

マイクロカプセル作製技術の磁粉探傷試験への応用

Application of the microcapsule fabrication technology to magnetic particle testing

日本原子力研究開発機構	伊東 富由美 Fuyumi ITO	Member
日本原子力研究開発機構	西村 昭彦 Akihiko NISHIMURA	Member
大阪大学エネルギー学研究センター	乗松 孝好 Takayoshi NORIMATSU	Non-Member
東京工業大学	長井 圭治 Keiji NAGAI	Non-Member

The purpose of the research is to apply the micro capsule technology to the facility maintenance. The micro capsule technology for laser fusion target was developed at the institute of laser engineering Osaka University. We have a plan to apply the fabrication technology of polystyrene micro capsules to the facility maintenance where the magnetic particle testing for complex piping system is investigated.

Keywords: fusion reaction, micro capsule, polystyrene, maintenance technology, magnetic particle testing

1. 緒言

地球上では地球温暖化・大気汚染・放射能汚染・化石燃料の枯渇などの問題が生じている。究極的なエネルギーの安定供給と環境問題の両立が可能な方法として核融合反応が期待されている。

燃料となる重水素(D)と三重水素(T)などの軽い原子を電離させ電氣的に中性なプラズマ状態にし、1億度以上の高温プラズマ状態でDとTの2つの原子核同士を1000km/s以上のスピードで衝突させる事で、核融合反応を起こす。この核融合反応を維持するためにはDとTの原子核を高い密度で長時間・一定の空間に閉じ込めておく必要があり、これはプラズマ状態で可能である。このように超高温のプラズマを閉じ込める方法として、日本では超高密度プラズマを瞬時に作り慣性の力で閉じ込める慣性核融合方式と強力な磁力で比較的低い密度のプラズマを長時間閉じ込める磁場閉じ込め方式の2種類がある。

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターでは慣性核融合方式を採用しており研究が進められている。燃料であるDとTを圧縮・加熱する方法としてレーザー光を用いるためレーザー核融合とも呼ばれる。レーザー核融合は強力なレーザー光をmmサイズの球殻燃料カプセルに均一に照射する事により高温のプラズマを発生させるため、球殻燃料カプセルの精度およびレーザービーム数とレイアウトなどの開発が課題である[1][2]。

2. 核融合用マイクロカプセル

本報告者は2003年～2006年まで真球形および壁厚の均一性の極めて良い μm ～ mm サイズの球殻燃料カプセルの開発に従事した。球殻燃料カプセル壁面材料はポリスチレン・アクリル系フォーム・レゾルシ

連絡先:伊東富由美

日本原子力研究開発機構 光量子融合研究グループ
〒619-0215 京都府木津川市梅美台8丁目1番地7
E-mail:ito.fuyumi@jaea.go.jp

ノール/ホルマリン(RF)フォームなどの透明性・低密度・多孔質構造が十分に小さい材料が選択される。これらの材料を用いた球殻燃料カプセルは、油相と水相の密度を一致させ重力の影響を軽減する密度整合エマルジョン法によって作製した。エマルジョンの油相には重合性の単量体ではなく、高分子を有機溶媒に溶解した溶液を用い、溶媒蒸発後に残留する高分子によりカプセル形状を得た。密度整合エマルジョン法は重合法により作製されるカプセル法に比べて、重合反応中の密度増加の影響や単量体の水和の影響が回避されるため、歪みや気泡などによるカプセルの変形を防ぐことが出来る優れた手法である[3]。

中でも、密度を調整する事が可能、さらに透明である事からRFフォームによる高精度な球殻燃料カプセルの開発を行なった。RFフォームはレゾルシノールとホルマリン水溶液に炭酸ナトリウム(塩基性触媒)を加え、重合反応を行ない、得られた直鎖状高分子溶液を用いて油相/水相のエマルジョンを作製した[4]。その後、酸触媒を加えた油相に注入し加熱攪拌する事でゲル化し、超臨界状態で乾燥させる事により、十分に小さい多孔質の構造を持つカプセルを得る事が出来た。

このように壁面材料や異なる溶媒を用いても真球形および壁厚の均一性の極めて良い μm ～ mm サイズの球殻燃料カプセルを作製する事が可能である。現在、この高精度な球殻カプセルの作製技術はレーザー核融合用球殻燃料カプセルのみに利用されている。この技術を基礎に改良を加えることで、溶接や機械製作の検査や大型施設の保全に有効な技術として活用できる。

3. 核融合用マイクロカプセルの応用

非破壊検査の一つである磁粉探傷試験(MT)は、鉄鋼材料などの強磁性体を磁化させ、欠陥部に生じる漏洩磁束を磁粉により検出する方法である。この方法は、複雑な形状および深さが数 μm 程度の微小欠陥の検出が可能であり、また磁粉の表面を蛍光色素で覆った

蛍光磁粉を用いる事で暗室での観察が容易になる。鉄鋼材料に均一塗布するため、磁粉(粒径サイズ 0.2~60 μm)を溶液に分散させた分散液を散布するが、磁粉粒径サイズが微細であるため、観察後の欠陥内部に付着した磁粉を完全に除去する事は困難である。また蛍光磁粉分散液の場合、長期間放置すると磁粉と蛍光色素の分離の可能性が危惧される。

この高精度カプセル製造技術を利用し、磁粉を内包したマイクロカプセル(MC)の作製を試みた。この磁粉を内包した MC と磁粉探傷試験(MT)を組み合わせることで、極めて効果的に MT を行うことができる。

