

排気触媒コンバータ用新型ディフューザ

谷川博哉¹・小谷賢章²・高田達也³・平井健友³・平田勝哉⁴・舟木治郎⁵

要旨：自動車の排気システムにおいて触媒コンバータは大きな圧力損失を発生する。高い排気圧力は自動車の出力低下や燃費の悪化を引き起こす。一方、触媒の温度ムラをなくし触媒性能を高効率化するためには、速度分布の一樣化が必要である。そこで本研究では、圧力損失の低減と速度分布の一樣化の同時改善を目指し、新しい形状のディフューザを提案する。

キーワード：ディフューザ，剥離，圧力損失，触媒

1. 緒言

近年、世界的規模で環境問題への関心が高まる中、自動車に対して段階的に厳しい排気ガス規制が課せられてきた。これらの規制に対応して、ほとんどのガソリン自動車には三元触媒が搭載されている。しかし、排気システムにおける圧力損失の中で、触媒コンバータの影響による圧力損失が最も大きなものになっている。高い排気圧力は自動車の最高出力や燃費に悪影響を与えことになる。燃費の改善のためにも触媒コンバータの圧力損失の改善が望まれる。

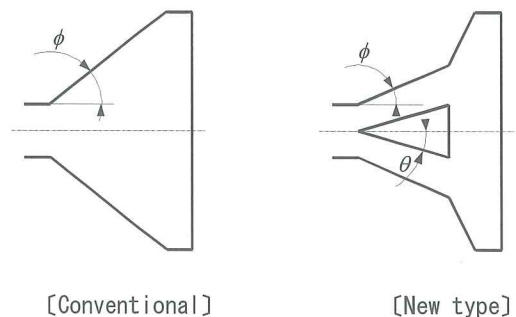
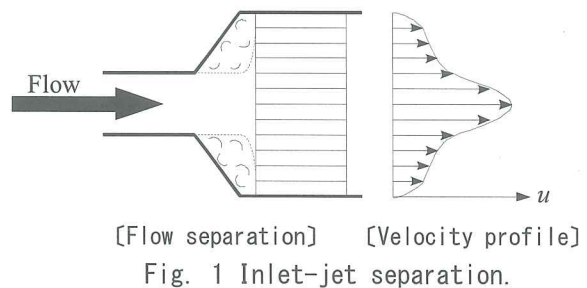
圧力損失のメカニズムはいくつかの複合であるが、その要因のひとつとして排気管から触媒担体へ続く触媒コンバータ入り口部分(ディフューザ部分)での流れの剥離が挙げられる(Fig. 1 参照)。実際に使用されている触媒コンバータ入り口部分の片側拡がり角は設置スペースの関係から $30^\circ \sim 90^\circ$ であり、そのためディフューザ部入り口で流れの剥離が起こる。これが触媒コンバータでの圧力損失の増大につながる。空間的制限がなければ、徐々に広がる長いディフューザを用いればよいが、空間的制限やコストの問題から現在の形状に至っている。

さらに、流れの剥離は、触媒担体中心に流れを集中させ、触媒担体での温度ムラを引き起こす。温度ムラは触媒担体の寿命や浄化効率の低下を招く。

これら問題に対して、Daniel W. Wendland ら¹⁾は、EDH と呼ばれる改良を加えたディフューザを用いて圧力損失の低減を行っている。J. S. Howitt ら²⁾は、ディフューザ部分に物体を配置し流れを拡散する方法に取り組んでいるが、流れが拡散され触媒の浄化効率は良くなる反面、圧力損失がさらに増大するなど未だ問題点は残されている。

- 1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 教授
- 2 舞鶴工業高等専門学校 専攻科 学生
- 3 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 学生
- 4 同志社大学理工学部 教授
- 5 同志社大学理工学部 准教授

そこで本研究では、流れの剥離を抑え圧力損失を低減すると同時に速度分布を一樣化するために、Fig. 2 右図に示すようにディフューザ部分の拡がり角度を二段階にし、さらにディフューザ内に三角形の気流拡散物質を挿入しこれらの改善を試みた。



