

位相ロックTHz-QCLとHEBMを用いた3.7 THz帯メタノール放射スペクトルの検出

入交 芳久、川上 彰、諸橋 功、熊谷 基弘、長野 重夫、関根 徳彦、落合 啓、田中 秀吉、花土 ゆう子、鶴澤 佳徳、寶迫 巖
情報通信研究機構 THz研究センター

アブストラクト:我々は、飛翔体等による大気観測や天体観測を目的とした、THz帯における低雑音ヘテロダイン受信機の開発を行っている。THz量子カスケードレーザ(THz-QCL)を局部発信器としたホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM)の開発を行い、3.1 THzにおいてDSB受信機雑音温度1,200 Kを達成した。また、この受信機とTHz参照信号を用いて、THz-QCLの位相ロックに成功した。THz参照信号としては、我々が開発した周波数コムとUTC-PDを用いたTHz-CW発信器等を用いた。さらに、位相ロックされたTHz-QCLを局部発信器としたHEBMにより、ガスセルを用いて3.7 THz帯におけるメタノールの放射スペクトルの高周波数分解検出に成功した。将来の気球搭載、衛星搭載を検討している。

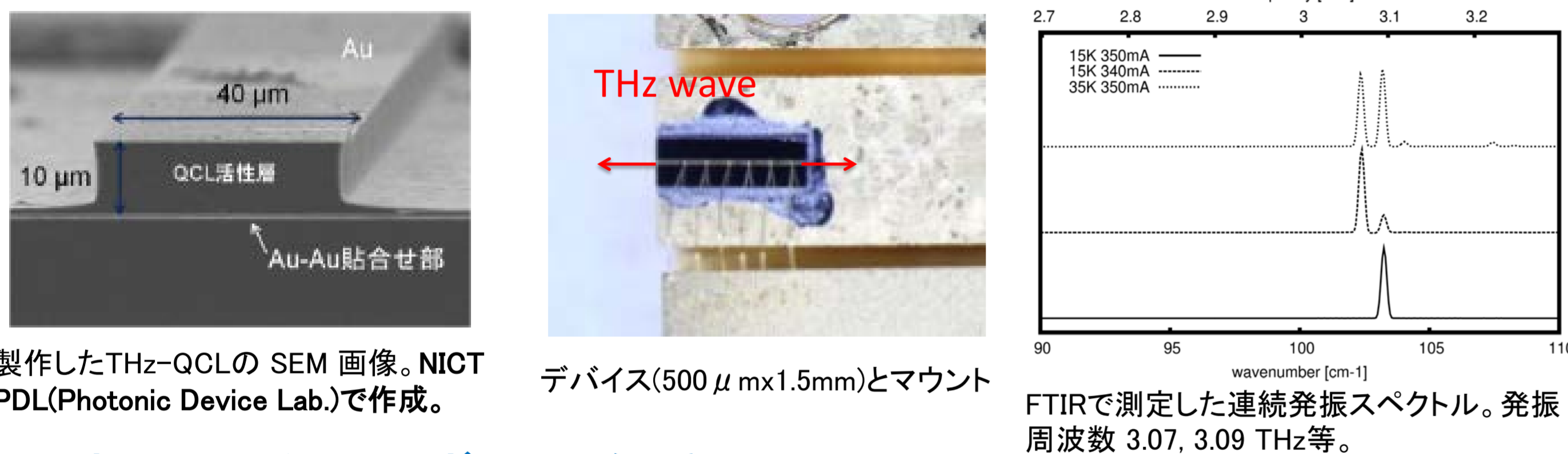
〇目的

地球大気観測や天体観測等への応用を目的とした、3 THz帯高感度ヘテロダイン受信機の開発を行っている。THz量子カスケードレーザ(THz-QCL: Quantum Cascade Laser)を局部発振器とし、超伝導を利用したホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM: Hot Electron Bolometer Mixer)を受信機に用いる。また周波数コムによる3 THz参照信号とHEBMを用いること等によりTHz-QCLのフェーズロックを実現し、地上ガスセルによる分子スペクトル検出による受信機動作実証を行う。

