

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

『複数個の共振ミラーを使用した  
長距離・全天候型3Dセンサの開発』

研究開発成果等報告書

平成30年 5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 株式会社つくば研究支援センター

## 目 次

### 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
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 研究内容

- 2-1 長距離化（検出感度の増大）高密度化
- 2-2 広視野化・静音化
- 2-3 耐環境性の強化
- 2-4 使いやすいインターフェース

### 第3章 全体総括

- 3-1 複数年の研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

添付する資料

## 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

#### [背景]

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業において、本プロジェクトメンバーは、厳しい環境で稼動する各種ロボットが、実時間で環境認識に使用できる世界初の小型軽量で低コストの3次元レーザセンサを開発した。開発したセンサを、つくばチャレンジ2016、2017に約30台提供してロボット制御の実践を行った。またそれとは別に、プロトタイプの3DセンサYVT-20LX-X002を国内・海外を合わせて約1年間で110台を試験販売し、ユーザーから高い評価を受けた。この開発品は現在改良を加え、実用版YVT-35LXを2017年10月から販売開始した。そのセンサの構造を図1に示す。

しかし移動ロボットの環境認識への適用では、以下の問題が顕著になり、各研究者から改善の要求が多く出た。またこれに触発されて、特に車の自動運転用として、欧米のセンサメーカーの追従を受けている。

#### [プロジェクトの目的]

既に移動ロボットの環境認識に使用している世界各国の研究者から、以下の改善の期待が届いている。

- (1) 検出距離の拡大 (2) 垂直方向の検出エリアの拡大 (3) 測定点の増大による分解能の向上
- (4) 耐環境特性の向上 (5) 屋内でも使用するための静音化 (6) 耐振動特性の向上

小型軽量の優位性を損なうことなく、特に要求が高かった(1)、(4)、(6)を実現できるセンサの開発を囑望された。これに基づき、新たな3次元レーザセンサの構成法を見直し、各部の性能を極限まで高めて、他社の追従を許さない次世代3Dセンサを開発した。

#### [プロジェクトの目標]

開発するセンサの構造を図2に示す。両センサの最大の違いは、360度回転するモータに取り付けられた複数個の投受光ユニットである。図1は投受光ユニットが1ペアしかなく、検出ポイント数が多くできない主要因になっていた。これを解決するため図2では複数個(図では4ペア)あり、これがプロジェクトの目標である分解能の向上と、垂直走査角度の増大を実現している。開発を進めている中で、投受光ユニットを多くするとコストが増大するため、最小限の数2個に減らした。しかし同一分解能にするため、投受光の検出速度を2倍に上げ、初期の計画値の分解能を得るように改良した。さらにMPPCという従来より1000倍感度が高い受光素子を使い、レーザの強度を1/2に、レーザの投光数を2倍にし、目標を変えなかった。但しこの方法の一番の欠点は、受光素子の感度が高い分だけノイズが大きく、外乱光の影響を受けやすいことである。そのため、ノイズの影響を受けない、信号処理回路の開発を行った。また投受光ユニットが回転体に乗っているため、回転体に送る電力や、得られた信号の固定側への信号伝送が困難なことも欠点である。旧タイプの3Dセンサは、回転体には電子回路は乗っておらず、唯一共振ミラーに電力を供給する給電気だけであった。開発する3Dセンサは、回転体の中に、3D距離画像演算をするすべての回路が乗っている。従って回転体に載せる回路の信頼性と高速演算を実現するには、回転体に電力を送る非接触給電と、演算処理回路と、投受光回路と、信号を高速演算する演算処理回路と、得られた計測データを高速で固定側に送る無線通信回路を開発することが必要である。表1に申請時の目標スペックと、実現したスペックの比較表、表2に開発スケジュールの比較表を示す。

#### 【測定計測に係る技術に関する事項】

測定計測に係る技術に於いて達成すべき高度化目標の川下分野横断的な共通の事項は以下の2点がある。

①川下製造業者の抱える課題及び要請

ア. 高機能化 ウ. 小型化 カ. 低コスト化

②上記を踏まえた高度化目標

ア. 計測機器の感度上昇 カ. 小型化 キ. 低コスト化

この川下製造業者からの要求を実現する研究課題は下記の6点である。

(1)長距離化(検出感度の増大) (2)高密度化 (3)広視野化

(4)静音化 (5)耐環境性強化 (6)使いやすいインターフェース

3年間の補助金事業で、上記研究課題の開発を完了したが、その機能をセンサに組むことができず、試作評価まで行なえなかった。その原因は、当初目論んでいたレーザの安全規格が厳しくなり、追加の開発が増えたためである。但し開発目標は変えず、方式や使用部品の変更で、当初の目的は達成した。また販売計画を2回に分けたのは、安全機器としてこのセンサを使用したいという市場の要求が強くなったため、ロボットの制御機器と、安全機器の2回分けて商品開発を行うことにしたためである。平成31年はロボット等の制御に使用する商品の開発、平成33年はロボットと人が共存する環境で使用するため、制御機能に安全機能を追加された商品の開発を行う販売計画である。

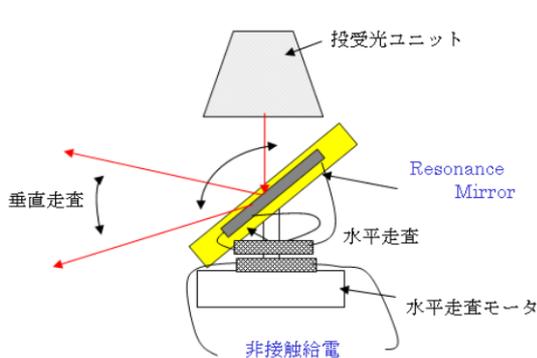


図1 平成24~26年開発したセンサの構造図

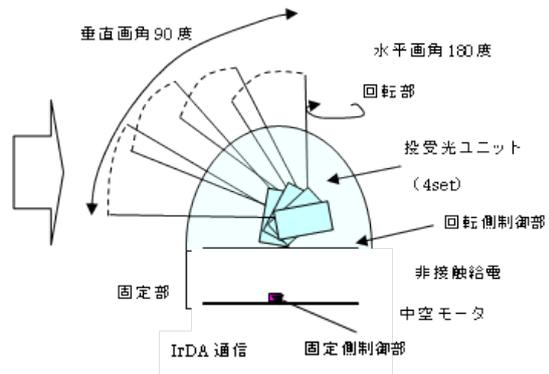


図2 平成27~29年開発するセンサの構造図

項目	実現したスペック	申請時の目標スペック
検出距離	200m	100m
水平エリア	360 度	360 度
垂直エリア	90 度	90 度
検出点数	800,000p/s	800,000p/s
耐環境特性	多値化 3 エコー	多値化 3 エコー
騒音レベル	46.2db	30db
耐振動特性	10G	10G
使用温度範囲	-20~60°C	-20~60°C
光芒の大きさ	2.7×2.7mrad	5.8×1mrad
保護構造	未確認	IP68K

