

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560217

研究課題名 (和文) 省エネ型・高効率内燃機関用噴射ノズルの実用開発と燃焼特性の改善

研究課題名 (英文) Development of Low-Energy Type and High-Efficiency Injection Nozzle for Internal Combustion Engine and Improvement of Combustion Characteristics

研究代表者

玉木 伸茂 (TAMAKI NOBUSHIGE)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：70298933

研究成果の概要 (和文)：

開発した多噴孔微粒化促進ノズルは、噴霧の拡がりがかなり大きく (約  $50^\circ$ )、分裂長さが短く、噴霧粒径 (ザウタ平均粒径) はかなり小さくなり (約  $10 \mu\text{m}$ )、噴霧の微粒化特性が改善された。また、噴射流量が大幅に増加し (同一噴射差圧において約 2.5 倍)、流量特性が改善された。常温・高圧雰囲気下 (300 K, 1.6 MPa) において、噴霧先端到達距離は短い、噴霧の拡がりは格段に大きくなり (これまでの約 3 倍)、高分散噴霧が得られた。さらに、液体の動粘度によらず、噴霧の拡がりはかなり大きくなり、噴霧液滴は小さくなる良好な噴霧が得られた。

研究成果の概要 (英文)：

The multi-hole atomization enhancement nozzle developed in this study was obtained excellent spray characteristics, which the spread of the spray is considerably wide of about 50 degrees, the breakup length is short and the Sauter mean diameter is considerably small of about  $10 \mu\text{m}$ , atomization characteristics of the spray was improved. Moreover, the volumetric flow rate was increased about 2.5 times at the same injection pressure. Although the spray tip penetration of the multi-hole nozzle is short, the spread of the spray is considerably large about 3 times as large as the previous single hole atomization enhancement nozzle, high-dispersion spray was obtained. Furthermore, the injector, which was designed for high-viscous liquid based on the atomization enhancement nozzle, the spread of the spray becomes large significantly and the droplet diameter becomes small, the excellent spray was obtained independent of kinematic viscosity.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：ディーゼル機関、燃料噴射ノズル、噴霧特性、キャビテーション、燃焼特性

### 1. 研究開始当初の背景

液体噴流の微粒化の要因がノズル噴孔内に発生するキャビテーションによる液流のかく乱であるという研究成果は、本研究代表者が先駆けて提唱したものである。近年、国内外において、噴霧の微粒化の要因に対する本研究代表者の知見が認知され、重要視されている。本研究では、省エネの観点から噴流の微粒化の主要因であるキャビテーションを低い噴射圧で継続的に発生させ、実機ノズルの噴孔部のみを改良した構造が簡単なノズルを用い、噴霧の微粒化を促進させることに着目した。

本研究代表者のこれまでの研究成果[旧文部省科学研究費補助金(奨励研究(A)):課題番号 11750174]より、大気圧雰囲気下において実機の噴射圧(200 MPa)よりも非常に低い噴射圧(10 MPa)で実機に相当する良好な噴霧と噴霧特性が得られ、従来の噴射ノズルよりも噴霧特性が大幅に改善された。

これまで、ノズルの設計と測定の容易さから、実機のノズル噴孔径よりも大きな拡大モデルノズルが用いられ、大気圧雰囲気下にて定常噴射し、噴霧の微粒化状態が検討されている。しかし、開発した噴射ノズルの実用化のために、実機の圧縮上死点付近の雰囲気圧と同じ高圧雰囲気下における噴霧の微粒化状態と、実機と同じ間欠噴射時における噴霧の微粒化について調べることが課題である。

### 2. 研究の目的

本研究では、内燃機関、特にディーゼル機関の小型・軽量化、燃費の向上、CO<sub>2</sub>の排出量の低減、さらには窒素酸化物や粒子状物質といった有害排気物質の低減を最終目標としている。そこで、従来よりも低い噴射圧(省エネ)で噴霧特性を大幅に改善できる噴射ノズルを開発して実機への適用性を調べ、実用化することを目的としている。また、資源エネルギーの有効利用の観点から、石油価格の急騰にも対処すべく、高粘度の代替燃料や廃油燃料にも適用できる噴射ノズルの開発も目的としている。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高圧雰囲気下における噴霧特性の評価

