

工業電熱製品 総合ガイド

Comprehensive Guide to Industrial Melting and Heating

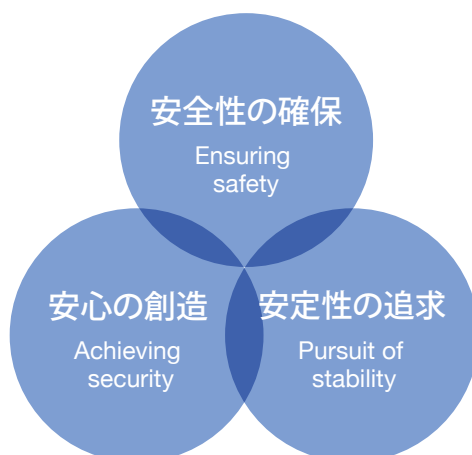


電熱製品で産業の
基盤をつくる。

Creating the foundation of industry with our electric heating products.

富士電機のものづくりコンセプト

Concept of Manufacturing of Fuji Electric



高品質 High quality

安全の確保

安全性を重視した製品群の提供
Ensuring Safety
Provision of products ensuring safety

安心の創造

安心して使えるという信頼度の向上
Achieving Security
Improved reliability ensuring security

安定性の追求

安定して操業できる設備の提供
Pursuit of Stability
Provision of facilities that can be operated stably

LCCの提供 LCC

ミニマムなライフサイクルコスト
Minimum Life Cycle Cost

エコ経営 Eco management

環境問題への対応
Measures to protect the environment

最大の省エネ製品 CO₂排出量ミニマムシステムの提供

Most energy-efficient products Provision of systems with minimum CO₂ emissions

当社は貴社の環境問題の改善や
省エネルギーの期待にお応えします。
We fulfill your expectations concerning the solving of
environmental problems and enhancing energy saving.



JQA-2034
品質システム認証取得
Quality System
Certification obtained

電気加熱のメリット

Advantages of Electric Heating

電気加熱の用途は多岐に渡っており、生産性向上・環境保全・安全などに結びつき、生産革新に大きく役立つ技術です。特に加熱速度の速さと制御性の良さから、様々な加熱工程での生産性向上が図れます。材料の直接発熱、そして必要な部分だけの加熱が可能なることから、エネルギー消費量を最小限に抑えます。また、燃焼を伴わない加熱方式なので、環境改善と安全性向上にも貢献します。

Electric heating with wide-ranging applications ensures improved productivity, environmental preservation, and enhanced safety, thus facilitating innovative production. Its high heating rate and superior controllability improve productivity in various heating processes. Direct material heating and local heating of the necessary areas only minimize energy consumption. Electric heating, which does not involve combustion, helps improve the environment and safety.

電気加熱による 生産革新

Production innovation
achieved by electric heating

周辺環境への配慮 Consideration for the surrounding environment

- 燃焼による排ガス、じんあいの放出ゼロ
- Zero emissions of exhaust gas or dust from combustion

生産性向上・省力化への寄与 Improved productivity and power saving

- 急速加熱 ● ラインの自動化 ● 加熱のインライン化
- Rapid heating ● Line automation ● Inline heating

総合的なコストダウン Comprehensive cost reduction

- 省人化 ● メンテナンス費の削減 ● 立上時間の削減
- Fewer workers ● Reduced maintenance cost ● Shorter startup time

産業環境の改善 Improvement of the industrial environment

- 機器からの放熱低減 ● 廃棄物の低減
- Minimized heat dissipation from devices ● Reduced waste

高品質化・高付加価値化 Higher quality/added values

- 高精度な温度管理 ● 超高温加熱
- Highly-accurate temperature control ● Ultra high temperature heating

安全操業 Safe operation

- 炎からの解放 ● 可燃性燃料不要
- Free from the danger of flames ● No need for combustible fuels

省エネルギー・省資源の可能性 Possibility of energy/resource saving

- 直接発熱・局部加熱による熱損失の低減
- Reduced heat loss achieved by direct/local heating

省スペース Space saving

- ボイラ、燃料タンクなどの付帯装置が不要
- Eliminating the need for incidental devices such as boilers and fuel tanks

溶解技術

Melting Technology

—1964年以来、2,000基を超える納入実績と記録品—

低周波るつぼ形誘導炉 40T/10,000kW (鉄鋼用)

60 T /3,500kW (銅合金用)

高周波るつぼ形誘導炉 25T/13,000kW (鉄鋼用)

低周波溝形誘導炉 85 T /60T/2,000kW (鉄鋼用)

溶湯を扱う製品を得意としており、操作の容易性・安全性・保全性だけでなく、省エネ・CO₂削減など環境改善へ大きく貢献します。

—Delivery record exceeding 2000 units and record-breaking items since 1964—

Low-frequency crucible type induction furnace: 40T/10,000kW (for cast iron)

60T/3,500kW (for copper alloy)

High-frequency crucible type induction furnace: 25T/13,000kW (for cast iron)

Low-frequency channel type induction furnace: 85T/60T/2,000kW (for cast iron)

We focus not only on improving the operability, safety, and maintainability of our products handling molten metal but also on improving the environment through saving energy and reducing CO₂ emissions.

高周波るつぼ形誘導炉 High-frequency crucible type induction furnace

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 30~30,000kg

電力 Power 60~20,000kW

- ハイパワーによる急速溶解 High-power rapid melting
- 生産性向上 Improved productivity
- CO₂削減 Reduction in CO₂ emissions



低周波るつぼ形誘導炉 Low-frequency crucible type induction furnace

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 150~60,000kg

電力 Power 90~10,000kW

- 大形鋳込 Large-scale casting
- 連続操業 Continuous operation
- 成分調整 Component adjustment



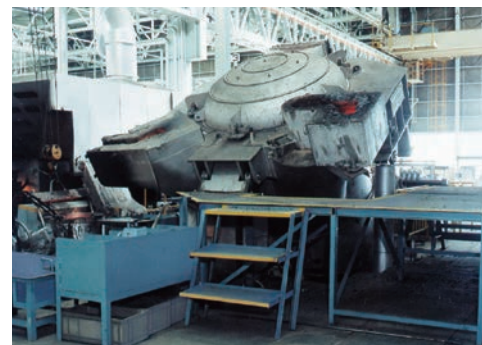
■ 鑄鉄用溝形誘導炉 Channel type induction furnace for cast iron

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 7,000～50,000kg

電力 Power 300～1,000kW

- 溶湯の保持・昇温 Retaining and temperature increase of molten metal
- 溶解と鑄造ラインの媒介 Cushioning between melting furnace and casting line
- 捨て湯の再利用 Recycling of waste molten metal



■ 加圧式自動注湯炉 Pressure type automatic pouring furnace

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 2,500～8,500kg

電力 Power 150～300kW

- 鑄型への自動注湯 Automatic pouring into mold
- 受湯中の注湯も可能 Pouring while receiving molten metal also allowed
- 造形ラインへの対応 Applicable to molding lines



