

平成30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

「世界初の低遅延・高信頼・高安全な産業用無線 LAN システムに関する  
研究開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

担当局 九州経済産業局  
補助事業者 公益財団法人 飯塚研究開発機構

## 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
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	3
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 ①産業用無線 LAN システムの研究開発	
（1）プロトタイピング	10
（1）-1 概要	10
（1）-2 目標	10
（1）-3 研究内容及び成果	10
（2）プロトタイプ接続実証実験	11
（2）-1 概要	11
（2）-2 目標	11
（2）-3 研究内容及び成果	11
（3）安全性、信頼性、同期性実証実験	12
（3）-1 概要	12
（3）-2 目標	12
（3）-3 研究内容及び成果	13
（3）-4 今後の課題	13
第3章 ②低消費電力化および高速化のための SoC 開発	
（4）マルチプロセッサ化設計	14
（4）-1 概要	14
（4）-2 目標	14
（4）-3 研究内容及び成果	14

(5) SoC アーキテクチャ設計	14
(5) - 1 概要	14
(5) - 2 目標	15
(5) - 3 研究内容及び成果	15
(6) システム検証	15
(6) - 1 概要	15
(6) - 2 目標	16
(6) - 3 研究内容及び成果	16
(6) - 4 今後の課題	16
第4章 ③アナログ RF モジュールの設計と試作	
(7) モジュール設計と試作	16
(7) - 1 概要	16
(7) - 2 目標	16
(7) - 3 研究内容及び成果	17
(8) 実証検証	17
(8) - 1 概要	17
(8) - 2 目標	18
(8) - 3 研究内容及び成果	18
(9) 量産化設計	18
(9) - 1 概要	18
(9) - 2 目標	19
(9) - 3 研究内容及び成果	19
(9) - 4 今後の課題	19

## 第5章 全体総括

5-1	主な成果	.....20
5-2	研究開発後の課題・事業化展開	.....20

# 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研究開発の背景

従来の工業用 Ethernet は、端末が高価格であるばかりでなく、断線リスク、高メンテナンスコスト、配置変更の困難性の問題がある。具体的には、アームロボットなど関節数分のアクチュエータを搭載した可動部分が多い製品は、100 本以上の制御線・電源線を毎月一回の割合で交換する必要があり、高メンテナンスコストとなっている。また、制御盤（Programmable Logic Controller :PLC）から有線でロボット制御しているため、ロボットの配置を容易には変更できない問題もある（図1）。さらに、後述するが、有線の工業用 Ethernet の規格は大手ロボットメーカ毎に乱立しており、このため各社が提供するネットワーク機器が一端末当たり 40~100 万円程度と高価格になっている。

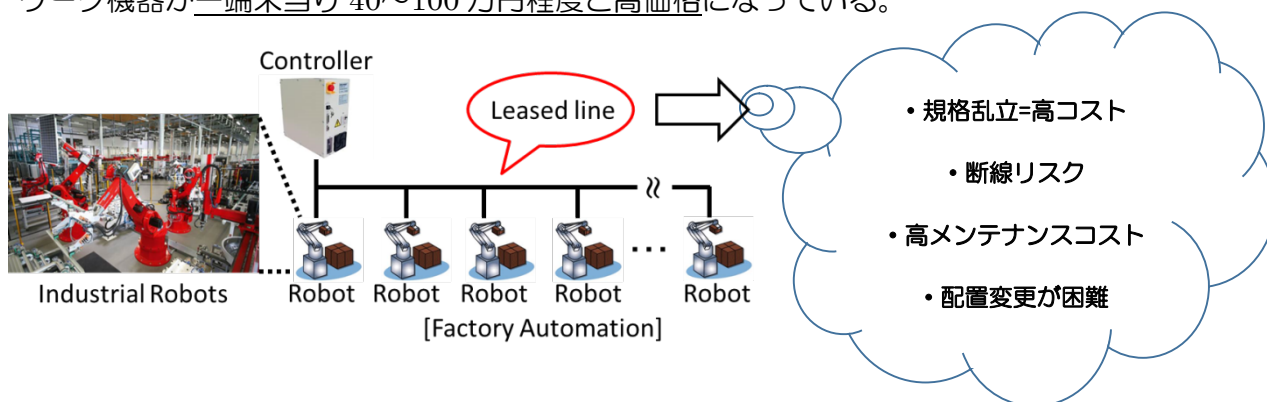


図1 従来の有線工業イーサネット

従って、ロボット単体のコストを下げて、ネットワークを含んだシステムとして高額になる問題があり、特に独自ネットワーク機器を持たない中小のロボットメーカ（例えば静岡県の株式会社アイエイアイ）から問題提起されている。これらの従来の問題を解決するには、ネットワークを無線化する必要がある（図2）。無線化により通信ケーブルが不要になることでメンテナンスコストがほぼゼロになり、またロボットの可搬性が高まる。

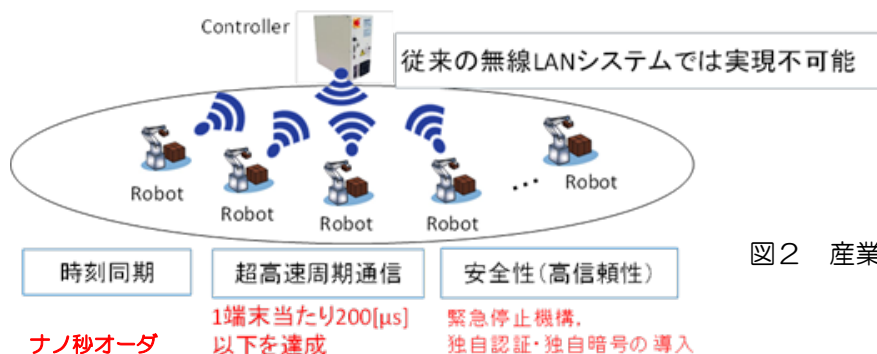


図2 産業用無線 LAN と周期通信

しかし、従来の産業用無線ネットワーク（一例としてシーメンス社の iPCF 方式）は安全性、応答性（リアルタイム性）、同期性などの点で十分な性能を満たしていない。具体的には、iPCF 方式では、一端末当たりの通信遅延が数ミリ秒を越え、100–200 $\mu$  秒程度が要求される工業用 Ethernet の代替システムとはなり得ない。例えば、プリント基板の部品装填用 2 軸ロボットなどでは、従来の無線方式では端末間の通信遅延が数ミリ秒を越え、遅延が進むと最終的にロボット同士が衝突してしまう危険性が生じる。従って、100–200 $\mu$  秒程度の遅延しか許されない。こうした高速な通信遅延を実現するためには、各端末の CPU のクロック周波数もナノ秒オーダの時刻同期精度が必要となる。以上のように、産業システム向けに特化した新しい無線ネットワークの開発が中小企業を中心とした産業ロボットの川上および川下企業から強く要望されている。

