

ハイパワー IH クッキングヒータ BHP-M46F

BHP-M46F High-Power Induction Heating Cooker

松尾 勝春
MATSUO Katsuharu

滝本 等
TAKIMOTO Hitoshi

鈴木 賢司
SUZUKI Kenji

近年、厨(ちゆう)房調理機器は高気密、高断熱住宅の普及、高齢化社会の進展など社会環境の変化から、従来のガス機器一辺倒からより安全でクリーンな電気熱源機器へと需要動向が変化しつつある。しかし、これまでに市場導入されたニクロム、シーズヒータなどの電気熱源は調理器の基本性能である火力/スピードおよび燃費の点でもガスに劣るため、電気熱源機器の市場での割合は6%程度で十分な市場認知を得るまでに至っていない。電気熱源の中でIH(Induction Heating)は、電磁誘導により直接なべを加熱するので燃焼による空気の汚れがなく熱効率も良いという特長がある。今回、ガス熱源に勝る大出力かつ低出力まで連続加熱できる制御性に優れた業界一の3kWハイパワーIHクッキングヒータを商品化し、1997年10月に発売した。

In recent years, the demand for household cooking equipment has been shifting from conventional gas cooking ovens to electric cookers. Electric cookers are considered to be safer and cleaner in view of the changes in the social environment, such as the spread of highly airtight and heat-insulated homes and the increase in the elderly population. However, the market share of electric cookers using Nichrome wire or sheathed heaters is only about 6%, because they are inferior to gas cooking ovens in terms of heating power, speed, and running cost. The induction heating type electric cooker has good characteristics such as no tainting of the air and high efficiency, on account of the direct pan-heating method using electromagnetic induction. We therefore introduced the BHP-M46F high-power induction heating cooker, which has a rated power of 3 kW, in October 1997. The BHP-M46F offers continuous control from low power to high power.

1 まえがき

近年、ガス機器が主流であったシステムキッチン用ビルトインコンロ市場で、次のような社会環境の変化や機器の改善などにより電気クッキングヒータの需要が増加しつつある。

- (1) 高気密、高断熱住宅の普及と快適な住環境指向の高まり
- (2) 高齢者社会の進展による安全志向の高まり
- (3) ハロゲンヒータ式などの調理機器で耐熱強化ガラス採用によるスムーズトップタイプで清掃性、耐久性、デザインなどで優れたものの商品化

電気クッキングヒータの市場での割合は、すでに欧米において米国62%、ドイツ73%と主流となっている。しかし、わが国においては、ガス機器の年間売上げ台数95万台に対し電気クッキングヒータは6万台と6%程度にすぎない。これは、電源事情や調理慣習の違いもあるが、これまでの電気熱源、すなわちニクロム、シーズヒータなどの熱源がガスに比べて火力/スピードに劣り、かつ燃費の点でも劣ることから市場認知が不十分であることが大きな原因と考えられる。

IH式は電磁誘導により直接なべを加熱するので、ガスに対して2倍以上の熱効率を得られ、小さい入力でも十分な火力/スピードを得られるため、わが国の電源事情の制約の

なかで電気式熱源としては最適といえる。今回、この熱効率が高いというIHの特長を生かし、業界一の3kWハイパワーで、かつ弱火まで連続加熱可能な制御性にも優れた大出力IH加熱用インバータを開発し、IHクッキングヒータBHP-M46Fとして商品化し発売した。以下、BHP-M46Fの概要を述べる。

2 BHP-M46Fの特長

BHP-M46Fの外観および仕様を図1、表1に示す。BHP-M46Fの特長は次のとおりである。

- (1) 業界初の3kWハイパワー ソフトスイッチング方式でハーフブリッジタイプの新インバータを開発し、業界初の高火力を実現した。これで中華料理など高火力が必要な調理ができる。
- (2) 13段階連続加熱制御 ソフトスイッチング用コンデンサを制御する新方式インバータを開発し、業界初の高火力から低火力まで13段階連続加熱制御を実現した。料理に合わせた微妙な火力コントロールができる。
- (3) 操作性向上 ロータリエンコーダを採用したダイヤル式操作と、トッププレート面に火力表示する上面火力表示を組み合わせたダイヤル操作上面表示方式を開発した。従来のタクトスイッチ方式のように調理や表示を見ながら火力調整ができないという欠点を解消



