

# 照明光による無線LANシステムの開発

可視光通信コンソーシアム 広橋 一俊 、 林 新

2010年 3月10日

# 目次

可視光通信の特徴

可視光LANの開発課題と対応

10Mbps可視光LANの開発例

100Mbps可視光LANの開発例

標準化について

まとめ

# 可視光通信の特徴(1)

## 照明器具を通信機器として利用

多くの照明光源等がLED化されると予測されており、LEDに流れる電流を制御することにより光強度を変調して、ちらつくことなく、データを送信することが可能。照明器具を通信に利用できれば既存の光源のインフラをそのまま使えるので理想的な通信インフラとして使うことが出来る。

## 判りやすいユーザーインターフェース

目に見える光で通信を行うと、データが送られてくる送信源が光っているので容易に特定することが出来、懐中電灯のようにスポット的に光る光源でデータを送信する場合は、スポット光を向ける方向が送信先になるので、容易に送信先を指定することも出来る。

## 可視光通信の特徴(2)

### 可視光通信は電波のような規制が少ない

電波は電波法による規制があるため、免許が必要であり、データレートにも制限があるが、可視光による通信は現在のところ自由に使うことが出来る。また、可視光通信は、病院や、電車、飛行機などの電波の使用が制限されている場所でも使用することが出来る。

### 電力線通信との親和性がある

照明器具を光らせるには、電線を通じて電力を供給しなければならないが、その電線を用いた通信である電力線通信(Power Line Communication)の技術と組み合わせることで、オフィスや家庭などでの電力線と照明という必須のインフラをそのまま通信インフラとして使うことが出来るようになる。

# 可視光LANの開発課題と対応

## 1) 白色LEDを用い、高速伝送をどのように達成するか

- ・ 既存LEDの調査を行い、高速伝送に対応可能な品種を選択する
- ・ RGBLEDなど複数チップで構成されるLEDで多重伝送を行方式を検討する。
- ・ 多値伝送技術を適用する

## 2) LANとして必要なサービスエリアをどのように確保するか

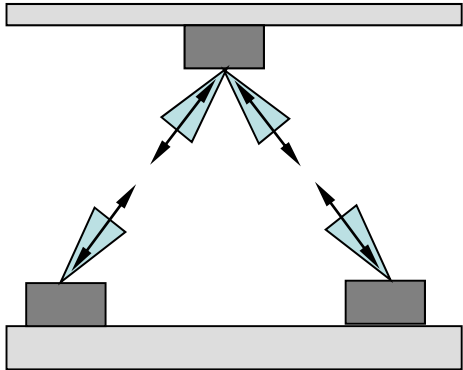
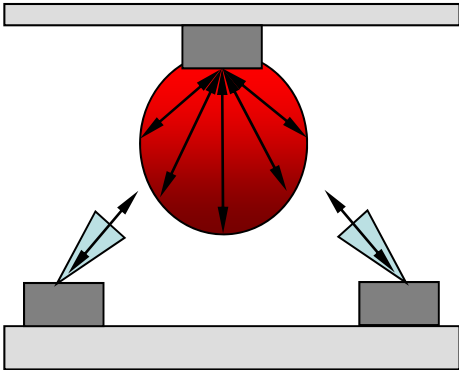
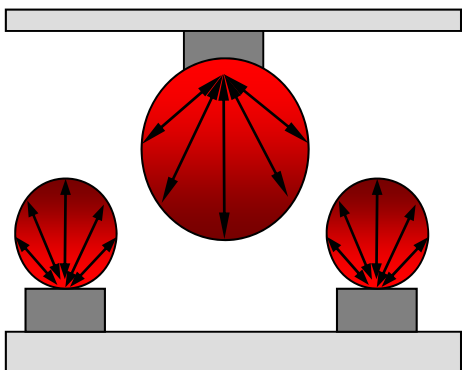
- ・ アクセスポイントの送受光は拡散系にならざるを得ないので、子機の送受光をビーム系にすることによる高効率送信、高感度受光により伝送距離を確保する
- ・ 高感度受光素子であるAPDの採用も検討する
- ・ ビーム伝送を行う場合、光軸をアクセスポイントに対向させる必要があるため、自動対向機構を設ける

## 3) 1対N伝送をどのように行うか

- ・ 多元接続を実現するための大前提として、空間全二重が確保できるアップリンク方式を検討する。
- ・ 送受光光学系の最適形態を検討する
- ・ 有線LANとの親和性を考慮する

## 伝送トポロジーの選択

1対NワイヤレスLANを構成するにあたり、最適な伝送トポロジーの選択を行う

| 親機:ビーム、子機:ビーム                                                                            | 親機:拡散、子機ビーム                                                                                              | 親機:拡散、子機:拡散                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|         | <br>採用                 |      |
| <b>利点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・伝送効率が最大</li><li>・子機間干渉が無い</li></ul>     | <b>利点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・伝送効率が良好</li><li>・照明での適合性がある</li><li>・子機間干渉が無い</li></ul> | <b>利点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・照明での適合性がある</li><li>・光軸調整が不要</li></ul>  |
| <b>欠点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・光軸調整が双方向で必要</li><li>・照明での適用が難</li></ul> | <b>欠点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・光軸調整が片方向必要</li></ul>                                    | <b>欠点</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・子機間干渉がある。</li><li>・アクセス制御が複雑</li></ul> |

