

マイクロ波化学プロセスの工業化が進む

◆マイクロ波プロセスの化学産業への応用が進む

2022年11月、大阪大学発のスタートアップであるマイクロ波化学と三井化学は、マイクロ波を用いた炭素繊維製造技術の実証設備を三井化学名古屋工場内に新設すると発表した。本製造技術では、製造工程においてマイクロ波で効率的に炭素繊維を加熱するため、従来技術と比較して、エネルギー消費量は50%削減され、加熱時間が大幅に短縮される。

マイクロ波化学は、マイクロ波プロセスの技術プラットフォームを用いたソリューションを化学メーカーに提供している。マイクロ波プロセスでは、熱エネルギーの伝達手段としてマイクロ波（周波数300MHz～300GHzの電磁波と定義されるが、工業利用できる周波数は915MHz、2.45GHz、5.8GHzなどのISM帯に制限される）を用いており、その加熱方法はマイクロ波加熱と呼ばれ、電子レンジでも使用されている。

◆マイクロ波加熱の特長

マイクロ波加熱は、マイクロ波が照射対象の誘電体に吸収され、その電磁波エネルギーが誘電損失係数に比例した熱エネルギーに転換する現象である。そのため、直接・内部加熱、選択的加熱、迅速加熱という特長がある。一方、熱伝導（高温側から低温側に熱エネルギーが伝わる現象）を利用した従来型の加熱は、反応炉を囲む熱源からの間接・外部加熱になるため、熱エネルギーの伝達が非効率であり、熱源を含む設備が大規模化する傾向がある（図1）。

電子レンジに代表されるようにマイクロ波加熱の歴史は古く、応用分野は広い。しかし、マイクロ波化学プロセスは最初の学術論文（1986年）から30年以上経っても、ラボスケールでの注目に留まり、化学プロセスとして大型産業化された報告はなかった。これほど工業化が難

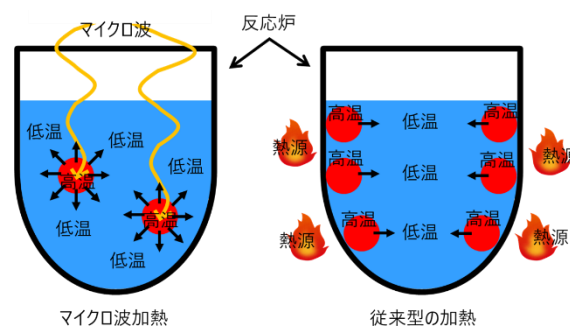


図1 マイクロ波加熱と従来型の加熱（ARC作成）

しかった理由は、マイクロ波化学プロセスが物理と化学の融合分野の学問だったからだと言われている。大型の反応炉では数m~20mの深さまでマイクロ波を浸透させる必要があり、大きな課題となっていた。課題解決のためには、反応炉内の温度分布をシミュレーションしながら反応炉設計を行う必要がある。シミュレーションは電磁場解析と熱流体解析を連成して行う。電磁場解析でマイクロ波電磁場の強度分布と被加熱物質内の発熱量分布を計算した後、熱流体解析で被加熱物質内の流体の流れや化学反応の進行を加味し、反応炉内の温度分布を可視化する。なお、電磁場解析における被加熱物質内の発熱量計算では物質・周波数・温度ごとの誘電損失係数（図2は水の例）のデータの蓄積がマイクロ波プロセス設計の精度を決定する重要な意味を持っている。

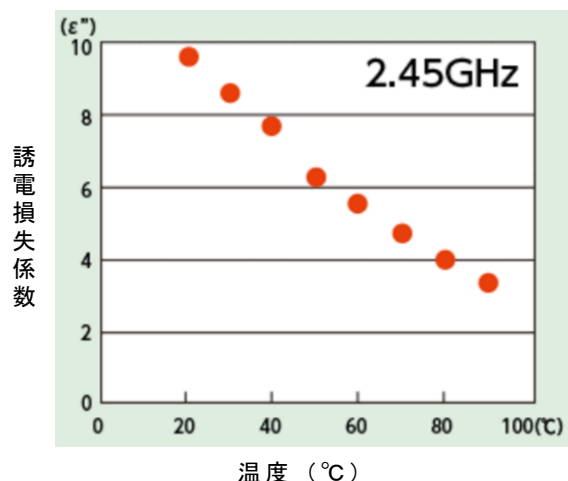


図2 水の誘電損失係数の温度依存@周波数2.45GHz
(出展：マイクロ波化学、ARC加筆修正)

