

エンジンオイル劣化モニタシステムの開発

Development of Engine Oil Deterioration Monitoring System

高岡 伸明*
Nobuaki TAKAOKA
久保 浩志*
Hiroshi KUBO

橋本 宏*
Hiroshi HASHIMOTO
川内 昌司*
Shouji KAWAUCHI

斎藤 彰久*
Akihisa SAITO
江口 強*
Tsuyoshi EGUCHI

要 旨

オイル交換インターバルの適正化を狙って、オイル劣化モニタシステムを開発した。オイル劣化アルゴリズムを用いてオイル寿命を計算し、所定値になるとオイル交換案内をメータに表示するシステムとした。アルゴリズムは、まず油温を推定し、油温をパラメータとするオイル劣化係数とエンジン回転回数からオイル寿命消費量を計算する。油温に応じたオイル劣化係数は、平均油温が異なる耐久走行を実施し、各耐久の平均油温に応じたオイル寿命から求めた。この特性が様々な走行モードに適用可能であるか検証するために一般市場モニタを実施し、その検証結果をオイル寿命計算データに反映した。本システムは米国ユーザのオイル交換インターバル適正化をできることがわかった。

ABSTRACT

An oil deterioration monitoring system has been developed to enable the necessary intervals between oil changes to be judged with greater accuracy. The system calculates oil life using an oil deterioration algorithm. When the figure reaches a predetermined value, the meter displays a recommendation for oil change. The algorithm first estimates oil temperature, a parameter of the oil deterioration coefficient. The coefficient and engine speed are then used to calculate how much of the oil's usable life has been expended. The oil deterioration coefficient, which is dependent on oil temperature, was found from oil life in endurance tests conducted with oil at differing average temperatures. A market survey was conducted to verify the applicability of the measure to a variety of driving modes, and results were reflected in calculations of oil life. It has been demonstrated that this system is successful in enabling U.S. users to change their oil at more appropriate intervals.

1. まえがき

エンジンオイルは、エンジン部品に対して、潤滑、清浄、密封、冷却、防錆、腐食防止等の作用を行っているが、それらの機能はエンジンを運転するに従い低下して、いつかはオイル交換しなければならなくなる。エンジンの故障を予防する為には早期に交換すべきであるが、環境保護、資源の有効利用、メンテナンスの省力化の要求からは交換時期のロングインターバルが望まれる。

ところが、エンジンオイルはエンジンの運転条件によって劣化形態と交換時期が異なってしまう。例えば短距離運転と長時間放置の繰り返しで油温上昇が不十分であれば油中水分が蒸発せず、ブローバイガス中の NOx が硝酸、亜硝酸となって低温スラッジの発生に至る。高油温での運転はオイルの高温酸化を起こし、粘度の増大と同時に添加剤

を消耗させる。このように運転条件の経歴によってオイル劣化度合いは変化することから、ユーザが適正なオイル交換時期を判断することは困難であった。

これらの問題に対し、今回ユーザの運転状況に応じたオイル交換時期を計算し、メータに案内表示するオイル劣化モニタシステムを開発したので、ここに紹介する。

2. 開発のねらい

オイル劣化モニタシステム開発に際して以下の2点を主要な狙いとした。

(1) オイル交換距離の適正化

(2) センサを用いない簡便なシステム

北米ユーザがエンジンオイルを何マイル毎に交換しているか、さらに、オイル寿命を使いきった場合、何マイル走行

可能であるか調査した結果を Fig. 1 に示す。

ユーザのオイル交換実態は、アメリカホンダが 1999 年に調査した結果と、USA TODAY が 2002 年 4 月 18 日～6 月 27 日に実施したインターネット上でのアンケート結果 (n=7414) を併記してある。USA TODAY の結果の方がロングメンテナンスの分布となっている。

