

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「画像・音声探査機とマイクロ波センサの融合による災害救助用探査装置の新分野開拓」

研究開発成果等報告書

平成23年9月

委託者 関東経済産業局
委託先 新菱工業株式会社

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
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 融合型（画像・音声・マイクロ波ドップラー）センサヘッドの開発
 - 2-1-1 超小型マイクロ波ドップラーセンサの開発
 - 2-1-2 超小型マイクロ波ドップラーセンサと画像、音声センサを統合したセンサヘッドの開発
 - 2-1-3 最適化設計への対応
 - 2-1-4 堅牢なセンサヘッドへの対応
- 2-2 信号処理機能に対する課題への対応
 - 2-2-1 画像処理機能への対応
 - 2-2-2 分析機能強化への対応
- 2-3 試作機の各種試験の結果
 - 2-3-1 振動試験
 - 2-3-2 熱サイクル試験
 - 2-3-3 静電気放電イミュニティ試験
 - 2-3-4 ヘッド部荷重試験
 - 2-3-5 模擬環境下での要救助者の探査実験

第3章 まとめと今後の事業展開について

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

大規模地震災害などの災害現場では、様々な探査装置をその特性に応じて使い分けているが、運搬が煩雑になることや、混乱した災害現場でそれぞれの機能を効率よく使い分けることが難しいため、災害救助に従事する多くの隊員から、複数の機能をもつ探査装置の開発が求められている。

従来の画像・音声探査機は、探査範囲がカメラで見える範囲又は要救助者の発する音声聞き取れる範囲に限られるが、確実に探査できるため需要は高く普及も進んでいる。

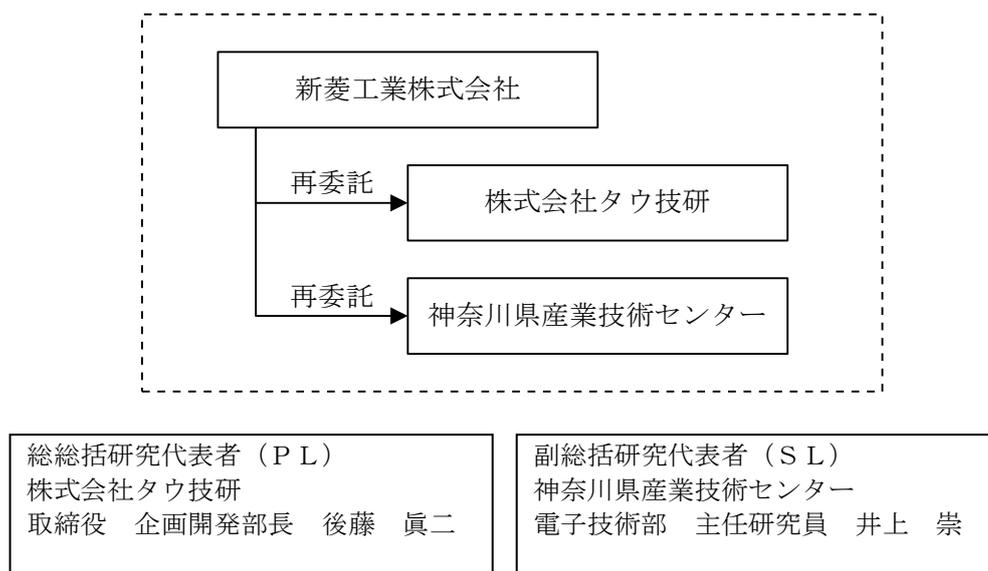
一方、電磁波探査機は、呼吸による微小な動きを検知することができるため、要救助者が瀕死の状態でも発見することが可能で広い領域を探査できるが、装置が複雑化し高価となり、一部のレスキュー部隊に配備されるのみであった。

また、従来の画像・音声探査装置は、リアルタイムに探査することを目的としていたため、記録再生機能などを搭載していなかったが、混乱した災害現場では、要救助者をカメラで捕らえられても見過ごされてしまう可能性も考えられ、記録再生・解析機能が要求されている。

そこで、本研究開発では、現場の要求に合わせ、実績のある探査方式を融合し、装置を小型・多機能・高機能化するとともに、情報処理制御部を大容量高速処理化することにより、画像の記録再生・解析機能、電磁波探査・解析機能の強化を実現し、探査効率を高めることを目的とする、新たな災害救助用探査装置を開発する。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

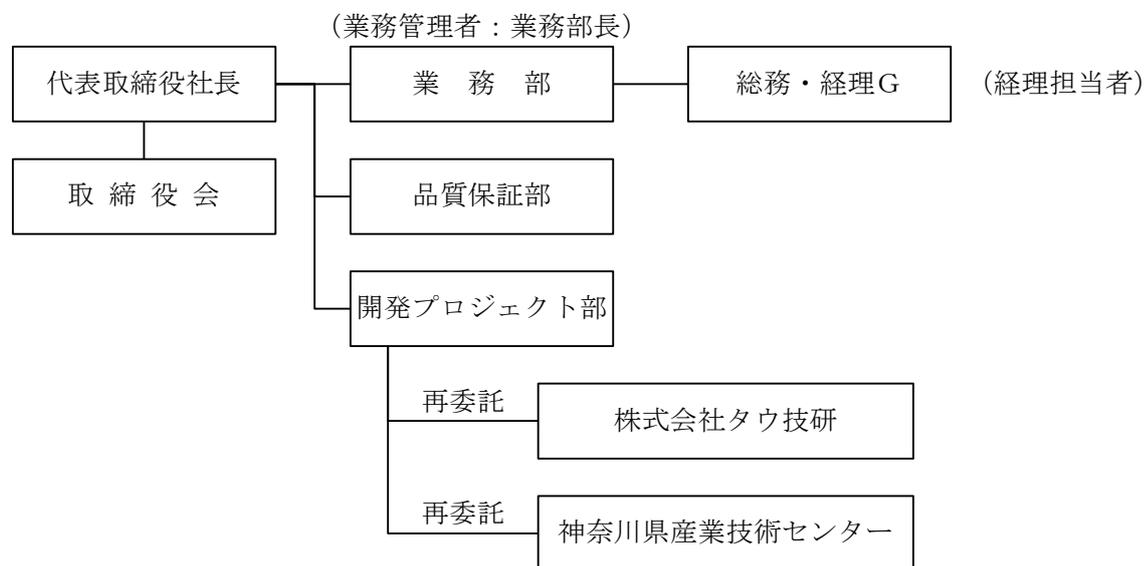
1-2-1 研究組織（全体）



1-2-2 管理体制

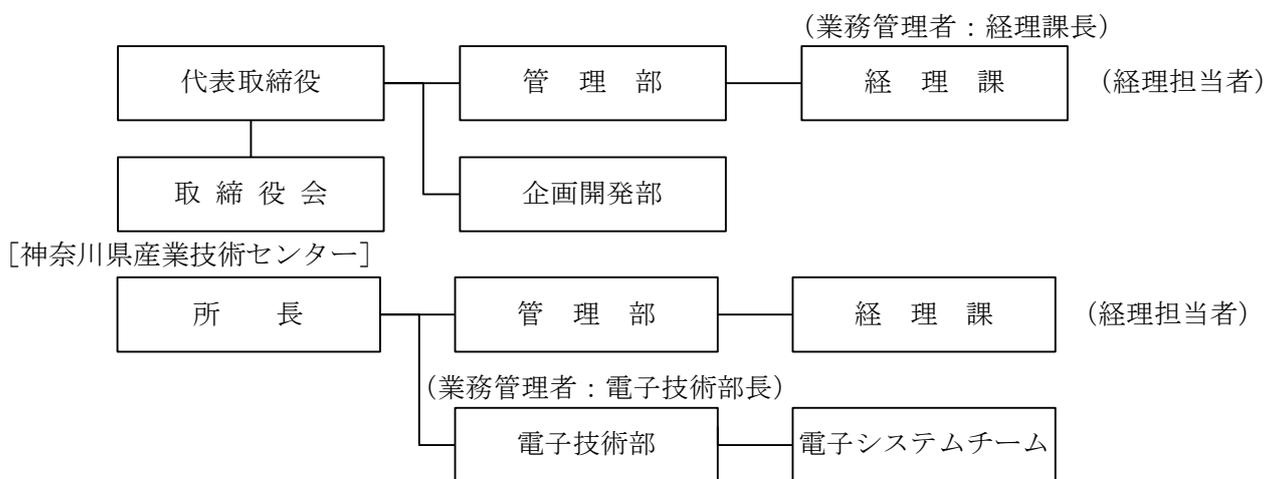
①事業管理機関

[新菱工業株式会社]



② 再委託先

[株式会社タウ技研]



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】新菱工業株式会社

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
辛島 祐一郎	開発プロジェクト部 社員	③
秋山 祐子	開発プロジェクト部 社員	③

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
塩谷 康実	取締役兼 開発プロジェクト部技術部長	①-3, ①-4
清田 研治	取締役兼 品質保証部長	①-3, ①-4
秋山 祐子(再)	開発プロジェクト部 社員	①-3, ①-4

【再委託先】

(研究員)

株式会社タウ技研

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
高橋 昭雄	代表取締役	①-2, ①-3, ①-4
後藤 眞二	取締役兼 企画開発部長	①-1, ①-2, ①-3, ②-1, ②-2
高橋 善弘	技術部 シニアリーダー	①-2, ②-1, ②-2
柳井 典夫	技術部 シニアリーダー	①-2, ②-1, ②-2

神奈川県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
井上 崇	電子技術部 電子システムチーム 主任研究員	①-3
菅間 秀晃	電子技術部 電子システムチーム 主任研究員	①-3
日高 直美	電子技術部長	① -3

1-2-4 他からの指導・協力者等

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
塩谷 康実	新菱工業株式会社 取締役兼 開発プロジェクト部技術部長	委
清田 研治	新菱工業株式会社 取締役兼 品質保証部長	委
辛島祐一郎	新菱工業株式会社 開発プロジェクト部 社員	委
秋山 祐子	新菱工業株式会社 開発プロジェクト部 社員	委
高橋 昭雄	株式会社タウ技研 代表取締役	委
後藤 眞二	株式会社タウ技研 取締役兼 企画開発部長	委 PL
佐藤 三雄	株式会社タウ技研 管理部 経理課長	
井上 崇	神奈川県産業技術センター 電子技術部 主任研究員	SL
日高 直美	神奈川県産業技術センター 電子技術部長	
菅間 秀晃	神奈川県産業技術センター 電子技術部 主任研究員	
櫻井 正己	神奈川県 商工労働局 産業部 産業技術課 産業技術グループ 技幹	アドバイザー (旅費のみ)

1-3 成果概要

目標通り、直径48mm×長さ128mmの円筒形センサヘッド内部にドップラーレーダー、音声センサ、スピーカー、CCDカメラを統合したセンサヘッドを開発し、レーダー波形、カメラ画像、音声による会話機能を融合した試作機を作製した。

図1.1にその試作機の全体像を示す。本試作機の表示画面上部には探査画像、下部にレーダー波形が表示され、画像及びレーダーデータの保存と読み出し機能を目指どおり実現し、一度の充電で4時間の連続運転が可能である。



図1.1 試作機全体図

また、本研究の目標であった、自由空間における呼吸検知距離3m以上という目標についても達成できた。(第2章 2-1-1および2-3-5参照)

次に、画像処理に関してはDSPの選定、実験基板の実装と画像処理実験を行ったがオンラインでの使用までは至らなかった。今後実験結果から最適なソフトウェアを設計し実装する必要がある。

さらに、分析機能強化のためのWAVELET信号処理と同様の自己相関演算を自由な時間幅で行うことができるソフトウェアを開発し試作機に搭載した。

最後に、完成した試作機による以下のような性能確認試験を行い、ほぼ問題のないことを確認した。

- ・振動試験：JIS Z 0232に準拠した試験を行い、運搬振動に対して問題がないことを確認。
- ・熱サイクル試験：-10～60℃の運転状態での熱サイクル及び-20～60℃の保管状態での熱サイクル試験を行い、ほぼ試作機に問題がないことを確認。
- ・静電気放電イミュニティ試験：IEC6000-4-2の規格試験を行い、ほぼ問題がないことを確認。
- ・ヘッド部荷重試験：圧縮・せん断試験を行い、2tまでの強度を確認。

