

# 平成22年度「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発」の開発成果について

## 1. 施策の目標

2010年度迄に、災害現場において離れた場所からの遠隔計測により、テラヘルツ(THz)帯の映像を取得する為のシステム(THz帯遠隔イメージャ)と、災害時に発生するCO等の危険ガスを検出する為のシステム(THz帯遠隔分光センサ)を開発し、更にこれらのシステムによって得られたTHz帯固有の情報を処理することにより災害現場の状況を正確に把握し、災害時に役立つ情報を提供する為の技術を開発する。

## 2. 研究開発の背景

電波(無線通信)と光(光通信)の境界領域に位置し、これまで未開の周波数領域と呼ばれていたTHz電磁波には、エレクトロニクスや光などICT関連の技術から幾つかのブレークスルーがもたらされ、近年その研究が活発化している。粉塵や煙を透過する、物質固有の吸収スペクトルを用いて物質の同定ができる、というTHz電磁波の特徴を用いることで、X線、赤外線、マイクロ波、ミリ波などの従来技術では実現不可能であった災害現場での被害を最小限に抑えるための新たな情報収集・流通技術が実現され、ICTによる安全・安心な社会が実現されると期待されている。

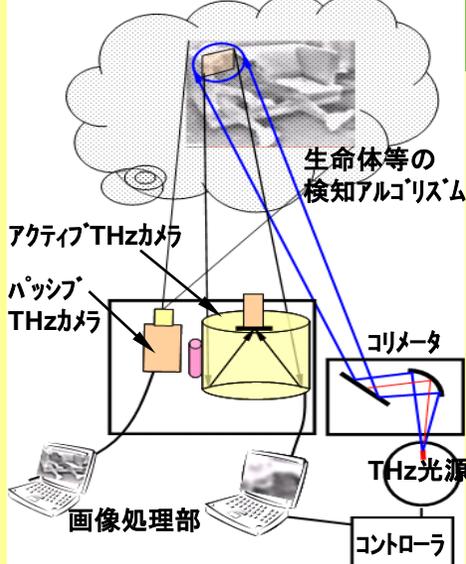
## 3. 研究開発の概要と期待される効果

THz技術は、主に①THz帯遠隔イメージング技術と②THz帯高速分光センシング技術に大別される(下図)。両技術の実現に必要な、光源技術、検出器(ボロメータ、ミキサ等)技術、送信・受信システム構成技術、較正・性能評価技術、データ分析・処理技術等の要素技術を確立し、これらを基に可搬性を備えたプロトタイプシステムを組上げ、煙や埃が存在する災害発生現場を模擬した環境において、THz波による遠隔イメージングおよび分光センシングのデモ実験を行うことにより、THz帯イメージング・分光センシング技術が、災害現場での状況把握、被災者の救援、二次災害の防止等に貢献できることが期待される。

### ① THz帯遠隔イメージング技術

**技術課題**

- A THzカメラ技術**  
THzアレイセンサ  
高透過率材料  
画像処理  
光学系等
- B THz固体光源技術**  
波長可変レーザー等
- C THz分光による生命体データ取得技術**  
生命体の検知アルゴリズム等



