

OL448

# MLA 入門手帳

MLA BASICS

◆ もくじ ◆

★MLA 名称の由来	2
★MLA 動作のしくみ	3
★共振とは？	4
★重要な整合	5
★整合の種類	6
★作ってみよう	7
★ループ電流に注意	8
★放射の方向と設置	9
★放射効率の向上	10
★自作のポイント	11

企画・制作 MLA48 Project 文責 [JG1UNE 小暮裕明](#)

[JE1WTR 小暮芳江](#)

Ver. 2 2021. 4. 26

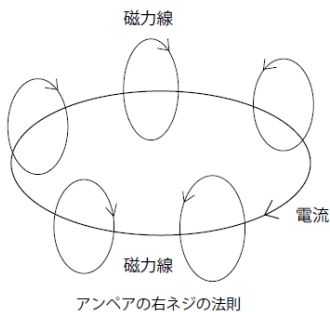
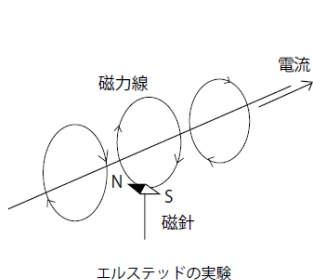
( Copyright 2021 小暮裕明 及び MLA48 Project )

## ★MLA 名称の由来

MLA(Magnetic Loop Antenna)は「磁界型ループアンテナ」と訳されますが、それは「磁界だけ生成するアンテナ」という意味ではなく、「磁界を『意図的に』発生させて電磁波(電波)を放射する」という動作原理から呼ばれた「呼称」です。

\* 磁界(または磁場)：磁気が働く空間の状態

マクスウェルの電磁方程式から「磁界の時間変化(交流)は電界を生み、電界の時間変化は磁界を生む」ことが自明です。つまり波長に比べて短いループに、共振による強い電流を流し、その電流によって発生する磁界(磁力線)を近傍に分布させ、90度経過後に強い電界を発生させます。

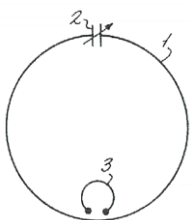


\* アンペア(アンペール)の右ねじの法則:ねじの進む方向に電流の向きをとると、ねじの回転方向が磁力線の向きになる。

## ★動作のしくみ

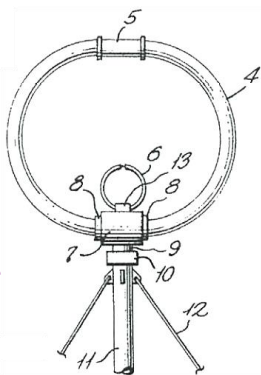
ループの L(インダクタンス)とコンデンサの C(キャパシタンス)で LC 共振を発生させると、ループに大電流が流れて、強い磁界（磁力線の環）が生まれ、放射に寄与します。

一方、コンデンサ内の電界は、その先の空間へ押し出され、磁界と相なり「電磁波(電波)」が放射されます。図は 1967 年に出願された米国特許 US3588905 の構造図



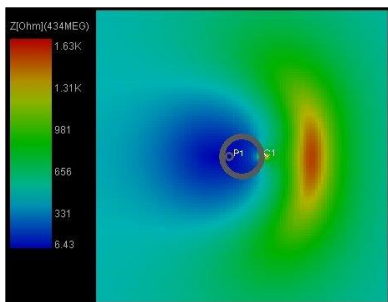
1 は L, 2 は C, 3 は結合コイル。

右図は実施例。4 は金属チューブによるメイン(主)ループ、5 は真空バリコンを示しています。



MLA の近傍空間の  
電波インピーダンス  
(=電界と磁界の比)

\* メインループの周りは  
磁界が強く、右端の  
コンデンサの先は電界  
が強い。その先は、  
どこも  $377\Omega$  を示す。



## ★共振とは？

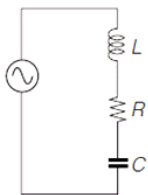
L(コイル)とC(コンデンサ)にR(抵抗)を加えた図のような RLC 直列回路で、リアクタンス  $X$  は  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$

$X$  がゼロになる周波数  $f_0$  ( $\omega_0 = 2\pi f_0$ ) は、上式で  $X=0$  として、
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

