

積雪寒冷地における可視光通信LEDの通信能力の検討*

A Study of Visible Light Communication System utilizing LED in Snowy Cold Region *

内藤恵*¹・萩原亨*²・亀山修一*³・苫米地司*⁴・佐藤威*⁵・福蘭一幸*⁶

By Megumi NAITO*¹・Toru HAGIWARA*²・Shuichi KAMEYAMA*³

Tsukasa TOMABECHI*⁴・Takeshi SATO*⁵・Kazuyuki FUKUZONO*⁶

1. 研究の背景と目的

視認性と経済性に優れたLEDの普及により、道路照明や交通信号機のLED化は急速に進んでいる。また、可視光通信技術の進歩により、反応速度が極めて速く、電気的制御が容易なLEDを使用した可視光通信LEDの実用化が進められている¹⁾。可視光通信とは、LEDなどの光源から発生する可視光、つまり、目に見える光を人間の目が判別できない高周波数で点滅（変調）させ搬送波とし、それを携帯端末に備え付けた受光センサで受信する無線通信方法である。可視光通信は無線通信の一種であるが、電波ではなく光を使用するため電波法の制約を受けず、高速、広帯域の伝送路が実現可能である。さらに、可視光通信LEDは、通常用いられているLED製品に変調装置を付加するだけでよいから、近年のLEDの普及状況から考えても、既存のインフラを利用した低コストで広範囲な整備が可能という利点を有する²⁾。

この可視光通信LEDを用い、ITSや位置情報の提供を行う試みがなされている³⁾。しかし、可視光通信は雨、霧、雪など気象の影響を受けやすいという欠点がある。特に、降雪、吹雪などの冬季気象条件が可視光通信に及ぼす影響については解明されていない。積雪寒冷地において可視光通信LEDを屋外で使用する場合には、降雪や吹雪などの気象状況が可視光通信能力に及ぼす影響を解明する必要がある。

本報では、積雪寒冷地特有の気象状況である着雪と降雪が、可視光通信LEDの通信能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、室内実験を実施した。

2. 着雪および降雪が可視光通信型LED信号機の通信能力に及ぼす影響

着雪および降雪が通信能力に及ぼす影響を解明するために、(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟において、着雪および降雪時の可視光通信能力の測定を行った。なお、本測定では、可視光通信技術を利用した新たな歩行者ITSの一つとして有力視されている歩行者用LED信号機に変調装置を付加させた可視光通信型LED信号機を使用した。また、外乱光の影響を防ぐため、実験室内は暗室状態とした。実験概要と解析方法および結果を以下に示す。

(1) 測定概要

図-1 に示すように、ファンクションジェネレータ（FG）からある周波数の方形波を入力して赤色 LED を高速点滅させ、それを距離 L だけ離れた光センサで受光した。光センサで受光した可視光は電圧に変換され、デジタルオシロスコープ（OS）によって図-2 のような波形として観測される。観測された波形のシグナル成分

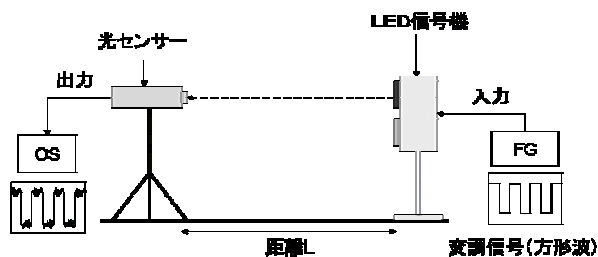


図-1 可視光通信能力の測定方法

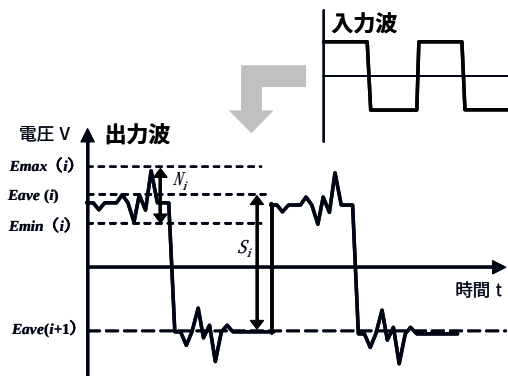


図-2 入力波と出力波モデル

*キーワード：ITS、可視光通信、積雪寒冷地

*¹ 学生員、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目

TEL011-706-6822、FAX011-706-6211)