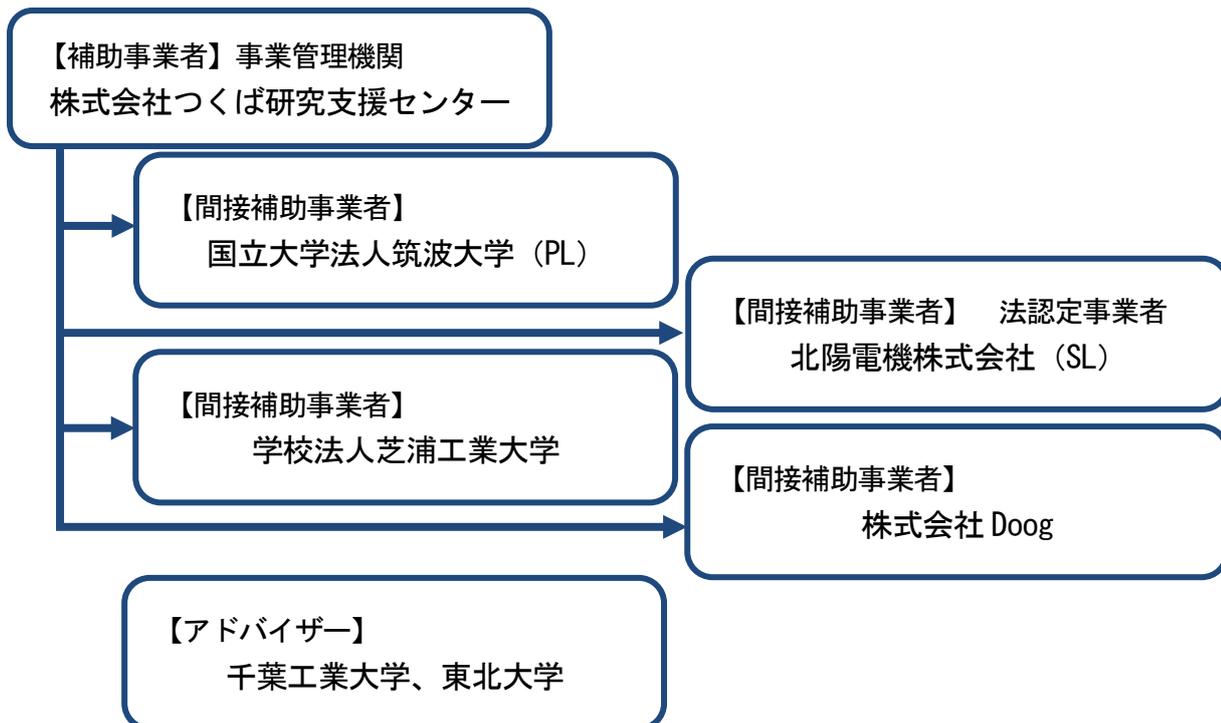
表 1 申請時と開発完了時のスペック比較

スケジュール	平成 27	平成 28	平成 29	平成 30	平成 31	平成 32	平成 33
申請時	基礎開発	評価改造	試作評価	販売			
開発完了時	基礎開発	評価改造	試作	試作評価	制御機器 販売	安全認証 試作評価	安全機器 販売

表 2 申請時と開発完了時のスケジュール比較

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制



(2) 管理員及び研究者氏名

【事業管理機関】 株式会社つくば研究支援センター

氏名	所属・役職
高田 青史	地域支援部次長
高木 潔	地域支援部

【研究実施機関】 国立大学法人筑波大学

氏名	所属・役職	備考
大矢 晃久	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授	PL
坪内 孝司	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授	
伊達 央	国立大学法人筑波大学 システム情報系 准教授	

【法認定事業者 兼 研究実施機関】 北陽電機株式会社

氏名	所属・役職	備考
森 利宏	取締役技術担当・取締役	SL
浅田 規裕	技術部量産設計課	
上谷 敏寛	車載品質測域センサ開発PJ・部長	
嶋地 直広	R&D室・部長	
木元 克美	技術部3D開発課・課長	
佃 真一	技術部量産設計課・課長	
加門 崇寛	技術部RS開発課・係長	
竹川 博夫	技術部3D開発課・主任	
カルバヨ アレックサンダー	R&D室・主任	
安田 国弘	車載品質測域センサ開発PJ・主任	
松尾 清史	新技術開発室・主任	
坂本 直規	技術部RS開発課・主任	
西村 健太郎	R&D室・主任	
山口 直繁	技術部3D開発課	

【研究等実施機関】 学校法人芝浦工業大学

氏名	所属・役職
油田 信一	芝浦工業大学 SIT 総合研究所 特任教授
長谷川 忠大	芝浦工業大学 工学部電気工学科 教授

【研究等実施機関】 株式会社 Doog

氏名	所属・役職
大島 章	株式会社 Doog 代表取締役
城吉宏泰	株式会社 Doog 代表取締役

### 1-3 成果概要

本プロジェクトで実施する研究課題の項目ごとの目標と成果を表3に示す。

研究課題	目標	結果	内容
長距離化	100m	200m	高受光感度素子で達成
高密度化	800,000p/s	800,000p/s	ハイパワーレーザで達成
広視野化	360度/90度	360度/90度	静音化 ReM で達成
静音化	30db	46.2db	ケースの共振で未達成
耐環境性強化	100G 3 エコー	100G 3 エコー	高耐震動モータ、非接触給電、信号演算で達成
使いやすいインターフェース	3次元通信 プロトコル	3次元通信 プロトコル	センサの組み込みソフトとアプリケーションソフトで達成

表3 研究開発の目標と成果

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

#### 当該研究開発の連絡窓口

所属・氏名：北陽電機（株）技術本部 要素技術室 上谷 敏寛

E-mail : kamitani@hokuyo-aut.co.jp

電話番号：06-6333-8635

## 第2章 研究内容

本プロジェクトで実施する研究課題ごとにその内容を説明する。

### 2-1 長距離化（検出感度の増大）高密度化

長距離化と高密度化は投光光学系及び受光光学系の開発で達成した。

パルスレーザと投光レンズを使った投光光学系、超高感度受光素子と受光レンズを使った受光光学系、及び投受光ユニットの評価を行った。

#### (1) 投光光学系の開発

申請時はレーザ安全規格（国際安全規格）の改正により、25W レーザから 75W レーザにパワーアップを検討していたが、FDA（アメリカのレーザ安全規格）の改正が見送られたことから、25W レーザで長距離化を実現せざるを得なくなった。またパルスレーザは、大きな光点を持つレーザ素子が必要である。大きな光点を持つレーザを小さな光芒にするため、2枚の組み合わせレンズを使った投光光学系を開発し、目標を達成した。光学製設計の詳細は資料3 “ハイパワーなパルスレーザを使った投光ユニットの開発” に示す。

