

平成20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21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

沖縄特別自由貿易地域内で操業中の(株)アクロラドは、CdTe 化合物半導体を使用する半導体 X 線検出器の開発を進めており、既に CdTe 素子と専用の読出回路 (ASIC) を使ったいくつかの検出器モジュールを製品化している。これらの検出器は CdTe の高い空間分解能、高いエネルギー分解能、小型軽量という際立った特徴を活かすことによって、医・歯学や非破壊検査における X 線撮影装置、X 線透視装置及び X 線 CT に広く適用される平面状検出器や PET、SPECT など核医学用途に適用される高感度面状検出器として広く応用されつつある。(CdTe 半導体検出器の特徴は、最後尾の参考資料を参照)

特に、平成18年度沖縄産学官共同研究推進事業「半導体平面パネル X 線検出器の開発」の採択テーマによる研究成果は、既に2次元型非破壊検査用装置あるいは CT 型非破壊検査用装置用の平面状検出器の開発に活かされ、開発品は大手非破壊検査装置メーカーに採用され、量産化に成功している。

更に CdTe の特徴を広く活かす方法としては、ライン状に並べることによってインライン検査用検出器としての応用があると考えられる。昨今、食品業界において異物混入が大きな話題となっており、PL 法に基づく製造物責任の観点から、食品加工工場において金属検出機や X 線異物検出装置の設置によって全数検査の要望が増えている。このため、国内において現在の X 線異物検出装置市場規模は、2000 年の約 2 倍の 50 億円で推移している。

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 或いはフォトダイオード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ことになり、例えば、針などの小金属の異物判定が困難と言われている。

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(株)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γ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。(株)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などで製作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。初年度は、16チャンネルタイプの試作を実施し、次年度は、検出ユニットとしての小型化を意識した32チャンネルタイプの開発を行う予定である。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。

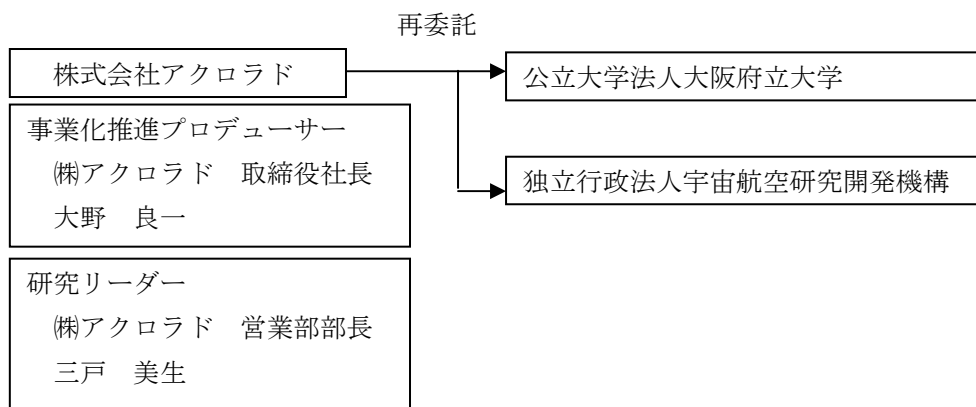
大阪府立大学の放射線研究センターは、大規模の放射線照射施設を有し、遮へい付放射線照射室で工業用エックス線装置や放射線計測装置が利用できる。また照射技術、放射線計測技術も優れたレベルにある。この施設は研究用としては日本でも有数の施設で、種々の試験に対応できる技術と設備を備えた施設は民間ではない。また、担当研究者達は、各種放射線のパルス信号の処理およびフォトンカウンティングによる2次元計測と画像化など、新たな放射線計測手法と検出アルゴリズムの開発実績がある。工業用エックス線装置の利用環境は確立されており、各種エネルギーでのエックス線のエネルギースペクトル、線量の計測経験は豊富である。また放射線線量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。

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、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は、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。更に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、5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、食品異物検査以外にも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。

検出器の価格は、現状100万円弱の価格であるため、本開発品の方が機能・性能に優れていても100万円を目指す価格設定が必要と考える。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＝卸売価格となる。毎年コストダウンを図り、販売3年後には、粗利益率30%以上を目指す。まず、平成22年度から23年度にかけて、テスト販売としてライン長153.6mmの標準品10台の出荷を予定しており、商品化後、平成24年度に50台、平成25年度に700台、平成26年度に1000台と世界シェア20%を目指している。食品検査装置メーカー（国内では㈱イシダとアンリツ㈱でシェア2分）からの期待も大きいため、20%のシェア獲得については十分可能と考えている。