*² 正員、北海道大学大学院工学研究科

*³ 正員、北海道工業大学

*⁴ 北海道工業大学

*⁵ (独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所

*⁶ 星和電機株式会社

(S_i) とノイズ成分 (N_i) から式 (1) を用いて、情報通信能力を示す指標である信号対雑音比(SNR)を算出した。

$$SNR = 20 \log(S_i / N_i) \quad (1)$$

ここで、 $SNR : SN$ 比(dB)

$$N_i = E \max(i) - E \min(i)$$

$$S_i = Eave(i) - Eave(i + 1)$$

理論的には、シグナル成分がノイズ成分の 2 倍以上となると、すなわち、 SNR が $6dB$ 以上の場合、可視光通信が可能となる。

a) 着雪時の可視光通信能力の測定

信号機への着雪が可視光通信能力に及ぼす影響を検討するために、霧吹きとふりいを用いて、赤色灯器表面に人工雪を付着させて可視光通信能力を測定した。光源の明るさを把握するため、輝度計を用いて輝度の測定も同時に行った。着雪には、防災実験棟の降雪装置で作成した樹枝状結晶のほぼ新雪状態の人工雪(雪密度: $0.04 \sim 0.1$)を使用した。また、測定距離 L を片側 2 車線の道路幅員に相当する $18m$ に設定した。測定に用いた変調周波数、平均着雪厚さおよび雪密度を表-1 に示す。表中のケース 1 は着雪なし、ケース 2~6 は、赤色灯器全面に着雪させ、着雪厚さを変化させたものである。なお、着雪時の気温は、 $-5^{\circ}C$ とした。

b) 降雪時の可視光通信能力の測定

降雪が可視光通信能力に及ぼす影響を検討するために、信号機と受光センサの間に図-3 に示すような降雪装置を設置し、降雪量と降雪範囲を制御した状況で可視光通信能力を測定した。なお、本測定で用いた人工雪は、着雪時の測定と同じであり、測定距離も着雪時の測定と同じ $18m$ とした。また、降雪装置の下部に設置した $20cm$ 四方の計量枡から降雪強度を算出した。降雪装置を使用した降雪は、受光センサ直前の僅かな範囲に限定されるため、降雪状況に斑が生じやすいことから、 SNR を算出する際には、電圧の実効値が最も低い範囲を用いた。

(2) 着雪が通信能力に及ぼす影響

着雪時における可視光通信能力の測定から得られた平均着雪厚さと輝度の関係を図-4 に示す。信号灯器への着雪厚さが増すと輝度が低下する傾向が見られた。また、僅かな着雪であっても、輝度が大きく低下している。

平均着雪厚さと SNR の関係を図-5 に示す。いずれの周波数においても、信号灯器の着雪厚さが増すと SNR が低下する傾向が見られた。特に周波数 $1000kHz$ では、平均着雪厚さが $4cm$ を越えると SNR が $6dB$ 以下まで低下し、可視光通信が不可能になる。この結果と図-4 を比較した場合、着雪厚さによる SNR の低下割合は輝度の低下割合よりも小さいことから、可視光通信能力は

表-1 測定シリーズ

case	平均着雪厚さ(cm)	雪密度(g/cm^3)	変調周波数(kHz)
1	0	-	
2	0.9	0.070	100
3	2.5	0.066	200
4	4.2	0.099	500
5	6.8	0.061	1000
6	9.6	0.060	

