

## UV-Cured-In-Place Gasket (紫外線硬化型現場成形ガスケット)

### はじめに

スリーボンドは産業界の洩れを止めるという使命により創業した会社であり、1955年に日本で最初に液状ガスケットを上市いたしました。

現在では、輸送、電気電子の広範な市場において、自動塗布設備とともに FIPG工法 (Formed-In-Place Gasket) として広くご採用いただいております。

また液状ガスケットには、塗布・硬化後組み付けてシールするCIPG工法 (Cured-In-Place Gasket) もあり、固形ガスケットとFIPG工法の特長を合わせもっております。

本稿では、CIPG工法の概要と高性能を求めて開発した製品をご紹介します。

### 目 次

はじめに	1	5.材料特性	4
1.背景	2	5-1 硬化性	4
2.シールメカニズム	2	5-2 シール特性	5
3.各工法での工程比較	3	5-3 耐久性	5
4.CIPG評価	4	6.フランジ設計留意点	6
4-1 耐圧性	4	6-1 フランジ設計	6
4-2 圧縮永久歪み	4	6-2 フランジ設計例	7
		7.使用用途	7

## 1.背景

ガスケットとは、JIS によれば「管または機器の接合面にさし挿み、ボルトその他の方法で締め付けることにより、接合部からの洩れを防止する目的に使用する諸物」と規定され、図-1に示すように使用されます。

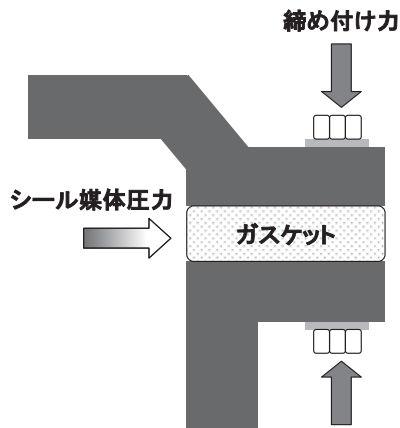


図-1 ガスケットの基本シールメカニズム

ガスケットは、自動車、電気電子部品等様々な市場で使用されており、シールする媒体も、潤滑油、作動油から水、ダストなど多岐にわたっております。またガスケットは、その性状より固形ガスケットと液状ガスケットの2種類に大別されています。

従来より、フランジ面のシールには、固形ガスケットが広く採用されておりますが、近年、その使いやすさから液状のガスケット（FIPG工法）が、固形ガスケットに代わるシール工法として幅広く使用されております。しかし、一般的に使用されている湿気硬化型のFIPG材料では、完全硬化まで時間を要するといった課題も残っております。

そこで、より短時間で安定したシール機能が得られるよう、液状のガスケットをフランジ面に塗布し、硬化させてから組み付けるCIPG工法が考案されました。

当初のCIPG材料は、加熱硬化形態が用いられており加熱炉での硬化を必要としておりました。その為ワークサイズが大きいものに対しては長時間の加熱硬化工程を必要とすることと、材質面においても硬化時の熱に充分耐えうるものを選定する必要が生じる点などから、なかなか実用化されないという問題をかかえておりました。

そこで紫外線硬化に着目し、短時間で硬化し、熱に弱い部材にも悪影響を及ぼしにくい紫外線硬化型CIPG材料（UV-CIPG）を開発致しました。

本稿では、UV-CIPGのシール工法及び材料特性について紹介いたします。

## 2.シールメカニズム

ガスケットのシールメカニズムは、圧縮シールと接着シールに大別されます。

図-2に示すようにCIPGや固形ガスケットは、締め付けられることにより、ガスケット自身の圧縮反力が生じ、洩れを防ぎます。

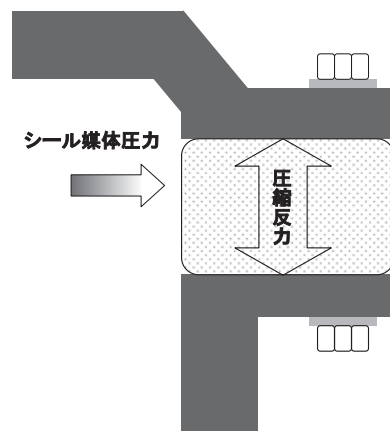


図-2 CIPG、固形ガスケットのシールメカニズム

一方、FIPGは、液状であるため接合面の凹凸を充填する効果があります。また図-3に示すように接合面と接着することと、硬化後のガスケット自身の凝集力により洩れを防ぎます。

