

I H調理器対応型陶磁器製調理器具の開発

吉田秀治・寺崎 信

I H調理器対応型陶磁器製調理器具用素地をコーディエライト質素地とペタライト質素地により調製を試みた。その結果、コーディエライト質では、温度差 350°Cの熱衝撃試験に耐える素地を調製することができなかった。しかし、ペタライト質素地は、最高で温度差 550°Cの熱衝撃試験に耐えるものを開発することができた。また、温度差 350°Cの熱衝撃試験に耐えるペタライト質素地用の釉薬も開発することができた。

一方、市販の銀製発熱膜の耐貫入試験、食器洗浄抵抗性、熱衝撃試験および発熱試験などの物性評価を行った結果、実用可能であることが明らかとなった。

1. はじめに

近年の生活様式の変化の中で家庭用電気器具の進歩が著しく、それに対する周辺物品の対応が求められている。特に最近では、I H調理器が業務用ならびに一般家庭において普及しつつあり、近い将来、I H調理器は火を使わない安全な調理器具として、急速に普及していくであろうと予測されている。しかし、I H調理器に対応した陶磁器製の調理器具の開発・普及はほとんど進んでおらず、将来的にI H調理器の普及に伴い大きな市場となる可能性がある。したがって、本研究では、I H調理器に対応した陶磁器製の調理器具の開発を行った。

2. 実験方法

2.1 試料素地用陶土の調製

試料素地用陶土は、あらかじめ粉碎して粒度調整した原料を用い表1および表2に示した配合組成となるように調製した。

2.2 試料釉薬の調製

試料釉薬は、あらかじめ粉碎して粒度調整した原料を用い、表3に示した配合組成となるように調製した。

表1 コーディエライト質素地の配合組成

原料	C	A
マレーシアカオリン	28	28
本山蛙目1級	15	15
合成コーディエライト	40	20
アルミナ	3	23
益田長石	14	14
total	100	100

表2 ペタライト質素地の配合組成

原料	P6G4	PGA
ペタライト	60	55
本山蛙目1級	40	35
アルミナ	0	10
total	100	100

表3 低膨張釉薬配合組成

	1	2	3	4
ペタライト	75	80	80	75
本山蛙目粘土	5	5	5	5
Al(OH) ₃	5	0	0	10
ZnO	10	10	5	5
CaCO ₃	5	5	5	5
益田長石	0	0	5	0
Total	100	100	100	100

	5	6	7	8
ペタライト	70	70	70	65
本山蛙目粘土	5	5	5	5
Al(OH) ₃	10	10	7	15
ZnO	10	15	15	15
CaCO ₃	5	0	3	0
益田長石	0	0	0	0
Total	100	100	100	100

2.3 I H調理器用発熱膜試料の調製

I H調理器用発熱膜には外径 140 φ (mm) の銀を主成分とした転写紙(鳴海製陶(株)社製)を使用した。これを外径 8 インチφ の洋皿に貼付し、電気炉により 750°C~900°Cで焼成して発熱試験用の試料とした。また、転写紙を1/8に切断し50 (mm) 角の磁器板に貼付し、電気炉により 750°C~900°Cで焼成して耐貫入試験および食器洗浄抵抗性などの物性評価用の試料とした。

2.4 焼成

試験素地及び施釉試験体の焼成は、電気炉により大気中で昇温速度 100°C/h. で所定の温度まで昇温後1時間均熱し、自然放冷して行った。

2.5 焼成体の吸水率及び嵩密度の測定

焼成体の吸水率及び嵩密度は、ASTM C 373-88 の方法で行った。

2.6 熱膨張の測定

熱膨張は、焼成後の素地及び熔融させた釉薬のボタンから試料寸法約 5×5×20 (mm) に切り出した試験体を用い、(株)マックサイエンス社製熱機械測定装置により昇温速度 10°C/min.、荷重 10g およびサンプリングタイム 3.0sec. の条件で行った。

