

『マイクロ・ナノバブルとソノプロセス』

～いろいろ使える「微細泡」の驚異の作用～

2010年5月15日
第1版第1刷発行
B5版 約300頁
定価 27,300円(税込・送料別)

「ソノプロセス」とは超音波の化学工学的応用を指すが、超音波を溶液中に照射することにより発生するキャビテーション気泡という数ミクロンの「泡」の作用を用いることが多い。この「泡」は超音波により振動し、圧壊、マイクロストリーミングなどの特異な現象を引き起こす。気泡の圧壊時には、ピコ秒オーダーの短い時間ではあるが、気泡内部は数千度、数百気圧といった極限状態となり、OHラジカルの発生などの化学反応を引き起こす。超音波による環境汚染物質の分解やナノ粒子の合成などが可能となるのは、このような「泡」によるエネルギー集中が起きているためと考えられる。ヴェーナスが海の泡から誕生したというギリシャ神話をご存知と思うが、生命の起源を海の「泡」に求めることも不可能ではない。一方、「マイクロ・ナノバブル」は気体を機械的せん断力などでミクロの大きさまで細かくして液体に分散した気泡であり、気体の溶解が容易であることなどの特徴を有し、すでに水環境浄化、養殖や水耕栽培などの水産・農業分野などで活発な実用化が進められている。また、重要な化学プロセスの一つとして成長しつつある。

また、特異な発達を遂げているタンパク質などの殻をかぶった「マイクロバブル」は、従来、超音波診断用の造影剤として開発が進められてきたものである。超音波と「泡」は強く相互作用し、医療診断装置の進歩とともに、鮮明なイメージを医師に提供することによって、ガンの早期診断などに活用されている。さらに重要なことには、「泡」の殻や内部に薬用成分を含ませることにより、リアルタイムで病変患部を観察しながら、「泡」の輸送や破壊を超音波で制御して、ドラッグデリバリーや治療を実現しようという試みが実を結びつつある点であろう。(飯田康夫 一巻頭言一より)

本書は、これまでに月刊「マテリアルインテグレーション」で紹介された記事を中心に再編集しました。広い方々へのご参考となるものと信じております。

第I部 基礎編

第1章 マイクロ、ナノバブルの基礎と応用

第1節 マイクロバブルとナノバブルの基礎と工学的応用

- はじめに
- マイクロバブルの生成方法
 - 加圧溶解型マイクロバブル発生装置
 - 気液二相流旋回型マイクロバブル発生装置
- マイクロバブルの自己加圧効果
 - マイクロバブルの上昇速度
 - マイクロバブルの内部圧力の上昇
 - 溶解ガス濃度の増加
 - マイクロバブルを利用したガスバドレートの製造
- マイクロバブルの表面電荷の濃縮とフリーラジカルの発生
 - 気泡の表面電位
 - マイクロバブルの消滅時におけるフリーラジカルの発生
 - フリーラジカルの発生メカニズム
 - マイクロバブルを利用した排水処理技術
- マイクロバブルの表面電荷の濃縮とナノバブルとしての安定化
 - マイクロバブルの縮小過程における一時的安定化
 - ナノバブルの安定化メカニズム
 - 長期持続性を持ったナノバブル酸素ナノバブル
 - ナノバブルの解析方法
 - 動的光散乱光度計による測定
 - 電子スピン共鳴法(ESR)による計測
 - ナノバブルの応用例

第2節 ソノケミストリーのコンピュータシミュレーション

- はじめに
- コンピュータシミュレーション
 - 理論モデル
 - ホーン型と定在波型の違い
 - 定在波型における酸素原子の生成
- まとめ

第2章 マイクロバブルと超音波化学作用

第1節 単一気泡の化学作用

- 超音波照射により生成した気泡の化学作用
- 単一気泡による亜硝酸イオン、硝酸イオンの生成
- 亜硝酸イオンと硝酸イオンの生成量からみた

単一気泡の化学作用の効率

- 亜硝酸イオンと硝酸イオンの生成比に対する考察
- おわりに
- 水の超音波化学反応とその展開
 - はじめに
 - 水の超音波化学反応
 - 水素の利用
 - 水または水溶性有機化合物からの水素生成
 - 二酸化炭素の還元
 - 過酸化水素の利用
 - 酸素-アルゴン雰囲気における水からの過酸化水素生成
 - 光触媒反応との協同効果(超音波光触媒反応)
- まとめ

