

## 活動紹介

# 「電磁場の”質”に着目したインテリジェント マテリアルプロセッシング」WG の紹介



## Intelligent Handing of MW Energy in Material Processing

中部大学 工学部 榎村京一郎

〒487-0025 愛知県春日井市松本町 1200,

e-mail: kashimura@isc.Chubu.ac.jp

### 1. はじめに

マイクロ波加熱の特徴として、一般に急速（迅速）加熱，選択加熱の二つが挙げられる。例えば，電子レンジで紅茶を温めた際、我々は速やかに紅茶を温めることができる。この急速に物を温められる点は、マイクロ波の持つ特徴のひとつとして広く知られている（急速加熱）。また、電子レンジで加熱された紅茶はその器となるカップと異なる温度を示す（私の経験では、カップの温度は紅茶よりも低い）。これは紅茶の方がカップよりマイクロ波のエネルギーを吸収するために生じる現象である。この選択加熱という特徴により、マイクロ波は被加熱物質内部に $\mu\text{m}$  オーダーの微小な領域に数十～数百度もの温度差を形成することができる<sup>1,2)</sup>。これまで、この非平衡温度場は、プロセス設計におけるデメリットとして認識されてきた。しかし、1999年、この非平衡場を用いた革新的な金属焼結がRoyらのグループより報告された<sup>2)</sup>。この報告における彼らの主張は焼結体の緻密さであったが、得られた金属組織に選択加熱が認められる他、緻密な焼結体が得られる機構についての紹介が載っており、この報告を皮切りに微小領域での非平衡状態が広く注目されるようになった。現在では、我が国においても、こうしたマイクロ波のもつ選択加熱性を、積極的に材料プロセスに応用していく流れが形成されつつある。

加熱対象へのエネルギー供給をスムーズにすることで材料合成に優れた特性を付与する研究と比べ、マイクロ波エネルギー操作性を材料・化学合成へ変換・制

御利用する方法論の研究は不十分だと思われる。ここ10年で、マイクロ波加熱を用いた特異な化学合成に関する議論は、この加熱により生じる温度分布により説明できるとして決着がついた。しかし、これを上手に運用するためには、マイクロ波電磁波の精密制御やこれの熱エネルギーへの変換過程の理解が必要である。特に、マイクロ波は優れた操作性を備えたエネルギー供給のためのツールであるにも関わらず、電磁波周波数や容器のQ値（品質のよさ）などの観点から加熱運用を論じた研究は少ない。

今後、マイクロ波化学・材料プロセッシング分野において、マイクロ波が持つ電界や周波数などの特性を精密に制御することが重要である。その結果、従来の加熱では困難な化学・材料合成プロセスの熱分布・物質移動の精密操作が達成できる。そうなってはじめて、対象とするプロセスのエネルギーを効率的に操作する事ができ、かつ、マイクロ波を利用した新しい材料プロセッシングの可能性が拓けてくると考えた。

### 2. 活動状況

新しい電磁波エネルギー応用を創出・推進するためには、多岐に渡る専門性を持つ研究者のプラットフォームを形成した。著者は、様々な学術分野の研究者同士の交流から、新しい加熱物理、化学反応理論を創出できると考えている。物理屋・化学屋・電気屋といった専門家がそれぞれ自らの分野を分担するのではなく、

異なる分野を理解・担当することで、各分野同士の情報ダイナミクスを創出し、新しい学術を創出したい。連携する学会の理論・人材の交流を促進することにより、新しいものづくりに貢献し、分野間の垣根を超えた有機的な連携ができると考える。