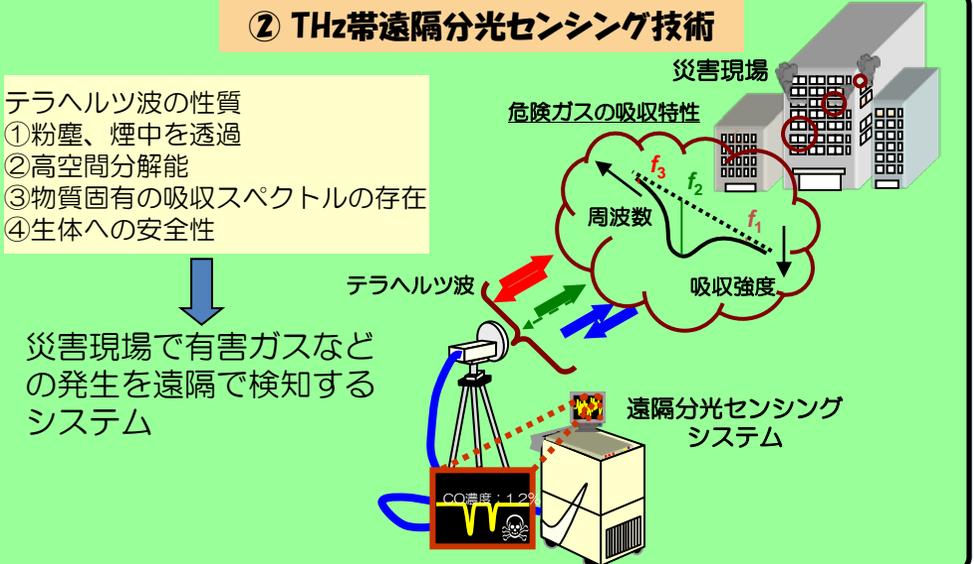
生命体等の検知アルゴリズム  
アクティブTHzカメラ  
パッシブTHzカメラ  
コリメータ  
THz光源  
画像処理部  
コントローラ

### ② THz帯遠隔分光センシング技術

テラヘルツ波の性質

- ① 粉塵、煙中を透過
- ② 高空間分解能
- ③ 物質固有の吸収スペクトルの存在
- ④ 生体への安全性

災害現場で有害ガスなどの発生を遠隔で検知するシステム



災害現場  
危険ガスの吸収特性  
周波数  
吸収強度  
テラヘルツ波  
遠隔分光センシングシステム

## 4. 研究開発の期間及び体制 平成18年度～平成22年度(5年間)

NICT委託研究(NTT、東京大学、NEC、名古屋大学、(有)スペクトルデザイン、日本ガイシ(株)、(独)産業技術総合研究所)

# ① THz帯遠隔イメージング技術の主な成果

## 煙や埃等の災害現場における状況把握

### A. ポータブルなTHzカメラの研究開発

- 2次元非冷却THzアレイセンサの開発
- THz透過材料の開発
- 画像処理技術の開発
- アクティブ・パッシブTHzカメラ、コリメータの開発

### B. ポータブルなTHz固体光源の研究開発

- 波長可変レーザと機械式冷凍機の一体型光源の開発
- 外部共振器型分光光源の実現

### C. 災害環境下THz分光による生命体データ取得の研究開発

- THz分光測定装置(災害模擬環境)の開発
- 生命体等のTHz分光のデータ蓄積と特定方法の提案

## A. ポータブルなTHzセンサ・カメラの研究開発



① 高感度非冷却THzアレイセンサの開発  
画素数320x240, 画素ピッチ23.5  $\mu\text{m}$

- 広帯域用センサ: 開発開始時の感度の約8倍。NEP=31pW=0.16pWHz<sup>-1/2</sup>
- 輝線用センサ: 開発開始時の感度の約15倍。NEP=16pW=0.08pWHz<sup>-1/2</sup>

② THz透過材料と無反射コーティングの開発  
➢ 開発開始時の透過率の3.5倍を達成。  
➢ コーティングの検量線の確立。

③ THzイメージャ(望遠鏡型、ハンディ型)とコリメータの開発

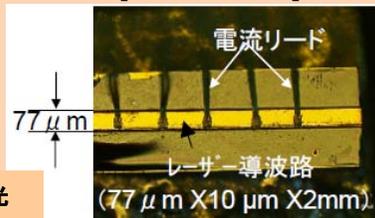
④ 信号処理技術(ロックインイメージング、フレーム積分、画素積分)の開発

③と④の組合せで、災害現場を模擬した環境(黒煙)で、THz光源(QCL)の反射画像(数m先)を捉えることができた(その他、5m先の人の検出、小分子・蛋白質の結合反応の実時間非標識検出等)。ハンディTHzカメラとTHz望遠鏡を用いたセンサのNEPの各目標値を達成(各々約8pW, 約0.1pW)。