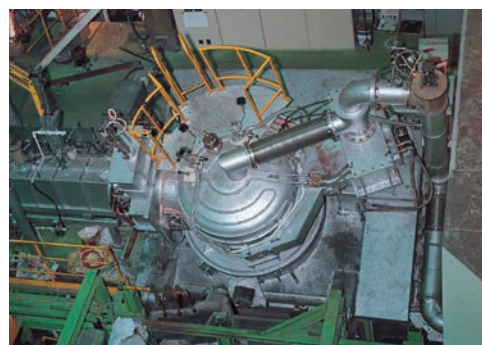
■ 真空誘導炉 Vacuum induction furnace

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 10～20,000kg

電力 Power 20～1,800kW

- 溶湯の脱ガス Degassing of molten metal
- 精錬 Refining
- 高級品質鋼の生産 Production of high-quality steel



■ 精練機能付誘導炉 Induction furnace with refining function

標準仕様 Standard specification

炉容量 Furnace capacity 2,000～8,000kg

電力 Power 1,800～4,000kW

- 亜鉛めっき鋼板くずの溶解と脱亜鉛 Melting and dezincing of zinc-plated steel scrap
- 不純物除去 Removal of impurities
- 環境改善 Environmental improvement
- 省エネ Energy saving



加熱技術

Heating Technology

誘導加熱は金属加熱における省エネの切り札。ビレットヒータを始めとし、特殊ビレットヒータ・金型加熱など、種々の金属加熱・熱処理に応用され、生産プロセス革新に役立っています。快適な環境で最高の品質を作る、これが誘導加熱の持ち味です。

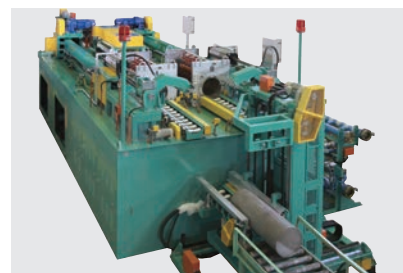
Induction heating, a master card for energy saving in metal heating, is applied to various metal heating and thermal processes using billet heaters, special billet heaters, and mold heaters to support innovative production processes. Creating optimal quality in a comfortable environment is the hallmark of induction heating.

■ アルミビレットヒータ Aluminum billet heater

標準仕様 Standard specification

電力 Power 300~1,000kW

- 全自動最適運転制御装置 Fully automatic optimum operation control system
- ワンタッチコイル交換装置 One-touch coil replacement system
- 省エネ Energy saving

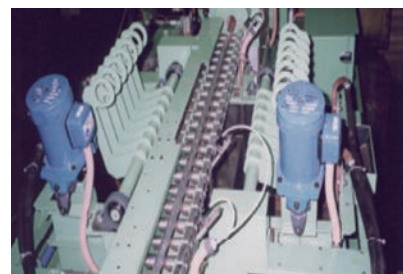


■ 温間鍛造用ビレットヒータ Billet heater for warm forging

標準仕様 Standard specification

電力 Power 180~1,300kW

- 温間鍛造用では予熱・ディッピング・加熱の三役を一体化
The heater for warm forging integrates the following three functions: Preheating, dipping, and heating
- ディッピング装置の簡略化でメンテナンス性を向上
Enhanced maintainability achieved by a simplified dipping device



■ ボアヒータ Bore heater

標準仕様 Standard specification

電力 Power 50~200kW

- 円形ワーク内面の局部加熱
Local heating of the internal surface of circular work

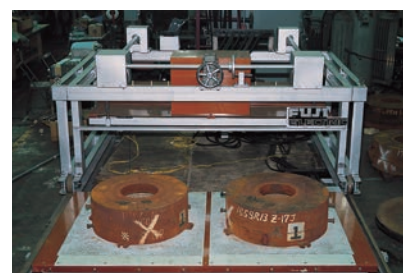


■ 金型加熱用ヒータ Heater for mold heating

標準仕様 Standard specification

電力 Power 50~200kW

- 短時間で所定温度へ加熱化
Heating up to the specified temperature in a short time
- 良好な温度制御 Accurate temperature control
- 省スペースと作業環境の改善 Space saving and improved work environment



管製造技術

Pipe Making Technology

高周波電源技術の進歩が管材の製造に革新をもたらします。電縫管溶接機から表面処理まで、ランニングコストの大幅な削減と省スペース化が図れます。小径管から大径管まで、鋼管から非鉄管まであらゆる管製造に貢献しています。

Advancement of high-frequency power supply technology spawns innovation in pipe manufacturing.

Such innovation includes significantly reduced running costs and space saving in electric resistance tube welding and surface processing. Our pipe making technology improves the manufacturing of various pipes including steel and nonferrous pipes.

