

排出ガス対策装置の車載機能診断システム（OBD） に関する性能要件及び機能評価法の研究（第2報）

- 広域運転領域を対象としたオンボード触媒劣化診断手法の検討 -

環境エネルギー部

山本 敏朗、野田 明

1. まえがき

最近のガソリン車の排出ガス対策では、高精度な空燃比（以下、「A/F」と記す）制御と浄化効率の高い触媒装置を組み合わせる方式が一般的で、後処理技術に多く依存している。このため触媒が劣化して浄化機能が低下した場合には、排出ガスが大幅に悪化する一方、車の運転性にはほとんど影響しないことから、異常な排出ガス車が長期間、無意識に使われ続ける危険性がある。したがって触媒装置に対するOBD（車載型排出ガス対策装置故障記録・表示装置）の役割は重要で、今後、我が国がOBDのあり方を検討する際の中心的議題になると予想される。ただし、触媒劣化を車上で直接検知できる技術がないため、現状ではO₂センサなどの間接情報から診断する手法が使われているが、診断対象の運転域を限定して処理する例が多く、実使用条件下での触媒診断には、必ずしも十分なものとはいえない。

その対策として前報⁽¹⁾⁽²⁾では、触媒劣化検知のためのデュアルO₂センサ法における信号波形の分析方法を検討した。その結果、触媒前後のO₂センサ信号をFFT解析しパワースペクトルを一次式で近似する方法は、触媒劣化の影響が顕著に現れやすい加速運転条件でも適用できる可能性を見出した。

本報では、この手法を実走行状態での触媒の劣化診断に結び付けることを考え、劣化判定のための計算法や指標、対象運転域を検討した。その方法として、各種の実走行運転データの中から触媒の劣化診断に適した運転領域を抽出し、その領域のO₂センサ出力波形に対してパワースペクトル一次式近似処理を行って、触媒の劣化状態を判定する方法を提案した。

Table 1 Test engine specifications

Engine Type	SOHC, 4-Cycle, 4-Cylinder In-line
Bore × Stroke (mm)	85 × 95
Displacement (mL)	2156
Compression Ratio	8.8
Fuel Injection System	EFI

Table 2 Test catalyst

	Catalyst Age
Fresh Catalyst	*****
Aged Catalyst A	50000 km
Aged Catalyst B	80000 km

Table 3 Principal specifications of test catalyst

PM Component	Pt/Rh
PM Ratio	1.5/0.4
PM Loading (g/L)	1.9
Substrate(mm/cpsi)	0.1/600
Substrate Size	105.7 × 150L
Substrate Size(L)	1.32

cpsi : cells per square inch

2. 実験方法

実験は、電子制御燃料噴射・A/Fストイキ制御方式のガソリンエンジンを使用し、自動変速機を取り付けた状態でベンチに設置して自動運転装置によりモード運転等を行わせた。供試エンジンの主要諸元を表1に示す。触媒診断の実験に使用したO₂センサは、ジルコニア固体電解質の標準タイプであり、内部に暖機促進用のヒータが組み込まれている。

供試触媒は、表2に示すように新品触媒1種類、及びその同等品に5万km走行相当および8万km走行相当の迅速劣化処理を加えた2種類の劣化触媒

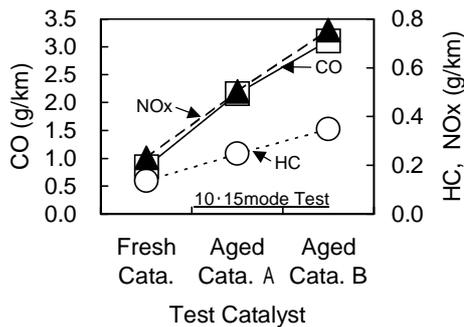
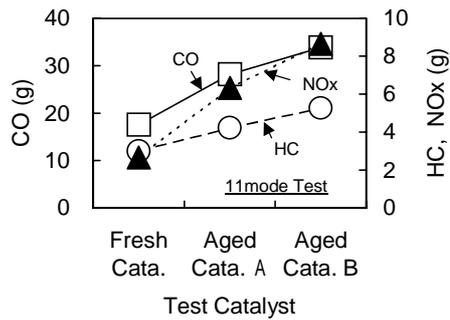


