

Title	マイクロ波発生装置及びマイクロ波の比較強度制定 (マイクロ波の生物学的作用の研究 第1報)
Author(s)	伴, 和友
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1962, 22(6), p. 743-749
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18059">https://hdl.handle.net/11094/18059</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# マイクロ波発生装置及びマイクロ波の比較強度制定 (マイクロ波の生物学的作用の研究 第1報)

名古屋大学医学部放射線医学教室 (主任: 高橋信次教授)

伴 和 友

(昭和37年6月25日受付)

Studies on biological effects of microwave radiation  
(1st report)

Our microwave unit and relative measurement of microwave energy

By

Kazutomo Ban

Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine

Director: S. Takahashi

Results obtained from studies on the biological effects of microwave radiation will be reported in the forthcoming serial papers. This preliminary report deals mainly with basic problems such as follows:

- 1) Our microwave generator, made by Tokyo-Shibaura Electric Co. Ltd., is equipped with Magnetron M-4511 as a transmitter, emanating 2,440 megacycles continuous waves about 200 watts of average power.
- 2) Powerful RF-fields was usually detectable by neon-lamp attached with a dipole or a loop antenna. In order to know microwave energy relatively, two types of field power meter, consisting of dipole receiving antenna, 1N-34 diode and amperemeters, were constructed. One type having 1 mA-meter was employed for measuring the power of the main beam and the other having 100  $\mu$ A meter for measuring the distribution of scattering from the walls of experimental room.
- 3) Power density, as presented in isodose charts of the relative dose of main beam showed concentration along the central axis of radiating antenna, and fall off with the increase of distance from radiating antenna (Fig. 4,5). Scattering was only a few percent of maximum relative dose of the main beam (Fig. 6).
- 4) To protect employee working in high power RF-field from microwave hazards, an operating cage and protective clothings were produced for trial by using 24 mesh copper nets. The leakage was measured and it was proved to be negligible.

## 緒 言

近時、マイクロ波の発生が可能となり、一方で

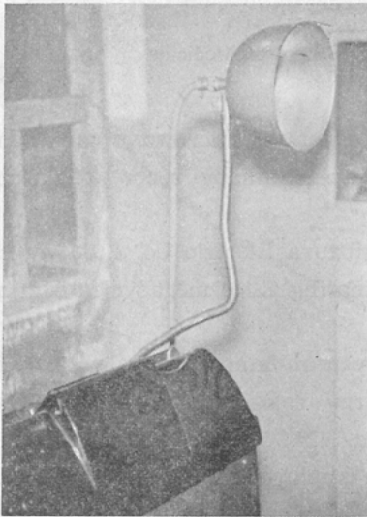
は之が Radar 波に利用されるための障害が案じられ<sup>1)2)3)4)5)6)7)8)9)</sup>、他方では体内深部の熱発生源

として医療に應用される機運がおこつて来た<sup>10)11)12)13)14)15)16)17)18)19)</sup>. 余等は1961年秋に強力なマイクロ波発生装置を東芝の好意で試用出来る様になつたので、マイクロ波の生物学的意義及び臨床的意義の研究をすすめている。まず余等の装置を紹介し、2, 3の基礎的事項について述べてみたいと思う。

### I. マイクロ波発生装置

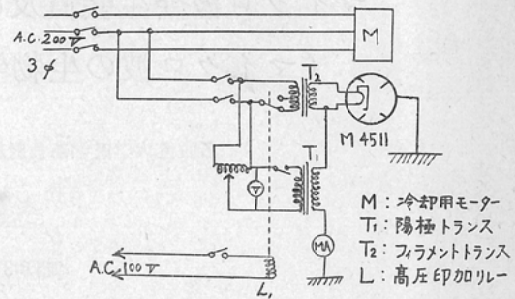
本装置は発振管として Magnetron M-4511を使用している。之は強制空冷式の連続波発振用のもので、マイクロ波の最高出力は1kw, 周波数は2440mcである。antennaはhelical antennaである。開口面で16.5cmの直径を有する parabo-

