

平成21年度 沖縄イノベーション創出事業

「半導体ライン状X線検出器の開発」

## 成果報告書（概要版）

平成22年 3月

委託者 沖縄県産業振興公社  
委託先 株式会社アクロラド

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

CdTe 半導体放射線検出器は、従来のシンチレータによる検出器に比べて、空間分解能、エネルギー分解能、小型軽量という際立った特徴を持つため、医療用放射線画像診断装置として核医学診断（PET、SPECT など）や X 線診断（X 線 CT や歯科用 X 線パノラマカメラなど）など様々な分野で応用が検討されている。ライン状 X 線検出器を使用している異物検査装置市場について分析をすると、現在国内で約 1000 台/年、アメリカで約 2000 台/年、EU で約 2000 台/年、その他で約 500 台/年の販売で合計約 5500 台/年の販売がなされている。装置価格を 500 万円と仮定すると約 250 億円/年の事業規模となる。装置価格に占める検出器割合が 20%がとすると約 50 億円の潜在市場が存在することになる。近年国内外で異物混入の不安が広がっていることもあり、製品の安全・安心確保の一環として、製造前の原材料から製造、出荷、客先に届くまでトレーサビリティシステムの構築に取り組んでいる食品製造会社も多い。仕込み・調合・充填・包装などすべてのプロセス管理を徹底して行うために、原材料及び製造履歴の記録を残そうという取り組みがなされている。その中で製品に異物が混入していないかの確認のために X 線検査装置の導入が進んでいる。そのようなことから 4 年後には食料加工工場での X 線異物検査装置の需要が大きく増えてくると考えられ、約 5 倍の約 250 億円の検出器市場を予測している。

また当該開発は、非破壊検査、食品検査、タンパク質構造解析、電子部品検査、半導体検査、原子力、交通検査、資源探査等多くの応用が可能な放射線検出器分野全般において画期的な技術革新をもたらすことが期待される。特に従来型の手荷物検査や異物検査は民間各社により調達していたものであるが、近年のテロ多発により各国が安全対策に力を入れ、国家レベルの予算が組まれてきている。そこで本研究開発による半導体ライン状検出器は、従来にない材質判別が可能なことから付加価値が高いため、各国安全保安上の国家予算がついてくるものと考えられる。

現在、非破壊検査で使用されるライン状検出器は、センサであるシンチレータまたは CdTe と検出回路である CCD の組み合わせが主であり、出力信号に X 線のエネルギー情報が含まれない謂わば白黒撮影である。そのため異物検査材質判別方法において濃淡の差のみで判別するため、異物判定が困難である。食品検査装置メーカーが本開発の CdTe の特徴を広く活かした検出器を採用すれば、現存のライン状検出器において材質判別の困難さを解決することができるため、インライン検査用検出器としての応用が可能となる。

材質判別が可能なライン状検出器としては、浜松ホトニクス(株)製エネルギー弁別型 64chCdTe 放射線ラインセンサが販売されている。この製品は、画素ピッチが 1mm であり本開発品の 0.4mm に比べ大きいためより細かい異物の判別が難しい。また、ライン長が 64mm なので本開発品に比べ約 1/2.5 のサイズと小さい。しかも価格が 300 万円と、現状シンチレータ製が 100 万円弱の価格であるため、いくら機能・性能に優れていても 100 万円に近い価格設定でないと販売が難しい。当社の場合、価格のウエートが高い CdTe を内製化しているため、100 万円に近い価格設定が可能である。また、全世界の装置製造会社に対して直接販売を考えているため、販売価格＝卸売価格である。

本研究開発では、CdTeピッチサイズの小型化（0.8mm角以下）及びASICの低雑音、高速信号処理を実現する技術を確立する。X線検出器として、サンプリング速度が高速な読み出し回路の開発を主体に、低ノイズのアナログ回路を有し、CdTe検出器からのアナログ信号をデジタル化するミックスドシグナルの信号処理機能を持った読出回路(ASIC)の開発を行うことにより、これまでエネルギー弁別が困難であったX線におけるフォトンの検出を実現し、非破壊検査の技術および異物検出精度を向上させる。

