温度環境変化とマグネトロン効率する基礎実験

川崎 春夫 † 三谷 友彦 ‡ 篠原真毅 ‡ 松本 紘 ‡

†宇宙航空研究開発機構 〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1

 :京都大学 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[†] Tomohiko MITANI[‡] Naoki SHINOHARA and Hiroshi MATSUMOTO[‡]

† 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 カで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^[1]、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. MAG1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。

マグネトロン	初期効率
MAGI	0.58 (0.56)
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℃、MAG2,3は45℃程度であった。







図6. 運転積算時間と磁石温度

以前の報告^{[4],[5]}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。MAG1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ηは出力測定器から得られたマグネトロン出 力Woutと入力電力Wm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。



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(±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、MAG3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 MAG2の方がスペクトル帯域幅が狭くなって いた^[2]。MAG1でもMAG2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10に示す。室温は22℃±2℃に保った。この結果、磁 石温度とアノード温度はそれぞれ±2℃、±1℃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^[8]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