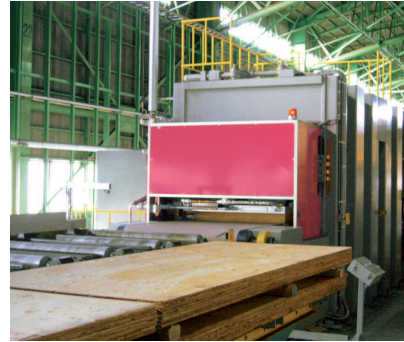


あらゆる業界が高効率化や省力化に応用しています。

高周波加熱 High Frequency Heating



▲木材乾燥装置 Wood drying equipment



▲木材接着プレス Wood adhesion press



▲食品解凍装置 Food thawing equipment



▲医療用がん治療装置  
Cancer treatment device for medical care

マイクロ波加熱 Microwave Heating

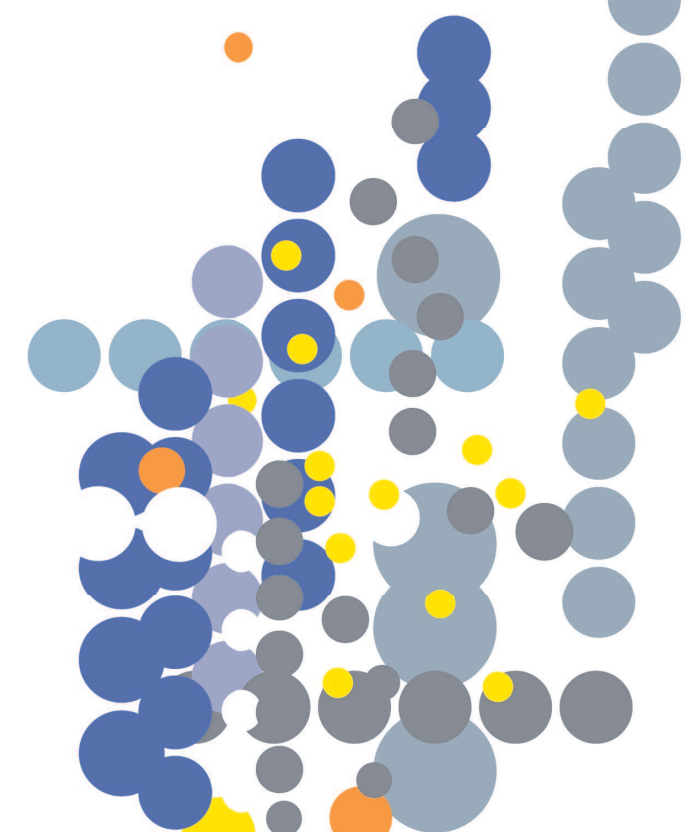


▲バッチ式加熱装置 Batch type heating equipment



▲連続乾燥装置 Continuous type drying equipment

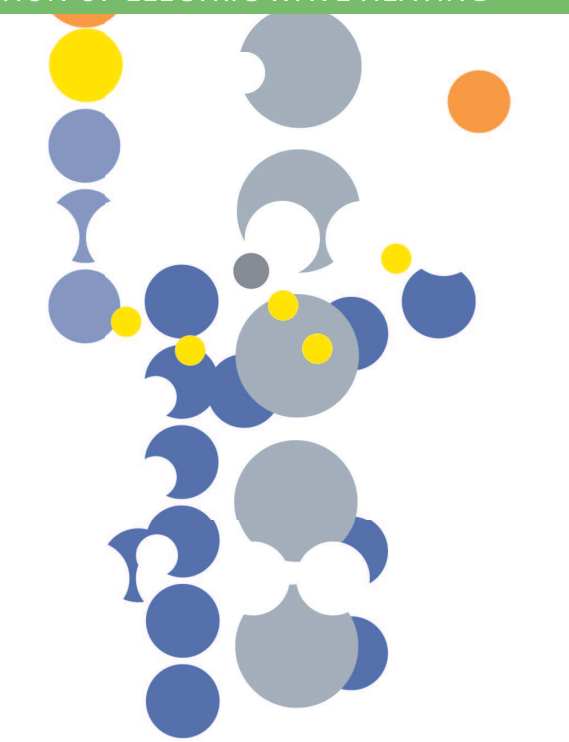
電波加熱応用装置のトップメーカー山本ビニターは、常にお客様の声をフィードバックし、よりお客様に役立つ装置の開発を心がけています。様々なタイプのテスト機をご用意し、どのようなご要望にもお応えできる体制を整えておりますのでご相談ください。