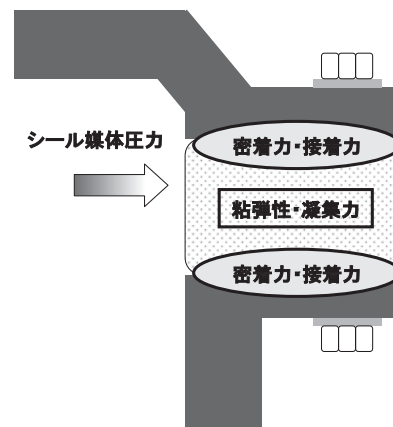


図-3 FIPGのシールメカニズム

### 3.各工法での工程比較

各ガスケットの工法について比較します。  
各工法は、その特徴の違いにより異なった工程になります。

CIPGは、液状のシール剤をフランジ面に塗布し、一般的には加熱により硬化させて、組み付けます。なお今回ご紹介するUV-CIPGは、紫外線硬化型であり、紫外線を数秒～数十秒照射することで硬化させることができます。図-4は、紫外線或いは加熱硬化材料を用いた場合の工程を示しています。

FIPGは、液状のシール剤をフランジ面に塗布し、未硬化の状態で作業を組み付けます。その後シール剤が硬化するまでの養生時間が必要です。

固形ガスケットは、あらかじめワーク形状ごとに成形された固形ガスケットをはめ込み、組み付けます。

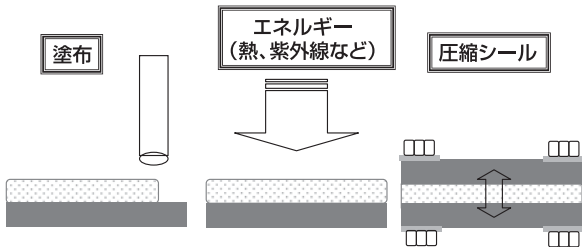


図-4 CIPGの工程イメージ図

このように各工法・工程には、長所・短所があります。今回ご紹介するUV-CIPGを基準とし、他の工法との比較を表-1に示します。

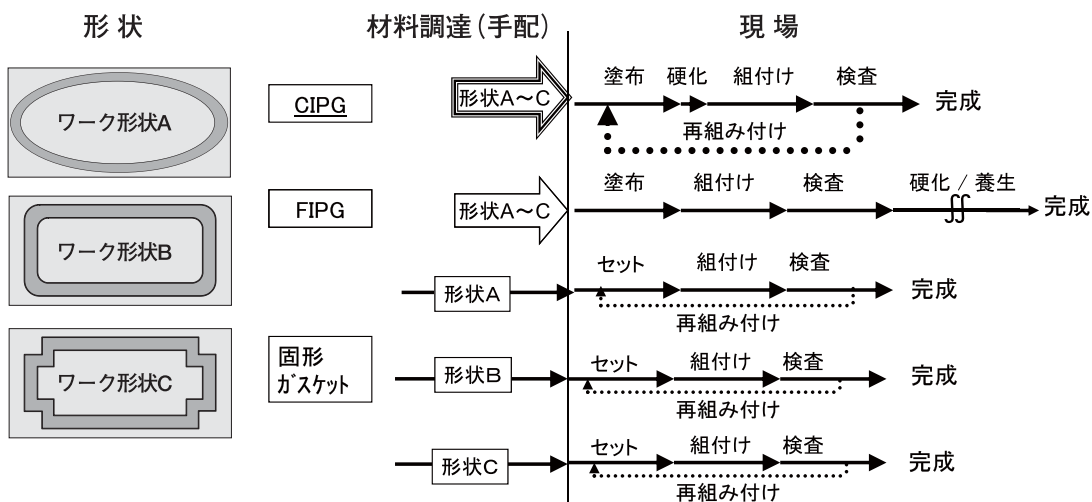
表-1 各ガスケット工法比較

		液状ガスケット		固形ガスケット
		CIPG	FIPG	成型
手法		紫外線硬化	湿気硬化	成型
シール		圧縮シール	両面シール	圧縮シール
工程速度	硬化速度	○	△	◎
ライン構成	自動化	○	○	△
	管理面	○	○	△
設計自由度	形状変更	○	○	△
	取り外し性	○	△	◎

