

吸収性微粒子凝集体からの後方散乱 エンハンスメント現象

附属電子計測開発施設 石井勝弘

高密度微粒子分散溶液からの後方多重散乱光は、逆反射方向に後方散乱エンハンスメントと呼ばれる強度ピークを形成する。溶液中の微粒子が凝集すると、微粒子の空間的分布に依存して後方散乱エンハンスメントのピーク形状が変化する。本報告では、吸収性微粒子凝集体からの後方散乱エンハンスメント現象の実験を行い、その吸収依存性を明らかにし、後方散乱エンハンスメントと微粒子凝集体の空間構造の関係について述べた。また、後方散乱光強度の吸収依存性も明らかにした。

1. はじめに

微粒子凝集体に対する計測法として、前方小角散乱法がある。これは、粒子の凝集により形成されたクラスタ内部で単散乱された前方散乱光の強度分布が、クラスタのフラクタル次元に依存することを利用して、この方法は単散乱現象を基礎としているため、多重散乱光が支配的となる高密度媒質に対しては適用できない。われわれは、これまで、後方多重散乱光の強度分布に現れる後方散乱エンハンスメントが、クラスタのフラクタル次元に依存し、高密度微粒子凝集体の計測に有効であることを示してきた [1]。後方散乱エンハンスメント現象は、同じ光路を逆向きに伝播した光波同士は位相が等しいために遠方場で干渉して強め合い、逆反射方向に強度ピークを形成する現象である。本報告では、溶液に吸収がある微粒子凝集体からの後方散乱エンハンスメントの実験を行い、その吸収依存性、フラクタル次元依存性を明らかにする。

2. 実験

直径 6 mm、波長 514 nm の直線偏光レーザービームを媒質に入射する。媒質からの後方散乱光は、焦点距離 50 mm のレンズの焦点面に設置された CCD カメラによって検出される。CCD カ

メラは、1 画素あたり $9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m}$ 、全体で 768×510 画素の撮像面をもつので、 $0.18\ \text{mrad}$ の角度分解能で約 $\pm 50\ \text{mrad}$ の範囲の強度分布を検出可能である。媒質としては、粒子径 $1.0\ \mu\text{m}$ 、体積濃度 10% のポリスチレンラテックス懸濁液を用い、塩化ナトリウム水溶液を加えることで粒子を凝集させる。懸濁液中のラテックス粒子は、その周りに形成される電気二重層により互いに反発しあい安定に分散している。そこに塩化ナトリウム水溶液を加えると、溶液中のイオンにより電気二重層が中和され粒子は凝集する。また、懸濁液に黒インクを加えることで媒質に吸収を与える。

3. 結果および考察

図 1 は、ラテックス懸濁液 3.0 ml に 10% の塩化ナトリウム水溶液を 0.25 ml ずつ加えていったときの後方散乱エンハンスメントの平行偏光成分を示す。後方散乱エンハンスメントの強度分布は、 $1\ \text{mrad}$ から $10\ \text{mrad}$ の範囲で直線的に減衰しており、その傾きは、塩化ナトリウム水溶液の量が 0.75 ml までは -1 であり、1.0 ml 以上になると -0.8 に変化する。つまり、強度分布は、 θ^{-1} と $\theta^{-0.8}$ に従い減衰している。微粒子凝集体からの後方散乱エンハンスメントに関する数値解析によると、一様ランダム媒質では、強度分布の傾きは -1 であり、粒子が凝集するとクラスタのフラ

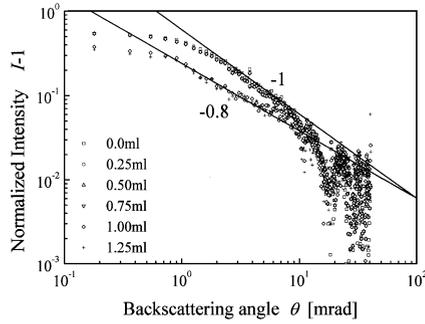


図1 ラテックス懸濁液からの後方散乱エンハンスメント。

クタル次元に依存して傾きが変化する [1]。したがって、図より、加えた食塩水が 0.75 ml までは、懸濁液中で粒子は一樣ランダムに分布しており、1.0 ml 以上になると、粒子が凝集しフラクタルクラスタが形成されたことがわかる。また、われわれの数値解析により得られた“強度分布の傾き - フラクタル次元”の経験則によると、凝集前と凝集後の媒質のフラクタル次元は、3.07 と 2.87 であり、それぞれ、一樣ランダム媒質とフラクタル凝集媒質に対応した次元になっている。