2.7 結晶相の同定

結晶相の同定は、粉末 X 線回折法により(株)マックサイエンス社製 X 線回折装置で行った。

2.8 熱衝撃試験

熱衝撃用の試料片は、2.1 で調製した陶土を鋳込み成形により 20×120×7 (mm) の板状に成形し、所定の温度で本焼して作製した。熱衝撃試験は、陶磁器製耐熱食器の JIS S 2400 の方法で行った。熱衝撃抵抗性

の評価は、温度差 350°Cで熱衝撃試験を行った後の試料を十分に乾燥させ、赤色染料溶液に試料片を浸し目視確認を行って評価した。さらに、目視確認で異常が認められなかった試料素地は、再度試料片を作成して陶磁器製耐熱食器の JIS S 2400 の方法で所定の温度差の熱衝撃を加え、試料を十分に乾燥させた後(株)島津製作所社製オートグラフによりスパン 6cm、クロスヘッドスピード0.5mm/min. の条件で3点曲げ強度を測定して強度が急激に減少する前の温度を耐熱温度として評価した。

2.9 I H調理器用発熱膜の耐貫入性試験

耐貫入性試験は、(株)栗原製作所社製のオートクレーブにより 180°C、12 気圧で所定の回数繰り返し試験を行い、試験毎に発熱膜表面の変化を日本電色工業(株)社製の光沢度計で測定して評価した。

2.10 I H調理器用発熱膜の食器洗浄抵抗性試験

食器洗浄抵抗性試験は、ホシザキ電機(株)社製の業務用食器洗浄機により洗浄を 600回~1000回の範囲で行い発熱膜表面の変化を光沢度計で測定して評価した。

2.11 I H調理器による発熱膜の発熱試験

発熱膜の発熱試験は、200V 仕様の(株)日立製作所社製 I H調理器を用い、表面温度を日本電子(株)社製のサーモビューワで測定して評価した。

3. 結果および考察

3.1 コーディエライト質素地

3.1.1 焼結性

表 4 及び表 5 にコーディエライト質 C 素地及びコーディエライト質 A 素地の各焼成

温度における焼成体の物性を示した。吸水率及び嵩密度の値から、C素地及びA素地は、焼成温度が1250℃までは吸水性が残存し、1,300℃以上ではほとんど吸水性がなくなる事が明らかとなった。また、両素地とも嵩密度は、1,300℃まで急激に増加するが1,300℃と1,350℃焼成では大きな差は見られなかった。このことから、C素地及びA素地は、1300℃で焼成すると緻密化することが明らかとなった。

3.1.2 熱的性質

表4及び表5にコーディエライト質C素地及びコーディエライト質A素地の各焼成温度における焼成体の熱膨張係数を示した。これらの表から、C素地の熱膨張係数は、 3.1×10^{-6} ～ 3.4×10^{-6} の値を示すことが明らかとなった。一方、A素地の熱膨張係数は、 4.3×10^{-6} ～ 4.6×10^{-6} の値を示すことが明らかとなった。A素地の熱膨張係数がC素地の熱膨張係数より大きな値を示したのは、大きな熱膨張を示すアルミナをC素地よりA素地のほうに20%多く配合したためと考えられる。

3.1.3 熱衝撃抵抗性

表4及び表5にコーディエライト質C素地及びコーディエライト質A素地の各焼成温度における焼成体の熱衝撃試験の結果を示した。これらの結果から、C素地及びA素地の焼成体は、いずれも1200℃焼成の1個の試験片を除きすべての試験片が破損した。このことから、C素地及びA素地の焼成体は、温度差350℃の熱衝撃に耐えないことが明らかとなった。これは、両素地の焼成体の熱膨張係数が温度差350℃の熱衝撃に対し大きすぎたためと考えられる。

表4 C素地の各焼成温度における物性

焼成温度 (°C)	吸水率 (%)	嵩密度 (g/cm ³)	熱膨張係数 (1/°C)*	熱衝撃試験 ΔT=350°C
1200	9.18	2.04	3.35×10^{-6}	3個中2個破損
1250	3.96	2.26	3.26×10^{-6}	3個中3個破損
1300	0.04	2.49	3.16×10^{-6}	3個中3個破損
1350	0.06	2.54	3.26×10^{-6}	3個中3個破損