電波加熱のメリットと応用

高周波誘電加熱・マイクロ波加熱

MERIT AND APPLICATION OF ELECTRIC WAVE HEATING



**vinita** 山本ビニター株式会社

<http://www.vinita.co.jp>

高周波テクノ事業部 H.F. Technology Division

●本社 / 大阪市天王寺区上汐6丁目3-12 〒543-0002 TEL.06(6771)0606(大代表)  
Head Office E-mail: [techno@vinita.co.jp](mailto:techno@vinita.co.jp) FAX.06(6771)6898

●東京営業所 / 東京都台東区三筋1丁目5-8 〒111-0055 TEL.03(3861)0437(代)  
Tokyo Office FAX.03(3861)0438

●名古屋営業所 / 名古屋市西区花の木1丁目7-1 〒451-0062 TEL.052(521)7571(代)  
Nagoya Office FAX.052(531)3822

●工場 / 大阪府八尾市渋川町1丁目3-21 〒581-0075 TEL.072(991)3601(代)  
Yao Factory FAX.072(991)0509

**YAMAMOTO VINITA CO., LTD.**

Head Office : 6-3-12, Ueshio, Tennoji-ku, Osaka 543-0002, Japan.  
Tel No. : +81-6-6771-0606 Fax No. : +81-6-6771-6898

代理店

**vinita**

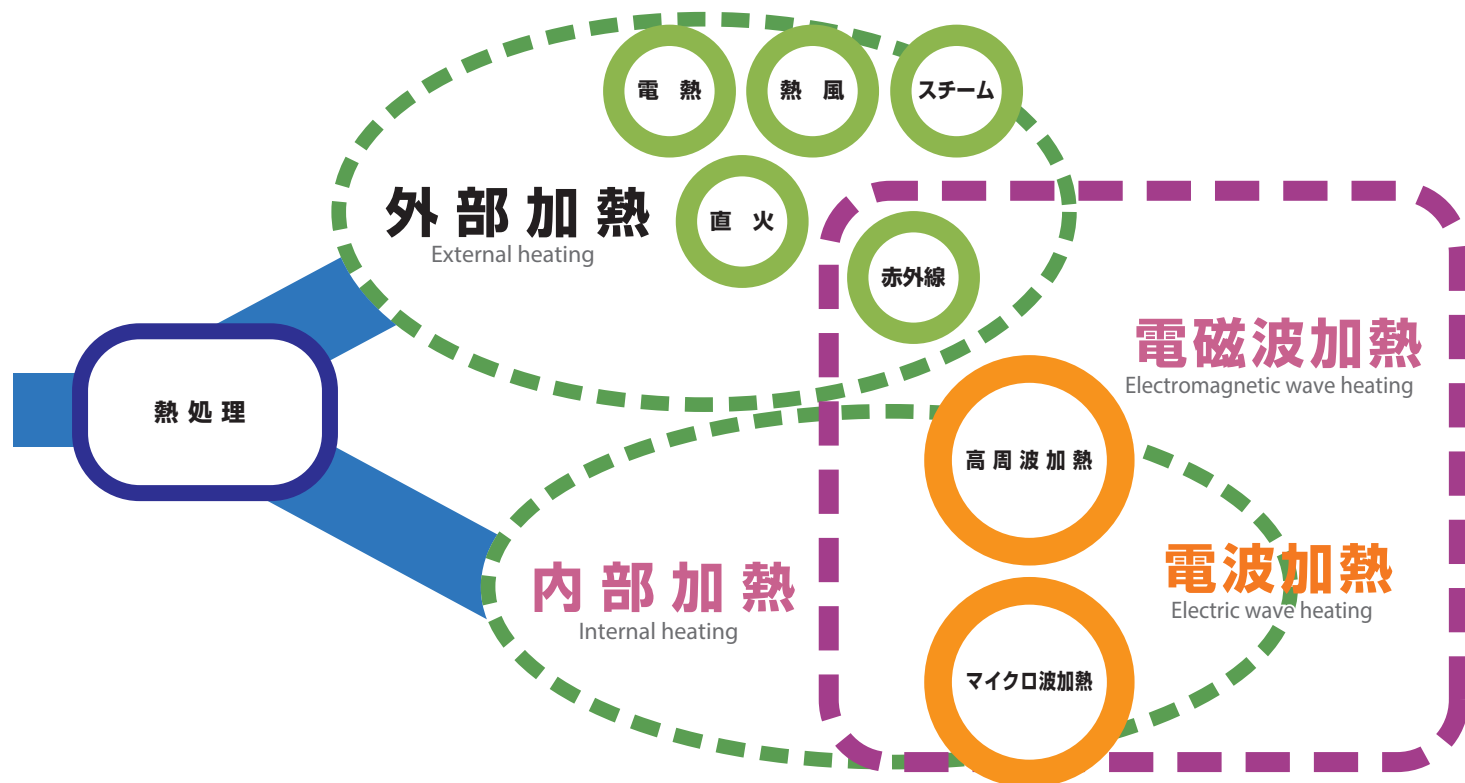
YAMAMOTO VINITA CO., LTD.