図 2 (a) と (b) は、粒子が凝集する前と後の媒質に黒インクを加えたときの後方散乱エンハンスメントの平行偏光成分を示す。吸収の増加とともに、強度ピークの高さと幅が増加している。吸収が増加すると、長い光路を伝播した光波ほど強く減衰し、短い光路を伝播した光波の寄与が強くなる。したがって、入射点近傍から出射する光波の影響が強くなるために遠方場での強度ピークは広がる。また、ピークの高さは、強度ピークを形成しない短散乱光成分の増加によって減少するはずであるが、実験では逆に増加している。これは、本実験系では、中心付近の鋭いピークを分解できず、実際よりピークが低くなっているためである。吸収の増加により、鋭いピークを形成する長い光路を伝播した光波の寄与が減少するために、ピーク付近が分解されピーク値が増加している。一方、クラスタの形成とそのフラクタル次元に関係している強度ピークの傾きは、吸収には無関係である。これは、強度分布の傾きを決定しているのが低次の散乱光であるために、吸収にはほとんど影響を受けないためである。したがって、吸収性媒質に対しても、後方散乱エンハンスメントの

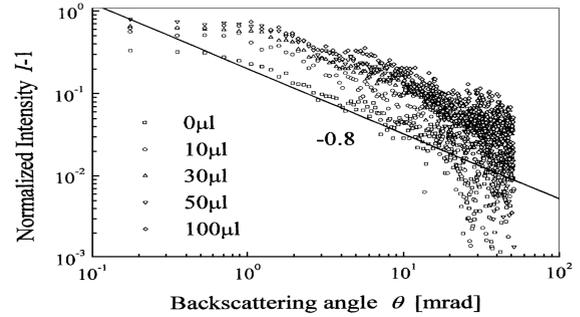
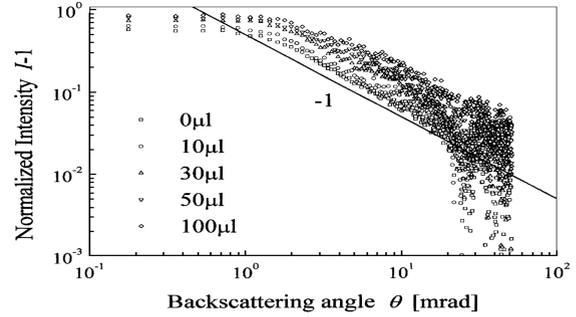


図2 (a)凝集前と(b)凝集後の後方散乱エンハンスメントの吸収依存性。

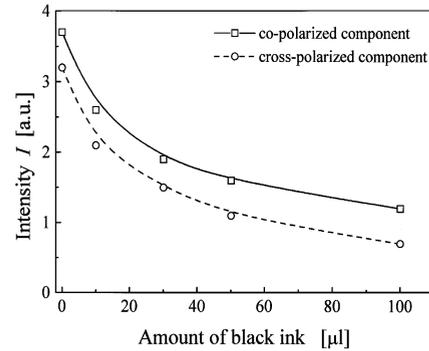


図3 後方散乱光強度の吸収依存性。

強度ピークの傾きを用いて、媒質中の粒子の凝集と形成されたクラスタのフラクタル次元の測定が可能であることがわかる。

図 3 は、後方多重散乱光強度の吸収に対する変化を示す。実線は、負指数関数でフィッティングを行った結果である。図より、後方多重散乱光の強度は、吸収とともに負指数的に減衰することがわかる。高密度媒質の透過光強度に対しては、媒質の厚さと吸収率に比例して強度が負指数的に減衰するという Lambert-Beer 則が成り立つが、後方散乱光に対しても、媒質中を光波が伝播した光路の平均的な長さに対応する厚さと吸収率に関

係した同様な関係が存在することがわかる。

4. おわりに

吸収性微粒子凝集体からの後方散乱エンハンスメントの実験を行い、強度ピークの幅と高さは吸収に依存して変化するが、強度ピークの減衰率は

吸収に無関係であることを明らかにした。したがって、後方散乱エンハンスメントを用いた微粒子凝集体の測定が、吸収性媒質に対しても適用可能である。また、後方多重散乱光の強度ピークは、前方散乱光強度と同様に、吸収の増加とともに負指数的に減少することも明らかにした。

[参考文献]

[1] 岩井俊昭、電子科学研究、5, 103-104(1997)