

Prediction model of pressure difference between inlet and outlet of Diesel Particulate Filter

○学 塩野 真希 (工学院大院)

正 是松 孝治 (工学院大)

正 田中 淳弥 (工学院大)

Masaki SHIONO, Kogakuin University, 2665-1, Nakanomachi, Hachioji-shi, Tokyo

Koji KOREMATSU, Kogakuin University

Junya TANAKA, Kogakuin University

Diesel Particulate Filter is one of the effective methods for removing Particulate Matter in the exhaust gas of diesel engines. However, when the DPF is attached to the exhaust pipe the lower engine performance due to the plugging after long time operation is found. In order to prevent this defect the differential pressure between the inlet and outlet of DPF is known and we regenerate in the adequate timing. This paper offers the method for theoretically predicting the differential pressure.

Key Words: Diesel Engine, Porous Media, Filter, ash, Prediction Model

1. 研究目的

ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質(PM: Particulate Matter)低減のため, DPF(ディーゼルパーティキュレートフィルタ)が普及している。

しかしながら, PMが堆積するにしたがってDPF前後の差圧は上昇し⁽¹⁾, エンジン性能の悪化を招く。そこで, 差圧が一定の値まで上昇した時点でPMを燃焼除去するが, エンジン油の添加剤由来のアッシュが残存し, 差圧は初期値まで回復しないことが分かっている。

O.A.Haralampousら⁽²⁾のDPFの差圧予測計算モデルはアッシュの残存を考慮していない。そこで筆者らは, 実用上の差圧を予測するためアッシュ分を考慮し正確な差圧を予測できる新たなモデルを提案した⁽¹⁾。このモデルでは, フィルタ材の内部にアッシュが浸透していくことを想定していたが, 実際は表面にのみ堆積していくことが分かった。さらに, 再生を繰り返すことでフィルタ後端部にアッシュが栓状に堆積することも分かった。ごく最近, Gaiser,Gら⁽³⁾はこの二点を考慮した新たな計算モデルを提案している。本論文はこの論文との類似点もあるが, DPFの基本的な圧力損失の計算法が異なっている。

2. 計算モデル

2・1 流路の形状

本研究では, ハニカム構造体の入口・出口を交互に目付し, 隔壁をフィルタとして使用するウォールフロータイプフィルタを想定している。Fig.1 はフィルタの一つのセルを排ガスの流れ方向に見たものであり, Fig.2 は DPF 後端部にアッシュ・すすが堆積していることを表したものである。本論文で使用する記号を Table1 に示す。

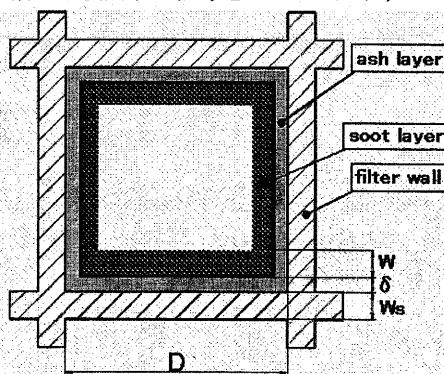


Fig.1 Soot layer, ash layer and filter wall

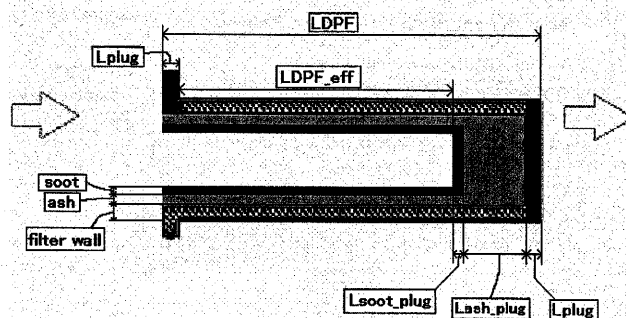


Fig.2 Soot and ash plug at the end of DPF

Table1 Input data

記号	意味	単位	Fig.3で使った数値
b_{ash}	単位体積あたりのアッシュ量	kg/m ³	
b_{soot}	単位体積あたりのすす量	kg/m ³	
D	セルの壁の長さ	m	0.0015
$f_{ash,plug}$	フィルタ表面に堆積したアッシュと後端部に堆積したアッシュとの割合		
$f_{soot,wall}$	フィルタ表面に堆積したすすと後端部に堆積したすすとの割合		
k_s	すすの浸透性	m ²	1.1×10^{-17}
k_a	セラミック基質の浸透性	m ²	1.54×10^{-16}
k_g	アッシュの浸透性	m ²	1.2×10^{-17}
$L_{ash,plug}$	後端部に堆積したアッシュ	m	
L_{DPF}	フィルタの長さ	m	0.15
$L_{DPF,eff}$	実用上のフィルタ長さ	m	
L_{plug}	フィルタ栓の長さ	m	0.005
$L_{soot,plug}$	後端部に堆積したすす	m	
$n_{open,cells}$	Inlet側のセル数		2524
v	流速	m/s	
V_{DPF}	フィルタのろ過体積	m ³	0.000848
V_w	壁を出ていく速度	m/s	
W	すす層の幅	m	
W_s	チャンネル壁の厚さ	m	0.0004
α_1	経路の圧損相関係数		28.5
ΔP	圧力差	Pa	
δ	フィルタ表面に堆積したアッシュ層の幅	m	
μ	排ガスの粘度	Pa·s	2.39×10^{-3}
ρ_w	フィルタ壁の密度	kg/m ³	1800

