

# An Overview of the Underestimated Magnetic Loop HF Antenna

## 過小評価されているマグネチック・ループ HF アンテナの概要 — その 6

© Leigh Turner VK5KLT

訳者：小暮裕明 JG1UNE 2015/6/12 Rev.2

この文書は、執筆者である Leigh Turner 氏の許可を得て翻訳しています。一部に意訳が含まれますが、ほぼ原文(下記 URL)どおりに訳しています。原文の著作権は Leigh Turner 氏に属し、訳文は小暮裕明に属します。個人で楽しめる以外に、出版物等に使用される場合は、Leigh Turner 氏または小暮裕明にご連絡ください。 \*今回は、その 6(最終回)です。

[http://www.ahars.com.au/documents/the\\_underestimated\\_magnetic\\_loop\\_hf\\_antenna\\_vers%201.1.pdf](http://www.ahars.com.au/documents/the_underestimated_magnetic_loop_hf_antenna_vers%201.1.pdf)

\*Leigh Turner 氏と小暮裕明は、IEEE (米国に本部を持つ電気電子技術学会) の正会員です。

3.5MHz から 30MHz まで、最もポピュラーな HF 帯を最適にカバーする送信ループ・アンテナは、少なくとも 2 つのサイズに分けるのがベストです。もし、トップバンドの 160m も必要であれば、3 つのサイズがベストです。

直径が定格 0.9m のループは 20m から 10m の高い方の HF バンドをカバーし (コンデンサーの最小/最大比によっては、おそらく 30m バンドまで同調可能)、直径 2m のループは、より低い 80m から 30m バンドをカバーします。160m で最適なオペレーションを、また 80m での性能を引き上げるためには、ループ直径 3.4m~4m を検討するべきでしょう。スモール・ループの放射抵抗、またそれによって達成される効率/放射効果は、円周長の 4 倍に比例します。

真空コンデンサーに関して注意を要する重要なことは、全体のキャパシタンス範囲にわたって、高周波定格電流が均一ではないということです。極板の重なりが少ない小容量部分ではより小さい値でしょう。従って、この特性を設計上の計算要素にする必要があります。ループの所望の同調範囲内でコンデンサーを操作するという事に気をつけてください。ITT Jennings のようなメーカーは、このデータのノモグラフ (計算図表) を提供しています。ループの同調/オペレート範囲を、定格 2:1~3:1 に制限するもう一つの理由がこれで、真空コンデンサーはその最適な VAR/高周波電流の「スイート・スポット」領域で常に動作します。真空コンデンサーの電流の定格についてよい点は、それが連続的な RMS Amps (実効電流)、すなわち CW のキー操作で; また、比較的低デューティサイクルの SSB 音声モード/PEP 送信で、かなり安全 (性) が高いということです。ガラス/金属密閉の定格温度を超えなければ、真空コンデンサーですべて大丈夫です。実際には、銀メッキされた銅の取り付け部が効率的なヒートシンクになって銅のループ導体の熱量を取り去るということは、起きづらいです。

ループのインダクタンスとキャパシタンスを最適に選ぶことができるので、一般に、モノバンド・ループのオペレーションは最も良い結果をもたらします。そして、同調をとるキャパシタンスの大部分は、固定 (値) 真空コンデンサーで与えられます。そこで、当該のバンドすべてで、すなわち 40m か 80m などで、微調整のバーニア「バンドスプレッド」の役割を果たす、はるかに小さい真空可変コンデンサーを並列に配置できます。常に、1.8MHz のトップバンドでのオペレーションは、(0.02λと

いう典型的な寸法の)スモール・ループを含むどんなタイプのアンテナにとっても、最も難しいチャレンジです；しかし、そうはいつでも、威圧されるほどの信号がある所では、オンエアでの性能は信頼できます。「無料の昼食(ただの物)」(また、めったにない安い物)はありません。アンテナのサイズを自由空間の波長に対して縮めたとき、物理法則を再定義するような、本質的な小型化は、まだ成されていないのです！従って、160mのフルサイズ $\lambda/2$ 水平ダイポール・アンテナで達成できる性能と比較すれば、そのような小さいサイズのアンテナは、常に適切な視野で認識しなければなりません。しかしながら、ほとんどのアマチュアは、そこそこの放射効率と、その放射電力を有用な方向へ向けるようにきちんと働く、160mのダイポール・アンテナを収容するような波長の何分の1かでも、十分な住宅の区間ブロック・サイズと/あるいはマストの高さは得られません。同様に、160mのオペレーション用の、かなり効率的で効果のあるバーチカルは、残念ながら、地方自治体と住宅建築コード規則で許されるかなりのマージンによっても、許容の高さを超えてしまいます。そして、大規模なラジアル・システムを収容するには、膨大な不動産(土地)が必要なのです。

