

オイルシールにおけるスラッジ発生と密封性能に及ぼす影響

藤江浩也 田村委三 富山利弘 安井啓剛

Influence of Sludge on Seal Performance

K. FUJIE T. TAMURA T. TOMIYAMA H. YASUI

There is a case of leakage caused by improper lip contact due to the build-up of sludge on the lip area. Sludge, which is mainly carbide, is generated typically from aged oil under high temperature (more than 150) conditions. However, it is sometimes generated in driving systems such as transfers under comparatively low temperature.

In this paper, We analyzed the mechanism of sludge generation and optimized the seal design to avoid leakage under this environment.

- 1. はじめに
- 2. スラッジ発生の状況
- 3. 分析
 - 3.1 劣化油(スラッジ発生油)の分析
 - 3.2 スラッジ発生シールの調査
 - 3.3 スラッジの分析
- 4. スラッジ発生要因の解析
 - 4.1 スラッジ発生要因の推定
 - 4.2 スラッジ発生要因の検証
- 5. シール設計の最適化
 - 5.1 設計の着眼点
 - 5.2 確認試験
- 6. おわりに

1. はじめに

オイルシールの油漏れの原因の1つとして、シールリップしゅう動部に堆積するスラッジがある。この場合、まずシールリップしゅう動部にスラッジが堆積し、そして堆積したスラッジにき裂が発生すること、あるいは堆積したスラッジにより軸およびシールリップが大きく摩耗することによって、シールリップと軸の良好な接触状態が損なわれ油漏れが発生することになる。

このようなスラッジは、一般に高温条件下(150以上)で発生し、その主な成分は油の炭化物である。したがって、エンジンのクランクシャフト用シールのように使用温度条件が高い場合に発生しやすい^{1,2)}。しかし、自動車の駆動系(トランスミッション、トランスファなど)のような比較的低い温度条件下でも、発生する場合がある。

本報では、油漏れ発生シール現品の調査、スラッジ成分の分析により、比較的低い温度環境下でのスラッジの発生メカニズムを推定した。また、そのような環境下で使用されるシールの最適設計についても検討した。その結果、シ-

ールのスラッジに対する性能を向上させることができた。

2. スラッジ発生の状況

図1にトランスファ(以下T/Fと称す)の全体図を示す。本報で対象とするオイルシールの使用箇所は、図の印の部分である。このオイルシールの前にトランスミッションがある。

