

マイクロ波加熱装置

Microwave Heating Device



マイクロ波加熱は限りない可能性があります。

Pioneering Limitless Potential

マイクロ波加熱は限りない可能性があります。

Pioneering Limitless Potential

加熱プロセスの高効率化、省エネはもちろん

これからの環境産業創造に欠かせないクリーンな先端技術の開発やご提案についても

高周波加熱からマイクロ波加熱まで、電波加熱の歴史とともに歩む山本ビニターがお応えします。

As a pioneer of electromagnetic heating, Yamamoto Vinita is developing and providing clean technology solutions that utilize high-frequency heating through to microwave heating – solutions for improving efficiency and energy savings in heating processes, solutions vital for tomorrow's industrial environment.

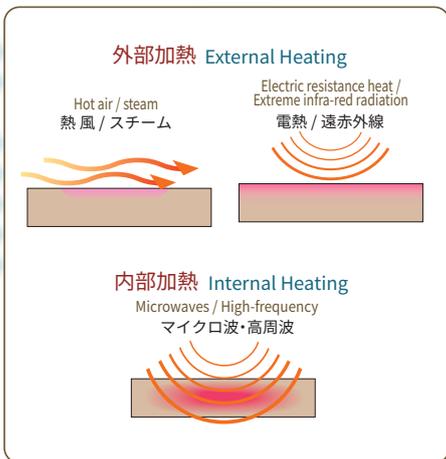
様々な産業分野で応用が進むマイクロ波加熱

Microwave Heating – Ever-increasing Applications in All Sectors of Industry

食品、木材、ゴム、セラミック、化学、繊維など幅広い分野の加熱源として、マイクロ波加熱の応用が一段と進んできています。熱風、蒸気、電熱など従来の外部加熱ではなしえなかった急速で均一な加熱を実現します。

The application of microwave heating is progressing even further as a heating source in a wide range of fields – food, wood, rubber, ceramics, chemistry and textiles, to mention but a few. Microwave heating rapidly achieves even and uniform heating, something that has been impossible with conventional external heating by hot air, steam and electric heat.

■ 内部加熱と外部加熱 Internal Heating and External 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、外部加熱とは根本的に異なり、高周波誘電加熱は被加熱物自体が発熱体になり、物体内部から加熱されるので「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。

Heat treatment for heating and drying is widely used in almost all product manufacturing processes. Generally, hot air or flames from combustion and steam or electrically heated wire are used as heating methods for heat treatment. All of these methods heat the substance from the outside, and heat is gradually transferred from the outside to the inside of substances by thermal conduction. This is why these methods of heating are called "external heating."

On the other hand, dielectric heating using high frequency or microwaves fundamentally differs from external heating in that the heated substance itself becomes the heating element and is heated from the inside. So, this heating method is called "internal heating." Heating by internal heating is possible in a shorter time at a much higher efficiency than by external heating.

マイクロ波の
応用分野
Microwave Fields
of Application

食品 Food	・加熱調理・殺菌・防ばい・乾燥・解凍・発泡 Heated cooking, Sterilization, Fungicides, Drying, Thawing, Bubbling
木材 Wood	・乾燥・接着・曲げ加工 Drying, Joining, Bending
ゴム Rubber	・加硫・発泡 Vulcanization, Expanding
繊維・紙 Textile / Paper	・乾燥 Drying
化学・プラスチック Chemistry / Plastics	・乾燥 Drying
印刷 Print	・乾燥 Drying
穀類 Cereals	・乾燥・害虫駆除 Drying, Eradication of insects and pests
窯業・セラミック Ceramics	・乾燥・接着 Drying, Joining
医療 Medical Treatment	・温熱治療・ハイパーサーミア(がん治療) Thermo-therapy, Hyperthermia (cancer treatment)
廃棄物処理 Industrial Waste Disposal	・乾燥・溶融 Drying, Melting
その他 Other	・プラズマ・原子力関係(溶融、破碎) Plasma, Atomic power (melting, breakdown)



