

分散系を利用した 複合微粒子調製のキーポイント 分散挙動解析と調製への応用

Know-How for Preparation of Composite Fine Particles by Use of Dispersion
Analysis of Dispersing Behaviour and Application

著者 田中 真人 新潟大学 名誉教授 工学博士

- ★マイクロカプセル、中空微粒子、多孔性微粒子、無機有機ハイブリッド複合微粒子など、構造や素材の組み合わせにより、さまざまな機能を発現させることが可能な複合微粒子の調製のキーポイント。
- ★第1章、第2章では、複合微粒子の主な調製法、粒径制御、分散安定化法、および微粒子の分散挙動に影響を与える反応器の形状や攪拌条件、流動条件とその影響のメカニズムを解説。
- ★第3章では、食品、医薬品、化粧品、農薬品、情報記録材、建築材、繊維など、各領域で、さまざまな形状、機能、用途で利用される複合微粒子調製の応用事例を幅広く紹介。フローチャートで調製プロセスをわかりやすく示し、調製した複合微粒子の形状観察、特性の測定、分析評価とその結果を解説。粒径の均一化、スケールアップの可能性など、実用にあたっての課題解決、および、さらなる応用展開に役立つ調製の「キーポイント」集！

◆発刊 2016年1月4日
◆体裁 B5判 二段組上製本
616頁
◆価格 本体40,000円(+税)
国内送料弊社負担
ISBN978-4-924728-74-5 C 3050
◆発行 テクノシステム
<http://www.techno-s.co.jp>

「発刊にあたって」(本文より抜粋)

複合微粒子は、化学的性質および物理化学的性質の異なる複数の素材から構成されていることから、集約された機能を有している。例えば、ポリマー基複合微粒子を例にとると、ポリマーミクロスフェアは合成段階から種々の機能を付与することができるし、また、形状や粒径の制御も比較的容易であることなどから、新規複合微粒子の創製に対する基幹素材となっている。したがって、種々の機能を有するポリマー基複合微粒子は、情報記録材料、化粧品、塗料・接着剤、農医薬品、繊維、蓄熱技術、電子材料、建築土木材料などの多くの分野で応用されており、また、新たな可能性を求めて活発な研究が行われている。

このような複合微粒子は、各種の分散系(例えば、液-液分散系、固-液分散系、気-液分散系、液-固-液分散系など)を利用した調製法により調製されることが多い。複合微粒子調製プロセスで分散系を利用するにあたっては、分散系を安定に維持するための方法や条件を、また、時には分散系を不安定にして分散粒子の凝集・合一を促進するための方法や条件をあらかじめ確立しておくことが必要となっている。このためには、分散系における分散粒子の分散挙動(凝集、合一、浮上・沈降)に影響を及ぼす調製条件(分散系を構成する液体の物性、攪拌条件、反応器形状、界面活性剤種・濃度、分散安定剤種・濃度など)に関する情報を集積しておくことが不可欠であろう。

このようなことを念頭におき、本書では、まず、分散系の調製法とその特徴、分散液滴の滴径制御法、反応装置のスケールアップ法について説明した。次に、分散系における分散粒子(液滴、固体微粒子)の分散挙動に影響をあたえる基礎的条件(液物性、攪拌条件)の評価法と解析法、分散系の安定性に影響を及ぼす諸条件(ハード的条件とソフト的条件)の評価法と解析法について説明した。そして、これらの情報・知見を基に、各応用分野で開発・利用されている複合微粒子の調製例を紹介するとともに、今後の課題、特に複合微粒子の調製を試みようとするときのバックグラウンドの条件を、容易に応用展開(特にスケールアップ)することが可能となるように整備しておくことの重要性を述べた。これまでに多くの研究者と議論する機会があったが、バックグラウンドの条件に対する配慮が欠如していると思われるケースが多くあったと記憶している。

本書が、各分野で調製を試みられる研究者の一助になれば幸いである。

2016年1月 田中 真人

《申込方法》

◎下記の申込書にご記入の上、FAXをお送り下さい。また試読をご希望の方は試読希望欄にレ印をお付け下さい。

「分散系を利用した複合微粒子調製のキーポイント 分散挙動解析と調製への応用」(2719H) 申込書

申し込み 冊 試読希望 年 月 日

住所 〒	TEL
会社・団体名	FAX
所属	役職名
(フリガナ) 氏名(フルネーム)	E-mail

第1章 液液分散系調製法

第1節 分散系の調製法

はじめに

1. 分散系の二つの調製法

1.1 分裂法

1.1.1 攪拌による調製における
滴径の評価

1.1.2 転相乳化による調製

1.1.3 特殊装置による調製

(1) 固体膜乳化法

(2) インクジェット法

1.2 成長法

1.2.1 化学的方法

1.2.2 物理化学的方法

(相分離法)