試作機諸元を以下に示す。

試作機諸元

本体	
寸法	360×500×200 (縦、横、高さ) mm
質量	11.2 k g
電源	12VDC Ni-MH バッテリー
モニタ	10.4 インチ TFT カラー (Panasonic CF-19)
信号処理基板	アナログおよびデジタル専用基板内蔵 (デジタル未実装)
センサ	
ドップラーレーダー	10GHz 帯 ドップラーセンサ ARIB STD-T73 準拠
カメラ	正面および側面 1/4 インチ CCD NTSC 出力
マイク	エレクトレットコンデンサマイク
スピーカ	40×20mm 楕円形スピーカ
伸縮竿	
材質	非導電性グラスファイバー
長さ	収納時 1060mm 伸長時 3600mm
質量	2.3kg (センサ部込)
付属品	
ヘッドセット	
専用充電器	AC100V 仕様 充電時間約 3 時間
ソフトウェア	専用解析ソフトウェア

1-4 当該研究開発の連絡窓口

社名・所属	新菱工業株式会社 開発プロジェクト部
住所	〒101-0046 東京都千代田区神田多町 2-9-2
電話番号	03-5289-0007
FAX	03-5289-0014
担当者	辛島祐一郎
メールアドレス	y.karashima@shinryo-kougyo.com

第2章 本論

2-1 融合型（画像・音声・マイクロ波ドップラー）センサヘッドの開発

2-1-1 超小型マイクロ波ドップラーセンサの開発（実施：株式会社 タウ技研）

【実施計画】

現状の10GHz帯ドップラーセンサはサイズが大きく目標とするセンサヘッド部に実装できるものではない。そこでサイズ1/2以下、出力0.01W以下、自由空間での呼吸検知性能3m以上、作業者および本体の免許不要でだれでも操作できることを目標に、画像、音声と融合可能な新しいセンサモジュールを開発する。

本事業以前に小型ドップラーモジュールを検討していたが、カメラと照明用LEDの位置関係などに問題があり改良が必要であった。本開発においては、カメラ、照明用LED、マイクとの位置関係を整合させ、円筒内に実装が容易でかつ他のセンサ類の実装の妨げにならない構造を考慮し、10GHzドップラーセンサモジュールを開発した。当初の目標通り、出力は0.01W以下、ARIB-STD-T73準拠で特定小電力機器として無線局免許なしに使用可能であり、後述するように自由空間中3mの距離で呼吸検知可能である。

以下に、開発したドップラーセンサモジュールの諸元を示す。なお、送信出力はモジュール出力端での値である。

開発したドップラーセンサ諸元 (TYP 値)	
送信出力	4.98dBm (約3mW)
送信周波数	10525.0MHz
消費電流	DC5V 25.2mA
アンテナ部直径	40mm
アンテナ部厚み	0.8mm
ボディ寸法	23×40×7.2 (縦、横、厚み) mm

使用した計測器は次の通りである。

- ・パワーメーター (アリツ MA2472A)
- ・周波数カウンタ (アジレントテクノロジー 5352B)

次に、開発したモジュールに使用しているパッチアンテナの形状および特性を示す。使用した計測器は、次のとおりである。

- ・ネットワークアナライザ (アジレントテクノロジー E8361A)
- ・信号発生器 (サイエンティフィックアトランタ 2180)
- ・レシーバー (サイエンティフィックアトランタ 1783)

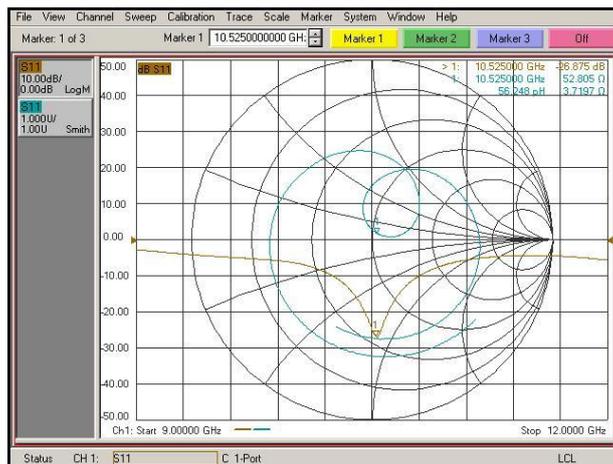


図 2. 1 アンテナインピーダンスチャート
10525MHzにて 52.805Ωリターンロス -26.875dB

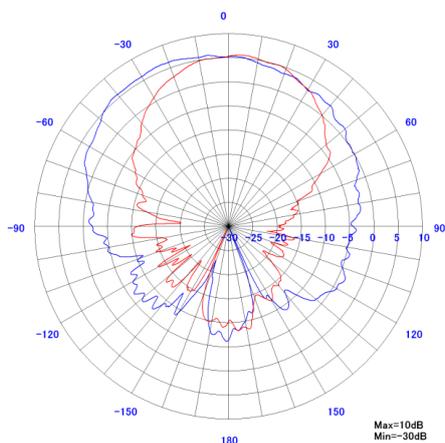
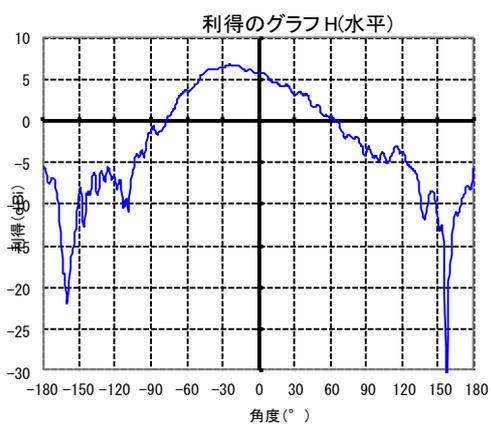
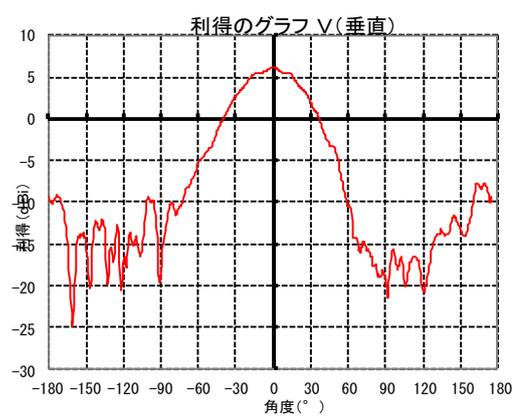


図 2. 2 アンテナパターン



周波数	10.525GHz
最大利得	6.8dBi
半値角	82.96度

図 2. 3 水平利得



周波数	10.525GHz
最大利得	6.11dBi
半値角	54.21度

図 2. 4 垂直利得

さらに、図2. 5から図2. 7に開発したモジュールのスペクトルを示す。測定器はアジレントテクノロジーE4407Bである。図2. 7からわかるように21GHz付近のスプリアス発射が-33.21dBmであり、許容値以内ではあるもののやや高いので今後改良する予定である。

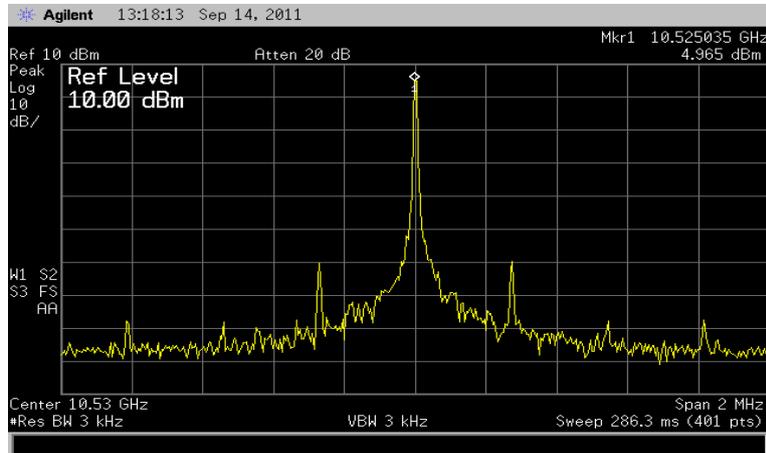


図2. 5 中心周波数付近 スパン2MHz

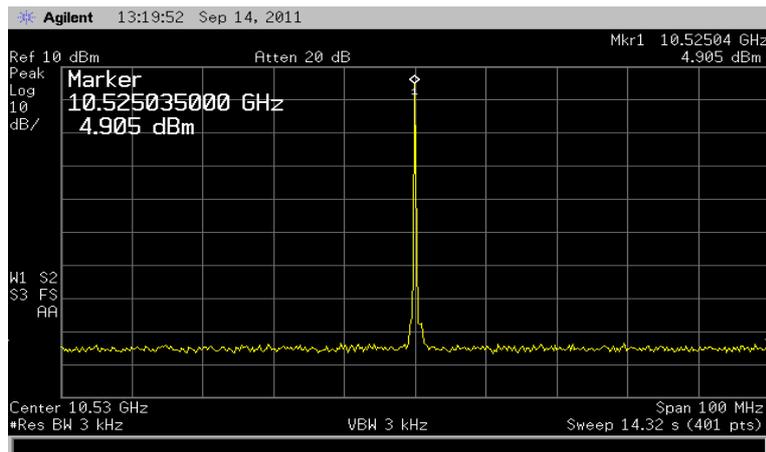


図2. 6 スパン100MHz

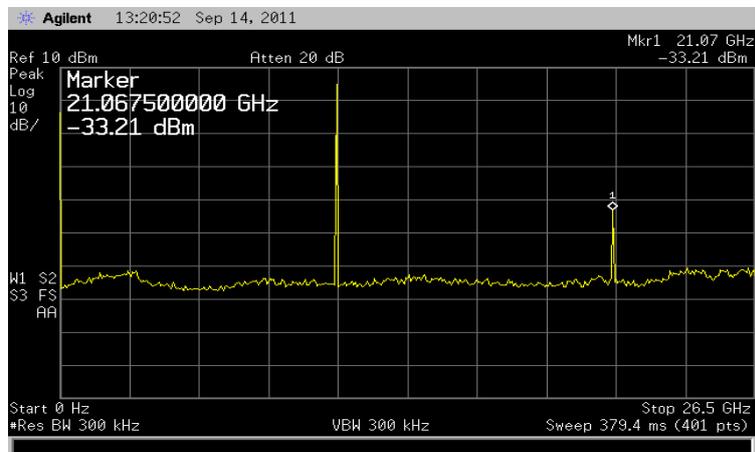


図2. 7 0~26.5GHz フルスパン

最後に、開発したモジュールを使って人の呼吸検出実験を行った。

実験場の写真を図2.8に示し、図2.9～14に0.5mから3.0mの場合のデータを示す。使用機器はテクトロニクス製オシロスコープ TDS-2012 であり、モジュールに、+5V を印加し、検波出力を専用バンドパスフィルタによって濾波した後増幅し、オシロスコープに入力した。

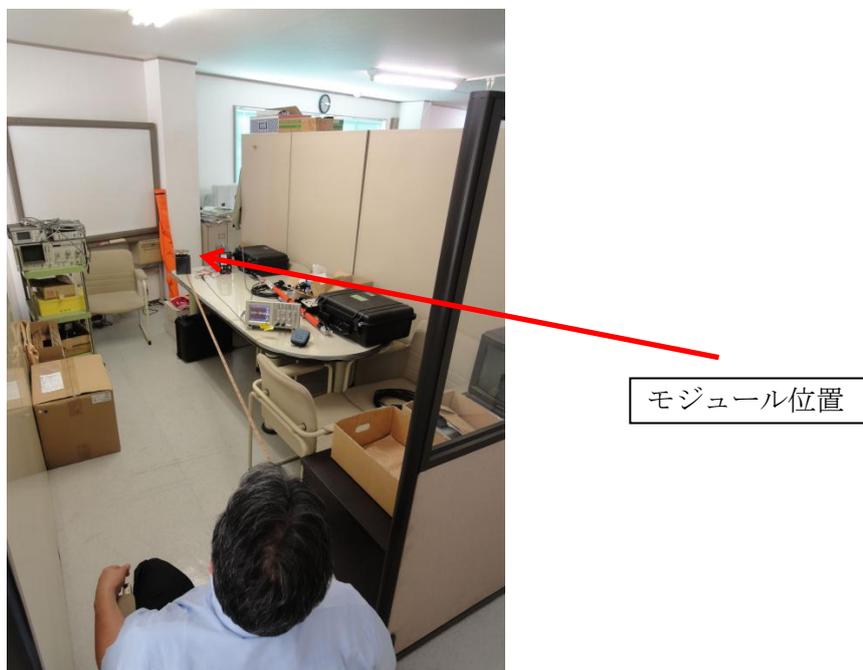


図2.8 人の呼吸検出実験 (3m の場合)

