

レーザー誘起白熱法によるすす微粒子サイズ計測の検討

(豊田中研) 高鳥 芳樹

【序】 内燃機関から排出されるすす微粒子(炭素微粒子)は健康影響への懸念から都市部を中心に大きな社会問題となっている。現在、排気中のすす微粒子を精度良く計測しうる手法の開発が求められており、*in situ*, *ex situ*を含め様々な方法が検討されている。レーザー誘起白熱法(LII: Laser-Induced Incandescence)はレーザーにより加熱されたすす微粒子からの輻射光を検出するもので、近年燃焼排気中のすす微粒子の濃度と粒径の計測手法としての検討がすすめられている<sup>[1][2]</sup>。LII 法によりすす粒子径を求める際、従来の報告の多くは粒径を単分散と仮定して解析を行っている。しかし、実際のすす測定場においては粒子径が多分散の分布を持つ場合が通常であり、その影響を考慮した解析が必要があると考えられる。そこで、本研究では数値シミュレーションにより多分散の粒径分布が LII 信号に及ぼす影響を検討し、LII 法による粒径分布計測の可能性について考察した。

【方法】 本研究では、レーザーで加熱されたすす微粒子が熱拡散、蒸発、放射により冷却する過程を数値的に解くことにより LII 信号を計算した。図1に計算手順を示す。まずレーザー照射後の粒子径・粒子温度の時間変化をエネルギーおよび質量保存の式を連立させて解く。この時、粒子の複素屈折率は Dispersion Equation を解くことにより、また粒子の吸収係数および射出率は Mie 散乱理論より求めた。次に、得られた温度・粒径の経時変化を Planck の黒体輻射の式に代入することにより LII 信号の経時変化を算出した。

【結果と考察】 図2に単分散球形粒子の LII 信号の粒径依存性の計算結果を示す。減衰速度は粒子が大きくなるほど遅くなる。これは粒径が大きくなるほど粒子比表面積が減少し、冷却速度が遅くなるためである。このことから、粒径が単分散の場合 LII の減衰時間から粒径の測定が可能であることがわかる。しかし、実際の燃焼排気中に存在する粒子はある粒径分布を持つ場合が普通である。そこで、次に正規対数分布(式1)をもつ粒子群について LII のシミュレーションを実施した。

$$P(D) = \frac{1}{\sigma D \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{\{\ln(D/D_n e^{\sigma^2})\}^2}{2\sigma^2} \right] \quad (式1)$$

(D:粒径,  $D_n$ :中心粒径,  $\sigma$ :分布幅)

中心粒径  $D_n$  を 20nm に固定し、分布幅  $\sigma$  を変化した時の LII 減衰の変化を図3に示す。本図より中心粒径が同じでも、分布幅が広がることにより信号の減衰が遅くなることわかる。これは、減衰初期段階では分布のピーク付近の寄与が大きく、時間が経つにつれ大粒径側の寄与が大きくなるためである。したがって、多分散分布をもつ粒子群を単分散粒子として解析した場合、実際の中心粒径とは異なった結果が得られることになる。このことから、LII 信号の解析の際には中心粒径だけでなく粒径分布幅も考慮する必要があると判断される。

