

電子レンジ用マグネトロン2M71

Magnetron 2M71 for Microwave Ovens

久田 宏*
Hiroshi Hisada川島 真知夫*
Machio Kawashima小黒 友勝*
Tomokatsu Oguro宮本 覚**
Satoru Miyamoto矢崎 謙次**
Kenji Yazaki鹿沼 陽次**
Yôji Kanuma

要 旨

家庭用電子レンジに適するパッケージ形連続波マグネトロン2M71を開発した。フェライト磁石の特長を生かした外磁形磁気回路を採用し、横吹き形ラジエータと組み合わせて全体を扁平(へんぺい)角形構造にすることにより、電子レンジに組み込んだ場合の空間利用率を高めた。フェライト磁石の欠点である温度上昇による減磁を軽減するため特殊な磁石冷却機構を用いた。信頼性を高めるために、全セラミック管としたほか悪環境に耐える種々の配慮をし、多岐にわたる信頼性試験によりその効果を確認した。

1. 緒 言

電子レンジは新しい電波漏えい基準の施行を契機に、正常な成長ペースに戻りつつある。この1年余の間に電子レンジの機能や安全性についていろいろな角度から見直され、その成果として多くの新機種が登場した。

日立製作所では、電子レンジ用マグネトロンの諸性能のうち、とくに信頼性に重点をおいて改良を続けてきた⁽¹⁾。2M71はこれら一連の信頼性検討の結果を設計に反映した新形マグネトロンで、安全性、信頼性のいっそうの向上を指向している。

また、2M71は自動機械による組立を前提とした構造の合理化により、マグネトロン自体を量産効果の大きい設計としたほか、電子レンジ設計上もスペースの有効利用、電波シールドの簡略化などを可能にする総合的な配慮が払われている。2M71の外観は図1に、主要特性は表1に示すとおりである。

2. 構 造

図2は2M71の構造図で、従来品に比較して特徴ある部分について以下に述べる。

2.1 冷 却 系

現在ほとんどの電子レンジ用マグネトロンは強制空冷方式であり、管軸に対する送風の方向によって二つの形式に大別される。従来広く用いられてきたのは管軸に平行に送風する縦吹きタイプであるが、2M71では次の理由から管軸に直角に送風する横吹きタイプとした。

- (1) 縦吹きは冷却風の全量が入力部のノイズフィルタを通過するためゴミの吹き込みが多く、耐電圧的な信頼性が低下する。
- (2) 縦吹きはシールドケースの一部が通路を横断するため、その部分のしゃへい率を大きくとれず、電波漏えい防止上不利である。
- (3) 電子レンジの簡略化のため、オープン上面にマグネトロンを直接取り付ける、いわゆる直結形が今後ふえると予想されるが、この場合、縦吹きではオープン上面とキャビネットとの間隔を大きく要し、容積利用率がわるくなる。
- (4) 横吹きのラジエータは簡単な平板の積み重ねで形成されるため自動機械による組立が容易である。

* 日立製作所電子管事業部

** 日立製作所茂原工場

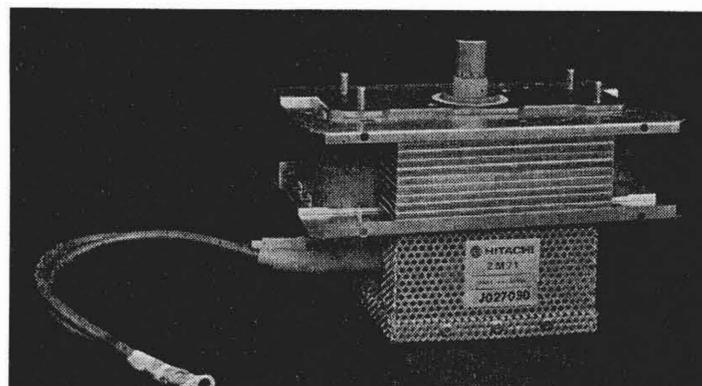


図1 2M71の外観

表1 2M71の主要特性

一般特性		
電気的特性		
フィラメント：トリウムタングステン		
電圧	3.15±10%	V
電流	14	A
予熱時間	3	s
周波数(整合負荷において)	2,450±10	MHz
磁界	永久磁石	
機械的特性		
重量	約2	kg
使用位置	アンテナ軸垂直	
冷却方式	強制空冷	
最大定格	最小	最大
フィラメント電圧	2.85	3.45
陰極予熱時間	3	—
せん頭陽極電圧		4.5
平均陽極電流		350
平均陽極入力		1,400
陽極温度		150
アンテナセラミック封止部温度		250
保存温度	-30	+60
動作例	单相両波整流非平滑	
周波数	2,450	MHz
フィラメント電圧(動作時)	3.15	V
せん頭陽極電圧	4.2	kV
平均陽極電流	300	mAdc
平均出力(標準オープン)	700	W
平均出力(整合負荷時)	885	W
冷却風量(強制空冷)	1.0	m ³ /min
静圧降下	約12	mm水柱

2.2 磁気回路

マグネトロン用の磁気回路は図3(a)の内磁形と(b)の外磁形の二形式に大別されるが、2M71では直結形電子レンジへの適合を重

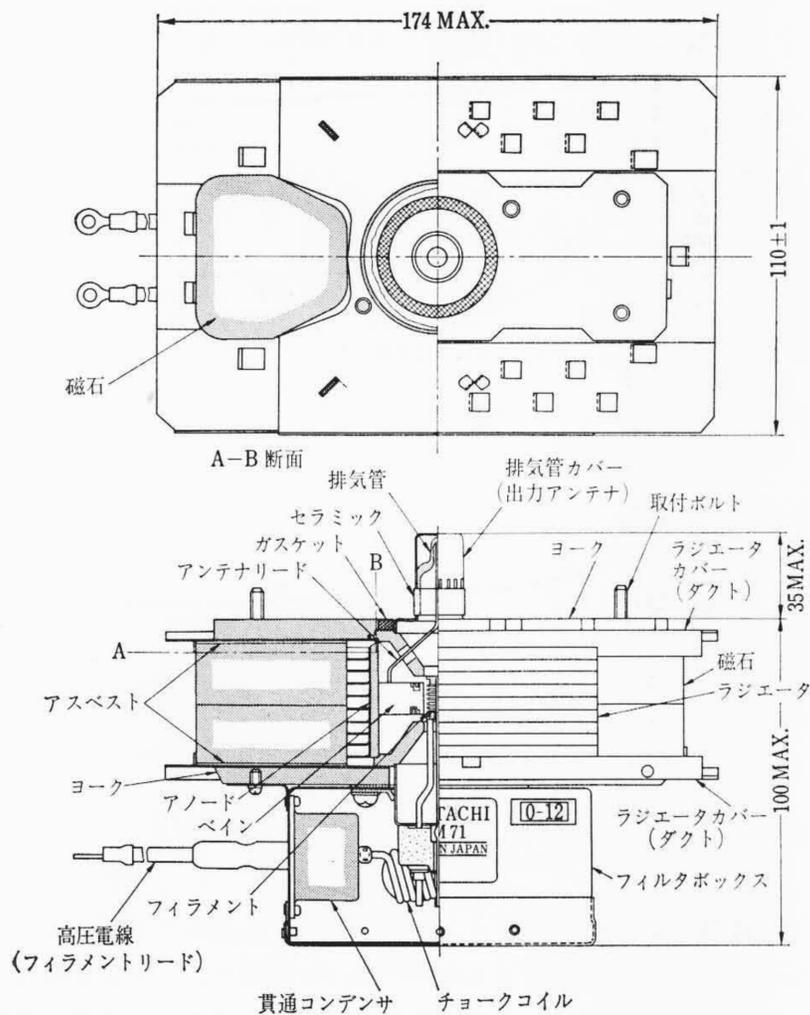


図2 2M71の構造

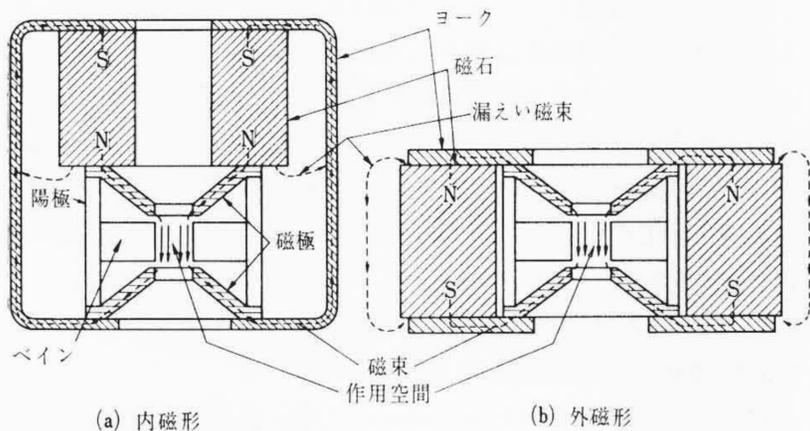


図3 マグネトロンの磁気回路

視し、扁平構造をとりやすい外磁形を採用した。また、永久磁石には従来のアルニコ鑄造磁石にかわってフェライト焼結磁石を用いた。

2.2.1 フェライト磁石の特性

フェライト磁石はアルニコ磁石と比較して、

- (1) 残留磁束密度が約 1/3 であるため同一の磁束を得るには断面積を広く要するが保磁力が約 2.7 倍あるので両極間距離は小さくてよく、したがって全体として扁平な形となる。
- (2) 温度低下に伴い、減磁曲線上の屈曲点がパーミアンス係数の高いほうに移動するので、磁気回路のパーミアンス係数によっては永久減磁が起こる。すなわち、磁気回路、磁石

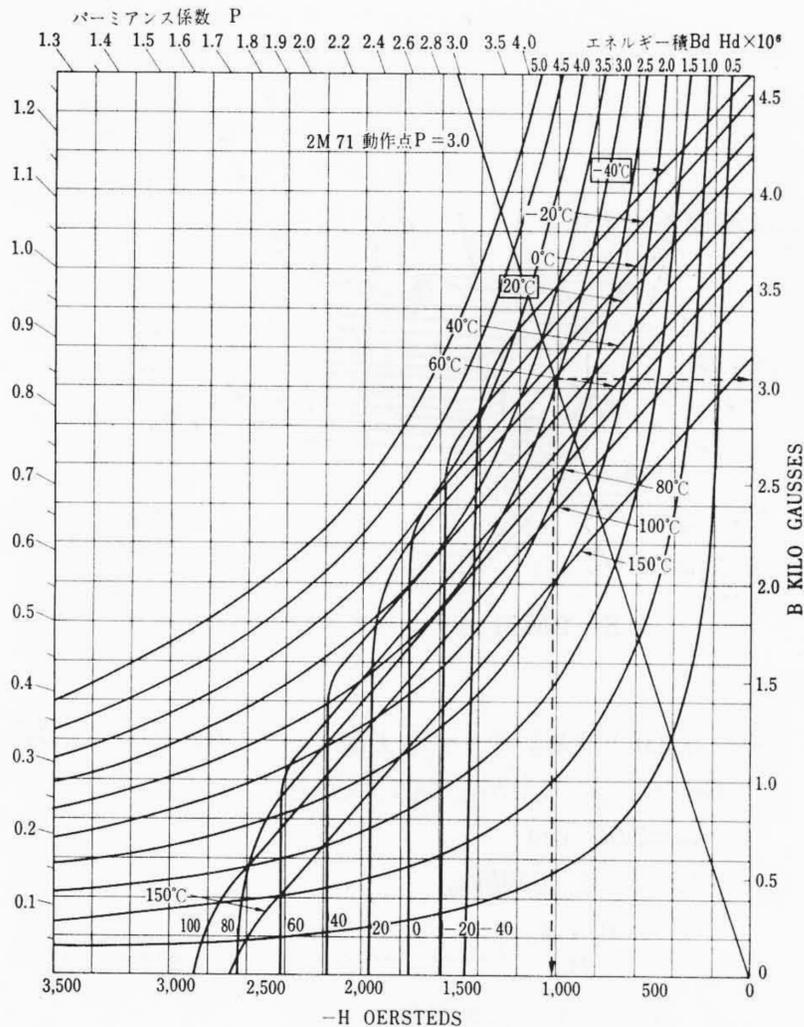


図4 フェライト磁石のB-H特性曲線と2M71の動作点

- 形状の設計により低温側の許容限界が決まる。
- (3) 減磁の温度係数がアルニコ磁石の約 10 倍であるため、温度上昇によるマグネトロンの陽極電圧と出力の低下がかなり顕著である。

表2は2M71に使用されたフェライト磁石と従来のマグネトロン用アルニコ磁石の主な特性を比較したものである。

2.2.2 磁石の設計

必要な磁石長さは次式から求められる。

$$L_m = \frac{B_g L_g}{H_d} \cdot \gamma \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 B_g : 作用空間の所要磁束密度 (G)

L_g : 作用空間(磁石動作間隙)の長さ (cm)

H_d : 磁石の動作点における磁界強度 (Oe)

γ : リラクタンس係数

B_g と L_g はマグネトロンの電極設計により決まり、2M71の場合 $B_g=1,720$ G, $L_g=1.4$ cm である。 γ は磁気回路の接合部の起磁力損失で、通常の例に従い 1.5 と仮定した。残る H_d は低温減磁を考慮して次のようにして決めた。電子レンジ(あるいはマグネトロン単体)が遭遇する最低温度を -40°C とする(寒冷地でのトラック輸送や倉庫保管中に起こる温度)。したがってこの温度でも減磁が起こらないように -40°C のときのフェライト磁石の B-H 曲線(図4)で屈曲点より上に動作点を取り、パーミアン

表2 フェライト磁石とアルニコ磁石の特性比較

種類	磁気特性			温度特性			機械的特性 密度 d [g/cm ³]	型番 日立金属株式会社
	残留磁束密度 B _r [G]	保磁力 H _c [Oe]	最大エネルギー (BH) _{max} [MG.Oe]	温度係数 ΔBr/Br/°C [%/°C]	低温減磁 T ₁ [°C]	高温減磁 (キューリ点) T _c [°C]		
フェライト磁石	4,000~ 4,300	1,700~ 2,200	3.5~4.0	-0.18	パーミアンス 係数による	450	4.8~5.1	YBM-1B
アルニコ磁石	13,000~ 14,000	680~780	6.8~8.0	-0.02	特になし	890	7.3	HI-MAG II

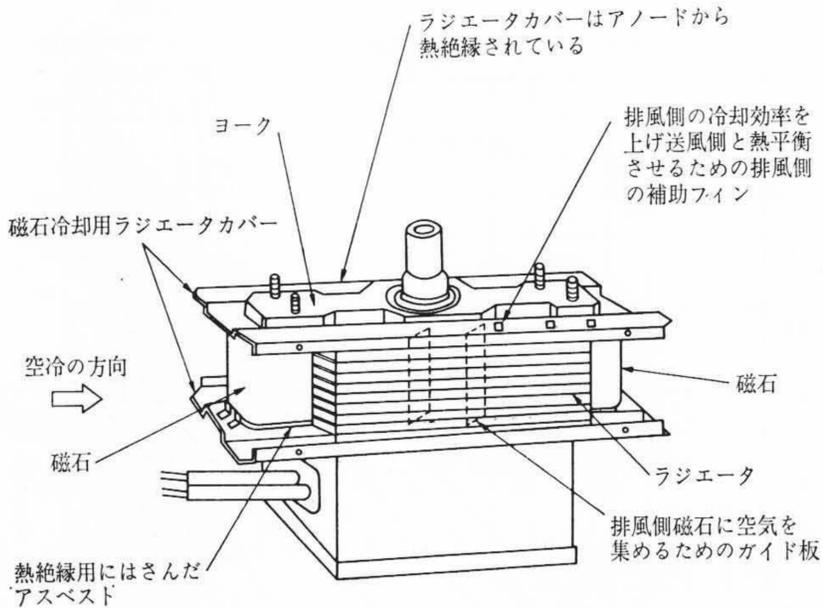


図5 2M71のフェライト磁石冷却方式

ス係数を3.0とする。そうすると図4から20°Cにおける H_a は1,020 Oeとなる。したがって(1)式から、

$$L_m = 3.54 \text{ cm}$$

が求められる。磁石面積は、

$$A_m = \frac{B_g \cdot A_g}{B_m} f \dots\dots\dots (2)$$

A_g : 磁極先端の面積

B_m : 動作点における磁束密度

f : 漏えい係数

A_g は電極構造から決められ、 2 cm^2 である。 B_m は図4のB-H曲線からパーミアンス係数3.0の20°Cにおける値を読み取って3040Gである。 f は磁気回路の形状により変わり、2M71の場合計算上37.2である。したがって、(2)式から磁石面積は、

$$A_m = 42.1 \text{ cm}^2$$

となる。すなわち、同じ磁束を与えるアルニコ磁石の高さ5cm断面積 12 cm^2 に比べて高さが小さく、断面積の大きい形状となる。

2.2.3 磁石と磁気回路の形状

磁石はマグネトロン本体に近接させるほど漏えいが少なく有利である。しかし、本体には空冷フィンを取り付けねばならないため、冷却を阻害しないで漏えいも少なくなる磁石設計を行なわねばならない。2M71では異形でも比較的容易に成形できるフェライト磁石の利点を生かして図2に示したような六角形断面の磁石を用いた。

一方、2個の磁石とマグネトロン本体は2枚のヨーク(継鉄)で磁氣的に結合される。扁平なフェライト磁石ではヨークの間隔が小さく、相互間での漏えいが多くなりやすい。これを軽減するため2M71ではヨークを特殊な形状としている。すなわち、陰極側のヨークは磁石に接している側の辺より反対側の辺の長さを小さくした台形断面にしてある。またアンテナ側のヨークは磁石や本体に接する部分以外は幅をせまくしている。

2.2.4 磁石の冷却

フェライト磁石の温度係数が大きいことは、発熱体である陽極に近接して磁石を配置せねばならぬマグネトロンへの応用の壁といえる。陽極をはさんで対称に2個の磁石を配置し、これらを結ぶ方向に冷却風を通す場合、送風側の磁石は冷却されるが排風側は陽極のかげになり、熱せられた空気が当たるため温度上昇が大きい。しかも、2個の磁石の温度差が大きいと、高温側が低温側に対して漏えい磁路となるため、作用空間磁束密度の低下が高温側磁石に支配される傾向がある。

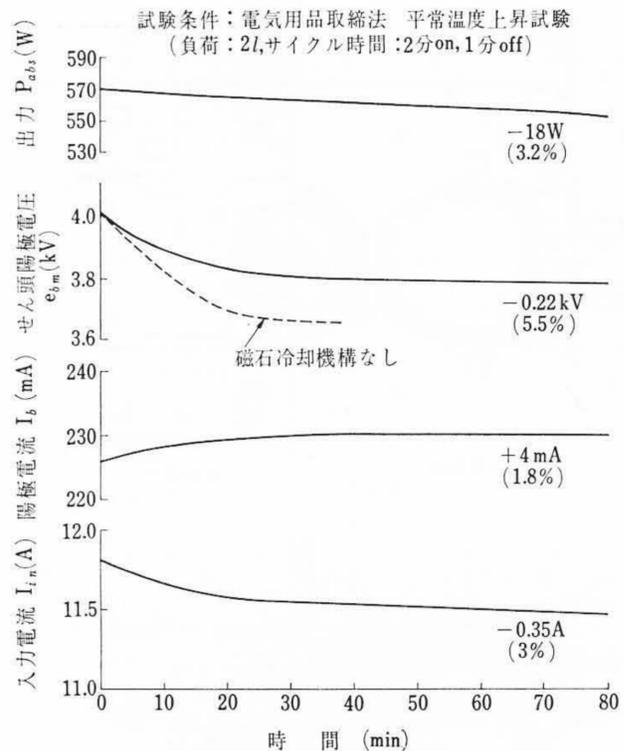


図6 直結式電子レンジ(MRK-610L)実装各特性の時間的变化

2M71では陽極からヨークを伝導してくる熱をアスベストでしゃ断し、さらに通風ダクト兼用の磁石放熱用ラジエータを付けている。また、排風側の冷却を強化するため、ダクトの一部に突起を設けたり、ラジエータ中に集風ガイドを貫通させたりしている。その様子を図5に示す。

図6は直結形電子レンジ日立MRK-610Lにおける時間に対する諸特性の推移である。図からわかるように、電子レンジの電源はマグネトロンのせん頭陽極電圧が低下すると陽極電流が増す一種の定出力特性を示すことも手伝って、80分後の出力は初期に比べ3.2%の低下にとどまり、実用上じゅうぶんと考えられる。図中破線で示したせん頭陽極電圧の低下曲線は2M71に磁石冷却機構を全く付けない場合である。

2.3 出力部の特性と信頼性

2.3.1 2M71の出力部の特徴

電子レンジ用マグネトロンにおいては、負荷インピーダンスの変動がきわめて大きいため、信頼性も含めた出力部の最適設計が要求される。日立製作所では従来からこの点を重視し、セラミックと金属キャップで構成される独得の出力部構造を採用してきた⁽²⁾。2M71ではこれをさらに簡略化して、図2に示した構造とした。この形状の出力部は次のような特徴を持っている。

- (1) セラミック金属構造であるため大きな負荷反射でも損傷しない。
- (2) 取付面からの突出長が約30mm(規格上は35mm max.)と小さいため直結電子レンジではオープン内のデッドスペースが減少し、導波管結合形では高さ40mm程度の扁平導波管の使用が可能である。
- (3) 電子管として不可欠の排気管を出力端子に兼用し、かつセラミックもリング状の簡易なものであるため製作が容易である。

電子レンジのオープンにアルミニウムが採用され、高効率化される傾向にあるが、この場合マグネトロンの出力部の信頼性が特に重要となる。この種の高効率オープンでは無負荷空炊(からだき)時のVSWRがゆうに20を越え、軽負荷(小さな食品)でもかなり高いVSWRを示すことがある。このような条件で連続動作させると出力部にガラスドームを用いたマグネトロンでは数分から数十時間のうちにガラスの局部的軟化からいわゆる吸い込みを生

ずることが実際に経験されている。

2.3.2 出力部の耐電圧

2M71の出力部は、マイクロ波電圧の現われるアンテナが空気中に露出している。したがってこれを支持しているセラミックをはさんでアースとの間の耐電圧を検討しておく必要がある。

いま、正規化負荷コンダクタンスを g_L 、マグネトロンの出力を P_0 、回路の特性インピーダンスを Z_0 とすると、アンテナに生ずるマイクロ波電圧は

$$V = \sqrt{\frac{Z_0 P_0}{g_L}} \quad (\text{V}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。2M71の出力部の構造寸法から、 $Z_0 \approx 180 \Omega$ と推定される。また、出力 P_0 は平均値であるが、電子レンジの電源は脈流であるため、そのせん頭値と平均値との比を α とすると、せん頭マイクロ波電圧は、

$$V_P = \sqrt{\alpha} V \quad (\text{V}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。実際の数値を入れて計算すると、 $g_L=0.02$ から $g_L=50$ に至る負荷コンダクタンス全範囲において V_P の最大値は約 3.5 kV を越えないことがわかる。

一方、セラミックの沿面耐電圧は 10 mm あたり AC 15 kV 程度であるが、電子レンジでは食品の蒸気が凝縮してセラミックをぬらすことが予想される。2M71の出力部だけを別にした試料を作り、約 -15°C でじゅうぶんに冷却したのち、取り出して耐電圧試験をした。最初霜がついてから、しだいに水滴にかわっていき、蒸発するまでの間が最も耐電圧が低く、再び上昇する。最低耐電圧の平均値 \bar{X} は 7.5 kV、 $\bar{X}-3\sigma$ は 6 kV で、前述のせん頭マイクロ波電圧 3.5 kV の約 1.7 倍となり、適正な余裕度を有していることを確認した。なお、実球での水分付着、ゴミ付着など種々の強制条件での動作試験でもスパークは全く発生しなかった。

3. 特 性

3.1 電気的特性

動作特性は、使用者の便宜を考え、従来の H3032A(U)/2M53 と全く同一とした。図7はパフォーマンスチャート、図8はリーケダイヤグラムである。リーケダイヤグラム上の等周波数線密集位置で代表される負荷位相特性についても、ガラスドーム使用の一般品と完全に互換性を有するよう出力部の形状寸法が決定されている。

発振周波数と出力に関しては電子レンジの製造品質管理上マグネトロンのばらつきを小さくすることが強く望まれている。2M71では発振周波数は $\pm 6 \text{ MHz}$ に管理されている。また出力をフィードバックして磁石の着磁をコントロールする自動装置の開発により整合出力は標準値 $\pm 30 \text{ W}$ に押えられている。

2M71の電子レンジ実装特性は図9に示すとおりである。

3.2 耐 候 性

最近、ますます関心が高まってきた安全性には耐候性に関連する項目が多い。高電圧部品であるマグネトロンの故障は電子レンジの機能を停止するだけでなく、放電音や煙、火花の発生により消費者に多大の不安を与えることがある。2M71の開発に際しては、電子レンジで遭遇するであろう種々の悪条件を想定して徹底的な試験を行なった。以下その数例について述べる。

3.2.1 温湿度サイクル

温度 40°C と 10°C の間を 12 時間ごとに急変させる。湿度は常時 98% 以上に保たれているため、温度変化時マグネトロンの表面は結露状態となる。15本のサンプルについて通算 2,000 時間まで行なったが全数特性、外観ともに劣化は認められなかった。

3.2.2 冷熱サイクル

$-30^\circ\text{C} \rightarrow$ 室温 $\rightarrow 120^\circ\text{C} \rightarrow$ 室温の各 1 時間を 1 サイクルとして 3

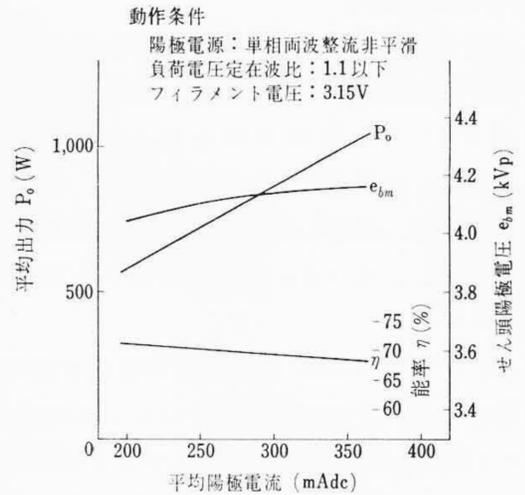


図7 日立 2M71 パフォーマンスチャート

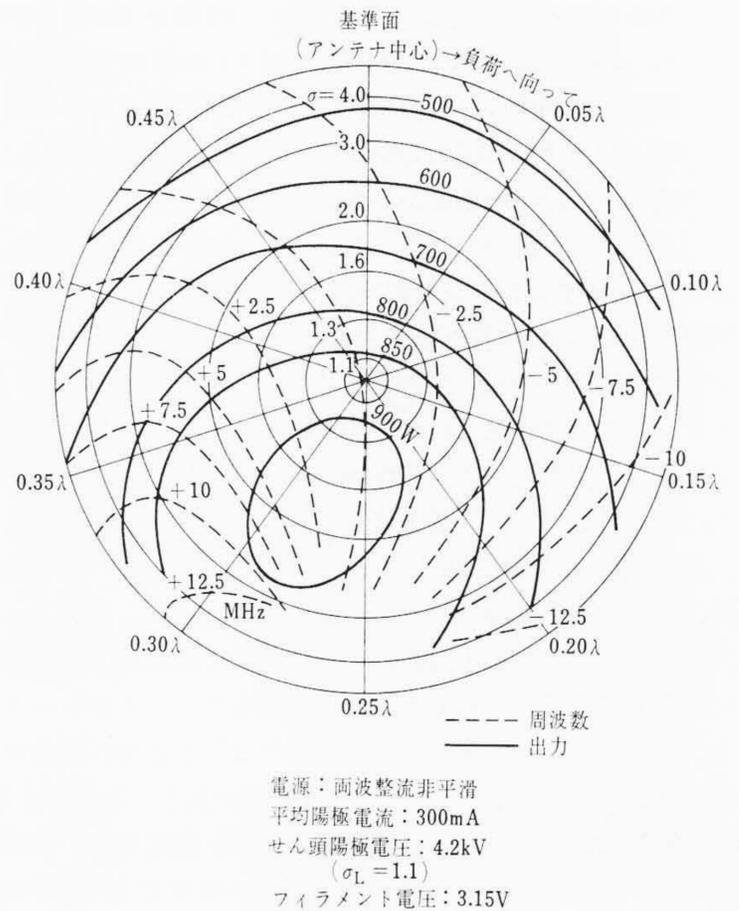


図8 日立 2M71 リークダイヤグラム

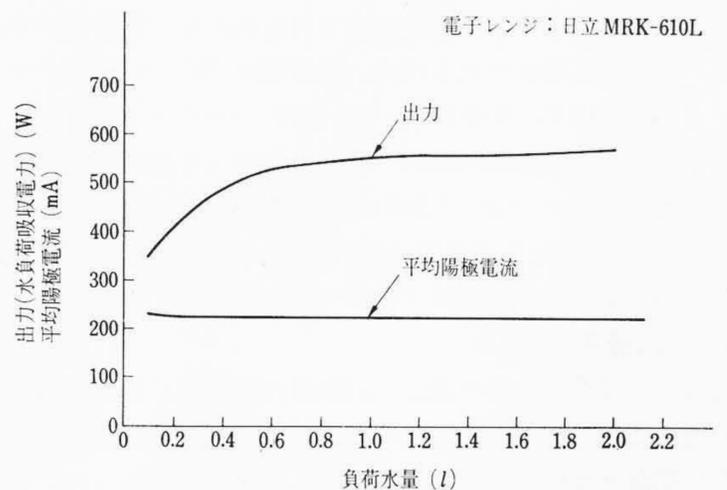


図9 2M71の実装特性

本のサンプルについて 5 サイクル行なった。減磁などの特性劣化はなく、外装部品のゆるみ、変色もない。フィラメントリードの高圧電線 (UL 3239, FR-1 20 kV) の絶縁物は架橋してあるため耐電圧劣化もみられない。リードがオープン壁に接触しても安全である。

3.2.3 露付着時の耐電圧

多湿のわが国では、季節により家電品の内部の結露による高電圧部品の沿面耐電圧低下が問題となる。電子レンジの場合、高圧電源の容量が大きいため絶縁破壊を起こすと大きな放電音を生じ、実害はなくても使用者に恐怖感を与える。2M71では露が付着した場合でも沿面が短絡しないよう絶縁物の表面に撥水（はっすい）性処理を施している。露付着に対する試験は次のように行なわれた。

- (1) マグネトロンを -30°C に1時間放置後室温に取り出し、露を付着させる。その状態で電子レンジに装着し入力電圧を定格の15%増しにしてフィラメントと高圧電源を同時印加した。サンプル2個、各10回の繰り返しテストで一度も放電は生じなかった。
- (2) このような露付着耐電圧を保たせている撥水性処理の耐久性をみるため絶縁物のサンプル12個を 250°C の炉に入れ、100時間ごとに取り出して(1)と等価の露付着耐電圧試験を5回ずつ、1,000時間まで計50回のテストを行なった。400時間で1個、1,000時間で1個が耐電圧劣化したが、実用上絶縁物の温度が 200°C を越えることは稀(まれ)であり、この程度の耐熱性があればじゅうぶんと考えられる。

3.2.4 フィルタコンデンサの冷熱サイクル

VHF帯のテレビ妨害を軽減するために、貫通形セラミックコンデンサの使用が一般化してきた。このコンデンサは構造上、冷熱サイクルの余裕度が取りにくい傾向にある。2M71では冷却風がフィルタを通過しないので動作中のコンデンサ温度が高くなる。これに対する余裕度と限界強度確認のため、低温側では最低 -30°C 、高温側では最高 120°C とし、温度差(ΔT)を $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 間4条件、試料数95個で冷熱サイクル試験を行なった。スケジュールは、低温→室温→高温→室温を各1時間とし、低温槽と高温槽を別々に準備して急熱、急冷した。その結果をワイブルチャートで解析し、さらに不良率をパラメータにして ΔT と破壊に至るサイクル数との関係になおして示したのが図10である。これによると、 $\Delta T=95^{\circ}\text{C}$ 、200サイクルで不良率は0.1%と推定され、2M71の電子レンジでの最悪動作条件がコンデンサ温度にして $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ とみられることから、じゅうぶんな余裕度を持つことがわかった。

3.3 寿命試験

3.3.1 基準寿命試験

寿命試験は既報⁽¹⁾と同様の方法で行なわれた。電子レンジに実装し、負荷電圧定在波比5以内、陽極電流 $260\sim 300\text{ mA}$ 、フィラメント電圧 3.15 V 、2分ON、2分OFFのサイクリング、フィラメントと陽極電圧同時印加の条件で行なった基準寿命試験では60本のサンプルにつき、1,500時間までで不良になったものはない。上記の条件内ならば負荷位相の寿命への影響は認められない。また同時印加もマグネトロン自体の寿命には全く問題がない。

3.3.2 加速寿命試験

前報⁽¹⁾では加速条件の設定と試験数の関係でじゅうぶんなデータを得ることができなかったため、2M71の信頼性評価を機会に、さらに過酷な条件でサンプル数も増して試験を行なった。すなわち、アルミニウム製の低損失オープンを持つ日立電子レンジDR-53を用い、無負荷状態、VSWRを20以上とし、スターラははずした。平均陽極電流 220 mA (DR-53の標準値)、 260 mA 、 300 mA 、 350 mA とフィラメント電圧 3.15 V (定格)および $\pm 20\%$ を組み合わせ、計26本の寿命試験を行なった。サイクリング条件はフィラメント電圧と陽極電圧同時印加で2分ON、2分OFFとし、120分間繰り返しのあと20分の休止をもうけた。平均陽極電流を横軸にとって故障に至るまでの時間(ONの累積、以下同じ)を示

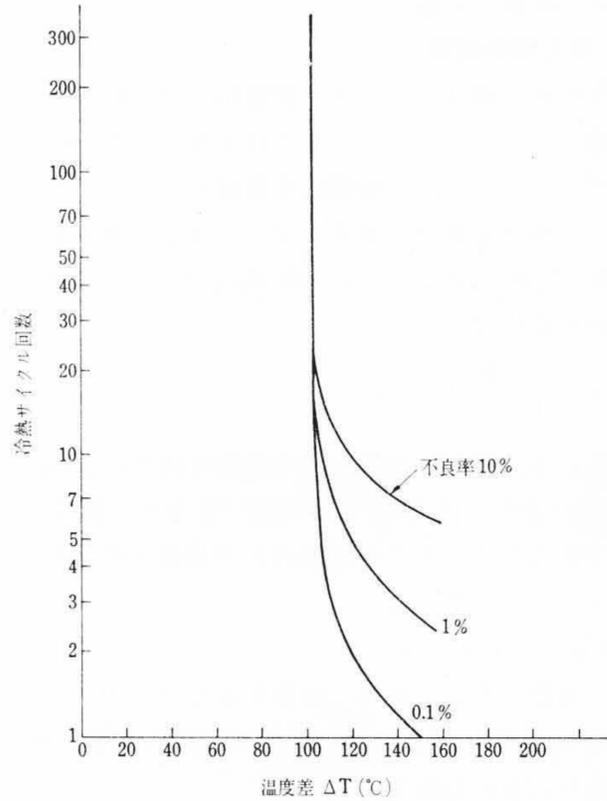


図10 コンデンサの冷熱サイクル試験

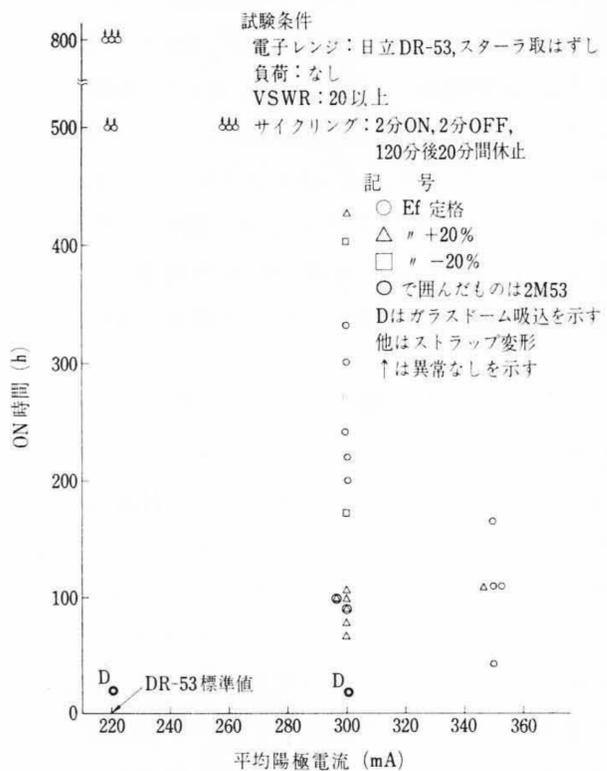


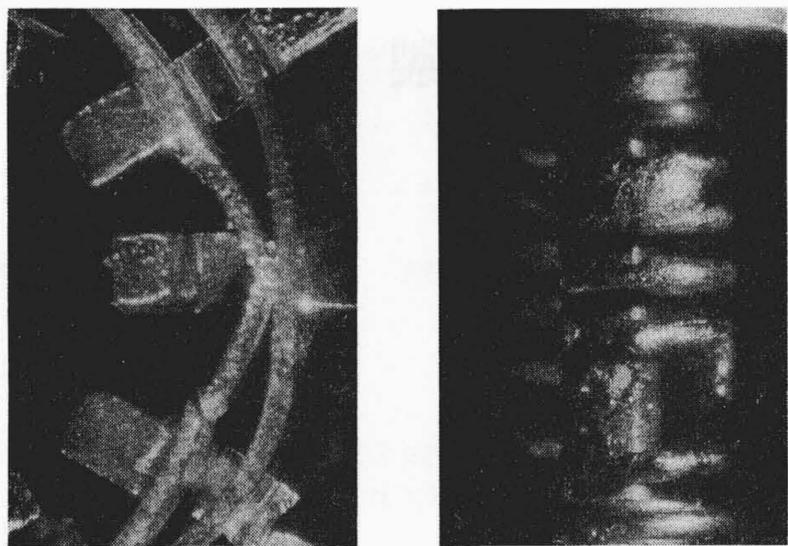
図11 $\sigma_L > 20$ の空炊寿命試験

したのが図11である。図中◎印および⊙印はガラスドームを有する2M53(4本)である。この試験から、陽極電流 260 mA 以下でフィラメントが定格電圧であれば、2M71はきわめて反射の大きい状態でも500時間以上耐えることがわかった。

陽極電流が 300 mA 以上でフィラメント電圧を定格の20%アップにすると、ストラップリングの変形およびそれに付随したバックヒーティングの増大によるフィラメントの溶断が100時間前後から出はじめる。その状況を示したのが図12である。なお2M53も100時間程度までもつものは全く同様の故障状況を示したが、それ以前に定格フィラメント電圧、陽極電流 220 mA 、 260 mA でもガラスドームの吸い込みがみられた。

3.4 不要輻射(ふくしゃ)

2M71はノイズフィルタ部を冷却部から分離したため、フィルタ部本来の特性向上を追求することが可能となった。電子レンジ用マグネトロンにおいては基本波(2.45 GHz)の出力が強大であるため、その高調波が規制値を越えるおそれがある。対象となる高調波は第



(a) ストラップ変形 (b) フィラメント溶断

図 12 空吹寿命試験における破壊の状況

2 (4.9 GHz), 第 3 (7.35 GHz), 第 4 (9.8 GHz) におよびフィルタケース部のわずかのすき間も問題になることがある。

2M71 においては、フィルタケースにしゃへの率の大きなパンチメタルを用いるとともに各種接続部分について特に配慮した結果、H3032U/2M53 に比較して全バンドにわたり高調波電界強度を平均約 10 dB 以上減少させることができた。

VHF, UHF 帯テレビに対する妨害に関しては、貫通形コンデン

サを用いてフィラメントリードをバイパスすることにより約 40 dB μ V/m 前後の微電界地域でも全く問題を生じなかった。

また、基本波漏えい電力密度は、フィラメントリードを含むマグネトロンのどの部分でも表面から 5 cm で 0.1 mW/cm² 程度である。すなわち、電子レンジのキャビネットをはずしても、新しい基準 1 mW/cm² をじゅうぶんに満足している。

4. 結 言

マグネトロンは電子レンジからみれば一つの部品であるが、半面それ自体で完結した一つのデバイスとも考えることができる。したがって電波漏えいや安全性の諸条件を単独で満足することが要求されている⁽³⁾。2M71 はこの観点から文字どおりのパッケージ形マグネトロンであることを目指したものであり、今後の電子レンジの本格的発展に寄与していくものと考えている。すでに、一連の自動化生産設備も完備して、量産性が確認されるとともに新形電子レンジ MRK-610L, MRK-620L に使用され、レンジのコンパクト化、オープン容積比率の向上など所期の効果をあげている。

終わりに、貴重なご助言を賜ったユーザー各位、日立熱器具株式会社および日立製作所家電研究所の各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 鹿沼, 原田, 堀川: 日立評論 52, 1119 (昭 45-12)
- (2) エレクトロニクスダイジェスト (昭 43-7, 8)
- (3) Mobley, M. C.: Presentation at the IMPI Symposium, May 28 (1971)



登録実用新案 第 888944 号

新 案 の 紹 介



木 村 一 路・長 田 太 計 男

空 気 圧 式 伝 送 器

この考案は工業用プロセスに使用される空気圧式伝送器に関するもので、レンジ変更を行なった際、零点が変動せず、あらためて零点をチェックしたり調整のやり直しをしたりする手数を省き、しかも容易にレンジ変更が行なえるようにする点に改良を加えられたものである。

図において 1 は受圧部で、受圧ダイアフラム 2, 2' および伝達ロッド 3 よりなっている。4 はロッド 3 の回転軸で、同時に受圧部 1 内の密封を保つシール機構となっている。5 はロッド 3 とレバー 6 を連結する連結パネ、7 はレバー 6 の回転中心をなすレンジナットで、レバー 6 に切られたネジ部 8 に螺(ら)合しており、ロックナット 9 により固定されている。10 はフラップ押えで、レバー 6 の動きをフラップ 11 に伝えるものである。12 はノズル、13 はノズル背圧を増幅するパイロットバルブ、14 はフィードバックベローズ、15 はフィードバックベローズ内に同心的に設けられた零点調整パネ、16 は零点調整パネ 15 の強さを加減するための零点調整ネジで外部より回転できるものである。17 は気密を保つための O リングである。

この考案は上記のようにフィードバックベローズ 14 と零点調整パネ 15 を同心的に配置してある点が特徴であり、その結果レンジナット 7 からフィードバックベローズ 14 と零点調整パネ 15 までの距離の比はレンジナット 7 の位置にかかわらず一定となり、このためレンジナットを移動させてレンジ変更を行なった場合、零点は変動しない。したがってレンジ変更ごとに零点調整のやり直しなどの不便が解消される。

(宮本)

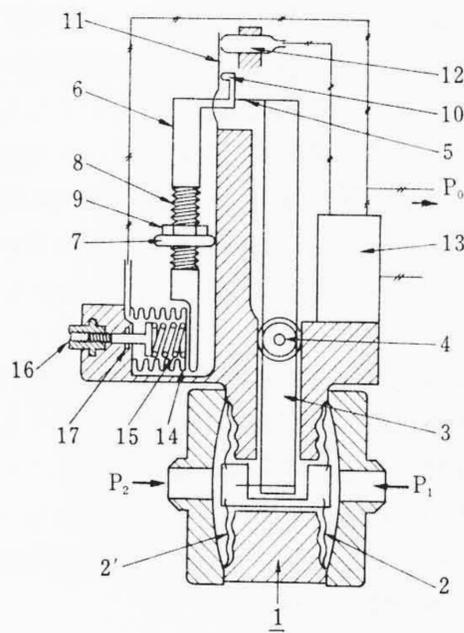


図 1