



マイクロ波加熱の原理と材料プロセスへの応用



榎村 京一郎*

1. 化学・材料プロセスの電化とマイクロ波加熱

持続可能な社会の実現に向け、エネルギー利用の効率化とクリーンエネルギーへの転換は喫緊の課題である。2021年11月、英国で開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26)において、日本は気候変動対策に関する意欲的な取り組みを世界に発信した。この流れを受け、2050年を見据えたクリーンエネルギー社会への迅速な移行は、国内外のあらゆる分野で重要な課題となっている。

我が国のみならず、従来の化石燃料依存型のエネルギー利用から、再生可能エネルギー由来の電力を活用した加熱技術への移行は、クリーンエネルギー社会の実現に向けた有力な手段として注目されている。文献1～4)では、日本の産業分野における電化の可能性が詳細に分析されており、中野らの試算によれば、その潜在的電化需要は産業分野だけで約8,500億kWhに達するとされる¹⁾。特に、パルプ産業のボイラー利用、有機化学分野の間接電化、鉄鋼産業の電化が大きな潜在力を有すると指摘されている。

化学産業の電化に適した熱源として、マイクロ波加熱が注目されている。マイクロ波加熱は電気・プラズマ・誘導加熱と同様に化学分野における新しい熱エネルギーの候補として広く認識されているが、既報の分野以外への応用も進展している。その社会実装の進捗は、今後の重要な検討課題である。食品の加熱・乾燥分野では古くから多くの実績があり^{5, 6)}、100℃付近の温度帯で広く利用されてきたが、近年ではより高温域や新たな用途への応用が拡大している。例えば、ゴム加硫反応や耐火物乾燥プロセスが注目されている⁷⁾。ゴム加硫反応では、断熱性の高いゴム原料内部に効率的にエネルギーを供給することで、理想的な反応時間を実現している。耐火物乾燥においても、マイクロ波による効率的なエネルギー供給が期待される。さらに、接着剤硬化、化学薬品の加熱・乾燥、セラミクス焼結などへの大出力マイクロ波加熱の応用も報告されており^{8, 9)}、その普及がカーボンニュートラル実現に非常に適合していることが確認できる。

* 中部大学 工学部 K. Kashimura 連絡先 E-Mail アドレス : kashimura@fsc.chubu.ac.jp

世界の産業用プロセス加熱のトレンド — 電化技術の展開とマイクロ波 —

マイクロ波化学株式会社*

1. はじめに

2024年10月、国連環境計画は、温室効果ガスの一つであるCO₂の年間排出量が過去最高となる中、気温の危機的な上昇を防ぎ、気候変動による最悪の影響を回避するためには、緊急の行動が必要であると警告する報告書を発表した。

2023年には世界で57.1 GtのCO₂が排出され、その上位3部門は発電(26%)、産業(20%)、輸送(15%)である¹⁾。特に、弊社が関係する産業部門ではセメント、鋳業・金属精錬、化学業界がCO₂排出量の多くを占め、日本においては2022年度、鉄鋼(38%)、化学(16%)、窯業・セメント(7%)の順となっている²⁾。

このような状況下で、各業界はCO₂排出量削減のため、水素やアンモニア等の非化石燃料への転換や再生可能エネルギー電力の利用を主要な戦略として位置づけている。

2024年6月には、ドイツのエネルギーシンクタンク Agora Industry が「Direct electrification of industrial process heat」と題する報告書を公表した³⁾。本報告書は、EU27カ国の工業プロセスにおいて、現在化石燃料で供給されている熱エネ

ルギーがどの程度電化へシフト可能かを調査したものであり、現在の電化技術でCO₂排出の62%程度が削減可能であると結論付けている。さらに、技術改良により2035年までにはほぼ電化によるエネルギー供給が可能になると予測し、そのための8つの主要な電化技術をリストアップしている(図1)。