あらゆる製造工程になくてはならない熱処理プロセスを  
 飛躍的に合理化させ省力化させる次世代のキーテクノロジー。  
 電波加熱が果たす役割はさらに大きく、その応用領域も限らない広がりを見せています。  
 ただ作業が効率化されるというだけでなく、ファクトリー環境のクリーン化や、  
 省力化をも組み込んだシステムアップに道を開くからこそ、  
 電波加熱は応用価値が無敵だと言えるのです。

## 電波加熱とは

WHAT IS  
ELECTRIC WAVE  
HEATING?

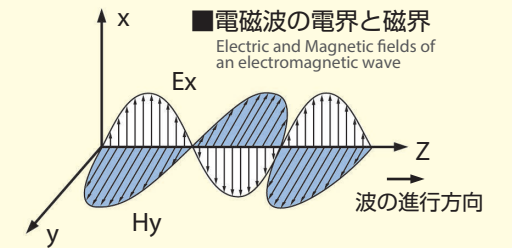
ものを製造する工程のほとんどに、加熱や乾燥のための熱処理がついてまわります。この加熱方法としては、燃焼による熱風や炎、スチームまたは電熱線などが一般的に使われてきました。これらの方法はどれも物体の外部から加熱し、熱伝導などによって外部から内部へと徐々に熱を伝えていくので「外部加熱」と呼ばれます。一方、電磁波の中の電波を使う高周波誘電加熱、あるいはさらに高い周波数の電波を使うマイクロ波加熱は、被加熱体それ自身が発熱体になり、物体内部から加熱されていくことから「内部加熱」と呼ばれます。これは外部加熱に比べて非常に効率の高い加熱ができる上、短い時間による加熱も可能。高周波誘電加熱とマイクロ波加熱をあわせて「電波加熱」と呼びます。その原理に関する理解は一般的に浅いようですが、現在では幅広い産業分野で活発に応用されて、熱処理工程の効率や合理性を高めたり、作業環境の改善、省力化などに図り知れないメリットをもたらしてくれる貢献度抜群のテクノロジーなのです。私ども山本ビニターは、こういった電波加熱の有用性に早くから着目。世界に先がけて多くの応用機器を開発してきました。しかし、未知の応用分野はまだ残されています。この小冊子をお読みになって電波加熱の有用性を理解され、関心をお持ちになりましたら、是非とも私ども山本ビニターにご相談ください。



## 電磁波ってなに？

電磁波は、空間中を互いに直行した電場と磁場が早い周期で交番しながら伝わっていき、その速度は光と同じです。高周波やマイクロ波は、電磁波の仲間である電波のことです。電磁波は、周波数の高いものから、X線やγ(ガンマ)線などの放射線、可視光線や赤外線などの光線、電波、低周波電磁界に大別されます。さらに電波は、長波・中波・短波・極超短波などに分かれます。電波は、テレビ・ラジオ・携帯電話などの