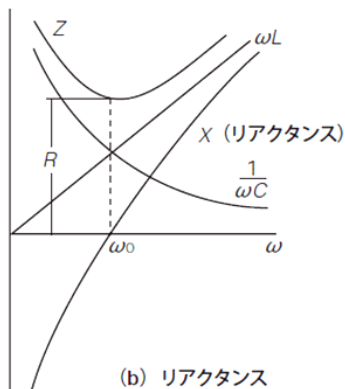
直列に接続された L (誘導リアクタンス) と C (容量リアクタンス) とが互いに打ち消し合う状態を**直列共振**あるいは単に**共振**といい、上式の周波数を**共振周波数**と呼びます。

インピーダンスの大きさは、 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$  で求まるので、共振状態では図に示すように最小になり、 $Z$  が  $R$  に等しくなるとき電流は最大になります。

\* MLA はメインループの L とコンデンサの C による直列共振の動作で、一般に R の値は小さい。



(a) RLC直列回路



(b) リアクタンス

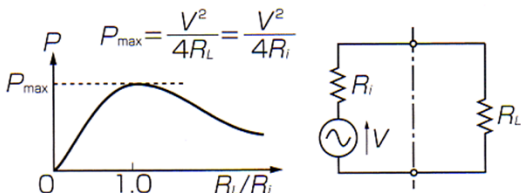
## ★重要な整合

MLA に給電した電力は、ムダなく空間へ放射したいですね。給電点で反射して戻る電力をゼロにする必要があります。図に示すように、50Ωの同軸ケーブルでは、MLA(アンテナ)を見込んだインピーダンスのRを50Ωに設計します。

ダイポールアンテナは、よく知られるように73Ωで、両端を折り曲げると50Ωになります。

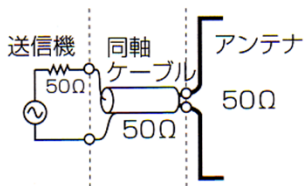
一方 MLA は、共振するとメインループに大電流が流れ、Rの値は極めて小さくなります(例えば数Ω以下)。そこで50Ωに見えるように、さまざまな整合技法が考案されました。

### 入力インピーダンスとアンテナの整合(マッチング)

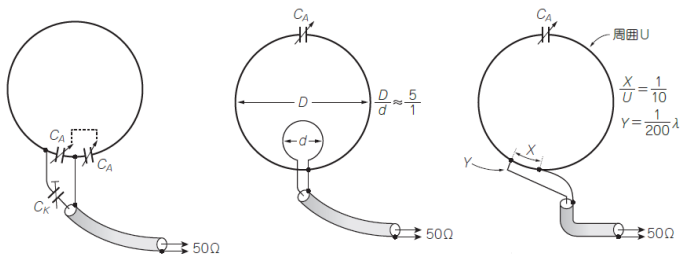


電源の内部抵抗を $R_i$ 、負荷抵抗を $R_L$ とすれば、負荷に供給される電力を最大にする条件は  $R_i = R_L$

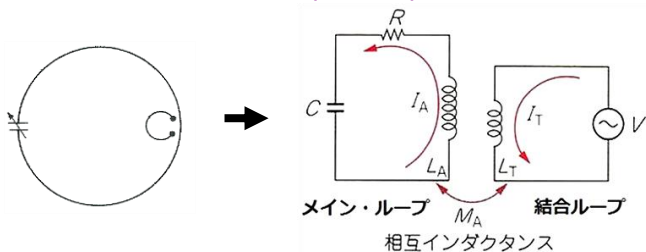
**電源と負荷とが整合(マッチング)している。**



## ★整合の種類



初期の MLA は、2 種類のバリコンを使った Patterson 方式や、ガンママッチ方式が試されました。現在は小ループで電磁結合する方式が普及しています(上図中央)。



右の等価回路では、結合ループの自己インダクタンス  $L_T$  とメインループと結合ループの相互インダクタンス  $M_A$  の比で、 $50\Omega$  に調整します。

この回路の入力インピーダンスを解くと、共振時の入力抵抗  $R_{in}$  は、メインループの放射抵抗  $R$  を  $50\Omega$  に調整する、右の式が得られます。