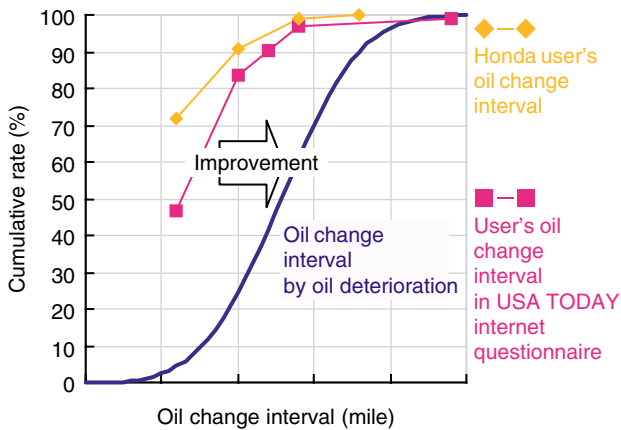


Fig. 1 Oil change interval

また、北米ユーザの交換後のオイルを回収、分析して、そのオイル劣化度合いから走行可能距離を推定した結果を青線で示している。

北米のオイル交換実態としては、早め交換であることがわかる。オイル劣化モニタシステムは、ユーザのオイル交換分布をオイル寿命実力分布に近づけられる有効なシステムであることが必要である。

オイル劣化を直接検知する試みも様々に行われている。オイルの汚染度から劣化判定を試みる光透過型センサやオイルの誘電率の変化から劣化度合いを測定する静電容量型センサなどがあるが、どちらも劣化との相関性が認められていない⁽¹⁾。粘度変化も重要な指標であるが、油種による粘度の差等で判定が困難であるとの見方が強い⁽²⁾。中和価の測定は添加剤の劣化、消耗と基油の酸化を表す効果的な方法であり、Dayton大学にて車載状態で測定する技術が開発された⁽³⁾。硝酸エステル濃度を赤外吸光分析で測定する技術も開発された⁽¹⁾が、これらも実用化には至っていない。

本システムはこれらのセンサを使用することなく、簡便なシステムでかつユーザのオイル交換インターバルを適正化できるシステムを目標として開発した。

参考に他社システムを Table 1 に示す。

Table 1 Oil maintenance indication system

Maker	System name	Oil change interval	Method	Model/Year	Note
BENZ	Active service system	Max 30 000km	Algorithm	97M	With oil level sensor
BMW	BMW maintenance system	Max 30 000km	Algorithm	98M	With oil level sensor
AUDI	AUDI variable service	Max 30 000km	Algorithm	00M	With oil level sensor
GM	Oil life system	4800 ~ 16 000km	Algorithm	98M	

