

## 技術論文

## 建設機械用オイルシールのブリスタ生成メカニズム

## The generation mechanism of blisters formed on oil seals for construction machinery

今野 芳美  
Yoshimi Konno  
川井 仁  
Hitoshi Kawai  
田村 幸雄  
Yukio Tamura  
佐々木 喜代治  
Kiyoharu Sasaki  
村上 満理奈  
Marina Murakami

オイルシールは、オイルの封止および外部からの異物侵入防止のため、回転軸を持ったコンポーネントに使用されている。

オイルシールの不具合の一つとして、シールリップ摺動面近傍にブリスタと呼ばれる円形状の突起物が発生、成長することで生じる油漏れがある。ブリスタについては、従来から生成メカニズムが提唱されており、これまでもそれに基づき都度対策を実施しているが、ブリスタによる不具合は依然として散見される。

今回、ブリスタの抜本的な対策をとるため、実際に車体に取り付け使用したオイルシールに発生したブリスタを体系的に調査した。結果、従来考えられてきたメカニズムとは異なり、ブリスタの生成と成長には、ゴム内部のき裂の生成と進展が深く関わっていることがわかった。

Oil seals are used in components that have a rotating shaft, to keep oil inside and prevent entry of foreign matter.

Blisters are one of the problems found in oil seals. These are round bumps that may form around the sliding surfaces of seal lips. As they grow they will cause oil leakage. Countermeasures have been taken based on the generation mechanism of blisters explained, however, problems of blisters are still found occasionally.

In order to take drastic measures against blisters this time, we systematically investigated blisters which occurred in oil seals actually mounted and used on machines. As a result, unlike the mechanism considered conventionally, it turned out that the generation and growth of blisters are concerned deeply with the generation and growth of cracks inside the rubber.

*Key Words:* オイルシール, ブリスタ, 油漏れ

## 1. はじめに

オイルシールは、オイルなどの液体を封止し、また外部からの異物の侵入を防ぐことを目的として使用されている。

オイルシールは、自動車、産業用機械の回転軸に多く使用され建設機械でも多数使用されている。たとえば建設機械の一種であるホイールローダの場合では、回転軸を持ったコンポーネントとして、図 1 に示すようにエンジン、油圧ポンプ・モータ、トランスファー、アクスルが搭載されており、これらに封入されている様々な種類のオイルをオイルシールが封止している。

オイルシールの構造の一例を図 2 に示す。シールリップ部は、フレキシブルなゴムでできており、機械の振動や密封液体の圧力変動の影響に対し、リップ先端部と軸表面との接触状態を安定した状態に保つ。ばねは、シールリップ部の軸への押しつけ力を高め、その押しつけ力を長期間持続させる働きをする。これらにより、オイルシールは安定した密封作用を保つように設計されている<sup>[2]</sup>。

しかし、オイルシールの密封作用が低下し、コンポーネントからオイルが漏れてしまう場合がある。その際、外部へのオイル流出や、最悪の場合はコンポーネント自身が正常に動作しなくなる可能性があるため、オイルシールには高い信頼性が求められる。

オイルシールの密封作用が低下してしまう要因は、リップの異常摩耗や、リップの反転、リップゴム材の劣化等、様々である。中でも従来から図3に示すようなブリスタと呼ばれるシールリップ先端の大気側に発生する突起物による油漏れの不具合が散見されている。これまでブリスタによる不具合が発生した場合には、シール形状変更やゴム材質変更などで対応してきた。しかし、ブリスタの発生を完全に防ぐには至っておらず、その防止のためにはブリスタ生成メカニズムを明らかにすることが必要である。