マイクロ波加熱の特長 Features of Microwave Heating

1 加熱時間が短い Short Heating Time

熱風、蒸気や電熱などの従来の外部加熱方法では、熱が被加熱物の外側から熱伝導によって内側へ伝わり中心部の温度が上がります。マイクロ波加熱は、被加熱物自体が発熱体となる内部加熱であり、熱伝導によらず物質内部の温度を上げることができるので、短時間で加熱できます。

With conventional external heating by hot air, steam or electric resistance heat, the center of the heated substance rises by heat transfer from the outside to the inside by thermal conduction. Microwave heating, however, is internal heating—the heated substance itself becomes the heating element. With this heating method, substances can be heated in a short time since the temperature at the center can be increased regardless of thermal conduction.

2 均一加熱ができる Uniform and Even Heating

外部加熱では、中心部の温度を上げるためには、外部の温度を高くしなければならず、外側と内側の温度差が大きくなります。マイクロ波加熱では、被加熱物の各部に電波はほぼ均一に浸透し、各部が同時に発熱するため、比較的均一な加熱ができます。

With external heating, a high external temperature must be set to raise the temperature at the center. As a result, there is a large difference between the outside and inside temperatures. With microwave heating, however, electric waves almost uniformly penetrate all parts of the heated substance and all parts generate heat simultaneously, enabling relatively uniform and even heating.

3 選択加熱ができる Selective Heating

被加熱物は誘電損失によって発熱するので、損失係数の大きいものほど発熱量が大きくなります。そのため被加熱物の損失係数の大きいものを選択的に加熱することができます。

The heated substance generates heat by conduction loss, which means that the calorific value increases proportionally as the loss factor increases. So, substances with a large loss factor can be selectively heated.

4 熱効率が高い Excellent Heat Efficiency

マイクロ波はほとんど被加熱物にだけ吸収され、雰囲気などの温度を直接上昇させないので、熱効率のよい加熱ができます。

Highly efficient heating is ensured since almost all microwaves are absorbed by only the heated substance and the ambient temperature is not directly increased.

5 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は、電気制御によって、正確にかつ応答性よく行えます。

Start and stop of heating, or heating temperature adjustments can be made accurately and with quick response by electrical control.

■ 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	
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	X線 Y線

■ マイクロ波とは What Are "Microwaves?"

マイクロ波は、周波数300MHzから30GHz(波長1cm~1m)程度の電磁波である電波の総称です。この周波数帯の電波は、家庭で使われる電子レンジや工業加熱の他に、携帯電話、UHFテレビ放送、船舶・飛行機の船行や気象観測のためのレーダ、宇宙通信などに利用されています。これらの電波を利用するには、お互いの混信や雑音妨害を避けるために国際的にIMSバンド(Industrial, Scientific and Medical use)が割り当てられています。マイクロ波加熱には、一般的には2450MHzと915MHzが実用化されています。

"Microwaves" is a generic term for electromagnetic waves within the frequency range 300MHz to 30GHz (wavelength 1cm to 1m). Electromagnetic waves in this frequency band are used in a variety of applications—microwave ovens in homes, industrial heating, cellular phones, UHF TV broadcasts, ship and airplane navigation, radar for weather observation, and aerospace communications. For using these radio waves, ISM bands (Industrial, Scientific and Medical use) are allocated internationally to avoid mutual radio interference and noise disturbance. Generally, practical use of microwaves is limited to 2450MHz and 915MHz.

エネルギー資源の枯渇と増え続けるCO₂、 マイクロ波エネルギーは地球と私たちの未来を切り開くエネルギーです。

In today's age of dwindling energy resources and ever-increasing CO₂ emissions, microwaves are the energy for unfolding the future for Earth and Man.