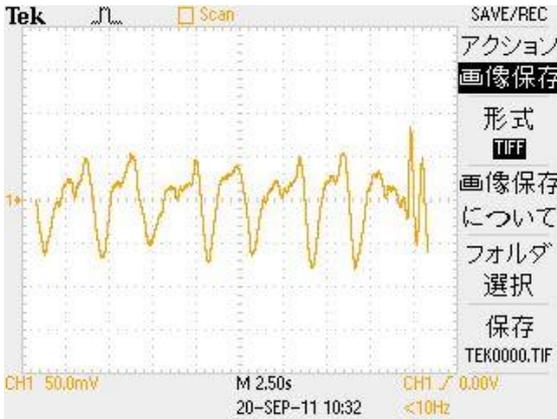


図 2. 9 距離 0.5m (1 DIV=50mV)

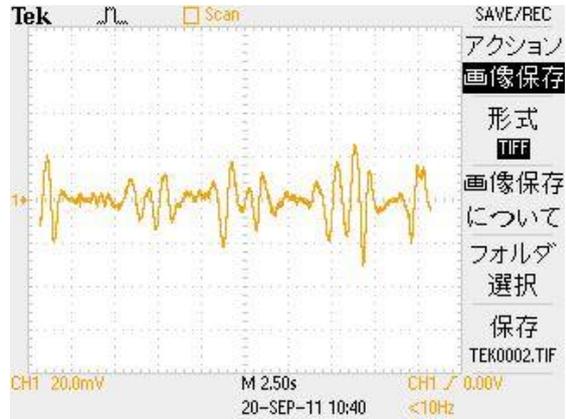


図 2. 10 距離 1m (1 DIV=20mV)

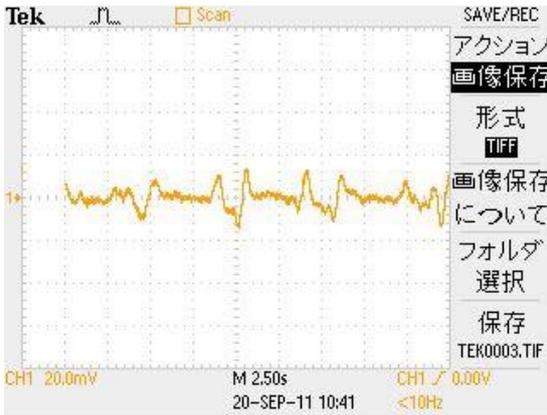


図 2. 11 距離 1.5m (1DIV=20mV)

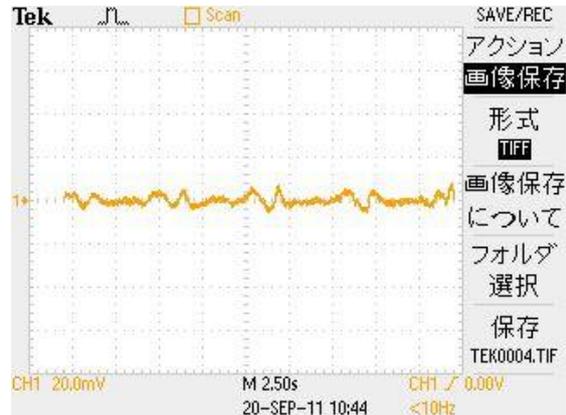


図 2. 12 距離 2.0m (1DIV=20mV)



図 2. 13 距離 2.5m (1DIV=10mV)

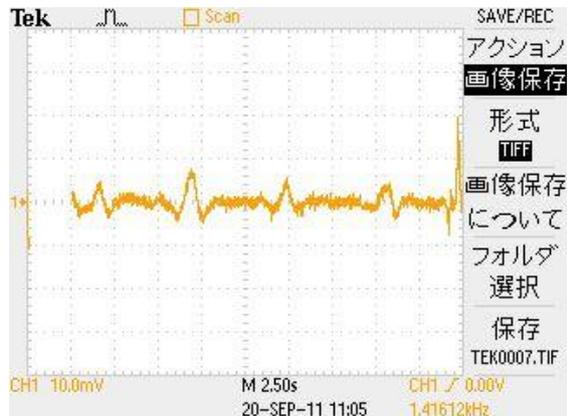


図 2. 14 距離 3.0m (1DIV=10mV)

本実験の結果、いずれのチャートにも4～5秒ごとに呼吸の動きがとらえられている。その振幅の peak to peak 値は図2. 15に示すとおりであり、振幅は空間の距離に対して概ね指数関数的に減少していることがわかる。この振幅変化から、自由空間での呼吸検出の目標であった3mが検出限界であると考えられる。

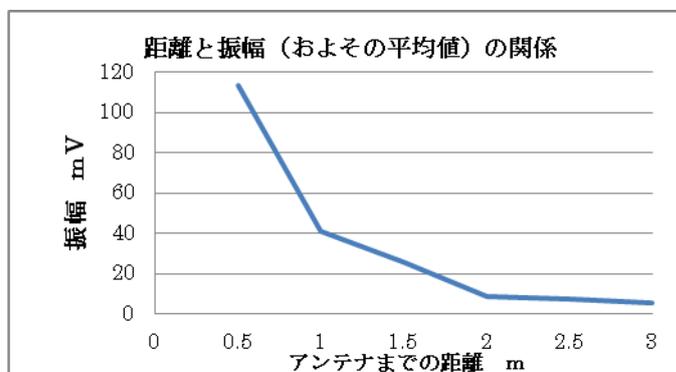


図2. 15 実験による振幅と距離の関係

2-1-2 超小型マイクロ波とドップラーセンサと画像、音声センサを統合したセンサヘッドの開発（実施：株式会社タウ技研）

【実施計画】

瓦礫等に挿入しやすいよう、センサヘッド部を直径50mm×長さ100mm程度の小型円筒ケースに収納することを目標とする。その中に、呼吸を検知するマイクロ波ドップラーセンサ、声を検知するマイク、呼びかけるためのスピーカ、前面及び側面を撮影する2組のカメラ、照明用LED及びこれらを動作させるための電子回路を持つ基板を効率的に配置する。そのため、各部品を極めて近接させる必要があり、各部相互間のクロストークやノイズ混合を軽減するため、各信号の分離・シールド策を検討する。

上記計画のもとに研究開発を実施し、直径48mm×長さ128mmの円筒内にマイクロ波ドップラーセンサ、マイク、スピーカ、前面および側面用カメラ、照明用LED、電子基板を内蔵するセンサヘッドを開発した。

なお、センサヘッドの長さが計画より若干長くなったが、これは、マイクロ波ドップラーセンサ組み込みの最適化を図った結果である。

2-1-3 最適化設計への対応

(実施：㈱タウ技研、神奈川県産業技術センター、新菱工業㈱)

【実施計画】

融合型センサヘッド中では、マイクロ波部の発する電磁場が最適になるように統合的に設計する必要がある。特に、マイクロ波センサが瓦礫中の探査において最大の能力を発揮するためには、アンテナとレドームとの位置関係、レドーム形状および物性が大きく影響する。

そのため、電磁場シミュレーション技術によって、アンテナ位置やレドーム形状および物性を変更した場合の前方放射界の変化や受信系への影響を調べる。さらに、円筒内の定在波がマイクロ波センサ自身および、他の機器に影響を与えないように設計する必要があり、シミュレーションによる検討を加える。これら最適化設計を行ったのち、電波暗室等で電波の放射強度を測定し、性能劣化が最小限に抑えられていることを確認する。

2-1-3-1 レドーム材のマイクロ波帯における誘電率測定

電磁界シミュレーション解析に必要なレドーム材（PC：ポリカーボネート）のマイクロ波帯における誘電率測定を10GHz帯および24GHz帯で実施し、比誘電率(ϵ_r)と誘電正接($\tan \delta$)の値を確認した。なお、24GHz帯については、センサヘッド部のさらなる小型化の可能性を探るため、比較として測定を実施した。

誘電率測定方法は、導波管によるSパラメータ法(図2.16)および誘電体プローブ法(図2.17)で実施した。その結果、メーカー公称値(比誘電率2.9、誘電正接0.009)と概ね一致した値が得られている。誘電率は、10GHz帯および24GHz帯でほぼ同じ値であり、PCはマイクロ波帯で誘電特性が安定した材料であることを確認した。しかし、測定方法により、測定結果に差異が見られるため、電磁界シミュレーション解析には、メーカー公称値を用いた。

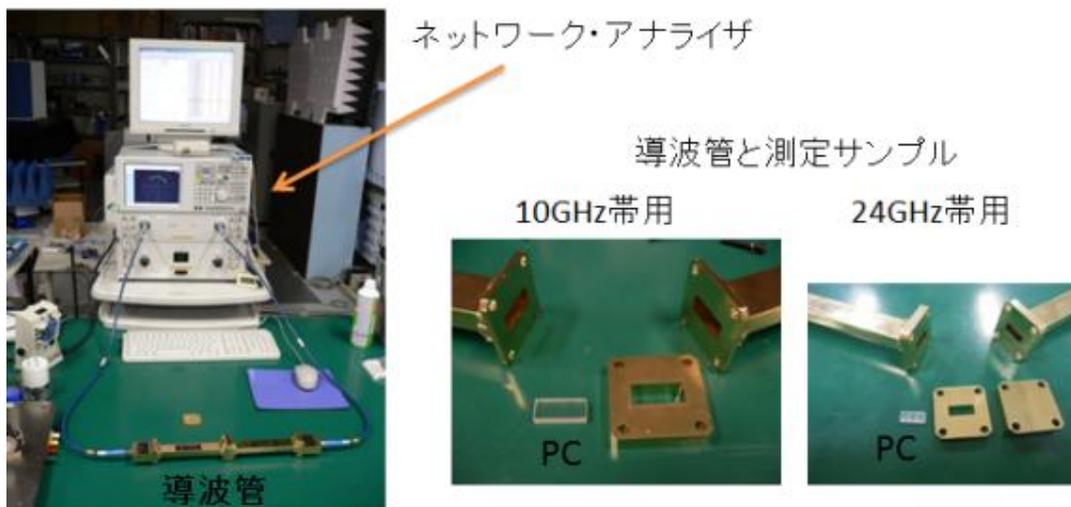


図2.16 Sパラメータ法による誘電率測定

ネットワーク・アナライザ



誘電体プローブと
測定サンプル

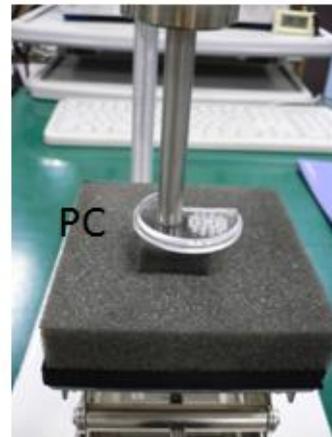
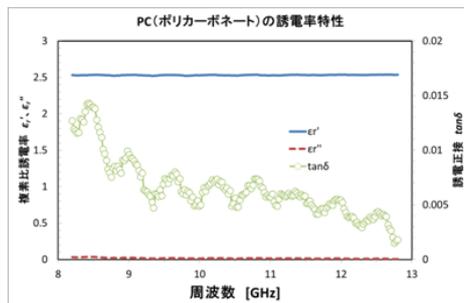