ONICTのテラヘルツ技術

1、テラヘルツ量子カスケードレーザ(THz-QCL)

THz-QCL(Quantum Cascade Laser)はTHz帯におけるコンパクト、狭線幅、高輝度コヒーレント連続波光源である。THz-QCLをヘテロダイン受信機の局部発振器として用いる。デバイス作成をNICTのPDL(Photonic Device Lab.)で行っている。これまでに3.1 THzにおいて、出力約160 μW(15K)の連続発振に成功している。



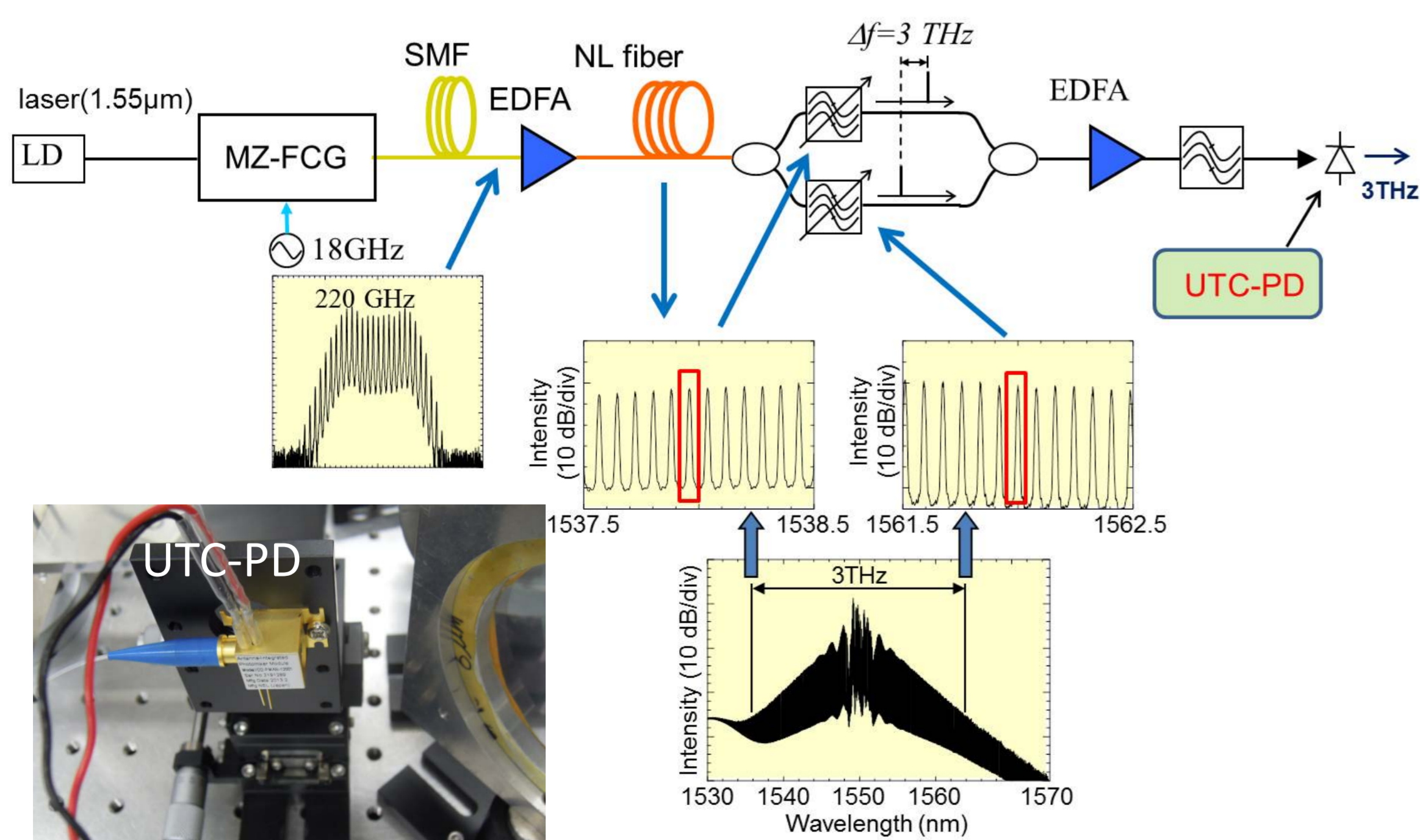
2、ホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM)