2. 複合微粒子調製法

2.1 化学的方法

2.1.1 成長法

2.1.2 分裂法

2.2 物理化学的方法

第2節 粒径制御法

1. 分散系の安定性維持による方法

2. 分散粒子の分散挙動の制御による方法

2.1 ソフト的要因

2.1.1 界面活性剤（分散安定剤）
種・濃度・分子量・添加
方法

2.1.2 液物性調節法（分散相
および連続相の粘度，
界面張力，密度）

2.1.3 分散相粒子の表面改質法

2.1.4 界面静電的相互作用
利用法

2.2 ハード的要因

2.2.1 機械的エネルギー負荷法

2.2.2 攪拌系と反応器の幾何学的
条件利用法

第3節 分散系の安定化法

1. 界面静電的安定化効果の評価法

1.1 電気泳動法

1.2 流動電位測定法

1.3 沈降（浮上）電位測定法

2. 微粒子分散系の安定性のDLVO理論 による評価法

3. 分散安定剤の安定化効果の評価法

4. 固体粉末の安定化効果の評価法

4.1 液液界面への付着による安定化

効果

4.2 固液分散系における分散安定性

(1) 粗面

(2) 複合面

(3) 不均一面

5. 液物性の安定化効果の評価法

6. 界面活性剤の安定化効果の 評価法

第4節 反応器のスケールアップ法

1. 同一の反応器により分散系と
複合微粒子を調製する場合

2. 分散系と複合微粒子を異なる
反応器で調製する場合

第2章

分散粒子の分散挙動

第1節 分散粒子の分散挙動評価

はじめに

1. 分散粒子の分散挙動

—合一，分裂，相分離，付着—

2. 液滴の分散挙動の評価

2.1 合一実験による評価法の考え方

2.1.1 合一によって変化する
分散相密度により評価する
方法

2.1.2 合一実験により評価する
方法

2.2 合一メカニズムに基づく 滴間合一の速度論的評価

3. 固体微粉末の分散安定性に及ぼす 影響評価法（動的評価法）

3.1 液滴合一に及ぼす影響の評価法
（動的評価法）

3.1.1 合一率の評価法

3.1.2 滴間合一の速度論的評価法

3.2 固体微粉末種の安定性に
及ぼす影響評価の実施例

3.3 安定化効果の解釈

4. 固体微粉末のエマルションの 安定性に及ぼす影響評価法 （静的評価法）

4.1 評価の実施例

4.1.1 エマルション生成と安定化
効果の実験的評価法

4.1.2 分散安定化効果評価法

5. (W/O) / W分散系における (W/O) 滴の分散挙動の 実験的評価法

5.1 (W/O) 滴の分散挙動の評価法

5.1.1 一次分散系の生成の実際

5.1.2 二次分散系の生成の実際

5.1.3 実験結果からの評価法

(1) (W/O) 滴の滴径分布
の経時変化

(2) 平均 (W/O) 滴径の
経時変化

(3) 合一・分裂の平均滴径
操作条件への依存性の
評価

(4) (W/O) 滴の安定性評価
(内水相の漏洩)

6. (W/O) / W分散系における (W/O) 滴の合一と分裂の 速度論的評価法

6.1 (W/O) 滴の合一と分裂の 実験的評価法

6.1.1 分散実験法

6.1.2 (W/O) 滴の合一と分裂の
速度論的評価

6.1.3 (W/O) 滴からの漏洩の
評価

7. 高分子安定剤と電解質の分散 安定性に及ぼす影響評価

7.1 安定性の評価法

7.1.1 分散液滴の浮上・合一実験
の実際

7.1.2 実験結果からの評価法

8. 気体巻き込みに及ぼす攪拌系の 影響評価（攪拌速度，翼形状， 邪魔板ドラフトチューブ）

8.1 気体巻き込みに及ぼす攪拌系 条件の影響

8.1.1 攪拌速度の影響

8.1.2 翼形状，邪魔板，ドラフト
チューブの影響

(1) 邪魔板の影響

(2) 邪魔板の枚数と長さの
影響

(3) ドラフトチューブ挿入
の影響

(4) ドラフトチューブと
邪魔板の併用の影響

9. 連続相との密度差の小さい粒子 の分散挙動に及ぼす影響

9.1 実験評価法

9.1.1 実験A

9.1.2 実験B

10. 分散粒子の器壁への付着の評価

10.1 実験評価法

10.1.1 付着粒子数の経時変化

10.1.2 翼浸漬位置の影響

10.1.3 ドラフトチューブの長さ
の影響

10.1.4 攪拌速度の影響

- 10.1.5 付着粒子数分布
- 10.1.6 速度式の導出と速度定数の評価

第2節 非正常液物性分散粒子の分散安定性に及ぼすソフト的要因 (安定剤種と添加法)

- 1. 液滴の分散挙動に及ぼす影響の評価
 - 1.1 実験装置および方法
 - 1.2 液滴の滴径分布と平均滴径
 - 1.3 滴径の経時変化
 - 1.4 分散挙動の定量的評価法
 - 1.5 重合過程における合一速度と分裂速度
 - 1.6 分裂速度と合一速度の操作条件および滴物性への依存性
 - 1.7 連続相粘度の影響
- 2. 分散液滴の分散挙動に及ぼす電解質の影響評価
 - 2.1 実験装置および方法
 - 2.2 滴径分布と平均滴径に及ぼす影響評価
 - 2.3 ポリマーの付着に及ぼす影響評価
- 3. 分散粒子の付着に及ぼす影響評価
 - 3.1 実験装置および方法
 - 3.2 付着速度の経時変化
 - 3.3 付着に及ぼす懸濁安定剤の影響評価
 - 3.4 付着に及ぼす高粘性流体添加の影響評価
 - 3.5 付着に及ぼす攪拌速度の影響評価
 - 3.6 付着に及ぼす翼浸漬位置の影響評価
 - 3.7 重合過程における付着量分布評価
- 4. 分散安定剤としての固体微粉末の影響評価
 - 4.1 粉末種の影響の実験的評価法
 - 4.1.1 実験装置および方法
 - 4.1.2 平均滴径の経時変化に及ぼす影響
 - 4.1.3 最終粒径分布および平均粒径に及ぼす影響
 - 4.1.4 固体粉末種の接触角による評価
 - 4.2 固体粉末形状の影響の実験的評価法
 - 4.2.1 炭酸カルシウムの調製
 - 4.2.2 実験装置および方法
 - 4.2.3 特性評価