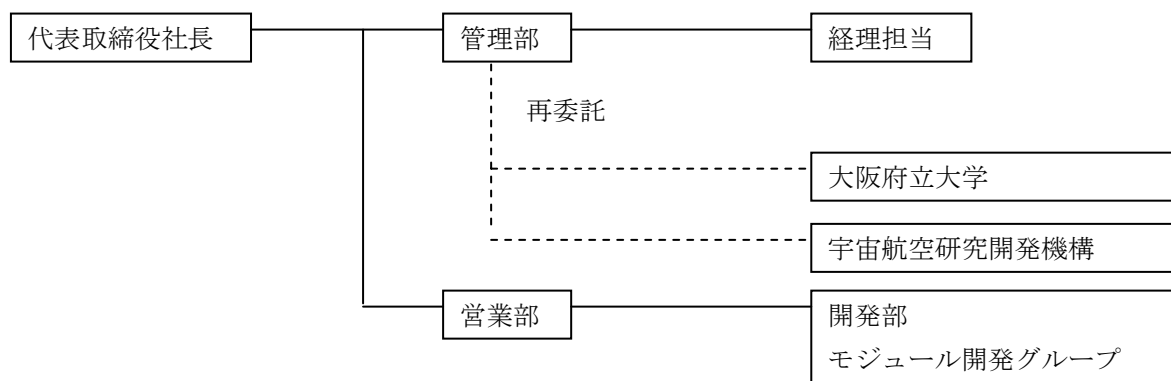
## 1-2 研究体制

### 1) 研究組織（全体）



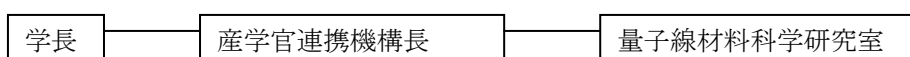
### 2) 管理体制

#### ①プロジェクト管理法人 [株式会社アクロラド]

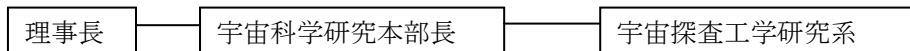


#### ②（再委託先）

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	開発部モジュール開発グループ・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	

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

(株)アクロアドでは、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狙った。開発ASICの特徴は、

- ・全ての回路素子をCMOSプロセスで構成しており、集積化により16chの信号処理回路を4.4mm角チップに収めている。
- ・本集積回路は、X線のセンサ用として高速信号処理を目的として、低ノイズサンプリングのアナログ回路と、カウンタで構成されるデジタル回路から成るアナログ・デジタルを混載しMixed Signal に特化したカスタムICである。
- ・集積回路として一般的に用いられるCMOS素子は、製造上のバラツキを抑えることを考慮した設計を行っているが、小信号レベルでは、そのバラツキが問題となることがある。そこで、そのチャンネル間のバラツキを補正する内部レジスタを構成しており、DAC回路を介してアナログ動作の補正・トリミングできる機能を有している。
- ・ノイズレベルとしては、CMOSの製造バラツキを含めても計算値では300-e以下となっており、高分解能に対応した回路構成となっている。

が挙げられる。図1に示すフォトンカウンティングによる計測技術を用いた 16ch タイプの ASIC の設計・試作が完了し、種々の電気的特性評価によって基本性能を満足していることを確認した。しかしながら、デバック用アナログ出力に不具合があるためにデジタル機能のみでの確認しかできなく、その後の確認作業に時間がかかることとなった。今後は、ASIC 不具合点を修正し、更に高集積化のために 32ch 以上の多入力タイプの ASIC の開発が必要である。