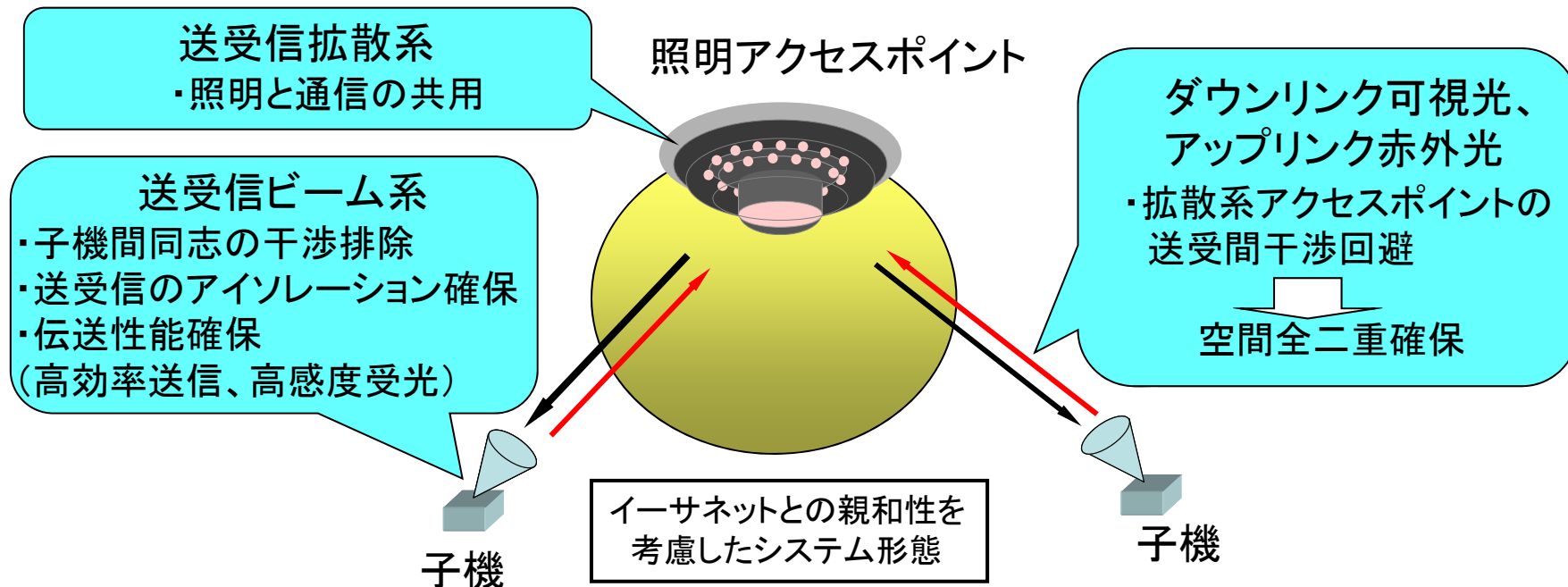
1対NワイヤレスLANの伝送トポロジー

## 有線LANとの親和性確保

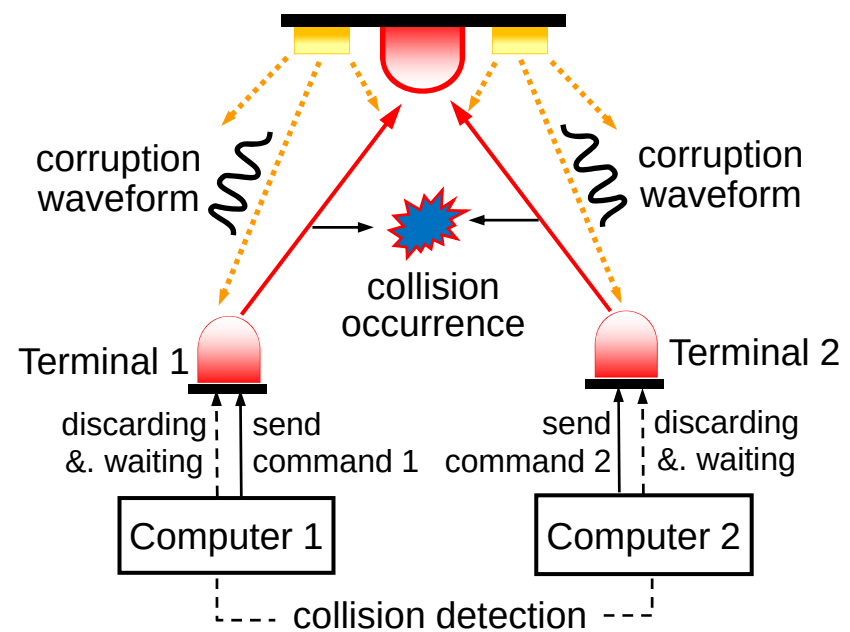
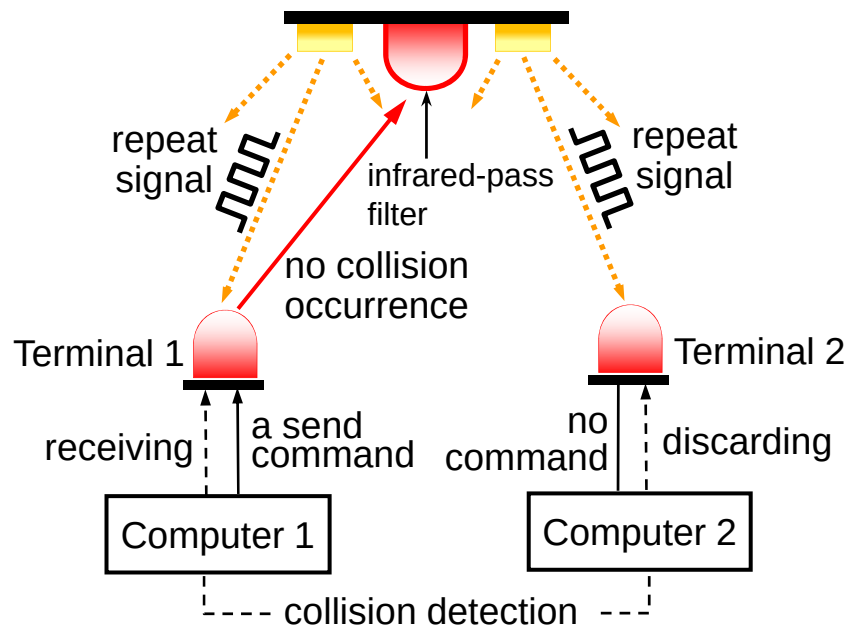
最も普及しているイーサネット(IEEE802.3)準拠のワイヤレスLAN構築にあたり、親和性を最大限確保できる方式を検討する。

### イーサネット準拠のための要求事項と対応

|          | イーサネット仕様   | 照明光通信での対応                         |
|----------|------------|-----------------------------------|
| 接続       | 1対N        | 照明をアクセスポイントとし、照明の届く範囲に複数の子機を配置できる |
| アクセス制御   | CSMA/CD    | アップリンクとダウンリンクが干渉しない空間全二重を確保       |
| 伝送速度     | 10M~10Gbps | 白色LEDの周波数特性に鑑み、10、100Mbpsに対応      |
| ネゴシエーション | 有り         | 無し                                |



## 1対Nアクセス制御の達成方法



### ◆ 信号衝突なし

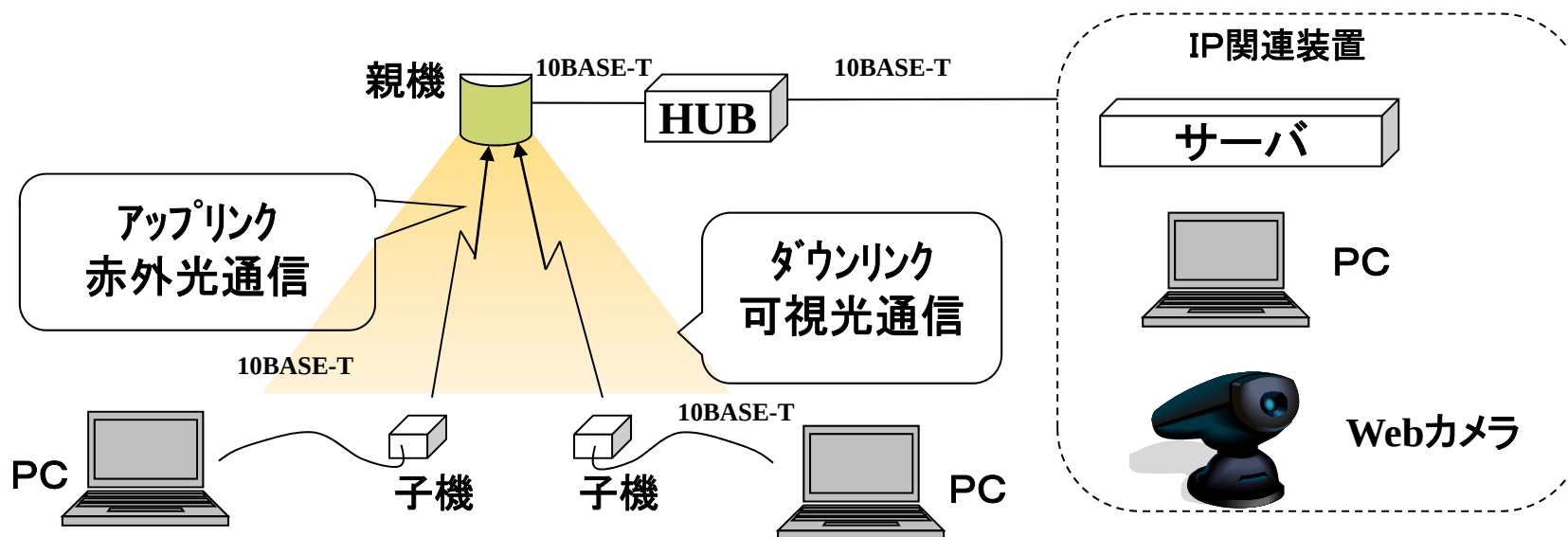
- ① PC1からの送信が発生;
- ② 子機T1はキャリアが無いことを確認して赤外線送信を開始
- ③ 親機は可視光リピート信号を送信;
- ④ 子機T1, T2リピート信号を受信, 自己の送信信号と一致なら送信を継続, 異なれば破棄

### ◆ 信号衝突検出

コリジョン発生とき, リピート信号は破壊された波形で送信; T1, T2の受信信号はPC1, PC2に送り  
各PCはコリジョンを検出, 送信停止, 待機状態に至る.