本稿では、実際に車体で使用されたオイルシールにて、ブリスタの解析を体系的に実施し、それに基づきブリスタの生成メカニズムを検討した結果について報告する。



図1 ホイールローダの模式図<sup>[1]</sup>

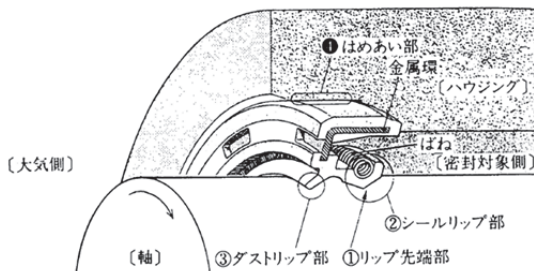


図2 オイルシールの構造の一例<sup>[2]</sup>

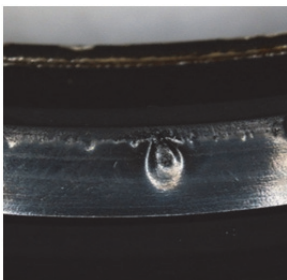
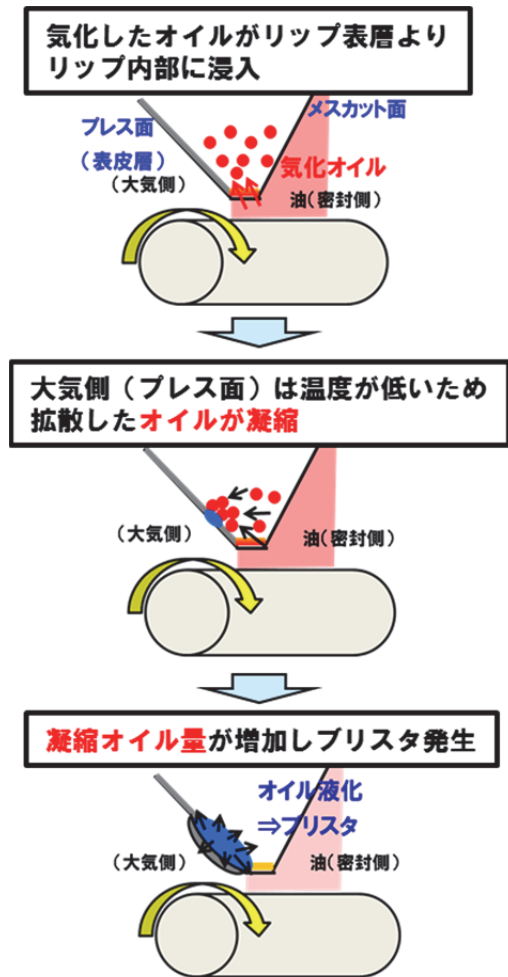


図3 オイルシールに発生したブリスタの例

## 2. 従来のブリスタ生成メカニズム

本稿で問題としているブリスタについては、これまでも研究例が存在する。研究対象のオイルシールにおいて生成したブリスタの内部に封止オイルが存在<sup>[3][4][5]</sup>していたことから、ブリスタ生成メカニズムは、次のように提案されている。ブリスタは、稼働時のオイルシールの摺動発熱によりシールリップ摺動面で酸化したオイルがゴム内部へと拡散し、低温のシールリップ大気側面にて凝縮することで、生成されるというメカニズムである。従来のブリスタ生成メカニズムの代表例を図4に示す。

しかし、実際に車体で使用したオイルシールに発生したブリスタを調査すると、ブリスタ内部にオイルが含まれていないものがある。このことから、従来の生成メカニズムでは、ブリスタの生成から成長に至るまでの挙動を説明しきれていない。



※プレス面側の表皮層(加硫面)はガス透過率悪く、ガスが大気側に抜けられない。

図4 従来のブリスタ生成メカニズム<sup>[5]</sup>

### 3. ブリスタ生成メカニズムの検討

#### 3.1 ブリスタの発生状況

ブリスタの生成メカニズムを検討するため、実際に車体で使用されたフッ素ゴム系オイルシールで、ブリスタの発生が認められたものについて、ブリスタの発生状況を稼働時間に対して調査した。

