

放物面型 THz 帯受信システムの開発

安井孝成^{*1} 菅原貴哉^{*1} 鈴木 哲^{*2} 富岡 充^{*3} 上村勝博^{*3} 行方武夫^{*3}

Development of THz Receiver System Using Parabolic Mirror

by

YASUI Takanari^{*1}, SUGAWARA Takaya^{*1}, SUZUKI Tetsu^{*2}, TOMIOKA Mituru^{*3},
KAMIMURA Katuhiro^{*3} and NAMEKATA Takeo^{*3}

抄 録

THz帯電磁波の用途が、各分野で広がりつつあるが、特に欧州を中心として、X線に比べて安全性に優れた医療診断技術としての優位性が指摘され、実用化に向けた大型プロジェクトがスタートしている。しかしながら、プロジェクトで研究対象となっている技術は、超短パルスレーザを必要とし、装置の大型化が避けられず、感度、応答速度、コスト面等で問題がある。一方で、ショットキーダイオードを用いた高速応答・超高感度受信システムの開発が古くから行われているが、数THz以上での利用上、克服すべき課題が多い。本報告は、従来型THz帯受信システムの諸問題を解決する世界初の新構造提案と、その設計・製作を行い、初号機システムのTHz帯受信テストに成功した結果である。

1. 緒言

高密度情報通信、人体に悪影響が少ないとされる次世代断層医療診断、核融合研究におけるプラズマ電子密度測定などの分野でTHz波の利用が大いに期待されている。欧州で2001年から始まった大型プロジェクト⁽¹⁾⁽²⁾は、THz帯電磁波を使った画像診断システムの開発を主目的とし、X線診断に代わる新しい断層診断システムの開発を目指している。これらのプロジェクトで検討されているシステムは、主にTHz帯電磁波の1サイクルに当たるps程度の超短パルスレーザを用いるもので、その光源については日本の研究⁽³⁾を中心にかなり進展しているが、受信側のシステムには進展が無い。この方式でのTHz帯システムは、一般的に装置が大型化し、感度、応答速度、コスト、扱いやすさの点で未だ課題が多い。一方、超高速・高感度THz帯受信システムにはショットキーダイオード(SBD)とコーナーリフレクタ・及びワイヤアンテナの組み合わせ(コーナーキ

ューブ型)⁽⁴⁾等が用いられてきたが、数THz以上では、調整が非常に困難で、周波数依存性も大きく、実用上の大きな障害の一つであった。本研究では、この超高速・高感度受信システムにターゲットを絞り、扱いやすさと数THz以上に及ぶ受信帯域の拡大を目的に、新型ミラーの設計・開発を行い、その初号機試作に成功した。

2. 新構造と特徴

本構造の基本概念を図1に示す。ワイヤアン

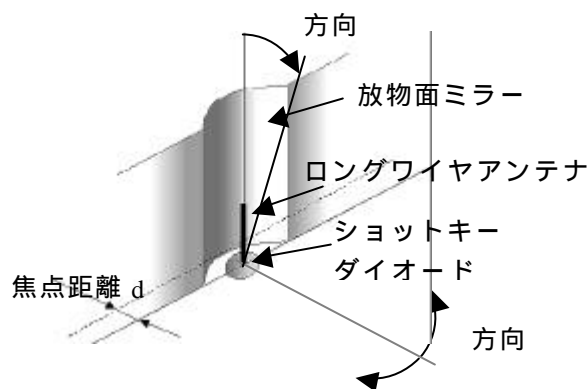


図1 放物面ミラーアンテナ

^{*1}長岡技術科学大学、^{*2}仙台電波高専、

^{*3}八海クリエイツ株式会社

テナ、放物面柱ミラー及び、検波を行う SBD で構成される。

第一の長所は、調整の容易さが格段に向上することである。入射波が放物面で反射し焦点に集中するため、ワイヤアンテナ位置を使用周波数によって移動することなく数 THz までの広帯域受信が可能である為である。従来のコーナーキューブ型ミラーを 5THz 以上の帯域で利用するためには、アンテナとミラー間距離を周波数に反比例して数 $10 \mu m$ 以下に調整する必要があったが、本

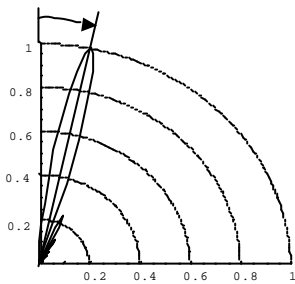


図 2 方向指向性

構造ではワイヤアンテナを焦点位置に固定したまま使用可能なので、操作性が格段に向上する。指向性シミュレーションの結果から、方向の最大入射角はワイヤアンテナの指向性を反映して 24° (図 2)、方向の最大入射角は放物面ミラーの指向性を反映して 0° (図 3) の方向から電磁波を入射させた場合に最も効率良く電磁波を受信する。

