

# 短距離型無線光通信システム

平成 12 年 2 月 9 日

指導 野中弘二 助教授

電子・光システム工学科 1010327

濱田正典

# 目次

<b>序論</b>			3
<b>第一章</b>	<b>背景</b>		
1 - 1		LAN のあらまし	4
1 - 2		ワイヤレスLAN への期待	6
1 - 3		ワイヤレスLAN のシステム化技術	7
<b>第二章</b>	<b>提案</b>		
2 - 1		新しい無線通信システムの提案	9
<b>第三章</b>	<b>実験</b>		
3 - 1		検討項目	11
3 - 2 - 1		実験にあたり	11
3 - 2 - 2		LD の静特性	13
3 - 2 - 3		LD 発光時の熱対策	15
3 - 3 - 1		交信可能範囲での実験	16
3 - 3 - 2		光アッテネーターの等価試験	21
3 - 4		Tracking Algorithm	25
<b>第四章</b>	<b>考察</b>		
4 - 1		課題と対策	28
<b>第五章</b>	<b>展望</b>		
5 - 1		将来の展望	30
<b>第六章</b>	<b>まとめ</b>		
6 - 1		最後に	31
<b>参考文献</b>	<b>謝辞</b>		32

## 序論

日本 (NTT) の Fiber to the Home (FTTH) 戦略に刺激を受けたアメリカ合衆国は先の副大統領アル=ゴアが 1992 年、後に世界中を動かすものとなる National Information Infrastructure (NII) 政策を発表した。大陸中に拡大した電話網に変わる新しい通信インフラの建設計画である。

日本でも、電気通信審議会が1994年、郵政大臣に対し2010年までに既存の電話網に代わる光ファイバによる新しい通信インフラの構築の必要性を答申している。1890年にサービスを開始した電話網の100年に一度の歴史的な転換点を、我々は相見ることが出来る時代にいる。

通信インフラの転換は家庭生活、就労環境(形態)などに大きな変化をもたらすと予想され、産業構造にも大きなインパクトを与えるとみられる。オフィスでの増加は、このような高速高帯域のネットワークを利用することで飛躍的に向上する。

そして、通信の基盤にはこのような Backbone Network の広帯域化と「Anytime, Anywhere, Anyone (いつでも、どこでも、誰とでも)」の標語に表される移動体通信(パーソナル通信)の発展という二つの柱が求められている。

オフィスビルを借りているテナントは人員の増大につれ、より広いオフィスを求めて移転するケースが多い。賃貸オフィスでは、移転の際、パソコンやワークステーションのためのLANや各種配線を元の状態に戻し、フロアを復元することが要求されるが、その復元コストはかなりの額となることだろう。人事異動によるオフィスのレイアウト変更や店舗内のレイアウト変更に伴うコンピューター端末接続のための配線ケーブルリングは多大な出費をもたらすだろう。

ケーブルの無線化は、配線の制約からオフィスを解放し、さらに端末移動の容易性、移動体との通信、工事現場やイベント会場でのすみやかなLAN構築などの利点をもたらす。情報化の拡張や端末の移設に、ネットワークの無線化は柔軟性を与える。この端末移動の容易性は端末の携帯性へと発展し、移動通信との深い親和性を持つことになるに違いない。

ワイヤレスLANは「Last 20-meter Connectivity」を解放するために、有線LANと統合的に利用されることとなるが、解決すべき技術的問題も多いが、これから先の新しいコンピューターとネットワークの利用環境には欠かすことが出来ない。

そこで私は、「ワイヤレスLAN設計のために必要な無線通信の特徴」、高度情報化に伴うデータ量の増加をカバーする「高速光通信の利点」、ユーザが移動を意識せずに使用できる手法「トラッキング機能」、以上の3つの特性を併せ持つシステムの実現可能性を検討する。

# 第一章 背景

## 1-1 LAN のあらし

1970 年代後半に登場した LAN (Local Area Network) は, OA (Office Automation) や FA (Factory Automation) の流れとともに急速に普及してきた。数 Mbps 程度の速度のデータ伝送実験から始まった LAN は, いまや数 Gbps にも達する超高速の製品を生み出すに至り, ますます広帯域, 高機能化している。

企業においては SIS (Strategic Information System : 戦略情報システム) の必要性が叫ばれ, WAN (Wide Area Network 広域ネットワーク) と同様に LAN が大きな技術要素となっている。LAN は単なる通信手段ではなく, 計算機環境にも欠くことのできない基本的なインフラストラクチャである。

インターネットの接続率においては, アメリカには遠く及ばないが, 平成 12 年度の通信白書によると, 日本企業における LAN の普及率は 90.3% と広く普及を遂げている。そして情報ハイウエー構想などの大型計画が進行中であり, 今後これらを司る LAN の重要性は確実に増すことになる。

### LAN の歴史

- 1973 年 Robert M Metcalfe (メカフ) が発明  
Xerox Palo Alto Research Center コンピューターサイエンス研究所
- 1979 年 DIX 規格 (10Mbps )
  - DEC コンピューター技術
  - Intel 半導体技術
  - Xerox Ethernet 特許所有者
- 1980 年 IEEE802 委員会による LAN 標準化作業開始
- 1983 年 IEEE802.3 CSMA/CD 規格成立
- 1992 年 Fast Ethernet (100Mbps) の標準化に着手

LAN に接続される機器は急速に増え、また、マルチメディア通信時代を見越して光ファイバを伝送媒体としたFDDI(Fiber Distributed Data Interface)など、高速かつ高機能なLANが登場してきている。しかし、LANを実際に敷設、運用するユーザには、いまだに以下のような不満が残されている。

### (1) ケーブリングの問題

有線 LAN の第一の問題点はケーブリングである。LAN 敷設前のケーブリング計画の困難さ、煩雑な敷設・保守作業、接続機器のレイアウトや移設の自由度の低さ、そのコストといったケーブルの存在そのものに起因する問題が、LAN の普及を阻害する要因となっている。特にLAN ケーブルから接続機器までのわずかな距離の接続の煩雑さは、「Last 20meter connectivity」(最後の20m の接続性) などと象徴的に表現されている。

ケーブリングの負担を少しでも減らそうと、取扱いの容易な対線 (Twist Pair) を使用する LAN が普及してきている。また、オフィスの側でもフリーアクセス床を使用するなどして、あらかじめケーブリングのスペースを確保する方向にあるようである。しかし、(財)ニューオフィス推進協議会の調べによると、ケーブリングの方法として、フロアダクトおよびそれに準ずる方式が69%で、アンダーカーペット、フリーアクセス床はまだ少ない。

### (2) 携帯型・移動型ステーションの接続の問題

最近、ラップトップ型、ノートブック型、パームトップ型など持ち運び可能な小型のコンピューター端末の普及が進んでいる。2000年にはラップトップ型の出荷台数を、ノートブック型の出荷台数が追い越した。有線 LAN では、これら端末の携帯性や機動性を損なうことなく、簡単にLANに接続することは難しい。ネットワーク化という観点からは取り残されているのが現状である。ネットワークアプリケーションが増えてきた現在、この問題を早急に解決することが望まれている。

真の意味で「いつでも、どこでも、誰とでも」通信することを実現するためには、個人個人が容易に携帯可能な程度に十分小型で、安価な端末装置とともに、ケーブルなど、端末の移動を妨げる要素を極力排除することが求められる。

## 1 - 2           ワイヤレスLAN への期待

このような状況の中で、現在、非常に期待されているのが、無線を使用した通信手段である。構内無線PBX や家庭用ワイヤレス電話の普及、自動車電話や携帯電話の人気を考えれば、無線システムがいかに注目を集めているかが理解できよう。ここに至って、「LAN」と無線(ワイヤレス)と技術が会うわけである。

ワイヤレスLAN(Wireless LAN)そのものの歴史は比較的新しい。有線LAN と同様に広義には回線交換型の音声通信系を含める向きもあるが、ここではローカルエリアネットワークにおけるデータ伝送系に絞る。

**伝送媒体に無線を使用することで、既存の有線 LAN を代替  
補完し、いままで使用できなかった領域(場所、構内移動体、高  
速データ通信への適用など)で機能する LAN」**

と定義することにする。

まだ歴史の浅いワイヤレス LAN ではあるが、利点として考えられることを以下のようにまとめることができる。

1. ケーブリングからの解放
2. 迅速なインストール/一時的なLAN の敷設
3. 接続機器のレイアウト・再レイアウトの自由度の拡大
4. 接続機器の移動性の確保
5. 長期的なコストの低減

### 1 - 3 ワイヤレスLAN のシステム化技術

ワイヤレスLAN (表 1)は、高速無線データ通信技術と有線 LAN およびコンピューターネットワークのプロトコル技術の両分野に立脚している。

当初、ワイヤレス LAN は有線ケーブルを単に無線化すれば実現できると考えられていた節がある。しかし、実際には無線通信にとってはむしろ劣悪な環境である屋内において、数 Mbps - 数十 Mbps と、高速な無線データ通信を実現するのは容易なことではない。

また、有線に比べ低い伝送品質、通信に関与する機器が動的に代わり得る、ある通信が必ずしもすべての機器に到達するわけではないなど、有線 LAN のプロトコルを考えるうえでの前提とは異なる面も少なくない。このためアクセス制御などのプロトコルも有線LAN と同じプロトコルを適用することは現実的ではない。