ブリスタの発生個所を図5に青点で図示する。ブリスタサイズごとの発生個数を稼働時間毎にカウントした結果を図6に示す。ブリスタサイズは、オイルシールの中心からシールリップ摺動面を見た時の軸方向の幅と定義した。(図7) またブリスタサイズが0.5mm以下を「小さいブリスタ」、それよりも大きいものを「大きいブリスタ」と定義した。

稼働時間と共にブリスタ発生個数は増えていた。また、大きいブリスタが発生しているサンプル③、④では、全周にわたって小さいブリスタも多く発生していた(図5, 6)。

以上のことから、ブリスタは発生初期ではサイズはごく小さいが、稼働時間とともにブリスタが成長していくことが確認された。

そこで、ブリスタの生成から成長に至る過程を確認するために、ブリスタサイズが異なるサンプルについて詳細な観察を実施した。

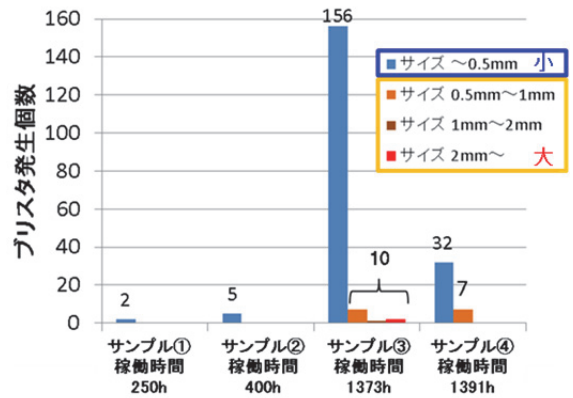


図6 ブリスタのサイズと発生個数

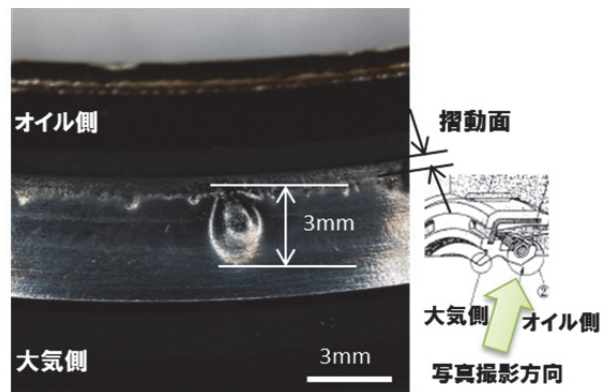


図7 ブリスタサイズの定義

#### ● ブリスタ発生位置

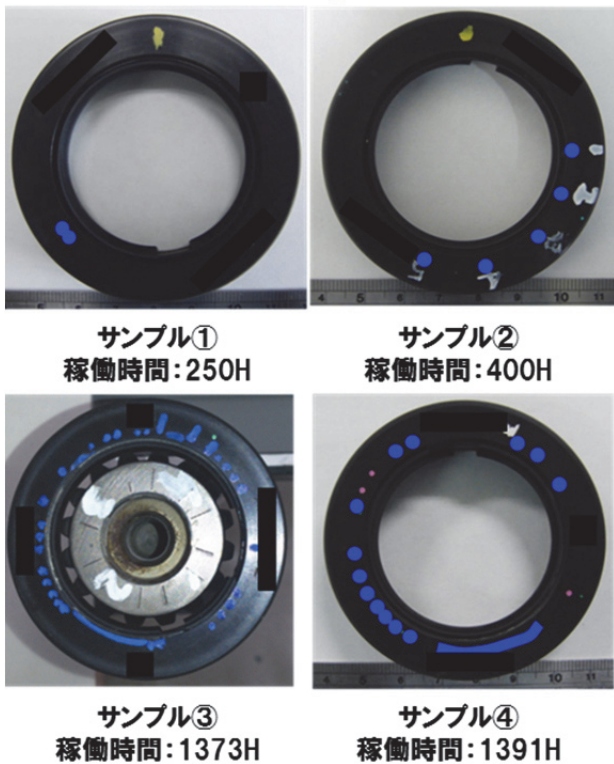


図5 ブリスタの発生位置

#### 3.2 ブリスタサイズが小さいサンプルの詳細観察結果

ブリスタの発生初期の状況を確認するため、ブリスタサイズが小さい(0.3~0.5mm)サンプルを詳細に観察した。