各項目に対してUV-CIPGの性能を基準値とし:○:◎優れる ○:同等 △:やや劣る

- 固形ガスケットに対するメリットは、
- ・自動化がはかれるので、人件費が抑えられる。
  - ・ワーク形状変更に対応できる。
  - ・ワーク形状毎の在庫管理が不要。
- FIPGに対するメリットは、
- ・UV硬化であるので、硬化時間の短縮化。
  - ・取り外しが容易（ワークのリユースが可能）です。

図-5に各ガスケット工法の材料調達から組み立て完成までの工程を模式化しました。UV-CIPGの工程が最も短いことがわかります。これは、材料手配の簡便さと現場工程の短さから得られます。



※ ... 検査が不合格などの場合においてワークの再組み付けが可能の意味。

図-5 各ガスケット工法の工程時間

## 4 CIPGの評価

ここで、CIPGの評価方法について説明します。

### 4-1 耐圧性

耐圧性は、図-6 に示すモデルフランジを用いて確認します。

圧縮率は、スペーサーにて管理し、また最大圧力は、0.4MPaにしました。

その他条件は以下の通りです。

※モデルフランジ：フランジ外形：70mm,フランジ内径：56mm、フランジ幅：7mm

※加圧媒体：空気

※昇圧条件0.01MPa/15secにて昇圧



図-6 耐圧試験用フランジ

### 4-2 圧縮永久歪み

圧縮永久歪みは、耐久後のガスケットの歪みを評価するものであり、値が大きい程、ガスケットに歪みがあり、シール性の確保が難しくなることを意味しています。

評価方法は、図-7 に示すような試験片を試験治具にセッシ、圧縮率が一定となるよう、スペーサーを用いて締め付け、所定の条件にて耐久試験を行います。圧縮永久歪みは、耐久前後の試験片の厚みより次式を用いて算出します。

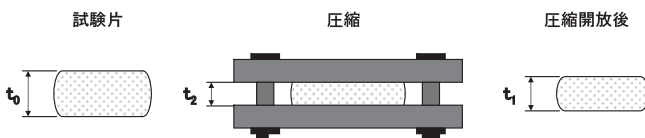


図-7 圧縮永久歪み評価方法

$$Cs = (t_0 - t_1) / (t_0 - t_2) \times 100$$

$C_S$ : 圧縮永久歪み [%]、 $t_0$ : 試験片の元の厚さ [mm]

$t_1$ : 圧縮試験後の試験片の厚み [mm]

$t_2$ : スペーサーの厚み [mm]

(JIS K6262に準拠)

## 5 材料特性

UV-CIPG 用に新規開発されたThreeBond3081J (以下 TB3081J) について説明します。また、UV-CIPGに必要とされる特性についても説明します。

