

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「革新的ビーム走査方式による26GHz帯UWBレーダの開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社ケイエスピー

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) 研究組織及び管理体制
- (2) 管理員及び研究員
- (3) 研究開発推進委員会 委員

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本編

2-1 はじめに

2-2 準ミリ波回路の実装技術開発

- (1) 電磁界シミュレータによる線路構造、接続部、分岐部の解析と最適化
- (2) 準ミリ波回路の一体モジュール化

2-3 準ミリ波帯デバイスの開発

- (1) 準ミリ波回路のCMOS・IC化
- (2) 広帯域アレイ・アンテナの開発
- (3) LTCCによる広帯域フィルタ、遅延線の小型化

2-4 高機能26GHz帯UWBレーダの試作

- (1) レーダシステムの検討・設計
- (2) 車載用UWBレーダの試作
- (3) 信号処理部の開発
- (4) 試作レーダの機能検証と応用展開

最終章 全体総括

附録-1 出願特許、発表論文等の技術成果物

附録-2 用語解説

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、サクラテック(株)で開発した UWB (Ultra-wideband ;用語解説参照) に適した独創的なアンテナビーム制御方式である IAA (Impulse Array Antenna ;用語解説参照) 方式を適用した準ミリ波帯 (用語解説参照) での車載用近距離レーダの開発を行う。IAA 方式はマイクロ波帯ではその機能がすでに実証できているが、準ミリ波帯はおおよそ周波数が一桁上がるため実装技術、新規デバイスの開発を含めた取り組みが要求される。本研究開発においては準ミリ波帯において以下の取り組みを実施して車載用 UWB レーダの実用化開発を進める。

- ① 準ミリ波回路の実装技術開発 (実施：サクラテック株式会社)
 - 1) 電磁界シミュレータによる線路構造、接続部、分岐部の解析と最適化
小型化に伴う線路損失の低減、接続部や分岐部での浮遊インダクタンス誘発考慮した準ミリ波回路の設計技術を電磁界シミュレータを導入して確立する。
 - 2) 準ミリ波回路の一体モジュール化
送受信アンテナとインパルス発生器や受信機を具備する準ミリ波回路を一体化することで小型化と回路の安定化を図った準ミリ波レーダモジュールを開発する。
- ② 準ミリ波帯デバイスの開発 (実施：アールエフ・チップス・テクノロジー株式会社、サクラテック株式会社)
 - 1) 準ミリ波回路の CMOS・IC 化
高出力インパルス発生器、受信回路を RF-CMOS で設計し、IAA 方式の 1 チップ IC 化を検討し試作開発する。
 - 2) 広帯域アレイ・アンテナの開発
UWB システムに要求される広帯域アンテナを開発する。車載用に適した、ビーム制御が可能な平面型のパッチアンテナを用いた多素子アレイアンテナを主体に検討する。
 - 3) LTCC (用語解説参照) による広帯域フィルタ、遅延線の小型化
IAA 方式レーダシステムに要求される広帯域フィルタ、遅延線を LTCC を採用して小型化、低損失化を実現する。
- ③ 高機能 26GHz 帯 UWB レーダの試作 (実施：サクラテック株式会社)
 - 1) レーダシステムの検討・設計
車載用レーダに適した IAA レーダ方式の最適化と実用化に向けたシステム設計を行う。
 - 2) UWB レーダの試作
方式設計に基づき、新たに開発する CMOS-IC、遅延線、フィルタを適用して自動車用車載レーダの基本設計試作を行う。
 - 3) 信号処理部の開発
レーダのアンテナ制御信号、受信信号の信号処理などのデジタル信号処理回路の高速化、省電力化を目指し信号処理方式の開発を行う。
 - 4) 試作レーダの機能検証と応用展開
実証実験結果および開発により得られた成果の評価と残された課題の検討およびその対応策を整理し、実用化に向けた取り組み、製品構想をまとめる。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

<研究開発の背景>

自動車事故や事故による搭乗者や歩行者の死傷者を低減するための安全性向上およびオートクルーズや駐車補助などドライバーの快適性向上に寄与する近距離車載レーダに対する自動車製造業者の期待は大きい。しかし、近距離レーダは現状では距離および方位分解能などの性能やコストの点で課題が多く本格的に普及するに至っていない。特に方位分解能向上のためにはアンテナビーム走査が要求されるが、従来技術では回路が複雑で低コスト化が困難であることからビーム走査機能を有する高分解能近距離レーダはまだ実用化されていない。

<研究開発の目的>

本研究開発の目的とするところは自動車製造業者の安全性向上、ドライバーの快適性向上のニーズに応え高分解能 26GHz 帯 UWB レーダを開発することである。

<研究開発の目標>

本研究開発の目標は従来のレーダで課題となる分解能を格段に向上させるため、当社独自の IAA 方式による 26GHz 帯 UWB レーダの開発を行う。この開発には準ミリ波帯の実装技術の開発、準ミリ波帯のデバイス開発が必須となり、これを踏まえてレーダの試作検証を実施する。レーダとしては図 1-1.1 に示すような高分解能をもつ車載レーダの実用化を目指し最終的な目標値は以下のとおりである。

探知距離：	30m min.
距離分解能：	20cm 以下
探知範囲：	±45 度
方位分解能：	1 度以下（正面方向）
外形寸法：	100mm (H) x 100mm(W) x 25mm(D)

