

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：特定領域研究  
研究期間：2006～2010  
課題番号：18070006  
研究課題名（和文）マイクロ波高温非平衡加熱の研究総括

研究課題名（英文）Advisory Committee

#### 研究代表者

佐藤 元泰 (Sato Motoyasu)  
核融合科学研究所・連携研究推進センター・教授  
研究者番号：60115855

#### 研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：(1) マイクロ波反応場 (2) 非平衡物性 (3) 非平衡熱力学 (4) ナノ構造 (5) アレニウスの式 (6) マイクロ波化学 (7) 金属酸化物電磁波還元 (8) マイクロ波工学応用

#### 1. 研究計画の概要

本研究領域は、マイクロ波、プラズマ物性、材料物性にまたがる学際領域を結合し、微視的な高温非平衡過程というマイクロ波固有のエネルギー経路を実験的に究明、蓄積したデータを説明する理論の構築とシミュレーション手法の開発をおこなうと共に工業化を推進するものである。

マイクロ波は、在来型の加熱の単なる代替え手段ではなく、微視的な強い非熱平衡系という物性学上の新しい領域にある。これまでの研究成果を受けて、マイクロ波励起・非平衡反応場という概念を創出し、その反応場における電磁波から物質へのエネルギー経路を究明する。そのエネルギーの物質内における緩和過程を明らかにする実験を行い、理論的説明を試みるとともにシミュレーション手法の開発を目指す。

学術的成果にとどまることなく、21世紀を担う新しい物材創成の手段としてマイクロ波の高度利用を推進し、産業へ展開させる。重工業では最も省エネルギー効果の大きい製鉄事業、ハイテク分野ではナノ・薄膜などの機能材料の革新的製造技術などである。

総括班は、基礎研究と応用研究の連携による正のスパイラルによって、さらに高度な成果が生み出されるように研究管理体制を整備し、この成果に柔軟に対応して適切に課題の拡大、必要な見直し等を行ってゆく。

#### 2. 研究の進捗状況

平成 20 年 8 月 4 日～8 日、日・米・欧・中国のマイクロ波エネルギー利用に関する学会と国際会議、『1st Global Congress on Microwave Energy Applications「第 1 回マイクロ波エネルギー応用国際会議」』を開催した。参加人数：340 名（大学等：40%、研究機関 30%、企業 30%）

研究者の交流促進、活発な議論・情報の交換が行われ、

局所熱非平衡の発現との関連、不對電子スピンとの相互作用という古典物理と量子金属物理学の境界領域の開拓へと発展してゆく道筋がつけられた。このような物理機構の解明に糸口がつかめたことで、産業応用が進み、火災によらない物材加工方法として塗産業応用が進展した。以後、この国際会議を 4 年ごとに、日米欧亜で持ち回理解察することに決定した。マイクロ波領域の研究者が、本特定領域の目指す新分野への発展と軌を一にする活動を拡大した。

#### 3. 現在までの達成度

物理面に於いて特段の進歩が認められる。  
<理由>

平成 21 年の 5 月及び 21 年 3 月、総括班会議を開催した。中間評価の意見を真摯に受け止め、マイクロ波の交番電磁界を、非平衡反応場という物質の相互作用とて深く理解するよう指導した。A05 班吉川、A01 班佐藤らは、

マイクロ波という低エネルギーフォトンから2~4桁高いフォノンを励起するマイクロ波加熱では、結晶の格子間に歪みが発生しそのまま残ることを捉えた。これはマイクロ波領域の交番電磁界と物質の相互作用は非平衡反応場であり、また量子統計力学の観点からマイクロ波は熱力学第2法則を実験的に証明する新しいツールとなる可能性を示している。

工業応用面に於いて、当初の予定を超える成果が上がっている。実験準備に着実な前進が見られており、マイクロ波溶鉱炉の実証実験が可能と判断できる。

<理由>長い歴史の上に築かれてきた在来の高炉の基本構造を踏襲し、効率の高いマイクロ波高炉の概念を提案する。在来高炉との違いは(イ)エネルギー供給を、炭素の燃焼とその高温ガスではなくマイクロ波電力によること(ロ)原料中にガス流路が不要なため、鉄鉱石とコークスの粉体を使用すること、に集約される。

金属円筒の内部を耐火物で内張りした縦型円筒状のシャフトの下部に羽口と炉床が設けられている。シャフトの上部から投入され、羽口まで荷下がりしてきた原料は羽口から照射されるマイクロ波を吸収して加熱され、炭素粉末と反応して還元される。羽口は、マイクロ波の放射を制御するために特別な曲面をもった一連の反射鏡列で構成されている。特に最高温部にある反射鏡は、高温の銑鉄からの輻射熱を逃がさないための赤外線反射鏡としての機能も合わせ持っている。つまり羽口は、赤外線反射炉も兼ねており、在来のシャフト炉と反射炉の複合構造である。空気を送り込んで炭素を燃焼させ、発熱と同時に還元ガスである一酸化炭素を発生させる在来高炉とこの加熱還元部の機構が大きく異なっている。

また、在来炉の炉床の中心にはデッドマンと呼ばれる鉄と炭素の混合物の塊があり、シャフト上部から荷下がりしてきた原料をラジアル方向に流す働きをしている。マイクロ波高炉では、デッドマンはできないので、炭素の円柱・円筒を下から挿入して、デッドマンの働きをさせる。この炭素は鉄と反応して溶けてゆくの、下から徐々に押し上げて消耗分を補う。この人工的なデッドマンは、炉の操業開始時には、シャフトの下部まで上昇させてあり、原料粉末が羽口に落ちないようにになっている。この状態で、マイクロ波を照射して炉床の耐火物を約1200℃まで予熱しておく。デッドマンを降下させると原料が羽口に流下して製銑反応が開始される。溶融した銑鉄によって炉床がコーティングされ、マイクロ波は耐火物に吸収されなくなり、マイク

ロ波エネルギーの利用効率を高めることができる。

なお、発生した反応生成ガスは、シャフトの中を上昇して原料を予熱する。その一部は羽口上部の空間に設置する熱交換機によって熱とCOなどの可燃成分に分離して、それぞれ再利用される。

#### 4. 今後の研究の推進方策

004計画班と001計画班の緊密な連携により、核融合化学研究所の敷地内に、縦型マイクロ波溶鉱炉の建設を進めている。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. N.Yoshikawa,Z.Cao,D.Louzguin, G.Xie, S.T.aniguchi: Micro/nanostructure observation of microwave-heated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; J.Mater.Res..Vol 24,2 009

2. 佐藤元泰 永田和宏; 縦型マイクロ波溶鉱炉概念設計、日本金属学会・鉄鋼協会 春期講演会予稿集、May 30 (2008)

[学会発表](計1件)

[産業財産権]  
出願状況(計1件)

名称: 縦型マイクロ波溶鉱炉  
発明者: 佐藤元泰、永田和宏  
権利者: 自然科学研究機構、東京工業大学  
種類: 特許出願  
番号:  
出願年月日: 21年1月31日  
国内外の別: 国内・外国