- (1) 液滴個数濃度
- (2) 合一速度の評価
- (3) ポリマー粒子の粒径分布, 平均粒径, 均一性
- 4.2.4 滴径の経時変化に及ぼす影響
- 4.2.5 擬合一速度に及ぼす影響
- 4.2.6 ポリマー粒径分布に及ぼす影響
- 4.2.7 固体微粉末による安定化
- 4.3 固体粉末の帯電性の影響の実験的評価法
 - 4.3.1 実験方法
 - 4.3.2 TCPの表面電荷調整法
 - 4.3.3 ポリマー粒子の評価
 - 4.3.4 実験結果および評価
- (1) 固体微粉末の分散安定性
- (2) ポリマー粒径分布
- 5. 分散安定剤の分割添加の安定性に及ぼす影響評価
 - 5.1 実験装置および方法
 - 5.2 最終粒径分布に及ぼす影響
 - 5.3 平均粒径と均一性に及ぼす影響
 - 5.4 滴径の経時変化
 - 5.5 添加回数の影響
 - 5.6 粒径制御法について

第3節 非正常液物性分散粒子の分散安定性に及ぼすハード的要因 (攪拌条件, 反応器条件)

- 1. 翼浸漬位置の影響評価
 - 1.1 実験装置および方法
 - 1.2 液滴の循環頻度の測定
 - 1.3 滴径に及ぼす翼浸漬位置の影響
 - 1.4 滴径の局所的相違性の度合の定量的評価
 - 1.5 粒径分布と平均粒径に及ぼす翼浸漬位置の影響
- 2. 滴径の槽内局所相違性の評価
 - 2.1 実験装置および方法
 - 2.2 液滴の槽内循環頻度の測定
 - 2.3 液滴の循環頻度に及ぼす操作条件(密度差, 滴径, 攪拌速度)の影響評価
 - 2.4 滴径の槽内局所相違性の度合の合一頻度と循環頻度への依存性評価
 - 2.5 滴径の槽内局所相違性の攪拌速度への依存性評価
- 3. 攪拌速度の段階的および連続的变化の影響評価(非正常攪拌)

- 3.1 実験装置および方法
 - 3.1.1 多段階低下法
 - 3.1.2 連続低下法
- 3.2 多段階低下の粒径と均一性に及ぼす影響評価
 - 3.2.1 一次低下操作における低下回数の影響
 - 3.2.2 二次低下操作における低下回数の影響
- 3.3 連続低下の粒径と均一性に及ぼす影響評価
- 3.4 プログラマブル攪拌による安定性制御
 - 3.4.1 懸濁重合時の攪拌速度変化パターン
- 4. 攪拌方式(往復動攪拌)の影響評価
 - 4.1 実験装置および方法
 - 4.2 滴径分布と平均滴径の経時変化に及ぼす影響評価
 - 4.3 ポリマー粒径と均一性に及ぼす影響評価
 - 4.4 合一頻度の評価
 - 4.5 粒径制御の考え方
- 5. 反応器内の流動パターンの影響評価(ドラフトチューブ設置の影響)
 - 5.1 実験装置と方法
 - 5.2 攪拌速度の影響評価
 - 5.3 ドラフトチューブ長の影響評価
- 6. 反応器内の流動パターンによる評価(ループ型反応器による評価)
 - 6.1 流体の流動挙動の評価
 - 6.1.1 実験装置および方法
 - 6.1.2 反応器内の流動特性の評価
 - 6.1.3 滴径分布に及ぼす影響評価
 - 6.1.4 定常分散到達時間に及ぼす影響評価
 - 6.2 分散粒子の分散挙動評価
 - 6.2.1 実験装置および方法
 - 6.2.2 攪拌速度の影響評価
 - 6.2.3 分散安定剤濃度の影響評価
 - 6.2.4 二連式攪拌方法の影響評価
 - 6.3 ループリアクターの形状の影響評価
 - 6.3.1 実験装置と方法
 - 6.3.2 流体の平均流速の測定
 - 6.3.3 滴径分布
 - 6.3.4 平均滴径の経時変化
 - 6.3.5 平均滴径の操作条件への依存性評価
 - 6.3.6 分散挙動の速度論的評価
 - 6.3.7 液滴生成メカニズムの評価
 - 6.3.8 円環状ループリアクターによるスチレンの懸濁重合