2. 実験装置および実験方法

2. 1 実験装置

模擬触媒実験装置の概略図を Fig. 3 に示す。エンジンの排気の代用として送風機①を使用し、実験装置に空気を流した。空気の温度は室温を保っている。本研究で使用した模擬触媒コンバータ部は大きく分けると、入口管、ディフューザ⑤、触媒担体モデル⑥の3つに分けられる。実際の触媒ではこの他に、縮小部、出口管と続くが本研究では、Daniel W. Wendland ら¹⁾の論文に基づき縮小部以降の部分の

形状変化はあまり圧力損失に関係がなく、粘性以外の損失がないため、実験の便宜上省いた。送風機①より送り出された空気は、内径 75mm のパイプを通り、送風機より 1000mm の箇所に設置されたオリフィス②により流量を測定する。さらに 1000mm 助走区間を取り、模擬触媒コンバータ部へ流れる。模擬触媒コンバータ部に流れ込んだ空気は、断面形状(幅 $h \times$ 奥行き) 48 mm \times 68mm, 長さ 600mm の助走区間通り、ディフューザ部⑤, 触媒担体モデル⑥へと流れる。模擬触媒コンバータは、実験装置製作の簡易さとディフューザ部の拡がり面積を線形にするため Fig. 4 に示されるように 2 次元形状とした。

触媒担体モデルは、プラスチックダンボールを使用した。プラスチックダンボール断面の孔の寸法を Fig. 5 に示す。このプラスチックダンボールを長さ 450mm に切り、重ね合わせて触媒担体の代用とした。

Fig. 6 に二段階に拡がりを持つ触媒モデル概略図を示す。各寸法は、 $h=48\text{mm}$, $2H=212\text{mm}$, $B=155\text{mm}$, $L=450\text{mm}$, $C=140\text{mm}$ とし、 $\phi=17.5^\circ$, 12.5° , 10.0° , 7.5° , 5.0° の 5 種類を用いた。また、従来の触媒コンバータは Fig. 2 の左図のように側壁が直線的に拡がっている。よって比較のために側壁が直線的に拡がった $\phi=30.0^\circ$ の形状についても測定をおこなった。

2. 2 実験方法

本実験では、触媒コンバータ部での圧力損失と出口部での速度分布の測定をおこなった。

触媒コンバータ部での圧力損失 ΔP は、

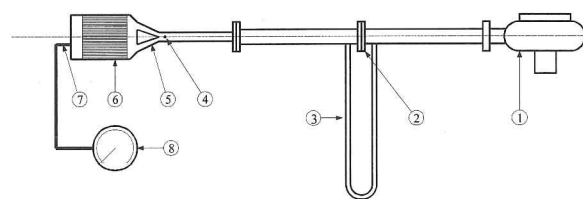
$$\Delta P = \left(\frac{\rho U_1^2}{2} + p_1 \right) - \frac{\rho U_2^2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

で定義する。ここで、 ρ は空気密度、 U_1 は入り口部での x 軸方向の平均流速、 p_1 は入り口部静圧、 U_2 は出口部での x 軸方向の平均流速である。このとき、出口部静圧は大気解放としているので 0 となる。入り口部静圧は、ディフューザの手前 ($x=-h$ の位置 Fig. 3 の③) に静圧孔を設け、それにより測定した。平均流速は流量から計算によりもとめた。また圧力損失係数 C_p を以下のように定めた。

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{\rho}{2} U_1^2} \dots \dots \dots (2)$$

触媒モデル後方(出口部)の速度分布は、ピトー管 (Fig. 3 の⑦) と高性能微差圧計 (Fig. 3 の⑧) により 2 mm 間隔で測定した。

レイノルズ数 Re は次式で定義した。



- ① Blower ② Orifice ③ U-tube Manometer
- ④ Static pressure hole ⑤ Diffuser
- ⑥ Catalyst model ⑦ Pitot tube ⑧ Manometer

Fig. 3 Experimental apparatus.

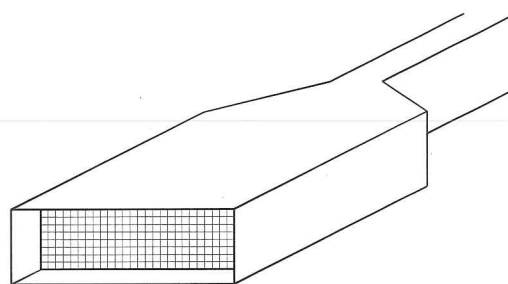


Fig. 4 Schematic of a catalytic converter model.