図1. IHクッキングヒータ BHP-M46F 業界初の3kW高火力IHと前面パネルダイヤル操作により、利便性の高い家庭用加熱調理器を商品化した。

BHP-M46F high-power induction heating cooker

表1. BHP-M46Fの仕様
Specifications of BHP-M46F

項目		仕様		
定格		交流(AC)単相 200V 50/60Hz 4,800W		
大きさ(幅×奥行×高さ)		596mm×553mm×220mm		
質量		約26kg		
ヒータ	消費電力	左IH 3,000W	右IH 2,000W	中央ヒータ 1,200W
	火力調整	120~3,000W (13段階)	120~2,000W (11段階)	400~800~1,200W (3段階)
ロースタ	内寸(幅×奥行×高さ)	275mm×320mm×110mm		
	消費電力	1,200W		
	火力調整	800・1,000・1,200W(3段階)		
揚げ物温度調整		右IH 140~200°C		
タイマ		左IH・中央ヒータ 1分~5時間 ロースタ 20分		
安全機能		なべ温度過昇防止, 消忘れ防止 小物検知, 高温注意表示		

し、操作性を改善した。

- (4) 低騒音化と冷却風後ろ吹出しの実現 一つのファンで2個のインバータを冷却する後ろ吸込み後ろ吹出し方式の冷却構造を開発し、低騒音化を図った。また、冷却風吹出しによる不快感も解消できた。

3 IH加熱原理

IHの加熱原理を図2に示す。本体内にインバータが組込まれており、これを駆動してトッププレート下の加熱コイルに高周波電流を供給し、磁界を発生させる。この磁界によりなべ底に渦電流が流れ、これとなべ自体がもつ電気抵抗とでジュール熱が発生する。これによりなべ自体が発熱し、熱効率の良い加熱調理を行うことができる。

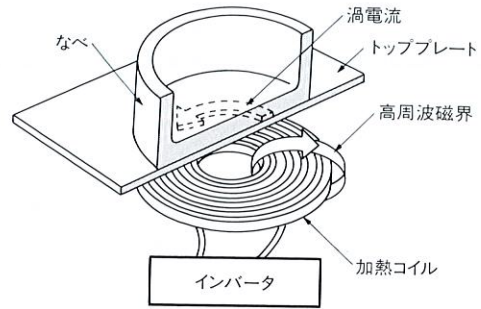


図2. 誘導加熱原理 加熱コイルで発生した高周波磁界により、なべ底に渦電流が流れなべが発熱する。

Principle of induction heating

4 ハイパワーIH加熱用インバータ

IHでは、使用されるなべは一定ではないため、なべの材質や形状により変化する加熱コイルインピーダンスに対応して動作周波数を変え出力制御を行う、準E級方式インバータが広く用いられている。この方式は、インバータのスイッチング素子であるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) をつねにソフトスイッチングするためIGBT損失およびノイズが少ない。しかし、IHの調理部が二口仕様では二口同時加熱時に互いの動作周波数の相違により干渉音が発生する問題があり使用できない。

これに対しつねに固定周波数で発振制御ができ、干渉音防止に有効なインバータとしてハーフブリッジ方式がある。しかし、この方式はIGBTをハードスイッチングさせるためハイパワー化とともにIGBT損失とノイズが増大する問題がある。そこで、下記課題をクリアするソフトスイッチングハーフブリッジ方式を新しく開発した。

- (1) IGBT低損失化, 低ノイズ化
- (2) 3kW高火力加熱可能
- (3) 120W~3kW連続加熱制御可能

4.1 ソフトスイッチングハーフブリッジ方式

今回開発したインバータ回路および制御ブロックを図3に示す。インバータは、ハーフブリッジ方式をベースに改良した方式で、固定周波数で上・下アームのIGBT (Tr_1 , Tr_2) を交互にオンオフさせて加熱コイルに高周波電流を流す。 Tr_2 のオン時間は固定で、出力は Tr_1 のオン時間を変変して制御する。この方式で多口化を行う場合、発振器を共用するため動作周波数は同一となり干渉音は発生しない。

IGBTの低損失化および低ノイズ化のために次の対策を行った。

- (1) スナバ(サージ電圧吸収)コンデンサ+ Tr_3 で構成した能動的スナバ回路により Tr_1 , Tr_2 をソフトスイッチング化する。
- (2) 共振回路にダイオード(D_4)を付加して定格出力時の

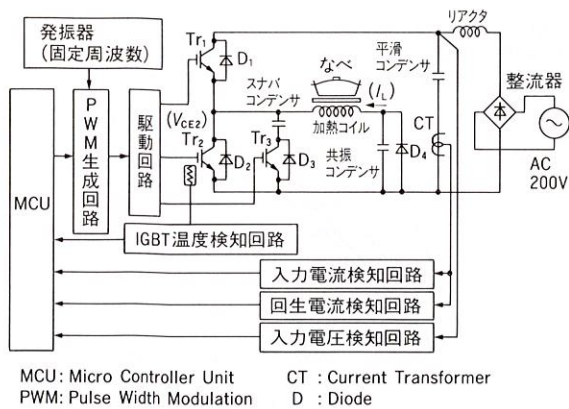


図3. インバータ回路および制御回路ブロック スナバコンデンサ制御によりソフトスイッチング化してIGBT損失を低減するとともに、負荷検知制御によりIGBTを保護する。