Fig. 1: Our microwave generator



la型の反射鏡を装備し、発振管とは短形導波管及び可撓性同軸線路で接続されている。このantennaは制禦卓子よりの可動性支持棒に固定されて、マイクロ波の線束の方向を自由に変える事が出来るようになってゐる(第1図)。今、この装置を普通の負荷状態(定在波比, 2)で動作せしめた時の主要性能は陽極電圧5,750v, 陽極電流300mA, マイクロ波出力1kW, 発振周波数2,440mc, ヒーター電圧7.3vとなる。余等の実験では陽極電圧1,450v, 陽極電流92mAとして、大概マイクロ波出力を200wとした。

Fig. 2: Circuit diagram of microwave generator



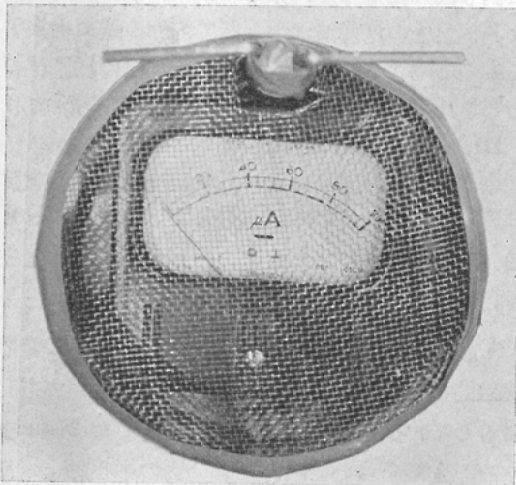
### II. マイクロ波の検出及び強度測定器

#### A. 余等の線量の比較的強度測定器

一般にマイクロ波は定性的には市販のネオン管の点燈で検出し得る。この際、ネオン管に適当な受信アンテナを連結すれば検出は高能率となる。余等はこの目的で余等のマイクロ波形と周波数を考慮して2種の受信アンテナを作製した。即ち、1つは銅線(径3mm)で円周の長さが12.3cmのloop antennaをつくり、円周上の一点よりネオン管に連結した。この長さは余等のマイクロ波の1波長に相当する。他の1つはその長さが半波長に相当する6.15cmのdipole antennaで、この中心部よりネオン管に連結した。前者をNEL検波器と呼称し、実際の使用はloopを含む面と反射鏡開口面を一致させるようにした。後者はNED検波器と呼び、dipole antennaとネオン管軸を含む面とヘリカルアンテナの中心軸を含む面とが直角に交差するようにして使用した。

これ等の検波器を点燈せしめる範囲のマイクロ波の強度の比較的測定を行い、数値的に表現するために、半波長の前記のdipole antennaと検波用1N-34のdiodeを並列に連結し、これを更に電流計に接続した計器を試作した。電流計は100 $\mu$ A計(共立)と或いは精密電流計(横河)を使用した。前者の電流計は主として実験室内の強度の弱い反射波の分布を知るために用いた。この場合、電流計自体がマイクロ波を吸収するのを防せぐ目的で電流計は金属函に收容し、更に24meshの銅製金網で被覆した、かくすれば受信アンテナのみがマイクロ波野にさらされることにな

Fig. 3; Field power meter set in metal case, shielded with 24 mesh copper nets. The receiving antenna being not shielded.



る(第3図). 強度のマイクロ波を計測するためには full scale を 1 mA として後者の電流計を使用する. 之は主として照射用アンテナよりの主線束, 即ち余等の NEL, NED の検波器を点燈せしめる範囲のマイクロ波野の強度の測定に用いた. この場合には受信アンテナと電流計とをテレビ用リード線で連結して遠隔操作が可能の様にした. リード線がマイクロ波を吸収しないように, 前記と同様に銅製の金網で被うた. 特に直接線束に照射される部分は 3 重に被覆した. 電流計はマイクロ波の直接線束は勿論の事, 散乱線による影響もない場所に設置して操作した.

以後, 余等は照射用の helical antenna と反射鏡とを合して照射アンテナと称し, 検波器或いは測定器の antenna を受信アンテナと称する事

にする.