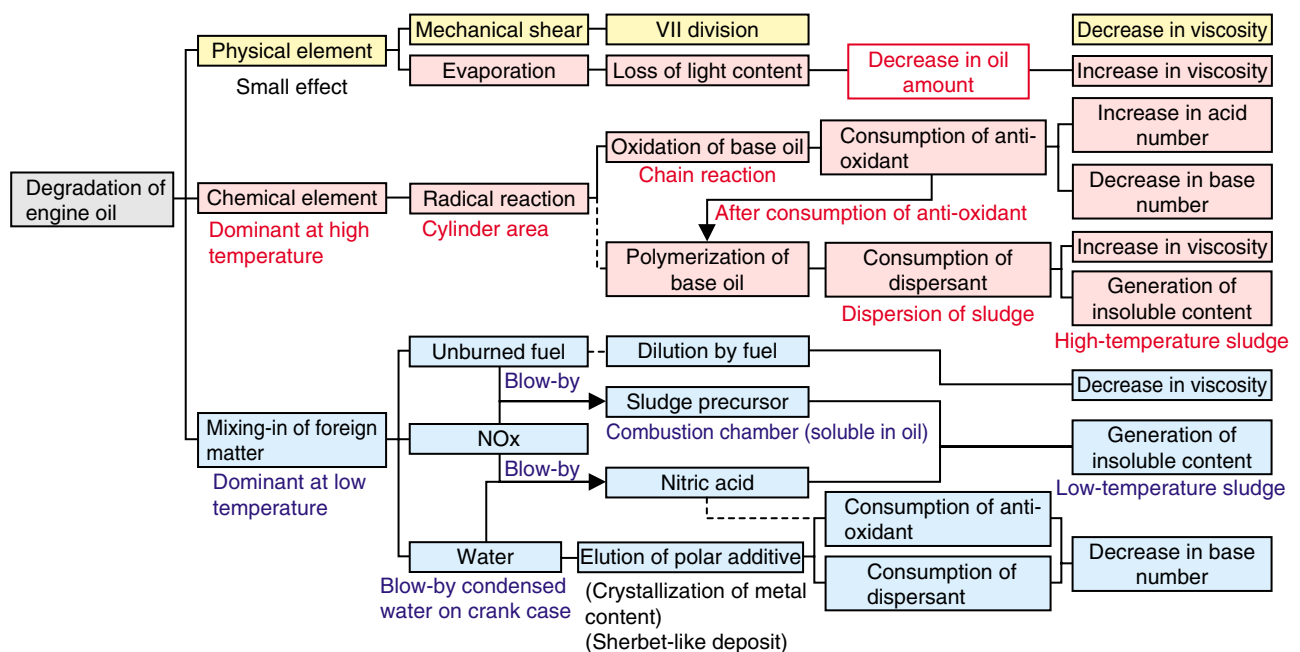


Fig. 2 Mechanism of deterioration of engine oil

3. オイル劣化要因と寿命推定方法

3.1. オイル劣化要因

Fig. 2 にオイル劣化要因を示す。エンジンオイルは基油と添加剤で成り立っており、オイルの劣化として、以下の項目が挙げられる。

- (a) 基油自身の酸化、劣化、蒸発
- (b) 添加剤の劣化、消耗による機能低下
- (c) 系外からの混入

(a)は高油温時に支配的である。シリンダ領域で基油が酸化するため、酸化防止剤が消耗し、これにより酸価の上昇、塩基価の低下につながる。さらに酸化防止剤が消耗すると基油の重合により分散剤が消耗し、粘度増加や不溶解分の生成につながる。(c)は特にブローバイガス成分の低温時混入が支配的である。ブローバイガス成分には未燃燃料や水分、NO_xが含まれていて、スラッジブリッカーや硝酸を生成し、不溶解分の発生や添加剤の消耗を促進する。

オイル粘度が低下した場合は動弁系摩耗等が問題となる。粘度増加はフリクション増加となり低温始動性や燃費の悪化につながる。塩基価低下や酸価の増加は酸性イオンによる軸受腐食摩耗が問題となる。不溶解分は油路を閉塞し、油量不足による様々な問題を引き起こす。オイルの塩基価、酸価、粘度、不溶解分の量はオイル寿命を判断するための重要な指標である。

3.2. オイル劣化推定の考え方

3.1で述べたオイル劣化は油温に対する傾向として説明できる。Fig. 3 に示すように 80℃付近を中心として、それよりも高くても低くても劣化は加速される⁽⁴⁾。80℃付近より高温であるほど、酸化劣化が早くなり、基油の酸化、添加剤の劣化、消耗が促進される。80℃以下ではブローバイガス成分の混入等により添加剤が劣化する。これを走り方に当てはめると、低温環境と短距離走行による油温が低い条件から高温環境と高負荷による高油温での走行等、

