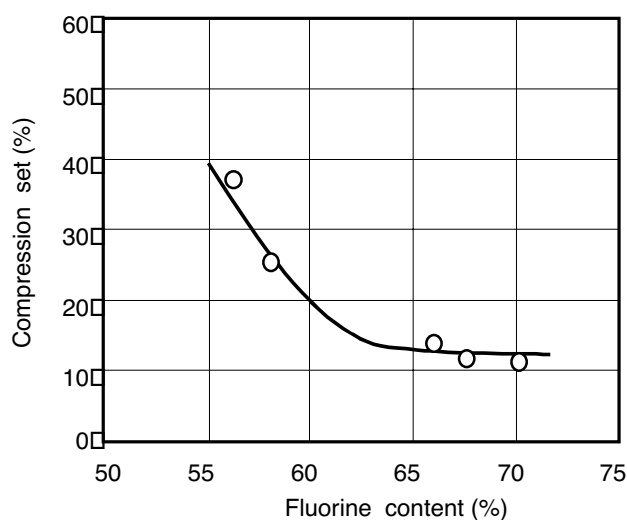


Fig.12 Relationship between fluorine contents and compression set

フッ素含有量 65%以上にすることで圧縮永久ひずみを低く抑えることができる。

次にベースラバーの耐熱性を決定するもう一つの因子である、カーボンブラックの添加特性の結果をFig.13に示す。基本的にカーボンブラック添加量の増加に伴い圧縮永久ひずみは低くなり、60PHR以上の添加量で安定した耐熱性を示す。

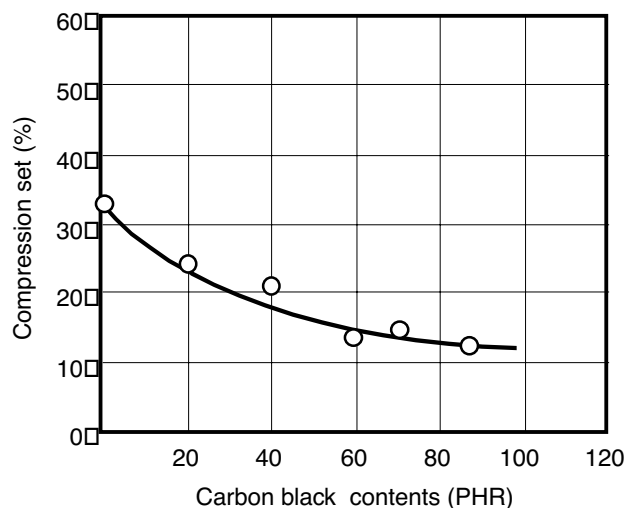


Fig.13 Relationship between carbon-black contents and compression set

4.5. 気泡組織の仕様設定

以上の様にして得た、発泡ラバー材料をガスケット部品として設計するにあたって、発泡ラバーの気泡組織を中心とした材料仕様とシール性能との関係を調べた。発泡ラバーの特性決定因子としては、発泡倍率、気泡粒径、ラバー膜厚の3点が挙げられ、シール性の指標となるシール可能圧力と、耐久性指標となる圧縮永久ひずみを Table 3 の試験条件によって評価した。それぞれの結果を Fig.14 から Fig.16 に示す。

Table 3 Components of foamed rubber and sealing test conditions

Base rubber□	FKM (F content=65%)□
Carbon black content□	60PHR□
Foaming type□	Closed-cell□
Foaming temperature□	150°C□
Vulcanizing temperature□	250°C□
Foaming rate□	120% (basic)□
Particle size of foam□	25μm (basic)□
Thickness□	80μm (basic)□
Seal test conditions□	Surface pressure=0.5MPa□ Sealing temp=-30°C□
Compression set□ test conditions□	Heating temp=120°C□ Holding time=24hr□

発泡倍率(Fig.14)によるシール性と圧縮永久ひずみの関係は発泡倍率が高い程シール性は良好となり、逆に圧縮永久ひずみは悪化する。気泡径(Fig.15)においては粒径が大きい程シール性は良好となり、逆に圧縮永久ひずみは悪化する。また膜厚(Fig.16)とシール性、圧縮永久ひずみの関係は膜厚が厚い程シール性は向上し、逆に圧縮永久ひずみは悪化する。