3-1. 磁粉探傷用マイクロカプセル

密度整合エマルジョン法を用いて市販の磁粉を内包した MC の作製を行なった。MC は油相(O 相)/水相 1(W1 相)エマルジョンを水相 2(W2 相)に注入し、70°C で 2 時間加熱攪拌する事により高分子を溶解させた溶媒が蒸発し、残留した高分子がカプセル化する手法により得られた(Fig.1)。本実験では、O 相として密度調整したベンゼンと 1,2-ジクロロエタンの混合溶媒で溶解したポリスチレン、W1 相として磁粉・界面活性剤・純水、W2 相として 5wt%ポリビニルアルコール水溶液を用いた。加熱攪拌後、W2 相を除去するため洗浄し、磁粉を内包した MC を乾燥させた(Fig.2)。

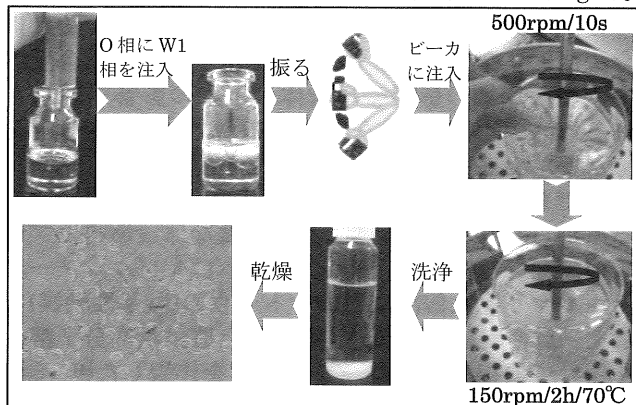


Fig.1 Produce of the micro capsule containing the fine magnetic particles.

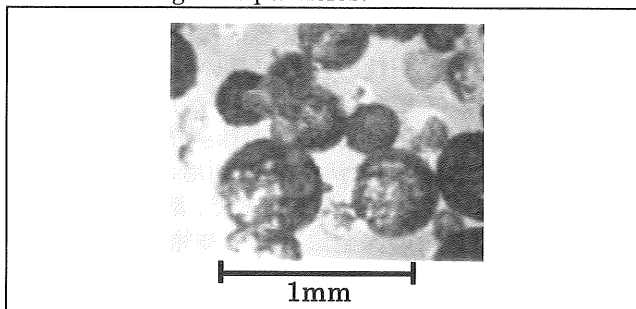


Fig.2 Micrograph of the micro capsule containing the fine magnetic particles (6.7wt%).

その結果、MC に内包した磁粉量が多すぎると MC の形状が楕円状に変形した。この原因として、磁粉の密度は $W1 \cdot O \cdot W2$ の溶液密度よりはるかに高いた

め、時に沈殿する。このためエマルジョンの加熱攪拌中に磁粉が下部に溜まり、形状が変形したと推察した。

3-2. 磁粉探傷用マイクロカプセルを用いた磁粉探傷試験

磁化器に対して垂直方向(Fig.3 a)と平行方向(Fig.3 b)に深さ 50 μm ・幅 0.6mm の欠陥をつけた鉄板を用いて、Fig.2 に示す磁粉を内包した MC を散布し、起磁力 1099AT の磁化器を用いて鉄板を磁化させた。その結果、磁化器に対して垂直方向の欠陥部にのみ磁粉を内包した MC が集合した(Fig.3)。欠陥部の透磁率は小さいため磁束は欠陥部を迂回して分布し、その一部は空間に漏洩する。ここに MC を塗布すると、磁粉が磁化され欠陥の形状に沿って磁粉が付着し磁粉模様形成される。磁束は磁化器に対して平行方向に流れるため、磁化器と平行方向の欠陥部(Fig.3 b)には磁粉を内包した MC は集合せず、一方磁化器に対して垂直方向の欠陥部(Fig.3 a)には漏洩磁束が発生したため、欠陥部に磁粉を内包した MC が集合したと推察した。

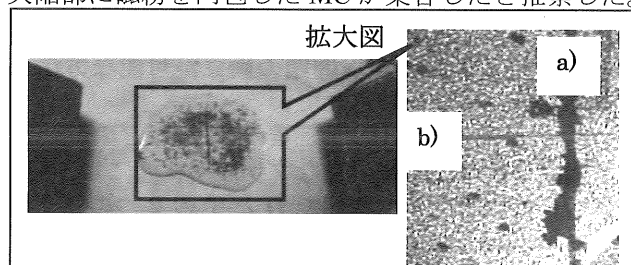


Fig.3 Photo of the micro capsule containing the fine magnetic particles, when electric current flows through an electromagnet..

4. 結言

レーザー核融合反応には、球殻燃料カプセルの作製技術の向上はレーザー技術と並ぶ必須課題である。一方、安心・安全が技術開発として注目される今日、原子炉・化学プラント等の保全技術にはより高精度な検査が要求されるであろう。現在、原子力機構では伝熱配管内部の検査装置の開発を進めている。今後、ここでのマイクロカプセル技術の中核に、各分野の技術を結集する事で、保全分野において新たな活用を目指す。

参考文献

- [1] 大阪大学レーザーエネルギー学研究中心HP <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/>
- [2] 乗松孝好,「レーザー核融合炉設計委員会 活動報告」, IFE フォーラム, レーザー核融合技術振興会, No47, (2006).
- [3] 長井圭治, 他 2 名,「レーザープラズマ実験用ターゲットの作製術と新材料の利用」, *J. Plasma Fusion Res.*, **80**, pp626-639, (2004).
- [4] “Optimization of Gelation to Prepare Hollow Foam Shell of Resorcinol-Formalin Using a Phase-Transfer Catalyst”, F. Ito *et al.*, *Fusion Science and Technology*, **49**, pp.663-668, (2006).