表 1 ワイヤレスLAN 製品化傾向

空中線種類	電波	"	"	赤外線	"
周波数	2.5GHz	19GHz	2.5GHz	-	-
変調方式	スペクトル拡散方式	4 値 FSK	スペクトル拡散方式	光輝変調	光輝変調/ 周波数変調
エリア (最大)	180m	50m	40m	250m	30m
伝送速度	1 ~ 2Mbps	15Mbps	~ 1Mbps	10Mbps	~ 1Mbps

現在，無線通信を確立する手法として，まず「割り当て可能な周波数の電波をキャリア(搬送波)としてデータ変調を利用」する方法がある。ブロードキャスト型の送信方式であり，欠点として「キャリア周波数に対し，データ通信が著しく低速」「電磁雑音に弱い」「秘匿性は高いとは言えない」そして何より「周波数は限られた資源」(表2)であることが挙げられる。

表2 日本にて使用できる無線媒体

	2.4GHz 帯	19GHz 帯	赤外線ビーム方式	赤外線拡散方式
速度	1~2Mbps	15Mbps	~50Mbps	~1Mbps
コスト	中	高	中	安
移動体への適正			×	
通信範囲	広い	中	要見通し	狭い
ライセンス	不要	要	不要	不要
備考	周波数割り当て上 高速は困難	伝搬使用では高速は 困難	要見通し	高速不可

次に赤外線を利用(図1)する方法がある。IrDA などLED を使用した Point to Point 型の通信方式で，反応速度の遅いLED を用いるために「低速」であり「通信可能な距離が短い」ことが欠点である。

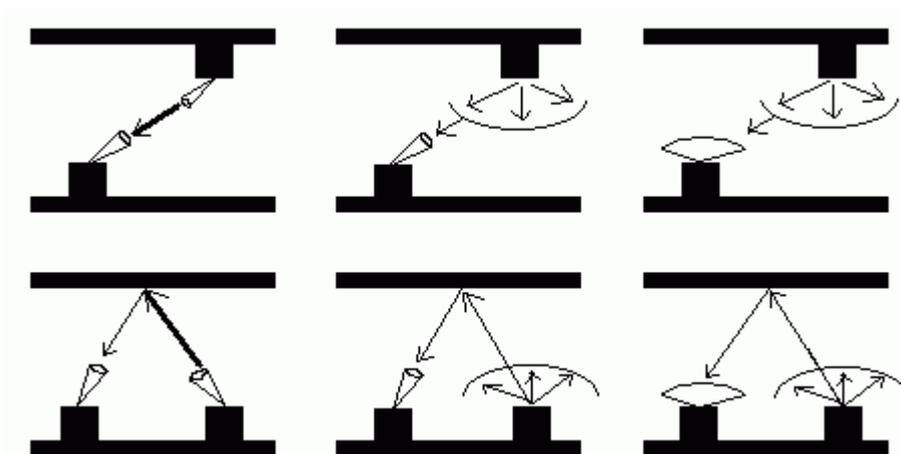


図1 赤外線通信の様々な信号送受信形態

## 第二章 提案

### 2-1 新しい無線通信システムの提案

前述のような無線通信システムは、配線が不可能なビル間、山間、可動地点間の通信方法として、今後ますます必要とされてくる。そして基幹部として想定する有線ネットワークの高速化は日に日に進んでいる。同様に、「Last 20meter connectivity」を解消する手段である末端、つまり無線通信 LAN 部分も高帯域性を要求される。

そこで、

**有線並の高速性、秘匿性を保ちつつ端末の移動をカバー出来る  
光無線通信システム」**

を提案する。

現行の赤外線通信に使用されている LED よりも反応速度が高速で照射速度の鋭角な LD を使用し、「照射ビームに指向性の高い 指向直射方式」(図 2)を使用することにより、有線並の 100Mbps を超える高速通信が望める。

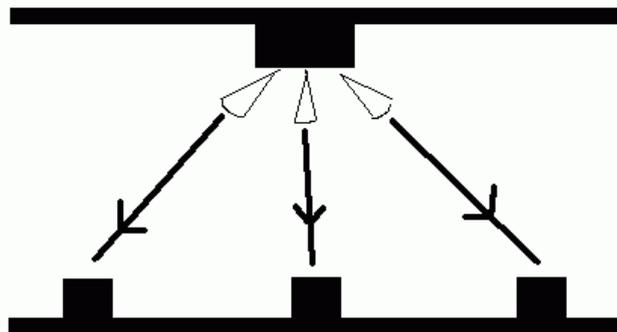


図 2 指向直射方式 (複数端末)

指向型の通信ビームは、通信線上のみに信号が伝搬されるため、直接割り込まない限り盗聴は不可能であるため、このシステムの秘匿性は高い。

照射範囲の狭い、つまり通信可能範囲の小さい「指向直射方式」ビームだが、送信側に受信端末を追尾する「Tracking 機能」を付加することにより、交信可能範囲は著しく増加する。

このような機能改善を盛り込むことにより、室内はもちろんのこと、工場利用、臨時イベント会場での LAN の敷設など、利用用途は限りなく広がる。

想定するシステムの利用形態のイメージを示す (図 3)。

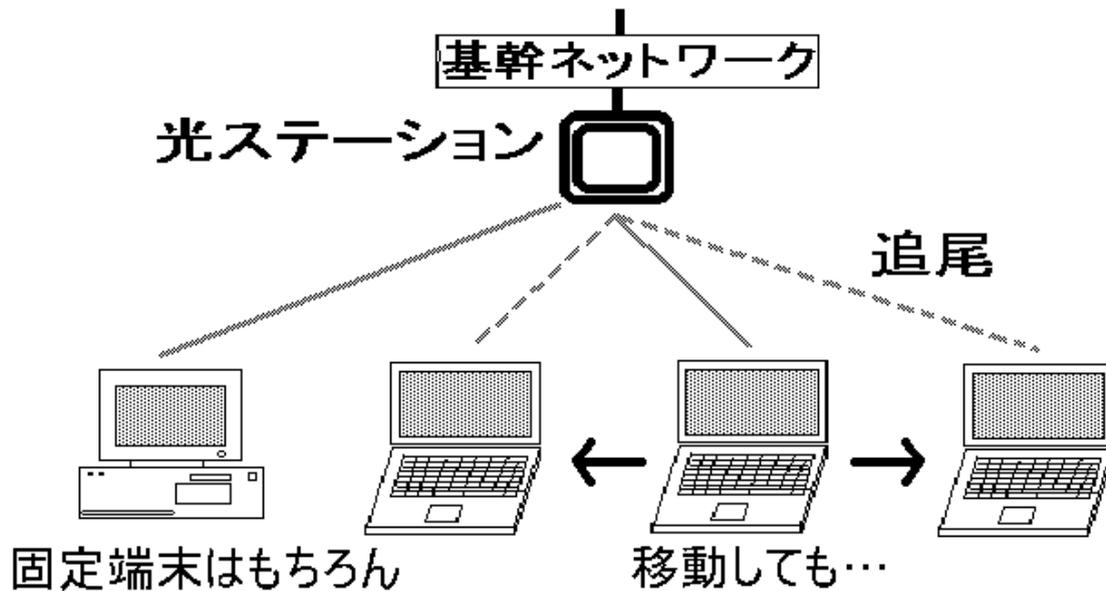


図 3 完成システムイメージ

これにより、機器の追加、再配置が容易に行えるとともに、PDA (Personal Digital Assistant) のような小型携帯情報端末のネットワークへの組み込みも実現できるなど、システム構成の柔軟性、拡張性に優れており、さらに高速性を備えているなど、ネットワークにおける End to User の箇所に適用するには適した方式であるといえる。

## 第三章

## 実験

### 3 - 1 検討項目

本提案のシステムの実現するためには以下の機能が必要であり,新規に検討すべきである項目である。

高速送信特性の確認  
受信品質の評価  
Tracking 機能

先ず基礎検討として,実際のLD とAPD を使用して, の高速送信特性の確認と, の受信品質の評価を試みる。最後に の Tracking 機能を実現する一手法を机上検討し,提案も試みる。

### 3 - 2 - 1 実験にあたり

まず実験は,LD による指向直射方式を採用し,受信端末の移動を考えに入れない完全に対向したシステム構成下で,距離毎の受信光子数に起因する信号出力電圧を測定した。

LD からAPD 間に光アッテネーターを敷設し,光パワーを減衰させることにより擬似的にLD からAPD 間の距離を再現させる。その結果より当システムにおいて,どの程度の距離まで無線通信が可能かを導いた。

送信部 (LD) と受信部 (APD) が完全に対面した状態を構成する (図 4)。

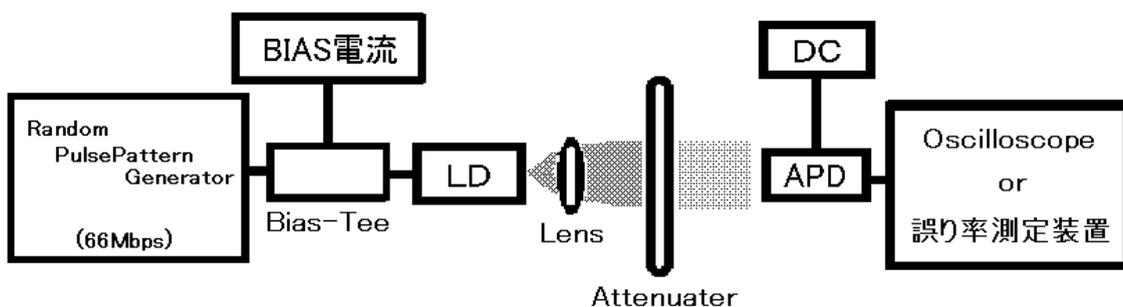


図 4 実験システムイメージ

## 使用した実験器具

### 送信部

- LD NICHIA Violet Laser Diode NLHV500A」 no.4
- BIAS 電流装置 Agilent E3612A DC Power Supply」
- Pulse Pattern Generator HEWLETT PACKARD 81104A 80MHz」