◆廃棄プラスチックのケミカルリサイクルへの応用が進む

ケミカルリサイクルで廃棄プラスチックをモノマー化した後、再ポリマー化するプロセスは、化石資源由来のバージン原料を使用しないため、脱炭素化に貢献するとして注目されている。こうした背景の下、マイクロ波プロセスには、加熱効率が高いため省エネであることや再生可能エネルギー由来の電気でマイクロ波を発生させ、廃棄プラスチックを分解することで、実質CO₂フリーで再資源化できるといった特長があり、期待が集まっている。

22年5月、三井化学とマイクロ波化学は他にも、マイクロ波を用いてマットレスなどに使用される軟質ポリウレタンフォームの廃材を分解し、直接原料にケミカルリサイクルする技術の実用化を目指した取り組みを開始した。本プロセスでは、軟質ポリウレタンフォームを分解する過程において、従来技術よりも消費エネルギーの大幅な低減や2倍以上の分解速度向上が期待できる。22年度内にマイクロ波化学のベンチ設備での小型実証検証を行い、23年度に実証試験を開始、25年度までの事業化を目指す。

22年6月、昭和電工とマイクロ波化学は、マイクロ波を用いて廃棄プラスチックから基礎化学原料を直接製造するケミカルリサイクル技術の共同開発を開始した。本プロセスでは、廃棄プラスチックにマイクロ波を照射して分解する。エチレンやプロピレンなどの基礎化学原料の取り出し効率は80%以上で、従来の伝熱による加熱に比べて高い。

22年4月、NextChemは、PET（色付き、無色透明を問わない）とポリエステル繊維（ポリウレタンなど他の材料を最大30%まで含んでも分解可能）の廃棄物をケミカルリサイクルするイタリア初の実証プラントの建設を完了したと発表した。このプラントでは、スイスのスタートアップであるGr3nのマイクロ波を用いたアルカリ加水分解反応に基づく解重合技術を採用し、PETやポリエステルの廃棄物をケミカルリサイクルし、モノマーを経て新しいポリマーを製造する。

以上のように、ケミカルリサイクル分野で、省エネ、産業電化を得意とするマイクロ波プロセスの工業化事例が見られ始めている。ただ、循環型経済はリサイクルだけでは完結しないため、プラスチックの使用、廃棄、収集のバリューチェーン全体を巻き込んだビジネスモデル構築を実現することが重要である。

◆ナノ材料、ライフサイエンスの分野への応用が期待される

今後の事業化対象は、ナノ材料、ライフサイエンスの分野が有望である。ナノ材料の分野では、マイクロ波プロセスの内部から直接、迅速に加熱する特長を生かして、溶剤の中心から均一に迅速に加熱することで、ナノレベルで粒子径の揃った高付加価値材料を生成することが可能である。一方、従来型の伝熱プロセスでは、熱源に接している反応炉壁面から反応炉中央まで温度勾配があるので、粒子成長スピードに差が生じ、粒子径が一定にならない。マイクロ波化学は実際に100Lオーダーの設備を製作し、ラボと同様に良好な金属ナノ粒子を製造できている。ただ、実際にマーケットが立ち上がっていないため、用途先・ユーザー探索中のシーズ段階のプロジェクトになる。ライフサイエンスの分野では、マイクロ波プロセスの選択的かつ迅速に加熱する特長を生かして、反応炉内の被加熱対象物を選択して、高精度な温度制御が可能になる。従来型の伝熱プロセスに比べて、投入原料低減、反応時間短縮ができ、微量の副生成物抑制などが要求される医薬品合成に応用が期待される。

【永田紘基】