これらの要望に応えるべく、九州工業大学電子情報工学研究系では、平成 25 年度から 27 年度まで科学技術推進機構の A-STEP 予算を獲得し、上記の産業システム向け無線 LAN の理論的検討から通信プロトコル等の方式設計を行った。このプロジェクトを進めるに当たり、産業界からの要望や仕様を反映し、かつ開発成果の検討をしてもらうため、企業コンソーシアムを組織している。[http://dsp.cse.kyutech.ac.jp/ASTEP\\_FA/html/home.html](http://dsp.cse.kyutech.ac.jp/ASTEP_FA/html/home.html) コンソーシアムに参加して企業名を公開できる企業は以下の通りである。川上企業として 2 軸ロボットの世界的シェアが高い静岡の(株)IAI や産業ロボットで有名な(株)安川電機などがコンソーシアムに入ってもらっている。また、実際に産業ロボットを使用する川下企業としては、(株)村田機械、(株)日立産業制御などがコンソーシアムに入って技術検討を行っている。

## ②研究目的

従来の自動車工場等でのアームロボットやプリント基板の部品装填用 2 軸ロボットなどの産業ロボットや搬送ロボットや自動倉庫などの産業システムのネットワークは、有線工業 Ethernet が使用されてきたが、高価格であるばかりでなく、通信ケーブルの経年劣化による断線リスク、高メンテナンスコスト、配置変更の困難性が問題となっていた。このような背景から、川上のロボットメーカーや川下企業から産業システムの無線制御が強く要望されている。そこで、本開発では、高速な連携動作が必要な 2 軸ロボットで要求される SIL2 から 3 を達成する高い安全性、1 端末当り 200 $\mu$  秒以下の低遅延性、1 n 秒以下の時刻同期性を有し、かつ既存の無線 LAN と共用可能な革新的な産業システム用無線システムを開発し、無線通信モジュールの提供を目標とする。

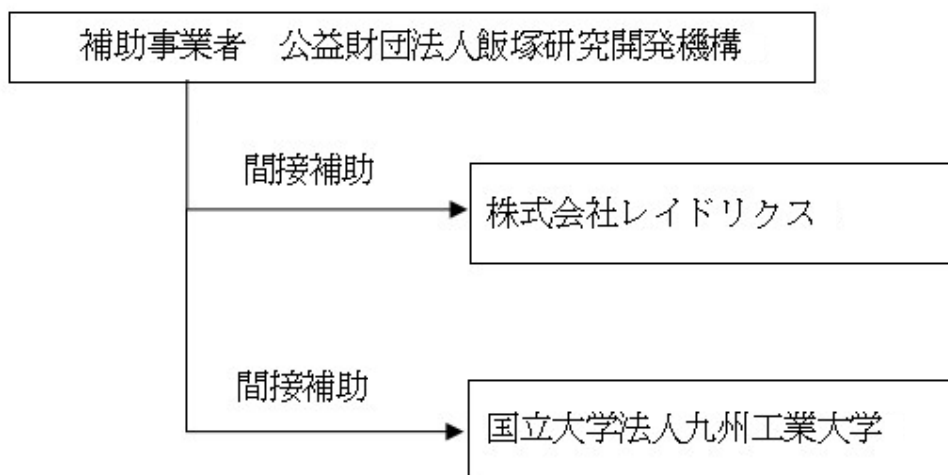
### ③目標

研究項目	目標
①産業用無線 LAN システムの研究開発	
(1) プロトタイピング	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周期通信速度：1 端末当り 500 マイクロ秒以下</li> <li>• 時刻同期：1 マイクロ秒以下</li> <li>• アクセスポイント 1 台、端末 1 台で実験</li> </ul>
(2) プロトタイプ接続実証実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周期通信速度：1 端末当り 200 マイクロ秒以下</li> <li>• 時刻同期：50 ナノ秒以下</li> <li>• 端末数最大 5 台（アクセスポイント含む）</li> </ul>
(3) 安全性、信頼性、同期性実証実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周期通信速度：1 端末当り 200 マイクロ秒以下</li> <li>• 時刻同期：1 ナノ秒以下（ポジショニングの為）</li> <li>• 端末数最大 10 台（アクセスポイント含む）</li> </ul>
②低消費電力化および高速化のための SoC 開発	
(4) マルチプロセッサ化設計	• クロック周波数：600MHz 以下
(5) SoC アーキテクチャ設計	• クロック周波数：500MHz 以下
(6) システム検証	• クロック周波数：400MHz 以下
③アナログ RF モジュールの設計と試作	
(7) モジュール設計と試作	• 帯域幅：80MHz（設計）
(8) 実証検証	• 帯域幅：40MHz
(9) 量産化設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 帯域幅：40MHz</li> <li>• 周波数：5GHz 帯</li> </ul>

### 1-2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

#### 1) 研究体制



#### 2) 管理員及び研究員

【補助事業者】公益財団法人 飯塚研究開発機構

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山本 博美	研究開発部・部長	④
田代 周一	研究開発部事業課・課長	④
福本 尚徳	研究開発部事業課・専門研究員	④
谷川 義博	研究開発部事業課・専門研究員	④
川原 利三	研究開発部事業課・事業主任	④
仲 孝幸	テクニカルコーディネータ	④
尾畑 和隆	テクニカルコーディネータ	④
菅原美世子	研究開発部事業課・事業担当	④
村田 陽子	研究開発部事業課・事業担当	④
高司 温子	研究開発部事業課・事業担当	④

【間接補助事業者】

研究員

株式会社レイドリクス

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
尾知 博	代表取締役	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
長尾 勇平	取締役・主任研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
上井 竜己	主任研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
アストリ マリア	研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
坂元 恭士郎	研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
釣田 真琴	研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)
鈴木 智也	研究員	①(1)～(3)、②(4)～(6)、③(7)～(9)