### 5-1 硬化性

CIPG材料の反応機構としてUV、加熱、室温硬化などありますが、速硬化性を有する反応機構としてUV硬化型が好適です。

完全硬化までに湿気硬化は数日、熱硬化は数十分に対してUV硬化は、数秒～数十秒硬化になるの他に比べて速く硬化します。

紫外線硬化の反応機構は、図-8に示します。

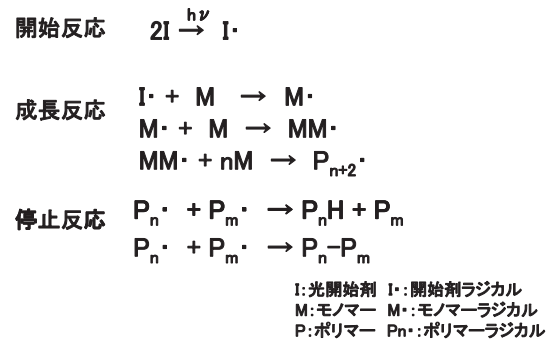


図-8 ラジカル重合の反応機構

紫外線を照射することにより、活性ラジカルが生じ、ラジカル重合が開始されます。

次にTB3081Jの硬化に必要なエネルギー（積算光量）に関する評価結果を図-9,10に示します。

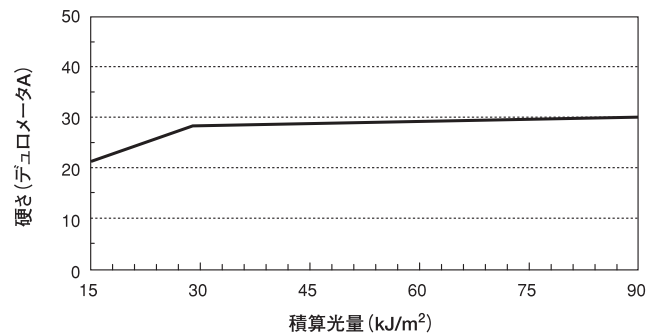


図-9 積算光量と硬さの関係

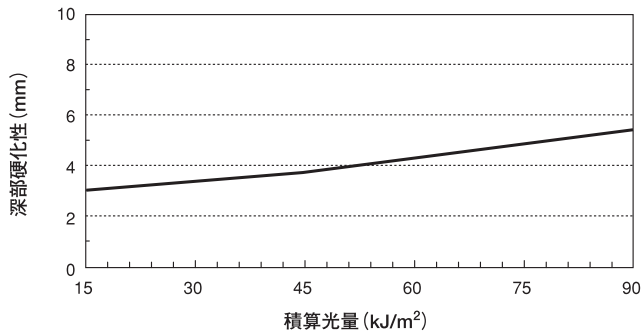


図-10 積算光量と深部硬化性の関係

図-9,10に示すように積算光量がおおよそ45kJ/m<sup>2</sup>以上で安定した特性を示します。またCIPGとして使用するのに十分な深部硬化性を有しております。

### 5-2 シール特性

TB3081Jは、締め付けることによる圧縮反力により、シール性を発揮します。

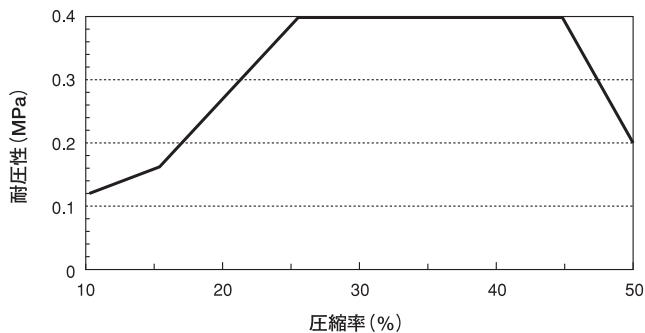


図-11 圧縮率と耐圧性の関係

図-11 に示すようにTB3081Jの耐圧性は、圧縮率と比例して上昇していきますので、製品で必要となる耐圧性が得られる範囲で圧縮率を設定します。但し、圧縮率50%で耐圧性が落ちているようにTB3081J に亀裂や著しいクリープを起こさない範囲で、使用することが重要となります。

図-12 に示すようにTB3081Jの圧縮範囲は、圧縮率別の圧縮永久歪み評価より設定します。

圧縮率20~40%の範囲において圧縮永久歪みが良好であり、この範囲内でTB3081Jを使用することが望ましいです。

※但し、ワーク形状等の条件により適正圧縮範囲は変化します。

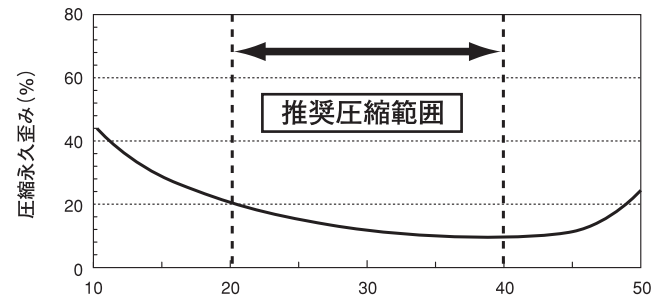


図-12 圧縮率と圧縮永久歪みの関係  
120℃×72h

### 5-3 耐久性

UV-CIPG材料は、使用環境下（耐熱性、耐湿性、耐寒性）において著しい変化を起こさないことが重要です。

使用環境下を想定した耐久評価結果を示します。

#### 【試験内容】

- ① 圧縮永久歪み (25%圧縮)
- ② ゴム物性 (硬さ、伸び、引張強さ)