ブリスタ表面のSEM観察結果を図8(a)に、X線CTを用いて表面から約100 $\mu\text{m}$ のブリスタ内部を観察した結果を図8(b)に示す。ここで、断面X線CT観察結果において、周りより一段黒く見える部分が空洞であり、白く見える斑点はフィラーである。フィラーとは、オイルシールの密封作用発現の目的でゴム材に添加される充填剤のことである。今回のサンプルのフィラーは、大きいもので100 $\mu\text{m}$ 程度の大きさであった。

図8において、A、Bと記したブリスタは、ブリスタサイズが約0.3mmであり、これらには内部に大きな空洞は確認されず、微小な空洞が複数発生している様相が観察された。

Cと記したブリスタは、ブリスタサイズが約0.5mmであり、内部に $\phi$ 数百 $\mu\text{m}$ の空洞が存在していることがわかった。

次に、各々のブリスタに対し、内部の空洞の発生形態の詳細を観察するため、摺動面に直角方向断面で観察を実施した。

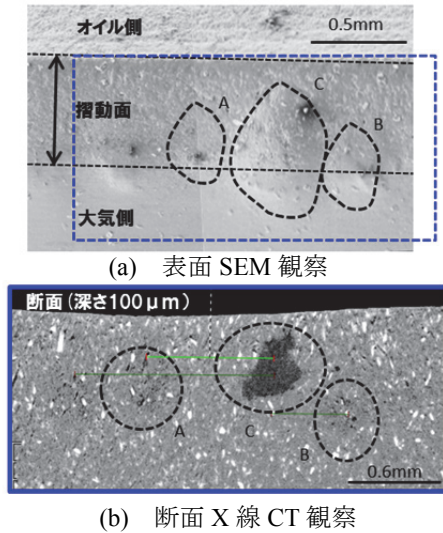


図8 小さいブリスタの観察結果

① ブリスタAの断面観察

図8のブリスタAに対し、FIB (Focused Ion Beam : ガリウムイオンを細く絞り試料表面を加工する方法) により、表面から微小な断面を作製し観察を行った。FIBによる断面観察結果を図9に示す。黒く均質に見える部分は、フィラーである。

摺動表面から深さ30 μm, 60 μmにあるフィラーの外周、すなわちゴムとフィラーの界面に空洞が観察された。この空洞には、オイルが存在する形跡は認められなかった。

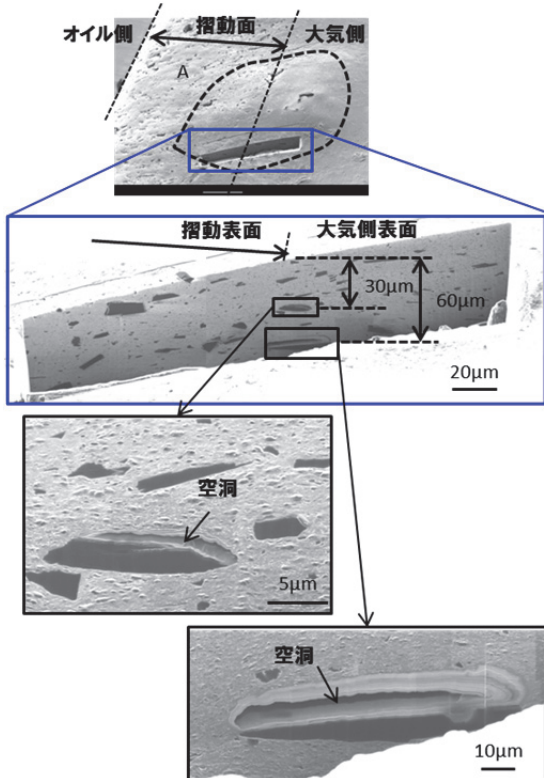
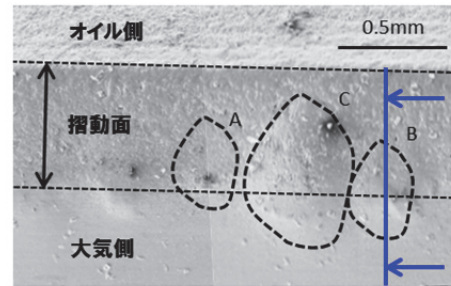