Inverter circuit and block diagram of control circuit

インバータを誘導性化し Tr_1 , Tr_2 をゼロ電圧ターンオン化する。

この結果、図4に示すようにIGBTのオフ時の電圧の立ち上がり方がソフト化され(図4 ◀印)、従来のハーフブリッジ方式に対し Tr_1 , Tr_2 損失が14%、不要輻射ノイズが7dB低減した。これにより3kW高火力加熱を実現することができた。



図4. インバータ電流 (I_L) 波形と Tr_2 コレクタ電圧 (V_{CE2}) 波形 3kW加熱時のインバータ波形を示す。

Waveforms of inverter current and collector voltage

これまでのスナバコンデンサを使用した固定周波数インバータでは、低出力になると短絡モード発生でIGBTの損失が過大になる問題があり、低出力で連続加熱を行うことはできなかった。これに対しこのインバータでは次のようにして低出力連続加熱を実現した。すなわち、低出力加熱を行うとき Tr_3 を常時オフしてスナバコンデンサをインバータから電気的に切り離す。この場合、 Tr_1 , Tr_2 をハードスイッチングさせることになるがターンオフ電流は小さいため

IGBTの損失およびノイズは3kW時のそれを超えない。この制御により120Wから3kWまで連続加熱制御を実現できた。

4.2 インバータ制御回路

前述のように、IH加熱ではなべにより加熱コイルのインピーダンスが変わるため同じ出力を得るためのインバータ電流、すなわち、上・下アームのIGBT電流もなべにより変わる。インバータ回路は、鉄なべを基準に設計しており、例えば、非磁性ステンレスなべの場合同じ出力でもインバータ電流は鉄なべに比べ増大するため、出力が大きいとIGBTが熱破壊に至ることがある。したがって、IGBT電流が増大するなべは、IGBT保護のため出力を制限する必要がある。また、IH加熱に適するなべか否かを検知し、アルミなどの不適格なべおよび無負荷と判断した場合には、加熱を停止させる制御も必要となる。

今回、その負荷検知方式として平滑コンデンサに流れ込む入力電流および回生電流をCTで検知し(図3)、これらの検知信号を比較してなべが加熱に適するか否かを判断する方式を新たに開発した。図5に各負荷の入力電力と回生電流の関係を示す。加熱開始時に所定の回生電流値になるようにインバータを制御し、このときの入力電力、すなわち、入力電流値の相違によりなべが加熱に適するか否かを判断する。また、ここで検知する回生電流はIGBT電流と相関があるため、回生電流に制限値を設けIGBT電流が増大するようななべについてはこれにより出力を低減させるようにした。

このほか、IGBTの温度を検知してIGBTが異常温度になったらIH加熱を停止したり、また、入力電源電圧が変動してもIGBT電流が所定の値を超えないようにした制御を折り込みIGBT保護の強化を図った。

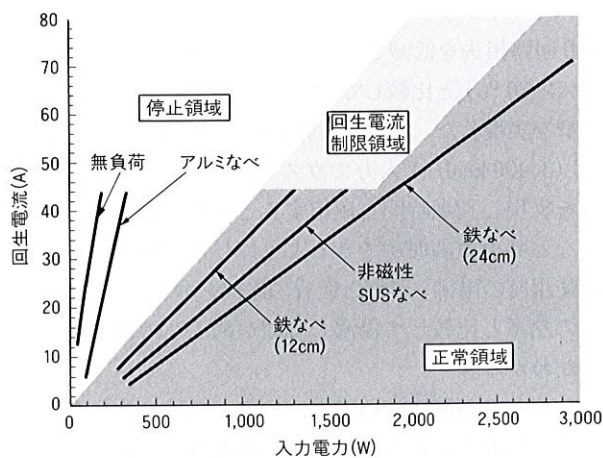


図5. 入力電力と回生電流の関係 入力電力と回生電流の関係により負荷を判断する。

Relationship of input power and regenerative current

5 IHの新冷却構造

従来の二口IHでは二組のインバータ回路と加熱コイルを二つのファンを用いてそれぞれ冷却していたが、この方式では騒音が大きく後方吸気、前方排気のため不快な冷却風が前方に吹き出すなどの課題があった。そこで、図6に示すように一つの径の大きなシロッコファンを用い右側後方から外気を吸い込み、上部に付随ダクトを設けたダクトでインバータ回路と加熱コイルを同時に冷却し、その冷却風を左側後方から吹き出させる構造とした。これにより前方への冷却風吹き出しによる不快感を解消し、騒音も従来の二口IH 2ファン冷却方式より約10dB低減できた。