*: 熱膨張係数は、30℃～700℃の平均線熱膨張係数である。

表5 A素地の各焼成温度における物性

焼成温度 (°C)	吸水率 (%)	嵩密度 (g/cm ³)	熱膨張係数 (1/°C)*	熱衝撃試験 ΔT=350°C
1200	6.26	2.31	4.59×10^{-6}	3個中2個破損
1250	1.78	2.49	4.60×10^{-6}	3個中3個破損
1300	0.05	2.65	4.46×10^{-6}	3個中3個破損
1350	0.06	2.66	4.37×10^{-6}	3個中3個破損

*: 熱膨張係数は、30℃～700℃の平均線熱膨張係数である。

3.2 ペタライト質素地

3.2.1 焼結性

表6及び表7にペタライト質P6G4素地及びペタライト質PGA素地の各焼成温度における焼成体の物性を示した。吸水率及び嵩密度の値から、P6G4素地及びPGA素地は、焼成温度が1250℃までは吸水性が残存し、1,300℃以上ではほとんど吸水性がなくなる事が明らかとなった。このことから、P6G4素地及びPGA素地は、1300℃で焼成すると緻密化することが明らかとなった。

3.2.2 熱的性質

表6及び表7にペタライト質P6G4素地及びペタライト質PGA素地の各焼成温度における焼成体の熱膨張係数を示した。これらの表から、P6G4素地の熱膨張係数は、 0.5×10^{-6} ～ 1.25×10^{-6} の値を示すことが明らかとなった。一方、PGA素地の熱膨張係数は、 1.6×10^{-6} ～ 2.0×10^{-6} の値を示すことが明らかとなった。PGA素地の熱膨張係数がP6G4素地の熱膨張係数より大きな値を

示したのは、P6G4 素地に配合しなかったアルミナをより PGA 素地に 10% 配合したためと考えられる。

3. 2. 3 熱衝撃抵抗性

表 6 及び表 7 にペタライト質 P6G4 素地及びペタライト質 PGA 素地の各焼成温度における熱衝撃試験の結果を示した。P6G4 素地において 1200℃及び 1250℃焼成体は、温度差 350℃の熱衝撃試験に対し破損などの異常は認められなかった。しかし、1300℃で焼成した焼成体は、温度差 350℃の熱衝撃試験に対しすべての焼成体が破損した。一方、PGA 素地において 1200℃、1250℃及び 1300℃で焼成した焼成体は、温度差 350℃の熱衝撃試験に対し全て破損などの異常は認められなかった。さらに、1250℃及び 1300℃で焼成した焼成体の各温度差の熱衝撃試験後の強度変化を図 1 及び図 2 に示した。これらの図から、1250℃で焼成した焼成体は、温度差が 550℃まで大きな強度の減少がなかった。また、1300℃で焼成した焼成体は、温度差が 450℃まで大きな強度の減少がなかった。この結果から、1250℃で焼成した焼成体のほうが 1300℃で焼成した焼成体よりも熱衝撃抵抗性が大きいことが明らかとなった。

表6 P6G4素地の各焼成温度における物性

焼成温度 (°C)	吸水率 (%)	嵩密度 (g/cm ³)	熱膨張係数 (1/°C)*	熱衝撃試験 ΔT=350°C
1200	14.35	1.80	0.52×10^{-6}	破損無
1250	9.44	1.92	1.25×10^{-6}	破損無
1300	0.09	2.28	1.22×10^{-6}	3個中3個破損

*: 熱膨張係数は、30℃~700℃の平均線熱膨張係数である。

表7 PGA素地の各焼成温度における物性

焼成温度 (°C)	吸水率 (%)	嵩密度 (g/cm ³)	熱膨張係数 (1/°C)*	熱衝撃試験 ΔT=350°C
1200	12.96	1.90	1.60×10^{-6}	破損無
1250	8.15	2.02	1.75×10^{-6}	破損無
1300	0.11	2.32	2.00×10^{-6}	破損無