B. 主線束の強度測定

マイクロ波の出力を 200watts とし, ネオン管の光度もしくは点滅を目標とした場合の結果は第1表如くである. この際, アンテナの向きは前述の通りである. (卍) は非常に明るく, (卍) は中等度, (+) は点燈するが, 光度は暗く, (±) は点燈したり, 消燈したりの状態, その光度はアンテナからの距離に従って減弱する. NED 及び NEL はともに照射アンテナの中心軸上では 70cm の距離まで点燈する. 照射アンテナの上下端, 即ち正面から観測した場合の 0 時及び 6 時の延長線上では 50cm までが限度である. これによるとマイクロ波の強度は照射アンテナの中心軸上でもつとも大となる事が推測し得る. 亦, NED と NEL を比較した場合, 感度は NED の方が若干, 鋭敏のようである. 次に, 此の強度を数値的に得るために, NED, NEL を点燈せしめる範囲での電流計の読みを測定した. 反射鏡開口面で helical antenna の直上 5cm のところで 800 $\mu$ A の最高値が得られた. その値を 100% として, 主線束の比較的強度を表したのが第4図と第5図である. マイクロ波強度は照射アンテナよりの距離の増大にしたがつて減弱する. しかし, 減弱の度合は照射アンテナの中心軸上でもつとも小さい. 余等のマイクロ波強度の等量曲線は水平面で若干, 左方に, 垂直面で若干, 上方に偏しているがほぼ指向性を有して分布している事を知った.

C. 散乱線の測定

余等の装置の照射アンテナの発射方向には, 1

Table 1 ; Field power measured by neon lamps. (NED ; neon lamps attached with a dipole antenna, NEL; neon lamps attached with a loop antenna).

Distance from antenna in cm		10	20	30	40	50	60	70
NED	Upper pole	卍	卍	卍	+	±	±	-
	Center	卍	卍	卍	卍	+	+	±
	Lower pole	卍	+	+	+	±	-	-
NEL	Upper pole	卍	卍	+	+	±	-	-
	Center	卍	卍	-	+	+	+	±
	Lower pole	卍	+	+	+	±	-	-

Fig. 4; Microwave energy distribution in vertical plane.

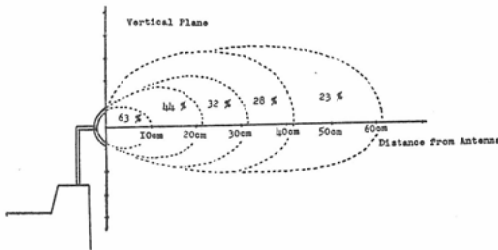


Fig. 5; Microwave energy distribution in horizontal plane.

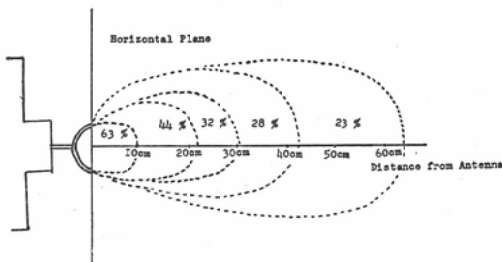
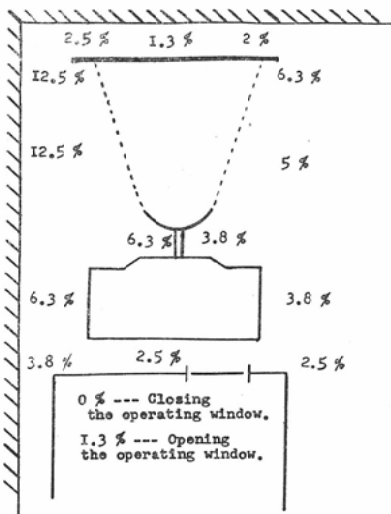


Fig. 6; Distribution of scattering waves in experimental room and operating cage.