図9 ブリスタAの断面SEM観察結果

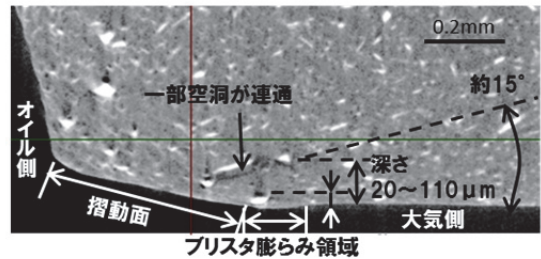
② ブリスタBの断面観察

次に、図8のブリスタBに対し、X線CTを用いて摺動面に対して直角方向の断面で観察した結果を図10に示す。白く斑点状に見えるものはフィラーである。

図9で観察された結果と同様、摺動面から数十 μmの深さでゴムとフィラーの界面に空洞が観察された。さらに、一部これらの空洞が連通している様子も観察された。なお、この空洞にも、オイルが存在する形跡は認められなかった。



(a) 断面観察位置



(b) 断面X線CT観察

図10 ブリスタBの断面観察結果

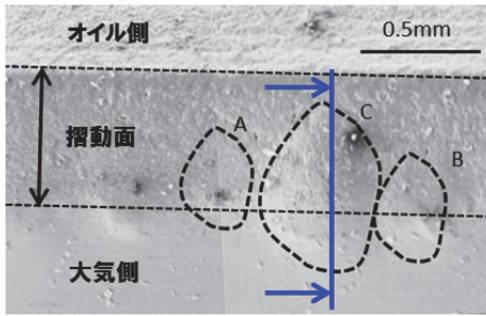
③ ブリスタCの断面観察

図8において内部にφ数百 μmの空洞が存在していることが認められたブリスタCに対し、X線CTを用いて摺動面に対して直角方向の断面で観察した結果を図11に示す。白く斑点状に見えるものはフィラーである。

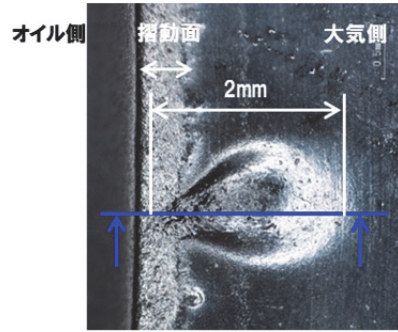
空洞は、摺動面から深さ50 μm程度から発生しており、図8および図9に示すより小さなサイズのブリスタでの空洞生成位置(摺動面から深さ数十 μm)と同様な位置であることがわかった。また、空洞内部の表面にはフィラーが複数存在(図11中の丸部)している事から、ゴムとフィラーの界面に発生した空洞が連通し、大きな空洞に成長したと推定される。