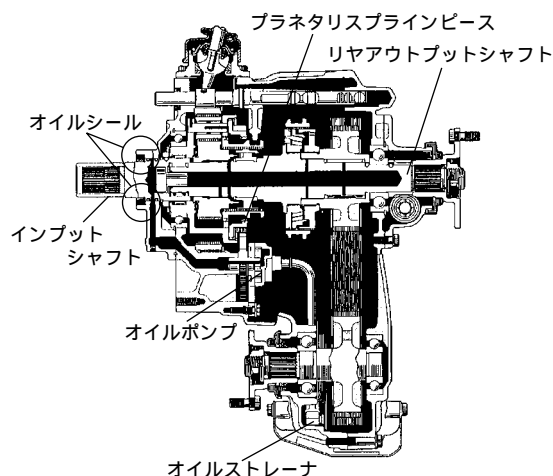


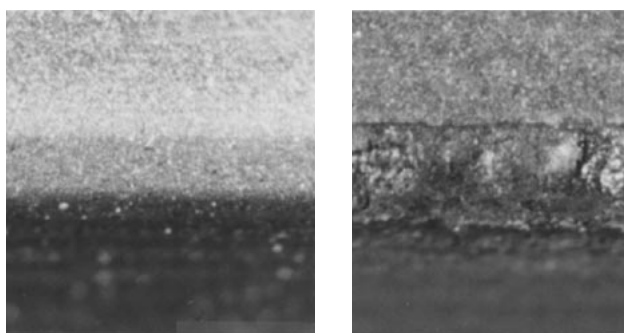
図1 トランスファ全体図
Transfer

T/Fの使用条件を表1に示す。A, BではT/Fの構造が異なるため、ドレーン部の油温が同じでも、シール近傍部の油温が異なっている。

表1 T/F使用条件
Transfer case environment

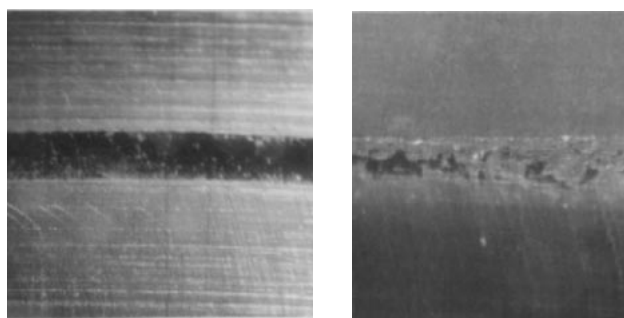
項目 \ T/Fタイプ	A	B
ドレーン部油温,	120	120
シール近傍温度,	123	134
スラッジ堆積	無	有
油漏れ	無	有

それぞれのシールリップしゅう動部状況を図2に示す。



リップしゅう動部 T/F A

T/F B



透明軸での接触状態 T/F A

T/F B

T/F A : リップしゅう動部にスラッジの堆積はなく接触状態は良好

T/F B : リップしゅう動部にスラッジが堆積し、接触切れが発生

図2 シールリップのしゅう動部状況
Conditions of lip contact

Aの条件下では、シールリップしゅう動部にスラッジの堆積はなく、接触状態も良好である。一方、Bの条件下では、スラッジが堆積し、リップ接触部に不連続箇所が存在する。このような接触切れによって、油漏れが発生する。しかし、このBの場合でも、シール近傍部の油温は

134 と低く、油が炭化するとは考えにくい温度である。したがって、この段階では、スラッジ発生の原因は不明であった。

3. 分析

3.1 劣化油(スラッジ発生油)の分析

試験後の実機からの回収油および新油の分析結果を、表2に示す。赤外線分光分析(IR分析)、全酸価測定結果とともに、新油と回収油に大きな差は認められず、回収油は特に劣化していないことがわかった。

表2 油の分析結果

Analysis of oil

項目 \ 試料	IR分析	全酸価, mgKOH/g
実機回収油	酸化劣化なし	1.32
新油	酸化劣化なし	1.02

3.2 スラッジ発生シールの調査

スラッジ堆積により油漏れが発生したシールと油漏れのないシールについて、調査をした結果を表3に示す。油漏れ品は、ややゴム硬度が大きくなっているが、硬化は少ない。このことから、シール周辺の雰囲気温度は極端に高温ではなかったと推測できる。

これに対し、油漏れ品は漏れなし品と比較して、ばね自由長が1.2mm長くなっており、ばね自由長が伸ばされたことにより、緊迫力、しめしろが低下している。

表3 シール諸寸法

Seal property after test

項目 \ 試料	しめしろ, mm	緊迫力, N	ゴム硬度, (JIS A)	ばね自由長, mm
油漏れ品	1.14	10.6	78	134.4
漏れなし品	1.31	17.1	75	133.2

ばね観察結果を、図3, 4に示す。この図から分かるように、漏れなし品のばねのコイル間にはスラッジの堆積がなく、油漏れ品のばねのコイル間にはスラッジが堆積している。このスラッジにより、ばね自由長が長くなったものと判断できる。