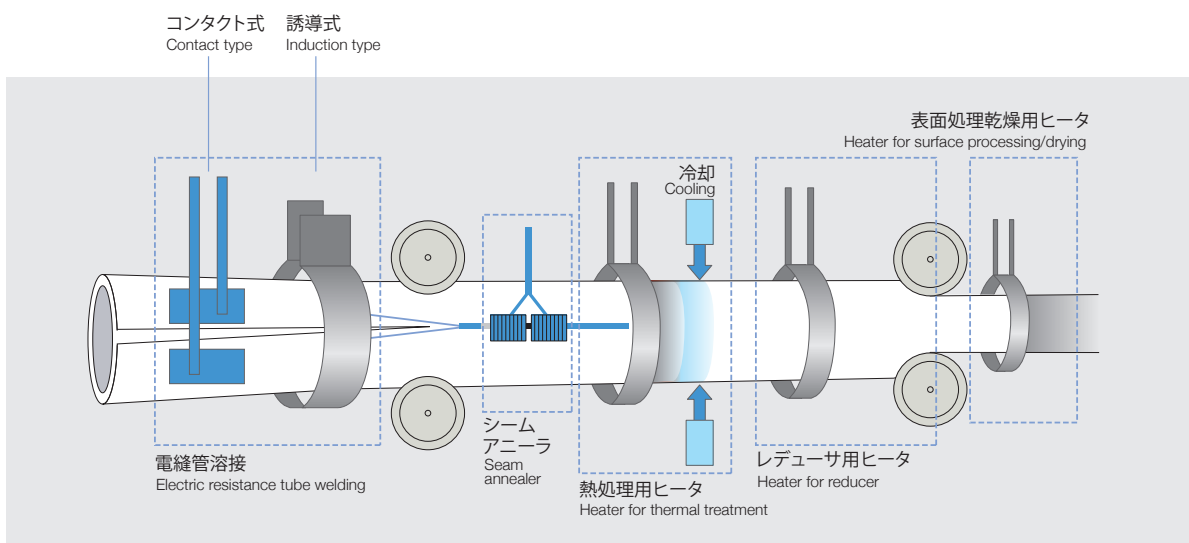
電縫管溶接装置

Electric resistance tube welding equipment



表面処理乾燥用ヒータ

Heater for surface processing/drying



熱処理用ヒータ

Heater for thermal treatment



レデューサ用ヒータ

Heater for reducer

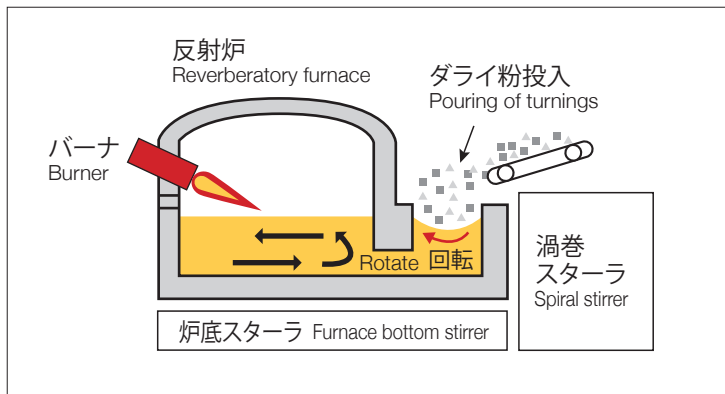


電磁力技術

Electromagnetic Force Technology

溶湯に発生する電磁力により強制攪拌を行い、材料の巻き込み・成分均質化・均温化による歩留まり向上・省エネ、結晶構造の微細化による特性改善などに寄与しています。

Forcible agitation is performed using electromagnetic force generated in molten metal to mix in materials, and achieve the homogenization of components and temperature, thus improving the yield, saving energy, and enhancing characteristics based on refinement of the crystal structure.

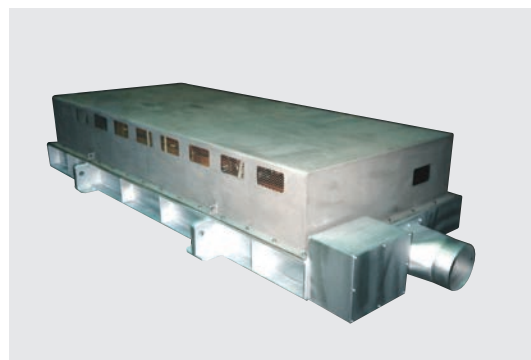


■ 炉底スターラ (EMS) Furnace bottom stirrer (EMS)

- 溶湯との接触部分がない非接触形なのでメンテナンスが非常に簡単です。

The structure without a contact area with molten metal facilitates maintenance.

- 材料の溶解速度を上げて、炉の生産性を高めます。
- The rate of solution of materials can be increased to enhance furnace productivity.



■ 渦巻きスターラ (SMS) Spiral stirrer (SMS)

- アルミニウム廃材、多種の軽量スクラップを非接触で溶湯の渦の中へ効果的に巻き込み、高歩留りが可能です。
- Waste aluminum materials and various types of lightweight scrap are taken into molten metal efficiently without making physical contact, which achieves high yield.

- この技術を鋳造前の溶湯攪拌に応用することで、結晶組織の微細化が可能です。

By applying this technology to the agitation of molten metal prior to forging, the crystal structure can be refined.

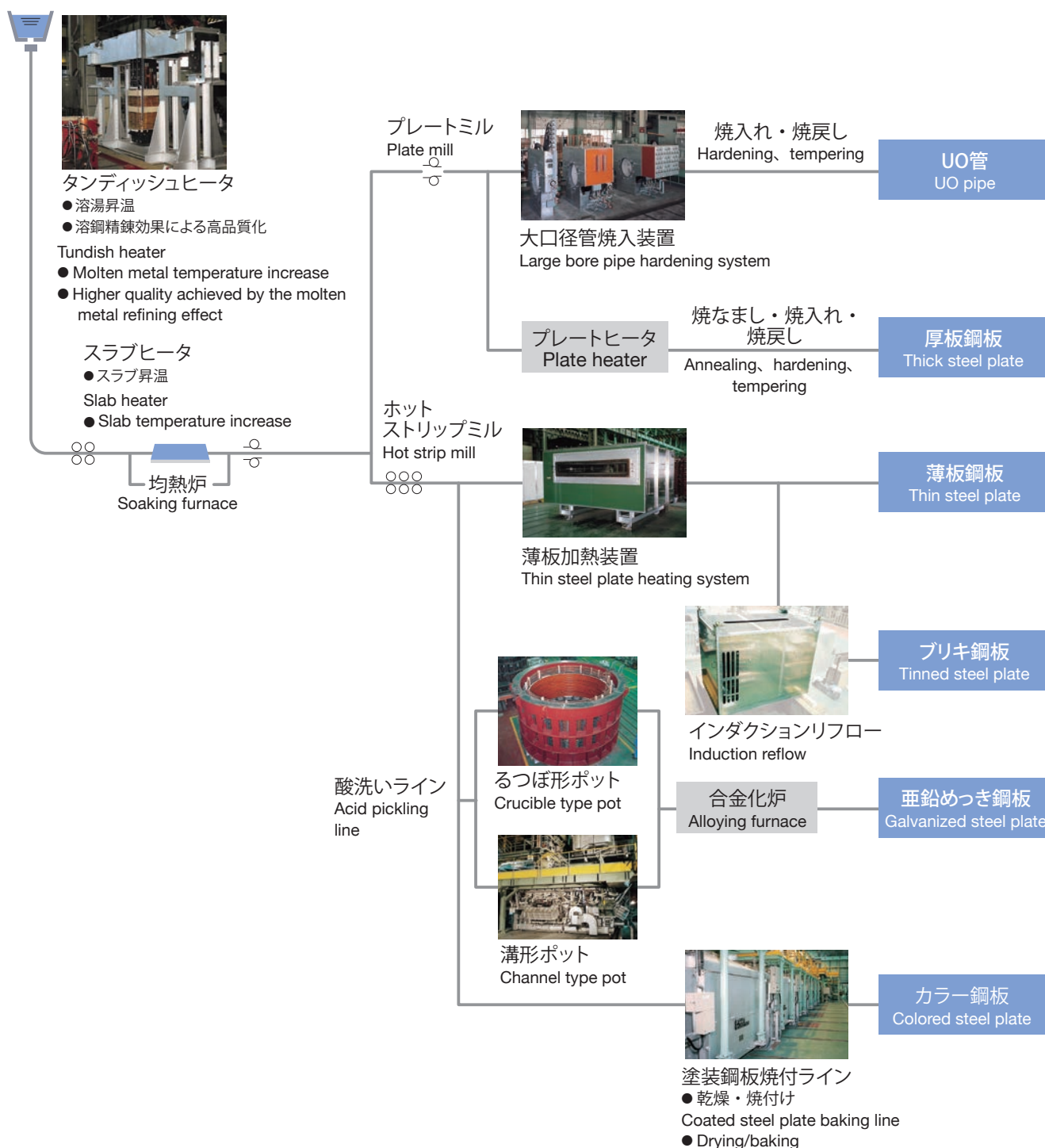


鉄鋼技術

Steel Making Technology

溶鋼から製品化プロセスにおける誘導加熱技術による温度補償・加熱制御は品質向上・省エネ・歩留まり向上だけでなく、新たな製品開発に貢献します。誘導加熱製品とドライブ・計測・制御などの組合せを富士電機グループで取り組んでいます。

Temperature compensation and heating control based on our induction heating technology in the smelting and product manufacturing processes not only improve quality, save energy, and increase yield but also contribute to the development of new products. The Fuji Electric group has been focusing on combining the products manufactured by induction heating with drive, measurement, and control technologies.



