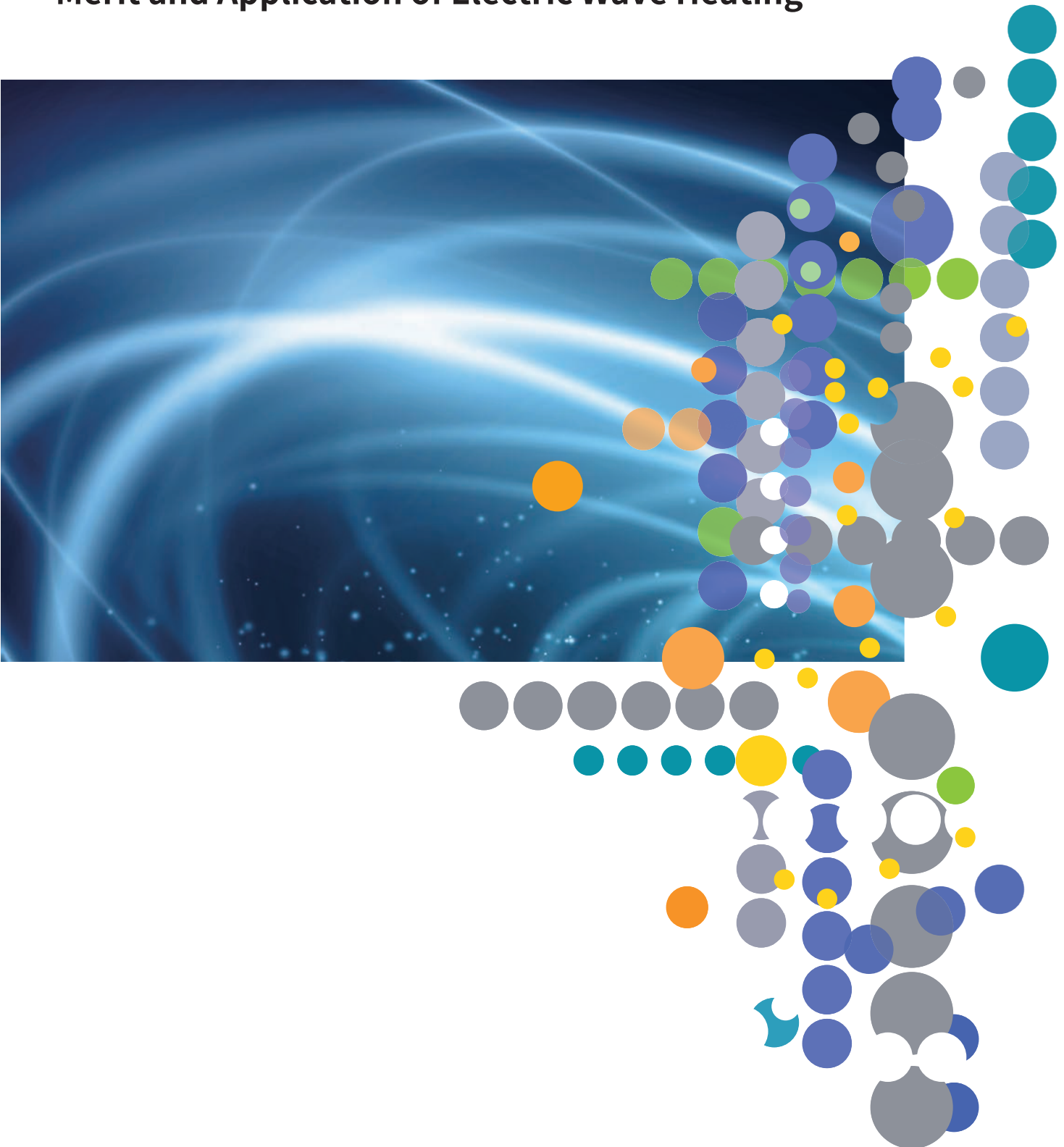


# 電波加熱のメリットと応用

Merit and Application of Electric Wave Heating



高周波誘電加熱・マイクロ波加熱

High-frequency Dielectric Heating and Microwave Heating

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、

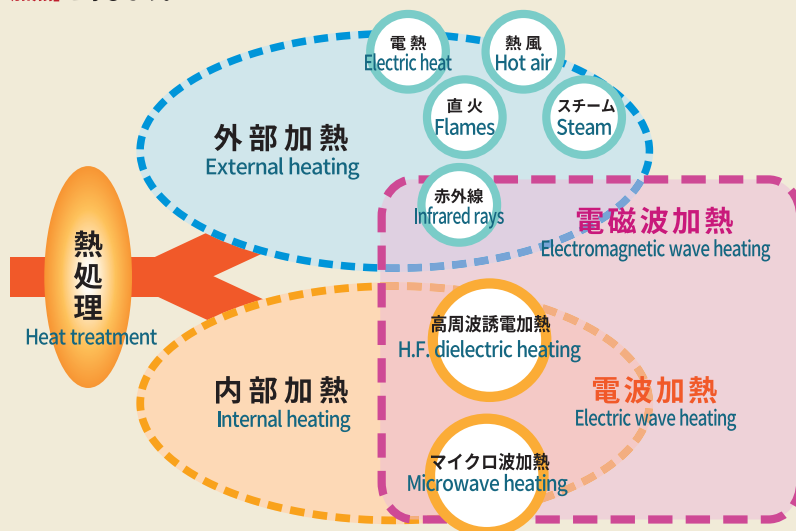
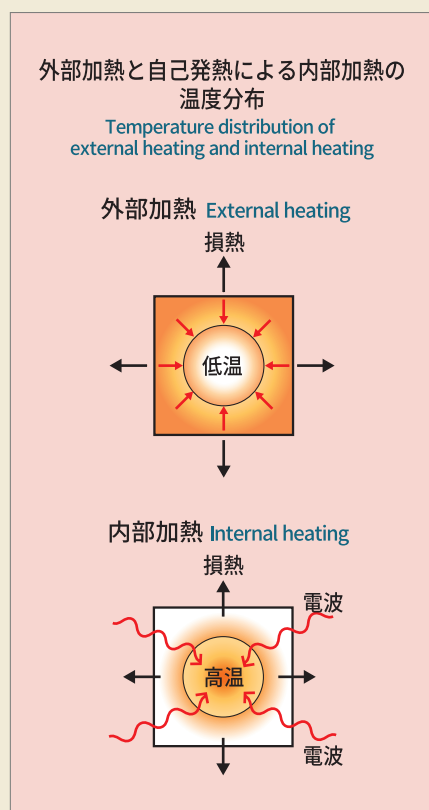
省力化をも組み込んだシステムアップに道を開くからこそ、電波加熱は応用価値が無限だと言えるのです。

## 電波加熱とは

### What is Electric Wave Heating ?

いろいろな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、被加熱体それ自体が発熱体になり、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。内部加熱は外部加熱にくらべて、短時間で非常に効率の高い加熱が可能なのです。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。



■ 各熱源における特徴の比較 Comparison of heat sources

	電 波 Electric wave		赤 外 線 Infrared rays	電 気 炉 Electric furnace	ガ ス Gas	ス チーム Steam
	高 周 波 High-frequency	マイクロ波 Microwave				
加 熱 効 率 Heating efficiency	○	○	△	×	×	×
温 度 制 御 性 Temperature controllability	○	○	△	×	○	×
環 境 負 荷 Environmental burden	○	○	○	○	×	×
低熱伝導材料 Low thermal conductivity material	○	○	○	×	×	×
被加熱物形状の自由度 Flexibility of sample shape	△	○	○	○	○	○
加 熱 部 分 Heating part	全体・局部 Overall/part	全体 Overall	表面 Surface	表面 Surface	表面 Surface	表面 Surface
