

Team Spray-cat. SCR

尿素 SCR 用インジェクタから供給される尿素水挙動および生成化合物の予測

担当者

丹羽 晶大 (M2) 草野 修平 (M1) 吉田 みづき (B4)

2017 年度班紹介資料

1. 緒言

ディーゼル機関は、CO₂ 排出量が少なく、高熱効率であることで注目されている。しかし、人体に悪影響を及ぼす粒子状物質 (PM : Particulate Matter) および窒素酸化物 (NO_x : Nitrogen Oxides) の排出が問題視されている。中でも、NO_x は呼吸器に悪影響を与え、酸性雨および光化学スモッグの主原因とされている有害な大気汚染物質の一つである。そのため、ポスト新長期規制および Euro6 のようにディーゼル機関の排気ガス規制が年々強化されている。新たな規制に対応するためには、排気ガスの後処理が必要不可欠である。

本研究では、後処理装置の中でも NO_x を浄化する尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction) に着目する。図 1 に示すように尿素 SCR は排気ガス中に尿素水を噴射し、尿素水の化学反応により NH₃ を生成させ、NH₃ と NO_x を SCR 触媒上で反応させることにより、NO_x を還元するシステムである。尿素 SCR は NO_x 吸蔵還元触媒と比べて、燃費が良く広い温度領域にて高い浄化率を確保することが可能である。

しかし、尿素 SCR システムの問題点として、噴射された尿素水の化学反応速度が遅く、NH₃ が生成されるまでに多くの時間を要してしまうことがあげられる。そのため、噴射された尿素水が全て NH₃ に変換することなく SCR 触媒に到達している可能性がある。そこで、インジェクタと SCR 触媒間に設置された拡散板 (Mixer) に、尿素水を衝突、付着させることで噴霧液滴を微粒化させ、NH₃ 生成時間を稼ぐ方法が用いられている。しかし、その NH₃ 生成過程を十

分に研究した例は少なく、NH₃ が均一に SCR 触媒へ到達しているかは不明である。また、尿素水の化学反応による、ビウレットやシアヌル酸などの中間生成物の析出および堆積が問題視されている。したがって、これらの課題を解決するために、噴射された尿素水の噴霧挙動および化学反応過程を詳細に把握することは重要である。

そこで、本研究では噴射された尿素水の複雑な現象を、実験的解析にて詳細に把握し、排気管内の SCR 触媒前の噴霧挙動および NH₃ 濃度分布を、高精度に予測可能なモデルの構築を目的とする。

2. 実験装置

2.1 粒子数頻度分布の把握

図 2 に超高解像度撮影で用いる撮影光学系の概略図を示す。光源には Nd : YAG レーザ (Spectra Physics : PRO200, 発光半値幅 : 8ns/pulse) の第二高調波 ($\lambda_L=532\text{nm}$) を用いる。発振されたレーザー光はピンホールを介して干渉縞を低減するスペckル低減装置 (ナノフォトン : スペckルキラー, SK-11, $\phi=10\text{mm}$) に入射した後、平凸レンズ (焦点距離 $f=200\text{mm}$)、両レンズ (焦点距離 $f=300\text{mm}$) および平凸レンズ (焦点距離 $f=1000\text{mm}$) の順に通過し集光されながら噴霧に照射される。噴霧を透過したレーザー光は超高解像度レンズ系により捉えられ、受光面上に拡大結像される。本撮影系では受光面に 8×10inch の大判フィルム (富士フィルム製 : ACROS100, 線解像度 : 200 本/mm) を用いる。なお

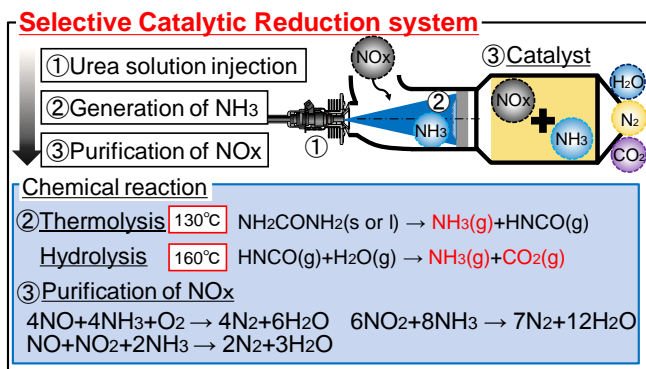


Fig.1 Selective catalytic reduction system

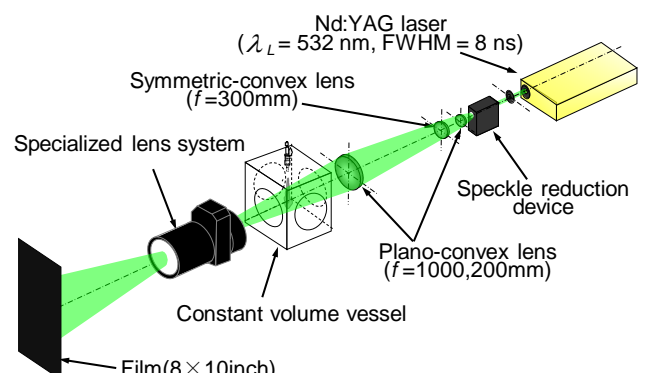


Fig.2 Optical setup of super high spatial resolution photography

本光学系の空間分解能は解像

力チャートを用いて検定した結果, 9.8 μm であった.