#### (2) 受光光学系の開発

レーザ安全規格クラス1の制限から、レーザパワーのアップができなかったため、従来の APD から感度が 10000 倍高い MPPC に変更した。開発した受光光学系と MPPC を使った受光素子の特性を資料4 “受光光学系と高感度受光素子” に示す。

#### (3) 投受光ユニットの試作

検討したセンサユニットの鳥瞰図と、3D で試作したセンサユニットを図3に示す。申請時は投光にはパルスレーザ、受光には APD アレーを使った方式であった。修正された方式は、投光に高出力パルスレーザと2枚組み合わせレンズ、受光素子に MPPC を使用した。量産時には投受光センサユニットの配置をさらに検討して、小型で長距離検出ができるセンサユニットを設計する。

試作した投受光ユニットは“資料5 投受光ユニットの試作” に示す。

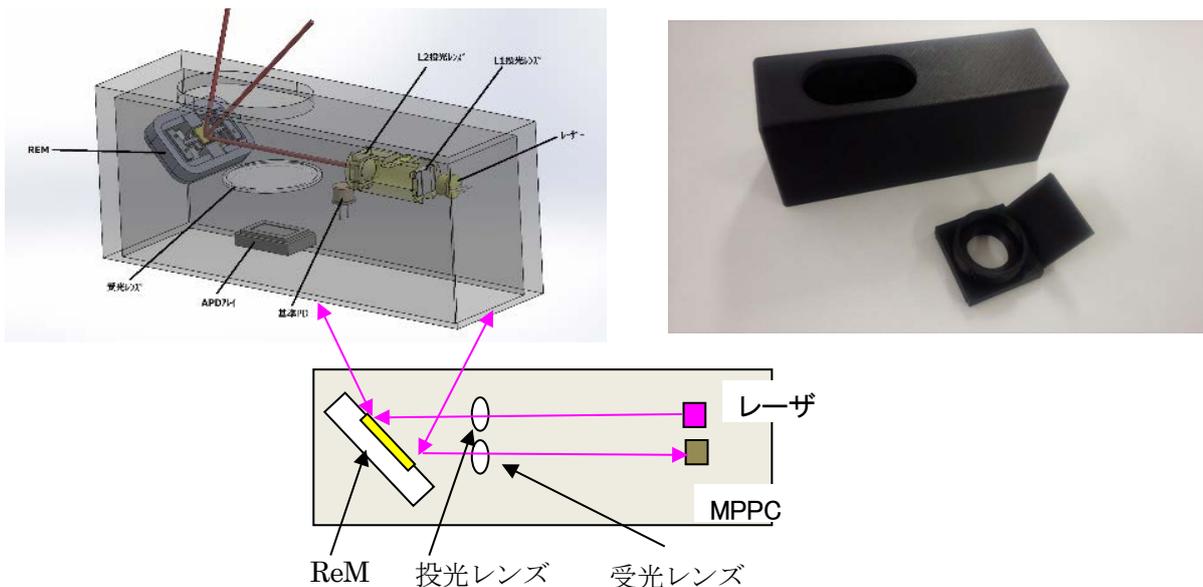


図3：投受光ユニットの鳥瞰図と試作した投受光ユニット

## 2-2 広視野化・静音化

広視野化と静音化はカウンタ付の ReM（共振ミラー）の開発で達成した。

### (1) 静音化ミラーの開発と試作

共振ミラーの静音化のため、逆位相に走査するカウンタミラーを開発した。共振ミラーの設計値を表 4 に、開発した内容と手順は資料 1 “静音化ミラーの開発と試作” に示す。

共振周波数	1844.2	Hz
	最大主応力	
光学振幅10度	58.5	M Pa
光学振幅20度	117.1	M Pa
光学振幅30度	175.6	M Pa
光学振幅40度	234.2	M Pa

ミラー寸法 5×10 mm  
筐体寸法 31×19×6 mm

表 4：共振ミラーの設計値

### (2) 静音化ミラーの音特性

開発した共振ミラーのカウンタ効果による静音化を調べるため、振動レベルの減衰値を周波数解析装置で、センサ全体の音レベルは騒音計で測定した。その結果を図 4 に示す。緑の線が対策前で、灰色の線が対策後である。1800Hz 近傍の音レベルが 2G→0.4G と約 1/5 に減衰した。しかし図 5 に示すように、1800Hz 以外の振動は全く減衰しなかった。共振ミラーの 1800Hz 以外の振動が、センサの各種部品と共振して、騒音が低くならなかったと考える。従ってカウンタミラーだけによる静音化には限界があった。

従って他の静音化技術を開発した。PC（ポリカ）光学窓の一部を金属に変え、さらに ReM のケースに SD（静音化金属）などのケースの剛性化による対策を行った。その結果は図 5 の周波数特性に、対策による静音化結果は表 5 に示す。音対策の詳細は資料 2 “静音化ミラーの音対策” に示す。

音対策の結果、現状の静音化方法では、目標 30db に対して 46.2db が限界であった。今後はケース材料を見直し、目標の騒音レベルを実現する

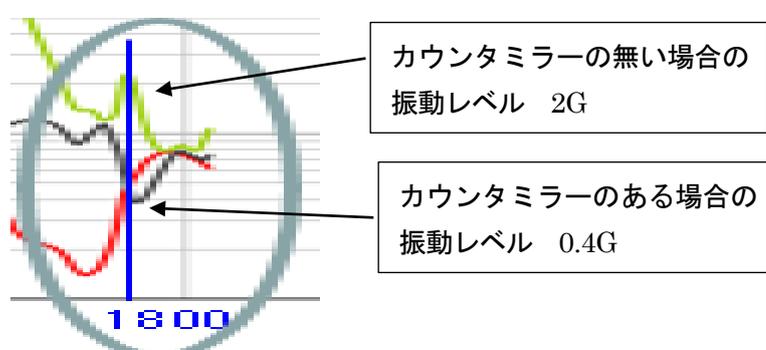


図 4 カウンタミラーによる静音化

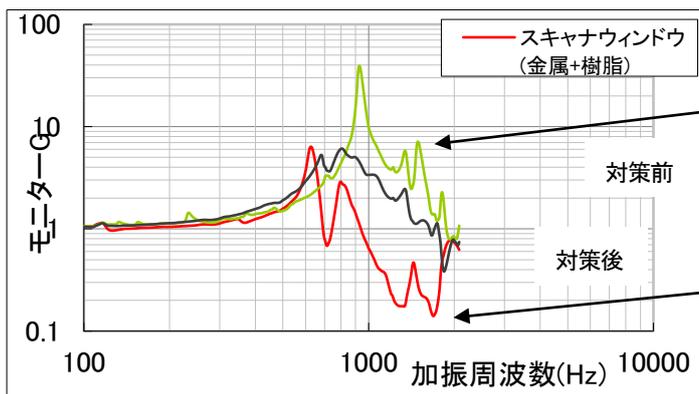


図5 光学窓の剛性化による静音化

	カウンタ	なし			あり		
構造	窓カバー	PC	PC+SD	PC+金属	PC	PC+SD	PC+金属
45	共振周波数 (Hz)	1669.1			1719.2		
	音レベル (dBA)	63.0	57.2	51.1	55.7	50.0	46.2