以上のように、発泡ラバー層の特性を決定するどの因子

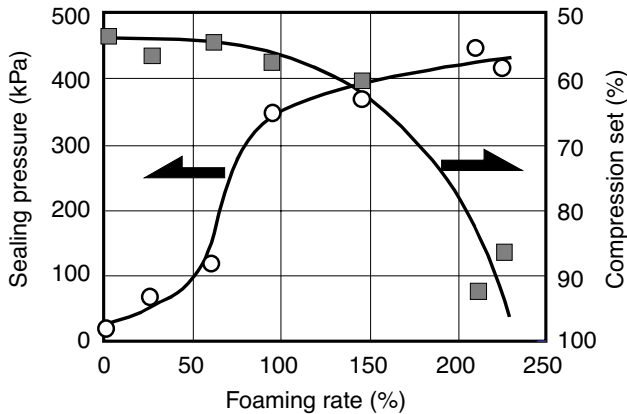


Fig.14 Optimization of foaming volume compared to sealing performance and compression set

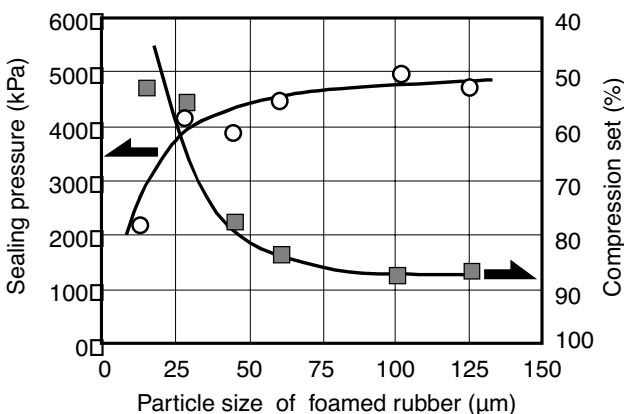


Fig.15 Optimization of particle size compared to sealing performance and compression set

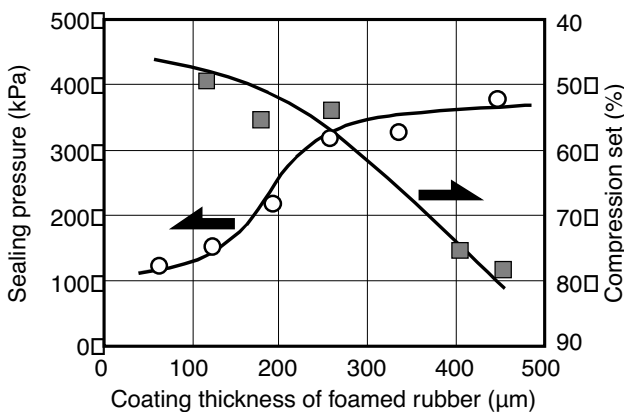


Fig.16 Optimization of coating layer thickness compared to sealing performance and compression set

においても、シール可能圧力(シール性)と圧縮永久ひずみ(耐久信頼性)はトレードオフの関係にあり、最適値が存在することが確認できた。

5. 発泡ラバーガスケットのシール性

5.1. 低温シール性

発泡ラバーガスケットのシール性については、自動車エンジン用という用途を考慮し、始めに低温時のシール性を評価した。一般にゴム材料を用いたガスケットの場合、低温環境においてはゴム材料の硬化によってシール性は低下する⁽⁶⁾。しかしながら、本開発の発泡ラバーガスケットにおいては、Fig.17 に示すようにこれまで樹脂部品のシールに一般的に適用されている成形ゴムガスケットが -20°C 以下の領域で急激にシール性の低下を起こすのに対し、安定したシール性を確保しており、材料の低硬度化と高い圧縮復元特性を持たせることで同じ基材を用いてもシール性を向上させられることが証明できた。

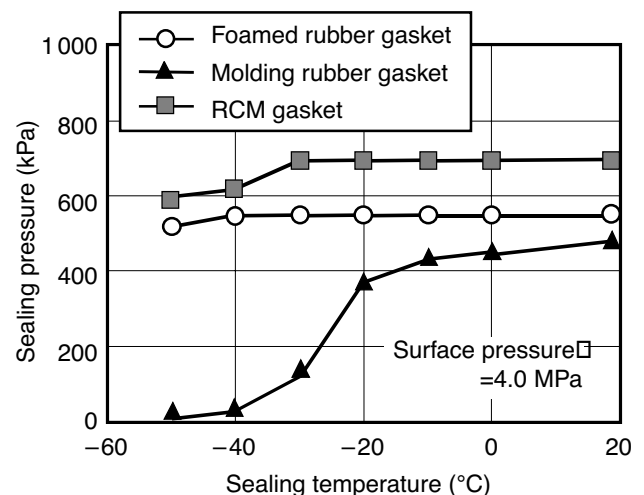


Fig.17 Sealing performance at low temperature

5.2. 低面圧領域のシール性

軽量化、低コスト化等に影響をおよぼすシール性としては、締結力、フランジ剛性の低下にともなう低い締結面圧におけるシール性が挙げられる。この低面圧シール性においては、従来より一般的に適用されている RCM がシール性を失なう。3.0MPa以下の面圧領域においても、発泡ラバーガスケットはFig.18 に示すように4倍以上のシール性を確保しており、最低で 0.5MPa の低面圧領域までシールが可能である。この低面圧シール性の向上によって、例えば Fig.19 の様にインテークマニホールドとシリンダヘッド間のガスケットとして適用した場合、従来では1吸気ポート当たり約 2.5 本(a)の締結ボルトが必要だったのに対し、発泡ラバーガスケットを用いれば 1.5 本程度(b)でシールが可能となる。

