

ミリ波パッシブイメージング装置の開発と実用化

実施予定期間：平成 22 年度～平成 26 年度
研究代表者：澤谷 邦男（東北大学大学院工学研究科通信工学専攻 兼 東北大学未来科学技術共同研究センター）

I. 概要

空港等の高度の保安対策を要する拠点における、テロ・破壊工作等を未然に防ぐための、危険物検知システムとして、ミリ波パッシブイメージング装置の小型化、軽量化、高画質化を図るとともに、空港保安検査場等の設置余地を考慮し、既設装置との併設あるいは一体化が可能な装置を開発する。製品化は基本性能を向上させ随時進める。分解能と装置サイズの関係をもとに、空港保安等を担う関係機関の要望、プライバシーの問題を相互に配慮した装置を実用化する。また、金属探知機との一体化が容易な壁型装置等の開発を進めるとともに、二次的な検査を目的としたハンディー型装置の開発を進める。最終的に、開発した装置の量産化・低コスト化を実現することを目標とする。

1. 目標

使用目的：空港、港湾などの水際で人が所持している危険物と想定される液体や粉末を検知可能なミリ波パッシブイメージング装置を開発し、実用化する。空港の保安検査場は、新規機器の設置余地が小さく、また、検査場における人の流れを止めてはならない。本課題では、据え置き型パッシブ装置の小型化、軽量化、高画質化を図るとともに、金属探知機等の既設装置との一体化が可能な壁型装置とともに、2 次検査用の詳細検査を目的としたハンディー型の開発を進め、最終的に、量産化・低コスト化の実現を目標とする。開発する装置は、プライバシーの問題に十分配慮した運用形態とする。

検知対象：既設の検知機器（X 線検査装置、金属探知機）を補完する形で、人が所持する液体や粉末を検知対象とする。

大きさ、重量：装置の大きさと重量は、据え置き型装置は家庭用洗濯機の大きさ、壁型装置は、幅 1.2 m、高さ 1.5 m、厚さ 30 cm、2 枚の壁の間隔が 1.5 m の大きさで、一人で簡単に機器の移動が可能な重量を目標とする。ハンディー型装置は、幅 200 mm、長さ 400 mm 程度、2 kg 程度の重量を目標とする。

テーマ設定（ユーザーニーズ）との整合性：

空港、港湾などで検査装置において求められる特徴は、検査に際して顧客の移動を妨げてはならないということである。具体的には、1 時間当たり 1000 人以上検査することが望まれている。このため、据え置き型装置では撮像速度が 1 秒間に数枚を確保する。壁型装置では撮像速度が 2 秒で 1 枚の静止画像を目標とする。また、圧迫感のない装置を目指して開発する。容器に入った液体物が検知可能な分解能を目指す。

2. 技術的内容

a. 据え置き型装置の光学系の小型化と軽量化

既製の据え置き型装置では誘電体レンズと振動するリフレクタ板を利用しているが、装置が大きくなり、重量も大きいという問題があった。これらの問題を解決するために、従来の誘電体レンズと振動リフレクタ板による構成を、新たな光学設計技術を取り入れて軽量化を目指す。

b. 壁型装置の新規開発

金属探知機との一体化が可能な壁型装置を開発する。本課題では、既製の据え置き型装置の開発で設計された光学系を応用し、新規の壁型装置を開発する。

既製の据え置き型装置の光学系を壁型装置形状に最適な構造にし、据え置き型装置と同等な空間分解能を得ることを基本として、装置、及び撮像モジュールの開発を進める。壁型装置、若しくはハンディー型装置に転用可能な小型撮像モジュール開発検討の為に、近傍イメージングの実験と数値シミュレーション、およびアンテナの高利得化を図った近傍検出器の設計・試作も進める。