Fig. 1 Purification performance of test catalyst

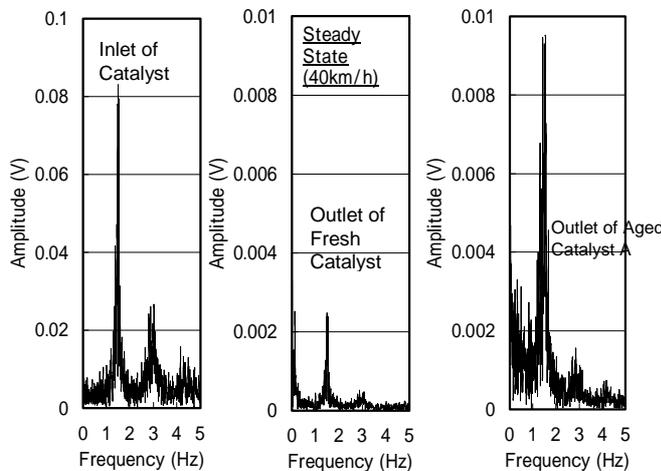


Fig.2 Frequency analysis of oxygen sensor output under steady state

を用いた。各触媒の共通仕様を表3に示す。また、供試触媒の浄化性能の比較を図1に示す。なお、3種類の供試触媒は、前報で用いたものと同一である。

2本のO₂センサをこれらの触媒試験容器の入口側と出口側に取り付けた状態で10・15モード運転及び実走行運転を行い、触媒の新品時及び劣化時におけるO₂センサ出力信号を連続記録した。

また、触媒前後のO₂センサ信号の変動状態と空燃比との関係を調べるため、触媒前後からサンプルした排出ガスを2台のA/F計に導入して、その変化を連続測定した。なお、触媒前後のO₂センサについては、その出力特性と空燃比の関係が一致することを予め実験で確認した。

以下に、一連の実験・解析の結果を示す。

3. 実験結果及び考察

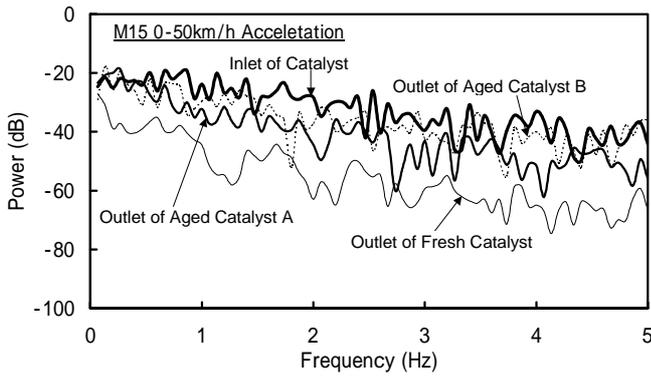
5万km走行相当(劣化触媒A)と8万km走行相当(劣化触媒B)の2種類の触媒を用いてエンジンを運転し、変動状態のO₂センサ信号をFFT処理する方法を検討した。信号のパワースペクトルを求め、周波数に対する傾向を一次式で近似する処理(パワースペクトル一次式近似法)により、触媒劣化に関連した指標が得られる可能性を見出した。