2・2 関係式

2・2・1 z方向の流れ

排ガスの流れ方向 z について一次元的に取り扱う。連続の式は

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho_i v_i) = (-1)^i \left(\frac{4}{D_i} \right) \rho_w v_w \quad (1)$$

と表せる。ここで, 添字 i が 1 の場合入口経路, 2 の場合が出口経路である。

運動量保存の式は

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v^2) = -\frac{\alpha_1 \mu_1}{D^2} \quad (2)$$

と表せる。

2・2・2 x方向の流れ

zに対する直交座標x方向の流れについて考える。すす層、及びアッシュ層を、ダルシー法則が成立する多孔体とする。フィルタの多孔質材通過時の ΔP_{wall} 、すす層における圧力損失 ΔP_{soot} 、アッシュ層通過時の ΔP_{δ} は

$$\Delta P_{wall} = \frac{\mu v_w}{k_s} W_s \quad (3)$$

$$\Delta P_{soot} = \frac{\mu v_w}{k_p} W \quad (4)$$

$$\Delta P_{\delta} = \frac{\mu v_w}{k_{\delta}} \delta \quad (5)$$

と表せる。

式(3),(4),(5)より

$$p_1 - p_2 = \Delta P_{wall} + \Delta P_{soot} + \Delta P_{\delta} \quad (6)$$

が成立する。

2・2・3 フィルタ後端部に堆積するアッシュ及びすす再生回数を重ねることによりフィルタ後端部分に栓状に堆積するアッシュの長さは

$$L_{ash_plug} = \frac{b_{ash} \cdot V_{DPF} \cdot f_{ash_plug}}{\rho_{ash} \cdot n_{open_cells} \cdot D^2} \quad (7)$$

と表せる。

フィルタ表面に堆積するアッシュの厚みは

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot D - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - \frac{b_{ash} \cdot V_{DPF} \cdot (1 - f_{ash_plug})}{\rho_{ash} \cdot n_{open_cells} \cdot (L_{DPF} - L_{plug} - L_{ash_plug})}} \quad (8)$$

と表せる。

また、式(7)で求めたアッシュ部分に更に栓状に堆積するすすの長さは

$$L_{soot_plug} = \frac{b_{soot} \cdot V_{DPF} \cdot (1 - f_{soot_wall})}{\rho_{soot} \cdot n_{open_cells} \cdot (D - \delta)^2} \quad (9)$$

と表せる。

式(7),(9)より

$$L_{DPF_eff} = L_{DPF} - 2 \cdot L_{plug} - L_{ash_plug} - L_{soot_plug} \quad (10)$$

が成立する。

2・3 計算

計算に当たっては以下の点に注意した。

- ① 排ガスがDPFの小さなセルに入る時の縮小、またDPFを出る時の拡大を考慮し、流路の急縮小・急拡大による損失を計算すること。
- ② 計算の初期条件として、出口経路の $z=0$ 時の流速

$v=0$ とすること。

- ③ 計算の終了条件として、出口経路の最終点($z=L_{DPF_eff}$)の圧力が大気圧と同等。また、入口経路の最終点($z=L_{DPF_eff}$)の流速が初期点($z=0$)の0.01倍以下であるという二点を満たすこと。

3. 計算結果及び考察

栓状に堆積するアッシュ・すす分を考慮した計算例と、それらを考慮していない前報⁽¹⁾の計算例との比較をFig.3に示す。栓状に堆積するアッシュ・すす分以外は、同条件である。90h付近で迎える3度目の再生終了時には、約0.1kPaの差があり、フィルタろ過面積の減少によるものであると考えられる。差が0.1kPaに留まったのは、前報での「フィルタ材の内部にアッシュが浸透していく」ということを「表面にのみ堆積する」ということに改めたことがアッシュ減少となり、アッシュ・すすが栓状に堆積することがアッシュ増加になり、結果的に二点が相殺されたためであると考えられる。また、再生ポイントに設定した30kPa到達時間も、前報のモデルによる計算結果に比べやや短くなっている。

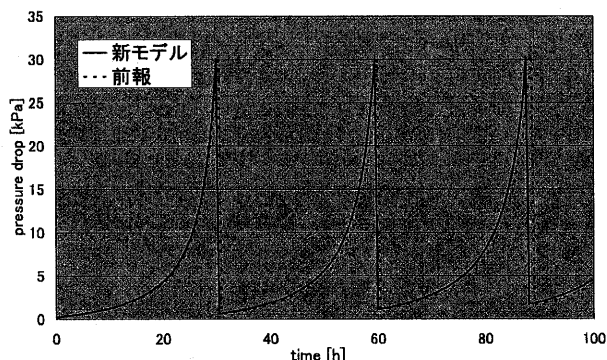


Fig.3 Calculation result of pressure drop between inlet and outlet of DPF

4. 結論

栓状に堆積するアッシュ・すす分を考慮した新モデルのDPF差圧の時間経過予測計算を行った。提案した新モデルでも、前報モデルでも基本的な計算結果に大きな差は見られなかった。実験結果との比較における有意差は認められない。

栓状に堆積するアッシュ・すすがどのような状態で存在するかを詳細に観察し、モデルに反映させる必要がある。

参考文献

- (1) 塩野真希ほか：DPF前後の差圧の時間経過予測計算モデル：日本機械学会論文集，No.050-1，(2005)，p59-60
- (2) O.A.Haralampous ほか：Diesel particulate filter pressure drop Part1:modeling and experimental validation：Int.J.Engine Res.・Vol.5・No.2(2004)，p149-162
- (3) Gaiser,G ほか：Prediction of Pressure Drop in Diesel Particulate Filters Considering Ash Deposit and Partial Regenerations：SAE 2004-01-0158