

明 細 書

発明の名称

マイクロ波加熱装置

技術分野

- 5 本発明は多様な被加熱物を適切な環境の下で、加熱調理するマイクロ波加熱装置に関するものである。

背景技術

- 従来のマイクロ波加熱装置の先行技術としては、特公昭55-51541号公報に記載の食品解凍式調理炉が知られていた。以下、その構成について図23を
10 参照しながら説明する。

- 図23に示すように、従来の食品解凍式調理炉は密閉自在な炉1内の天井2に攪拌器3を備え、その近くにマグネトロン照射部4が配設される。炉1内には着脱自在な食品載置棚5を有し、その下方に食品Aを浸漬することもできる取外し可能な水、油等の液入皿6が配され、さらにその下方にガス、電熱等の加熱器7
15 が設けられる。これらマグネトロン照射部4および液入皿6と加熱器7の組み合わせにより、上方からはマグネトロン照射による加熱、下方からは沸騰水によるスチーム加熱を併用できるものである。

- かかるマグネトロン照射とスチーム加熱を併用する構成により、冷凍食品の加熱に際して、解凍の際に食品の細胞膜の破壊を生じる最大氷結晶生成帯での停滞
20 をなくし、ここをすみやかに通過させることで旨味成分の流出が少なく、解凍むらもない均一な解凍加熱が実現できる。また、水蒸気が発生するので冷凍パン、冷凍ケーキ類の解凍、醗酵焼き上げの全工程のパン、ケーキ加工器としても利用されている。

- また、水蒸気によるスチーム加熱のみならず、多様な冷凍食品の種類に対応してさまざまな加熱調理が可能となる。例えば、液入皿に油を入れてフライやてんぷら類の冷凍調理食品を直接オイル解凍したり、液入皿を外して冷凍パックのままマグネトロン照射と加熱器による熱風加熱（天井の攪拌器で熱風を攪拌する）
25 とを併用したりする構成が開示されている。

しかし、従来のマイクロ波加熱装置では、スチーム加熱時の水蒸気により、加

熱室内の環境が温度約100度、湿度約100%の環境となるため、以下の弊害が生じる。例えば、焼成済みの冷凍パンや油調理済み冷凍てんぷらの解凍では蒸気が食品の表面に付着するためべたついておいしさに欠ける。また、食品の中央と表面での温度ムラがでやすく、もともと含水量の少ない冷凍パンの解凍などではパン生地を傷め、香りや弾力を損ねたり、歯触りが悪くなったり、という問題を生じる。

以下、この問題について詳しく説明する。図24はこのような従来のマイクロ波加熱とスチーム加熱との併用に基づく加熱室内の温度と食品温度の時間推移を示す線図である。冷凍温度(-20℃)からスタートした食品の温度は最大氷結晶生成帯(-1~-5℃)で大きなエネルギーを要するため、若干の時間を経てここを通過する。食品が凍っている間はマイクロ波はあまり効率良くは吸収されず、その代わり食品内部へのマイクロ波の浸透は深く、また熱の伝導も速やかに行われる。このため、食品内の温度は比較的均一である。ここで、スチームを併用することにより、この最大氷結晶生成帯を早く通過させることができるが、加熱室内の温度はスチームにより約100度となり、湿度も約100%となる。

次に、この最大氷結晶生成帯を通過すると、食品内部に溶けた部位とまだ凍ったままの部位が混在し、溶けた部位は凍った部位の数倍~数十倍もの誘電損失を示してマイクロ波を選択的に吸収するため、食品内部に加熱ムラを生じる。特に、スチーム加熱時には、蒸気が食品の表面に付着し、食品のごく表層でマイクロ波により加熱されるため、表面温度がいっそう上昇しやすくなる。すなわち、食品中央の温度が食べごろの適温に達した時には、表面は適温をはるかに超えてしまう。

ここで、食品の適温は当然に食品ごとに異なる。例えば、蒸し料理の場合は、80℃を超えるが、てんぷらは60~70℃が適温であり、熱くしすぎると揚げ種が脱水し、水分を衣に奪われるためまずくなる。パンの適温は常温もしくは体温より若干高い程度の温度であり、温度を上げ過ぎればパン生地を傷め、香りや弾力を損ねたり、歯触りを悪くする。一般に、適温は、少なくとも90度以下の温度となる。

また、食品の適正な湿度も食品ごとに異なる。例えば、パンもてんぷらも食品

の表面がべたついてはおいしくなくなる。

- このように従来のマイクロ波加熱装置では、最大氷結晶生成帯を如何にすみやかに通過させるかにのみに要点が置かれており、食品を最適な環境の下で、加熱調理することは考慮されていなかった。すなわち、加熱室内の温度は、スチーム
- 5 加熱時において、温度約100度、湿度約100%に保持されるため、食品にとって最適な環境で、加熱調理することができなかった。

発明の開示

- 本発明はこのような従来の課題を解消するものである。被加熱物が置かれる環境、例えば、温度、湿度および風の流れ等を適切に制御する手段を導入し、多様な被加熱物を良好に加熱調理することを目的とする。
- 10

- すなわち、開示された発明では、食品などの被加熱物が置かれる環境を調整する手段を導入し、食品の加熱調理後の適正な温度、水分量などと、加熱室内の環境とを略一致させるよう調整する。このことにより、食品の表面温度と内部温度とがほぼ同一となり、加熱進行中に被加熱物である食品から熱や水分が過剰に奪
- 15 われたり、過剰に供給されることがなくなり、最適な状態の加熱調理が実現できる。

- また、より理想的な加熱を実現させるため、本発明では被加熱物に応じて加熱中のマイクロ波出力を変化させ、被加熱物の温まり方をも制御する。このことで、調整させる加熱室の環境に被加熱物たる食品を同化させ、適温で加熱を終え水分
- 20 の損失も少ない加熱が実現できる。

さらに、本発明では加熱室の環境を直接観測しながら、この結果を制御部にフィードバックする。これにより、加熱室の環境を確実に制御することができる。

図面の簡単な説明

- 図1は、第1の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御法を示す図である。
- 25

図2は、本発明のマイクロ波加熱装置の外観図である。

図3は、本発明の第1の実施例のマイクロ波加熱装置の正面断面図である。

図4は、第1の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境を制御する構成を示すブロック図である。

図 5 は、第 2 の実施例のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 6 は、第 3 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御法を示す図である。

図 7 は、第 4 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御法
5 を示す図である。

図 8 は、第 3 または第 4 の実施例のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 9 は、第 3 または第 4 の実施例の他のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 10 は、第 3 または第 4 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の
環境を制御する構成を示すブロック図である。

10 図 11 は、第 5 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御
法を示す図である。

図 12 は、第 6 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御
法を示す図である。

図 13 は、第 7 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制御
15 法を示す図である。

図 14 は、第 8 の実施例のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 15 は、第 9 の実施例のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 16 は、第 10 の実施例のマイクロ波加熱室の正面断面図である。

図 17 は、第 10 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制
20 御法を示す図である。

図 18 は、第 11 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制
御法を示す図である。

図 19 は、第 12 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制
御法を示す図である。

25 図 20 は、第 13 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制
御法を示す図である。

図 21 は、第 14 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の加熱室内の環境の制
御法を示す図である。

図 22 は、第 15 の実施例におけるマイクロ波加熱装置の正面断面図である。

図 2 3 は、従来の食品解凍式調理炉の加熱室の正面断面図である。

図 2 4 は、従来の食品解凍式調理炉の加熱室内の環境の制御法を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

(実施例 1)

5 以下、本発明の第 1 の実施例を図面を参照しながら説明する。

図 2 は、本発明の食品加熱方法に係わる加熱装置の外観図である。本体 8 の前面には扉体 9 が開閉自在に軸支され、食品が収容される加熱室の開口を閉塞している。操作盤 1 0 には入力手段である加熱指令キー 1 1 が配され、一桁あるいは数桁で入力されるコードが食品の種類や分量、保存温度（冷凍かチルド保存か）、
10 加熱完了温度など、加熱法に影響を与える因子と対応づけされており、これを後述する制御部に指令する。本体の右側面には給水タンク 1 2 が着脱自在に配設される。

図 3 は、加熱室の正面断面図であり、加熱室 1 3 にはマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段であるマグネトロン 1 4 と、蒸気発生手段となる蒸気発生器 1
15 5 とが結合されている。マグネトロンと、上記発生器は、制御手段となる制御部 2 1 により制御される。制御部の動作については後述する。蒸気発生器 1 5 はボイラ 1 6 と超音波振動子を有する霧化器 1 7、調温ヒータ 1 8 から構成され、給水タンク 1 2 よりボイラ 1 6 に給水される水を霧化器 1 7 が細かな水滴にして
20 放散させ、調温ヒータ 1 8 がこの霧化された微小な水滴を加熱して所望の温度に上昇せしめる。霧化器 1 7 の作動制御と調温ヒータ 1 8 の入力制御によって蒸気発生器 1 5 は所望の温度、所望の湿度を備えた空気を作り出すことができる。食品 1 9 は多様の小孔もしくはスリットを有する載置皿 2 0 上に載置される。

図 4 は、制御システム構成を示すブロック図であり、環境を制御する手段となる制御部 2 1 は、加熱指令キー 1 1 から入力された加熱指令コードを解読し、記憶手段であるメモリ 2 2 から指定された加熱条件を読み出す。加熱条件としては
25 蒸気発生器 1 5 の制御データ、すなわち霧化器 1 7 の作動制御と調温ヒータ 1 8 の入力制御を示すデータと、マグネトロン 1 4 への給電条件を示すデータとが記憶されている。これらのデータは各々のブロックの時系列データの制御値であってもよいし、ある数式であっても構わない。数式の場合には、制御部 2 1 はこ

れを演算して時系列データを得て、この時系列データに則り、霧化器 17 と調温ヒータ 18、マグネトロン 14 への給電を制御して、加熱の進行に応じて加熱室 13 内に導入される蒸気の温度と湿度、食品の温度をあらかじめ定められたように制御する。

- 5 図 1 の (a) は本発明における加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示す線図であり、(b) は加熱室内の湿度の推移を、(c) ではマイクロ波出力の状態をそれぞれ表している。本発明の特徴は、蒸気発生手段を動作させた場合においても、加熱室内の環境が、スチーム加熱時においても温度約 100 度、湿度約 100 % で一定にはならないことである。すなわち、制御部 21 が、マイクロ波出力
10 および蒸気発生器を制御するので、常に、最適な環境で、食品を調理することが可能となる。

- 具体的な加熱方法について、以下に説明する。(a) において冷凍温度 (-20℃) からスタートした食品の温度は最大氷結晶生成帯 (-1 ~ -5℃) を若干の時間を経て通過する(時点 A)。加熱の開始からこの時点 A までは、食品はマ
15 イクロ波をわずかししか吸収せず、また食品内部での熱伝導も良好なので、(c) に示すようにマイクロ波出力は前半には全出力で凍結した食品に照射され、食品が部分的に溶け始める後半には適宜低減される。この解凍の期間は加熱室内の温度は室温かもしくは若干高めに維持され、湿度も(b)に示すように常湿もしくは若干高めに調整される。すなわち、解凍は食品の凍結時には特に深くまで浸透
20 するマイクロ波加熱によりおもに行い、蒸気は抑制しておく。

- 次に、時点 A を過ぎると、溶けた部位と未解凍の部位を混在したまま、食品は急激にマイクロ波を吸収するようになる。既述したように溶けた部位(水分)は凍った部位の数倍~数十倍もの誘電損失を示すため、(c) に示すようにマイクロ波出力を全出力の数分の一にまで低減する。また、加熱室内の温度および湿度
25 は(a)および(b)に示すようにこの時点 A もしくはその近辺より上昇させていく。ここで、加熱室内の温度は加熱の進行につれて上昇する食品の温度と略一致するよう制御する。ただし、空気は熱容量が小さいので、食品がマイクロ波によりすみやかに加熱されるため、環境は図示したようにわずかに高めに制御すると効率が良い。加熱指令キーから入力されるコードにより制御部は食品の種類や

分量、保存温度（冷凍かチルド保存かなど）、加熱完了温度などに対応する蒸気発生器とマグネトロンの制御データをメモリを検索して読み出すことができるので、これに基づいて刻々と制御を実行する。また、湿度は解凍後、焼きたてのパンが含んでいるべき湿度を考慮して、適正な蒸気を蒸気発生手段から供給する。

- 5 すなわち、従来のマイクロ波加熱装置のように、スチーム加熱時に温度約100度、湿度約100%の環境で、食品の加熱を行うものではない。

かかる制御により、食品と食品の周囲の環境とはその差が微小となり、温度や湿度（水分）の交換が極めて起こりにくくなる。すなわち、食品中央の平均的な温度が適温に達した時、環境がほぼ同じ温度になっているので、食品表層での熱交換も水分の移行も起こりにくいのである。そのため、適温が常温もしくは体温より若干高い程度のパンも、内外の温度差が少ないため、パン生地が傷まず、冷凍直前の焼き立ての香りや弾力を維持し、歯触り良く、出来たてを再生できる。結果として、図1に示すように食品の表面温度と、内部温度とがほぼ等しい状態で加熱調理がすすむこととなる。

- 15 また、加熱室内の湿度も焼きたてのパンが含んでいる水分量を考慮して、適切な湿度に制御されているため、パンの表面がスチームにより過剰に水分を含むこともない。

さらに、てんぶらの場合には、内部の揚げ種が60～70℃に達した時、衣もほぼ同様の温度にすることができるので、揚げ種は水分を衣に奪われることなく、ジューシーなまま調理できる。

なお、本実施例において、パンもてんぶらも食品の表面は加熱直後はわずかに蒸気の影響でしっとりしているが、加熱後に食卓に運ぶまでの数分の間にカラッと仕上がる。実験を繰り返し行なったが、加熱後、数分経過するとマイクロ波のみで加熱したものよりもカラッと仕上がった。これは、加熱室から取り出した途端に、食品は乾燥した低い温度の室内に移動させられることで熱および水分を失うことになり、この損失するわずかな水分をあらかじめ食品の表面に与えておくことで、数分後により出来たてに近づくのだと推定される。一方、マイクロ波のみの加熱では加熱後に時間が経過するほどに衣は水っぽくなっていった。これは揚げ種の方が衣よりも温度が高く、揚げ種の水分が衣に移行するため衣は水っぽく

なり、揚げ種は脱水が進むためと思われる。

(実施例 2)

図 5 は、第 2 の実施例を示す加熱室の正面断面図である。第 1 の実施例では、
入力手段より入力された加熱方法に従い、記憶手段の中にあらかじめ定められた
5 加熱条件に則り、加熱を進める構成を示したが、加熱室の環境を計測し、蒸気発
生器への給電をフィードバックする検知手段を設けた方がより正確に、加熱状態
での食品の環境を精度よく制御できる。すなわち、加熱室 13 には環境検知手段
である温度センサ 23 と、湿度センサ 24 が取り付けられている。そして加熱室
13 内の温度と湿度を検出して、制御部 21 へ入力する。制御部はかかるデータ
10 に基づいて加熱室内の環境を正確に把握することができ、あらかじめ定めた状態
通りに制御できているのか、これからずれているのかが判る。加熱室内の環境が
設定よりもずれていれば、蒸気発生器 15 への通電を変化させて所定の環境に戻
るよう制御する。

なお、本実施例のように温度と湿度の両者を直接検出すれば確実であるが、湿
15 度の発生量は蒸気発生器への通電入力でおおよそ把握することができるので、少
なくとも加熱室の温度を検出することで、加熱室の環境をおおよそ監視すること
ができる。

(実施例 3)

次に、送風手段を備えている実施例を説明する。図 8 に送風手段を備えた構成
20 例を示す。送風手段である送風ファン 25 がマグネトロン 14 などの部品を冷却
した後、エアーガイド 26 に導かれた所定の風量を加熱室 13 内に導入する。そ
してこの換気風は加熱室内の蒸気のムラを攪拌した後、排気ガイド 27 を経て過
剰な蒸気を器体の一部に設けた排気口 28 から本体外へ排出する。

このように送風ファン 25 は蒸気発生器 15 で発生された所望の温度、所望の
25 湿度を備えた空気に外気を混ぜ合わせるにより、さらにすみやかにさらに広
範囲に加熱室内の環境を調整することができる。また、加熱室内の風の流れが食
品の表面の乾燥具合を制御しやすくする。被加熱物である食品 19 は多数の小孔
もしくはスリットを有する載置皿 20 上に載置される。

図 9 は他の実施例を示す加熱室の正面断面図である。加熱室 13 には図 8 の実

施例の送風手段である送風ファンに代わって、循環ファン 29 が配置されている。循環ファン 29 は図 8 の実施例の送風ファンのように調湿・調湿された蒸気発生器 15 から排出される空気の温度や湿度をより幅広くすみやかに変化させることはできないが、逆にいったん調整された加熱室 13 内の温度と湿度とを変化させることなく、加熱室内の空気をかき混ぜることによって温度ムラや湿度ムラを改善することができる。また、その風速や風量を制御することで食品の表面の乾燥具合を制御しやすくする。

図 10 は制御システム構成を示すブロック図であり、制御部 21 は加熱指令キー 11 から入力された加熱指令コードを解読し、記憶手段であるメモリ 22 から指定された加熱条件を読み出す。加熱条件としては蒸気発生器 15 の制御データすなわち霧化器 17 の作動制御と温調ヒータ 18 の入力制御を示すデータとマグネトロン 14 への給電条件を示すデータおよび送風手段である送風ファン 25 の制御データが記憶されている。これらのデータは時系列的な各々のブロックの制御値であってもよいし、ある数式であっても構わない。制御部 21 はこの蓄えられた時系列データに則るか、もしくはある数式を演算して得た時系列データに則り、霧化器 17 と温調ヒータ 18、マグネトロン 14 への給電、送風ファン 25 を制御して、加熱の進行に応じて加熱室内に導入される蒸気の温度と湿度、風の流れおよび食品の温度をあらかじめ定められたように制御する。

図 6 はそのような構成における実施例である。(a) は加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示し、(b) は加熱室内の湿度の推移を、(c) はマイクロ波出力の状態を、(d) は送風ファンの作動状態をそれぞれ表している。

(a) において冷凍温度 (-20°C) からスタートした食品の温度は最大氷結晶生成帯 ($-1 \sim -5^{\circ}\text{C}$) を若干の時間を経て通過する (時点 A)。加熱の開始からこの時点 A までは、食品はマイクロ波をわずかしき吸収せず、また食品内部での熱伝導も良好なので、(c) に示すようにマイクロ波出力は前半には全出力で凍結した食品に照射され、食品が部分的に溶け始める後半には適宜、低減される。この解凍の期間は、加熱室内の温度は室温かもしくは若干高めに維持され、湿度も (b) に示すように常湿もしくは若干高めに調整される。すなわち解凍は食品の凍結時には特に深くまで浸透するマイクロ波加熱に主に担わせ蒸気は抑

制する。

次に、時点Aを過ぎると、溶けた部位と未解凍の部位を混在したまま、食品は急激にマイクロ波を吸収するようになる。従来例において説明したように溶けた部位（水分）は凍った部位の数倍～数十倍もの誘電損失を示すため、（c）に示すようにマイクロ波出力は全出力の数分の一にまで低減される。また、加熱室内の温度および湿度は（a）および（b）に示すようにこの時点Aより上昇させていく。ただし加熱室内の温度は加熱の進行につれて上昇する食品の温度と略一致もしくはわずかに高めに制御される。加熱指令キーから入力されるコードにより制御部は食品の種類や分量、保存温度（冷凍かチルド保存かなど）、加熱完了温度などに対応する蒸気発生器とマグネトロンと送風ファンの制御データをメモリから検索して読み出すことができるので、これに基づいて刻々と制御を実行すればよい。

かかる制御により、食品と食品の周囲の環境とはその差が希薄となり、温度や湿度（水分）の交換が極めて起こりにくくなる。すなわち、食品中央の平均的な温度が適温に達した時点Bでは、環境がほぼ同じ温度になっているので、食品表面での熱交換も水分の移行も起こりにくいのである。そのため、適温が常温もしくは体温より若干高い程度のパンも、内外の温度差が少ないため、パン生地が傷まず、冷凍直前の焼き立ての香りや弾力を維持し、歯触り良く、出来たてを再生できる。てんぶらは揚げ種が60～70℃に達した時、衣もほぼ同様の温度であり、ために揚げ種は水分を衣に奪われることなくジューシーなまま再生できる。

またパンやてんぶらの表面は、時点Bではわずかに蒸気の影響でしっとりしている。ここで図（d）に示すように時点B後も送風ファンを作動させ続けると、食品の表面に付着した余分な水分をすみやかに放散させることができる。このため、てんぶらの衣やパンの皮のようにサクサクとした触感が必要な食品では、時点B後に数分間のファンの回転が有用である。

実験を繰り返し行なったが、マイクロ波のみの加熱では加熱後に時間が経過するほどに衣は水っぽくなっていったのに対し、調温・調湿して加熱した食品を時点Bからファンの空回しを数分間行くと、カラッとしたサクサク感を残すことができた。これを「あおぎ効果」という。すなわち、マイクロ波のみでは揚げ種の方

が衣よりも温度が高く、時点Bからは揚げ種の水分が衣に移行するため衣は水っぽくなり、一方で揚げ種は脱水が進んでまずくなると思われる。

本発明ではこの時点B後の『あおぎ効果』の際に失われるごくわずかな水分をあらかじめ食品の表面に与えておくことができ、数分後により出来たてに近づけることもできる。

そして、ブザーなどの完了報知は時点Cで行われる。かかる完了報知の遅延は制御部にタイマーを設けて時点Bからの所定時間を計数してもよいし、加熱室内温度を検出する手段を設けて加熱室の温度がある所定値に下がったのを検出してもよい。このように完了報知を時点Cまで遅らせることで、ユーザーは食品の出来映えに気を使うことなく、この完了報知を信じて安心して食品を取り出せばよい。また、かかる完了報知の遅延により、加熱室内の温度や湿度がわずかながら低下するので、食品を取り出す際により安全である。

(実施例4)

送風手段を備えた構成における制御法の他の実施例を示す。図7に、食品の加熱完了時の温度を超えないように加熱室内の環境を調整する例を示す。

(a)は本発明における加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示す線図であり、(b)は加熱室内の湿度の推移を、(c)はマイクロ波出力の状態を、(d)は送風ファンの作動状態をそれぞれ表している。(a)において加熱の開始からこの時点Aまでは、前記の第1の制御法とまったく同様である。時点Aを過ぎた時、(c)に示すようにマイクロ波出力は全出力の数分の一に低減する構成も同じである。また(d)に示す送風ファンは時点B後に断続運転され、うちわで食品をあおぐように風が食品に間歇的に当たるよう構成しており、既述の『あおぎ効果』をより顕著にさせることが可能である。すなわち、連続で送風した場合には、食品の表面温度にむらができやすいが、間歇的に送風することで食品内の熱伝導により温度分布が一定になるので、温度むらの少ない調理が可能となる。

加熱室内の温度および湿度は(a)および(b)に示すように時点Aより急激に上昇させる。ただし加熱室内の温度は食品の加熱完了時の適温と略一致させられ、実際にはごくわずかに高めに調整される。かかる制御により、食品は解凍が完了する時点Aを経過した後、食品の周囲の環境から温度や湿度を前記の第1の

制御法よりはより大きく受け取るため、効率良く加熱が進む。しかし、環境はその食品の適温を超えてしまうことは決してないので、パンやてんぷらのような低温帯や中温帯、湿気てはならないデリケートな加熱も、既に述べた第1の制御法と同様、上手に再生することができる。

5 なお、本実施例ではセンサなどの検知手段を設けず、入力手段より入力された加熱方法に従い、記憶手段の中にあらかじめ定められた加熱条件に則り、加熱を進める構成を示したが、加熱室の環境を計測し、蒸気発生器への給電をフィードバックする検知手段を設けても良い。かかる検知手段としては温度センサや湿度センサがある。

10 また、加熱完了後（時点C）加熱室の扉を開けて食品を取り出すまでは環境調整のみ続行して温まった食品の出来映えを損なうことなく、保温をすることもできる。

加熱指令キーから入力されるコードにより制御部は食品の種類や分量、開始温度（冷凍かチルド保存かなど）、加熱完了温度などに対応する蒸気発生器とマグネトロン

15 の制御データをメモリを検索して読み出すことができるので、これに基づいて刻々と制御を実行すればよい。

（実施例5）

第5の実施例を以下に説明する。図11は、中心部と端部とが比較的均一に温度上昇する食品の加熱方法を示す線図である。（a）は本発明における加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示す線図であり、（b）は加熱室内の湿度の推移を、（c）ではマイクロ波出力の状態をそれぞれ表している。ここで、加熱完了前の加熱室内の温度、湿度は、食品が適切に調理されるための温度、湿度に制御される。

（a）において冷凍温度（ -20°C ）からスタートした食品の温度は最大氷結晶生成帯（ $-5 \sim -1^{\circ}\text{C}$ ）まではマイクロ波をわずかしき吸収しないので緩やかに温度上昇する。最大氷結晶生成帯ではエネルギーを氷の融解に消費されるため若干の時間を経て通過する（時点A）。次いで時点Aを過ぎると、食品は急激にマイクロ波を吸収するようになり食品温度は急上昇し始める。

（a）、（b）において加熱室の温度・湿度が加熱完了状態に達するのに若干

の時間を要するので環境調整が完了するまでに加熱調理が終了しないよう図(c)におけるマイクロ波出力は食品に応じて調整する。なお食品の中心部と端部の温度上昇が比較的均一な食品では、時点A以後さらに低出力に絞る必要はない。このように加熱室内は加熱完了状態に応じて環境調整されているので食品は

5 スチームの潜熱により表面から程良く温められ同時にマイクロ波により加熱されるので加熱調理終了時には食品の中心と端部がバランス良くスピーディーに温度上昇している。また食品の表面の水分が適度に保たれるのでパスタや米飯が乾燥したりパサついたり逆にベタついたりすることなく良好な加熱調理ができる。

10 (実施例6)

第6の実施例を以下に説明する。図12は、中央部が端部よりも先に温度上昇する食品の加熱方法を示す線図である。(a)は本発明における加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示す線図であり、(b)は加熱室内の湿度の推移を、(c)ではマイクロ波出力の状態をそれぞれ表している。ここで、加熱完了前の加熱室内の温度、湿度は、食品が適切に調理されるための温度、湿度に制御される。

15

冷凍温度(-20℃)からスタートした食品はもし最初からマイクロ波を照射すると食品の中央に電波が浸透して中央から先に温まるので(a)、(b)に示すように加熱室内の温度と湿度を即座に加熱完了状態に調整し、まず環境と食品の温度差により食品表面にスチームを凝縮させ環境の温度により水分の膜を形成させる。このように食品表面を解けかけたところ(時点A)で(c)に示すようにマイクロ波加熱を開始すると、食品の内部に浸透していたマイクロ波の一部が食品の表面層でも吸収されるようになり食品は内外からバランス良く加熱される。そのためシューマイでは口に入れた時は適温だったのに噛んだとき中の方が熱すぎるというようなことがなく全体に均一に温めることができる。さらに表面が乾くことなくしっとりとおいしくしあがり、マイクロ波のみで加熱した場合に比べ加熱前と加熱後の重量減少が少ないことが実験により確認されている。またえびの天ぷらでは衣とえびがほぼ同じ温度にしあがるので衣より中のえびが先に加熱されて脱水して硬くなり、衣にえびの水分が移行してベタついてしまう

20

25

というようなことがなく良好な加熱調理ができる。なお実験によれば、加熱調理

完了直後はマイクロ波のみで加熱したのもよりも衣がしっとりしているのだが、漸次余分な水分は蒸発し食卓に供する頃には天ぷらの衣らしくカラッと仕上がった。

(実施例 7)

- 5 第 7 の実施例を以下に説明する。図 1 3 は端部が中央部よりも先に温度上昇する食品の加熱方法を示す線図である。(a) は本発明における加熱中の加熱室内の温度と食品温度を示す線図であり、(b) は加熱室内の湿度の推移を、(c) 10 ではマイクロ波出力の状態をそれぞれ表している。(a) において冷凍温度(−20℃)からスタートした食品の温度は最大氷結晶生成帯(−1〜−5℃)を若干の時間を経て通過する(時点 A)。

- 加熱の開始からこの時点 A までは、食品はマイクロ波をわずかしき吸収せず、また食品内部へのマイクロ波の浸透も良好なので、(c) に示すようにマイクロ波出力は前半には全出力で凍結した食品に照射させる。この際マイクロ波の食品内部への浸透をよくするためにできるだけ食品の表面が解けたり水分を吸着し 15 ないようにすることが大切である。したがって食品が部分的に溶け始めるまで(時点 A) までは図(b) に示すように加熱室内の温度の調整は控える。すなわち、解凍は食品の凍結時には特に深くまで浸透するマイクロ波加熱に主に任せ、蒸気は抑制する。

- 次いで時点 A を過ぎると、溶けた部位と未解凍の部位を混在したまま、食品は 20 急激にマイクロ波を吸収するようになる。既述したように解けた部位(水分)は凍った部位の数倍〜数十倍もの誘電損失を示すため解けた部位と未解凍の部位とで温度差が大きくなる。そこで(c) に示すようにマイクロ波出力は全出力の数分の一にまで段階的に低減され、温度の高い部位から低い部位へ熱伝導させながら加熱を続行する。加熱室内の温度および湿度は(a) および(b) に示すよ 25 うにこの時点 A より食品の加熱完了状態に調整して蒸気により食品の表面を包み込むように加熱して内部の温度が上昇するのを助ける。さらに(a) で表面温度が加熱完了温度に達しても(時点 B) 内部の温度が低い場合には(c) のように時点 B でマイクロ波照射を終了し、(a)、(b) のように調温・調湿を続行して内部の温度が上昇するのを待つ。このようにしてハンバーグやカレーでは端

部が過加熱になり硬くなったり煮詰まったりするのを防ぎながら内部まで適温に温めることができる。

(実施例 8)

加熱室内の結露を完全に防止するために、独立した加熱手段を備えた第 8 の実施例を以下に説明する。

図 14 にかかる加熱手段として蒸気発生器 15 とは別に蒸気の排出通路に加熱手段 30 を設けている。そして、制御部は蒸気の発生に先立ってこの加熱手段へ給電を行い、加熱室内の温度を上昇させるよう構成できる。かかる構成により、冷えた加熱室壁面に蒸気が結露することをより完全に防止できる。

またかかる独立した加熱手段により、制御部は蒸気発生器 15 と加熱手段 30 とへの給電を制御することで、加熱室内壁面が結露しない温度と湿度とするよう調整することができる。かかる環境として、加熱室内の相対湿度が 90% 以下になるよう調整する場合において効果が高かった。

(実施例 9)

加熱室内の結露を完全に防止するために、独立した加熱手段を備えた第 9 の実施例を以下に説明する。図 15 は加熱室内に電熱ヒータを備えたマイクロ波加熱装置の例を示し、環境調整手段のうちの加熱手段 30 をかかる電熱ヒータ 31 に置換し、機能を複合させる構成も考えられる。