第3章 複合微粒子調製事例

第1節 食品素材への応用事例

1. 熱感受性ポリマーをマトリックスとした油成分含有複合微粒子調製
 - 1.1 複合微粒子の調製と評価法
 - 1.1.1 複合微粒子調製法
 - 1.1.2 基礎物性および諸特性の評価
 - 1.2 実験結果および評価法
 - 1.2.1 物性評価
 - 1.2.2 粒径の物性への依存性評価
 - 1.2.3 含有率の評価
 - 1.2.4 芯物質の徐放速度の評価
 - 1.2.5 マトリックスの溶解性評価
 - 1.2.6 マイクロカプセルの観察
2. 逆相分散系を利用した液中乾燥法による染料内部分散型ツェイン複合微粒子の調製
 - 2.1 複合微粒子の調製と評価法
 - 2.1.1 複合微粒子調製法
 - 2.1.2 評価法
 - 2.2 実験結果および評価法
 - 2.2.1 複合微粒子径の評価
 - 2.2.2 マイクロカプセル化効率評価
 - 2.2.3 染料の徐放率評価
 - 2.2.4 複合微粒子の観察
 - 2.2.5 複合微粒子の魚肉への練り込み評価
3. 転相乳化液中乾燥法による水溶性生理活性物質含有ツェインマイクロカプセルの調製
 - 3.1 複合微粒子の調製と評価法
 - 3.1.1 実験装置と調製法
 - 3.1.2 実験結果と評価法
4. 液滴合一法による油成分含有コアシェル複合微粒子の調製
 - 4.1 複合微粒子調製と評価
 - 4.1.1 調製装置および方法
 - 4.1.2 実験結果と評価法
5. α -トコフェロール含有アルギン酸カルシウムの貯蔵安定性に及ぼす多糖類の影響
 - 5.1 複合微粒子調製法と評価法
 - 5.1.1 実験装置および方法
 - 5.1.2 実験結果および評価
6. 溶融分散冷却法によるL-システイン含有マイクロカプセルの調製

- 6.1 マイクロカプセル調製法と評価法
- 6.2 実験結果および評価
7. スプレードライ・ヘテロ凝集法によるブドウポリフェノール含有マイクロカプセルの調製
 - 7.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 7.2 実験結果および評価法
8. 界面重縮合反応による3種類のコアを含むマイクロカプセルの調製
 - 8.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 8.2 実験結果および評価
9. スプレーゲル化法によるグレープポリフェノールと α -トコフェロール含有マイクロカプセルの調製
 - 9.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 9.2 実験結果および評価

第2節 潜熱蓄熱技術への 応用事例

1. 固体粉末とポリマーからなるハイブリッドシェル/吸水性ポリマーコア複合微粒子調製
 - 1.1 複合微粒子調製と評価法
 - 1.1.1 コアシェル型複合微粒子調製
 - 1.1.2 SiCの表面処理の影響
 - 1.1.3 吸水特性と伝熱特性評価
 - 1.1.4 複合微粒子の観察
 - 1.2 実験結果および評価
 - 1.2.1 液物性とSiC粉末の分散特性評価
 - 1.2.2 SiC粉末の分散状態の観察
 - 1.2.3 コアシェル型複合微粒子のモデル図
 - 1.2.4 複合微粒子の形状的特性評価
 - 1.2.5 複合微粒子の観察
 - 1.2.6 異形複合微粒子生成機構
 - 1.2.7 複合微粒子の吸水特性評価
 - 1.2.8 複合微粒子の熱伝導特性評価
2. *in-situ*重合によるパラフィン(PCM)含有コアシェル微粒子の調製
 - 2.1 コアシェル微粒子調製と評価
 - 2.1.1 スチレン無水マレイン酸(HSMA)の共重合ポリマーの合成
 - 2.1.2 プレカーサーの調製

- 2.1.3 コアシェル微粒子調製
- 2.2 実験結果と評価
3. 界面重縮合反応によるn-オクタデカン含有マイクロカプセル調製
 - 3.1 コアシェル微粒子調製と評価
 - 3.2 実験結果と評価
4. 懸濁重合法によるPCM含有マイクロカプセル調製(操作条件の影響)
 - 4.1 コアシェル微粒子調製と評価法
 - 4.2 実験結果と評価
5. 界面重縮合反応法によるSiC含有PCMのマイクロカプセルの調製
 - 5.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 5.2 実験結果と評価法
6. PCMとSiCによるPickering emulsion生成とPCM含有ハイブリッドマイクロカプセル生成への応用
 - 6.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 6.2 観察結果と評価
7. 逆相分散系を利用したエリスリトール含有マイクロカプセルの調製
 - 7.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 7.2 実験結果および評価

第3節 農医薬分野への応用事例

1. 界面重縮合反応法による防汚成分含有コアシェル複合微粒子の調製
 - 1.1 複合微粒子調製と評価
2. O/O'分散系を利用した界面重縮合反応によるコアシェル複合微粒子調製
 - 2.1 コアシェル複合微粒子調製と評価
 - 2.2 実験結果と評価法
3. 銀ナノ粒子を担持したハイブリッドミクログルの調製
 - 3.1 複合ゲルの調製
 - 3.2 実験結果と評価
4. Agナノ粒子のシェルで被覆されたポリマーミクロスフェアの調製
 - 4.1 実験方法と評価法
 - 4.1.1 コアポリマー粒子の調製
 - 4.1.2 ポリエチレンイミン(PEI)による表面修飾とAgナノ粒子との複合微粒子調製
 - 4.2 実験結果と評価