■ マイクロ波加熱の原理 Principle of Microwave Heating

金属などのように電界が加わると自由に動ける電子を有する導電体に対し、いわゆる絶縁体は、電界内におくと電子の流れ(電流)は生じませんが、正電荷と負電荷が平衡点から移動して電荷が分離する分極現象が生じます。このような性質を有する物質を誘電体と言います。周波数が高くなるに従って、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。このときの極性の変化は、一秒間に数千回から数十億回も起きる激しいものです。このエネルギーが“熱”となり誘電体の内部発熱が起こります。

When an electric field is applied to metal, for example, the flow of electrons (that is, current) does not occur when a so-called insulator is placed within that electrical field for an electric conductor having freely moving electrons. However, the phenomenon of polarization, where positive and minus electric charges are displaced from the equilibrium point resulting in a separation of the charges, does occur. Substances with this kind of nature are called a "dielectric." As frequency increases, the component electrons of a dielectric spin, collide, vibrate, rub against each other, and otherwise move violently. Changes in polarity at this time are intense, occurring several ten to several hundred million times per second. This energy becomes "heat," which causes heat to be generated inside the dielectric.

■ 使用可能な周波数 Available Frequencies

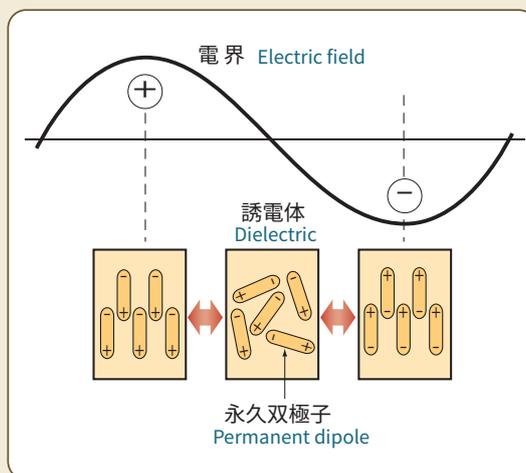
各種用途に用いられている電波を利用するには、各用途間の混信及び雑音妨害を避けるため、その使用目的により使用周波数の割当てが「国際電気通信連合(ITU)」にて定められています。マイクロ波加熱・高周波加熱を含む“誘電加熱”用は、ISM(工業・科学・医療用/Industrial, Scientific and Medical Use)バンドとして右表の通り指定されています。

マイクロ波加熱用としては4帯域が指定されていますが、915MHzと2450MHzが実用化されています。我国では、電子レンジでも使用されている2450MHzは問題無く使用可能ですが、915MHzの場合は他の通信設備などに妨害を与えないよう電波遮蔽策を実施し、無線設備規則の規制値を守る必要があります。

For the use of radio waves used in various applications, operating frequency allocations have been determined by the ITU (International Telecommunications Union) according to specific purpose to avoid mutual radio interference and noise disturbance between applications. "Dielectric heating" which includes microwave and high-frequency dielectric heating is designated as ISM bands (Industrial, Scientific and Medical use) as shown in the table on the right.

Four bands are designed for microwave heating, of which two, 2450MHz and 915MHz, are already in practical use. In Japan, 2450MHz already in use in microwave ovens also can be used without any problem; however, radio wave shielding measures must be implemented and regulatory values in accordance with wireless facilities' standards must be observed to prevent interference with other communications facilities, in the same way as 915MHz.

■ 電界と誘電体内の分子の動き Electrical Field and Movement of Molecules in Dielectric



■ ISM バンド ISM Bands

加熱名称 Name of Heating	ISMバンド ISM Bands	波長 Wavelength	わが国での取り扱い Handling in Japan
高周波(誘電)加熱 High-frequency Dielectric Heating	13.56MHz ± 7kHz	22.12 m	○ 適用
	27.12MHz ± 163kHz	11.06 m	○ 適用
	40.68MHz ± 20kHz	7.37 m	○ 適用
マイクロ波加熱 Microwave Heating	915MHz ± 13MHz	32.80 cm	△ 規制あり*
	2450MHz ± 50MHz	12.25 cm	○ 適用
	5800MHz ± 75MHz	5.17 cm	○ 適用
	24125MHz ± 125MHz	1.36 cm	○ 適用