第 2 の特徴は、その帯域の広さである。予想される指向性利得の周波数依存性 (計算、図 4) は、本システムでは数 THz 全域でほぼ一定であり、コーナーキューブ型に比べ格段に高帯域化が可能である

3. 製作した放物面ミラーシステム

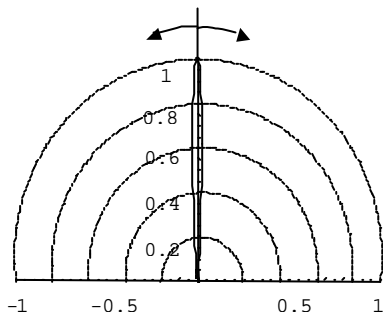


図 3 方向指向性

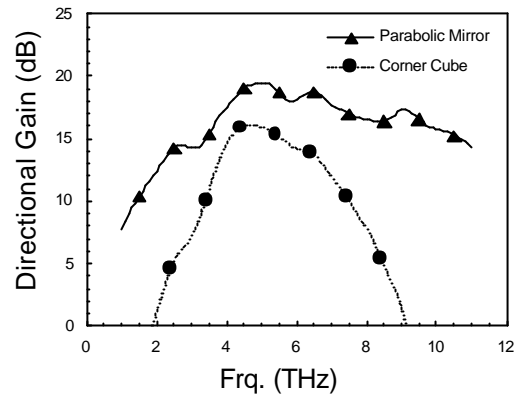


図 4 指向性利得の周波数依存性

製作した放物面ミラーアンテナ (図 5) は主に 3 つのパーツで構成され、放物面ミラー、ステージ及び SBD を半田付けするマウントポストである。放物面ミラー材料は、表面の機械的強度が高くかつ腐食しにくい SKS31 とした。このステージはアリ溝構造とし、放物面ミラーをマイクロメータヘッドでスライド調整可能とした。また、マウントポストもステージ溝に空けた穴より下方からマイクロ

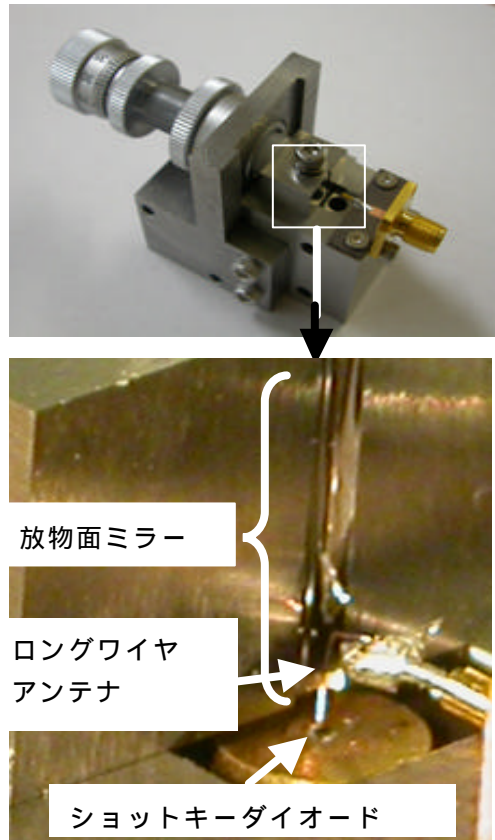


図 5 放物面ミラーアンテナシステム

メータヘッドにより高さ調整を可能とすることで、ワイヤアンテナとコンタクトさせる。図5には、ワイヤアンテナとSBDとのコンタクト部分を示した。

本システムの中で最も重要な放物面ミラーは、ワイヤアンテナ径 50 ミクロンに対して集光率を高くするために、高い加工精度が要求される。さらに、上記のようにその材質 (SKS31) の硬度は HRC61 以上であり、一般的な工具以上の強度を有する。これらの条件下で、理想的な放物面形状との誤差を極力低減化する必要がある。図6はその加工後の放物面形状測定の結果である。図6の上図が理想形状と重ねて表示したもので、縦軸フルスケール 0.25mm に対してその誤差は確認できない。図6の下図は、理想形状との差を表したもので、縦軸スケール単位は mm である。この結果から、放物面内に左右対称に誤差 2.5ミクロン程度が確認された。

この誤差が集光率に与える影響を光線追跡して予測したものが図7である。放物面は図6の測定結果としている。光線軌跡の方向だけでなく、全ての光線の同一位相面が焦点位置に集光することが理想である。この理想

