

高速無線キャンパスネットワーク の構成法に関する検討

若原俊彦
松本充司

大和哲二*1
清水隆雄*2

カムギシャカザウラ

早稲田大学 国際情報通信研究センター

*1 オムロン(株) *2 (株)NTTデータ

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田1-3-10 29-7号館

Tel & Fax : 03-5286-9841 E-mail: wakahara@giti.waseda.ac.jp

あらまし 本論文は、昨年の8月に郵政省から初めて認可された60GHz帯のミリ波無線伝送システムを用いて、キャンパスネットワークの構成法について述べるとともに、回線設計法を報告するものである。本キャンパスネットワークでは、上記60Mbpsミリ波伝送方式を用いて新宿地区にある早稲田大学、学習院女子大学、工学院大学などの主要なビル間を100Mbps高速無線伝送方式で接続し、各ビル内のサブネットワークをIP接続し、遠隔講義や遠隔ゼミなどに使用するものである。60GHz帯は酸素吸収による距離減衰が大きく、距離の変化によるレベル変動、雨などの特性に基づく特性、さらに、アンテナを屋内設置する場合の窓ガラスによる減衰特性を考慮した回線設計が必要であり、具体的な設計法を示した。

キーワード: 60GHz帯無線システム、キャンパスネットワーク、回線設計、劣化配分、

Study on the Circuit Design of High-Speed Wireless Campus Networks

Toshihiko Wakahara, Tetsuji Yamato*1, Kamugisha Kazaura,
Mitsuji Matsumoto, Takao Shimizu*2

Global Information and Telecommunications Institute, Waseda University

*1 Omron Corp., *2 NTT Data Corp.

29-7 Building 1-3-10 Nishiwaseda, Shinjuku-ku Tokyo 169-0051

Tel & Fax: 03-5286-9841, Email: wakahara@giti.waseda.ac.jp

Abstract This paper presents the construction method and circuit design of the 60GHz wireless campus network. As this frequency band was approved to use without license for the first time last August in Japan, the characteristics of the wireless transmission wasn't fully cleared. We have constructed the new campus network in the Shinjuku area, in which the main buildings are connected by the 60GHz wireless system and the digital learning service and remote seminar service are going to be provided. As the 60GHz electric wave is affected by the oxygen gas and rain, the power level and interference noise characteristics, etc. are studied. Then the design method of this 60GHz millimeter wave wireless transmission system is presented to satisfy the error rate of less than 10^{-9} .

Keywords: 60GHz wireless system, Campus network, Circuit design, Deterioration distribution

1. はじめに

近年、インターネットの普及にともない大学などに高速イーサネットやATM-LANなど高速LANが導入されているが、遠隔のキャンパス間や他大学間など公道を隔てた建物内の講義室や研究室間には高速の専用線など公衆系の回線の導入が必要となる。本報告は、高価な専用線を導入せずにビル間ワイヤレスシステムとして60GHz帯のミリ波帯無線伝送方式を導入することにより、キャンパス内およびキャンパス間的高速通信を実現する高速キャンパスネットワークの構成法および回線設計法について述べたものである。

2. キャンパスネットワークの概要

2.1 無線キャンパスネットワークの構成

最近の企業や大学などにおいてネットワークトラフィックが増大し、ネットワークの高速化が要求されるようになった。昨年の8月に郵政省から省令が改正され、60GHz帯の電波使用割り当てがなされ、技術適合審査に合格した機器を使用すれば、無免許で使用可能となった[1]。早稲田大学では、この技術に適合し100Mbps高速伝送の可能な無線システムとして、60GHz帯のミリ波帯伝送システム[2]を用いてキャンパスネットワークを構築する[3]こととした。以下、この60GHz無線システムを用いてキャンパスネットワークを構成する場合の、

- 1) 回線設計条件
- 2) 降雨減衰による不稼働特性について述べることとする。

2.2 60GHz無線システム概要

検討対象とする無線系キャンパスネットワークで高速伝送を実現する60GHz無線システムの主要諸元を表1に示す。また、今回構築したキャンパスネットワークの構成の例を図1に示す。同図に示すように、60GHzシステムはキャンパス

表1 60GHz無線システムの主要諸元

項目	諸元	
アンテナ部	無線局種別	特定小電力無線局
	使用周波数帯	59GHz-61GHz
	送信周波数	59.21GHz(変動幅±500ppm) 60.11GHz(変動幅±500ppm)
	占有帯域幅	312MHz以下
	送信出力	10mW以下
	変調方式	ASK(振幅シフトキーイング)
	アンテナ	パッチアレイ(130mmx183mm) 利得: 29dBi
半値角	約4度(水平)、約3度(垂直)	
通信部	通信方式	1:1 全2重
	多重化方式	周波数分割多重(FDD)
	伝送速度	100Mbpsまたは155.5Mbps
	伝送距離	約400m以内(1リンク)
ビット誤り率	10 ⁻⁹ 以下	
ルーティング	レイヤ3SW	