5. 懸濁重合による（ポリビニルアセテート／銀）ナノ複合粒子の調製
 - 5.1 コアシェル型複合微粒子調製
 - 5.2 実験結果と評価
 6. 抗ガン剤担持PMMAマイクロゲルの調製
 - 6.1 マイクロゲルの調製
 - 6.2 実験結果と評価
 7. ドラッグ担持マイクロカプセル（ポリエチルスルホン酸－アルギン酸）のDDSへの応用
 - 7.1 マイクロカプセルの調製
 - 7.2 実験結果と評価
 8. 多孔性PNIPAMゲルビーズの沈殿重合による合成
 - 8.1 多孔性ゲルビーズの調製
 - 8.2 実験結果と評価
 9. ナノハイブリッドハイドロゲル粒子の調製
 - 9.1 複合ナノハイドロゲルの調製
 - 9.1.1 ハイドロゲルの調製
 - 9.1.2 ハイブリッドゲルの調製
 - 9.2 実験結果と評価
 10. 磁性ナノ粒子コア／ポリ乳酸ポリグリコールシェル複合微粒子の調製とドラッグキャリアーへの応用
 - 10.1 複合微粒子調製と評価
 - 10.2 実験結果と解析
 11. 膜乳化法と熱ゲル化法により調製した四級化キトサンミクロスフェアのpH応答性
 - 11.1 調製法と評価法
 - 11.1.1 キトサンの四級化
 - 11.1.2 粒径の単分散性キトサンミクロスフェアの調製
 - 11.2 実験結果と評価
 - 11.2.1 四級化キトサン (HTGG) の評価
 12. キトサン／ペクチン複合ゲル粒子の調製と放出特性評価
 - 12.1 複合微粒子調製と評価法
 - 12.2 実験結果と評価
 13. 複合コアセルベーション法を利用した架橋キトサン／ゼラチンによるリモネン油の複合微粒子化と蚊よけ効果
 - 13.1 マイクロカプセル調製
 - 13.2 実験結果と評価
 14. 高分子電解質の多重層シェルによる茎細胞のナノカプセル化
 - 14.1 ナノカプセル調製と評価
 - 14.2 実験結果と評価
 15. 溶融分散冷却法による染料水溶液含有マイクロカプセル調製と植物DNA増幅検出への応用
 - 15.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 15.2 実験結果と評価
 16. 熱応答性シェル材による二酸化炭素を発生する炭酸水素ナトリウムのマイクロカプセル化
 - 16.1 マイクロカプセルの調製と評価法
 - 16.2 実験結果と評価
- #### 第4節 コアシェル型複合微粒子の調製事例
1. ヘテロ凝集によるコアシェル型複合微粒子の調製
 - 1.1 実験および評価
 - 1.1.1 コア微粒子の調製
 - 1.1.2 シェル粒子の調製
 - 1.1.3 コアシェル型複合微粒子調製
 - 1.2 実験結果と評価
 2. 可逆的な変色を呈する示温塗料をコアとする複合微粒子調製
 - 2.1 複合微粒子調製法
 - 2.2 実験結果および評価
 - 2.2.1 (S/O) /W分散系生成時の攪拌速度の影響
 - 2.2.2 (S/O) /W分散系生成時の(S/O) 相の体積分率の影響
 - 2.2.3 ポリマー濃度の影響
 - 2.2.4 (S/O) 懸濁系調製時における示温塗料添加体積分率の影響
 - 2.2.5 懸濁安定剤濃度の影響
 - 2.2.6 複合微粒子平均粒径と調製条件との相関
 - 2.2.7 複合微粒子の観察と変色試験
 3. 複合エマルジョンの液液界面反応を利用した（無機シェル／熱応答性顔料コア）複合微粒子調製
 - 3.1 複合微粒子調製
 - 3.2 実験結果と評価法
 4. ヘテロ凝集による（シリカシェル／ポリスチレンコア）複合微粒子調製
 - 4.1 複合微粒子調製と評価法
 - 4.1.1 PSシードミクロスフェアの調製
 - 4.1.2 複合微粒子の調製
 - 4.2 実験結果と評価
 - 4.2.1 シードPS粒子
- 4.2.2 コアシェル粒子の調製
 5. *in-situ*重合法による（磁性Fe₃O₄コア／導電性ポリピロールシェル）ナノ粒子の調製
 - 5.1 実験方法と評価法
 - 5.1.1 Fe₃O₄ナノ粒子の調製
 - 5.1.2 Fe₃O₄-PPyコアシェル構造ナノ粒子の調製
 - 5.2 評価結果
 6. （シリカ粒子シェル／PMMAコア）ハイブリッド粒子の調製
 - 6.1 複合微粒子の調製と評価
 - 6.2 実験結果と評価結果
 7. 高分子電解質により機能化されたポリスチレン粒子表面へのTiO₂の付着
 - 7.1 複合微粒子の調製と評価法
 - 7.2 実験結果と評価結果
 8. ヘテロ凝集によるナノサイズ（シリカ／PMMA）複合微粒子の調製
 - 8.1 複合微粒子調製と評価法
 - 8.1.1 スキームⅠ
 - 8.1.2 スキームⅡ
 - 8.1.3 スキームⅢ
 - 8.2 実験結果と評価結果
 9. 液滴合一法による顔料含有コアシェル粒子調製
 - 9.1 コアシェル微粒子調製法と評価法
 - 9.2 実験結果と評価法
 - 9.2.1 コアシェル粒子の観察結果
 - 9.2.2 シェル厚の評価法
 - 9.2.3 モノマー液滴および液滴個数の影響
 10. 液滴合一法とその後の相分離法によるコアシェル粒子および中空粒子の調製
 - 10.1 コアシェル型・中空型粒子の調製法と評価法
 - 10.2 実験結果および評価
- #### 第5節 中空・多孔性微粒子調製への応用事例
1. 懸濁重合における自由液表面からの気体巻き込みによる多孔性ポリマー粒子の調製
 - 1.1 多孔性ポリマー粒子の調製と評価法
 - 1.2 実験結果と評価結果
 2. 懸濁重合における逆ミセル膨潤法を利用した多孔性ミクロスフェアの調製
 - 2.1 多孔性ミクロスフェアの調製