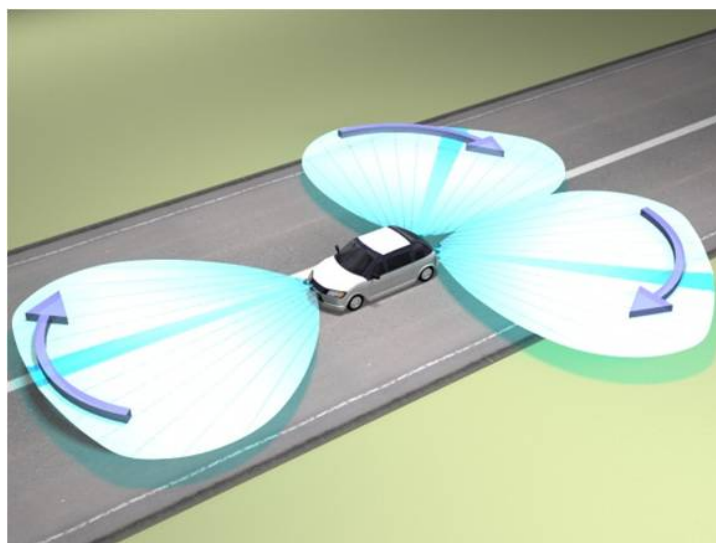


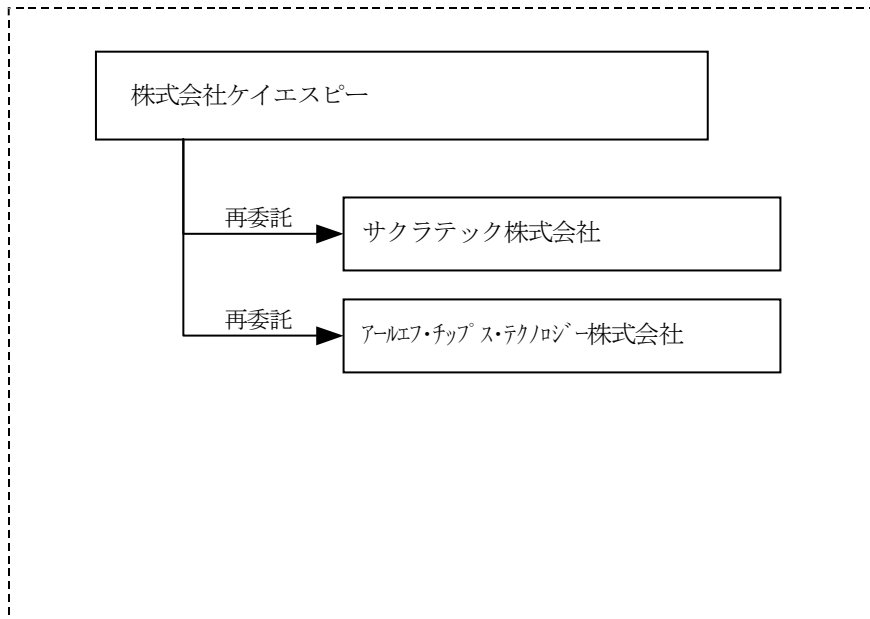
図 1-1.1 ビーム走査機能を有する側面後方監視レーダのイメージ図

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



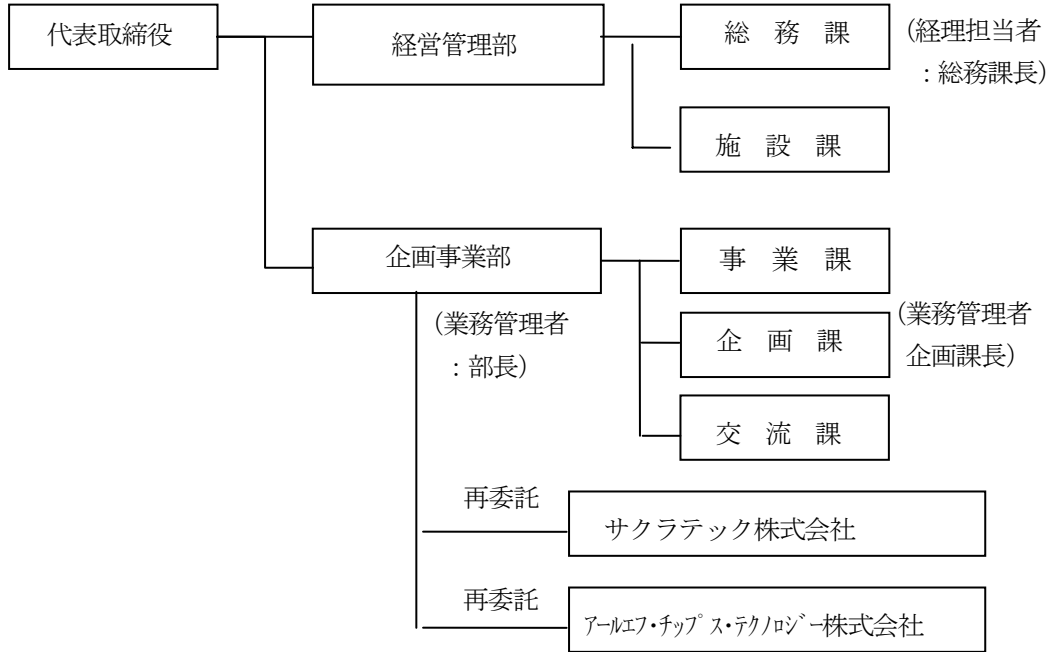
統括研究代表者 (PL)
サクラテック株式会社
代表取締役 酒井 文則

副統括研究代表者 (SL)
サクラテック株式会社
技術顧問 牧本 三夫

2) 管理体制

①事業管理機関

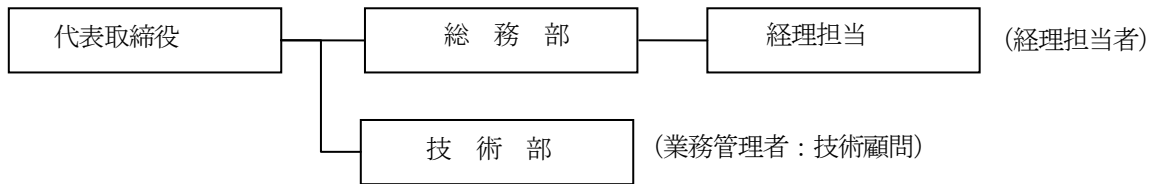
[株式会社ケイエスピー]



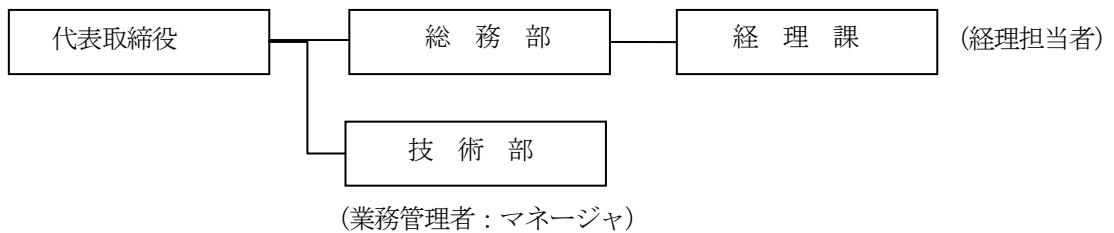
② 再委託先

[サクラテック株式会社]

(業務管理者 : 代表取締役)



[アールエフ・チップス・テクノロジー株式会社] (業務管理者 : 代表取締役)



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社ケイエスピー

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
菅原 久雄	常務取締役	④
西村 哲	企画事業部 部長	④
栗田 秀臣	企画事業部 企画課長	④
藤井 弘樹	企画事業部 企画課	④
長谷川 章市	経営管理部 総務課長	④

【再委託先】

(研究員)

サクラテック株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
酒井 文則	代表取締役	①～③
牧本 三夫	技術顧問	①～③
鈴木 昭広	技術部 主任	③
天野 佳将	技術部	①、②

アールエフ・チップス・テクノロジー株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
五十嵐 貞男	代表取締役	②
福井 邦明	技術部	②
増本 卓也	技術部	②

(注)実施内容の欄における番号は研究開発の概要で述べた取り組み内容の番号を示す。

- ① 準ミリ波回路の実装技術開発
- ② 準ミリ波帯デバイスの開発
- ③ 高機能 26GHz 帯 UWB レーダの試作
- ④ プロジェクトの管理・運営

(3) 研究開発推進委員会 委員 (他からの指導・協力者を含む)

氏名	所属・役職	備考
菅原 久雄	株式会社ケイエスピー 常務取締役	
西村 哲	株式会社ケイエスピー 企画事業部 部長	
栗田 秀臣	株式会社ケイエスピー 企画事業部 企画課長	
酒井 文則	サクラテック株式会社 代表取締役	プロジェクトリーダー (PL)
牧本 三夫	サクラテック株式会社 技術顧問	サブリーダー (SL)
五十嵐 貞男	アルファ・チップス・テクノロジー株式会社 代表取締役	
澤谷 邦男	国立大学法人東北大学 大学院 工学研究科電気・通信工学専攻 教授	アドバイザー
和田 光司	国立大学法人電気通信大学 大学院 情報理工学研究科 准教授	アドバイザー
小池 弘之	株式会社本田技術研究所 四輪開発センター 第8 技術開発室 第1ブロック 1Gr 主任研究員	アドバイザー
五十嵐 康博	アルプス電気株式会社 HMI 事業本部 第2商品開 発部 グループマネージャ	アドバイザー