ホットエレクトロンボロメータミキサ(HEBM: Hot Electron Bolometer Mixer)は超伝導を利用したテラヘルツ帯における高感度センサである。NbNの超伝導薄膜(L0.2 μm x W2 μm x t3nm)と広帯域スパイラルアンテナによりテラヘルツの信号を波として検出する。HEBMデバイスの作成もNICTで行っている。THz-QCLを局部発振器とし、HEBMと組み合わせることで、高感度ヘテロダイン受信機を構成し、3.1THzで受信機雑音温度(DSB) $Tr_{x,uncorr}(DSB) = 1,200K$ (量子限界(hf/k)の約8倍)が達成された。



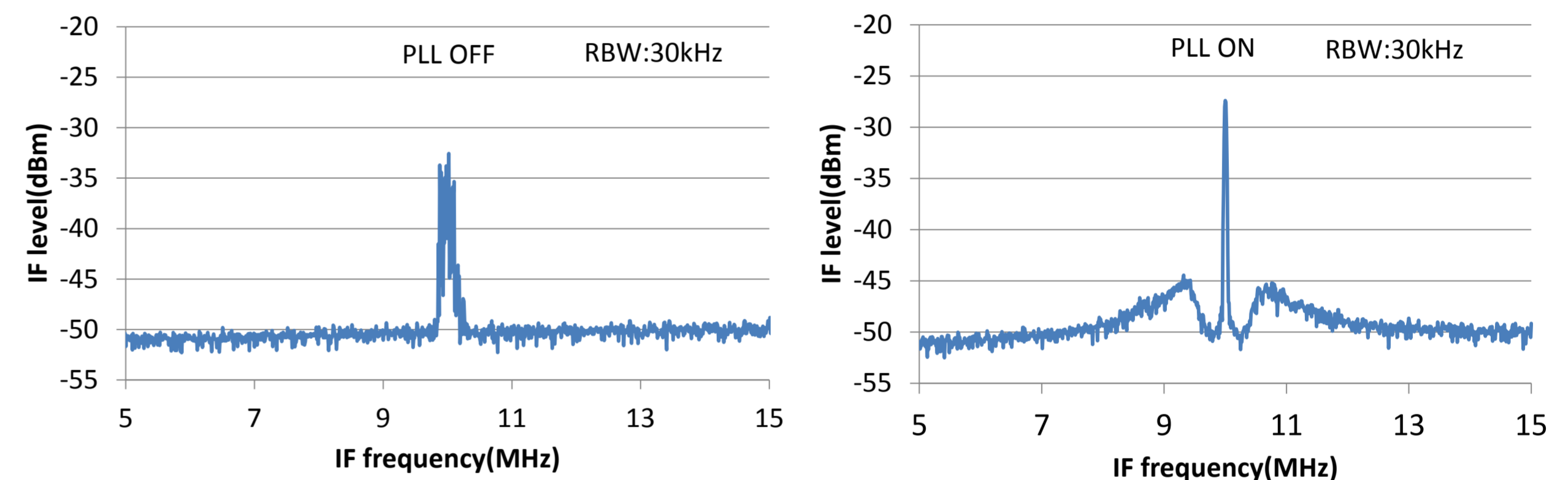
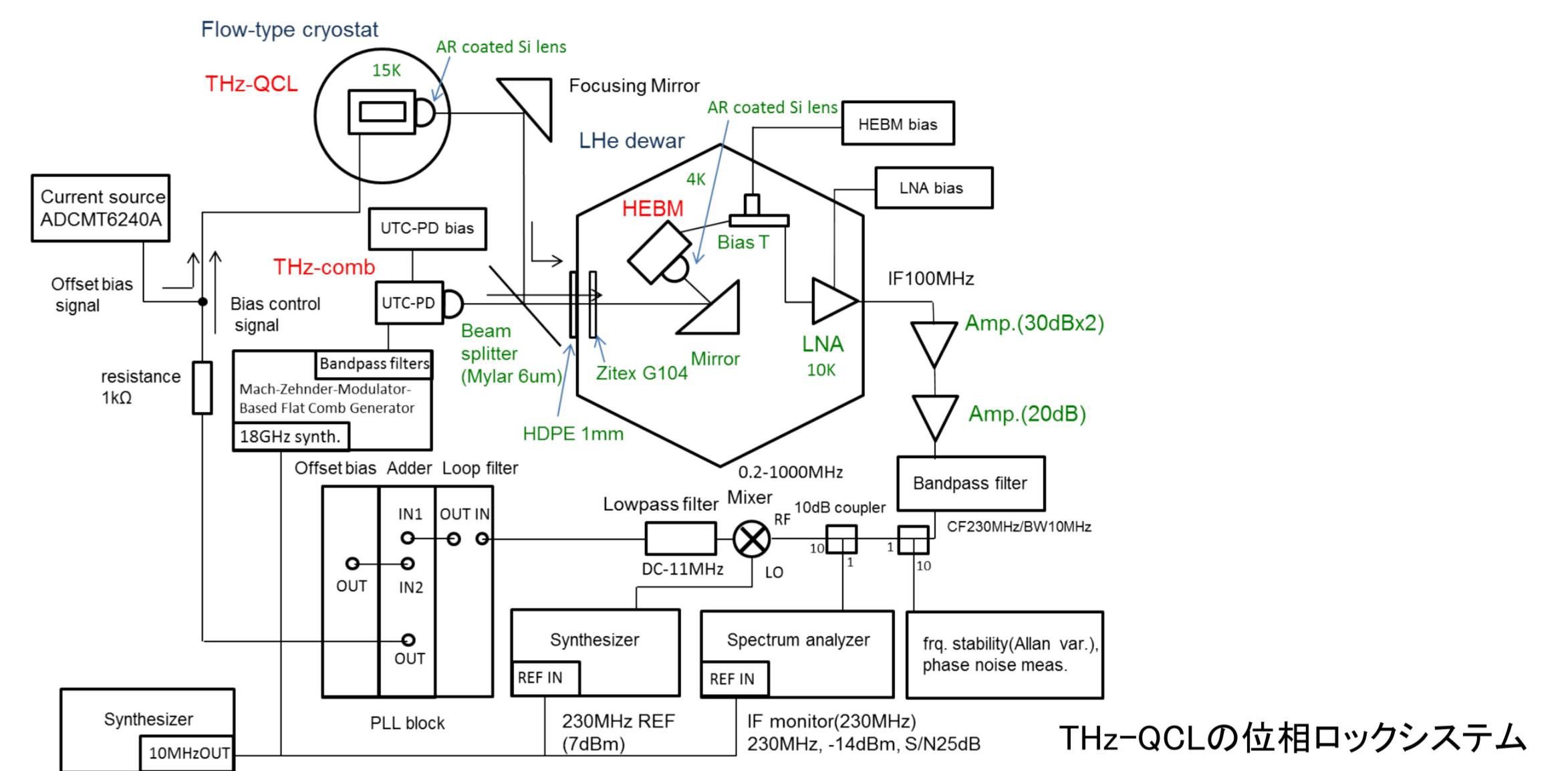
3、周波数コムを用いたTHz波CW発振

レーザ光(1.55 μm)をマイクロ波(~18GHz)で変調し、マツハチエンダ型光変調器を用いて平坦光コムを発生。非線形ファイバにより広帯域化したコムを発生させ、約3 THz離れた2本の信号をバンドパスフィルタにより抽出し、光伝導アンテナに取り付けた、UTC-PD(単一走行キャリアフォトダイオード(Uni-Traveling Carrier Photodiode))でビートを取ることで3 THz帯の連続波信号を発生させる。