c. ハンディー型装置の新規開発

人体の部分的な検査が可能な二次検査装置として、ハンディー型装置の開発を行う。検査官による使用を想定した場合、不審物を映像化することは必ずしも必要ではないため、ハンディー型装置としては、異物の反応を検出してアラームを発するライン走査型不審物検知装置として主に開発を進める。ハンディー型の光学系は小型撮像モジュールの光学系と共通化が可能であり、小型 1 次元イメージング素子アレー収納ケースおよび画像処理装置の超小型化を図る。

d. 要素技術

- リアルタイム校正法の改良
- 低雑音 MMIC の開発
- イメージング素子アレーの最適配置設計による高分解能化
- ミリ波光学系の自動焦点・ズーム機能の開発
- イメージング素子用温度測定／補正回路の開発・評価
- ハンディー型対応専用小型インターフェースの開発
- パイプライン処理を用いた高速化処理の開発
- ミリ波画像を用いた物体認識

3. 技術開発期間終了時の目標

- 空港、港湾での設置環境に適応した、金属探知機との併設が可能でかつ家庭用洗濯機程度のサイズを実現した据え置き型ミリ波パッシブイメージング装置のプロトタイプを製品化する。機器性能としては、1 秒間に 4 枚の画像撮像を可能とし、危険物検出としては容器に入った液体を検出可能とし、特定の種類の物質に対しては同定も可能とする。
- 金属探知機との一体化が容易な壁型ミリ波パッシブイメージング装置を開発する。装置サイズ幅 1.2 m、高さ 1.5 m、厚さ 30 cm、2 枚の壁の間隔が 1.5 m、一人で簡単に機器の移動が可能な重量を実現する。
- 二次検査に使用可能なハンディー型ミリ波パッシブ不審物検知装置を開発する。重量は 2 kg 以下とし、危険物検知・警報の発報を可能とする

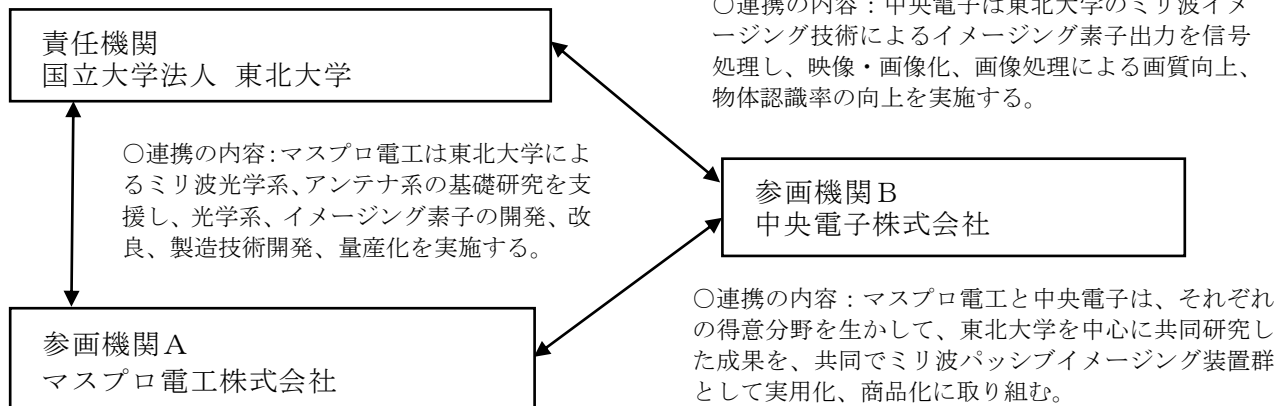
4. 実証期間終了時の目標

- 金属探知機との併設が可能な据え置き型ミリ波パッシブイメージング装置として、実証試験データをもとに、最終的に量産製品としてのレベルでの完成度を目指す。機器性能としては、1 秒間に 4 枚の画像撮像を可能とし、危険物検出としては容器に入った液体を検出可能とする技術開発時と基本的には同等であるが、実使用とメンテナンスを考慮して、設計寿命 10 年を目指す。