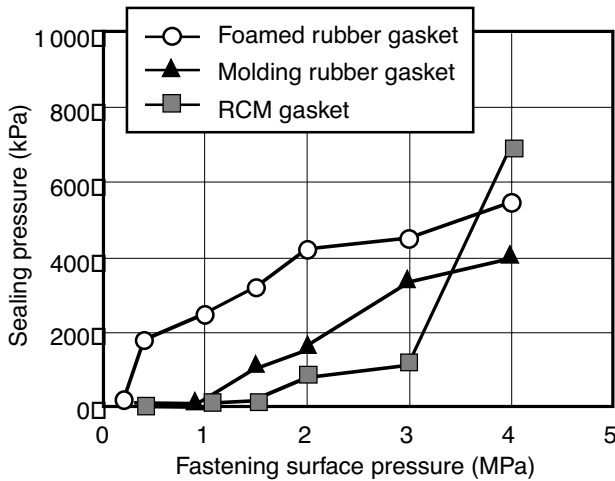


Fig.18 Relationship between fastening pressure and sealing performance

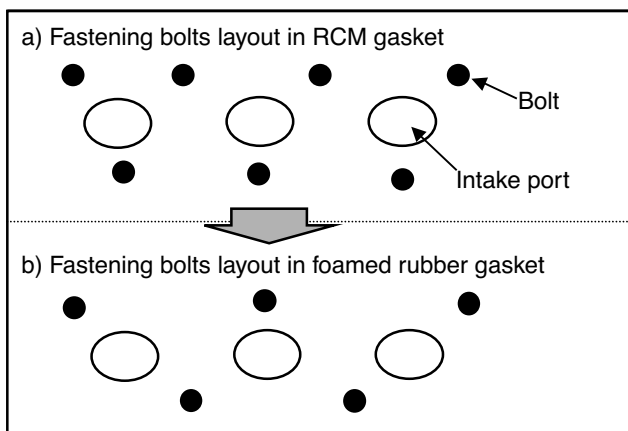


Fig.19 Fastening bolts layout depend on gasket type

5.3. 面粗度，平坦度の吸収性

発泡ラバーガスケットのシールフランジ面の面粗度の吸収性を Fig.20 に，平坦度の吸収性を Fig.21 に示す。面粗度の吸収性においては $R_t=80\mu\text{m}$ までシールが可能であり，これは軽金属合金の鋳肌面に対して無加工で適用可能であることを意味している。

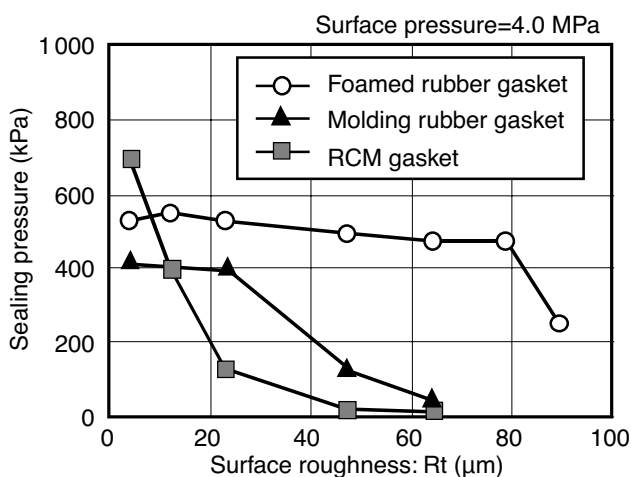


Fig.20 Relationship between surface roughness and sealing performance

平坦度の吸収性においては締結面のクリアランスで 0.6mm までシールが可能であり，これは例えば樹脂部品などの成形時に発生する変形，うねりに対して同じく無処理で適用可能であることを示している。以上のように発泡ラバーガスケットは自動車用のシール部品として非常に優れており，締結シール構造の合理化や低コスト化が可能となる。