# 10Mbps可視光LANの開発例

## タムラ製作所の開発したシステム



### <特長>

- ・可視光通信で10Mbit/s LAN接続(10BASE-T)が可能
- ・電波の発信が禁止・制限されている場所で無線化が可能  
(例えば、病院・コンピュータールーム・機械室・計器室・etc)
- ・外部への漏えいがない  
(セキュリティが高く、情報漏えいがない)
- ・見える光を利用することにより通信範囲がわかり易く、遮断しやすい

## 10Mbps可視光LANの主要緒元

| 項 | 項 目  |           | 諸 元                     |
|---|------|-----------|-------------------------|
| 1 | 通信距離 |           | 2m以下                    |
| 2 | 親機   | 発光部光波長    | 350～750 nm 白色,R,G,B LED |
|   |      | 受光部受光波長   | 680～1600 nm(赤外光)        |
|   |      | 論理インタフェース | ARIB STD-T50準拠          |
|   |      | 伝送速度      | 10Mbit/s                |
|   |      | 符号        | マンチェスタ符号                |
| 3 | 子機   | 発光部光波長    | 680～1600 nm(赤外光)        |
|   |      | 受光部受光波長   | 350～750 nm              |
|   |      | 論理インタフェース | ARIB STD-T50準拠          |
|   |      | 伝送速度      | 10Mbit/s                |
|   |      | 符号        | マンチェスタ符号                |

## 10Mbps可視光LANの展示状況



## ITProExpo2008出展

※ この試作装置は日本ビクター(株)の技術及び製品提供を受けて作成したものです。

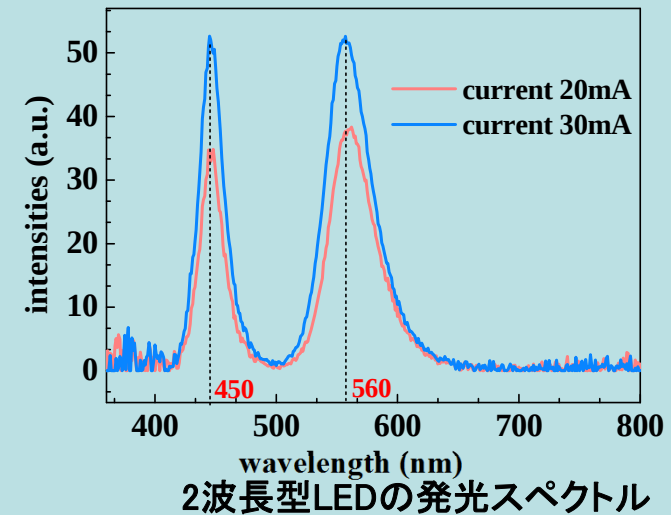
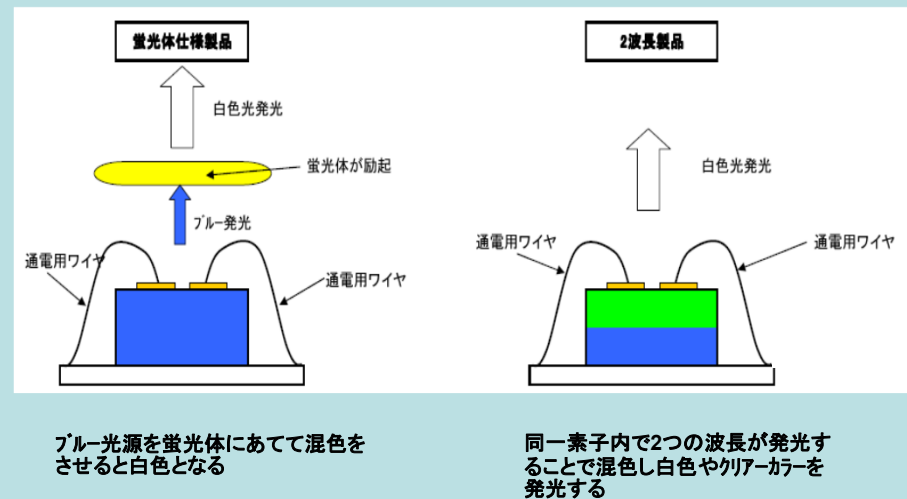
# 100Mbps可視光LANの開発例

本開発は、独立行政法人 情報通信機構(NICT)の委託研究として中川研究所が行ったものです

## 送信LEDの選定

| 発光方式                | 利点                        | 欠点                                         |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| 青色または近紫外線+蛍光体       | 発光効率が高い                   | 応答特性が悪い $F_c=2\sim3\text{MHz}$             |
| R(赤色), G(青色), B(青色) | 応答性の高い品種がある<br>3波長多重伝送が可能 | 各素子の劣化速度が異なり、演色性に問題<br>3波長分離受信による複雑化、コストUP |
| 1チップ2波長 <b>"採用"</b> | 応答性が良い $F_c=23\text{MHz}$ | 発光効率、演色性がやや悪い                              |

### 発光タイプ別比較



※2波長型LEDの情報はオプトリンク株式会社の講演資料からの抜粋です。

### 2波長型LED

## 波長多重と多値伝送の比較

### 波長多重伝送

|    |                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------|
| 利点 | ・R、G、B独立駆動により、3倍の伝送速度が得られる                                      |
| 欠点 | ・3色LED独立駆動、3色分離受信による複雑化、コストUP<br>・各色の発光強度劣化速度が異なることから演色特性の維持が困難 |

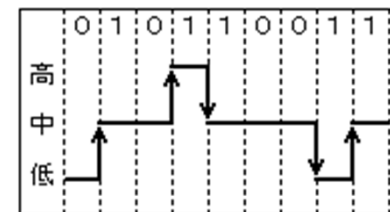
### 多値伝送

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 利点 | ・多値数が多いほど、伝送速度が向上する          |
| 欠点 | ・トレードオフとして、多値数が多いほど所要SNが増大する |