蒸気発生器も本実施例に掲げたものに限定されるものではなく、通常のボイラにシーズヒータを投げ込んでも構わないし、ボイラの外側にロウづけ等で固着してもよい。ただし、この場合、発生する蒸気の温度を任意に制御するため、ヒータの一部はボイラ内の水位より突出させ、発生した蒸気に独立したかたちで温度を上昇させられる構成が好ましい。

(実施例 10)

以下、本発明の他の実施例を図面を参照しながら説明する。図 16 は本発明の他の実施例にかかるマイクロ波加熱装置の断面図である。加熱室 13 にはマイクロ波発生手段であるマグネトロン 14 を設け、加熱室 32 内にマイクロ波を照射する構成とする。加熱室 13 の側面には非磁性体で構成した蒸気発生室 32 を設ける。蒸気発生室 32 の一端は流出管 33 により加熱室 13 と連結し、他端は流

入管 34 によって水タンク 12 と連結している。蒸気発生室 32 の内部には磁性体の金属で構成した発熱金属体 35 を収納する。この時金属体 35 は蒸気発生室 32 をほど満たす程度がよい、発熱金属体 35 は磁界によって発熱する材料であればよく、特に形状は問わないが、本実施例では水との接触面積を多く取るために連続気泡からなる発泡状、あるいは繊維状に形成した金属体を使用した。

蒸気発生室 32 を構成する材料を非磁性体とせず、磁性体の材料で構成すれば発熱金属体 17 を設ける必要はない。しかし、この場合蒸気発生室 32 内の貯水量が多くなるため、蒸気発生までの時間がかかる恐れがあるため、中空体等を挿入し実質的に貯水量を減らしたり、貯水の温度を予め高くしておく等の工夫が必要である。

蒸気発生室 32 の外周には励磁コイル 36 を巻き、励磁コイル 36 は交番電流を供給するインバータ電源 37 に接続する。インバータ電源 37 からの電流により、励磁コイル 36 には交番磁界を生じる。この交番磁界により発熱金属体 35 には渦電流を生じ、渦電流により発熱金属体 35 が発熱する。蒸気発生室 32 内の水は、発熱金属体 35 の熱により加熱され蒸気を発生し、この蒸気は流出管 33 を通って加熱室 13 内に入る。38 はマグネトロン 14 に高圧電力を供給する高圧電源である。インバータ電源 37 および高圧電源 38 の入切りの動作、あるいはそれぞれの電源の電力制御は、制御部 21 によって行う。加熱室 13 内には蒸気を通過させる開口部を有する受け皿 22 を設け、上面に食品 19 を載置する。

励磁コイル 36 はそれ自体は発熱せず、渦電流が発熱金属体 35 を直接発熱させるのでこの熱は直接水に伝達し、効率よく蒸気を発生することになる。

なお、蒸気発生室 32 は、例えば、円柱状の絶縁体で形成されている。例えば、耐熱ガラス、磁気等の材料で形成される。また、蒸気発生室 32 の壁の厚さは、励磁コイルに加わる電圧により絶縁破壊しない厚さに設定されている。また、発熱金属体 35 は、防水性、退腐食性の金属、例えば、ニッケル、ニッケルとクロムの合金、または、ステンレス等により形成される。

図 17 は、加熱室内の蒸気量を示す線図である。図 17 において加熱時間の経過とともに加熱室内の蒸気量の変化を示しており、加熱の開始とともに蒸気発生手段である蒸気発生器の動作を開始し、加熱の終了とともに蒸気発生器の動作を

停止した状態を示している。実験ではインバーター電源 37 の出力を 400 W と
して発熱金属体 35 を加熱したとき立ち上がり時間が約 10 秒で蒸気の発生を
開始し、加熱の終了後ほぼ数秒で蒸気の発生が停止した。このように蒸気発生器
の動作にともなって、従来と比べて非常に早い時間で蒸気の発生と停止の動作を
5 追従させることが出来た。また蒸気発生に必要な入力電源も非常に少なく済ま
せることが出来た。このことはインバーター電源 37 からの電力による励磁コイ
ル 36 の交番磁界が発熱金属体 35 を瞬時に加熱し、蒸気発生室 32 内の水を加
熱し蒸気を効率よく発生したことにある。発熱金属体 35 が水との接触面積が広
い連続気泡からなる発泡状の金属であったり、維持状の金属である場合に顕著で
10 ある。また蒸気発生室 32 内の体積中に発熱金属体 35 が存在することにより、
水が占める体積の割合が少なくなり、少ない体積の水だけの加熱で済み、この効
果によって短時間で素早く蒸気を発生することが出来ることにつながっている。

この蒸気発生時間は短時間であるほど好ましいが、実用的には 1 分以内、好ま
しくは 10 秒前後がよい。

15 (実施例 11)

図 18 は、第 11 の実施例に係わるマイクロ波加熱装置の加熱室内の調理中の
食品温度と蒸気量の関係を示す線図である。図 18 においてはマイクロ波発生手
段の動作開始と、蒸気発生手段の動作の開始を、加熱の開始と合わせて同時に行
っている。また加熱の終了時も両者の終了を同時に行っている。蒸気発生器の立
20 ち上がりが素早いために、マイクロ波動作の開始と蒸気発生器の開始を同時に行
っても、立ち上がり時の数秒間だけがマイクロ波の単独加熱となるだけで、殆ど
の加熱調理時間中はマイクロ波と蒸気の両方で加熱調理が行われ、食品の水分の
蒸発を押さえながら加熱が行われるので、しっとりとして仕上がり状態の良い、
良好な加熱調理が実現できる。

25 (実施例 12)

図 19 は、第 12 の実施例に係わるマイクロ波加熱装置における調理中の食品
温度と蒸気量の関係を示す線図である。図 19 において食品が凍っている間、す
なわち食品温度がマイナス温度の間は、マイクロ波が食品の中まで浸透しやすい
ので、マイクロ波だけで加熱を行う。食品の解凍が進み冷凍が溶けて食品温度が

略プラスに転じた時点から、蒸気発生器の動作を開始し、マイクロ波と蒸気により加熱調理を行う。食品からの水分の蒸発は食品温度がプラス温度になってから起こりやすくなるが、加熱室内の蒸気によって食品の周囲を蒸気が包み込むことにより、食品からの水分の蒸発を防ぎ、乾燥を防止しながら加熱調理が進められるので、これもしっとりとして仕上がり状態の良い、良好な加熱調理を実現できることになる。蒸気発生器を必要な時間だけ動作させるので、余分な電力が不要で、省エネルギーとなる。

(実施例 13)

図 20 は、第 13 の実施例に係わるマイクロ波加熱装置の加熱室内の調理中の食品温度と蒸気量の関係を示す他の実施例の線図である。図 20 においてはマイクロ波発生手段の動作開始と、蒸気発生手段の動作の開始を、加熱の開始と合わせて同時に行っている。そして加熱の終了時は蒸気発生器の動作の停止を加熱室内の蒸気が減少する時間分だけ早めに停止している。その後にマイクロ波の動作を停止し、加熱調理の終了を行う。このことにより加熱の終了時には加熱室内の蒸気が減少した状態になり、食品を取り出すときに高温の蒸気に触れることもなく扱いやすい調理方法を実現できる。

(実施例 14)

図 21 は、第 14 の実施例に係わるマイクロ波加熱装置における調理中の食品温度と蒸気量の関係を示す線図である。図 21 において食品が凍っている間、すなわち食品温度がマイナス温度の間は、高出力のマイクロ波と低出力の蒸気発生器の出力で加熱を行う。次に食品の解凍が進み冷凍が溶けて食品温度が略プラスに転じた時点から、マイクロ波出力を中出力に落とすとともに、蒸気発生器の出力は中出力に上げる。そして食品の温度が中温度程度まで上昇した時点から、マイクロ波の出力は低出力に落とし、蒸気発生器の出力は高出力まで上げる。このように加熱の進行に従ってマイクロ波の出力と、蒸気発生器の出力を変化させる。例えば食品が凍っているときは、マイクロ波が氷の中に深く浸透しやすい特性により、素早く解凍を行う。次に中出力のマイクロ波と蒸気によって食品の温度が不均一になることを防止しながら、徐々に温度を上げて行く。この時中出力の蒸気は食品の温度を均一に保つことと、食品の水分の蒸発を防ぐことに効果がある。

そして加熱が進み食品の温度がかなり上昇する最終段階は、より温度むらも起こりやすいので、さらに低出力のマイクロ波でゆっくりと、食品内部で起こる熱移動すなわち繰り越し加熱を利用しながら加熱を進める。食品の温度が高いほど食品の水分は蒸発しやすくなるが、庫内は多量の蒸気が充満しているので、蒸発は
5 十分に防止できるとともに、蒸気の熱によっても加熱されるので、食品の表面における熱放散を防止し、しかも食品の全体を包み込むように加熱するので、食品全体を均一に、しかも乾燥を防ぎしっとりと良い出来上がり状態で加熱調理することが出来る。

(実施例15)

10 図22は、第15の実施例におけるマイクロ波加熱装置の断面図である。加熱室13にはマイクロ波発生手段であるマグネトロン14を設け、加熱室13内にマイクロ波を照射する構成とする。加熱室13の側面には非磁性体で構成した蒸気発生室32を設ける。蒸気発生室32の下端は流出管33により加熱室13と連結し、上端は流入管34によって水タンク12と連結している。流入管34と
15 水タンク12との間には水の流量を調節する水栓39を設ける。蒸気発生室32の内部には磁性体の金属で構成した発熱金属体35を収納する。発熱金属体35は水との接触面積を多く取るために連続気泡よりなる発泡状、あるいは繊維状に形成した金属体を使用している。蒸気発生室32の外周には励磁コイル36を巻き、励磁コイル36は交流電流を供給するインバータ電源37に接続する。イン
20 バータ電源37からの電流により、励磁コイル36には交流磁界を生じる。この交流磁界により発熱金属体35には渦電流を生じ、渦電流により発熱金属体35が発熱する。発熱金属体35の上部からは流入管34から水タンク12からの水を注入する。このとき水栓39の働きで水の流量を制御し、水の蒸発に必要な水量だけを滴下する。蒸気発生室32内に滴下した水は、発熱金属体35の熱によ
25 り加熱され蒸気を発生し、この蒸気は流出管33を通過して加熱室13内に入る。40はファンであり蒸気発生室32内で発生した蒸気を加熱室13内に導入するように送風する。38はマグネトロン14に高圧電力を供給する高圧電源である。

インバータ電源37および高圧電源38の入切りの動作、あるいはそれぞれの電

源の電力制御は、制御部 21 によって行う。加熱室 13 内には蒸気を通過させる開口部を有する受け皿 20 を設け、上面に食品 19 を載置する。励磁コイル 36 はそれ自体は発熱せず、渦電流が発熱金属体 35 を直接発熱させるのでこの熱は直接水に伝達し、効率よく蒸気を発生することになる。

- 5 このような加熱調理器の構成による加熱方法によると、蒸発に必要な水の加熱だけでよいので、加熱する水の量は極僅かで済み、少ない電力でしかもほぼ瞬間的に蒸気の発生を行うことが出来るので、加熱の開始、加熱の終了を瞬時に行うことが出来、食品の加熱調理の進行に応じて、最適の加熱制御が実現出来るのでそれぞれの食品に応じて最適の加熱調理を行うことが出来る。

10 産業上の利用の可能性

本発明は以上に述べたように、加熱室内の温度、湿度等の環境を食品にあわせて適切に制御することができるので、多様な食品を良好に加熱調理できる。すなわち、本発明のマイクロ波加熱装置によれば、食品の内部温度と表面温度を略同一にすることができ、最適な状態で食品の加熱調理が行える。

- 15 本発明が適用可能な食品としては、既に記載したパンや冷凍てんぷらの他に、複数の食材が一つのパッケージの中に混在し、従来マイクロ波加熱だけでは解凍や再加熱が難しかった弁当、最大氷結晶生成帯を通過させ、冷蔵庫温度で停止させる冷蔵庫解凍などに適用できる。

- 20 また、被加熱物としては食品だけでなく、広くさまざまな誘電損失を有する物質を加熱対象とすることができる。例えば、合成樹脂の溶解、接着剤の軟化、木材の乾燥など、デリケートな加熱を必要とするさまざまな工業分野に応用可能である。

また、熱源としてもマイクロ波以外に高周波の交番電界なども利用可能である。

請 求 の 範 囲

1. 被加熱物を収容する加熱室と、前記被加熱物にマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段と、前記加熱室に蒸気を供給する蒸気発生手段と、前記マイクロ波発生手段および前記蒸気発生手段を前記被加熱物の内部温度と表面温度が略一致するように制御する制御手段とを備えたマイクロ波加熱装置。
5
2. 被加熱物を収容する加熱室と、前記被加熱物にマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段と、前記加熱室に蒸気を供給する蒸気発生手段と、前記加熱室内の環境を検出する検出手段と、前記検出手段の出力に応じて前記マイクロ波発生手段および前記蒸気発生手段を前記被加熱物の内部温度と表面温度が略一致するように制御する制御手段とを備えたマイクロ波加熱装置。
10
3. 前記検出手段が温度を検出することを特徴とする請求項2記載のマイクロ波加熱装置。
4. 前記検出手段が温度および湿度を検出することを特徴とする請求項2記載の
15
5. 前記制御手段が、冷凍状態の前記被加熱物を加熱する場合に、前記被加熱物が解凍された後の前記蒸気発生手段の出力を前記被加熱物が冷凍状態にあるときの前記蒸気発生手段の出力よりも大きくすることを特徴とする請求項1
20
6. 前記制御手段が、冷凍状態の前記被加熱物を加熱する場合に、前記被加熱物が解凍された後の前記マイクロ波発生手段の出力を前記被加熱物が冷凍状態にあるときの前記マイクロ波発生手段の出力よりも小さくし、かつ、前記被加熱物が解凍された後の前記蒸気発生手段の出力を前記被加熱物が冷凍状態にあるときの前記蒸気発生手段の出力よりも大きくすることを特徴とする請求
25
- 項1から4のいずれかに記載のマイクロ波加熱装置。
7. 前記制御手段が、冷凍状態の前記被加熱物を加熱する場合に、加熱開始直後の前記マイクロ波発生手段の出力をその後の前記マイクロ波発生手段の出力よりも小さくすることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のマイクロ波加熱装置。



8. 前記制御手段が、冷凍状態の前記被加熱物を加熱する場合に、マイクロ波発生手段の出力を段階的に小さくし、かつ、被加熱物が解凍された後の蒸気発生手段の出力を被加熱物が冷凍状態にあるときの蒸気発生手段の出力よりも大きくすることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のマイクロ波加熱装置。
9. 前記制御手段が、被加熱物の終了直前に前記蒸気発生手段の出力を減少させることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のマイクロ波加熱装置。
10. 前記制御手段が、加熱室内の湿度を90%以下にするように調整する請求項1から4のいずれかに記載のマイクロ波加熱装置。
- 10 11. 被加熱物を収容する加熱室と、前記被加熱物にマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段と、前記加熱室に蒸気を供給する蒸気発生手段と、前記被加熱物に風を供給する送風手段と、前記マイクロ波発生手段、前記蒸気発生手段および前記送風手段を前記被加熱物の内部温度と表面温度が略一致するように制御する制御手段とを備えたマイクロ波加熱装置。
- 15 12. 前記送風手段が、加熱室内に外気を導入する請求項11記載のマイクロ波加熱装置。
13. 前記送風手段が、加熱室内の空気を循環させる請求項11記載のマイクロ波加熱装置。
14. 前記制御手段が、マイクロ波発生手段の出力を止めた後も前記送風手段を
- 20 所定の時間動作させることを特徴とする請求項11記載のマイクロ波加熱装置。
15. 前記制御手段が、マイクロ波発生手段の出力を止めた後も前記送風手段を所定の時間、間歇的に動作させることを特徴とする請求項11記載のマイクロ波加熱装置。
- 25 16. 被加熱物を収容する加熱室と、前記被加熱物にマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段と、前記加熱室に蒸気を供給する蒸気発生手段と、前記加熱室の結露を防止するための加熱手段と、前記マイクロ波発生手段および前記蒸気発生手段を前記被加熱物の内部温度と表面温度が略一致するように制御する制御手段とを備えたマイクロ波加熱装置。



17. 前記加熱手段が、蒸気発生器と前記加熱室内の間に設けられていることを特徴とする請求項16記載のマイクロ波加熱装置。

18. 前記加熱手段が、前記加熱室内に設けられたことを特徴とする請求項16記載のマイクロ波加熱装置。

5

10

15

20

25



* C L M S *

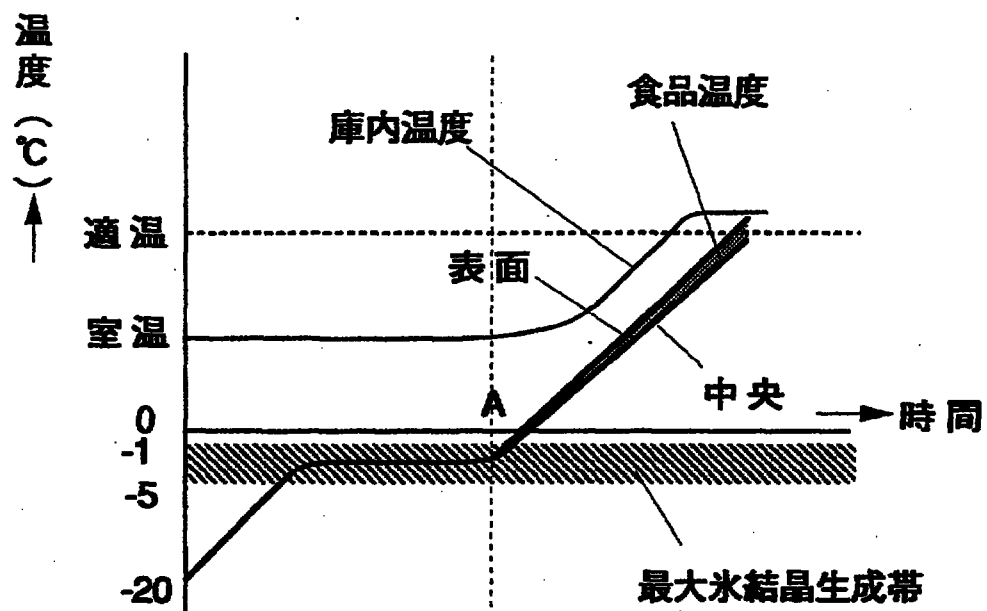
要 約

- 本発明は、被加熱物が置かれる環境を制御する手段の導入により、多様な被加熱物を良好な品質を維持しつつ加熱するマイクロ波加熱装置を提供することを
- 5 を目的とする。かかる目的を達成するために、被加熱物を収容する加熱室と、前記被加熱物にマイクロ波を照射するマイクロ波発生手段と、前記加熱室に蒸気を供給する蒸気発生手段と、前記マイクロ波発生手段および前記蒸気発生手段を前記被加熱物の内部温度と表面温度が略一致するように制御する制御手段とを備えた構成を有する。

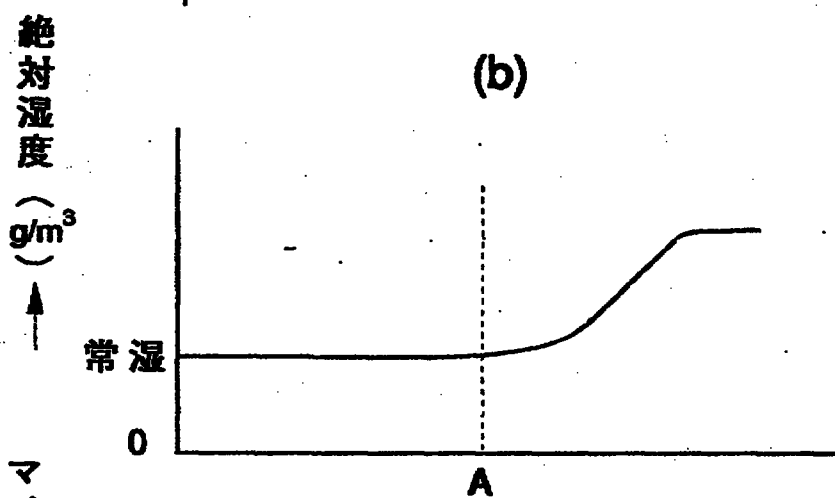
Fig. 1

1/24

(a)



(b)



(c)

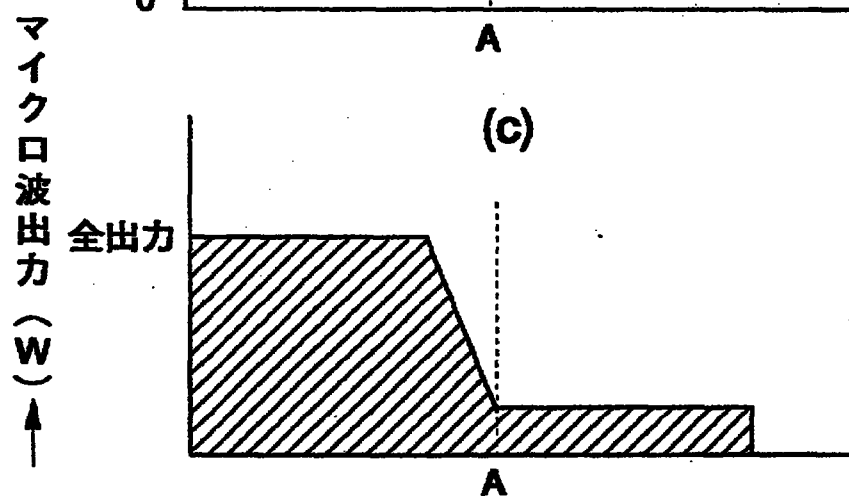


Fig. 2

2/24

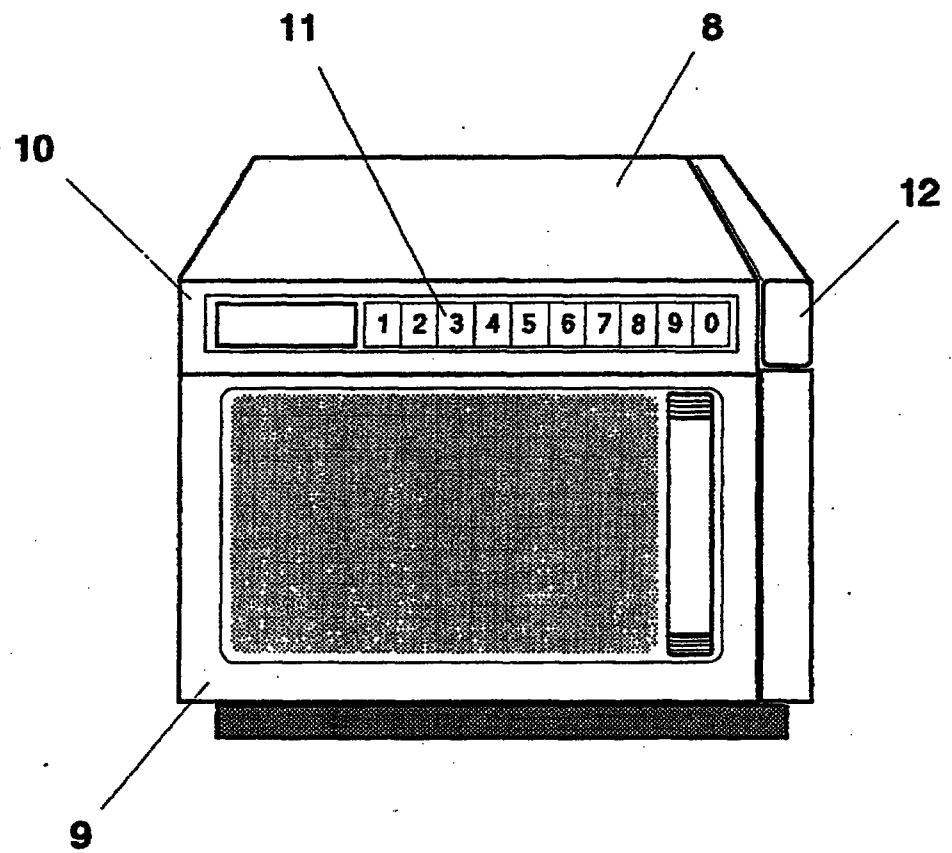
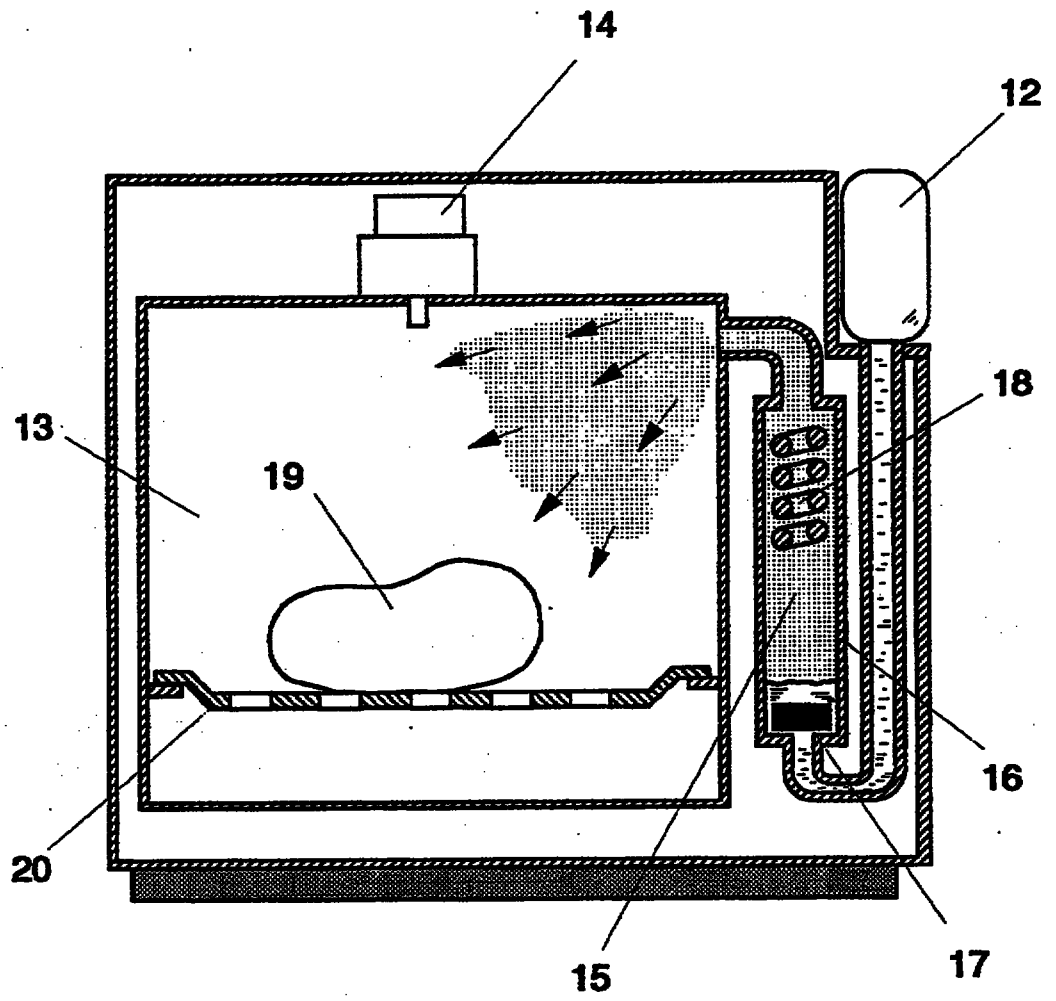


