

Effect of Temperature on the Efficiency of Transmitter*

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,matsumoto}@kurasc.kyoto-u.ac.jp

ABSTRACT

Transmitter from DC power to micro wave can be classification in been Magnetron, TWT (Traveling Wave Tube), and semiconductor type. Semiconductor type has been developed for low power transmitter, and has advantages of light weight and small space device. TWT is most popular transmitter for space satellite, owing to stabilization and many experiences. An efficiency of TWT which had been low is improved by recent development.

While, the magnetron can be one of high power transmitter for a space satellite, since the magnetron is low cost device and is in mass production for grand use. The magnetron, however, has demerits of instabilization in the output frequency spectra and change of efficiency.

The purpose of this study is investigation into the improvement of the magnetron for space satellite and solar power satellite / station with thermal test of magnetron in room condition and in vacuum condition.

CONCLUSION

- The efficiency of magnetron was estimated with temperature change.
- The change of efficiency with flow rate was found out a relationship with magnet temperature in magnetron.
- It was found that the efficiency of magnetron in vacuum can be estimated from experiment in atmosphere with magnet temperature.
- The efficiency of magnetron was given in the experimental equation with magnetron temperature and input current.
- The transmitter temperature in solar power satellite/station was estimated.
- The cold film on the generator works on thermal control of the power transforming section.
- For the stability efficiency of the transmitter, the thermal control system is necessary.
- The thermal control system for transmitter is demand as following things; lightweight system, over 100 kW/m² of high cooling rate at the cold jacket, small affect of the radiator shape on the generator and antenna.

ACKNOWLEDGMENT

This study was carried out with Inter-universities collaboration in Kyoto University. The authors appreciate the support of this work by Dr. Masao Furukawa in JAXA.

* Presented at the 7th SPS Symposium, 16-17 September, 2004

マグネトロンの温度変化による性能変化^{注1}

JAXA：川崎 春夫、森 雅裕
 京都大学：三谷 友彦、篠原真毅、松本 紘

1. 目的：衛星用マイクロ波発信器としてTWTが広く用いられている⁽¹⁾。一方、マグネトロンはマイクロ波発信器として安価であり大量生産されており、家庭等でも広く用いられている。最近では宇宙用ニーズとして宇宙太陽発電システム(SPS)のエネルギー伝送用機器として利用が検討されている。しかし、宇宙を想定した真空環境下での実験例はあまり多くない。宇宙環境と地上環境との大きな違いは、宇宙環境では対流で熱を伝える媒体が希薄であるため、地上より熱制御が難しいことが挙げられる。このため発熱密度の高い機器であるマグネトロンの熱制御は不可欠である。本研究の目的は、大気環境下と真空環境下におけるマグネトロンの性能の変化および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基礎データを取得することである。

2. 実験：実験で使用したマグネトロンは図1に示す。マグネトロンは外部から見ると図1に示すように2つのドーナツ型の磁石と、この磁石にはさまれたアノードとコンデンサー、アンテナおよびケースからなっている。主な発熱部はアノードである。マグネトロンの効率は式1に示すように入力電力に対してマイクロ波の出力としている。なお本実験ではカソードのヒーターは初期状態のみ通電した⁽²⁾。効率は図2に示すように運転時間によって変化し、また冷却風量によっても変化する。この効率の時間変化は磁石の温度で整理すると、入力電流一定状態では図3に示すように一本の曲線で示すことができる。宇宙空間を想定した真空中でのマグネトロンの発信に関しても同様に効率⁽³⁾は図4に示す様に磁石温度で整理できる。