そこで、この手法を実際の運転状態での劣化診断に適用することを考え、新品触媒と劣化触媒との比較実験により、診断に適した運転領域や判定方法を検討した。

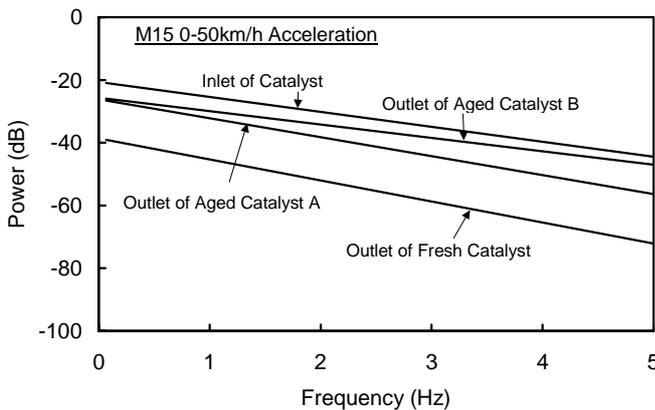
3.1. パワースペクトル一次式近似法

図2は、40km/h定常走行時における触媒前後でのO₂センサ出力波形の周波数分析結果を、新品触媒と劣化触媒Aと比較したものである。触媒前及び両触媒後のO₂センサ信号は、周波数1.5Hz近傍に振幅のピークが観測されることから、40km/h定常走行時でのO₂センサ出力は、主にこの周波数の波形が中心といえる。また、触媒後の信号は、劣化触媒の方が振幅が大きいことから、この振幅比の違いから触媒の劣化判定が行える可能性があるが、定常走行時の触媒入口側O₂センサ出力波形が、ほぼ一定の周波数と振幅の規則正しい波形で構成されていることが前提になっている。ただし、実走行運転時ではこのような理想的な定常走行状態を見出しにくい上に中心周波数も運転条件に左右されることから、このような特定の周波数成分の振幅比を比較する手法では、劣化判定への適用が困難である。

そこで、触媒入口側O₂センサ出力波形が不規則な過渡運転条件にも適用できる劣化判定法として、パワースペクトル一次式近似法を提案した。これは図3(a)のようなスペクトル波形を(b)のような形で直線近似するものである。触媒出口側O₂センサ



(a) Power spectrum



(b) Approximation with linear function

Fig. 3 Approximate analysis with linear function of power spectrum

出力信号のパワースペクトルの周波数に対する傾向は(a)図のように触媒の劣化状態に応じて変化しており、(b)図に示す減衰率は、新品触媒、劣化触媒A、劣化触媒Bと劣化が進行するに従って減少していることで、判定指標となりうる。

ただし出口側O₂センサの信号変動は、運転条件の影響を強く受ける触媒入口側ガスの空燃比変動状態にも影響されることが予想される。そこで図4に示すように、触媒入口側と出口側のO₂センサ出力信号のパワースペクトルの差分に対して一次式で近似し、これを判定指標にすることを提案した。この差分指標は、触媒の持つ空燃比変動抑制機能の周波数に対する傾向を示すものであり、触媒固有のものといえる。同図においては、Powerが0に近づくほど触媒前後でのO₂センサ出力変動に差がないことを示し、触媒の劣化が進んでいることを意味する。