内の400m以内のビル間通信に適用され、1km以上の区間および将来ともトラフィックの少ないと想定されるリンクには2.4GHzシステムが適用される。60GHzシステムのアンテナは、基本的にビルの屋上に設置され、アンテナ同士が相互に見通せる範囲のビル間通信を行う。ただし、アンテナの見通しがきかない場合には屋上に設置せず、屋内設置(図2の18号館)の場合もあり、この場合にはガラスの損失を考慮する必要がある。

2.3 60GHz無線システムの特徴

60GHz無線システムは、500MHz程度の広帯域が確保できるため、高速のデジタル伝送が可能であり、2値のASK(振幅シフトキーイング)でも、全2重の100Mbps以上の高速伝送が可能である。

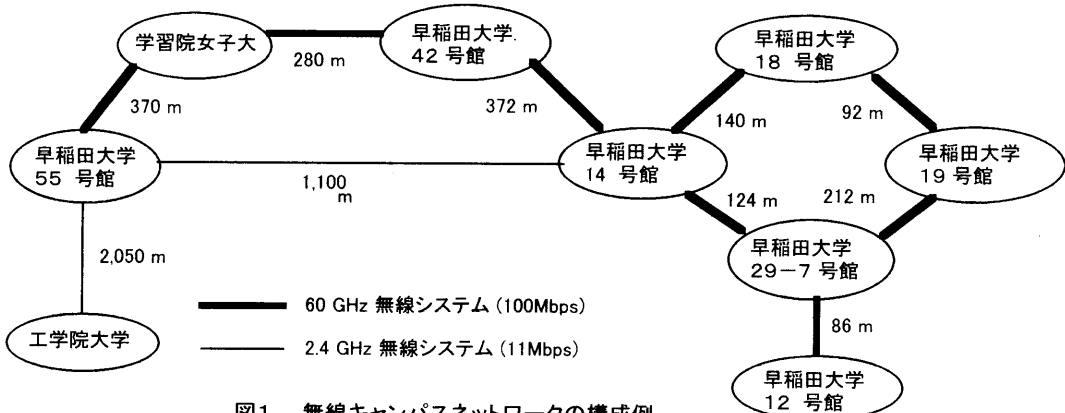


図1 無線キャンパスネットワークの構成例

アンテナはパッチアレイ型であり、送信および受信の利得はともに29dBiを確保できる。また、アンテナの指向性鋭く、水平方向の半値角は約4度、垂直方向も狭く度である。60GHzミリ波帯の伝送にあたっては、通常の自由空間での電波伝播損失以外に、雨や霧などの気象条件による減衰、酸素による減衰およびガラスによる減衰(屋内設置)の影響を考慮する必要がある。

3. 60GHz無線システムの回線設計法

3.1 システム目標

前節で述べたように、今回用いた60GHz無線システムは、100Mbpsの高速伝送を行っており、ASK(振幅シフトキーイング)変調するとともに、60GHz帯のキャリア周波数で変調し、周波数分割多重(上り:59.21GHz、下り:60.11GHz)により全2重双方向伝送を行っている。この伝送品質として、1リンクあたりビット誤り率として 10^{-9} を目標とし、最大10リンクで 10^{-9} を適用限界と設定する。

3.2 所要C/N

無線回線設計の設計にあたっては、種々の品質劣化要因を考慮し、所要のサービス品質を満たすように所要C/Nを求め、これに必要な送信出力や適用距離を定める。

まず、上記のビット誤り率 10^{-9} を満たすC/Nを求める。変調方式が2値のオンオフキーイング(ASK)で同期検波方式の場合のビット誤り率は近似的に以下の式で表される[4]。

$$Pe(\rho) = 1/\sqrt{\pi\rho} \exp(-\rho/4) \quad (1)$$

ここで ρ は、信号対雑音比である。

上式より、ビット誤り率 10^{-9} を得るためには、C/Nとして、18.5dBが必要となる。

3.3 受信電力

自由空間(Free Space)における伝送方程式は次式で表される。

$$Pr [dBm] = Gt [dB] + Gr [dB] + Pt[dBm] + 20\log(\lambda / (4\pi r)) - \alpha r - Lr - Lg \quad (2)$$