1-3 成果概要

本研究開発は、初年度において準ミリ波帯の実装技術とデバイス開発を中心に実施し、次年度は試作デバイス特に CMOS-IC の評価とレーダシステムの試作、最終年度に試作レーダのシステム評価と実環境での実証実験を実施する計画となっていた。初年度は計画通り進捗したが、CMOS-IC の評価に手間取り、また結果的にレーダに実装するには性能が不十分であることが判明したため、2 年度から当初計画を修正して研究開発を実施した。準ミリ波帯での実装技術、広帯域フィルタ、低損失遅延線、広帯域アンテナに関しては期待通りの成果が得られたが、CMOS-IC には課題を残した。しかし IC 機能ブロックの評価の結果より CMOS-IC を用いた 1 チップ化は実現可能であるという見通しが得られたことは大きな成果であると考えている。レーダシステムの実証実験は既存のデバイスを用いて実験機を試作し、屋外実験を実施した。この結果 26GHz 帯で IAA 方式によるビーム走査が可能であること、検知範囲 25m、距離分解能 35cm、方位分解能 15° の特性が確認できた。以下、具体的な成果の概要について述べる。

① 準ミリ波回路の実装技術開発

1) 電磁界シミュレータによる線路構造、接続部、分岐部の解析と最適化

アジレント社の電磁界シミュレータ EMpro を導入し、設計実務に適用開始した。準ミリ波帯の受動回路全般 (伝送路、接続部、分岐部、フィルタ、アンテナなど) の形状による解析が精度よく行われることを確認し、IC チップ実装における基板設計の効率化を行うことができた。マイクロ波・ミリ波帯の回路設計の基本技術として設計実務に定着できた。

2) 準ミリ波回路の一体モジュール化

3次元実装で問題となるビア・ホールによる基板間接続、バンプ実装の基礎的な解析を行い、回路モジュール化の基礎技術を確立するとともに IC 評価基板、実証実験用レーダの準ミリ波実装基板の設計を行った。

② 準ミリ波帯デバイスの開発

1) 準ミリ波回路の CMOS・IC 化

UWB レーダシステムに適したシステム構成を検討したのち、具体的なインパルス発生回路、低雑音増幅器、コリレータ、遅延調整回路などの個別の回路シミュレーションを終えてシステム IC 全体構成を決定し、レイアウト設計、端子配置などを確定し設計仕様書を作成した。予想していた以上の集積化が可能で送受信回路がすべて 1 チップに実装した。試作 IC の性能はインパルス発生器を含む送信部は大きな問題はなく、また、IAA 方式によるビーム制御方式も確認できたが、受信部のコリレータの感度が悪く、レーダに組み込むレベルではないことが判明した。この改善は可能であり、CMOS・IC による 1 チップ化は実現可能であるという見通しは得られた。

2) 広帯域アレイ・アンテナの開発

UWB レーダに要求される送信用 8x1、受信用 8x8 素子のアレイアンテナを積層プリント基板を用い試作した。構成は広帯域化を図るため励振素子の上面に無給電の放射素子を配置した 2 層基板を再余資している。アンテナパターン、アンテナ利得など基本特性を測定した結果期待通りの広帯域特性が得られ、インパルス信号の伝送実験を実施し、信号歪なく伝送できることを確認した。

3) LTCC による広帯域フィルタ、遅延線の小型化

広帯域フィルタは二回設計試作を実施した。最終的に共振器素子としてヘアピン構造の SIR を採用するとともに阻止域に減衰極を配する構成を採用することで目標性能を満たした特性が確認できた。ただ IC 内部にもある程度のフィルタ機能を持たせることが可能となるため最終的には IC との機能分担を見直し仕様を決定する必要がある。

遅延線に関しては 16 層 LTCC 技術を用い、小型化を図り試作を行った。損失に課題を残したが遅延時間や精度など基本的な性能は確認できた。ただ遅延回路とその微調整回路も IC 内部に実装することが判明したため、遅延線の開発は 2 年次で中断して CMOS-IC を主体として検討を進めた。

③ 高機能 26GHz 帯 UWB レーダの試作

1) レーダシステムの検討・設計

準ミリ波帯でのレーダ方式の検討は、シミュレーションや周波数帯域低いマイクロ波帯の装置でも行えるため、開発済みのマイクロ波帯の装置を用いて、ビーム制御、走査速度、検知領域などの基礎実験を行い、システム設計の基礎データを蓄積した。また並行して開発したデバイス、アレイ・アンテナなどの成果を取り込んでレーダシステムの設計を行った。

2) UWB レーダの試作

試作した CMOS-IC は受信感度が不十分でレーダシステムに組み込むには問題があったため、レーダとしての実証実験の装置は個別部品で構成して試作した。このとき受信部は回路が複雑で 8 チャンネル準備すると装置が大きすぎるため、受信感度は犠牲となるが IAA 方式によるビーム制御検証は同等に行えることから、送信系を 8 チャンネル・アレイ構成にした送信ビーム制御機能を持つ車載用 UWB レーダ装置を試作した。

3) 信号処理部の開発

アンテナビーム制御方式、受信信号処理方式、低諸費電力化のためのシステム構成などデジタル信号処理部の基本検討を実施した。この結果に基づきビーム制御用のダイレクト・デジタル・シンセサイザや高速信号処理のための FPGA による高速 AD 変換回路などの信号処理回路のアルゴリズム開発を含め設計試作した。

4) 試作レーダの機能検証と応用展開

実証実験用に試作したレーダシステムを用い屋内での機能実証実験を行い距離分解能 35cm、方位分解能 10° を確認した。またクルマに実装して屋外実験を行い、クルマで 25m、ヒトで 10m の検出ができることを確認した。これらの特性は IC を実用化できればさらに改善可能であることも判明した。また今後の事業展開を想定し、補足実験として同一なインパルス発生器を用いたマルチモードレーダの基礎実験とレーダを車内やコンビネーションランプ内に設置することを想定した伝搬特性の検証実験も行った。

実証実験の結果を踏まえ、車載レーダシステムとしての最終評価を行った。ビーム制御機能、検出範囲、距離分解能、方位分解能などレーダとしての基本性能は確認でき、実用化の可能性は十分あるという結果は得られたが、IC を実装した装置でないため小型化が実現されていない。このためクルマに実装し、実環境でのテストが不十分で車載レーダとしてのデータが不足していることより、実用化のためには検証すべき課題が残されている。これらの課題も含め将来の応用展開について開発構想をまとめている。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

連絡担当者 所属： 株式会社ケイエスピー 企画事業部
役職： 企画課長
氏名： 栗田 秀臣
電話： 044-819-2001
Fax： 044-819-2009
E-mail： incu@ksp.or.jp