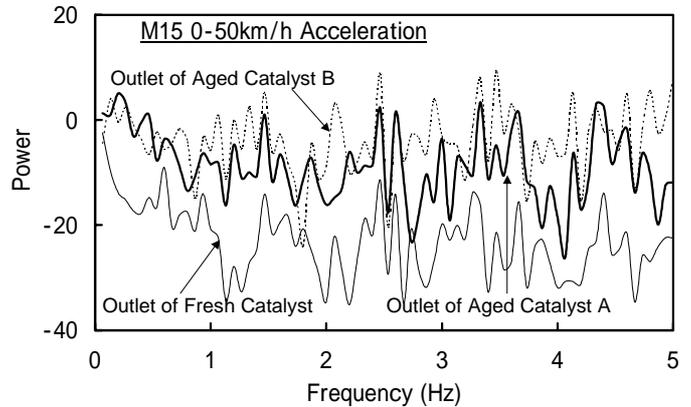
次に、この判定指標の適用性を検討した。

3.2. 診断に適した運転領域

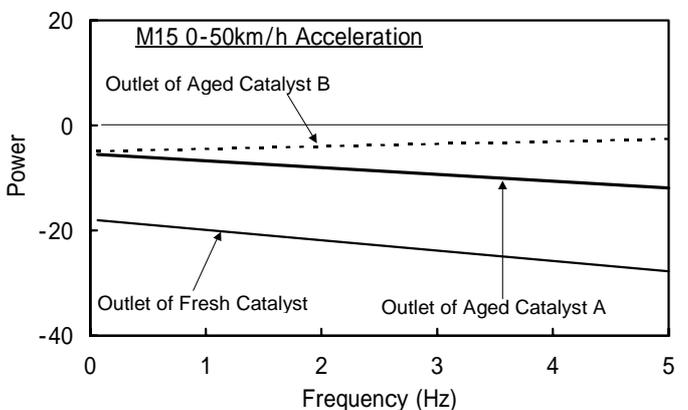
実用的な触媒診断法としての可能性を探るために、新品触媒と劣化触媒を使って10・15モードを運転し、加速域から定速域に至る領域のO₂センサ信号に対して、パワースペクトル一次式近似処理を適用して、分別性や再現性を調査した。

図5は10モードを3回繰り返した時のM6(加速)、M7(定速)両域でのスペクトル再現性を示したものである。新品触媒、劣化触媒AともにPowerの一次式近似が3者で良く一致している。この結果から、加速域、定常域あるいは両運転域を組み合わせた診断用運転パターンを用いれば、触媒の劣化の有無が診断できる可能性がある。

一方、減速域とアイドル域の場合は、触媒の劣化状態に応じたパワースペクトルの一次式近似の分離が難しく、劣化診断に使うのは適切でない。その理由は、減速時では燃料カット域に入る場合が多く、またアイドル域では排出ガス流量が少ないた



(a) Difference of power spectrum



(b) Approximation with linear function

Fig. 4 Index of catalyst deterioration degree

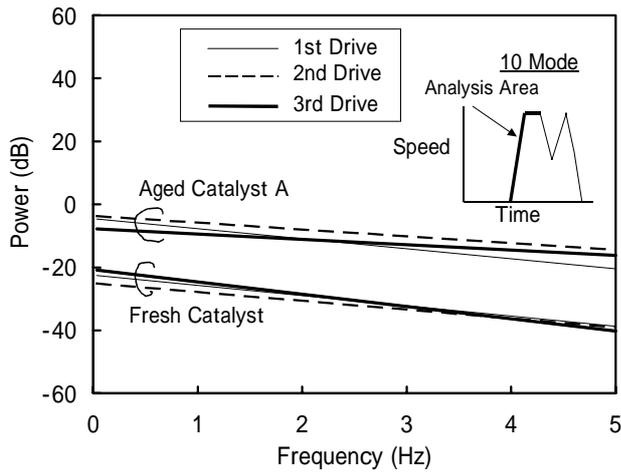
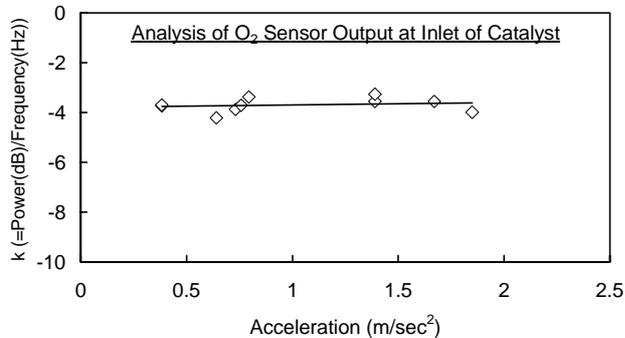
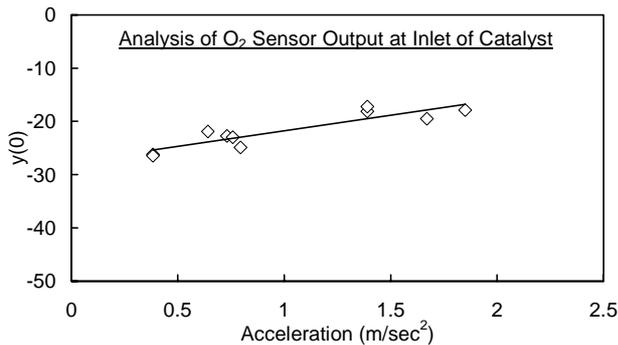


