



Title	後方散乱エンハンスメントを用いた微粒子凝集体のレオロジー計測
Author(s)	岩井, 俊昭
Citation	電子科学研究, 5, 103-104
Issue Date	1998-01
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/24427">http://hdl.handle.net/2115/24427</a>
Type	bulletin (article)
File Information	5_P103-104.pdf



[Instructions for use](#)

# 後方散乱エンハンスメントを用いた微粒子凝集体のレオロジー計測

附属電子計測開発施設 岩井俊昭

溶液中の微粒子凝集体からの後方多重散乱光エンハンスメント現象をモンテカルロシミュレーションし、平行および垂直偏光成分がそれぞれ後方散乱角の関数 $\theta^{2.16-1.03D}$ と $\theta^{4-1.8D}$ に従って減少することを示した。この関係を実験的に実証し、平行偏光成分にはクラスタの空間分布が反映し、垂直偏光成分にはクラスタ内の凝集体の空間構造が反映することを示した。

## 1 はじめに

界面処理され微粒子が安定に分散している溶液に塩を混入すると、表面電荷が打ち消しあい、ファン・デル・ワールス力がクーロン力より強くなり、粒子は凝集し始める。この状態の一例を図1に示す。このような微粒子の凝集の過程や凝集体の構造はフラクタル次元を指標として解析されている。これまでの研究では、クラスタ単体の単散乱光を利用する前方小角散乱法が代表的な測定手法であった。本報告では、単散乱光がほとんど観測されない高密度溶液内における微粒子凝集体から発生する後方多重散乱光エンハンスメント現象を用いて凝集体の次元解析を行うことを検討する。

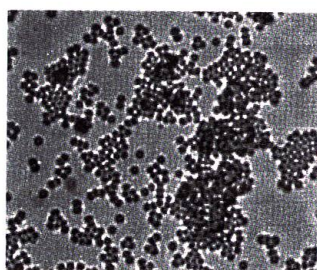


図1 直径1 $\mu$ m ラテックス粒子の凝集

## 2 モンテカルロシミュレーション

### 2.1 アルゴリズム

本報告で実行したモンテカルロシミュレーションは、各粒子における散乱角と偏光の決定、粒子間の光線追跡、および出射面における強度分布の

計算から構成されている。散乱角と偏光の決定は各粒子点を原点として定義される散乱座標系で行われる。 $m$ 次散乱における散乱ベクトル $\mathbf{k}_m$ はRayleigh-Debye散乱の位相関数を確率密度関数とする乱数で決定され、散乱後の偏光方向は $\mathbf{P}_m = -\mathbf{k}_m \times \mathbf{k}_m \times \mathbf{P}_{m-1} = \mathbf{S}(\mathbf{k}_m)\mathbf{P}_{m-1}$ から決定される。ここで、 $\mathbf{P}_m$ は $m$ 次散乱粒子で散乱される散乱光の偏光方向を示す。一方、光線追跡と強度分布の計算は、入射面(または、出射面)で定義される絶対座標系で行われる。エンハンスメント強度は、散乱光の出射位置と偏光方向を表す散乱振幅行列の積 $\mathbf{S} = \prod \mathbf{S}(\mathbf{k}_m)$ から算出する。粒子間の光線追跡は、粒子間の距離とある位置に存在する粒子の散乱確率を考え合わせた自由行程分布関数を理論的に導出し、この関数を確率密度関数とする乱数を発生させて行う。

### 2.2 シミュレーションによる経験則

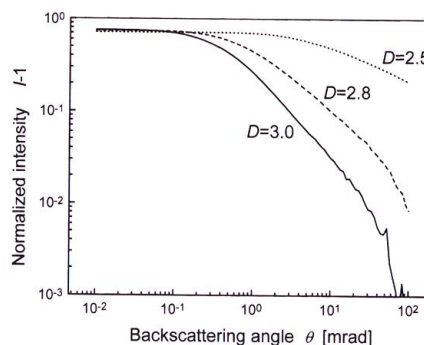


図2 平行偏光成分のシミュレーション結果

図2は、凝集媒質の次元の変化に対するコヒーレント後方散乱光エンハンスメントの平行偏光成分

の変化を示す。粒子の凝集が進行し媒質の次元が減少すると、ピーク強度の減少率が減少する。このようなシミュレーションを媒質の次元を変えながら繰り返し、後方散乱光エンハンスメントの強度減少率の変化を定量的に求めると、平行と垂直偏光成分の強度減少率は、それぞれ  $2.16 - 1.03D$  および  $4 - 1.8D$  に従って直線的に減少することが明らかになった。したがって、後方散乱光エンハンスメントの平行と垂直偏光成分は、後方散乱角の関数として次式の経験則にしたがって変化する。

$$I_P(\theta) \propto \theta^{2.16-1.03D} \quad \text{および} \quad I_C(\theta) \propto \theta^{4-1.8D}$$