*無線設備規則第65条二号:マイクロ波加熱装置から100mの地点での電界強度の最大許容値は100μV/m以下(=40dBμV/m以下)。

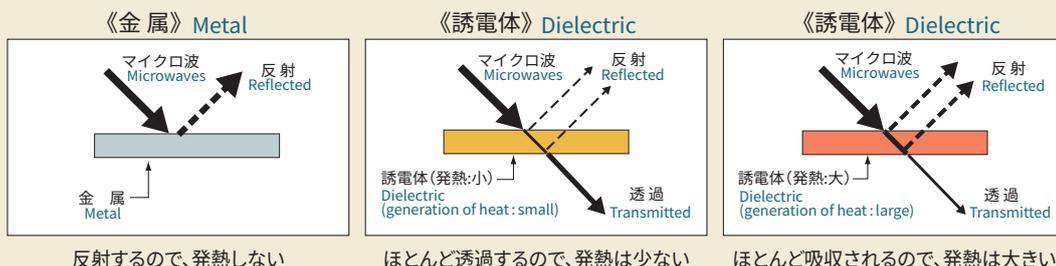
*無線設備規則の規制値をクリアすることは容易ではありません。当社は規制値をクリアするシールド対策などのノウハウを確立していますので、必要に合わせて対応を実施します。

電波エネルギーが熱エネルギーに変換

Conversion of Electromagnetic Wave Energy to Thermal Energy

マイクロ波は金属にあたると反射しますが、食品や木材などの誘電体(電氣的絶縁体)にあたると一部は反射され、残りがその物質の内部へ浸透します。

Microwaves are reflected when they strike metal. Some of them, however, are reflected when they strike a dielectric (electrical insulator) such as food or wood, and the remaining microwaves penetrate the inside of the substance itself.



■ 発生する電力

Generated Electrical Power

マイクロ波エネルギーは、被加熱物(誘電体)に吸収されると発熱しますが、その誘電体中で消費される単位体積当りの電力(P)は、次式で求められます。発生する電力は、周波数(f)、被誘電率(ϵ_r)と誘電体損失角($\tan\delta$)の積である損失係数($\epsilon_r \cdot \tan\delta$)、電界強度(E^2)に比例します。

マイクロ波加熱によって発生する電力(P)
Calorific power (P) generated by microwave heating

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

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

■ 電力の減衰

Power Penetration Depth

マイクロ波エネルギーが、被加熱物(誘電体)の中を進んでいくと、誘電損により徐々に発熱しながら減衰していきます。減衰の割合は、周波数および誘電体の損失係数($\epsilon_r \cdot \tan\delta$)により異なります。誘電体表面での電力密度が1/2に半減するまでの深さを電力半減深度(D)と言い、次式で求められます。

電力半減深度(D)
Power penetration depth (D)

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

■ 物質の損失係数

Loss Factor of Substances

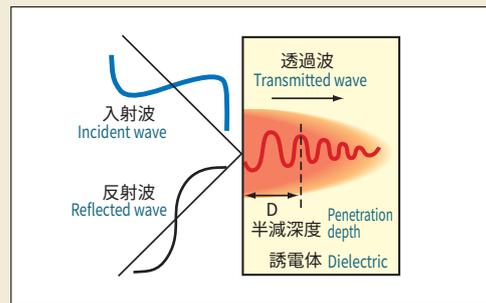
損失係数($\epsilon_r \cdot \tan\delta$)は、周波数によって異なります。損失係数が大きければ大きいほど、発生する電力(発熱量)は大きくなります。損失係数は、物質に固有の値ですが、温度や周波数によって変化します。

物質名(例) Substance Name (Examples)	3000MHz	300MHz
	損失係数 $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ ($\times 10^{-4}$) Loss Factor $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ ($\times 10^{-4}$)	
空気 Air	0	0
水(25°C) Water (25°C)	120,400	12,400
氷(-13°C) Ice (-13°C)	29	110
木材(含水率15%) Wood (water content 15%)	490	590
紙 Paper	1,500	1,800
ポリエチレン Polyethylene	8	7
テフロン PTFE	3	3