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{C_{in} V_{in}} \quad (1)$$

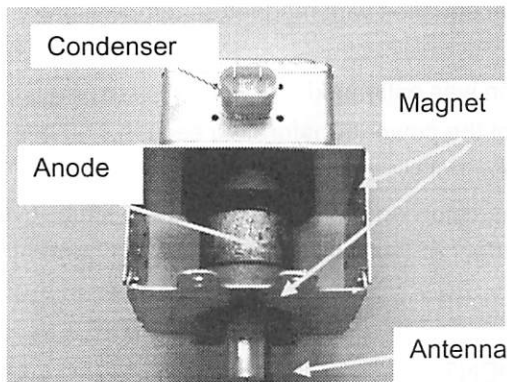


Fig. 1 Transmitter : Magnetron
 (Without fine) Original: Panasonic 2M236

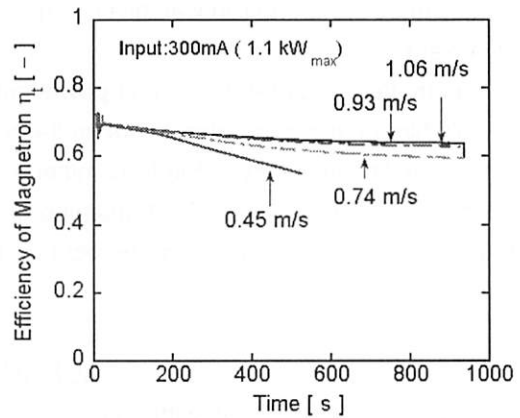


Fig.2 Effects of cooling air on magnetron efficiency

^{注1} 第7回 SPS シンポジウム、九州工業大学にて2004年9月16、17日開催

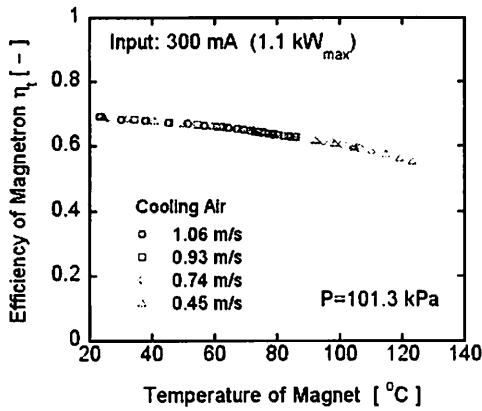


Fig.3 Effects of magnet temperature on efficiency of magnetron

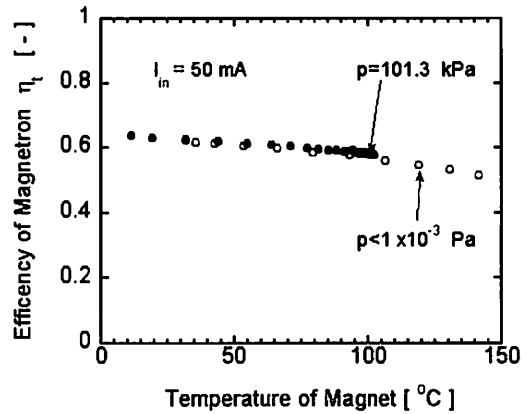


Fig.4 Comparison between efficiency in vacuum and one in atmosphere

3. 効率の解析

マグネトロンの能率の理論式は式2で示される。この式を変更すると式3が得られる。

$$\eta = 1 - \frac{r_a + r_c}{r_a - r_c} \cdot \frac{\omega m}{neB - \omega m} \quad (2)$$

$$\frac{1}{1 - \eta} = \frac{C_2}{C_1} eB - \frac{1}{C_1} \quad (3)$$

効率を $1/(1-\eta)$ に変換して磁石温度 T [°C] で整理した結果を図5に示す。ここで磁石の磁束密度は温度に対して1次の直線で近似できるとして整理し、かつ、入力電流とマグネトロン内の電子密度は入力電流に1次の直線で表せると仮定して、式3の各定数を求めた。得られた関数を実験値と比較すると図6のように誤差6%の範囲で実験値と一致した。

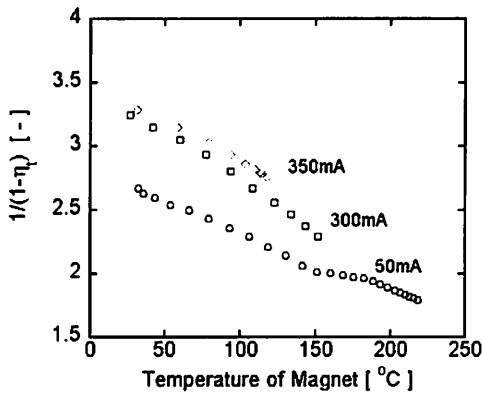


Fig.5 Magnetron temperature vs. $1/(1-\eta)$

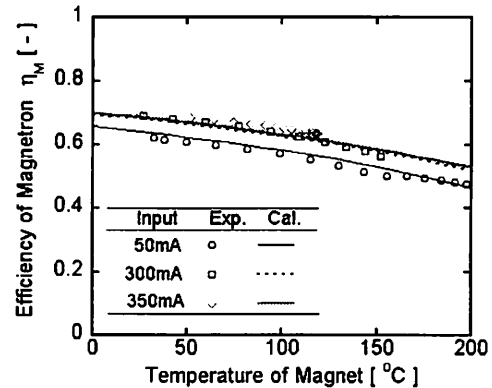


Fig.6 Comparison between experiment efficient and calculation one.

4. 熱制御機器

衛星の熱制御にはヒートパイプが多く用いられているが、温度制御ができない。マグネトロンの温度制御を行う場合、排熱/熱制御システムとしてループヒートパイプまたは単相ループを提案した。図8にマグネトロンを衛星搭載時におけるモデルを示す。

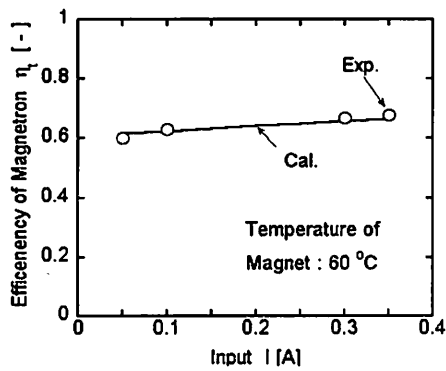


Fig.7 Comparison between experiment and calculation with 60 °C of magnet

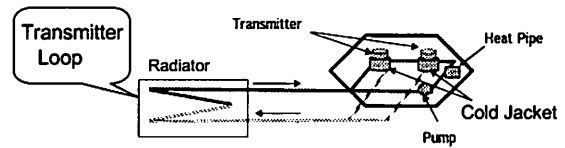


Fig.8 Thermal control system of magnetron

5. 結言

- ・マグネトロンの効率変化の要因は、磁石温度の依存性が高い。
- ・真空中のマグネロン効率変化は、大気中の場合と同じく磁石の温度で整理可能である。
- ・マグネトロンの効率の変化を温度変化、入力電流から推算できることを示した。
- ・マグネトロンの排熱/熱制御システムとしてループヒートパイプまたは単相ループを提案した。

参考文献

- 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) 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ロン熱基礎実験” 電子情報通信学会 信学技報 SPS2003-17 (2004)

謝辞 本研究は京大大学生存圏研究所マイクロ波エネルギー伝送実験装置を利用させていただきましたことに感謝します。本実験に関して JAXA 古川 正夫 博士に助言をいただき厚く御礼申し上げます。