- と評価
- 2.2 実験結果と評価結果
- 3. シリカコア/PMMAシェル型
ナノスフェアと中空ナノスフェア
の調製
 - 3.1 実験法と評価法
 - 3.1.1 (SiO₂/ポリマー)
コアシェル型複合
ナノ粒子の調製
 - 3.1.2 中空ナノスフェアの調製
 - 3.2 実験結果と評価結果
- 4. (ポリスチレン/ジルコニア)
コアシェルミクロスフェアの調製
とジルコニア中空微粒子の調製
 - 4.1 複合微粒子の調製と評価
 - 4.1.1 ポリスチレン (PS)
ミクロスフェアの調製
 - 4.1.2 PS/ZrO₂コアシェル
スフェア調製
 - 4.1.3 中空ZrO₂粒子の調製
 - 4.2 実験結果と評価結果
- 5. キトサン/ポリアクリル酸
中空ナノスフェアの合成と
刺激応答性
 - 5.1 中空粒子の調製と評価法
 - 5.2 実験結果と評価結果
 - 5.2.1 中空ナノ粒子の合成と
モルホロジー
- 6. 形状制御された重合場としての
サブミクロンリアクターによる
中空ラテックス粒子調製
 - 6.1 調製法と評価法
 - 6.2 実験結果と評価結果
- 7. 多孔性中空ポリマー粒子調製
 - 7.1 多孔性粒子の調製と評価法
 - 7.2 実験結果と評価
- 8. 熱応答性コアシェルポリマー粒子
と中空PNIPAMマイクロゲルの
調製
 - 8.1 中空粒子の調製と評価法
 - 8.2 実験結果と評価結果
- 9. 溶液分離法によるミクロスフェア
調製と乳化溶媒蒸発法による多孔
質ポリ乳酸ミクロスフェアの調製
 - 9.1 ミクロスフェアの調製と評価法
 - 9.2 実験結果と評価結果
- 10. 非重合系溶媒を用いたSt-DEGAの
懸濁重合によるミクロンサイズの
中空ミクロスフェアの生成
 - 10.1 中空粒子の調製と評価法
 - 10.2 実験結果と評価結果
- 11. 気泡を利用した中空粒子調製
 - 11.1 中空粒子の調製法と評価法
 - 11.2 実験結果と評価結果

- 12. 中空チタニア微粒子の調製
 - 12.1 中空粒子の調製と評価法
 - 12.1.1 テンプレートのPS粒子
の調製
 - 12.1.2 PS/TiO₂ハイブリッド粒子
の調製
 - 12.1.3 中空チタニア粒子の調製
 - 12.2 実験結果と評価結果
 - 12.2.1 PS粒子の調製
 - 12.2.2 チタニアコートPS
粒子の調製
 - 12.2.3 中空チタニア粒子
- 13. 気体発泡多孔性生分解性
ポリマーミクロスフェアの調製
 - 13.1 複合粒子調製と評価法
 - 13.2 実験結果と評価結果
- 14. 炭酸ガス発生親水性固体粉末
(難燃剤)の複合化
 - 14.1 液滴合一法
 - 14.1.1 マイクロカプセル
調製と評価法
 - 14.1.2 実験結果と評価結果
 - 14.2 逆相分散系を利用した
界面反応法による
マイクロカプセル化
 - 14.2.1 マイクロカプセル
調製法
 - 14.2.2 実験結果と評価結果
 - 14.3 O/O'系を利用した*in-situ*
重合法によるマイクロ
カプセル化
 - 14.3.1 マイクロカプセル調製
 - 14.3.2 実験結果および
評価結果

第6節 複合微粒子調製への 応用事例

- 1. 懸濁重合による窒化アルミ
ニウム/ポリスチレン複合
微粒子の調製
 - 1.1 複合微粒子の調製法と評価法
 - 1.2 実験結果および評価結果
- 2. Pickering emulsion重合
(懸濁重合)による炭化ケイ素
シェル・ポリスチレンコアの
被覆型複合微粒子の生成
 - 2.1 複合微粒子調製と評価法
 - 2.2 実験結果と評価結果
 - 2.2.1 粒径分布と平均粒径
 - 2.2.2 SiCの付着率と観察
 - 2.3 全体的な評価
- 3. Pickering emulsion重合による
(ZnO/ポリスチレン)複合
微粒子の調製

- 3.1 複合微粒子の調製法と評価法
- 3.2 実験結果と評価結果
- 4. 新規溶媒抽出法によるイオン性
液体を包含したマイクロ
カプセルの調製
 - 4.1 マイクロカプセルの調製と評価
- 5. 懸濁重合によるモンモリロナイト
内部分散型(ポリビニル
アセテート/ポリビニル
アルコール)複合ナノ粒子
の調製
 - 5.1 複合ナノ粒子の調製法と
評価法
 - 5.2 実験結果と評価
- 6. 分散重合によるアミノ基をもった
単分散磁性ポリマー粒子の
調製
 - 6.1 複合微粒子調製法と評価法
 - 6.1.1 単分散PGMA粒子の
調製とアミノ基の付与の
フローチャート
 - 6.1.2 鉄イオンの含浸と
マグネタイト析出の
フローチャート
 - 6.2 実験結果と評価
- 7. ミニエマルジョン重合による
金属セッケン含有白色複合ナノ
粒子の調製
 - 7.1 実験と評価法
 - 7.1.1 複合ナノ粒子の調製法
 - 7.1.2 分散安定性の評価
 - 7.1.3 隠ぺい度の評価
 - 7.2 実験結果および評価結果
- 8. ミニエマルジョン重合による
ハイドロホープ包含ナノ
カプセルの調製
 - 8.1 ナノカプセル調製
 - 8.2 実験結果と評価結果
- 9. メチルメタクリレート
(MMA)の乳化重合による
TiO₂の複合化
 - 9.1 実験法と評価法
 - 9.1.1 TiO₂の表面修飾法
 - 9.1.2 ナノカプセル化法
 - 9.2 実験結果と評価結果
 - 9.2.1 カプセル化効率に及ぼす影響
(1) 操作方法
(2) 開始剤種の影響
- 10. ミニエマルジョン系を利用した
酸化イオウイトリウム蛍光粒子
含有ポリマーナノカプセルの調製
 - 10.1 実験法と評価法
 - 10.1.1 Y₂O₃S粒子表面への
ポリマーの吸着