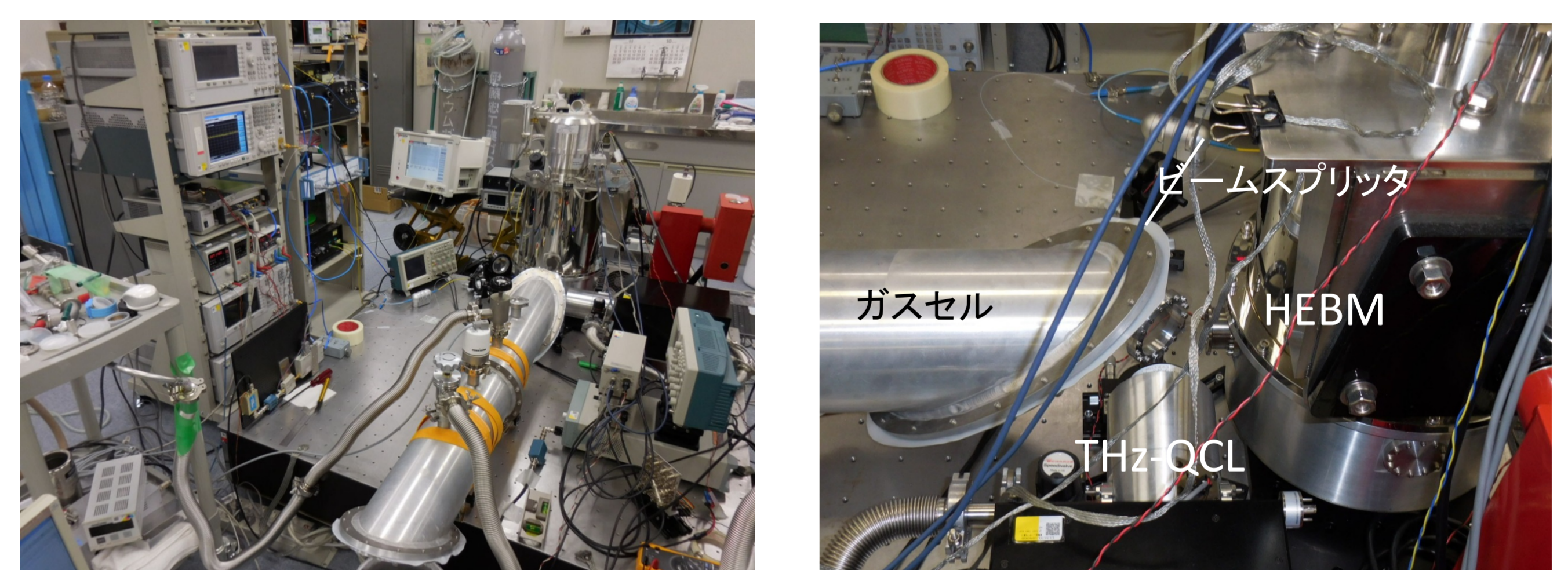
4、THz-QCLの位相ロック技術開発

大気中分子スペクトルを高周波数精度で測定するために、局部発振器に位相ロックをかける必要がある。周波数コムによるTH波CW信号を参照信号として、THz-QCLとのビートをHEBMにより検出し、エラー信号をTHz-QCLのバイアスにフィードバックすることにより、THz-QCLの位相ロックに成功した。位相ロックをかけないシステムに比べて、周波数分解能が2桁以上高い受信機の実現が可能になった。