160/80mバンドのオンエアにおけるループの実用的な性能は、どんなアンテナを使っているかに大きく依存しますが、参考に比較すると、センター・ローディングのモービルホイップやフルサイズの共振型ダイポール/モノポールなど、そして、どんな経路が使われているのか、すなわち NVIS、地上波、上空波なのか、ということに依存します。ループ導体の直径は、表皮効果によって求められる損失抵抗によって決められ、6mmの銅チューブや大口径100mmの銅、アルミ・チューブの範囲から選べます。MLAを構成するために使われる、一般的に使用されている導体の直径は、20mmと32mmの柔らかい銅のチューブです。表皮効果によって、高周波の電流が導体の表面に限られるので、重くて厚い管材は必要ありません。放射効率は、ループのサイズに関連しないことに注意してください。ループ・アンテナの効率は、導体チューブの直径とその導電率によって決まります。

このような概念的な考えは多くの人々の直観に反しています。スモール・ループはまた効率的で、80mと160mで非常に効果的に電力を放射しますが、結果として、L-C比と蓄積されるエネルギーは、しばしば次のようで、それはループのQファクターは、非現実的な狭い瞬間帯域幅になるほど高く、ここで約2~3kHzのVSWRのバンド幅が、要求される最小値ですが、SSBの通信目的には使えないほどです。

達成可能な帯域幅は、ループのサイズ/(直径)にほぼ比例しており、Qはループの直径(太さ)に反比例します。構造にもよりますが、公称1m直径のループは、1.8から30MHzの範囲で、本来備わっている放射効率は90%と発表できます(訳者注：理論値を言っていると思われる)。ループ導体と同調コンデンサーを厚くしない状態を保ち、CWで何百ワットかの電力を給電できるので、このかなり明らかな点を、体験して観測できます。もしSTL(訳者注：小型送信ループ)が、明らかに効率が悪かったとすれば、そのような入力電力で銀ハンダのジョイント部を即座に加熱して溶かしてしまうでしょう。

銅パイプは、アルミニウムよりも導電率がより高く、単位長さ辺りの抵抗が低いので、ループを作るのには好ましい材料です。高周波の損失は、表皮効果と導体の表面に沿って流れる高周波電流が集中することによって決定づけられます。これは、ループ導体を形成する、表面積が大きい(太い直径の)管材を使用することで減らすことができます。

LDF550/LDF650/LDF750 などのような、より大きなサイズの Helix 社セミリジッド同軸は、100~400W の電力レベルで使われる、より小さい直径の 20m から 10m の HF 帯用ループを作るのに優れた材料でしょう。Helix ケーブル全体は、両端で内導体と外導体を接続して使うべきでしょう。

囲われた領域と周の長さ比が最大になることからして、ループのフォームファクタとなる最適な形は円です。放射抵抗はループの領域に比例していますが、オーミック・ロス抵抗はループの円周/周の長さに比例しています。正方形のループはフォームファクタが最悪で、八辺形のループ(まっすぐなチューブとエルボで組み立てられる)は、同じ円周と同じオーミック・ロス抵抗の正方形よりも 20%有利に、より広い領域を占めています。

注意したい重要なポイントはスモール・ループの放射抵抗で、従って、放射の効率はその周の長さの 4 倍に比例します。

より大きい 2 インチの内径の LDF750 は、低い方のバンドで 1kW を超えて使用することができます。抵抗と導電率に関連して、スモール・ループ・アンテナは、本来非常に低い放射抵抗を示し、同調コンデンサーの接続部を含む、ループ導体と接合部と溶接部のオーミック・ロス抵抗と競合します。MLA は、一般に 100~200mΩ のオーダーの放射抵抗です。これは、接触状態が悪くて mΩ の抵抗が加わると、1%の効率を犠牲にすることを意味しています。これが、プロの設計した送信用の MLA が、機械的な接触を決して持っていないという理由で、コンデンサー・プレートを含むすべてが溶接または銀ハンダされるべきです。数百ワットの電力を給電されて、ループとコンデンサーの高周波のループ電流が 60 アンペア以上になるという経験は珍しくありません。

ループ・アンテナの実用的な配置と敷地を選ぶにあたり、ループが理想的な自由空間で筋書きどおりに配置できない時は、放射と損失抵抗に影響する、有利かつ有害な本質的でない要素があります。

ループが、完全導体の地面による反射器か、銅のラジアル・ワイヤーマットの上に取り付けられるとき、有効なループの領域を増大させる、電気的なイメージがつけられます。この増加分は、かなりの要素でループの放射抵抗をやはり増加させます。そのような都合のよい状況が助けになります。

逆に、ループが平均的な地面(ほどほどの反射器)に置かれると放射抵抗は増加しますが、また、損失のある大地に入るリアクティブな近傍界のエネルギーを結合するトランス効果によって反射された損失抵抗も持ち込まれます。従って、(ループ直径程度)大地の上に、ある最小距離でループを取り付けるのは、ループの本質的な接触抵抗を最小にすることによって得られるアンテナの効率を上げられるので重要ですが、有害な大地に近い所の抵抗(外来的な要素)によって、即座に打ち消されてしまいます。

同様に、極めて近くに第 1 鉄/鉄性材があると、ループの近傍磁界のトランス作用により、材料の高周波抵抗にかかる電圧を誘導し、それによって電流が流れ、 $I^2R$  の電力損失につながります。この状況は、例えばループがアパートのバルコニーの鉄製手摺りや鉄筋コンクリートなどの近くに取り付けら