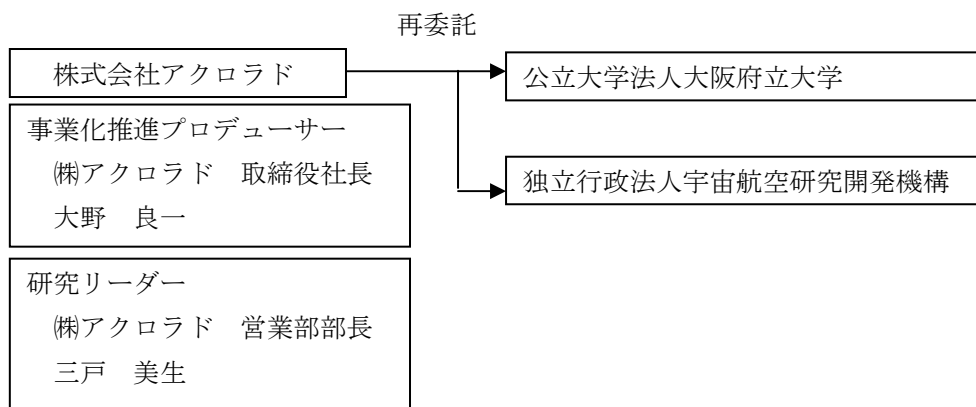
宇宙航空研究開発機構は、これまでに㈱アクロラドと共に高いエネルギー分解能をもつ新しいCdTe半導体 $\gamma$ 線素子の開発を行ってきた。その実現には、CdTe半導体を用いた放射線検出素子の開発に加え、検出器からの計測信号処理のための超集積低雑音アナログ信号処理回路（ASIC）の開発成功に依る所が大きい。こうした一連の技術は宇宙関連開発が最先端技術であることから国際的レベルにおいても、宇宙航空研究開発機構は他の追随を許さない最先端の技術力を有している。㈱アクロラドにおいてライン状検出器に使用するために既に2004年に64チャンネル型ASICを開発したが、当時の状況としては、アナログ回路の処理方法では、チャンネル間のバラツキなどを払拭できないレベルであった。しかしながら近年、宇宙航空研究開発機構において続けられてきた研究によって、多チャンネルに対応できるアナログ処理回路の性能が飛躍的に向上し、それらの技術を基礎にしてX線検出器向けに特化した信号処理回路が実現できる状況にある。

㈱アクロラドでは、ASIC 開発においてライン状検出器としての課題を ASIC の設計仕様として落とし込み、宇宙航空研究開発機構の設計する ASIC に対してシミュレータを用いて設計検証を実施し、ダブルチェックによって失敗リスクの低減を行う。また、開発 ASIC を用いて CdTe 検出器と接続したセンサ基板を開発する。更に、ASIC 以降のデジタル回路を FPGA などで作成することによって検出器モジュールをエネルギー弁別方式の X 線検出器として開発する。平成 20 年度は、16 チャンネル入力タイプの開発を実施した。平成 21 年度は、検出器の長尺化を目指して 32 チャンネル入力タイプの ASIC の開発を実施する。効率的な開発のために両タイプの回路設計、動作確認用ソフトウェア製作において共有化する。

大阪府立大学の放射線研究センターは、大規模の放射線照射施設を有し、遮へい付放射線照射室で工業用エックス線装置や放射線計測装置が利用できる。また照射技術、放射線計測技術も優れたレベルにある。この施設は研究用としては日本でも有数の施設で、種々の試験に対応できる技術と設備を備えた施設は民間ではない。また、担当研究者達は、各種放射線のパルス信号の処理およびフォトンカウンティングによる 2 次元計測と画像化など、新たな放射線計測手法と検出アルゴリズムの開発実績がある。工業用エックス線装置の利用環境は確立されており、各種エネルギーでのエックス線のエネルギースペクトル、線量の計測経験は豊富である。また放射線線量計は標準場での校正がなされており、常時研究等に利用されている。大阪府立大学は㈱アクロラド検出器と共に、検出ユニットの X 線試験を学内で実施するために移動機構の製作を実施する。