高圧雰囲気下における間欠噴霧の微粒化状態と噴霧特性は、現象が非定常であるため測定が難しく、時間を要し、測定誤差が大きくなることが予想される。そこで、初めに定常噴射を主として行い、大気圧雰囲気下における定常噴射時と間欠噴射時における噴霧特性の相関を明らかにした後、高圧雰囲気下における間欠噴霧への適用性を調べる。

#### (2) 実機ディーゼルインジェクタへの適用性

実機を用いた燃焼実験は、他の研究機関所有の設備(直噴式ディーゼルエンジン、動力計)を整備して使用する。(1)で得られた結果に基づき、良好な噴霧特性が得られる幾何学寸法を有した微粒化促進ノズルを実機インジェクタに装着して高圧雰囲気下に間欠噴射し、既存の装置と測定手法を用いて噴霧の微粒化状態、噴霧角、平均粒径、噴霧先端到達距離の測定を行う。従来の噴射ノズルよりも低い噴射圧で噴霧の広がりが大きく(高分散)、噴霧の到達距離が長く(高貫徹力)なり、均一微細な噴霧粒径が得られるノズルを設計し、開発する。

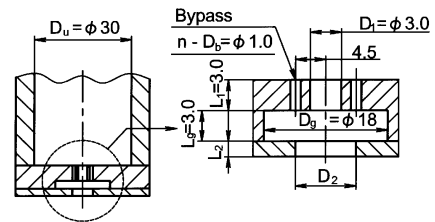
### 4. 研究成果

#### (1) 微粒化促進ノズルの噴孔入口形状が噴霧の微粒化に及ぼす影響

一般に、流量特性を向上させるために、噴孔入口部にR面取りを施すが、噴霧の微粒化状態は極端に悪くなる。しかし、すき間下部の噴孔入口部にR面取りを施した微粒化促進ノズル(Nozzle-R<sub>1</sub>)は、直角切断型ノズル(Nozzle-S)と比較して噴霧の広がりは大きくなり、噴霧の微粒化が促進される(図1(b)、図2)。

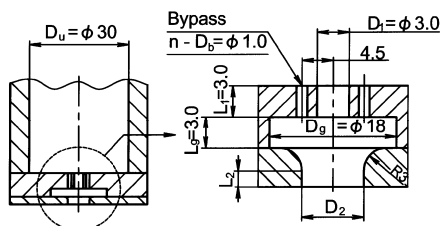
#### (2) バイパス数が噴霧の微粒化に及ぼす影響

開発した微粒化促進ノズルの特徴であるノズル噴孔部とサック室を結ぶ連絡孔(バイパス)の本数を増やすことにより、噴霧の広がり、噴霧角が大きくなり、分裂長さが短くなり、噴霧の微粒化特性が改善された(図3、図4)。また、噴射流量が大幅に増加し、流量



(a) 単噴孔微粒化促進ノズル

(直角切断型)



(b) 単噴孔微粒化促進ノズル

(R面取り型)

図1 供試ノズル概略(拡大モデルノズル)

