

マイクロ波化学のプロセス技術と事業展開

塚原 保徳 (つかはら やすのり) マイクロ波化学株式会社 取締役 CSO 博士 (理学)
渡辺 久夫 (わたなべ ひさお) マイクロ波化学株式会社 エンジニアリング部部长

要約 第3のエネルギー伝達方法 MTT (マイクロ波伝送技術) により化学プラントのデザインを革新させる。1980年代からマイクロ波の化学プロセスへの優位性が謳われ続けてきたが、2016年現在、未だ産業化されていない。著者グループは、ベンチャーを興し、研究開発から、実証、事業化までを一気通貫で行うことにより、マイクロ波プロセスの産業化を目指しているため、紹介する。

1. はじめに

第3のエネルギー伝達方法 MTT (マイクロ波伝送技術: Microwave Transmission Technology) により化学プラントのデザインを革新させる。マイクロ波プロセスは、エンジニアリング視点において、伝熱に依存しない設計を可能にする。

2. 背景

1970年代につくられた生産プロセスは、革新がないまま老朽化を向かえ、設備更新の時期が迫っている。そのような状況下で、マイクロ波プロセスは、従来の化学プロセスとは全く異なる機構で反応を促進する高効率な化学プロセスとして、次世代の生産プロセスとして期待されている。

マイクロ波とは、波長約1mm~1m (300 MHz~300 GHz) の電界と磁界が直交した電磁波であり、レーダーや加速器、電子レンジなど工学分野から我々の身の回りの家電製品まで広く利用されている。マイクロ波加熱は、マイクロ波の振動電磁場との相互作用により誘電体、磁性体を構成する双極子、空間電荷、イオン、スピンなどが激しく振動・回転することによって起こる内部加熱であり、短時間で目的温度に達することが可能である。単位体積あたりのマイクロ波による熱変換エネルギー $P(\text{W}/\text{m}^3)$ は、以下の式で表される。

$$P = P_{\sigma} + P_{\epsilon} + P_{\mu} = 1/2 \sigma |E|^2 + \pi f \epsilon_0 \epsilon'' |E|^2 + \pi f \mu_0 \mu'' |H|^2$$

それぞれは導電損失、誘電損失、磁性損失と呼ばれ、

導電体、誘電体、磁性体がマイクロ波と相互作用した損失を示す。一般的な加熱では、水やアルコールに代表されるように誘電損失を用いるケースが多い。誘電損失は、マイクロ波の電界強度 E の平方、誘電体の複素誘電率の虚部 (誘電損失係数) $\epsilon''(\omega)$ 、周波数 f に比例し、その誘電損失係数は温度依存性、周波数依存性を強く示すことが特徴である。

マイクロ波の化学は、1986年の *Tetrahedron Letters* に掲載された R. Gedye や R. J. Giguere による有機反応から始まった。現在に至るまで、マイクロ波化学は、有機合成、錯体合成、ナノ粒子合成、高分子合成等に適用され、急速-選択加熱、内部均一加熱、非平衡局所加熱の特殊加熱モードによる、反応時間短縮、高収率、選択性向上などの効果が報告されてきた。国際学術論文発表数は、1995年に400報だったものが、現在は数千報以上にもものぼり、ラボスケールにおいては注目され、マイクロ波効果の制御が可能になれば、革新的な新規反応場を用いた魅力的な化学プロセスと認識されている。しかしながら、未だ、化学プロセスとして大型産業化された報告は無い。

マイクロ波プロセスを産業展開する場合、乗り越えなければならない障壁がいくつか存在する。1つめは、最適なマイクロ波反応系の構築である。最適な系を設計できない場合は、単なる加熱手段となる可能性が高いからである。2つめは、マイクロ波リアクターのスケールアップである。これは、電磁波であるマイクロ波の浸透深さ、化学反応下におけるリアクター内の電場解析などの観点から、マイクロ波化学反応装置設計が難しい為である。3つめは、マイクロ波プロセスの制御システム構築である。これは、マイクロ波化学プロセスは、新しい概念の化学プロセスのため、通常プ