

昭和22年5月25日 第3種郵便物認可 昭和40年4月20日印刷 昭和40年4月25日発行 第491号 (毎月1回25日発行)

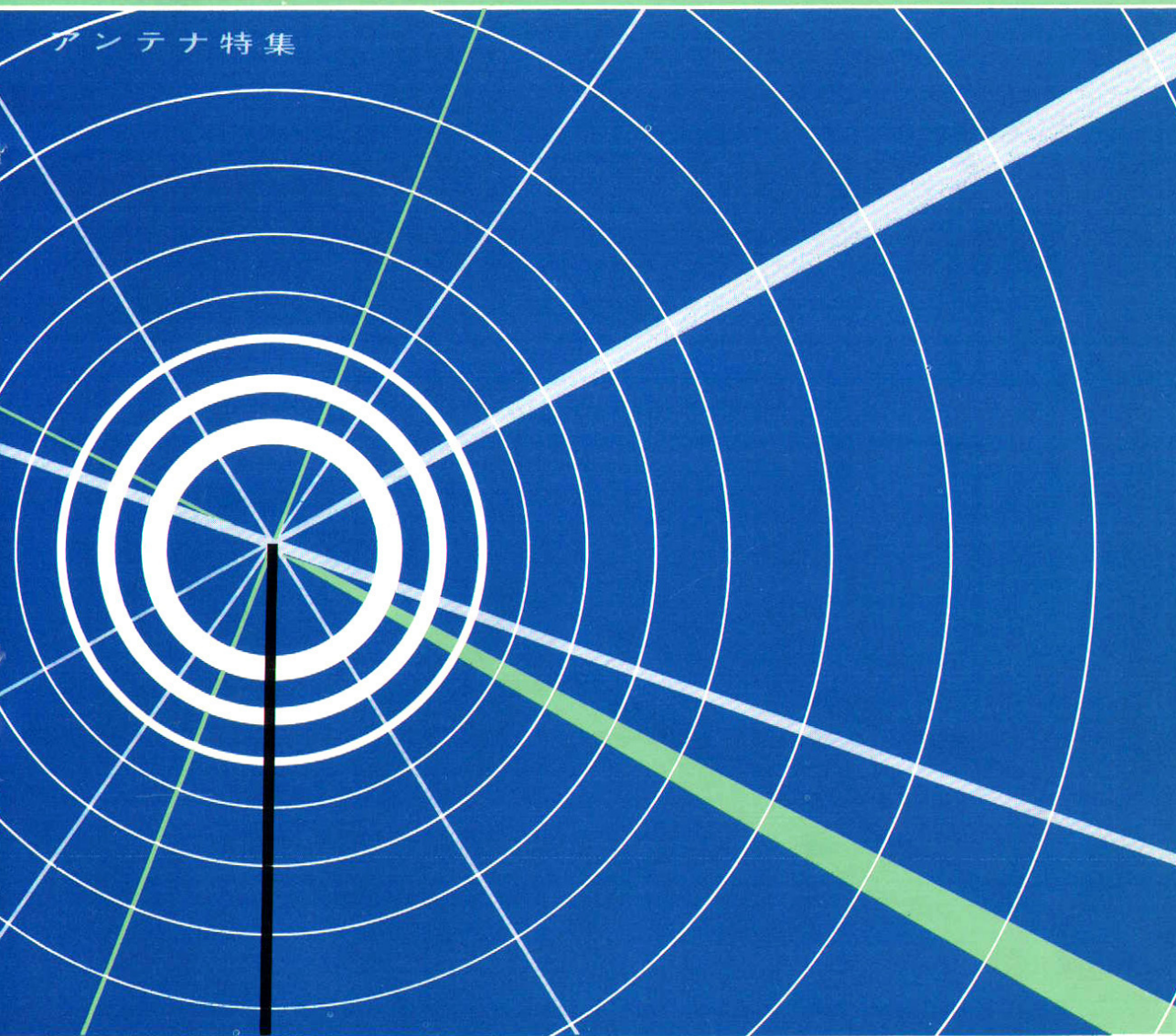
電気通信学会雑誌

The Journal of the Institute of
Electrical Communication Engineers of Japan

昭和40年4月

APRIL 1965

アンテナ特集



社団法人 電気通信学会

The Institute of Electrical Communication Engineers of Japan

- ス”, 信学誌 38, 2, p 27, (昭 30-02).
- (8) 内田, 平野: “U.H.F 円筒スロットアンテナ”, 信学誌 39, 3, (昭 31-03).
- (9) J.R.Wait: “Electromagnetic radiation from cylindrical structures”, Perg. Press, p 125, (1959).
- (10) C.M. Knop: “Radiation fields from a circumferential slot”, IRE Trans. AP-9, 9, p 535, (1961).
- (11) W.A. Cumming and M. Cormiers: IRE Trans., AP-6, 2 p 210, (1958).
- (12) 喜連川, 他: “列車無線用環状スロットアンテナ”, 昭 35 連大, 1157.
- (13) 佐藤, 他: “スロットループ空中線”, 昭 35 連大, 1159.
- (14) J. Galejs and T.W. Thompson: “Admittance of a cavity-backed annular slot antenna”, IRE Trans., AP-10, 6, (1962).
- (15) N. Marcuvitz: “Waveguide Handbook”, McGraw-Hill, (1951).
- (16) 永井, 高橋: “折返スロット空中線”, 昭 36 連大, 1081.
- (17) H. Hodara and G.I. Cohn: “Radiation from a gyroplasma coated magnetic line source”, IRE Trans., AP-10, 5, (1962).
- (18) H. Hodara: “Radiation from a gyro-plasma sheathed aperture”, IEEE Trans., AP-11, 1, (1963).
- (19) (6) と同一