- 10.1.2 ポリマー吸着 Y_2O_3 粒子が分散したミニエマルジョン調製(液中乾燥法)
- 10.1.3 ミニエマルジョン重合によるナノカプセル調製
- 10.2 実験結果と評価結果
- 11. マイクロエマルジョン重合による $SiO_2/PMMA$ ナノ複合粒子の調製と形態制御
 - 11.1 実験法と評価法
 - 11.1.1 ナノハイブリッドの調製法
 - 11.2 実験結果と評価結果
- 12. 転相乳化液中乾燥法による顔料含有ポリエステル複合ナノ粒子の調製
 - 12.1 複合微粒子の調製法と評価法
 - 12.2 実験結果および評価結果
- 13. 電気スプレー法によるポリスチレンミクロスフェアとナノスフェアの調製
 - 13.1 調製法と評価法
 - 13.2 実験結果と評価結果
- 14. コアシェル型ハイブリッドナノ複合微粒子の調製
 - 14.1 ナノカプセルの調製法
 - 14.2 実験結果と評価結果
- 15. ミニエマルジョン重合によるラズベリー状シリカ/ポリスチレン複層複合微粒子の調製
 - 15.1 複合微粒子調製と評価法
 - 15.1.1 シリカ粒子の調製と表面修飾法
 - 15.1.2 多層構造複合微粒子調製法
 - 15.2 実験結果と評価結果
- 16. 刺激応答性多層ハイブリッドナノ粒子/高分子電解質複合微粒子
 - 16.1 ナノ複合粒子調製と評価法
 - 16.1.1 金ナノ粒子の調製法
 - 16.1.2 $CaCO_3$ マイクロ粒子の調製法
 - 16.1.3 多層構造複合微粒子調製法
 - 16.1.4 中空粒子の調製法
 - 16.2 実験結果と評価結果
- 17. カルボキシル化ポリスチレン/シリカ複合ナノ粒子の調製
 - 17.1 複合ナノ粒子の調製法
 - 17.2 実験結果と評価結果
- 18. 懸濁重合による($TiO_2/PMMA$)複合粒子の調製と

- UV遮弊効果
- 18.1 複合粒子の調製法
- 18.2 実験結果と評価結果
- 第7節 廃棄物を利用した複合微粒子調製への応用事例**
- 1. 化学粉砕法によるリサイクル紙繊維とポリマーとの複合微粒子の調製
 - 1.1 複合微粒子調製と評価法
 - 1.1.1 繊維の調製法
 - 1.1.2 複合微粒子の調製法
 - 1.2 実験結果および評価結果
 - 1.2.1 液物性
 - 1.2.2 複合微粒子強度に及ぼす影響
- 2. EPSのセミケミカルリサイクルによる固体粉末種との複合微粒子の調製
 - 2.1 複合微粒子調製法
 - 2.2 実験結果および評価結果
- 3. 発泡ポリスチレンを素材とした環境低負荷なセミケミカルリサイクルによる複合微粒子の調製
 - 3.1 実験方法および評価法
 - 3.1.1 付着予備実験
 - 3.1.2 複合微粒子の調製法
 - 3.1.3 複合微粒子の特性評価法
 - (1) 固体粉末付着率の測定
 - (2) ζ電位の測定
 - (3) 液物性の測定
 - 3.2 実験結果および評価結果
 - 3.2.1 付着予備実験
 - 3.2.2 付着率および被覆率
 - 3.2.3 複合微粒子の観察結果
 - 3.2.4 全体的な評価結果
- 4. 古紙繊維をマトリックスとするフェロモン含有生分解性複合微粒子の調製
 - 4.1 実験方法および評価法
 - 4.1.1 繊維 (FB) の調製法
 - 4.1.2 カプセルの調製法
 - 4.2 実験結果および評価結果
 - 4.2.1 カプセル構造に及ぼす影響評価
 - 4.2.2 カプセル径と形状に及ぼす影響評価
 - 4.2.3 カプセル強度に及ぼす影響評価
 - 4.2.4 カプセルの吸水特性