2) 金属探知機との一体化が可能な壁型ミリ波パッシブイメージング装置として、実証試験データをもとに、最終的に量産製品としてのレベルでの完成度をめざす。機器性能としては、2秒で1枚の高分解能撮像を可能とし、危険物検出としては容器に入った液体を検出可能とする。

る。
3) ハンディー型ミリ波パッシブ不審物検知装置について、据え置き型機、壁型機と同様、量産レベルの完成度をめざす。また、更なる軽量化をめざし、最終的には1kg以下の重量実現をめざす。

5. 実施体制



6. 各年度の計画と実績

a. 平成 22 年度（技術開発期間 1 年目）

・ 計画

1)リアルタイム校正法の改良、2)イメージング素子アレーの最適配置設計のためのメカシリンダを用いた基礎実験および数値シミュレーション、3)イメージング素子用温度測定／補正回路の開発、4)LNA の低雑音化を目的とした専用 MMIC を設計開発および設計評価検証、5)反射鏡の軽量化・小型化・収差最適化のための数値シミュレーション、6)反射鏡による軽量化・小型化・収差最適化の設計・試作、多段反射方式光学系の検討、7)光学系の多段反射方式の開発、8)小型撮像モジュールとハンディー型に対応したインターフェース開発、9)軽量化筐体の開発、10)近傍界イメージングの実験、11)小型レンズアンテナの基礎実験、数値シミュレーション、及び設計、12)壁型装置開発のための近傍検出器の開発、13)小型レンズに代わる近傍検出器の数値シミュレーションと近傍界映像化方式の検討・開発、14)ハンディー型対応センサーの開発、15)パイプライン処理を用いた信号・画像処理の高速化、16)ミリ波パッシブ撮像装置製品モデル機の開発製造

・ 実績

計画の 1)～16)の各項目につき、以下成果を得た。

- 1) 従来のリアルタイム校正法を拡張した新規校正法を提案し、人体との温度差が小さい物体の検出特性の改善効果を確認した。
- 2) 固定ピッチの素子アレーを像面で走査して撮像実験を実施し、空間分解能の上限および適正な撮像距離を評価した。
- 3) 装置外部の温度情報およびセンサー間の相関関係等を利用してイメージング素子毎の増幅率変化をテーブル化し、静的にバラツキを補正した。
- 4) LNA の低雑音化のため専用 MMIC の設計を行った。
- 5) パラボラ反射鏡の光学系シミュレーションを行い、収差についてレンズ方式の優位性を確認した。
- 6) パラボラ反射鏡による軽量化を検討し、軽量化の見通しを得た。しかしながら光学系シミュレーション

の結果から、収差についてレンズ方式の優位性が判明した。そのため 11) のフレネルレンズの利用を検討し、軽量化を達成した。

- 7) 平面鏡を用いた多段反射方式により機器の小型化を達成した。
- 8) USB3.0 高速インターフェースの実現可能性を調査し、小型を前提とした基本仕様について検討し、USB2.0 で実現した方が有利な事がわかった為、次年度に高速インターフェース基板開発に着手することを決定した。
- 9) 小型イメージング装置の試作機を開発し、成田空港内において夏期にフィールド実験を実施した。また、テロ対策特殊装備展会場の一般的な環境でも実施し、機内持ち込み禁止物、液体、固形物等を用いた撮像実験の結果を踏まえ、信号処理・画像処理部の改善、改良を行い、不審物の視認性能を向上した。
- 10) 近傍センサー方式およびレンズ方式による小型撮像システムを試作し撮像実験を行った。近傍センサー方式では近距離での高分解能、近傍レンズ方式では安定した信号波形を特徴として得た。
- 11) 小型フレネルレンズを設計し、薄型化による機械的強度向上策を含む基本特性を電磁界解析により検討した。試作した大型フレネルレンズは非球面レンズの重量約 30 kg から約 3 kg 程度まで軽量化され、感度の低下が約 1 dB であることを確認した。
- 12) 近傍センサーを用いた検出方式を検討し、センサーから被写体の距離 5.3 cm の条件で電波吸収体の前面に配置した金属、セラミック、粉末、プラスチックが検出可能との結果を得た。
- 13) 11)の実験結果を踏まえ、アンテナ近傍の電磁界解析を行った。
- 14) ハンディー型対応センサーの設計を行った。
- 15) パイプライン処理を用いた信号・画像処理回路の設計を行った。
- 16) ミリ波パッシブ撮像装置製品モデル機の製作を行った。