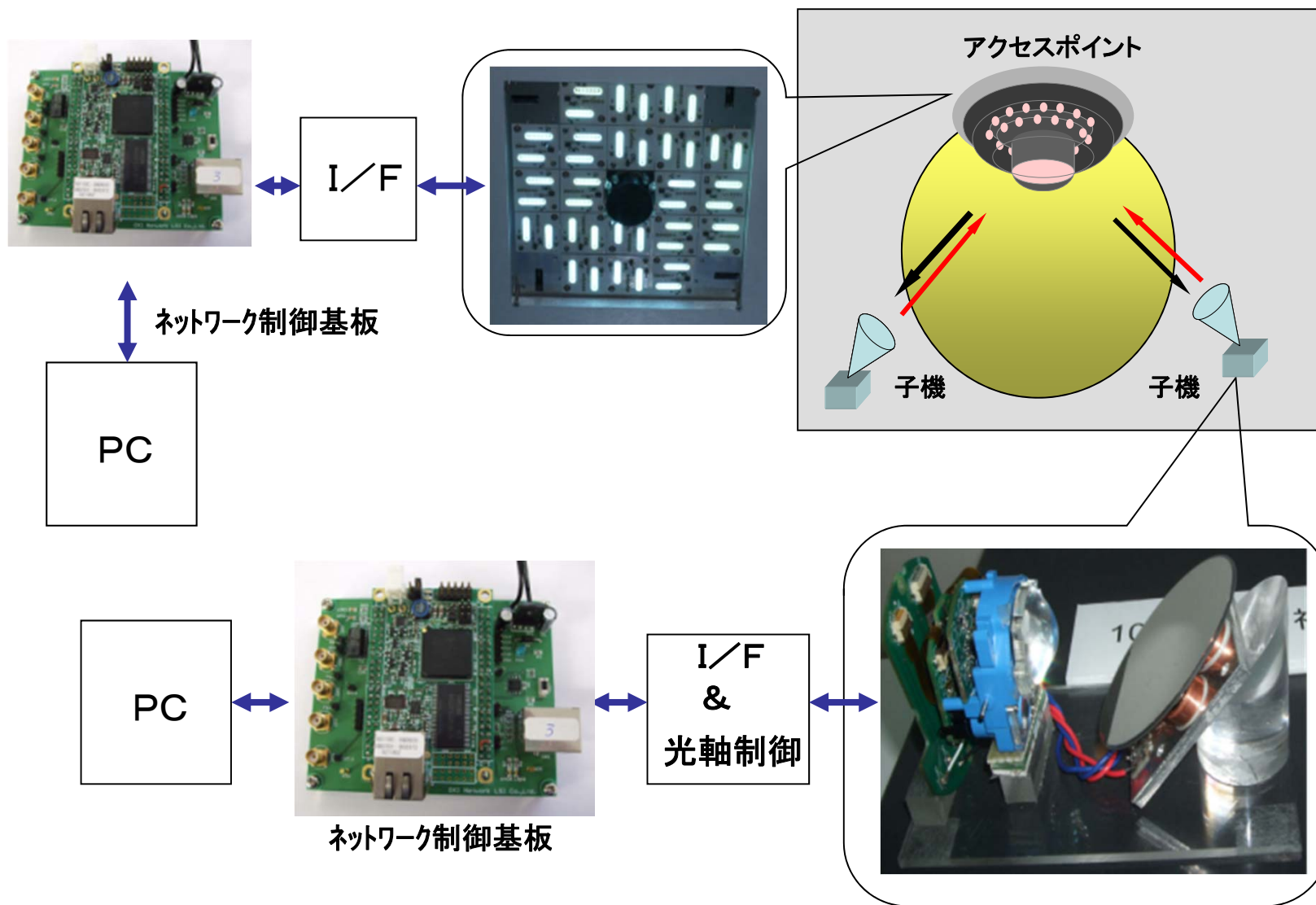
照明通信としての実用性を勘案すると共に、イーサネットとの親和性を考慮し、100BASE-TXの多値方式であるMLT-3を採用する。

MLT-3: 電圧として「+、0、-」という3値を使い、ビットが「1」のときに信号レベルを1ステップ変化させ、「0」のときは信号レベルをそのまま維持する。実質的な周波数成分を、1/4に落とすことができる。