ここで、Pr: 受信電力
Pt: 送信電力
Gt: 送信利得
Gr: 受信利得
 λ : 波長
r: 伝送距離
 α : 酸素吸収による減衰量
Lr: 降雨減衰
Lg: ガラスによる減衰

である。

ここで、送信出力電力は、ASK変調を行い10mW(10dB)である。また、60GHzミリ波アンテナの利得は、パッチアレイアンテナを用いて送信側および受信側とも29dBiである。また、受信側の雑音指数(NF)は8dBである。

(1)自由空間伝播損失

$$\text{自由空間伝播減衰量は、} \\ 20\log(\lambda / (4\pi r)) \quad (5)$$

である。

(2)酸素減衰

60GHz帯の酸素減衰量は、以下の式で表される。

$$\alpha \times r \quad (6)$$

ここで、 α : 酸素分子による減衰係数(0.016 dB/m) r: 伝送距離(m)

である。

(3)降雨減衰

降雨減衰特性は、ITU-R Rep.563-4の降雨減衰理論式により算出するものとする。

減衰係数 γ (dB/km)と降雨強度R(mm/h)の関係は近似的に次式で表される。

$$\gamma = kR^\alpha \quad (7)$$

ただし、kおよび α は雨滴粒径分布など降雨の微細構造や電波の周波数、偏波などに依存する量であり、60GHzにおけるこれらの値は、 $k=0.642$ 、 $\alpha=0.826$ である[5][6]。

(4)窓ガラスによる損失

ガラスの材質、厚さにも依存するが、高断熱複層ガラスは30dB以上の損失があり、基本的に適用は無理である。

通常のプロット板ガラスの損失は、実験的に

$$Lg(dB) = 0.5t(mm) + 0.1 \quad (8)$$

tはプロット板ガラスの厚み(mm)

で表され、10mm程度の厚みの場合に、約5dBの損失となる。

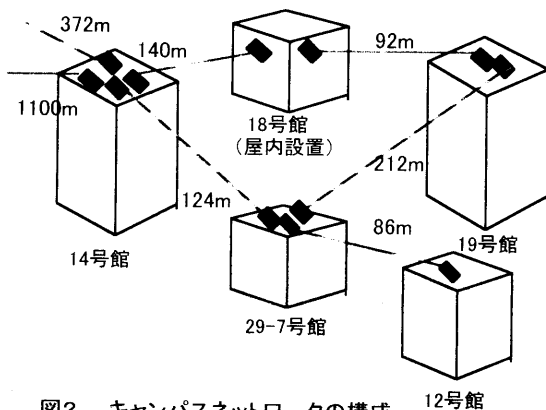


図2 キャンパスネットワークの構成

3.4 雑音電力

受信雑音電力は、以下の式で得られる。

$$P_n = 10 \log(kTW) \quad (9)$$

ここで、k:ボルツマン定数
T:周囲温度[K]
W:受信帯域幅[Hz]

である。

3.5 信号対雑音比

以上により算出した受信信号電力と雑音電力との比率がS/Nであり、この値とビット誤り率 10^{-9} に必要な所要C/Nとの差がマージンとなり、装置の劣化分や天候による降雨減衰の劣化などに割り当て可能である。

3.6 具体例および最大適用距離

具体的なパラメータの数値を表2に示す。これを用いて、29-7号館と12号館(距離86m)の信号および雑音電力を算出し、適用距離を求める。

自由空間伝播損失: -106.7dB

酸素減衰: 1.376dB

降雨減衰: 1.7dB(降雨時間率: 0.01%)

窓ガラス減衰: 0dB

受信信号電力: -41.7dBm

受信雑音電力: -86.8dBm

このとき、マージンは15.6dBとなる。降雨時間率が0.01%の場合は、1年間に1時間以内(52.5分)の瞬断または不稼働時間となる。

なお、図3に降雨時間率と降雨強度および降雨減衰量の関係を示す。同図は、ITU-R Report563-4の日本の南部の年間降雨時間率(0.1%, 0.01%, 0.001%)の降雨強度(22mm/h, 63mm/h, 120mm/h)およびその降雨減衰量(0.7dB, 1.7dB, 2.9dB)を示している。

表2 60GHz無線システムの回線設計条件

項目	条件
中心周波数	60GHz
変調方式	ASK
送信電力	10mW
受信帯域幅	500MHz
雑音指数	8dB
アンテナ利得	送信: 29dBi 受信: 29dBi
ビット誤り率	10^{-9} 以下/リンク
受信雑音電力	-86.8dBm
伝送速度	100Mbps
伝送距離	約400m以内(1リンク)