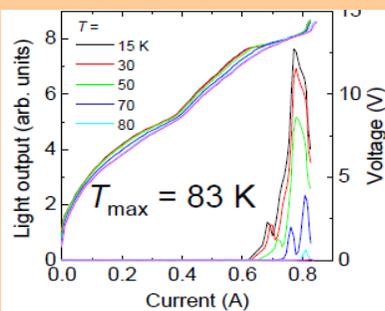
## B. イメージャ用THz固体光源の開発

● 量子カスケードレーザ(QCL)の発振に成功  
イメージャシステムの完成のために、アクティブ計測用の光源開発が焦点の急となった。そこでQCLの素子開発(レーザ導波路:幅77 $\mu\text{m}$ , 活性層厚10 $\mu\text{m}$ ,長さ2mm)を行い、最高温度83K(>液体窒素温度)での発振(周波数3.1THz、10 $\mu\text{W}$ )に成功した。(NICT自主研究チームと協力)

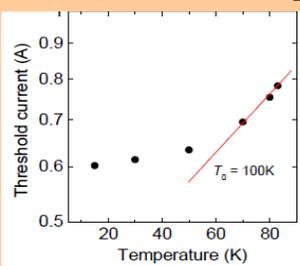
[QCL素子上面]



[異なる温度における電流電圧特性と光出力の電流依存性]

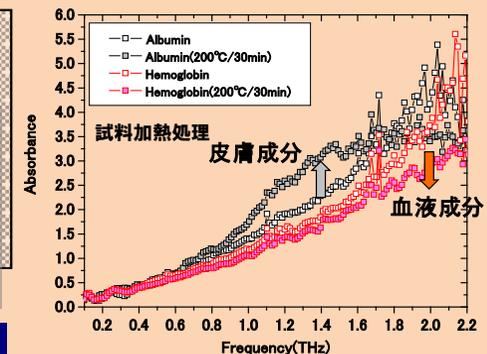
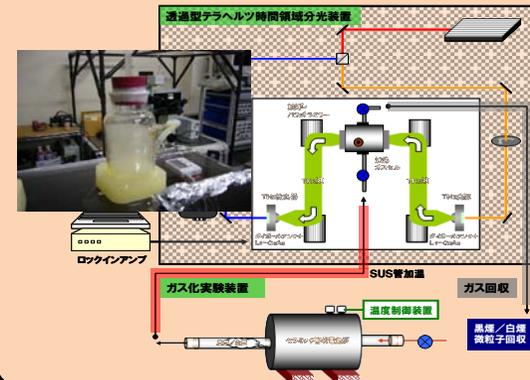


[発振閾電流の温度依存性]



## C. 災害環境下テラヘルツ帯分光による生命体データ取得技術

- 黒煙・白煙など赤外線が透過しない災害模擬環境下におけるテラヘルツ波透過特性評価。  
⇒ エアロゾル、水蒸気などを含む黒煙・白煙下においても透過率の著しい低下は見られなかった。従来のIRイメージが撮像不可の火災環境下での本技術の優位を示せた。
- THzによる火災環境下での生体特徴シグナルセンシング  
⇒ 火災環境を模擬した200°Cで30分の熱履歴により、THz吸収特性は血液成分は減少、皮膚成分は増加と逆の変化が得られた。タンパク質等の生体シグナルと、衣服(ポリエステルなど)との明確なTHz波長域での識別が可能であることを確認した。