加 熱 深 さ Heating depth	深い Deepest	やや深い Deep	浅い Shallow	極めて浅い Shallowest	極めて浅い Shallowest	極めて浅い Shallowest

## 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します。

#### 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。

#### 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。

#### 3 高い熱効率

High thermal efficiency

熱を放射するもの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。

#### 4 減圧・加圧での加熱ができる

Heating under decompression / pressurization

真空中ではもちろん燃焼式の加熱はできません。たとえ熱輻射か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、電子レンジ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。

#### 5 選択加熱ができる

Selective heating

物質が電波エネルギーを吸収し発熱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。たとえば木材接着は、接着剤を選択的に加熱して、乾燥・硬化させます。また、加熱したい部分だけを電極で挟むことにより部分加熱ができます。

#### 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。高周波誘電加熱の場合は、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。

#### 7 加熱制御が簡単

Easy heat 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時的かつ正確に行えます。

#### 8 作業環境の改善

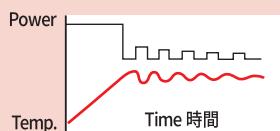
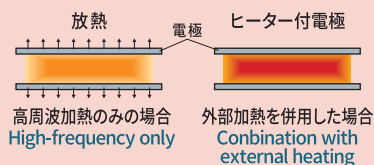
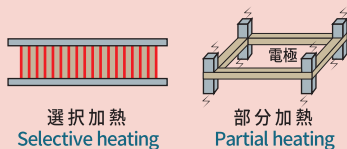
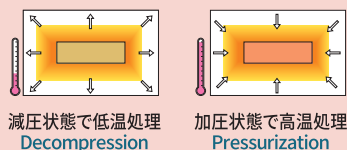
Improvement of working surroundings