第3節 粒子添加が超音波化学反応に及ぼす影響

- はじめに
- 実験
 - 吸光度測定
 - キャビテーションノイズの測定
 - 液温の時間変化測定
- 結果と考察
- 結論

第3章 マイクロバブルへのエネルギー付与効果と応用

第1節 マイクロバブルが滞留する液相へのエネルギー付与効果—超音波、マイクロ波—

- はじめに
- マイクロバブルが滞留する液相への外部エネルギー付与によりどのような新規反応場の創成が期待できるか
 - 外部エネルギーをいずれの相に作用させるか
 - 気泡の微細化との複合効果は
- 超音波・マイクロ波エネルギー付与の位置付けと期待される照射効果
 - 超音波とマイクロ波の周波数の比較
 - マイクロバブルが滞留する水溶液への超音波照射効果
 - マイクロバブルが滞留する水溶液へのマイクロ波照射効果
- オンマイクロバブル/超音波照射複合法を用いた有機化合物の分解
 - マイクロバブル発生装置と超音波照射装置を組み込んだ実験装置の概要
 - 気泡の微細化が超音波による

メチレンブルーの分解促進に及ぼす影響

- 二酸化炭素マイクロバブル/マイクロ波照射複合法を用いた炭酸リチウムナノ粒子の製造
 - 導波管型マイクロ波照射装置の概要
 - マイクロ波照射下でのマイクロバブルの滞留がナノ粒子の生成に及ぼす影響
- おわりに
- 二酸化チタンへの超音波照射によって発生するラジカルの応用
 - はじめに
 - 二酸化チタンへの超音波照射とOHラジカルの生成
 - OHラジカルの簡易定量法
 - OHラジカルの生成
 - OHラジカル捕捉剤の添加効果
 - OHラジカルによる有害物質の分解
 - 塩基性色素メチレンブルーの脱色効果
 - 内分泌攪乱物質ビスフェノールA及びベンタクロロフェノールの分解
- 二酸化チタン・超音波照射法による殺菌評価
 - 細胞増殖への影響
 - 細胞膜の損傷
 - 細胞膜損傷によるゲノムDNA漏出とDNA損傷
 - OHラジカルの関与
- おわりに

第II部 材料合成・制御編

第1章 無機材料合成へのソノプロセス応用

第1節 機能性酸化セラミックのソノプロセス

- はじめに
- ソノエレクトロケミカルプロセスによるチタニアナノ構造の制御
 - 硝酸水溶液におけるメソポーラスチタニアの合成
 - 硫酸水溶液における結晶質チタニア製膜
 - フッ素イオン存在下でのチタニアナノチューブ合成
- マグネタイトナノ粒子のソノプロセス
 - ソノケミカル酸化とマグネタイトの磁性特性
 - ソノケミカル被覆による分散安定性向上
- むすびにかえて

第2節 ソノケミストリーとセラミックナノ粒子プロセス

- はじめに
- 過飽和溶液からの核生成に対する超音波照射効果
- 磁性ナノ粒子のソノプロセス

- 生成促進
- 酸化促進
- 粒径制御
- 重合反応の関与する微粒子合成
 - シリカ球状粒子のソノケミカル重合
 - ベンゼン誘導体を用いた炭素基微粒子合成
- ソフトソニケーション(微弱超音波照射)による出発溶液改質の可能性