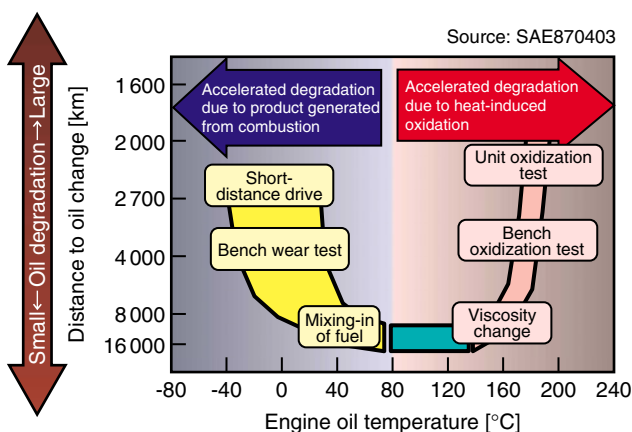


Fig. 3 Effect of oil temperature on engine oil deterioration

様々な油温で耐久を実施すれば、油温をパラメータとしたオイル寿命曲線を得ることができる。この寿命曲線から油温に対応したオイル劣化係数を作成し、この劣化係数を使用して計算することで、様々な油温条件で運転しても、所定の計算値でオイルの寿命を精度よく推定できることを実機で検証した。

4. オイル劣化モニタシステム

4.1. 劣化モニタシステム全体構成

Fig. 4 にシステム全体構成を示す。

油温を推定するために水温、エンジン回転数、車速、吸入空気温度、吸気管内圧力等のセンサを使用した。推定油温で油温に対応したオイル劣化係数を求め、その係数とエンジン回転回数とからオイル劣化量を計算する。オイル交換時にリセット処理を実施することにより計算値が初期化され、オイル寿命が100%から減算される。オイル寿命が所定値以下となったらオイル交換案内をメータに表示する。オイル寿命は、ユーザが画面を選択すれば、常に確認することができる。

4.2. 油温に対応したオイル劣化係数(DF)

3.2で述べた考え方で油温を変えて耐久を実施し、油温に対応するオイル寿命曲線を得た。耐久結果の中で最も長い

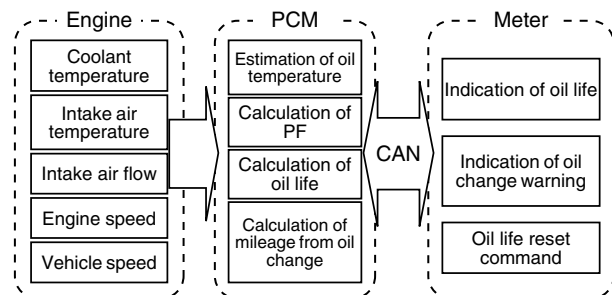


Fig. 4 Oil deterioration monitoring system

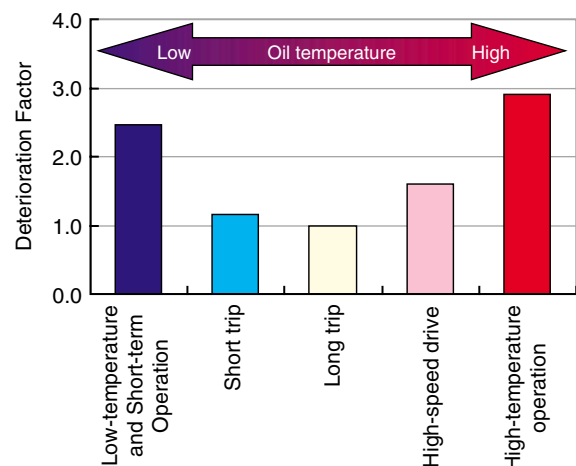


Fig. 5 Deterioration factors for driving conditions

寿命値に対し、何倍早く劣化するかという劣化係数を求めた結果を Fig. 5 に示す。オイル寿命は 4.3 に示すようにエンジン積算回転回数で計算するので、Fig. 5 に示す係数は、各耐久でオイルが寿命となるまでのエンジン積算回転回数の比である。この油温をパラメータとする劣化係数を DF と呼ぶこととする。Fig. 5 の各耐久結果を平均油温で整理して DF 特性を作成した。DF 特性の検証としては、各耐久結果を 4.3 に示す方法で計算し、オイルが寿命となる走行距離時点での計算値が一定の値となることを確認した。