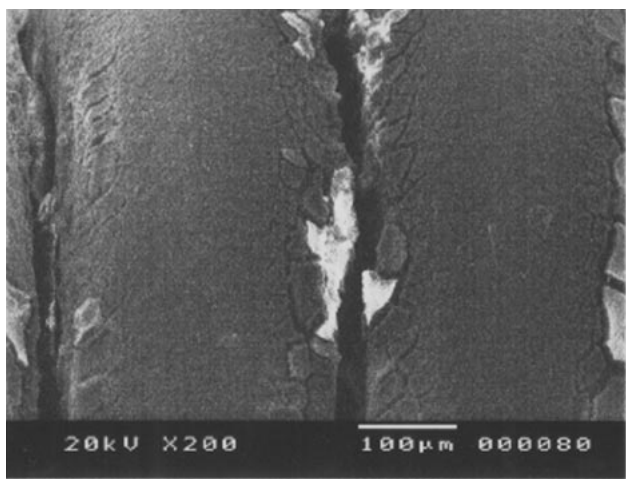


図3 油漏れ品のばね
Spring of seal with leak

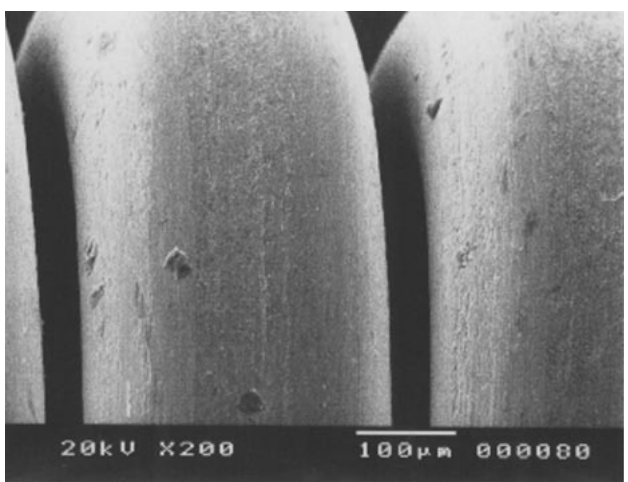


図4 漏れなし品のばね
Spring of seal with no leakage

3.3 スラッジの分析

シールに付着したスラッジを、SEMにより、元素分析した結果を表4に示す。

表4 スラッジの成分元素
Element analysis of sludge

元素	wt%	元素	wt%
Al	6.30	Fe	7.10
Si	10.73	Cu	18.45
S	48.12	Zn	8.68
Ca	0.52		

検出された元素のほとんどは、ゴムあるいは油に含有されているものであったが、含まれるはずのない銅(Cu)が比較的多量検出された。

さらに、このスラッジを定性分析(X線回折分析)した結果を図5に示す。この結果、銅は硫化銅(Cu_xS)の形で存在することが判明した。

以上のことから、銅がスラッジ発生の大きな要因である可能性が高いことが分かる。

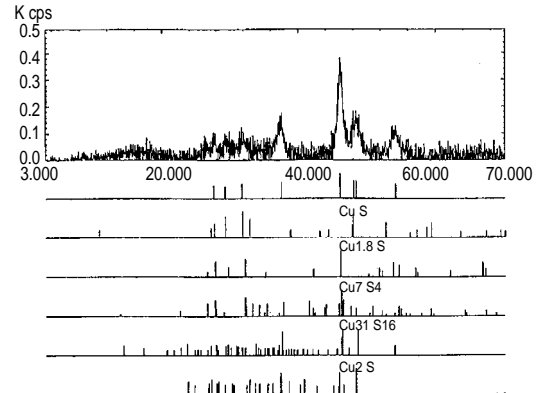


図5 X線回折分析結果
X-ray diffraction analysis of sludge

4. スラッジ発生要因の解析

4.1 スラッジ発生要因の推定

前節で、銅がスラッジ発生の大きな要因であることがわかったが、その他の要因も考慮し、絞り込むために、以下の4要因による作用を仮定した。

- 仮説①：温度により油劣化が進行する。
- 仮説②：空気の混入により、油劣化が促進される。
- 仮説③：鉄が、油劣化を促進する触媒として働く。
- 仮説④：銅が油中に溶込み、リップ部に析出する。

4.2 スラッジ発生要因の検証

前節の4要因について、検証するための試験を実施した。その試験条件を表5に、試験結果を表6に示す。各番号は、仮説番号に対応している。

表5 試験条件
Test condition

回転数	5 300min ⁻¹
油種	SAE 75W-90 (GL-3)
油量	軸中心の油レベル
試験時間	120h
軸偏心	0.20mmTIR

表6 スラッジ発生要因の検証(1)

Investigation of cause of sludge generation (1)

試験 No.	油	要因組合せ (: 適用, - : 無)				結果 (スラッジ発生 の有無)
		油温,	空気	触媒 (Fe)	Cu	
1	新油		-	-	-	135 および 150 : 無 160 : 発生
2	新油	135		-	-	無
3	新油	135	-		-	無
4	新油	135	-	-		発生(図6参照)