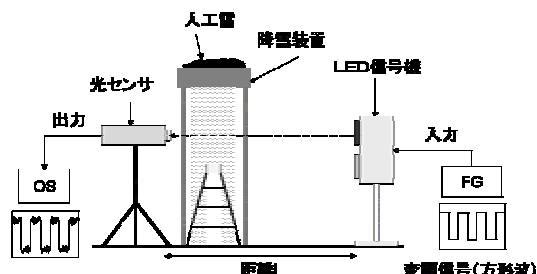


図-3 降雪を制御した状態での通信能力の測定

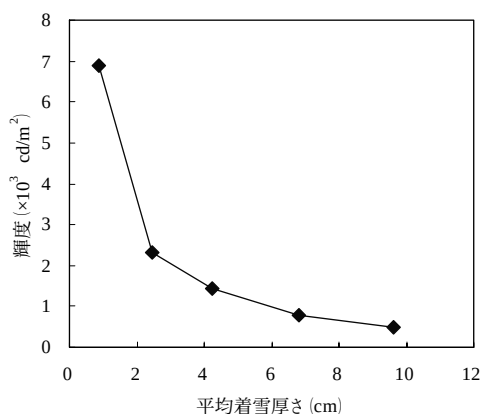


図-4 輝度と平均着雪厚さの関係

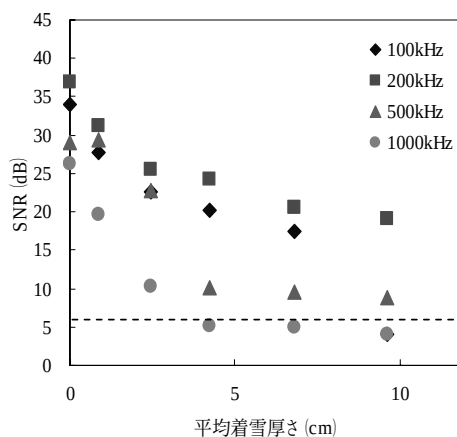


図-5 平均着雪厚さと SNR の関係

輝度ほど着雪の影響を受けないと考えられる。

(3) 降雪が通信能力に及ぼす影響

降雪時における可視光通信能力の測定から得られた周波数 $100kHz$ のときの降雪強度と SNR の関係を図-6 に示す。降雪強度が大きくなるにしたがって SNR が減

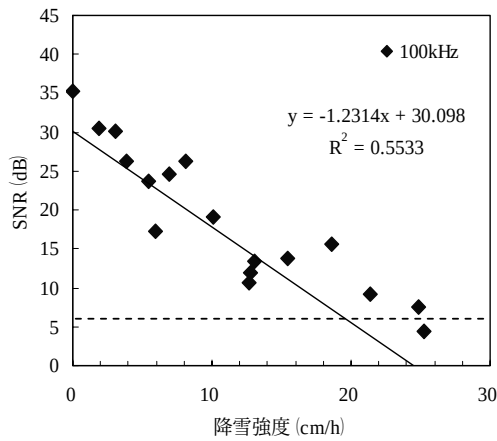


図-6 降雪強度と SNR の関係

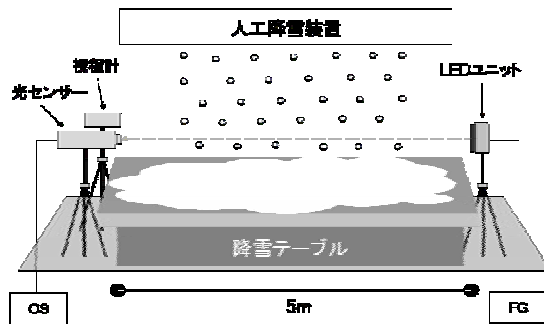


図-7 降雪時における通信能力の測定

少する傾向が見られた。SNR が可視光通信可能と判定される 6dB を下まわるのは、降雪強度が約 25cm/h であった。しかしながら、屋外では猛烈な吹雪の場合であっても降雪強度は 6cm/h 程度であることから、距離が 18m 程度であれば、自然降雪下においても可視光通信型 LED 信号機によって十分情報通信ができると言える。