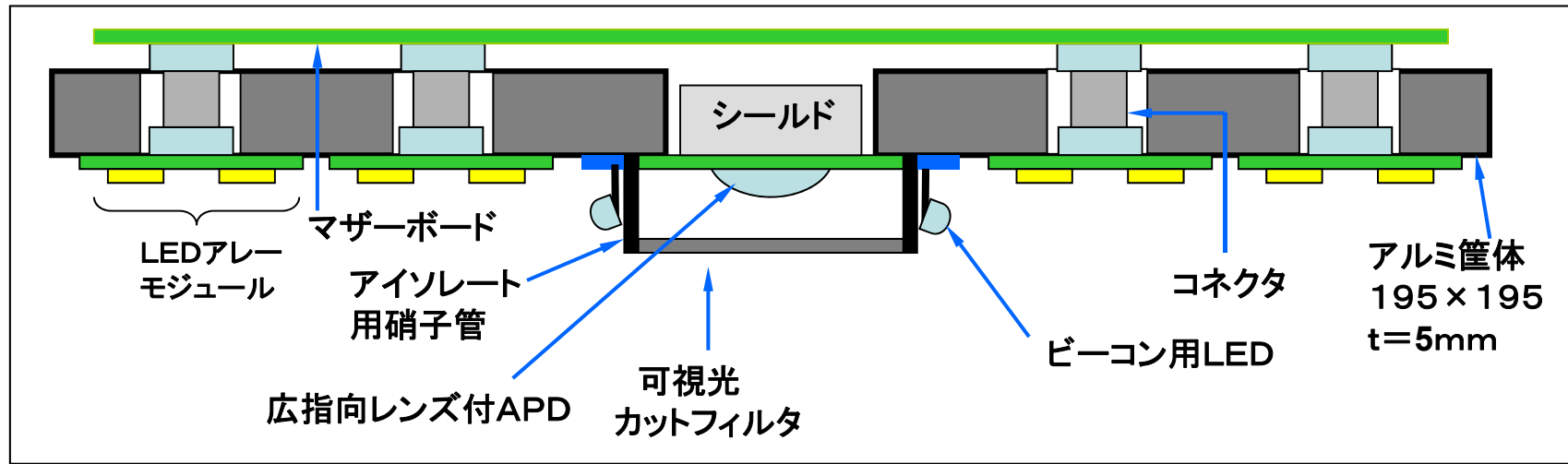


MLT-3

## 試作システムの全体構成



## アクセスポイントの構造



断面構造



正面写真

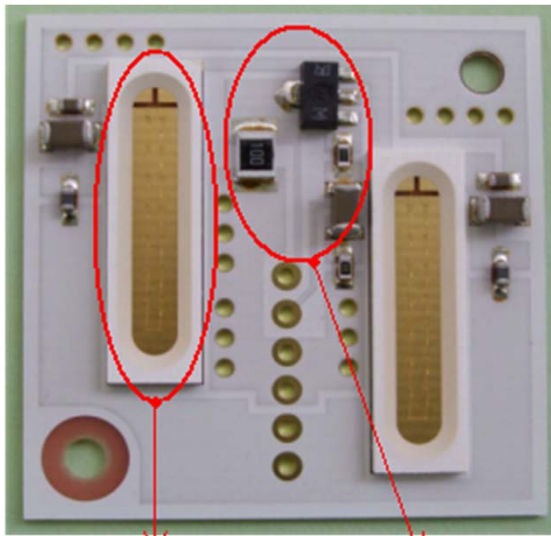


背面写真

## LEDアレイモジュール

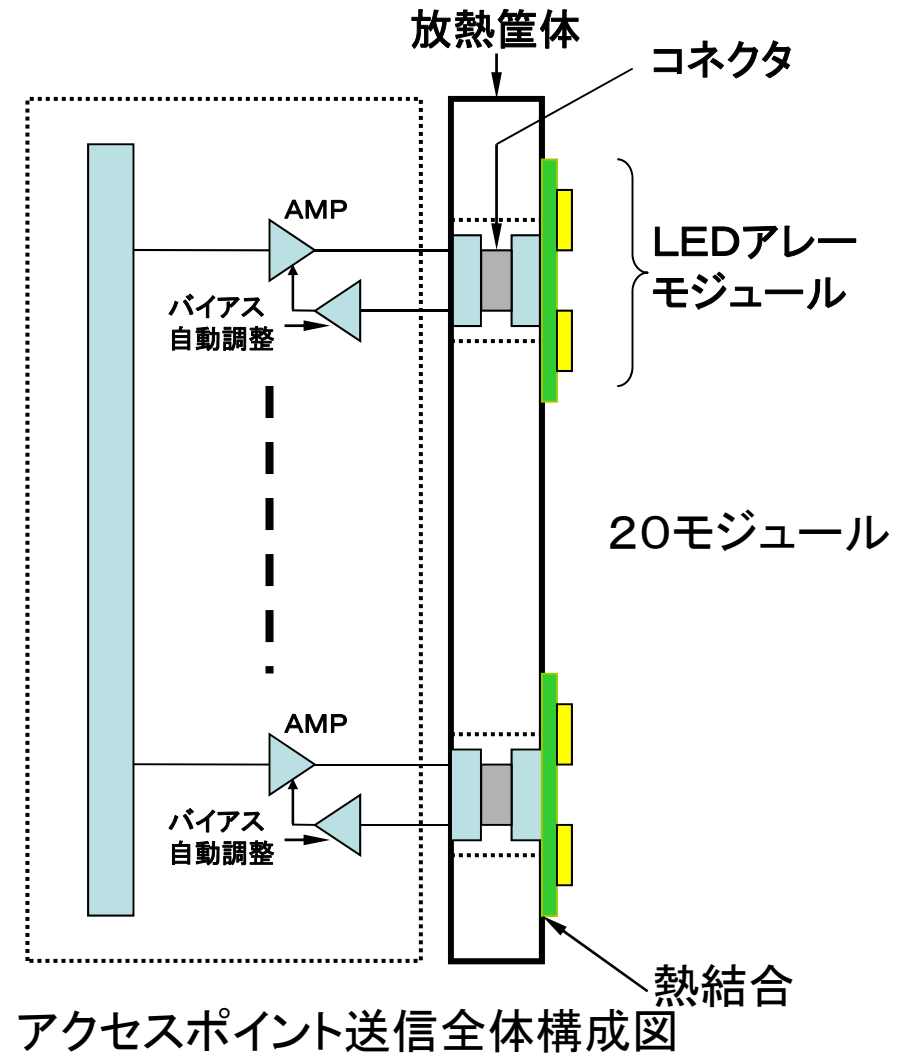
### LEDアレイモジュール特徴

- ・FR-4基板に発光素子、ドライブ回路を搭載
- ・16素子×2列を搭載しリフレクトケース貼り付け
- ・裏面を銅パターンをベタ設置することで放熱

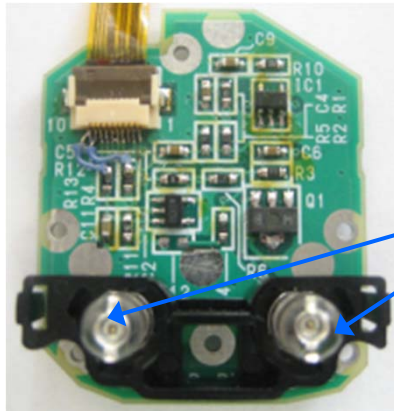


16×2個LEDアレイ 信号ドライバ

LEDアレイモジュール外観

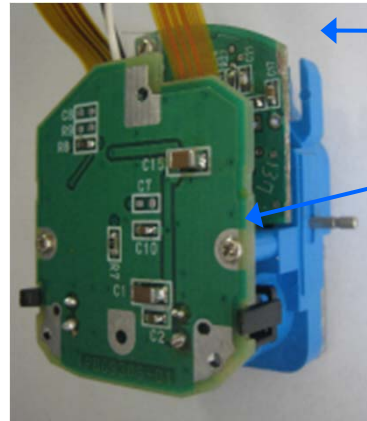


## 子機光学系



送信基板

IR LED



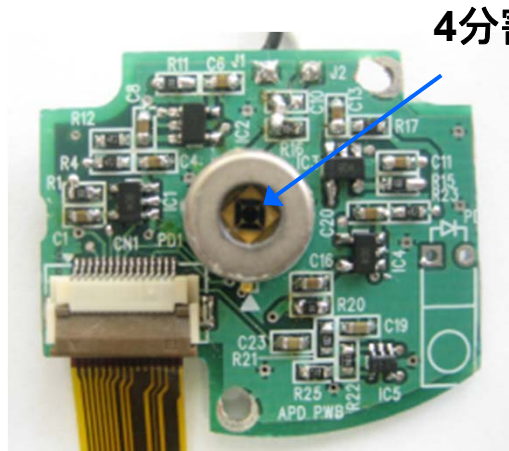
送受信ブロック(背面)

受信  
基板

送信  
基板

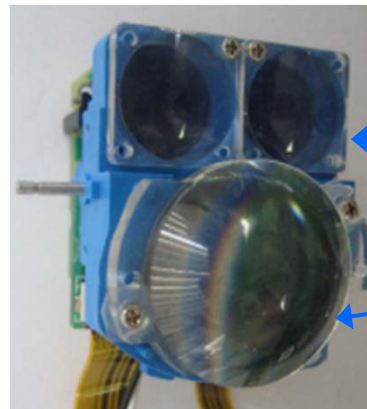


APD昇圧基板



受信基板

4分割APD



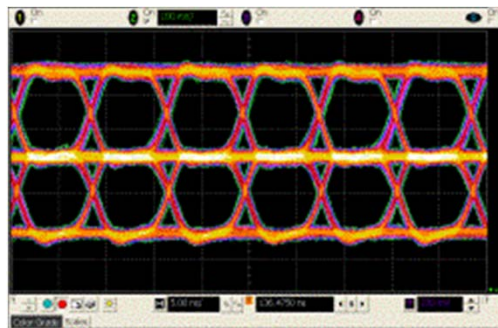
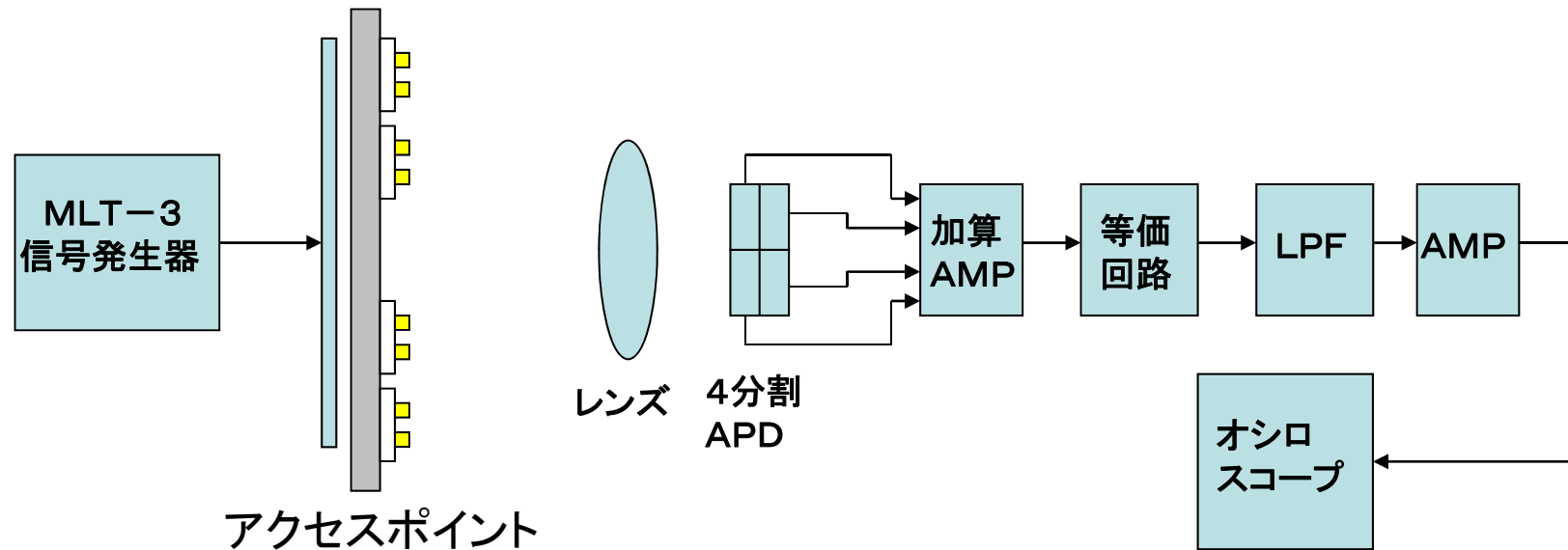
送受信ブロック(前面)