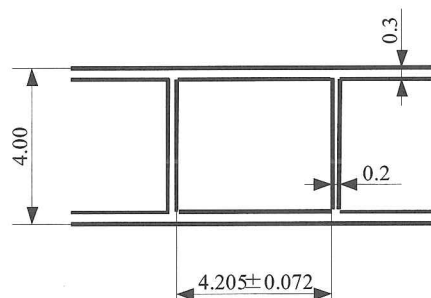


Fig. 5 Dimension of plastic cardboard. The measure of length is mm.

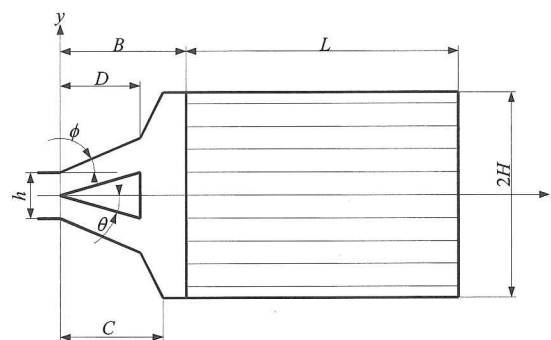


Fig. 6 Coordinate system.

$$Re = \frac{U_1 h}{\nu} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 ν は空気の動粘度である。

3. 実験結果および考察

3. 1 流れの拡散について

流速の拡散の度合いを定量的に表すために、速度分布の標準偏差 U_{rms} をとる。標準偏差は以下のような式で定義した。

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{N \sum U'^2 - (\sum U')^2}{N^2}} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 N はデータ数、 U' は

$$U' = \frac{u_2}{U_2} \dots \dots \dots (5)$$

であり、 u_2 は触媒出口流速、 U_2 は触媒出口部平均流速である。標準偏差 U_{rms} の値が低いほど、速度分布にばらつきがなく、流れが拡散していることを意味する。

速度分布の実験結果を Fig. 7~9 に示す。縦軸は標準偏差 U_{rms} 、横軸はレイノルズ数 Re である。結果は、すべてディフューザの一段目までの長さ $D=0.7B$ (95mm) のものである。比較のためにすべての図に従来型 (側壁が直線的に拡がった $\phi=30.0^\circ$ の形状) の結果をプロットした。パラメータで $\theta=0^\circ$ は三角形の気流拡散物質がない状態を示す。

図より、 ϕ と θ の差が 2.5° もの ($\phi-\theta=2.5^\circ$) は、従来型に比べて U_{rms} が高い値になってしまった。これは気流拡散物質によって流れの剥離は抑えられるものの流路の拡がり小さすぎたためである。 ϕ と θ の差が 5.0° 以上 ($\phi-\theta \geq 5.0^\circ$) の場合、今回おこなったパラメータでは従来型より速度分布の改善がみられた。

次に $\phi=17.5^\circ$ (Fig. 9) に着目すると、 $\theta=0^\circ, 15.0^\circ$ が比較的高い U_{rms} 値を示し、 $\theta=5.0^\circ, 10.0^\circ$ が低い U_{rms} 値を示した。 $\theta=15.0^\circ$ が高い U_{rms} 値を示したのは、先の述べたように流路の拡がり小さすぎたためである。 $\theta=0^\circ$ の U_{rms} が高い値になったのは逆に流路の拡がり大きすぎたため剥離を起こし流れが触媒担体中心に集中してしまったためである。 $\theta=5.0^\circ, 10.0^\circ$ では、流れが効率よく拡散している。 $\theta=5.0^\circ$ が $\theta=10.0^\circ$ より良い値を示しているのは、気流拡散物質後流での淀みの領域が小さいためであると考えられる。今回行った実験パラメータでは、 $\phi=17.5^\circ, \theta=5.0^\circ$ のとき最もよい U_{rms} 値を得た。