表5 静音化対策まとめ

### 2-3 耐環境性の強化

機器の耐環境性の強化は、モータの改良と、非接触給電回路と、センサから出力される信号の相関演算法とマルチエコー演算で実現した。

#### 2-3-1 耐環境性が強化されたモータ及び周辺機器の開発

屋外環境で使うロボットは、農業機械や建設機械並みの品質が要求される。厳しい環境で使われるロボット、例えば建設土木機械や農業機械などには、表6の性能が要求される。特にこのような機械は振動が多く、10G以上の耐震性が要求され、さらに長時間動作のために、耐久振動性能が要求される。屋外でも使用可能な部品能力を見極めるため、悪環境でも安定して動作する以下の部品を開発した。

- 振動に強い高耐震動モータ
- 温度範囲が広い非接触給電装置
- 悪環境下でも、安定してセンサ信号を検出できる信号処理回路

	項目	仕様	備考
1	電源電圧	10～38V	バッテリー動作
2	動作温度	-40～85℃	
3	振動・衝撃	振動 10G 衝撃 100G	取り付け場所による
4	外乱光	太陽光 200,000Lx 以上	

表 6 耐環境性の高い場所で性能が要求される項目

### (1) 高耐震動モータの開発

10Gの耐震構造を持つ中空モータを開発した。しかしこのモータは空心モータのため、コッキングがほとんどなくスムーズな回転ができる反面、負荷変動に弱く、特に電源の立ち上がり時、安定になるまで数秒かかる欠点がある。但しレーザの走査は負荷変動が少ないため、性能に問題はなかった。形状は図6に示す。

このモータは、強い振動がかかってもモータ軸が曲がったり凹んだりしないように、中空部に外形28mm内径10mmのベアリングを、内部にはφ6mm外形φ10mm厚み2mmのパイプを使用して、高振動でも安定した回転が可能な構造とした。また中空部には、回転側の信号と固定側の信号の無線通信ができるスペースになっている、高速無線通信には Transfer Jet の電波通信を開発した。

モータの形状と仕様及び振動特性は資料11“高耐震モータの開発”に示す。

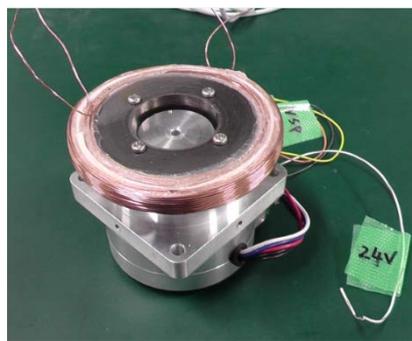


図 6 耐振動強化モータと非接触給電コイル

### (2) 非接触給電回路

この高耐振動モータの固定部に1次側のコイルを巻き、回転側には2次側のコイルを巻き、同心円状に配置し、1次側から2次側に非接触給電を行った。開発したコイルは、図6のモータ上にある。1次側のコイルはモータ本体に固定、2次側のコイルは回転するパイプに固定される。両コイルは同心円状にまかれているため、回転角度による効率の変化は起こらない。またこのコイルの給電効率はコイルを巻くリアクトルと呼ばれる材料を選定し、最大で40Wの効率を実現した。

非接触給電の性能や回路構成は資料12“非接触給電の開発”に示す。

## 2-3-2 耐環境性が強化された信号処理回路の開発

### (1) 投受光ユニットの信号解析

上記投光光学系と受光光学系の感度を測定するため、図7の投受光ユニット試験装置を使用した。その結果は資料6“投光ユニットの検出感度特性”に示す。

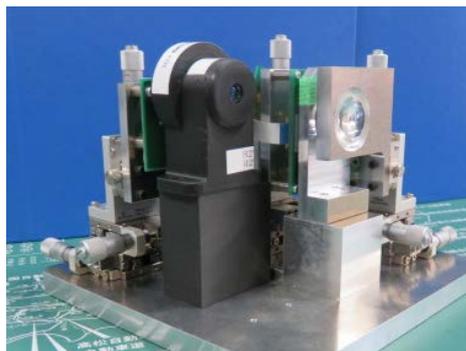


図 7：試作した投受光ユニット試験装置

## (2) 波形データの演算

波形データを解析するため、ノイズを除去する演算方式である相関法をつかった。相関法とは元信号とノイズの無い理想的な信号パターンと相互相関を取り、ノイズに埋もれた信号から、欲しい信号を効率良く抽出する方法である。図 8 に示す相関演算は、基準パターンの立ち上がり信号と積和演算をすると、相関値のグラフが得られる。相関値のグラフのピーク位置が立ち上がり信号のアドレスになる。このように基準パターンとの相関演算を使えば、ノイズが除去されたきれいな信号が得られる。

相関演算で各種波形データを演算した結果を資料 7 “相関演算の波形データ” に示す。

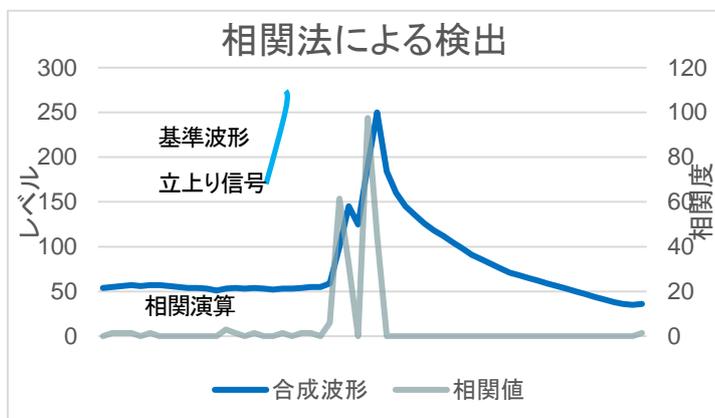


図 8：信号の相関演算

相関演算式

$$S = \frac{(A \times B)}{\sqrt{\sum A^2} \times \sqrt{\sum B^2}}$$

## (3) 距離演算 (平均演算なしの時)

以下の方法で行った距離演算から、データの誤差やバラツキをシミュレーションした。

### (3) - 1 距離演算方法

距離演算は以下の手順で行った。

- ① 波形データから、立ち上がりの基準パターンで相関を取り、相関データの抽出を行う。
- ② 相関データから、検出物のエッジの位置を抽出し、そのピーク位置 (アドレス) を重心演算で求める。
- ③ 検出物のデータ加算を行いノイズを低減した後、相関値のレベルを求める。
- ④ ピーク位置と実距離を線形補間して、1 次の補間式を求める。

