

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04515

研究課題名（和文）インコヒーレント照射型ミリ波イメージングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of Millimeter-wave Imaging System Using Incoherent Source

研究代表者

佐藤 弘康（Sato, Hiroyasu）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：20302234

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ミリ波パッシブイメージング技術は、人や物体が放出するミリ波帯の微弱な熱雑音を受信し、検波・増幅・画像処理することで非接触・非侵襲で衣服下の危険物を検知する技術である。このパッシブイメージングの課題として、周囲環境の熱雑音の影響でミリ波画像のコントラストが悪くなり危険物の有無の判断が困難になることが挙げられる。そこで、本研究ではインコヒーレント照射源を用いたミリ波イメージングにより人体と物体のコントラストを向上させる方法について詳細に検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案するインコヒーレント照射源とはキセノンライトそのものであり、本研究のアクティブイメージングとはキセノンライトからのミリ波帯熱放射を人体に照射するものである。本手法により、パッシブイメージングに比べて大幅にコントラストが改善され、スループットも改善できるとともに、現在空港で使用されているコヒーレントアクティブ装置とは異なり、パッシブイメージングと同様の完全非侵襲、スペckルレスのイメージングが実現できる。本手法をベースとする撮像装置の実用化ができれば電波法に無関係で使用可能な高スループット・高精細なイメージングが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Millimeter-wave passive imaging technology receives weak thermal noise in the millimeter-wave band emitted by human body and objects, and detects dangerous objects under clothing in a non-contact, non-invasive manner. As a problem of this passive imaging, it is difficult to judge the presence or absence of dangerous objects because the contrast of millimeter-wave images deteriorates due to the influence of thermal noise in the surrounding environment. Therefore, in this study, we investigated in detail how to improve the contrast between the human body and the object by millimeter-wave imaging using an incoherent irradiation source.

研究分野：電磁波工学，計測工学

キーワード：アンテナ イメージング アクティブ パッシブ 照射

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開発当初の背景

空港、港湾等の水際では、手荷物等に含まれた金属ナイフ・拳銃等の危険物は金属探知機や X 線装置等で検知できるが、人が所持している液体入りペットボトル・プラスチック製爆発物、非合法薬物等の検知が困難である。このため世界の空港では、ミリ波アクティブ型イメージング装置が導入され、金属探知機との併用として 2 次的スクリーニングが行われている。この検査では、装置で透視した被験者のアクティブ画像に対して画像処理を行い、プライバシーを考慮して画像を表示することなく、検査結果のみ掲示するとの方法が取られている。装置の性能上、被験者に停止・静止してもらう必要があるため検査速度が遅く、全数検査に至っていない。

一方で、我々の研究グループがこれまでに世界最高レベルの空間分解能を有するミリ波パッシブイメージング装置の開発を国内で初めて成功したとの背景がある。パッシブ方式が採用されていない理由として、アクティブ方式に比べてイメージング画像のコントラストが低いこと、周囲の環境温度の影響を受けやすいことが挙げられる。ミリ波パッシブイメージングでは検知したい物体からのミリ波以外に、壁や蛍光灯等周囲環境が熱として放射しているミリ波も熱雑音として重畳することになり、周囲温度に依存して画質が劣化する場合がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、図 1 に示すように被写体に向けてインコヒーレントのミリ波を照射し、人体に対する物体のコントラストを向上することで物体の検知特性を改善することを目的とする。また、パッシブ型とアクティブ型の利点を生かしたインコヒーレントパッシブイメージングシステムを開発するとともに、検査時間の短縮が可能であることを示す。

本研究で提案するインコヒーレント照射源とはキセノンライトそのものであり、本研究のアクティブイメージングとはキセノンライトからのミリ波帯熱放射を人体に照射するものである。本手法により、パッシブイメージングに比べて大幅にコントラストが改善され、スループットも改善できるとともに、現在空港で使用されているコヒーレントアクティブ装置とは異なり、パッシブイメージングと同様の完全非侵襲、スペckルレスのイメージングが実現できる。本手法をベースとする撮像装置の実用化ができれば電波法に無関係で使用可能な高スループット・高精細なイメージングが期待できる。