特性が改善された (図 5)。このように、噴霧の微粒化特性と流量特性の向上に効果的なノズルの幾何学形状・寸法を決定した。

(3) 開発した微粒化促進ノズルの実機インジェクタへの適用性

これらの結果に基づき、実機寸法ノズルを設計し (図 6)、実機ディーゼルインジェクタに装着した (図 7)。雰囲気温度は実機と異なる

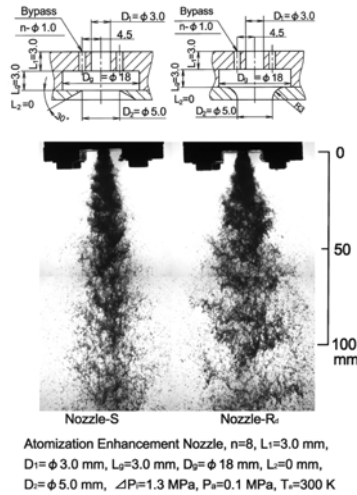


図 2 すき間下部の噴孔入口形状が噴霧の微粒化に及ぼす影響

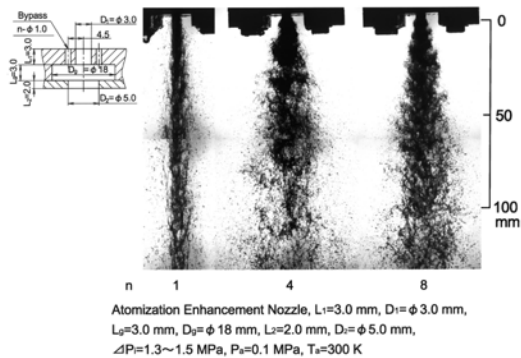


図 3 微粒化促進ノズルのバイパス数が噴霧の微粒化に及ぼす影響

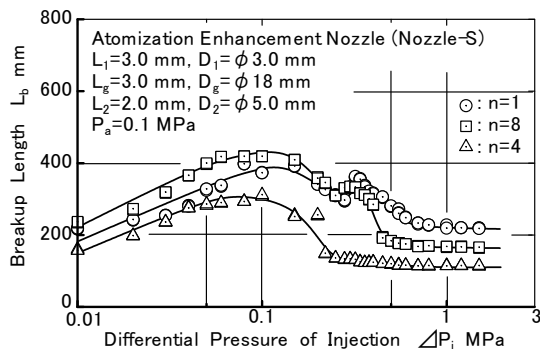


図 4 微粒化促進ノズルのバイパス数が分裂長さに及ぼす影響

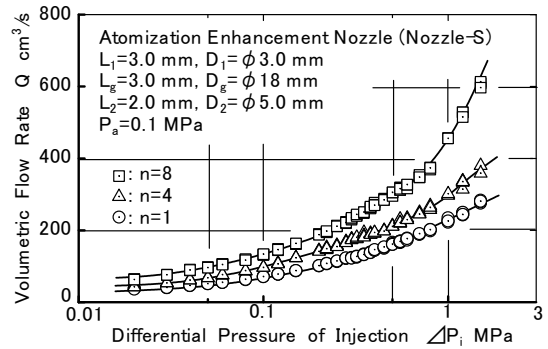


図 5 微粒化促進ノズルのバイパス数が体積流量に及ぼす影響

り常温であるが、実機と同じ高圧雰囲気下 (常温 293 K、高圧 1.6 MPa) において、バイパスの有無、バイパス数  $n$  によらず、噴霧の拡がり大きく、バイパスがない場合 ( $n=0$  本) でも、噴霧の拡がり大きく、 $n=1$  本の場合、噴霧の拡がり最も大きくなっている (図 8)。 $n=4$  本の場合、噴霧先端到達距離は最も長くなっており、噴霧の貫徹力が最も大きいことがわかる (図 9)。 $n=1$  本の場合、高貫徹力噴霧は得られないが、高分散噴霧が得られる (図 8、図 9)。

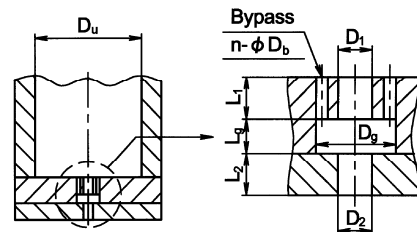


図 6 供試ノズル概略 (実機寸法ノズル)

表 1 供試ノズル諸元 (実機寸法ノズル) (mm)