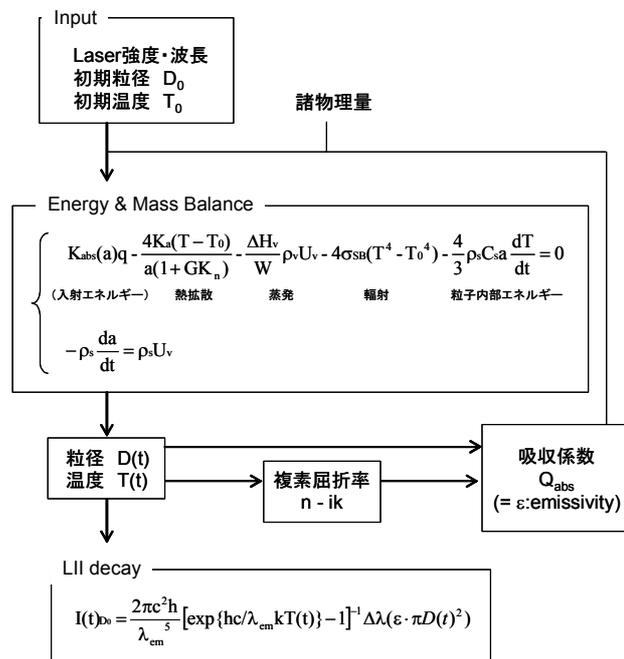


図1 LII シミュレーションの概要

次に LII信号の減衰から粒径分布の決定が可能かどうか検討した。前述したように信号減衰の初期段階では中心粒径付近の寄与が、また後期では大粒径側の寄与が大きくなる。したがって、2つの時間領域について信号を解析すれば、中心粒径および分布幅に関する情報が得られると考えられる。例として、30-100ns の減衰速度定数を  $k_1$ 、30-300ns の減衰速度定数を  $k_2$  として解析を行った。図 4、5 に  $k_1$  および  $k_2/k_1$  の  $D_n$ - $\sigma$  マップ上での等高線を示す。図より、 $k_1$  と  $k_2/k_1$  とでは等高線の通る位置(等高線の偏り)が異なることがわかる(とりわけ微小粒径側ほどの傾向は顕著である)。この結果から、2つのマップを重ね合わせることで  $D_n$ 、 $\sigma$  で与えられる粒径分布が一義的に決定できるものと期待される。今後、標準粒子を用いた実験により、本解析法の妥当性について検討を行う予定である。

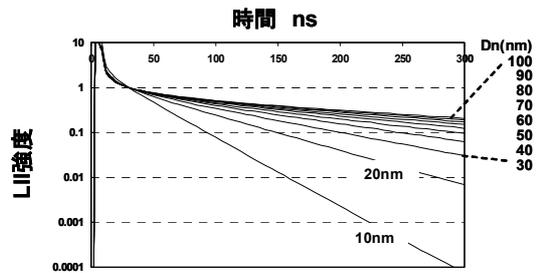


図2 粒径( $D_n$ )による LII 信号減衰の違い

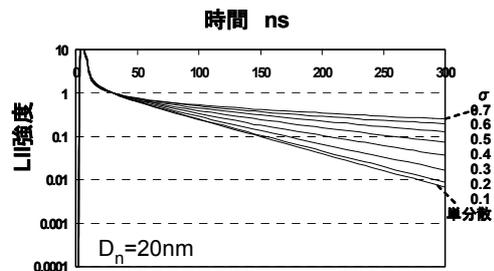


図3 分布幅( $\sigma$ )による LII 信号減衰の違い

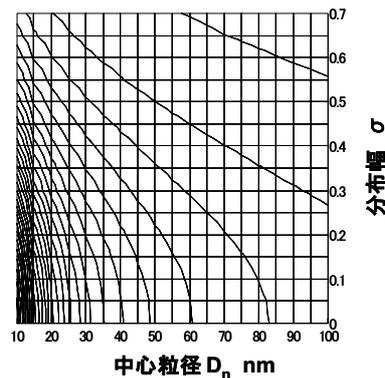
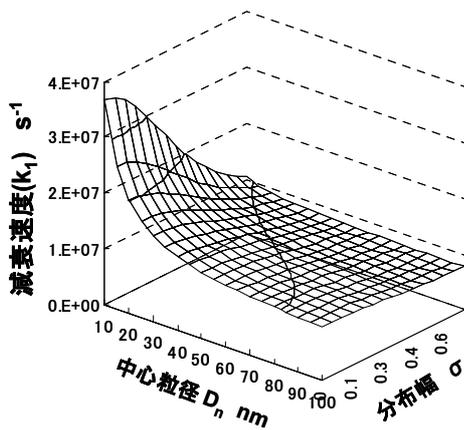


図4  $k_1$  の  $D_n$ - $\sigma$  等高線図

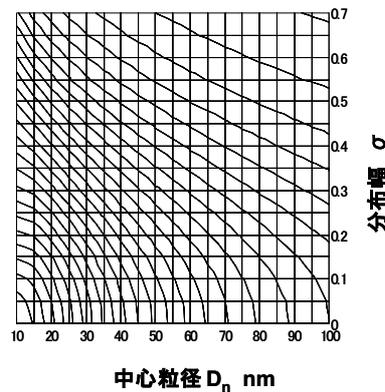
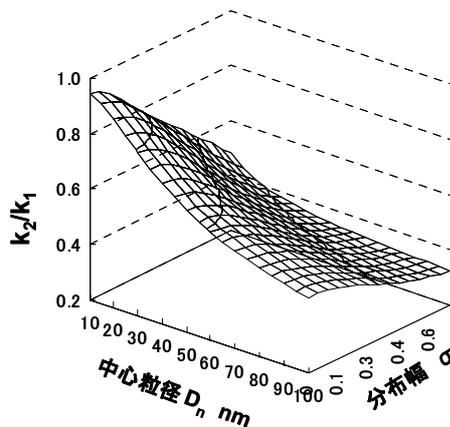


図5  $k_2/k_1$  の  $D_n$ - $\sigma$  等高線

【参考文献】

- [1] Snelling D.R. et al., SAE paper No.2000-01-1994 (2000)
- [2] Schraml S. et al. SAE paper No.2000-01-2864 (2000)