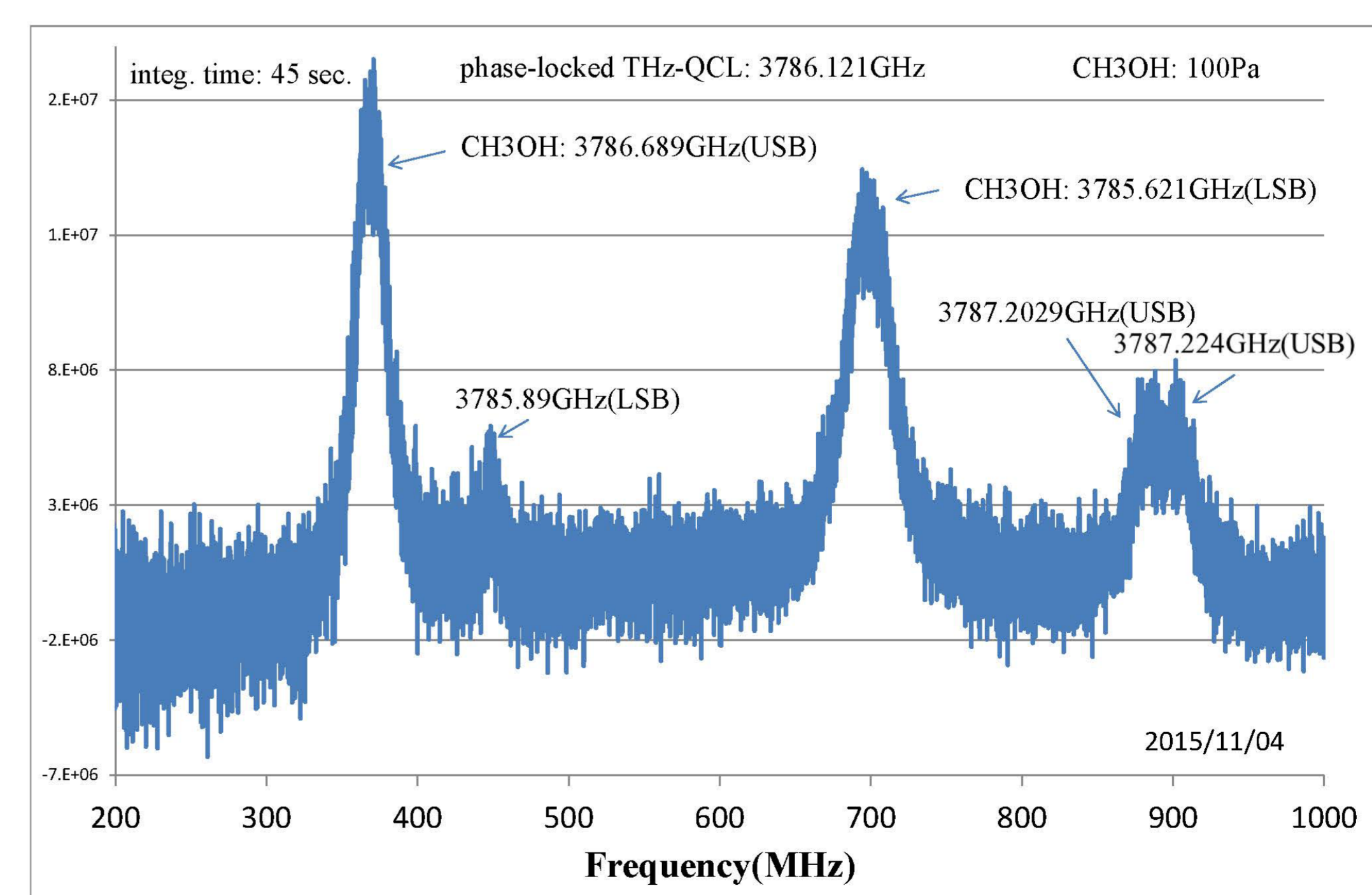


5、ガスセルを用いた、3.7 THz帯メタノール放射スペクトル検出

位相ロックをかけたTHz-QCLを局部発振器に用いたHEBM受信機により、ガスセルを用いて、メタノール(CH₃OH)の放射スペクトルの検出に成功した。このことにより、このヘテロダイン受信機が、大気観測用として動作することが実証された。



ガスセルを用いた、HEBM+PLL THz-QCLによる、分子放射スペクトルの検出システム



検出された3.7 THz帯におけるメタノール(CH₃OH)の放射スペクトル。ガス圧100 Pa。DSB受信のため、THz-QCLに対してLSB側とUSB側にあるスペクトルの両方が検出されている。