- ⑤ 補間式にアドレスデータを挿入して、信号のエッジの位置を補間する。(距離補正)
- ⑥ 実距離と演算距離の誤差を求め、レベルと距離誤差の補間式を求める。
- ⑦ レベルと距離の補間式から、距離を補正する。(レベル補正)

上記手順で演算する距離の補正を図9に示す。またテストサンプルの精度を、資料8“距離演算シミュレーションによる検出精度”に示す。

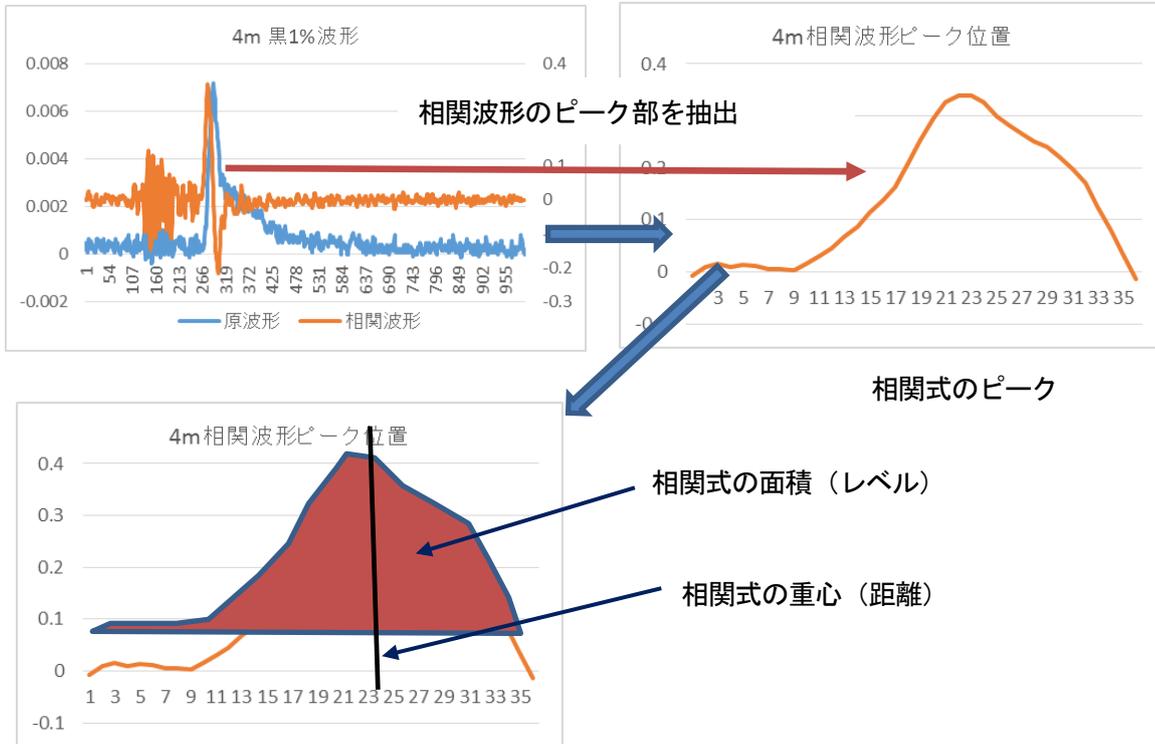


図9：演算の手順説明

### (3) - 2 マルチエコー演算

光学窓の汚れや、検出物とセンサ間にある埃や雨や雪や霧などの障害物をキャンセルして、検出物を安定に抽出するには、マルチエコー演算が必要である。マルチエコー演算とは、図10に示すように、レーザ光1発で多種類の物体から帰ってくる信号解析技術で、検出物の信号の距離や大きさから、不要信号を除去する方法である。図10の信号では、雨粒から帰ってくる信号のレベルや検出物の発生頻度の連続性で、雨粒を除去することが可能である。

このようにマルチエコー演算は、一つの受光信号から、多くの検出物による反射を分離する演算技術である。屋外でこのセンサを使用する場合、この能力で検出感度が決まる重要な機能である。

資料9“マルチエコー演算処理”にその結果を示す。

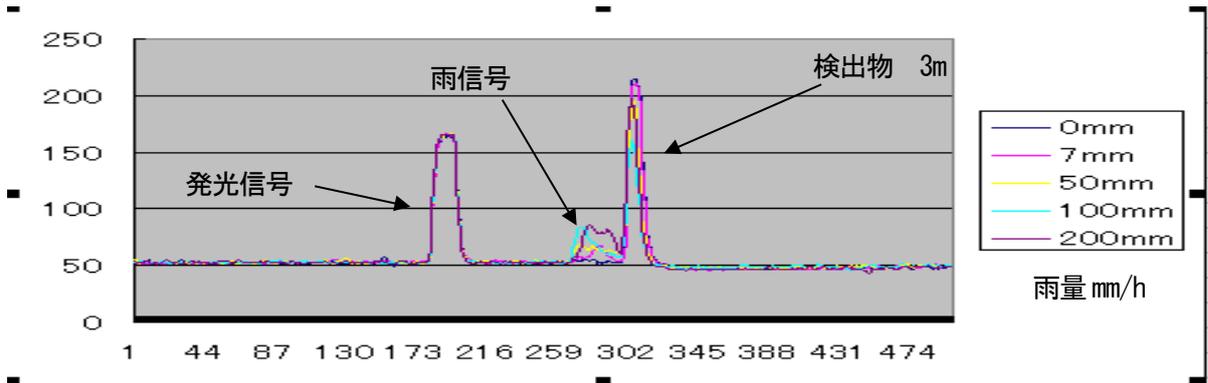
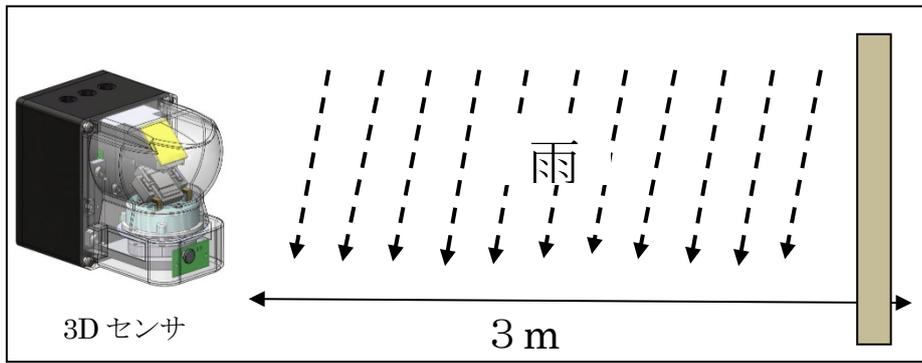