試験1は温度要因についての試験結果である。この場合には、160以上の油温でなければ、スラッジは発生しない。

試験2は、空気の混入により、油劣化の促進を狙った試験であるが、スラッジは発生しなかった。

試験3は、鉄を触媒として用い油劣化促進を狙った試験であるが、試験2と同様にスラッジは発生しなかった。

試験4は、銅を油中に混入し溶解させた試験であるが、この場合にのみスラッジが発生した(図6)。

以上のことから、仮説④が、今回のような比較的低温下でのスラッジの発生を説明しているものと判断できる。

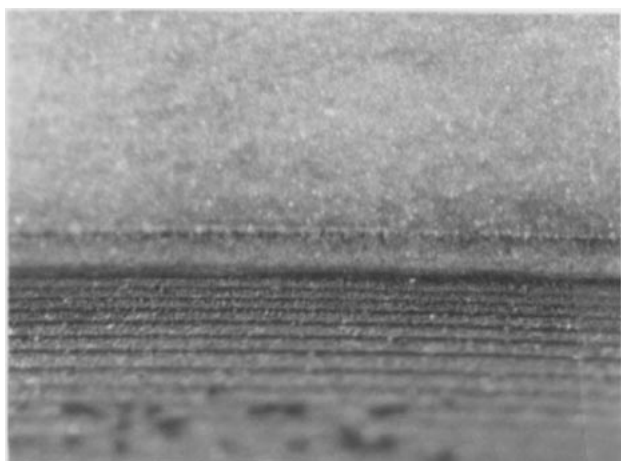


図6 試験4で発生したスラッジ

Generated sludge on test no. 4

次に、実機からの回収油を用いて試験を実施すると、表7のような結果が得られた。表から分かるように回収油を用いると、容易にスラッジが堆積する(図7)。しかし、その劣化油を再度用いて試験を実施した場合には、スラッジはほとんど認められなかった(図8)。

表7 スラッジ発生要因の検証(2)

Investigation of cause of sludge generation (2)

試験 No.	油	油温,	結果(スラッジの 発生の有無)
5	回収油	135	発生(図7)
6	回収油(再使用)	135	無(図8)

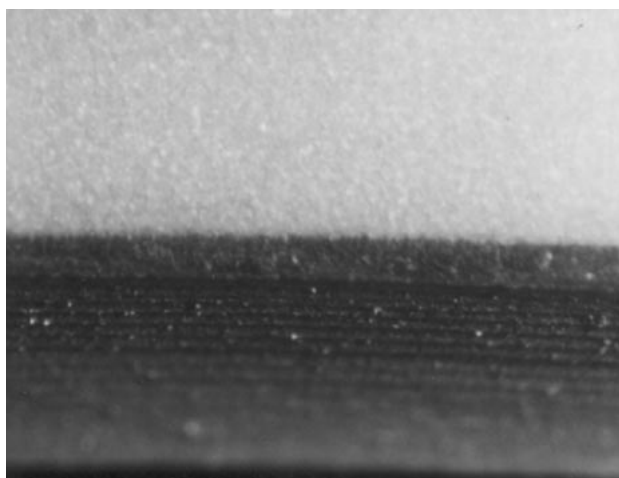


図7 試験5で発生したスラッジ

Generated sludge on test no. 5

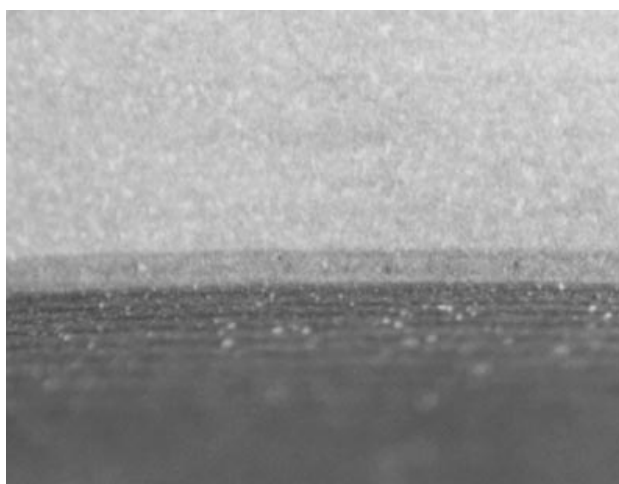


図8 試験6でのリップしゅう動部

Lip contact area of test no. 6

この試験で用いた劣化油について、ICPによって、成分濃度を調査した結果を図9に示す。この中で銅成分が急激な変化を示している。新油の状態では銅はほとんど存在しないが、実機回収油にはかなり多く存在する。そして、試験で使用すると銅濃度は急激に低下することが分かる。他の成分には、このような急激な変化は認められない。