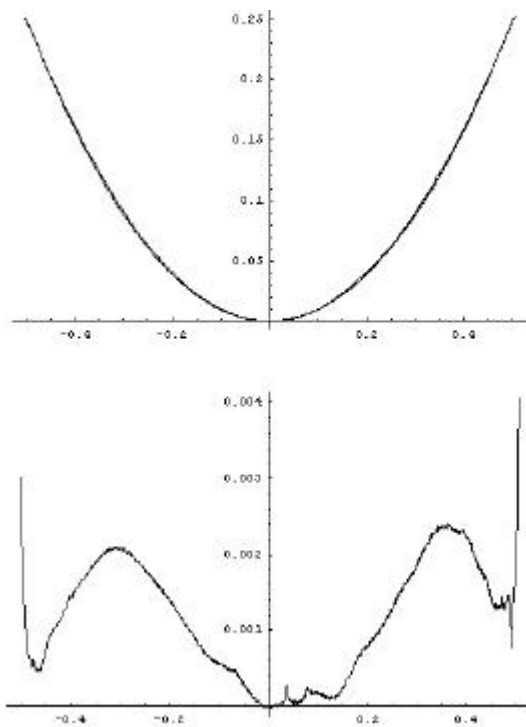


図6 放物面ミラーの形状評価

的な集光条件を 100%とした場合、ワイヤアンテナ直径 50 ミクロン以内に集光する確率は 95%と予測された。この結果、製作した放物面ミラーは十分な集光効率が期待できる。

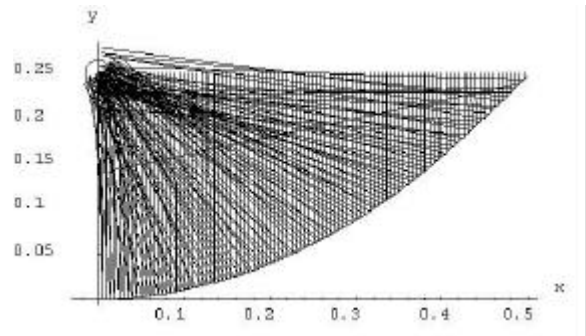


図7 形状誤差による収差予測

4. 初期性能評価

本ミラーシステム単独での評価は困難であり、SBD の性能を含めた評価となる。従って、SBD チップの個体差や性能に大きく左右されることが予測された。しかしながら、アライメント等の最適化が不十分な条件下にも関わらず、1.4THz レーザー光のダイレクト検出に一回で成功した。その結果を図8に示す。

1.4THz レーザー光源を 15Hz でチョッピングすることで、検出の確認を行っている。結果はネガティブ表示になっており、矩形パルスの底の位置で THz を受信していること

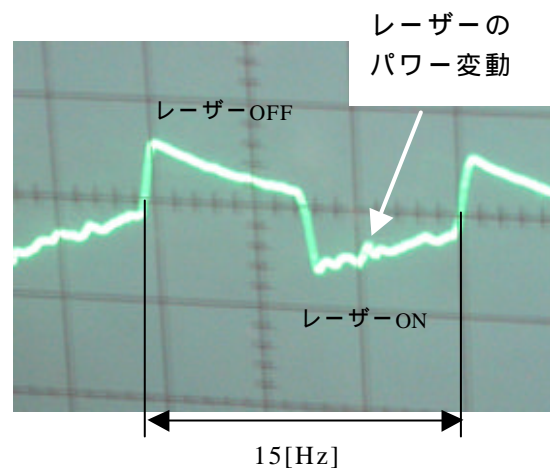


図8 1.4THz 受信の確認

を示し、またその間のレーザー光源のパワー変動（おそらく MHz 程度）を確実に検出している。初期性能としては非常に良好な結果であり、その潜在性能の高さを実証することに成功した。

今後さらに各部の最適化を行い、より低ノイズ、高感度化を目指すことが期待できる。また、SBD の素子自体は 250 ミクロン角であり、将来は、アレイ化による 2 次元受信システムへの拡張も可能である。

5 . 結言

- (1) THz 帯域で使用可能な放物面ミラーの製作に成功した。
- (2) 1.4THz の実証実験から、十分な性能を検証した。
- (3) 従来型ミラーに比較し、アンテナ及び素子の位置調整を非常に簡素化する事に成功した。

参考文献

- (1) <http://www.teravision.org/> を参照
- (2) <http://www.frascati.enea.it/THz-BRIDGE/> を参照
- (3) 川瀬晃道、伊藤弘晶：応用物理学会誌 71, 167 (2002).
- (4) T. Suzuki 他：IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT-47, 1649 (1999).