国立大学法人九州工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
黒崎 正行	情報工学研究院 電子情報工学研究系 准教授	①(1)～(3)、②(4)～(6)
尾知 博	情報工学研究院 電子情報工学研究系 教授	①(1)～(3)、②(4)～(6)
ラッテ リカルド	情報工学研究院 電子情報工学研究系 助教	①(1)～(3)、②(4)～(6)
トラッティ・オ・ ゲイ	情報工学研究院 電子情報工学研究系 研究職員	①(1)～(3)、②(4)～(6)
ト部 秀美	情報工学研究院 電子情報工学研究系 技術補佐員	①(1)～(3)、②(4)～(6)

1-3 成果概要

①産業用無線 LAN システムの研究開発

(1) プロトタイピング



本項目は平成 28 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのプロトタイプ実装として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。

(H28 年度目標値)

- 周期通信速度：1 端末当り 500 マイクロ秒以下
- 時刻同期：1 マイクロ秒以下
- アクセスポイント 1 台，端末 1 台で実験

(H28 年度の結果)

- 周期通信速度：1 端末当り 500 マイクロ秒以下
- 時刻同期：1 マイクロ秒以下
- アクセスポイント 1 台，端末 1 台で実験

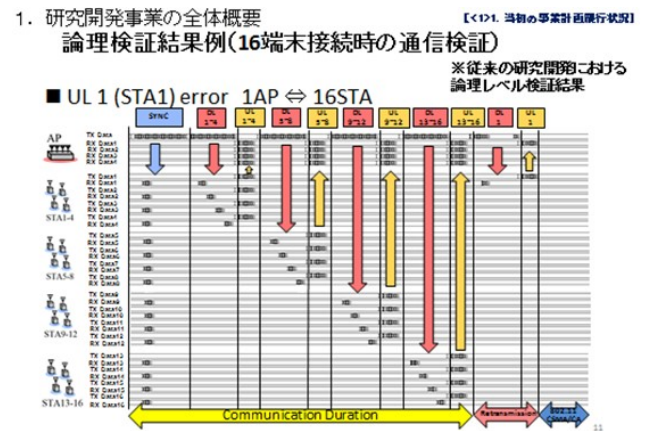


図3 成果の図（一部抜粋）

## (2) プロトタイプ接続実証実験

本項目は平成 29 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのプロトタイプ接続実証実験として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。

(H29 年度目標値)

- 周期通信速度：1 端末当り 200 マイクロ秒以下
- 時刻同期：50 ナノ秒以下
- 端末数最大 5 台（アクセスポイント含む）

(H29 年度の結果)

- 周期通信速度：1 端末当り 200 マイクロ秒以下
- 時刻同期：50 ナノ秒以下
- 端末数最大 5 台（アクセスポイント含む）



図4 成果の図（一部抜粋）

## (3) 安全性、信頼性、同期性実証実験

本項目は平成 30 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのプロトタイプ接続実証実験として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。本目標は、①産業用無線 LAN システムの研究開発としての最終目標でもある。

(H30 年度目標値)

- 周期通信速度：1 端末当り 200 マイクロ秒以下
- 時刻同期：1 ナノ秒以下（ポジショニングの為）

- 端末数最大 10 台（アクセスポイント含む）
- (H30 年度の結果)
- 周期通信速度：1 端末当たり 200 マイクロ秒以下
  - 時刻同期：1 ナノ秒以下（ポジショニングの為）
  - 端末数最大 10 台（アクセスポイント含む）

①産業用無線 LAN システムの研究開発としては、以下に示すプロトタイプボードおよび製品化に向けた小型化ボードを最終的に開発しており、そのボードを用いた 10 台のモーターの周期的かつ同期制御が所望の性能にて実現されることを確認した。

但し、工場内での実証実験は十分とは言えず、今後も製品化に向けた実験およびシステムアップデートを行っていく。



図5 小型化ボード



図6 10モーター制御

## ②低消費電力化および高速化のための SoC 開発

### (4) マルチプロセッサ化設計

本項目は平成 28 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのマルチプロセッサ化設計として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。

(H28 年度目標値)

- クロック周波数：600MHz 以下

(H28 年度の結果)

- クロック周波数：600MHz 以下

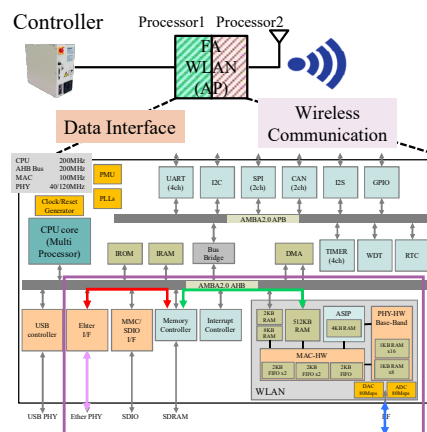


図7 成果の図（一部抜粋）

### (5) SoC アーキテクチャ設計

本項目は平成 29 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムの SoC アーキテクチャ設計として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。

(H29 年度目標値)

- ・クロック周波数：500MHz 以下

(H29 年度の結果)

- ・クロック周波数：500MHz 以下

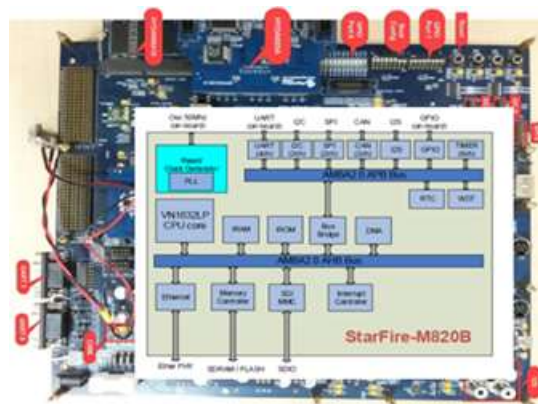


図8 成果の図（一部抜粋）

### (6) システム検証

本項目は平成 30 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムの SoC システム検証として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。本目標は、②低消費電力化および高速化のための SoC 開発としての最終目標でもある。

(H30 年度目標値)

- ・クロック周波数：400MHz 以下

(H30 年度の結果)

- ・クロック周波数：400MHz 以下

②低消費電力化および高速化のための SoC 開発としては、以下に示す LSI 化に向けた設計を最終的に完成しており、その検証は上記で説明した小型化ボード上で検証した。