空洞は、そこから大気側表面と約15°の角度をなして大気側の内部方向に広がっており、その最大深さは0.3mm程度であった。

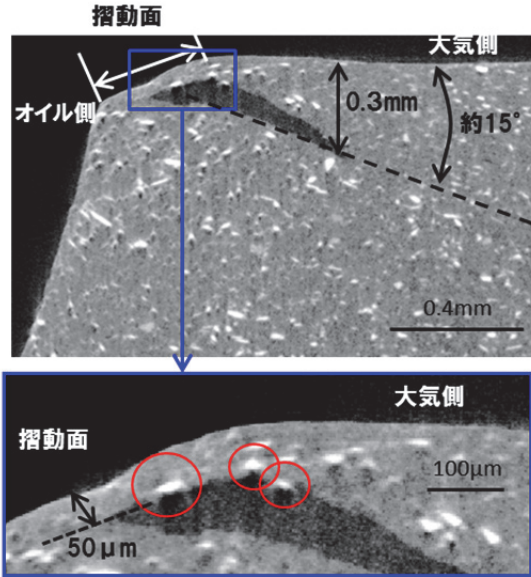
この空洞にはオイルが充満していたが、摺動面とブリスタ内部が連通しているかどうかは判別できなかった。



(a) 断面観察位置

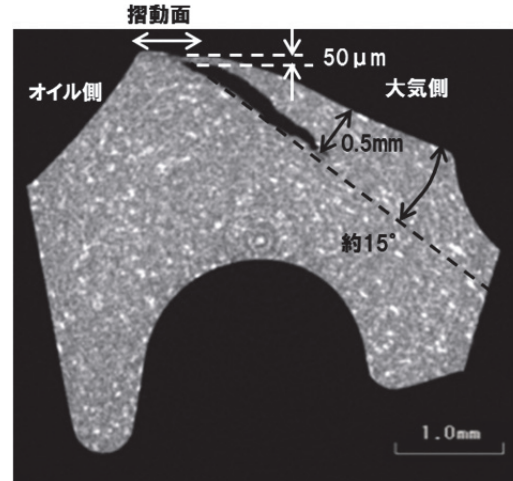


(a) ブリスタの外観と断面観察位



(b) 断面 X 線 CT 観察

図 11 ブリスタ C の断面観察結果



(b) 断面 X 線 CT 観察

図 12 ブリスタサイズが大きいサンプルの観察結果

### 3.3 ブリスタサイズが大きいサンプルの詳細観察結果

ブリスタサイズが2mmと大きいサンプルを詳細に観察した。これまでの経験では、この大きさのブリスタでは、内部にオイルが充満していることが多く、今回も内部にオイルが充満していることが確認された。また、このブリスタのふくらみを押すと、摺動面上に油がにじみでくるため、このブリスタは、摺動面とブリスタ内部が連通していると考えられる。

ブリスタの外観を図 12 (a)に、X 線 CT を用いて摺動面に対して垂直方向の断面で観察した結果を図 12 (b)に示す。白く斑点状に見えるものはフィラーである。

ブリスタ内部は大気側の表面に向かって空間が押し広げられて空洞を形成しており、そのために表面では突起状になっていることがわかる。

また、空洞が発生している深さは、摺動面直下では前述の小さなブリスタの場合と同様に摺動面から 50μm 程度であり、大気側表面から約 15° の角度をなしてブリスタ内部にき裂が広がっていた。

### 3.4 ブリスタ生成メカニズムのまとめ

車体で使用されたオイルシールに発生したブリスタの観察結果からブリスタ生成メカニズムを考察すると、ブリスタの生成から成長に至る過程は大きく 3 段階に分けられると考える。

#### ① き裂起点の生成

摺動面直下のゴム内部のフィラー周りに空洞が発生することにより微小なブリスタが生成する。この小さな空洞がゴム内部のき裂の起点となる。

フィラー周りの空洞の発生要因としては、シールが軸にはめられてリップが押し付けられる際の引張ひずみ場、もしくは軸の回転による摩擦から生じる引張ひずみ場の影響などが考えられる。