れていると起きるかもしれません；この有害な影響は、目障りな鉄や鉄材に対して、ループを単に直角に置くと、最小にすることができます。もう一つ損失に寄与する成分は、ループと土壤表面の間のキャパシタンスを通して、土壤の中に電流が流れることに因るものです。この容量性の結合効果は、さらに、ループを少なくとも直径の半分かそれ以上、地面から遠ざけることで最小になります。

地面の損失は2つの成分で成り立っています；抵抗を持つ地面の下にできるループのイメージ（訳者注：影像アンテナ）で誘導される電流に因りますが、イメージ・ループの抵抗は土の抵抗に比例し、加えて、ループと地面間にできるキャパシタンスを通して土中に流れる電流にも因ります。システム全体の損失は、周波数、ループの設置高、土壤の抵抗と誘電率、土壤の高周波における表皮の深さに応じて、複雑な状態で変化します。

ループ・アンテナをトランスで類推するのは良い考えです。HFの通信リンクは、ループが、かなり離れている送信アンテナに極めて疎に結合する二次「巻き線」としての役割で相互作用している「空間トランス」としてビジュアライズ（視覚化）できるかもしれません。入射電磁波の磁場成分は、電磁誘導によってループ導体に流れるわずかな高周波電流を誘導し、それはつぎに、同軸線路に適切にインピーダンス整合をとった、高Qのループ共振器によって増幅されます。

自立しているループは、100mmの直径のPVCパイプと台座の足のような形のプラスチック製配管接合部品のような、短い非金属のマストで支えるのが一番です。また、ループをローテータで駆動するプレートに置いて、最も良好な信号強度に調整し、あるいは、特にひどいQRMをnull-outする（なくす）角度に向けることができます。

電磁界に対する人体曝露のための電磁放射/EMR基準に同意し、それによく従って身を守るためには、送信しているときには、ループに触れないように、またループ・アンテナの近傍磁界から安全距離を保つように注意しなければなりません。一般に、ループの直径1つ~2つ分以上の距離を取れば、安全な電磁界強度領域であると考えられます。送信中のループに触って皮膚の高周波やけどをすると非常に不快で、快復するのに長い時間がかかります。



## 結びの言葉:

プディングが美味しいかは食べてみなければわからないので(論より証拠), 実験派のアマチュアは, シャックの作業室に入り込み, 自作のループ・アンテナを作ってみれば, 直に実践経験が得られて, 励みになるというものでしょう (Rev. 1 訳者注: 読者のご指摘により修正. MNI TNX). そのような効果を経験的に検証するのは, 常に大変な満足を与えられますが, 控えめな 50W! で給電され, テーブルに置かれたエレガントな姿の非常に小さなループで, VK の局が 40m か 20m で, 米国やカナダの局ときっちり 59 で QSO できるほど実用的です.

DX に対してバンドが開けているときに, 常にわれわれがどんなアンテナに対しても求めるものは, 信頼できる HF のコミュニケーションで, 極端に言えば, 使用できる方向と放射角で, アンテナに加えられた高周波のほとんどが, 効率よく放射されるということです.

よく設計されて組み立てられた小さい MLA は, おそらくめったにない事例の一つで, ことわざにある「gallon of performance can be extracted from a pint bottle! (ガロンの性能も 1 パイントのボトルから引き出される!)」なのです.

本草稿をお読みいただいたみなさまが, MLA (マグネチック・ループ・アンテナ) の特性をうまく適用していただき, これらの, 実に重要な要因を理解していただくように導かれ, STL アンテナ・プロジェクトを 1 つ (または 2 つ) 検討・構築するときに考慮していただけるよう, 望んでおります.

## © Leigh Turner VK5KLT

7 July 2009 / updated 28 November 2010

## 翻訳者より:

VK5KLT Leigh Turner 氏にご快諾いただき, 彼の秀逸な論文を翻訳いたしました. VK5KLT Leigh Turner 氏は 1980 年代, ARA (Antenna Research Associates) で働いていたそうで, 創設者の John Dunlavy Jr. は, US3588905 (1967 年) の出願者ですが, 本特許は MLA の原形のように思えます.

本論文は, ARA で得た直伝の技術に対する思い入れからか, 力がこもりすぎた? 文も見受けます. Facebook CQ ham radio グループで, わかりづらい部分や細かいミスをご指摘いただき, 順次修正を続けており, ご協力いただいたみなさまには, 大変感謝いたしております.

一部に異論があるとのことご意見もありますが, 訳者はできるかぎり原文に忠実に伝えることに務めており, 修正等は一切加えておりません. 是非筆者に, 感謝を込めて, 疑問点を投げかけてください. みなさまからのレスポンスは, 彼の励みになると思います.

本論文は内容が濃いので, じっくり読んで, クラブ・ミーティングのテキストにされると FB です. \*VK5KLT Leigh Turner 氏は, ハムクラブ (AHARS) VK5BAR で, 会員のみなさんに本論文の内容を解説し, 全員で共有されているとのことです.

小暮裕明 Hiroaki Kogure JG1UNE 6 December 2013