## ② THz帯遠隔分光センシング技術の主な成果 その1

**A: 伝搬路を模擬するシミュレータを用いた大気減衰ロス・光学ロスの定量的把握**

→長距離THz波伝送の実現

**B: THzスペクトル解析技術の確立**

**スペクトルデータベースの構築**

→高速分光スペクトル解析の実現

**C: 高速・低電圧駆動光位相変調器製作技術の確立**

→光サイドバンド制御の実現

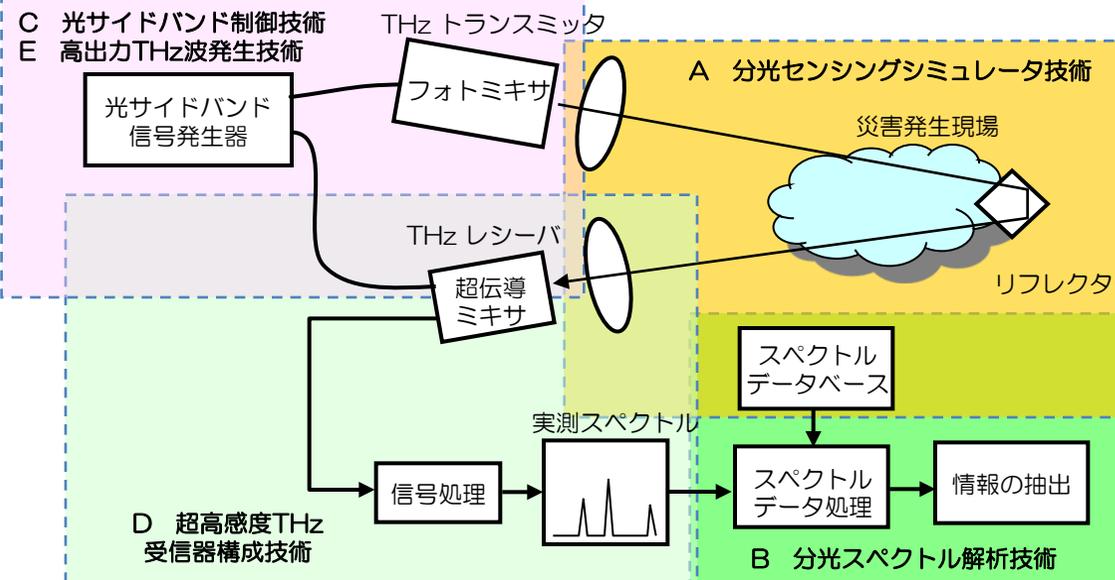
**E: 波長選択技術・広帯域フォトミキサ技術の確立**

→高出力THz波発生の実現

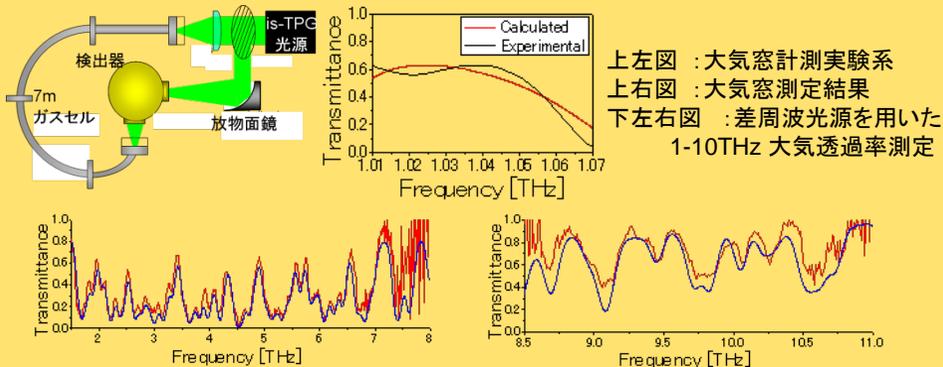
→分光センシングシステムの構築

**D: 広帯域超伝導ミキサ設計・製作技術の確立**

→分光用超高感度・広帯域受信器の実現



### A テラヘルツ帯遠隔分光センシングシミュレータ技術に関する研究開発



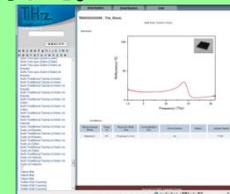
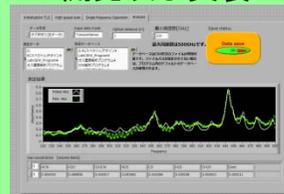
◎7mの伝搬長で1THz付近の大気減衰率を実験的に計測し、送信器/受信器の目標仕様に対する大気減衰の影響を定量的に算定(50m伝搬時で3dBのロス)