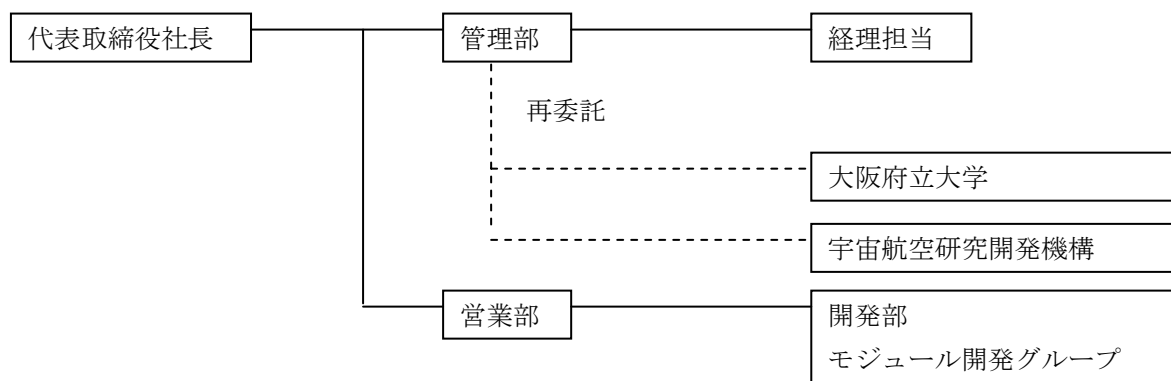
## 1-2 研究体制

### 1) 研究組織（全体）



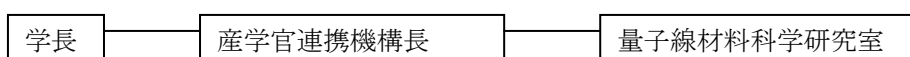
### 2) 管理体制

#### ①プロジェクト管理法人 [株式会社アクロラド]

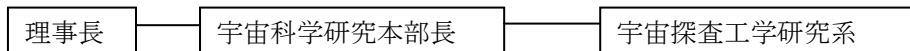


#### ②（再委託先）

公立大学法人大阪府立大学



独立行政法人宇宙航空研究開発機構



3) 研究者氏名

株式会社アクロラド

氏名	所属・役職	備考
三戸 美生	営業部・部長	リーダー
喜友名達也	開発部モジュール開発グループ・研究員	
山本 雅也	開発部モジュール開発グループ・研究員	
岸 紀行	製造部技術グループ・研究員	
寒河江健一	開発部モジュール開発グループ・研究員	
小泉 達洋	開発部モジュール開発グループ・研究員	

(再委託先)

公立大学法人大阪府立大学

氏名	所属・役職	備考
奥田 修一	大阪府立大学産学官連携機構・教授	
谷口 良一	大阪府立大学産学官連携機構・准教授	

独立行政法人宇宙航空研究開発機構

氏名	所属・役職	備考
池田 博一	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部・教授	
佐藤 悟朗	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部・プロジェクト研究員	

4) 協力者

氏名	所属・役職	備考
高橋 忠幸	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部・教授	アドバイザー

