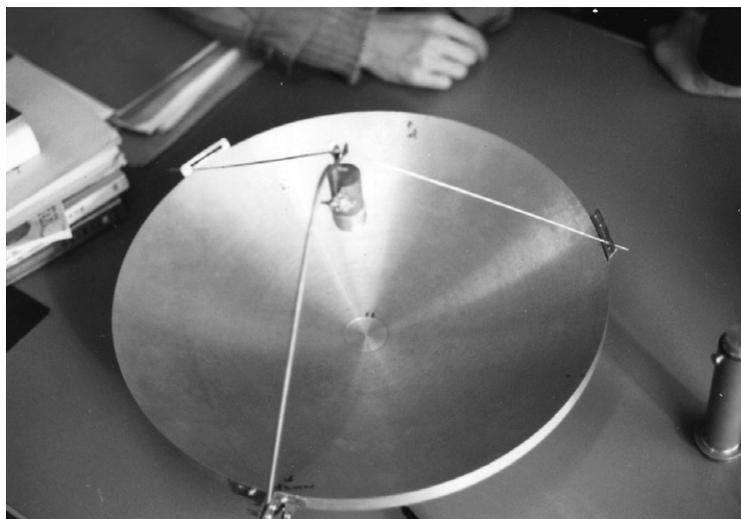


アンテナ研究のための電波暗室手作り体験記

平成 15 年秋、秋田高専電気情報工学科に Xバンドの簡易型コンパクトレンジが設備された。これは、長方形の電波暗室とその中のオフセットパラボラアンテナから構成されるもので、平面波環境でのアンテナ実験を全天候で可能とする設備である。ここでは、その導入経緯について、初期の電波吸収体試作の体験を混じえながら紹介する。

秋田工業高等専門学校
嘱託教授 宮田 克正



実習工場で作成したパラボラアンテナ

はじめに

昭和 47 年 4 月に秋田高専電気工学科（現電気情報工学科）に赴任した。それまでは神奈川県にある電機会社のマイクロ波技術課でアンテナの開発・設計に係わっていたこともあり、秋田高専でもアンテナの研究が出来れば、との期待をもった赴任であった。しかし、すぐさますべてをゼロから始めなければならないとの認識を余儀なくされた。唯一の救いは、学生実験用マイクロ波実験装置一式（2K25 クライストロン）が実験室の棚の中にあっただこと、そして学生訓練用の実習工場があったことである。予算が少なかったため、とにかく自分で作るしかなかった。実習工場の時間割は結構過密で、午後 4 時過ぎにならないと教員の利用が出来なかったが、それでも 5 時までの 1 時間の利用を楽しむには、よく旋盤を回しアンテナ部品を製作した。



図 1 アンテナの放射パターン測定風景
（秋田工業高等専門学校電気情報工学科）



図 2 アンテナ放射特性実験風景

本稿では鋳造によるパラボラアンテナの試作、校舎屋上を実験場としたアンテナの放射パターン測定実験、電波暗室の試作、最終的に完成したコンパクトレンジ環境の構築・評価等について紹介する。

実習工場での鋳造アンテナ製作と屋外でのアンテナ実験

実習工場で作成した直径 50cm のパラボラアンテナ（昭和 51 ~ 52 年頃）を冒頭に示す。パラボラ反射鏡は学生実習用の鋳造炉を利用し、技術職員にお願いし



図3 アンテナ放射特性実験風景

て製作してもらった。これが私の研究の第一歩となった。図2は校舎屋上で幾度となく行った当時のアンテナ放射特性実験風景である。アンテナの放射特性測定は、周囲からの反射を除去する必要性から、屋外で行う必要があるが、当然ながら天候の影響を受けること、測定装置のウォームアップ時間が必要であること等から、周到な準備をしないと実験が出来ない。さらに、東北秋田の天候を考えると、冬期間の実験はほぼ不可能と言ってよい。