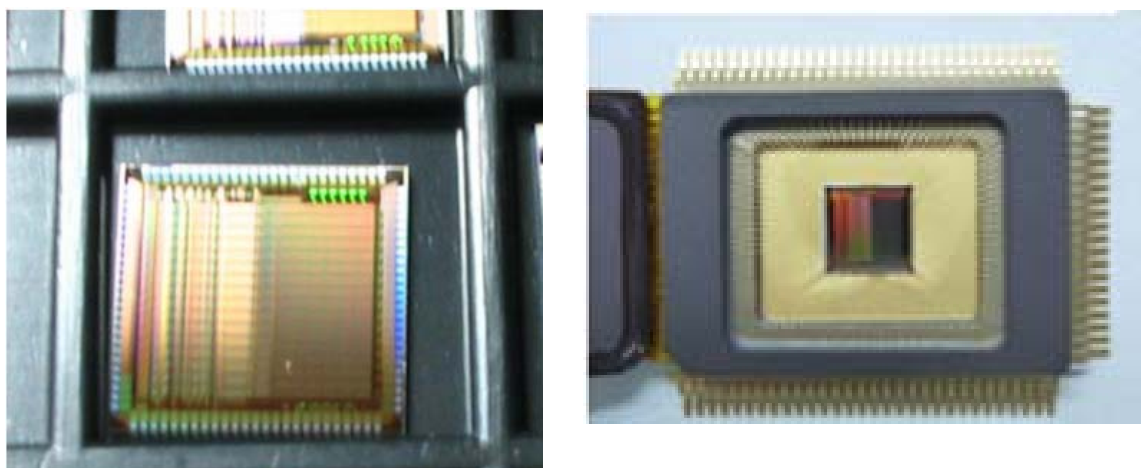


図1 トレイに入った ASIC の現物写真 (左)  
セラミックパッケージに入った ASIC の現物写真 (右)

(株)アクロラドでは、開発 ASIC を用いて CdTe 検出器と接続したセンサ基板を開発した。また、ASIC 以降のデジタル回路に於いて FPGA を使用した設計・開発を行った。設計に際して市場調査（展示会参加、装置メーカーヒヤリング、学会調査）により検出器の素子ピッチ、エネルギー閾値の数、最大入力カウントレート等を決定した。

(試作検出器モジュールの仕様)

検出素子 : CdTe

素子ピッチ : 0.4mm～(可変)

エネルギー範囲 : 20keV～200keV

エネルギー分解能 : FWHM 10%程度 at 57-Co/122keV ( $\gamma$ 線)

エネルギー閾値 : 6段

最大入力カウントレート : 2Mcps/ch (Hz)

最大出力カウント数 : 16bit

これに従って設計・試作を実施したが、ASIC の動作確認に時間を要したために、エネルギー弁別方式の検出器モジュールとして試作完了までには至らなかった。

更に、動作確認及び画像撮影のために、専用ソフトウェアを設計開発した。検出器モジュールの試作完了が遅れたために、実際に客先に貸出し、具体的なニーズを探ることができなかった。

検出アルゴリズムの開発においては、大阪府立大学での X 線装置での確認が 2 月に入ってしまった、基本的な特性試験の実施のみの確認となった。異物を模擬した Al や Cu などの板を透過後の X 線エネルギースペクトルでは、異物の阻止能やエネルギーによる透過力の違いに応じて顕著に違いが現れた。また、K エッジフィルタ使用時に、フィルタ構成元素の K 殻吸収端においてデュエルピーク化が起これり、この状態でも異物透過によるスペクトル変化が見られた。

高エネルギー領域と低エネルギー領域の減衰率比を調べたところ、次のような結果になった。

①25keV 以下の領域を利用した場合、K エッジフィルタ未使用時において減衰率比が最も大きく変化した。

②25keV 以上の領域を利用した場合、CdTe フィルタ使用時において減衰率比が最も大きく変化した。

25keV 以下の X 線スペクトル成分には散乱線を多く含み、被写体の違いによって非常に不安定なため、25keV 以上で CdTe の K エッジフィルタを使う方法が最も良い。

減衰率比を画像変換したところ、フィルタ使用時、未使用時とも阻止能の違いが鮮明に画像に現れた。また、スケール調整により、Cu や SUS よりも阻止能の低いガラスやテフロンの間でもコントラストを付ける事が出来た。スケール調整は、ソフトウェアにより容易に実現可能でスケールの異なるいくつかの画面にて異物の判断が可能である。

今後は、検出器モジュールの試作を早急に完了し、実際に客先に貸出し、具体的なニーズを探る必要がある。また、実際の異物検出の試験のために、検出器ユニットの移動機構の開発が必要である。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

〒105-0013 東京都港区浜松町 1-27-16

株式会社アクロラド 営業部

部長 三戸 美生

TEL : 03-3578-1491

FAX : 03-3578-1496

E-mail : mito@acrorad.jp