図 10 : 雨によるマルチエコー信号

### (3) - 3 段差のある検出物のマルチエコー演算

段差のある検出物は、手前にある物体のエッジの第 1 エコーと、後ろにある物体の第 2 エコーが合体して、両物体の距離の中間値を出力する。あたかもその位置に斜め方向の壁があるように出力するため、正確な形状を認識することができない。マルチエコー演算により、立上りエッジと立下りエッジの差を求め、補正することにより、エッジ部の距離信号が正しく演算される。図 11 の構成でテストを行い、その演算結果は図 12 に示す。

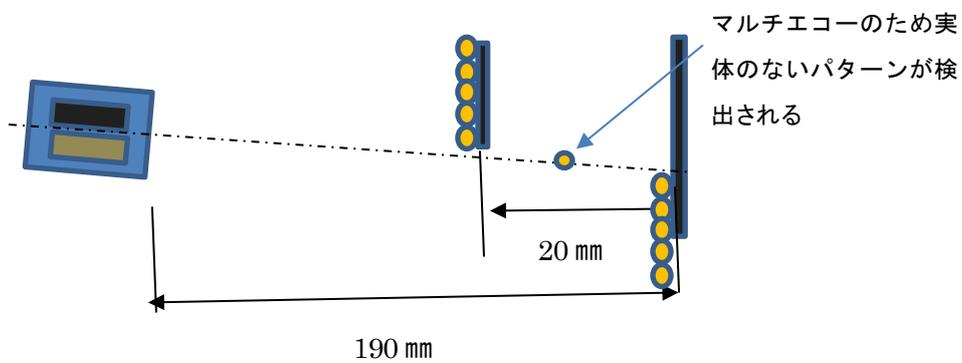


図 11 : マルチエコーの実験構成

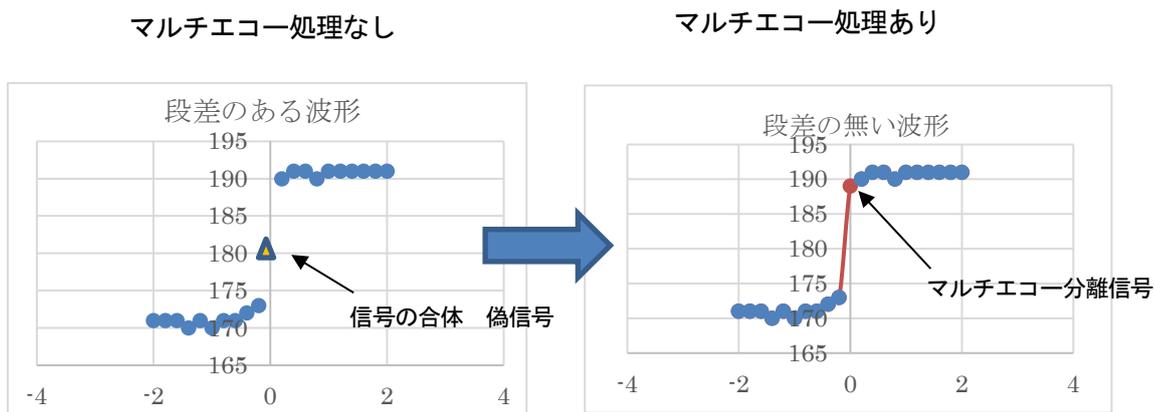


図 12 : 段差のある検出物のマルチエコー処理

#### (4) 耐環境強化された演算回路の開発

強い太陽光や、光学窓の汚れや、空中に飛散している埃や雨等の屋外環境下で、安定して距離演算をするには以下の項目で説明する演算回路が必要である。ノイズの多い信号から安定して検出物を分離して解析する方法について報告する。

##### (4) - 1 類似度演算回路の演算式

類似度演算は次に示す相関演算式を用いる

相関演算式

$$S = \frac{(A \times B)}{\sqrt{\sum A^2} \times \sqrt{\sum B^2}}$$

A は検出した信号で B は基準信号である。時間軸に対して、A は検出した信号の大きさを表すベクトルで、B は基準信号のベクトルである。(A × B) は各時間軸ごとの値の積和演算で、 $\sum A^2$  は信号ベクトル、 $\sum B^2$  は基準信号のベクトルの大きさである。

この演算の精度を上げるには、非常に速いサンプリング間隔で信号をデジタルに変換する必要がある。市販の ADC では 0.1ns が限界で、距離にして 15 mm となり、1 mm 以下の演算精度を上げることができない。

今回の事業では 100GHz 10ps、距離にして 1.5 mm ピッチで演算できるように、TDC(デジタル遅延回路)を開発した。遅延回路は回路の素子のバラツキに起因するため、試作を半導体製造メーカーに依頼して、バラツキの少ない、 $10 \pm 2ps$  の ASIC が完成した。この値は距離にして  $1.5 \pm 0.3 mm$  に分解能である。この方式により、精度 10 mm 以下の超高速な AD コンバータの開発が可能となった。

開発した ASIC の特性は資料 10 “TDC 用 ASIC の試作開発” に示す。

##### (4) - 2 類似度演算の全体構成

ASIC の相関演算部の開発は以下のように実施した。超高速 AD コンバータ (3GHz) を使ってデジタル化した後、データを一時バッファに待機させ、その後 200Mz (5ns) の相関演算の回路を FPGA で開発した。

FPGA の回路構造を図 13 に示す。この回路は TDC と同じシリコン半導体のため、TDC 回路に FPGA の相関演算回路を組み込めば、同一のパッケージに収めることが可能となり、安価で性能の良い距離演算 ASIC が実現できる。