10cmの距離に実験室壁があり、左側面では70cmに同様の壁が亦、右側には 200cm離れた位置にレ線深部治療機がある。前述の  $100\mu\text{A}$  計を本体とした測定器を用いて実験室内に於ける散乱線を測定

した。主線束の測定で得られた最高値  $800\mu\text{A}$  を100%とした場合については室内の散乱線の強度は第6図の如くなる。余等のアンテナの指向特性より、之等の反射波は主として前面の壁に由来するものと考えられる。装置の左右両側の散乱線の分布を比較した場合、左側面に強度が大であった。

III. マイクロ波の遮蔽

金網が超短波或いはマイクロ波を阻止する事実は広く、知られている。点燈している余等のNE D、NE Lの前に24meshの銅製金網をおくと完全に消燈する事が出来た。この事より余等は1mA計を使つて前記金網のマイクロ波の遮蔽度を数値的に表現してみた。即ち、照射アンテナ方向に対して、受信アンテナの前に接地した24meshの前記金網において照射アンテナの中心軸上の各点の強度を測定した。結果を第7図に示す。図の縦軸は  $800\mu\text{A}$  を100%とした数値で、横軸は照射アンテナの中心軸上で開口面からの距離である。その値は照射アンテナを被覆しない場合の大略  $1/6\sim 1/10$ の強度となる。実際に、マウスを出力200wattsで照射アンテナの開口面から20cmの距離で竹製虫籠に入れて照射した場合、5分前後で全身痙攣を起こして死亡する。一方、24meshの

Fig. 7; Shielding effect of 24 mesh copper nets. Abscissa: Distance (cm) from the center of radiating antenna. Ordinate: Relative dose of the main beam.

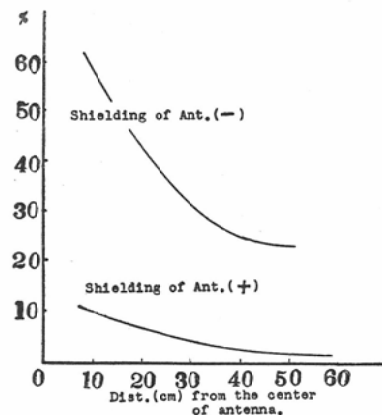


Fig. 8 (a); Garment for protection made with 24 mesh copper nets.

(b); Two pieces employed for protection in practice.

(a)



(b)



銅製金網製虫籠に入れて同様の条件で照射した場合には30分間の照射に耐えて健在であった。以上により、余等は直接線束は勿論の事、散乱線もさけて安全に操作出来るように前記金網で操作室及び防護衣を作製した。操作室は装置の直後に配置した。その大きさは2 m×1 m×1 mの縦形のも

のであり、前面には1 mの高さに30×30 cmの窓がついていて、これを開放すれば装置を動かす事が出来るようになっている。マイクロ波の照射中にはこの窓を閉じれば完全に散乱線を遮断する事が出来る。即ち、前項の散乱線の測定で、この窓を開放した場合には操作室に於ける散乱線の強度は1.3%閉じた場合には0%であった(第6図)。

次に防護衣は頭部、顔面部を被う部分と胴体に着用する部分と、そして上下肢に着用する部分よりなっている(第8図(a))。各部分とも十分に重複することによって電氣的に one piece の状態になっている。亦、下肢の部分の先端は盲端となっていて、接地される。

#### IV. 考 按

##### 1. 余等の装置について

マイクロ波は普通、発振管よりパルス波として送出されるが近時、連続波発振に適する magnetron が開発されて来た。その特色として陽極供給電源が簡単で連続的にマイクロ波を発生させ発振能率が50%以上に及び、負荷回路よりの反射がかなり大きくても常に安定して動作することにある<sup>21)</sup>。現在 Radar 波に使用されている電波はマイクロ波帯(発振周波数1550~33000 mc)<sup>21)</sup>で余等の装置よりの発振周波数もこの領域の中に入る。したがって、余等のマイクロ波と Radar 波との相違は連続波であるか、パルス波であるかで、そこに本質的な差はないと思われる。なお、2450±25 mc の周波数は1947年 Atlantic City に於ける国際会議で医療用に割りあてられた周波数域である。