### 受信部

- APD モジュール HAMAMATSU C5331-03」
- Oscilloscope Agilent infiniiumDCA 86110A」
- DC 電源 KENWOOD PR18-1.2A」
  
- Synthesizer HEWLETT PACKARD 83712B CW Generator」
- Optical Power Meter ADVANTEST TQ8210」

### 3 - 2 - 2 LD の静特性

実験に使用した LD (図 5) の静特性 (表 3) と、周波数特性 (表 4) を示す。

測定は 50 系の機器を用いている。LD の内部抵抗が 50 より大きかったため、LD は SMA コネクタに直付けした。そして、外部からのノイズ混入を考慮し、出来るだけ配線接続部をコンパクトに仕出がている。



図 5 Laser Diode with SMA Connector

I-L 特性、周波数特性の測定には、以下の図 6 のように機器を設置し計測を行った。

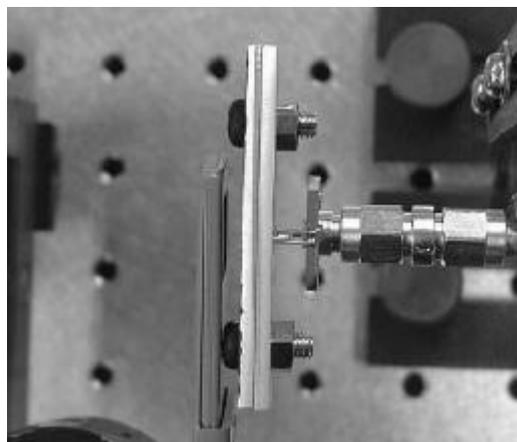


図 6 LD と Optical Power Meter

表3 I-L 特性  
(波長 406 μm 室温 25 )

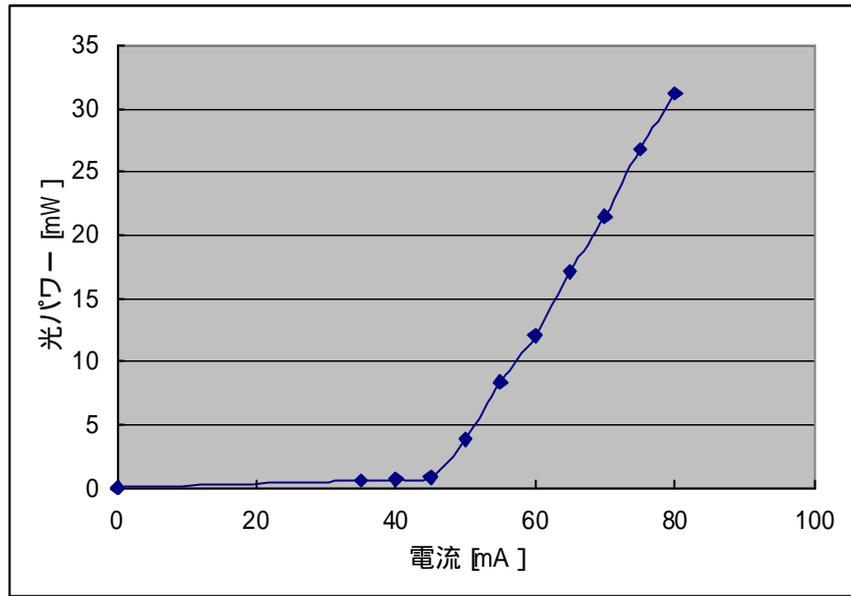
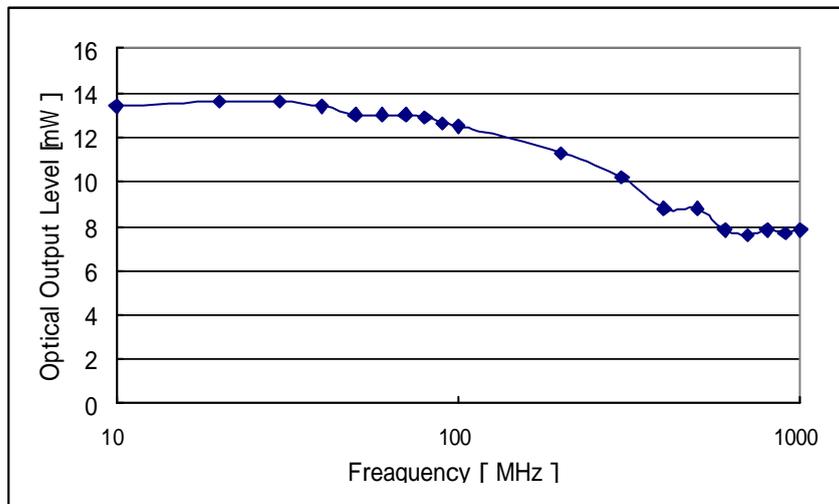


表4 周波数特性  
(DC-Current 53mA RF-Power +10dBm )



### 3 - 2 - 3 LD 発光時の熱対策

使用した LD は常温下 , 定格電流にて発光させる場合においても , 時間が経過すると自らの発熱によって , 発光効率が著しく低下することが分かった。

そこでアルミ板を使用し , LD の Can Package の金属部分に密着するように専用のアルミヒートシンクを作成した ( 図 7 ) 。これにより , 長時間にわたる安定した発光 , 一定の電流消費を保つことが可能になった。発光側の表面は測定時の反射を考慮し , 艶のない黒色塗料によって塗装が施してある。

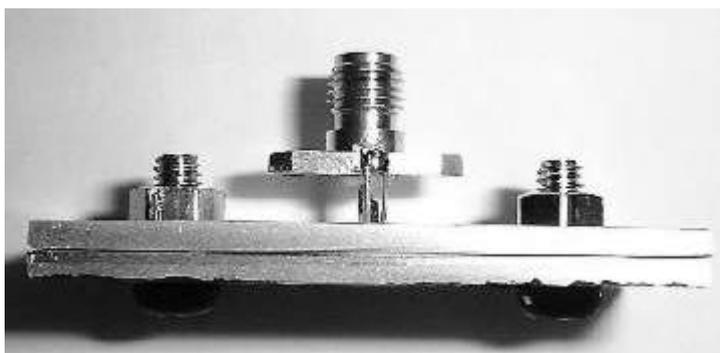


図 7 LD に Heat Sink を装着

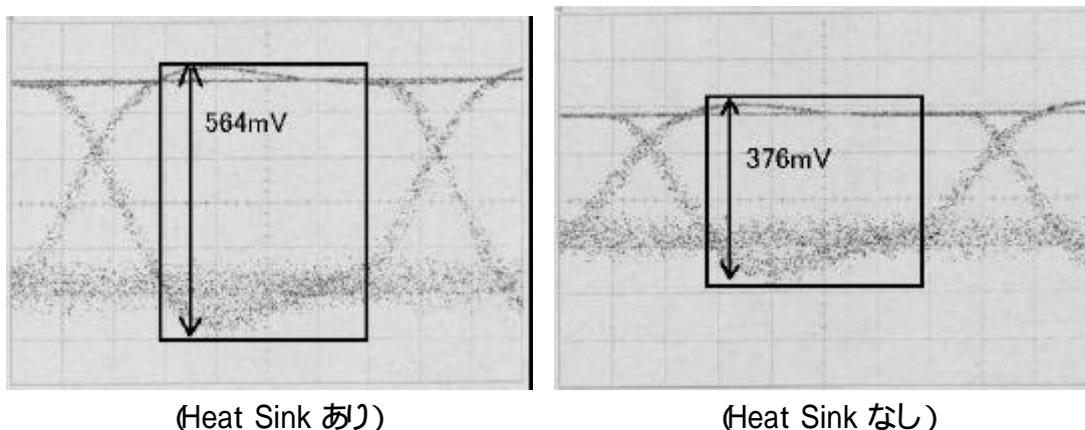


図 8 ヒートシンクの効果 (起動より3分経過)

LD を定格電流にて3分間だけ動作させる。3分経過しても , Heat Sink を装着した場合には出力光パワーの減衰は見られない。しかし , Heat Sink を装着しない状態で同じく3分間稼働させると , 受信光子数に起因する信号出力電圧が先ほどより 188mV も低い ( 図 8 ) 。

LD 本来の性能を発揮させるためにも , Heat Sink による放熱は大きな要素であると言える。

### 3-3-1 交信可能範囲での実験

LD に BIAS 電流 (53mA) を流し, NRZ ランダム変調 (66Mbps) をかけて発振させる。LD より出力された光は, 前方に仕掛けられたレンズによって集光され, 受信部である APD に到達し, 最終的な出力としてオシロスコープを用意する (図 9, 10)。

この測定系では無線通信距離が 50cm 足らずだが, 実際に距離を離れた場合の等価回路として「光アッテネーター」を LD と APD の間に敷設した。

ただし, APD の受信感度との兼ね合いで, 光アッテネーターを通すことによりレーザー光を弱め, 160cm の無線通信空間が存在するように想定した場合を初期設定とした。実際に等価回路として妥当かどうかの検証結果は後で述べる。