第2章 本論

2-1 はじめに

ここでは、第1章研究開発の概要で述べた項目のうち、主として技術開発に関わる3項目

- ・準ミリ波回路の実装技術開発
- ・準ミリ波帯デバイスの開発
- ・高機能26GHz帯UWBレーダの試作

について、3年間の具体的な取り組みについてまとめている。

研究開発は不確定な要因もあったため開発を進めながら適宜目標仕様を見直し計画の修正を行いながら対応した。特にCMOS-IC化を検討する過程で、遅延線およびその調整回路がIC内に実装可能であること、広帯域フィルタの機能がある程度IC内に取り込めることなどが明らかとなり、準ミリ波帯のデバイス開発を見直す必要があった。また試作したCMOS-ICはレーダとしての基本機能は確認できたものの受信感度に問題があり、実証実験用のレーダシステムには実装できないことがあったため、試作レーダを個別回路を用いて試作した。このためレーダとしての完成度が低く、車載レーダとして実環境下におけるデータ取得が十分なされていない。このため本方式の車載レーダとしての実用化に関してはまだ解決すべき課題を残している。ただIAA方式によるビーム制御、検出距離、空間分解能などの車載レーダシステムの基本性能は確認できたため、1チップIC化による準ミリ波レーダの高機能化、低コスト化の見通しは得られている。

最終的に試作ICの機能評価と課題の抽出、レーダシステムの方式検証結果を整理検討しながら実用化に向けて実装技術、CMOS/ISおよびレーダシステムのまとめをおこない、実用化構想を策定している。また技術開発を進めながら、市場動向調査、技術動向調査は常々行うように注力した。ヨーロッパではクルマに人物検出する機能を有する装置の装備することの義務化が想定されることから市場の立ち上がりは予想以上に早くなる可能性があること、また技術的にはRF・CMOS技術の進展が著しく1チップ化が確実に実現できることが明確となり、市場参入を急ぐ必要があると認識した。このような状況も踏まえて実用化構想をまとめている。

2-2 準ミリ波回路の実装技術開発

(1) 電磁界シミュレータによる線路構造、接続部、分岐部の解析と最適化

準ミリ波回路においては回路の物理的な3次元形状寸法を考慮した設計と精密実装技術が要求される。このためアジレント社の電磁界シミュレータ EMpro を導入し、準ミリ波回路の基板設計に必要となる伝送路、線路の接続部や分岐部、部品のマウント部電極構造の3次元電磁界解析に適用し、設計の合理化と効率化に対応した。図 2-2.1 に CMOS-IC を基板に実装する接続電極の設計における構造例を示す。バンプの構造まで考慮した設計に対応しており、準ミリ波回路設計で3次元電磁界解析技術を確立することができた。

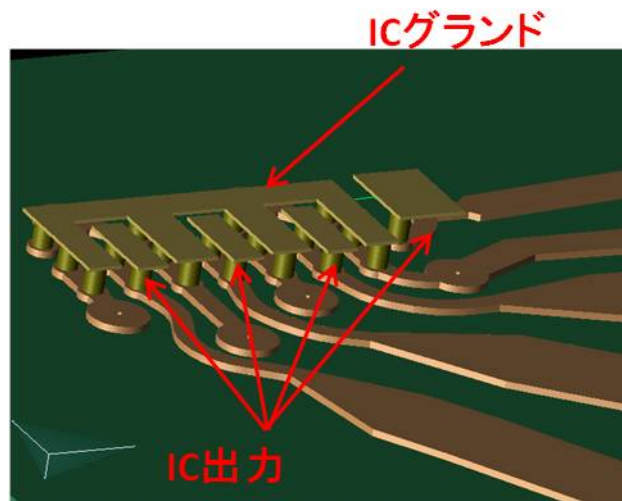


図 2-2.1 IC の基板実装の3次元解析の構造例

(2) 準ミリ波回路の一体モジュール化

(1) で確立した3次元電磁界解析をモジュール基板や平面アンテナの設計にも適用し厳密な設計を行うことが可能であることを確認した。図 2-2.2 に 8x1 平面パッチアンテナの解析例を示す。この技術を確立することで試作確認が不要となり、設計の効率化が可能となった。