■ 物質に吸収された電磁波

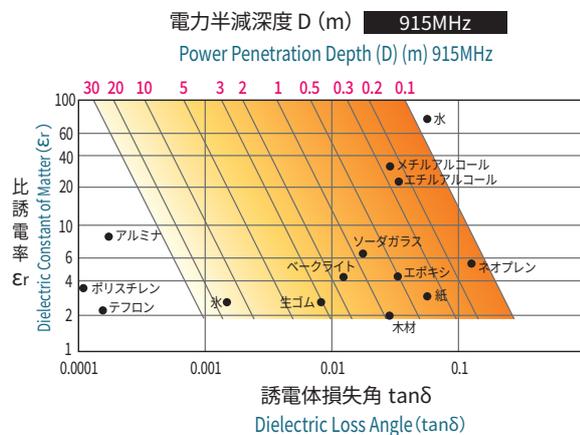
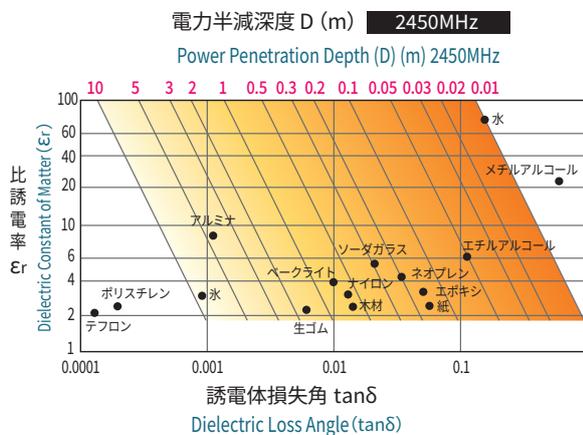
Electromagnetic Waves Absorbed by Substances

損失係数($\epsilon_r \cdot \tan\delta$)の大きい物質ほど、マイクロ波エネルギーの減衰が大きく、物質の表層近くで吸収され発熱するので深くまで加熱することができません。



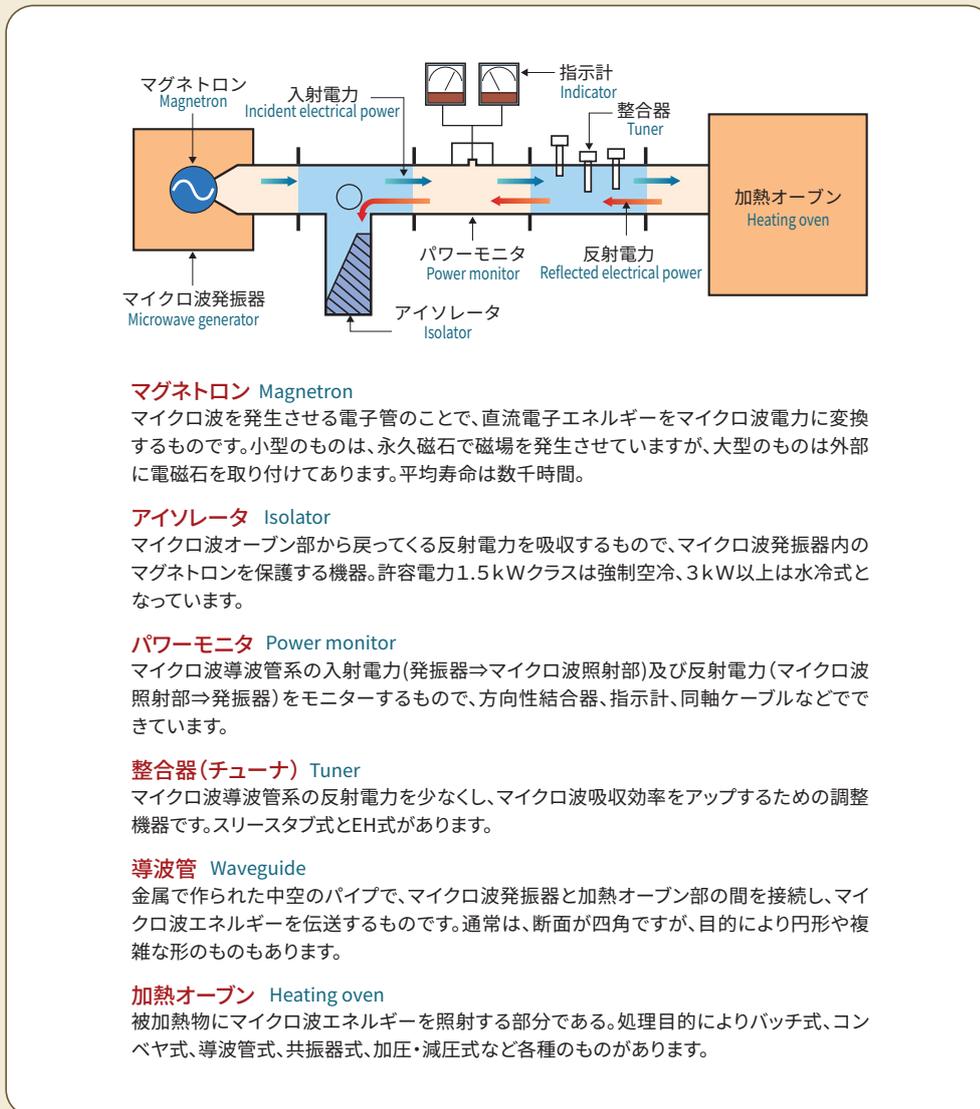
■ 2450MHzと915MHzの電力半減深度(D)