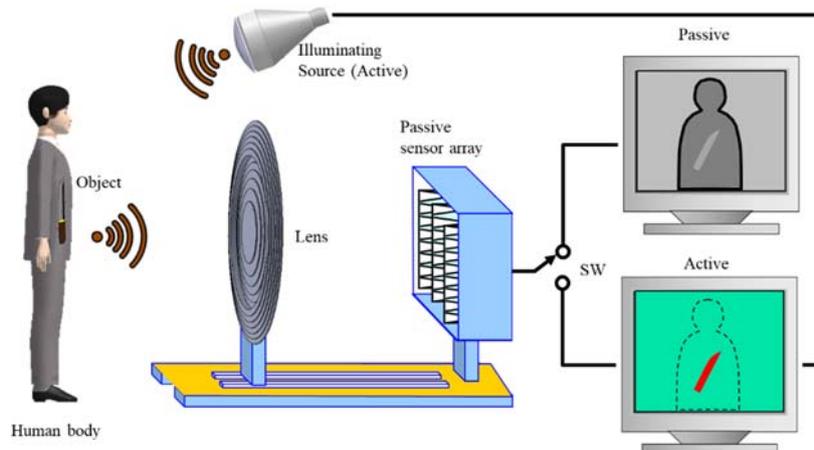


図 1 インコヒーレント照射を用いたミリ波アクティブ/パッシブイメージングシステム

### 3. 研究の方法

実験系を図 2 に示す。イメージング装置はレンズとイメージング素子で構成されている。検波システムとして、イメージング素子によって二乗検波されたミリ波帯の熱雑音電力（輝度温度）に比例する受信電圧を検出し、イメージング素子アレーによってミリ波画像を構成している。被写体面に人体と物体を配置した。照射源はキセノンライトアレーで構成されている。このキセノンライトはアクティブ装置のような発信器を用いた照射ではないため妊婦や子供を含め安全な検査が可能であるとの特徴を有している。

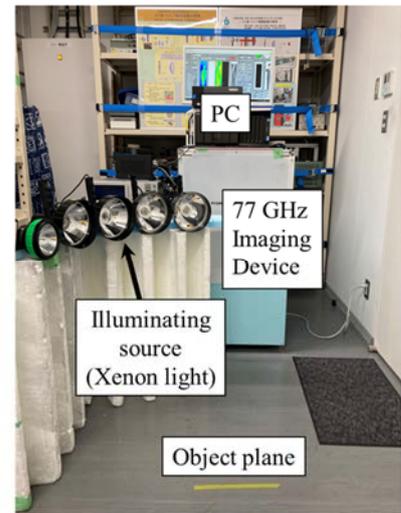
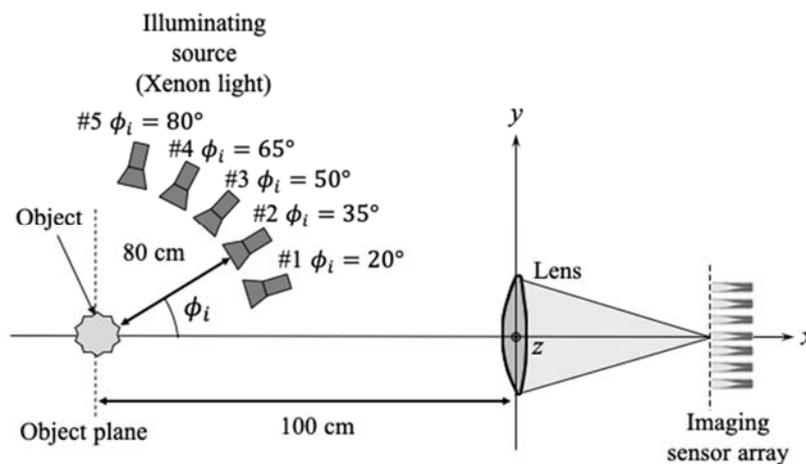