##### 2. マイクロ波野の電界強度及びその測定について

一般にマイクロ波野の電界強度は電力密度(watts/cm<sup>2</sup>)で表現せられ、次式で計算される<sup>22)</sup>。

$$P_o = \frac{4\pi \cdot Pr}{\lambda^2 \cdot Gr}$$

$P_o$  = Power density = watts/cm<sup>2</sup>

$Pr$  = Received power = watts

$Gr$  = Absolute gain of the received probe

$\lambda$  = wave length = cm

即ち、照射アンテナより発射するマイクロ波エネルギーを既知の電力減衰度をもつ減衰器を通して、サーミスタブリッジ回路に導き Pr を測定する事によつて計算される。導波管内の電界強度を測定するのは困難ではない。しかし、アンテナより発する電界強度の測定は導波管のそれと比較して極めて慎重を要する。それで余等はこの電界強度測定は次報にゆづる事にした。

ネオン管を用いた余等の検波器 NED, NEL はマイクロ波の定性的検出には極めて簡易であつたが、受信アンテナの作製に際しては1). 超高周波電波と antenna を流れる超高周波電流が共振状態にあるようにするため受信アンテナを半波長あるいは1波長の長さにした。2). helical antenna からのマイクロ波は円錐形を呈すると考えられ、その受信には1). の事項も考慮して1波長の長さの loop antenna が能率が良いと考えられた。3). しかし、超高周波の受信に於いては antenna の reactance はなるべく小ならしめた方がよいと考えられた。そのため、1波長の loop antenna より半波長の dipole antenna が能率が良いと考えられた。実際に之による定性的測定を表にしてみると NED がネオン管の光度については若干感度良好であるが、マイクロ波の検出については両器とも同程度の能率を有するものとしてよい。亦、電流計を使用した測定器で、マイクロ波強度は照射アンテナで中心点より5 cm 上方で最高値が得られた。之は helical antenna の前面より直接出てくる波と反射鏡より反射してくる波の位相差がことなるためと、helical antenna 自身がその近傍でマイクロ波の集束性に1つの障害となつているものと考えられる。一般にマイクロ波野にはマイクロ波線束が互いに干渉し合つてその強度が距離に無関係な領域、即ち、near field と antenna より規則正しく距離の自乗に逆比例する far field とがある<sup>23)</sup>。余等の測定値はこの両域にまたがる様に思われる。いずれにしても余等のマイクロ波が鋭い指向性と集束性をもっている事がわかつた。亦、余等は 100 $\mu$ A 計を本体とした測定器を NEL, NED で検出され

ない、弱いマイクロ波の検出に用いて散乱線の分布を測定した。その分布は装置の左側面に強度が大であつた。之は照射アンテナの指向特性が左方に偏している事と前面の壁よりの反射と側面からの反射波が加つている事によると考えられる。

### 3. マイクロ波の遮蔽について

マイクロ波を遮蔽する余等の操作室内ではほぼ安全に操作し得る事を確かめ得た。妨禦衣については柔軟性、器用性という点で未だ不十分であるので実際には眼球及び睾丸等の比較的熱に弱いとされている器管を保護する目的で頭部と顔面部の被いと胴体の部分を着用したのみである(第8図(b))。米空軍は種々の動物実験に基いて Radar 基地では曝射時間に不拘、10mw/cm<sup>2</sup> 以上の電界強度区域を Radar 障害予防の立場から立入禁止としている<sup>24)</sup>。今後、余等は医学的にマイクロ波を利用する場合の絶体値の測定法を検討して、マイクロ波の生物学的作用に関する研究を進めるつもりである。

### V. 結 語

1). マイクロ波発生装置を試作した。これは1 kW の magnetron を装備する強力なものである。

2). マイクロ波の定性的検出にはネオン管を用いた。亦、比較的強度測定のために、dipole antenna, diode, 電流計よりなる測定器を試作した。これにより、余等のマイクロ波が指向性もつてよく集束している事がわかつた。