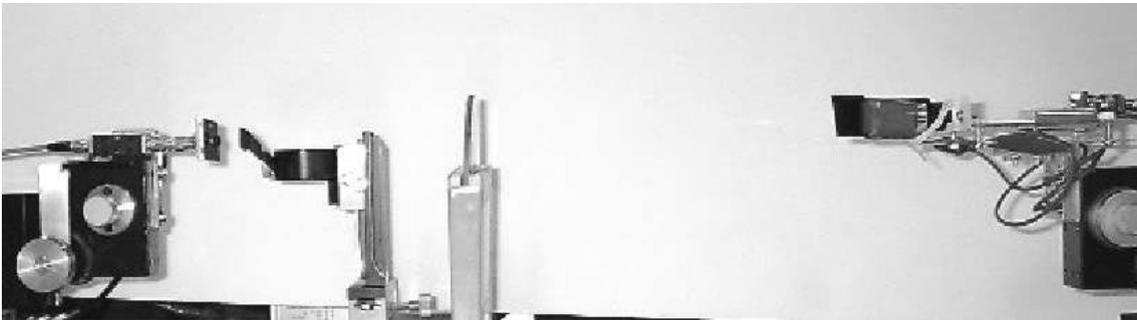


図 9 実験系

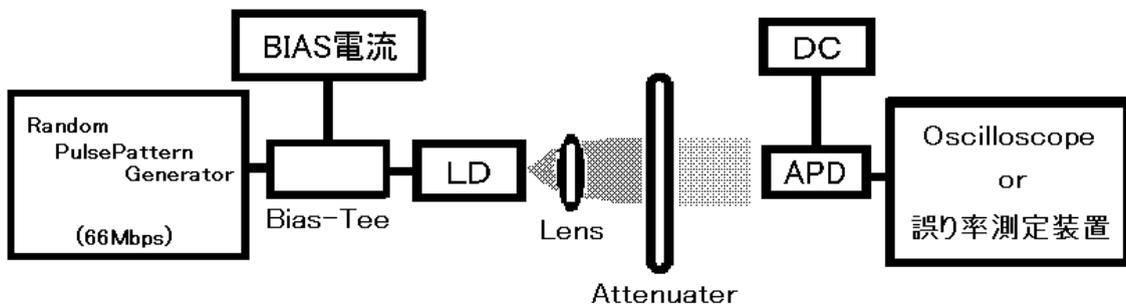


図 10 実験システムイメージ

出力結果として, ベースバンドの強度直接変調を行った LD 光出力信号の APD とオシロスコープで計測された波形と, その信号レベルの分布状態を表すヒストグラムを示す。

信号速度は 66Mbps で, 変調方式は NRZ (ベースバンド変調方式) を使用する。

受信器の特性で、波形の上部が信号のSpace (0)、下部がMark (1)となっている。ヒストグラムとは個々のデータを信号と全体の領域から定量する方法で、これから示すヒストグラムは一定時間内 (10ns) の、Mark、Space 信号の「時間分布」を表したものである。

まず、LD ~ APD 間の光アッテネータを調整し160cm 離れた場合とした(図 11)。波形も整っており、ヒストグラムの信号 Mark、Space の分布もばらつきが無く、はっきり分かれている (図 12)。エラーのない無線通信が可能である。

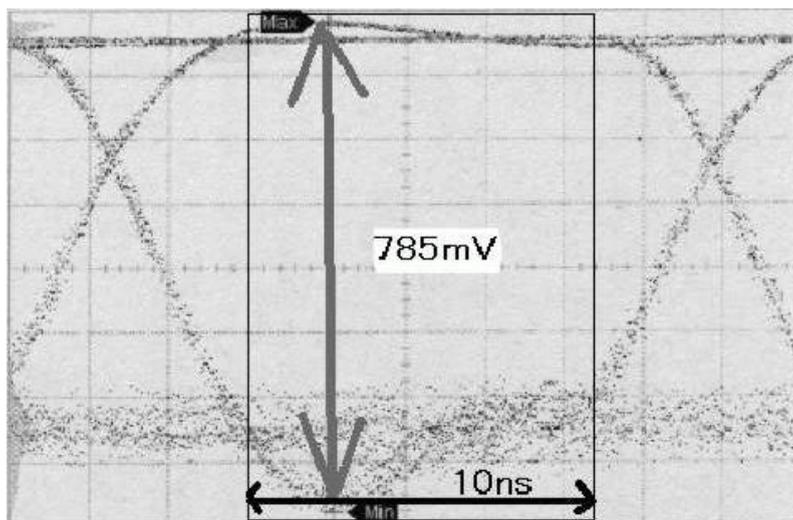


図 11 出力波形

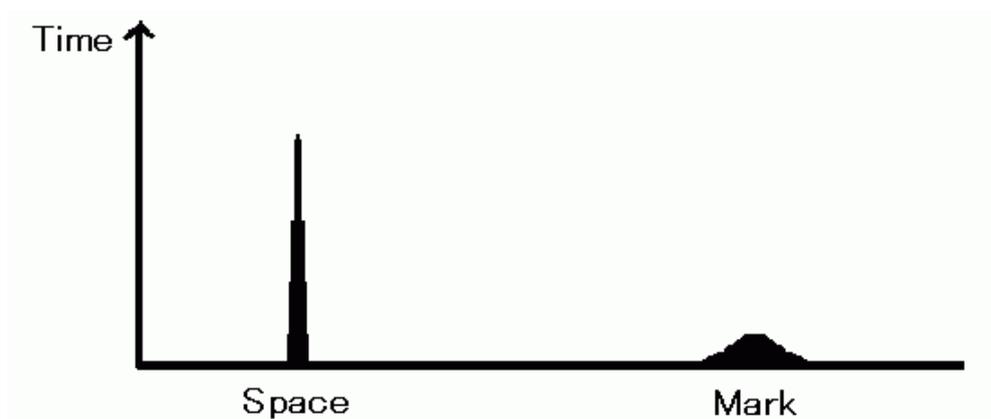


図 12 ヒストグラム

次に無線通信距離を上記実験の10倍、つまりLDからAPDの間を16m離れた場合と想定するとどうなるのか。

拡がり角のあるビームより小さい受光径の光受信器を用いると、距離の2乗に反比例して信号強度が低下する。信号レベルは後段の電気増幅器で補値可能であるが、信号ゆらぎによる雑音比は受光レベル低下につれ低下する。受信器入光パワーを1/100に抑制すると、波形の明らかな劣化が現れ(図14)、ヒストグラムに見られるように、Mark、Space信号の分布が判別ラインをまたいでしまった(図15)。信号誤りが多発している状態である。