図2 インコヒーレント照射を用いたミリ波アクティブ/パッシブイメージングの実験系

### 4. 研究成果

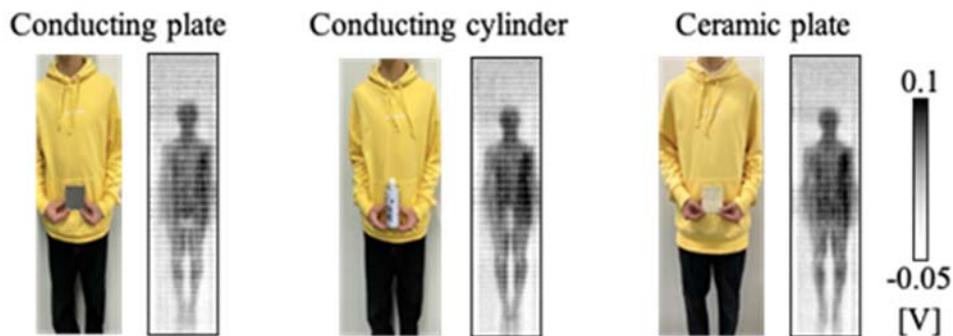
パッシブイメージング、照射する照射源を切り替えて照射角度を変化させるインコヒーレントアクティブイメージング、多方向から同時に照射するインコヒーレントアクティブイメージングの3つの手法でイメージングを行なった。照射角度を変化させる実験は、照射源 #1 のみ照射、#2 のみ照射のように照射する照射源を切り替えることで照射角度を変化させてイメージングを行なった。多方向から同時に照射を行う実験では、照射源 #1 のみ照射、#1 と#2 を同時に照射のように照射する照射源の個数を変えてイメージングを行なった。

材質が単純な導体板、導体柱、セラミック板の3つのイメージング結果を図 3 に示す。図 3(a) は単純なパッシブイメージングの結果を示している。導体板、導体柱の場合、人体と物体のコントラストが大きい。導体板、導体柱は材質が導体なので反射率が大きく物体の輝度温度が周囲の輝度温度と同程度になり受信電圧が人体よりも小さい。一方、セラミック板は透過率が大きいいため物体の輝度温度が人体の輝度温度と同程度であった。

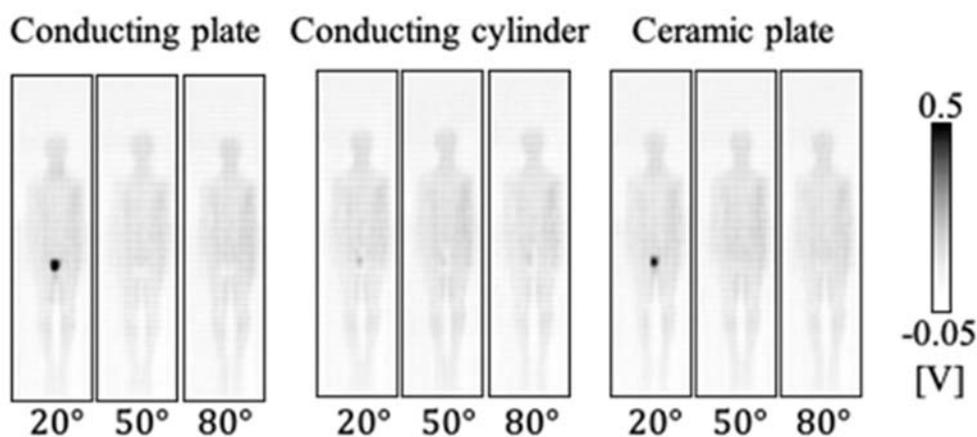
照射角度を変化させたインコヒーレントアクティブイメージングの結果を図 3(b) に示す。導体板、セラミック板を持っている場合、特定の照射角度から照射した場合にコントラストが大幅に向上した。板状で表面が平らなため、特定の照射角度から照射した時のみ物体からの反射波がイメージング装置で受信できたからだと考えられる。一方、導体柱を持っている場合、照射角度を変化させても同様な結果となった。柱状の形状をしており、 $\phi$  方向に丸みを帯びているため物体からの散乱波が $\phi$  方向に無指向性にな