図3も昭和51年～52年頃の図2と同じ場所(屋上)での実験風景であるが、今考えてみると当時の卒業研究生はガッツがあり、悪天候にもめげずよく頑張ったものだと今更ながら感心する。次第に屋外でのアンテナ実験の限界を感じ、学校内での実験にシフトすることとなった。

鶏卵輸送用古紙パックを利用した電波吸収体

“電波暗室を作ろう”の中期目標を立て、思案の結果、鶏卵輸送用の古紙パックに着目した(図4)。古紙パックを5枚重ねにし、前3枚には墨汁を、後2枚には糊入り水溶液に黒鉛粉を混ぜ塗布した。合計3000枚を製作し、天気の良い夏休みに、野球グラウンドの隅に並べて乾燥させた。野球のボールが飛んできたのか、土混じりの跡が残ったものもあった。電気性能はというと、これが結構良好で、図5に示すようにXバンド(8～12GHz)の周波数に亘り、反射量が約-30dBの結果となった。これらの結果は電子通信学会でも発表した。質問が多かったように記憶している。当時学科には、電波暗室用のスペースは特になかったため、自分の教員室内(3m×3m×2.5m)に貼り付け、簡易電波暗室(兼実験室)として大いに利用した。

しばらくこの電波暗室で自分の研究や卒業研究を

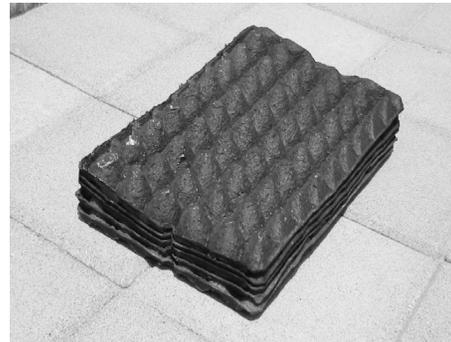


図4 鶏卵輸送用の古紙パック

昭和59年度電子通信学会総合全国大会

896 廃材を利用した電波吸収体の試作

Experiments on wasted-paper-remolded radio wave absorber
宮田 克正 東海 郁道 謝 武石 正義
Katumasa Miyata Naoki Shoji Masayoshi Takeishi
秋田 孝典 電原工 学科
Electrical Engineering Department, Akita National Technical College

まよがき

新聞紙に墨汁を塗り、作。電波吸収体の実験結果については既に報告があるが、本論文では古新聞紙を巻紙状にして利用されているタマゴ輸送用クッションに墨汁及び黒鉛を塗布、乾燥した簡易電波吸収体を試作し、実験を行ったので報告する。

要旨

本実験に使用した紙クッションを示す。このクッションの寸法は45cm×29cmで、凹凸の隙間が山から山まで約5cmである。実験では、このクッションを5枚重ねて吸収体としたが、正面から3枚は墨汁を、後の2枚には黒鉛を混ぜ塗布させたものを使用した。吸収体は電波暗室用吸収体として用いる場合、広い角度にわたる入射角が考えられるので、本実験では20°から90°の範囲に入射角に電界平行(E_∥)及び電界垂直(E_⊥)の2種類に対する反射係数を測定した。実験はマイクロ波帯(8.0～12.4GHz)において、測定帯域で行った。最初に視測電波吸収率と向きの金属板からの反射量を測定し、電波帯の同軸アッパサテレベル校正曲線を用いて、周波数とスィーアオフレベル校正曲線を描いた。次に電界平行と電界垂直の両方について、入射角60°の周波数特性であるが、最高吸収率-29.48である。図3は周波数12GHzでの周波数に対する角周波数特性を示す。入射面が平面状の吸収体では、入射角が増大するとその反射係数は一般に増大するが、今回試作した吸収体は、入射角が増大するにつれて、はっきりとした傾向は見られない。f=12GHzでの反射係数の最低値は入射角60°の場合で、約-27.48である。