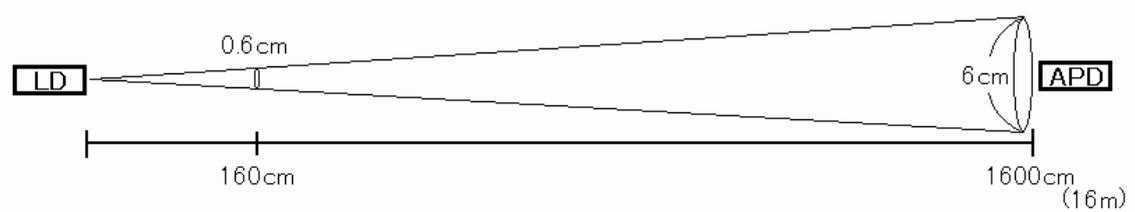


図13 ビーム光拡散

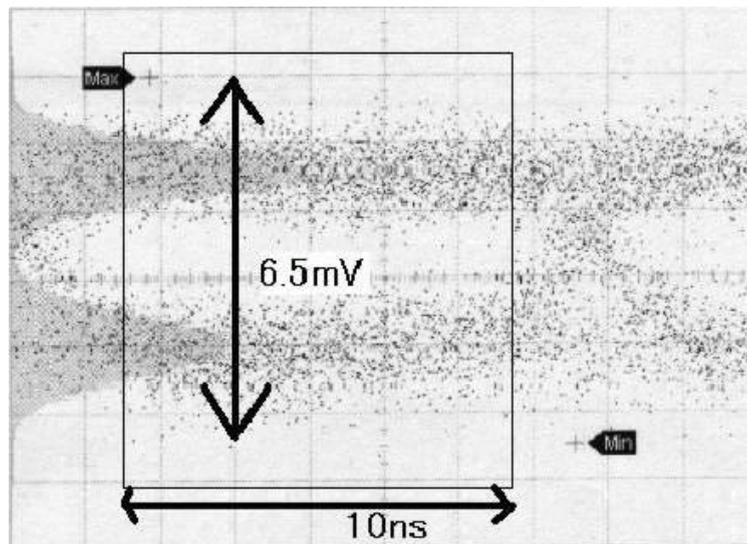


図14 出力波形

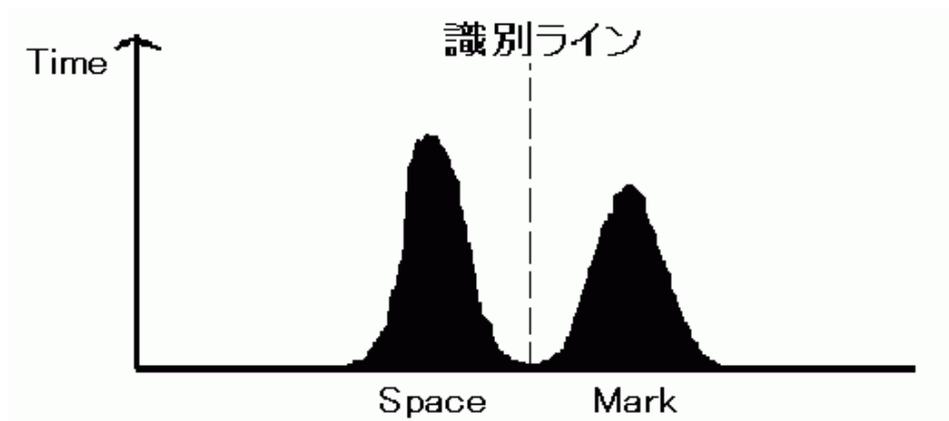


図15 ヒストグラム

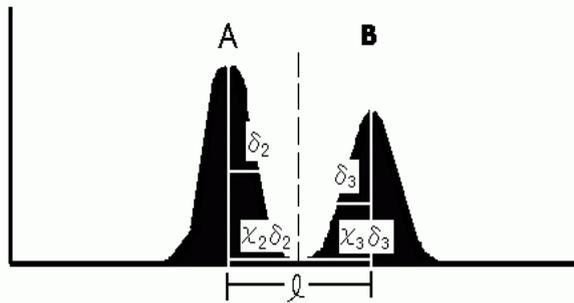
上記ヒストグラムよりエラーレートを求める。

Pseudo Random Bit Sequence (PRBS:擬似ランダム)パターンの特性により,

1 (Mark) 0 (Space) = 確率は 1:1

Mark 分布 = 0.5 (50%)

Space 分布 = 0.5 (50%)



$$A = 0.5 / \left( \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{x^2}{2\delta_2^2}} dx + \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\delta_2^2}} dx \right) \quad B = 0.5 / \left( \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{x^2}{2\delta_3^2}} dx + \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\delta_3^2}} dx \right)$$

エラー分岐点と, 中心点との距離の k に対する比を k とするとき,

$$l = \chi_2 \delta_2 + \chi_3 \delta_3$$

$$A e^{-\frac{(\chi_2 \delta_2)^2}{2\delta_2^2}} = B e^{-\frac{(\chi_3 \delta_3)^2}{2\delta_3^2}}$$

以上より  $\chi_2$ ,  $\chi_3$  を求める。

$\chi_2$ ,  $\chi_3$  を以下の式に当てはめる。

Mark, Space 領域においてエラーの起こる確率は,

$$\text{Mark} \left( A \int_{\chi_2 \delta_2}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\delta_2^2}} dx \right) / 0.5$$

$$\text{Space} \left( B \int_{-\infty}^{-\chi_3 \delta_3} e^{-\frac{x^2}{2\delta_3^2}} dx \right) / 0.5$$

両式を足しあわすと, ヒストグラムより導きだされるエラーレートが求められる。

以上より, 上記のヒストグラムから求められるエラーレートは, 0.00274% となった。

無線通信におけるエラーフリーレートは「 $1 \times 10^{-6}$ 」とされるが, 上記では「 $2.74 \times 10^{-5}$ 」となり, このエラーレートは無視できないものであると分かる。

そこで他の条件は変えず, APD の増倍率を通常の2倍に上げ, 再度測定した (図 16, 17)。識別性能が向上し, 信号の正しい判別が可能な状態になった。

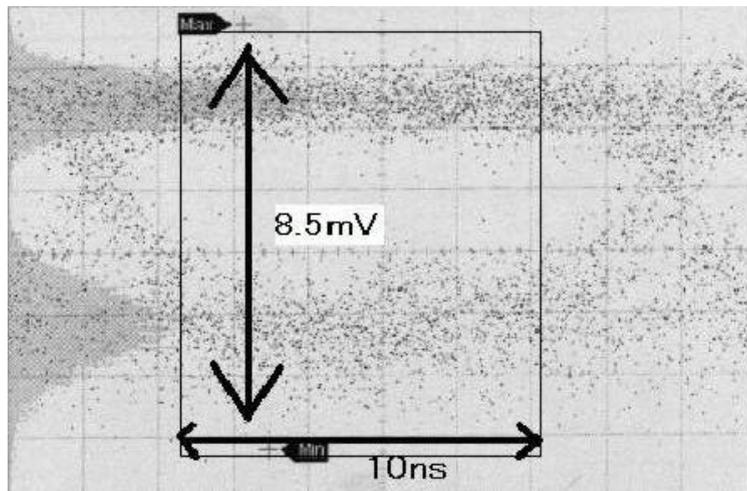


図 16 出力波形

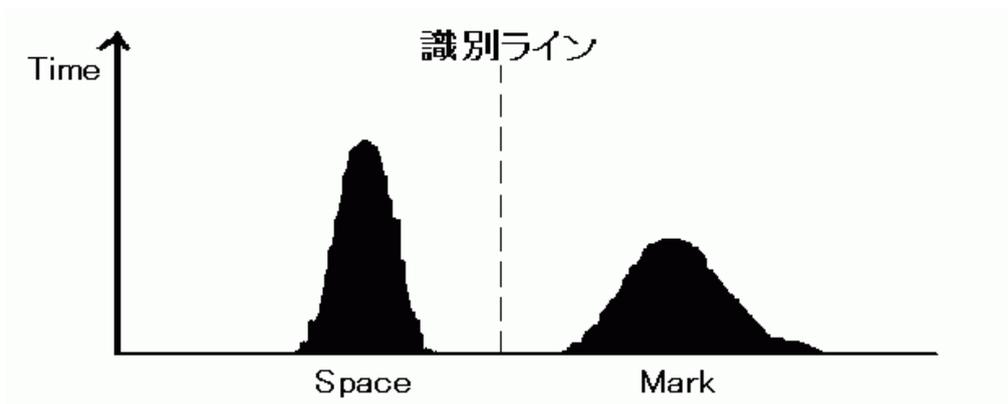


図 17 ヒストグラム

ただし, これ以上は想定距離を伸ばすことが出来ないため (信号が判別不能な程度まで劣化する), 当システムにおける最大無線通信距離は16m とする。

### 3-3-2 光アッテネーターの等価試験

光アッテネーターを用いLD からAPD の間の距離を離れたと想定した場合が、「実際にLD からAPD の間の距離を離れた場合」と等価となるかの確認を取るために、以下の実験を行った。

理論的には、距離がそれまでの 10 倍になると、受信光子数に起因する信号出力電圧は  $1/100$  となるはずである。

LD からAPD の間の光アッテネーターを調整し、初期設定160cm の10 倍である16m (受信電圧にして  $1/100$ ) の無線通信空間が存在すると想定した (図 18)。

次は実際に、LD とAPD を同一方向に向け、8m 前方に反射鏡を設置した (図 19)。LD からの光を反射鏡でAPD に向け反射する。これで16m の無線通信空間が存在することになる。