このことから、銅がスラッジとして堆積し、消費されたことが分かる。また、銅は実機内の銅部品より溶出したものと判断できる。

前節までのことから、スラッジ発生メカニズムは図10のように推定できる。

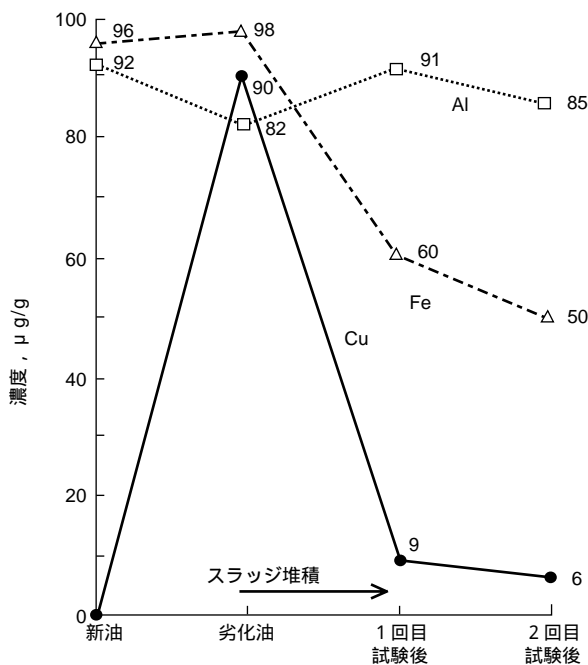


図9 油に含まれる元素濃度(Cu, Al, Fe)
Element concentration in oil (Cu, Al, Fe)

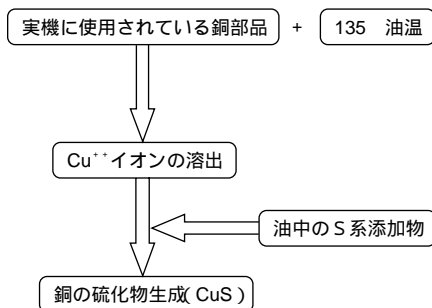


図10 スラッジ堆積のメカニズム
Sludge generation mechanism

まず、135 の油温で実機内の銅部品から油中に銅イオンが溶出し、この銅イオンが、油中の硫黄系添加剤と反応して硫化銅となる。硫化銅生成反応は高温部で起こりやすく、温度が高いリップしゅう動部近傍で集中的に起きたと推定される。

5. シール設計の最適化

5.1 設計の着眼点

以上より、スラッジを発生させないためには、銅系部品の削減、油の変更の2つが、根本的な解決法となる。今回以下の2点に着目しシールデザインの改良で対応をすすめた。

- ① 緊迫力を小さくすることにより、リップしゅう動部の発熱を低減し、硫化銅の生成を抑制する。
 - ② ヘリックスタイプ改良品を採用することにより、ポンプ量を増加させ、スラッジのリップ直下での生成を低減する。
- これらを考慮し、表8の試料を製作し、効果を確認した。

表8 試料内容
Tested samples

項目 試料	緊迫力, N	シールタイプ
従来品	18.6	プレーン
改良品	13.7 (-30%)	ヘリックス

5.2 確認試験

5.2.1 リップ温度測定結果

結果を図11に示したが従来品に比べ、改良品は約5℃温度が低い。

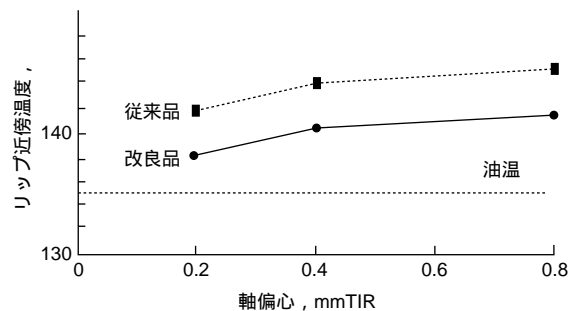


図11 軸偏心とリップ近傍温度(5 300min⁻¹)
Shaft eccentricity and lip area temperature (at 5 300min⁻¹)