- 評価
- 4.2.5 カプセルの乾燥特性評価
- 4.2.6 カプセルの放出特性評価
- 5. 発泡ポリスチレン (EPS) を素材とした多孔性ポリマー粒子の調製
 - 5.1 多孔性ポリマー粒子の調製法と評価法
 - 5.2 実験結果および評価結果
 - 5.2.1 内水相溶液濃度の影響評価
 - 5.2.2 連続相PVA濃度の影響評価
 - 5.2.3 芯物質量の影響評価
- 6. 発泡ポリスチロール (EPS) を素材とした調湿複合微粒子の調製
 - 6.1 マイクロカプセル調製
 - 6.2 実験結果および評価結果
- 7. 古紙ファイバーと導電性ポリマーとの複合化
 - 7.1 導電性フィラーの調製法と評価法
- 8. ガラス粉と導電性ポリマーとの複合化
 - 8.1 ガラス粉末とポリピロールとの複合化
 - 8.2 実験結果および評価結果
- 第8節 情報記録材への応用事例**
- 1. 懸濁重合によるマイクロカプセル型トナーの調製
 - 1.1 マイクロカプセル型トナーの調製
 - 1.2 実験結果および評価結果
- 2. 懸濁重合による重合トナーの調製
 - 2.1 懸濁重合トナーの調製と評価法
 - 2.2 実験結果および評価結果
 - 2.2.1 一次攪拌速度の影響評価
 - 2.2.2 二次攪拌速度の影響評価
 - 2.2.3 固体粉末含有率の影響
 - 2.2.4 トナー粒子の安息角の評価
- 3. 懸濁重合によるトナーの調製と異形化
 - 3.1 実験および評価法
 - 3.1.1 重合トナーの調製法
 - 3.1.2 異形化法
 - 3.2 実験結果および評価結果
 - 3.2.1 基礎物性の評価結果
 - 3.2.2 回転速度と粘度の影響評価

- 4. 懸濁重合による（ポリスチレン／多重層壁（MWNT））複合粒子の調製とER流体への応用
 - 4.1 複合微粒子調製法と評価
 - 4.2 実験結果および評価結果
- 5. 着色剤含有コアシェル型複合粒子の調製
 - 5.1 マイクロカプセルトナーの調製法と評価法
 - 5.1.1 一次マイクロカプセルの調製法
 - 5.1.2 二次マイクロカプセルの調製法
 - 5.1.3 マイクロカプセルの諸特性評価
 - 5.2 実験結果と評価結果
 - 5.2.1 ステアリン酸の体積分率（ ϕ_1 ）の影響
 - 5.2.2 攪拌速度の影響評価
 - 5.2.3 攪拌時間の影響評価
 - 5.2.4 顕微鏡観察
 - 5.2.5 二次マイクロカプセル調製時の攪拌時間の影響評価
- 6. 電気泳動粒子サスペンションを含有するマイクロカプセルの *in-situ* 重合による調製
 - 6.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - (1) サンプル調製
 - (2) マイクロカプセル調製
 - 6.2 実験結果および評価結果
- 7. 転相乳化法による Fe_3O_4 含有コアシェル微粒子の調製
 - 7.1 ナノ複合粒子の調製法
 - 7.2 実験結果および評価結果
- 8. 相分離・液中乾燥法による生分解性トナー調製の試み
 - 8.1 複合微粒子の調製法と評価法
 - 8.2 実験結果および評価法

第9節 難燃剤への応用事例

- 1. 乳化重合による $Al(OH)_3/PMMA$ 複合ナノ粒子調製
 - 1.1 ナノカプセルの調製法と評価法
 - 1.2 実験結果と評価
- 2. 逆相分散系を利用した水溶性難燃剤のカプセル化
 - 2.1 滴内ゲル化法による調製法と評価法
 - 2.2 実験結果と評価
- 3. 二重層にカプセル化された赤リン

の調製とポリ乳酸中における難燃性

- 3.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - (1) メラミンホルムアルデヒドプレポリマー
 - (2) 水酸化アルミニウムの化学析出と *in-situ* 重合による赤リンのカプセル化
 - (3) マイクロカプセルとポリ乳酸との複合化
- 3.2 実験結果と評価

第10節 自己修復剤への応用事例

- 1. ドライコーティング法による *L*-アスコルビン酸含有マイクロカプセルの調製
 - 1.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 1.2 実験結果と評価
- 2. *in-situ* 重合法によるアマニ油含有マイクロカプセル調製
 - 2.1 マイクロカプセル調製と評価法
 - 2.2 実験結果と評価
- 3. ハイブリッドマイクロカプセルの調製と自己修復材への応用
 - 3.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 3.2 実験結果と評価結果

第11節 精油含有複合微粒子の調製事例

- 1. カルナバワックスによるフレーバーのマイクロカプセル化
 - 1.1 調製法と評価法
 - 1.2 実験結果および評価
- 2. エチルセルローズによるローズマリーオイルのカプセル化
 - 2.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 2.2 実験結果および評価
- 3. エッセンシャルオイルのアルギン酸によるマイクロカプセル化と抗菌作用評価
 - 3.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 3.2 実験結果および評価
- 4. エッセンシャルオイル含油 SiO_2 マイクロカプセルの調製と揮発成分の徐放挙動
 - 4.1 マイクロカプセル調製法と

評価法

- 4.2 実験結果および評価
- 5. エッセンシャルオイルのマイクロカプセル化と食品包装材における防虫効果
 - 5.1 マイクロカプセル調製法と評価法
 - 5.2 実験結果および評価

第12節 ハイブリッド微粒子の調製事例

- 1. 逆相懸濁重合による温度応答性ハイブリッドマイクロカプセルの調製
 - 1.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 1.2 実験結果および評価
- 2. 界面活性剤とともに安定化された Pickering emulsion を利用したマルチ中空粒子の調製
 - 2.1 マイクロカプセルの調製法と評価法
 - 2.2 実験結果および評価
- 3. Pickering emulsion とシード乳重合による無機有機ハイブリッド中空粒子のワンポット合成
 - 3.1 ハイブリッド微粒子調製法と評価法
 - 3.2 実験結果および評価
- 4. ラズベリー状の（金属／シリカ）ハイブリッド微粒子の調製
 - 4.1 ハイブリッド微粒子の調製法と評価法
 - 4.2 実験結果および評価

第4章 今後の課題と展望

索引