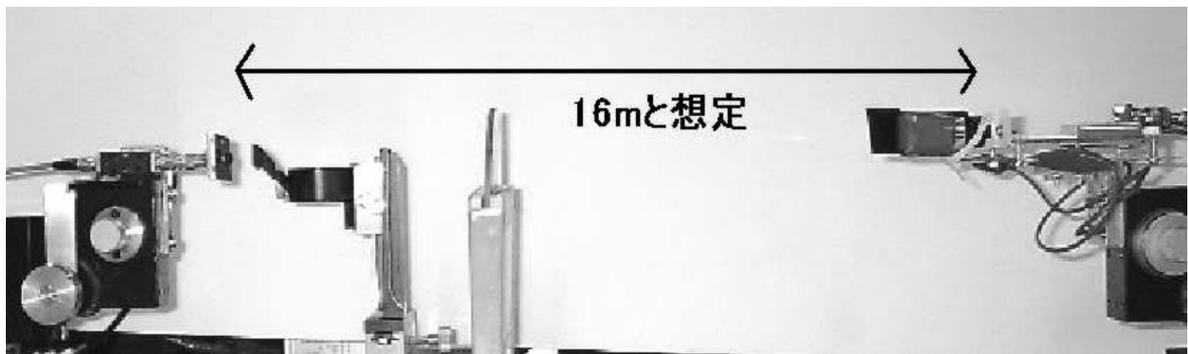


図 18 光アッテネーターによる距離想定実験

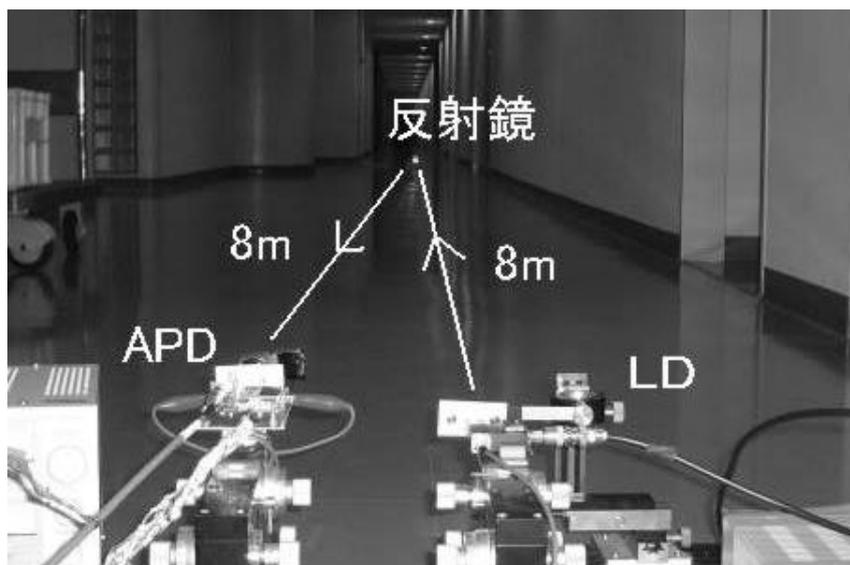
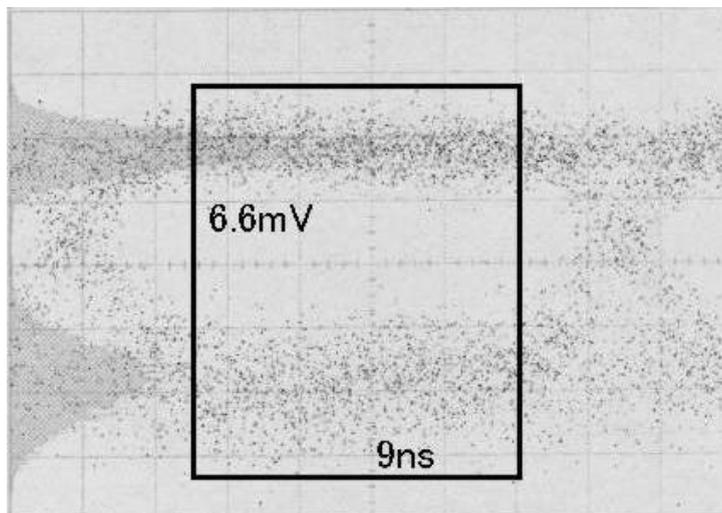
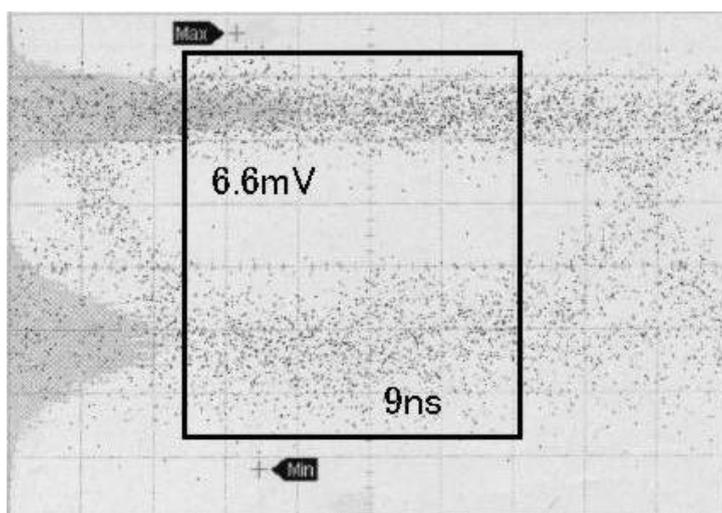


図 19 16m の無線通信空間によるフィードバック実験

下図 20に見られるとおり出力値は一致し、光 アッテネーターによる距離の想定は、実際に無線通信空間を取ったものと等価であると確認した。



(空間を16m取った場合)



(光アッテネーターにて16mと想定した場合)

図 20 出力波形の比較

ただし、上記フィールド実験では、ビームの広がり角を0.24度、APD到達点(LDから16m先)のビーム幅を直径6cmとした(図21)。これは実際にTracking機能を付加した場合に補正する余裕を持たせるためである。

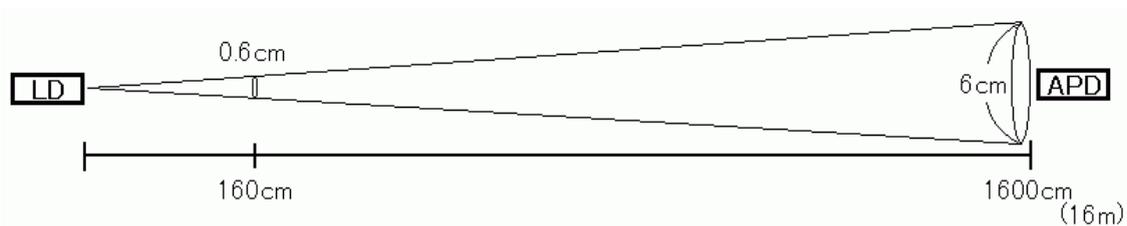
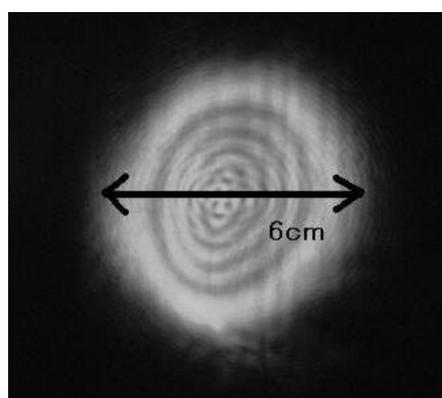


図21 ビーム光拡散



受信点でのビームパターン

図21のように、LD～APD間(空中伝搬距離)を離すごとに、ビーム光が拡散していくために、受信光子数に起因する信号出力電圧は低下していく。

また,上記のように,Tracking するためのビーム幅の余裕を持たせず,LD 光を APD 到達点で絞りこむようにすると,図22のように信号の精度に余裕が見られ,さらに遠距離まで光無線通信が可能である。

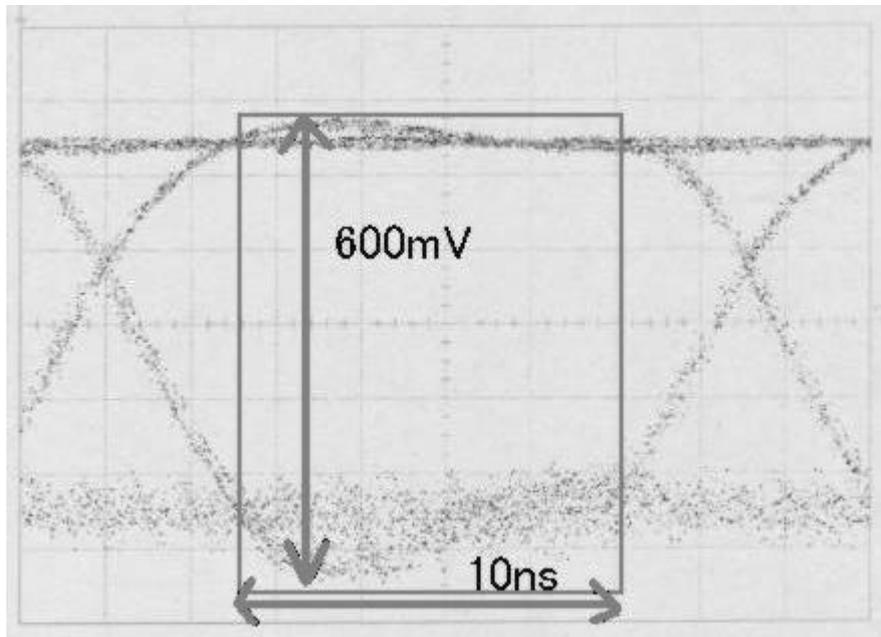


図 22 焦点を合わせた場合の出力波形

長距離無線通信が望めるが信号軸のブレには弱いため,用途としては固定据え付けタイプのビル間光無線通信として利用が考えられる。

### 3 - 4 Tracking Algorithm の机上検討

移動する端末を捕捉，追跡するための Tracking Algorithm の実装は，当研究において最も重要な部分といえる。受信部が通信中に移動しても，送信部とのリンクを意識する必要がない無線通信システムを実現したいと考える。

設置時の光軸のアライメントだけに Tracking 技術を活用するのも便利ではあるが，それでは市場革新性は小さい。自動追尾機構として，常時運用，付加価値化するのを前提としている。

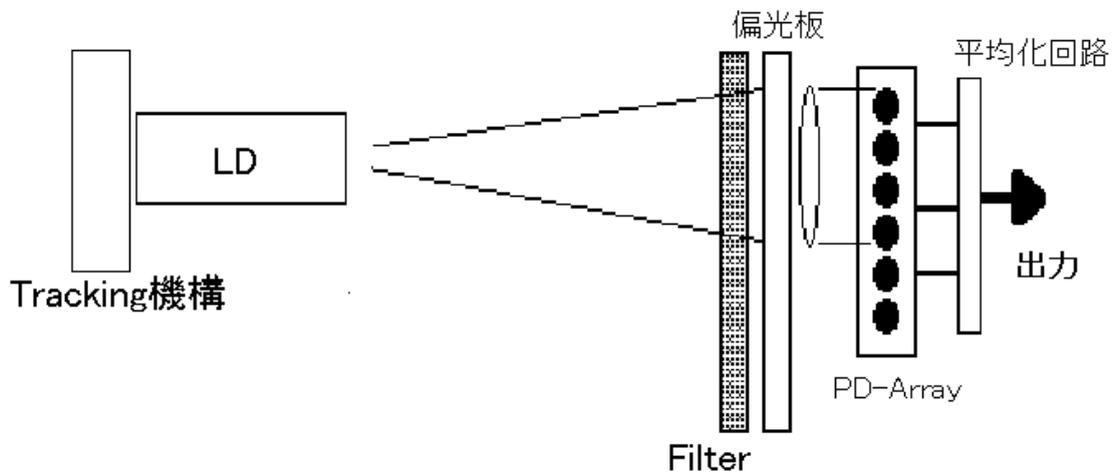


図 23 デモシステム

上図 23 に簡単なデモシステムを示す。

End to User の箇所での使用を考えると，受信端末は出来るだけコンパクトに仕上げたい。受信部 PD-Array を一つ一つの受信機として用いることにより，相加平均による雑音抑圧が優れたコンパクトな受信部の構築が可能である。