$D_u$	$n$	$D_b$	$L_1$	$D_1$
$\phi 3.0$	0, 1, 4	$\phi 0.1$	0.3	$\phi 0.15,$ $\phi 0.3$
$L_g$	$D_g$	$L_2$	$D_2$	
0.3	$\phi 0.3$	0.3, 0.9	$\phi 0.3$	

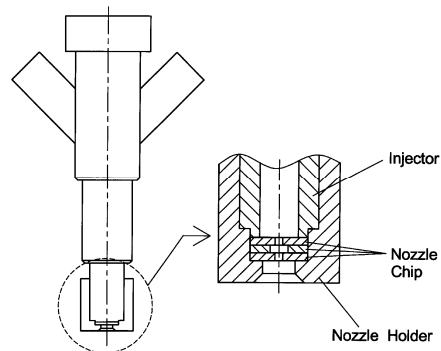


図 7 直噴式ディーゼルインジェクタ (微粒化促進ノズル装着)

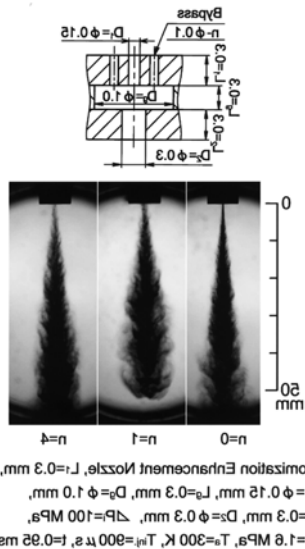


図 8 バイパスの有無、バイパス数が間欠噴霧の微粒化に及ぼす影響

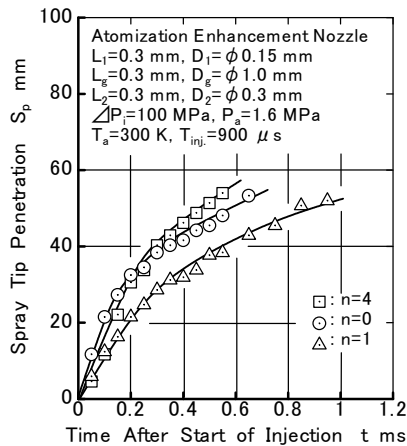


図 9 バイパスの有無、バイパス数が噴霧先端到達距離に及ぼす影響

噴霧の微粒化促進に最適な形状・寸法を有したノズルを用いて、常温・高圧雰囲気下に間欠噴射し、噴霧の分散、噴霧の貫徹力に及ぼす影響を調べ、実機条件により近い状況において実用可能性を調べた。なお、直噴式ディーゼルノズルとして使用されている単孔ホールノズルと比較とした。噴霧先端到達距離は、単孔ホールノズルよりも短く、大きな貫徹力は得られないが、噴霧の広がり大きくなり、高分散噴霧が得られる (図 10)。

#### (4) 多噴孔微粒化促進ノズルによる噴霧の微粒化促進

これまでに開発した単噴孔微粒化促進ノズルの構造に基づき、新たに噴孔数を複数本設けた多噴孔微粒化促進ノズルを設計した (図 11)。噴孔の総断面積は同じであり、噴孔数が複数本 (噴孔数  $N=4$  本) の多噴孔ノズルを用いると、これまでに開発した単噴孔微

粒化促進ノズルよりも、噴霧の広がりがかなり大きくなり、目視観察であるが、噴霧液滴が小さくなり、噴霧の微粒化特性が大幅に改善できた (図 12)。また、拡大ノズルの結果に基づき、実機寸法の高噴孔ノズルを用い、噴霧の微粒化促進に及ぼす影響を調べた。そ

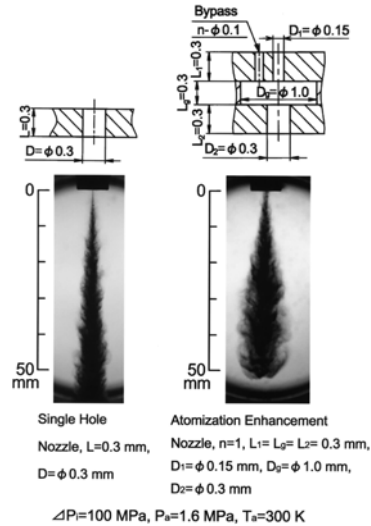


図 10 従来の単孔ホールノズルと開発した微粒化促進ノズルの間欠噴霧の微粒化 (常温・高圧雰囲気下)

