

村瀬 浩二
K. Murase

米は古くから日本人にとってなくてはならない主食材で、おいしいご飯を食べたいとの欲望から米の品種や栽培方法の改良とともに、ご飯をおいしく炊くふうが長い年月をかけて行われ、日本の生活風土、習慣と強く結び付いている。当社は、1955年に初めて自動式電気釜(かま)を発売して以来、長年、“おいしいご飯を炊ける釜”の開発を行ってきたが、先人達が長い間英知を積み重ねて作り上げた、かまど“羽釜”の優れた特長を最新の技術により実現した“鍛造厚釜”を採用したIH(Induction Heater)保温釜を発売した。

Rice has been the staple food of the Japanese since olden times. Motivated by a desire to improve the flavor of rice, Japanese people have long devoted efforts to methods of cooking it. In parallel with this, efforts have also been made to improve both breeding and cultivation methods.

In 1955, Toshiba introduced the first automatic electric rice cooker on the market. Since then, we have been developing improved models of rice cookers capable of preparing more delicious-tasting rice.

As a result of these efforts we have now succeeded in integrating the *hagama*, a broad-rimmed traditional cooking pot for rice, into our induction-heater type rice cookers using our advanced pressure-casting technology for manufacturing thick pots.

1 まえがき

米を主食としてきた日本の食生活において、おいしいご飯を食べたいとの強い欲望から米の品種や栽培方法の改良が加えられ、ご飯をおいしく炊く方法、道具についても長い年月を掛けてくふうされてきた。この中で、先人達は英知を積み重ねて、かまど“羽釜”を作り上げ、これが日本の生活風土ともなって長い間定着していた。現在は、生活様式の変化とともにかまどは姿を消したがおいしいご飯を食べたいとするニーズは今も変わることはない。

当社は1955年、日本で初めて自動電気釜を発売以来、“おいしいご飯を炊ける釜”の開発を行ってきたが、1994年9月、先人達の英知を集め作り上げられた“羽釜”の特長を最新の技術を応用して実現した“鍛造厚釜”を開発し、この釜を採用したIH保温釜を発売した。

保温釜は年間650万台の需要が見込まれるが、おいしいご飯を食べたいとするニーズからIH保温釜の販売構成比が年々増加する傾向にある。今回開発した“鍛造厚釜”採用の保温釜は、そのようなニーズにこたえた商品である。

ことを訴求して、近年大きく伸長した商品である。

図1にIH保温釜の構造を示す。

IH保温釜は加熱手段として誘導加熱(インダクションヒータ)により、直接釜を加熱する方式で、釜の底部近傍に設けたコイルに高周波電流を流し磁場変動を発生させ、この磁界によって釜自身に渦電流を発生させて加熱する方法である。従来熱源に対し、釜自身が熱源となるため、強い火力が得られやすいことと、細かな熱制御が可能なことから炊飯

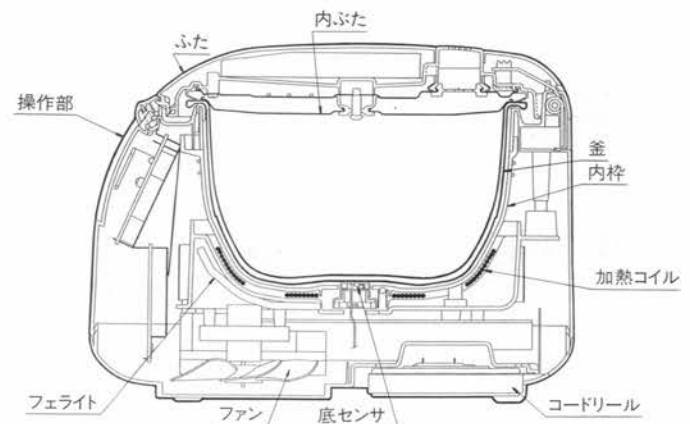


図1. IH保温釜の構造 底部の加熱コイルに高周波電流を流し、釜自身に渦電流を発生させて加熱する。

Structure of induction-heater type rice cooker

2 IH保温釜の構造

IH保温釜は、強力な火力によっておいしいご飯が炊ける

器の熱源に適している。

IH 加熱の場合、釜は磁界に反応して誘導加熱する材料を使用する必要があり、清潔性や強度からフェライト系のステンレス鋼を使用している。しかしステンレス鋼は熱伝導率が悪く、均一な加熱を行うには不都合があり、これを補うために、アルミ合金とステンレス鋼を貼り合わせたクラッド材をプレス加工によって製作していた。