2450MHz, 915MHz Power Penetration Depth (D)



2450MHzと915MHzを比較すると、915MHzの方がより深くまで加熱できます。例えば水(25°C)における電力半減深度(D)は、2450MHzで約10mm、915MHzで約86mmと計算されます。

■ マイクロ波加熱装置の構成
Configuration of Microwave Heating Device



■ マイクロ波発振器の概略仕様
Specifications of Microwave Generator

発振周波数 Oscillation Frequency	2450MHz ± 30MHz			915MHz ± 10MHz			
最大発振出力 Max. Oscillation Output	1.5kW	3kW	6kW	30kW	60kW	75kW	100kW
冷却方式 Cooling System	空冷 Air	空冷/水冷 Air / Water		水冷 Water			
電源部・発振部 Power Supply/Oscillator	一体型 Integrated type		分離型 Separate type	一体型 Integrated type			
入力電源定格 Input Rated Power Supply	3Φ 200V 50/60Hz						
電源入力容量 Input Power Capacity	2.5kVA	5kVA	10kVA	45kVA	90kVA	115kVA	150kVA

■ 発振器効率と総合加熱効率
Generator Efficiency and Total Heating Efficiency

発振周波数 Generated Frequency	発振出力(kW) Oscillation Output (kW)	発振器効率(%) Generator Efficiency (%)	マイクロ波吸収効率(%) Microwave Absorption Efficiency (%)	総合加熱効率(%) Total Heating Efficiency (%)
2450MHz	1~6	55~67	50~70	27~47
915MHz	30~100	67~77		33~54

- * 発振器効率 = (発振器で発生した電力) / (発振器への供給電力) × 100 (%)
- * マイクロ波吸収効率 = (被加熱物に吸収された電力) / (発振器で発生した電力) × 100 (%)
一般加熱物の物性(損失係数など)、形状、温度、加熱条件によって変動します。
- * 総合加熱効率 = (被加熱物に吸収された電力) / (発振器への供給電力) × 100 (%)

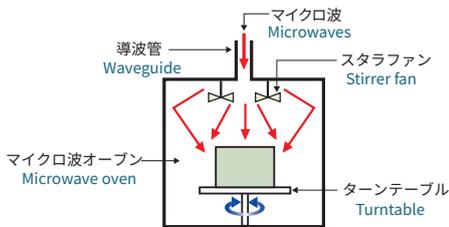
マイクロ波応用装置には様々なタイプのアプリケーションがあります。

被加熱物の **1. 形状** (大きさ、厚さ)、 **2. 電気的性質** (誘電損失係数 $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ 、含水率)、 **3. 状態** (液体、個体、粉体)、 **4. 目的** (予熱、熱処理、乾燥、発泡、加硫)、 **5. 処理方法** (固定、連続)、 **6. 圧力制御** (減圧、加圧) などに合わせて、最適な方法を選択します。