- (20) H. Jasik: “Antenna Engineering Handbook”, McGraw-Hill, p 9-9, (1961).
- (21) 松田, 竹島, 磯貝: “スロットアレイアンテナの交差偏波ビーム”, 信学誌 47, 6, p 76, (昭 39-06).
- (22) (20) の p 2-20
- (23) L.A. Kurtz and J.S. Yee: “Second-order beams slotted array”, IRE Trans., AP-5, 4, p 356, (1957).
- (24) 永井, 松下, 波多: “TV放送用進行波給電スロットアンテナ”, 信学会アンテナ研資, (1962-02).
- (25) S. Silver: “Microwave antenna theory and design”, p 313, McGraw-Hill, (1951).
- (26) D.G. Dudley: “An iris-excited slot radiator”, IRE Trans., AP-9, 4, p 361, (1961).
- (27) R.J. Hanratty and H.A. Wheeler: “End-fire X-band flush antenna”, IEEE Trans., AP-11, 4, (1963).
- (28) S. Edelberg and A.A. Oliner: “Mutual coupling effects in large antenna arrays”, IRE Trans., AP-8, 3, (1960).
- (29) 岡田, 他: “無指向性スロットアンテナ”, 昭 39 連大, 1091.
- (30) 松田, 竹島, 磯貝: “10 Gc 帯無指向性スロットアンテナ”, 信学誌, 47, 5, p 767, (昭 39-05).
- (31) J.N. Hines and J. Upson: “A line source with variable polarization”, IRE Trans., AP-6, 1, (1958).
- (32) 長谷川, 他: “可変偏波面スロットアンテナ”, 昭 35 連大, 1158.
- (33) H.H.Hougary: IRE Wescon, Part I, p 157, (1958).
- (34) 関口, 後藤: “フェライトを用いた導波管スロットアンテナの指向性”, 昭 36 信学大全, 149.
- (35) Y. Mushiake and R.E. Webster: “Radiation characteristics for slots on a sphere”, IRE Trans., AP-5, 1, p 47, (1957).