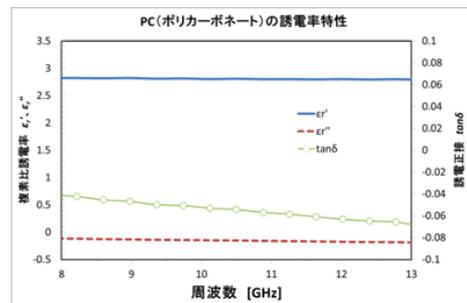
図 2. 1 7 誘電体プローブ法による誘電率測定

Sパラメータ法



複素誘電率実部: 2.53
誘電正接: 0.006
at 10.5GHz

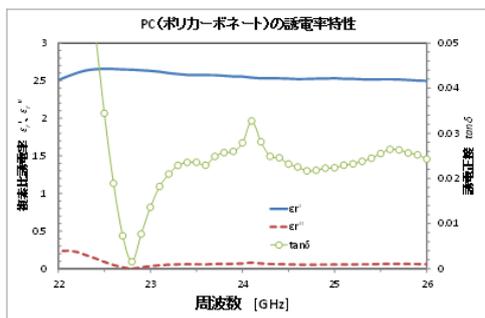
誘電体プローブ法



複素誘電率実部: 2.80
誘電正接: 測定不能
at 10.5GHz

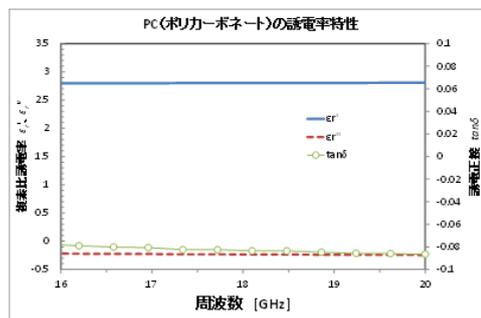
図 2. 1 8 10GHz 帯の誘電率測定結果

Sパラメータ法



複素誘電率実部: 2.55
 誘電正接: 0.028
 at 24GHz

誘電体プローブ法



複素誘電率実部: 2.81
 誘電正接: 測定不能
 at 20GHz

図 2. 1 9 24GHz 帯の誘電率測定結果

2-1-3-2 電磁界シミュレーションによるセンサヘッド部の最適化

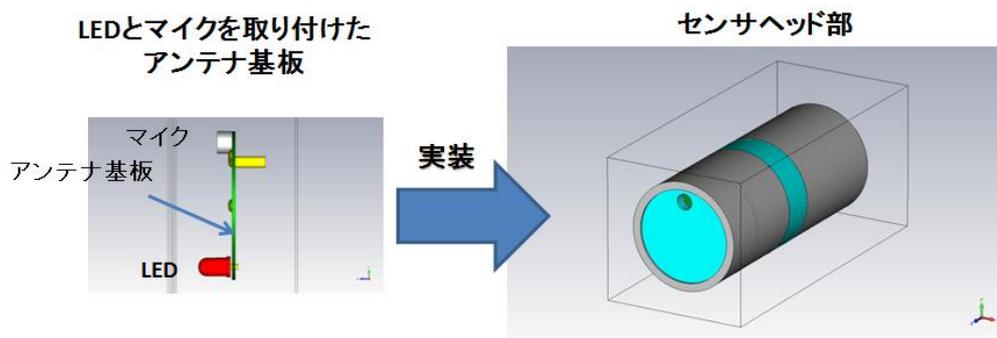
① 10GHz 帯用センサヘッドの解析

電磁界解析には、図 2. 2 0 に示す有限積分法 (FIT 法) による電磁界シミュレータ MW-Studio2011 トランジェントソルバーを使用し、計算に用いたパソコンの性能は、CPU Core2 Extreme 3GHz×4、RAM 8GB、HDD 2TB、グラフィック Quadro 2000、Blue-ray ディスクドライブ、電源容量 750W である。

図 2. 2 1 に示すようにセンサヘッド中にアンテナ基板を設置する場合、レドーム、金属ケース、内装部品 (LED、マイクなど) の影響により、アンテナ特性がアンテナ基板単体での設計値 (指向性、リターン・ロス、送受信アンテナ間クロストーク) から劣化する。そのため、金属ケース内におけるアンテナ基板位置を最適化する必要がある、金属キャップの長さを変えることで、レドームとアンテナ基板との間隔を変化させて最適なアンテナ位置の条件を決定する。



図 2. 2 0 電磁界解析装置



センサヘッドの金属ケース内にアンテナ基板を実装
(断面図)

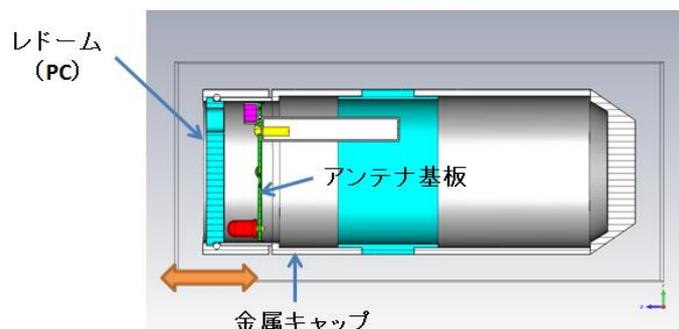


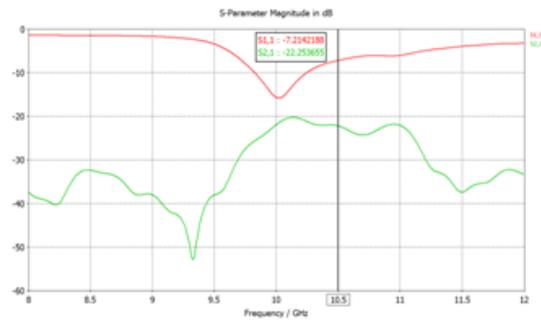
図2. 21 電磁界シミュレーションの解析モデル

最初に設計した金属キャップの長さを基準にして、アンテナ基板単体の場合と指向性、リターン・ロスおよびクロストークについて比較検討した。図2. 22に基準の場合の解析結果を示す。その結果、アンテナ基板単体の場合より、主偏波のビーム幅が狭くなり、最大放射方向がアンテナ基板の正面方向から傾き、リターン・ロスおよびクロストークも劣化していることが確認された。

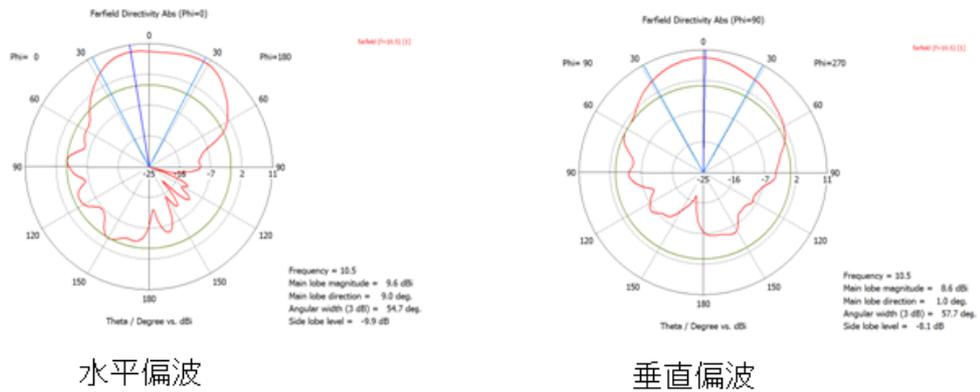
そこで、レドームからアンテナ基板までの距離を基準に対して前後に変化させ、指向性、リターン・ロスおよびクロストークの検討を行った。

解析の結果、最適な条件において、図2. 23に示すように最大放射方向がアンテナ基板の正面方向になり、利得が1dB改善、リターン・ロスが2dB改善、クロストークが4dB改善することを確認した。また、図2. 24に示すように金属ケース内に大きい定在波は確認されず、図2. 25に示すようにセンサヘッドから良好に電波が放射する様子が確認できた。

そして、この電磁界シミュレーションの結果から、アンテナ特性が最適となる条件付近の位置になるように金属ケースのキャップは、長さを少しずつ変えた3パターン試作し、電波暗室で指向性特性の評価を行うこととした。

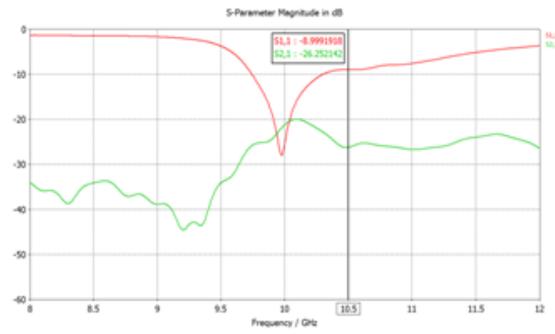


(a) リターンロスとクロストーク

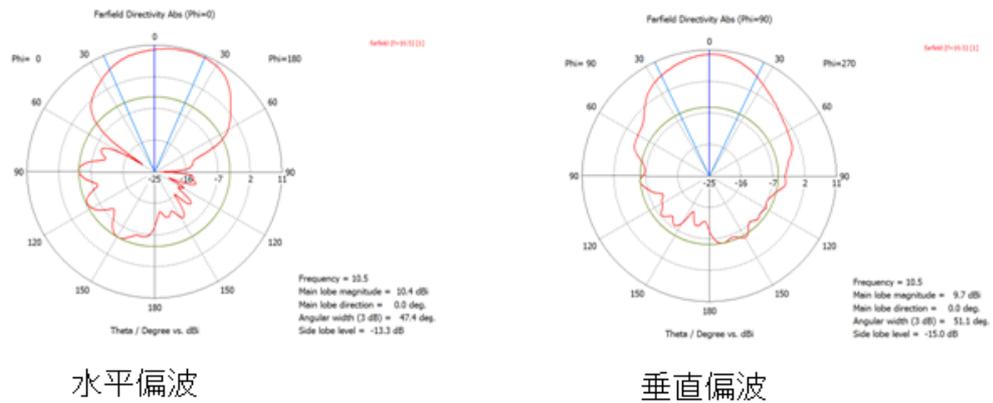


(b) 指向性

図 2. 2 2 基準における解析結果



(a) リターンロスとクロストーク

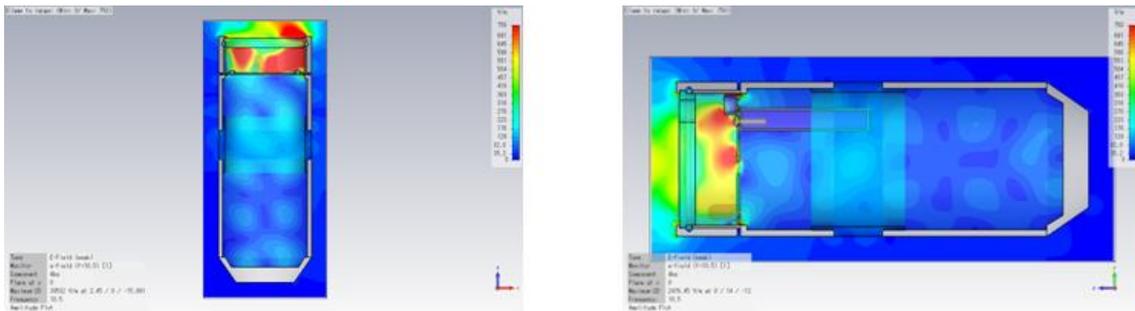


水平偏波

垂直偏波

(b) 指向性

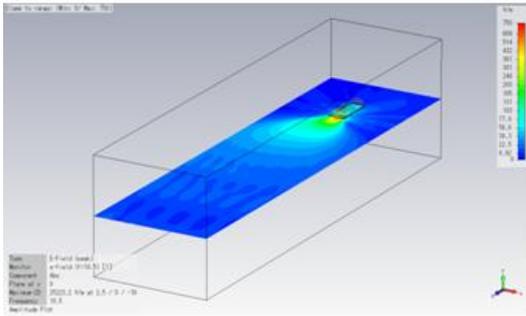
図 2. 2 3 最適条件における解析結果



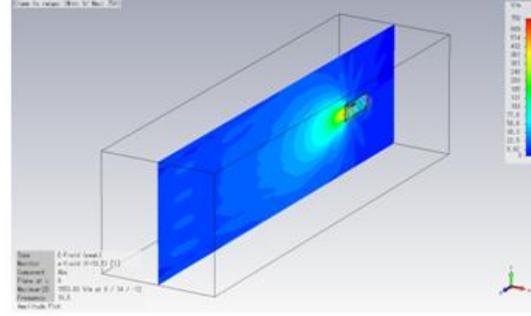
垂直面電界分布

垂直面電界分布

図 2. 2 4 金属ケース内の電界分布



水平面電界分布



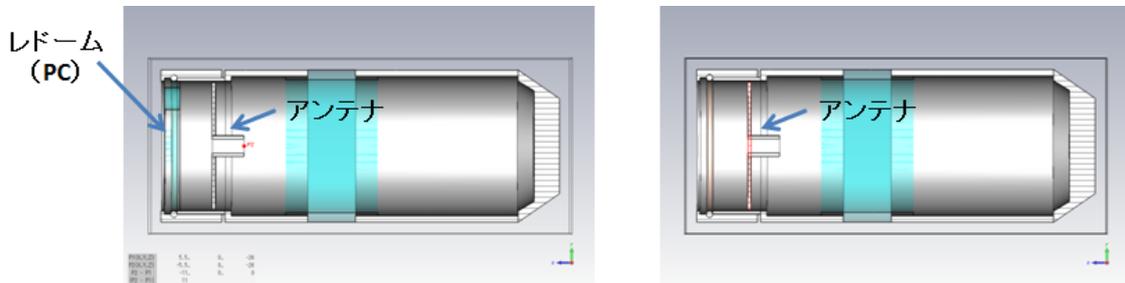
垂直面電界分布

図 2. 25 センサヘッドから放射する電波

② 24GHz 帯用センサヘッドの解析

次に、誘電率測定時と同様、センサヘッドのさらなる小型化の為 24GHz 帯を用いた解析を実施した。解析結果を図 2. 26 に示す。24GHz 帯になると電磁界に対するレドームの影響が大きくなることが予想されるため、レドーム (PC) の有無について解析を行った。