There are many different types of applicators for devices that apply microwaves. Select the optimum method best suited to the heated substance parameters including (1) Shape (size, thickness), (2) Electrical characteristics (specific conductivity), loss factor ($\epsilon_r \cdot \tan \delta$), water content), (3) State (liquid, solid, powder, etc.), (4) Purpose (preheat, heat treatment, drying, bubbling, vulcanization, etc.), (5) Treatment mode (fixed or continuous), and (6) Pressure control (vacuumed or pressurized).

バッチ式 Batch Type

幅広・厚物などの立体的な被加熱物体を、比較的長時間処理するのに適しています。

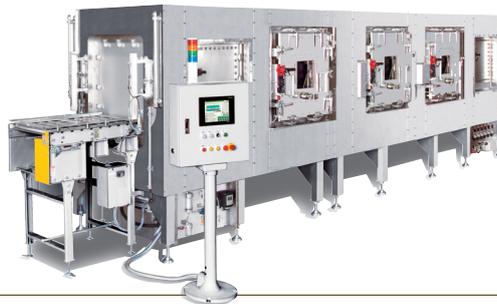
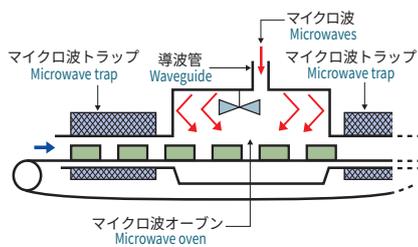


周波数 Frequency	2450MHz	915MHz
最大出力 Max. output	6kW	30kW
加熱オーブの大きさ(cm) Size of heating oven (cm)	W : 60 H : 60 D : 60	W : 90 H : 90 D : 100

*一例を示したものです。
お客様の処理条件に合わせて対応いたします。

連続式 Conveyor Type

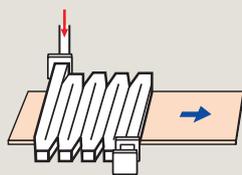
被加熱物体をベルトコンベアで搬送しながら連続的に処理。大量処理に適しています。



周波数 Frequency	2450MHz	915MHz
最大出力 Max. output	6kW x 40台	100kW
加熱オーブの大きさ(cm) Size of heating oven (cm)	W : 120 H : 90 D : 900	W : 90 H : 90 D : 480
コンベアベルト幅(cm) Conveyor belt width (cm)	90	60