電源技術

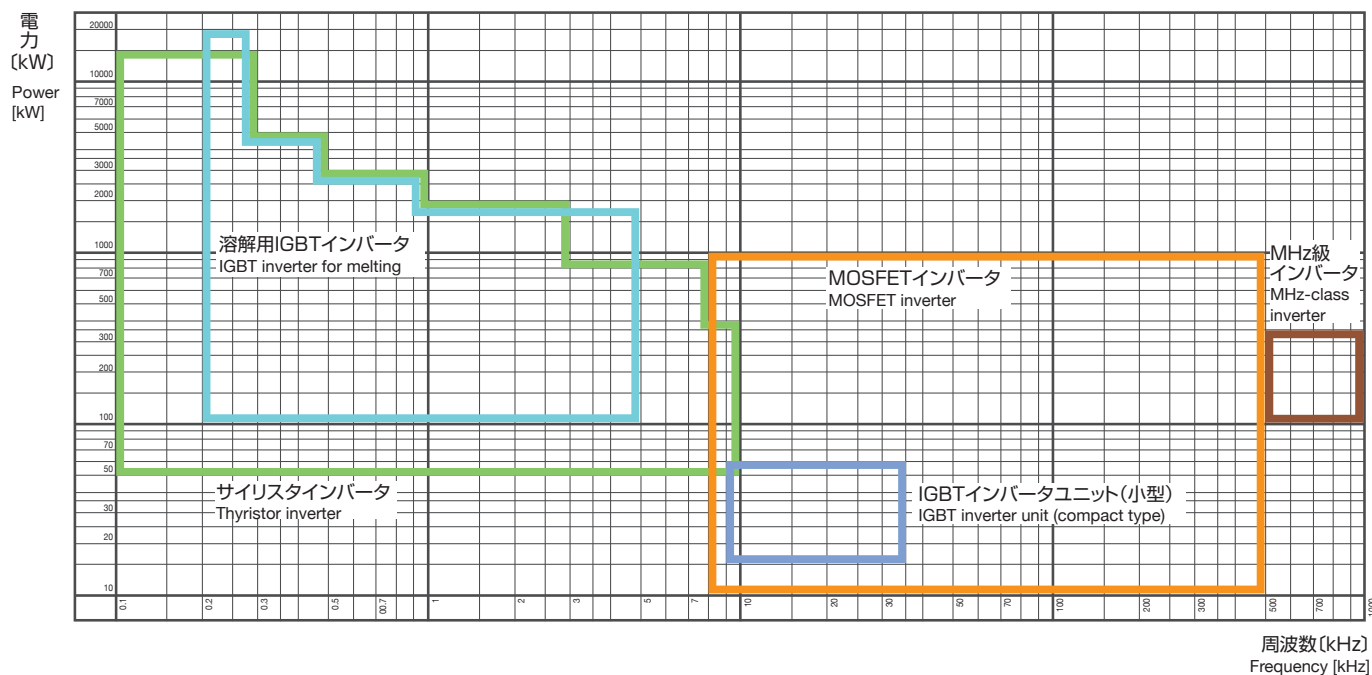
Power Supply Technology

商用周波数からMHzまで業界No.1の幅広い周波数範囲を半導体式電源でカバーしていますので、あらゆる溶解・加熱用負荷に対応します。不測の事態に備え保護装置を充実させていますので、安心して使用できます。

Our semiconductor type power supplies cover the industry's widest frequency band; ranging from commercial frequency to figures in the order of MHz, thus satisfying various melting/heating loads. In addition, our substantial protective devices ensure safety when faced with unanticipated circumstances.

溶解・加熱用電源適用範囲

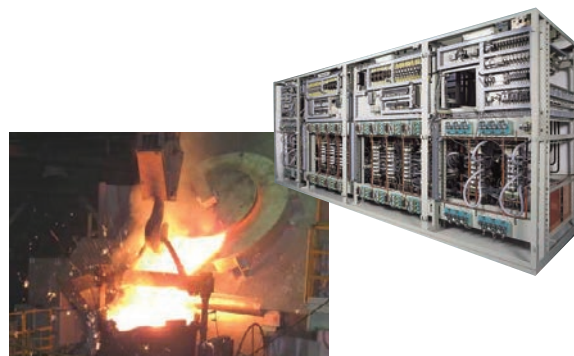
Range of power supplies for melting and heating



サイリスタインバータ Thyristor inverter

標準仕様 Standard specification

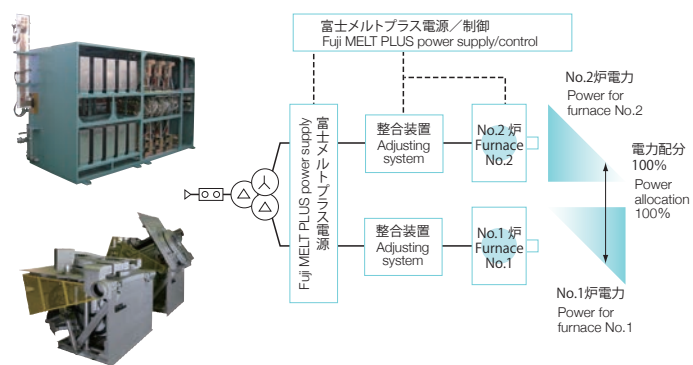
電力	Power	60~13,000kW
周波数	Frequency	50Hz~10kHz
用途	Application	誘導炉、ビレットヒータ、各種加熱装置 Induction furnace, Billet heater, Various heating systems



■ 溶解用IGBTインバータ IGBT inverter for melting

標準仕様 Standard specification

電力	Power	750~20,000kW
周波数	Frequency	50~500Hz
用途	Application	誘導炉 (複数炉同時運転)、 ビレットヒータ Induction furnace (simultaneous multiple furnace operation), Billet heater



■ IGBTインバータユニット(小型) IGBT inverter unit (compact type)

標準仕様 Standard specification

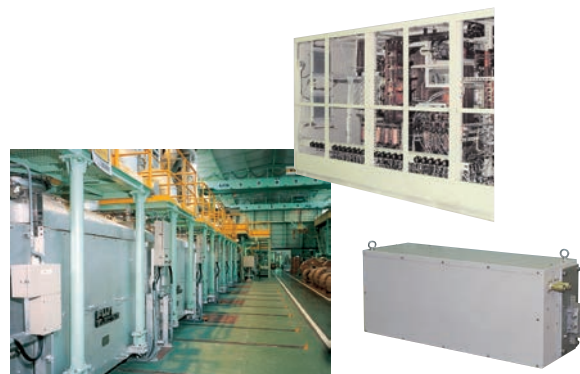
電力	Power	20~50kW
周波数	Frequency	10~30kHz
用途	Application	小型溶解装置 (半導体、ガラスなど)、フィルム蒸着用 Compact melting system (semiconductors, glass, etc.) for film deposition



