

可視化技術を用いたピストントップ リングのハーフスティック現象解析

Analysis of Piston Top Rings Half-Stick Phenomena
by Using Optically Technology

明 本 禧 洙* 丸 谷 武 志*
Yoshiaki AKIMOTO Takeshi MARUYA

杉 原 弘 幸** 小 林 弘 幸**
Hiroyuki SUGIHARA Hiroyuki KOBAYASHI

要 旨

エンジンの燃焼室内に堆積したカーボンデポジット (CCD: Combustion Chamber Deposits) によるピストン
トップリングハーフスティック現象について可視化技術
を利用して、その現象とカーボン排出状況を定量的に把
握できる解析手法を新たに開発した。

この手法により、従来、解析が困難であったトップリ
ングの合い口隙間が変動する“間欠縮小現象”とリング外
周の“油膜ぎれ”によるハーフスティック状態を明らかに
した。さらに、トップリングのCCD排出機能とハーフス
ティックの発生には相関性があり、トップリングのねじ
れ角を小さく、実サイドクリアランスを大きくすること
でCCD排出機能が良好となり、ハーフスティックを改善
できた。

ABSTRACT

A new analyzing method which allows to
measure quantitative carbon deposits discharge
condition and these phenomena by using optically
technology for piston top rings half stick condition
caused by Combustion Chamber Deposits (CCD), has
been developed.

By this method, half stick condition which comes
from intermittence reduction phenomenon by top ring
gap fluctuation and due to oil film depletion of top
ring out side surface, was able to be measured. And
the more, the relationship of top rings CCD discharge
mechanism and half stick phenomenon was found,
and half stick condition was improved by small twist
angle of top rings and small real side clearance
setting which makes CCD discharge function better.

1. まえがき

乗用車用エンジンの高出力化、低騒音化の進歩は著し
く、なかでもエンジンのメカニカルノイズについては、
盛んに研究・発表が行なわれている¹⁾²⁾。しかし、エン
ジンの騒音は、その原因が機構的挙動以外の因子により
発生する場合も少なくない。その代表例としてエンジ
ンの燃焼室内に堆積する、カーボンデポジットによる冷機
時のエンジン異音がある。この異音は、CCD(Combustion
Chamber Deposits)がピストントップリング溝に侵入し
た際、リングのハーフスティックを引き起こし、ピスト

ン挙動による打撃が強く発生する³⁾。

しかし、異音の原因であるCCDによるハーフスティ
ック現象については、トップリング挙動とピストン挙動の
測定結果からその現象を証明するに留まり、トップリ
ングのCCD排出機能との相関性を明らかにするのは困難で
あった。このような課題を解決するために、エンジン運
転時のトップリング挙動を可視化し、ハーフスティック
現象とCCDの排出状況を定量的に把握できる解析手法の
開発を試みた。

本稿では、エンジン運転時のトップリング挙動の可視

*栃木研究所

** (株)リケン

Table 1 VTR camera specifications

Camera type	A	B
Picture element	410000 (768H×494V)	370000 (768H×493V)
Scanning type	2 : 1 Interless	2 : 3 Interline
Scanning frequency	(H) 15.734 kHz (V) 59.94 Hz	(H) 15.734 kHz (V) 59.94 Hz
Shutter speed	max 1/10000	max 1/10000
Lens magnification	1~175	1~100

化技術を中心に、ハーフスティック現象を解析した例を併せて報告する。

2. 可視化技術

2. 1. 可視化技術の必要性

CCDによる冷機時異音を改善するためには、その原因であるトップリングハーフスティック現象とトップリングCCD排出機能の関係を定量的に把握し、トップリング仕様における改善手法を導き出す必要がある。特にトップリングのCCD排出機能を定量的に把握するには、CCD排出量とCCD粒子の挙動を同時に知る必要がある。しかし、ピストントップリング溝内に入り込めるCCDの粒径は、各部のクリアランスから約60 μm 以下であることが予想され、CCD粒子を個々にセンシングすることは困難である。そこで著者らは、エンジンのシリンダ外側からエンジン運転時のトップリング周辺を高速、高倍率で可視化する方法を新たに考案し、観察した結果をパソコンに取り込み、画像処理解析をおこなった。これにより、ピストンランド部に排出されたCCDの粒径分布と占有面積率を時系列で数値化し、CCD排出機能を定量的に評価することを試みた。