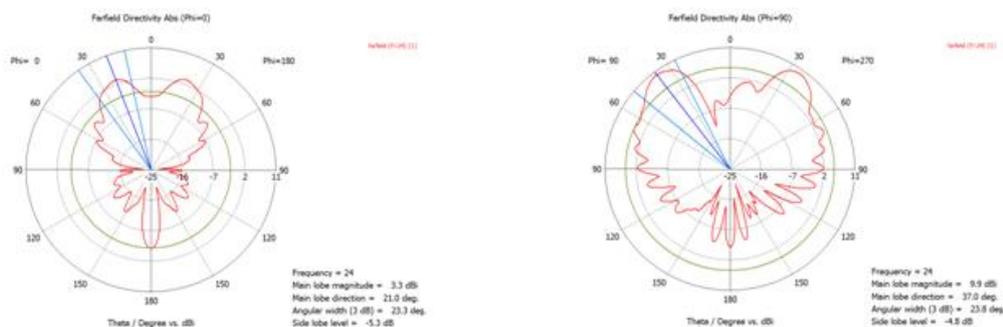
その結果、図 2. 27 に示すように、レドームがある場合は、放射パターンが大きく乱れることが確認できた。このことから、24GHz 帯のレーダーを実用化するためには、レドームの材質を PC よりも誘電率の低い材料に変更する、厚みを薄くするなど、さらなる検討が必要であるため、現状ではこれを実装することが難しいことがわかった。



(a) レドーム (PC) 有り

(b) レドーム (PC) なし

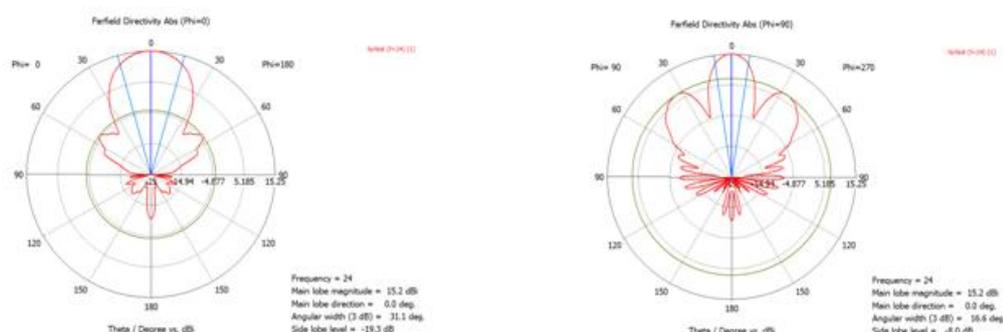
図 2. 26 24GHz 帯用センサヘッドの検討モデル



水平偏波

垂直偏波

(a) レドーム (PC) 有り



水平偏波

垂直偏波

(b) レドーム (PC) なし

図2. 27 24GHz帯におけるレドーム(PC)の放射パターンへの影響

2-1-3-3 電波暗室における指向性測定と電磁界分布測定

① 指向性測定

図2. 28に示すように電波暗室で指向性特性の評価を行った。ターンテーブルの角度は、0° から 360° まで 5° 刻みで変化させて指向性を測定した。図2. 29に示すようにセンサヘッド部分の金属キャップ長を3パターン試作 (No.1 短い、No.2 最適条件、No.3 長い) し、水平偏波と垂直偏波の主偏波特性と交差偏波特性の放射パターンを測定した。

図2. 30、図2. 31に示すように、電磁界シミュレーションで求めた最適な長さの金属キャップ No.2 の場合が、実測からも指向性が最適であることを確認した。

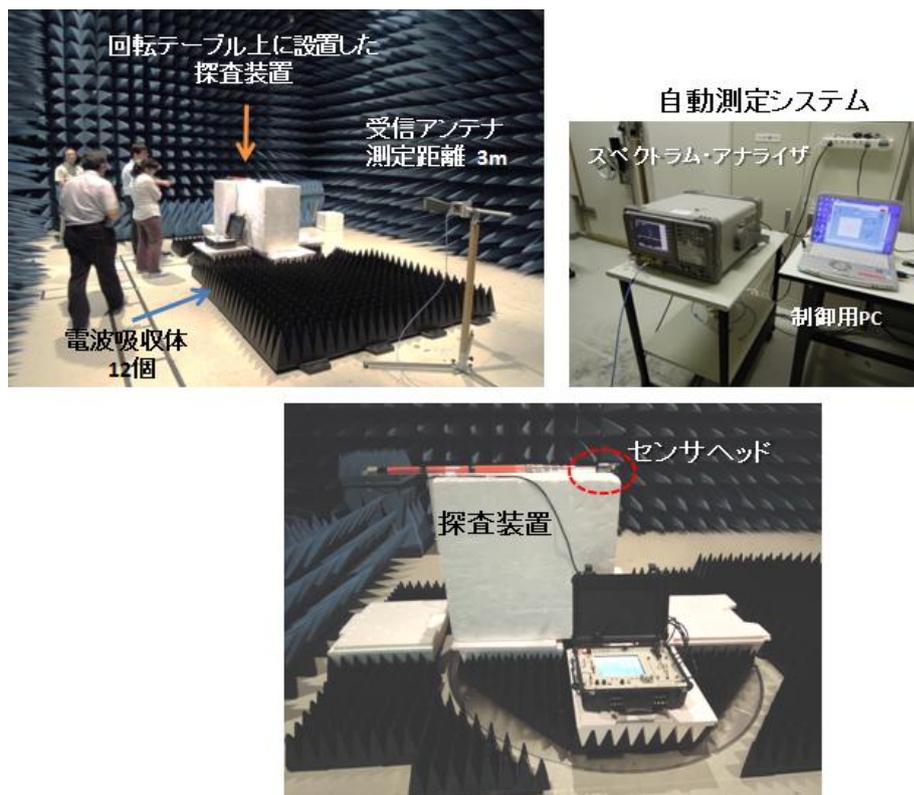


図2. 28 電波暗室における放射パターン測定

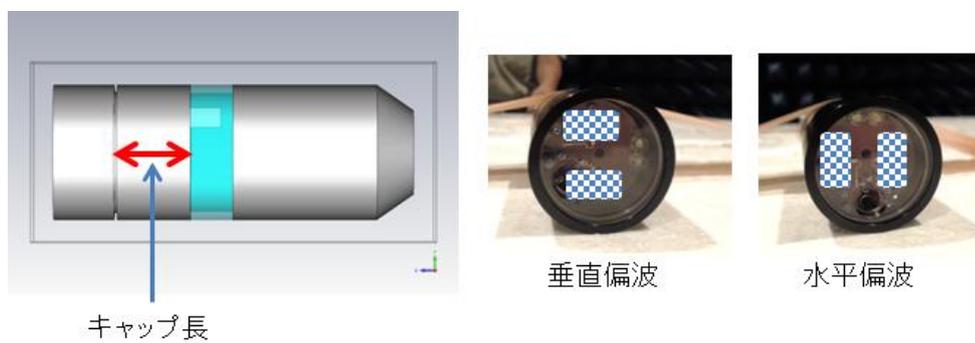


図2. 29 センサヘッド部

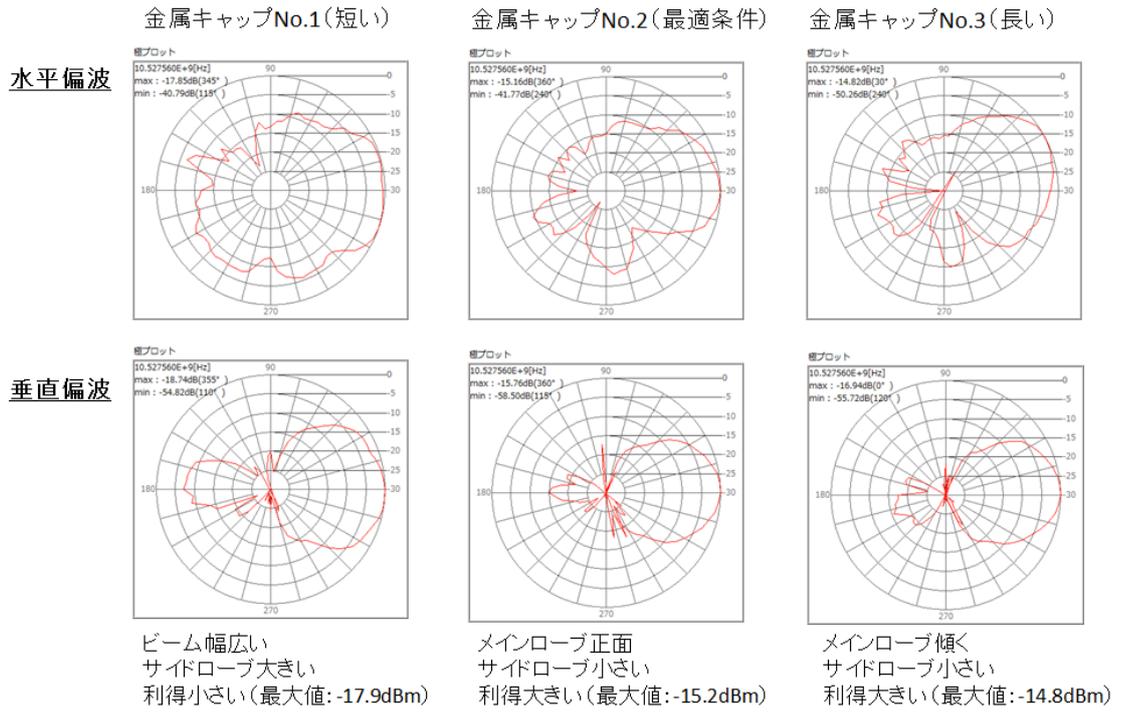


図 2. 3 0 放射パターンの測定結果

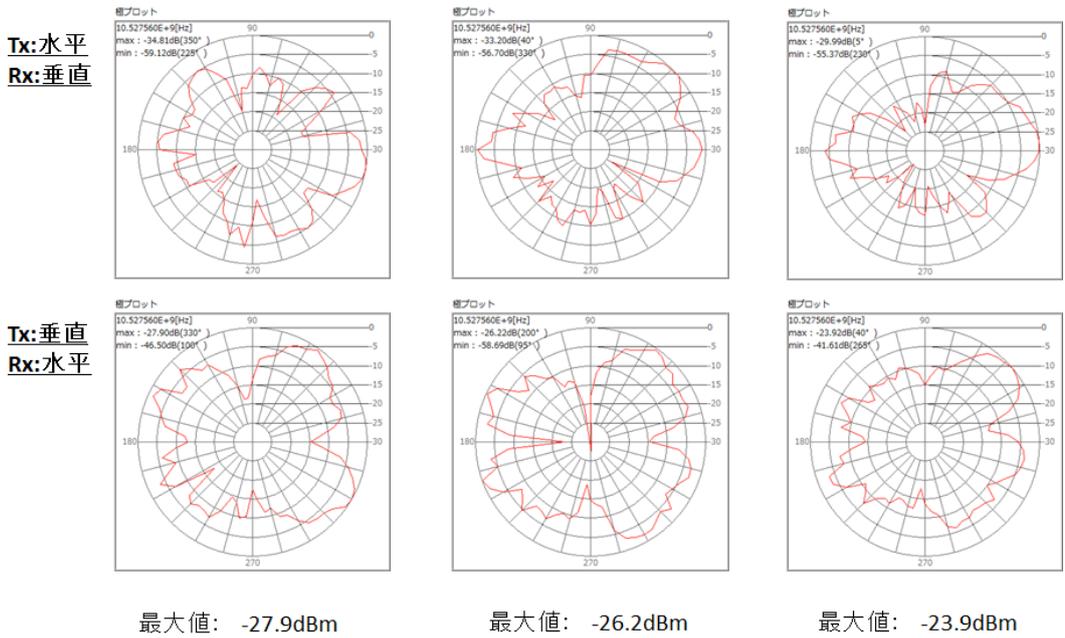
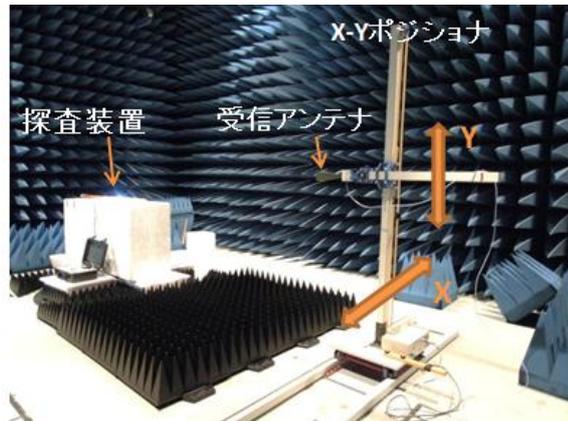