#### ② き裂の進展

①のフィラー周りの空洞 (=き裂起点) が連通することによりブリスタが成長する。

このき裂の進展の要因としては、先ほどの引張ひずみ場の影響に加えて、稼働条件 (ドレン圧変動など) による引張ひずみ場の影響が考えられる。

③ き裂の拡大

き裂の進展が表面に達した場合、き裂内部と摺動表面が連通し、プリスタ内部にオイルが流入・充満する。

この場合、オイルの流入もき裂空洞を押し広げる駆動力となると考えられる。

今回の観察結果から考察した新たなプリスタ生成メカニズムを図 13 に示す。

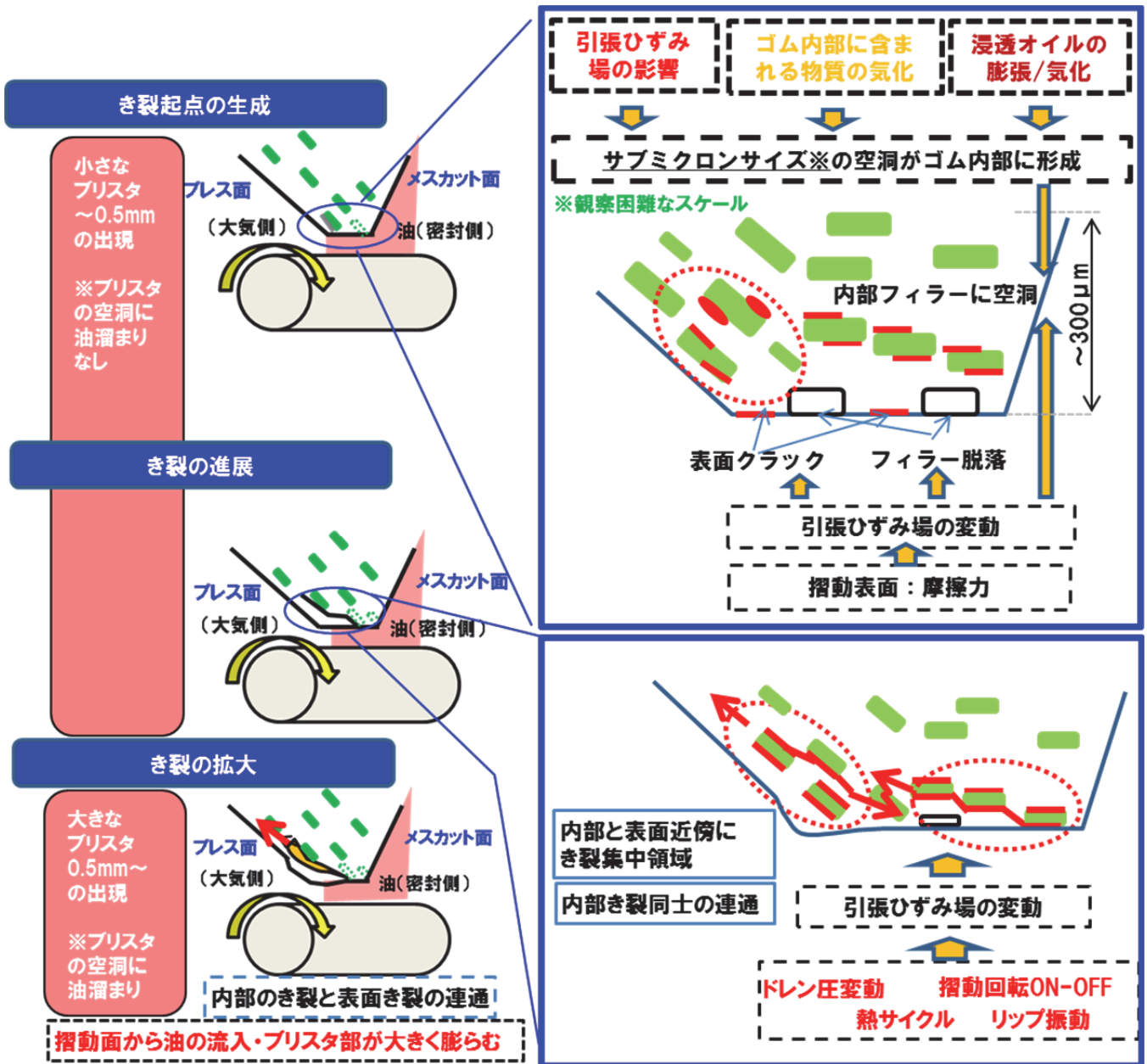


図 13 新プリスタ生成メカニズム

## 4. おわりに

実際に車体に取り付け使用されたオイルシールで、ブリスタの発生が認められたものについて、ブリスタの大ききの観点で体系的に調査を実施し、ブリスタの生成から成長に至る過程を観察した。

その結果、従来考えられてきたメカニズムとは異なり、ブリスタの生成と成長には、ゴム内部のき裂の生成と進展が深く関わっていることがわかった。

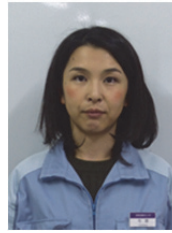
ブリスタの発生で、オイルシールの油漏れが生じるためには、ブリスタが大きく成長することが必要である。しかし、今回の研究ではブリスタの成長に必要なゴム内部のき裂生成・進展の駆動力は明確にするまでには至らなかった。

今後、CAE 解析やベンチ試験によりゴム内部のき裂進展の駆動力を明らかにし、ブリスタの発生によるオイルシールからの油漏れを防ぐことを目指す。

### 参考文献

- [1] 大野稔幸, 椎名 徹, 増野谷裕弘 :  
小型ホイールローダ WA100-6/WA1506 製品紹介  
コマツ技報 Vol. 56 No. 163 (2010)
- [2] 仙田和久 : オイルシールの劣化とその解析  
日本ゴム協会誌 第 66 巻 第 12 号 (1993)
- [3] Hertz, Daniel L. Jr.:  