■ MOSFETインバータ MOSFET inverter

標準仕様 Standard specification

電力	Power	20~75kW (ユニットタイプ) ,100~1,000kW 20 to 75kW (Unit type), 100 to 1,000kW
周波数	Frequency	50~500kHz
用途	Application	電縫管溶接機、薄板加熱装置、各種加熱装置、 浮揚溶解装置 Electric resistance tube welder, thin plate heating system, various heating systems, levitation melting system



■ MHz級インバータ MHz-class inverter

標準仕様 Standard specification

電力	Power	100~300kW
周波数	Frequency	500kHz~1MHz
用途	Application	電縫管溶接機、極薄板加熱装置、 非鉄薄板加熱装置、線材加熱装置 Electric resistance tube welder, ultra-thin plate heating system, nonferrous plate heating system, wire rod heating system



応用技術

Applied technology

当社は常に最先端技術を取り入れた製品を開発し、様々な分野に提供しています。

生産プロセスでお困りのこと、生産プロセスの革新に関するご相談がありましたら、ご一報お待ちしております。

We have been and will keep developing products integrating advanced technologies, providing them for various fields.

We are happy to receive your feedback with your concerns and updating of your production process.

■ 高融点合金溶製・鑄造装置 High melting point alloy smelting/forging system

- 浮揚溶解技術の特長を生かした溶製と精密鑄造を一体化しました。

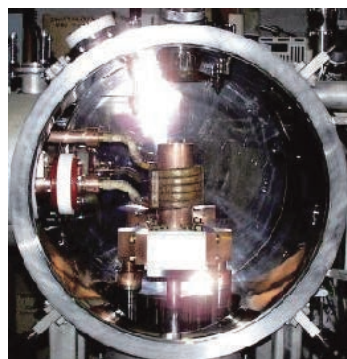
Melting technology capitalizing on levitation melting has been integrated with precision forging.



■ 高融点金属溶解装置 High melting point metal melting unit

- 水冷るつばを用いた浮揚溶解技術により、高融点・高純度・高比重差の合金溶製が可能です。

Levitation melting technology using a water-cooled crucible facilitates the production of alloys with high melting points, purities and specific gravity differences.



■ 蒸着用電源 Power supply for deposition

- 半導体式により、MGに比べて高効率・省エネ(約20%)を実現しました。

Higher efficiency and energy saving (by approximately 20% higher than MG) achieved by the semiconductor system

- 保守・点検が容易(メンテナンス費低減)です。

Easy maintenance and inspection (lower maintenance cost)

- グラフィックパネル自動化の採用により、操作性向上・効率化を実現しました。

Adoption of automatic graphic panel improves operability and ensures higher efficiency.



IH化による改善事例

Example of improvements achieved by induction heating (IH)

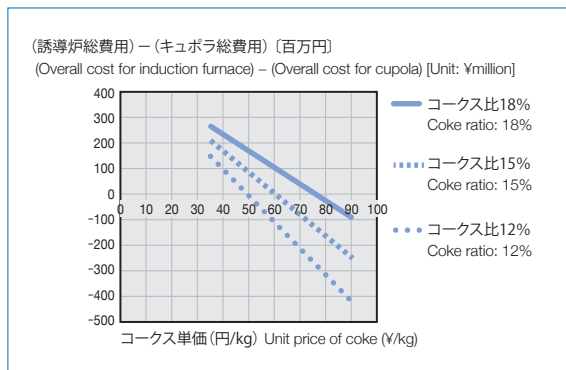
溶解の熱源転換 …… キュボラ ⇒ 誘導炉へ

Change of heat source for melting: Cupola ⇒ Induction furnace

- | | | | |
|--------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| ■ ランニングコスト低減 | Reduced running costs | ■ CO ₂ 排出低減 | Reduced CO ₂ emissions |
| ■ 高品質化 | Higher quality | ■ 後継者対策 | Ease of finding successors |
| ■ 環境改善 | Improved environment | | |

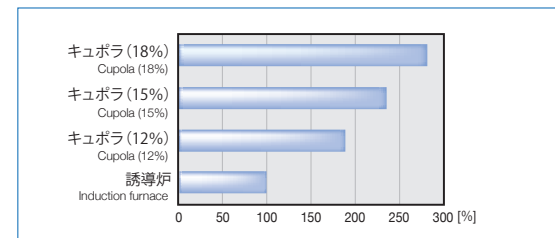
コークス単価と損益分岐点例

Unit price of coke and break-even point (example)



運転時CO₂排出割合例 (12年間)

Example of percentage of CO₂ emissions (for 12 years)



年間出湯量 4480t/年、2tキュボラ×2基交互溶解⇒

高周波炉 1t/600kW×2式同時溶解での試算例

出典：誘導炉導入による環境・経済効果とLCA手法の開発筑波大学大学院システム情報工学研究科エネルギーリスク研究室(2008年3月)

Annual pouring volume: 4480t/year, Example of estimation: the case in which alternate melting with two 2t cupolas was replaced by simultaneous melting with two 1t/600 kW high-frequency furnaces

Source: Environmental/economical effect of the introduction of induction furnaces and development of the life cycle assessment (LCA) method Graduate School of the University of Tsukuba, Faculty of Systems and Information Engineering, Department of Risk Engineering (March 2008)

加熱の熱源転換 …… 燃焼炉⇒インライン式誘導加熱へ

Change of heat source for heating: Combustion furnace ⇒ Inline induction furnace

- 生産能力の20～30%アップ
20% to 30% increase in production capacity
- 熱処理のコスト約1/3へ削減
Heat treatment cost reduced to 1/3
- 短時間部分加熱による熱歪低減
Reduced thermal strain achieved by short-term local heating
- 省スペース化
Space saving

転換例：ステンレスの固溶化処理

Example of change: Solution treatment of stainless steel



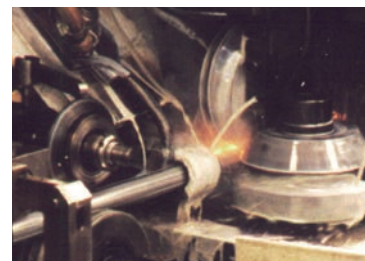
高周波電源装置更新 … 真空管⇒ 半導体式へ

Updating of a high-frequency power supply system: Vacuum tubes ⇒ Semiconductors

- 約30%の電気代削減
Electricity expense reduced by approximately 30%
- メンテナンス費の削減 (真空管の交換が不要)
Reduced maintenance cost (no need to replace vacuum tubes)
- 真空管供給不安の解消
Eliminated anxiety about vacuum tube supply