*: 熱膨張係数は、30℃~700℃の平均線熱膨張係数である。

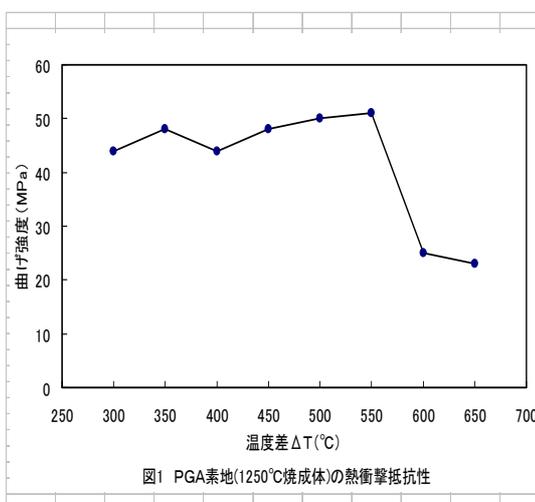


図1 PGA素地(1250℃焼成体)の熱衝撃抵抗性

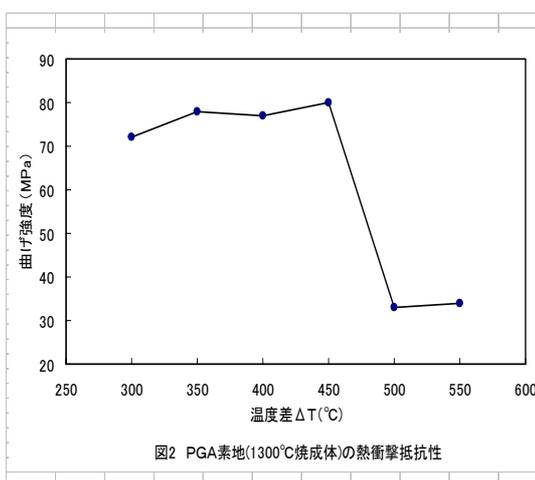
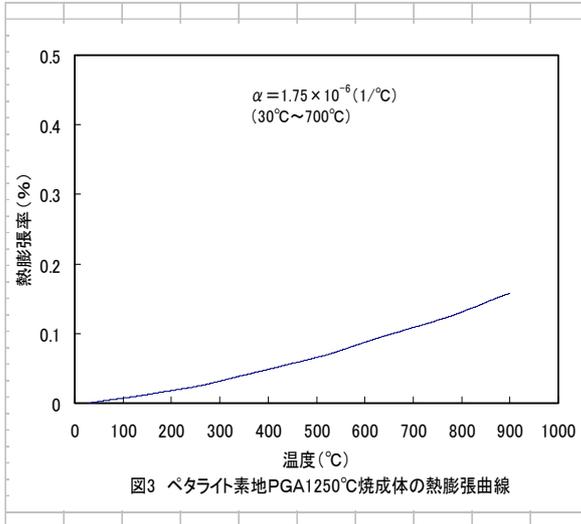


図2 PGA素地(1300℃焼成体)の熱衝撃抵抗性

3. 2. 4 熱的性質

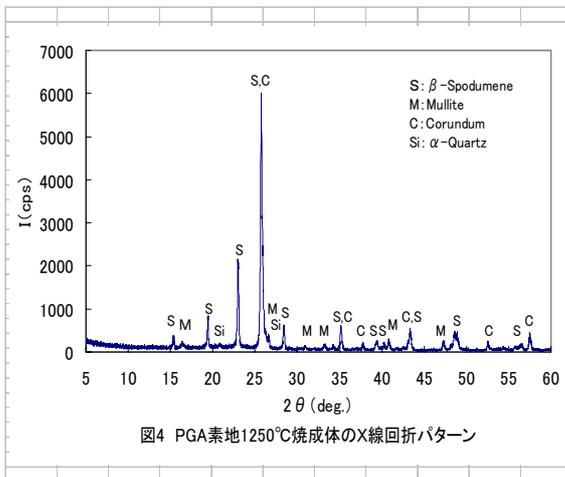
図 3 に熱衝撃抵抗性の結果がもっとも良好であったペタライト質PGA 素地を 1250℃で焼成した焼成体の熱膨張曲線を示した。この図から、この焼成体の熱膨張曲線は、