The Hidden Cause of Seal Failure  
Machine Design 9 (1981), April, pp.209-212
- [4] Stevenson, A.:  
Gasinduzierte explosive Dekompression  
in Elastomeren  
GAK-Gummi und Kautschuk, Kunststoffe,  
3 (1996), pp.549-555
- [5] Kanzaki, Y., Kanno, T., Kawahara, Y.:  
A Study of Blistering Phenomenon on Rubber  
Seals  
12<sup>th</sup> International Conference on Fluid Sealing,  
Brighton, UK, 10-12 May 1989, pp.27-36

### 筆者紹介



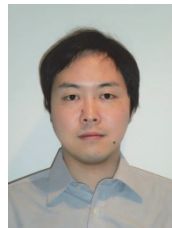
Yoshimi Konno

今野 芳美 2008年, コマツ入社.  
開発本部 材料技術センタ



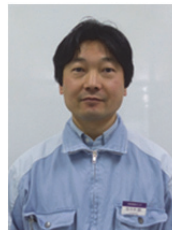
Hitoshi Kawai

川井 仁 2007年, コマツ入社.  
開発本部 材料技術センタ



Yukio Tamura

田村 幸雄 2007年, コマツ入社.  
開発本部 材料技術センタ



Kiyoharu Sasaki

佐々木 喜代治 1992年, コマツ入社.  
開発本部 材料技術センタ



Marina Murakami

村上 満理奈 2014年, コマツ入社.  
開発本部 材料技術センタ

### 【筆者からひと言】

今回、ブリスタの生成メカニズムを明らかにすることができましたが、その生成の駆動力は明らかではありません。今後は、その解明に取り組み、ブリスタによる油漏れを防ぐとともに、各コンポーネントに最適なオイルシールを提案できるように活動していきます。