4.3. オイル寿命計算方法

オイル寿命は、エンジン回転回数と DF を乗算した値を積算して計算される。その値をオイル寿命消費量とし、式 (1) によって算出される。

$$\text{REVOLF} = \Sigma (\text{REVSEC} \times \text{DF}) \quad (1)$$

REVOLF : オイル寿命消費量(回)

REVSEC : エンジン回転回数(回/sec)

DF : 油温に対応したオイル劣化係数

エンジンの始動と油温の上昇に伴い、その油温に対応した DF を使用して計算される。オイル交換後のリセット処理によりオイル寿命消費量はゼロとなり、その後エンジンの運転と共に消費量は増加する。このオイル寿命消費量が所定値となったとき寿命割合がゼロとなるように計算される。

寿命割合がゼロとなるオイル寿命消費量を決定するために、オイル劣化耐久を再度実施した。DF 特性を決定するために実施した時と異なる内容は、

(1) DF 特性テスト時はオイルをフラッシングして、残劣化油が無い条件で行ったのに対し、通常のオイル交換を想定して、劣化した残油があるところに新油を継ぎ足した条件であること。

(2) 市販油のオイル寿命

市販油は多種販売されているので、まず単体テストで劣化が早いものを選別し、かつ北米での販売シェアの高いオイルを実車にてオイル寿命消費量を確認した。

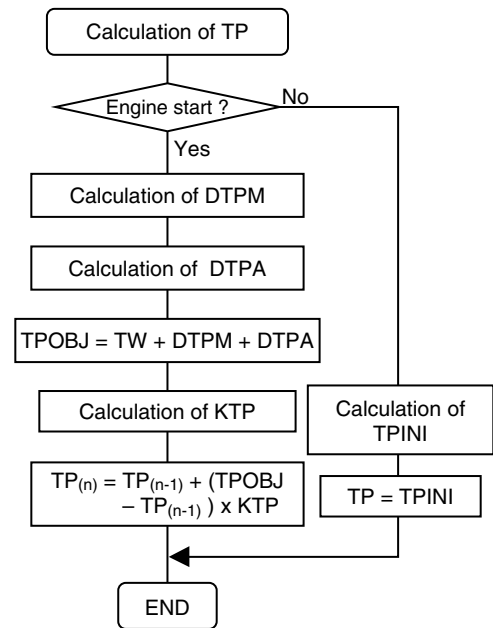
この確認結果と、油温推定誤差、その他オイル寿命推定誤差を考慮して寿命割合がゼロとなるオイル寿命消費量を設定した。

4.4. 油温推定方法

油温推定アルゴリズムの概要を Fig. 6 に示す。

IG ON した直後の初期油温は基本的に水温とするが、ホットリスタートと判断されるような状況では、前回停止した時点の油温に近い値を初期値として使用するようにした。

推定油温の目標値補正項 DTPM は、X 軸が燃料噴射量とエンジンスピードから計算されるパラメータ、Y 軸が車速のマップデータとした。このマップは、スロットル全開から全閉までの条件で油温を計測して作成される。



DTPM : TPOBJ correction value against engine condition
 DTPA : TPOBJ correction value against ambient temperature
 TPOBJ : Target value of TOILP
 TW : Water temperature
 KTP : Coefficient for estimation
 TP : Estimated oil temperature
 TPINI : Initial value of TOILP

Fig. 6 Oil temperature estimation algorithm

また、推定油温は外気温に対して補正される。外気温は吸入空気温度と車速から推定した。冷機時、始動直後の油温は水温となり、推定油温は水温から上昇するので、始動直後の外気温補正は必要なく、油温がサチュレートする温度を外気温で補正するようにした。油温がサチュレートする条件だけ外気温補正するよう制限することにより外気温推定の精度も向上できる。Fig. 7 は外気温 -20°C での車速と吸入空気温度の関係であるが、例えば外気温推定する油温を 70°C 以上に限定した場合、車速と吸入空気温度の関係には相関性が認められるが、始動直後の全データでは相関性が無い。