った。また、コントラストの向上も僅かであった。

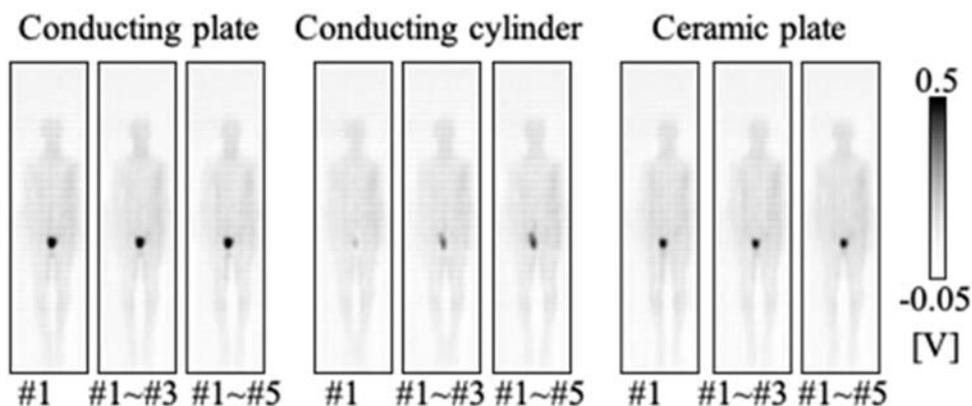
照射する照射源の数を変化させたインコヒーレントアクティブイメージングの結果を図 3(c)に示す。導体板、セラミック板は照射角度依存性が大きいので、照射する照射源の数を増やして多方向から同時に照射しても受信電圧に変化がなかった。一方、導体柱の場合、 $\phi$ 方向の照射角度依存性が小さいので多方向から同時に照射することで受信電圧が大きくなり、コントラストが向上にした。



(a) パッシブイメージング



(b) アクティブイメージング (照射角度変化)



(c) アクティブイメージング (照射源数変化)

図 3 イメージング結果

さらに、得られた実験データに対し機械学習を適用することで物体の有無、形状、材質を分類した結果を述べる。機械学習とは、あるデータ群から規則を見つけ、未知のデータに対する推測予測を行う学習手法の一つである。機械学習で使われる代表的なアルゴリズムには教師あり学習、教師なし学習、強化学習の3種類があり、本研究では教師あり学習を使用した。教師あり学習はさらに分類と回帰に分けることができ、今回は分類を行なった。機械学習の流れは大量のトレーニングデータから特徴量を抽出する学習フェーズと学習した規則に沿ってテストデータを判断する推論フェーズに分かれている。本研究でトレーニングデータおよびテストデータとして使用したデータは、パッシブイメージング、照射角度を変えたインコヒーレントアクティブイメージング、多方向から同時に照射したインコヒーレントアクティブイメージングで撮像したミリ波画像を用いた。物体の分類は図4に示したフローチャートを用いて行った。