Fig. 3



4/24

Fig. 4

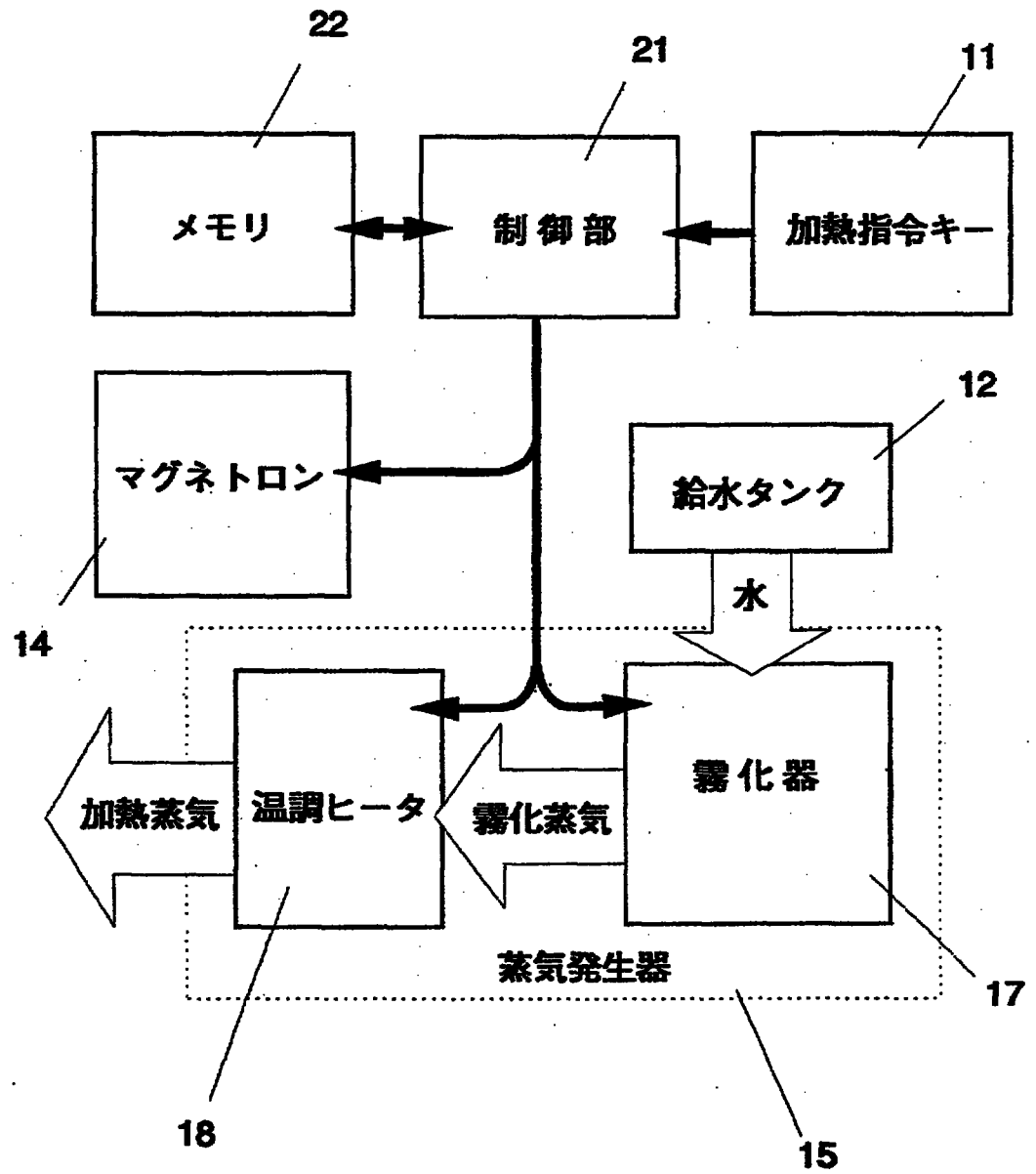
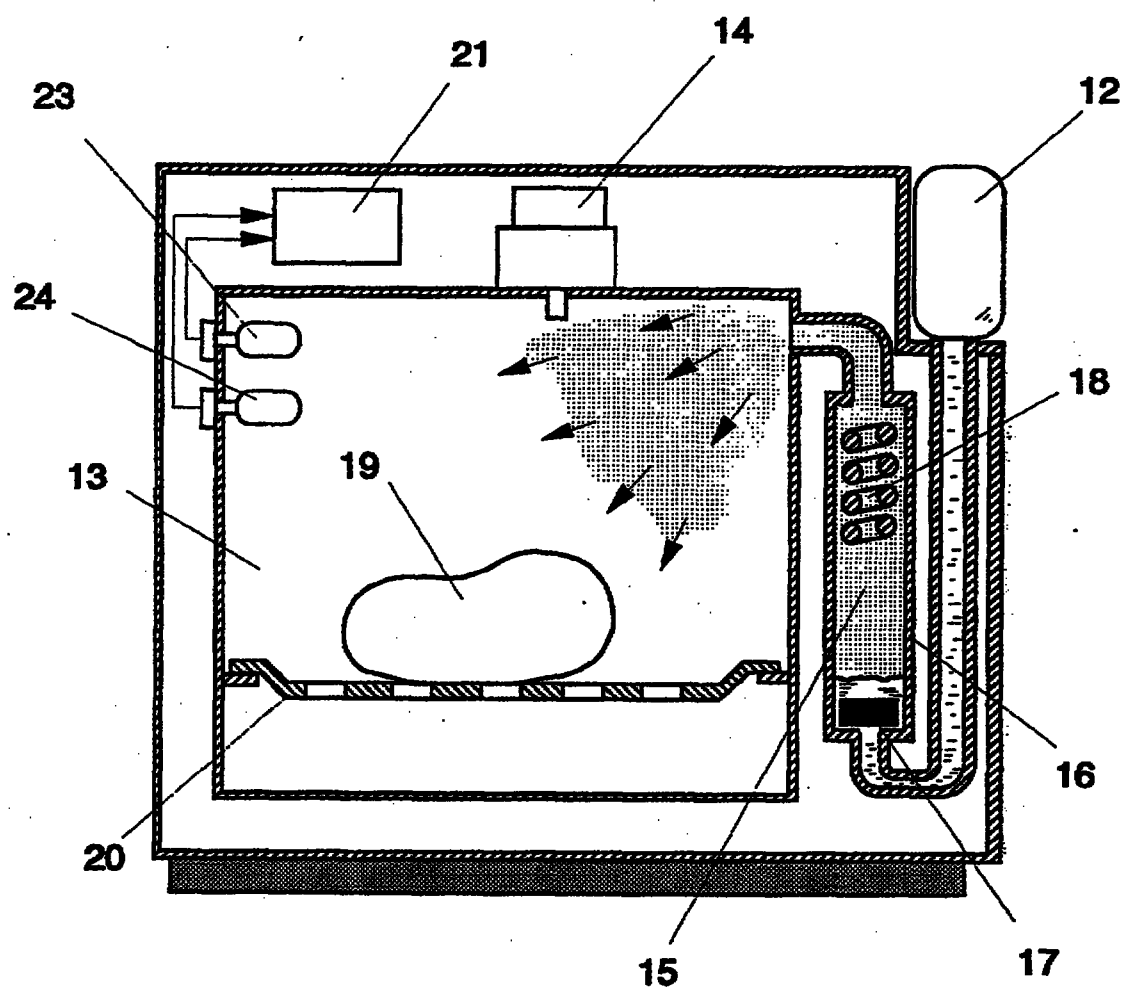