3 おいしいご飯を炊く条件

米の主成分は澱粉(デンプン)である。炊飯前の米は消化吸収の悪い β 澱粉であるが、一定の熱と水分を加えることによって消化吸収のよい α 澱粉に変化する。これを α 化といい、ご飯を炊くことは澱粉の α 化を行うことである。

じょうずに炊き上がったご飯はかむほどに、ほのかな甘みを感じるの、澱粉が完全に α 化している証拠でもある。

このようにおいしいご飯を炊き上げるためには澱粉が均一に α 化することが重要であり、完全に α 化させるためには、98℃以上の温度を20分以上加える必要がある。一方では加熱温度が高すぎると水分が蒸発し過ぎて、ご飯がぼさついたり、水分が多いとのり状化して、おいしいご飯が炊き上げられない。したがって、強い火力で釜全体を急速かつ均一に加熱し、沸騰した後は火力を抑えて高温状態を維持して炊き上げるのがおいしいご飯を炊くコツといわれている。“初めちよろちよろ中ばっぱ、ぶくぶく吹いたら火を引いて赤子泣くともふたとるな”。昔の人はおいしいご飯を炊くコツをこのような歌としてわれわれに教えているが、まさに理屈にかなっている。

4 おいしいご飯が炊ける釜の開発

おいしいご飯が炊ける条件については前述したとおりであるが、この条件を具現化するためには釜の形状にもいくつかの着眼点がある。その一つは、現行の釜はプレス加工上の制約から、釜の底部が平坦で角部の曲面が小さいために対流が小さく温度むらが生じやすい問題があった。これを改善するために、釜の底部の曲面を大きくし、釜底の傾斜をほぼ60°とした形状として、全体に大きな対流が発生するようにした。

図2に現行の釜と開発した釜の形状を比較して示す。

おいしく炊くためのもう一つの着眼点は、釜自身の熱伝導の問題である。従来のクラッド材は誘導加熱するステンレス鋼部分は厚さ0.55mmとし、熱を伝えるために厚さ1.6mmのアルミ合金を結合した板を用いているが、肉厚が薄いために熱の伝導が悪く、局部的な加熱にとどまってしまう欠点があった。このため、新しい釜では、発熱部近辺のアルミ合金の肉厚を厚くして、熱を釜全体にすばやく伝えるようにした。

釜の形状と合わせ、各種の実験モデルを制作し、熱の対流をコンピュータシミュレーションにより確認しながら、最適な肉厚と形状を設定した。

図3にコンピュータシミュレーションによる水の対流状態を現行の釜と比較した結果を示す。



図2. 釜の形状比較 新しい釜は従来に比べ、底部が大きな曲面となっている。

Comparison of pot shapes

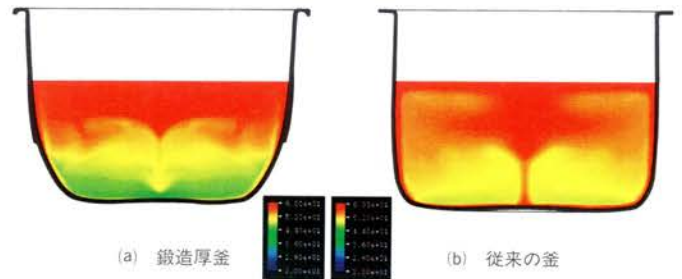


図3. 加熱による対流シミュレーション比較 新しい釜は外周部から激しく上昇する大きな対流が認められる。

Comparison of simulated heat convection

5 鍛造厚釜の開発

形状や肉厚の不均一性から釜は従来のプレスによる加工では製作できず、釜本体は熱伝達率のよいアルミ合金を鋳造し、釜の底部に磁励加熱できるステンレス鋼の発熱部を取付ける構造とする必要がある。この場合には、ステンレス鋼とアルミ合金を結合する技術課題がある。

アルミ合金とステンレス鋼は、表1に示すように熱膨脹率が大きく異なる。鋳造時の温度や、釜のフッ素樹脂塗装時の

表1. アルミ合金とステンレス鋼の特性比較

Comparison of characteristics of aluminum and stainless steel

	融点 (°C)	比熱 (J/K)	密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/m·K)	熱膨脹係数 (×10 ⁻⁶ /K)
SUS	1,500	0.46	7,700	40.6	11
Al	650	0.92	2,600	116.2	23