なお、このマージンが0となる距離を算出すると、370mとなり、この距離が最大適用限界といえることができる。ただし、このときは、降雨減衰に対する劣化分の割り当てが出来ないため、降雨時間率が0となるので望ましくはないが、無線装置の劣化分が3dBよりも小さければこれを割り当てることになる。

4. 実験[7]の評価

4.1 ビット誤り特性

受信レベルを変えて、C/N比を変化させ、パケットロス特性を収集してビット誤り率に換算したものを図4に示す。同図で破線は計算値であり、式(1)から算出したものである。この図から、 10^{-9} における計算値からの劣化は、約3dB

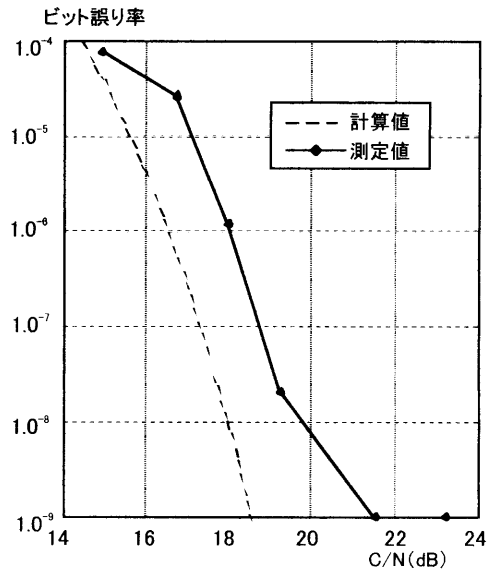


図4 C/Nを変化させたときのビット誤り特性

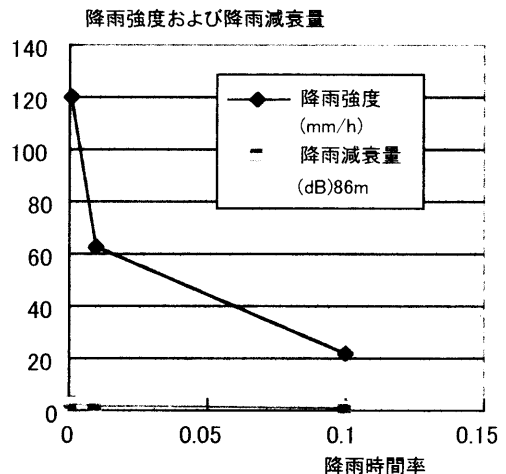


図3 降雨時間率と降雨強度および降雨減衰の関係

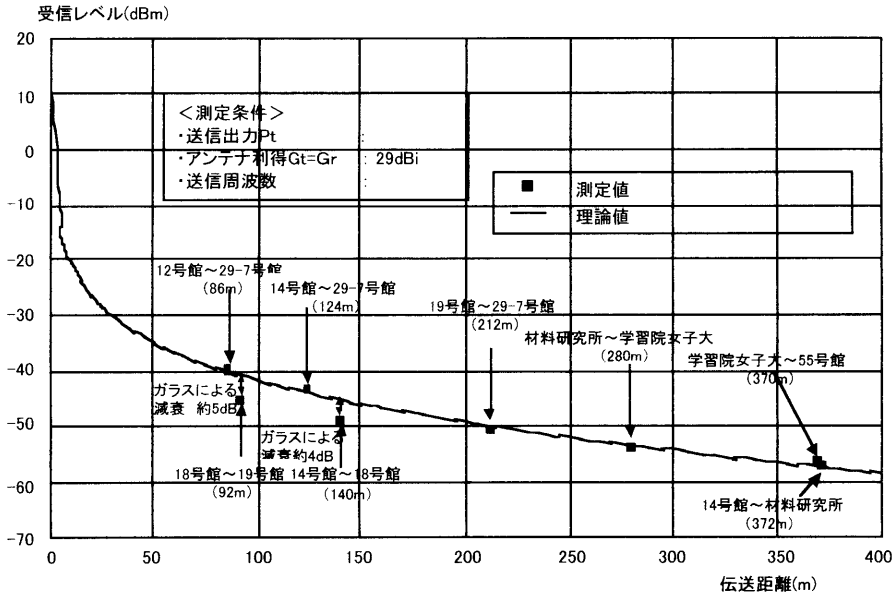


図5 伝送距離に対するレベル変動特性

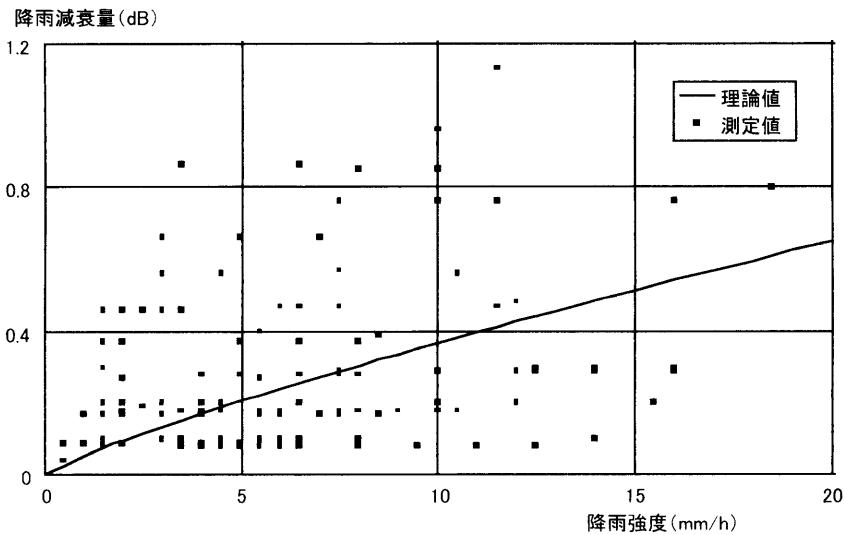


図6 降雨強度と降雨減衰量の関係

であり、ほぼ良好な特性がえられたことがわかる。

4. 2 レベル変動特性

各ビル間で距離を計測するとともに、信号の受信レベルを測定し、自由空間の減衰量および酸素減衰、ガラスのロス特性を測定した。図5に示す。同図で、実線は計算値であり、ロスの実測値はほぼ計算値通りであった。図6に、降雨強度と降雨減衰量の関係を示す。同図で、実線は式(7)により算出したものであり、点が実測したものである。同図に示すようにならつきが見られた。これは、降雨強度は1分間あたりの降雨量を1時間

あたりに換算するために、測定された1分間に瞬間的に強く降った時の受信レベルと降雨強度の測定値が正確にリンクしない可能性がある。また、受信レベルは、10秒毎にサンプリングで測定しているため、降雨により受信レベルが大きく減衰した瞬間のデータが測定できていない可能性がある。さらに、降雨強度が数mm/hでも60GHz無線装置のアンテナ面に直接雨滴が掛かり水流が生ずると、降雨減衰量が大きめに測定される可能性もある。

5. まとめ