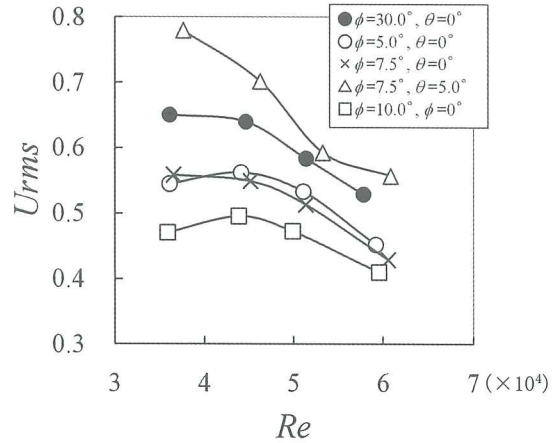


Fig. 7 Standard deviation of velocity for $\phi=5.0^\circ - 10.0^\circ, D=0.7B$.

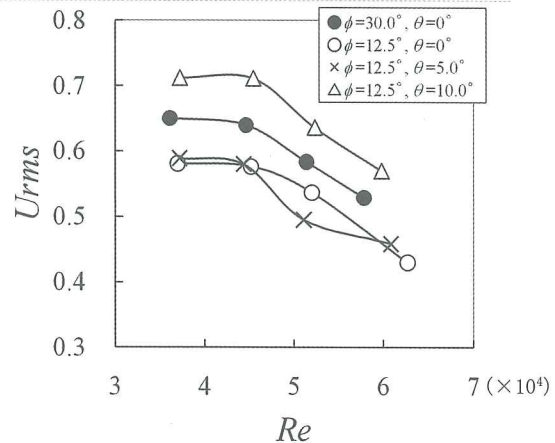


Fig. 8 Standard deviation of velocity for $\phi=12.5^\circ, D=0.7B$.

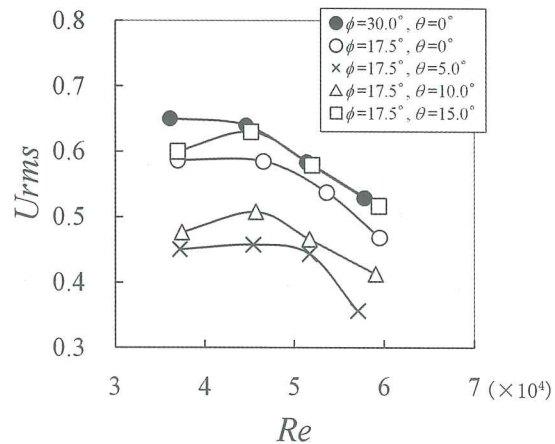


Fig. 9 Standard deviation of velocity for $\phi=17.5^\circ, D=0.7B$.

3. 2 圧力損失について

Fig. 10~12 に圧力損失の実験結果を示す. 縦軸は圧力損失係数 C_p , 横軸はレイノルズ数 Re である. 結果は, すべてディフューザの一段目までの長さ $D = 0.7B$ (95mm) のものである. 比較のためにすべての図に従来型 (側壁が直線的に広がった $\phi = 30^\circ$ の形状) の結果をプロットした. 圧力損失係数 C_p の値が低いほど圧力損失が少ないことを示す.

図より, 気流拡散物質を設置した場合, ϕ と θ の差が 7.5° もの ($\phi - \theta = 7.5^\circ$) のが比較的圧力損失が低くなることがわかる. これは, $\phi - \theta = 7.5^\circ$ のとき流れの剥離が抑えられ, ディフューザによる圧力回復も効果的に行われるためである.

気流拡散物質を設置した場合, 剥離が抑えられ圧力損失が減少するが, その一方で平均流体深さが小さくなり圧力損失は増大する. よって気流拡散物質を設置する場合, ディフューザの拡がり角 ϕ がある程度大きいときでなければ圧力損失改善の効果は少ない.

Fig. 12 より $\phi = 17.5^\circ$ の場合 $\phi = 30^\circ$ と比べてあまり改善が見られなかった. これはディフューザ部入り口での流れの屈折による損失が大きいためであると考えられる.

今回の実験で, 圧力損失と速度分布を同時改善したパラメータは, $\phi = 12.5^\circ$ と $\theta = 0^\circ$ と 5.0° , $\phi = 10.0^\circ$ で $\theta = 0^\circ$, $\phi = 7.5^\circ$ で $\theta = 0^\circ$, $\phi = 5.0^\circ$ と $\theta = 0^\circ$ であった.