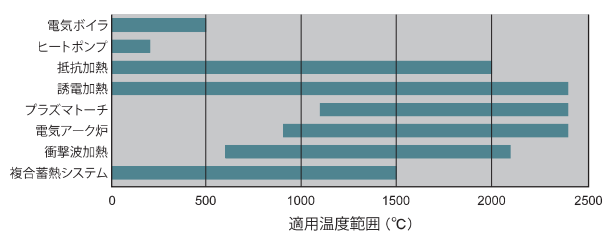


図1 2035年までに開発可能な電化技術とその温度範囲
(オリジナルをもとに筆者作成)

しかし、同報告書においてマイクロ波は「その他」として区分され、2035年またはそれ以前に産業規模での本格的な市場参入が期待される技術ではないと評価された。これは、マイクロ波技術がこれまで家電製品やラボスケールでの利用に留まり、産業分野への適用が進んでこなかったため、ある意味で妥当な評価かもしれない。

* 連絡先 E-Mail アドレス : info@mwcc.jp

マイクロ波加熱装置の社会実装例

吉 田 睦*

1. はじめに

弊社では昭和 23 年の創業以来、高周波（誘導・誘電・マイクロ波）を中心に電磁波を利用した応用装置の開発・設計から製造・販売を行っている。

この電磁波を何らかの形で利用しようと考ええると、一般的な製品では IH レンジ（IH クッキングヒーター）若しくは電子レンジが思い浮かぶ。従来はご家庭にあるガスコンロを始めとする火を使う古くからある加熱方法で二酸化炭素を多く排出する。それに比べ電磁波自体は利用しても二酸化炭素を全く排出しない。皆さん良くご存じだと思う。しかし産業界において他にどんな利用がなされているか、ほとんどの方がご存じ無いと思う。そこで今回は本稿を通じ、産業界において様々な社会実装例がある事を知って頂ければ幸いある。

2. 歴史

我が国においては戦前からマイクロ波加熱についての調査・研究が進められ、加熱用途を含め文献等に応用事例が多数紹介されている。この頃のマイクロ波は超短波や超高周波とも呼ばれている。装置化するにあたり外部共振回路を用いた 2 極管や 3 極管による発振回路や岡部金次郎先生の発案された陽極分割式マグネトロンが用いられている。また無線標識や方向探知機、面白いところ

では飛行船を用いた空間電界強度の実測なども紹介されている。戦後は更に理論解析や技術進歩が進んだ。

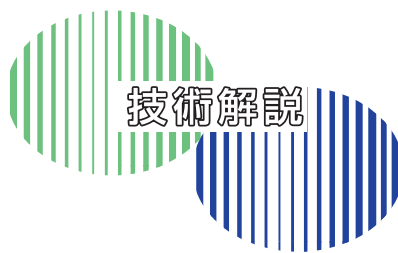
3. 用途

産業界へのマイクロ波を利用した用途事例であるが、リチウムイオン電池やコンデンサ材料・太陽電池・燃料電池・創薬・医療・金属粉体・各種ガラス・セラミックス化合物・フェライト・SiC・カーボン・イットリアジルコニウム・各種ナノ粒子・各種新素材開発用等の加熱・乾燥・反応・化学合成・焼成・プラズマプロセス等が知られている。

4. 法規制

マイクロ波加熱装置はその目的から高周波利用設備という。しかし、高周波利用設備から漏洩する電波が他の無線通信に妨害を与えるおそれがあるため、一定の周波数又は電力を使用する高周波利用設備を設置しようとする者は、電波法に基づき設置する前に許可を受ける必要がある。しかし、平成二十七年六月十一日 総務省告示第二百七号により無線設備規則第六十五条に対し、第六十五条第 1 項の区分について追記がなされ、郵政省告示第二五七号が廃止された。