◎1-10 THzにおける大気減衰率を実験的に計測を行い、イメージングカメラの観測帯域の決定に寄与

### B テラヘルツ帯遠隔計測スペクトルデータ解析技術

●0.2~10THzにおける周波数帯の建築材料の光学特性に関するデータベースを世界で初めて構築した。スペクトルは(独)情報通信研究機構と理化学研究所が構築したテラヘルツデータベースに掲載した。

●テラヘルツ帯における遠隔分光スペクトルから危険ガス濃度を定量化する解析アルゴリズムの構築、ソフトウェアの開発及び実装に成功した。



ガス濃度解析アルゴリズム

ガス濃度解析ソフトウェア

スペクトルデータベース

ガス濃度解析アルゴリズム

## ② THz帯遠隔分光センシング技術の主な成果 その2

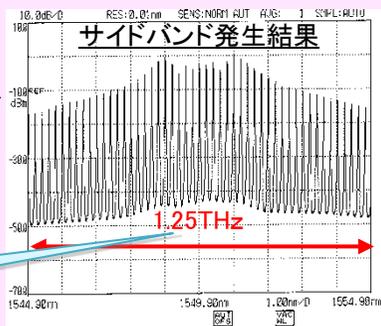
### C 低光挿入損失光サイドバンド発生用位相変調器の実現

- 0.5~1.0THz帯を発生させるために低駆動電圧かつ低損失で光サイドバンド発生が可能な位相変調素子を開発。
- 本研究開発では、LiNbO<sub>3</sub>薄板構造にスポットサイズ変換機能を付加し、低光挿入損失かつ低駆動電圧(従来比70%以下)の高速光変調器を実現。

#### スポットサイズ変換機能付き位相変調器構造

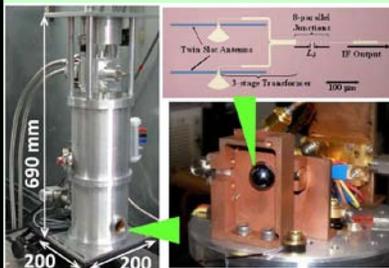


世界で最も低い駆動電圧で1THz帯の高出力光サイドバンドを発生

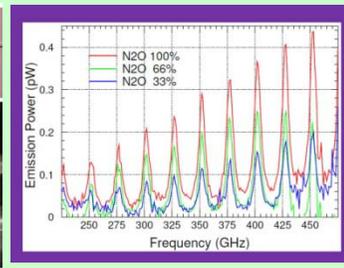


### D 広帯域・低雑音超伝導ミキサ・受信器の実現と可搬化

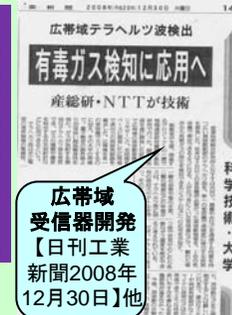
- ヘテロダイン受信器の心臓部であるミキサに関し、従来3バンドを要した0.2-0.5 THz帯を一素子でカバーし、量子雑音限界の20倍程度以下の受信器雑音温度を持つ超伝導ミキサを、世界で初めて開発。
- ガスの放射分光に適用し、約10 fWの電力分解能を実証。
- 冷媒フリー4 K機械式冷凍機ベースの可搬型受信器を開発。