UDC 621.396.67.011.21

3.2 定インピーダンス・アンテナ*

正 員 虫 明 康 人 †

1. 序 言

定インピーダンス・アンテナとは、その入力インピーダンスが周波数によって変化しないようなアンテナのことである。したがってその中には、放射特性もまた変化しないようなアンテナと、そうでないアンテナとが含まれている。このようなアンテナは理論的には考えられるが理想的なものには実際には存在しない。しかし、かなり広い周波数範囲にわたってほぼ定インピ

ーダンスであるようなアンテナは実現できる。したがって、定インピーダンス・アンテナは理論的に興味深いものであると同時に、実用的にもまた応用価値のあるものである。

さて無限長バイコンカル・アンテナなどが定インピーダンスであることは古くから知られていたが、別の形の定インピーダンス・アンテナの存在することが、1948 年筆者によって始めて示された^{(1)~(3)}。また、これら定インピーダンス・アンテナを広帯域アンテナとして利用するという立場から、インピーダンスも放射特性もともに周波数に無関係な frequency independent antenna が Rumsey によって提唱された⁽⁴⁾。しかし

* 3.2 Constant Impedance Antennas. By YASUTO MUSHIAKE, Member (Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai). [資料番号 5776]

† 東北大学工学部通信工学科

ながら、放射特性が変化しないということは非常に厳しい条件であるため、その定義はかなり狭いものである。これに対しここで述べる定インピーダンス・アンテナはこれらを含めた広い意味のものである。

以下、定インピーダンス・アンテナの分類を述べた後、筆者の行なった最近の研究を中心に、この種のアンテナに対する筆者の見解を述べて見たい。

2. 定インピーダンス・アンテナの分類

現在までに知られている定インピーダンス・アンテナを、その原理、形状などによって分類すると、つぎのようになる。

- (i) 自己補対アンテナ
 - (a) 平面 2 端子自己補対アンテナ $\left\{ \begin{array}{l} \text{回転対称形} \\ \text{線対称形} \end{array} \right.$
 - (b) 平面多端子自己補対アンテナ (回転対称)
 - (c) 立体面自己補対アンテナ (線対称)
- (ii) 自己相似アンテナ
 - (a) バイコンカル形自己相似アンテナ
 - (b) スパイラル形自己相似アンテナ
 - (c) 筒形自己相似アンテナ

この中、自己補対アンテナは筆者がはじめて提唱したものである。2 端子の場合についてはすでに発表しており⁽²⁾、いまさら述べる必要はないので、その他のものについて順を追って説明しよう。

3. 平面多端子自己補対アンテナ

2 端子の平面自己補対アンテナを多端子の場合に拡張することは Deschamps⁽⁵⁾ および筆者⁽⁶⁾ により独立に研究されたが、ここでは筆者の研究を中心にその要点を述べる。

図 1 (a) および (b) のように n 個の端子をもった互いに補対のアンテナ系を考えると、周知のように一般

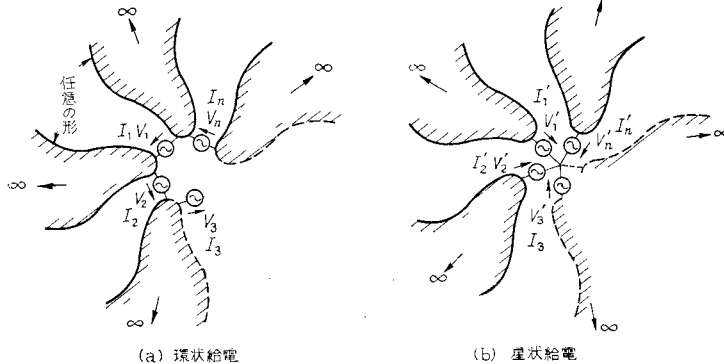


図 1 n 端子自己補対アンテナとその給電

につぎの関係が成立する⁽⁷⁾。

$$V_s = I_s' / 2, I_s = 2 V_s' / Z_0^2 \quad (1)$$

ただし Z_0 は空間の特性インピーダンスで、 $Z_0 \approx 120 \pi \approx 376.7$ [オーム] である。したがって、両アンテナに対する電圧電流比 Z_s, Z_s' の間にはつぎの関係がある。

$$Z_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{Z_0^2}{4} \frac{I_s'}{V_s'} = \frac{Z_0^2}{4} \frac{1}{Z_s'} \quad (2)$$