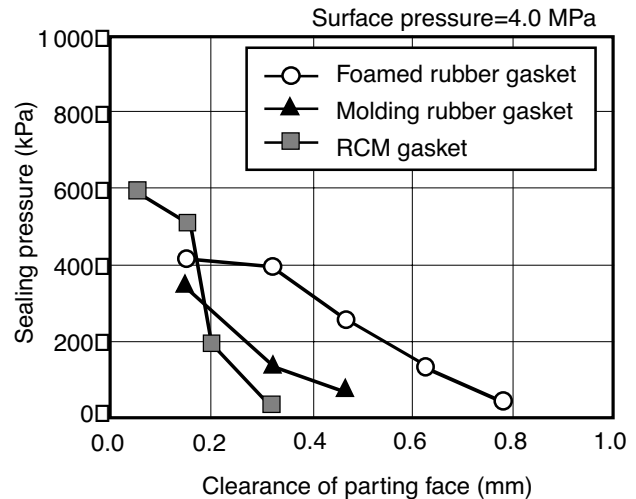


Fig.21 Clearance adaptation of foamed rubber

6. エンジン用ガスケット部品への適用事例

以下に，自動車用エンジンの吸気系ガスケットに応用した例を示す。適用部位としては，市販ハイブリッドカーのインサイトに搭載されているエンジンのシリンダヘッドと EGR プレート間および，樹脂製インテークマニホールドのスロットルボデースペースとスロットルボデー間のガスケットである。ガスケット形状としては Fig.22 のように金属薄板基材に発泡ラバーをコーティングした構造となっている。

A) EGR plate gasket



B) Throttle body gasket



Fig.22 Foamed rubber gasket for a engine air intake systems

EGRプレートガスケットにおいてはEGRガスにより130℃までの熱負荷を受けるため、ベースラバーにFKM材を用いている。またスロットルボデーガスケットは、熱負荷が100℃以下と比較的低いためベースラバーにNBR材を適用している。各ガスケットの仕様詳細についてはTable 4に示しておく。

Table 4 Fomaed rubber gasket specification

Gasket□	EGR plate gasket□	Throttle body□ gasket□
Base rubber□	FKM□ (F content=65%)□	NBR□ (AN content=40%)□
C.B content□	60PHR□	40PHR□
Foaming type□	Closed-cell□	Closed-cell□
Foaming rate□	120%□	120%□
Foaming size□	25μm□	25μm□
Thickness□	50μm□	100μm□

本エンジンでの締結シール仕様において、既存ガスケット材料であるRCMで設計した場合、2層以上の多板化が必要であった。これを発泡ラバーガスケットに置換することにより、EGRプレートガスケットでは単板化、EGRプレート薄肉化、締結ボルト本数削減が、また、スロットルボデーガスケットでは同様にガスケットの単板化、プレート薄肉化が可能となった。

またエンジン実機を用いた耐久試験においても発泡ラバーガスケットのシール性能の消失はなく、耐久試験終了後のガスケットにおいても、シール可能圧力が150kPa以上と十分な耐久信頼性を有していることが証明できた。

7. まとめ

自動車内燃機関のシール部品として適用が可能な高圧縮復元性、低表面硬度の独立気泡型発泡ラバーガスケットを開発した。本開発の発泡ラバーガスケットは、従来のガスケット(RCMガスケット、成形ラバーガスケット)に対し、低面圧シール性に優れ、かつ低温、粗面シールにおいても高いポテンシャルを有している。この発泡ラバーガスケットの高いシール性を利用して、締結ボルト本数の低減、シールフランジ部の薄板化、シール面の無加工化等の締結シール構造の合理化が可能になることが証明できた。

今後更に自動車用内燃機関の軽量、低コスト化は進展すると推測され、それにともなう樹脂材料、マグネシウム合金等の新部品のシールに、発泡ラバーガスケットは有効なシール手法になると考えられる。

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力を頂きました日本リークレス工業(株)の田中明氏、三角憲史氏ならびに関係者の方々に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 中出 幸：最近のシール材の傾向と今後の課題，工業材料，第31巻，5号，p.17-21 (1983)
- (2) 本田紀将：河内正治，フッ素樹脂・フッ素ゴム系シール材，工業材料，第31巻，第5号，p.35-41 (1983)
- (3) 幸田忠志：自動車用ゴム部品の信頼性と評価，日本ゴム協会誌，第55巻，11号，p.31-39 (1982)
- (4) 里川孝臣：ふっ素樹脂ハンドブック，ふっ素ゴム編，東京，日刊工業新聞社，1990，p.545-611
- (5) 森 洋二，西端修司：耐油性ゴムの特性と配合設計，日本ゴム協会誌，第58巻，3号，p.66-74 (1985)
- (6) 荒木義男：ふっ素樹脂の性質とそれらの新しい応用，バルカーレビュー，第20巻，12号，p.9-16 (1977)

■ 著 者 ■



村上 康 則



吉田 潤 平



青木 琢 也



山口 淳 生