Fig. 5



6/24

Fig. 6

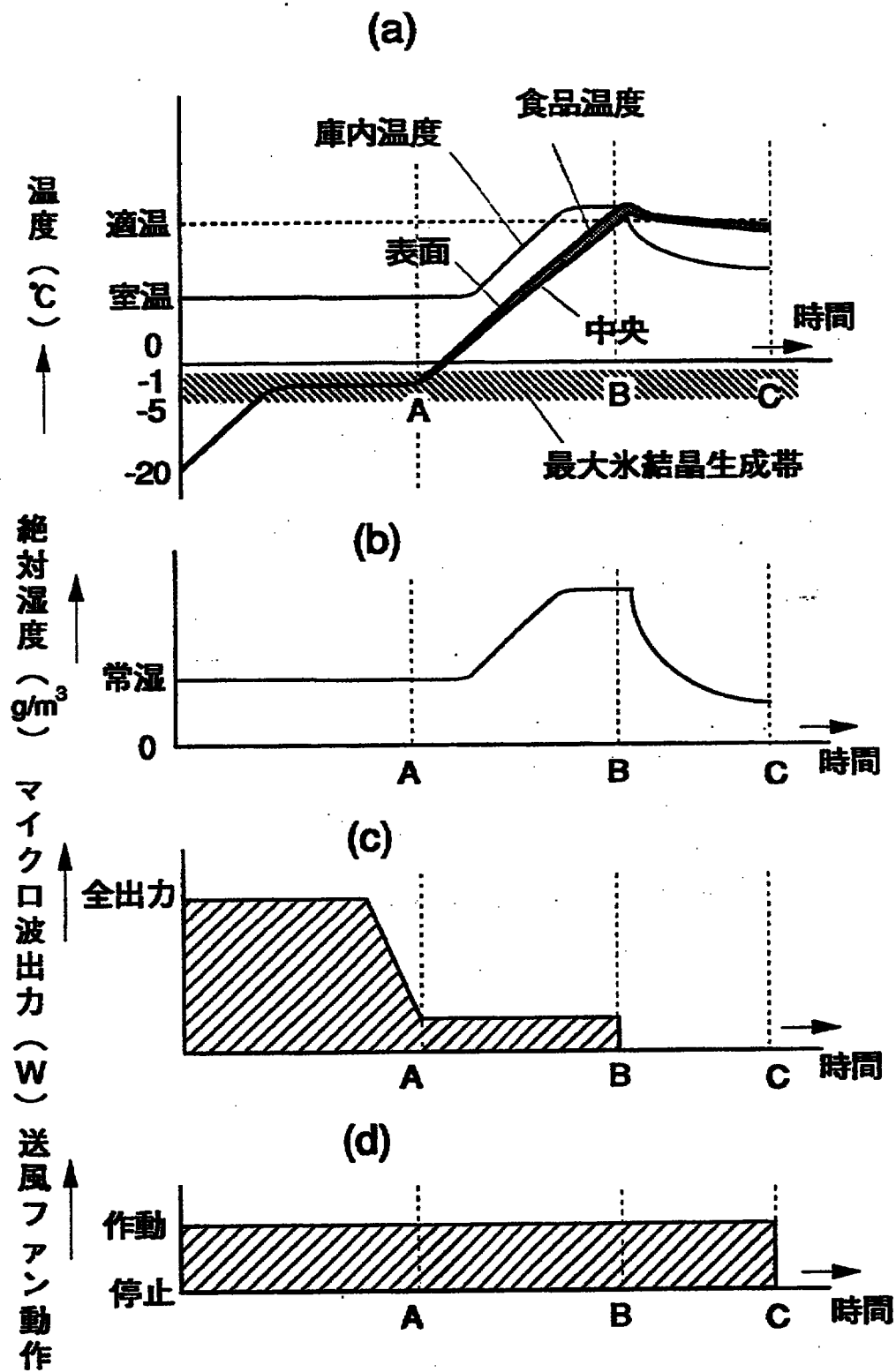


Fig. 7

7/24

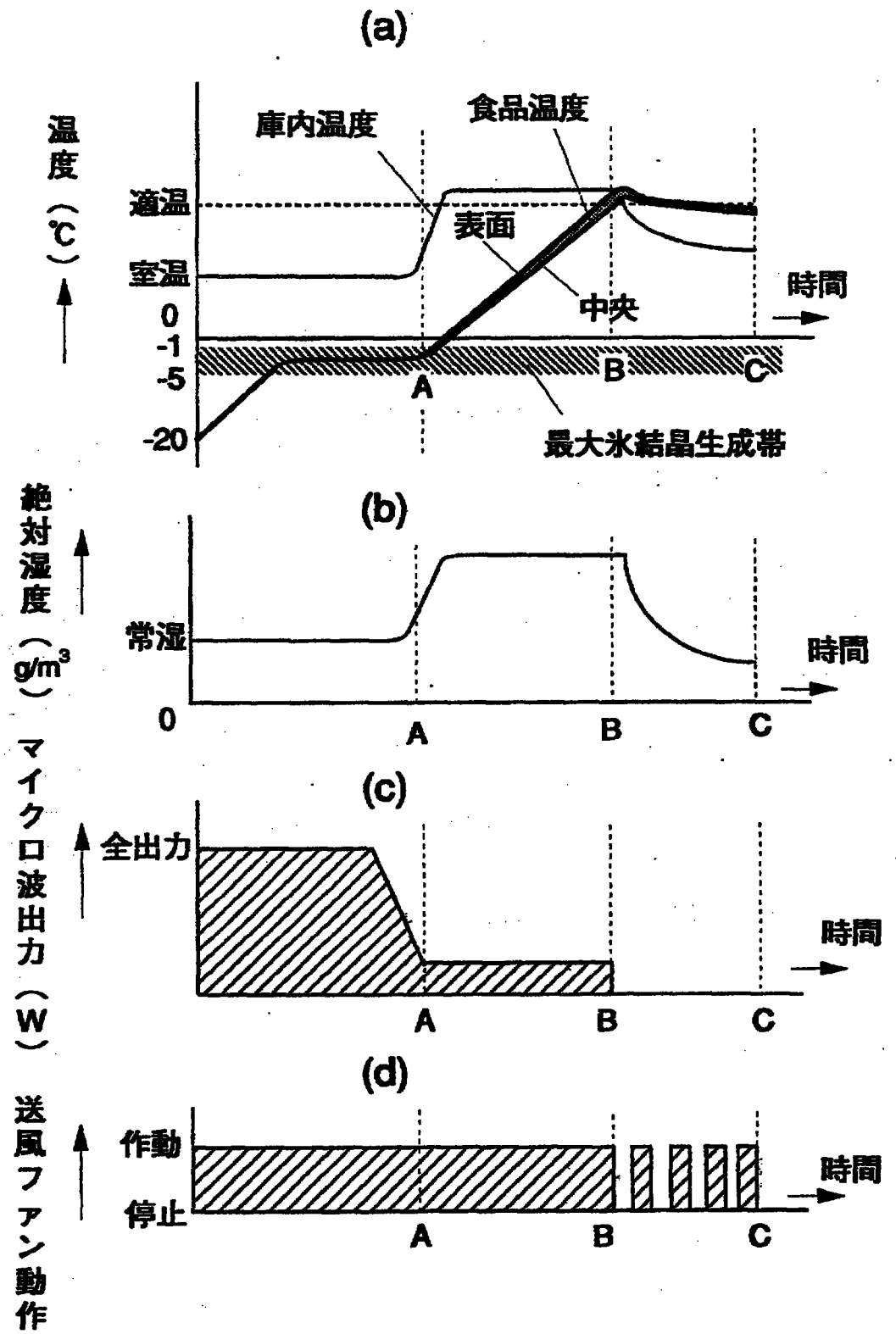


Fig. 8

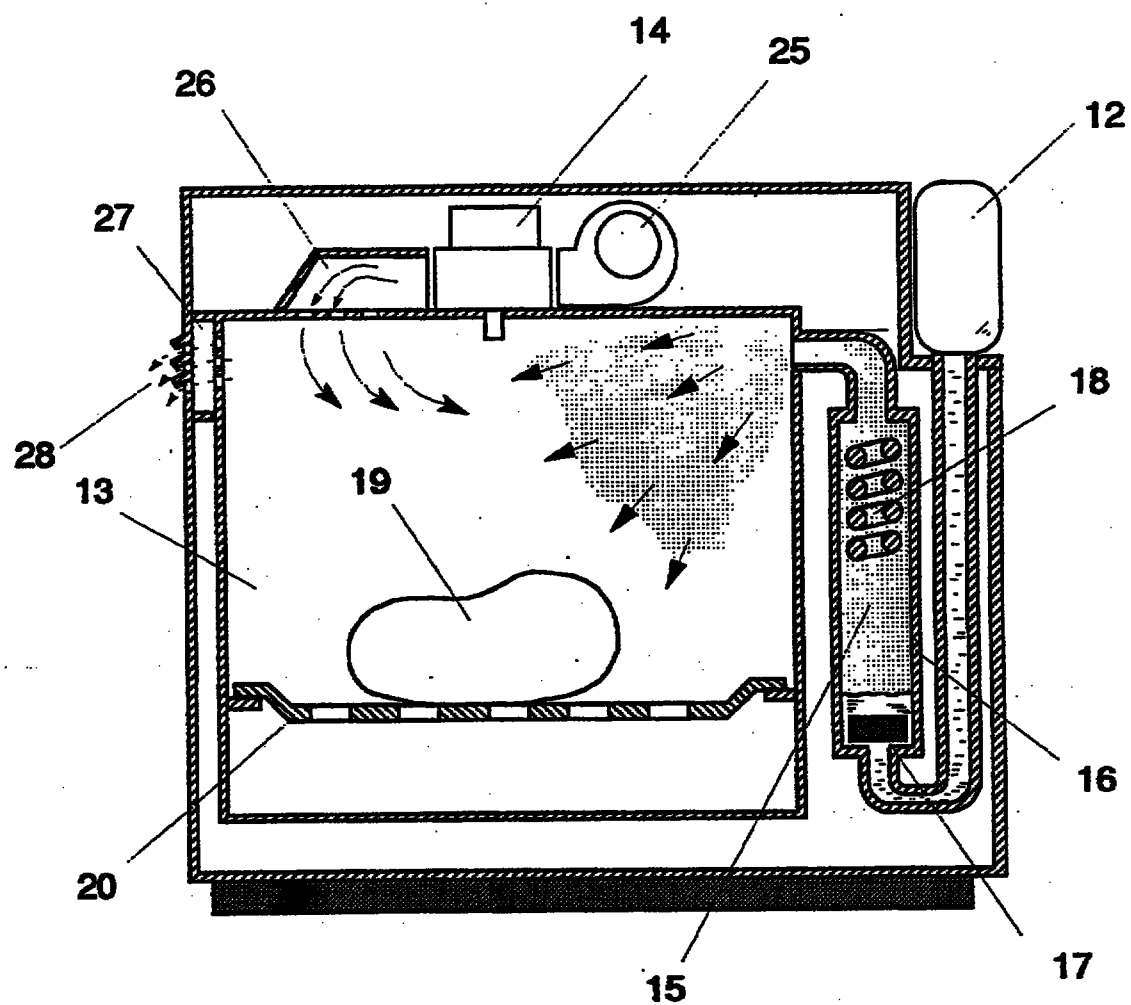


Fig. 9

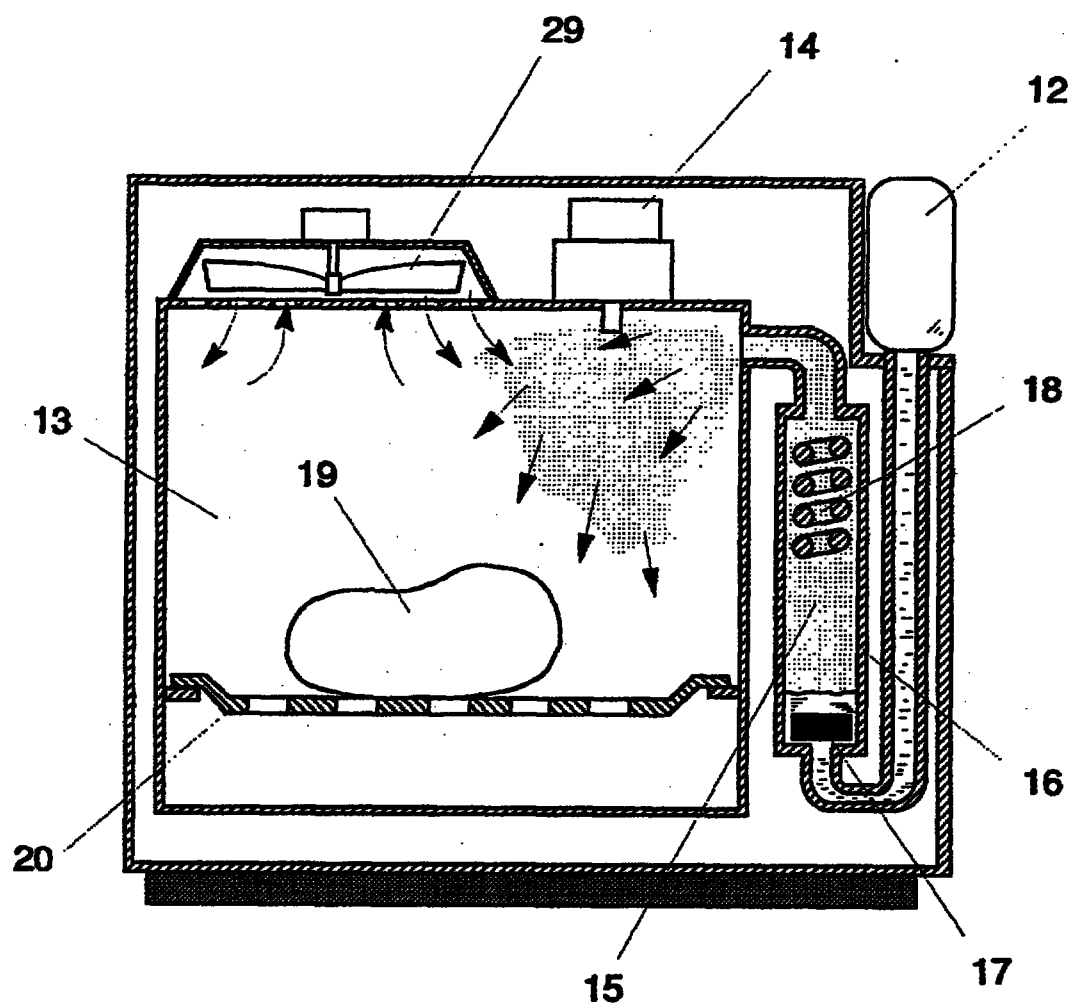


Fig. 10

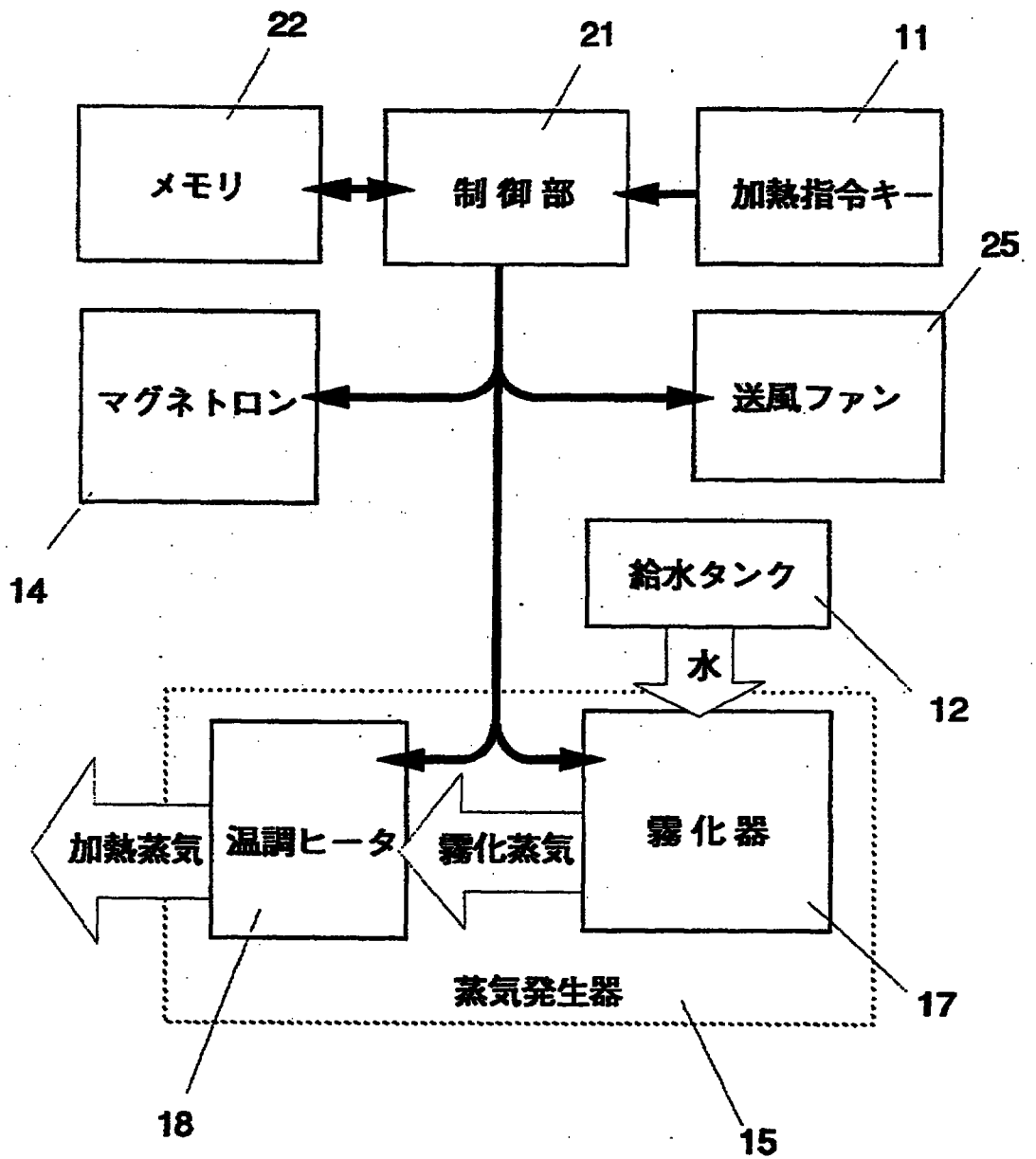


Fig. 11

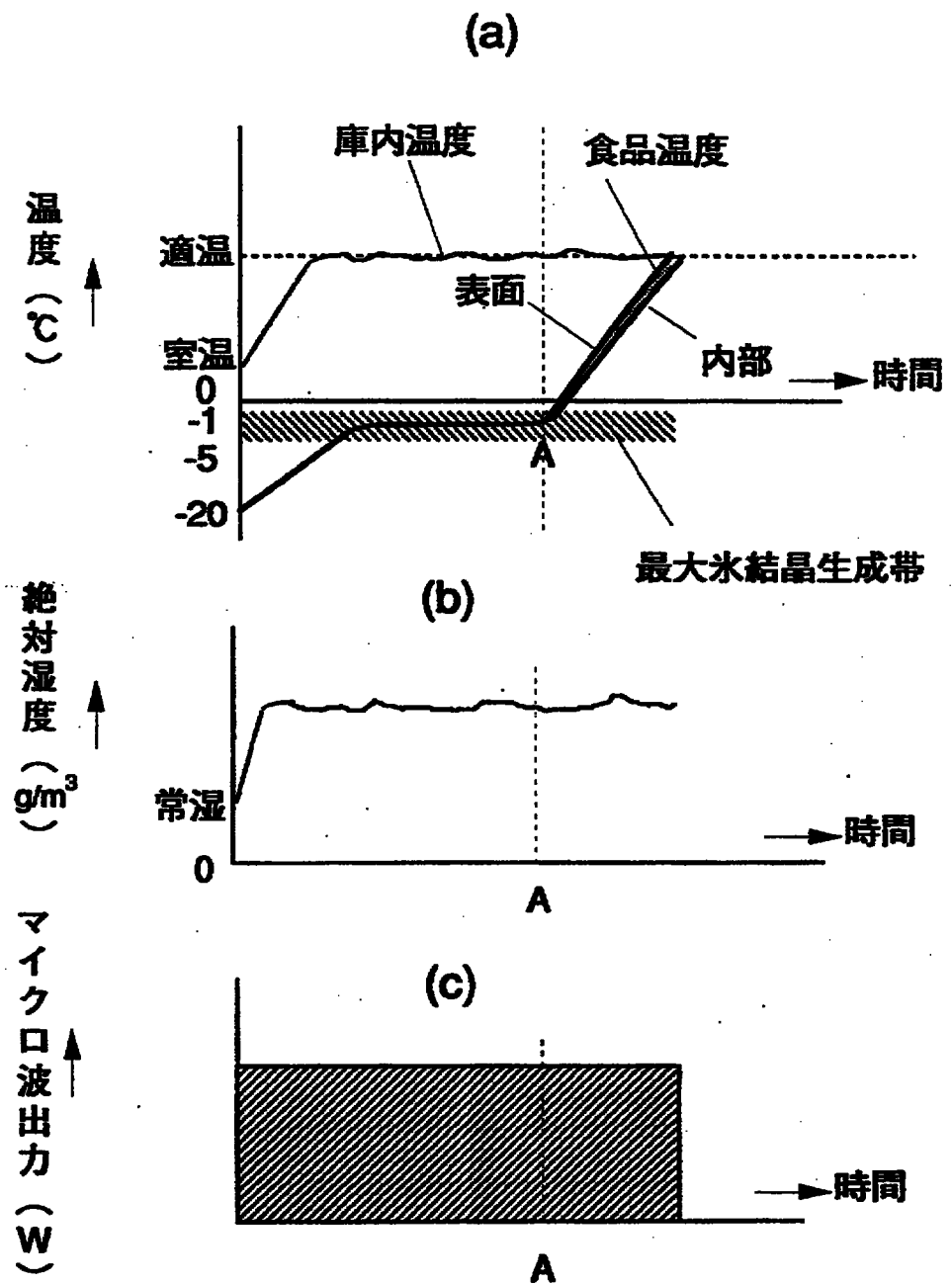


Fig. 12

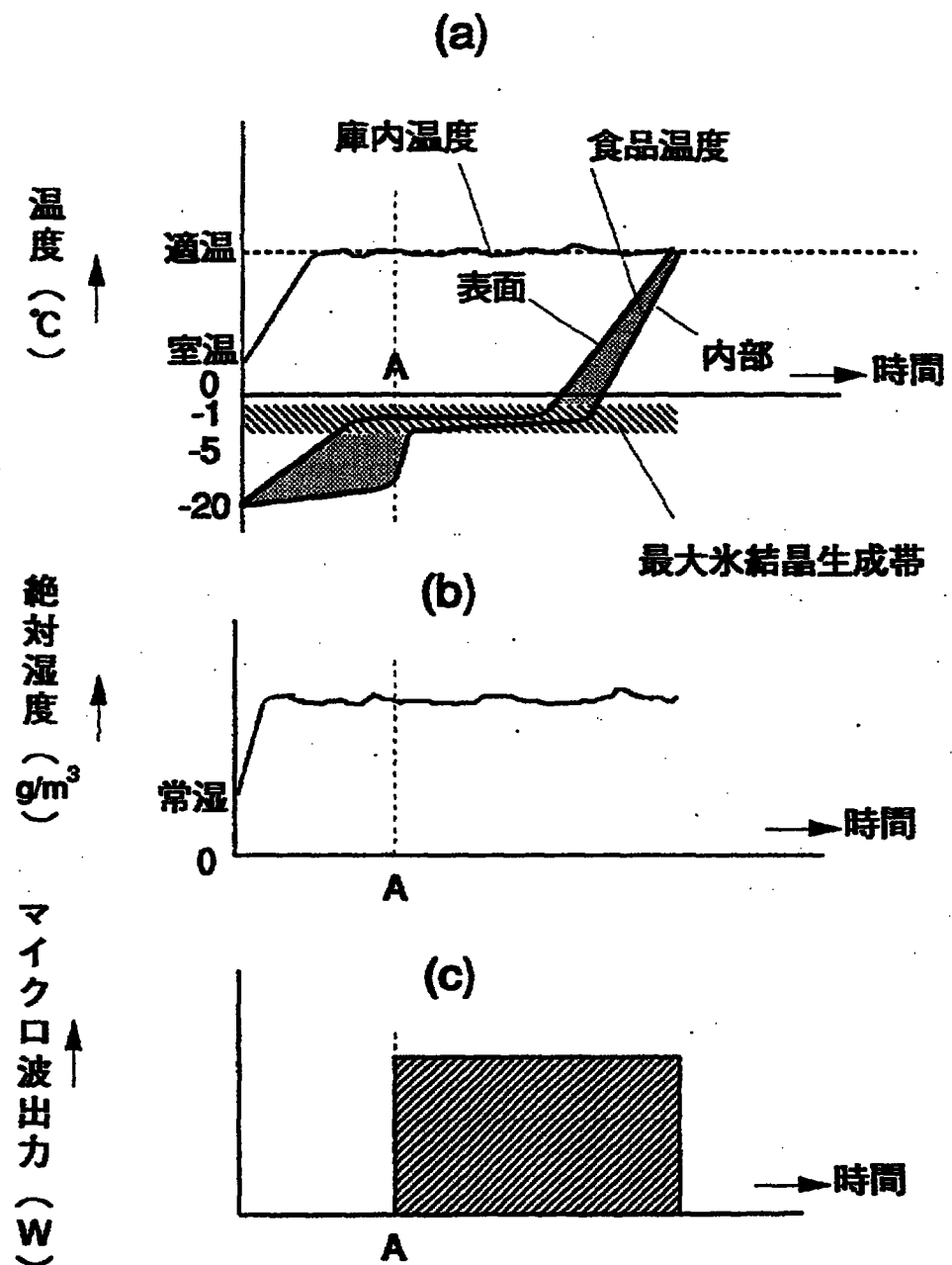


Fig. 13

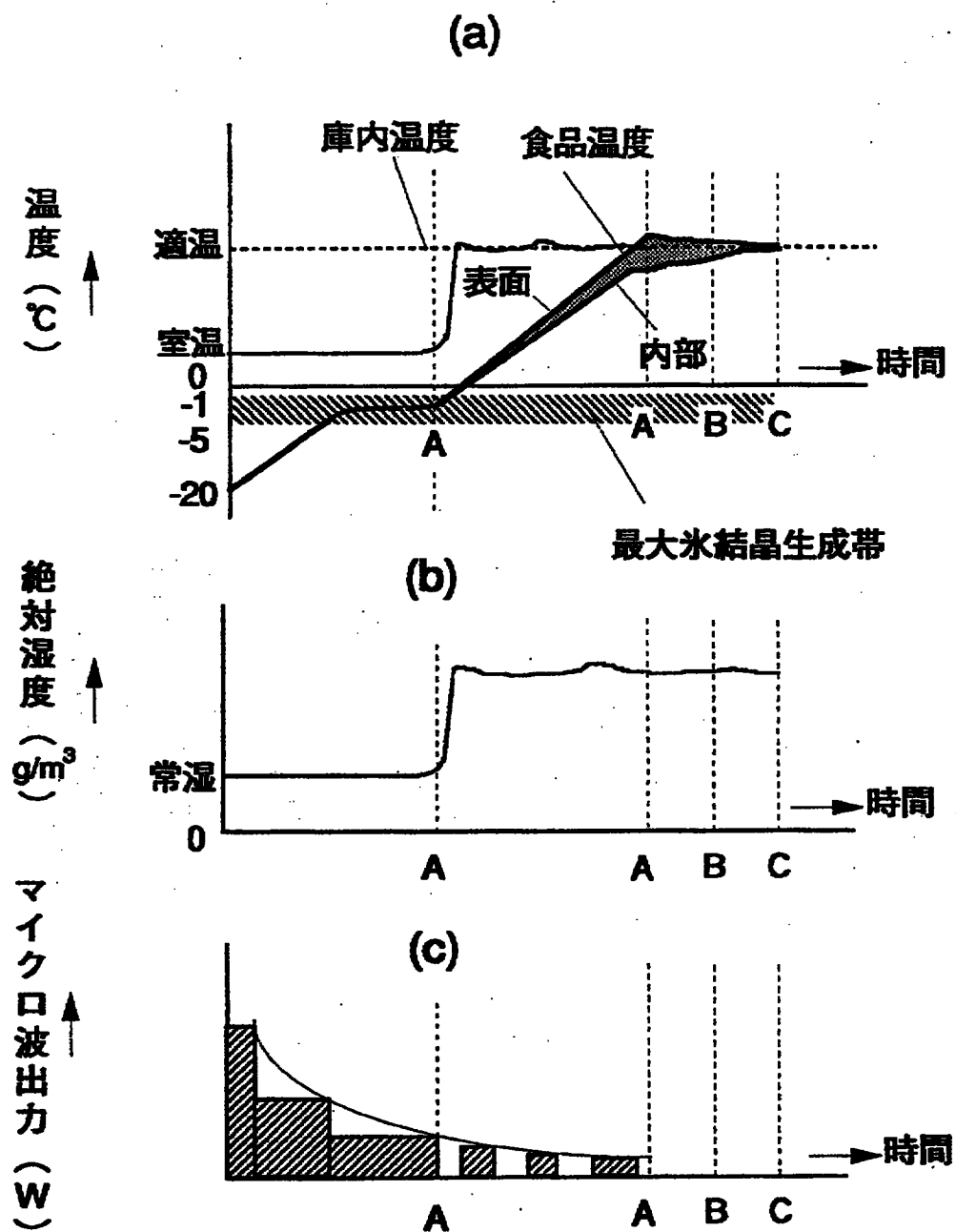


Fig. 14

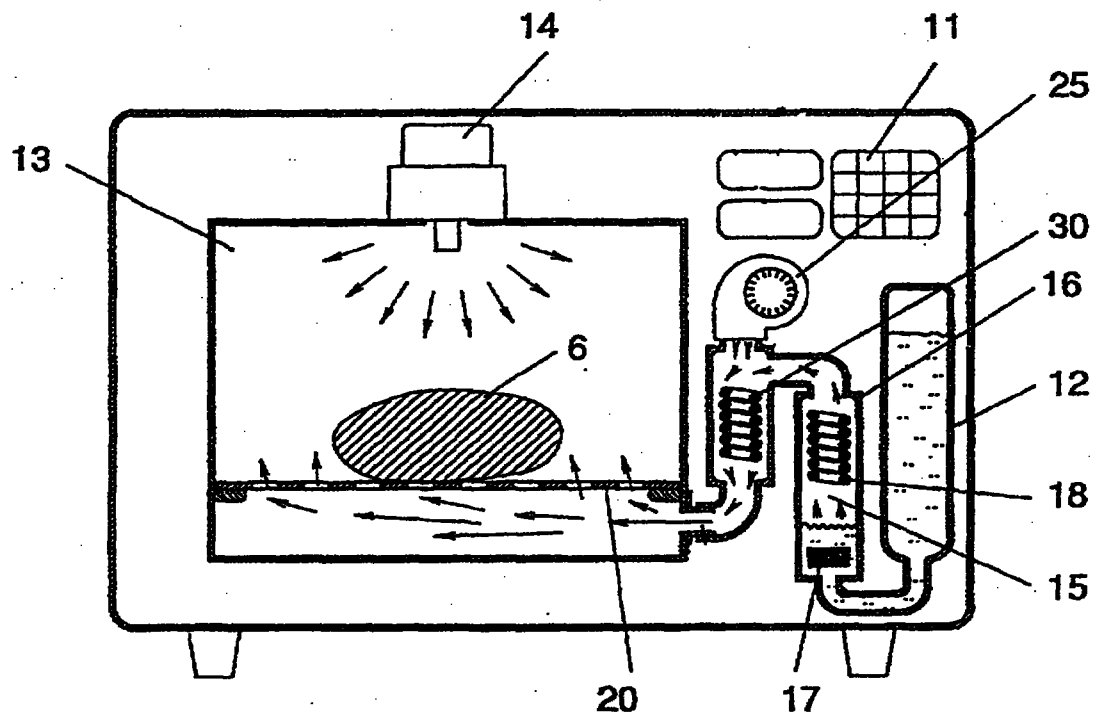


Fig. 15

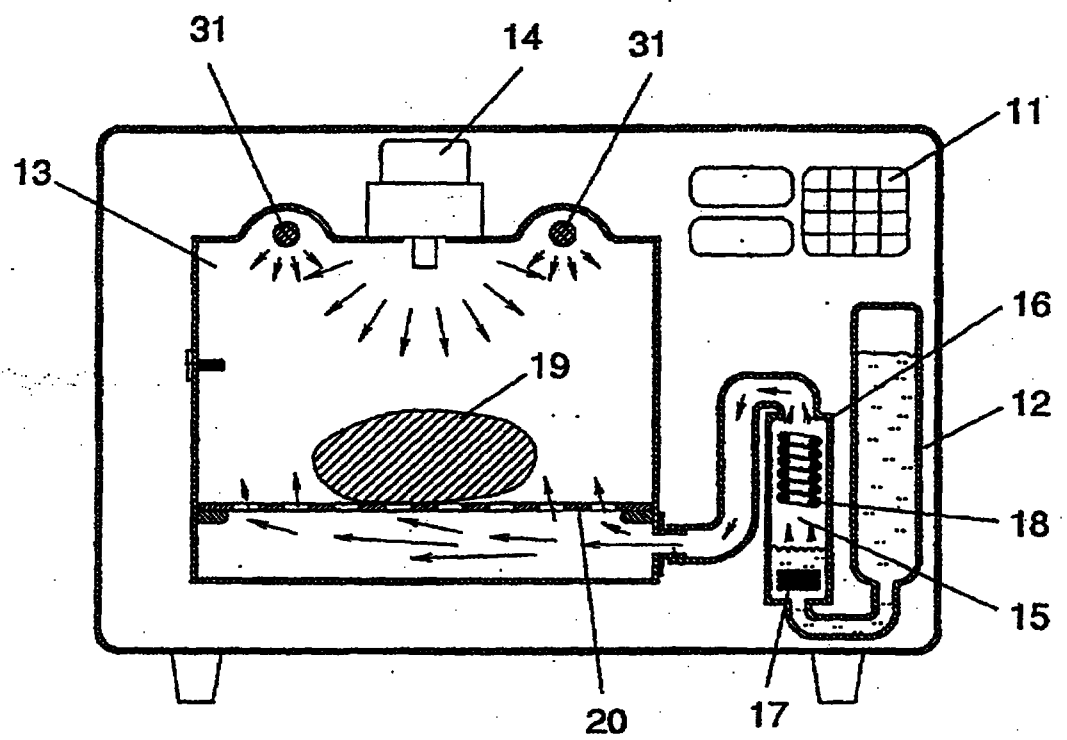
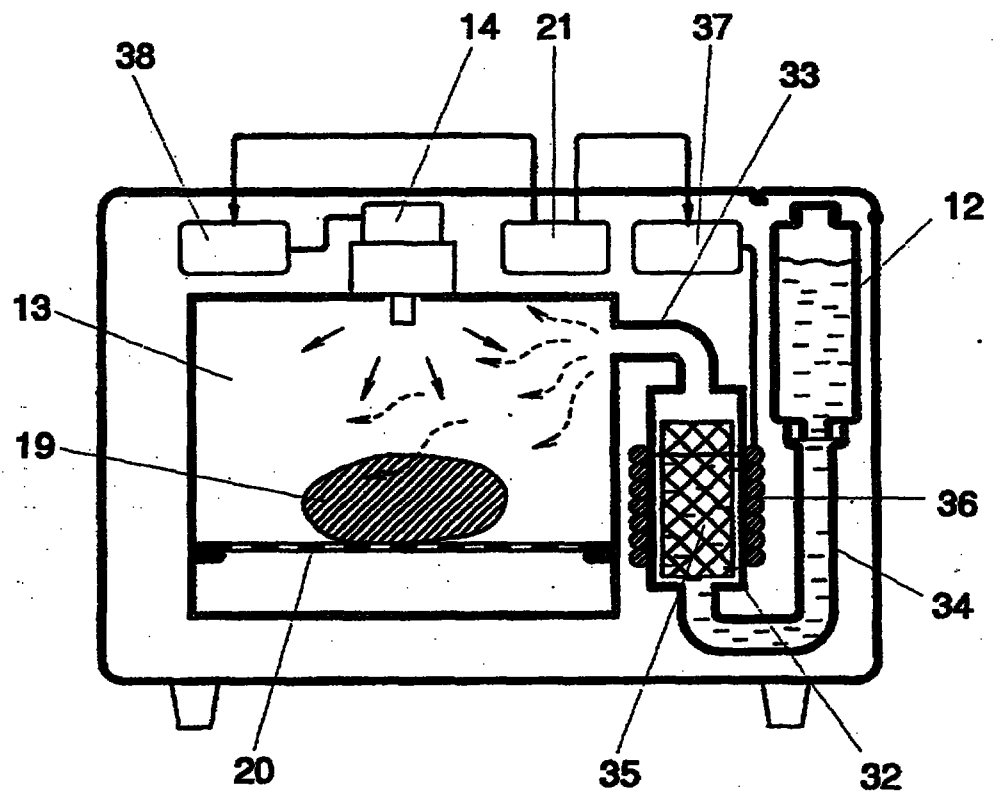
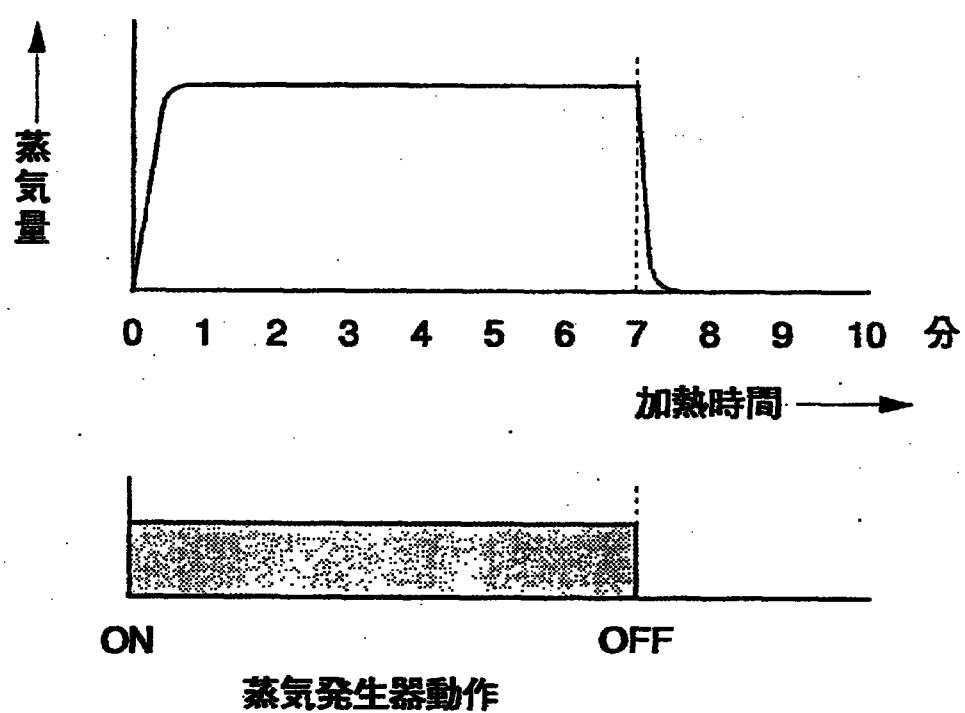


Fig. 16



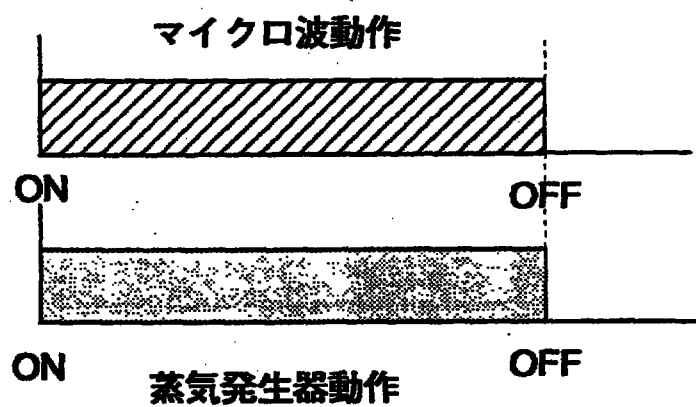
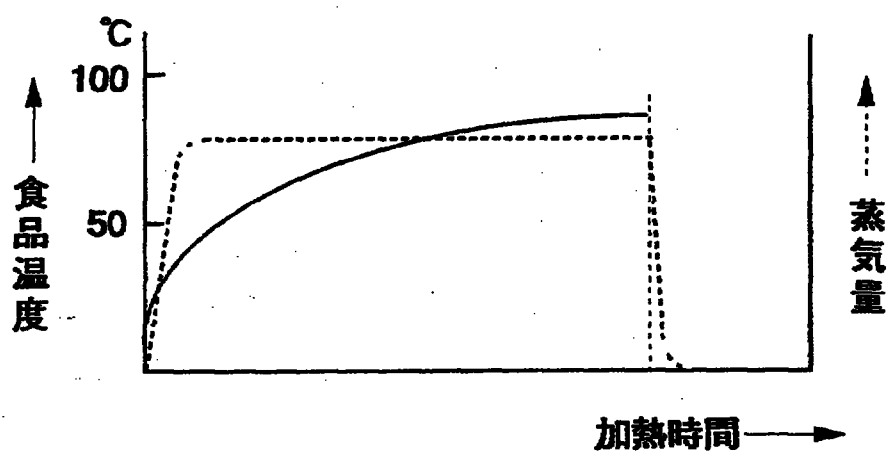
17/24

Fig. 17



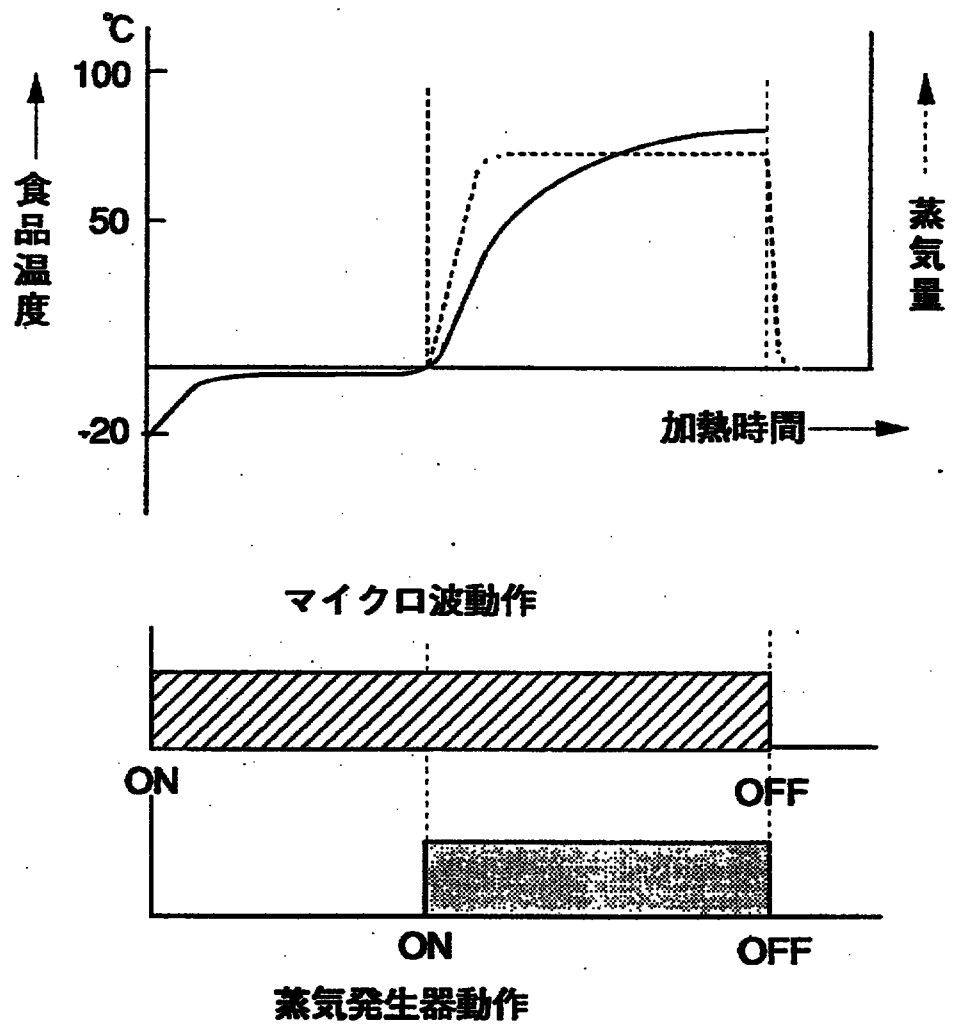
18/
24

Fig. 18



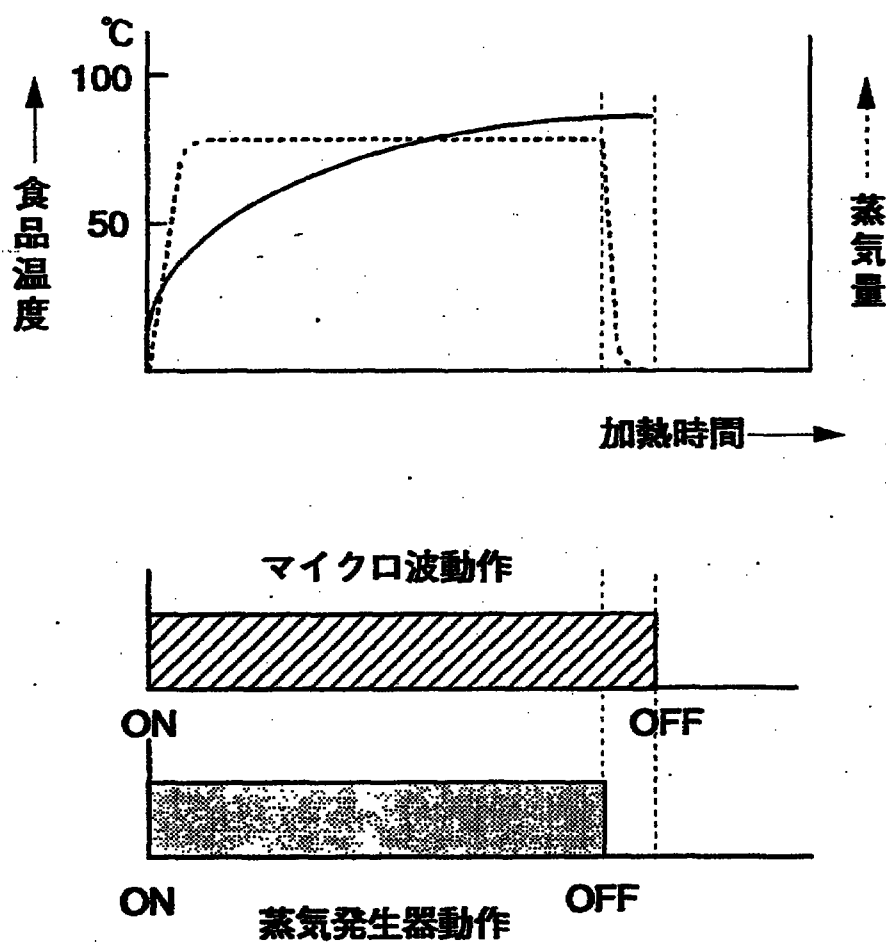
13/24

Fig. 19



20/24

Fig. 20



21/24

Fig. 21

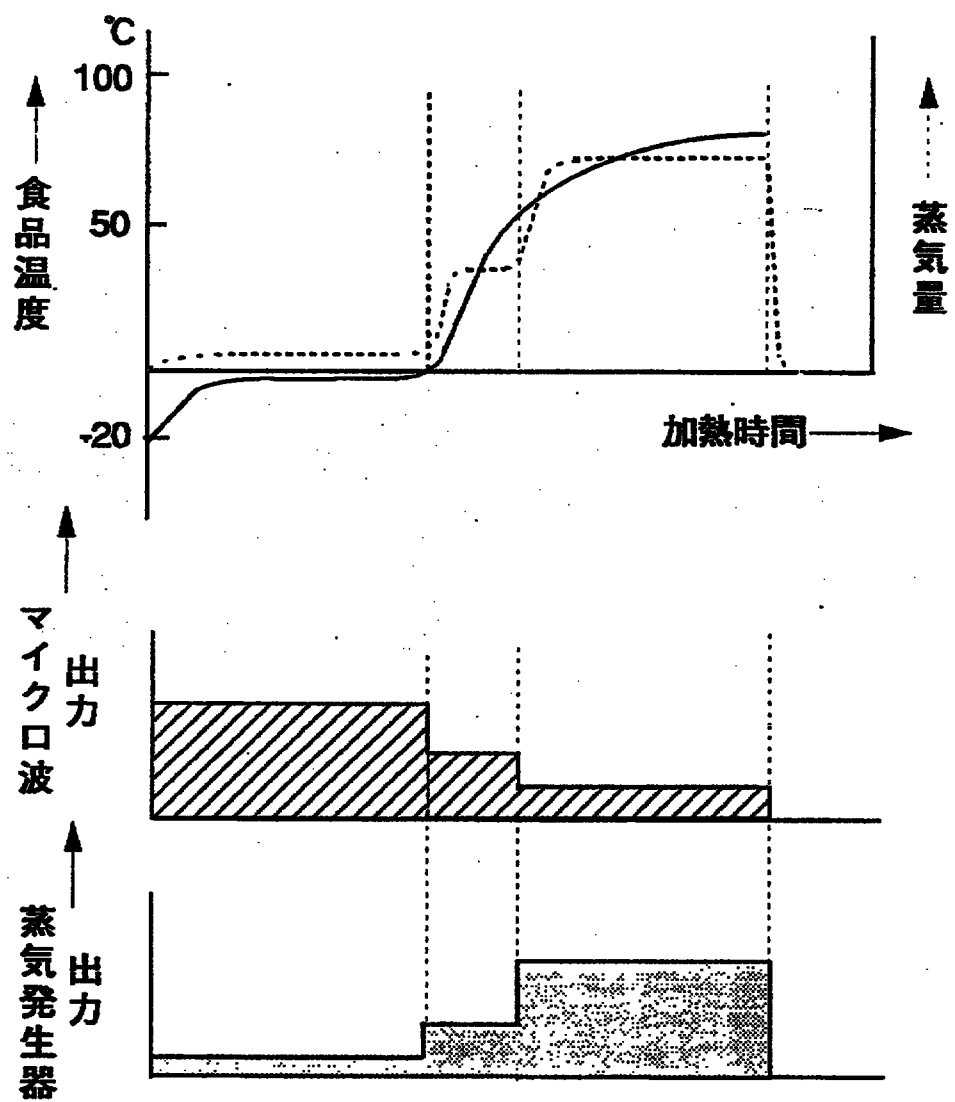


Fig. 22

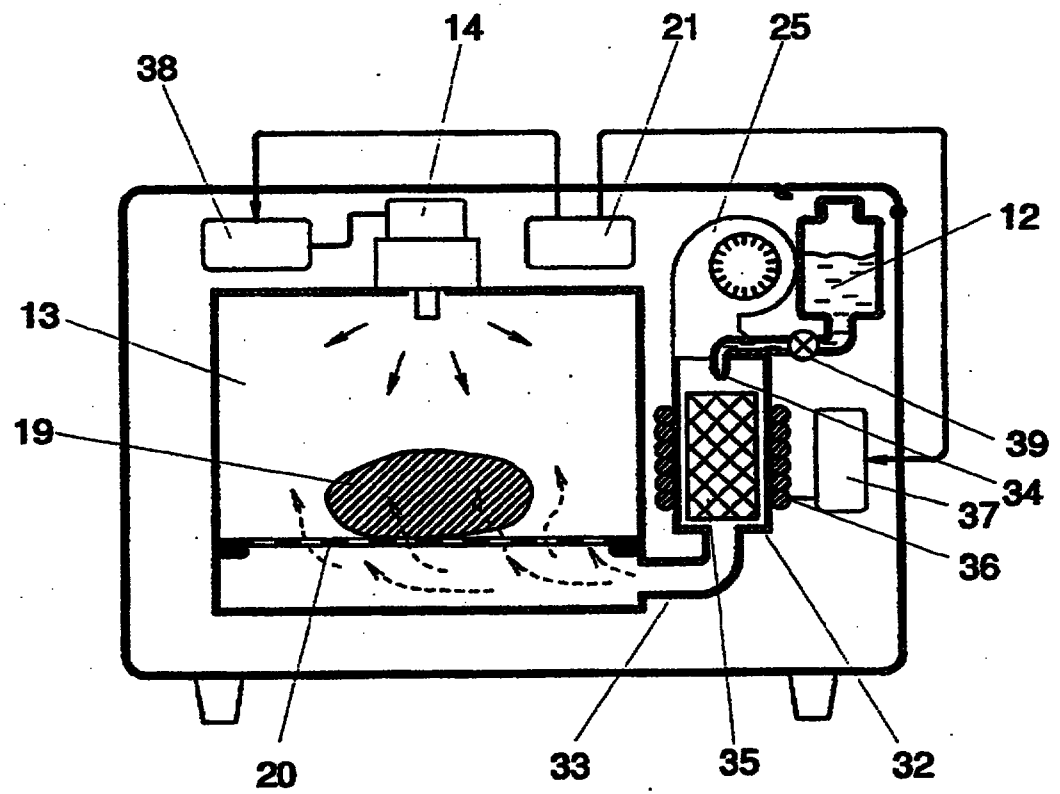


Fig. 23

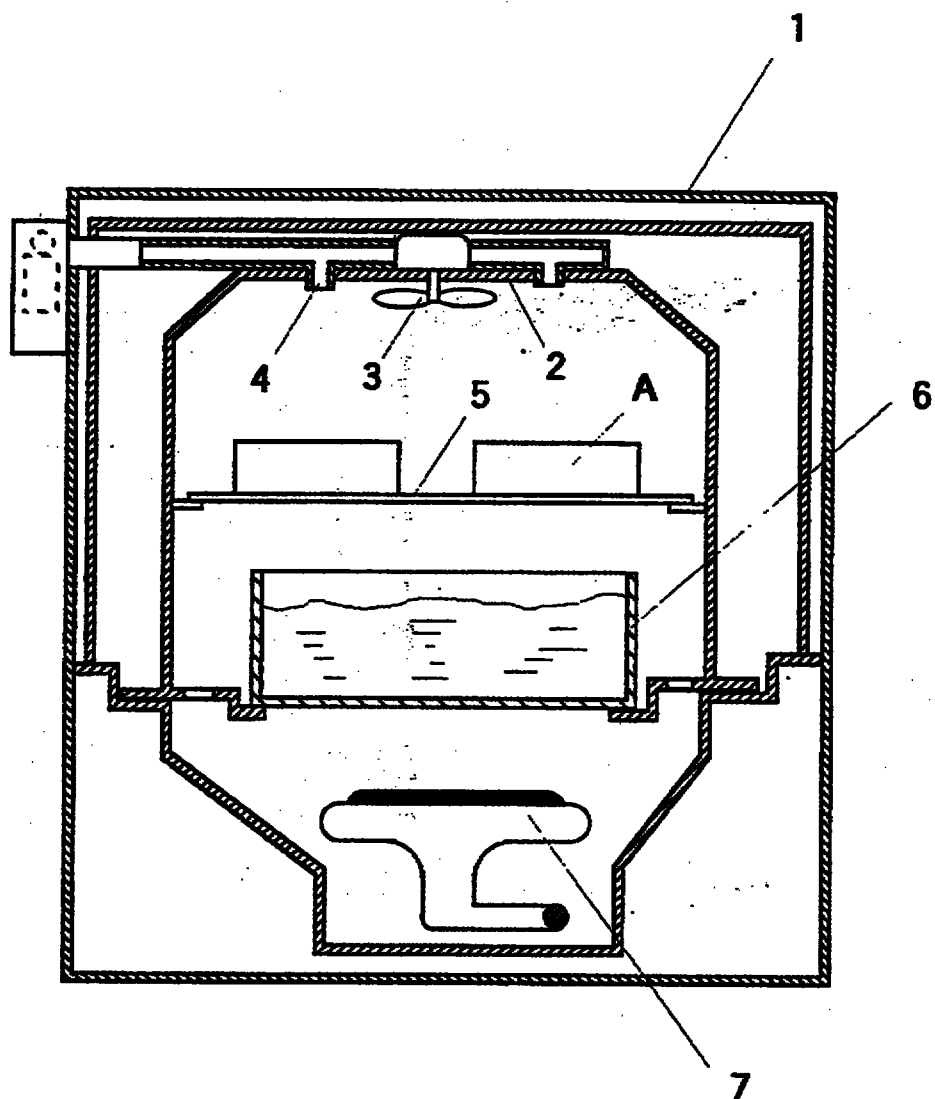
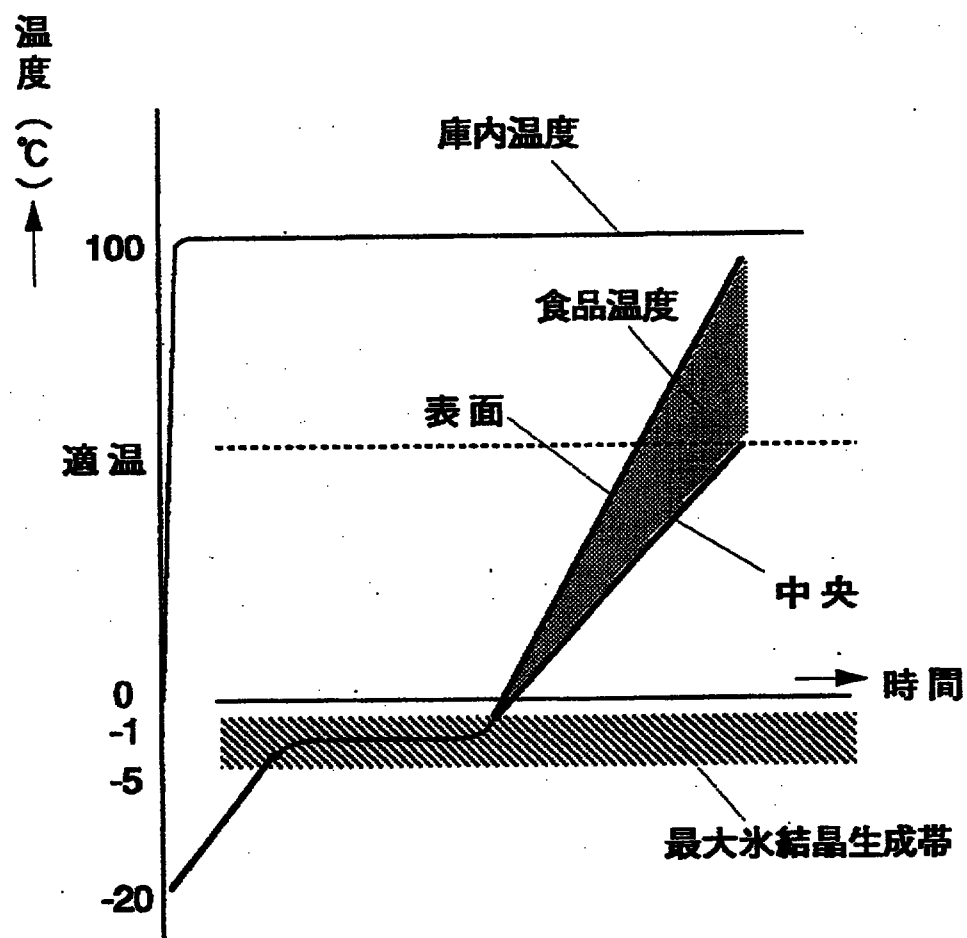


Fig. 24



DESCRIPTION

MICROWAVE HEATING APPARATUS

TECHNICAL FIELD

The present invention relates to a microwave heating apparatus for heating/cooking various heating objects in an appropriate environment.