図 2. 3 1 交差偏波における放射パターンの測定結果

電磁界分布測定

図2. 37に示すように、最適な長さの金属ケースの場合において、電磁界分布をセンサヘッド前面から 3m 離れた位置における平面空間内（横 2m 縦 1.8m）で受信アンテナを移動させて測定した。

その結果、図2. 38に示すように主偏波において、良好な電磁界分布が得られていることを確認した。



発泡スチロール高さ: 119cm
センサヘッド中心高さ: 121cm
測定距離: 3m

X-Yポジショナ

高さ方向Y: 60cm～230cm
横方向X: -100cm～100cm
ステップ: 10cm



図2. 32 電波暗室における電磁界分布測定

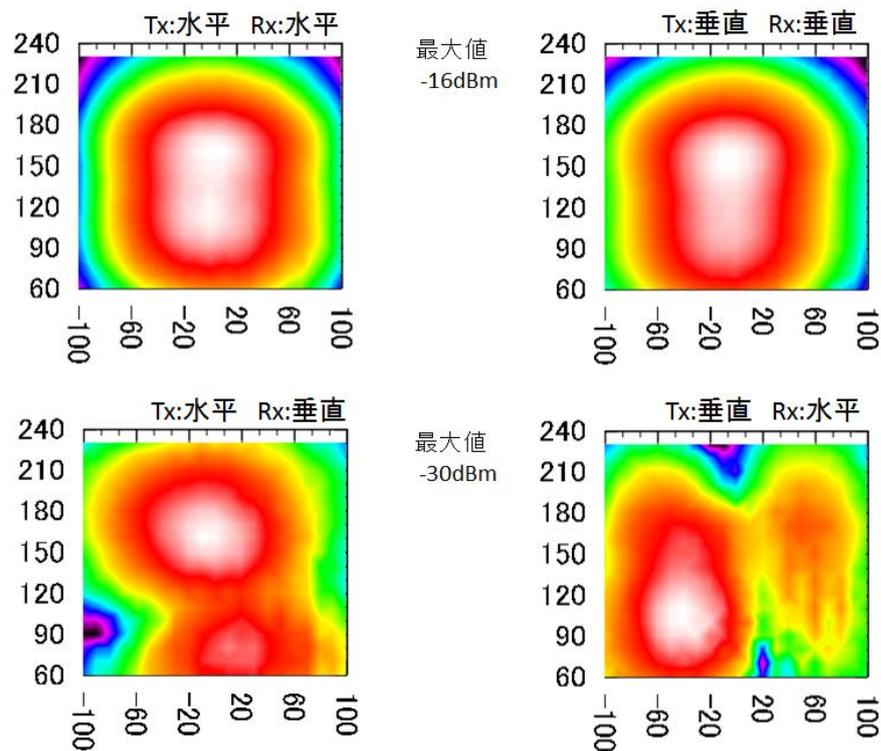


図 2. 3 3 電磁界分布の測定結果（上：主偏波、下：交差偏波）

2-1-3-4 映像伝送ケーブルの特性評価

鮮明な映像を得るために、映像と各種信号を伝送できる高性能な複合ケーブルを特注したため、その伝送性能を確認した。特性インピーダンス、減衰量をネットワークアナライザにより測定した。

映像用同軸ケーブルの特性インピーダンスは、図 2. 3 4 に示す方法で測定した。そして、図 2. 3 5 に示すように、その値は 78.8Ω であり、 $75\Omega \pm 10\%$ を満たしている。減衰量は、図 2. 3 4 に示す方法で、ケーブル長を 400m、200m、100m になるように切断して測定した。図 2. 3 7 に示すように 10MHz において減衰量は、1m あたり 0.7dB と小さく、長さ按比例して減衰することから、映像信号を劣化することなく長距離伝送できることを確認した。

4ポート・ベクトル・ネットワーク・アナライザ



測定周波数
10MHz～5GHz

図2. 34 TDR法による複合ケーブルの特性インピーダンス測定

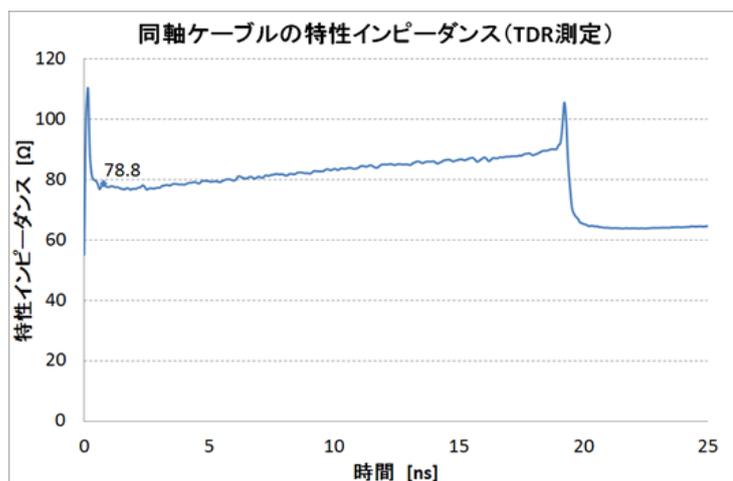


図2. 35 複合ケーブルの特性インピーダンス測定結果

ネットワークアナライザ



測定周波数: 300kHz~10MHz

複合ケーブル



測定ケーブル長: 400m、200m、100m

図2. 36 複合ケーブルの減衰量特性評価

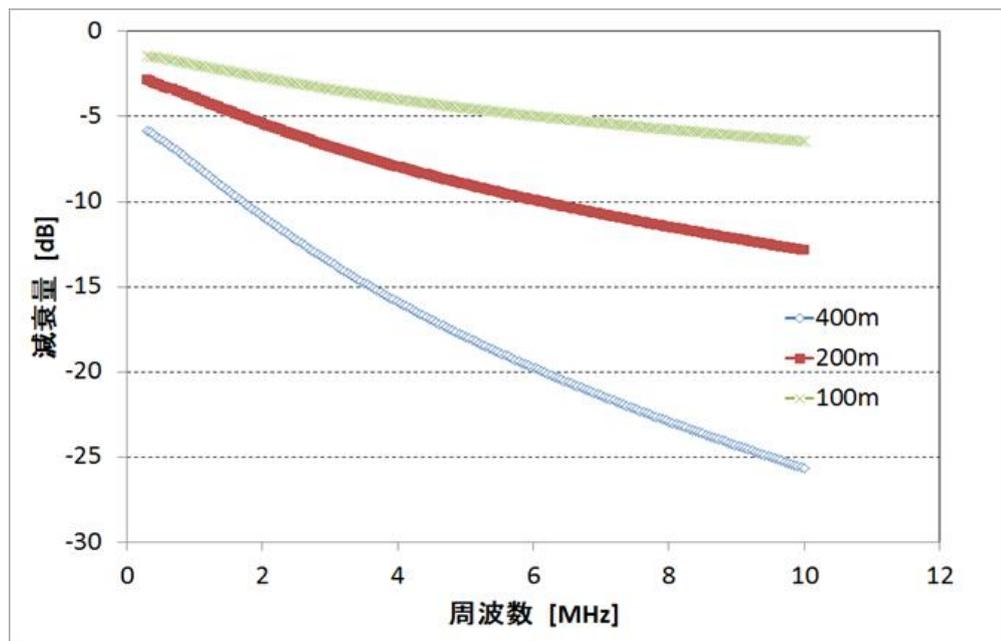


図2. 37 複合ケーブル (同軸ケーブル) の減衰量測定結果

2-1-4 堅牢なセンサヘッドへの対応（実施：株式会社タウ技研、新菱工業株式会社）

【実施計画】

マイクロ波センサが最適に動作しながら、従来の画像探査機並みの堅牢さと小型化を実現するための構造設計を行う。

材料は強度と耐食性に優れた耐食アルミ合金を用いる。

またカメラ及びマイクロ波センサの正面は透明である必要性から、側面の一部と正面はポリカーボネート製とし、雨天時等の使用に耐えるようにシール性能も強化する。

これらの堅牢性を確認するため、試作したセンサヘッドについて、振動試験、圧縮試験、引っ張り試験、防滴性能試験などの破壊試験を実施する。

上記に実施計画に基づき、2-1-2および2-1-3を経て試作されたセンサヘッドの各種試験を実施した。

これらの試験については2-3 試作機の各種試験の結果にまとめて報告しているが、試作機製作の遅れのため計画に記載してある引っ張り試験、防滴性能試験は実施できず、本事業以降での確認項目となった。

2-2 信号処理機能に対する課題への対応

2-2-1 画像処理機能への対応（実施：株式会社 タウ技研）

【実施計画】

記録・出力形式をデジタル方式とし、センサヘッド静止時に画像による微小変化を検出可能とするため、DSP を用いた高速画像処理技術を研究し、解析ユニットを開発する。

上記研究計画に基づき、汎用性、部品の入手容易さ、従来資産としてのツールの有無、既存のライブラリの豊富さなどから DSP のプラットフォームを選定し、本体内蔵可能な実験基板として構成した。構成した実験基板システムの写真を示す。

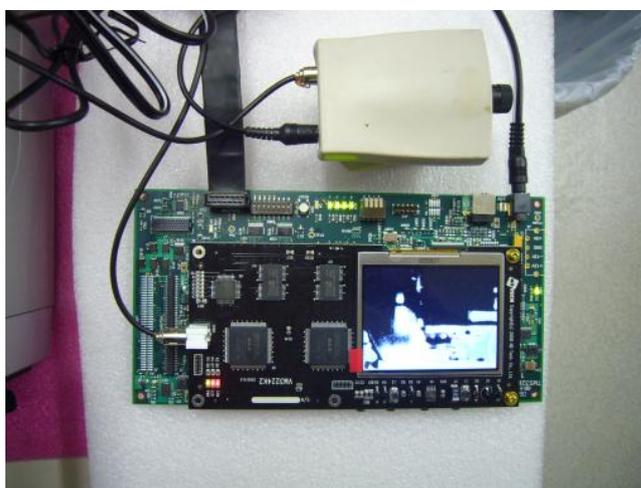


図 2. 38 DSP 基板および画像処理実験モジュール

本事業において、これらモジュールで検討し、ソフトウェアを完成しメインユニット内に実装する計画であったが、実際の画像の取得、ソフトウェアによる処理実験までは実施できたが、本プロジェクトに最適なソフトウェアの開発にまではならず、今後の課題となった。

2-2-2 分析機能強化への対応（実施：株式会社タウ技研）

【実施計画】

解析ユニットによる強力な演算機能を背景とし、ウェーブレット解析や S/N 改善策などを用いてノイズからの信号分離性能の向上、外乱に対する耐性の向上を図り、S/N 比 2 : 1 以下程度でも呼吸による微小な動きが判定可能で、生存者有無の自動判定を可能とするソフトウェアを開発する。

呼吸と心拍とでは、心拍の方が、はるかに小さな体動であるため、本研究開発では、心拍を対象に元の波形をウェーブレット的相関処理によって特定の周波数成分を際立たせるという手法を試みた。図 2. 39 は 10GHz ドップラーセンサを人が着座した椅子の背中に取り付けた場合の心拍を計測した結果である。

横軸はデータ数であるが、1 データは 20msec ごとに採取されている。

図 2. 39 のデータからもっとも基本的と思われる波形を選び出し、それを母関数として順次積和演算を行った結果が図 2. 40 である。この「基本的と思われる」波形の選択は操作者が目視で選択する。