更新例：電縫管溶接電源

Example of updating: Electric resistance tube welding power supply

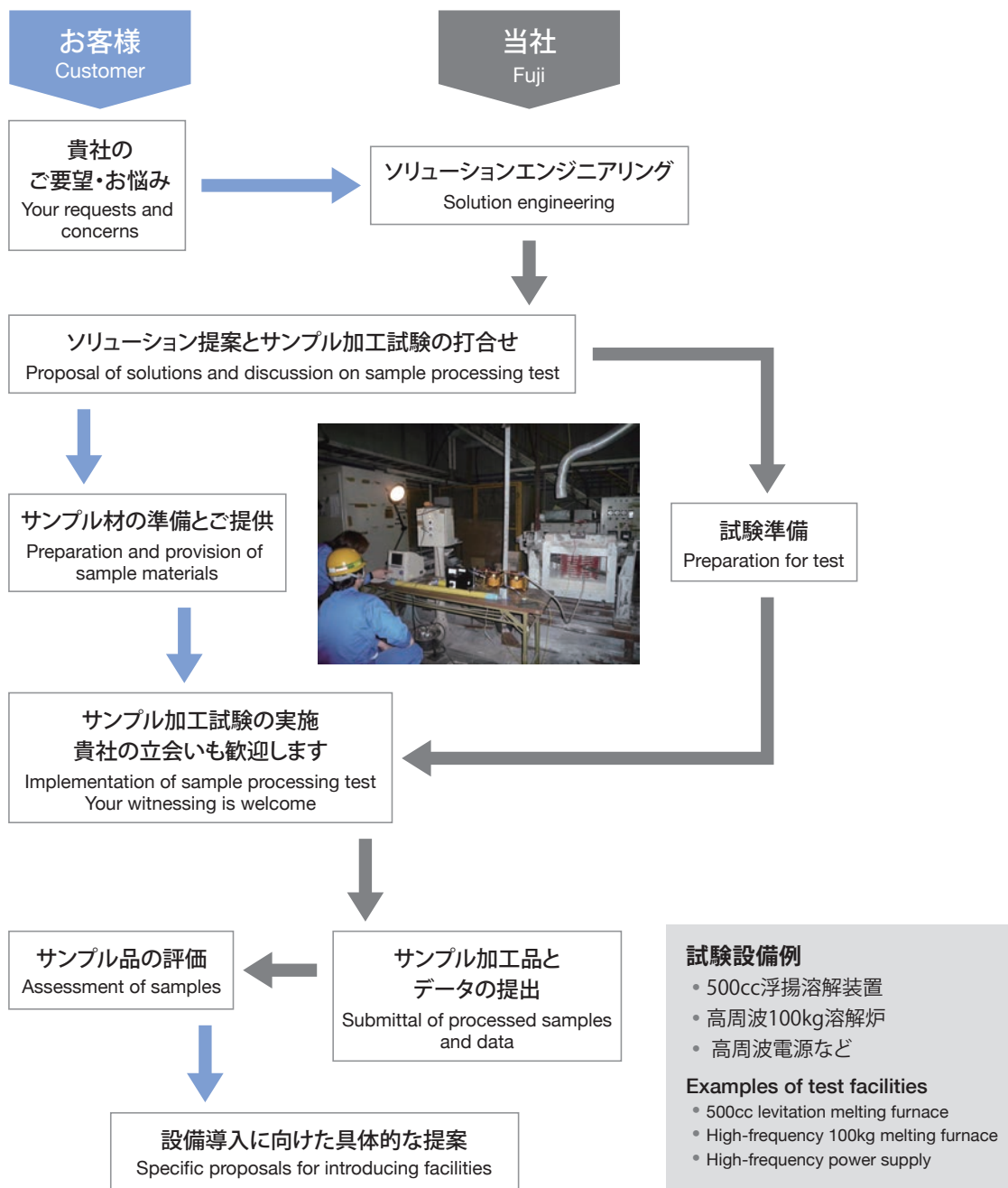


試溶解・加熱試験

Test Melting and Heating Test

当社では、お客様のご要望に応じて、各種試溶解・加熱試験ができるように準備しています。こんなことできないかな？
してみたいな？というご要望がございましたら、お気軽にお問合せください。

We are ready to perform various test melting and heating tests. Contact us with any requests or if there is something you would like to do.



貴社からのご連絡をお待ちしております We look forward to hearing from you soon

アフターサービス体制

After-sale Service System

お客様が当社納入の設備を安全に安心してスムーズにご使用いただくためには、未然にトラブルを防止し、設備を最良のコンディションに保つ事が重要です。

一旦トラブルがおきてしまうと、復旧のために時間と費用がかかるだけでなく、突然の設備停止を強いられ、取引先までに多くの損失が発生します。

このようなトラブルの発生を未然に防ぐためにも、保全計画のPDCAを回し、最適な設備保全を実現していただくようおすすめしています。

To ensure your equipment can be used safely, smoothly, and with peace of mind, it is essential to prevent potential trouble and constantly maintain the equipment in optimum condition.

Once trouble occurs, not only are time and cost required for restoration but sudden equipment suspension may also result in significant losses to your business partners.

To prevent the occurrence of such trouble, we recommend that you perform plan-do-check-act (PDCA) activities for maintenance, thus achieving optimum equipment maintenance status.

アフターサービス体制

After-sale service system

PLAN

お客様の設備状況に適した
長期保全計画の作成

Creation of a long-term
maintenance plan ideal for the
status of your facilities

DO

- 予防保全の実施
- 日常のメンテナンス
- 予備品の購入
- Implementation of preventive maintenance
- Daily maintenance
- Purchasing of spare parts

ACTION

点検・診断結果によって
改善個所の検討・計画の見直し

Study of the areas to be improved and
review of the plan according to the
results of inspection and diagnosis

CHECK

点検・設備診断

Inspection /
facility diagnosis

工業電熱製品アフターサービスの主なメニュー

Major after-sale service menu for industrial electric heating products

コイル絶縁更新 / 炉体修理 /
インダクタオーバーホール

Repair and replacement of furnace
coil insulator
Repair of furnace body
Overhaul of inductor



各種現地出張修理 /
コイル交換 / セメント更新

Various on-site repair services
Coil replacement
Cement repair



予備コイル・予備炉体新製
予備インダクタ新製

Spare coil, new manufacture
of spare furnace and spare
inductor



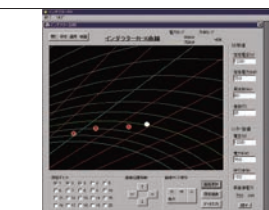
溝形炉ライニング工事

Relining work of channel-
type furnace



保持炉・注湯炉の
ライニング時期診断

Diagnosis of relining timing
of retaining/pouring furnace



設備の改善更新提案

Facility improvement/update
proposal

設備定期点検サービス

Periodic facility inspection service



各種部品販売

予備品・消耗品など

Sale of various parts such as
spare parts and consumables



誘導加熱の原理 Principle of Induction Heating

■ 原理 Operating principle

コイル状の導体の中で棒磁石を出し入れすると、磁界が変化し、導体に電流が流れます。これを電磁誘導作用といいます。この電磁誘導作用を利用し、磁石の代わりにコイルに交流電流を流し、交番磁束を印加することによって被加熱物体中に渦電流が発生します。この渦電流損によるジュール熱で加熱するのが誘導加熱です。この場合渦電流は物体のコイルに近接している部分に誘導され、また電流は物体の表面に近いほど強く、内部に行くにつれ弱くなる特長があります。被加熱物の必要な部分にエネルギーを集中させ、効率的に急速に加熱できますから生産性・作業性が向上します。誘導加熱には金属を溶解するための溶解炉と、温度制御をしながら求める温度まで加熱する誘導加熱装置があります。使用する周波数により、低周波炉(商用周波数：50/60Hz)とそれ以上の高周波炉があり、用途によって選択します。また周波数とは別に磁界の強さを加減することによって投入されるエネルギーの量が変わり、加熱速度を自由に調整することができます。このように誘導加熱では加熱条件をニーズに応じ、自由に選択できることが大きな特長です。

Inserting and removing a bar magnet from a spiral conductor changes the magnetic field, causing a current to flow through the conductor. This is referred to as electromagnetic induction.