Fig. 5 Reproducibility of Power



(a) Relationship between k and acceleration



(b) Relationship between y(0) and acceleration

Fig. 6 Dependence of approximate equation with linear function of power spectrum on acceleration

め触媒劣化の影響が出にくいこと、O₂センサ信号波形の再現性が悪いこと等による。

3.3. 実走行運転時における触媒劣化診断

これまでの結果から、実走行運転時において触媒の劣化診断を車で行うには、加速域や定常域が望ましいことがわかった。ただし、実走行条件ではモードパターンのような完全な定速域を見出すのは困難なため、条件に合う加速域を抽出して処理を行い、そこで触媒劣化の評価指標を求めるのが現実的といえる。そのためには、大量の実走行運転データの中からどのような基準でデータ処理を行う運転範囲を選ぶべきかを決定する必要がある。次にその選定方法を検討した。

定加速運転における加速度と最終到達速度を種々に変化させた運転を行い、触媒入口側O₂センサ出力信号のパワースペクトル一次式近似を求めた。図6(a)は、その一次式の傾きkと加速度との関係を、図6(b)は、Y切片y(0)と加速度との関係を示したものである。両図より、kは加速度に対して0次、y(0)は1次の関係になることから、加速度を基準に取れば、車速範囲が異なってもパワースペクトル1次近似法を適用する場合には、同等の条件として使用できる可能性がある。

このことを検証するために、図7に示すように加速度が同程度で車速範囲の異なる2つの加速条件に対して処理を行った。図8(a)(b)に、それぞれの加速条件に対する処理結果を示す。同図より、劣化触媒Aにおいては周波数が低い領域でPowerに違いがみられるものの、それ以外においては、新品触媒、劣化触媒A、劣化触媒Bともに周波数に対するPowerの傾向がよく一致している。

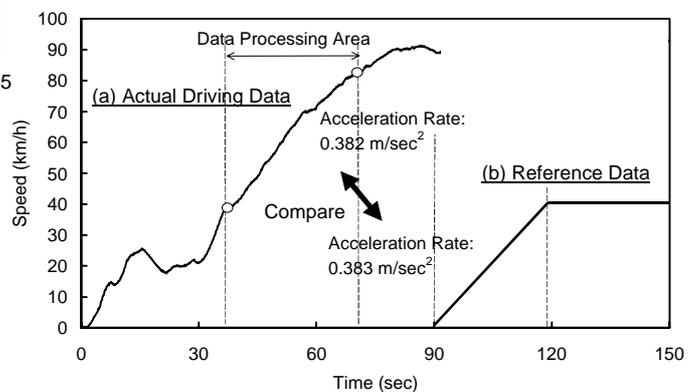
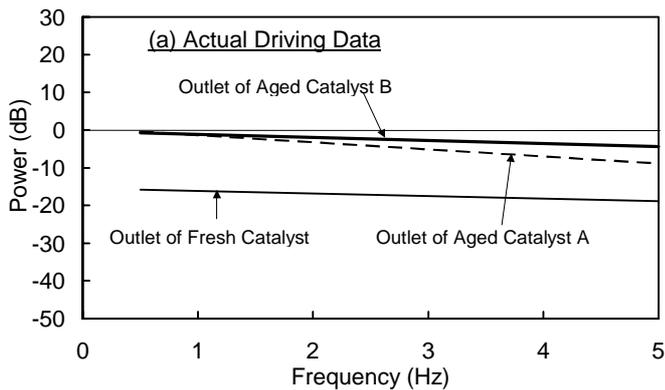
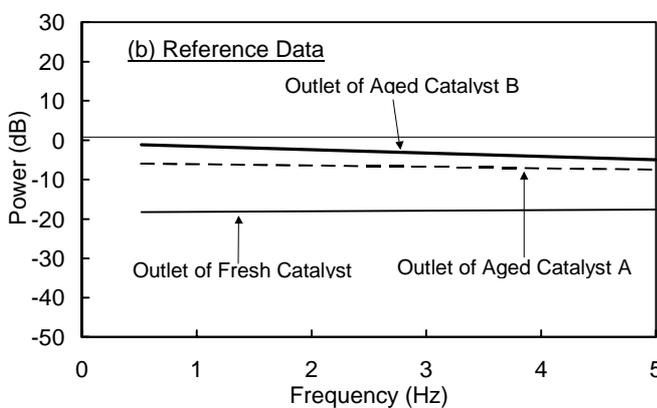