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進みます。

#### 9 ファクトリーの合理化

Rationalization of a factory

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。



## 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。

## 電波ってなに？

電波である高周波やマイクロ波は電磁波の仲間です。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。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。

## ■ 電磁波の種類 Kinds of Electromagnetic Waves

周波数 Frequency	波 長 Wavelength	名 称 Name	工業用途 Industrial Applications
3Hz~3kHz	100Mm~100km	超低周波電磁界	極超長波
3~30kHz	100~10km	超 長 波	誘導加熱 Induction heating
30~300kHz	10~1km	長 波	
300kHz~3MHz	1km~100m	中 波	
3~30MHz	100~10m	短 波	高周波誘電加熱 High-frequency dielectric heating
30~300MHz	10~1m	超 短 波	マイクロ波加熱 Microwave heating
300MHz~3GHz	1m~10cm	極 超 短 波	
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	遠 赤 外 線	赤外線加熱 Infrared heating
		近 赤 外 線	
		可 視 光 線	
		紫 外 線	
30PHz以上	10nm以下	放射線 Radiation	γ線 X線

## ■ ISM 周波数バンド ISM frequency band

## 高周波誘電加熱

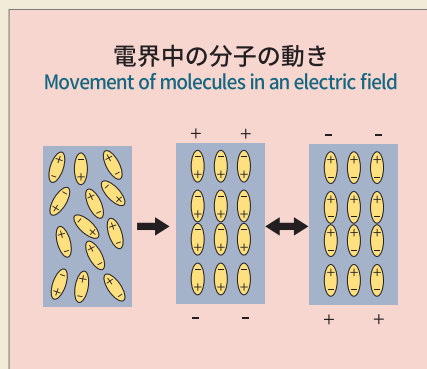
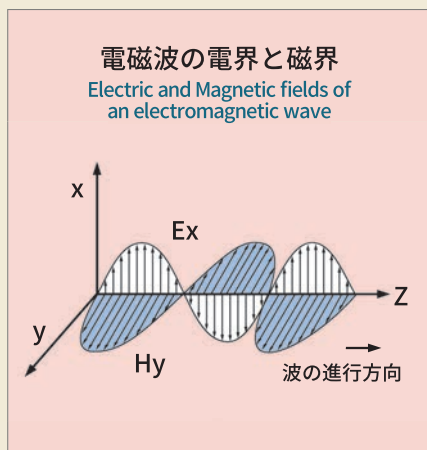
High-frequency dielectric heating

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

## マイクロ波加熱

Microwave heating

(915MHz ± 25MHz)  
2450MHz ± 50MHz



## 誘電加熱とは？

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]に分類できます。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。つまり絶縁体は電氣的な双極子の集合体だと言えるでしょう。

この絶縁体を高周波やマイクロ波の電界内に置くと、物質のいたるところで電氣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。

## 誘電加熱のメカニズム

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、単位体積当りの誘電体で消費される電力(P)は次式で求められます。

誘電体で消費される電力(P)  
Power dissipated per unit volume

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

$\epsilon_r \cdot \tan \delta$ : 損失係数

f: 周波数 (Hz)

E: 電界強度 (V/m)

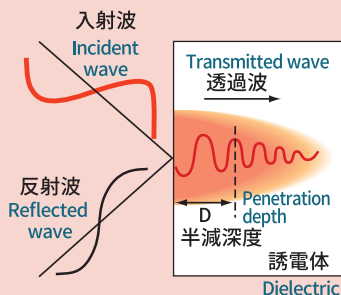
$\epsilon_r$ と $\tan \delta$ の積を損失係数と呼び、これが大きいほどよく加熱されます。また周波数が高いほど、電界強度が大きいほど発熱エネルギーは大きくなるのです。

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。

電力半減深度(D)  
Power penetration depth

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

誘電体に吸収された電波  
The electric wave absorbed into a dielectric



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。また、周波数が低いほど、誘電体の内部深くまで加熱することができます。

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

高周波(周波数1MHz) High-frequency (1MHz)