まとめ

タマゴ用のクッションに墨汁、黒鉛を混合させて、電波吸収体としての効果について実験を行ったところ、ほぼ満足できる結果が得られた。この吸収体は、簡易で製作、録の部分の反射がやまといふ程の悪影響はないが、製作が容易かつ廉価であるので簡易電波暗室の吸収体として有効であると認められる。

謝辞

日頃御指導いただき本校電原工学科、佐藤治教授様に感謝します。

参考文献

(1)藤 健一他：“ミリ波・マイクロ波帯電波吸収体”
信学誌(B), J64-B, No.9, Sept. 1981

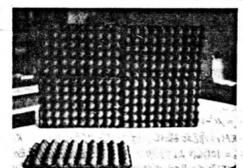


図1 試作吸収体の外観図

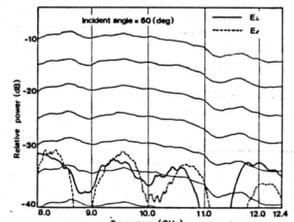


図2 入射角60°の周波数特性

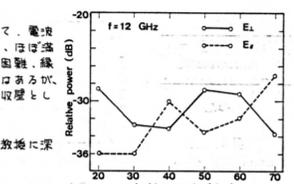


図3 f=12GHzの角度特性

3-231

図5 古紙パック電波吸収体の特性

行ったが、アンテナの研究が少しずつ進むにつれて、より高性能な電波吸収体が必要となってきた。平成に入り、実験室の再配置などが行われ、自分の教員室とは別に電波暗室のための実験室が確保出来ることとなった。これに伴い、それまで使用していた教員室の古紙パック電波吸収体を実験室に移すとともに、その前面に、活性炭/ポリスチロール電波吸収体を追加配置した。この電波吸収体は、その寸法が69cm×

53cm×12cm であり、これに 520 個の円錐状の穴をあけ、これに活性炭粉末を封入し蓋をして製作したものである。秋田県の男鹿半島にあるハタハタ魚箱の製造会社の社長に依頼して、“ある時払いの催促なし”で製作してもらった。この電波吸収体の電気性能も前述の古紙パック電波吸収体とほぼ同等の性能を示したが、両者を組み合わせることにより、総合の反射レベルはさらに低減され、周波数 12GHz で -40dB 程度まで改善した。

平面波発生アンテナの試作（第一世代のコンパクトレンジ）

アンテナの放射パターン、利得などの諸特性を測定するためには、電波暗室内で平面波を発生させる必要がある。この環境はコンパクトレンジと呼ばれ、全天候でのアンテナ特性評価環境として、いくつかのタイプのものが発売されている。当然のことながら、その価格はあまりに高額であり、導入は不可能であった。そこで、研究室では、図 6 のような WRJ-120 の導波管 45 本を平面状に配列した約 1m × 1m のアレーアンテナを製作した。このアンテナの中心周波数は 12GHz であり、図中の左側に設けられた自作の減衰器、移相器により給電されている。このアレーアンテナ全体は、その後左右回転が可能で、さらに電波の伝搬軸に直角な面内で回転可能な機構に取り付けられ、垂直・水平の両偏波に対応可能な送信波源として活用されることとなった。本コンパクトレンジアンテナを利用して測定した小型電磁ホーンアンテナの特性測定結果は、屋外で測定したデータとよく一致し、米国 IEEE 学会論文に投稿した結果、採択となった。