* 富士電波工機株式会社 代表取締役社長 M. Yoshida 連絡先 E-Mail アドレス : yoshida@fdc.co.jp



マイクロ波加熱装置の産業利用

花井 辰矩*

1. はじめに

マイクロ電子株式会社は1973年の創業以来マイクロ波応用装置の専門メーカーとして自動車、セラミックス、食品、化学等の様々な業界に産業用マイクロ波加熱装置を納入してきた。近年ではカーボンニュートラルの観点から熱源を重油やガスといった化石燃料から電気かつ高効率なマイクロ波に置き換える企業も増えてきている。

マイクロ波の定義としては周波数300 MHz～300 GHzの電磁波を示すが、弊社のマイクロ波応用装置の周波数はISMバンドの2.45 GHzである。ISMバンドとは工業 (Industrial)、科学 (Scientific)、医療 (Medical) 用として使用して良いと国際電気通信連合 (ITU) によって決められた周波数である。

本稿では産業用マイクロ波加熱装置の事例と、マイクロ波加熱装置の導入に向けて検討を行うことが出来る弊社所有のテスト装置を紹介する

2. マイクロ波加熱の特長

マイクロ波には大きく分けて3つの特長がある。

(1) 直接加熱

マイクロ波は発振器をONにするとエネルギーが即座に伝搬し、加熱対象に直接吸収されて加熱される直接加熱である。マイクロ波は空気を加熱

せず、マイクロ波を伝搬するダクト（導波管）や炉体もほぼ加熱せず製品のみエネルギーを投入出来るため高効率に加熱できる。マイクロ波発振器は予熱時間等がほぼ無く、装置の主電源投入から数分でマイクロ波投入を開始できる。

(2) 内部加熱

マイクロ波は加熱対象内部に浸透して内側も加熱する内部加熱である。厚みのある製品や断熱材のような構造でも内部に浸透し全体を迅速に加熱できる。

(3) 選択加熱

材質によってマイクロ波吸収のしやすさが異なるため、搬送ベルトや製品を入れる容器にマイクロ波を吸収しにくい材料を使用することで、周囲にマイクロ波エネルギーを奪われることなく加熱したい製品に集中させることが可能である。

一方で熱風等の従来加熱の場合はヒータを加熱し、ブロワで風を送ることで空気を介して製品を加熱する間接加熱である。本来加熱したい製品のみでは無く、ダクトや炉体も含めて全て加熱することになるためロスが発生する。また、熱風等の従来加熱は製品の表面から加熱される外部加熱であるため、製品内部を加熱するためには熱伝導に

* ミクロ電子株式会社 営業部 営業課 営業技術グループ グループリーダー T.Hanai
連絡先 E-Mail アドレス : hanai@microdenshi.co.jp

工業加熱プロセスにおける マイクロ波・高周波加熱の実用例



山本 泰司*

井口 健治**

1. はじめに

カーボンニュートラルの実現に向け、産業分野では加熱プロセスの電化が重要な課題となっている。特に、工業炉においても従来の燃焼式加熱から電気加熱への転換が求められつつあり、これに伴ってさまざまな電気加熱方式の導入検討が進められている。その中でも、電波を用いて対象物を加熱する技術は、熱媒体や炉壁を介さずにワークに直接エネルギーを供給できるという特徴から注目されている。従来は食品、木材、セラミックなどの加熱、乾燥といった分野で多く活用されてきたが、近年では工業材料や中間体の乾燥、加熱、予備処理といった工程においても応用の広がりを見せている。

2. マイクロ波・高周波による誘電加熱の基礎

産業分野で導入が進む電磁波を利用した加熱方式には、大きく分けて誘導加熱と誘電加熱がある。誘導加熱は、高周波磁界を使って導体中に渦電流

を流してジュール熱を発生させる方式であり、主に金属材料の加熱に利用されている。一方、誘電加熱は、電気を通さない絶縁物である誘電体に高周波 (MHz帯) やマイクロ波 (GHz帯) の電磁界を与えることで誘電体そのものを自己発熱させる方式である。従来の加熱方式として広く用いられている熱風、蒸気、直火、抵抗加熱などに代表される方法は、加熱媒体や加熱源から供給される熱エネルギーが、熱伝導・対流熱伝達・熱放射といった外部からの伝熱機構によって物体内部へ伝わる方式であり、「外部加熱」と呼ばれている。これに対して誘電加熱は、外部からの伝熱を介さずに物体内部で直接発熱が生じるため「内部加熱」と呼ばれており、従来方式にはない高速性や均一性といった特徴を有している。また、被加熱物の誘電率や損失係数の違いにより、物質ごとに加熱特性が異なるため、選択的加熱や局所加熱が可能であり、様々な加熱プロセスに利用されている。