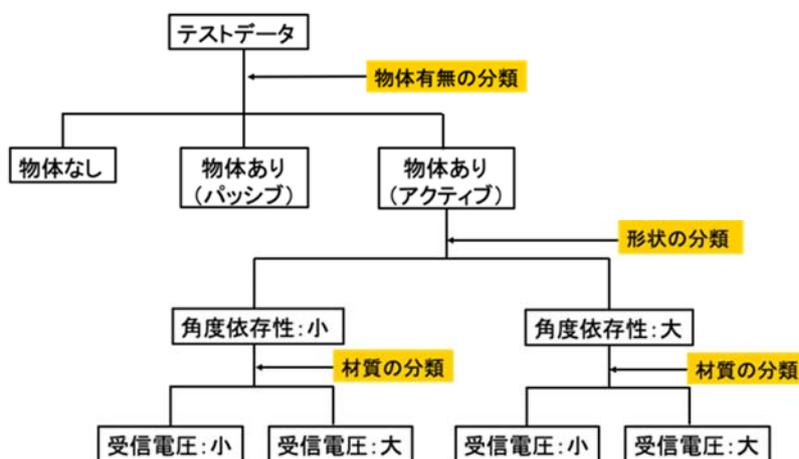


図4 物体分類のフローチャート

	result	
Conducting Plate	○	A
Smart phone	○	
Ruler (conductor)	○	
Cutter (conductor)	△	
Model gun	○	
Ceramic plate	△	B
PET plate	△	
PE plate	×	
Ceramic knife	○	C
Conducting cylinder	○	
Conducting sphere	○	
IMO	○	

表1 物体の形状、材質の分類結果

機械学習の結果、表1に示すように物体あり（アクティブ）に分類された物体の形状、材質を分類した結果、(A)照射角度依存性の大きい導体、(B)照射角度依存性の大きい誘電体、(C)照射角度依存性の小さい導体の3種類に分類できた。以上のように、照射源を用いたアクティブイメージングにより得られたミリ波画像に機械学習を適用することで、物体の有無、形状、材質を分類できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mutai Kevin Kipruto, Sato Hiroyasu, Chen Qiang	4. 巻 22
2. 論文標題 Near-Field Leaky-Wave Focusing Antenna With Tapered Dielectric Constant Distribution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters	6. 最初と最後の頁 1209-1213
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LAMP.2023.3236644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mutai Kevin Kipruto, Sato Hiroyasu, Chen Qiang	4. 巻 1
2. 論文標題 Active Millimeter Wave Imaging Using Leaky-Wave Focusing Antenna	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TAP.2021.3137533	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Takuya, Sato Hiroyasu, Chen Qiang	4. 巻 9
2. 論文標題 Near-field leaky-wave focusing antenna with inhomogeneous rectangular waveguide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 218~223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2020XBL0013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 西村陸, 佐藤弘康, 陳強
2. 発表標題 キセノンライトアレーを用いたミリ波アクティブイメージングと機械学習を用いた物体分類
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ伝搬研究会
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. K. Mutai, H. Sato and Q. Chen
2 . 発表標題 Imaging of Object in Front of Human Body Phantom Using Leaky-Wave Focusing Antenna
3 . 学会等名 International Workshop on Electromagnetics Applications and Student Innovation Competition (iWEM)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. K. Mutai, H. Sato and Q. Chen
2 . 発表標題 Bistatic Millimeter-Wave Imaging Using Leaky-Wave Focusing Antennas
3 . 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 H. Sato, K. K. Mutai, T. Hashimoto, and Q. Chen
2 . 発表標題 Near Field Leaky-Wave Focusing Antenna Using Inhomogeneous Rectangular Waveguide
3 . 学会等名 2020 Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Sato, K. K. Mutai, T. Hashimoto, and Q. Chen
2 . 発表標題 Imaging of Object in Front of Human Body Phantom Using Leaky-Wave Focusing Antenna
3 . 学会等名 2021 Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Maeda H. Sato, and Q. Chen
2. 発表標題 Active Millimeter-Wave Imaging Using Incoherent Illumination with Multiple Incident Angles
3. 学会等名 International Symposium On Antennas And Propagation (ISAP) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村陸, 前田淳朗, 佐藤弘康, 陳強
2. 発表標題 ミリ波イメージングへの機械学習の適用
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	陳 強  (Chen Qiang)  (30261580)	東北大学・工学研究科・教授    (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------