送信レンズ  
Φ10mm

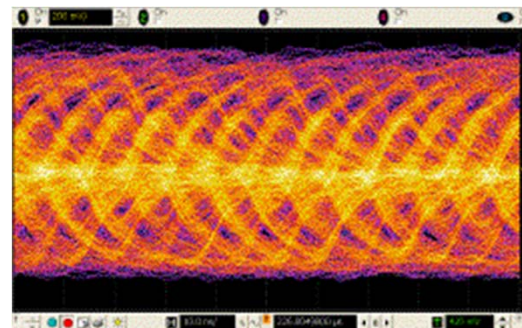
受信レンズ  
Φ25mm

※送受光光学系は日本ビクター(株)より提供を受けて作成したものです。

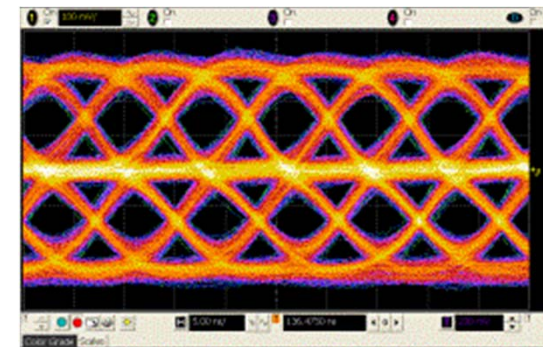
## ダウンリンク性能評価



白色LEDドライブ電流波形

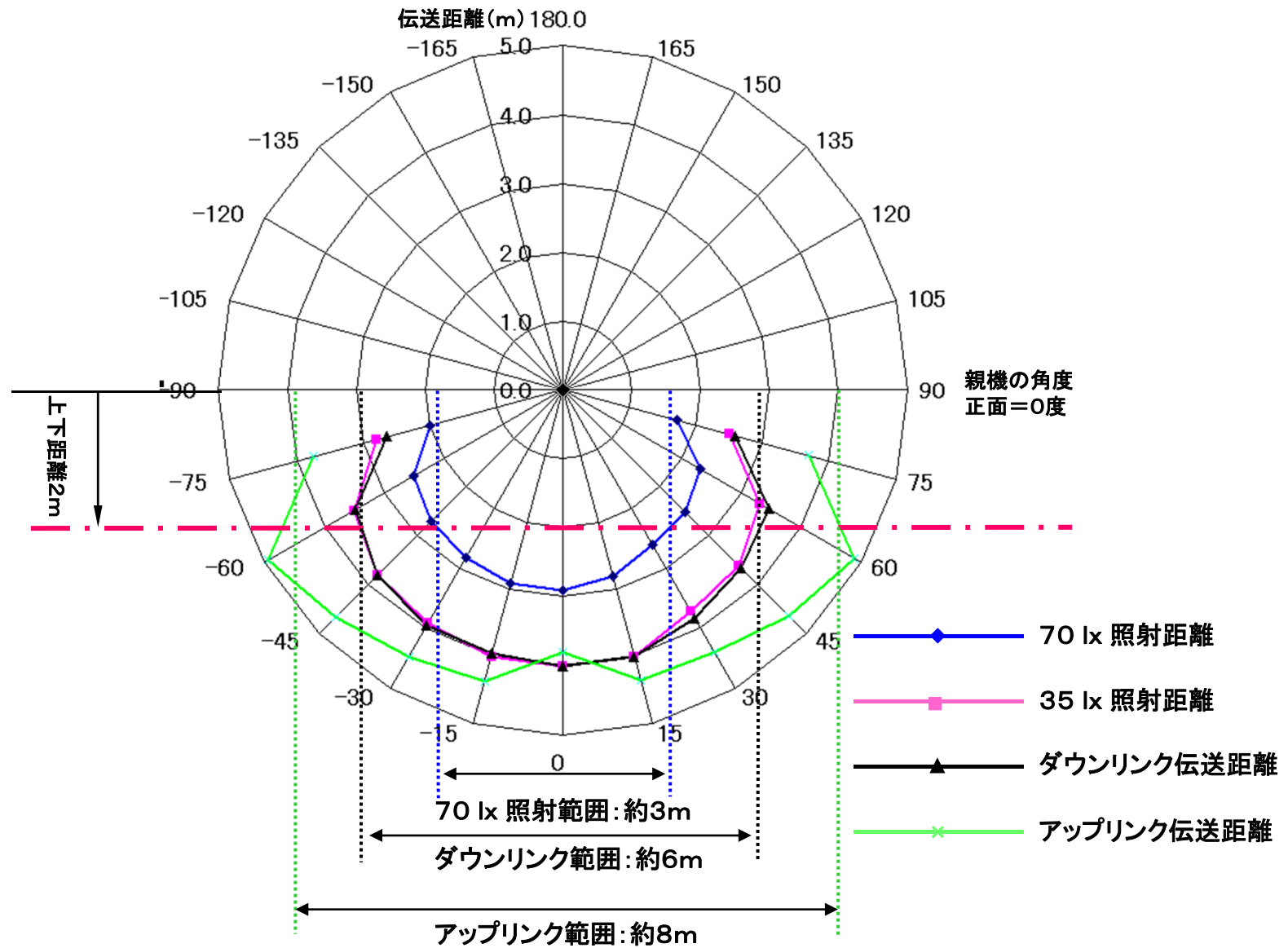


受信波形(補正なし)



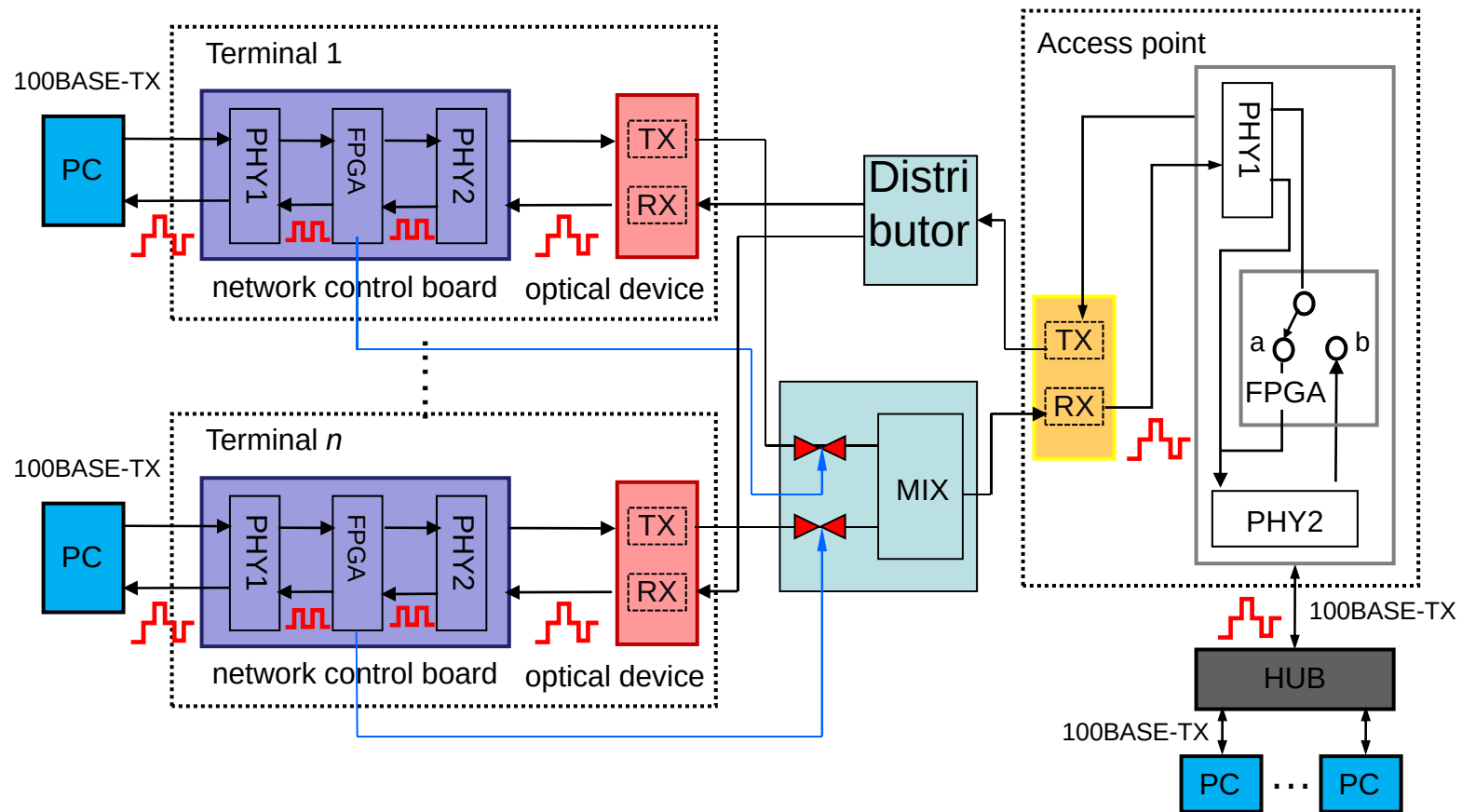
受信波形(補正あり)