5.2.2 ポンプ量測定結果

結果を図12に示す。改良品のポンプ量は従来品の約200倍となっている。

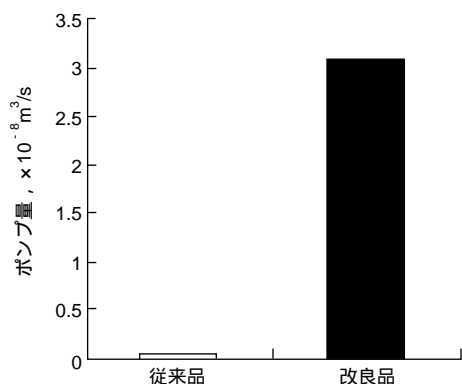


図12 ポンプ量(2000min⁻¹)
Pump rate (at 2000min⁻¹)

5.2.3 スラッジ環境下での寿命

結果を図13に示す。試験条件はスラッジ要因検証試験の試験4と同じである。従来品の寿命は約500時間であった。リップしゅう動部を図14に示す。従来品はリップしゅう動部にスラッジが堆積し、これにより油漏れが発生している。

改良品は約1500時間の寿命であった。リップしゅう動部を図15に示す。この場合は、スラッジの堆積は認められず、油漏れ原因は、高温試験条件におけるゴム硬化によるリップの追従性低下である。

このことから、改良品は従来品に比べ、スラッジに対する性能が向上していることが分かる。

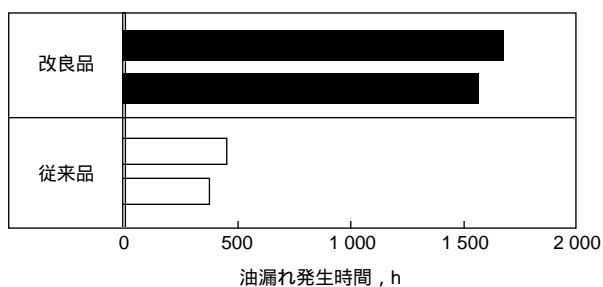


図13 スラッジ環境下での寿命
Seal life under sludge environment

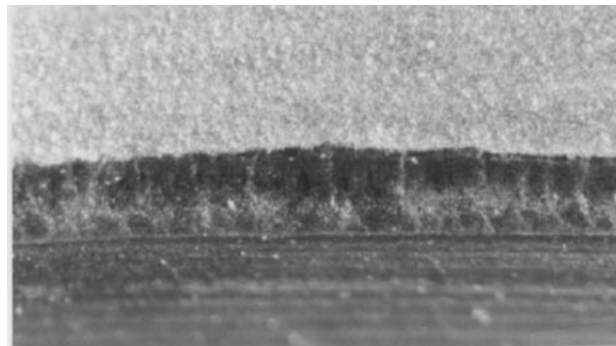


図14 リップしゅう動部(従来品)
Lip area (current)

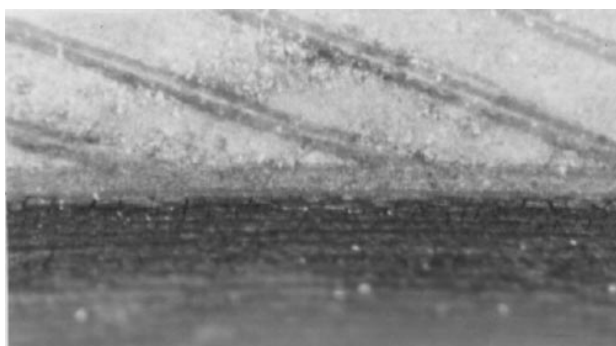


図15 リップしゅう動部(改良品)
Lip area (new)

6. おわりに

比較的低い温度条件下で発生するスラッジの原因は、以下のとおりである。

- 1) 実機内部の銅部品から、油中に銅イオンが溶出する。
- 2) 銅イオンが油中の硫黄と反応し、硫化銅がリップ近傍に生成し、リップしゅう動部に堆積する。

スラッジを軽減するには、シールデザイン面で

- 1) オイルシールの緊迫力を低減する。
 - 2) オイルシールをヘリックスシールとする。
- の2点を考慮することである。このことにより、スラッジ環境下でのシール寿命を従来品の3倍以上にすることができた。

参考文献

- 1) H. Deuring : SAE Technical Paper Series 880300.
- 2) S. Ohkawa, K. Iwakata, K. Tikugo : SAE Technical Paper Series 900337.

著者



藤江浩也*
K. FUJIE



田村委三*
T. TAMURA



富山利弘*
T. TOMIYAMA



安井啓剛*
H. YASUI

* 光洋シカゴローハイド(株)
技術部