Target Device : ZYNQ-7 ZC706

Resource Block	Resource Utilization	(%)
LUTs	37,220	17 %
Registers	19,965	4.5 %
BRAM	529	97 %
DSPs	4	< 1 %



#### Clock Performance :

- AHB (CPU) : 100 MHz
- MAC : 25 MHz
- PHY CLK : 80 MHz
- MAC PHY Interface : 20 MHz

#### ■ 小型化に向けたFPGA上での実証検証

- 全てのクロック400MHz以下を確認
- FPGA 上でも動作を確認

図9 SoC 設計の成果

一方で、上記①産業用無線 LAN システムの研究開発で説明したように、今後も製品化に向けた実験を行っていくため、それに伴う SoC 設計のシステムアップデートが必要である。

### ③アナログ RF モジュールの設計と試作

#### (7) モジュール設計と試作

本項目は平成 28 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのアナログ RF モジュールの設計と試作として、以下の結果を達成した。帯域幅 80MHz のアナログ RF モジュールは入手困難であったため、40MHz デバイスにタスクシフトして、設計・試作を行った。但し、平成 29 年度に向けては、引き続き帯域幅 80MHz の調査を行っており、最終的には帯域幅 80MHz の目標も達成している（後述）。

(H28 年度目標値)

- 帯域幅：80MHz（設計）

(H28 年度の結果)

- 帯域幅：40MHz（設計）

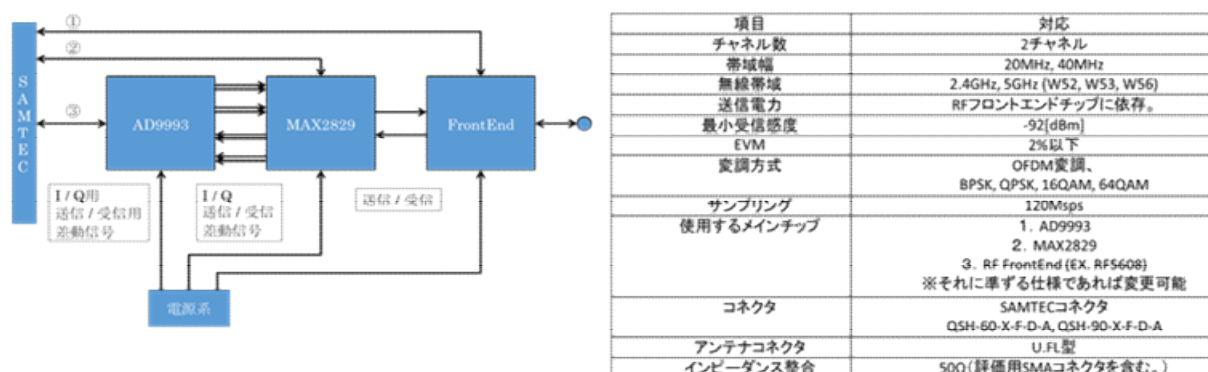


図10 成果の図（一部抜粋）

#### (8) 実証検証

本項目は平成 29 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのアナログ RF モジュールの実証検証として、以下の結果を達成した。実証試験では、80MHz 帯域幅から 40MHz 帯域幅に減少することによる実環境でのマルチパスやノイズの影響を確認し、40MHz 帯域幅の RF モジュールの実証・評価を実施した。一方で、引き続き帯域幅 80MHz の調査を行っており、最終的には帯域幅 80MHz の目標も達成している（後述）。

(H28 年度目標値)

- 帯域幅：40MHz

(H28 年度の結果)

- 帯域幅：40MHz

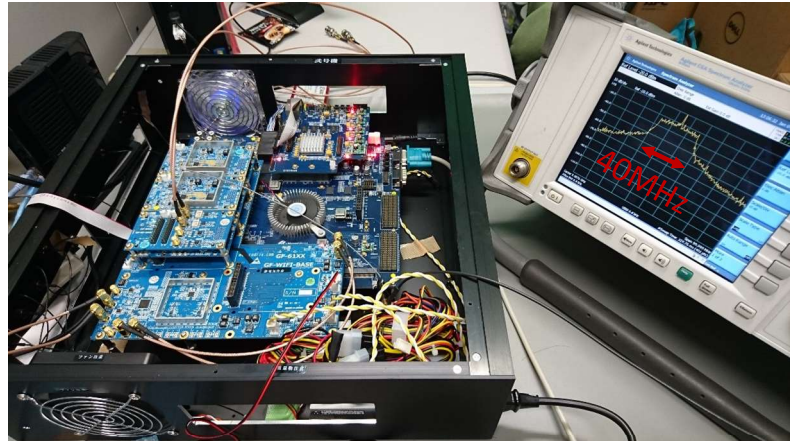


図1 1 成果の図（一部抜粋）

### (9) 量産化設計

本項目は平成 30 年度における研究開発であり、産業用無線 LAN システムのアナログ RF モジュールの量産化設計として、以下の目標値に対して所望の結果を達成した。本目標は、③アナログ RF モジュールの設計と試作としての最終目標でもある。

(H30 年度目標値)

- 帯域幅：40MHz

(H30 年度の結果)

- 帯域幅：80MHz

③アナログ RF モジュールの設計と試作としては、以下に示すプロトタイプボードおよび製品化に向けた小型化ボード（それらに RF モジュールを接続）を最終的に開発しており、平成 29 年度までは達成されなかった 80MHz 帯域幅の目標も達成している。



図1 2 80MHz 帯域幅に対応した小型化ボード

一方で、上記①産業用無線 LAN システムの研究開発で説明したように、今後も製品化に向けた実験を行っていくため、それに伴うアップデートが必要である可能性はある。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人飯塚研究開発機構研究開発部 福本 尚徳

TEL：0948-21-1156 FAX：0948-21-2150

E-mail：fukumoto-t@cird.or.jp

## 第2章 ①産業用無線 LAN システムの研究開発

### (1) プロトタイピング (担当：(株)レイドリクス、九州工業大学)

#### (1)-1 概要

平成 28 年度では、1 端末当たり 200 マイクロ秒以下の高速周期通信を実現する無線システムのプロトタイピング実装検証、及びナノ秒オーダーの高精度時刻同期の実装検証を行った。