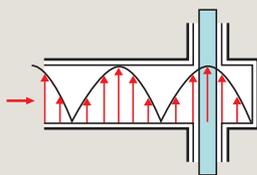
*一例を示したものです。
お客様の処理条件に合わせて対応いたします。

導波管式 Waveguide (Ladder) Type



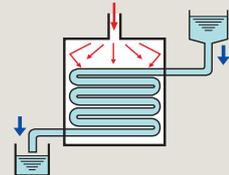
板状、シート状の被加熱物を連続的に処理します。

定在波導波管式 Standing-wave waveguide Type



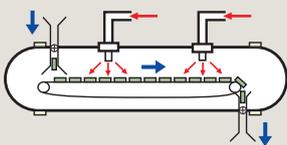
導波管の先端を短絡し強電界を作り、被加熱物は導波管内部を通して処理します。

液体加熱式 VLiquid Pipeline Type



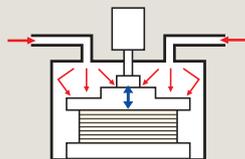
オープン内のパイプに液体を連続して送り込み処理します。

真空(減圧)/高圧式 Vacuum / High Pressure Type



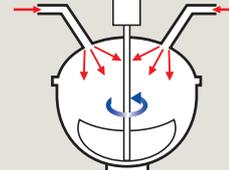
真空缶体または高圧缶体の中で、被加熱物を真空/加圧状態で処理します。

プレス式 Press Type



被加熱物をプレスで加圧しながら処理します。

ミキシング式 Mixing Type



粉体、顆粒状の被加熱物をミキシングしながら均一に加熱処理します。



加熱のハイブリッド化と圧力制御

Hybrid Heating and Pressure Control

■ 熱風、蒸気、赤外線などの併用加熱

Hybrid Heating by Hot Air, Steam and Infrared Rays

様々な他の熱源とマイクロ波加熱を併用することにより、加熱方法が一段と幅広くなります。マイクロ波との同時加熱、または前後の加熱処理に利用するなどシステム加熱が可能です。

■ 圧力制御とマイクロ波加熱

Pressure Control under Microwave Heating

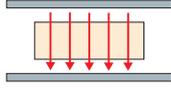
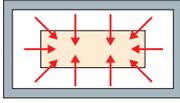
減圧/高圧の炉体内でマイクロ波加熱することができます。例えば、真空中で加熱すれば低温乾燥ができ、また高圧下で加熱すれば沸点以上の高温加熱ができるなど、応用分野が広がります。

マイクロ波加熱と高周波加熱の比較

Comparison between Microwave Heating and High-frequency Heating

マイクロ波と高周波は、周波数が異なるだけで加熱の原理は同じです。周波数の違いにより加熱方法が異なり、被加熱物に与える影響も異なります。被加熱物の形状や大きさ、電気的特性、加熱目的によりどちらか適したものを我们用します。

Microwave heating and high-frequency heating differ only in terms of frequency; their principle of operation is the same. Heating methods, however, do differ depending on differences in frequency, and the effect that each of these methods has on the heated substance varies. Select which of the two heating methods is better suited according to the shape, size, electrical characteristics, and specific requirements of the substance to be heated.

		高周波誘電加熱 High-frequency Dielectric Heating	マイクロ波加熱 Microwave Heating	
周波数 Frequency		13.56MHz / 27.12MHz / 40.68MHz	2450MHz	915MHz
加熱の方式 Heating Method		1対の電極板で挟んで加熱される Heated objects are heated between a pair of electrode plates. 	全方向からマイクロ波の照射を受け加熱される Heated objects are heated by irradiation of microwaves from all directions. 	
加熱の深さ (電力半減深度) Heating Penetration Depth (power half reduction depth)		深く加熱できる Deepest 	表面での発熱が大きい Surface 	やや深く加熱できる Deep 
加熱の特徴 Features		<ul style="list-style-type: none"> 電極の大きさや形状をかえることで部分加熱ができる 凹凸の形状の被加熱物は、不均一加熱になり易い Partial heating is possible by changing the size and shape of the electrodes. Irregular shaped heated substances tend to be heated unevenly. 	<ul style="list-style-type: none"> 立体物の加熱がやり易い 端部が過加熱(エッジ効果)となり易い Solid, bulky objects can be heated easily. Edges tend to become overheated (edge effect). 	
発振装置 Generator	出力 Output Range	小出力から大電力まで対応 (~200kW/台) Low output up to high power compatibility (up to 200kW/unit)	小電力に対応 (~6kW/台) Low power compatibility (up to 6kW/unit)	主に大電力に対応 (30~100kW/台) High power compatibility (30 to 100kW/unit)
	電波漏洩 Radio Wave Leakage	無線設備規則：適用 Wireless facilities standards: Applied		無線設備規則：規制を受ける Wireless facilities standards: Regulated
人体防護：装置側の遮蔽対策で対応 Human protection: By applying shielding measures on the device				

山本ビニター株式会社

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

高周波テクノ営業部 H.F. Technology Division

■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

■東京支店 / 〒114-0012 東京都北区田端新町2丁目13-14
TEL.03(6670)2243(代) FAX.03(6670)2244

■名古屋営業所 / 〒451-0062 名古屋市中区花の木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