

電磁場励起非平衡反応場のマルチフィジックス

(中部大工¹) 檜村京一郎¹

Microwave Heating and Chemical thermodynamics

¹Associate professor, Faculty of Engineering, Chubu University) ○ Keiichiro Kashimura,¹

Microwave goes noticed as a new heating method in chemical processes and has features such as ①internal heating, ②rapid heating, ③selective heating, and ④microwave effect. However, the chemical processes with microwave, which were actually on industry, are only a process that utilizes (1) of this feature, and do not effectively utilize this new thermal power. In this lecture, we will introduce practical examples of microwave processes and introduce the phenomena that exist in the background and introduce the challenges left in this field to build next-generation microwave chemistry.

Keywords : Microwave heating; chemical thermodynamics; multiphysics; Coupling field; Quantum chemistry

近年、マイクロ波プロセスの実用化事例が報告されるようになってきた。例えば、古くから食品加熱で多く実用化されているが、ゴム加硫反応¹⁾、耐火物乾燥²⁾、木材乾燥(* 13 MHz)³⁾などの食品以外のマイクロ波プロセスも報告されている。これらは、9-120 kW 級の大出力マイクロ波を有効に利用し、迅速に内部まで加熱することでコスト低下を達成している点に特徴があり、こうした実用化事例は今後もしばらくは増加していく傾向がある。一方、学術分野では、マイクロ波加熱を用いた化学反応や材料合成において、従来と異なる反応加速が多く報告されている。1950年代から、マイクロ波加熱を用いた化学合成は多くの研究者により試みられ、1950年代より有機合成、1970年代より無機合成、2000年代では金属合成まで加熱対象は拡大し、現在で

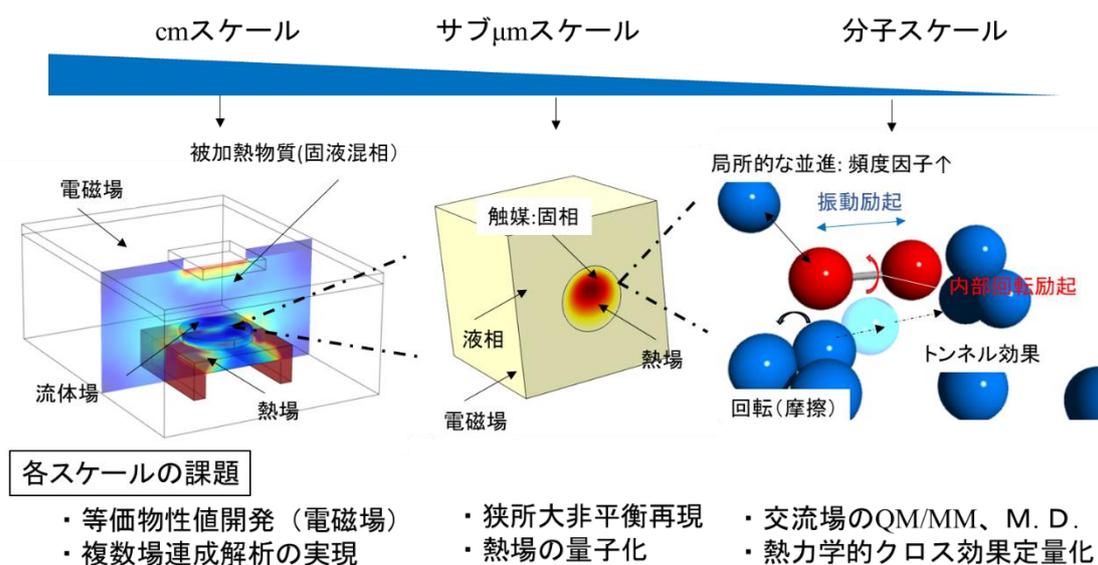


図 1 従来の電磁場-熱場連成場解析に様々な場の実測・解析が必要。

も、その報告例は指数関数的に増加している。これらのマイクロ波による反応加速効果は、'マイクロ波効果'や'非熱的効果'などと呼ばれ、学術的に解明・整理するための挑戦が現在に至るまで継続されている。

著者の調査する限り、ほとんどのマイクロ波プロセスの実用化事例は、'マイクロ波効果'や'非熱的効果'ではなく、高速加熱・内部加熱を利用している。つまり、'マイクロ波でなければならない反応'の実用化事例は（ゼロではないが、）少ない。この原因として、高速加熱・内部加熱といったマイクロ波の特徴だけでも、優れた工学的優位性を取得できることも挙げられるが、実際には、'マイクロ波効果'や'非熱的効果'のように曖昧な言葉で整備されていることが示す通り、学術的整備が発展途上である点が主たる原因であるように思う。つまり、良好な反応加速を示す事例が報告されても、その根幹である学術的なメカニズム検証が不十分であるために、事例のスケールアップ過程で有用な特徴が失われてしまうためである。

マイクロ波プロセスの完全な理解のためには、「熱場・電磁場・流体場など複数場と化学反応場の関係」を「様々なスケール（マルチスケール）」で実測・解析する必要がある。ものづくりの基礎となる cm スケールでは、幾何光学より出発する設計法や FEM 解析技術の発展や実験的な計測手法は確立しつつあるが、流体場や反応場を含めた 3 つ以上の混成場の解析手法が不足し、また、これを有効に計算するための等価物性値開発に課題が残されている。メゾスケールでは、ここ数年でようやく熱場の大非平衡状態の計測が達成された⁴⁾ (図 2)。しかし、反応場への影響を吟味するためのメゾスケール熱力学の整備や、分子スケールへの連結となる熱伝導や熱場へ展開手法に課題が残されている。分子・原子スケールでは、電磁界と化学反応への直接的な作用についての数値計算が不十分である。このスケールでは、反応加速の主たる原因であることが指摘されてきたが、実測によるデータの積み上げこそなされているものの、現象の整備・決定には至っていない。これは、計算科学による実測の補足が不十分であることが主たる原因であると考えている。

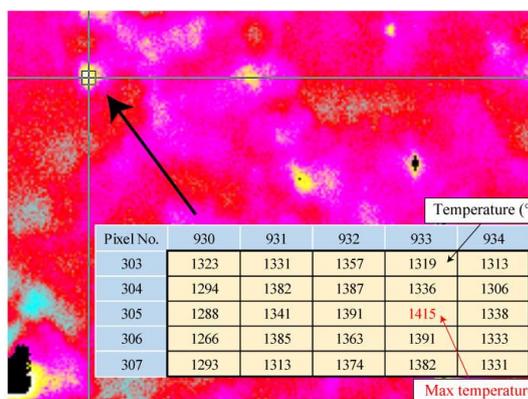


図 2 メゾスケールにおける SiC-Al₂O₃ の狭所温度計測結果。伝熱解析では説明が難しい温度勾配が観測されている。

- 1) 最新 マイクロ波エネルギーと応用技術, 株式会社 産業技術サービスセンター, 243-250
- 2) マイクロ波加熱の基礎と産業応用事例, CMC 出版, 2017. 4. 24
- 3) 山本泰司他: 日本木材加工技術協会第 24 回年, 次大会講演要旨集, (2006), p. 21-22
- 4) *Processes*, 8, 1 (2020) 47