

### 3.7.1 電磁波計測研究所 センシング基盤研究室

室長 落合 啓 ほか9名

#### 大気環境計測診断等を実現する高周波電磁波技術の研究開発

##### 【概要】

センシング基盤研究室では、高周波電磁波センシング技術の研究開発を進めている。これは、大気中に分布する汚染物質の測定や上空の風の3次元的可視化などのリモートセンシングや、震災による被災家屋の診断などの非破壊センシングを実現する技術であり、また、無線通信への応用も可能な基盤技術である。特に、(1)風向風速、温室効果ガス、PM2.5等の微粒子をレーザー光により観測する光アクティブセンシング技術、(2)対流圏上層やさらに上空にある雲、大気汚染物質、気候変動に関連する微量物質等をミリ波やテラヘルツ波で観測する環境スペクトロスコーピー技術、(3)建築物の壁表面や壁内部数cmの状態の診断のためにマイクロ波から赤外線を利用する非破壊センシング技術、の研究開発を進めている。(1)、(2)のリモートセンシングの技術では、将来の宇宙からの地球観測ミッションも見据えた研究開発を進めている。

##### 【平成25年度の成果】

##### (1) 光アクティブセンシング技術

レーザーパルスを大気中に発射し大気中の化学組成や微粒子などの計測対象に当たって返って来る光を受信して計測対象の空間分布を計測する、光アクティブセンシング技術(ライダー技術)の研究開発を進めた。特に、目に安全な波長 $2\mu\text{m}$ のレーザー光を用いて大気中の風の分布(図1)や $\text{CO}_2$ の分布を3次元観測するためのライダー技術の実証実験を進めた。さらに、ライダー技術の高度化として、移動観測や搭載観測に適用可能なモバイルシステムの制御部(写真1)を開発し動作実験を進めた。観測効率の向上を目指した高繰返しレーザーの開発においては、連続発振(CW)レーザーにおいて9Wの発振出力、パルス発振において6W級の発振出力を実現した。

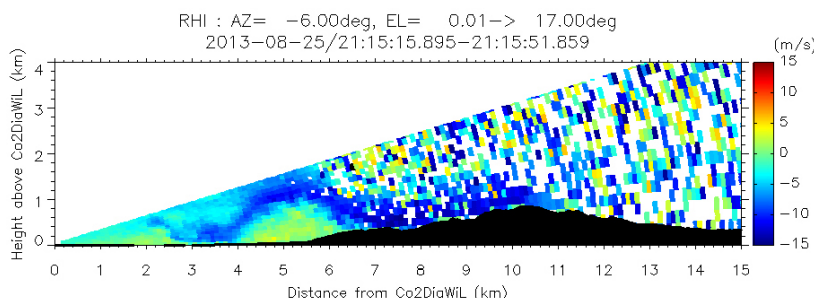


図1 ライダーによる鉛直断面の風分布観測の例  
地形は黒く示している。青系の色は向かって  
来る風、赤系の色は遠ざかる風。

写真1  
モバイルシステム制御部



##### (2) 環境スペクトロスコーピー技術

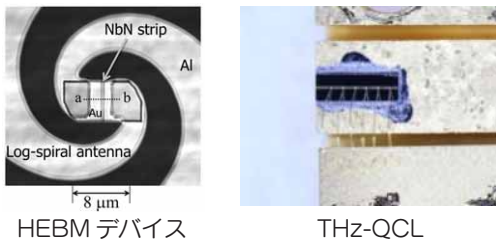
光からミリ波にわたる電磁波のスペクトル解析を行うことでオゾンホールや地球温暖化などの現象に影響を及ぼす大気中の微量成分の検出を行う、リモートセンシング技術の研究開発を進めた。

未踏領域であるテラヘルツ波技術では、3 THz近傍において連続発振するテラヘルツ量子カスケードレーザー(THz-QCL)の開発及びその高性能化を進めるとともに、3 THzにおいて応答する広帯域平面ログスパイラルアンテナを持つホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM)の試作及び評価を、未来ICT研究所及びテラヘルツ研究センターとの共同で進めた。これらTHz-QCLとHEBMを組み合わせてヘテロダイン受信機システム試験を行い(写真2)、光学系による付加雑音を含めた性能として受信機雑音温度1,930 K(DSB)を確認した。これは量子限界の約13倍に相当し、最終目標の量子限界の10倍以下を達成する可能性がさらに高まった。また、3 THzの参照信号のビート検出に成功し、3 THzヘテロダイン受信機としての動作確認を行った。さらに、このビート信号を用いて、THz-QCLのバイアスにフィードバックをかける