* 山本ビニター株式会社 代表取締役社長 Y. Yamamoto 連絡先 E-Mail アドレス : yamamoto@vinita.co.jp

** 同 高周波テクノ営業技術 4 グループ グループ長 K. Iguchi
連絡先 E-Mail アドレス : k.iguchi@vinita.co.jp



キュポラの脱炭素に向けたバイオ成型炭『Bio-M-Coke』の利用技術



八幡 一義*

1. はじめに

会社概要を表1に示す。弊社は1960年愛知県豊田市に設立され、海外17社、国内5拠点で生産をしている。自動車部品を主体とする鋳鉄鋳造、機械加工、塑性加工及び音響製品を製造販売しているアイシングループの鋳造会社である。

国内生産状況を図1に示す。近年、トヨタ自動車の生産に追従する形で、熊本県にAT九州、宮城県にAT東北を設立している。今回のテーマであるキュポラは、愛知県の本社工場に1炉、吉良工場に2炉、富山県のアイシン新和に1炉の計4

表1 会社概要

設立	1960年(昭和35年)3月8日設立	資本金	5,396 百万円
海外	6カ国 (米国3・インドネシア2・タイ6・中国4・インド1・メキシコ1)	国内	愛知(本社・吉良)・富山・熊本・宮城 (※関連会社)
17 社	5 拠点	売上高(連結)	4,164 億円 (単独)1,671億円(2025年3月期)
従業員数(連結)	11,630 人 (単独)2,433人(2025年3月末時点)	会社名	アイシン高丘株式会社
		取締役社長	奥田 誠
		本社所在地	〒473-8501 愛知県豊田市高丘新町天王1
		事業内容	自動車部品を主体とする鋳鉄鋳造・機械加工、塑性加工、音響製品の製造・販売

安定した生産と、お客様のもとへ製品をスムーズに提供するため、自社工場と関係会社からなる生産ネットワークを整備。
東京・大阪・広島に営業所を設け、お客様の計画に合わせたフレキシブルな対応をしています。

国内拠点

- 1 本社工場
[事業内容] 鋳鉄製品の鋳造・機械加工、塑性加工
- 2 吉良工場
[事業内容] 鋳鉄製品の鋳造・機械加工

営業所

- 3 東京営業所 4 大阪営業所 5 広島営業所

国内法人

- 6 アイシン高丘エンジニアリング株式会社 [事業内容] 鋳鉄用原材料・副資材卸売、設備制作、輸出入業務
- 7 エイティー九州株式会社 [事業内容] 鋳鉄製品の鋳造・機械加工、塑性加工
- 8 アイシン高丘東北株式会社 [事業内容] 鋳鉄製品の鋳造・機械加工
- 9 アイシン新和株式会社 [事業内容] 鋳鉄製品の鋳造・機械加工
- 10 新和工業株式会社 [事業内容] 鋳造型・鍛造型の製造
- 11 平林工業株式会社 [事業内容] プレス製品の製造
- 12 イナテツ技研株式会社 [事業内容] 自動車部品の防錆処理
- 13 中川工業株式会社 [事業内容] 鋳造型・樹脂型の製造

図1 国内生産状況

* アイシン高丘株式会社 バイオ成型炭事業推進室(現・PT. ATP Bio Indonesia 工場長) K. YAWATA
連絡先 E-Mail アドレス : k.yawata@to.at-takaoka.co.jp