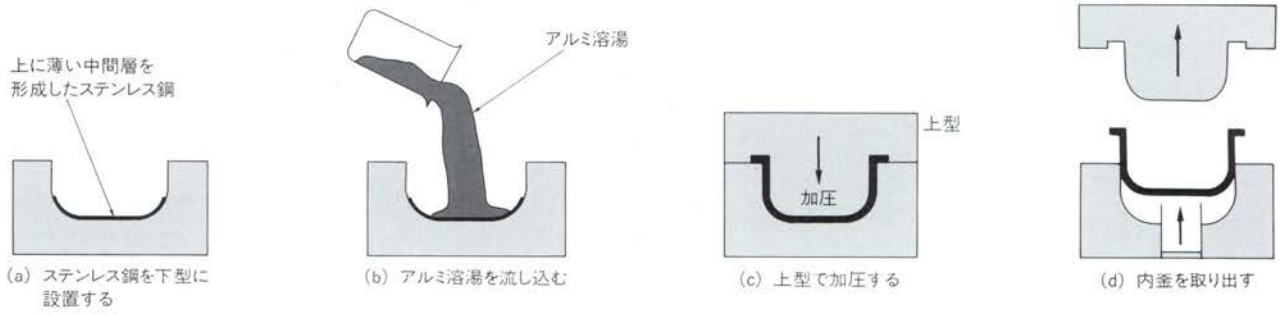


図4. 溶湯鍛造による釜の製造工程 強固な結合層を得るため溶湯鍛造による鑄造方法を用いている。
Process of manufacturing pressure-cast thick pot

焼付温度、通常の炊飯時における熱ストレスなど、結合部には熱膨脹差に伴う大きなせん断応力が加わる。

このせん断応力にも耐える結合力を得るために、ステンレス鋼とアルミ合金を強固に結合する技術を開発した。

釜の底部外面に励磁コイルに対応した形状のステンレス鋼の発熱部を設け、この発熱部の内面に金属の焼結層を特殊な製法により形成し、この焼結層に高温、高圧でアルミ合金を浸透させるもので、機械的な結合とともに、強度的にも熱伝導的にも優れた結合状態が得られた。

また、この結合部が熱膨脹差による応力を吸収する緩衝層となりステンレス鋼とアルミ合金のはく離を防ぐ効果もある。この強固な結合層を得るために溶湯鍛造による鑄造方法を採用した。

溶湯鍛造はSCP(Squeeze Casting Process)製法とも呼ばれ、溶湯の凝固過程に高圧力を加えることにより、鑄造欠陥のない高品質の鑄造製品が得られるため、強度や信頼性が要求される部品、例えばエンジンのピストンや自動車のホイールなどの鑄造に利用されている。

図4に溶湯鍛造による釜の製造工程を示す。

6 結合部分の信頼性保証

釜は、炊飯のたびに加熱され、炊飯終了とともに冷却され、使用状況によっては、高温状態で水などが掛かり急速に冷却されることも予想される。また、釜は炊飯後取り外し、清掃されたり、持ち運びされることによる取扱上の衝撃にも耐えねばならない。このような熱ストレスや衝撃が長期間、繰り返し加えられる。

開発した釜の信頼性保証では、実際の使用状態で、どのようなストレスが結合部分に加わるかを把握したうえでそれに基づいた確認が必要になる。しかし、実際のストレスを実測することは困難なために、結合部に加わる応力をコンピューターシミュレーションにより解析し最大応力の値とその部位を特定した。

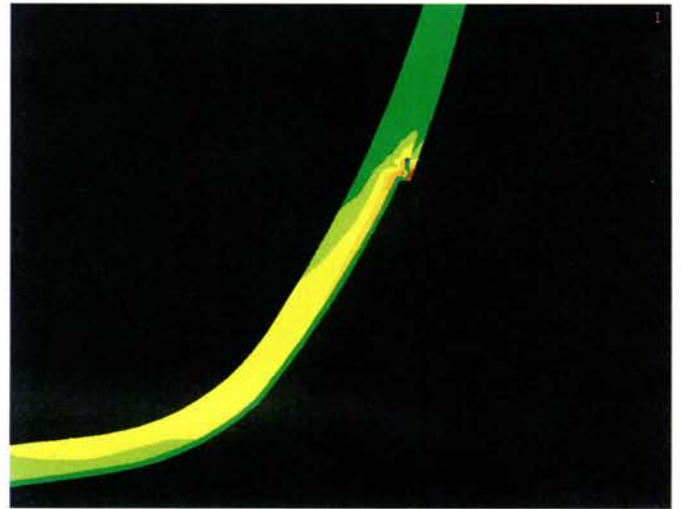


図5. 結合部に加わる応力シミュレーション結果 最大応力が釜の側面中央部に発生していることがわかった。

Simulated application of force on joined parts

図5にコンピュータシミュレーション結果による応力分布を示す。

解析には、釜の成形から塗装時の温度、使用状態の熱ストレスなど、すべての条件を入力し、釜の各部位に生ずる応力分布と最大応力値を求めた。最大応力が発生する部分から試験片を切り出し、実際のせん断破壊力を測定し、計算上での応力値に対して十分な安全率があることを確認した。