物質名(例)	Substance name (Examples)	損失係数( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ ) Loss factor ( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ )
空 気	Air	0
氷 (-12°C)	Ice (-12°C)	$740 \times 10^{-4}$
水 (25°C)	Water (25°C)	$3,900 \times 10^{-4}$
木 材 (含水率15%)	Wood (water content 15%)	$200 \sim 2,000 \times 10^{-4}$
木 材 (含水率60%)	Wood (water content 60%)	$3,000 \sim 30,000 \times 10^{-4}$
フェノール樹脂	Phenol resin	$1,500 \times 10^{-4}$
ユリア樹脂	Urea resin	$2,000 \times 10^{-4}$
ゴ ム	Rubber	$48 \times 10^{-4}$
紙	Paper	$3,000 \times 10^{-4}$
ナイロン	Nylon	$240 \times 10^{-4}$

マイクロ波(周波数2450MHz) Microwave (2450MHz)

物質名(例)	Substance name (Examples)	損失係数( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ ) Loss factor ( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ )
空 気	Air	0
氷 (-13°C)	Ice (-13°C)	$28 \times 10^{-4}$
水 (25°C)	Water (25°C)	$123,000 \times 10^{-4}$
木 材 (含水率15%)	Wood (water content 15%)	$9,500 \times 10^{-4}$
牛 乳 (4.5°C)	Milk (4.5°C)	$120,000 \times 10^{-4}$
魚 ス リ 身 (0°C)	Fish paste (0°C)	$20,000 \times 10^{-4}$
ガ ラ ス	Glass	$500 \times 10^{-4}$
テ フ ロ ン	PTFE	$4 \times 10^{-4}$
紙	Paper	$1,600 \times 10^{-4}$
ポリエチレン	PE	$5.2 \times 10^{-4}$

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。



## 高周波誘電加熱とマイクロ波加熱の相違点

## Differences of High-frequency Dielectric Heating and Microwave Heating

## 高周波誘電加熱

## High-frequency dielectric heating

- 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。
- 波長が長いので、電極の間に高周波電界を印可させ、固定した電界中で加熱。
- 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 Textile	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	ハイパーサーミア(がん治療)、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

## Microwave heating

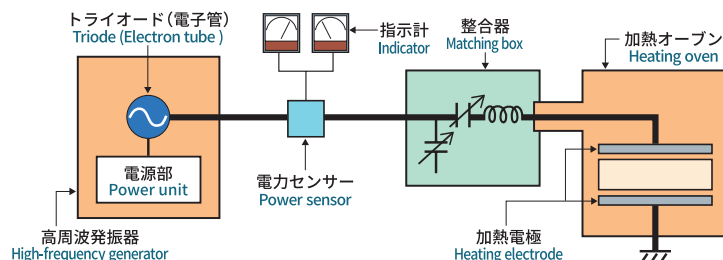
- 使われる周波数は2,450MHz。915MHzを使うこともあります。
- 電力半減深度が浅いので、被加熱物が厚かったり損失係数が高い場合は、均一加熱が難しい。
- 波長が短く、空間を自由に伝播できるため、波長の数倍以上の長さの辺を持つ金属オープンで加熱(マルチモード)。
- 形状が複雑であっても加熱は可能。

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

分野 Field	用途 Use	
食品 Food	解 凍 Thawing	冷凍食品、畜肉・魚肉
	膨化・乾燥 Puffing/Drying	油揚げ、即席食品の具材、米菓(せんべい)
	殺菌 / 防黴 Sterilization / Mildew proofing	レトルト食品、和・洋菓子類
木材 Wood	乾 燥 Drying	木彫り人形、家具部材
	接着・曲げ加工 Joining / Bending	家具、曲げ合板
化学 Chemistry	乾 燥 Drying	化学薬品
	化学反応 Chemical reaction	有機合成(脂肪酸エステルなど)、顔料の合成
窯業 Ceramics	予 熱 Preheating	陶磁器
	乾 燥 Drying	押出し成型ハニカム
	加 熱 Heating	大形耐火物
フィルム・紙 Film/Paper	乾 燥 Drying	フィルム類、背表紙など
ゴム Rubber	予 熱 Preheating	自動車用シーリングゴム、免震用ゴム
	加硫 / 発泡 Vulcanization / Expanding	ゴム製品
医療 Medical care	加 熱 Heating	ハイパーサーミア(がん治療)、ジアテルミー(血行促進)
	焼灼・凝固 Ablation/Coagulation	がん治療
その他 Others	乾 燥 Drying	水溶性印刷インク、PP製漆器の塗料
	殺 虫 Destroying pests	畳のダニ、蕎麦殻