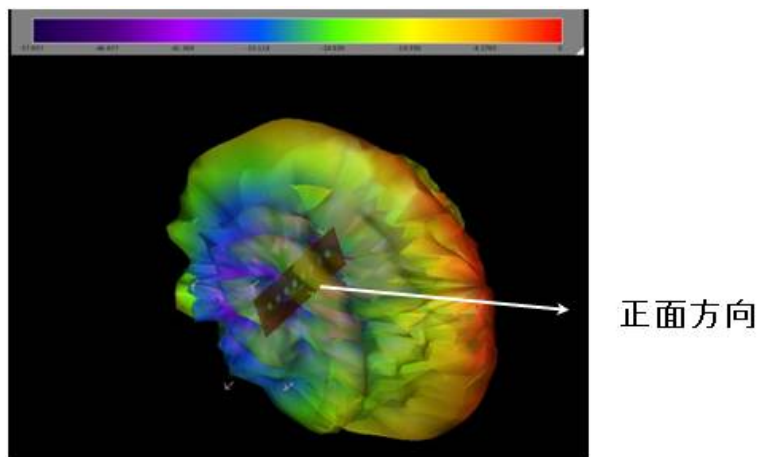


図 2-2.2 電磁界シミュレータによるアレイアンテナの設計例

2-3 準ミリ波帯デバイスの開発

(1) 準ミリ波回路のCMOS・IC化

26GHz帯UWBレーダのシステム設計を行い、それを土台にしてCMOS-ICの設計を行った。図2-3.1にシステム構成。表2-3.1にその目標仕様を示す。

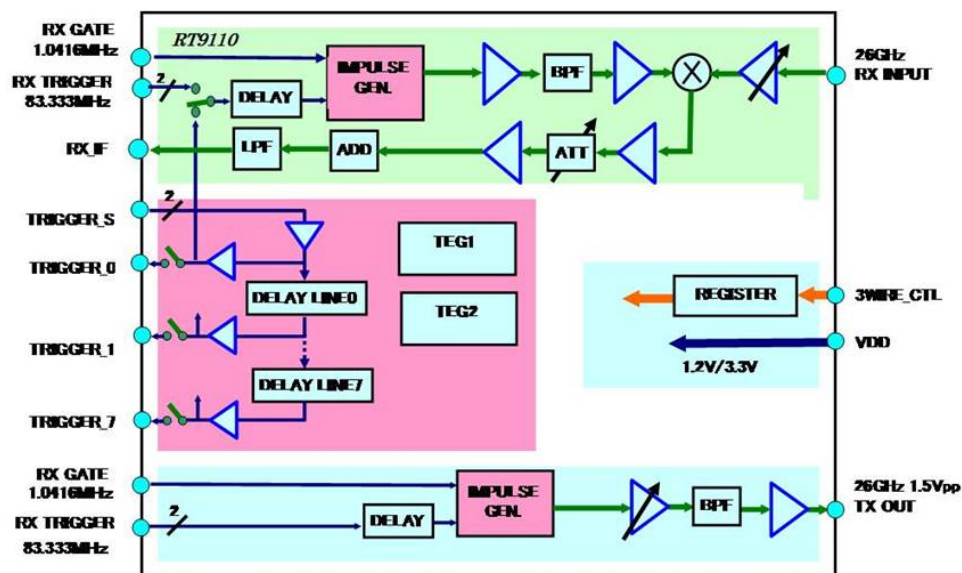


図2-3.1 UWBレーダ用CMOS-ICのシステム構成

表2-3.1 UWBレーダ用CMOS-ICの目標仕様

Implementation	Technology	90nm CMOS
	Die Area	5.0mm X 5.0mm
	Supply Voltage	1.2V & 3.3V(Tx PA)
Impulse Generator	Pulse Repetition Frequency	82.333MHz±145kHz
	Pulse Width	19ps(Typical)
	Pulse Width Control Range	15ps to 59ps(1ps step, 5bit)
	Pulse Jitter	1ps rms
Transmitter	Frequency Band	24GHz-29GHz
	PA Gain (Simulation)	20dB
	Output Voltage	406mVpp(50Ω)
Receiver Frontend	Frequency Band	24GHz-29GHz
	LNA Gain	30dB
	LNA NF (Simulation)	3.7dB
	Programmable Attenuator	1dB to 47dB (1dB step, 6bit)
System Performance	Frequency Band	24GHz-29GHz
	Number of channels	Rx: 8 Tx: 1
	Space resolution	Distance:15cm Angle:6°
	Beam steering range	-45° to 45°
	Beam scanning speed	0.1 sec
Power Consumption	Total Power Consumption	1390 mW
	Rx Block (X8)	81%
	Tx Block	11%
	Delay Line	1%
	IF Block	3%

ICの主要部分はインパルス発生器を含む送信部、8チャンネルの構成の受信部と遅延回路となっている。システム設計段階では遅延回路は外付けの固定遅延線を用いることにしていたが回路シミュレーションの結果あ IC に内蔵可能となったため遅延回路とその微調整回路の IC に実装することにした。また送信段では簡単な構成の帯域通過フィルタ (BPF) も実装できる見通しとなったためこの機能を内蔵している。これにより UWB レーダに必要なほとんどの回路がチップ内に実装できる見通しになり 1 チップ IC 化を目指すことになった。適用したプロセスは 90nmCMOS、チップサイズ 5mm x 5mm、消費電力 1400mW である。試作した CMOS-IC のチップ写真を図 2-3. 2②示す。

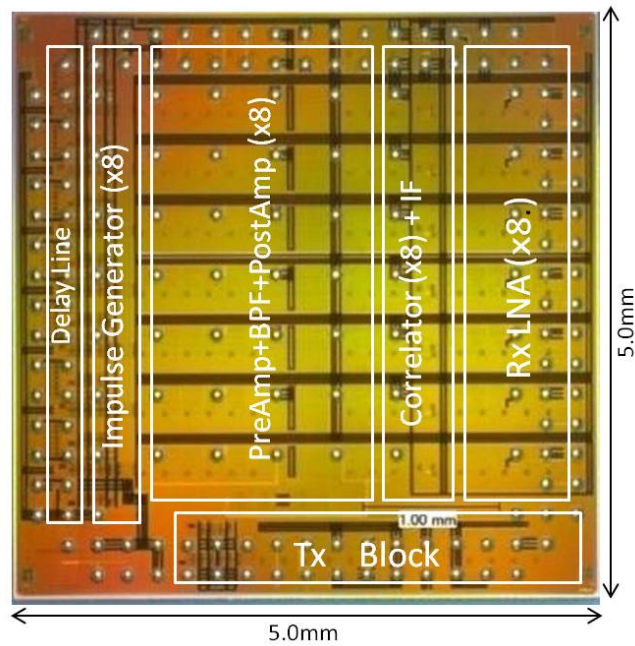
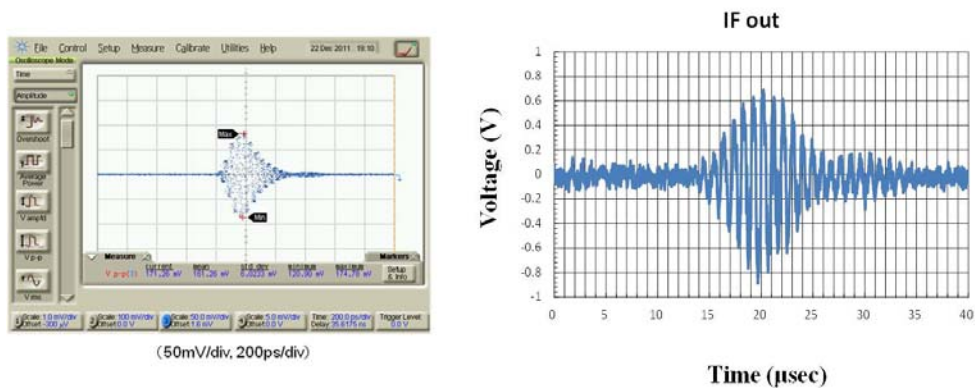


図 2-3. 2 試作 CMOS-IC のチップ写真



送信インパルス波形

受信インパルス波形

図 2-3. 3 試作 CMOS -IC の送受信波形の一例

図 2-3.3 に試作 IC で測定した送受信インパルス波形の一例を示す。送信インパルスはパルス幅 500ps 程度が実現できレーダとして分解能 15cm が可能となることが判明した。受信部は感度が低くその原因がコリレータの回路定数が不適切であることが判明した。測定結果のまとめと対応について表 2-3.2 に示す。現段階でレーダシステムに実装して実証実験は困難と判断したが、特性は改善可能であり 1 チップ化の見通しは得られた。