ここで、一方の給電電圧が対称 n 相 m 回転交流電圧であるとすると、構造および式 (1) により V_s, I_s, V_s', I_s' 等は全部同種の対称多相交流となる。そしてさらに、このアンテナが自己補対であるとすれば、(a), (b) は全く同じアンテナを環状および星状に給電したものととなる。ところが、一般に、環状接続インピーダンス Z_{mn} と星状接続インピーダンス Z_{mn}' の間には

$$Z_{mn} = 4 Z_{mn}' \sin^2(m \pi / n) \quad (3)$$

なる関係がある。そして Z_{mn}, Z_{mn}' はそれぞれ式 (2) の Z_s, Z_s' に相当するので、それらの値は (2), (3) 両式よりつぎのように決定される。

$$Z_{mn} = Z_0 \sin(m \pi / n), Z_{mn}' = Z_0 / \{4 \sin(m \pi / n)\} \quad (4)$$

ただし、 $m=1, 2, \dots, n-1$ である。この式は周波数に無関係に成立するので、平面多端子自己補対アンテナは定インピーダンスであることがわかる。

以上は対称多相交流の場合であるが、一般に任意の割合の電圧、電流を n 個の端子に給電することは、 m の値の異なる対称電源の 1 次結合を給電したことになるので、それらはいずれも定インピーダンスとなり、種々の値のインピーダンスを持つ定インピーダンス・アンテナが得られる。この際端子間の相互インピーダンスもまた一定となる。たとえば 4 端子の場合の例を示すと表 1 のようになる。したがって、たとえば 3, 4 間を短絡した場合の 1, 2 間インピーダンスを表 1 の値から計算すると $120 \sqrt{2} \pi / (1 + \sqrt{2})$ [オーム] となる。

4. 立体面自己補対アンテナ

補対の概念を立体面に拡張する研究は筆者らによって行なわれた⁽⁸⁾。図 2 のように軸に関して対称な n 枚の半無限平面を同じ形の対称な曲線でそれぞれ互いに補対な面に分割し、その一方を π/n だけ回転して構成したアンテナを考える。これを図 3(a) のように板の両面と左右に分解

表 1 平面 4 端子自己補対アンテナの自己インピーダンスと相互インピーダンスの例

接 続 法	自 己 インピーダンス	相 互 インピーダンス
	$60\sqrt{2}\pi$, [オーム]	0
	$(\sqrt{2}+1)30\pi$ [オーム]	$(\sqrt{2}-1)30\pi$ [オーム]
	$(\sqrt{2}+1)15\sqrt{2}\pi$ [オーム]	$(\sqrt{2}-1)15\sqrt{2}\pi$ [オーム]

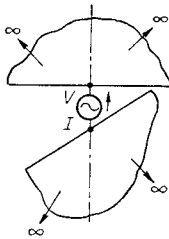


図 2 立体面自己補対アンテナ (n=2)

して考えると、 π/n の角度をもつ $2n$ 個のくさび状空間でそれぞれ補対アンテナとして図 3 (b) が導かれる。そして両アンテナの各部分の電圧、電流をつぎのように置くことができる。

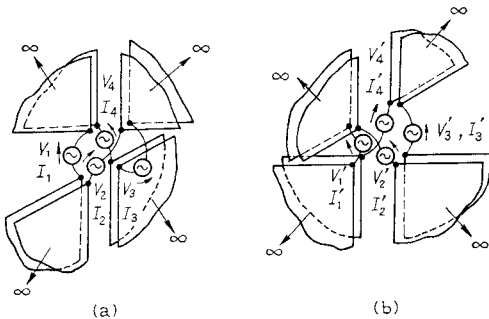


図 3 立体面自己補対アンテナの分解 (n=2)