By using this phenomenon, and by applying an alternating current to a coil instead of inserting and removing a magnet in order to produce an alternating magnetic flux, an eddy current is produced in an object to be heated. The heating by Joule heat attributable to this eddy current loss is called induction heating. In this case, the eddy current is induced in that part of the object which is adjacent to the coil, and the current intensity is highest on the surface layer and decreases toward the inside.

The energy can be concentrated on the part of the object to be heated for efficient and quick heating, thereby improving the productivity and workability.

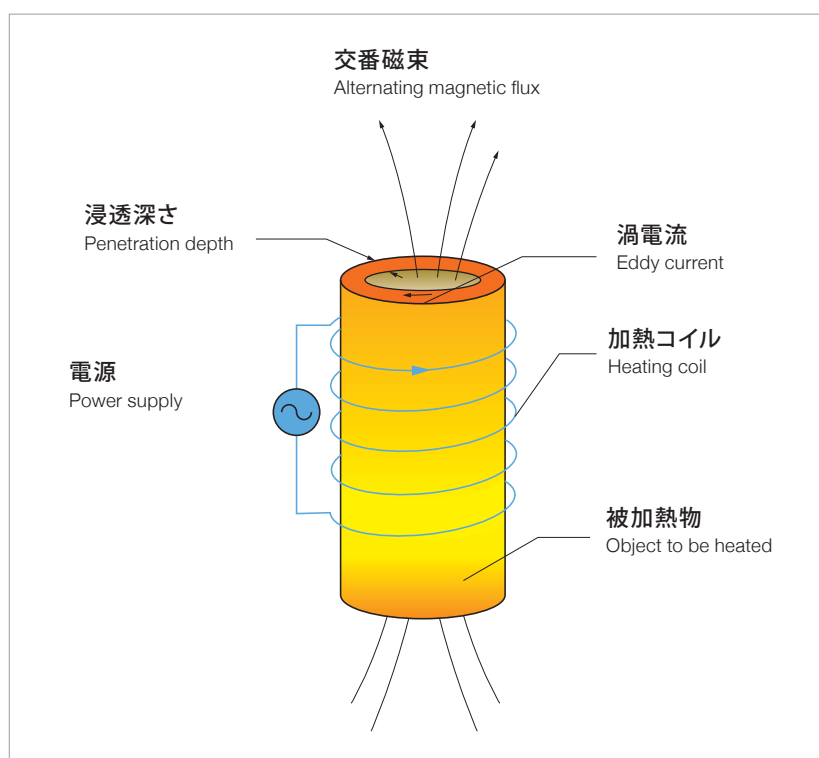
Induction heating is used for metal melting furnaces, as well as for induction heating equipment for raising the temperature of an object to a desired level while controlling it.

According to the frequency used, there is the lowfrequency furnace (commercial frequency 50/60Hz) and the highfrequency furnace, the selection of which depends on the application. Besides the frequency, changing the magnetic field intensity can vary the charged energy quantity and hence the heating rate.

Thus, induction heating enables the heating conditions to be flexibly changed to suit particular requirements.

誘導加熱の原理図

Operating principle of induction heating



■ 用途 Applications

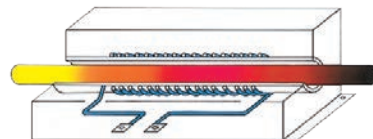
溶解鍛造 Casting

- 溶解 Melting
- 保温 Holding



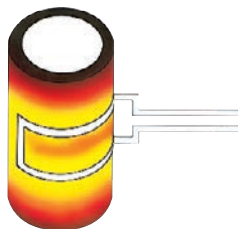
加熱鍛造 Forging

- 鍛造 Forging
- 圧延成形 Roll forming
- 押し出し／引伸ばし Extrusion
- 乾燥 Drying



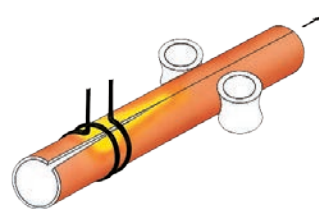
熱処理 Heat treatment

- 焼入れ Hardening
- 焼戻し Tempering
- 焼なまし Annealing



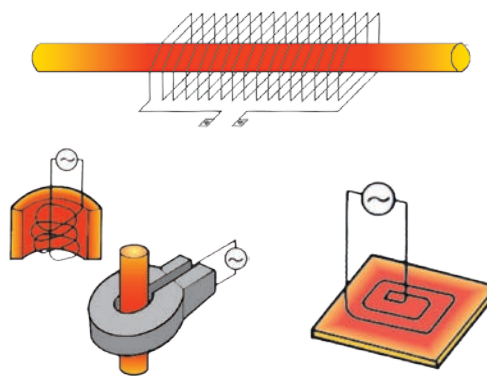
接合 Bonding

- 溶接 Welding
- ろう付け Brazing
- はんだ付け Soldering



加熱一般 Heating in general

- 乾燥 Drying
- 流体加熱 Liquid heating
- 焼きばめ Shrink fitting
- ロール加熱 Roll heating
- 内面加熱 Internal heating :
ボアヒータ、ジャケットヒータ、高周波焼入れ
Bore heater, Jacket heater, High-frequency baking
- 平面加熱 Plane heating :
加熱釜、ジャケットプレートヒータ、電磁調理器
Heating oven, Jacket plate heater, Electromagnetic cooker



■ データ-1 Data-1

● 電流浸透深さ

渦電流は被加熱物の表面に近いほど大きく、内部に行くにつれ指数関数的に小さくなります。これを表皮効果といいます。渦電流が表面における電流密度の0.368倍に減少した点までの表面からの深さを電流の浸透深さ δ と呼び、誘導加熱を利用する上で非常に重要な数値です。

電流浸透深さは次式で表されます。

同式を用いて算出した各種材質の浸透深さ δ の例を下表に示します。

$$\delta = 5.03 \sqrt{\rho / \mu f} \text{ (cm)}$$

ここで

ρ : 金属の固有抵抗 ($\mu\Omega\text{-cm}$)

鋼は常温で20、1,000℃で128

銅は常温で3、450℃で8です。

μ : 比透磁率、非磁性材の場合は1です。

磁性材の場合は磁界の強さで変化し、鋼材の加熱では20 ~1,000の間です。

f : 周波数(Hz)

● Current penetration depth

The eddy current is intense on the surface layer of the object to be heated, and attenuates exponentially toward the inside. This is called the skin effect. The depth from the surface at which the eddy current density is 0.368 times that on the surface is referred to as current penetration depth d, and is important when using induction heating. Current penetration depth d is expressed by the following formula. The lower table gives examples of penetration depth d for different materials calculated by the formula.

$$d = 5.03 \sqrt{\rho / \mu f} \text{ (cm)}$$

where,

ρ : Specific resistance of metal ($\mu\Omega\text{-cm}$).