#### (1)-2 目標

- ・周期通信速度：1 端末当たり 500 マイクロ秒以下
- ・時刻同期：1 マイクロ秒以下
- ・アクセスポイント 1 台、端末 1 台で実験

#### (1)-3 研究内容及び成果

##### (1)-3-1 レイドリクス

本プロトタイプの研究開発に関しては、(株)レイドリクスが既存設備の無線プロトタイピングボードで無線システムのプロトタイピング実装を行った。無線 LAN の物理層および MAC 層は IEEE802.11ac for FA IP(Intellectual Property:知的財産、具体的には回路設計図およびソフトウェアプログラムを指す)をまず本助成金で導入し、ついで九州工業大学の研究資産を技術移転することにより、(株)レイドリクスが産業システム用に改良した。システムの検証・評価は、(株)レイドリクスが設備備品費で導入する FPGA 設計装置及び FPGA 設計ソフトウェアや既存設備の PC やサーバを用いて行った。担当は、(株)レイドリクスの担当研究者 2 名である。

##### (1)-3-2 九州工業大学

一方で、平成 28 年度は九州工業大学が機械装置費で購入した無線プロトタイピングボー

ド（M820 ボード、②(4)でも使用）を使用して、高精度時刻同期回路および高精度位置推定システムの検証および検証結果に基づく改良を中心的に実施した。担当は、九州工大（教官および研究補助員 4 名）でシステム設計を行った。また、平成 29 年度に向けて、以下で述べるマルチプロセッサ技術および 40MHz 帯域アナログ RF 回路を融合することで、最終目標の達成を目指した。（平成 29 年度に引き続く。）

## （2）プロトタイプ接続実証実験（担当：㈱レイドリクス、九州工業大学）

### （2）-1 概要

平成 29 年度では、前年度で開発したマルチプロセッサ技術および 40MHz（80MHz）帯域アナログ RF 回路を融合した産業用無線 LAN システムとして、無線プロトタイプピングボードを用いて、PLC と端末間を接続し端末数最大 5 台（アクセスポイント含む）で実証実験を実施した。実証は、図に示すような複数台の接続シミュレーション結果（H28 年度実施）に基づいた実機検証を実施した。（H29 年度より実施）。

### （2）-2 目標

- 周期通信速度：1 端末当たり 200 マイクロ秒以下
- 時刻同期：50 ナノ秒以下
- 端末数最大 5 台（アクセスポイント含む）

### （2）-3 研究内容及び成果

#### （2）-3-1 レイドリクスおよび九州工業大学

平成 29 年度では、40MHz 帯域幅アナログ RF 回路およびマルチプロセッサ技術によって 1 端末当たり 200 マイクロ秒以下の高速周期通信、50 ナノ秒以下の高精度時刻同期を実現した。平成 28 年度に導入する FPGA 設計装置及び FPGA 設計ソフトウェアや既存設備である PC やサーバを用いて㈱レイドリクス研究員 2 名と補助員 1 名および九州工業大学（教官および研究員／研究補助員や院生 2 名）で実施した。

H29 年度の目標値に対して、下図に示すように、コントローラ用アクセスポイント（AP）1 台、ロボット用モータ（STA）4 台の合計 5 台のプロトタイプ実装を評価した。評価の結果、実装環境においてリアルタイム動作が可能であることを確認した。また、1 端末当たり 200 マイクロ秒以下での周期通信速度（図参照）、50 ナノ秒以下での時刻同期（図参

照) ができていることを確認した。

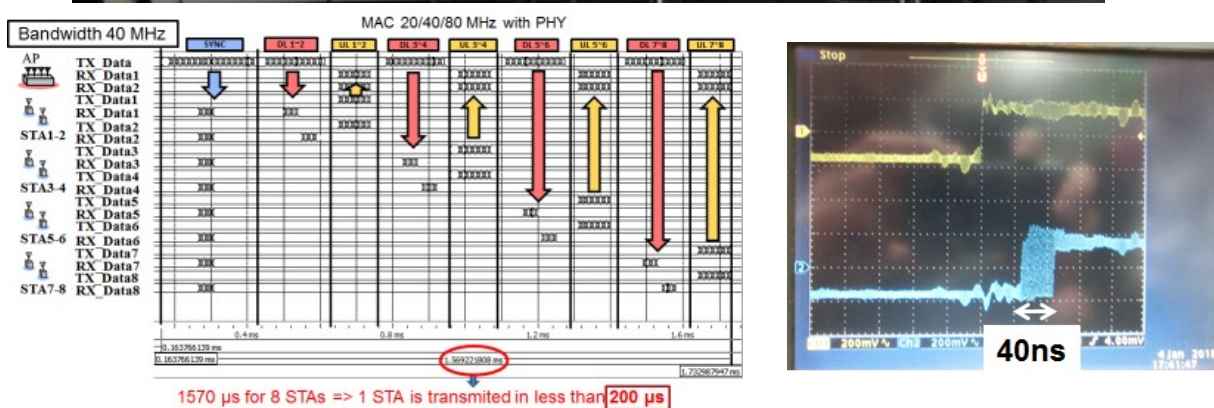


図13 成果の図 (一部抜粋)

(3) 安全性、信頼性、同期性実証実験 (担当：(株)レイドリクス、九州工業大学)

(3) - 1 概要

(3) - 1 - 1 総合実証実験

(株)レイドリクスと九州工業大学が、10 台の端末 (アクセスポイント含む)、コントロール用ノート PC、無線モジュール+制御基板を用いて、実証実験システム (プラットフォーム) を拡張し、産業用無線 LAN システムの総合実証実験を行った。

(3) - 1 - 2 データ解析と設計改良

九州工業大学が、- 1 の実証実験の結果を解析し、必要があれば(株)レイドリクスが設計の改良を行い、再度実証実験を行い、量産化ができる回路を確立する。加えて、量産化モジュールでは数十台の大規模実証実験を想定してその回路設計を行うと共に、大規模実証実験の準備を行った。

(3) - 2 目標



- ・周期通信速度：1 端末当たり 200 マイクロ秒以下
- ・時刻同期：1 ナノ秒以下（ポジショニングの為）
- ・端末数最大 10 台（アクセスポイント含む）

### （3）－3 研究内容及び成果

#### （3）－3－1 レイドリクスおよび九州工業大学

プラットフォームの構築は、(株)レイドリクスが(株)レイドリクス研究員 2 名と補助員 1 名で実施し、無線ネットワークの総合実証実験を行った。九州工業大学では、研究員 1 名と補助員 3 名とともに無線ネットワークの総合実証実験を行った。

