

# 調理器具におけるエネルギーの有効利用について (第1報)

各種加熱原理に基づく調理器具の熱効率

松山正彦

## Studies of Saving Energy on Cooking Appliances ( I )

Thermal Efficiency of Cooking Appliances Based on Some Heating Principles

Masahiko MATSUYAMA

### summary

To know the available percentages of electric energy on three home electric cooking appliance, some heating tests of water and saline solution were given on an electronic oven, an electromagnetic cooking utensil and an electric rice cooker.

The result is as follows:

The efficiency  $\eta_1$  showed in the equation 8 of this thesis was 1.00 in case of electric rice cooker, 0.74 in case of electromagnetic utensil and 0.52 in case of electronic oven. When the temperater of solution was from 30 to 60, the efficiency  $\eta_2 \times \eta_3$  in the same equation was from 0.70 to 0.85 in case of electric rice cooker, from 0.84 to 0.92 in case of electromagnetic oven (from 0.80 to 1.00 in case of city water). So that overall thermal efficiency  $\eta_c (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3)$  was from 0.78 to 0.85 in case of electric rice cooker, from 0.62 to 0.68 in case of electromagnetic cooking utensil and from 0.25 to 0.52 in case of electronic oven (from 0.42 to 0.52 in case of city water).

Therefore, the stadies of raiseing the efficiency  $\eta_1$  higher level are wished to save energy from now on.

### 緒 言

エネルギーを大切にすることは、社会的な機関や施設において実施されることも大切であるが、個々の人が、各家庭で行なうことに意義が大きいと考え、家庭機械のなかでも調理器具における省エネルギーに関する研究を行なった。

家庭にある電化調理器具を発熱原理的に分類すると、電気釜や電熱器などの抵抗加熱と電子レンジに利用されている誘電加熱および電磁調理器に利用されている誘導加熱の3つに分類できる。電子レンジは実用的なものが1954年米国で造られ、我国では20数年前から製造が開始され研究されているが、実際の調理に関するものと<sup>1-5,7-12)</sup>、原理的なものとに分けられる<sup>1,6,14)</sup>。電磁調理器に関しては、一般家庭における普及率がまだ低く、研究の数も少ない<sup>13,15)</sup>。

本報では、限りある一定電力をいかに有効に利用するかという課題のために、異なる発熱原理に基づく電気炊飯器と電子レンジおよび電磁調理器をとりあげ、各々の熱効率を調べ、エネ

ルギの有効利用について考察した。

## 家庭電化製品の発熱原理

家庭で現在使われる電化製品を、原理的に分類すると次の3つに分けられる。

第1は昔からの電化製品である電熱器、トースタ、アイロン、電気ポット、電気釜などの家庭機械にみられる抵抗加熱の原理である。この原理で発熱体が線形のものには、露出形発熱体とシーズヒータおよびスペースヒータがある。露出形発熱体は耐久性に乏しいので普通はシーズヒータとスペースヒータがよく使われる。シーズヒータは外傷や酸化から発熱体を守るため発熱体に金属パイプをかぶせ、発熱体と金属パイプがショートしないよう絶縁物を入れたもので、水中でも使用できる利点がある。スペースヒータは平型の発熱体を雲母板に巻き、全体を絶縁物と金属で包んだものである。発熱部が平たい平面になっており、面全体から発熱するのは、布に導電性の樹脂を塗り、端に電極を取り付けてある。これは面全体から発熱するので、部分的には表面温度が低くても一定カロリーが得られ耐久性もある。

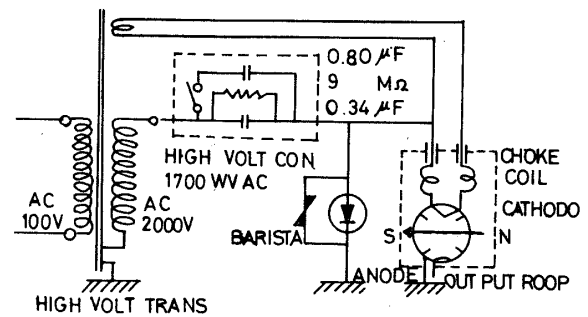
第2は電子レンジにみられる誘電加熱の原理である。これは高周波磁界を絶縁性物質である誘電体かけると、被加熱物体中の分子運動により内部発熱することを利用している。この原理はもともと木材乾燥や合成樹脂フィルム接合のための高周波マシンに利用されており、高周波加熱とも言われている。供試の電子レンジではトランスで100Vから2000Vに電圧を上げ、2M186-M<sub>2</sub>形マグネトロンで2450MHzの高周波の電磁波を発振し、食品を加熱した。(第1図参照)

第3は電磁調理器にみられる誘導加熱の原理である。この調理器具は一般家庭に十分普及されていないが、火災上安全であり掃除も容易であるとして将来を期待されているものである。原理は交流を整流回路で直流に交換し、逆導通サイリスタのゲートにパルスを与え、23.5kHzの高周波電流を電磁コイルに与える。このときコイルから磁力線が発生し調理容器に渦電流が流れてジュール熱を発生

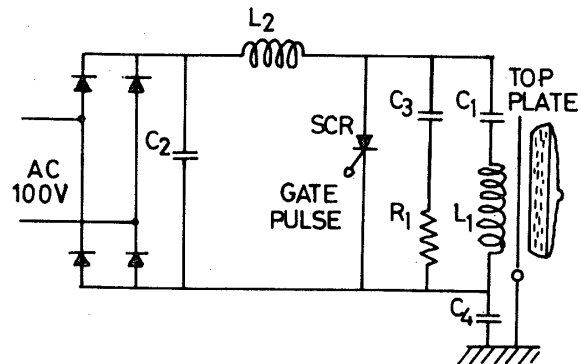
させ、容器内の食品に熱を伝え加熱調理する方法である。今回供試の電磁調理器の電磁コイルは、外径19.5cm、内径5cmの大きさであった。(第2図参照)

## 実験方法

第3図のブロック線図に示すごとく、実験中調理器具に流れる電流が外部要因によって変化しないように、島津製作所の交流定電圧電源(島津 stavol 30mp.)を用いて100Vの一定電圧に保ち、実験室内は空調装置を使用して常時17℃に設定した。実験は各発熱原理別に1個ずつの調理器具を選び、水道水と食塩水を加熱した時の温度上昇の状態を、銅-コンスタントンの

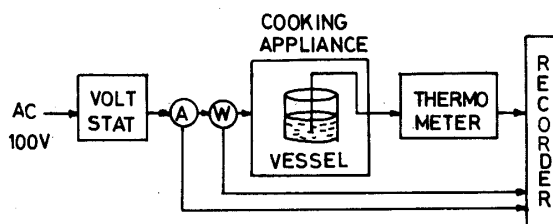


第1図 電子レンジの原理図



第2図 電磁調理器の原理図

熱電対を用いて取り出し、増幅器 (YEW mV converter FTM11, 入力0~18.2 mV 出力1~8.1 V) を経てデジタル温度計 (YEW 2575 +2815 Multichannel switch) で観測できるようにするとともに、6ペン式記録計 (日本電子 PANTOS Unicorder U-825M) に接続して記録させた。また実験中の調理器具の負荷電圧と負荷電流も同時に記録させた。電子レンジを使用



第3図 実験装置ブロック線図

して実験する場合は、熱電対がマイクロ波の電波により放電現象を起こさないように金属網でシールドして、さらに電子レンジの内壁にアースした。熱電対の先端は接着剤の皮膜のみとし、シールドの傘をつけ容器の底から1cmのところを設定し、水温はどの実験も17℃から沸騰するまで連続的に測定した。

今回の実験において、全部の調理器具を蓋有りまたは蓋無しに統一して、蓋の影響すなわち蒸発量を無視すると、各調理器具の実際の使用状況に実験値が当てはまらなく、各調理器具の比較ができないので、使用の実情に添うように、炊飯器の場合は蓋をして他は容器に蓋をしないで実験をした。

実験に用いた調理器具と容器の諸元を第1表に示す。

第1表 供 試 機 器

調 理 器 具			容 器					
器 具 名	記号	諸 元	材質	記号	重量g	直径mm	高さmm	水当量gr
電 気 釜	K	東芝RC-186、定格100V600W、0.4~1.8L炊き	アルミ	—	316	225	130	66.7
電 子 レンジ	D	ナショナルNE-8700、定格入力100V1150W、出力2450MHz、600W	耐 熱	S	118	90	85	22.2
			ガラス	M	210	130	85	39.5
				L	274	160	85	51.5
電 磁 調 理 器	I	ナショナルKZ-1000T、定格入力100V1200W、出力23.5kHz、890W	ホーロー	S	216	87	68	28.0
				L	559	165	125	69.4

### 結果および考察

実験中、被加熱溶液の温度が $\theta_1$  [°C] から $\theta_2$  [°C] まで $T$  [°C] 変化したとき、溶液 (容器を含む) が必要として熱量を $Q_1$  [cal]、被加熱溶液の重量を $M$  [g]、その比熱を $H$  [cal/g°C]、容器の水当量を $m$  [g] とすると、

$$Q_1 = (MH + m)T \quad (1)$$

となる。

一方、実際に発熱するために使用される電力を $S$  [W] とすると、 $t$  [sec] 時間に発生する熱 $Q_2$  [cal] は、

$$Q_2 = 0.2389St \quad (2)$$

ところが定各入力電力 $P$  [W] の全てが $S$  [W] に相当しない発熱原理のものがあるので、その効率を $\eta_1$ とすると、

$$Q_2 = 0.2389Pt\eta_1 \quad (3)$$

となるが、発熱した熱量が全て被加熱溶液（容器を含む）に伝えられることはまれで、そのときの効率を $\eta_2$ 、実際に伝えられる熱量を $Q_3$  [cal] とすれば、

$$Q_3 = 0.2389Pt\eta_1\eta_2 \quad (4)$$

となる。さらに被加熱溶液に伝えられた熱量が、全て溶液（容器を含む）の温度上昇のために有効に使われることはない。有効な熱量を $Q_4$  [cal]、溶液の蒸発および容器からの熱慣流によって失われる熱量を $q$  [cal]、その時の効率を $\eta_3$ とすれば、

$$Q_4 = Q_3 - q \quad (5)$$

$$\eta_3 = Q_4 / Q_3 \quad (6)$$

となる。すなわち（4）式と（6）式から

$$Q_4 = 0.2389Pt\eta_1\eta_2\eta_3 \quad (7)$$

となる。ここで $Q_1$ と $Q_4$ は等しいので（1）式と（7）式より

$$(MH+m)T = 0.2389Pt\eta_1\eta_2\eta_3 \quad (8)$$

という関係式が成り立つ。

さらに溶液の温度の時間的な変化率を求めるため（8）式を $t$ で微分すると、

$$(MH+m)dT/dt = 0.2389P\eta_1\eta_2\eta_3 \quad (9)$$

よって

$$dT/dt = 0.2389P\eta_1\eta_2\eta_3 / (MH+m) \quad (10)$$

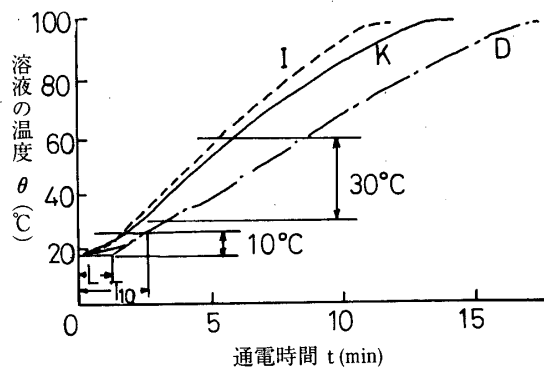
となる。

実験結果から上式を検討してみる。

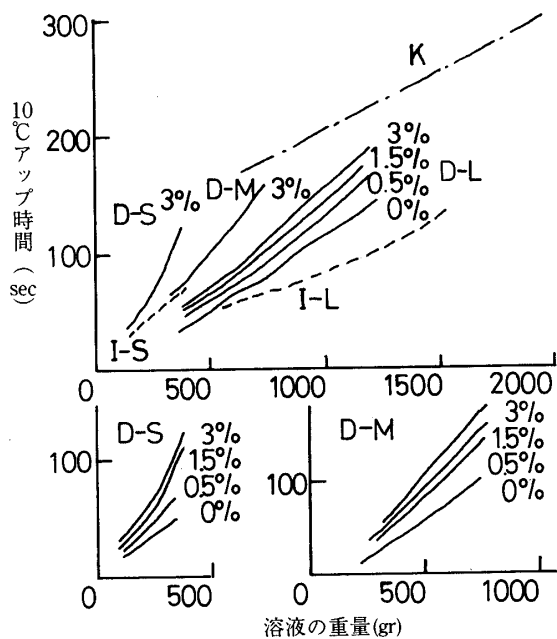
水道水と調理容器の水当量を合わせて1200gの場合の、水温上昇のモデルケースを第4図に示す。図によると、最初調理器具に電源を入れてから容器の温度上昇が確認されるまで多少の遅れが認められ、この遅れ時間をロスタイムと呼び $L$ であらわした。また最初の水温17℃から10℃上昇するまでの時間を10℃アップタイムと呼び $T_{10}$ で表わし、このときの有効顕熱効率を初期効率 $\eta_{10}$ とした。

ロスタイムは電気釜の消費電力が他の調理器具に比べ小さいこともあって比較しにくいですが、消費電力の差を考慮しても電気釜が他の調理器具に比較して時間が長い。これは電気釜の発熱原理が抵抗加熱によるので、一旦発熱体を暖めてから調理容器さらに被加熱溶液に次第に熱を伝えるのに対し、電磁調理器の誘導加熱方式は、コイルから発生した磁力線が調理器具をさえぎるとき発生する渦電流によって直接調理器具を暖めるので、電気釜よりロスタイムが小さいことによる。電子レンジの誘電加熱方式は、被加熱溶液の分子摩擦によって直接被加熱物が加熱されるので、電磁調理器よりさらにロスタイムが小さくなる。以上のことは論理的にも推察されるが、実験結果もこれを裏付けている。

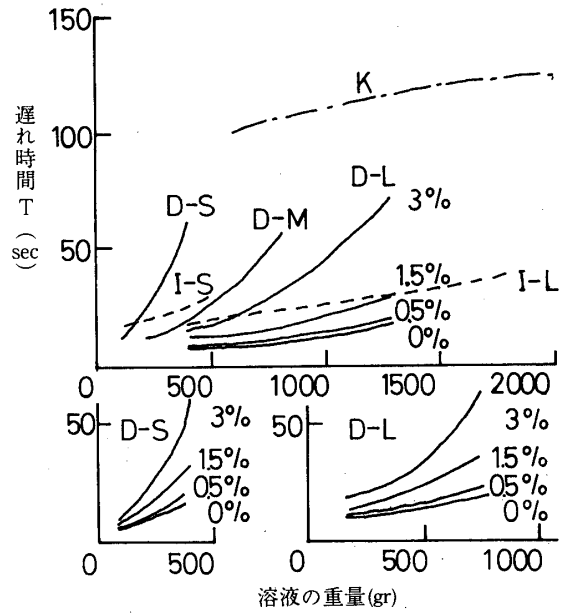
10℃アップタイムは、供試のどの調理器具においても被加熱溶液の重量が増加すれば $t_{10}$ も



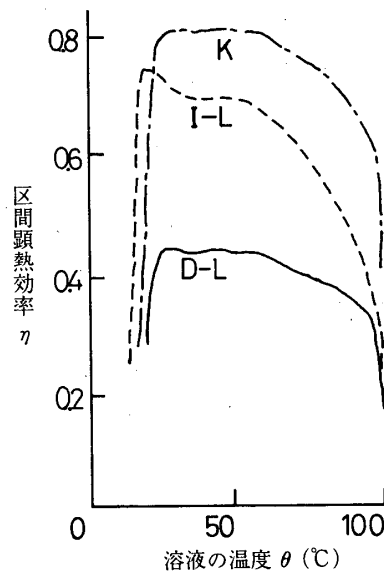
第4図 温度上昇のモデルケース



第6図 10°Cアップタイム



第5図 ロスタイム

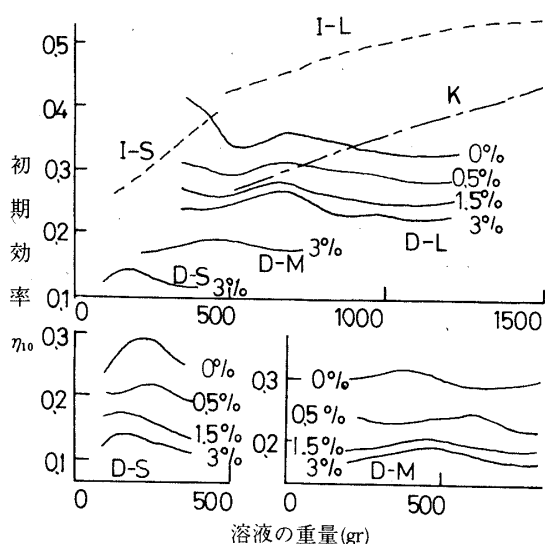


第7図 区間顕熱効率(水道水1200gの場合)

増加することがわかる。10°Cアップタイムはロスタイムと同じ理由で電気釜が一番大きい値を示すことが考えられるが、他の供試の調理器具

に比べ消費電力が小さいこともあり、長い時間を要し、第4図の場合では約3分強であった。電子レンジと電磁調理器は水道水においてはあまり差はなく、第4図の場合では約1.5分弱であった。電子レンジを使用して水道水と各濃度の食塩水を加熱した場合の10°Cアップタイムを比較してみると、渡部らの研究にみるごとく<sup>1)~5)</sup>、食塩水の濃度が濃くなるにつれて、温度上昇のための時間は長かった。これは電解質を含む量が多くなるためと推察される。また電子レンジを使用した場合、同じ被加熱溶液の種類で体積が一定でも溶液の深さが大きくなると時間が長くかかる結果となった。電磁調理器を使用した場合は、被加熱溶液の種類によって10°Cアップタイムに差はみられなかったが、同じ体積の溶液でも底面積が小さく深さが大きくなるにつれて時間が長かった。これは容器の底面をさえぎる磁力線の数および発生する渦電流の量の差と考えられる。

電子レンジで中の大きさの容器を用いて、20℃の水道水を入れて蒸発量の測定を行なった結果、40℃までに0.25%、60℃までに0.50%、80℃までに1.13%、100℃までに4.66%蒸発した。従って30℃から60℃までの蒸発量は僅かであり、第4図にみるごとく被加熱溶液の温度は直線的増加を示し、(10)式における温度変化率  $dT/dt$  は一定値となる。また第7図に示す10℃毎の区間顕熱効率率は、30℃から60℃の間においてほぼ水平の状態を示す。よって30℃から60℃の間における平均効率を定常効率  $\eta_c$  とした。



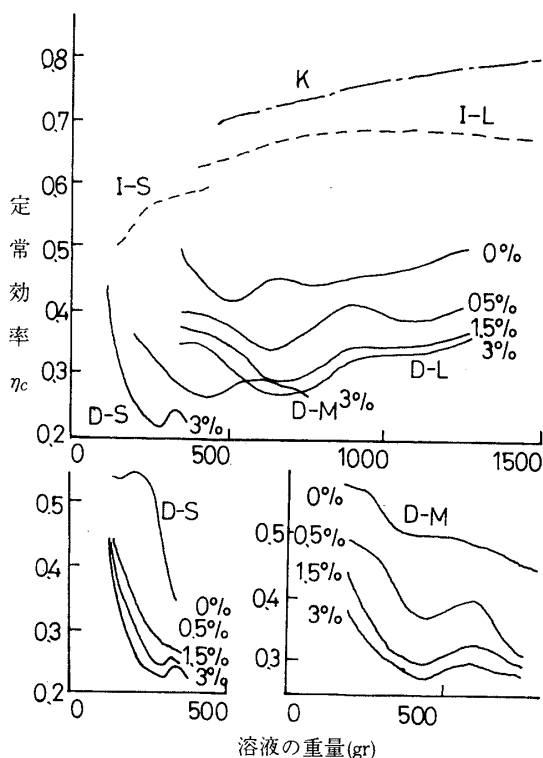
第8図 初期効率  $\eta_{10}$

区間顕熱効率を第7図に、初期効率  $\eta_{10}$  を第8図に、定常効率  $\eta_c$  を第9図に示す。

被加熱溶液の温度が最初から10℃上昇するまでの期間においては、(8)式における効率  $\eta_2$

の値が定常安定加熱状態に比べ極端に小さな値を示すが、次第に増加し一定値を示す。一方、効率  $\eta_3$  の値は被加熱溶液の温度が低いときは大きな値を示し次第に減少する。 $\eta_3$  に比べ  $\eta_2$  の方が全体としての初期効率に大きく関与することを実験結果が裏付けている。調理器具別にみた初期効率  $\eta_{10}$  ( $=\eta_1\eta_2\eta_3$ ) の比較は、電磁調理器が一番よく0.40~0.55、次いで電気釜において0.30~0.50で、どちらの場合も溶液の増加に伴い、なだらかな増加を示した。電子レンジの場合は水道水と食塩水の場合どちらも異常分散現象を示し、0.20~0.40の間で変化した。

今回供試の各調理器具における効率  $\eta_1$  の値は、抵抗加熱による電気釜は1.00、誘導加熱による電磁調理器は0.74、誘電加熱による電子レンジは0.52であるが、被加熱溶液の温度が30℃から60℃の間における定常効率  $\eta_c$  ( $=\eta_1\eta_2\eta_3$ ) の値は、電気釜で0.70~0.85と溶液の増加に伴い増加し、次いで電磁調理器において0.62~0.68となった。電子レンジの場合は水道水と食塩水の場合どちらも異常分散現象を起こし、0.25~0.52 (水道水の場合は0.42~0.52) となった。これは食塩水の濃度が増し、導電率が高くなればマイクロ波の呼吸が少なくなるためと考える。導電率の測定にはデジタル導電率計 (YEW. SC51) を用い、溶液の導電率と定常効率  $\eta_c$  の関係を第10図に示した。30℃から60℃の間においては、抵抗加熱方式の方が誘導加熱方式に比べ効率が良いように思われるが、効率  $\eta_2$  と  $\eta_3$  を掛け合わせた値は、電気釜で0.70~0.85、電磁調理器で0.84~0.92、電子レンジで0.48~1.00 (水道水の場合は0.80~1.00) とな

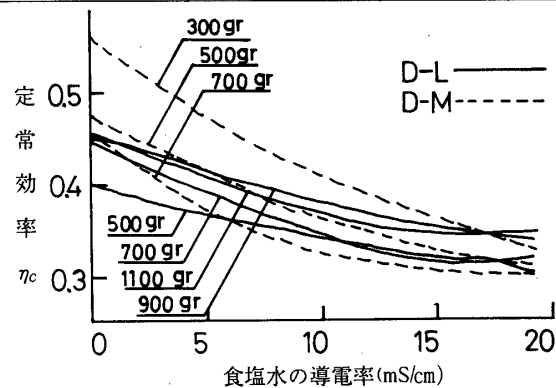


第9図 定常効率  $\eta_c$

り、電磁調理器の方が電気釜より高い値を示すので、今後電磁調理器の $\eta_1$ の値を高くすることが望まれる。電子レンジにおいて電気エネルギーを有効に利用するためには、調理する場合、水道水を先に沸騰させてから食塩などを添加すると効率の良こともわかる。

溶液の温度が60℃以上になり100℃近くになるに従い、効率 $\eta_1$ と $\eta_2$ は変わらないが $\eta_3$ の値が次第に小さくなる。よって(10)式の温度変化率 $dT/dt$ は小さくなり溶液の温度上昇は鈍り、全体の顕熱効率は低下する。このとき調理温度を一定に保つだけなら、入力電力を小さくすれば効率 $\eta_3$ が低下するのを防ぐことができ、電力の省資源のために良い。

食塩濃度 (%)	0	0.5	1.0	1.5
導電率 (mS/cm)	0.072	7.15	13.48	19.27



第10図 電子レンジにおける加熱溶液の導電率と定常効率 $\eta_c$

## 要 約

家庭電化調理器具における電力の有効利用状態を調べるために、発熱原理別に1200Wの電子レンジと1200Wの電磁調理器および600Wの電気釜をとりあげ、それぞれの加熱効率を調べた。

実験は調理器具に流れる電流が外部要因によって変化しないように定電圧電源を用いて100V一定にし、実験室内は空調装置を利用し常時17℃に設定した。実験中の調理器具内の液体温度の上昇は銅-コンスタントンの熱電対を用いて取り出し、デジタル温度計で観測できるようにするとともに、6ペン式記録計に記録させた。また実験中の調理器具にかかる負荷電圧と負荷電流も記録させた。

結果として次のことを得た。

供試の調理器具を使用して水1200g(容器の水当量を含む)を加熱した場合、電源を入れてから実際に水温上昇が確認されるまでの時間は電気釜で80秒、電子レンジで10秒、電磁調理器で20秒くらいを示した。これは本文中の(8)式 $(MH+m)T=0.2389Pt\eta_1\eta_2\eta_3$ において、効率 $\eta_2$ の値が電子レンジで一番大きく、次いで電磁調理器、さらに電気釜と続くことを意味している。

エネルギーの有効利用について述べると、上式における $\eta_1$ の値は電気釜で1.00、電磁調理器で0.74、電子レンジで0.52であった。さらに溶液の温度が30℃から60℃に加熱されるとき $\eta_2 \times \eta_3$ の値は、電気釜で0.70~0.85、電磁調理器で0.84~0.92、電子レンジで0.48~1.00(水道水の場合は0.80~1.00)であったので、結局 $\eta_1$ と $\eta_2$ および $\eta_3$ を含む全体としての定常効率 $\eta_c$ は、電気釜で0.78~0.85、電磁調理器で0.62~0.68、電子レンジで0.25~0.52(水道水の場合は0.42~0.52)となった。電磁調理器や電子レンジにおいては、今後 $\eta_1$ の値を大きくすることが望まれるし、電子レンジにおいては、導電率が高い溶液の加熱は効率が悪くなるので水道水を沸騰させてから後、食塩などを添加するなどの方法を講じて、エネルギーの有効利用に務めると良い。

終わりに、本研究にあたり指導および助言を戴きました、三重大学森邦男教授に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 石黒美種：電気工学大意，産業図書，58 (1961)
- 2) 渡辺渉 他4：食品工業技術，1-2，69~76 (1962)
- 3) 渡辺渉 他4：食品工業技術，2-3，72~76 (1963)
- 4) 渡辺渉 他4：食品工業技術，2-4，55~59 (1963)
- 5) 馬場美和・折竹美計：食品工業技術，2-11，63~66 (1963)
- 6) 中村 仁：高周波加熱，恒星産厚生閣 (1964)
- 7) 松元文子・平山静子・大竹蓉子：家政誌，16，284~287 (1966)
- 8) 平山静子：家政誌，21，309~312 (1970)
- 9) 戸田裕子・渋谷祥子：家政誌，21，371~375 (1970)
- 10) 山内久子・稲垣長典：家政誌，23，460~463 (1972)
- 11) 曾根喜和子・新谷寿春子・山崎清子：家政誌，23，464~469 (1972)
- 12) 平山静子：家政誌，26，97~102 (1975)
- 13) 桜井淑子・清水美雪：名古屋女子大学紀要，25，95~100 (1979)
- 14) 露木英男：食品工業，1-下，20~24 (1979)
- 15) 桜井淑子・野々垣幸子：名古屋女子大学紀要，26，67~74 (1980)