$$\left. \begin{aligned} V &= V_1 = V_2 = \dots = V_n = V_0 \\ I &= 2nI_0, I_1 = I_2 = \dots = I_n = I_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} V' &= V_1' = V_2' = \dots = V_n' = V_0' \\ I' &= 2nI_0', I_1' = I_2' = \dots = I_n' = I_0' \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ところが各板についての構造および給電が対称になっているので、1枚の板の場合と全く同様にして、 π/n の角度の各くさび状空間で次式が成立することが容易に証明できる。

$$V_0 = I_0', \quad I_0 = V_0'/Z_0^2 \quad (7)$$

したがって、つぎの関係式が得られる。

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_0}{2nI_0} = \frac{Z_0^2 I_0'}{2nV_0'} = \frac{Z_0^2}{4n^2} \cdot \frac{I'}{V'} = \left(\frac{Z_0}{2n}\right)^2 \frac{1}{Z'} \quad (8)$$

ここで、図 3 (a)(b) の両アンテナを比較すると明らかに全く同じアンテナであるので、これは自己補対アンテナであり $Z=Z'$ となることがわかる。したがって、式 (8) より Z の値として

$$Z = Z_0/2n \approx 60\pi/n \approx 188/n, \text{ [オーム]} \quad (9)$$

が得られ、 $n=1$ は従来の平面板の場合に対応する。 $n=2$ の場合の最も簡単な近似として各辺 1m の正方形アルミ板 2 枚を互いに 90° 回転させて構成したアンテナの入力抵抗の実測値を図 4 に示す。

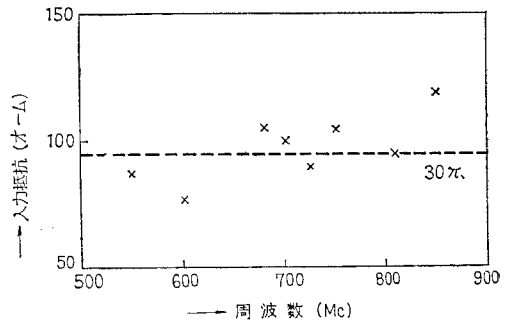


図 4 立体面自己補対アンテナの入力抵抗の実測例 (n=2)

5. 自己相似アンテナ

任意の比例係数でそれ自身に相似なアンテナを自己相似アンテナと呼ぶ。このアンテナは電磁界の相似の理により定インピーダンスとなる。この中には、比例的に寸法を変化したとき、そのまま元のアンテナとちょうど重なるようなバイコンカル形アンテナと、ある軸を中心に回転して始めて重ね合わせられるようなスパイラル形アンテナとがある。筆者らの考えた筒形アンテナは⁽⁹⁻¹⁰⁾、原理的にはスパイラル形に属するが、実際には、上述の分類のちょうど中間にあるアンテナである。これらのアンテナについては多くの発表がある^{(9),(11),(12)}ので、ここでは説明を省略する。

6. 対数周期アンテナのインピーダンスの変化

定インピーダンス・アンテナと関係があると考えられているものとして対数周期アンテナがある。対数周

期アンテナとは、その寸法を K^n (K :定数, n :正負の整数) 倍したとき元のアンテナとちょうど重なるようなアンテナのことである。したがって電磁界の相似の理によりその特性は周波数に対して対数周期的に一定変化を繰り返す。しかしながら、それ以上のことは何ら規定されていないので定インピーダンス性の保証はもちろんないのである。それにもかかわらず対数周期アンテナはすなわち広帯域アンテナであるとしばしば考えられているのは、Du Hamel らの開発したいわ