さらにそれぞれの波形を高速フーリエ変換し、スペクトルを求めたものが図 2. 41 である。また、図 2. 42 は積和演算処理後のスペクトルである。

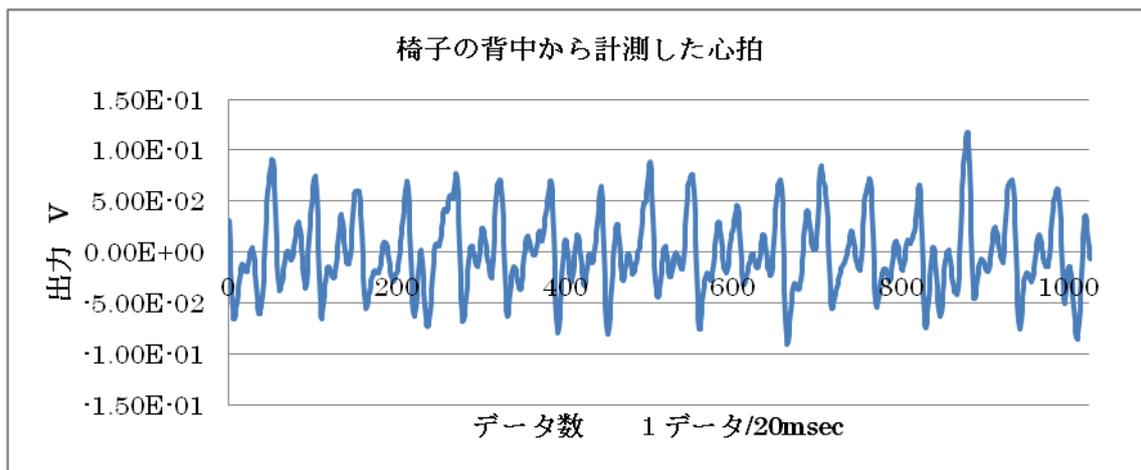


図 2. 39 ドップラーセンサで計測した心拍

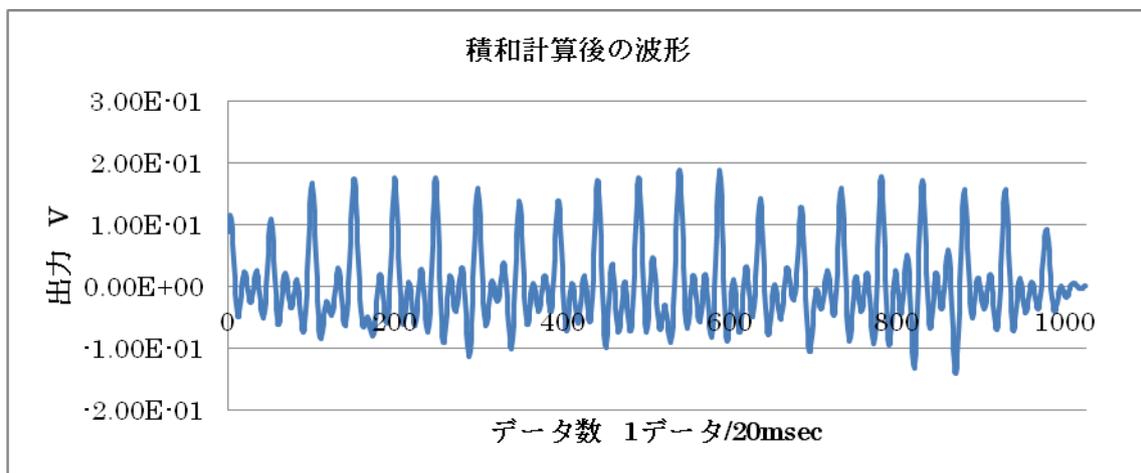


図 2. 40 「基本的と思われる」波形の積和演算結果

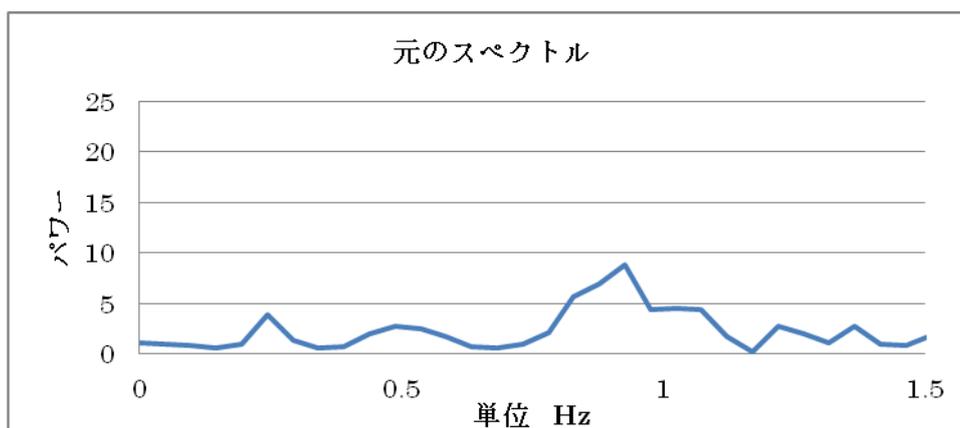


図2. 4 1 FFT 結果 処理前

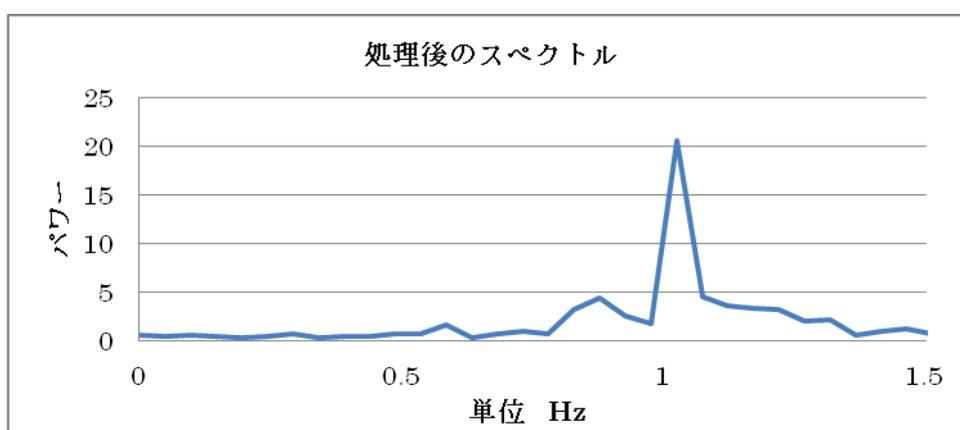


図2. 4 2 FFT 結果 処理後

これらは心拍で行った検討の結果であるため、1 Hz 前後が強調されているが、呼吸波形では0.2Hz 付近が強調され同様の結果が得られる。本開発では、これらの信号処理方法を解析ソフトウェアとして実装しており、操作者が自由に「もっとも基本的と思われる」波形を全体の波形から発見し、繰り返し自由に解析しその結果を保存できるようにしている。

S/N 比が2 : 1 の時の効果などは未検証であるが、信号処理手法として有効であると考えられる。

2-3 試作機の各種試験の結果

(実施：株式会社タウ技研、新菱工業株式会社、神奈川県産業技術センター)

2-3-1 振動試験

振動試験は第一次試作機、第二次試作機に対して2回実施した。図2.43および図2.44は一次試作機のセッティング状態を示し、図2.45および図2.46は二次試作機のセッティング状態を示す。次に各試験のレポートを示す。

実施日時) 2011年8月24日および9月9日

実施機関) 神奈川県産業技術センター

試験条件) JISZ0232 「ランダム振動試験方法」 水平・垂直各1時間

供試体) 一次試作機(本体およびセンサヘッド)、二次試作機(本体及びセンサヘッド)

判定方法) 試験以前に全機能を確認し、試験後に同じく全機能を確認する。

判定結果) 一次試作機、二次試作機ともに試験終了後も全機能正常動作した。

付録に試験結果を収録する。



図2.43 一次試作機 水平振動設定

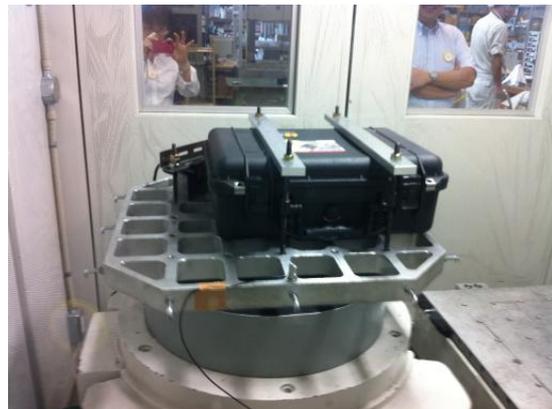


図2.44 一次試作機 垂直振動設定



図2.45 二次試作機 垂直振動設定



図2.46 二次試作機 水平振動設定

2-3-2 熱サイクル試験

① 一次試作機

一次試作機のドップラーセンサモジュール、センサヘッド基板、アナログ信号制御基板、センサヘッド組立品一式の熱サイクル試験を行った。

実施日時) 2011年8月22日

実施機関) 東京都立産業技術研究センター本部にて依頼試験として実施

試験条件) 低温0℃ 1時間、高温60℃ 1時間を2サイクル実施

供試体) ドップラーセンサモジュール#2~5、センサヘッド基板#2~5、アナログ信号制御基板#2~5、センサヘッド組立品一式

判定方法) 事前の動作確認 および 事後の動作確認

判定結果) いずれも正常動作

試験実施時の供試体、実験場の写真を以下に示す。



図2.47 供試体



図2.48 供試体



図2.49 熱衝撃試験機収納状況

② 二次試作機

二次試作機の熱サイクル試験を実施した。

- 実施日時) 2011年9月13日
実施機関) 神奈川県産業技術センター 環境試験室
試験条件) ①動作状態にて低温 -10°C 1時間、高温 60°C 湿度90%RH 2時間を1サイクル
②電源OFF状態で 低温 -20° 2時間 高温 60°C 2時間を3サイクル
供試体) 伸縮棒を除く二次試作機全体
判定方法) ①については試験中の連続確認、②については試験前後での動作確認
判定結果) ①高温 60°C の保持時間終了前15分にて内蔵PCの電源が停止。その他の部分はいずれも正常動作していた。PCについても再起動により復帰した。
なお、 60°C に保持した直後にバッテリーの充電を試みたが、内部温度の高温化のため、安全回路が働き充電不可であった。ただし、バッテリー温度の低下後には充電可能となった。
②試験終了後すべての動作が正常であった。

以下に使用した恒温槽と実験状況の写真を示す。



図2.50 恒温槽と供試体

2-3-3 静電気放電イミュニティ試験

① 一次試作機

第一次試作機に静電気放電イミュニティ試験を実施した。

実施日時) 2011年8月18日
実施機関) 一般財団法人電気安全研究所 (JET) 横浜事業所
試験条件) IEC61000-4-2 : 2008 (PCM-77-53) 放電回数 10回
試験レベル) 1:2kV / レベル 2:4kV / レベル 3 : 6kV (接触) / 8kV (気中)
供試体) 一次試作機 (本体およびセンサヘッド)
判定方法) 判定 A : 製造者または購買者の規定する限度内の正常な性能
判定 B : 妨害が中断すると終了する一時的な機能喪失または性能の劣化で操作者が介入しなくても試験品が正常性能に復帰するもの。
判定 C:機能の一時的な喪失または性能の劣化で、その是正に操作者の介入を要するもの。
判定 D:機能喪失または性能劣化で、ハードウェアまたはソフトウェアの損傷またはデータ損失のため回復不可能なもの。
判定結果) センサヘッドの側面カメラがレベル3の接触放電の際に故障した。それ以外では B 判定以上であった。
試験成績書番号) 11TR-Y0685

② 二次試作機

二次試作機に静電気放電イミュニティ試験を実施した。

実施日時) 2011年9月15日
実施機関) 一般財団法人電気安全研究所 (JET) 横浜事業所
試験条件) IEC61000-4-2 : 2008 (PCM-77-53) 放電回数 10回
試験レベル) 1:2kV / レベル 2:4kV / レベル 3 : 6kV (接触) / 8kV (気中)
供試体) 二次試作機 (本体およびセンサヘッド)
判定方法) 判定 A : 製造者または購買者の規定する限度内の正常な性能
判定 B : 妨害が中断すると終了する一時的な機能喪失または性能の劣化で操作者が介入しなくても試験品が正常性能に復帰するもの。
判定 C:機能の一時的な喪失または性能の劣化で、その是正に操作者の介入を要するもの。
判定 D:機能喪失または性能劣化で、ハードウェアまたはソフトウェアの損傷またはデータ損失のため回復不可能なもの。
判定結果) すべての個所で B 判定以上であった。
試験成績書番号) 11TR-Y0771