6 おわりに

第3節 超音波エマルジョンを利用した機能性無機ナノ粒子の新規合成法

- はじめに
- 超音波を用いた無機材料合成プロセス反応場
- W/Oエマルジョンを用いたナノ粒子合成
- 重鉛フェライトの合成
- まとめ
- 第2章 複合材料合成へのソノプロセス応用
 - 超音波エポキシ樹脂によるナノ複合材料増強技術
 - はじめに
 - 金属ナノ粒子における環境負荷とコストの関係
 - 超音波とソノケミカルプロセス
 - 貴金属ナノ粒子のゾロアノケミカルプロセス
 - 無機材料への貴金属ナノ粒子担持
 - 有機材料への貴金属ナノ粒子複合化
 - 単分散ナノ粒子への応用
 - 分解生製と反応のメカニズム
 - 求められる技術
 - 最後に
 - 超音波による貴金属/磁性体複合ナノ粒子の合成と磁気分離キャリアへの応用

第2節 超音波による貴金属/磁性体複合ナノ粒子の合成と磁気分離キャリアへの応用

- 背景
- 金/酸化鉄複合ナノ粒子の調製
- 含硫化合物の磁気分離
- おわりに
- 第3章 材料の構造制御へのソノプロセス応用
 - パラフィンのエマルジョン等を利用した金属酸化物多孔体材料の調製
 - はじめに
 - エマルジョンの安定化と破壊
 - 超音波とエマルジョン
 - エマルジョンをテンプレートした多孔体の作製
 - 酵母をテンプレートした多孔体の作製

第2節 超音波効果を利用する導電性高分子材料の構造制御型合成

- はじめに
- 超音波効果を利用する導電性高分子膜の電解合成
- 超音波効果を利用する導電性高分子コロイドの合成
- 超音波効果を利用する導電性高分子/カーボンファイバー複合材料の合成
- おわりに

第4章 有機合成へのソノプロセス応用

第1節 超音波有機合成

- はじめに
- ヒドロキシジカルの創生と置換ポリアフェノールの合成
- 超音波照射下でのアミン-シリカゲルを用いたアルドール合成
- ソノケミカルスイッチによる有機合成反応の選択性
- 超音波照射を用いた置換フェノールのアルコキシ化
- 超音波照射下でのマロン酸エステルの二量体生成
- 超音波照射を用いる亜鉛による電子移動反応
- マイケル付加反応への超音波照射の効果
- おわりに

第2節 超音波反応場における刺激応答型高分子ゲルの合成

- はじめに
- 超音波反応場における刺激応答型高分子ゲルの合成
- ゲルの相挙動
- ゲルの構造

- ゲルの金属イオン吸着性
- おわりに

第5章 微粒子分散

第1節 ナノダイヤモンド微粒子の分散性改善に関する研究

- はじめに
- 実験方法
 - 実験結果および考察
 - 音響キャビテーションの発生
 - ナノダイヤモンド微粒子の粒径分布とゼータ電位
- 結論

第III部 応用編

第1章 農・水産業、食品分野への応用

第1節 マイクロバブルの農業分野への利用の可能性

- はじめに
- オゾンマイクロバブルの溶存オゾン保持時間
- オゾンマイクロバブルの殺菌効果保持時間
- オゾンマイクロバブルによる培養液の殺菌効果
- オゾンマイクロバブルが培養液の肥料組成及び植物体に及ぼす影響
- まとめ
- 第2節 マイクロバブルの水産・養殖分野への応用
 - はじめに
 - 世界の養殖事情
 - 閉鎖循環飼育の現状とシステム開発
 - 閉鎖循環飼育の効果
 - 魚類飼育での泡の効果
 - 魚類飼育にマイクロバブルを用いる場合の課題
 - 水産・海洋でのマイクロバブルの応用技術
 - 終わりに
- 第3節 超音波を利用した超淡麗辛口酒の製造と水溶液からのエタノール濃縮
 - はじめに
 - 日本酒を霧化させて得られた酒
 - 蒸留との違い
 - 超音波霧化による水溶液からのエタノール濃縮
 - 分離メカニズムの探求
 - おわりに