異常な膨張を示さず滑らかな曲線を示すことが明らかとなった。また、熱膨張係数は、 $1.75 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ と小さな値を示した。



3.2.5 焼成体の結晶相

図4に熱衝撃抵抗性の結果がもっとも良好であったペタライト質PGA素地を1250°Cで焼成した焼成体のX線回折パターンを示した。この図から、この焼成体に存在する結晶は、 β -spodumene、mullite、corundum、及び α -quartzであった。このことより、ペタライト質PGA素地を1250°Cで焼成した焼成体には、異常膨張を示す結晶は存在しないことが明らかとなった。



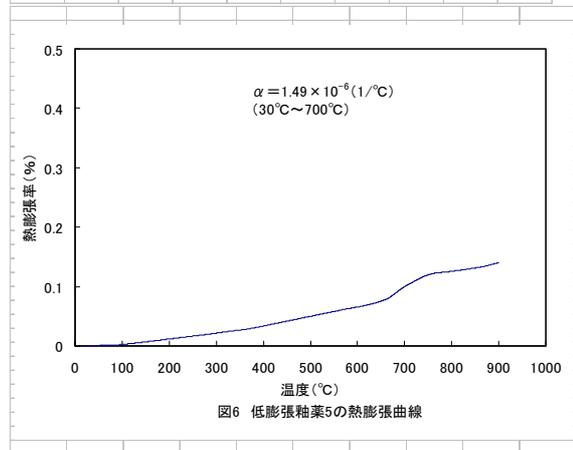
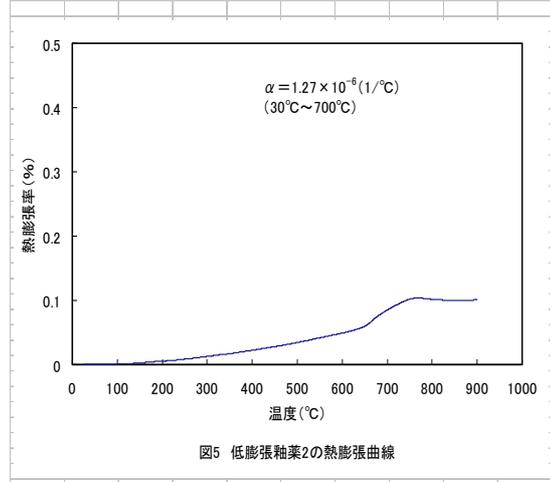
3.3 釉薬

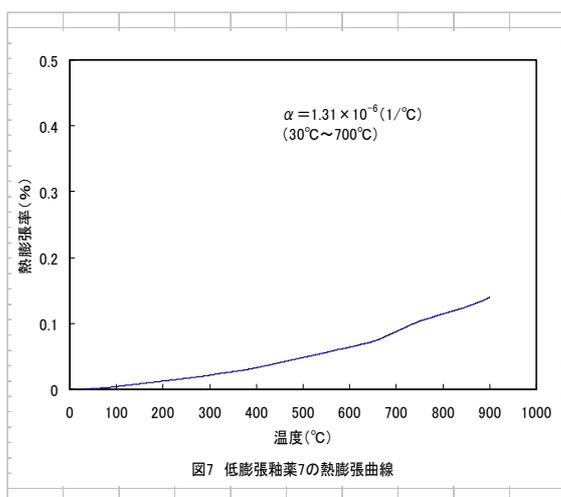
作製した釉薬の熔融状態及び熱膨張係数の値を表8に示した。この結果から、2、5及び7の釉薬で良好な結果が得られた。また、これらの良好な結果が得られた釉薬の熱膨張曲線を図5、図6及び図7に示した。これらの結果から、2、5及び7の釉薬は、600°C以下の温度領域において異常膨張は認められなかった。