BACKGROUND ART

As a prior art of microwave heating apparatus, a thawing/cooking oven as disclosed in the Japanese Patent Publication No. Sho55-51541 is well known. In the following, constitution of the oven is described referring to Fig.23.

Referring to Fig.23, a prior art thawing/cooking oven comprises a stirrer 3 disposed at the ceiling 2 of a sealable oven body 1, and a magnetron irradiation port 4 disposed in the neighbourhood of the stirrer. Within oven body 1, a detachable food shelf 5 is provided; a detachable liquid tray 6 for water, oil, etc. is provided underneath, in which a foodstuff A may be immersed when necessary; further beneath the tray, a heating means 7 by gas, electricity, etc. is provided. Through a combined work of magnetron irradiation port 4, liquid tray 6 and heating means 7, a heating object is heated with the magnetron irradiation from the above, and at the same time, depending on needs, with steam from boiling water from the underneath.

By the combined use of magnetron irradiation and heating with steam, the time for passing through the zone of maximum ice crystal formation, during which the cell wall is damaged when a frozen foodstuff is thawed, is minimized, and a foodstuff is

thawed evenly without allowing escaping of delicious contents. Since water vapour is available, the oven may be used also for thawing frozen breads/frozen cakes, or treating the whole process steps of bread/cake making with fermentation.

Besides heating with steam, the oven is capable of conducting various heating/cooking processes. For example, thawing of frozen pre-processed foodstuffs in fat provided in the liquid tray, thawing of a frozen food package by a combined use of magnetron irradiation and hot air from a heating apparatus (hot air stirred by stirrer in the ceiling), and other cooking methods are disclosed.

In a prior art microwave heating apparatus, however, since the atmosphere in heating cavity is approximately 100°C temperature/100% humidity, it accompanies such drawbacks as: when a frozen baked bread or a frozen fried tempura is thawed the surface becomes sticky with steam, affecting the deliciousness; uneven temperature spread is readily caused between the inside and the surface of a foodstuff, which, in a case of thawing frozen breads where the water content is low, gives damage on the stuff affecting the flavor, elasticity or the feeling on teeth.

The issue is explained more in detail. Fig.24 illustrates the changing temperature of a foodstuff and the oven cavity in a prior art oven wherein the heating with microwave and the heating with steam are conducted at a same time. The temperature of a foodstuff, starting from the frozen temperature (-20°C), climbs up passing through the zone of maximum ice crystal formation (-1 - -5°C) where it consumes a great energy, taking some time there. While a foodstuff is in frozen state it does not absorb the microwave efficiently, instead the microwave goes deep into the foodstuff, and the heat is conducted swiftly. Consequently, the temperature within a foodstuff is relatively even. Application of steam helps the foodstuff quickly pass through the zone of maximum ice crystal formation, but the temperature within the heating cavity becomes approximately 100°C, and the humidity also approximately 100%.

After passing through the zone of maximum ice crystal formation, a foodstuff carries with it those places already thawed and those still frozen. The thawed parts show a dielectric loss several times to several tens of times as large, and microwave is selectively absorbed, which invites uneven temperature within a foodstuff. Especially when steam is applied, the surface of a foodstuff gathers steam, and only a superficial surface of foodstuff is heated by microwave, which expedite the increase of surface temperature. Namely, when the inside temperature of a foodstuff reaches an optimum level, the surface temperature is already far higher than the optimum.

The optimum temperature for a meal is different depending on the kind; it is higher than 80°C for e.g. steamed meals; 60 - 70°C for tempuras, if too hot the food material dehydrates, and moisture is deprived of by coating and taste is affected. The optimum temperature for breads is the room temperature or a temperature slightly higher than bodily temperature; if it is too high the stuff gets damage, and the flavor, elasticity and feeling on teeth are affected. Anyway, the the optimum temperature is at least lower than 90°C.

Also the optimum humidity for a meal is different depending on the kind. For example, the taste deteriorates with both breads and tempuras if their surface get moistened.

As described above, in a prior art microwave heating apparatus, the emphasis has been placed on how swiftly having a heating object pass through the zone of maximum ice crystal formation, while hardly any attention has been paid on how to heat/cook a foodstuff in an environment that is ideal for the foodstuff. Namely, when steam is provided the environment in heating cavity is made to be always at almost 100°C temperature and approximately 100% humidity, therefore a foodstuff has never been heated/cooked in optimum environment.

DISCLOSURE OF THE INVENTION

The present invention is aimed at solving the above described drawbacks and is intended to heat/cook varieties of heating objects to an excellent condition by introducing a means to appropriately control, for example, the temperature, humidity, mode of air flow, etc.

According to the present invention disclosed, a means to control the environment surrounding a foodstuff or other heating object is introduced for controlling the atmosphere within a heating cavity to be almost identical to those temperature, humidity, etc. which are ideal for a heated/cooked foodstuff. By so doing, the surface temperature and the inner temperature of a foodstuff are kept almost equal, thereby a foodstuff under heating procedure is not deprived of, or supplied with too much heat or humidity, which enables the heating/cooking in a most suitable environment.

For implementing a further better heating operation, a method according to the present invention varies output of microwave in accordance with the condition of heating object during heating, for controlling profile of temperature increase of the heating object. By so doing, condition of a foodstuff, or a heating object is adapted to the environment within heating cavity, and a foodstuff is heated at an appropriate temperature without losing much humidity.

Further, according to the present invention, the atmosphere of heating cavity is directly watched, to be fed back to a control means. This ensures a reliable control of the environment within heating cavity.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig.1 illustrates a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a first embodiment.

Fig.2 shows appearance of a microwave heating apparatus according to the present invention.

Fig.3 shows cross sectional front view of a microwave heating apparatus according to a first embodiment of the present invention.

Fig.4 is block diagram showing a constitution for controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a first embodiment.

Fig.5 shows cross sectional front view of a microwave heating cavity according to a second embodiment.

Fig.6 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a third embodiment.

Fig.7 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a fourth embodiment.

Fig.8 shows cross sectional front view of a microwave heating cavity according to either a third or a fourth embodiment.

Fig.9 shows cross sectional front view of another microwave heating cavity according to either a third or a fourth embodiment.

Fig.10 is block diagram showing a constitution for controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to either a third or a fourth embodiment.

Fig.11 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a fifth embodiment.

Fig.12 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a sixth embodiment.

Fig.13 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a seventh embodiment.

Fig.14 shows cross sectional front view of a microwave heating cavity according to an eighth embodiment.

Fig.15 shows cross sectional front view of a microwave heating cavity according to a ninth embodiment.

Fig.16 shows cross sectional front view of a microwave heating cavity according to a tenth embodiment.

Fig.17 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a tenth embodiment.

Fig.18 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to an eleventh embodiment.

Fig.19 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a twelfth embodiment.

Fig.20 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a thirteenth embodiment.

Fig.21 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a fourteenth embodiment.

Fig.22 shows cross sectional front view of a microwave heating apparatus according to a fifteenth embodiment.

Fig.23 shows cross sectional front view of a prior art heating cavity of thawing/cooking oven.

Fig.24 shows a method of controlling the environment within heating cavity of a prior art thawing/cooking oven.

BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION

(embodiment 1)

A first embodiment of the present invention is described hereunder referring to drawings.

Fig.2 shows appearance of a heating apparatus implementing a method of heating foodstuff according to the present invention. In the front of oven body 8 is a door 9

disposed openable by hinge for closing the heating cavity in which a foodstuff is to be housed. On a operation board 10, a heating instruction key 11, or an input means, is disposed for entering instructions to a control section to be described later; the instructions are comprised of one-digit or two-digit code corresponding to such factors as category and quantity of foodstuff, store temperature (frozen or chilled), heat-end temperature, etc. which are relevant to method of heating. A water reservoir 12 is disposed detachable at the right side of body.

Fig.3 shows cross sectional front view of heating cavity; a magnetron 24, or microwave generating means for irradiating microwave and a steam generator 15 for generating steam are coupled to heating cavity 13. Magnetron and said steam generator are controlled by a control section 21, operation of which is described later. Steam generator 15 comprises a boiler 16, atomizer 17 comprising an ultrasonic vibrator, and a temperature control heater 18, and turns water supplied from water reservoir 12 to boiler 16 into small particles of water at atomizer 17, and temperature control heater heats the small particles of water to a specified temperature. Under the controlled operation of atomizer 17 and controlled input to temperature control heater 18, steam generator 15 produces an air of desired temperature and humidity. A foodstuff 19 is placed on a tray 20 having various small holes or slits.

Fig.4 is block diagram showing a constitution of control system; control section 21, or a means to control the environment, reads out a designated heating condition from a memory 22 upon receiving an instruction entered at heating instruction key 11. Control data for steam generator 15, viz. data of operation control of atomizer 17 and input control of temperature control heater 18, and data of power supply conditions to magnetron 14 are stored as the heating conditions. These data may either be a time sequential control value for each respective block, or a certain mathematical formula. In a case it is a mathematical formula, control section 21 conducts an operation to obtain time sequential

data, and power supplies to atomizer 17, temperature control heater 18 and magnetron 14 are controlled according to the time sequential data; thus temperature/humidity of steam to be supplied to heating cavity as well as temperature of the foodstuff are controlled to an already designated mode along with the progress of heating procedure.

In Fig.1 which illustrates the present invention, (a) shows temperature within heating cavity and temperature of foodstuff during heating procedure, (b) transition of humidity within the heating cavity, and (c) microwave output. What is significant with the present invention is that even when steam generating means is put into operation and heating is conducted with steam, the environment within heating cavity is not fixed in a constant state of approximately 100°C temperature/approximately 100% humidity. In other words, since control section 21 controls the microwave output and the steam generator, an apparatus according to the present invention cooks foodstuff always under an environment most suitable to the foodstuff.

Now in the following, a practical heating method is described. As indicated in (a), the temperature of a foodstuff started from the freezing temperature(-20°C) passes through the zone of maximum ice crystal formation(-1 - -5°C) taking some lapse of time (point A). Since the foodstuff absorbs microwave only slightly and has a good internal heat conduction, the microwave is generated at full power to be irradiated to the foodstuff during the first half of heating, and then in the second half when part of the foodstuff starts melting the output is decreased to an appropriate level, as shown in (c). During the above thawing period, the temperature within heating cavity is maintained at the room temperature or slightly higher than that, and the humidity at a normal humidity or slightly higher, as shown in (b). Namely, thawing is conducted mainly with microwave which goes deep into a foodstuff in frozen state, while the use of steam is suppressed.

After passing the point A, the foodstuff in which melted part and frozen part coexist starts absorbing microwave significantly. As described earlier, the melted part(water) shows

a dielectric loss several to several tens of times as high as that of frozen part, therefore the microwave output is reduced to a level about one fifth or sixth of the full power, as shown in (c). The temperature and humidity within heating cavity are raised after the point A or its vicinity, as shown in (a) and (b). When, the temperature within heating cavity is controlled, along with the progress of heating procedure, to keep almost an identical temperature as that of the foodstuff. Because thermal capacity of the air is low and foodstuff is quickly heated by microwave, it is efficient to set temperature of the environment at slightly higher, as shown in the drawing. Upon receiving a code entered from heating instruction key, the control section searches the memory and reads out control data corresponding to the category and quantity of foodstuff, store temperature(frozen or chilled, etc.), heat-end temperature, and other items; and executes the control from time to time on steam generator and magnetron in accordance with these control data. In order to provide a heating object after being thawed with humidity, an appropriate steam is supplied from steam generator, taking the humidity that a just-baked bread has into consideration. Thus, according to the present invention a foodstuff is not heated in an environment, approximately 100°C temperature/approximately 100% humidity when hot steam is provided, under which prior arts conducted heating.

By the execution of such controls, the difference between the foodstuff itself and the environment surrounding it is reduced to minimum, under which situation the exchange of temperature and moisture(water) is difficult to occur. Namely, when an average temperature in the core of foodstuff reaches an appropriate level, the environmental temperature too is almost on an equal level, therefore thermal exchange and transfer of moisture at the surface of foodstuff is difficult to take place. Consequently, a bread an ideal temperature of which is the room temperature or a temperature slightly higher than bodily temperature does not get any material harm on the stuff because of very small in/out temperature difference; and a frozen bread may be thawed maintaining the same flavor and elasticity as it had

when it was just baked and preserved until just before it was frozen, to an excellent condition, and the feeling to teeth is made to be comparable to the state as it was just baked. As the result, heating/cooking process proceeds keeping the surface temperature and the inner temperature of a foodstuff approximately equal, as shown in Fig.1.

Since the humidity within heating cavity is optimized taking the moisture contained in a just-baked bread into consideration, the skin of bread does not absorb excessive moisture from steam.

In a case of tempura, because at the time when temperature of inner stuff reaches at 60 - 70°C the coating is also heated approximately to the same temperature, the inner stuff is not deprived of moisture by the coating and keeps juicy state.

In the present embodiment, the surface of both bread and tempura is somewhat moisturous when heating is ended due to influence of steam but it dries up crisp in several minutes, before the dishes are carried to a dining table. In the repeated experiments, those by the present embodiment produced more crispy state in several minutes after heating is finished, as compared with those heated with only microwave. The reason seems to be that: when a heated foodstuff is taken out of heating cavity to a normal room ambient where it is dry and low in temperature it loses heat and moisture, therefore by providing in advance a slight moisture corresponding to a quantity to be lost to the surface of foodstuff it resumes a just-cooked state in several minutes. On the other hand, those heated with only microwave got increasingly moisturous in the coating after the heating is ended. The reason seems to be that: since the temperature of inner stuff is higher than that of coating, the moisture of inner stuff moves to the coating, rendering the coating moisturous, and the inner stuff suffers dehydration.

(embodiment 2)

Fig.5 is a cross sectional front view showing a heating cavity according to a second embodiment. In the first embodiment, heating work is carried out, upon receiving a heating instruction entered through an inputting means, in accordance with heating conditions recorded beforehand in a memory means. However, the environment of a foodstuff under a heating procedure may be better controlled with higher precision by providing a detecting means for measuring the environment within heating cavity and giving feedback to the power supply to steam generator. In heating cavity 13, a temperature sensor 23 and a humidity sensor 24 are disposed as an environmental detection means. Temperature and humidity within heating cavity 13 are detected, and supplied to a control section 21. This enables the control section to watch the environment within heating cavity precisely, and to see whether it is under a good control or deviating. In a case when the environment within heating cavity is deviating from a specification, power supply to steam generator 15 is varied to restore the environment to specification.

In the present embodiment, both temperature and humidity are detected to make the control sure. However, since a rough idea about the quantity of steam generation may be conceivable through the power supply to steam generator, the environment within heating cavity may be practically watched through detection of temperature alone.

(embodiment 3)

Now in the following an embodiment provided with an air blowing means is described. Fig.8 shows a constitution containing an air blowing means; where, a fan 25, or an air blowing means, cools magnetron 14 and other components and then brings a certain quantity of air flow into heating cavity 13 guided by an air guide 26. This ventilation air agitates the uneven steam within heating cavity, and discharges redundant steam out of casing through an exhaust guide 27 and an exhaust hole 28 disposed in a part of the casing.

As described above, fan 25 mixes the air produced in steam generator 15 at a desired temperature and humidity with an outside air, enabling adjustment of the environment within heating cavity in a quicker and broader scale. Further, the flow of air within heating cavity makes it easier to control dryness in the surface of foodstuff. Foodstuff 19, a heating object, is placed on a tray 20 having substantial numbers of small holes or slits.

Fig.9 is cross sectional front view of a heating cavity according to other form of the embodiment. In heating cavity 13, a circulation fan 29 is disposed instead of a fan provided as the air blowing means in the earlier described embodiment. Although it is impossible for circulation fan 29 to shift the temperature and humidity of the air discharged from steam generator 15 with a controlled temperature/humidity in a quicker and broader scale as the fan in the earlier described form of embodiment did, the circulation fan works effectively to improve the unevenness of temperature and humidity by agitating the air within heating cavity, while maintaining the once adjusted temperature and humidity within heating cavity 13. Further, the dryness in the surface of foodstuff can be controlled with ease through the control of speed and volume of air flow.

Fig.10 is block diagram showing a control system; where, a control section 21 receives a heating instruction code entered at heating instruction key 11, and reads out corresponding heating conditions from memory 22 which is a storage means. As the heating conditions, control data of steam generator 15, viz. data of controlling the operation of atomizer 17 and controlling the input to temperature control heater 18, data showing power supply conditions to magnetron 14, and control data of fan 25, or a air blowing means, are stored in the memory. These data may be in a form of either time sequential control data for each respective block, or a mathematical formula. Control section 21 controls, in accordance with a time sequential data picked up from memory or a time sequential data obtained as the result of operation of the formula, the power supply to atomizer 17, temperature control heater 18, and magnetron 14, as well as the operation of fan 25,

for controlling the temperature and humidity of steam to be introduced in heating cavity at each step of heating procedure, and the air flow and foodstuff temperature to predetermined conditions.

Fig.6 shows a method of controlling the environment with the above described constitution. Where, (a) shows the temperature within heating cavity and the temperature of foodstuff under heating procedure, (b) transition of humidity within heating cavity, (c) microwave output, and (d) the operation of air blow fan.

In (a), the temperature of a foodstuff started from the freezing temperature(-20°C) passes through the zone of maximum ice crystal formation($-1 - -5^{\circ}\text{C}$) taking some lapse of time (point A). Since a foodstuff absorbs microwave only slightly and has a good internal heat conduction, the microwave is generated at full power to be irradiated to the foodstuff during the first half of heating procedure, and then in the second half when part of the foodstuff starts melting the output is decreased to an appropriate level, as shown in (c). During the above thawing period, the temperature within heating cavity is maintained at room temperature or slightly higher than that, and the humidity at a normal humidity or lightly higher, as shown in (b). Namely, thawing is conducted mainly with microwave which goes deep into a foodstuff in frozen state, while the use of steam is suppressed.

After passing through the point A, the foodstuff in which melted part and frozen part coexist starts absorbing microwave significantly. As described earlier, the melted part (water) shows a dielectric loss several to several tens of times as high as that of frozen part, therefore the microwave output is reduced to a level about one fifth or sixth of the full power, as shown in (c). The temperature and humidity within heating cavity are raised after the point A or its vicinity, as shown in (a) and (b). When, the temperature within heating cavity is controlled, along with the progress of heating procedure, to keep almost an identical temperature as that of the food stuff. The control section searches the memory, upon receiving a code entered from

heating instruction key, and reads out control data corresponding to the category and quantity of foodstuff, store temperature (frozen or chilled, etc.), heat-end temperature, and other items; and executes the control from time to time on steam generator, magnetron, and air blowing fan in accordance with these control data.

By the execution of such controls, the difference between the foodstuff itself and the surrounding environment is reduced to minimum, under which situation the exchange of temperature and moisture(water) is difficult to occur. Namely, when an average temperature in the core of foodstuff reaches an appropriate level(point B), the environmental temperature too is almost on an equal level, therefore thermal exchange and transfer of moisture at the surface of foodstuff is difficult to take place. Consequently, a bread an ideal temperature of which is the room temperature or a temperature slightly higher than bodily temperature does not get any material harm on the stuff because of very small in/out temperature difference; and a frozen bread may be thawed maintaining the same flavor and elasticity as it had when it was just baked and preserved until just before it was frozen, to an excellent condition, and the feeling to teeth is made to be comparable to the state as it was just baked. In a case of tempura, because at the time when temperature of inner stuff reaches at 60 - 70°C the coating is also heated approximately to the same temperature, the inner stuff is not deprived of moisture by the coating, and keeps juicy state.

The surface of both bread and tempura at point B is somewhat moisturous affected by the steam. By keeping the air blowing fan running even after point B, as shown in (d), redundant moisture sticking on the surface of foodstuff can be swiftly removed. Therefore, it is effective for foodstuffs like the coating of tempura and the crust of bread which need to have a crunchy feeling to make the fan running for several minutes after the point B.

It has become clear after conducting experiments repeatedly that the coating which was heated with microwave alone

becomes increasingly moisturous with the lapse of time, while the one heated under a controlled temperature/humidity provides a dry and crunchy feeling if the blowing fan was kept running additionally for several minutes after the point B. Such effect by the blowing air is called "effect from smooth/mild by on and off". It seems that when heated with microwave alone the temperature of inner stuff goes higher than the coating, and after the point B the moisture of inner stuff moves to the coating; so the deliciousness is affected by the coating getting moisturous and the inner stuff getting dehydrated.

According to the present invention, a small amount of moisture that is to be lost during the "effect from smooth/mild by on and off" after the point B may be provided in advance to the surface of a foodstuff; thereby creating a state through which a better state of foodstuff more similar to that of just-cooked is reproduced in several minutes afterwards.

The notice of completion is issued at point C by buzzer or other means. The delay time for issuing notice may be counted from the point B with a timer provided in the control section, or determined by detecting the temperature within heating cavity decreased to a certain level with a temperature sensor disposed in the heating cavity. By delaying the notice of completion to the point C, a cooking person may take a foodstuff out of oven totally relying upon notice, without thinking about an ideal timing of finishing. The delayed notice contributes also to the safety, because the temperature and humidity within heating cavity drop, if slightly, at the time when taking a foodstuff out of oven.

(embodiment 4)

Now in the following, other embodiment of control method under a constitution comprising an air blowing means is described. Fig. 7 illustrates an example of controlling the environment within heating cavity so that its temperature never goes beyond the temperature a foodstuff has at the completion of heating procedure.

In Fig.7 which illustrates the present invention, (a) shows temperature within heating cavity and temperature of foodstuff during heating procedure, (b) transition of humidity within the heating cavity, (c) microwave output, and (d) operation of air blowing fan. In (a), the method of control from the start of heating upto the point A is totally the same as that of embodiment 1. The constitution of reducing microwave output after the point A to a level about one fifth or sixth of the full power as shown in (c) is also the same as that of embodiment 1. Air blowing fan keeps on running intermittently after the point B, as shown in (d), and foodstuff receives intermittent air blow like wind by a handheld fan; which may bring the above described "effect from smooth/mild by on and off" more significant. Namely, when a foodstuff is exposed to a continuous wind blow its surface easily create uneven temperature spread; but when blown by an intermittent wind the temperature spread becomes more even helped by thermal conduction within foodstuff, enabling a good cooking with less uneven temperature spread.

Temperature as well as humidity within heating cavity are sharply raised after the point A, as shown in (a) and (b). The temperature within heating cavity is made to approximately coincide with the temperature a foodstuff should have at the completion of heating procedure; practically, the cavity temperature is set slightly higher. By the above described control mode, the foodstuff receives after the point A more significant influence in the temperature and humidity from the surrounding environment than in the earlier described control mode of embodiment 1, therefore heating proceeds more efficiently. The environment, however, never go beyond an appropriate temperature level of a foodstuff. Therefore, the low temperature zone or middle temperature zone heating for bread, tempura, etc. as well as the heating of delicate items which should be strictly protected from moisturing can be conducted in a subtle way, as in the method of embodiment 1.

In the present embodiment, any detecting means such as sensor is not employed, and the heating work is proceeded

according to predetermined heating conditions stored in memory and designated by an heating instruction entered from input means. However, a detection means for detecting environmental conditions within heating cavity and entering the results as the feedback to power supply to steam generator may of course be provided. A temperature sensor and a humidity sensor may serve as the detection means.

Further, during the time after the end of heating(point C) until oven door is opened for taking foodstuff out the heating cavity may be used as a keep-warm chamber which keeps cooked meals warm without affecting the quality, by continuing only an environmental adjustment.

Based on a code entered from heating instruction key, control section picks up from memory the control data of steam generator and magnetron corresponding to the category and quantity of foodstuff, starting temperature(frozen or chilled, etc.), end of the heat temperature, and other items entered, and executes the control from time to time in accordance with these data.

(embodiment 5)

A fifth embodiment is described hereunder. Fig.11 illustrates a heating method according to the present invention, wherein the core and the surface temperatures of a foodstuff are raised with a relative evenness. Where, (a) shows temperature within heating cavity and temperature of food stuff during heating procedure, (b) transition of humidity within the heating cavity, and (c) microwave output. The temperature and humidity within heating cavity just before the end of heating are controlled to be a temperature and a humidity, respectively, which are suitable for a foodstuff to be appropriately cooked.

Referring to (a), the temperature of foodstuff starting from freezing temperature(-20°C) climbs slowly until the zone of maximum ice crystal formation($-5 - -1^{\circ}\text{C}$), as the absorption of microwave is very small. In the zone of maximum ice crystal formation, the energy is consumed for melting the ice, therefore it takes some time before passing through the zone (point A).

After passing the point A, the foodstuff starts absorbing microwave significantly resulting in a sharp increase of foodstuff temperature.

Since it takes some time before the temperature and humidity within heating cavity reaching a level of heat-end state as shown in (a), (b), the output of microwave (c) is controlled depending on foodstuff so as the heating/cooking procedure does not finish before the adjusting of environment is ready. In a case of a foodstuff whose temperature rise in the core is almost identical to that at the surface, it is not necessary to reduce the microwave output after the point A. In this way, the environment within heating cavity is well adjusted to be corresponding to the heat-end state; therefore a foodstuff is mildly heated from the surface with latent heat of steam, at the same time with microwave. Consequently, the foodstuff is heated swiftly with well balanced temperatures in the core and the surface when the heating/cooking procedure is completed. Further, as the moisture on the surface of foodstuff is preserved well, boiled rice or pasta does not get dried, nor wetted.

(embodiment 6)

In the following a sixth embodiment is described. Fig.12 shows a heating method according to the present invention for heating a foodstuff whose core part is heated earlier than the surface; where, (a) shows temperature within heating cavity and temperature of foodstuff during heating procedure, (b) transition of humidity within heating cavity, and (c) microwave output. The temperature and humidity within heating cavity just before the end of heating are controlled to be a temperature and a humidity, respectively, which are suitable for a foodstuff to be appropriately cooked.

Starting from freezing temperature(-20°C), if a foodstuff is irradiated by microwave from the beginning the microwave goes into the core part and the core part is heated first. Therefore, as shown in (a) and (b), temperature and humidity within heating cavity are adjusted to be immediately

...reaching a level of the end of heating procedure; and steam is made to be condensing on the surface of foodstuff taking advantage of the temperature difference between environment and foodstuff, and a layer of water is formed by the temperature of environment. At the time when the surface of foodstuff starts melting (point A), heating with microwave is initiated as shown in (c). Then a part of microwave which should have gone into the core part is absorbed by the surface of foodstuff, heating the foodstuff from both inside and outside in a well balanced way. As a practical example, a shao-mai is warmed homogeniously, avoiding such an inconvenience that a tepid temperature shao-mai is very hot inside when chewed. Furthermore, the surface of shao-mai is not dried, and is well preserved with moisture and softness to the conservation of its original deliciousness. It is also confirmed by experiments that the weight reduction after heating is less among those heated according to a method of the present invention, as compared with those heated by microwave alone. In a case of shrimp tempura, since shrimp and the coating are heated at almost same temperature, such inconvenience as the shrimp going stiff as a result of dehydration caused by move of the moisture contained in the shrimp, temperature of which reached high earlier than the coating, to the coating, consequently the coating loses the crispy touch, is preventable. According to the result of experiments, the coating of those tempuras heated by a heating method according to the present invention is more moisturous as compared with those heated by microwave alone at a time immediately after the end of heating procedure, but when they are served on a table the coating resumed its crispy feeling, as the redundant water gradually evaporated away in the course of time.

(embodiment 7)

A seventh embodiment is described hereunder.

Fig.13 shows a heating method according to the present invention for heating a foodstuff whose surface is heated earlier than the core part; where, (a) shows temperature within heating cavity and temperature of foodstuff during heating procedure, (b) transition

of humidity within heating cavity, and (c) microwave output. Starting from freezing temperature(-20°C), the temperature of foodstuff passes through the zone of maximum ice crystal formation ($-1 - -5^{\circ}\text{C}$) taking some lapse of time (point A).

Since microwave is absorbed by foodstuff only slightly upto the point A from the start, and goes deep inside the foodstuff, microwave is irradiated to frozen food with the full output during the first half of heating procedure, as shown in (c). In order to have the microwave reaching well inside the foodstuff, it is important to prevent the surface of foodstuff from melting itself or absorbing moisture. Therefore, until the foodstuff partially starts melting (point A), temperature control within heating cavity is suspended as shown in (b). Namely, thawing of foodstuff is conducted mainly with microwave which is capable of permeating deep into a foodstuff in frozen state, meanwhile steaming is suspended.

After passing through the point A, the foodstuff, in which melted part and frozen part coexists, starts absorbing microwave significantly. As described earlier, the melted part (water) shows the dielectric loss several to several tens of times as high as the frozen part; which makes temperature difference between the melted and the frozen larger. Therefore, as shown in (c), microwave output is gradually lowered to about one fifth or sixth of the full power, and heating is kept on going allowing conduction of heat from high part to low part. After passing the point A, the temperature and the humidity within heating cavity are adjusted respectively to coincide with the state at the end of the heating procedure of foodstuff, as shown in (a) and (b); thus steam surrounds the surface of foodstuff and helps the inside temperature go up.

In a case where the inside temperature is still too low when the surface reached to the heat-end temperature (point B), microwave radiation is terminated at the point B, as shown in (c), and wait for the inside temperature go up while continuing the control of temperature and humidity, as indicated in (a), (b). When applied to e.g. hamburger or curry and rice, the present heating method warms these items entirely to the inside to a good temperature, avoiding the surface going too hot and dried or boiled down.