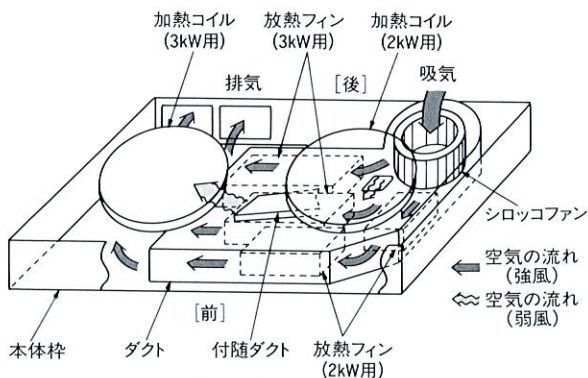


図6. 低騒音冷却構造 一つのシロッコファンにより、右側後方から吸気し、インバータ回路(放熱フィン)と加熱コイルを冷却して、左後方から排気する。

Cooling structure for reduction of running noise

6 加熱性能

前述のようにIH加熱は原理的に熱効率が良いが、今回ソフトスイッチングハーブブリッジ方式の新インバータ開発により回路損失を低減させ、他の熱源の熱効率(ガス40%、ハロゲン70%)と比較して83%と圧倒的に高い熱効率とし、低燃費を実現した。また、業界初の3kW化と高い熱効率で3kW(3,490kcal/h)入力でガス5,400kcal/hに相当する高火力を実現し調理時間を短縮するとともに中華料理やいため物など高火力調理ができるようにした。図7に各種調理熱源使用時の湯沸し時間と燃費の比較を示すが、3kWのIHは他の熱源と比較して湯沸し時間が約1/2で低燃費であることがわかる。

インバータ制御についても、ソフトスイッチング用コンデンサを制御する新方式を開発し高火力から低火力まで連続加熱ができ、カレーやシチューの煮込み料理においてもなべ底が焦げ付かず料理のできがよくなるなど、弱火調理の性能も向上することができた。

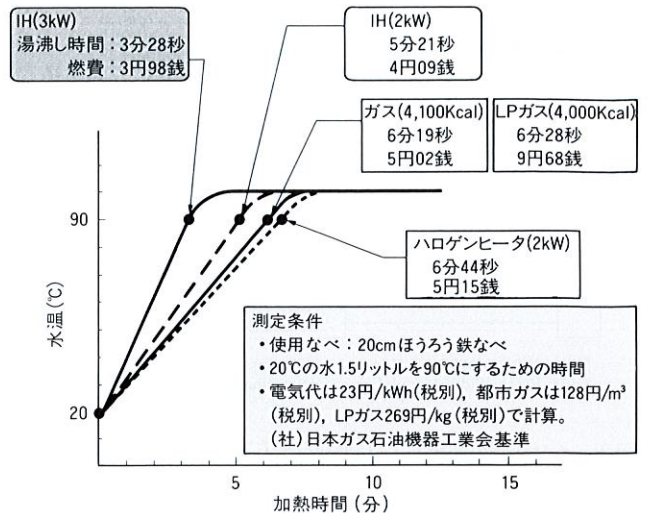


図7. 加熱性能の比較 当社における実験データから、IH 3kW高出力化によって、ハイカロリーガスに対し湯沸かし時間を約1/2に短縮できる。

Heating characteristics

7 あとがき

ハイパワーIHクッキングヒータBHP-M46Fについて大出力IHインバータとその制御および冷却技術など今回新規開発した技術内容を中心に述べた。今回、業界一の高火力/スピードの実現、高火力からとろ火までキメ細かく火力調整する業界初の新制御方式採用により、従来の調理機器に対し格段の機能・操作向上を図ることができ、市場の評価を得ることができた。

IH調理機器は、快適、安全、クリーンで、さらに、高耐久性、高効率、省エネルギーなど、ガスなど他の熱源と比較して快適な住環境作りや高齢化社会への対応など現在の市場ニーズにマッチした熱源である。今後もIH加熱調理機能の改善を行い、電気クッキングヒータの普及に努めより快適な社会、環境作りに貢献していく所存である。



松尾 勝春 MATSUO Katsuharu

愛知工場 開発技術部グループ長。
リビング機器商品の電子要素の開発に従事。
Aichi Works



滝本 等 TAKIMOTO Hitoshi

愛知工場 開発技術部主務。
IH電子要素の企画・開発に従事。電気学会会員。
Aichi Works



鈴木 賢司 SUZUKI Kenji

愛知工場 開発技術部主務。
IHの企画・開発に従事。
Aichi Works