付録に試験結果を収録する。

2-3-4 ヘッド部荷重試験

センサヘッド部の堅牢性確認のために、センサなどを除いたセンサヘッド部ケースのみに対して荷重試験を実施した。いずれも破壊試験としそれまでにかけてられた荷重を計測した。

実施日時)	2011年8月30日
実施機関)	東京都立産業技術研究センター 城南支所にて依頼試験として実施
試験条件)	レポートに記載
供試体)	センサヘッドケース #1,#2,#3,#4 合計4個
判定方法)	破壊に至る荷重の計測
判定結果)	破壊したが、ポリカーボネート製の部分は変形どまりであった。せん断試験では試験機の押し歯を軸方向と直角にした場合に容易に樹脂部から落下した。

試験前の供試体と試験後の供試体の写真を図2.51～2.53に示す。また、付録に試験レポートを収録する。

せん断試験では軸方向に直角に試験機の押し歯を設定した場合に容易に樹脂部から落下した。図2.53の上側がその場合であって、金属部にはさほどの変形がないまま樹脂部から外れてしまった。同下側は金属部にもかなりの変形があり、それほど容易には落下しなかった。その結果、人の力で瓦礫などに挿入するような力では損傷しにくいのではないかと思われる。



図 2. 5 1 試験前供試体



図 2. 5 2 圧縮試験後の供試体



図 2. 5 3 せん断試験後の供試体

2-3-5 模擬環境下での要救助者の探査実験

システム全体の動作確認および性能確認のため、株式会社タウ技研1Fに設置してある、模擬倒壊住宅で総合試験を行った。模擬倒壊住宅の2F部分にある木製簞笥内に生存者が閉じ込められているという設定とし、二次試作機によってどの程度の距離まで、生存者の呼吸が探査可能か実験を行った。

- 実施日時) 2011年9月16日
実施場所) 株式会社タウ技研 1F 模擬倒壊住宅 4m×4m 高さ4mの2F部分
試験条件) 倒壊した住宅内の洋服簞笥内に生存者が閉じ込められているという設定で被験者とセンサヘッド間の距離を変えて計測する。
被験者) 成人男性 62歳
判定方法) レーダー波形モニタに繰り返し現れる呼吸波形が確認できること、被験者に呼吸を止めるよう呼びかけたときその波形が消失すること。

次に実験場の写真を示す。



図2.54 実験場を外部から見る



図2.55 模擬倒壊住宅内部



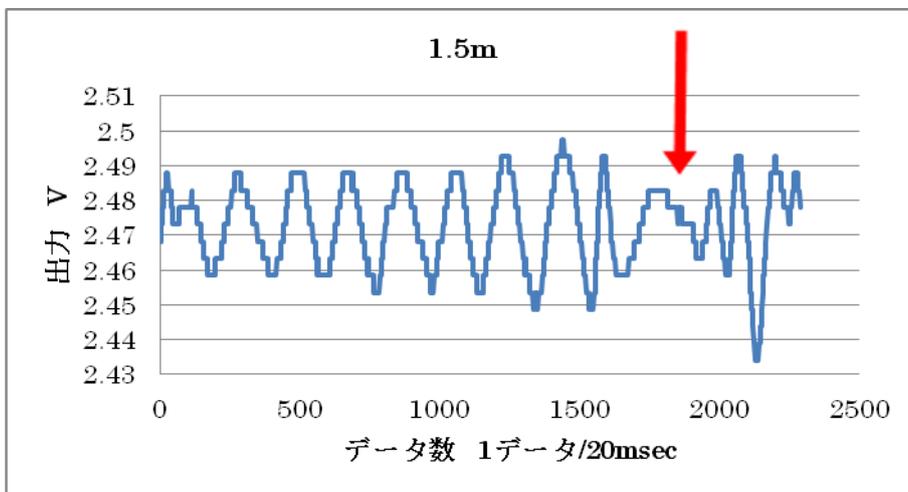
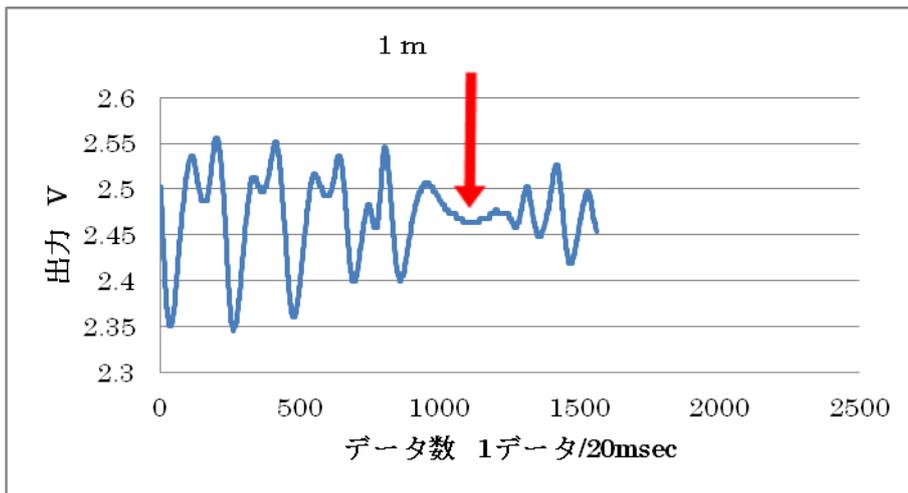
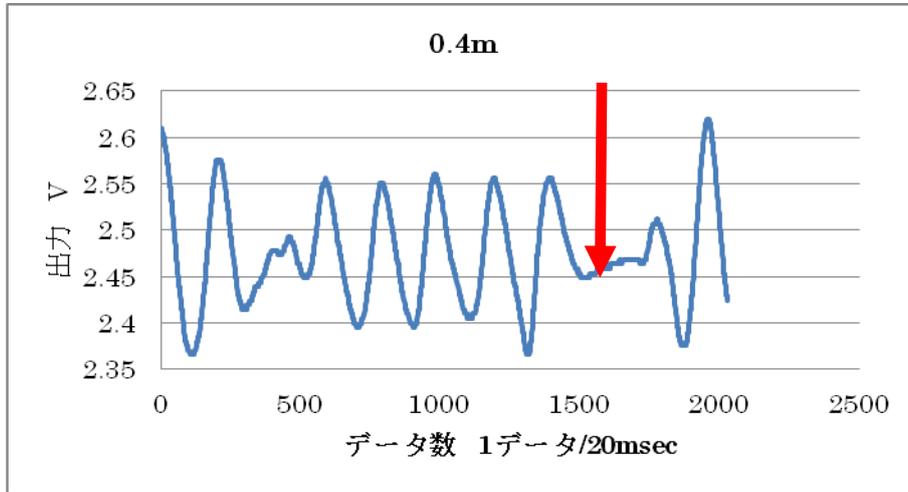
図2.56 被験者



図2.57 本体画面

図2. 57より、本体画面の下部にはレーダー波形が表れているが、繰り返しのある呼吸波形が見える。

実験の際の被験者とセンサヘッドの距離ごとの波形を以下に示す。



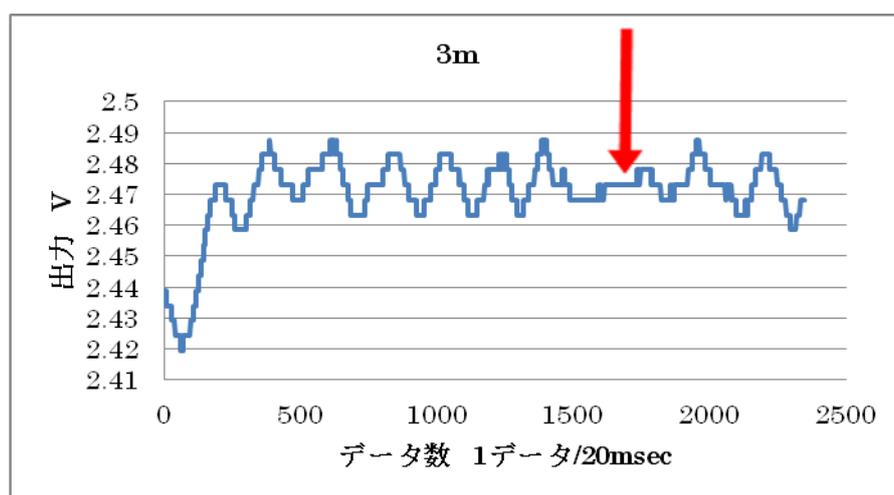
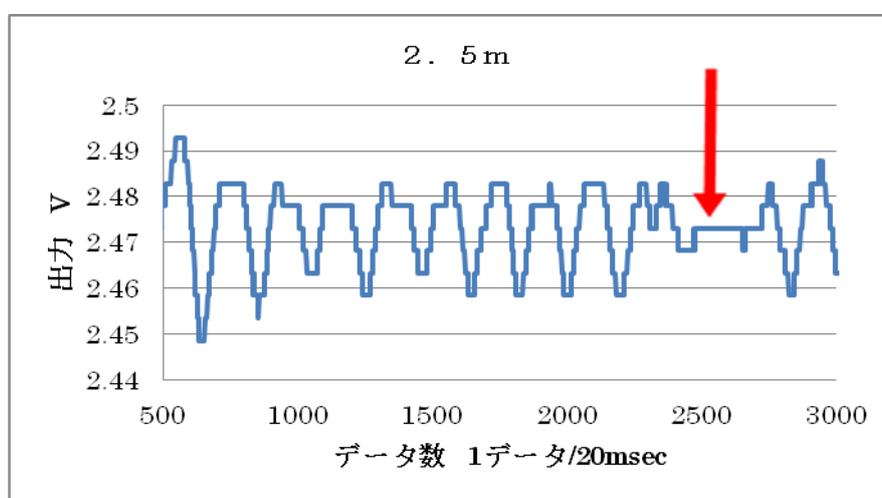
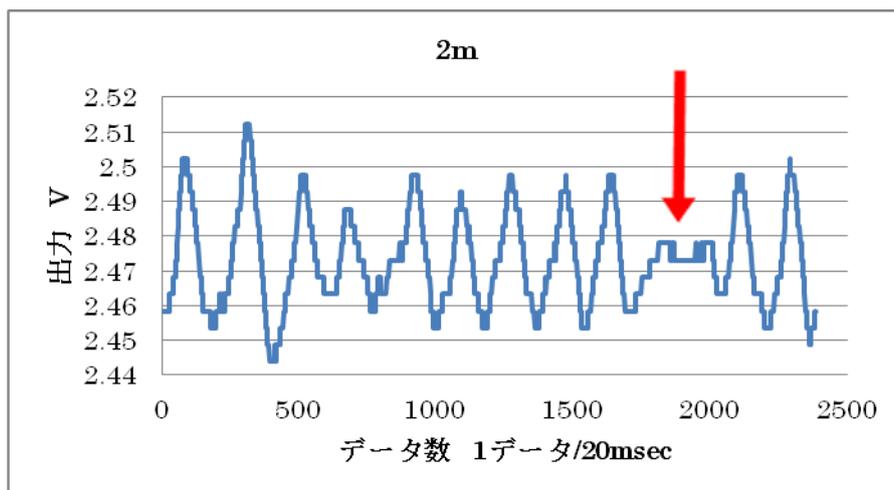


図2. 58 模擬実験場での距離ごとの呼吸検出波形

各波形のうち、波形後半の波が消失しているところは、被験者に呼びかけ、呼吸を停止してもらっているところである。(赤い矢印)。この結果から、3 mまで呼吸が検出できていることがわかる。

第3章 まとめと今後の事業展開について

本委託事業においては、当初の目標である「ドップラーレーダー、音声センサ、スピーカおよび CCD カメラを統合したセンサヘッドの開発」また、「センサヘッド先端から 3m の距離にいる被災者の呼吸の検出」の両者を達成することができ、直ちにデモンストレーションなどに用いることができる試作機も完成した。

本研究の成果として、早々に知的財産権の出願を行い、今年度中の商品化を目指すとともに、消防・警察・自衛隊・資機材商社等へのデモンストレーションを積極的に行っていく。

また、委託事業開始時には予想もされなかった東日本大震災が 3 月 11 日に発生し、東日本を中心に多大な被害が発生した。今回の震災では被害範囲が何県にもわたり広大であったため、非常に多くの災害救助用機器・人が必要であった。

そのため、今後の備えとして消防・警察・自衛隊等で災害救助用機器の装備見直しおよび充実を図る動きがある。

この状況を捉え、探査効率の高い災害救助機器である本成果品を少しでも多く普及させ、「災害に強い国へ」という希望を持って事業展開を行っていきたいと考えている。