b. 平成 23 年度（技術開発期間 2 年目）

・計画

- 1) イメージング素子アレーの最適配置設計のためのメカシリンダを用いた基礎実験および数値シミュレーション、2) 高画質化のためのイメージング素子アレーの最適配置設計、3) イメージング素子用温度測定／補正回路の開発、4) LNA の低雑音化を目的とした専用 MMIC を設計開発および設計評価検証、5) 小型撮像モジュールとハンディー型に対応したインターフェースの開発、6) 軽量化筐体の開発、7) 近傍界イメージングの実験、8) 小型レンズアンテナの基礎実験、数値シミュレーション、及び設計、9) 小型レンズに代わる近傍検出器の数値シミュレーションと近傍界映像化方式の検討・開発、10) ハンディー型対応センサー開発、11) パイプライン処理を用いた信号・画像処理の高速化開発、12) 小型軽量化された据え置き型装置のプロトタイプ装置設計・製作・評価、13) ハンディー型装置のプロトタイプ装置設計

・実績

計画の 1)～13)の各項目につき、以下成果を得た。

- 1) ピッチ 8 mm のイメージング素子アレーをメカシリンダで掃引/画像合成を行い、分解能の上限を確認した。
- 2) イメージング素子アレーをずらして配置する方法により、素子間相互結合の減少および高分解能を得た。
- 3) 専用 MMIC の開発において、周波数帯域の広帯域化(従来の 2 倍)を達成した。
- 4) 実験用ハンディー筐体を設計・試作し、シールド性、距離特性、安定性に関する基礎特性を得るとともに検知信号処理の基本方式を確立した。
- 5) ハンディー型で使用する 6 センサー対応小型撮像モジュール(基板)を開発、PC を接続稼働確認し、ハンディー型での使用準備を整えた。
- 6) 小形・軽量振動リフレクタおよび多段レンズの同時可動機構を設計・試作し、振動レンズと振動リフレクタを組み合わせた新たな光学系を開発した。
- 7) 壁型装置の構想案を確定し、実験用装置の開発を開始した。ハンディー型用に開発した小型撮像モジュールを壁型装置に実装可能であることを確認した。
- 8) ハンディー装置用小型非球面レンズを設計・試作し、

受信電圧が最大となる条件を得た。

- 9) 耐久性を考慮した導波管型近傍検出器を開発した。
- 10) データ処理、画像処理、描画に関するハードウェア、ソフトウェアの構造を再検討し、より高速化可能なようにパイプライン処理を活用し、処理方法の修正を実施した。
- 11) 据置型装置の第 1 バージョンの製品化を終了し、マスコプロ電工より販売開始した。
- 12) ハンディー型装置のプロトタイプ装置の筐体及び内部構造について協議検討し、構造案を作成した。
- 13) 主に導体の検知特性を改善可能な順光パッシブイメージング法を提案し、反射率の高い物体の検知に有効である知見が実験的に得られた。

c. 平成 24 年度 (技術開発期間 3 年目)

・計画

- 1) ミリ波画像を用いた物体認識と評価、2) イメージング素子用温度測定／補正回路の開発、3) イメージデータ收拾とミリ波強度測定、4) 反射鏡と振動リフレクタの設計法確立、5) 軽量化筐体の開発、6) 小型レンズに代わる近傍検出器の数値シミュレーションと近傍界映像化方式検討・開発、7) パイプライン処理を用いた信号・画像処理の高速化、8) ハンディー型装置のプロトタイプ装置の設計製作・装置評価、9) 壁型装置のプロトタイプ装置設計製作、10) 小型化・軽量化された据え置き型装置の長期実証試験

d. 平成 25 年度 (実証期間 1 年目)

