

マイクロ波を用いた有機・高分子合成プロセス技術

竹内 和彦 (たけうち かずひこ) (独)産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 主任研究員
長畑 律子 (ながはた りつこ) (独)産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 主任研究員

1. はじめに

太古の昔、人類の祖先は火の利用法を見だし、これが現在の文明世界への発端となったといわれている。特に食品を加熱調理することにより、可食物が広がり、生存の可能性が格段に拡大した。加熱源としては薪、石炭、ガス、電気と、文明の進歩とともに変遷してきたが、火(加熱源)から伝熱等の間接作用で食物を加熱するメカニズムはそのままであった。前世紀中頃に発明された電子レンジは、迅速、簡便、清潔に食品を調理できることから現在広く普及している。これはマイクロ波を利用して食品を直接加熱するという、従来の加熱概念を一変するもので、しかも大きな省エネ効果が知られている。

一方、化学品の製造分野では、装置の加熱法は石炭・石油・ガス等の直接加熱やスチーム、各種熱媒体による間接加熱、電気ヒーターによる加熱等、時代を経て種々工夫されてきたが、これらはやはり全て加熱源から反応容器、溶媒を経て反応基質を伝熱・対流により間接加熱するもので、19世紀の近代化学工業成立以来全く変わってはいない。間接加熱の故にエネルギー効率は低く、また生産性も限界に達した感がある。近年、化学品製造プロセスにおいては、環境負荷の低い製造方法いわゆるグリーンケミストリーの重要性が叫ばれているが、マイクロ波はこれまでの化学品製造プロセスを一新し、高品質品の低環境負荷かつ省エネ製造を可能にする技術として期待されている。

ここでは、マイクロ波の有機化学、特に有機合成および高分子合成プロセスへの応用の現状について概説する。

マイクロ波とは、周波数 300 MHz~30 GHz、波長 1 cm から 1 m の電磁波で、第二次世界大戦中、レーダー用として開発・利用され、その後通信機器(携帯

電話等)などにも広く利用されている。また、レーダーの開発中、偶然に食品の加熱に有効であることが発見され、ここから電子レンジが発明された。マイクロ波は、現在では食品の加熱や乾燥、殺菌、ゴムの加硫、セラミックスの焼成、ガンの治療等の医療分野でも広く用いられている。マイクロ波はレーダーや通信などにも利用されていることから、これらの間で干渉しないよう用途別に一定の周波数帯が割り当てられ、我が国では産業、科学、医学用途として 2.45 GHz、5.8 GHz、24 GHz 等の限られた周波数帯のみが認可されている。ちなみに家庭用電子レンジは 2.45 GHz(波長 12.2 cm)の周波数帯を利用している。

マイクロ波の有機化学への応用は比較的新しく、1986年にカナダの Gedye らがベンズアミドの加水分解や安息香酸のエステル化等に、また米国の Giguere らのグループがアントラセンへのディールス-アルダー付加反応等に適用し、大きな加速効果を見出したのが最初である¹⁾。その後、マイクロ波を加熱源として有機合成反応や高分子合成に応用する試みは年々急速に増加し、様々な反応系で反応速度の大きな向上のみならず選択性の向上やナノ粒子の生成など、単なる加熱効果を越えた新しい反応場として期待させる事例が多数報告されている。特に、迅速な反応を実現できることから、医薬品の開発や実験室レベルでの反応探索等で広く利用されるようになってきた。また、通常の加熱反応では必須であった溶媒や触媒が不要になる例も見いだされ、グリーンケミストリーの観点からも非常に有用なツールと認識されるに至っており、既に 1000 報を越える論文を始め、多くの総説、成書がある²⁾。

2. 有機化学におけるマイクロ波の効果

これまで報告された有機化学反応の多くは家庭用電