表8 1250°C焼成後の釉薬の状態

	1	2	3	4
釉薬の状態	熔融不足	良好	過熔融	熔融不足
熱膨張係数*(1/°C)	1.77×10^{-6}	1.27×10^{-6}	-0.17×10^{-6}	0.05×10^{-6}
	5	6	7	8
釉薬の状態	良好	熔融不足	良好	熔融不足
熱膨張係数*(1/°C)	1.49×10^{-6}	-0.98×10^{-6}	1.31×10^{-6}	-0.43×10^{-6}

*: 熱膨張係数は、30°C~600°Cの平均線熱膨張係数である。





3.4 施釉品の熱衝撃抵抗性

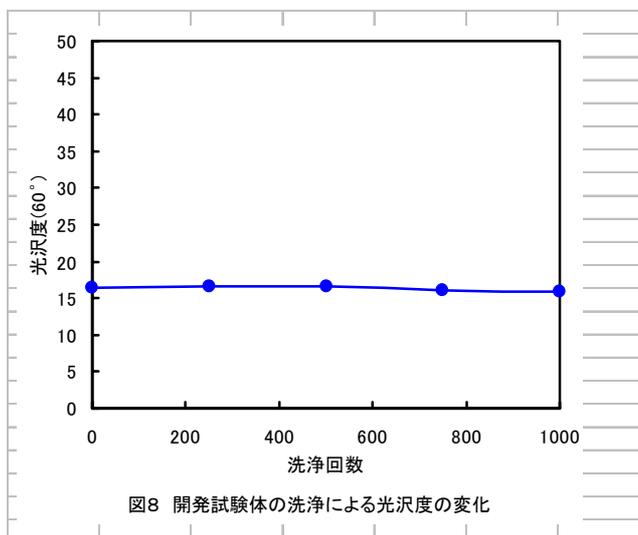
ペタライト質PGA素地に釉薬5を施釉し、1250°Cで焼成したものの5個について温度差350°Cの熱衝撃試験を行った結果、全ての試験体において釉薬のひび割れや素地の割れなどの破損は認められなかった。このことより、ペタライト質PGA素地に釉薬5を施釉し、1250°Cで焼成したものは、温度差350°Cの熱衝撃に耐えることが明らかとなった。

3.5 IH 発熱膜の物性評価

3.5.1 IH 発熱膜の洗浄抵抗性

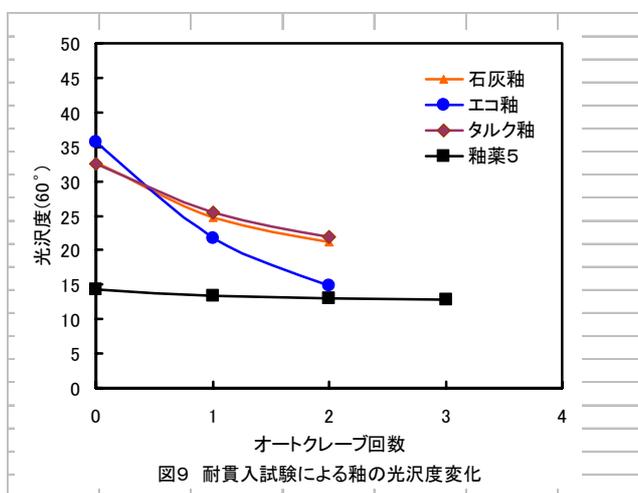
IH 発熱膜を焼き付けた試料の洗浄試験の結果、750~900°Cで焼き付けた試料は、いずれの温度でも600回の繰り返し洗浄で表面光沢が低下せず、優れた耐久性を有していた。また、熱膨張係数が異なる4種類の釉薬の影響を検討したが、石灰釉 (6.3×10^{-6})、タルク釉 (5.8×10^{-6})、エコ釉 (5.2×10^{-6})、今回開発した釉薬5 (1.5×10^{-6})といずれも剥離や光沢低下は認められず良好であった。図8に開発した施釉素地焼成体にIH発熱膜を焼き付けた試料の洗浄試験の結果を示した。この図から、洗浄を