平成 28 年度では同 WG メンバーにより日本鉄鋼協会に積極的に働きかけ、鉄鋼協会でマイクロ波セッションを立ち上げ、情報の共有を行った。高温プロセスにおける電磁波応用を促進するとともに、高温プロセス分野の優れた研究者と情報を共有した。同会では、東工大・藤井智氏による連成場（熱場・電磁場）の数値解析による報告がなされた。この報告では、通常の連成場に攪拌用のスターラーの動作を取り込み、擬似的な三つの場を数値計算により明らかにし、マイクロ波加熱炉の温度挙動の解明を試みている点において新しい。また、豊田中研・福島英沖氏による自動車応用におけるマイクロ波加熱応用に関する報告は、マイクロ波加熱の様々な産業分野への適用可能性を吟味したもので、産業界に深く造形を有する福島氏ならではの講演であった。本講演では、マイクロ波加熱の特徴が的確に説明され、マイクロ波の学術や技術が進むべき道筋が示された。材料側からは、東北大学・吉川昇氏の発表が興味深い。この講演では、粉体における粒子それぞれが形成する複雑なマイクロ波加熱挙動を、パーコレーション理論を基礎とした明快な説明で表現し、新しい電磁界設計へのヒントとなり得るものであった。いずれの講演も、基礎学問を理解していれば容易に理解できる内容で丁寧に説明されており、異分野の研究者であっても理解することが十分に可能な内容であったので、本 WG の重要な趣旨である「多岐に渡る専門性を持つ研究者のプラットフォームの形成」に大きく寄与できるものであった。平成 29 年度では、これにより得られた研究交流の場を電磁波エネルギー応用学会へ移行しつつ、更なる交流機会の拡大を探索する予定である。

また、平成 28 年度末に東北大においてセミナーを開催し、基礎学問の普及・異分野連携力の基礎を強化した。このセミナーは、東北大・福島潤氏、中部大・樫村京一郎主催で開催し、「マイクロ波プロセッシングの応用」、「無容器プロセッシングによる機能性材料合成」、

「電磁波と加熱の基礎理論」及びこのテーマに関して総合討論が行われた。

異分野間の学術交流を達成するためには、基礎学問の習得が重要である。本セミナーの目的は、著者と関わりの深い高温プロセス改善を目的としたマイクロ波法の道筋を示すこととともに、これまで報告されてきたマイクロ波効果のメカニズムを既存の学術ベースに沿って説明することが行われた。なお、本セミナーの趣旨を鑑み、講師として望月大氏（信州大）を招聘した。この試みは非常に有意義なもので、化学・物理・電気などの異分野についての基礎学問の理解を深めること、セミナーでは活発な議論が展開すること、マイクロ波効果とされる様々な特異な事例を、伝熱工学や電磁気学の観点から説明することなど、いくつかの目的を達成することができた。また、「マイクロ波効果とはなにか」や「電磁波エネルギーの産業応用へ向けた道筋」及び「電磁プロセスの既存プロセスに対する優位性の確保」について忌憚のない意見交換が行われた。

さらに、電磁波の質に注目したプロセス研究開発について、議論を深めている。マイクロ波の様に位相が揃ったコヒーレントな電磁波を物質に照射すると、その原子・分子のもつ電子またはイオンが電磁波と同期して集団的に振動し、特に粉体に効率良く吸収されて発熱する。化学反応での素原料の加熱・反応エネルギー制御をマイクロ波で行うと、高速で目標物が生成する。こういったマイクロ波加熱場下での反応速度が従来加熱と比べて向上するという報告は、枚挙に暇がない。これを学術的に整備するためには、非平衡熱力学の観点から整備することが正しい学術の積み上げである。この観点においては、非平衡な温度分布において、化学反応速度は熱力学的力と熱力学的流れにより表現されるので、強電磁界では熱力学的力＝電位勾配と解釈する理論構築が正しいと考えられる。しかし、マイクロ波効果を考慮する上ではその駆動力となる電氣的ポテンシャルの見積は極めて困難である。この理解には、マイクロ波工学の知恵を拝借する必要があるが、加熱容器の Q 値をはじめとした電気工学的な観点が不十分であるように感じている。これに関して、先に述べたような知識の共有化を行っている。電磁波の質を考慮した化学反応制御理論を構築できれば、従来の火

力とは異なる電磁波加熱特性を得ることができる。これは、エネルギー源を火力・高温ガスから電力・電磁波に転換することにつながり、パラダイム変革をもたらすことが期待できる。

今後はさらに交流の場を促進し、WG 会員を増加することで強化を計りたい。

### 3. 平成28年度の活動概略

2017/2/24 電磁波エネルギー応用学会・日本鉄鋼協会  
合同セミナー（東北大学）

2017/3/15-17 日本鉄鋼協会・春季講演大会において  
「電磁波を用いた高温プロセス設計 ―電磁波照射の  
応用と問題点―」マイクロ波予告セッション立ち上げ

#### 参考文献

- 1) Nils Sabelstrom et al.: Steel Research Int., 83 (2013).
- 2) R. Roy, D. Agrawal, J. Cheng, and S. Gedevarshvili, Nature 399, 668 (1999).