表 2-3.2 試作 CMOS-IC の特性測定結果のまとめ

大項目	小項目	現状	課題・確認事項	対応策など
TX	インパルス発生器	<ul style="list-style-type: none"> カレベルは不足しているが 復元するレベル パルス幅制御範囲？ 	<ul style="list-style-type: none"> PA実力確認 (電源電圧-出力レベル) 最小パルス幅確認 詳細データ、ジッタ測定 	<ul style="list-style-type: none"> 送受実験では外部アンプを 用いることも可能
RX	LNA	<ul style="list-style-type: none"> 信号は通っている 利得/ノF未確認 	<ul style="list-style-type: none"> 利得の確認 	
	ATT	<ul style="list-style-type: none"> 基本的な動作はしている。 ATT範囲未確認 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得 	
	MX	<ul style="list-style-type: none"> 基本的な動作はしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得(可能?) 	
	積分器(Sample+Hold)	<ul style="list-style-type: none"> 動作はしているが出力レベル小 積分器(LPF)の容量値が大き 	<ul style="list-style-type: none"> トリア周波数を上げて 出力レベルを高める実験 	<ul style="list-style-type: none"> 設計変更(εmC積分器)
IF	AMP	<ul style="list-style-type: none"> 動作している 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得 	
	LFF	<ul style="list-style-type: none"> 動作している 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得 	
	ATT	<ul style="list-style-type: none"> 動作している 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得 	
Delay-Line	固定遅延線	<ul style="list-style-type: none"> 基本的な動作はしている 段数が多いとジッタ劣化？ 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧依存性確認 温度依存性確認 ジッタ劣化要因確認 	<ul style="list-style-type: none"> 外付け遅延線との比較
	可変遅延線(微調整)	<ul style="list-style-type: none"> 基本的な動作はしている 	<ul style="list-style-type: none"> 定量的なデータの取得(調整範囲) 	
IO Layout	信号回り込み	<ul style="list-style-type: none"> RX遅延線に問題あり？ IC外部での回り込みもある？ 		
	電極配置	<ul style="list-style-type: none"> RF端子のグラウンドに問題あり 		<ul style="list-style-type: none"> IC設計変更
実装	ハンパ電極	<ul style="list-style-type: none"> 顕微鏡写真/直流的な接続OK 		
	RF端子	<ul style="list-style-type: none"> 基板との接続に問題あり 	<ul style="list-style-type: none"> 基板再設計(改善確認) 	<ul style="list-style-type: none"> 設計変更/LTCC実装基板
システム	TX	<ul style="list-style-type: none"> 実験レベルとしてはOK 		<ul style="list-style-type: none"> < FMCWの確認 > < OOK送信機の機能確認 >
	RX	<ul style="list-style-type: none"> 受信感度は極めて悪い 単一チャネルでも不安定、 波形の一部に雑音が重畳され る。 →合成波形が乱れる 合成波形はNG特定の条件で S/N がよくなる場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> コリレータの感度不足 (LPF(積分器)の設計ミス) サンプリングタミングが特定の 条件でふらついている →遅延線ジッタ？回り込み干渉？ 	
	送受信実験	<ul style="list-style-type: none"> IC単体では困難 	<ul style="list-style-type: none"> 外付け部品で実験する 	<ul style="list-style-type: none"> RX,TX別基板？ FMCWによる確認実験
	ビーム制御	<ul style="list-style-type: none"> 特定条件で機能を確認 		<ul style="list-style-type: none"> 安定な送受信機を準備する
	分解能	<ul style="list-style-type: none"> 未測定 		<ul style="list-style-type: none"> 安定な送受信機を準備する
	方式検証	<ul style="list-style-type: none"> 未検討 	<ul style="list-style-type: none"> 無線部の完成度を高める 	<ul style="list-style-type: none"> IR-UWB FMCW

(2) 広帯域アレイ・アンテナの開発

UWB システムではアンテナの広帯域化が重要な開発課題となる。また車載用となるので小型でかつ薄型である要求もある。このため基本的にパッチ型のアレイアンテナを採用することにした。このままでは広帯域化が困難となるためパッチアンテナの上面に無給電素子を配置することで広帯域化を図った、図 2-3.4 に試作アンテナの写真を示す。送信は可変ビーム 8x8 アレイ、受信は固定ビーム 8x1 アレイとなっている。また図 2-3.5 に本提案である IAA 方式による

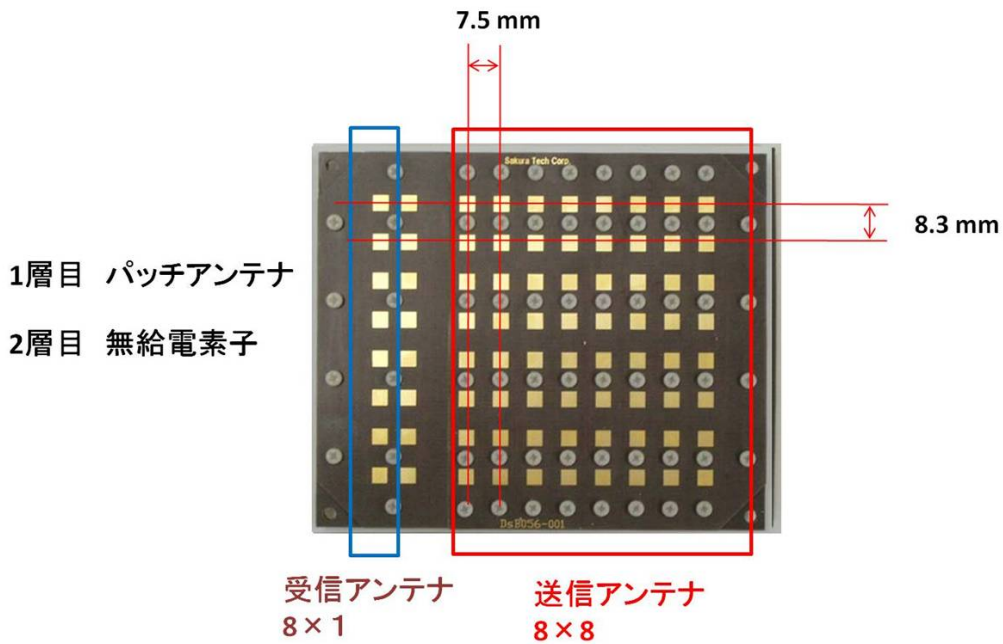


図 2-3.4 UWB レーダ用広帯域アレイアンテナ

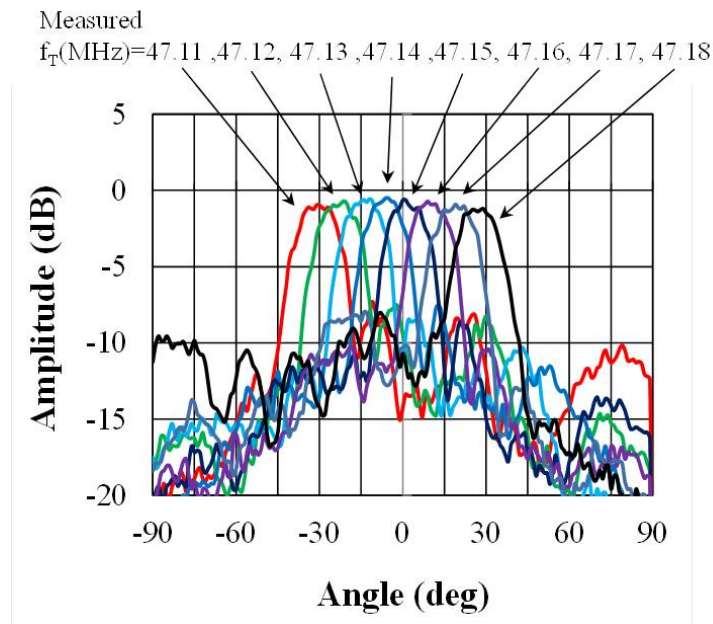
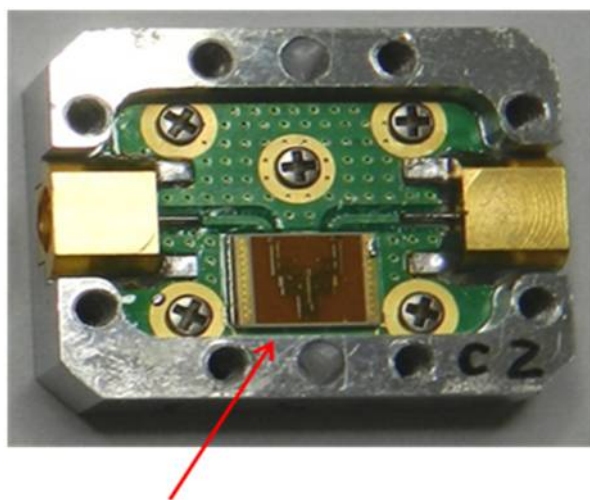


図 2-3.5 アレイアンテナのビーム制御特性

送信アンテナビーム制御パターンを示す。インパルス発生器のトリガパルスの周波数 f_T を 47.11MHz~47.18MHz まで 0.07MHz 変化させることでアンテナビームを $-30^\circ \sim +30^\circ$ 制御可能であることを確認した。