具体的には、総合実証実験は、(株)レイドリクスが機能検証を行い、検証結果を踏まえた設計変更の検討を九州工業大学が行った。またプラットフォーム変更やプロトタイプボードの改修が必要な場合は(株)レイドリクスが担当した。

最終的に、この実証実験によって、開発する産業用無線 LAN システムが、最終目標である 40MHz 帯域で 1 端末当たり 200 マイクロ秒（80MHz 帯域で 1 端末当たり 100 マイクロ秒）の高速通信、1n 秒以下の高度な時刻同期、高い安全性、信頼性を有することを実証した。また、ロボットが設置された実際の工場の無線環境で実証実験を行い、実環境でのマルチパスやノイズの影響を考慮した検証・評価を行った。

あわせて、他社の製品との差別化を明示する為に、他社の製品についても引き続き調査した。

### （3）－4 今後の課題

#### （3）－4－1 レイドリクス

工場内での実証実験は十分とは言えず、今後も製品化に向けた実験およびシステムアップデートを行っていく必要がある。また、製品化に向けてはその製品化するシステムに対して同様の評価する必要がある。

#### （3）－4－2 九州工業大学

上記の結果次第では、実証実験やシステムアップデートの一部を九州工業大学に委託する可能性があるが、基本的には製品化に向けた(株)レイドリクスにおける課題である。

### 第3章 ②低消費電力化および高速化のための SoC 開発

#### (4) マルチプロセッサ化設計 (担当：㈱レイドリクス、九州工業大学)

##### (4) - 1 概要

本助成金では予算的に LSI 試作は行わないが、本開発が成功すれば将来的にはシステムのコストダウン・低消費電力化および高速処理化のため LSI 化を行いチップの量産を行う必要がある。そのため、①で開発する無線システムのシステムオンチップ (SoC) 化設計も以下のように平行して進めた。

##### (4) - 2 目標

- ・クロック周波数：600MHz 以下

##### (4) - 3 研究内容及び成果

###### (4) - 3 - 1 レイドリクスおよび九州工業大学

無線システムの低消費電力化を図るには、クロック周波数の低減が必須となる。そのために、九州工業大学が本システムで使用する ARM プロセッサのマルチプロセッサ化設計を実施した。実装試験については、九州工業大学が機械装置費で購入した無線プロトタイピングボード (M820 ボード、①(1)でも使用) を用いて行った。これによって、数値目標を満たす小型 LSI 化が可能となり、将来的な LSI 試作費用を削減できることが可能となった。

加えて、㈱レイドリクスが、ARM パリフェラル IP (IP：モジュールを作るための設計図) を外注費で購入し、既存設備である PC を用いて㈱レイドリクスの研究員と九州工業大学 (教官および研究補助員 4 名) とでマルチプロセッサによる SoC 設計を行い、その実装検証を行った。具体的には、SoC 設計において、九州工業大学がマルチプロセッサ設計部を担当し、㈱レイドリクスが周辺 IP を担当した。マルチプロセッサ実装試験については、九州工業大学が無線プロトタイピングボード (M820 ボード、①(1)でも使用) への実装を行い、パリフェラル部については㈱レイドリクスが機能検証を行った。

#### (5) SoC アーキテクチャ設計 (担当：㈱レイドリクス、九州工業大学)

##### (5) - 1 概要

前年度②(4)の研究開発の成果であるマルチプロセッサを用いて、平成 29 年度ではクロック周波数 500MHz 以下の無線システムのシステムオンチップ (SoC) のアーキテクチャ設

計を進めた。

## (5) - 2 目標

- クロック周波数：500MHz 以下

## (5) - 3 研究内容及び成果

### (5) - 3 - 1 レイドリクスおよび九州工業大学

㈱レイドリクスが導入した PLL、AD 変換器、DA 変換器、USB、Ethernet 等の ARM へリフェラル IP、既存設備である PC を用いてレイドリクスの研究員および九州工大黒崎准教授と研究員、研究補助員や院生 2 名で SoC アーキテクチャ設計を行い、FPGA ボードを用いてその実装検証を行った。具体的には、㈱レイドリクスがペリフェラル IP 群を担当し、九州工業大学がマルチプロセッサ部を担当した。実装試験については、九州工業大学が FPGA ボードへの実装を行い、㈱レイドリクスが機能検証を行った。

H29 年度の目標値に対して、図 14 に示すように、ペリフェラルの実装を行った。プロセッサについては、H28 年度に実装環境において 400MHz のクロック周波数で動作済みである。加えて、ペリフェラルの評価の結果、実装環境においてペリフェラルの動作ができていることを確認した。

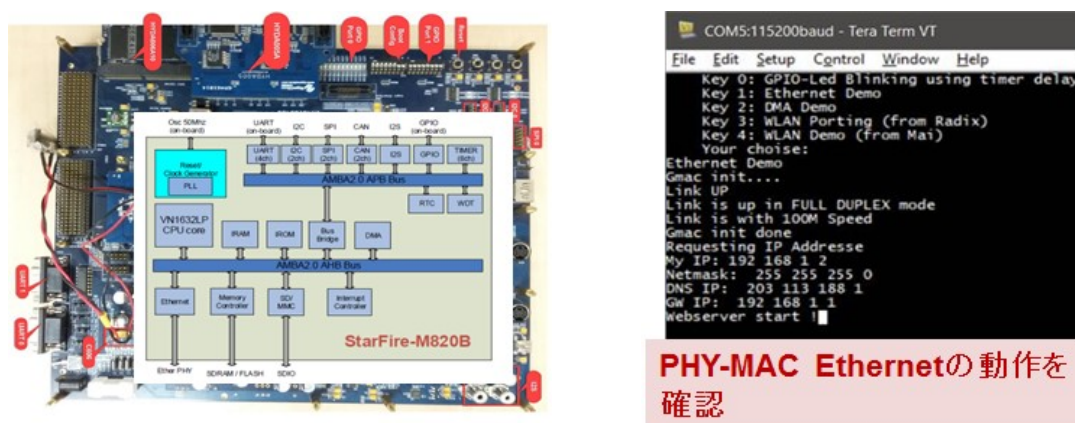


図 14 FPGA の実装環境と実装結果

## (6) システム検証 (担当：㈱レイドリクス、九州工業大学)

### (6) - 1 概要

前年度②(5)の研究開発の成果である SoC アーキテクチャ設計を用いて、平成 30 年度では

クロック周波数 400MHz 以下の無線システムのシステムオンチップ (SoC) のアーキテクチャ設計およびそのシステム検証を行った。

#### (6) - 2 目標

- クロック周波数：400MHz 以下

#### (6) - 3 研究内容及び成果

##### (6) - 3 - 1 レイドリクスおよび九州工業大学

(株)レイドリクスが、前年度②の(5) SoC アーキテクチャ設計結果を受けて、論理設計ツールを用いて論理検証を実施し、(株)レイドリクスが、SoC アーキテクチャ設計を完成させた。(株)レイドリクスの技術者と九州工大黒崎准教授と研究補助者(院生) 3 名で検証を実施した。具体的には、(株)レイドリクスがペリフェラル部分を担当し、九州工業大学がプロセッサ部を担当し、クロック周波数 400MHz を達成した。