ことで、THz-QCLの位相ロックに成功し、線幅1 Hz以下を達成し、かつ、この信号をヘテロダイン受信機の局部発振器として用いてTHz信号の検出に成功した。これらにより、H<sub>2</sub>Oやその同位体等、大気中微量物質の検出に見通しがついた。

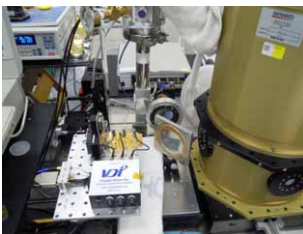
国際宇宙ステーション搭載JEM/SMILESによって観測されたデータをはじめとする地球観測データを解析し科学的成果の導出を進めた。JEM/SMILESの観測データから、一酸化臭素(BrO)の中間圏での日変化を世界で初めて明らかにした成果(図2)などを含め、科学的成果を複数の論文として発表した。

さらに、次世代のミリ波～サブミリ波による宇宙からの計測技術の基盤を確立することを目的に、外部と連携して190 GHz帯の低雑音増幅器の評価、また、宇宙用サブミリ波アンテナ材料の評価等を実施した。



HEBM デバイス

THz-QCL



ヘテロダイン受信機システム

写真2 3THzのホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM)、量子カスケードレーザ(THz-QCL)と、それらにより構成されるヘテロダイン受信機システム

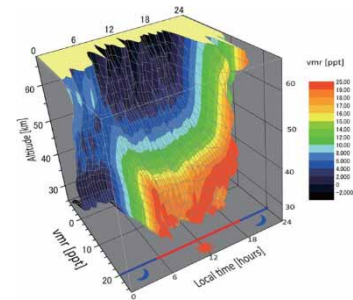


図2 JEM/SMILESによって観測したデータを解析して得られた大気中の一酸化臭素の日変動

### (3) 非破壊センシング技術

東日本大震災による建築物の壁面の背後や骨格等の損傷を、壁材を剥がすことなく透視診断する、電磁波を用いた非破壊センシング技術の研究開発を進めた。平成25年度は、壁紙背後の表層における数十cm四方の範囲を30秒程度の短時間で診断するために、平成24年度に開発した、2次元ロックインアンプによる高感度、高精細の赤外線診断システムの改良を行った。この結果、従来発見できなかったコンクリート表面の微細なクラックの検出も可能となった(図3)。さらに委託研究により、20 GHzまでのマイクロ波を使って木造住宅の壁内部にある筋交いの様子なども容易に3次元画像化することのできる性能を持つアレイ型レーダの試作機を完成した(図4)。

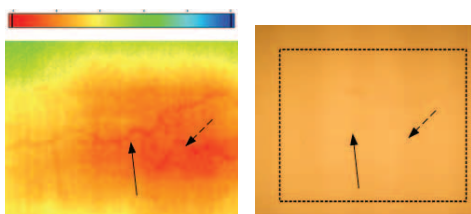


図3 赤外線診断システムで検出したコンクリート表面のクラック画像(左)と、クラックのあった壁の写真(右)

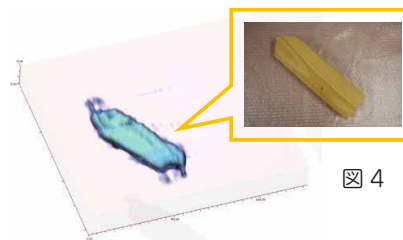


図4 委託研究により開発したマイクロ波試作レーダで透視した、石膏ボードの背後に置いた木片(右上)の3次元画像(左下)

### (4) 外部機関等との連携の強化

研究室メンバーが代表者である最先端・次世代研究開発支援プログラム(内閣府)「衛星アイソトポマー観測による地球環境診断」を推進し、衛星データ解析のアルゴリズム改良によるアイソトポマー存在比導出の高精度化を図ることでオゾンのアイソトポマーのグローバル分布や日周期による変化等を導出、また、衛星搭載サブミリ波小型サウダを目指したサブミリ波アンテナや光学系の小型化開発等を実施した。

国内外の諸機関と連携し、衛星搭載ドップラーライダーのミッション検討、また、大気汚染観測衛星センサの概念検討等を実施した。