以上、60GHz帯を用いたキャンパスネットワークの回線設計法について述べ、60GHz帯の無線伝送システムの電波伝搬特性を考慮した回線設計を検討した。この周波数帯の無線伝送方式は、自由空間伝播損以外に、酸素減衰、降雨減衰やガラス損失などがあり、1リンクあたり 10^{-9} のビット誤り率となる適用距離の限界は370mであることが明らかとなった。この距離制限のため、広大なキャンパスを有する郊外の大学には必ずしも適さないが、都心のビル群で構成されるキャンパスの大学には、隣接の大学を含めたキャンパス間ネットワークを容易に構築できる。また、この60GHz無線方式を用いたキャンパスネットワークの実験を行い、受信信号のレベル特性、ビット誤り特性など良好な特性が得られた。ただし、降雨減衰特性はかなりばらついているので、測定系を含めた要因を調査するとともに、今後、長期にわたり天候が無線システムの伝送品質などに及ぼす影響を調査する予定である。

謝辞

本研究に関し、電気通信普及財団に援助いただき深謝いたします。

参考文献

- [1]電波法改正に伴う関係省令の一部改正について
<http://www.mpt.go.jp/policyreports/japanese/radio/00714j01.html>
- [2] S. Hakusui, "60GHz Point-to-Point Communication System: The solution to the Last Mile Problem", The 7th International Workshop on Mobile Multimedia Communications, AT-1 MoMuC2000 (2000 Oct.)
- [3] 松本、若原、清水、小原、加山、大和、藪、中辻、"60GHz帯ワイヤレスシステムを用いたキャンパス間ネットワークの構築"、2001年電子情報通信学会総合大会D-9-25 (2001)
- [4] デジタルマイクロ波通信、(株)企画センター
- [5] 上瀧、"ミリ波技術の手引きと展開"、リアライズ社(1993)
- [6] 上瀧、瀧本、"ミリ波技術の基礎と応用"、リアライズ社(1998)
- [7] 若原、松本、大和、小原、清水、中谷、藪、中辻、"60GHz高速無線キャンパスLANの実験的検討"、信学技報MoMuC2000-4 pp.19-24 (2001)