#### (6) - 4 今後の課題

##### (6) - 4 - 1 レイドリクス

将来的に別予算を確保できた際にすぐに LSI 試作に移れるように LSI 試作のための体制を整え、別予算が確保できた際には試作を実施できるよう、LSI 試作予算についてはコンソーシアム企業との連携を確認した。

### 第4章 ③アナログ RF モジュールの設計と試作

#### (7) モジュール設計と試作 (担当：(株)レイドリクス)

##### (7) - 1 概要

40MHz 帯域幅を持つアナログ RF デバイスを調達し、回路モジュールを外注により試作した。

##### (7) - 2 目標

- 帯域幅：80MHz (設計)

### (7) - 3 研究内容及び成果

平成 28 年度は、LSI Design (LSI 回路モジュール設計) および試作を実施した。設計検証は、外注先の検証ツールで特性評価を行った。担当は、外注先技術者と(株)レイドリクス研究員 2 名で実施した。

H28 年度において、帯域幅 80MHz のアナログ RF モジュールは、調査で入手困難であったため、40MHz デバイスにタスクシフトして、設計・試作を行った。本モジュールは、帯域幅 40MHz においてもアクセスポイントの連携を可能としており、アクセスポイントを複数用意することで 80MHz 帯域幅と同等の収容数が可能である。一方で、帯域幅 80MHz に対応できる設計にしており、帯域幅 80MHz の入手ができた場合には、すぐに切り替えることが可能である。

平成 29 年度に向けて、40MHz 帯域アナログ RF 回路による開発を進めるとともに、引き続き帯域幅 80MHz の調査を行い、入手が出来た場合には、40MHz 帯域から 80MHz 帯域へ切り替えることで最終目標の達成を目指す。(平成 29 年度に引き続く。)

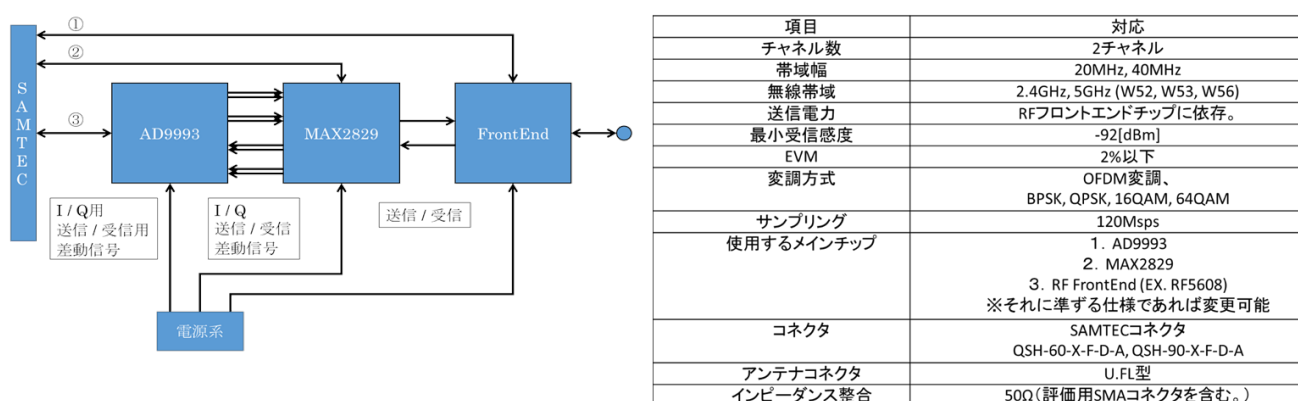


図 15 RF モジュールの構成図と仕様

### (8) 実証検証 (担当: (株)レイドリクス)

#### (8) - 1 概要

平成 29 年度では、前年度の回路設計の結果を利用して、実際に 40MHz 帯域幅の RF モジュールの実証・評価を実施した。

## (8) - 2 目標

- ・帯域幅：40MHz

## (8) - 3 研究内容及び成果

H28 年度に、80MHz 帯域 RF モジュールの調査・検討した結果、デバイスの入手が困難と判断したため、40MHz デバイスにタスクシフトして、設計・試作を行った。本モジュールは、帯域幅 80MHz に対応できる設計にしており、引き続き帯域幅 80MHz の調査を行い入手ができた場合にはすぐに切り替える。平成 29 年度では、前年度の回路設計の結果を利用して、実際に 40MHz 帯域幅の RF モジュールの実証・評価を実施した。具体的には、各システム間のインターフェースの合わせこみなどシステムの構築が主なタスクであった。検証および測定のために、既存設備であるベクトルシグナルトランシーバを用いた。実証試験では、80MHz 帯域幅から 40MHz 帯域幅に減少することによる実環境でのマルチパスやノイズの影響を確認した。担当は、(株)レイドリクス研究員 1 名と外注にて実施した。