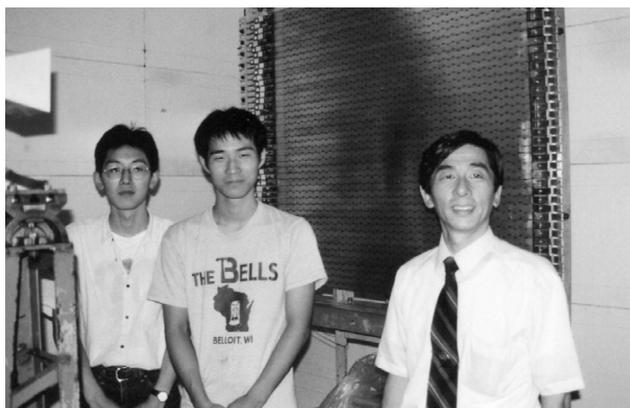


図 6 卒業研究で試作した第一世代のコンパクトレンジ

電波暗室の整備に伴うコンパクトレンジの構築（現在のコンパクトレンジ）

平成 14 年度までは、前述の手作り環境で小型アンテナの特性評価を行ってきたが、平成 15 年度には校舎の改築が行われ、高性能の電波暗室が整備されることとなった。幸いこの電波暗室の整備と同時に、直径 1.8 m φ のパラボラアンテナの導入も実現し、これを平面波発生用アンテナとした簡易コンパクトレンジの環境構築が一気に進むこととなった。図 7 はこのコンパクトレンジのイメージである。オフセットアンテナの開口部前方、約 1.8 m 付近に被測定用の試験アンテナを配置し、オフセットアンテナからの平面波（準平面波）を受信して特性測定を行う。

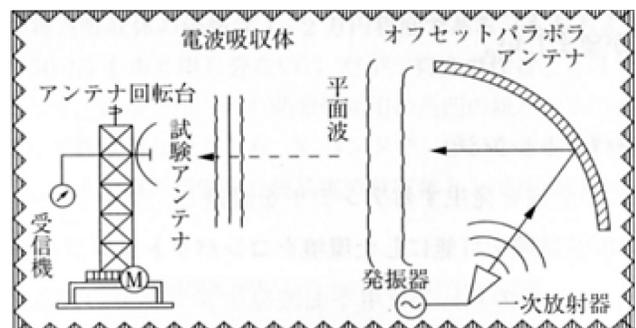


図 7 コンパクトレンジのイメージ図

図 8 はこのコンパクトレンジの測定システムを示したものである。この図では、主反射鏡の近傍界測定／評価のためのプローブが取り付けられている。図中、波線内は電波暗室前室の信号系統を示しているが、DRO 発振器からの電波 2 分配され、減衰器や移相器を経由してオフセットアンテナの垂直偏波、水平偏波用の分波器に独立に給電されている。このシステムにより、試験アンテナの E 面および H 面放射パターン測定が可能である。また、移相器の位相の調整により、円偏波の発生も可能である。アンテナ回転台はパルス

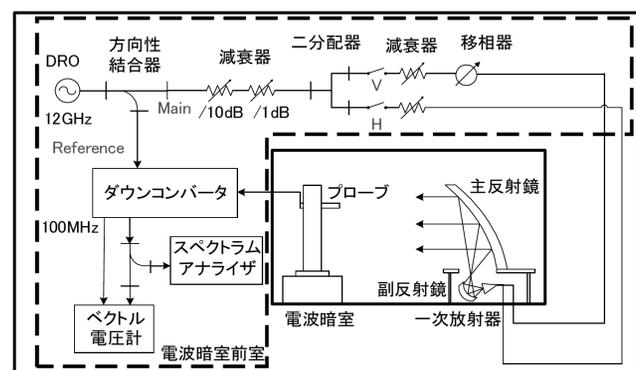


図 8 コンパクトレンジの測定システム

モーターにより制御され、また測定データは GPIB で取得している。これらのソフトウェアはシステム構築当初は外注を考えていたが、見積額を聞いてびっくり、100 万円以上もするという。そこで、卒研の学生に頼んだ。結果、“焼き肉食べ放題”で一件落着。空き時間にちょっとやってみた、とのこと。恐るべし学生の力である。

図 9 はコンパクトレンジの近傍領域を示し、図 10 は同領域の電界分布（水平偏波、アンテナ中央垂直断面）を示す。これも専攻科の学生が特別研究で数値計算した結果（二次元近似、BEM（Boundary Element Method（境界要素法））、12GHz）であるが、アンテナの近傍電界の様子をよく表している。ここでは実測結果は示さないが、実測結果と数値計算結果は非常によく一致しており、学生の力を改めて感じさせられた。