1000回の繰り返しでも発熱膜の表面光沢に変化はなく、洗浄抵抗性に問題がないことがわかった。



3.5.2 IH 発熱膜の耐貫入性

IH 発熱膜を焼き付けた試料の耐貫入性試験の結果を図9に示した。石灰釉、タルク釉、エコ釉自体の光沢は低下しなかったが、IH 発熱膜の光沢は徐々に低下した。しかし、釉薬5にIH 発熱膜を焼き付けたものは、耐貫入性試験を3回繰り返しても剥離や表面光沢の低下は認められなかった。



3.5.3 IH 発熱膜の加熱特性

IH 対応のステンレス鍋と 1250℃で焼成した 8 インチφの洋皿に IH 発熱膜を焼き付けた試験体で 200ml の水を 90℃まで沸かす試験を行った結果を表 9 に示した。ステンレス鍋は、ガス加熱では 127sec だったが、IH 加熱では 70sec と短時間で水を沸かすことができた。また、IH 調理器と鍋の底面の距離が 5mm あっても加熱性能はほとんど落ちなかった。1250℃で焼成した開発洋皿はステンレス鍋より加熱速度は劣るが、ガス加熱に比べ IH 加熱は加熱時間が短く、IH 対応のステンレス鍋と同様な加熱特性を示すことがわかった。また、IH 調理器と発熱膜の距離が 3mm と 5mm ではほとんど差がないが、10mm になると 220sec かかり、加熱特性が急激に低下することがわかった。一方、1300℃で焼成した洋皿は 108sec と加熱性能が向上していた。これは高温焼成により素地の焼締まりがすすみ、熱伝導率が高くなったためと考えられる。

表9 IH調理器による水の煮沸試験

調理器具	底面の高さ (mm)	熱源	所要時間 (sec)
ステンレス鍋	0	ガス	127
	0	IH	70
	5	"	72
8インチ洋皿(1250)	5	ガス	190
	5	IH	151
	10	"	220
	3	"	141
8インチ洋皿(1300)	5	"	108

図 10 は 1250℃で焼成した開発皿に IH 発熱膜を焼き付けた試験体で 200ml の水を 90℃まで沸かした直後の温度分布をサーモグラフィーによる熱画像で示したものである。IH 発熱膜の部分が特に赤く、110

～140℃程度まで昇温していたことがわかった。IH 発熱体が焼き付けられていない中心部分で 76℃、リムの部分では 33℃となっており、試験体が大きな温度分布を持つことがわかった。

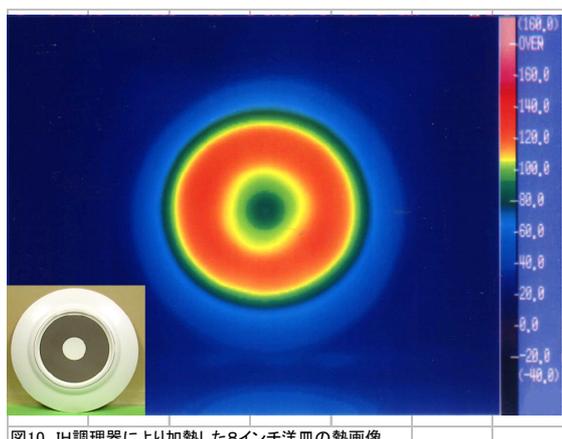


図10 IH調理器により加熱した8インチ洋皿の熱画像

4. まとめ

- (1) コーディエライト質では、温度差 350℃の熱衝撃試験に耐える素地を調製することができなかった。
- (2) ペタライト質素地は、最高で温度差 550℃の熱衝撃試験に耐えるものを開発することができた。
- (3) 温度差 350℃の熱衝撃試験に耐えるペタライト質素地用の釉薬も開発することができた。
- (4) 市販されている IH 発熱膜の耐貫入性試験および洗浄抵抗性試験は、サイクル試験においても問題なく使用できることが確認できた。
- (5) 200V の IH 調理器で煮沸試験を行った結果、IH 調理器の方がガス加熱より短時間で水が沸騰することが確認できた。
- (6) 開発したペタライト質素地、釉薬および市販の IH 発熱膜により、IH 調理器対応型陶磁器製調理器具の開発に目途が立った。