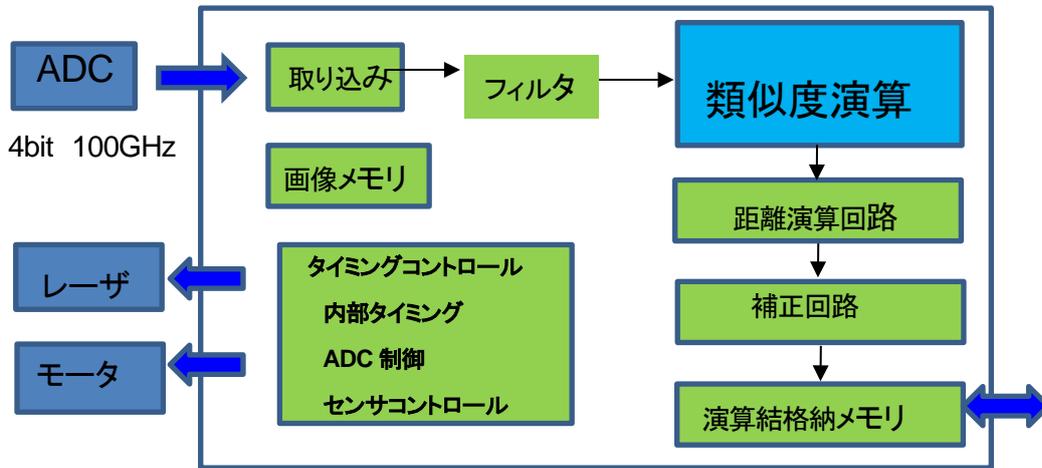


図 13 : 演算回路構成

(4) - 3 類似度演算の回路構成

ASIC に組み込む類似度演算は図 14 に示す回路構成で行う。

テストは超高速 AD コンバータ (3GHz) と FPGA で行う。入力が高速のため、FPGA 内のシフトレジスタに一旦データをため、その後、積和演算や割り算などは、FPGA 内の 200MHz クロックで行う。FPGA のデジタル信号のバッファはシフトレジスタで書かれているが、TDC では並列のラッチ信号になる。レジスタの数が増えると ASIC が高価になるので、演算点の位置をあらかじめ遅いレジスタで検索し、高速で読む時は、検出した範囲のみを並列でバッファに取り込むなどの工夫は必要である。このように演算点数を削減することにより、効率の良い相関演算 ASIC の開発が可能となる。

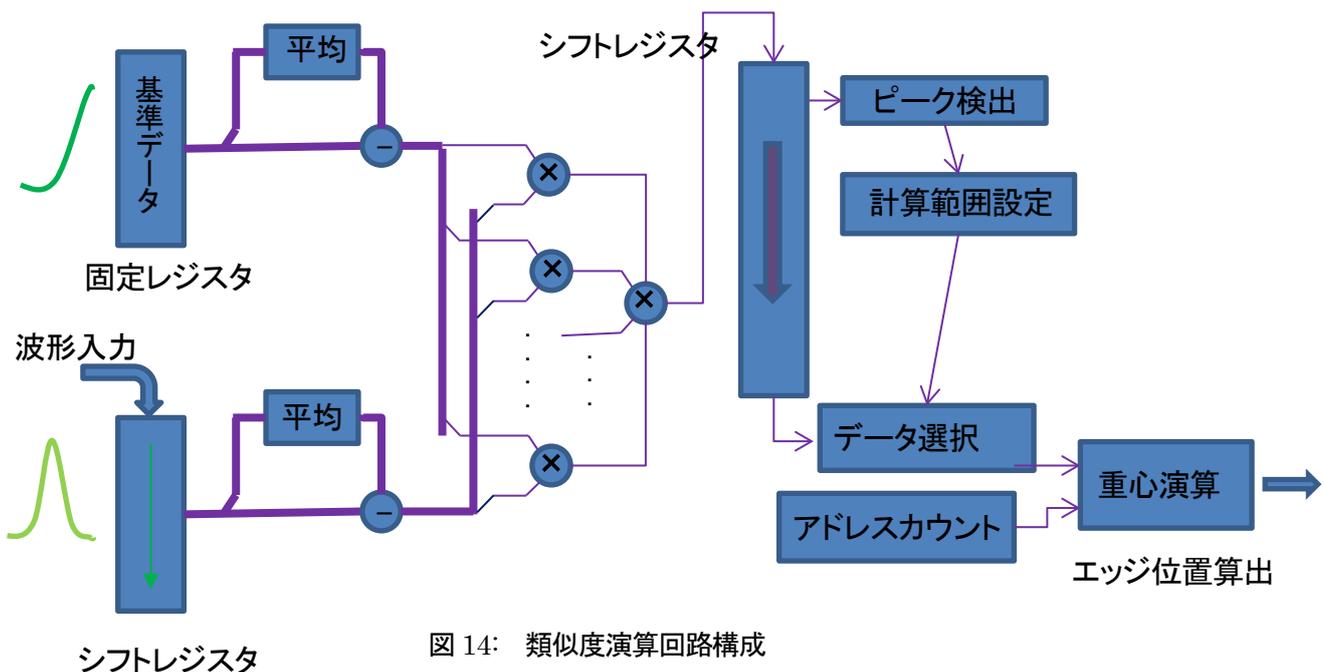


図 14: 類似度演算回路構成

## 2-4 使いやすいインターフェース

高速で3次元距離データを外部機器に通信するプロトコルと、それを実現するCPUやその周辺機器を開発した。

### (1) 大容量3次元データを効率よく通信するコマンド体系の開発

視野の広い全天空型の測域センサの場合、複数個のセンサユニットを1台のコントローラで制御する必要がある。その場合各投受光ユニットの同期と、得られた画面のつなぎ合わせが必須である。また3D画像データは、800,000p/sのデータがある。ロボット等リアルタイムで制御する場合、センサからの応答の遅れは許されない。多くのユニットからランダムに送られてきた信号を1つの画面に統合し、広視野な画像を生成するためには、高速で効率のいい通信コマンドが必要である。我々は3年前開発した3Dセンサの通信コマンドに、各ユニットのIDを付けるとともに、各ユニットの相対位置をXYZの直角変換と回転補正を行い、安定した画像を作成した。

### (2) 通信コマンドの実装

大容量3次元データを効率よく通信するコマンド体系の開発した。

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業において開発した3Dセンサの通信方式VSSP VER1.0を元に、複数個の投受光ユニットを結合したVSSP ver2.0を開発した。そのプロトコルの詳細は、資料15“VSSP version2.0仕様書”に示す。またこのプロトコルを既存の3Dセンサに実装し、複数台の3Dセンサを結合させるアプリケーションを開発した。2台の3Dセンサの信号は安定して結合され、視野の広い全天空型の測域センサが実現できた。試験環境は図15に示す。2台3Dセンサのの信号を重ね合せた波形は図16に示す。