【硬化条件】積算光量：45kJ/m<sup>2</sup>

#### 【耐久試験条件】

- ① 高温 (120℃)
- ② 恒温恒湿 (85℃×85%Rh)
- ③ ヒートサイクル試験 (-40℃×30min⇔120℃×30min)

TB3081Jは、UV-CIPG材料に求められる圧縮永久歪み(図-13)やゴム物性(図-14~16)において高温、高温高湿、ヒートサイクル試験条件下においても変化が少なく良好な耐久性を有しております。

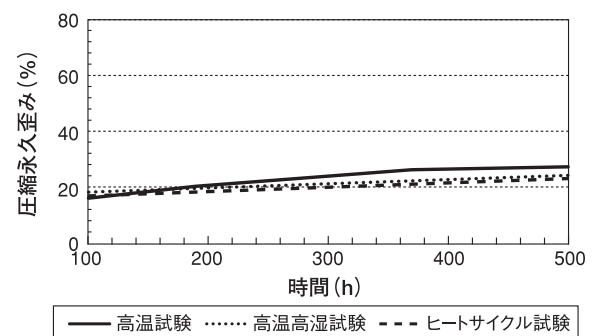


図-13 TB3081Jの耐久性  
圧縮永久歪み 圧縮率：25%

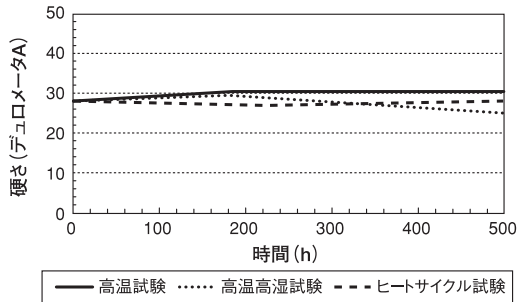


図-14 TB3081Jの耐久性 硬さ

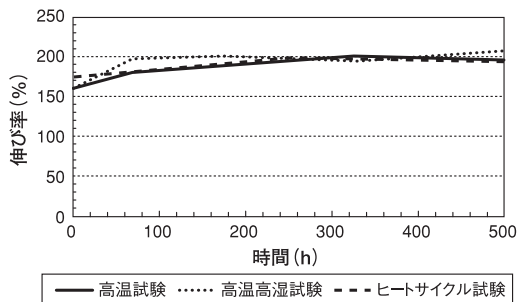


図-15 TB3081Jの耐久性 伸び率

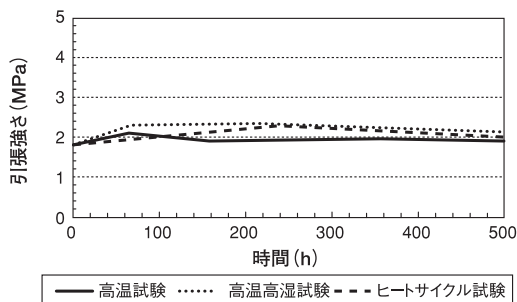


図-16 TB3081Jの耐久性 引張強さ

またTB3081Jのその他の特性値について表-2に示します。ガラス転移点が高いことから高範囲な温度領域で軟質なゴム弾性を有していると言えます。

以上の結果よりTB3081Jは、UV-CIPGとして硬化性、シール性、耐久性などの必要な特性を兼ね備えています。

## 6. フランジの設計留意点

このような特徴をもつUV-CIPGを最適にお使い頂く為には、フランジ設計においても注意が必要です。

### 6-1. フランジ設計

CIPG 工法における最適フランジ形状について表-3に示しました。

シール性と耐久性を考慮し、片壁フランジ形状を推奨しています。

表-3 フランジ形状のCIPG適合性

フランジ形状	名称	CIPG耐久性	耐圧性への影響	塗布性
	片壁形状	◎	◎	◎
	フラット形状	△	○	◎
	溝形状	×	×	×

◎:大変優れている ○優れている △:可能性あり ×:適さない  
※相手フランジ形状は、フラット形状を想定

表-2 TB3081Jのその他物性値

項目	単位	性状・特性	試験方法	備考
外 観	—	淡黄色透明	3TS-201-01	
比 重	—	1.11	3TS-213-02	25℃
粘 度	Pa・s	95	3TS-210-10	2.0s <sup>-1</sup> at 35℃
硬 さ	—	A27	3TS-215-01	デュロメータA
伸び率	%	180	3TS-320-01	
引張強さ	MPa	1.8	3TS-320-01	
厚膜硬化性	mm	3.6	3TS-222-01	
ガラス転移点	℃	-55	3TS-501-05	TMA法

※硬化条件:積算光量:45kJ/m<sup>2</sup>

この構造は、壁部で相手フランジ面と接触するので安定した圧縮率が得られることと、水、オイル、ダスト等からCIPGビードを保護する役割をはたします。また、溝形状は、内部応力を緩和できずにCIPGのビード割れが発生する恐れがあります。