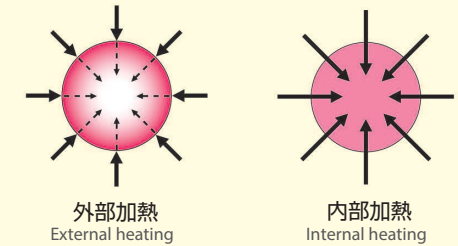
通信に使われたり、電子レンジなどの加熱に使われたり、私達にとって最も身近な電磁波と言えます。



## 電波加熱と普通の加熱とどう違うの？

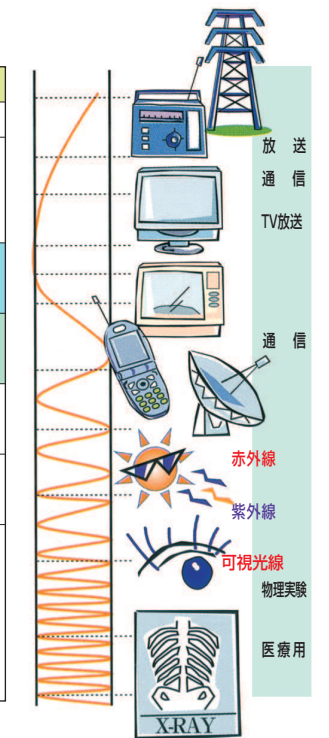
物質の加熱を「内部加熱」と「外部加熱」に大別することができます。物質の外部にある熱源により、物質の表面より徐々に内部へ加熱が進んでいくのを外部加熱と言います。一般的には、直火・熱風・スチーム・電熱線などがこの外部加熱です。これに対し、内部加熱は物質そのものが自己発熱することにより、内部と外部が同時並行的に加熱されていきます。高周波加熱やマイクロ波加熱(総称して電波加熱)がこの内部加熱にあたります。電波加熱の特長は色々ありますが、まず加熱が早いことです。そして、物質の内部と外部の温度差が少なく均一に加熱できることです。

これに対し外部加熱では、断面サイズの大きなもの、容量の大きなもの、熱の伝わり難いもの(熱伝導率が低い)などは、なかなか加熱されにくく、また表面と中心部との温度に差が生じてしまいます。



## 電磁波の種類 Kinds of electromagnetic waves

周波数	波長	名称	工業用途
3Hz~3kHz	100Mm~100km	超低周波電磁界	極極・極超長波
3~30kHz	100~10km	電波	超長波
30~300kHz	10~1km		長波
300kHz~3MHz	1km~100m		中波
3~30MHz	100~10m		短波
30~300MHz	10~1m	超短波	高周波誘電加熱
300MHz~3GHz	1m~10cm	極超短波	マイクロ波加熱
3~30GHz	10~1cm	センチメートル波	
30~300GHz	1cm~1mm	ミリ波	
300GHz~3THz	1mm~100μm	サブミリ波	
3THz~30PHz	100μm~10nm	光線	遠赤外線
			近赤外線
			可視光線
			紫外線
30PHz以上	10nm以下	放射線	γ線
			X線