## サービスエリア測定



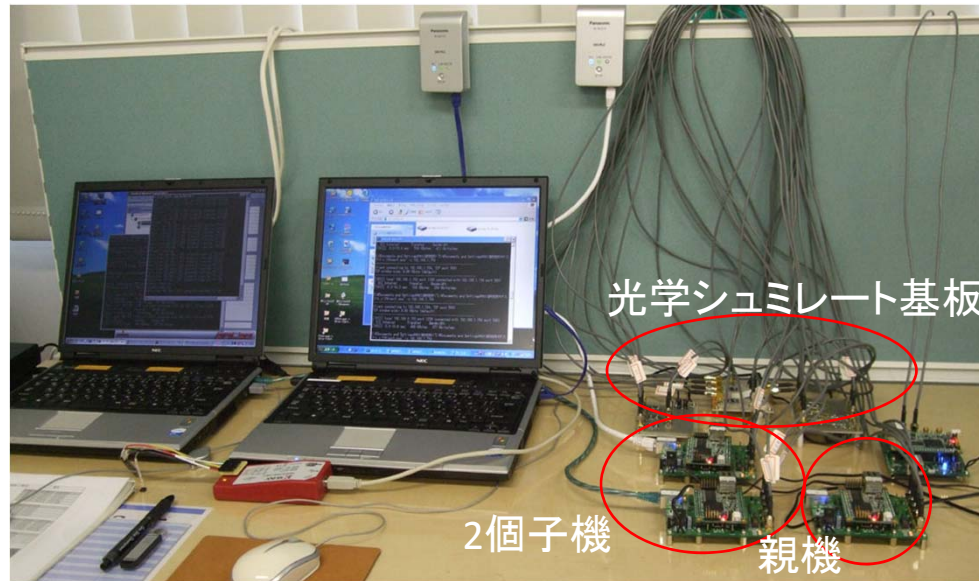
## 多元接続のためのネットワーク制御

空間全二重CSMA/CD方式を実現するために、ネットワーク動作基板を開発した。



## ネットワーク動作の確認

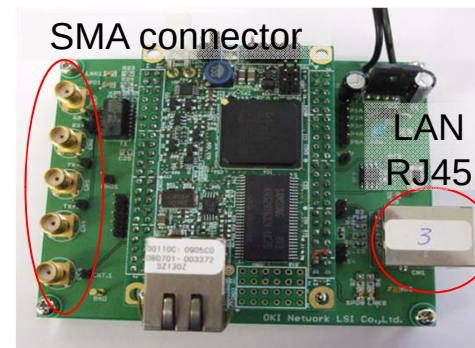
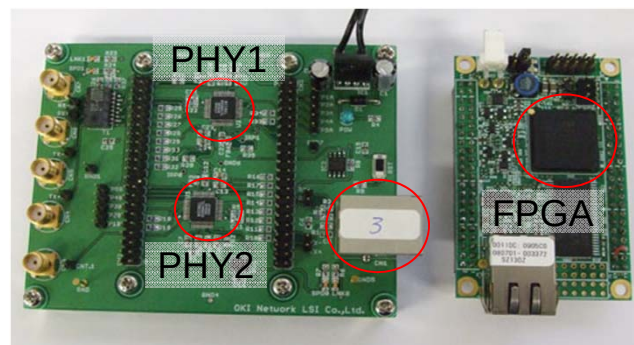
有線系によるハードシミュレーションにより、CSMA/CD制御による1対Nの多元接続が可能であることを確認した。