また，個々の PD の信号出力電圧差を監視すれば，位置把握，追い込み機能として利用できる。

次頁に受信部の形状案と受信部のパッケージ化した図を示す (図 24, 25)。

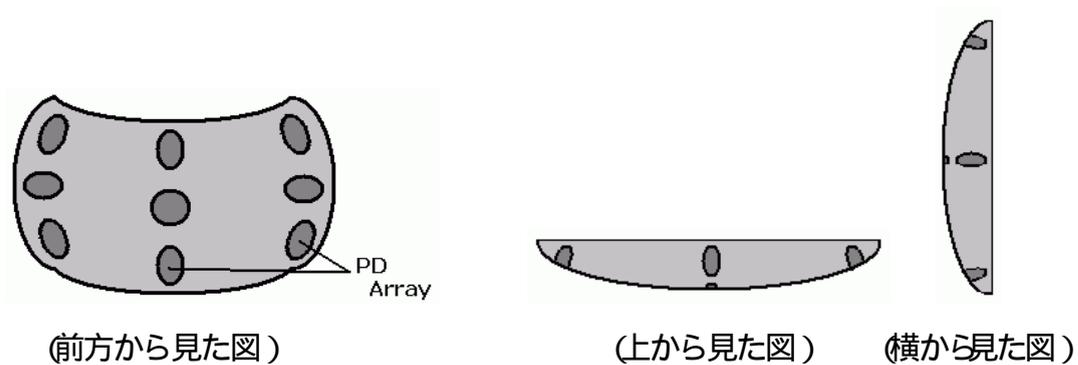


図 24 受信部の形状案

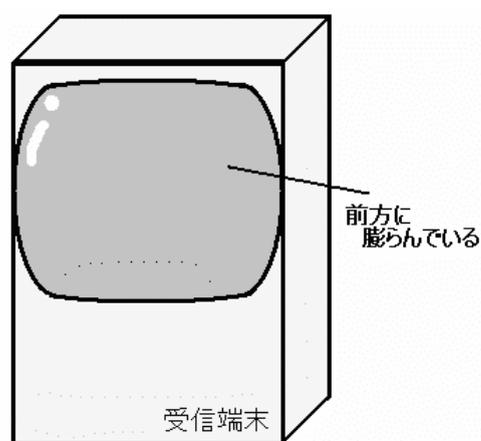


図 25 パッケージ案

送信部と受信部が常に対向しているなら、受信部は平面でもかまわないが、実使用を考えると、受信部が送信部と完全に対向していない(多少のねじれを持つ)場合は必ず起こりうる。上図のような形状なら、平面受信構造に比べ、より広い角度まで許容出来る(図 26)。

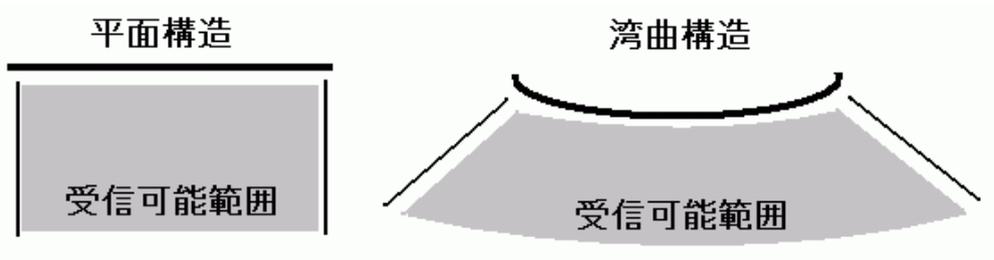
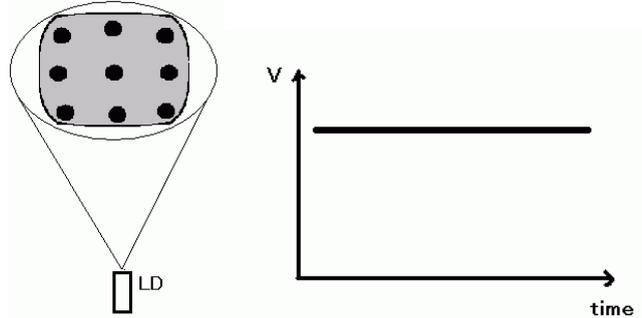


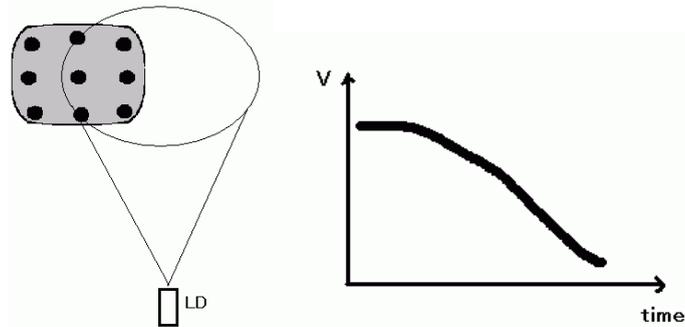
図 26 構造による受信可能範囲の比較

それではTracking システムの動作段階を示す。  
 図は対向している場合を想定しているが、受信部が送信部と完全に対向していない(多少のねじれを持つ)場合も以下のアルゴリズムが有効である。

正常に通信中。(受信部, 信号出力電圧の変化無し)



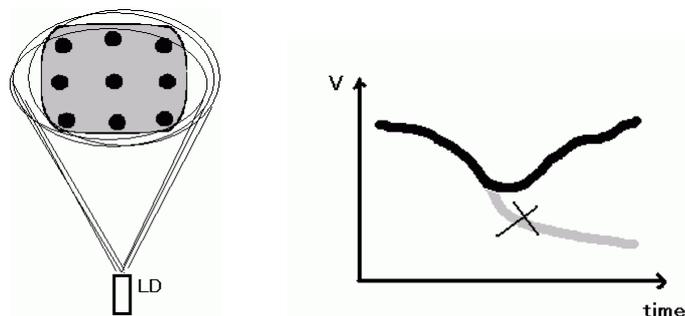
受信端末が移動する。PD-Array に入射してくる信号光の位置がずれていく  
 (信号出力電圧は低下していく)



受信端末から送信部に向けて, PD-Array のどの位置まで信号光がずれたのかの情報が伝送される。

送信部ですれを補正させる方向に光軸 (LD) を動作させる。

最適の信号出力電圧が得られる方向に微調整される。



以上の動作を, リアルタイムに運用。歩行程度の速度ならカバー出来るようにしたい。  
 また, 物理的に光軸が閉ざされたとしても, 数秒の無通信状態程度ならば, コネクションがリ  
 ジューム(再接続・再開)されるようなシステムが望ましい。

## 第四章 考察

### 4-1 課題と対策

以上の検討過程で明らかになった課題と対策を挙げる。

- 空中伝搬後の信号の劣化が激しい

拡散, 減衰を防止するため LD からレンズまでの構造を見直す。現在のシステムでは, 光パワーが「LD 直後 10mW, レンズ通過後 2.3mW」という大きな光結合損失が見られる。

そこで, 図 27 のように LD からレンズをパッケージ化してしまえば, 光パワーの減衰を防ぐことが出来, 焦点の調整も自由度が増すのではないだろうか。

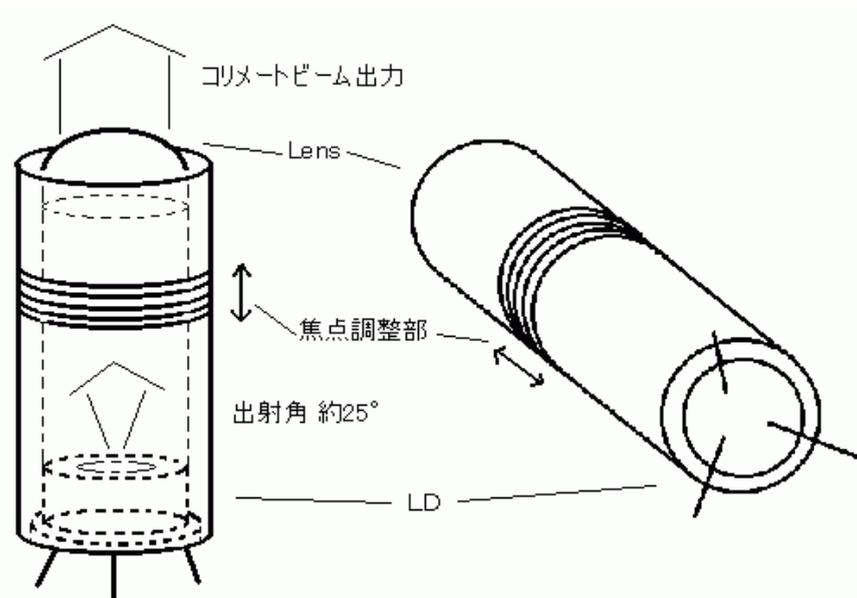


図 27 設計例

- 受信部を想定システムに最適化する

本実験で施行したように APD の増倍率の上昇も最適化の一つとなるが, 受信感度と同時に雑音信号入力も大きくなる。つまり受信感度と雑音信号入力は Trade-off の関係にあるといえる。