(3) LTCC による広帯域フィルタ、遅延線の小型化

UWB 信号は電波法によりスペクトルマスクが規定されている。これを満たすためにはインパルス発生器の出力にフィルタを用い帯域制限する必要がある。このために LTCC 基板を利用して図 2-3.6 に示すような小型 UWB 広帯域フィルタを開発した。また遅延線も小型化必要となったため図 2-3.7 に示す LTCC16 層から成る小型遅延線 (遅延時間 12ns、サイズ 5mm x 10mm x 2mm) を開発した。これらは仕様をほぼ満たしたが、機能を IC に内蔵可能となったため開発は 2 年度で中断した。



3段ヘアピン型SIR・BPF
(5mm×7mm×0.24mm)
実装基板: megtoron6

図 2-3.6 試作した UWB 広帯域フィルタ

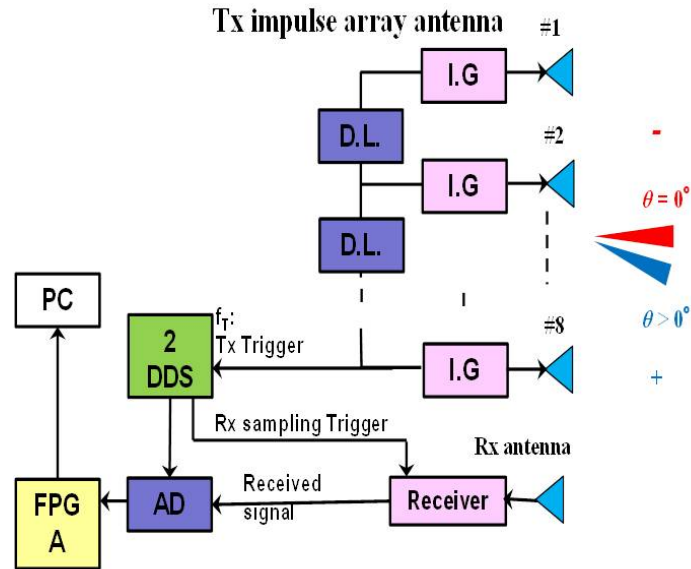


図 2-3.7 試作した LTCC 基板固定遅延線

2-4 高機能 26GHz 帯 UWB レーダの試作

(1) レーダシステムの検討・設計

図 2-4.1 に本研究開発で検討する IAA (Impulse Array Antenna) 方式の基本構成を示す。この構成を土台にして車載用レーダに要求される検出距離、距離分解能、方位分解能、走査速度の考慮してシステム設計と構成回路の仕様を決定した。図の例は実証実験用の送信ビームを制御する方式であるが、CMOS-IC では感度を向上するために受信ビーム制御方式で検討した。



試作レーダの構成図

図 2-4.1 IAA 方式レーダの基本構成

(2) 車載用 UWB レーダの試作

図 2-4.2 に実証実験用に試作した UWB レーダ無線部の構成と回路基板をしめす。

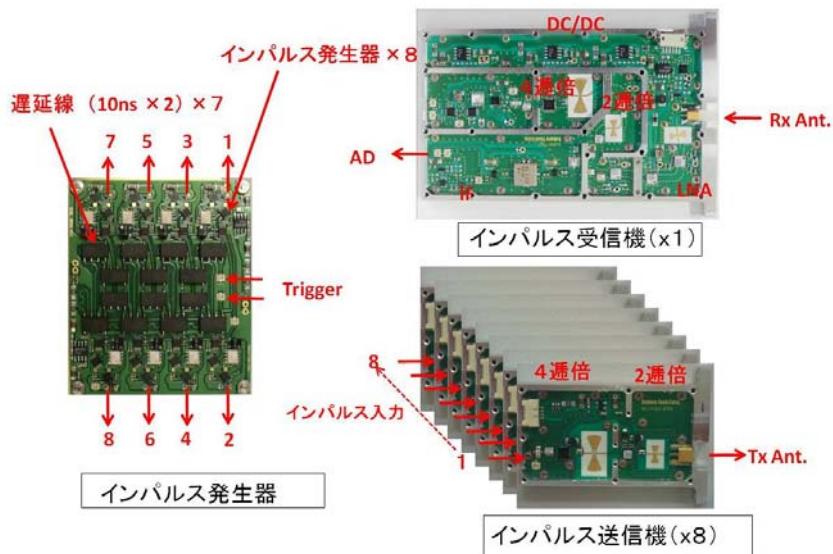


図 2-4.2 実証実験用レーダの無線部の構成と回路基板

当初計画は開発した CMOS-IC を実装して小型レーダを試作予定であったが、CMOS-IC の感度が不十分であったため個別回路を用いて実証実験用レーダを試作した。基本構成はインパルス発生器、インパルス送信機、インパルス受信機で構成され、これにアンテナと信号処理部を組み合わせるレーダシステムを試作した。

(3) 信号処理部の開発

レーダ制御方式、受信信号処理方式、低諸費電力化のためのシステム構成などを考慮してデジタル信号処理部の基本検討を実施し、ビーム制御用のダイレクト・デジタル・シンセサイザや高速信号処理のための FPGA による高速 AD 変換回路などの信号処理回路のアルゴリズム開発を含め設計試作し、実証実験用レーダ装置に実装した。

(4) 試作レーダの機能検証と応用展開

受信ビーム制御機能の実験は試作 IC を用いに行い基本性能を確認した。この IC は前述したように受信感度が不十分のため実証実験レーダは個別回路で送信ビーム制御方式で構成し機能試験を実施した。屋内実験で距離分解能 30cm、方位分解能 15° を確認したが、個別回路でパルス幅が 1ns と広がっているため IC を適用するとこの特性は改善可能である。また図 2-4.3 に示すように屋外実験を実施した。これよりクルマ 25m、ヒト 10m の検出距離が得られ、車載レーダとしての基本的な性能を確認できた。

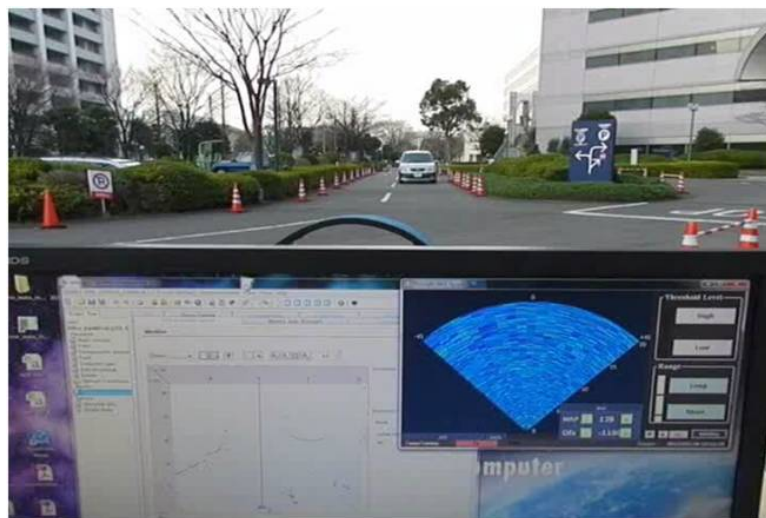


図 2-4.3 屋外実験状況(上)とデータ処理画面(下)の例

また準ミリ波帯レーダの特長を生かすため、高分解能インパルスレーダ (26GHz 帯 UWB) と長距離パルスレーダ (24GHz 帯) の機能を持つマルチモード化の検討、車室内やコンビネーションランプ内への搭載を想定した伝搬実験などの補足実験を実施しその可能性を確認した。また UWB 技術の応用は広く、本開発の成果は車載レーダにとどまらず業務用のセンサ、通信機能を持つセンシングシステムなどへの応用展開も可能である見通しも得られた。