3. 3 ディフューザ長さによる影響

次に, 速度分布, 圧力損失の同時改善がみられた $\phi = 7.5^\circ$, $\theta = 0^\circ$ と $\phi = 12.5^\circ$, $\theta = 5.0^\circ$ についてディフューザの入口部から第一段目の拡散部分までの長さ D を変えて実験を行った.

Fig. 13 に $\phi = 7.5^\circ$, $\theta = 0^\circ$ での速度分布の標準偏差 U_{rms} の実験結果を示す. $D = 0.85B$ のとき, 標準偏差 U_{rms} が最も低い値を示した. $D = 0.9B$ では U_{rms} が $D = 0.85B$ より増加している. これはディフューザ一段目の長さ D を長くしすぎると二段目の拡がり部分のスペースが小さくなり拡散しきれないためだと考えられる.

$\phi = 12.5^\circ$, $\theta = 5.0^\circ$ での速度分布の標準偏差 U_{rms} の実験結果を Fig. 14 に示す. $\phi = 7.5^\circ$, $\theta = 0^\circ$ の結果とは異なり, ディフューザが短い $D = 0.3B$ で速度分布が最も改善した. これは, $\phi = 7.5^\circ$, $\theta = 0^\circ$ では気流拡散物質がないのに対して, $\phi = 12.5^\circ$, $\theta = 5.0^\circ$ では気流拡散物質が設置されており, D の長さが長いと拡散物質後方で流れが拡散しきれない, 流れがあまりない状態になるためだと考えられる.

Fig. 15, 16 にディフューザ長さが圧力損失に及ぼす影響を示す. 図よりディフューザ長さを可変しても $D = 0.5B$ 以上ではあまり影響がないことがわかる.

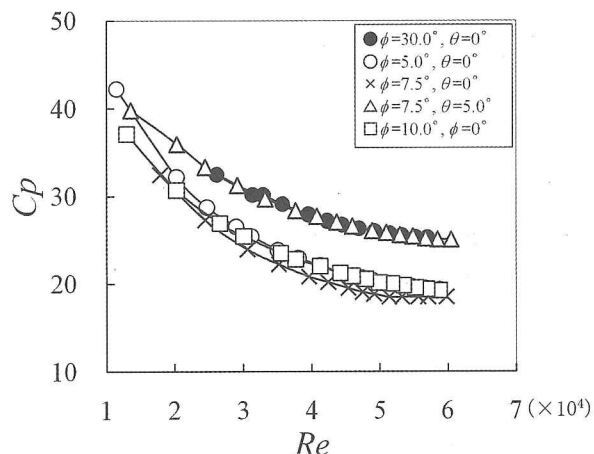


Fig. 10 Pressure loss coefficient for $\phi = 5.0^\circ - 10.0^\circ$, $D = 0.7B$.

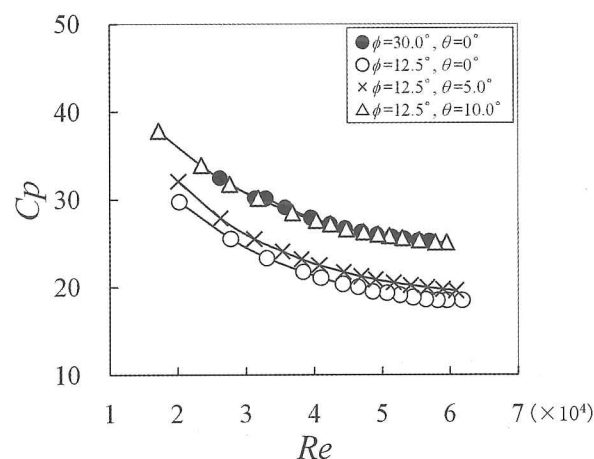


Fig. 11 Pressure loss coefficient for $\phi = 12.5^\circ$, $D = 0.7B$.