(embodiment 8)

Now in the following, an eighth embodiment comprising an independent heating means in order to completely prevent dew condensation in heating cavity is described.

As the independent heating means, a heating device 30 is provided, besides a steam generator 15, in the steam discharge path, as shown in Fig.14. Prior to generation of steam, a control section starts power supply to the heating means to raise the temperature of heating cavity. With such constitution, the condensation of dew on cold wall surface of heating cavity is prevented at far higher certainty.

By virtue of the independent heating means, the temperature and the humidity within heating cavity are adjusted not to cause dew condensation on inner wall surface of heating cavity, through the control on power supplies to steam generator 15 and heating device 30. The effectiveness is remarkable when the environment within heating cavity is adjusted to be lower than 90% in relative humidity.

(embodiment 9)

Now in the following, a ninth embodiment comprising an independent heating means in order to completely prevent dew condensation in heating cavity is described. Fig.15 shows an example of a microwave heating apparatus comprising an electric heater in heating cavity. Among the environment adjusting means, heating device 30 may be replaced with such electric heater 31 for an integrated function.

It is not intended to limit the steam generator to a type as depicted in the present embodiment; it may be a seize heater or the like dipped into an ordinary boiler, or attached by blazing around the tank, for example. In such a setup, in order to allow a free control of steam temperature, a part of heater should preferably be extruding above the water level of the boiler so that the temperature of generated steam can be further raised.

(embodiment 10)

Now in the following, other embodiment of the present invention is described referring to drawings. Fig.16 shows cross sectional view of a microwave heating apparatus according to other embodiment of the present invention. A magnetron 14, or a microwave generating means, is provided in a heating cavity 13 for irradiating microwave inside of heating cavity 13. Provided at a side of heating cavity 13 is a steam generator 32 comprised of non-magnetic material. One end of steam generator 32 is coupled with heating cavity 13 via a discharge duct 33, the other end with a water reservoir 12 via an inflow tube 34. Within steam generator 32, a heating element 35 comprised of a magnetic metal is housed. Ideally, steam generator 32 shall be mostly filled with heating element 35. Heating element 35 may be comprised of any material of any shape, in so far as it generates heat with magnetic fields; in the present embodiment, a metal substance shaped in a form of continuous foam or fiber is used in order to maximize the contact surface with water.

In a case where steam generator 32 is comprised of a magnetic material, instead of non-magnetic material, heating element 35 turns out to be unnecessary; in this case, however, the volume of water staying in steam generator 32 increases and takes a longer time before it starts generating steam; therefore, some contrivance becomes necessary, such as inserting a hollow body or the like in the steam chamber in order to reduce the effective volume of water in the chamber, heating the water in advance, or some other means.

Around steam generator 32, an exciting coil 36 is provided, which is connected with an inverter power supply 37 for supplying an alternating current. With the power supplied from inverter power supply 37, exciting coil 36 produces an alternating magnetic fields. With the alternating magnetic fields, an eddy current is created in heating element 35, which makes heating element 35 generate heat. The water in steam generator 32 is heated by the heat generated from heating element 35 and vapours, which vapour proceeds to heating cavity 13 through discharge duct 33. Numeral 38 denotes a high tension power supply for supplying high voltage power to magnetron 14. A controller 21 conducts the ON/OFF operation of inverter power supply 37 and high tension power supply 38, or the power control of respective power sources. Within heating cavity 13, a tray 20 having openings that allow the steam go through is disposed to place a foodstuff 19 on.

Exciting coil 36 itself does not generate any heat; instead, the eddy current makes heating element 35 generate heat, to be conducted direct to the water. Thus, steam is produced efficiently.

The steam generator 32 is defined by a generally cylindrical shell made of an insulating material of a kind having a heat resistance and an insulating property such as, for example, heat-resistant glass or porcelain, having a wall thickness greater than the distance of insulation relative to the voltage applied to the exciting coil 36, that is, greater than a value sufficient to avoid any possible dielectric breakdown which would take place at the voltage applied to the exciting coil 36.

The heating element 35 may be made of a porous metallic material having a sufficient water-resistance and a corrosion resistance such as, for example, Ni, Ni-Cr alloy or stainless alloy.

Fig.17 illustrates amount of vapour in the heating cavity. What Fig.17 shows is the change of steam quantity within heating cavity as the heating time elapses; at the time when heating is started the steam generator also starts working, and stops working when the heating is ended. According to experiment,

... wherein heating element 35 is heated with 400W output power from inverter power supply 37, steaming began in approximately 10sec. and ended in approximately several seconds after the heating is stopped. Thus, the start and stop of steam generation took place with a much quicker response to the operation of steam generator, as compared with conventional constitutions. Further, the steam was produced by a substantially small power consumption. This is because the alternating magnetic fields of exciting coil 36 powered by inverter power supply 37 instantaneously heated heating element 35 to heat the water in steam generator 32, and steam was efficiently generated. The efficiency is remarkable when heating element 35 is comprised of a metal in a form of continuous foam or fiber, which has a large contact area with water. Also because of a fact that the proportion of volume of water within steam generator 32 is lessened by the existence of heating element 35, steam is easily generated by heating only a small quantity of water, which enables the quick start up of steaming.

Generally speaking, the shorter start up time is preferred; practically, it should be shorter than 1min., preferably approximately 10sec.

(embodiment 11)

Fig.18 shows relationship between temperature of foodstuff and quantity of steam within heating cavity of a microwave heating apparatus according to an eleventh embodiment. In Fig.18, the operation of microwave generating means and steam generating means are started at a same time when heating procedure is started. Also, when heating is ended, the operation of the above two means are discontinued at the same time. Because of the quick start up of steam generator, although the operation of steam generator is started at a same time when microwave operation is started, foodstuff is cooked with both microwave and steam through most of the heating/cooking time, with an exception of the initial several seconds when heating is conducted solely with microwave; thus, heating is conducted while suppressing moisture evaporation from foodstuff. Therefore, a subtle heating/cooking is

... implemented to produce an excellent finish, without losing an appropriate humidity in a foodstuff.

(embodiment 12)

Fig.19 shows relationship between temperature of foodstuff and quantity of steam within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a twelfth embodiment. In Fig.19, a foodstuff is heated solely with microwave while the food stuff is in frozen state, or below zero, as it is easier for microwave to go into frozen foodstuff. Thawing goes ahead, and as soon as temperature of foodstuff reaches almost above zero, a steam generator is started to heat/cook the foodstuff with both microwave and steam. Moisture easily evaporates from foodstuff when foodstuff temperature exceeds 0°C. In the present heating method, however, foodstuff is surrounded with steam; therefore, it is heated while preventive measure against moisture evaporation is being taken. Thus, foodstuff may be heated/cooked in a good environment resulting in an excellent finish conserving appropriate humidity, without dehydration. Further, as the steam generator is put into operation only during the time of needs, redundant use of power is avoided making a contribution to the energy saving.

(embodiment 13)

Fig.20 shows relationship between temperature of foodstuff and quantity of steam within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a thirteenth embodiment. In Fig.20, the operation of microwave generating means and steam generating means are started at a same time when heating procedure is started. At the ending, operation of steam generating means is terminated earlier by a certain time span during which the steam in heating cavity decreases, after that the microwave operation is turned off. By so doing, quantity of the steam in heating cavity decreases when heating procedure is ended, consequently it is easy and safe for a cooking person to take the foodstuff out, without being exposed to hot steam.

.. (embodiment 14)

Fig.21 shows relationship between temperature of foodstuff and quantity of steam within heating cavity of a microwave heating apparatus according to a fourteenth embodiment. In Fig.21, foodstuff is heated with microwave at high output power and steam generator at low power operation while the foodstuff is in frozen state, or below zero temperature. Next, as the thawing proceeds and temperature of foodstuff reaches almost above zero, the output of microwave is lowered to medium, while the output of steam generator is raised to medium. After the temperature of foodstuff reached a medium zone, the output of microwave is decreased to low, while the output of steam generator is increased to high. The outputs of microwave and steam are thus varied along with the progress of heating procedure. For example, while foodstuff is still in frozen state thawing is quickly done with microwave which has an advantage of permeating deep into the ice; and then foodstuff is gradually heated with medium output microwave and steam in order to preventing the foodstuff from being heated unevenly. The medium output steam is effective to keep the temperature homogeneous within a foodstuff, and to prevent the evaporation of moisture. At the final stage where the foodstuff temperature goes considerably high and the uneven temperature within foodstuff is easy to occur, heating is carried out slowly with lower output microwave making use of the thermal transfer, or a transferred heating, within the foodstuff. When temperature of foodstuff is high, moisture easily evaporates from the foodstuff. However, in the present embodiment, as the cavity is filled with a substantial amount of steam the evaporation is surely prevented, at the same time the steam works to give heat to the foodstuff. Consequently, heat dissipation from the surface of foodstuff is prevented, moreover the foodstuff is heated from the surrounding surfaces, therefore the foodstuff is homogeneously heated/cooked, conserving the moisture, without dehydration, bringing about a subtly prepared meals.

(embodiment 15)

Fig.22 shows cross sectional view of a microwave heating apparatus according to a fifteenth embodiment. A magnetron 14, or a microwave generating means, is provided in a heating cavity 13 for radiating microwave inside of heating cavity 13. Provided at a side of heating cavity 13 is a steam generator 32 comprised of non-magnetic material. Bottom end of steam generator 32 is coupled with heating cavity 31 via a discharge duct 33, top end with a water reservoir 12 via an inflow tube 34. A valve 39 is disposed between inflow tube 34 and water reservoir 12 for regulating the flow of water. Within steam generator 32, a heating element 35 comprised of magnetic metal is housed. Heating element 35 is comprised of metal substance shaped in a form of continuous foam or fiber in order to maximize the contact surface with water. Around steam generator 32, an exciting coil 36 is provided which is connected with an inverter power supply 37 for supplying an alternating current. With the power from inverter power supply 37, exciting coil 36 produces alternating magnetic fields. With the alternating magnetic fields, eddy current is produced in heating element 35, which makes the heating element generate heat. From the top of heating element 35, water from water reservoir 12 is provided via inflow tube 34. The flow of water is controlled by valve 39 so that water drips only for a quantity needed for evaporation. The water dripping in steam generator 32 is heated by the heat generated from heating element 35 and vapours, which vapour proceeds to heating cavity 13 through discharge duct 33. A fan 40 blows the steam produced in steam generator 32 into heating cavity 13. Numeral 38 denotes a high tension power supply for supplying high voltage power to magnetron 14. A controller 21 conducts the ON/OFF operation of inverter power supply 37 and high tension power supply 38, or the power control of respective power sources. Within heating cavity 13, a tray 20 having openings that allow the steam to go through is disposed to place a foodstuff 19 on. Exciting coil 36 itself does not generate any heat; instead, the eddy current makes heating element 35 generate heat, to be conducted direct to the water.

Thus, steam is produced efficiently.

According to a heating method with the above described constitution, water is heated only by a quantity for evaporation, which results in a limited consumption of water and almost instantaneous generation of steam at a small power consumption. Thus, the start and stop of heating may be executed instantaneously, which makes it possible to carry out an optimum control on the heating to be suitable to each of the heating/cooking stages. In this way, foodstuffs may be heated/cooked in a manner most suitable to respective category.

INDUSTRIAL APPLICABILITY

According to the present invention the environment within heating cavity such as temperature, humidity, etc. are controllable to fit a foodstuff; therefore varieties of foodstuffs may be heated/cooked excellent. Namely, a microwave heating apparatus according to the present invention makes it possible to heat/cook maintaining the inner temperature and the surface temperature of a foodstuff almost identical.

Besides the heating/cooking of already described bread and frozen tempura, the present apparatus is ideal for such items wherein a plurality of foodstuffs are in one package and thawing or reheating of which is difficult with microwave alone, e.g. a box lunch, as well as for the refrigerator thawing where a frozen item is made to pass through the zone of maximum ice crystal formation and stopped at refrigerator temperature.

In addition to foodstuffs, a wide range of materials that have various dielectric loss may become the object of heating, in addition to foodstuffs. Various industrial fields where a delicate heat processing is required, for example, dissolving of synthetic resins, softening of glues, drying of woods, etc. will fall within the range of application.

Besides microwave, a high frequency alternating field may be employed as the heat source.

CLAIMS

1. A microwave heating apparatus which comprises:
a heating cavity for housing an object of heating;
a microwave generating means for irradiating microwave to said object of heating;
a steam generating means for supplying steam to said heating cavity; and
a control means for controlling said microwave generating means and said steam generating means so that inner temperature and surface temperature of said object of heating are made approximately equal.
2. A microwave heating apparatus which comprises:
a heating cavity for housing an object of heating;
a microwave generating means for irradiating microwave to said object of heating;
a steam generating means for supplying steam to said heating cavity;
a detection means for detecting environmental conditions within said heating cavity; and
a control means for controlling said microwave generating means and said steam generating means in accordance with the output from said detection means so that inner temperature and surface temperature of said object of heating are made approximately equal.
3. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 2, wherein said detection means detects temperature.
4. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 2, wherein said detection means detects temperature and humidity.
5. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 4, wherein, when heating said object of



heating in frozen state, said control means controls the output of said steam generating means after said object of heating is thawed to be greater than the output of said steam generating means while said object of heating is still in frozen state.

6. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 4, wherein, when heating said object of heating in frozen state, said control means controls the output of said microwave generating means after said object of heating is thawed to be smaller than the output of said microwave generating means while said object of heating is still in frozen state, and the output of said steam generating means after said object of heating is thawed to be greater than the output of said steam generating means while said object of heating is still in frozen state.

7. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 4, wherein, when heating said object of heating in frozen state, said control means controls the output of said microwave generating means at immediate after start of heating to be smaller than the output of said steam generating means thereafter.

8. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 4, wherein, when heating said object of heating in frozen state, said control means controls the output of microwave generating means to be gradually decreasing, and the output of steam generating means after the object of heating is thawed to be greater than the output of steam generating means while the object of heating is still in frozen state.

9. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 4, wherein said control means reduces the output of said steam generating means at immediate before the end of heating of heating object.



10. The microwave heating apparatus as claimed in either one of Claims 1 through 14, wherein said control means controls the humidity within heating cavity to be lower than 90%.

11. A microwave heating apparatus which comprises:
a heating cavity for housing an object of heating;
a microwave generating means for irradiating microwave to said object of heating;
a steam generating means for supplying steam to said heating cavity;
an air blowing means for supplying air flow to said object of heating; and
a control means for controlling said microwave generating means, said steam generating means, and said air blowing means so that inner temperature and surface temperature of said object of heating are made approximately equal.

12. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 11, wherein said air blowing means takes the outside air into heating cavity.

13. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 11, wherein said air blowing means circulates the air within heating cavity.

14. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 11, wherein said control means makes said air blowing means keep on running for a specified time after output of microwave generating means is terminated.

15. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 11, wherein said control means makes said air blowing means keep on running intermittently for a specified time after output of microwave generating means is terminated.



16. A microwave heating apparatus which comprises:
a heating cavity for housing an object of heating;
a microwave generating means for irradiating microwave to said object of heating;
a steam generating means for supplying steam to said heating cavity;
a heating means for preventing dew condensation in said heating cavity; and
a control means for controlling said microwave generating means and said steam generating means so that inner temperature and surface temperature of said object of heating are made approximately equal.

17. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 16, wherein said heating means is disposed between steam generator and inside of said heating cavity.

18. The microwave heating apparatus as claimed in Claim 16, wherein said heating means is disposed within said heating cavity.



ABSTRACT

The present invention is aimed to offer a microwave heating apparatus which heats varieties of heating objects without affecting the excellent property, by introducing a means to control the environment surrounding a heating object. For implementing the objective, the heating apparatus comprises a heating cavity for housing an object of heating, a microwave generating means for irradiating microwave to said object of heating, a steam generating means for supplying steam to said heating cavity, and a control means for controlling said microwave generating means and said steam generating means so that inner temperature and surface temperature of said object of heating are approximately equal.