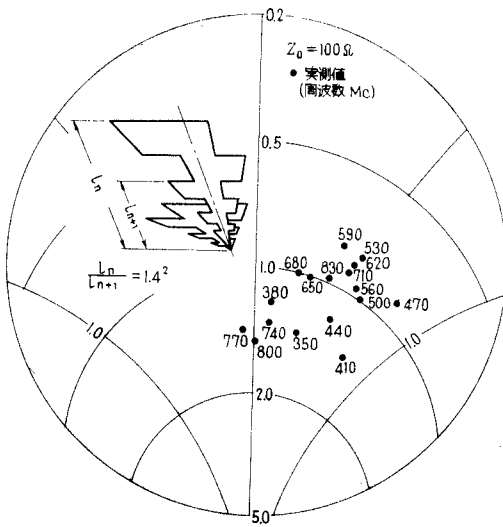


図5 自己補対構成対数周期アンテナの入力インピーダンスの実測例

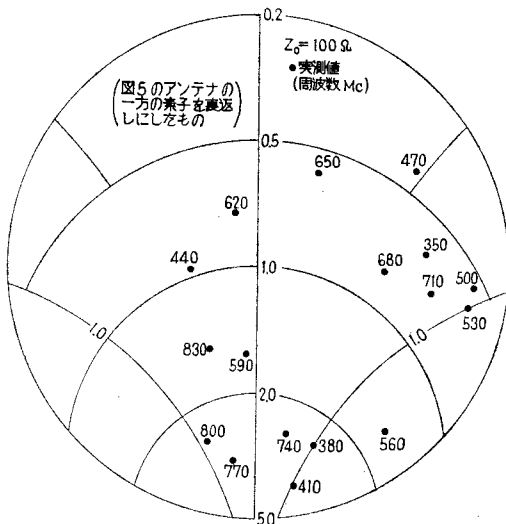


図6 逆構成対数同期アンテナの入力インピーダンスの実測例

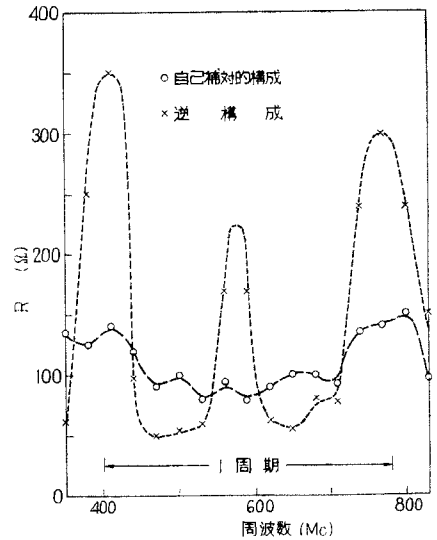


図7 自己補対構成対数周期アンテナと逆構成対数周期アンテナの入力抵抗の実測値の比較

ゆる対数周期アンテナ⁽¹³⁾が、自己補対アンテナを実用化したものであって、広帯域であったことに起因するのではないかと考えられる。これについては筆者が先に解説したが⁽¹⁴⁾、さらにこれを確認するため、同じ素子で構成した2つの対数周期アンテナを試作して実験を行なった。その結果を図5,6,7に示す。図から明らかなように自己補対的に構成したアンテナ、すなわち図5は広帯域であるが、その一方の素子を裏返しにした形のアンテナ、すなわち図6ではその特性が周波数とともに大きく変化する。このように、対数周期アンテナは必ずしも広帯域ではないということを、ここに改めて強調しておきたい。

7. 定インピーダンス・アンテナと広帯域アンテナ

定インピーダンス性は、実用的には広帯域アンテナの一つの具備条件として重要である。この意味で定インピーダンス・アンテナを実用化する場合の問題点を二、三付記しておく。まずアンテナの大きさであるが、上述の定インピーダンス・アンテナは理論的には全部無限大の大きさを持っている。しかし実際にはこれを有限で切断してある周波数範囲でほぼ定インピーダンス性が満足されるのが普通である。その際アンテナの最大寸法は波長の上限を与え、給電部の大きさは波長の下限を与える。つぎに放射特性の不変性についてであるが、この条件は一般に定インピーダンス性