### 1-3 成果概要

食品検査市場に於いて試作機を貸し出し、当開発品を使用した場合の従来品に対する有効性の確認実験を1ヶ月半程度で実施し、輪ゴムや軟骨など従来では検出できなかった物質の検出が可能であるという報告を受けた。市場調査によるとリチウム電池中の異物検査、薬品用パック材の異物検査など他分野でも当開発品が有効である可能性があり、用途を広げ、販売規模を大きく（20億円程度）する必要性があると考えている。そこで試作機をポニー工業に貸し出し、当開発品を使用した場合の従来品に対する有効性の確認実験を実施した。半田濡れ状態の確認に使用可能か検討したが期待した結果は得られなかった。今後、リチウム電池中の異物検査への有効性について確認する計画である。

また、研究開発を行っている大学などへのヒヤリングによって、食品の異物検査以外で、手荷物検査（起爆装置、刃物、拳銃の形状判別は可能であるが、爆薬と有機物の識別はテラヘルツ波でないと難しいか？）に有望というコメントを頂いたが、国家プロジェクトでもあり、民間での検討はあまりやられてなく、サンプルが入手し難いため検討が困難とのことであった。また、港湾でのコンテナの検査に応用できれば最も市場規模が大きい（110億円/年程度）が、現状のASICの仕様では、応用が難しく、X線に対する応答スピードを10MHzまで向上する必要があるということであったが、X線の強度を1/10程度に落とすことも可能であることがわかってきたため、比較的簡単なゲインを落とす程度のASICの変更によって適用が可能ということがわかってきた。今後は、市場が拡大しているリチウム電池中の異物検査などの分野への用途を広げるために非破壊検査装置メーカーなどに貸出しを継続する。

前年度の16ch入力タイプASICの不具合点の修正に成功し、その動作は仕様および設計の範囲内で動作していることを確認した。また、低ノイズのアナログ回路技術と信号処理回路技術を駆使して、X線検出用の32ch入力タイプASICを設計し、レイアウト、検証、試作、評価を終了した。更に32ch入力タイプASICをCdTe検出器に接続し、X線撮像を行った。しかし、電気的にピクセル良否判定がOKでもアプリケーション検出では描画に均一性が見られないという結果となった。ハードウェアまたはソフトウェアで画像を均一化することができれば、狭ピッチまたは多chに対応した信号処理回路をモジュールとして展開することができる。X線撮像で得られたラインスキャンの画像はchラインでカウント値の相違（濃淡ムラ）が大きい。これはch間のバラツキであり、CMOSでコンパレータ回路を構成する限り宿命でもあるが、コンパレータの閾値(VTH)と入力オフセット $\Delta V$ のバラツキが大きいことに起因すると推測できる。このバラツキを改善するためには、 $\Delta V$ を補正できるDAC回路(±のトリミング)をLSIに組み込むことが必要となるが、すべての閾値入力VTH0, VTH1, VTH2, VTH3, VTH4, VTH5で対応する必要があるため、回路拡大によるチップ面積増大が非常に問題となる。今後はユーザーの要求仕様（エネルギー帯など）に合わせて、ハードウェアでの対応可否について個別開発で、考慮すべき課題である。

一方、各chにおけるフレーム毎のカウントバラツキはほとんどないことが確認できているので、補正係数を用意し、ソフトウェア上での画像補正も今後の課題となる。ソフトウェアについてもユーザーの要求仕様によって様々であるので、ソフトウェア上の仕様を見極める必要がある。

検出ユニットのX線試験を大阪府大で実施するために移動機構を設計・製作し、照射室内に設置した。移動機構は、垂直軸（移動範囲0～200mm、移動速度～5

0 mm/s) と垂直軸に固定された水平軸 (移動範囲 0 ~ 200 mm、移動速度 ~ 300 mm/s) で構成される 2 軸ステージユニットとその制御、位置表示を行なう制御ユニットから構成されている。試料テーブルは X 軸に固定され、水平に移動することが出来る。

#### 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

〒105-0013 東京都港区芝 1-5-12 TOP 浜松町ビル 3 階

株式会社アクロラド 営業部

部長 三戸 美生

TEL : 03-3455-2680

FAX : 03-3455-2681

E-mail : mito@acrorad.jp