### 3 実験

#### 3.1 実験光学系

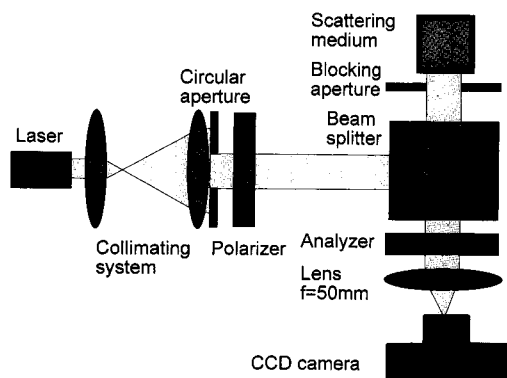


図3 実験光学系

コヒーレント後方散乱光エンハンスメントを検出する光学系を図3に示す。直径6mm、波長514nmの直線偏光レーザービームが媒質に入射される。検光子で平行または垂直偏光成分を選択された散乱光は、焦点距離50mm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  $768 \times 510$  画素の撮像面をもつので、観測面では角度分解能  $0.18\text{mrad}$  で約  $\pm 50\text{mrad}$  の範囲を検出可能である。

#### 3.2 実験結果

図4は、粒子径  $1.0\mu\text{m}$ 、体積濃度10%のラテックス懸濁液2.5mlに10溶液を0.25mlずつ加えていったときに発生したコヒーレント後方散乱エンハンスメントの平行偏光成分を示す。NaCl溶液の添加量1.0mlを境に後方散乱エンハンスメントが大きく変化している。変化の前後の強度減少率は-1.0

と-0.8になっており、上述の経験則からそれらの次元は3.07および2.87になる。

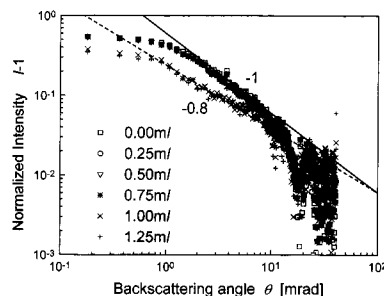


図4 平行偏光成分の次元依存性の実験結果

散乱媒質 粒子径 $\mu\text{m}$	均一分散系		フラクタル凝集系		
	平行	垂直	平行	垂直	
1.00	勾配	-1.0	-1.3	-0.8	-0.6
	次元	3.07	2.94	2.87	2.56
0.46	勾配	-1.0	-1.3	-0.8	-0.6
	次元	3.07	2.94	2.87	2.56
0.09	勾配	-0.7	-0.4	-0.7	-0.4
	次元	2.78	2.44	2.78	2.44

表1 測定強度減少率と次元解析の実験結果

表1には、粒子径を変化させたときの平行および垂直偏光成分の次元解析の結果を示す。どの粒子径においても、各偏光成分の解析値に差異があり、特にフラクタル凝集系では著しい。これは、平行偏光成分では散乱で発生する偏光状態の遷移によるコヒーレンスの低下がないため、すべての散乱次数成分が強度分布に寄与する。よって、3次元的に分布するクラスタ間の空間構造が反映しているため、3に近い解析値になると考えられる。一方、垂直偏光成分ではコヒーレンスの低下が著しく、ごく低次の散乱光のみが強度分布の形成に寄与する。よって、クラスタ内の構造のみが反映されるため、比較的小さな値になると考えられる。さらに、粒子径  $0.09\mu\text{m}$  では、NaCl溶液を添加する前でも凝集が発生しているため、次元が3を大きく下回ると考えられる。

### 4 結論

溶液中の微粒子凝集体のシミュレーションを行い、検出偏光に依存した強度減少率と媒質次元の定量的関係を得た。この経験則を実験的に実証し、平行偏光成分にはクラスタの空間分布が反映し、垂直偏光成分にはクラスタ内部の微粒子凝集体の空間構造が反映することを示した。

電子科学研究 第5卷

---

1998年1月30日

編集 電子科学研究所出版委員会  
印刷 北海道大学生協同組合 印刷事業部  
北大印刷

---