Fig. 1

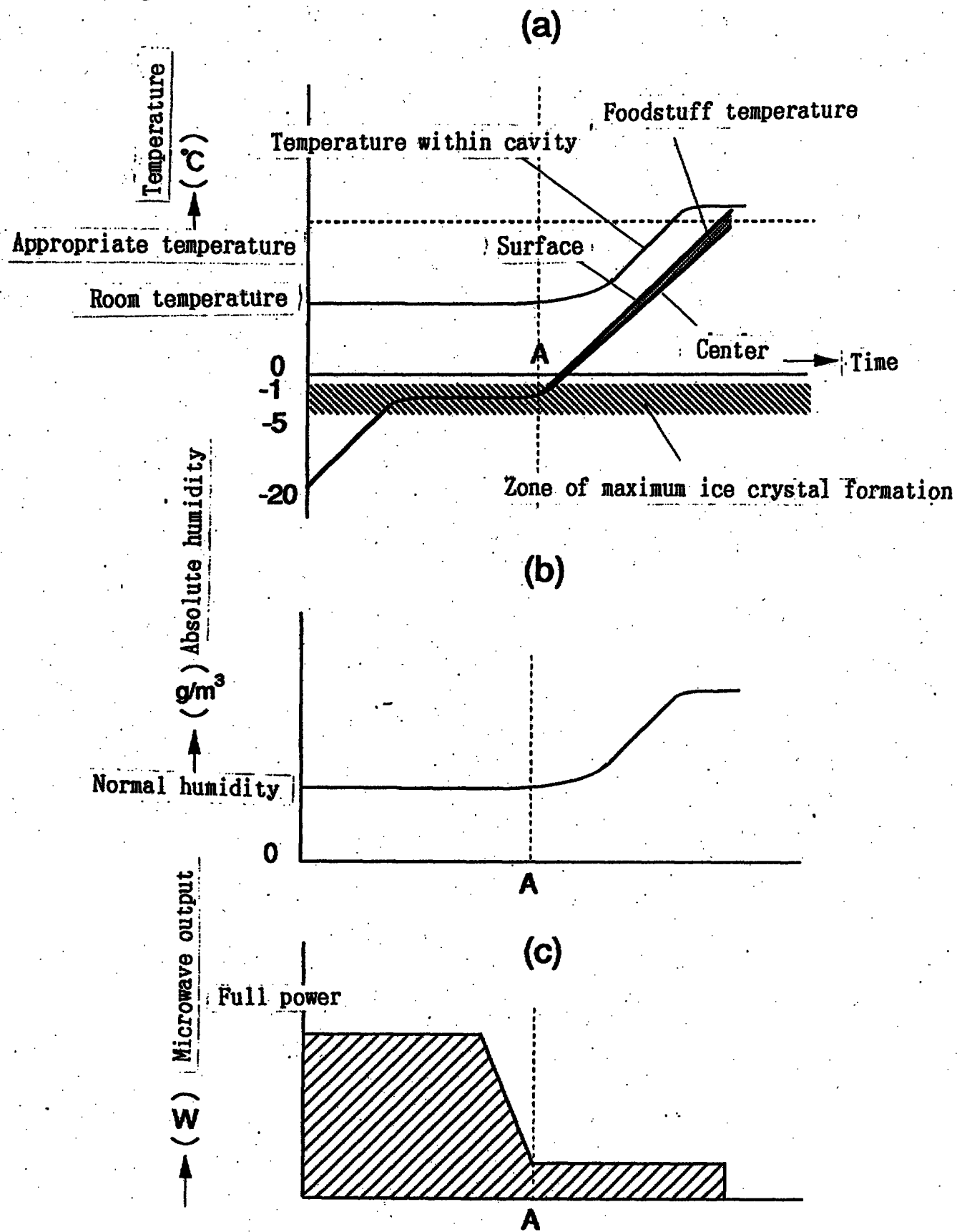


Fig.2

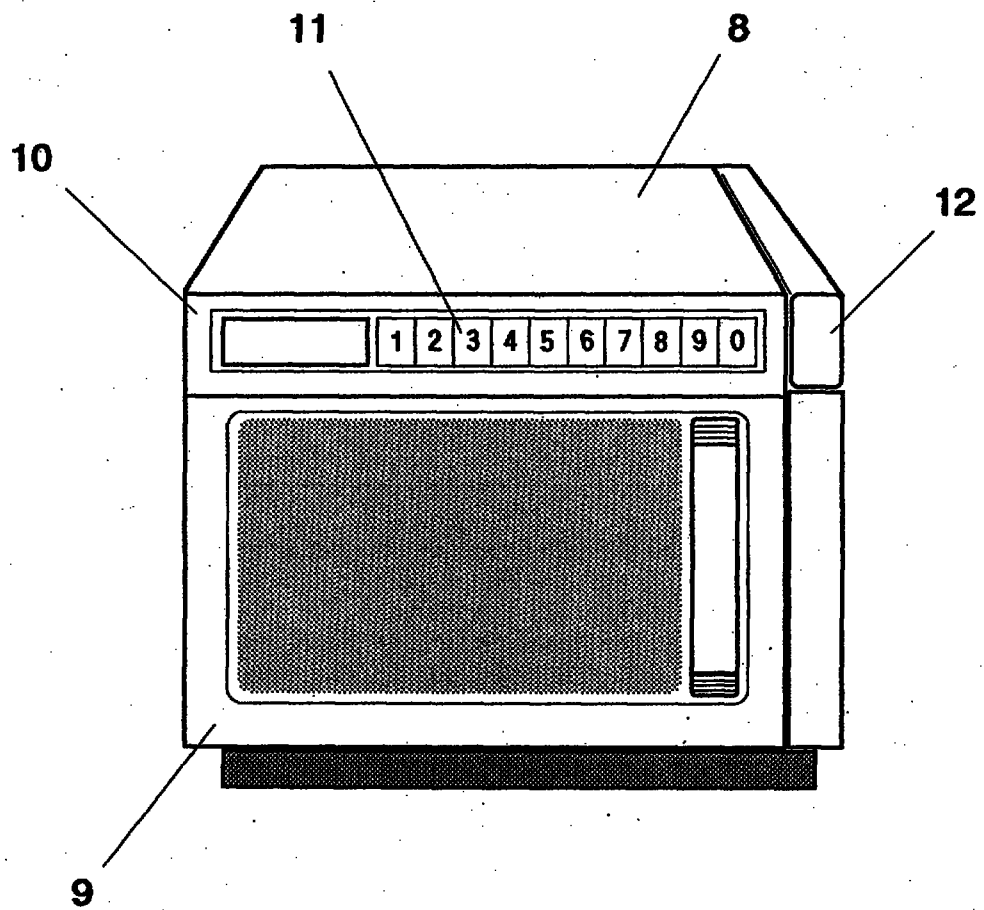


Fig.3

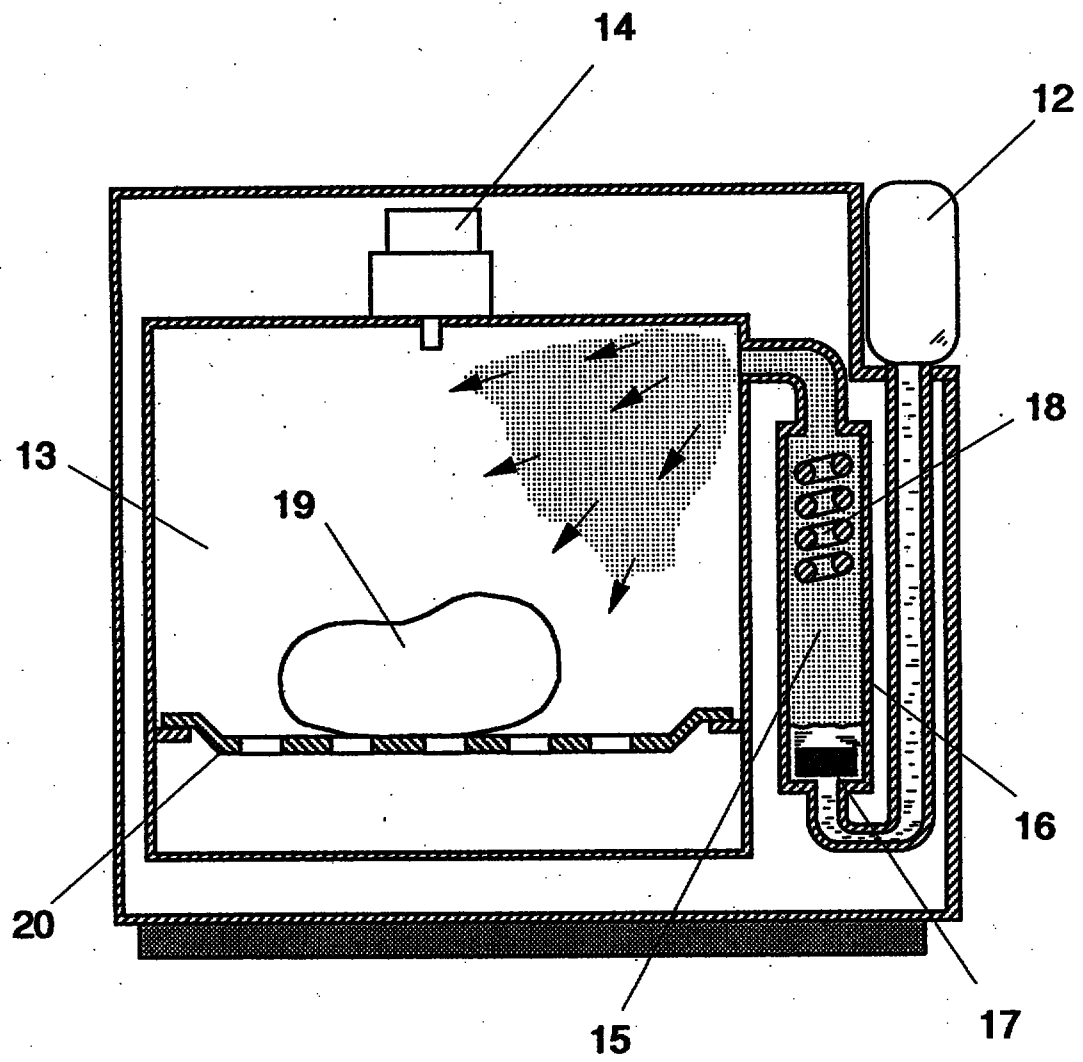


Fig. 4

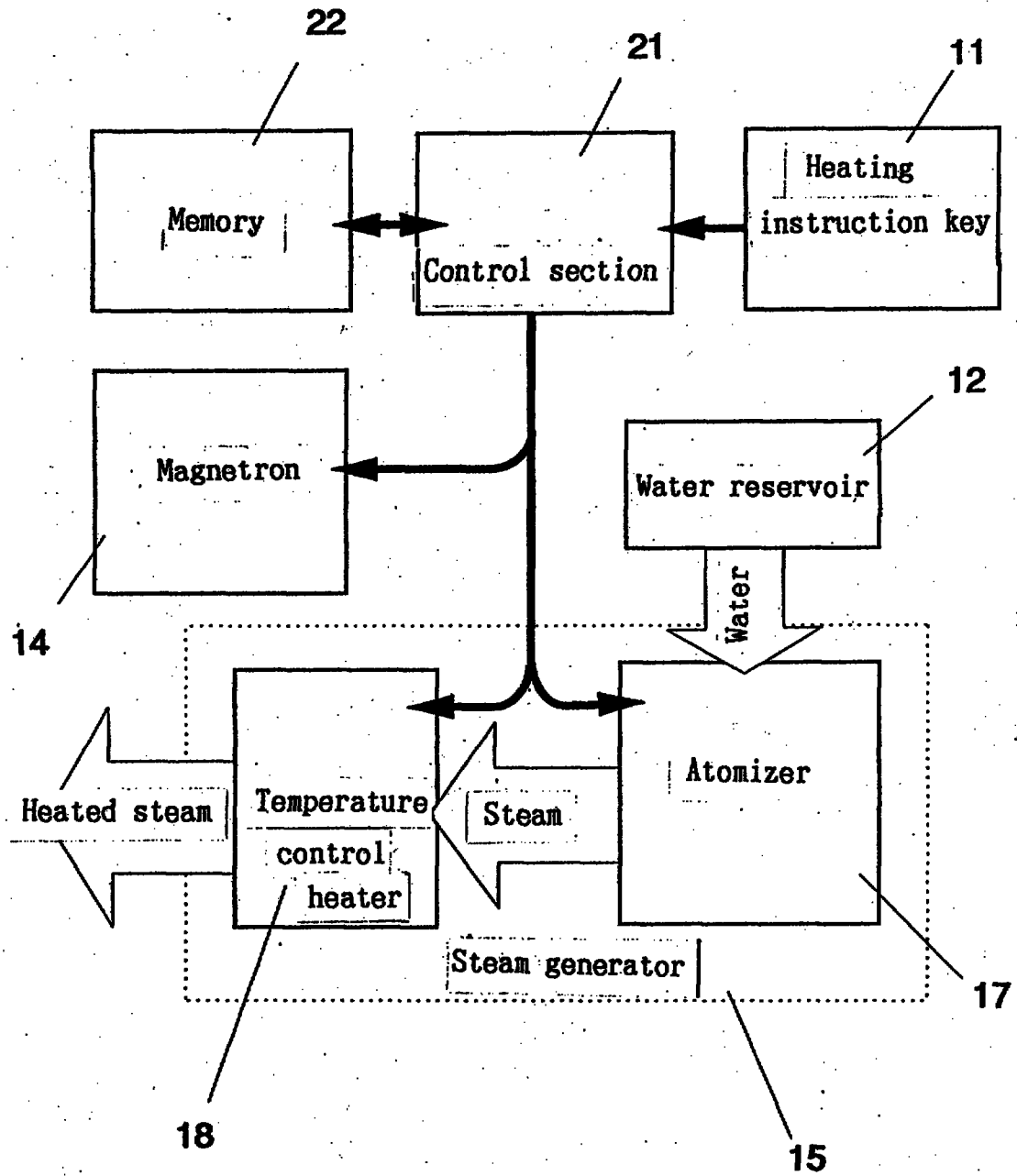


Fig. 5

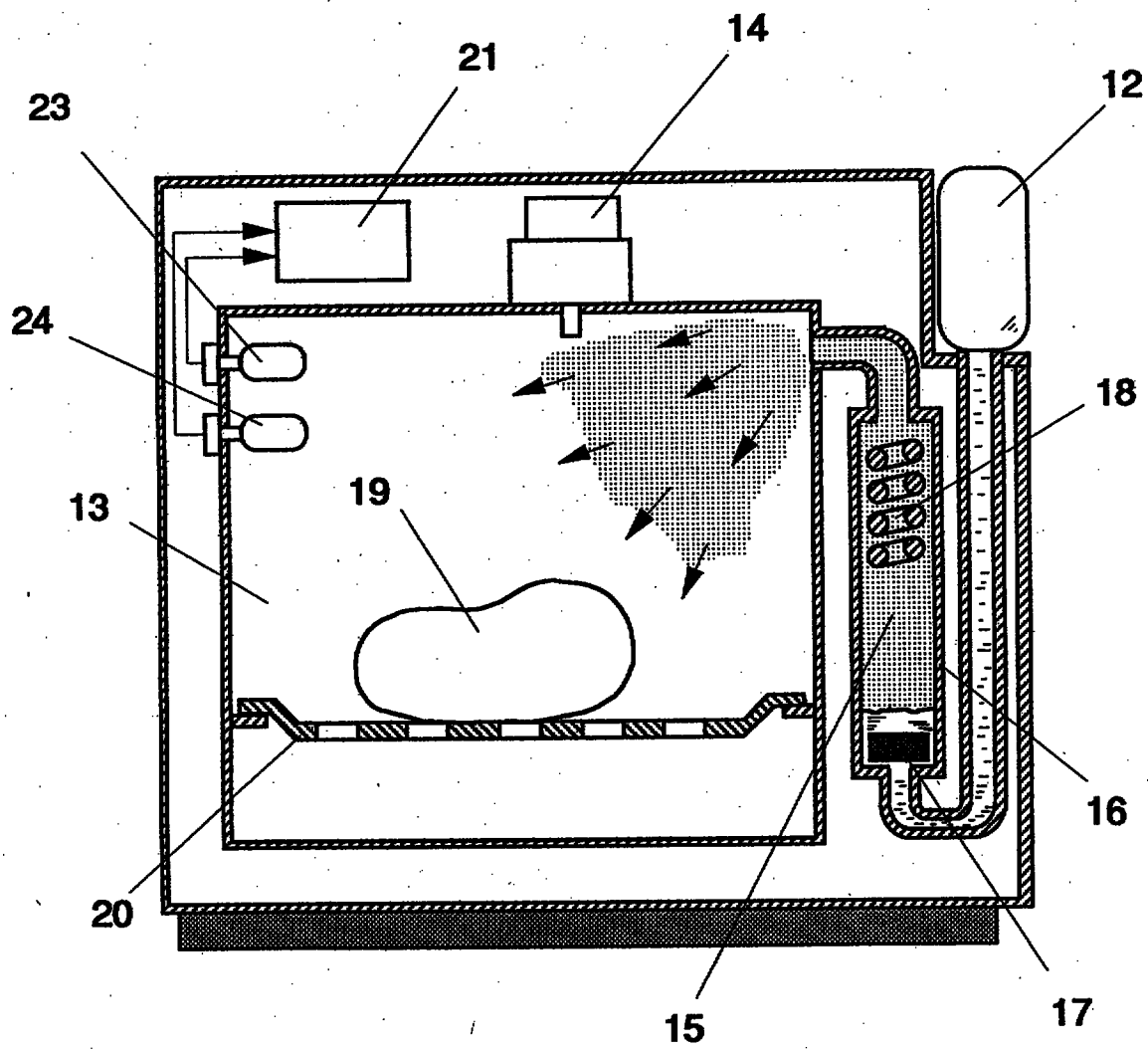


Fig. 6

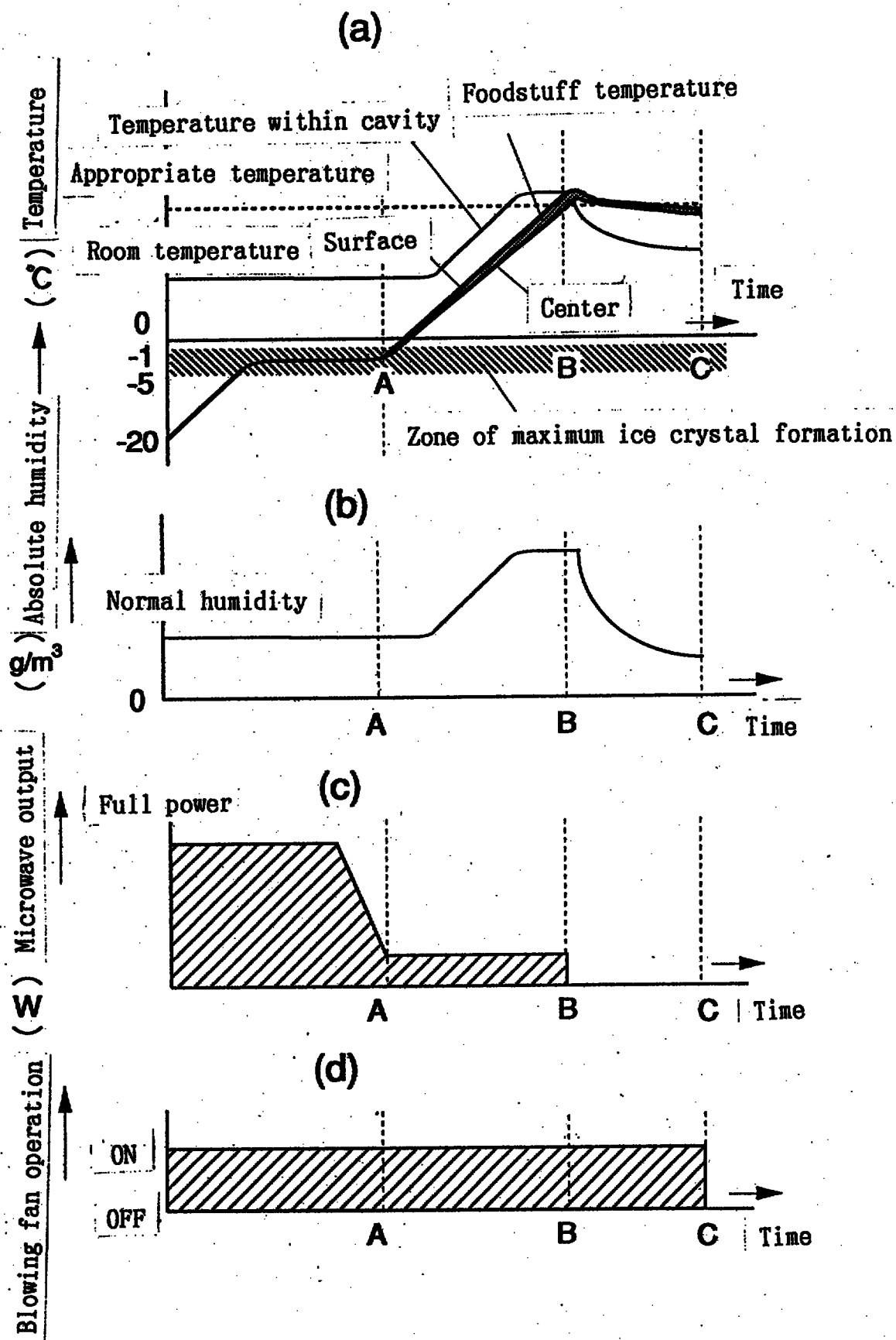


Fig. 7

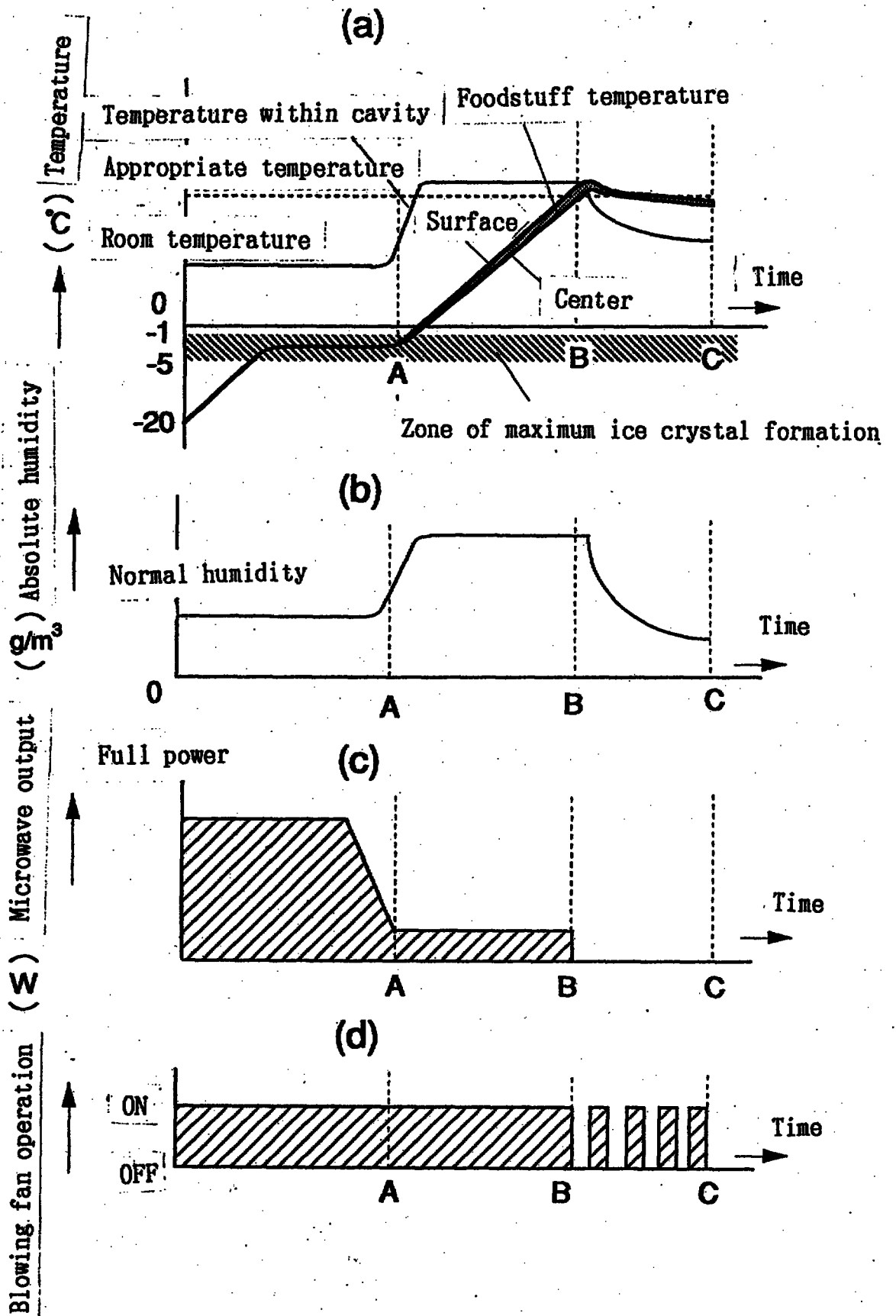


Fig. 8

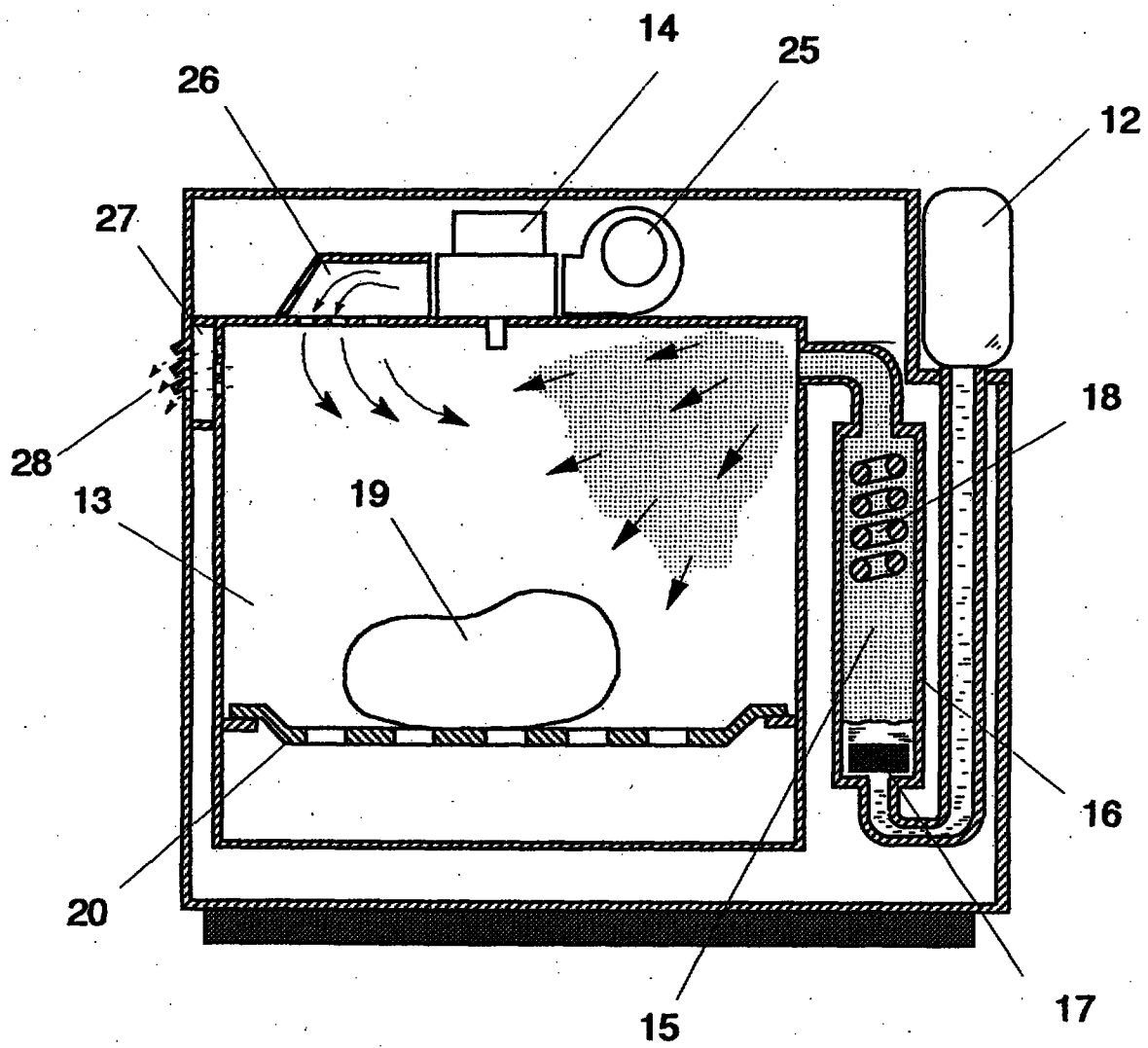


Fig. 9

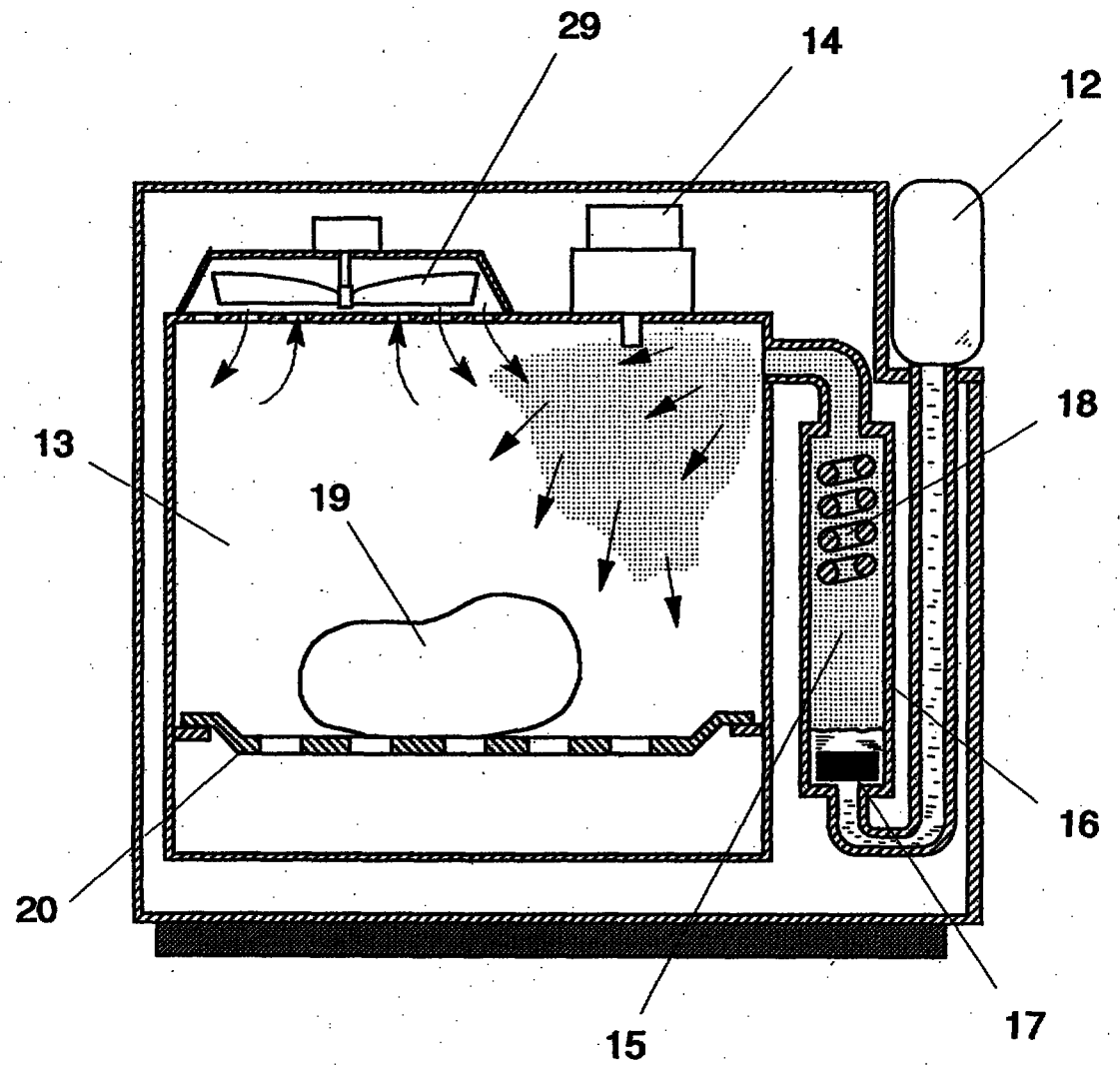


Fig. 10

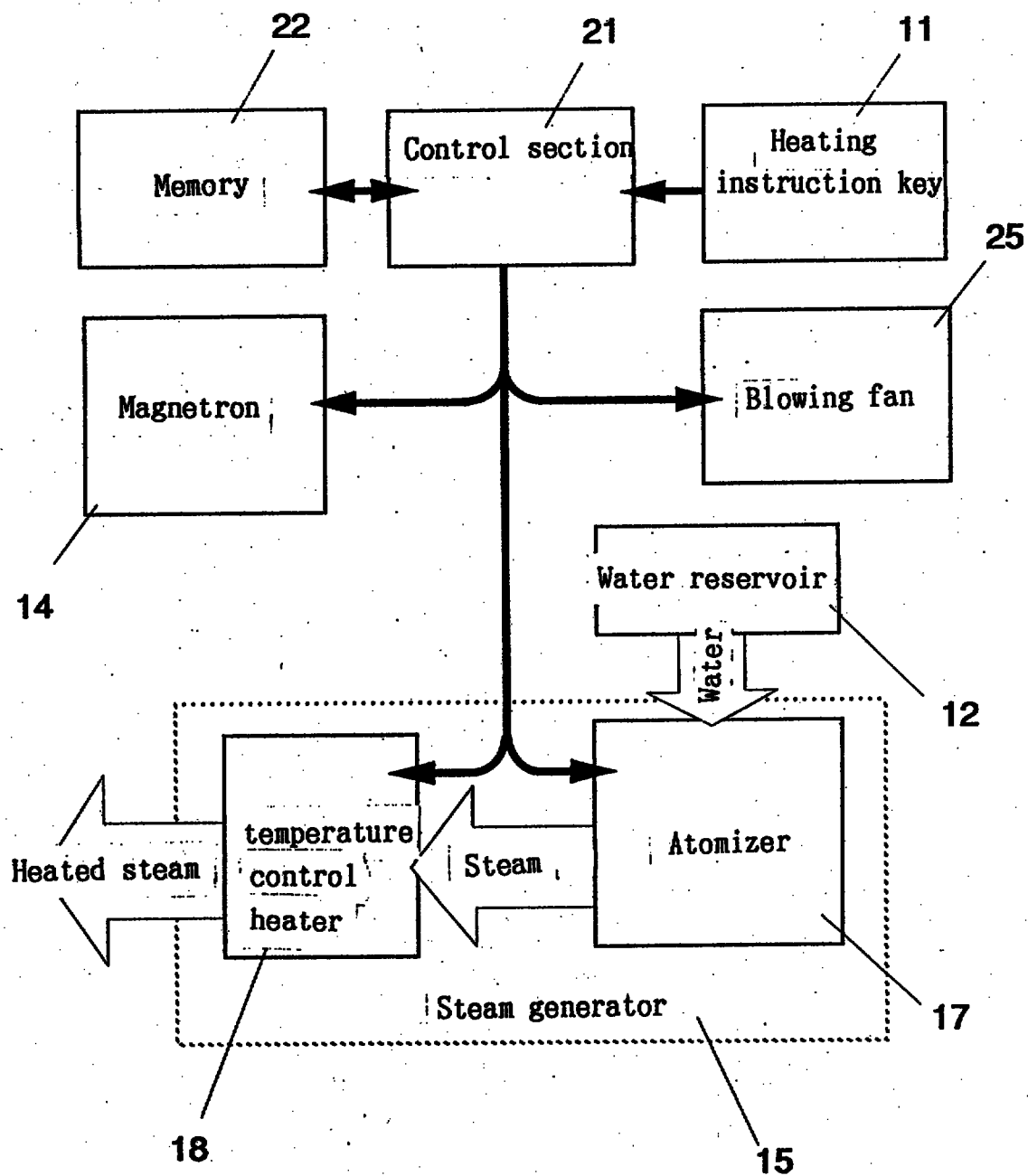


Fig. 11

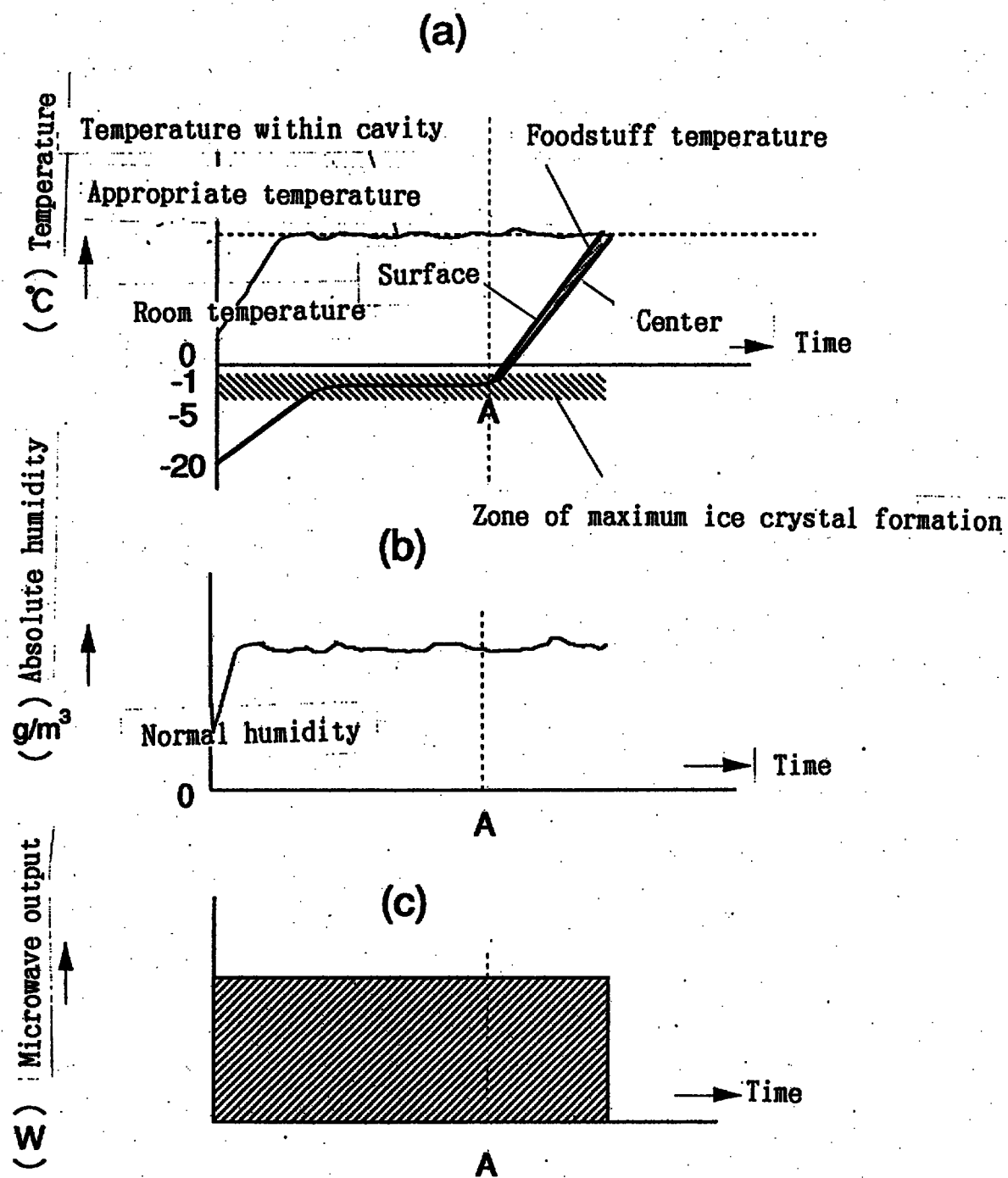


Fig. 12

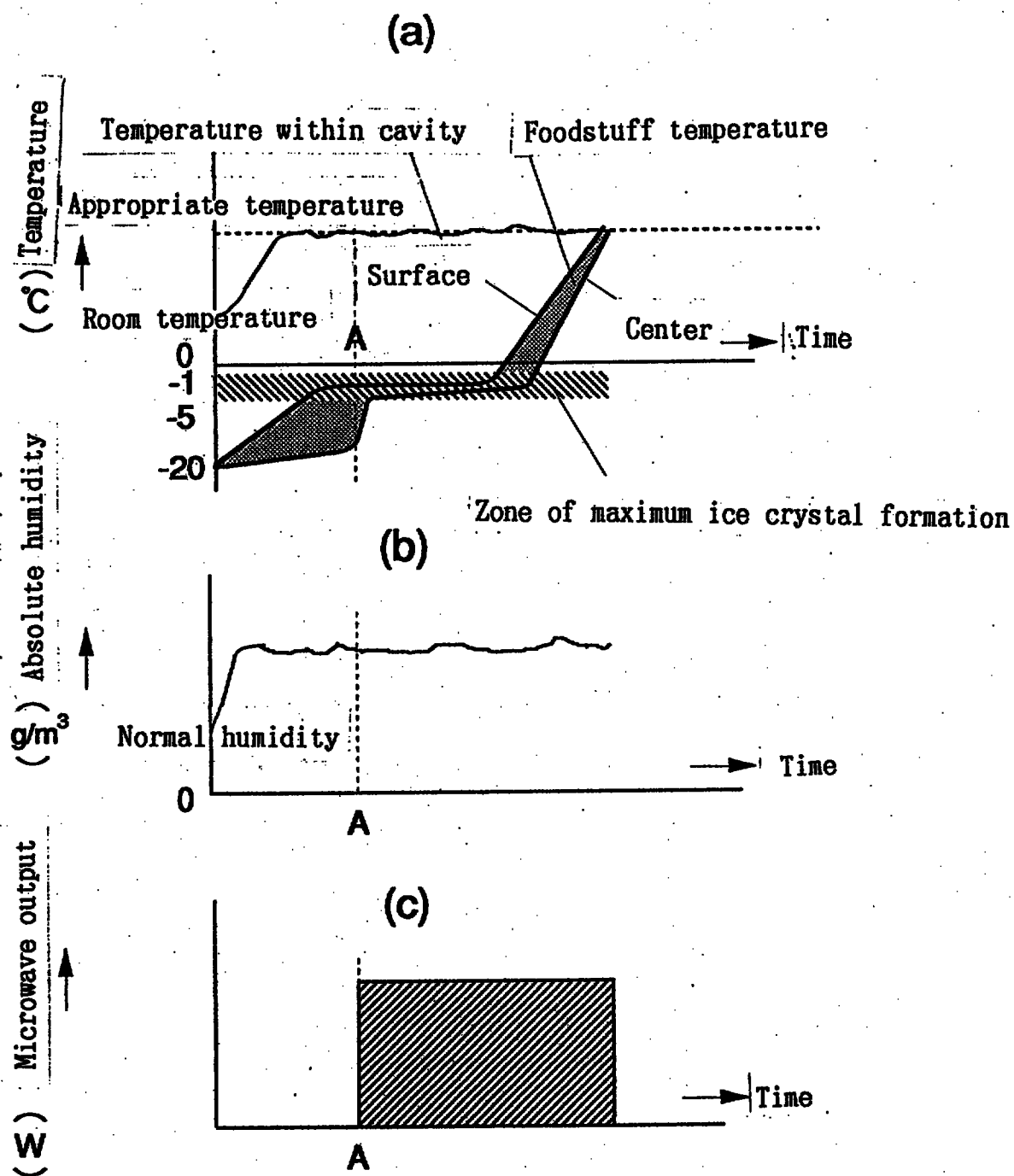


Fig. 13