よりはるかに厳しい。その条件の一例は、電流が給電点からの距離とともに急速に減衰することである⁽¹⁵⁾。これはまた、有限長で切断する影響を除くための条件でもある。

8. 結 言

以上、自己補対アンテナに関する筆者の最近の研究を中心に、定インピーダンス・アンテナに対する筆者の見解を述べたが、理論的な面でも応用面でも、この種のアンテナがさらに発展し、広帯域高利得アンテナの設計に役立つことを切望してやまない。

文 献

- (1) 虫明康人：“スリット 空中線のき電点インピーダンス”，電気学会，電気通信学会東北支部連合講演会要旨，p 25, (昭 23-06)。
- (2) 虫明康人：“細げき空中線系のき電点インピーダンス”，電学誌，69, 3, p 87, (昭 24-03)。
- (3) S. Uda and Y. Mushiake：“The input impedances of slit antennas”，Tech. Rep. of Tohoku Univ., 14, 1, p 46, (Sept. 1949)。
- (4) V.H. Rumsey：“Frequency independent antennas”，1957, IRE National Conv. Record, pt. 1, p 114。
- (5) G.A. Deschamps：“Impedance properties of complementary multiterminal planar structures”，IRE Trans., AP-7, Special Supplement, s 371, (Dec. 1959)。
- (6) 虫明康人：“多端子定インピーダンス・アンテナ”，昭 34 信学全大 p 89。
- (7) たとえば，虫明康人：“アンテナ・電波伝搬”，コロナ社，p, 89, (昭 36)。
- (8) 虫明康人，齋藤秀昭：“立体自己補対アンテナについて”，昭 38 連大 (昭 38-04)。
- (9) McDougal, 毛利, 安達, 虫明：“筒型アンテナの素子について”，昭 32 連大 (昭 32-04)。
- (10) 虫明康人：“自己相似アンテナとしての筒型アンテナ”，昭 35 連大 (昭 35-07)。
- (11) R.L. Carrel：“The characteristic impedance of two infinite cones of arbitrary cross section”，IRE Trans., AP-6, 2, p 197, (1958)。
- (12) J.D. Dyson：“The equiangular spiral antenna”，IRE Trans., AP-7, p 181, (Apr. 1959)。
- (13) R.H. DuHamel and D.E. Isbell：“Broadband logarithmically periodic antenna structure”，1957 IRE National Conv. Record, pt. 1, p 119, (March 1957)。
- (14) 虫明康人：“対数周期アンテナの原理”，放送技術，13, 8, p 18, (昭 35-08)。
- (15) E.C. Jordan, G.A. Deschamps, J.D. Dyson and R.E. Mayes：“Developments in broadband antennas”，IEEE Spectrum, p 58, (April 1964)。

UDC 621.396.67

3.3 折 返 ア ン テ ナ*

正 員 内 田 英 成†

1. 折返アンテナに関する沿革

現在折返アンテナと称されているものが、いつ頃着想され、誰が創始したのかということになるとあまりはっきりしない。その歴史的なことをよく調べ上げた上でことではないので、正確なことはいえないが、手許にある僅かばかりの資料から推理してみるに、どうも C.S. Franklin あたりにその発端があるように思える。年代でいえば、1920 年代の頃である。無線通信の方面で、当時世界の指導的地位を占めていた Marconi 無線電信会社を 1 人で築き上げたといっても過言ではない偉才として知られていた Franklin は、

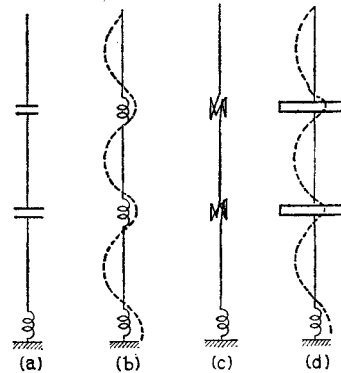


図 1 多段垂直アンテナ

アンテナの方面にも、数々の天才的な業績を残した人である。

図 1 は Tiered aerial⁽¹⁾ と称されるもので、短波通

* 3.3 Folded Antennas. By HIDENARI UCHIDA, Member (The Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai). [資料番号 5777]

† 東北大学電気通信研究所