H29 年度の目標値に対して、図 16 に示すように、RF に関する仕様と RF モジュールの実証・評価を実施した。

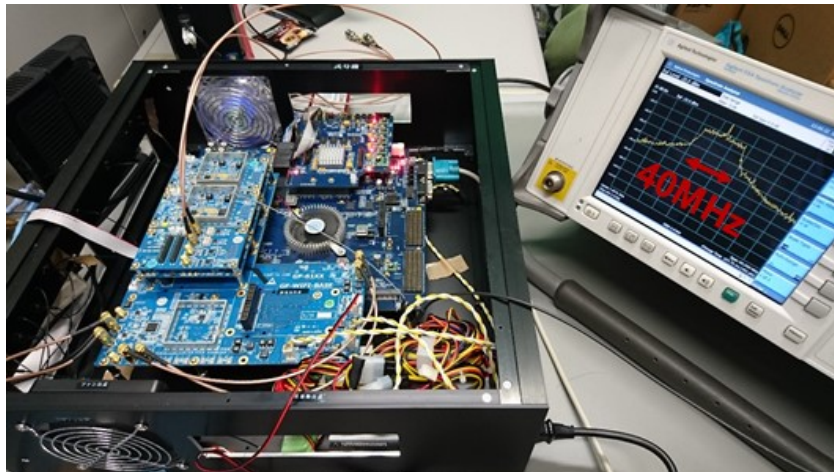


図 16 アナログ RF モジュールの実証検証

## (9) 量産化設計 (担当：(株)レイドリクス)

### (9) - 1 概要

H28 年度および H29 年度では、80MHz 帯域 RF モジュールの調査・検討した結果、デバ

イスの入手が困難であったため、40MHz デバイスにタスクシフトして、設計・試作、その評価を行った。一方で、H30 年度では 80MHz 帯域 RF デバイスを入手し、小型化ボードの開発ではその 80MHz 帯域 RF モジュールを組み込んだ。

#### (9) - 2 目標

- 帯域幅：40MHz
- 周波数：5GHz 帯

#### (9) - 3 研究内容及び成果

平成 29 年の実証検証・評価の結果をもとに、コンソーシアム企業等の有識者と連携しながら、さらなる性能改善と小型低消費電力化を検討し、H28 年度および H29 年度の 40MHz 帯域の RF の設計および機能検証を実施すると共に、本システムは予め帯域幅 80MHz に対応できる設計にしておき、帯域幅 80MHz のデバイスが入手できた場合にはすぐに切り替えるようにしていた。H30 年度では 80MHz 帯域 RF デバイスが入手でき、小型化ボードの開発ではその 80MHz 帯域 RF モジュールを組み込んだ。担当は、㈱レイドリクス研究員 1 名と外注で実施した。



図 1 7 80MHz 帯域幅に対応した小型化ボード

#### (9) - 4 今後の課題

①産業用無線 LAN システムの研究開発で説明したように、工場内での実証実験は十分とは言えず、今後も製品化に向けた実験およびシステムアップデートを行っていく必要がある。また、製品化に向けてはその製品化するシステムに対して同様の評価する必要がある。

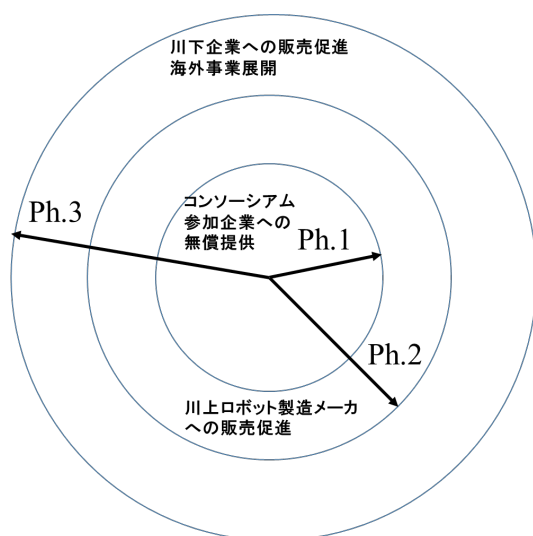
## 第5章 全体総括

### 5-1 主な成果

当初の目標値は全て達成すると共に、検討までの予定であった小型化ボードの開発までに至っている。LSI 試作予算についてはコンソーシアム企業との連携を確認し、将来的に別予算を確保できた際にすぐに LSI 試作に移れるように LSI 試作のための体制を整えた。

### 5-2 研究開発後の課題・事業化展開

一方で、工場内での実証実験は十分とは言えず、今後も製品化に向けた実験およびシステムアップデートを行っていく必要がある。また、更なる小型化、低コスト化も重要な要素であり、製品化のフェーズ毎に対応していく予定である。とは言え、本事業において小型化ボードまでを開発できており、本ボードを基にまずはコンソーシアム企業にサンプルボードとしてリリースしていく予定である。それらの結果のフィードバックも踏まえて、本事業における最終的な製品として産業用無線 LAN システム（APおよびSTA）を展開する。



第1段階Ph.1 (H31、H32)： 第一段階はサンプルの提供による事業展開を実施する。まずアドバイザーの在籍する川上企業の(株)アイエイアイとコンソーシアムに参加している川下企業としての(株)村田機械は、本無線モジュールの導入を早期に希望しているので、この2社への導入を最初に行う。本システムは有線モジュールに無線モジュールを組み込むことが出来ることが利点であり、具体的には、(株)アイエイアイはアクチュエータ、(株)村田機械は半導体ロボットとの連携に適用する。本システムは、有線モジュールに無線モジュールを組み込むことが出来ることが利点である。併せてフェアへの出展を国内外で積極的に行う。



ロボット製造メーカーである川上企業からロボットを利用する川下企業までは幅広い顧客が想定される。具体的には、川上企業は国内のアームロボットは、安川電機、ファナック、川崎重工、2軸ロボットはアイエイアイ、東芝機械、ヤマハ発動機など、搬送ロボットは村田機械やダイヘンなど。海外はスイスAIBや中国各社。川下企業は、アームロボットを利用する多くの自動車製造企業や2軸ロボットを利用するプリント基板部品配置などのセットメーカー、搬送ロボットを使用する倉庫管理や半導体製造企業など。

第2段階Ph.2 (H33、H34)： 第二段階は、サンプルシステムの改良により本格的に量産を開始する。コンソーシアムに参加している安川電機や日立産業制御など他の川上企業を中心に、アームロボットメーカーをメインターゲットとして事業展開を行う。引き続きフェア出展を継続しつつ、川下企業への事業説明会も積極的に展開する。量産を国内外のセットメーカーに委託し、低コスト化を実現し1台当り40万円を設定。シェア1%、1000台以上を目標。

第3段階Ph.3 (H35、H36)： 第三段階は、FPGAデバイスの低価格化を見込み、更なる低価格化を図り、事業拡大を狙う。コンソーシアムに参加していない川下企業を中心に、アームロボット・2軸ロボット、搬送ロボット、自動倉庫メーカーを問わず広く事業展開を行う。引き続きフェア出展を継続しつつ、川下企業への事業説明会も積極的に展開する。1台当り20万円を設定。年間2000台以上、シェア5%以上（以降毎年5%以上拡大）を目標とする。