最終章 全体総括

(1) 複数年の研究開発成果

本研究開発においては独自のビーム制御方式である IAA(Impulse Array Antenna)方式を適用した 1 チップ IC を開発し、26GHz 帯(準ミリ波帯)車載用 UWB レーダシステムの実証実験を行うことを目標に推進してきた。開発した IC に不具合があったため IC を実装した状態でのレーダの検証はできなかったが、1 チップ IC が実現可能であること、IAA 方式が準ミリ波帯にも適用できることを明らかにして、車載用レーダが実用化できる見通しが得られた。

得られた成果をレーダ開発の観点からまとめると

<レーダ方式>

- ・IAA 方式によるアンテナビーム制御方式は送信、受信ともに実現可能であることが確認できた。IC によるアンテナ制御特性の評価は基本的な段階にとどまっている。

<レーダ装置>

- ・アンテナ系、デジタル処理部は目標性能を満たし、実用上大きな問題はないことを確認した。CMOS・IC は今回の試作では完成度が低いながら 1 チップ化の見通しは得られた。
- ・レーダのモジュール化はモックアップでの検討に終わっているが、IC の 1 チップ化で 100mm(L)x100mm(W)x25mm(D)のサイズで実現可能である。

<ソフトウェア、システム>

- ・車載レーダとしての検出距離、空間分解能などの基本的な動作確認はできた。
- ・レーダ・システムとしては機能検証段階に終わり、実環境下で要求される分解能や処理速度などのデータが不十分である。

(2) 研究開発後の課題・事業化展開

実用化に向けた課題として、完成度の高い IC を試作し、レーダ装置に実装して実環境で検証を行い、自動車メーカーに対して製品として提示することがあげられる。

このため以下の取り組みを行って事業化を進める予定である。

<製品の差別化>

- ・70GHz と比較してマルチモード・レーダによる機能上の優位性、車室内装着の可能性、CMOS-IC 化による低コスト化などの点を訴求して製品の差別化に対応する。

<ビジネスモデル構築>

- ・開発成果の実用化に関しては、特許や半導体 IP コアのライセンス、チップ・ビジネス、レーダモジュール販売の選択肢がある。他企業との連携も視野に入れて実用化への対応を考えている。

<CMOS・IC 開発>

- ・CMOS・IC による UWB レーダの 1 チップ化は十分可能であるが、実用化では少なくともあと 1 回試作が要求される。公的支援や大手企業との連携による共同開発も考えて実用化を進める予定である。

<Proto-Type による確認>

- ・クルマメーカーに製品を提示するには IC を実装した完成度の高い Proto-Type Model を試作し、有用性の検証を実施することが不可欠である。

附録-1 出願特許、発表論文等の技術成果物

(1) 出願特許

発明の名称：UWB アレイアンテナ
出願日：2011年11月30日
出願番号：特願2011-261723
出願人：サクラテック（株）
発明者：酒井文則、牧本三夫

(2) 学会発表

①題 名：Ultra-Wideband Array Antenna Utilizing Novel Scanning System
with Tapped Delay Lines for Short Range Radar

掲載日：2011年5月

雑誌名：IEICE Trans. Commun. (電子情報通信学会 英文論文誌)

②題 名：UWB Through-Wall Radar Using Beam Scanning Array Antenna

開催日：2011年6月9日

会議名：2011 IEEE International Microwave Symposium (IMS2011)

開催地：Baltimore, USA

> 上記2件は準ミリ波ではないがインパルス・アレイ・アンテナの基本技術である<

③題 名：ヘアピン型 SIR を用いた 26GHz z 帯マイクロストリップ線路 BPF に関する
検討

開催日：2011年10月20日

会議名：電子情報通信学会 マイクロ波研究会

開催地：東京都、電気通信大学

④題 名：自動車用 UWB インパルスアレーレーダの実験的検討

開催日：2012年3月20日

会議名：電子情報通信学会 総合大会

開催地：岡山大学

⑤題 名：Design and fundamental properties of CMOS IC for 26GHz IR-UWB
automotive radar with beam steering capability

会議名：EuMC 2013 (European Microwave Conference)

開催日：October, 2013

開催地：Nurnberg, Germany

(上記は投稿済みの論文、採否は2013/4 発表予定)

⑥題 名：自動車用インパルスアレーレーダのマルチモード化の検討 (その1)

会議名：電子情報通信学会 2013 総合大会

開催日：2013年3月

開催地：岐阜市 (岐阜大学)

附録-2 用語解説

【UWB】

Ultra Wide Band（超広帯域無線）。通常の無線システムが数十 MHz 帯程度以下の周波数帯域を利用するのに対して、数百 MHz～数 GHz にわたる超広帯域な周波数帯の電波を利用するものであり、通信やセンシングに適用することが可能である。インパルスは広帯域なスペクトルをもつため UWB システムに利用される。当初軍用に開発されたが 2002 年米国 FCC の規制緩和を契機として通信やレーダなどへの民生応用が活発に展開されている。日本においてはマイクロ波帯と準ミリ波帯（26GHz 帯）での電波割り当てが始まっている。26GHz 帯のレーダシステムも近々認可される見込みである。

【IAA】

Impulse Array Antenna（アンテナ素子ごとにインパルス源を具備するアンテナアレイ）。アレイ状に配されたアンテナ素子にそれぞれインパルス源を設け、素子ごとのインパルス発生タイミングをトリガー信号で制御することで電波の発射方向（ビーム方向）を自由に変えることが可能となる方式である。制御回路は遅延回路とクロック回路で構成できるためアンテナ指向性制御が極めて単純に行えることに特徴がある。（当社の開発技術）

【準ミリ波】

マイクロ波帯は 3GHz～30GHz（自由空間波長で 10cm～1cm）、ミリ波帯は 30GHz～300GHz（自由空間波長で 10mm～1mm）であるが、マイクロ波帯の高い周波数領域 20GHz～30GHz はミリ波的な振る舞いをする事が多く、回路的にもミリ波の手法を用いる場合も多くあって、厳密にはマイクロ波であるが通常準ミリ波帯と呼ばれる。

【LTCC】

Low Temperature Co-fired Ceramics（低温同時焼成セラミックス）。従来のアルミナを主成分としたセラミック多層基板では 1500℃の「高温」で焼成する必要があった。これに対して LTCC は 900℃程度以下の「低温」で焼成することを可能としたセラミック多層技術である。これにより融点の低い Cu や Ag を使った回路パターンを基板内部に作り込んだものを、同時に焼成して一体化することが可能になる。高周波回路の場合は導体損失の大幅な低減が可能となるうえに、多層化による小型化にも有効である。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。