2. 2. 可視化技術の課題

エンジンファイアリング運転時にトップリング周辺を可視化するためには、主に以下の課題がある。

(1) 可視化装置

- ・高速度VTRカメラ用高倍率レンズの製作
- ・ライティング技術
- ・CCD排出量を定量化する画像処理手法の選択

(2) ファイアリング テストエンジンの製作

- ・実動時のボアひずみ対策

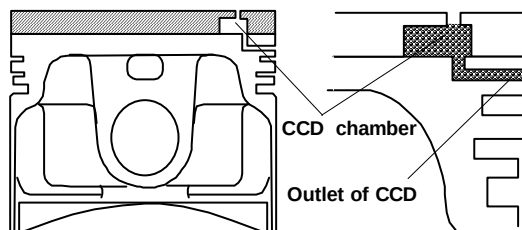


Fig.1 General view of CCD chamber

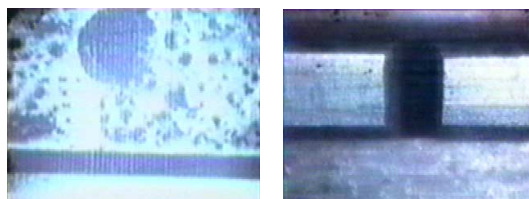


Fig.2 Improvement of lighting condition

- ・観察窓付きシリンダスリーブの破損防止
- ・観察窓付きスリーブの表面加工法

2. 3. 可視化装置

簡易的に実験可能であるモータリング運転にて可視化装置の課題検討に取り組んだ。

可視化窓は、ファイアリング運転時の耐熱性を考慮してサファイアガラス(Al_2O_3)を用いシリンダスリーブ内周面は、破損防止のために表面研磨後ホーニング加工を実施した。ホーニング加工を施すことでドライ状態における可視化窓の透明度は失われるがエンジン運転時のウエット状態では、可視化窓表面に油膜が形成され透明度が回復し、観察が可能である。可視化窓の汚れは、ピストンリングが摺動することによる拭き取り作用でクリーニング不要である。

CCDの代替品として、中口径 6.6~8.6 μm のJIS試験用ダスト7種(関東ローム)を使用した。ダストをリング溝に供給する方法を、Fig.1に示す。ピストン頂部にガス圧がかかる部屋(CCD chamber)を設けて、トップランドに強制排出する方法とした。

ライティングは、任意のクランク角度で発光可能なハロゲンタイプストロボスコープとし、照度、設置角度を最適に設定した。Fig.2にライティング改善前後の観察映像を示す。ライティング改善前は、ハレーションが起き