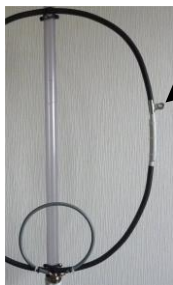
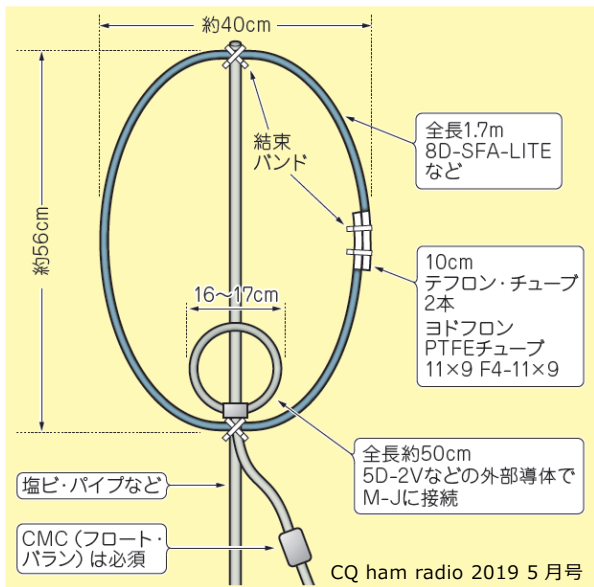
$$R_{in} = R \left( \frac{L_T}{M_A} \right)^2$$

\*  $L_T$  はループ寸法、 $M_A$  は位置で調整。

放射抵抗：放射電力を給電点電流の自乗で割ったもの。

## ★作ってみよう

MLA 製品は普及してきましたが、自作で QSO するのも一興。同軸ケーブルを利用した 50MHz 用 MLA を作ってみましょう。



目玉クリップ  
の位置で共振周  
波数を微調整で  
きる。楕円でも  
円形でも OK。



結合ループは単線でも OK  
だが、少し大きくなる。



## ★ループ電流に注意



MLAは、共振時にメインループを流れる電流が大きく、バリコンにかかる電圧が高いことから、海外では数十WまでのQRP製品が多い。MLAを高電力で運用する場合は、アンテナに触れることのないような方策が必要。電波防護指針の観点からも本体から十分離れた運用を心がけたい

Care must be taken not to touch your MLA when transmitting. Keep several meters away from it when driving QRO.

[MLA48のホームページ](#)トップには注意書きを掲げています。

MLAは放射抵抗が極めて低いので、共振時にはメイン・ループに大きな電流が流れ、コンデンサには高電圧がかかります。

例えば入カインピーダンスの抵抗分  $R$  が  $0.1\Omega$  で送信電力  $P$  が  $50W$  のとき、電流  $I$  は  $\sqrt{(P/R)}$  から、約  $22A$  流れます。

例えば  $-j200\Omega$  のコンデンサの電圧は  $22 \times 200 = 4.4kV$  に達します。\* 運用中はコンデンサにも触れないように！

電磁界シミュレーションの例：

1m 角のアルミ材(断面  $1cm \times 1cm$ ) による MLA は、 $100W$ (連続) では  $3m$  以上距離を確保(右図参照)。

(XFDTD を使用。  $Q=2000$  のコンデンサ 2 つで整合。放射効率  $43\%$  ,  $14MHz$ )

電界の単位：  $[V/m]$  , 磁界の単位：  $[A/m]$

(例) :  $E(x)$  は  $X$  方向の絶対値

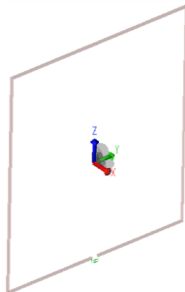
ICNIR 規定 (一般公衆) :  $27.5[V/m]$     $0.073[A/m]$

総務省の電波防護指針 :  $f [MHz]$  として

$3 \sim 30MHz$  で  $824/f [V/m]$     $2.18/f [A/m]$

\* 値は周波数によって異なることに注意。

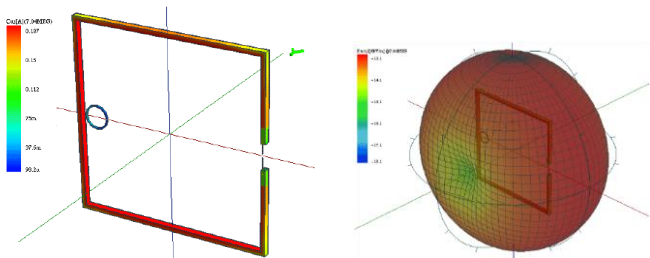
	2m	3m
E (x)	12.5	4
H (x)	0.2	0.08
E (y)	40	17.2
H (y)	0.1	0.03