For steel, 20 at normal temperature and 128 at 1,000°C.

For copper, 3 at normal temperature and 8 at 450°C.

μ : Relative permeability. 1 for nonmagnetic material.

In case of a magnetic material, it changes with the magnetic field intensity. For steel, it is between 20 and 1,000 in heating.

f: Frequency (Hz)

各種材質の浸透深さ

Current penetration depth of different materials

条件 Condition			電流の浸透深さ δ Current penetration δ [cm]					
周波数 Frequency		[Hz]	50	500	1000	3000	10000	20000
炭素鋼 Carbon steel	磁性域 Magnetic zone	21°C	0.64	0.14	0.084	0.042	0.019	0.0025
		300°C	0.86	0.19	0.122	0.058	0.026	0.0035
		600°C	1.30	0.29	0.180	0.090	0.040	0.0054
	非磁性域 Non-magnetic zone	800°C	7.46	2.37	1.67	0.96	0.53	0.12
		1250°C	7.98	2.53	1.79	1.03	0.56	0.13
		溶解時 Melting (1550°C)	9.00	2.85	2.01	1.16	0.64	0.14
銅 Copper	溶解時 Melting (1200°C)	850°C	1.95	0.62	0.44	0.25	0.14	0.03
			3.30	1.04	0.74	0.43	0.23	0.05
真鍮銅 (65%) Brass, copper	溶解時 Melting (1000°C)	650°C	2.52	0.79	0.56	0.33	0.18	0.04
			4.57	1.44	1.02	0.59	0.32	0.07
アルミニウム Aluminum	溶解時 Melting (750°C)	450°C	2.01	0.64	0.45	0.26	0.14	0.03
			3.70	1.17	0.83	0.48	0.26	0.06

■ データ-2 Data-2

● 周波数の選定

誘導加熱では周波数の選定は極めて大切であり、加熱効率ひいてはその経済性に大きな影響を与えます。

エネルギーを効率良く物体に吸収させるためには、被加熱物が小さいほど高い周波数が、また被加熱物が大きい場合には比較的低い周波数が必要となります。

表面焼き入れの場合は、周波数を高くして電流浸透深さ δ を浅くして、さらに加熱時間を短くすることによって表面に発熱部を集中させてからすぐに冷却する必要があります。

一般的に表面の電力密度は $1\sim 5\text{ kW/cm}^2$ とします。これに対して全体の均熱加熱の場合は周波数を低くして、 δ を被加熱物の直径の $1/3\sim 1/7$ 程度とし、加熱時間も比較的長くとります。電力密度は、 $0.01\sim 1\text{ kW/cm}^2$ 程度がよく使用されます。金属棒の全体加熱を行う場合は、電流の浸透深さ δ (cm)と金属棒の半径 a (cm)との関係を通常 $a/\delta > 2.25$ となるように周波数を選定することが望ましいです。

この周波数を最低許容周波数 f_c といい、次の式で表されます。

$$f_c = 128 \rho / \mu a^2 (\text{Hz})$$

下図はビレットヒータで鋼材加熱時の周波数設定の例を示しています。

● How to select the frequency

In induction heating, the selection of frequency is very important as it considerably affects the heating efficiency and running cost.

To allow the energy to be efficiently absorbed by an object to be heated, a higher frequency is required for a smaller object, or a comparatively low frequency for a larger object.

For surface hardening, the object must be cooled immediately after raising the frequency to decrease current penetration depth δ and then shortening the heating time to concentrate the heating part on the surface layer.

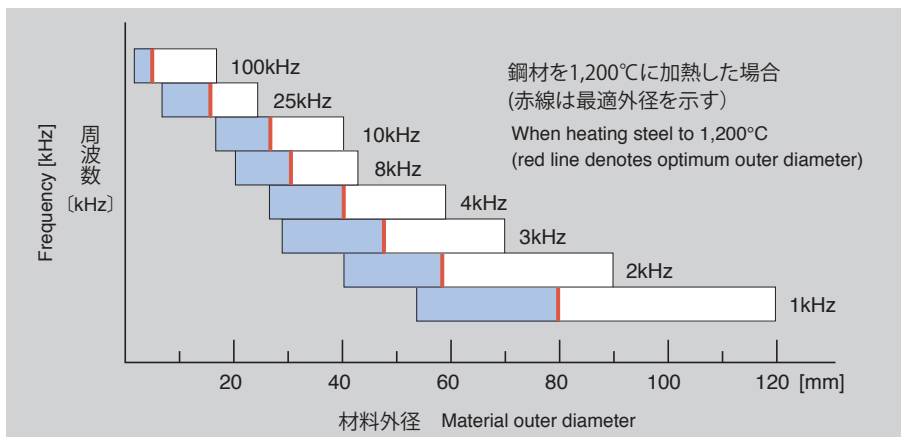
Generally, the surface power density is 1 to 5 kW/cm^2 . However, if the whole object is to be heated, the frequency must be lowered to make δ $1/3$ to $1/7$ of the diameter of the object, and the heating time must be comparatively long: a power density of 0.01 to 1 kW/cm^2 is often used. When heating an entire metal bar, the frequency should be selected so that the relationship between current penetration depth δ (cm) and metal bar radius a (cm) is $a/\delta > 2.25$.

This frequency is referred to as minimum allowable frequency f_c , and is expressed by:

$$f_c = 128 \rho / \mu a^2 (\text{Hz})$$

The following figure is an example of setting the frequency for heating a steel material by a billet heater.

周波数選定表
Frequency selection



安全に関するご注意

*ご使用の前に、「取扱説明書」や「仕様書」などをよくお読みいただくか、当社またはお買上の販売店にご相談のうえ、正しくご使用ください。
*取扱いは当該分野の専門の技術を有する人が行ってください。

輸出に関してのお願い：本品のうちで、戦略物資(または役務)に該当するものを輸出される場合は、
外国為替および外国貿易管理法に基づく輸出許可が必要です。

 富士電機株式会社

☎(03)5435-7111
〒141-0032 東京都品川区大崎1-11-2
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

 Fuji Electric Co., Ltd.

Gate City Ohsaki, East Tower, 11-2, Osaki 1-chome, Shinagawa-ku,
Tokyo 141-0032, Japan
Phone : (03)5435-7111

Internet address : www.fujielectric.co.jp

本資料の内容は製品改良などのために変更することがありますのでご了承ください。
Information in this catalog is subject to change without notice.

2020-3(C2020a/E1980)5MS Printed in Japan