・計画

- 1) ミリ波画像を用いた物体認識と評価、2) イメージデータ收拾とミリ波強度測定、3) ハンディー型装置のプロトタイプ装置評価、4) 壁型装置のプロトタイプ装置評価、5) 特許権利化、6) ハンディー型装置の長期実証試験、7) 壁型装置のフィールド試験データ蓄積

e. 平成 26 年度 (実証期間 2 年目)

・計画

- 1) イメージデータ收拾とミリ波強度測定、2) 壁型装置の改良型装置作成、3) 壁型装置の耐久試験・信頼性試験、4) 使用環境での実証実験、5) 製造方法・コストダウンを含めた量産化技術の開発

7. 年次計画

取組内容	1 年度目	2 年度目	3 年度目	4 年度目	5 年度目
要素技術の確立	リアルタイム校正法の改良				
高画質・高感度化・性能改善	イメージング素子アレーの最適配置設計のためのメカシリンダを用いた基礎実験および数値シミュレーション	高画質化のためのイメージング素子アレーの最適配置設計			
			ミリ波画像を用いた物体認識と評価		
		イメージング素子用温度測定／補正回路の開発			
	LNA の低雑音化を目的とした専用 MMIC を設計開発および設計評価検証		イメージデータ收拾とミリ波強度測定		

<p>小型化・軽量化</p>	<p>反射鏡の軽量化・小型化・収差最適化のための設計・試作、多段反射方式光学系の検討</p> <p>光学系の多段反射方式の開発</p> <p>小型撮像モジュールとハンディー型に対応したインターフェースの開発</p> <p>軽量化筐体の開発</p>	<p>数値シミュレーション</p> <p>反射鏡と振動リフレクタの設計法確立</p>	<p>反射鏡と振動リフレクタの設計法確立</p>	<p>反射鏡と振動リフレクタの設計法確立</p>	<p>反射鏡と振動リフレクタの設計法確立</p>
<p>壁型装置およびハンディー型装置用 小型撮像モジュール</p>	<p>近傍界イメージングの実験</p> <p>小型レンズアンテナの基礎実験、数値シミュレーション、及び設計</p> <p>壁型装置開発のための近傍検出器開発</p> <p>小型レンズに代わる近傍検出器の数値シミュレーションと近傍界映像化方式検討・開発</p> <p>ハンディー型対応センサー開発</p> <p>パイプライン処理を用いた信号・画像処理の高速化</p>	<p>近傍検出器の数値シミュレーション</p>	<p>近傍検出器の数値シミュレーション</p>	<p>近傍検出器の数値シミュレーション</p>	<p>近傍検出器の数値シミュレーション</p>
<p>総合システムの開発 ミリ波パッシブ撮像装置商品化</p> <p>① 小型化・軽量化された据え置き型装置</p> <p>② ハンディー型装置</p> <p>③ 壁型装置</p>	<p>製品モデル機の開発製造</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p>	<p>プロトタイプ装置評価</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p>	<p>プロトタイプ装置評価</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p>	<p>プロトタイプ装置設計製作</p> <p>プロトタイプ装置設計製作</p> <p>特許権利化</p>	<p>改良型装置製作</p>
<p>実証試験 ミリ波パッシブ撮像装置商品化</p> <p>① 小型化・軽量化された据え置き型装置</p> <p>② ハンディー型装置</p> <p>③ 壁型装置</p>	<p>機器完成</p>	<p>機器完成</p> <p>長期実証試験</p> <p>フィールド試験</p>	<p>機器完成</p> <p>長期実証試験</p> <p>データ蓄積</p> <p>製造方法・コストダウンを含めた量産化技術の開発</p>	<p>機器完成</p> <p>長期実証試験</p> <p>耐久試験・信頼性試験</p> <p>使用環境での実証試験</p>	<p>耐久試験・信頼性試験</p> <p>使用環境での実証試験</p>