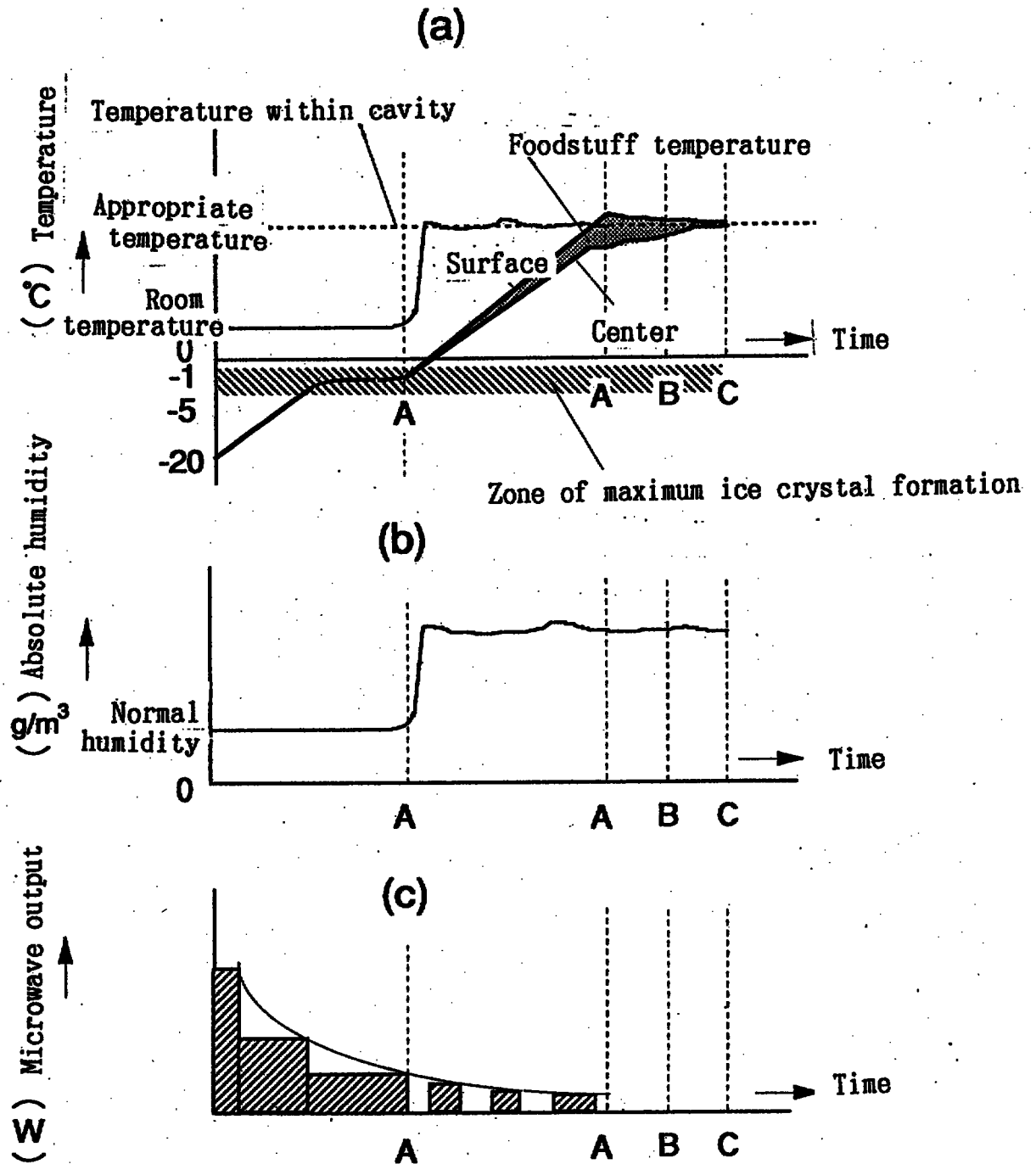


Fig. 14

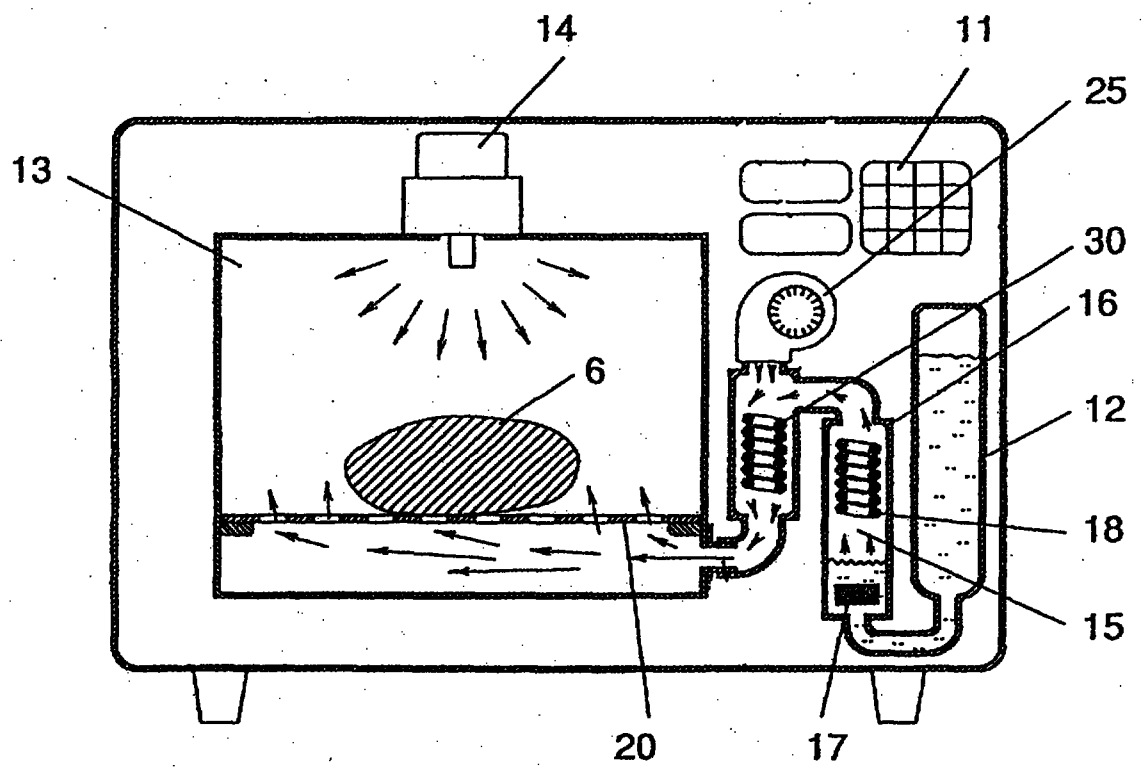


Fig. 15

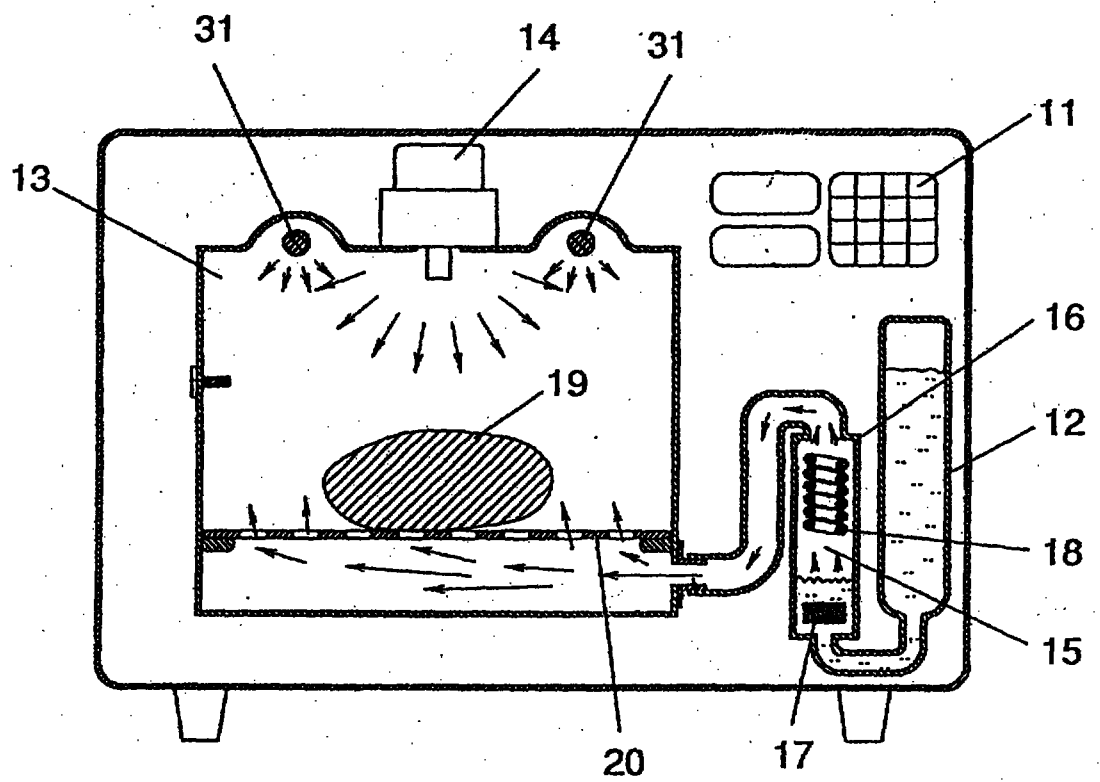


Fig. 16

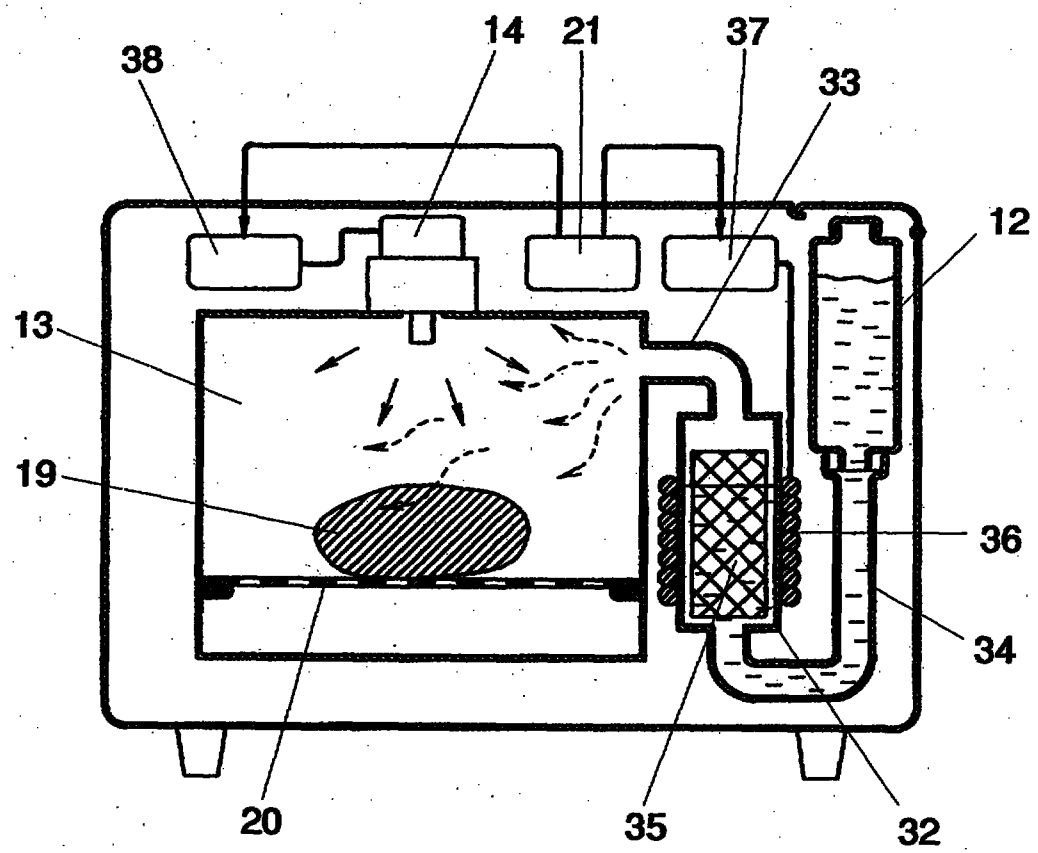


Fig. 17

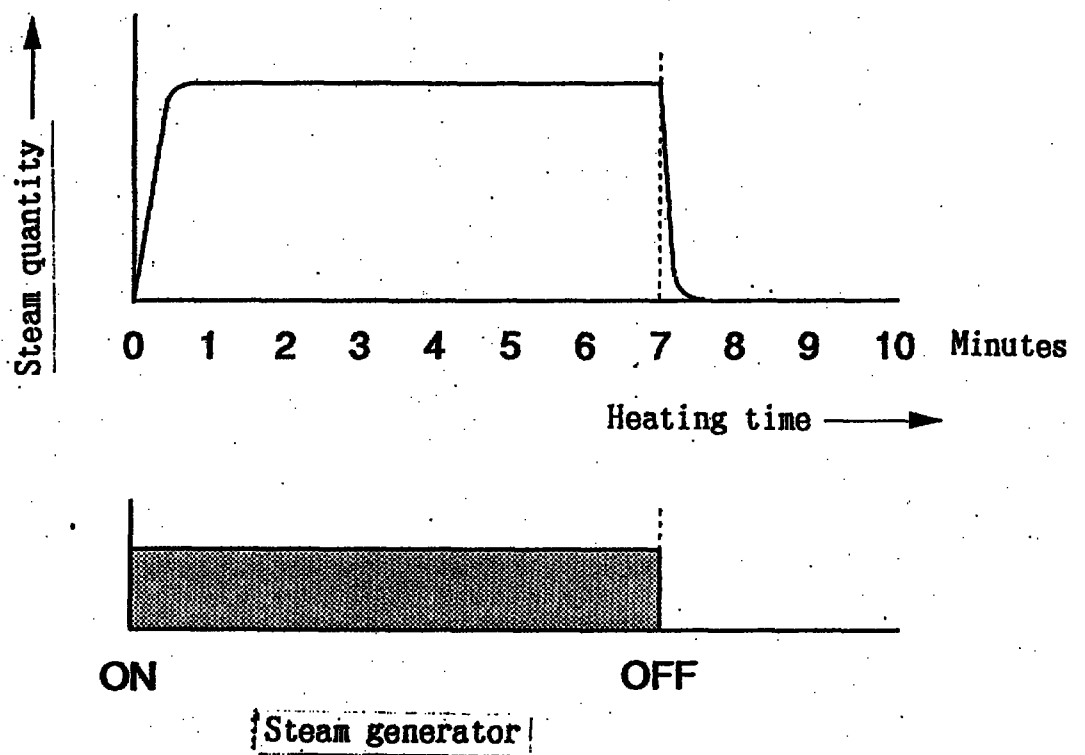


Fig. 18

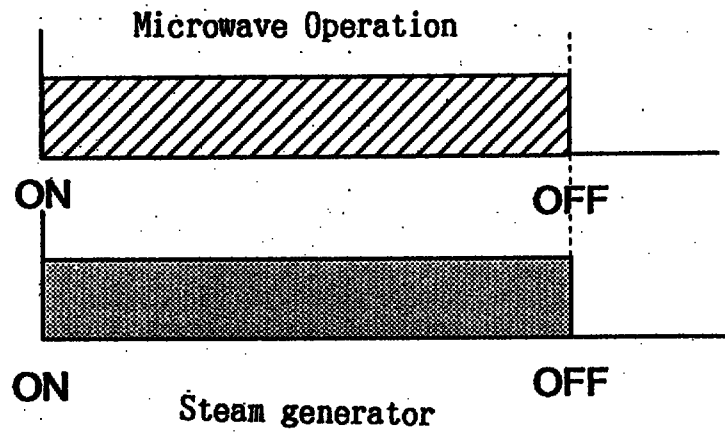
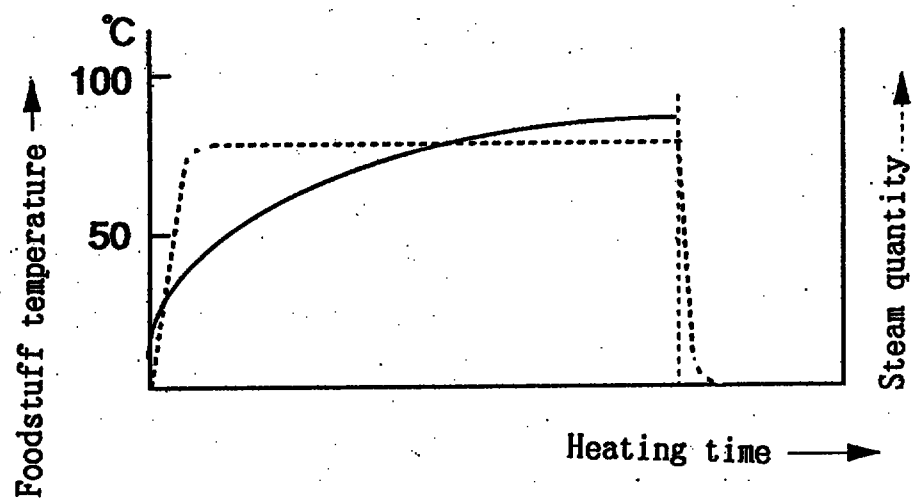


Fig. 19

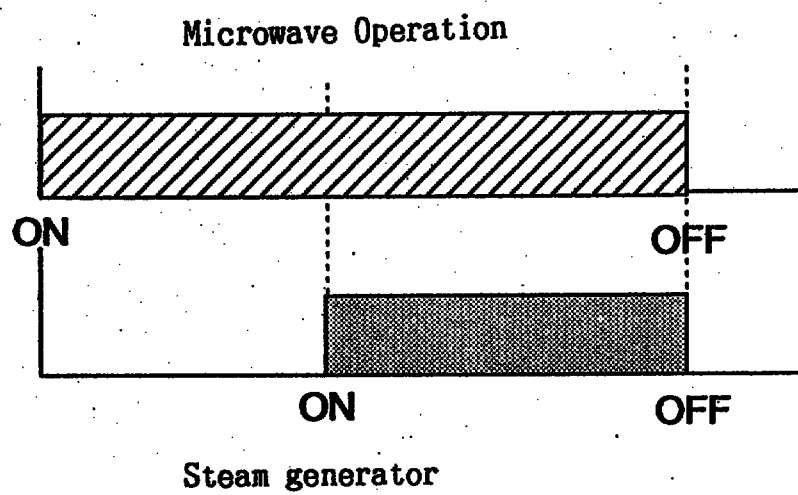
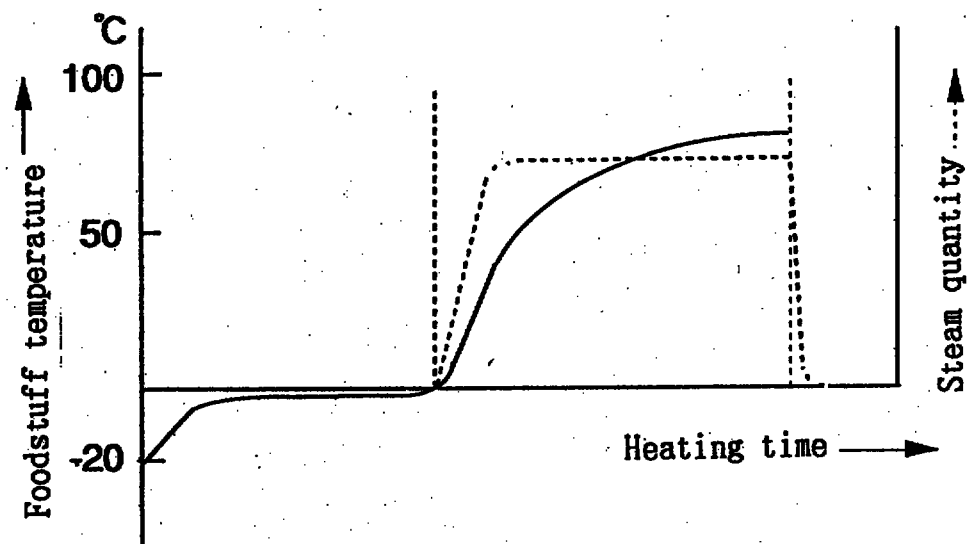


Fig. 20

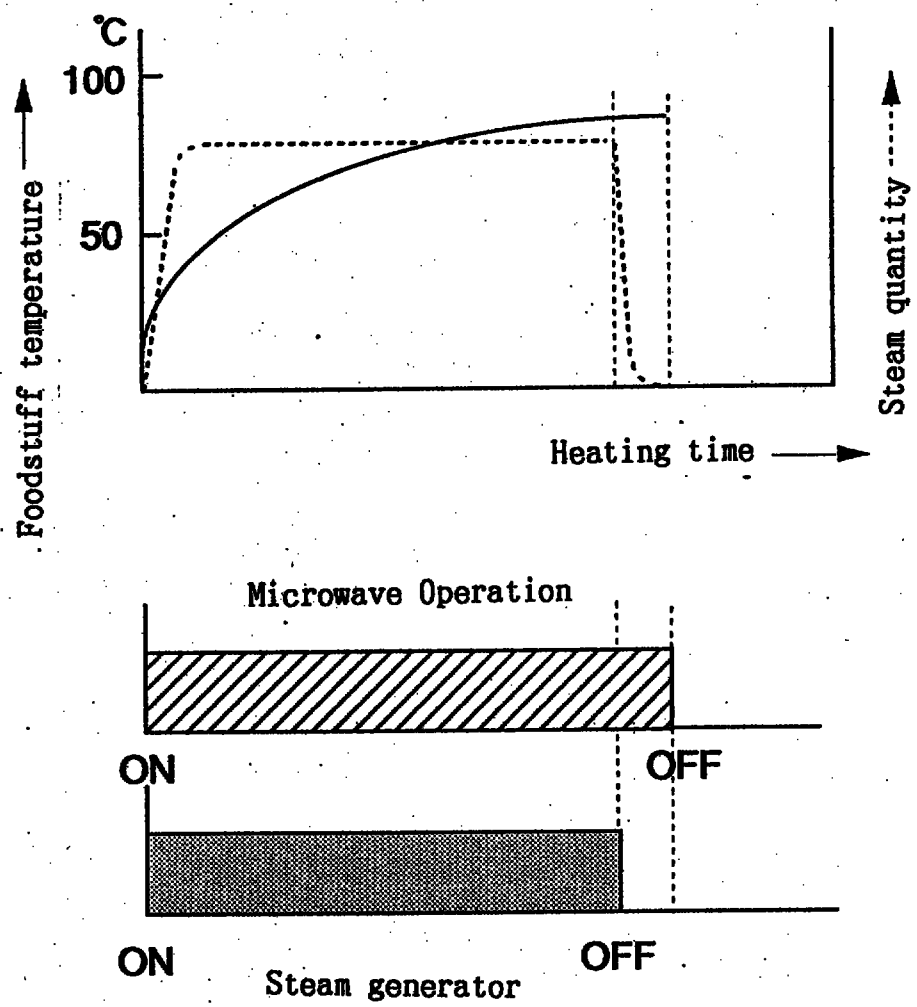


Fig. 21

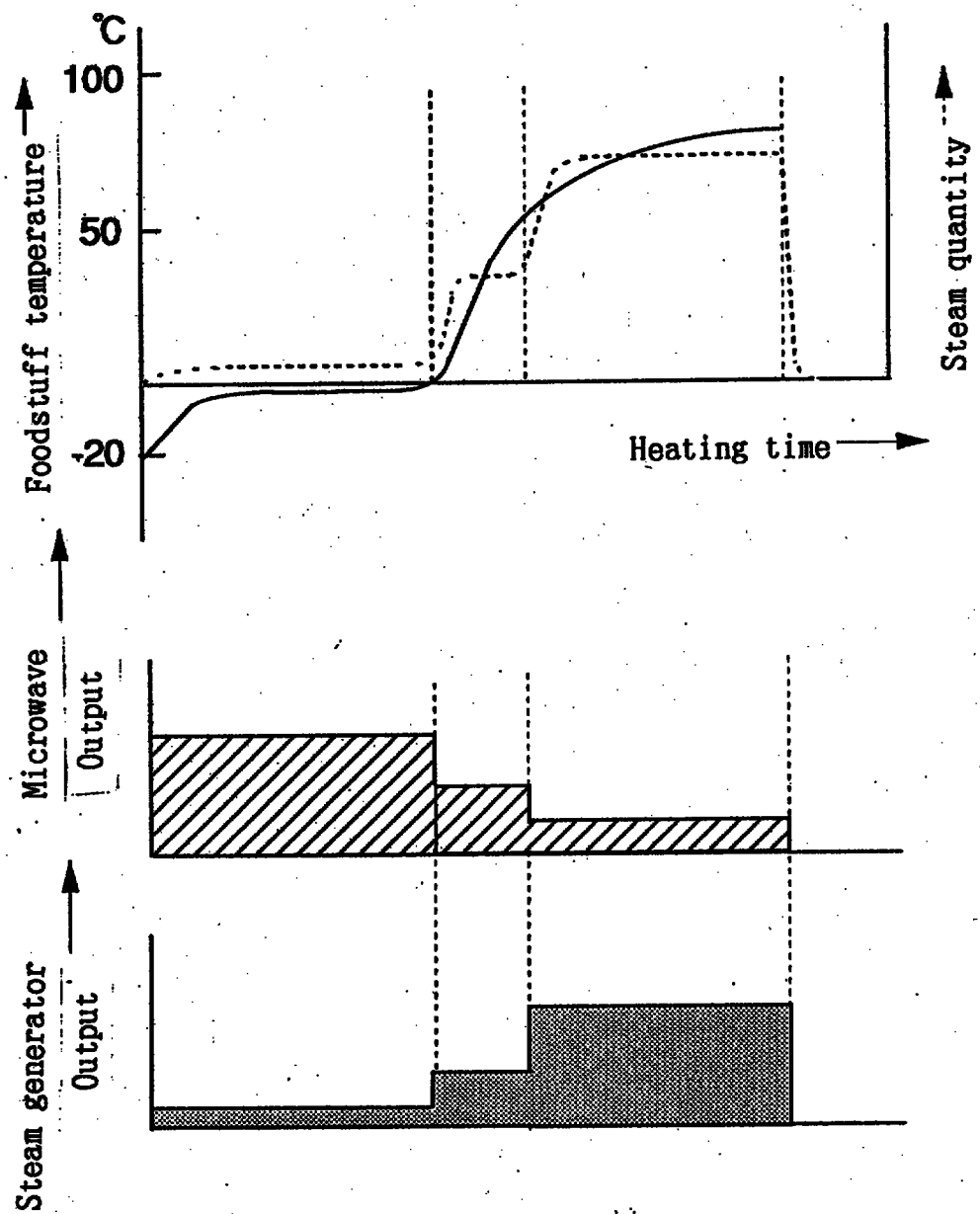


Fig. 22

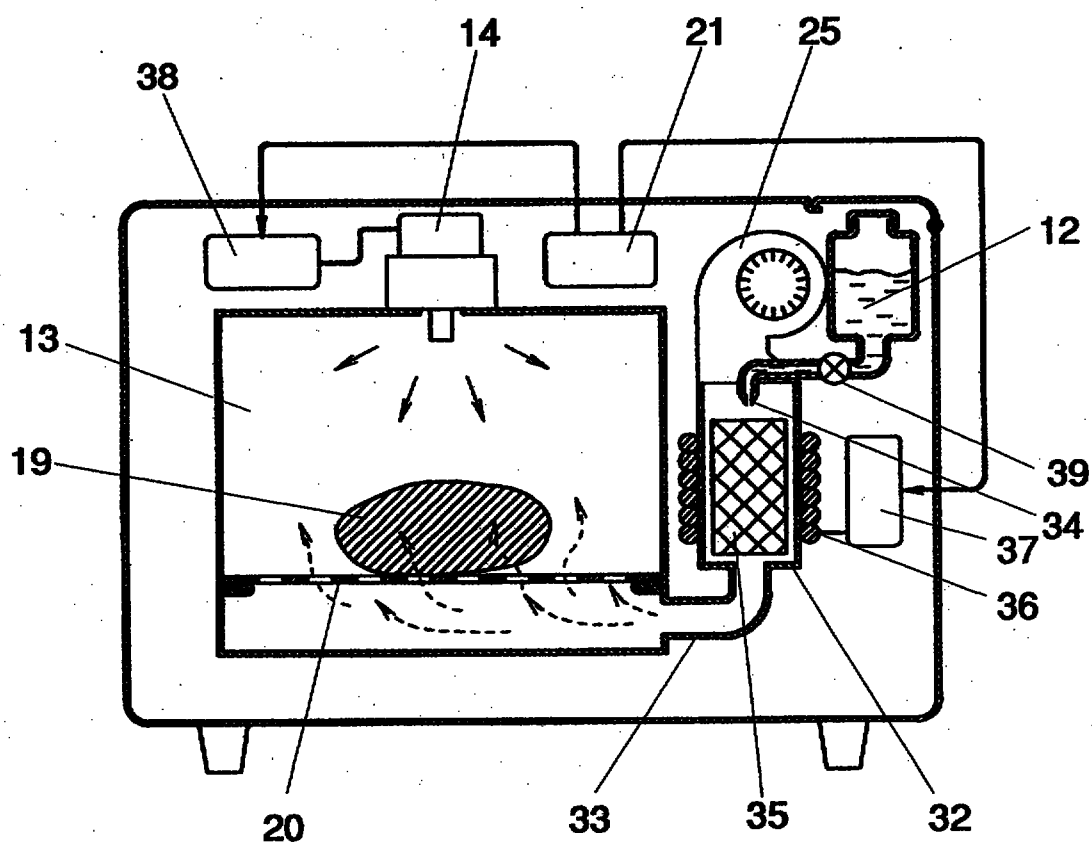


Fig. 23

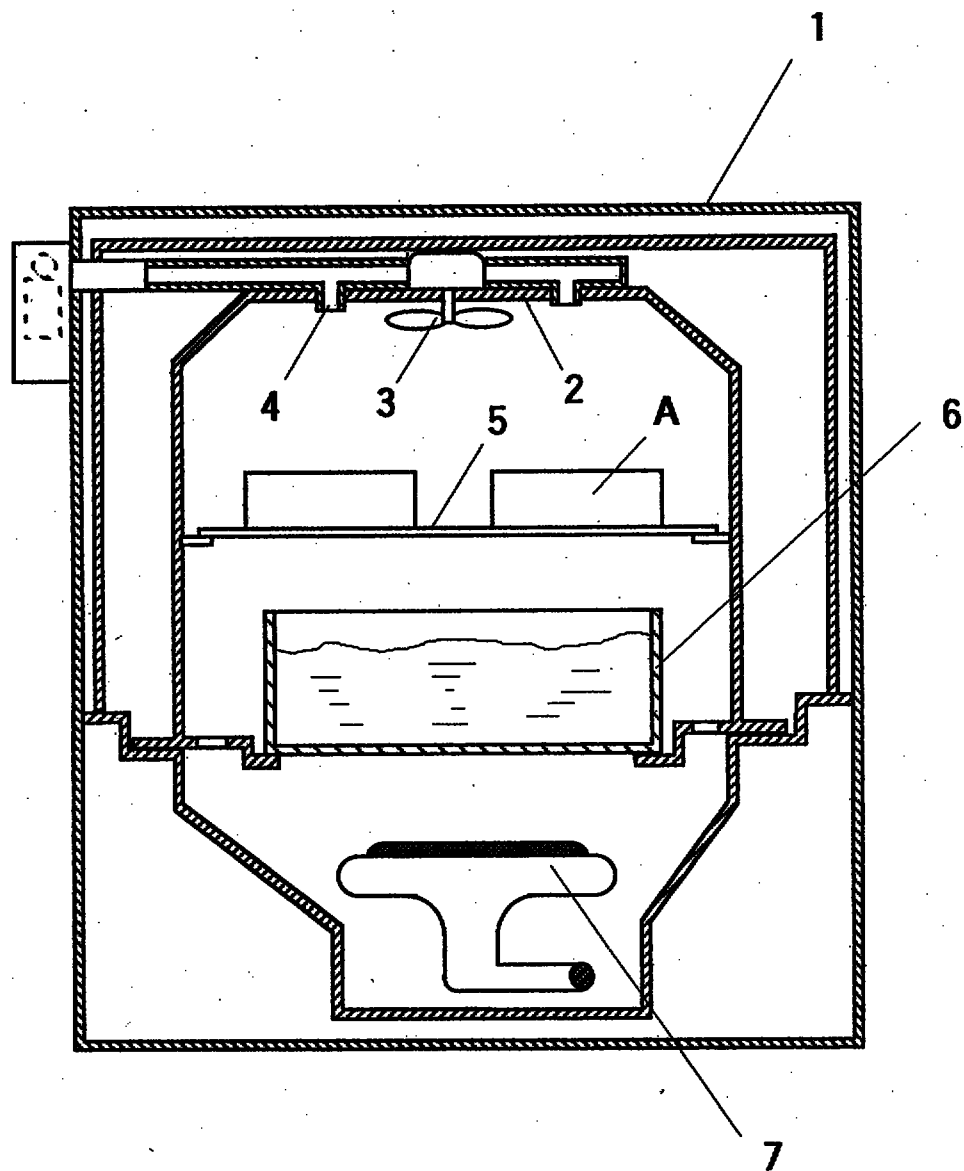


Fig. 24