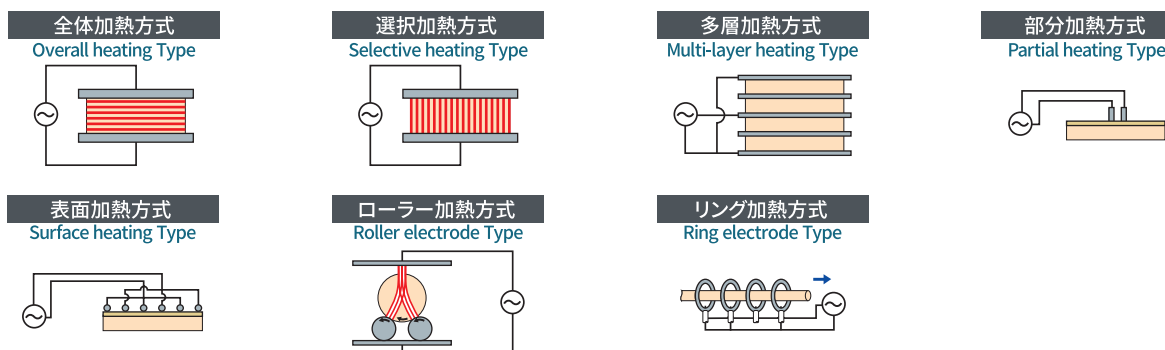
## 高周波誘電加熱装置の構成

### Configuration of H.F. dielectric heating device



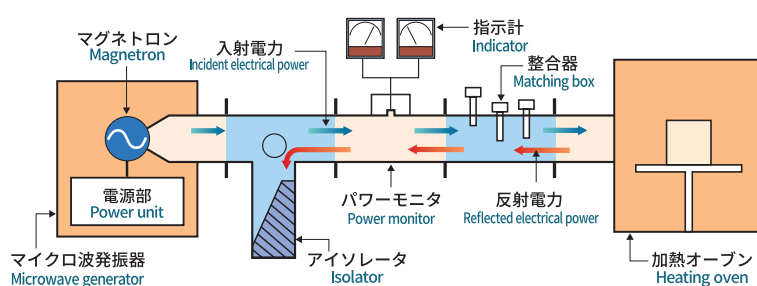
## 高周波誘電加熱方式

### H.F. dielectric heating method



## マイクロ波加熱装置の構成

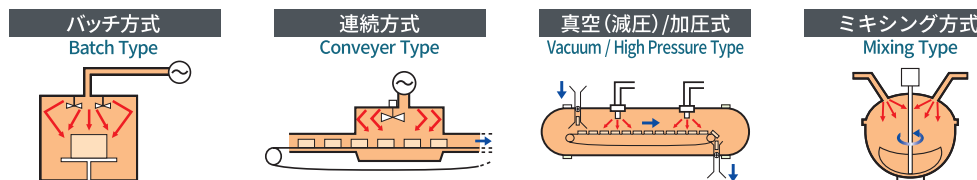
### Configuration of microwave heating device



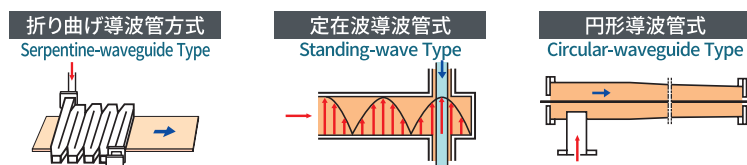
## マイクロ波加熱方式

### Microwave heating method

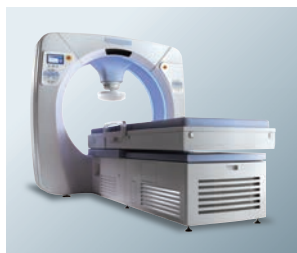
#### マルチモード (Multi-mode)



#### シングルモード (Single-mode)



あらゆる業界が高効率化や省力化に応用しています。



▲医療用がん治療装置 (HF)  
Hyperthermia treatment device  
for cancer therapy



▲PVCシート用ウェルダー (HF)  
PVC Welder



▲食品解凍装置 (HF)  
Food thawing equipment



▲食品連続乾燥装置 (MW)  
Continuous type drying equipment  
for food



▲木材接着プレス (HF)  
Wood adhesion press



▲木材乾燥装置 (HF)  
Wood drying equipment



▲熱風併用連続乾燥装置 (HF)  
Continuous type drying equipment  
with hot air



▲減圧式乾燥装置 (MW)  
Vacuum type drying equipment

## お客様の開発段階から、 アフターフォローにいたるまで

A Thorough Response From Joint Development  
with Customers to Customer Support

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。

## 山本ビニター株式会社

[www.vinita.co.jp](http://www.vinita.co.jp)

■本社 / 〒543-0002 大阪市天王寺区上汐6丁目3-12  
TEL.06(6771)0606(大代表) FAX.06(6771)6898

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

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

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