## ISM 周波数バンド ISM frequency band

13.56MHz ± 0.05%  
 27.12MHz ± 0.6%  
 40.68MHz ± 0.05%

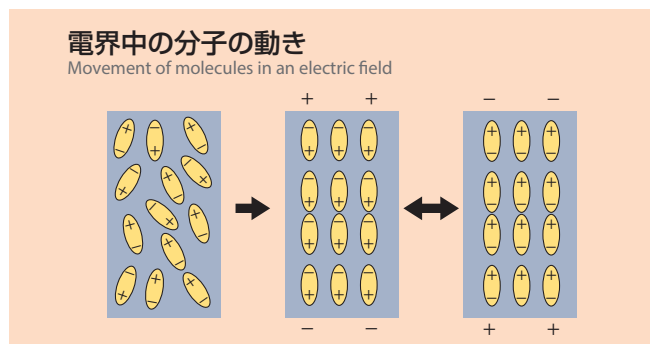
(915MHz ± 25MHz)  
 2450MHz ± 50MHz

## 電波加熱の原理

### PRINCIPLE OF ELECTRIC WAVE HEATING

光と同じ速度の電波が、物質内部に伝わって強力な熱エネルギーに変換。

- ▼ すべての物質は電流を通しやすい[導体]と、通しにくい[絶縁体=誘電体]に分類できません。絶縁体の分子のほとんどは、両端にプラス・マイナスの電荷をもちます。つまり絶縁体は電気的な双極子の集合体だと言えるでしょう。
- ▼ この絶縁体を互いに向きあった平行電極の間に置いて高周波電圧をかけると、物質のいたるところで電気的な平衡状態がひずみ、電荷の分離が起こります。この現象を誘電現象と言い、このような性質をもつ物質を[誘電体]と呼びます。
- ▼ 周波数が高くなるに従って、それぞれの分極が電界の変化に追いつけない[異常分散]という急激な変化が起こりますが、この現象を生じさせる主な周波数帯が高周波やマイクロ波なのです。
- ▼ こういった変化によって、誘電体を構成する各分子が回転・衝突・振動・摩擦などの激しい運動を起こします。この時の極性の変化は、一秒間に数千万回から数十億回も起きる激しいものですから、このエネルギーが“熱”となり誘電体の内部発熱が起きる、というのが電波による誘電加熱のプロセスです。



- ▼ 電波エネルギーは、誘電損失をもつ被加熱物(誘電体)に吸収され発熱し、単位体積当たりの誘電体で消費される電力(P)は次式で求められます。

$$P = 5/9 \times 10^{-10} \times \epsilon_r \cdot \tan \delta \cdot f \cdot E^2 \text{ (W/m}^3\text{)}$$

$\epsilon_r \cdot \tan \delta$  : 損失係数  
 $f$  : 周波数(Hz)  
 $E$  : 電界強度(V/m)

$\epsilon_r$ と $\tan \delta$ の積を損失係数と呼び、これが大きいほどよく加熱されます。また周波数が高いほど、電界強度が大きいほど発熱エネルギーは大きくなるのです。

#### ■各種物質の損失係数 Loss coefficients of various materials

##### ■高周波(周波数1MHz)

High frequency (frequency:1MHz)

物質名(例)	損失係数( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ )
空気	0
氷(-12℃)	$740 \times 10^{-4}$
水(25℃)	$3,900 \times 10^{-4}$
木材(含水率15%)	$200 \sim 2,000 \times 10^{-4}$
木材(含水率60%)	$3,000 \sim 30,000 \times 10^{-4}$
フェノール樹脂	$1,500 \times 10^{-4}$
ユリア樹脂	$2,000 \times 10^{-4}$
ゴム	$48 \times 10^{-4}$
紙	$3,000 \times 10^{-4}$
ナイロン	$240 \times 10^{-4}$

##### ■マイクロ波(周波数2450MHz)

Microwave (frequency:2450MHz)

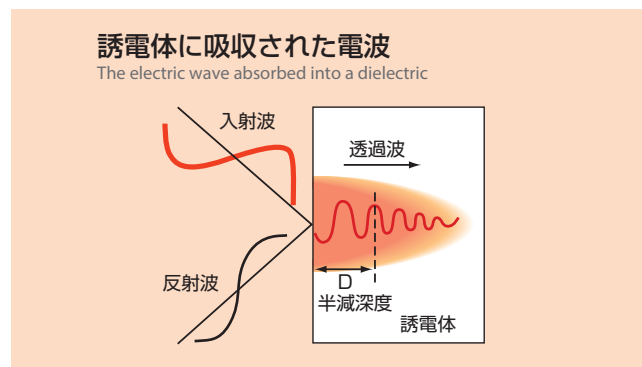
物質名(例)	損失係数( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ )
空気	0
氷(-13℃)	$28 \times 10^{-4}$
水(25℃)	$123,000 \times 10^{-4}$
木材(含水率15%)	$9,500 \times 10^{-4}$
牛乳(4.5℃)	$120,000 \times 10^{-4}$
魚スリ身(0℃)	$20,000 \times 10^{-4}$
ガラス	$500 \times 10^{-4}$
テフロン	$4 \times 10^{-4}$
紙	$1,600 \times 10^{-4}$
ポリエチレン	$5.2 \times 10^{-4}$

損失係数は物質に固有の値ですが、温度や周波数によって変化します。

- ▼ 電波が誘電体の中を進んでいくと、電波のエネルギーは徐々に減衰していきながら熱に変換されます。減衰の割合は周波数および誘電体の電気的特性によって異なり、電波の入射エネルギーが1/2に半減する深さ(D)は次式で求められます。

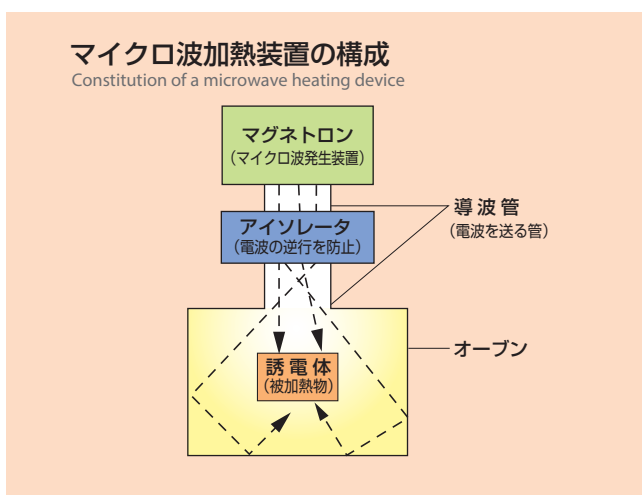
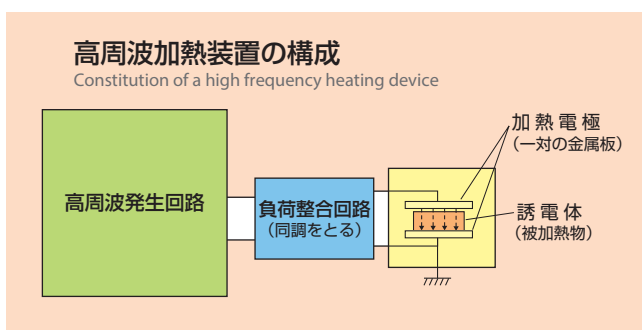
$$D = \frac{3.32 \times 10^7}{f \cdot \sqrt{\epsilon_r} \cdot \tan \delta} \text{ (m)}$$

電力半減深度(D)



損失係数の値が高ければ高いほどエネルギーの減衰が大きく、表層近くで発熱され深くまで加熱することができません。

- ▼ 高周波加熱とマイクロ波加熱の大きな相違点は、被加熱物への加熱方法にあります。波長の長い高周波加熱は、電極の間に高周波電界を印加させ、固定した電界中で加熱する電極方式をとります。これに対してマイクロ波加熱は、波長が短く、光と同じように空間を自由に伝播できるので、一般に波長の数倍以上の長さの辺をもつ金属オープンが加熱部となります。



## Q マイクロ波と高周波の違いは?

マイクロ波も高周波も電波の中のある特定の周波数帯を示します。2つを総称して高い周波数ということ、高周波と呼ぶ場合もあります。マイクロ波の周波数は300MHz~300GHz、高周波は1~300MHzで、マイクロ波の方が高周波より少し周波数が高く(波長が短い)なっています。どちらも通信や加熱などに広く利用されています。加熱に利用する場合、加熱原理は共に同じですが周波数が異なることにより、用途や特長も多少異なります。

**マイクロ波**は、比較的断面サイズの小さいもの、形状の不安定なものに加熱に適しています。電子レンジで使われているのは、2.45GHzのマイクロ波で食品のような大きさのものの加熱に利用されます。

**高周波**は、断面サイズの大きなもの、長いもの、大きなものの加熱に適しています。例えば、木材の接着や乾燥に適しているのです。

## Q 電波加熱によって何が出来るの?

電波加熱の場合、非常に急速に、かつ内部と外部の温度差少なく加熱されるので、結果として外部加熱ではできない加熱処理が行われることになります。

例えば、食品分野では、調理・乾燥・殺菌・防黴・解凍・膨化などに利用されています。インスタントのカップメンに入っている乾燥卵黄などは、マイクロ波加熱により急速に乾燥・膨化されたもので他の熱源では真似できないものです。

木材分野では、接着・乾燥・曲げ成形・熱処理などに利用されています。

木材は、断熱性が高くかつ断面サイズが大きいので高周波加熱にはうってつけです。住宅用の柱や梁・桁材などは、熱風などの外部加熱による乾燥では非常に長時間かかる上、割れや変色などの品質劣化が大きくなってしまいます。しかし、高周波加熱と、熱風による加熱を併用することで、短期間で高品質の乾燥ができるので大変効果的です。

ゴムの分野では、加熱・加硫・発泡です。医療分野では、がんの温熱療法、前立腺肥大症治療などです。

その他、工業用セラミックの乾燥、焼成・焼結、プラズマの電源などにも広く利用されています。

## 電波加熱のメリット

### MERIT OF ELECTRIC WAVE HEATING

電波加熱には

すぐれたメリットが数多くあり、従来の外部加熱方式が抱えていた課題に飛躍的な改善をもたらすばかりでなく、多くの産業分野への応用にも限りない可能性があります。

#### merit 1 加熱時間が短い Short heating time

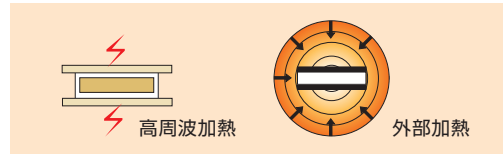
外部加熱方式では、被加熱体の外部から内部へと熱が伝わる時間が当然かかります。被加熱体そのものが発熱する電波加熱なら、熱が伝わっていく時間など関係なく、短時間で内部まで加熱することができるのです。

#### merit 2 均一加熱ができる Uniform heating

被加熱体の形状や熱伝導性に関係なく、まるごと均一な温度に加熱することは、外部加熱ではできない電波加熱の大きなメリットです。水分は電波をよく吸収する性質がありますので、もし不均一に水分を含んだ物体であっても均一な加熱乾燥が可能です。

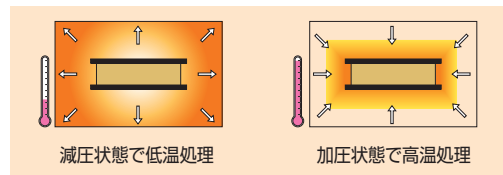
#### merit 3 高い熱効率 High thermal efficiency

熱を放射するではありませんので、必要なポイントにだけ電波のエネルギーを集中することが可能で、とても効率のよい加熱ができます。



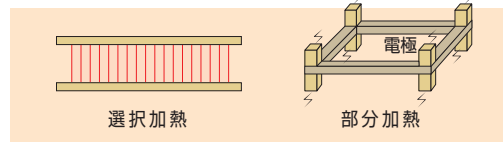
#### merit 4 減圧・加圧での加熱ができる Heating under decompression / pressurization

真空中でももちろん燃焼式の加熱はできません。たとえ熱輻射が熱伝導で加熱したとしても、エネルギー密度があがらないので効率はかなり低くなります。電波による内部加熱はこういった制約を受けませんから、真空中あるいは高圧下での加熱もOK。また、レンジ食品で周知のように包装された製品であっても加熱が可能です。



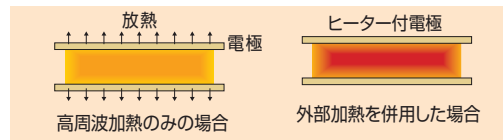
#### merit 5 選択加熱ができる Selective heating

物質が電波エネルギーを吸収する率を損失係数と言いますが、これを利用して選択加熱ができます。たとえば木材接着機は接着部分だけを選択的に加熱して、瞬間的に接着剤を乾燥・硬化させます。また、加熱した部分だけを電極で挟むことにより局部加熱ができます。



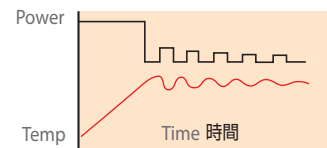
#### merit 6 他熱源との併用 Combination with the other sources of heat

熱風や電熱ヒータなどの外部加熱との併用が簡単にできます。高周波加熱の場合は、電極板に外部加熱を併用することで、さらに効率の高い加熱が行えます。



#### merit 7 加熱制御が簡単 Simple heating control

加熱の開始や終了、あるいは加熱温度の調整などが電気制御によって瞬間的かつ正確に行えます。



#### merit 8 作業環境の改善・ファクトリーの合理化 Improvement of working surroundings / Rationalization of a factory

有毒ガスの発生や放熱、騒音の発生がありませんので加熱工程の作業環境のクリーン化がすすみます。以上みたような技術的メリットによって、加熱工程の短縮自動化、省力化が図れます。また工程の仕掛り在庫を最小に抑えたり、加熱装置の占有スペースを小さくできるなど、合理化メリットは図り知れません。