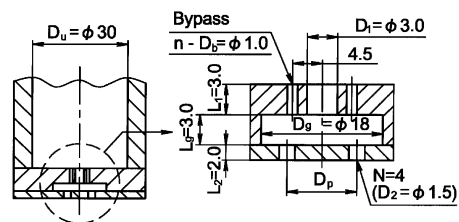


図 11 多噴孔微粒化促進ノズル

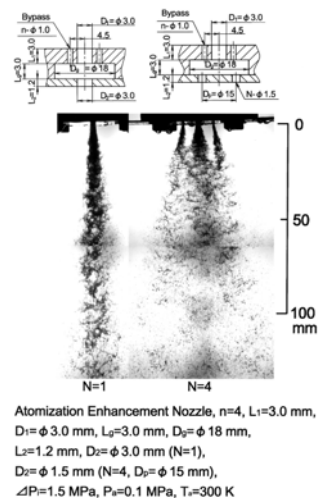
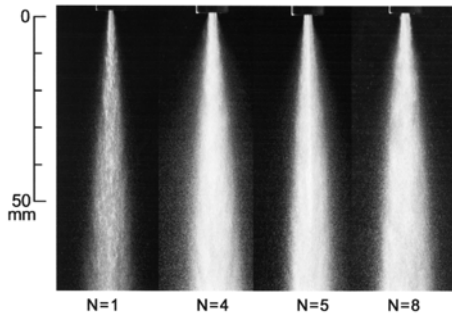


図 12 ノズルの噴孔数が噴霧の微粒化に及ぼす影響 (拡大モデルノズル)

の結果、実機寸法ノズルにおいても、多噴孔ノズルを用いると、噴霧の拡がりが大きい高分散噴霧、ザウタ平均粒径が約  $10 \mu\text{m}$  位の微細な噴霧粒径が得られた (図 13、図 14)。



Atomization Enhancement Nozzle,  $n=1$  ( $N=1$ ),  
 $n=4$  ( $N=4, 5, 8$ ),  $L_1=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_1=\phi 0.3 \text{ mm}$ ,  
 $L_g=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_g=\phi 1.8 \text{ mm}$ ,  $L_2=0.3 \text{ mm}$ ,  
 $D_p=\phi 1.5 \text{ mm}$  ( $N=4, 5, 8$ ),  $\Delta P_i=10 \text{ MPa}$ ,  
 $P_a=0.1 \text{ MPa}$ ,  $T_a=300 \text{ K}$

図 13 ノズルの噴孔数が噴霧の微粒化に及ぼす影響 (実機寸法ノズル)

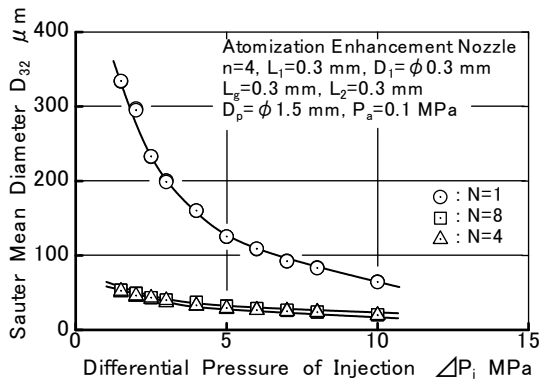
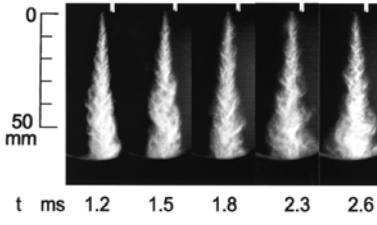
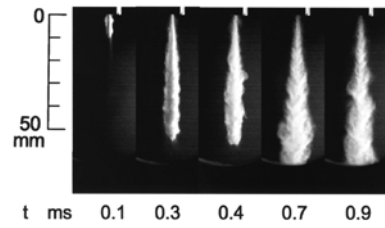