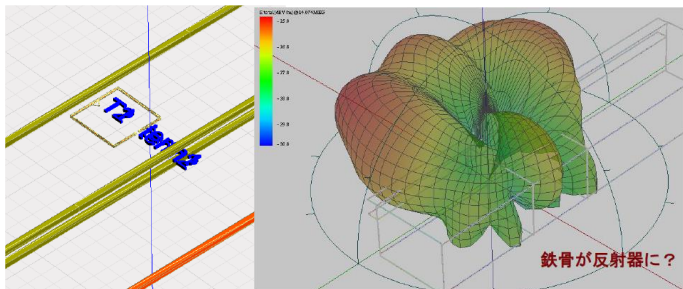
## ★放射の方向と設置

MLA はループ面を大地に対して垂直に設置すると垂直偏波（電界の向きが大地に垂直）を放射します。また、自由空間での放射パターンは「太ったドーナツ形(hi)」です。

\* 1m 角の MLA 7MHz の例。正方形ループでも、放射は全方向へ…  
直接波の QSO で相手が水平ダイポールのときは MLA の水平設置が



鉄筋コンクリートの建物でベランダに MLA を設置すると、手摺りや鉄骨などの金属に誘導電流が発生します。建物全体に流れると磁界が発生(再放射)して、放射パターンが複雑に変化します。 \* 電磁界シミュレータ [S-NAP Wireless Suite](#) を使用



## ★放射効率の向上

MLA はノイズを拾いにくいとされています。「放射効率が低いからあたりまえだ」との解説も聞きます。確かに波長の 1/10 以下の MLA は放射効率が 10%以下になることもありますが、それだけが理由ではありません。

ベランダの手摺りなどは、金属の端に電荷が分布しやすく、モノポール(GP)の先端は電界型ノイズのプロープです(hi)。一方 MLA のループ近傍では磁界を拾うので、周囲にたまたま強いノイズ電流が流れていれば拾いますが、金属端に集中する電界型のノイズには強いと言えるでしょう。

放射効率 $\eta$ を求める式： $\eta[\%] = R_{rad}/(R_{rad} + R_{loss}) \times 100$

\*ここで  $R_{rad}$  は放射抵抗(前述)、 $R_{loss}$  は導体抵抗など損失分

MLA は  $R_{rad}$  が小さいので、例えば  $0.1\Omega$  の時、 $R_{loss}$  が  $1\Omega$  でも、 $\eta$  は 9% です。

学術的な定義はループ長(または直径)が波長の 1/10 以下の「微小ループ」ですが、MLA48 では 1/5 前後が実用的としています(下図参照)。

1m 角の MLA では 14MHz ですが、電磁界シミュレーションの  $\eta$  は 60~70% です。

(断面 2×3cm アルミ材)

\*  $R_{loss}$  をいかに減らすかがポイント。波長の

周波数[MHz]	7	14	21	28
同調容量[pF]	183.8	41.5	15.3	6.2
指向性利得Gd[dBi]	1.83	1.75	1.64	1.57
絶対利得Ga[dBi]	-5.58	0.31	1.22	1.4
放射効率 $\eta$ [%]	<b>18.2</b>	<b>71.8</b>	<b>90.9</b>	<b>96.1</b>

1/10 以下では  $R_{rad}$  が極めて小さいので、各接続部の接触抵抗を減らす工夫も必要。

## ★自作のポイント

### 結合ループの寸法

給電用結合ループは、メインループ径の約 1/5 という目安がありますが、メインループが波長に比べて大きくなるとさらに大きくする必要があります。大きめに作って、楕円にしたり、回転したり、結合度を調整する方法も FB です。

### コンデンサの発熱

自作のコンデンサは絶縁体をスペーサに使うと、電界が集中します。樹脂ケースも誘電体なので、密着させると QRO 運用では発熱します。ポリカーボネートは低温ですが、特に ABS は高温になり、経年変化で炭化することも...

### コモンモード電流の阻止

MLA は平衡型のアンテナで、同軸ケーブルによる給電部近くにはフロートバランなどのコモンモードチョークが必須です。同軸ケーブルの外導体外側を戻る電流は  $I$ (電波障害)の原因になり、QRO ではリグが壊れることも...



[JF1DMQ 山村さん](#)の設計による  
[RF 電流計](#)で測定すると安心です。



DE JG1UNE