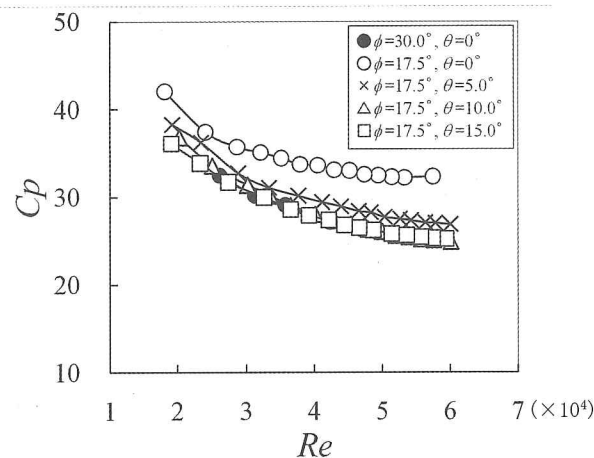


Fig. 12 Pressure loss coefficient for $\phi = 17.5^\circ$, $D = 0.7B$.

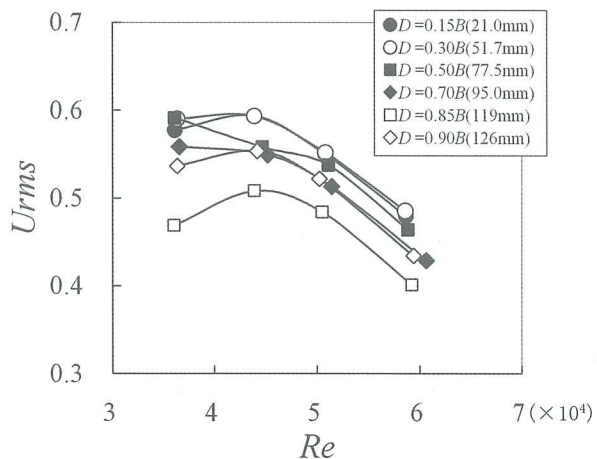


Fig. 13 Standard deviation of velocity for $\phi=7.5^\circ$, $\theta=0^\circ$.

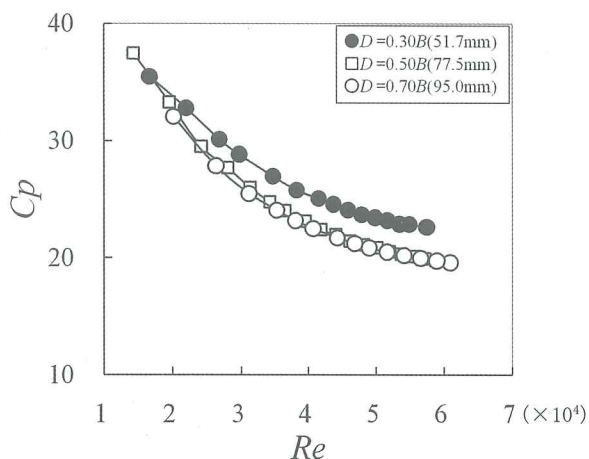


Fig. 16 Pressure loss coefficient for $\phi=12.5^\circ$, $\theta=5.0^\circ$.

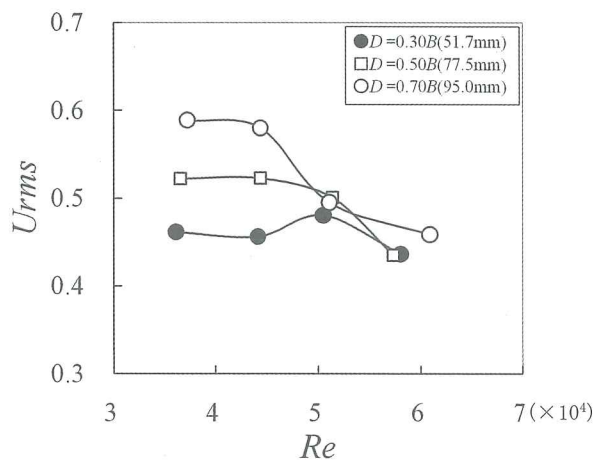


Fig. 14 Standard deviation of velocity for $\phi=12.5^\circ$, $\theta=5.0^\circ$.