図 14 ノズルの噴孔数がザウタ平均粒径に及ぼす影響 (実機寸法ノズル)

雰囲気温度以外は実機とほぼ同じ、常温・高圧雰囲気下 ( $293 \text{ K}$ ,  $1.6 \text{ MPa}$ ) において間欠噴射した場合、新たに開発した多噴孔ノズル ( $N=4$  本) の噴霧の微粒化 (分散)、噴霧先端到達距離 (貫徹力) に及ぼす影響を調べた。その結果、多噴孔ノズルの噴霧先端到達距離は、単噴孔ノズルと比較して短く、貫徹力は弱い、噴霧の拡がりは格段に大きくなり (約 3 倍)、高分散噴霧が得られた (図 15)。

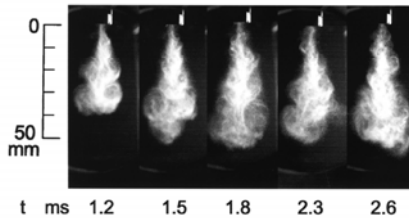
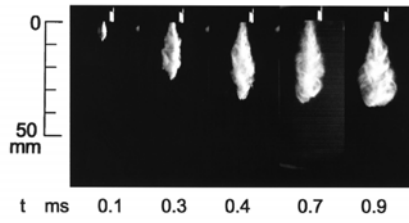
開発した微粒化促進ノズルを実機において実用化するために、実機ディーゼル機関を整備し、燃料消費率、出力、トルク、熱発生率等のエンジン性能特性を測定する装置の構築を行った。

ディーゼル機関のみならず、ボイラー用燃焼器、温室効果ガス排出量の低減のための石油代替燃料である水素を燃料とする機関など、高粘度液体燃料、高粘度気体燃料の使用



Atomization Enhancement Nozzle,  $N=1$ ,  $n=4$ ,  
 $D_b=\phi 0.1 \text{ mm}$ ,  $D_{bp}=\phi 0.5 \text{ mm}$ ,  $L_1=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_1=\phi 0.3 \text{ mm}$ ,  
 $L_g=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_g=\phi 1.0 \text{ mm}$ ,  $L_2=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_2=\phi 0.3 \text{ mm}$ ,  
 $\Delta P_i=100 \text{ MPa}$ ,  $T_a=300 \text{ K}$ ,  $T_{inj}=700 \mu\text{s}$

(a) 単噴孔微粒化促進ノズル ( $N=1$  本)



Atomization Enhancement Nozzle,  $N=4$ ,  $n=4$ ,  
 $D_b=\phi 0.1 \text{ mm}$ ,  $D_{bp}=\phi 0.5 \text{ mm}$ ,  $L_1=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_1=\phi 0.3 \text{ mm}$ ,  
 $L_g=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_g=\phi 1.8 \text{ mm}$ ,  $L_2=0.3 \text{ mm}$ ,  $D_2=\phi 0.15 \text{ mm}$ ,  
 $\Delta P_i=100 \text{ MPa}$ ,  $T_a=300 \text{ K}$ ,  $T_{inj}=700 \mu\text{s}$

(b) 多噴孔微粒化促進ノズル ( $N=4$  本)

図 15 微粒化促進ノズルの噴孔数が間欠噴霧の微粒化に及ぼす影響 (常温・高圧雰囲気下)