2.2 噴霧撮影

2.2.1 散乱光撮影

図 3 に噴霧撮影の実験系の概略図を示す. 尿素水噴霧の全体像を把握するために, 散乱光撮影を行う. 光源として, メタルハライドランプ(ウシオライティング株式会社: UF3250NAC)を用いる. 噴霧の撮影には, ハイスピードカメラ(Photoron: FASTCAMAPXRS)を用いる.

2.2.2 シュリーレン撮影

噴射された燃料より生成される蒸気量を定性的に把握するために, シュリーレン撮影を行う. 光源には可視化用レーザ (Nobby Tech 社製: CAVILUX Smart) を使い, 先端にアダプタを装着し, 点光源へと変換する. レーザにより照射された光は平凸レンズ (焦点距離 $f=1200\text{mm}$) により平行光とし, 定容容器内を通過させる. さらに, 平凸レンズ (焦点距離 $f=1200\text{mm}$) を通過することにより集光し, ハイスピードカメラ (Photoron: FASTCAM APX RS) を用いて撮影する.

2.2.3 透過光撮影

壁面衝突した噴霧液滴の詳細な挙動を把握するために透過光撮影を行う. 光源に Nd:YAG レーザ(Lee Laser: LDP-100MQG, 波長: 532nm)を用い, ハイスピードカメラ(Photoron: FASTCAM APX RS)を用いて撮影する. 複数の接写レンズを用いて, 撮影系の拡大倍率を 0.7 から 10 倍まで変化させる.

2.3 高温ガス生成装置

図4に高温ガス生成装置の概略図を示す. 高温ガス生成装置とは,

高温ガス生成装置の概略図を示す. 高温ガス生成装置とは, ディーゼル機関の排気ガスを模擬した高温ガスを生成することが可能な装置である. 空気とブ

ロパンガス(C_3H_8)を混合し, バーナーを用いて燃焼室内で燃焼させることで高温ガスを生成する. 水槽内に設けられた冷却性能の異なる 2 経路の配管に高温ガスを通させ, 噴霧挙動を観察する可視化排気管および NH_3 サンプリング配管へ流入する. この 2 経路に流れる高温ガスの流量を調整することで任意の温度に設定することが可能となる. また, プロパンガスと空気の混合割合を変化させることで, 高温ガス中の酸素濃度を任意に設定することが可能である. このように, 温度, 流量および酸素濃度を任意に設定することが可能な装置である.

2.4 FTIRによる NH_3 濃度計測

図 5 に NH_3 濃度分布計測に用いた実験系の概略図を示す. 最大 24 成分のガス濃度を連続的に測定することが可能なフーリエ変換赤外分光光度計(FTIR, 堀場製作所: MEXA 6000FT)に送られ, ガス成分測定を行った. そして, 配管断面内の, 13 点で NH_3 濃度を計測することで NH_3 濃度分布を算出した. また, サンプリング位置における高温ガスの温度降下を可能な限り防ぐため, 可視化排気管以外の部分に断熱材を巻いている.

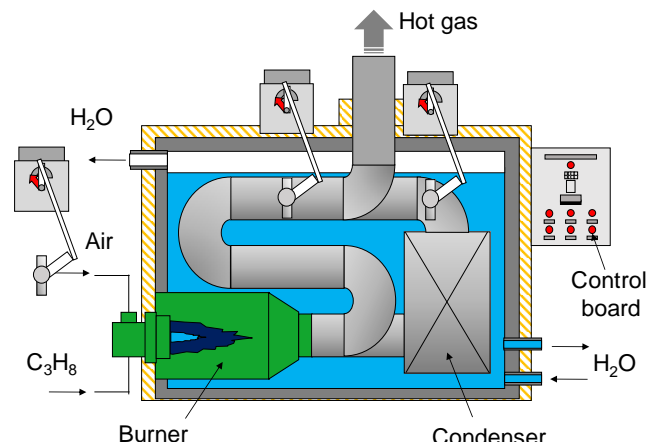


Fig.4 Hot gas generator

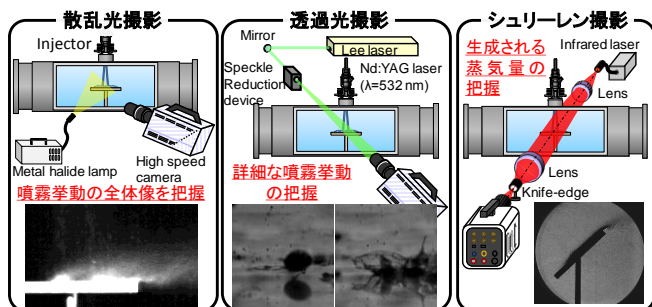


Fig.1 Experimental setup of scattered light photography method

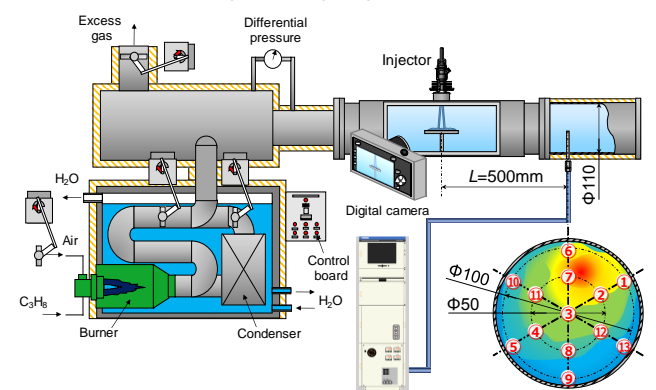


Fig.5 Experimental setup for NH_3 measurement