Fig. 7 Example of diagnostic processing under actual driving conditions



(a) Diagnostic result using actual driving data



(b) Diagnostic result using reference data

Fig. 8 Comparison of diagnostic results by Power method

このことから、この2つの加速条件は、劣化判定の条件として共に有効であると考えられる。

なお、両図の結果を比較すると、触媒劣化の判定指標としては、前述のパワースペクトル1次近似式の傾き k と Y 切片 $y(0)$ のうちで、 $y(0)$ の方が劣化を明瞭に分別でき、判定指標として適当であると考えられる。

したがって、実際に本手法を触媒劣化の OBD として組み込む場合には、連続して取り込んだ車速データの中から、基準に合う定加速区間に近い領域を割り出して、その範囲の触媒前後の O_2 センサ信号に対して、前述の Power の 1 次近似式を求め、その Y 切片から判定するのが良いと考える。

4. まとめ

三元触媒装置の OBD 劣化診断法として、デュ

アル O_2 センサ法における有効な演算手法を検討し、以下の結論を得た。

(1) 触媒の劣化判定指標として、触媒入口側と出口側の O_2 センサ出力信号に FFT 解析を行ってそれぞれのパワースペクトルを求め、この2つのスペクトルの差分の周波数に対する傾向を一次式で近似する Power 法を提案した。Power は、触媒の空燃比変動抑制機能の周波数に対する傾向を示す指標であり、触媒固有のものとなる。

(2) 新品触媒及び劣化触媒を使って、加速域及び定常域を運転して上記の Power 計算法を適用した結果、触媒の劣化の程度に応じた 1 次式の形で表すことができ、また再現性も良いため、劣化判定の指標として十分使える見込みを得た。

(3) 触媒劣化の判定指標としては、Power 1 次近似式の傾き k と Y 切片 $y(0)$ のうちで、 $y(0)$ の方が劣化を分別するのに適当な指標となる。

(4) 触媒の劣化診断処理を行う運転域の選定に関しては、完全な定速域を抽出するのが現実の走行では困難なため、基準に合う定加速区間に近い領域を割り出して、その範囲の触媒前後の O_2 センサ信号に対して、前述の Power の 1 次近似式を求め、その Y 切片の値から劣化を判定するのが実際的である。

謝辞

本研究において、FFT 解析を行うにあたり、理論面でのご支援をいただいた株式会社小野測器に深謝の意を表する。

参考文献

- (1) 山本 他：平成 12 年度交通研究発表会講演概要，P93-96
- (2) 山本 他：自動車技術会 学術講演会前刷集 No.68-01，2001