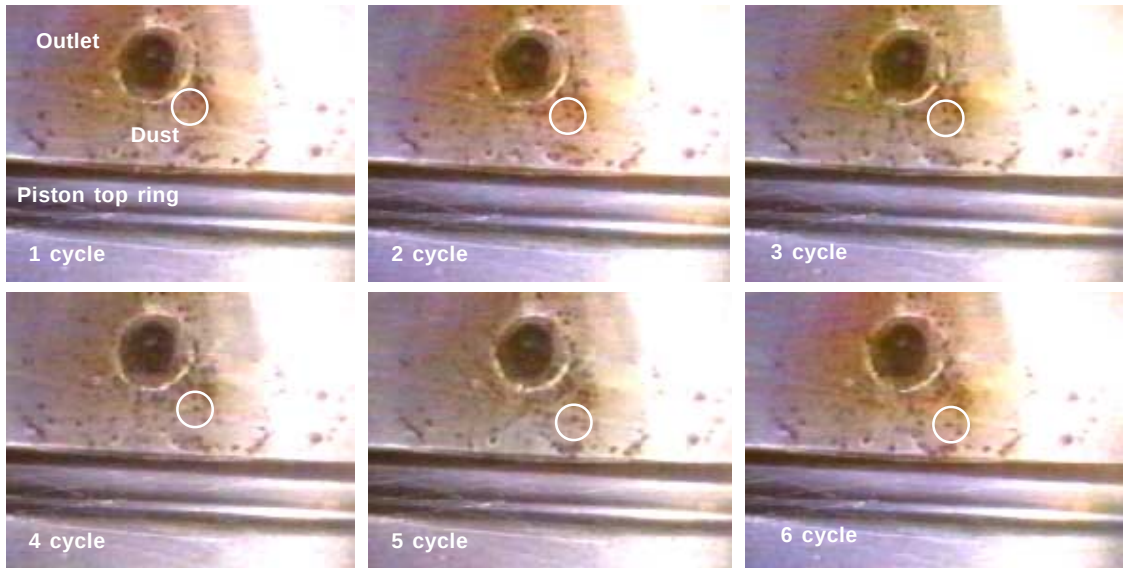


Fig.3 Cycle movement of dust particle

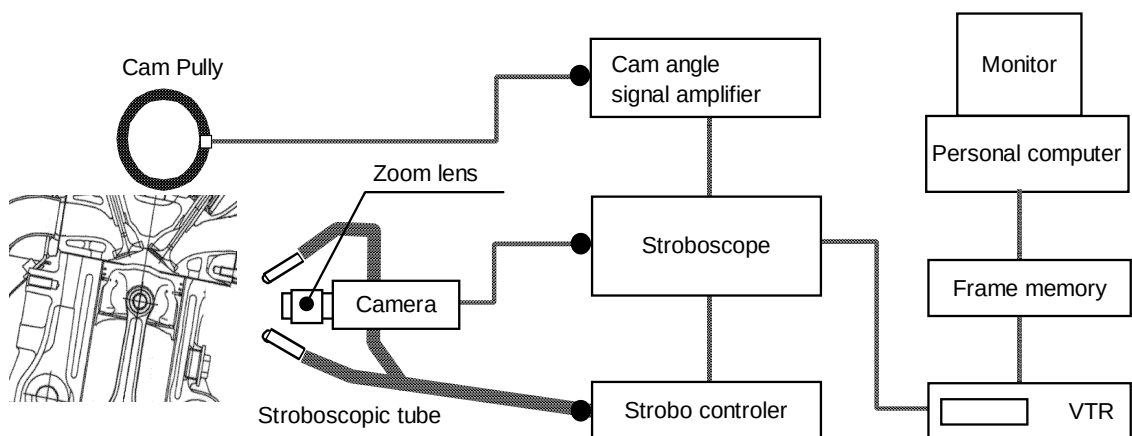


Fig.4 Optical system of piston top rings

ダスト粒子を正確に識別できなかったが、ライティング改善後はトップランドの排出口から広がるダスト粒子が正確に識別できる。

ダスト粒子を観察するカメラに要求されるシャッタ速度は、ダスト粒子の挙動により決まる。そこで、試験的にTable 1の二種類のカメラで比較した。シャッタ速度は、タイプA、Bともに最速で1/10000secまで設定可能である。Fig.3は、可視化シリンダの圧縮上死点を、カメラタイプBを使用し、メカニカルシャットオフ状態で、連続観察した映像である。ピストントップランド部に設けられた排出口からダスト粒子の広がる過程が鮮明

に観察できている。このダスト粒子は、ピストンランド部のオイルに混ざりゆっくりと移動しており、2サイクル目でも粒子挙動を確認できる。この結果から、低回転のサイクル観察であれば特殊装置を利用せずに観察可能であることがわかった。記録媒体も、民生用のVTR装置(30Hz)で可能である。

観察結果からCCDの排出量を定量化するために画像処理を利用した。Fig.4にシステム構成の概要を示す。VTRに記録した動画像をフレームメモリで記録変換し、パーソナルコンピュータに入力する。入力画像から特定領域を選択し、白黒反転処理、鮮明化処理、二値化処理、ご

Table 2 Engine specifications and test conditions

Engine type	L4 2.2L SOHC 4VALVE
Compression ratio	8.8
Bore × Stroke	φ85 × 91mm
Engine speed	1800 rpm
Intake manifold vacuum pressure	40 kPa
Coolant temperature after engine start	20 ~ 30 °C

み除去フィルタ処理を行うことでCCDを識別し、選択領域内におけるCCDが占める面積割合(以下CCD占有面積率)、CCD粒径分布を求めた。尚、CCDの粒径処理については、CCD粒子が隣接している場合大粒径として誤認することがあり、画像処理上ヒューマンエラーが起こりやすいため、判定指標から除外した。

2. 4. ファイリング可視化装置の概要

ファイリング実験を行う際モータリング実験で得た知見をもとに、テスト装置の改良を施した。

エンジンに取付ける可視化窓は、Fig.5に示す通りφ14のサファイアガラスをシリンダブロックのヘッドガスケット合わせ面下12mmのスラスト(吸気)側、反スラスト(排気)側に取り付けた。スラスト側は、リング合い口を観察し、反スラスト側はシール性を確認する目的でリング合い口反対側も観察した。サファイアガラスの加工寸法(径および厚さ)は、シリンダスリーブとの熱膨張差を考慮し適正なクリアランスとし耐熱性接着剤(エポキシ系樹脂、ポリアミン系硬化剤)で固定した。ファイリング運転時のボアひずみをより実機に近づけるため、可視化窓の周辺以外は冷却水を循環できるようにした。CCDの供給方法は、CCD冷機時異音の再現性が良好であるオイルとCCDの重量比率を1 : 1とした混合物をあらかじめ定量だけピストントップリング溝内に封入装着する方法とした。

トップリングの合い口だけを観察するため、リング合い口から110degのリング内周部分に8mm幅の切り欠きを設け、Fig.6に示すようにノックピンで回転規制を行う機構を設けた。これによりリング合い口は、φ10の可視化窓範囲のみ回転挙動が起こる状態となる。

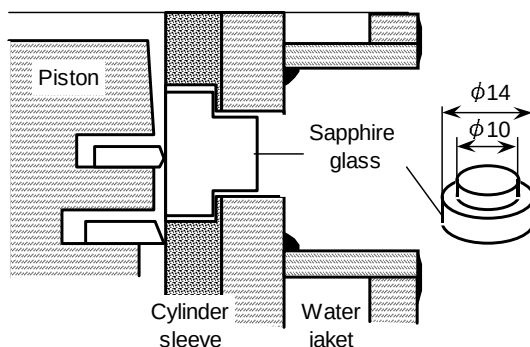


Fig.5 General view of cylinder window

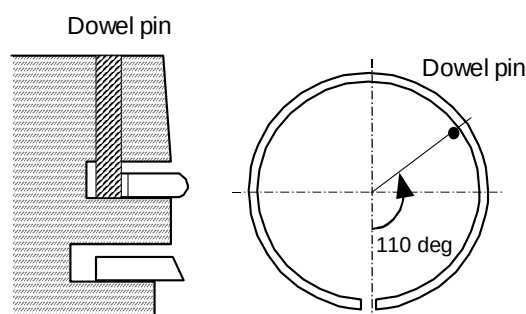


Fig.6 Ring rotation stopper

3. 可視化結果

3. 1. エンジン諸元と運転条件

Table 2に可視化エンジンの基本諸元と運転条件を示す。可視化エンジンは、2.2L SOHC 4バルブ エンジンを基に、ピストンかじり防止用のモリブデンコーティング処理をピストンスカートに施した。エキゾーストマニホールドは、上方排気レイアウトとし、排気側の観察を容易にした。ピストンリングの外周面には、スカuffing防止および着色効果をねらいイオンプレーティング処理IP100(トップリング)、IP200(オイルリング)を施した。この処理により観察画面に写し出されるリング外周面は金色となる。

運転条件は、エンジン油温が外気温相当になるまでソークし、その後に始動、エンジン回転=1800rpm、インテークマニホールド負圧=40kPaの定常運転で完全暖機状態までとした。

Fig.7は、可視化窓から観察された火炎画像とトップリング合い口の拡大観察画像を示す。右側の画像に示すよ

Table 3 Specification of piston top rings

Ring type		A	B
h 1	(mm)	1.188	1.188
a 1	(mm)	3.098	3.098
Ring tension	(N)	0.91	0.83
Twist angle	(deg)	0.5	1.5
Ring effective side clearance	(μ m)	10	-40

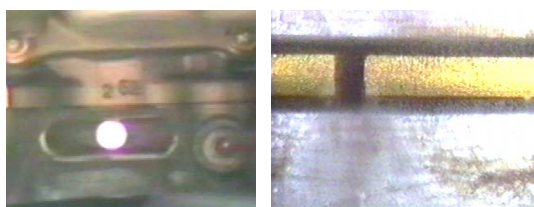


Fig.7 Picture of firing test

うに、トップリングの合い口からブローパイガスがスプレ状に激しく噴出していることがわかる。この画像は、セカンドリングの合い口がトップリング合い口の反対側に位置している状態のものでブローパイガスの噴出方向は下向きであるが、セカンドリング合い口がトップリング合い口に近づくと、セカンドリング合い口方向に噴出されることが確認された。また、リング外周面にオイル膜が形成されていることがリング合い口のブローパイガスによる境界層から判断できる。

3. 2. ハーフスティック現象

Fig.8、9にハーフスティック状態時のみ発生する特異事象を撮影した連続画像で示し、Table 3にねじれ角を変えた二種類のトップリング諸元を示す。

Fig.8にエンジン始動から11sec後の連続画像(30Hzコマ送り)を示す。トップリングタイプAにおけるリングの合い口隙間は一定であるのに対してタイプBはサイクル毎に合い口隙間が変動する挙動が発生している。これはリングがシリンダ壁から離れていることを示すとともに、リングのシール機能が失われていることを示す。この際、この合い口挙動は12秒間継続していた。

また、リング合い口の様子を比較するとタイプAは合い口隙間からブローパイガスがスプレ状に噴出している様子が観察できるのに対し、タイプBは合い口隙間から

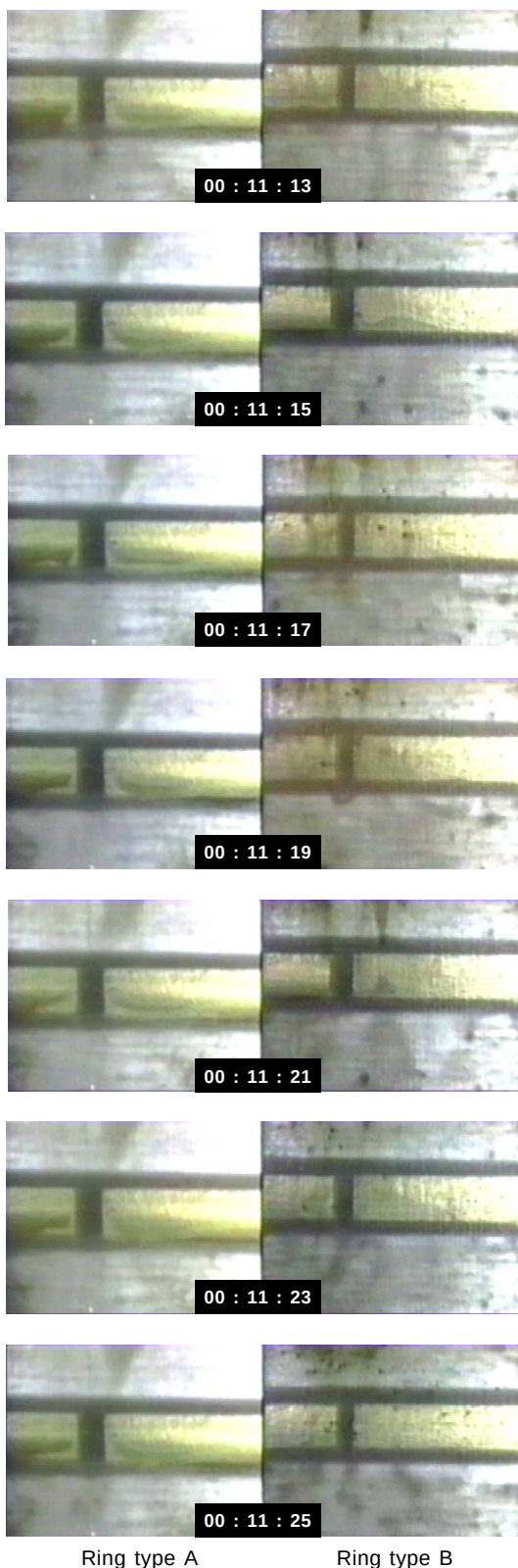


Fig.8 Top ring gap motion

ブローバイガスが噴出している様子は見られない。ゆえにタイプBは、リングの外周からブローバイガスが抜けていることが推測される。

Fig.9にエンジン始動後40secから3sec毎の連続映像を示す。タイプAのリングはこの過程において大きな変化は見られないが、タイプBのリングはリング合い口からリング外周面に油膜が形成されて行く過程が観察できる。さらに油膜が形成されるにつれてリング合い口からブローバイガスが噴出しはじめる様子が58sec後の映像からわかる。このことからタイプBのリングはエンジン始動から58secまでシール機能が失われていたことがわかる。

3.4. CCD排出量

Fig.10にエンジン始動直後から10sec毎の連続映像を示す。タイプAのリングは、エンジン始動後20secでセカンドランド部に多量のCCDが排出され、40secでセカンドランド部のCCDが無くなりリング溝内のCCD排出が完了している。これに対してタイプBのリングは、エンジン始動後10secから徐々にセカンドランド部にCCDが排出されるが、30sec後から排出量が増加し60sec経過してもセカンドランド部にCCDが存在する。

約5分間のテストを終了しエンジンを分解チェックした際タイプA、Bともにトップリング溝内およびセカンドランド部にCCDは無かった。

Fig.11に 観察結果を5sec毎に画像処理しCCD面積占有率を求めたグラフを示す。タイプAのリングはエンジン始動後10secからCCDの排出量が増加し、15secで最大となり25secでCCDの排出をほぼ終了している。タイプBの最大排出時期は50secであり60sec経過しても排出が完了しない。この二種類のリングにおける諸元の違いは、ねじれ角と実サイドクリアランスで、排出が良好なリングはねじれ角が小さく、実サイドクリアランスが大きい。このことからタイプBは、タイプAよりCCDを排出しづらいトップリングであることがわかる。

3.5. ハーフスティック現象の改善指針

以上の結果から、CCDによるハーフスティック現象は、エンジン始動直後にCCDがリング溝から排出される過程でトップリングが、スティック状態と正常状態を繰り返す不安定な状態であることがわかった。

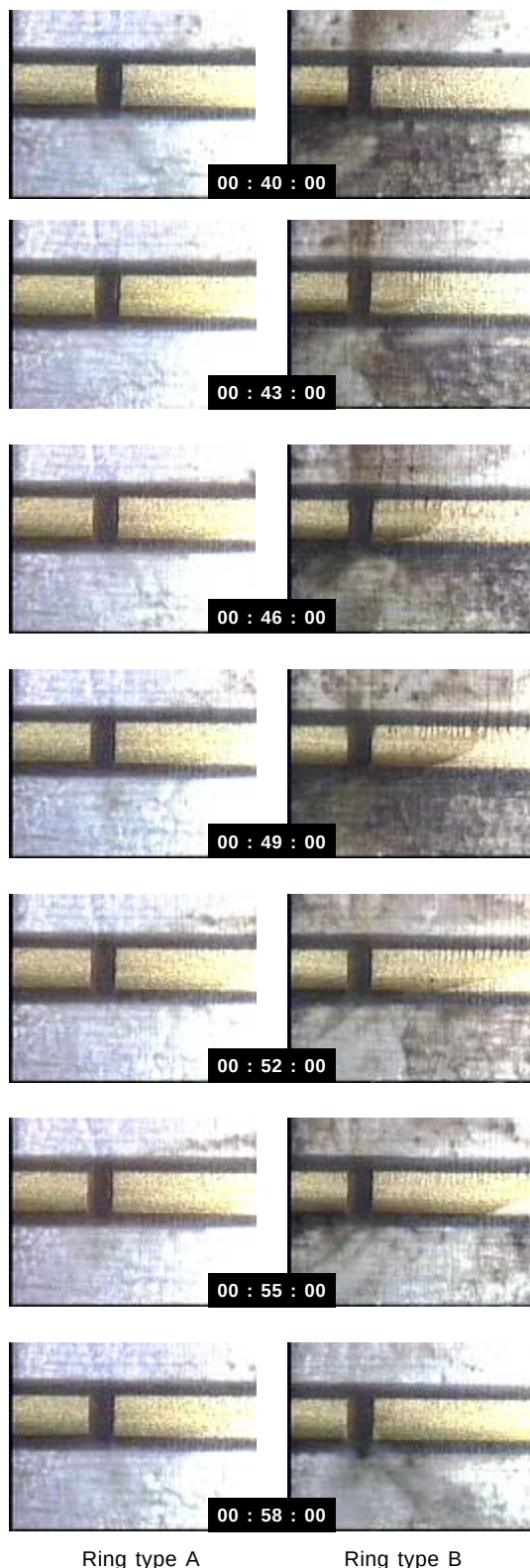


Fig.9 Formation of oil film

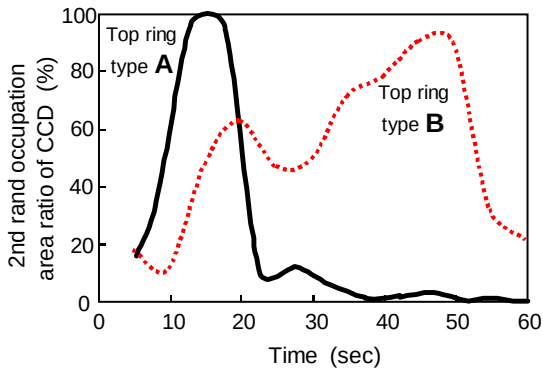


Fig.11 2nd rand occupation area ratio of CCD

この現象を改善するためには、トップリングのCCD排出機能を良好にする目的でねじれ角を小さく、実サイドクリアランスを大きくすることが有効である。