受信部を想定システムに最適化すれば, 最大無線通信距離もさらに延長出来る。

- 有線部分の電磁場対策

回路のコンパクト化やシールド処理を施すことによって、外部雑音混入を防ぐことが出来るはずである。下の図28の様な簡易的なものでも、信号の品質改善を計ることが出来た(図29)。最終的にはこれらの回路はすべて1パッケージ化して、浮遊雑音をカットする。

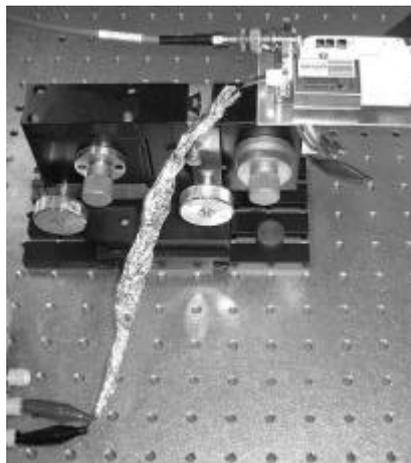


図28 撚り線, 初歩的なシールド

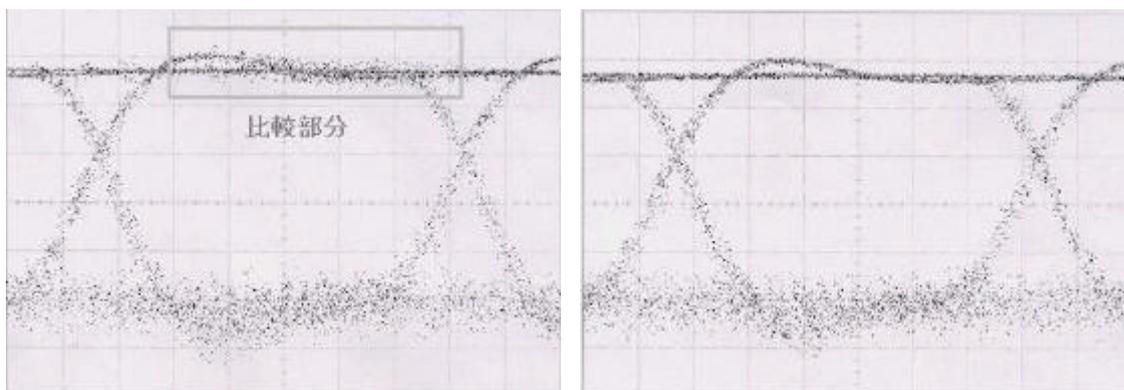


図29 左・シールド無し, 右・シールドあり

- 通信プロトコルの模索

以上の対策を講じてもある程度のBit 誤りが発生した場合に、それを許容出来、通信を継続することが出来る通信プロトコルの模索が挙げられる。

また、無線通信における一般的なエラーフリーレート(許容可能な誤り率)は $1 \times 10^{-6}$ だが、指向直射方式のビームならば、もっと高い精度 $1 \times 10^{-9}$ の伝送を行うのも可能なはずだ。その余裕を更なる伝送速度の向上や付加機能に振り分けるなどに有効利用出来る。

## 第五章 展望

### 5 - 1 将来の展望

無線 LAN システムは上で述べた通り、今後、急速に普及することが予想される。ただし、普及し、システムの数が多くなると、電波を利用した無線システムでは近接ネットワーク間における干渉の問題等が深刻になると考えられる。また、最近注目を浴びている無線通信インターフェイス Bluetooth も、同じ場所で利用すると相互に信号干渉が起こり、伝送速度が落ちることがわかっている。

以上検討した光無線通信システムならば、無線のような干渉の心配もなく、既存の赤外線通信を大幅に上回る伝送速度を持ち、端末の移動をカバー出来る。モバイルメディアを謳う現代では画期的なシステムであるといえる。

色々な要因で電波の使用が制限される病院、工場、危険地帯などのような場所でも他に干渉しない光無線通信システムなら、どのような大容量データも高速に送信できる。

また、コンパクトな構造を実現出来るために、屋内据え付け以外にも使用できる。例えば、車両やロボットに設置して相互通信も可能だ。ある端末が移動しており、ホスト送信部からの信号を受信出来なくても、他の端末がその信号を受け、届かなかった端末に伝送するというような相互リンク通信を使用すれば、作業効率は大きく向上するだろう (図 30)。

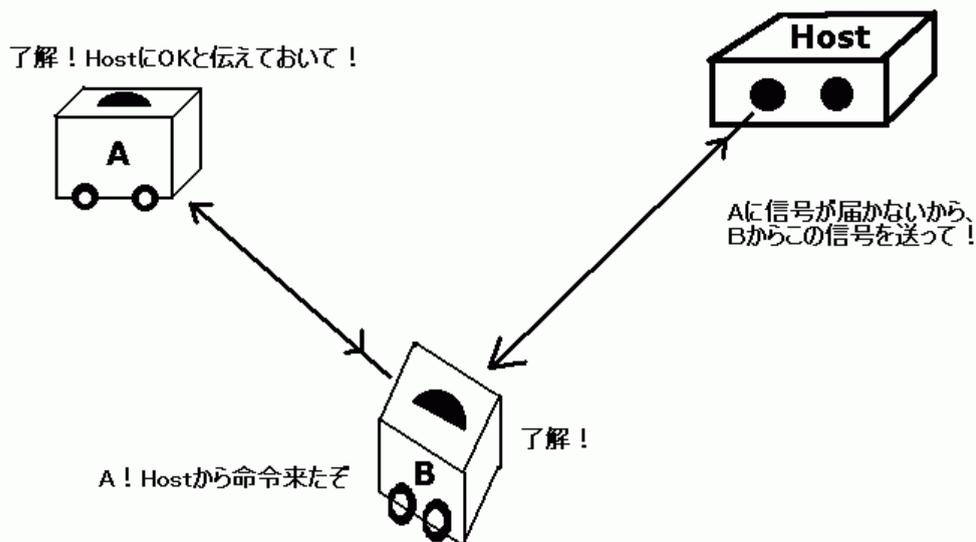


図 30 相互リンク通信の例

## 第六章 まとめ

### 6 - 1 最後に

交信可能領域における実験では、予想以上の信号劣化に見まわれ、劣化の解明、改善に努めることになった。結果、最大 16m までの光無線通信が可能となった。検討の過程で新たに改善すべき点も明らかになった。具体的には「空中伝搬後の信号の劣化が激しい」こと、「受信部が想定システムに最適化されていない」こと、「優先部分の電磁場雑音」らである。

オシロスコープより出力されるヒストグラムより、エラー率を導くことより信号精度の指標が立てられるようになった。これは大きな収穫である。

Tracking 機能はアルゴリズムの定義のみにとどまった。

今後は実験システムに盛り込みフィールド実験へと段階を移したい。

-----

光無線通信をはじめとするワイヤレス接続手段は、情報ネットワークの簡易な接続環境を提供するソリューションとして、現在は、主にオフィスにおけるコンピューターネットワーク用に受け入れられつつある。

一方今後、情報ネットワークはコンピューターネットワークだけではなく、オーディオやビデオ信号等をやりとりするマルチメディアネットワークとして家庭内にも浸透していくと予測されている。コンピューターネットワークとAV ネットワークが融合していくことも考えられ、数年後の家庭内では、PC とAV 機器が有機的に接続される家庭内ネットワークが構築される可能性も高い。

このように家庭内の機器が相互に接続される家庭内ネットワークが普及する時期におけるワイヤレス接続手段のニーズ、特に動画像等の高速伝送に適する光無線通信手段のニーズはますます高くなると予想される。そして、コンシューマ用途に近づけば近づくほど、リンクを意識しない無線確立方式を組み込むことが重要となり、Tracking Algorithm の精度が問われる。

しかし、テレビのリモコンやコードレス電話が当たり前になったように、光無線通信システムも当たり前のように家庭内にとけ込んでいる日も、決して遠い未来ではないはずだ。光無線通信システムは重要な通信技術であるとともに、人類の新たな営みを生み出す可能性も秘めていると考える。

## 参考文献

- |                |                                |
|----------------|--------------------------------|
| 前田隆正・加藤伊智郎     | “わかりやすい無線 LAN ” オーム社           |
| 宮本伸一・森永規彦・広橋一俊 | “室内光無線 LAN システム” オプトロニクス誌 1 月号 |
| 松下 温・中側正雄      | “ワイヤレス LAN アーキテクチャ” 共立出版       |
| 土谷武士・江上正       | “デジタル予見回路” 産業図書                |
| 本田 昭・城谷聡美      | “サーボ制御 理論と実践” 日刊工業新聞社          |
| 吉田 孝           | “改訂 レータ技術” 社団法人電子情報通信学会        |

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、終始懇切なる御指導、御鞭撻いただいた野中弘二助教授に心から感謝いたします。

本研究の場を与えていただき、御指導、御鞭撻を賜りました神戸宏教授に心から感謝いたします。

本研究の多くの部分で手伝っていただいた中野氏、竹内氏、寺西氏に感謝いたします。