第2章 医療への応用

第1節 ナノバブルの医療分野への応用

- はじめに
- ナノの有する強力な組織保存能
- 殺菌、修復、再生能
- ナノによるhomeostasis
- 第2節 超音波キャビテーションの治療応用
 - はじめに
 - マイクロバブル造影剤を用いた加熱凝固治療
 - 気泡振動による発熱増強効果
 - 気泡振動による発熱増強効果
 - キャビテーション気泡の崩壊圧を利用した超音波結石破砕術
 - 衝撃波結石破砕術とキャビテーション
 - HIFUを用いた結石破砕手法
 - 結石破砕実験
 - おわりに
- 第3節 光触媒ナノ粒子と超音波技術をカッピングしたがん治療法
 - はじめに
 - 二酸化チタン/超音波触媒法によるOHラジカルの生成
 - 二酸化チタン/超音波触媒法によるがん細胞傷害効果

第4節 ナノバブル水の歯周治療への応用

- はじめに
- 歯周炎
- オゾンナノバブル水の歯周治療への応用
- アフタ性口内炎
- 酸素ナノバブル水のアフタ性口内炎治療への応用
- おわりに

- はじめに
- 歯周炎
- オゾンナノバブル水の歯周治療への応用
- アフタ性口内炎
- 酸素ナノバブル水のアフタ性口内炎治療への応用
- おわりに

第3章 細胞、遺伝子治療への応用

第1節 酸素ナノバブルの抗炎症・抗細胞増殖作用—血管内皮および平滑筋細胞における効果—

- はじめに
- 培養血管内皮細胞での実験
- 血管平滑筋の増殖作用に対する作用
- 今後の課題
- 第2節 超音波による遺伝子導入—遺伝子治療をめざした検討—
 - はじめに
 - 超音波照射による遺伝子導入
 - 超音波遺伝子導入法の改良
 - 超音波遺伝子導入のin vivoへの応用
 - 血管内遺伝子導入
 - 骨格筋組織への遺伝子導入
 - 癌治療を目指した遺伝子導入
 - その他
 - おわりに

第4章 殻を擁したマイクロバブルの調製と検査、薬物デリバリーへの応用

第1節 タンパク質を殻としたマイクロバブルの調製とその挙動

- はじめに
- 超音波照射—マイクロバブル調製の効率的な方法
- 殻の化学修飾
- 超音波場におけるマイクロバブルの挙動
- まとめ
- 第2節 リポソーム型微小気泡(バブルリポソーム)を利用した超音波遺伝子・薬物デリバリー
 - はじめに
 - バブルリポソームについて
 - ソノポレーションを利用した遺伝子デリバリー
 - 微小気泡と超音波の併用による遺伝子デリバリー
 - ソノポレーションを利用した薬物デリバリー
 - おわりに

第5章 環境、有害物除去プロセスへの応用

第1節 超音波によるマイクロバブル群の凝集・再分散を利用した浮上分離プロセス

- はじめに
- マイクロバブルによる微粒子吸着と浮上分離
- 超音波によるマイクロバブル群の急速浮上
- マイクロバブル群の凝集状態に及ぼす周波数の影響
- マイクロバブル群の凝集と解砕のメカニズム
- 超音波によるマイクロバブル群の凝集・再分散を利用した浮上分離プロセス
 - 衝撃波結石破砕術とキャビテーション
 - HIFUを用いた結石破砕手法
 - 結石破砕実験
- おわりに

第2節 超音波を用いた木材からの有機塩素化合物の除去

- はじめに
- 実験装置および方法
- 実験結果および考察
- まとめ

第6章 その他

第1節 超音波照射下無電解めっきによる近接場光学顕微鏡プローブの作製

- はじめに
- 伝播光遮断型プローブタイプと超音波照射を用いた無電解めっき作製法
- 結果および考察
- まとめ