4. まとめ

エンジンファイアリング運転において、ピストントップリング溝から排出されるCCD挙動を観察できる可視化装置を開発し以下の知見を得た。

- 1) ピストントップリングのハーフスティック状態を観察し、①トップリングの合い口隙間が変動する“間欠縮小現象” ②リング外周の“油膜ぎれ”が発生していることがわかった。
- 2) リング溝内のCCDを排出する能力が低いトップリングは、ハーフスティックが発生しやすく、CCD排出機能の向上が必要である。
- 3) トップリングのCCD排出機能向上には、ねじれ角度を小さくすることと、実サイドクリアランスを大きくすることが有効である。

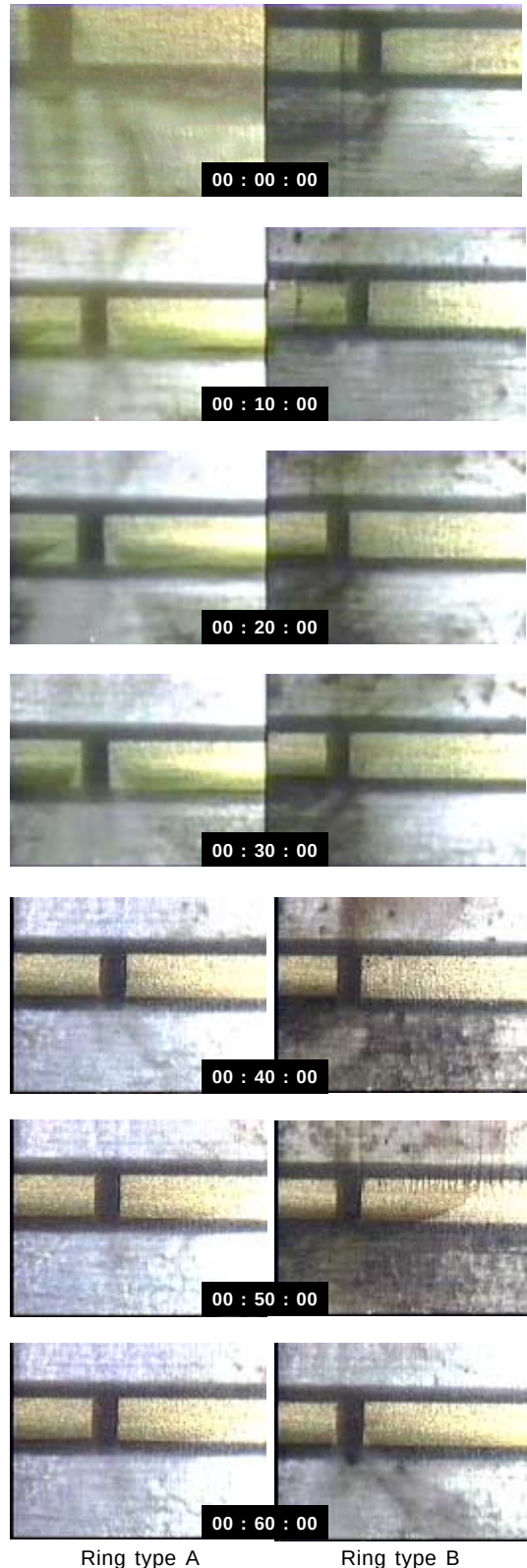


Fig.10 View of CCD discharge

参考文献

- 1) 内田 片野「縦置直列5気筒エンジンの騒音振動低減技術」、HONDA R&D Technical Review、Vol.2 (1990)、pp.14-25
- 2) 村上 篠原 永井 亀田「96モデル レジェンドエンジンの振動騒音性能の向上について」、HONDA R&D Technical Review、Vol.8(1996)、pp.46-55
- 3) 明本 丸谷 吉田 小林 杉原、「ピストン打音に与えるピストントップリングの影響」、自技会 学術講演会前刷集、No.955 (1995)、pp.109-112

■著 者■



明 本 禧 洙



丸 谷 武 志



杉 原 弘 幸



小 林 弘 幸