3). 実験中、マイクロ波を遮断する遮蔽箱と妨禦衣を試作した。これにより、実験を安全に行う事が出来るのを確かめた。

(本論文の要旨は昭和36年11月5日第17回日本医学放射線学会東海北陸部会にて講演した。尚、本研究には、防衛庁技術研究所和知光男二佐、東芝玉川工場西堀清美、小川一郎の諸氏に多大の御協力を頂いた事を感謝す。)

### References

- 1) Daily L.E., Clinical story of results of exposure of laboratory personnel to radar and high frequency radio, U.S. Nav. Med. Bull, 41 : 1052, 1943. — 2) Lidmann B.I., et al.: Effects of

- radar emanations on the haematopoietic system, Air. Surgeon. Bull, 2 : 448, 1945. — 3) McLaughlin J.T, Tissue destruction and death from microwave radiation (radar), Calif. Med. 86/15; 336, 1957. — 4) Astia Document No. AD 115603, Proceedings of Tri-Service Conference on the Biological Hazards of Microwave Radiation, 1957, Rome Air Development Center, New York. — 5) ARDC-TR-58-54, ASTIA Document No. AD 131477, Proceedings of the Second Tri-Service Conference on Biological Effects of Microwave Radiation, July 1958, Rome Air Development Center, New York. — 6) Charles I.B., et al.: Medical considerations of exposure to microwaves (radar) J.A.M.A., Nov. 1 : 1194, 1958. — 7) RADC-TR-59-140 Technical Report, Proceedings of Third Annual Tri-Service Conference on Biological Effects of Microwave Radiation Equipment, August, 1959, Rome Air Development center, New York. — 8) Proceedings of the Fourth Annual Tri-Service Conference on the Biological Effects of Microwave Radiation, Volume 1, August 1961 New York University Medical Center, Plenum Press, New York, 1961. — 9) 蓬萊裕: マイクロウエーブの生体に及ぼす影響について (第1報), 昭36年, 未発表. — 10) Boyle A.C., et al.: Further investigation into the effect of microwaves, Annals. Phys. Med., 1/1 : 3, 1952. — 11) Boeni A., et al.: Temperaturmessungen an tierischen und menschlichen Geweben nach Bestrahlung mit Mikrowellen, Archiv. Phys. Therap., 4/3 : 1704, 1952. — 12) Keibel. W, et al.: Die Waerme-Verteilung in Fett-Muskel-Schichten bei Ver-Mikrowellentherapie, Strahlentherapie. 54/2; 107, 1954. — 13) Gordon M.M, et al.: Further evaluation of heating by microwaves and by infrared as used clinically, J.A.M.A., 1286, 1955. — 14) Cappellini. O., et al.: Present knowledge of the subjects of radar-treatment, Ginnart. Med., 2/3;119, 1954. — 15) Flandesio. D, et al.: Radartherapy or microwavetherapy, Minnerva. Med. (Tornio), 46/7;194, 1955. — 16) Castagnoli. M., et al.: Results obtained with radar therapy, Archir. "Maragliano". Patol Clin., 12/2, 1956. — 17) Schliephake. E, Kurzwellen und Mikrowellen-Therapie in Klinik und Praxis, Electro. Med., 2 : 1, 1957. — 18) Kuttig, H. Die Mikrowellentherapie und ihre physikalischen biologischen Grundlagen, Electro. Med., 3 : 201, 1958. — 19) 玉川鉄雄, 石原茂: マイクロ波療法の実際, 東大物療内科, 東京, 昭34年. — 20) 五十嵐重明: マイクロ波調理器及び治療器, 電子技術, 3/5 : 44, 昭36. — 21) 矢島幸雄: レーダー取扱の実際, O H M文庫, 東京, 昭34年. — 22) Robert L.D, Determination of power density at microwave frequency, Astia Document No. AD 115603, Proceedings of Tri-Service Conference on Biological Hazards of Microwave Radiation, 1957, Rome Air Development Center, New York. — 23) Engelbrecht R.S., et al.: Some engineering aspects of microwave radiation hazards, Proceedings of the Fourth Annual Tri-Service Conference on the Biological Effects of Microwave Radiation, Volume 1; 55, 1961, Plenum Press, New York. — 24) Technical Order, No. 31-1-511A. U.S.A.F, October 1957.