ネットワーク全体動作確認の様子

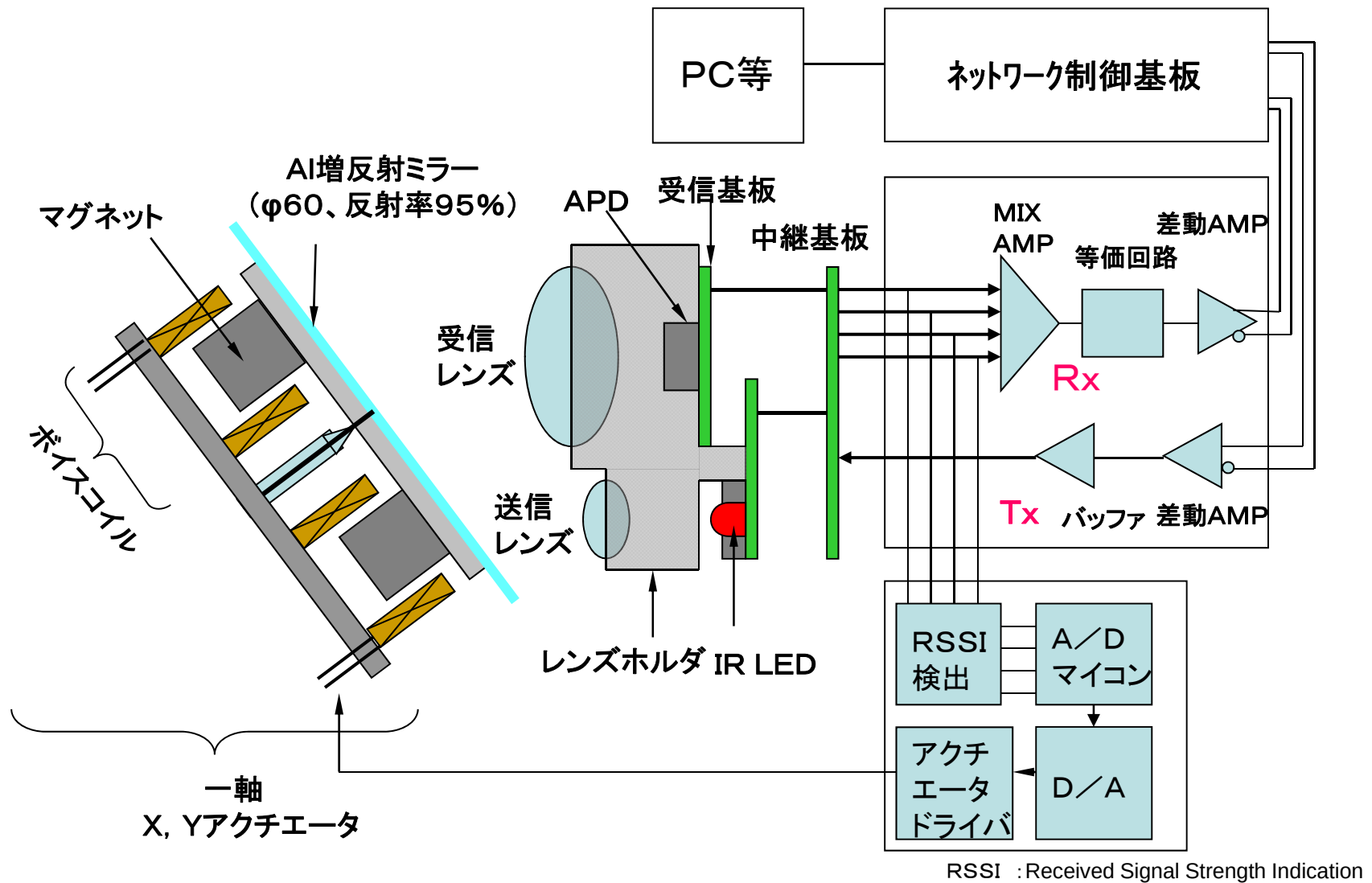


FPGA制御の様子



基板外観

## 光軸調整方式



## 光軸制御ソフト

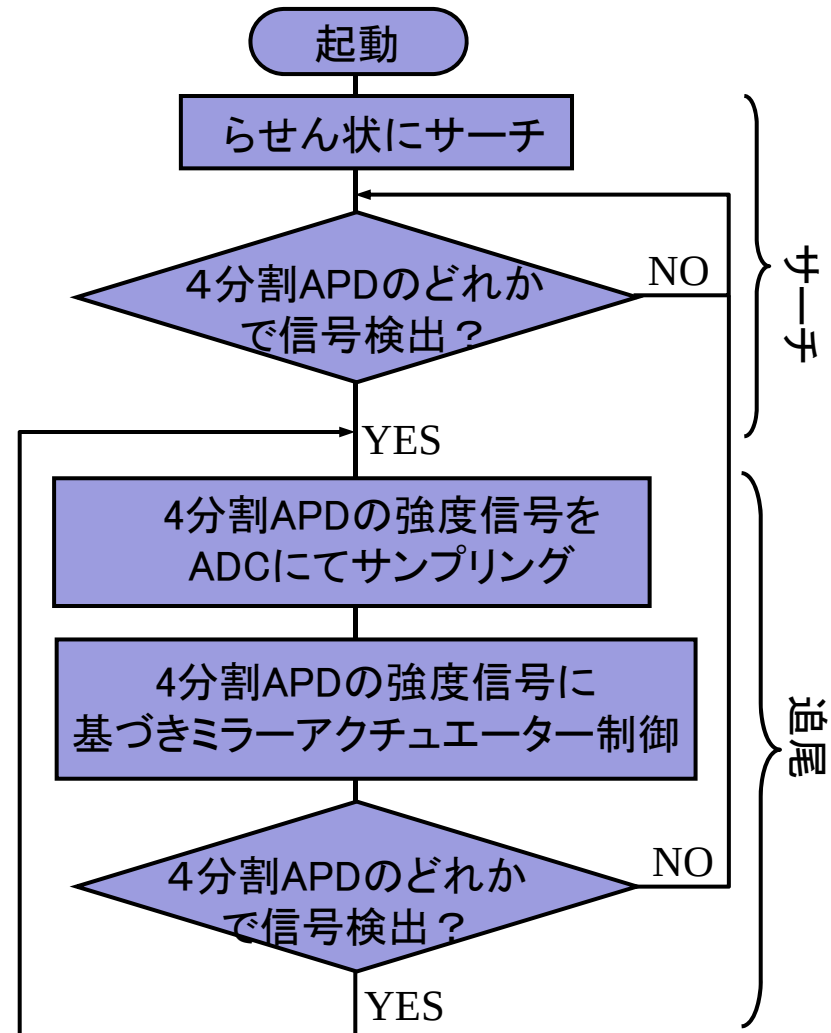
### 【ソフトウェア制御のフローチャート】

◆ 受信部の視野角は3度と狭いため、初期位置にてビーコンを捕捉できる可能性は低い

→ 最初にミラーを中心部かららせん状に移動させサーチを行う

◆ 4分割APDのどれかで信号を検出した場合追尾に移行

→ 4分割PDの出力に基づきミラーアクチュエータを操作

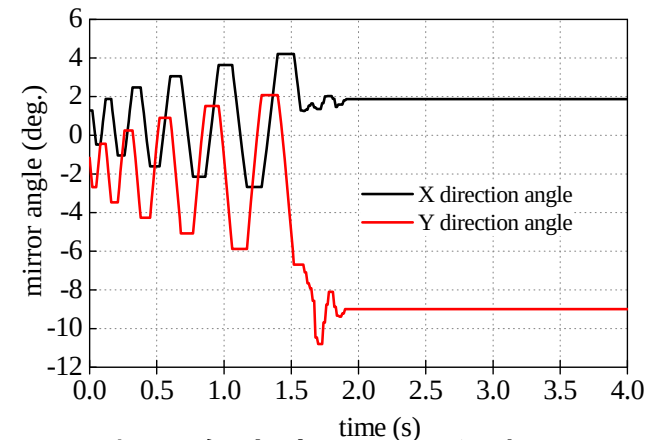


## 光軸制御追尾動作

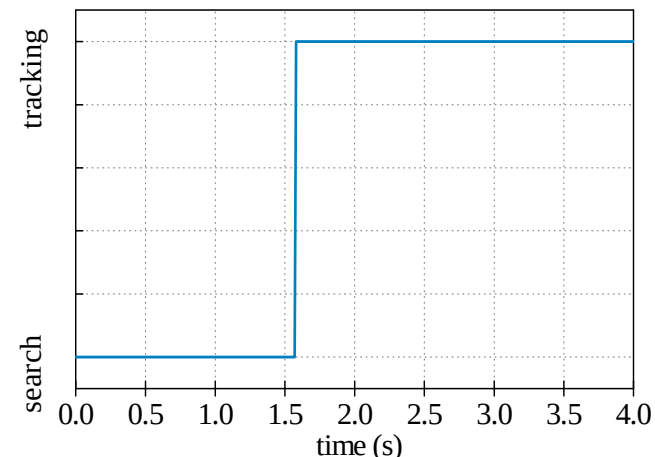
### 【光軸制御を行った際のミラーアクチュエータの挙動】

- ◆ サーチから約1.5秒でビーコン光を発見し追尾を開始
- ◆ 起動から約2秒で光軸制御は安定状態に

→ 高速・安定な自動光軸制御ができることを確認



(a) ミラー二軸の角度変化と動作時間の関係



(b) サーチから追尾への制御モードの変化

# ARIB STD-T50 4.0版



ARIB STD-T50

光無線 LAN システム

OPTICAL WIRELESS LAN SYSTEM

標準規格

ARIB STANDARD

ARIB STD-T50 4.0版

平成 9 年 2 月 18 日 策 定  
平成 14 年 5 月 30 日 2. 0 改定  
平成 18 年 12 月 12 日 3. 0 改定  
平成 21 年 12 月 16 日 4. 0 改定

社団法人 電 波 産 業 会  
Association of Radio Industries and Businesses



ARIB STD-T50

ENGLISH TRANSLATION

OPTICAL WIRELESS LAN SYSTEM

ARIB STANDARD

VERSION 4.0

ARIB STD-T50

Version 1.0 February 18 1997  
Version 2.0 May 30 2002  
Version 3.0 December 12 2006  
Version 4.0 December 16 2009

Association of Radio Industries and Businesses (ARIB)

## まとめ

- 照明光を利用したワイヤレスLANの構築が可能であることを実証した。
  - 白色LEDの選定や活用方法により高速伝送が可能
  - アップリンクに赤外線を用いることにより、空間全二重伝送を確保。多元接続が実現可能
  - 多値方式の採用により、100Mbpsの高速伝送を実現
  - 自動光軸調整方法を開発、移動体伝送への適用に期待
- 標準化や普及促進
  - 国内外で可視光通信の標準化が進展している
  - 技術開発とともに市場導入へ向けてのマーケティングが今後重要である。