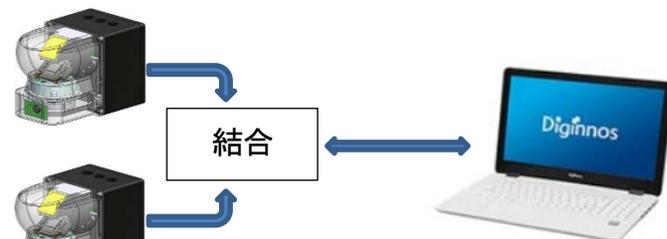


図15：結合テスト方法（試験環境）

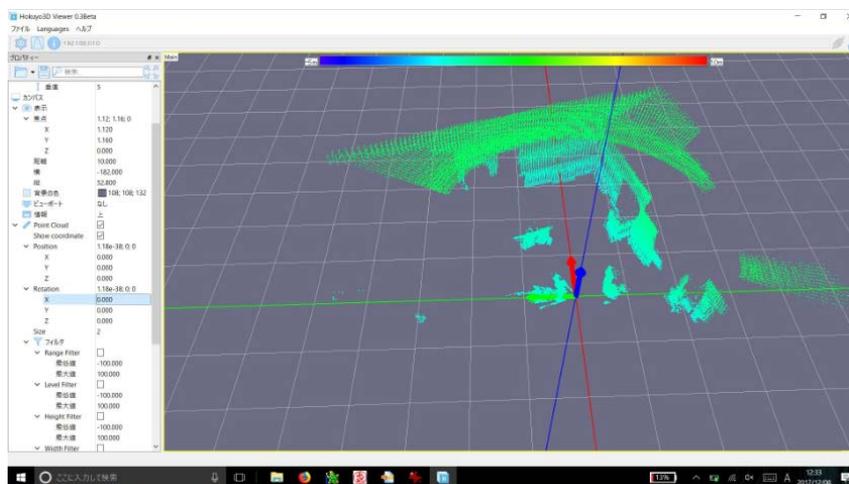


図16：結合した波形

### (3) 固定部および、回転部におく情報処理回路とソフトウェア開発

#### (3) - 1 高速演算 CPU

3D センサの CPU は外部通信に GbitEther 通信と、回転側/固定側のセンサ内の高速通信機能を持った高性能・高速の CPU が必要である。センサ内部の通信系の構成図を図 17 に示す。

またセンサ内の通信を 50MHz で通信できる SDIO と GbitEther 通信を内蔵している Freescal の iMAX 6Solo を使用した。CPU の選定の計算書を資料 13 “高速演算 CPU” に示す。

またセンサ内の高速無線通信 Transfer Jet の検討資料を、資料 14 “Transfer Jet 近距離高速度通信の評価” に示す。

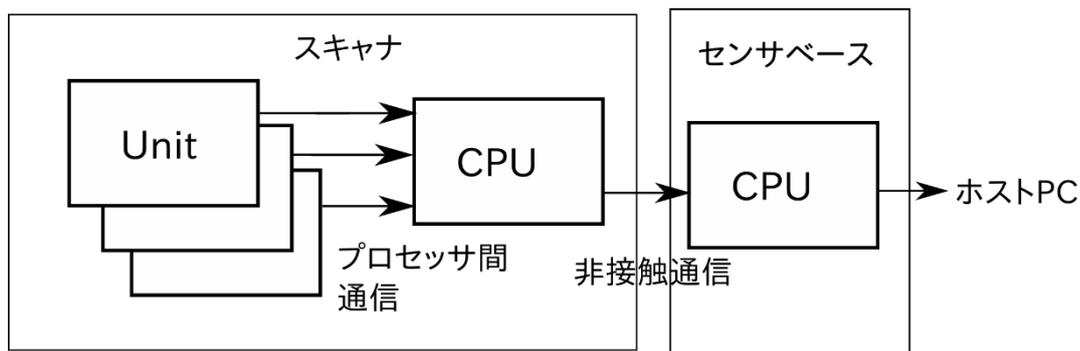


図 17 計測データの通信の流れ

#### (3) - 2 高速演算するための ASIC 開発

距離分解能 10 mm 以下の演算をするためには、30ps (30Gz) 以下の AD 変換器が必要である。しかしこのような高速な変換器は市場にないため、シリコンチップ内の回路遅延を応用した TDC 回路変換で実施した。回路遅延は設計値ではなく製品を生産する時の条件で決まるため、その最適条件を求めるための ASIC の試作器を開発した。その結果は資料 10 “TDC 用 ASIC 試作開発” に示す

#### (3) - 3 固定部および、回転部におく情報処理回路とソフトウェアの開発

高速で信号処理を行う ASIC を試作し、信号遅れ 10ps、 $\sigma=1.5ps$  の性能を確認した。この性能の ASIC に (4) - 2 項で開発した信号処理アルゴリズムをハード化した回路と、高速 TDC 回路を付加して、量産型 ASIC を開発する。

### 第3章 全体総括

#### 3-1 複数年の研究開発成果

研究課題の6項目の開発は完了した。一部目標に達成しなかった静音化や IP67K などの構造物設計は、試作器・量産機を開発する過程で実施する。達成しなかった原因は、この研究過程で判明しているため、機器の構造物の設計で解決できる見込みである。コストや生産性などを、設計の初期から見直し、安価で高性能な『複数個の共振ミラーを使用した長距離・全天候型 3D センサの開発』を行う。

#### 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

事業化に重要な開発テーマは、静音化された ReM の生産性を上げることと、試作した ASIC に、演算回路を付加した量産型 ASIC を開発することである。ReM の生産性で問題となるのは、走査ミラーと静音化のためのカウンタミラーの共振周波数合わせである。研究では共振周波数を目的の周波数に合わせるため、加工により周波数を追いこむ方法をとったが、このやり方では量産性が悪い。両ミラーの初期の周波数を出来るだけ近づけるように、部品の精度や組み立て精度を上げ、さらに周波数を追い込む加工を、自動化しなければならない。応答速度の速い TDC 回路の ASIC の試作は完了した。耐環境性の高い信号処理をするには関連演算回路をこの ASIC に組み込まなくては実現しない。ロジックを FPGA で開発し、TDC とロジックを組み込んだ量産型の ASIC を開発する。

今後の販売に向けたスケジュールと5年後の販売目標を表7に示す

補助金事業終了後2年でロボット向けの制御用センサを開発し、その後2年で国際安全規格 IEC61496-3、IEC61508 の要求事項を満たしたセンサを開発する。人と機械が共存する場所では、今後安全性が強く求められるため、他社に先駆けて商品化開発を行う。今後ロボットが普及すれば、世界的な市場規模はさらに拡大し、目標金額の10倍以上になると予測している。

	用途	平成30	平成31	平成32	平成33	平成34	販売目標 (円)
ドローン用	環境認識	●————→ 量産設計		●————→ 販売			20,000,000
移動ロボット	環境認識	●————→ 量産設計		●————→ 販売			30,000,000
産業ロボット	侵入検知 安全用			●————→ 量産設計		●————→ 販売	80,000,000
AGV	衝突防止 安全用			●————→ 量産設計		●————→ 販売	120,000,000

表7 開発販売計画

## 添付する資料

- 資料 1 静音化ミラーの開発と試作
- 資料 2 静音化ミラーの音対策
- 資料 3 ハイパワーなパルスレーザを使った投光ユニットの開発
- 資料 4 受光光学系と高感度受光素子
- 資料 5 投受光ユニットの試作
- 資料 6 投光ユニットの検出感度測定
- 資料 7 相関演算の波形データ
- 資料 8 距離演算シミュレーションによる検出精度
- 資料 9 マルチエコー演算処理
- 資料 10 TDC 用 ASIC 試作開発
- 資料 11 高耐震モータの開発
- 資料 12 非接触給電の開発
- 資料 13 高速演算 CPU
- 資料 14 Transfer Jet 近距離高速度通信の評価
- 資料 15 VSSP version2.0 仕様書