も視野に入れる必要がある。次に、内燃機関用に開発した微粒化促進ノズルの構造に基づき、高粘度液体の微粒化促進に適用できる噴射弁を考案した。噴霧の拡がりは、低粘度液体の水 ( $\nu=1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $T=293 \text{ K}$ )、高粘度液体のグリセリン水溶液 ( $\nu=41.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $T=293 \text{ K}$ ) 共に、噴霧の拡がりはかなり大きくなっており、噴霧画像から判断して、噴霧液滴は小さく、ほぼ均一に分布する噴霧を得ることができた (図 16)。

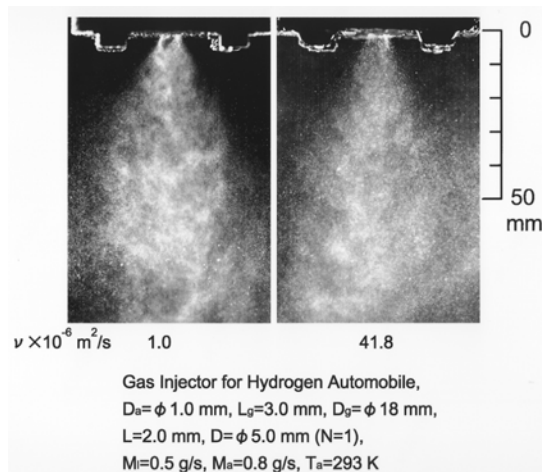


図 16 液体の動粘度が噴霧の微粒化に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 玉木伸茂, 森本健介, 千葉実季人, 尾野純市, 直噴式ディーゼルノズルの微粒化特性の改善, 日本機械学会論文集, Vol. 75, No. 757, B (2009), 1879-1886. 査読有り
2. 玉木伸茂, 西田義巨, 細川剛志, 高分散形ディーゼル噴射ノズルの開発研究(第3報: 微粒化促進ノズルの幾何学寸法が間欠噴霧の微粒化に及ぼす影響), 日本機械学会論文集, Vol. 74, No. 744, B (2008), 1869-1875. 査読有り

[学会発表] (計 5 件)

1. 玉木伸茂, 加藤孝輔, 加藤篤志, 今野敬太, 黒川透, 多噴孔ノズルによる噴霧の微粒化特性の改善, 日本液体微粒化学会, 第 18 回微粒化シンポジウム講演論文集 (福岡), (2009), 239-244.
2. N. Tamaki, Effects of Cavitation in a Nozzle Hole on Atomization of Spray and Development of High-Efficiency Atomization Enhancement Nozzle, Proceedings of 10<sup>th</sup> International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, ICLASS 2009 (United States of America), CD-R, 6 pages.
3. 玉木伸茂, 武内宏樹, 森本健介, 千葉実季人, 尾野純市, 高分散・高貫徹力形直噴式ディーゼルノズルの実用化研究, (第 4 報: ノズルの幾何学形状・寸法が高圧雰囲気下における噴霧の微粒化に及ぼす影響), 日本液体微粒化学会, 第 17 回微粒化シンポジウム講演論文集 (横浜), (2008), 259-264.
4. N. Tamaki, K. Morimoto, M. Chiba, Practical Study on High-Dispersion and High-Penetration Diesel Injection

Nozzle, Second Report: Atomization of Intermittent Spray of High-dispersion Atomization Enhancement Nozzle at High-Ambient Pressure, Proceedings of 22<sup>th</sup> International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, ILASS Europe 2008 (Italy), CD-R, 7 pages.

5. 玉木伸茂, ノズル噴孔内キャビテーションを利用した微粒化促進ノズルの開発, 日本液体微粒化学会, 第 16 回微粒化シンポジウム講演論文集 (大阪), (2007), 36-42.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 燃料噴射ノズル

発明者: 玉木伸茂

権利者: (財)ひろしま産業振興機構

種類: 特許(権)

番号: 特願 2007-215513

出願年月日: 平成 19 年 8 月 22 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

新聞に掲載

掲載新聞名: 中国新聞 (朝刊)、平成 20 年 8 月 12 日 (火) 掲載

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉木 伸茂 (TAMAKI NOBUSHIGE)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号: 70298933

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号: