# 温度環境変化とマグネトロン効率する基礎実験

†宇宙航空研究開発機構 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 まな都大学 宙空電波科学研究センター 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

E-mail: †kawasaki.haruo@jaxa.jp, ‡{mitani ,shino, matsumot}@rish.kyoto-u.ac.jp

あらまし 宇宙機用送信器での使用を想定しマグネトロンの熱の影響について基礎実験を行った. 適切に温度 管理をすることにより効率を一定に保てることを実験で示した。このことから温度制御可能な熱制御機 器を用いることを提案した。

キーワード マグネトロン、熱制御

# Thermal Estimation of An Efficiency of Magnetron

Haruo KAWASAKI<sup>†</sup> Tomohiko MITANI<sup>‡</sup> Naoki SHINOHARA and Hiroshi MATSUMOTO<sup>‡</sup>

† Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2-1-1 Sengen, Tsukuba-shi Ibaraki 305- 8505 Japan ‡Radio Science Center for Space and Atmosphere Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011 Japan

E-mail: †kawasaki.haruo@jaxa.jp, ‡{mitani ,shino, matsumot}@ rish.kyoto-u.ac.jp

**Abstract**: The purpose of this study is investigation into the improvement of the magnetron for space satellite with fundamental thermal test. An efficiency of magnetron can be controlled with thermal control. For the stability efficiency of the magnetron, the thermal control system is necessary.

Keyword: Magnetron, Thermal control

# 1. 目的

マグネトロンはマクロ波発信器としてコンパクトかつ大出力で70%以上の高効率である長所があり、加熱源として広く家庭用などで大量生産されている。一方で高雑音、性能の不安定性などの短所がある。この様なことから、宇宙用発信器

としては、雑音の少ないTWT<sup>[1]</sup>、半導体が主に使用されており、マグネトロンの使用は、一部でトランスポンダとして用いられているなどに限られている。本研究の目的は、マグネトロンの発信、効率性能の変化を熱の観点から調査し、それに伴う問題点を見つけ出し、宇宙で使用するために適切

な熱制御について検討するための熱的基礎データを取得す ることである。

## 2. 温度制御比較検討

#### 2-1 実験装置

冷却方法の違いによる性能の変化を3台のマグネトロンを図1の様に電波暗室内に設置して試験を行った。マグネトロンは松下電子応用機器製(2M236)を用いた。3台のマグネトロンは表1に示すように冷却方法を水冷式と空冷式の2方式とした。

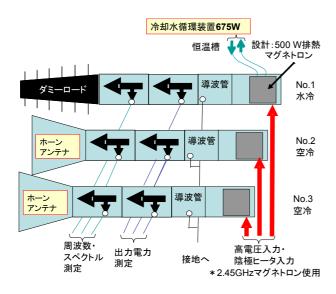


図1 試験装置概略図

またカソードヒータ(フィラメント)への通電方法は下記の2通りとした。1つは起動時のみ通電し、発信中は遮断する方法と、1つは遮断することなく発信させる通常の方法である。起動時のみ通電し、発信中は遮断する方法は発信周波数の狭帯域化が報告されており伝送器としての性能向上が示されている[2]。

### 表1 マグネトロンの運転条件 (2.45GHz)

実験に使用したマグネトロンを図2に示す。実験ではマグネトロン陽極温度(Anod)、磁石温度(Mag)、コンデンサ (Con.)、入力電力、マグネトロン出力、排熱量等を測定した。水冷マグネトロンのアノード用コールドジャケットを図3

に示す。マグネット用ジャケットはφ6mmの銅管を用いた。 それぞれのジャケットは一定量の30℃以下の水を流し、入口 と出口の冷却水温度差を測定できるようにした。また風冷の マグネトロンは送風量を一定にした。

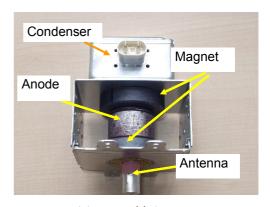


図2. マグネトロン (MAG1、コールドジャケット取り付け前)



図3. MAG 1 用コールドジャケット[3]

# 2-2. 温度変化と効率変動

まず初めにマグネトロンは個々に性能が異なるので、事前 に初期効率を、同じ条件で計測を行った。冷却方法の違いの 影響を避けるために、冷却を行わない状態で計測した。この 結果を表1に示す。

表1. 初期性能の比較

マグネトロン	初期効率
MAG1	0.58 ( 0.56)

