

1. 研究領域名：マイクロ波励起・高温非平衡反応場の科学—炭酸ガス排出抑制型新材料創成反応方法の開発—
2. 研究期間：平成18年度～平成22年度
3. 領域代表者：佐藤 元泰（核融合科学研究所・連携研究センター長）

4. 領域代表者からの報告

(1) 研究領域の目的及び意義

マイクロ波加熱は、火炎など従来の加熱法の単なる代替え手段ではなく、微視的な強い非平衡下の反応系の科学であることが明らかとなってきた。本研究領域は、これを「マイクロ波励起・高温非平衡反応場の科学」という切り口で捉え、マイクロ波エネルギーの高度利用を図る。

マイクロ波の電場・磁場と物質のエネルギーパスおよび非平衡下における微視的な反応を解明するため、In-situな局所温度(ホットスポット)の時間解析とフォトルミネッセンス(核融合研 A01)、In-situなXRD(東工大 A04, A02, A01) 中性子線回折(A01, JPARK), スイス EMPA)などの計測手段を使って実験的に研究を進めている。さらに蓄積したデータを説明する理論の構築を目指している。これらの学術研究の成果を基にして、重工業では最も省エネルギー効果が大きい製鉄事業、ハイテク分野ではバルクなナノ構造体や金属ガラスの焼結などの機能材料の革新的工業応用を推進する。

3つの計画研究と2つの公募研究からなる基礎(学理)研究と2つの計画研究と3つの公募研究からなる工学研究を両輪として、両者の密接な連携協力によってプロジェクトを推進している。マイクロ波エネルギーの高度利用は、資源エネルギー価格の高騰など火炎に依存する工業の形態が直面している問題を根本から解決し、21世紀の工業社会の基礎を築くポテンシャルを秘めている。

(2) 研究の進展状況及び成果の概要

- ① 四酸化鉄などの強磁性体にマイクロ波の磁界を選択的に当てると、融点より数百度低い1100℃で、結晶構造が消失することが見いだされた。走査型電子顕微鏡(SEM)のレベルでも、完全に非晶質化し、しかも、磁気ヒステリシス損失が極めて小さいソフトな磁性体になっていた。これを、高分解能の透過型顕微鏡(TEM)で観測すると、溶融しているのではなく、10ナノメートル程度の微結晶からなるドメイン構造に変化していることが判明した。ミクロン〜ミリオーダーの強磁性粉末から、機械的な力を加えることなく、電磁界のエネルギーだけで数秒でナノドメインの新しい構造に転換する。これは、これまでのナノ粒子研究では予測も発見もされていなかった新しい現象である。(A01)
- ② この非平衡の生成と消滅における物質の変化を、電磁波動と物質中の電子の相互作用として、量子系を含む第1原理計算を使って解明する研究を進めている。荷電粒子と電磁界エネルギーの相互作用を扱うプラズマ物理学と熱の存在を前提とした金属物性学という学際的研究へ発展させる。(A01, A03の共同)
- ③ ナノ物質がマイクロ波の印加で生成される現象を利用して、金属ガラスのナノ粉末からバルク体を焼結する実験が進んでいる。915MHzの同軸キャビティの開発が完了し、加圧下の実験が始まる。(A01, A02, A05の共同)
- ④ 工学応用の柱として、化学反応を伴うマイクロ波製鉄の実用化に向けた研究を進めている。日産一トン規模のパイロットプラントの実験が開始された。(A01, A04)
- ⑤ 原料中のカルシウムやナトリウムなどのイオン伝導性の高い不純物とその効果の利用などによる選択加熱を使って、スラグ中からの金属・貴金属の回収など、環境工学の研究へ応用を進めている。(A02, A04, A05)

5. 審査部会における所見

B (一層の努力が必要である)

マイクロ波加熱を用いた工学的アプローチとしては、製鉄方法の開発等において一定の価値ある進展がみられ、成果を上げつつある。しかしながら、マイクロ波励起による非平衡加熱に関する基礎的、および理論的成果が極めて不十分である。すなわち、マイクロ波利用に関する応用研究の側面が強く、反応場の科学として現象を解明する方向性がみられない。マイクロ波と物質の相互作用を明らかにする等、マイクロ波加熱の現象解明に関する物理的、化学的理論に基づいた研究が必要である。新たに物性物理分野の研究者との連携を深め、学術的展開(実験的な努力、理論的モデル化)を更に強力に行う必要がある。現象論にとどまらず、計測手法にも新しいものを導入し、格段の努力が不可欠である。