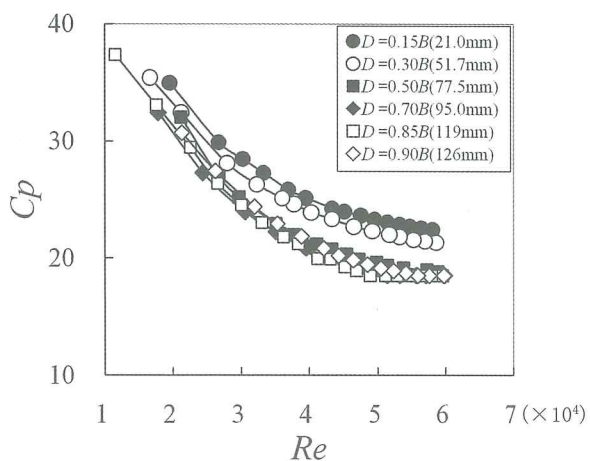


Fig. 15 Pressure loss coefficient for $\phi=7.5^\circ$, $\theta=0^\circ$.

5. 結言

触媒コンバータのディフューザ部での流れの剥離を抑え圧力損失を低減すると同時に速度分布を一様化するためにディフューザ部分の拡がり角度を二段階にし、ディフューザ内に気流拡散物質を挿入することを提案した。結果として圧力損失と速度分布の同時改善ができた。ディフューザ角度 $\phi=5.0^\circ$, 7.5° , 10.0° で気流拡散物質を設置しない場合と $\phi=12.5^\circ$ で $\theta=5.0^\circ$ のとき圧力損失と速度分布の同時改善ができた。

ディフューザ角度 $\phi=7.5^\circ$ で気流拡散物質を設置しないとき圧力損失係数が最も低くなった。

ディフューザ角度 $\phi=17.5^\circ$ で $\theta=5.0^\circ$ のとき速度分布が最も改善された。

謝辞：本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業「次世代ゼロエミッション・エネルギー変換システム（同志社大学）」ならびに鶴岡高専機械工学科平成22年度研究奨励金の支援を一部受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) Daniel W. Wendland, John E. Kreucher & Eric Andersen : Reducing Catalytic Converter Pressure Loss with Enhanced Inlet-Header Diffusio, SAE paper 952398, pp.13-23, 1995.
- 2) J. S. Howitt & T. C. Sekella : Flow Effects in Monolithic Honeycomb Automotive Catalytic Converters, SAE paper 740244, 1974.
- 3) C.D.Lemme and T.C.Sekella: Flow Through Catalytic Converters An Analytical and Experimental Treatment, SAE paper 740243, 1974.
- 4) 平田勝哉, 太田光彦, 小田良治, 谷川博哉, 舟木治郎 : 高効率自動車用触媒コンバータの為の新しいディフューザ, 日本機械学会論文集 B 編 73 巻 728 号, pp. 996-1001, 2007.
- 5) Katsuya HIRATA, Mitsuhiro OTA, Ryoji ODA, Hirochika TANIGAWA and Jiro FUNAKI, On a Novel

Diffuser for Efficient Automotive Catalytic Converters,
JSME International Journal Series B Vol.49, pp.
1206-1211, 2006.

関する実験的研究, 舞鶴工業高等専門学校紀要, Vol.
41, pp. 12-15, 2006.

(2011. 1. 7 受付)

- 6) 谷川博哉, 井上豊, 河原拓久, 平田裕起, 藤阪靖二,
平田勝哉:自動車用排気触媒入り口部形状の最適化に

ON A NOVEL DIFFUSER FOR AUTOMOTIVE CATALYTIC CONVERTERS

**Hirochika TANIGAWA, Masaaki KOTANI,
Tatsuya TAKADA, Kensuke HIRAI,
Katsuya HIRATA and Jiro FUNAKI**

ABSTRACT : In automotive exhaust systems, catalytic converters produce substantial pressure loss. Pressure loss in exhaust system induces maximum power of engine fall and mileage deterioration. On the other hand, uniformity of velocity distribution on a catalytic substrate is required for uniformity of thermal distribution and high catalytic conversion efficiency. The authors propose a new type diffuser both to reduce the pressure loss in a catalytic converter and to improve the uniformity of velocity distribution. As a result, the pressure loss can be reduced and the uniformity of velocity can be improved at once.

Key Words : *Diffuser, Separation, Pressure Loss, Catalytic Converter.*