信頼性の確認では、実機により実際に使用されると同じ条件の繰返しの試験を行い、試験前後の結合部分のせん断力を実測して経時的に変化のないことと、内部組織的にも変化が生じていないことを確認している。

7 炊飯性能の確認

開発した釜による炊飯では、ステンレス鋼の発熱部が磁励加熱されると、瞬時にアルミ合金に熱が伝わり、釜全体が加熱される。熱せられた湯は釜側面のカーブに沿って激しい対

流を起こして上昇する。これによって、ご飯の上層部が早く沸騰を始め、炊飯が上層部から中、低層部へ進むため、含水率が均一でむらのないおいしいご飯が炊き上がる。

炊き上がったご飯は、従来の釜を使用した場合と比べ、次の違いが認められる。

- (1) ふたを開けたときのご飯は透明感のある白さが目立つ。
- (2) 炊き上りの上面は外周周辺が盛り上がり、ご飯の一粒一粒が立って、ふっくらしている。
- (3) 上層部にばさつきがなく、下層部にべちゃつきがない。
- (4) 上、中、下部の炊上が均一で歯ごたえ、粘りが優れている。

図6は、釜に水を入れ各部の温度を測定しながら加熱していずれかのポイントが100℃になった時点の各測定ポイントの温度を測定した結果を示す。この結果、従来の釜に比べ、温度むらが少なく、各ポイントの温度が高いことがわかる。

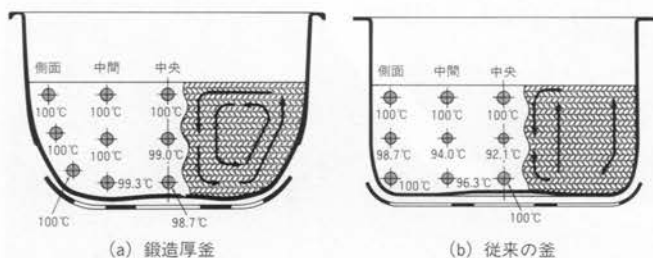


図6. 釜の温度分布 従来の釜に比べ、温度上昇が均一で、かつ温度が高い値を示している。

Heat distribution of pot

図7に、実際に炊飯したご飯の上、中、下の各層別に飯粒の含水率を測定した結果を、従来の釜と比較して示す。従来

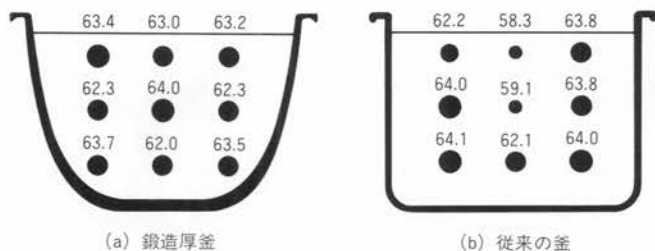


図7. 炊飯後の各部の含水率比較 新しい釜は含水率のむらが従来の釜に比べ大幅に改善されている。

Comparison of water content percentage after rice cooking

の釜で炊飯した場合に比べ、含水率のばらつきが少なくなっている。

炊飯が均一状態であることは、炊飯プロセスの制御を炊飯状態に合わせ適切に行うことによって好みの炊上が可能となる。開発した保温釜ではマイコンによるニューロ制御を行い理想的な炊飯状態を得ている。

8 あとがき

今回の開発はおいしいご飯が炊ける保温釜を目的として、従来の概念にとらわれず釜の形や炊飯プロセスについて開発を行い当初の目的を達成できたと考えている。今後ともおいしいご飯を食べたいというユーザーのニーズは高いと思われるが、さらに研究を進めお客様の要望にこたえられる商品を開発していく所存である。



村瀬 浩二 Kôji Murase

1962年入社。家電製品の開発に従事。現在、リビングシステム事業部技術担当課長。
Household Appliances Div.