マグネトロン	冷却方法	カソードヒータ	入力電 流[mA]	冷却水量 ・風量
MAG1	水冷ジャ ケット	Off	350	25cc/s (Anod) 36.4cc/s (Mag)
MAG2	空冷 フィン	Off	350	8.5 m/s
MAG3	空冷 フィン	On	350	8.5 m/s

\*入力電力:50 m A, 冷却なし、ヒータ On

### () 内はジャケットに水の入った状態

マグネトロンは断続的に一週間運転し、積算運転時間で55時間、発信させた。この間の温度変化および効率の変化について検討を行った。図 5 に出力変化を示す。MAG2,3 はそれぞれ900W、860W 程度の出力を得たが、MAG1 は 670W 程度であった。図 6 には磁石温度の変化を示した。磁石温度はMAG1 が最も高く $85^{\circ}$ C、MAG2,3 は $45^{\circ}$ C程度であった。

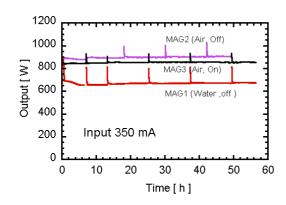


図5. 運転積算時間と出力変化

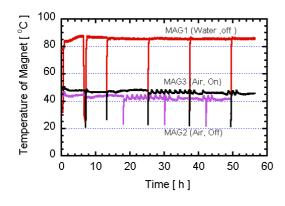


図6. 運転積算時間と磁石温度

以前の報告<sup>[4],[5]</sup>ではマグネトロンの効率は磁石の温度が 支配的であることを述べ、温度が高いほど出力、効率が低下 することを述べたが、その結果と一致する。MAG 1 は初期に 温度が上昇しているが、これはコールドジャケットに用いたサーマルフィラが適切なものでなく、熱変性を起こしているためだと考えられる。20時間後は安定している。また3台のアノードの温度は105℃±3℃でMAG1が最も低かった。

各マグネトロンの効率の変化を図7に示す。ここでマグネトロンの効率 $\eta$ は出力測定器から得られたマグネトロン出力 $W_{out}$ と入力電力 $W_{out}$ と入力電力 $W_{out}$ から求めた。定義は以下に示す。

### $\eta = W_{out} / W_{out}$

なおヒータの入力電力は考慮していない。MAG2 と MAG3 の効率は 0.02 から 0.04 程度変化している。MAG1 はジャケットのフィラの不具合の影響を受け初期に効率が大きく変化している。

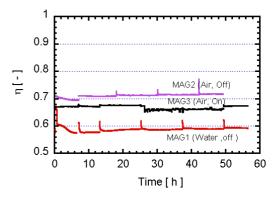


図7. 運転積算時間と効率変化

ここでマグネトロンの磁石温度に対して効率を整理すると図8のようになる。磁石温度上昇に対して各マグネトロンの効率は低下している。しかし、MAG1に関しては、フィラの変性のため磁石温度が同じでも効率が異なっている。これは、アノード表面でもフィラの変性のため伝熱が悪くなりアノード温度が上昇し効率に影響していると考えられる。

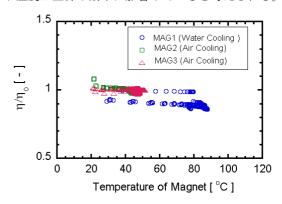


図8. 磁石温度に対する比効率の変化

#### 2-3. 周波数スペクトルの変化

各マグネトロンの初期から積算 5 時間と積算 55 時間後の 2 つの周波数スペクトルの測定結果を比較した。スペクトル帯域幅の大きな変化は見られなかった( $\pm 2$  MHz 以下)。また、MAG1、MAG2の比較から水冷/空冷の違いによるスペクトル帯域幅に依存性は見られなかった。また MAG2、MAG 3 の比較からカソードヒータ(フィラメント電流)の on/off では、ヒータ off の MAG 2 の方がスペクトル帯域幅が狭くなっていた[2]。 MAG 1 でも MAG 2 と同じくスペクトル帯域幅の狭帯化が観測された。この現象は参考文献[2]を参照されたい。

### 3. 温度一定環境下でのマグネトロン

温度一定であれば、効率が一定にできる可能性を示した。 このことを明らかにするために一定温度環境下でマグネトロンを 300 時間、連続運転した。温度変化、および効率変化を図 9、図 1 0 に示す。室温は 22 °C  $\pm$  2 °C に保った。この結果、磁石温度とアノード温度はそれぞれ $\pm$  2 °C、 $\pm$  1 °C の範囲で保つことができた。

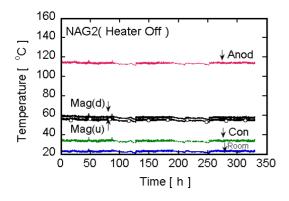


図9. 温度を一定に保った場合の効率変化

この結果、図10に示すように300時間以上の運転でも、2台の効率の変化は0.01以下であった。また有意な効率の劣化も見られなかった。または発振周波数は初期と終了時に計測したところ2453MHz±0.5 MHzで、変化はわずかであった。

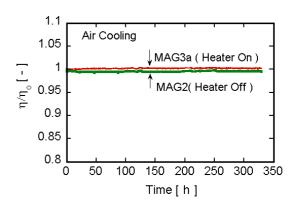


図10. 温度一定状態での効率変化

### 4. 宇宙でのマグネトロン熱制御

地上では大気や大型の冷却器などが用いることは容易 だが、衛星などでは重量制限が厳しいため、軽量な熱制御機 器が必要になる。

通信衛星では発信器には先に述べたように TWT などが多く用いられるが、その熱制御には排熱量の小さいものではヒートパイプが用いられ、大きなものにはループヒートパイプなどが用いられている[7],[9]。一台の出力は 200 m W から 400W 程度<sup>[8]</sup>が主で、効率を 0.6 とするとこれらの排熱は 300W 程度である。

マグネトロンのエネルギーの流れと排熱発生量を2-1項のMAG1の実験結果からまとめたものを図11に示す。排熱発生源はアノードからであるが、排熱の一部は伝熱により磁石に伝わり磁石温度を上昇させている。温度依存性を小さくするためには磁界を妨げないようにアノード、磁石間の接触熱抵抗を大きくするなどの工夫が必要である。

上記の件を踏まえるとマグネトロンの効率管理では磁石 温度が重要である。宇宙用に用いる場合、温度管理が可能な 適切な熱制御機器を用いることは、マグネトロンの安定性お よび長寿命化の1つのファクターになりうる。

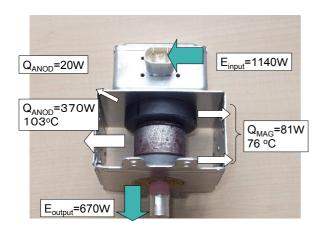


図11. マグネトロンのエネルギーの流れ(水冷)

### 5. まとめ

マグネトロンの温度を一定に保つことにより 300 時間以上効率が変化しないことを確かめた。このことから マグネトロンの効率変化の原因がマグネトロンの環境温度であることを明らかにした。

マグネトロンの効率管理では磁石温度が重要であり、宇宙 用に用いる場合、温度管理が可能な適切な熱制御機器を用い る必要がある。

#### 文 献

- [1] 片上勘次 "衛星搭載用 TWTA における性能向上と開発動向" 電子情報通信学会 信学技報 SPS2003-03 (2004)
- [2] 三谷友彦、篠原真毅、松本紘、橋本弘蔵"フィラメント電流遮断後のマグネトロンの発振特性に関する実験的研究"電子情報通信学会論文誌 C
- [3] 大谷雄一、山崎尚浩、中田敏彦、森雅裕、遠山伸一、川崎春夫、藤井照重"宇宙太陽光発電システム要素技術開発トランスミッタ用コールドプレートの検討" 2003宇宙科学連合講演会 1A10 Oct. 2003
- [4]川崎春夫、森雅裕、三谷友彦、 篠原真毅、 松本紘"真空環境 下におけるマグネトロン熱基礎実験" 電子情報通信学会 信 学技報 SPS2003-17 (2004)
- [5]川崎春夫、森雅裕、三谷友彦、篠原真毅、松本紘"マグネトロンの温度変化による性能変化"第7回宇宙太陽発電システムシンポジウム, P85, 2004
- [6]川崎春夫,遠山伸一,森雅裕 "太陽発電衛星の熱制御システム基礎検討" 2003 宇宙科学連合講演会 1A9 Oct. 2003
- [7] David. G. Gilmore "Spacecraft Thermal Control Handbook Vol.1 "P.210 AIAA The Aerospace Press (California) 2002
- [8] "TWT/TWTA Hand Book" Boeing Electron Dynamic Devices, Inc. (California) 2005
- [9] 野田浩幸、馬場厚"ETS-Ⅷ展開ラジエータ搭載実験機器用 FLHP 設計解析"第 46 回宇宙科学技術連合会講演要旨集, 2E13, 2002