## 6-2. フランジ設定例

図-17 に示すフランジ形状について、モデルケースより壁面高さ、フランジ幅の設定例を紹介します。

- ・ CIPGビードの高さ／幅：2mm／3mm
- ※シリンジ塗布（ノズルを使用）

壁面高さの設定は、耐圧性、圧縮永久歪みが良好な範囲内で設定しますので、下記のようになります。（本設定では圧縮率30%で算出します）

$$\begin{aligned} \text{壁面高さ} &= \text{CIPGビードを30\%圧縮する高さ} \\ &= \text{CIPGビード高さの70\%が壁面高さ。} \\ \therefore &= 2.0 \times 70\% = 1.4\text{mm} \end{aligned}$$

続いて、フランジ幅は、圧縮時にCIPGが壁に触れないようにするため、CIPGビードと壁面の間に隙間を設ける必要があります。

30%圧縮をした際のCIPGビードの横への広がりを考慮し算出すると、片脇およそ0.4mm（図-17）必要となり下記のようになります。

$$\therefore \text{フランジ幅} = 3.0 + (0.4 \times 2) = 3.8\text{mm以上}$$

尚、壁面高さ、フランジ幅とともに実際の設計に際しては、寸法公差（ビードやワーク精度）を考慮する必要があります。

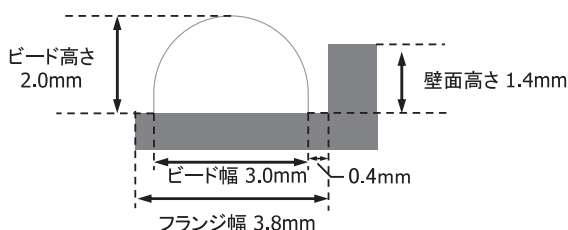


図-17 フランジ寸法例

## 7. 使用用途

- ・ 車載用電装品ケースシール
- ・ 各種電気・電子部品の防水、防塵シール



## おわりに

CIPG工法は、固形ガスケットとFIPG工法の特長を合わせもっております。  
今回ご紹介した UV-CIPG 技術は、速硬化による工程メリット及び広範な温度域で優れた材料特性を有しており、様々な用途展開の可能性があると考えられます。

弊社は、FIPGで長年培ったシール・塗布技術を活かすことで、更なるCIPG技術革新を目指し、お客様にとっての魅力的な「パートナー」として、産業界の発展に貢献していけるよう努めて参ります。

### 〈参考文献〉

JIS B 0116

JIS K 6262

JIS K 6824

「スリーボンドテクニカルニュース No.42」 1994 スリーボンド

「スリーボンドテクニカルニュース No.44」 1995 スリーボンド

「スリーボンドテクニカルニュース No.60」 2003 スリーボンド

「スリーボンドテクニカルニュース No.69」 2007 スリーボンド

株式会社スリーボンド 研究開発本部

開発部 輸送開発課 渡邊 邦幸  
田中 理之



企画 株式会社 URC 編集室  
編集 東京都渋谷区恵比寿1-18-15  
スリーボンドビル2F  
電話 03(5447)5333

発行 株式会社 スリーボンド  
東京都八王子市狭間町1456  
電話 042(661)1333(代)