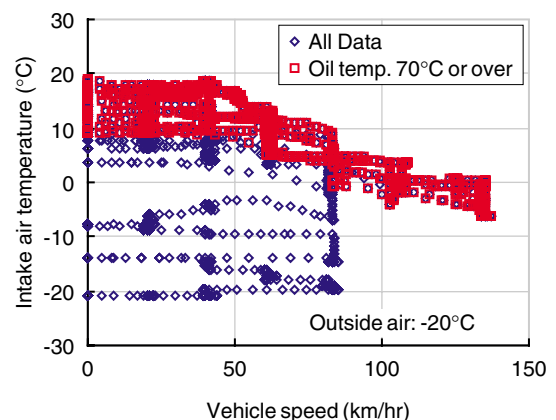


Fig. 7 Vehicle speed and intake air temperature

推定油温は、式(2)によって算出される。

$$TP_{(n)} = TP_{(n-1)} + (TPOBJ - TP_{(n-1)}) \times KTP \quad (2)$$

TP : 推定油温(°C)

TPOBJ : 推定油温目標値(°C)

KTP : 推定係数

推定係数は、実際の油温の変化に合うように補正する係数であり、実油温を計測した結果より逆算して決定される。すなわち、

$$KTP = (Toil_{(n)} - Toil_{(n-1)}) / (TPOBJ - Toil_{(n-1)}) \quad (3)$$

Toil : 実油温(°C)

である。

4.5. その他

車両のメンテナンスや修理を行うときにバッテリー端子を外しても、オイル寿命計算結果が消失しないように対応した。また PCM を交換されたとき、オイル寿命計算結果を古い PCM から新しい PCM に書きかえるよう対応した。

5. オイル劣化モニタ精度

5.1. 油温推定精度

オイル劣化モニタシステムを追加したモニタ車を走行させて、油温推定精度の検証を行った。検証方法としては、実油温をサーミスタで計測し、実油温で計算したオイル寿命計算値と推定油温で計算したオイル寿命計算値の誤差を油温推定誤差として捉えた。その誤差を Fig. 8 に示す。実油温での計算結果に対する推定油温での計算結果の差は 3σ で $-6.6\% \sim +3.6\%$ であった。

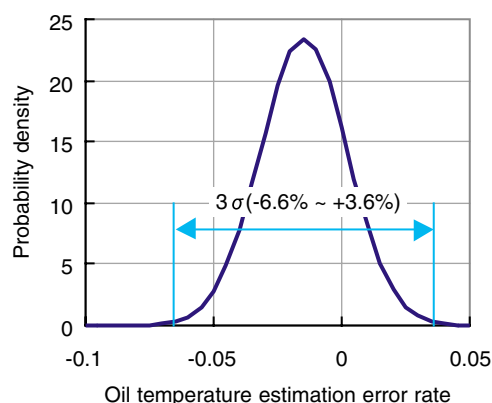


Fig. 8 Data comparison for oil life calculations

5.2. オイル寿命推定精度

5.1と同様にモニタ車で、オイル寿命計算値の精度を検証した。検証方法は、モニタ車のオイルを数回サンプルし分析して、オイルが寿命となる走行距離での計算値と設定値と

の誤差を確認した。実際の劣化よりも計算値が遅くなる方向の誤差は最大15%であった。油温推定の誤差を含めると約20%の誤差となりえる。

オイル寿命計算データは上記誤差を考慮して設定した。

6. システム導入効果

本システムを導入したとき、米国のユーザがどの程度の走行距離で計算上のオイル寿命がゼロとなるか推定した。推定の方法としては、米国の平均車速分布と、平均車速に応じたオイル寿命距離の分布の2つから求めた。