可搬型受信器、ミキサチップ、モジュール



N<sub>2</sub>Oの放射スペクトル



広帯域受信器開発  
【日刊工業新聞2008年12月30日】他

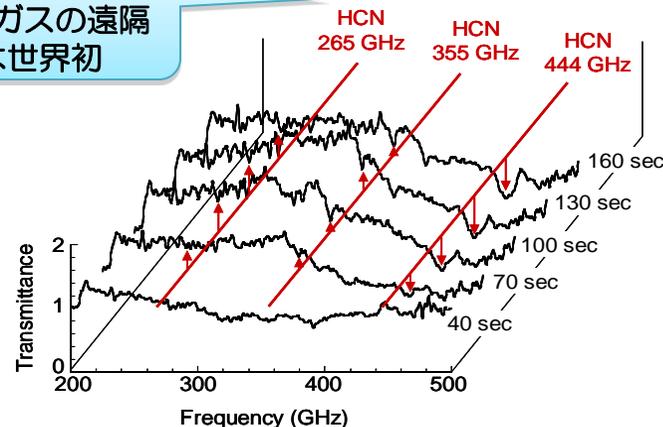
### E 遠隔分光センシングシステムの開発

- ・これまでの成果を統合し、可搬型テラヘルツ帯遠隔分光センシングシステムを構築、実スケールの模擬火災現場で性能を評価した。
- ・火災現場で発生する危険ガスの代表的なものであるシアン化水素の発生を遠隔でリアルタイムに検知することに成功した。



諸元  
消費電力：100V・50A  
動作周波数：200-500 GHz  
周波数掃引時間：1秒  
センシング距離：25m以上  
連続運転時間：180時間以上  
解析可能ガス種：10種

実スケール火災環境下での危険ガスの遠隔検知は世界初



# 1. これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発 (平成18年からの積算)	国内出願	外国出願	論文	研究発表	報道発表	標準化提案
	20 (2)	5 (1)	19 (4)	108 (30)	7 (4)	0 (0)

## 2. 研究成果発表会等の開催について

### (1) 社外展示

- ・ NECの社外展示 iEXPO2010とセキュリティショーにて THzカメラの製品を展示

H22年11月11, 12日、東京国際フォーラム

H23年3月8～11日、東京ビッグサイト



セキュリティショーの様子

### (2) NICT展示の支援

- ・ 科学・技術フェスタin京都にてTHzカメラを展示

H22年6月5日、国立京都国際会館

### (3) 関連広報

- ・ NECの報道発表：H22年4月20日、「非冷却2次元テラヘルツアレイセンサの更なる感度向上に成功」
- ・ NTT、東大、産総研、IPGテクノロジの報道発表：H23年3月8日、「テラヘルツ波による危険ガスの遠隔検知に成功」
  - 共同通信が記事配信（H23年3月8日号）
  - 日刊工業新聞（H23年3月9日号）が記事を掲載
- ・ NECの報道発表：H23年3月8日、「火災現場におけるテラヘルツカメラの有効性を示す実証実験に成功」

→ 日経産業新聞、日刊工業新聞(H23年3月9日号)が記事を掲載

**遠隔地からガス検知**  
NTTなど、テラヘルツ波で  
NICTと産総研が共同で、テラヘルツ波を使った遠隔ガス検知実験が、10月10日、東京国際フォーラムで発表された。NTTは、テラヘルツ波を用いて、遠隔地から危険ガスを検知することに成功したと発表した。火災現場に行かず、離れた場所から危険を検知できるため、火災現場の捜索に役立つと期待されている。

共同発表したのは、NICTの基礎研究の成果で、IPGテクノロジ（橋本大田原）、東京大学大学院の小宮山、東大工学部、産総研がシムスの共同研究を支援した。

試作したのは、テラヘルツ波を用いた遠隔検知装置で、テラヘルツ波を用いて、遠隔地から危険ガスを検知することに成功したと発表した。火災現場に行かず、離れた場所から危険を検知できるため、火災現場の捜索に役立つと期待されている。

**火災の環境下で画像高精度計測**  
NECなどテラヘルツカメラで

NTTは8日、火災現場でテラヘルツカメラを使った遠隔検知実験が、10月10日、東京国際フォーラムで発表された。NECは、テラヘルツ波を用いて、遠隔地から危険ガスを検知することに成功したと発表した。火災現場に行かず、離れた場所から危険を検知できるため、火災現場の捜索に役立つと期待されている。

共同発表したのは、NICTの基礎研究の成果で、IPGテクノロジ（橋本大田原）、東京大学大学院の小宮山、東大工学部、産総研がシムスの共同研究を支援した。

試作したのは、テラヘルツ波を用いた遠隔検知装置で、テラヘルツ波を用いて、遠隔地から危険ガスを検知することに成功したと発表した。火災現場に行かず、離れた場所から危険を検知できるため、火災現場の捜索に役立つと期待されている。