## 高周波加熱とマイクロ波加熱の相違点

### 高周波加熱

- よく使われる周波数は13MHz、27MHz、40MHz。
- 局部加熱が可能。
- 電力半減深度が深いので、被加熱物が厚くても比較的均一な加熱が可能。
- 形状の複雑さの程度によっては、均一加熱が難しい。

#### 高周波誘電加熱の応用 Application of high frequency dielectric heating

分野 Field	用途 Use	
樹脂 Resin	塩化ビニールの溶着 Welding of PVC	テント、シート、コンテナバッグ、医療用バッグ、袋物、文具、自動車内装品、ウォーターベッドなど
	プラスチックの成形・加熱 Molding / heating of plastics	熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、FRP製品など
木材 Wood	接着 Joining	家具、建具、楽器、仏壇、箱、額縁、集成材、フラッシュパネル、LVLなど
	成形加工 Molding processing	家具、曲げ合板など
	乾燥 Drying	突板、柱材、梁桁など
繊維 Fiber	乾燥 Drying	カセ、トップ、チーズ、染色布など
	接着 Adhesion	カーペット、複合材など
食品 Food	加熱・殺菌 Heating / sterilization	ビスケット、パン粉、大豆、ハムなど
	解凍 Thawing	肉、魚、すり身、野菜など
医療 Medical care	加温 Heating	がん温熱治療、前立腺肥大症治療など
その他 Others	殺虫・殺菌 Destroying pests / sterilization	畳、カーペット、蓆、ペットフードなど
	乾燥 Drying	セラミック、薬品、煙草、皮革、紙など
	プラズマ Plasma	エッチング、アッシングなど

### マイクロ波加熱

- 使われる周波数は2,450MHz。915MHzを使うこともあります。
- 電力半減深度が浅いので、被加熱物が厚かったり損失係数が高い場合は、均一加熱が難しい。
- 形状が複雑であっても加熱が可能。

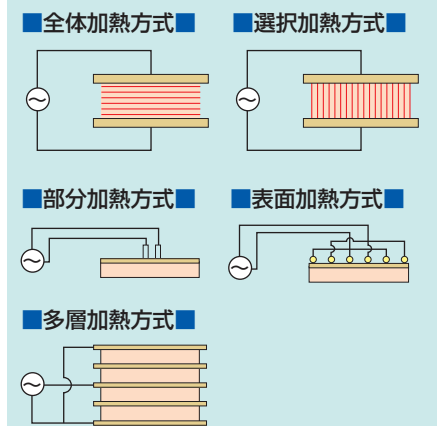
#### マイクロ波加熱の応用 Application of microwave heating

分野 Field	用途 Use	
食品 Food	冷凍食品の解凍	食品の再加熱、調理
繊維、紙 Fiber, paper	繊維製品の乾燥	紙の乾燥
木材 Wood	木材の乾燥、成形合板の接着、曲げ加工など	
ゴム Rubber	ゴム製品の加熱・加硫・発泡	
医療 Medical care	医薬品の滅菌、加温治療など	
その他 Others	セラミックの乾燥	プラズマ・プロセッシング 原子力関係(溶隔、破碎)

## 高周波装置を導入するときの注意点ってなに？

「…とハサミは使いよう」と言う言葉がありますが、高周波やマイクロ波も上手に使うと非常に大きな効果がありますが、使い方を誤ると失敗します。まず何よりも、経済性の検討が重要です。電磁波エネルギーは、電気から変換され他の石油やガスなどのエネルギーに比べ高価なエネルギーです。また、加熱装置も比較的高価となりますので、投資に対する収益効果をよく見極めて導入を検討する必要があります。  
生産性がどの程度向上するか？  
エネルギーコストがどの程度削減できるのか？ 歩留まりの向上は？  
品質の向上は？ これらを総合して、経済的メリットを出せる場合に導入可能です。

### 高周波加熱方式 High frequency heating system



### マイクロ波加熱方式 Microwave heating system