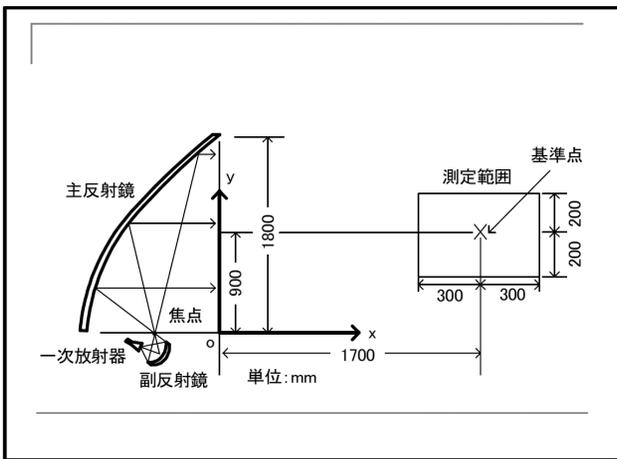


図 9 コンパクトレンジの近傍領域

現在、このコンパクトレンジは、教員の研究、卒業研究、特別研究、そして専攻科の講義科目である電磁波工学の実習（電磁ホーンアンテナの設計・試作・評価）等において利用されている。

おわりに

小型アンテナの特性測定・改善を主たる研究テーマとして、長年研究を進めてきた。屋外での特性測定を必要とするアンテナ実験のためには、電波暗室が必要不可欠との判断から、その構築に多くの時間を割いてきたが、平成 15 年度についてその完成を見た。この間、アンテナの研究はもちろん、電波暗室の製作・評価に関して卒業研究・特別研究として学生諸君が大いに活躍した。敬意を表し、感謝したい。

完成したコンパクトレンジが今後益々活用されることを期待している。

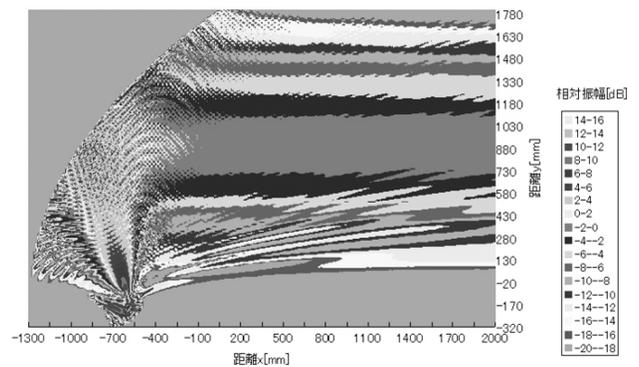


図 10 コンパクトレンジの近傍領域の電界分布



秋田高専は、全日本学生室内飛行ロボットコンテスト（日本航空宇宙学会主催）に参加し好成績を残している。平成 20 年 3 月に開催された第 3 回コンテストから連続 4 回の優勝の実績を有する。名前は“メイフライ（Mayfly）”。

ルールは時折変更されるが、例えば平成 22 年 10 月の第 6 回コンテストでのルールは、縦 30 メートル、横 35 メートルの枠内で飛行ロボットを操縦し、床上に描かれた直径 10 メートルの 3 つの円の中心めがけて、ロボットに積んだお手玉を落とし、その中心に近く落下するほど高得点となる、というもの。また、宙返りを行う、2 本のボールの間を通過する、操縦用リモコンから手を放した状態で 3 秒以上飛行できる、などの課題をパスするとさらに加点される。

いずれの年度においても、ルールの変更にかかわらず、いかに安定して飛行ロボットを操縦できるかが問われる。航空工学を学ぶ他大学や高専の挑戦を退けての近年の“空中戦制覇”。学生は次へのモノづくりに向けて余念がない。



帰還するメイフライ