オイル寿命はエンジンの積算回転回数で計算されるので、高いギアを使用すれば同じエンジン回転数でも長い距離を走行可能となる。平均車速が高いほど、高いギアを使用する頻度が高くなるので、オイル寿命距離も長くなる。

米国で行ったモニタ車と日本でのモニタ車から1ドライビングサイクル毎のデータを計算処理して Fig. 9 の分布を得た。1ドライビングサイクルのオイル寿命消費量、走行距離からオイル寿命がゼロとなる寿命距離を計算し、その時の平均車速毎に統計処理したものである。これに米国での平均車速分布をかけ合わせ、累積分布を求めると Fig. 10 と

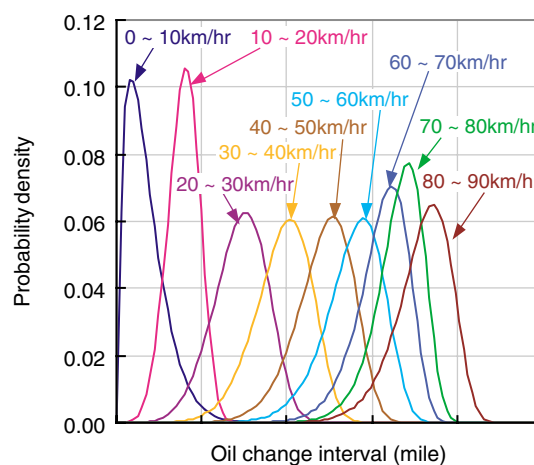


Fig. 9 Vehicle speed and oil life

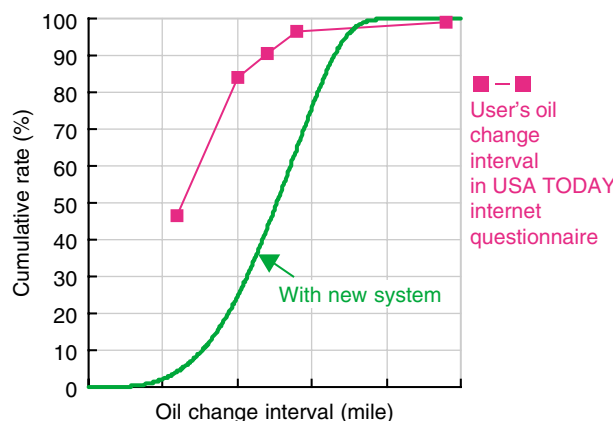


Fig. 10 Oil change interval with new system

なり、オイル交換実態に対してオイル交換インターバルを延長する効果があることがわかる。これにより平均的なユーザで、オイル交換回数を3割削減できる。

7. まとめ

油温に対応したオイル劣化係数とエンジン積算回転回数から計算するオイル劣化モニタシステムを構築した。本システムの精度を検証し、実際のオイル劣化よりも計算が遅くなることないように考慮して設定したデータでのオイル交換インターバル分布は、米国ユーザの現状のオイル交換インターバルを適正化できるものとなった。

参考文献

- (1) 村上靖宏, 松本栄一, 野上康広: オイル劣化センサーの研究開発, 日産技報, No30, p.92-98 (1991)
- (2) A Greenberg: Cost Puts Direct Oil Condition Sensing in Back Seat, Automotive Electronics Journal, January 15th, p.9, 12 (1990)
- (3) R. E. Kauffman: Development of a Remaining a Lubricant Evaluation Technique. Part: Cyclic Voltammetric Methods, Lub. Eng., 45-11, p.709 (1988)
- (4) S. Schwartz and D. J. Smolenski : Development of an Automatic Engine Oil-Change Indicator System, SAE Paper, No.870403

■ 著 者 ■



高岡 伸明



橋本 宏



斎藤 彰久



久保 浩志



川内 昌司



江口 強