3.降雪が可視光通信 LED の通信能力に及ぼす影響

前章において、可視光通信型 LED 信号機を使用した場合、距離が 18m 程度であれば、降雪下においても十分情報通信ができるという結果が得られた。自然降雪下では、降雪強度の最大値が 6cm/h 程度と予測されることから、降雪の影響を評価するには、信号機では光強度が強すぎると判断し、光源を可視光通信型 LED ユニットに変更した。なお、LED ユニットとは、LED 素子を 5×5 個に配置したものである。

(1) 測定概要

前章で示したような降雪方法では、降雪が受光センサー直前の僅かな範囲に限定されるため、実現象との比較が難しい。そこで、本測定では、図-7 に示すように、降雪状況が実現象により近くなるように、光源と受光部の範囲全体に降雪させた。光源には、赤色 LED ユニットを用い、光強度（電圧）を変化させて測定を行った。

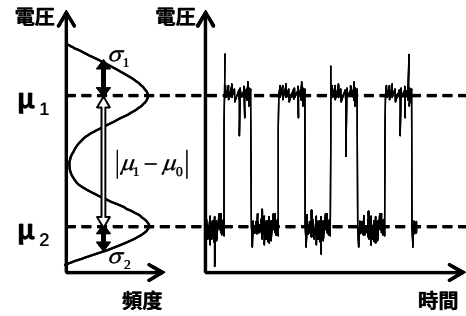


図-8 電圧の度数分布

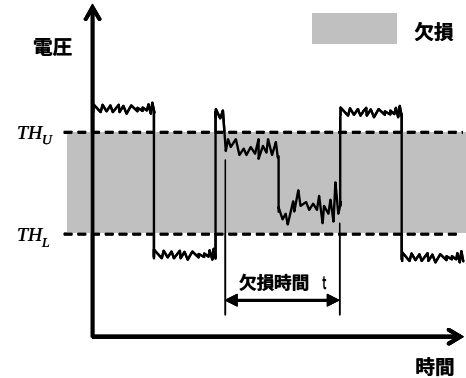


図-9 欠損時間の算出

また、外乱光の影響を防ぐため、実験室内は暗室状態とした。測定に用いた変調周波数は、100, 500, 900kHz の 3 種類とし、光強度は 20V とした。また、降雪強度は無降雪、弱（0.3cm/h）、中（1.0cm/h）、強（2.0cm/h）の 4 段階に設定し、1 パターンにつき 300 回（合計 30 秒）の測定を実施した。これと同時に、前方散乱型の視程計を用いて 5 秒間隔で視程を測定し、降雪強度が弱・中・強のときに測定された視程の平均値（500m, 800m, 1500m）を以後の解析に用いた。

観測された電圧波形から、 Q_m 、信号強度および連続欠損データ数を算出した。

Q_m は、観測された電圧波形から、図-8 に示すような電圧の度数分布を求め、雑音振幅と信号振幅から式 (2) によって算出した。

$$Q_m = |\mu_1 - \mu_0| / (\sigma_1 + \sigma_0) \quad (2)$$

ここで、

$\sigma_1 + \sigma_0$: 雑音信号

$|\mu_1 - \mu_0|$: 信号振幅

雑音振幅の増加、あるいは信号振幅の減少に伴い Q_m が低下するため、 Q_m は本実験のように方形波を搬送波に用いた場合の情報品質を表す指標となる⁴⁾。

情報通信の品質向上のためには、欠損データの連続性を評価することが重要となると考えられることから、図-9 に示すように、欠損時間が 10μs 以上となる個数

(連続欠損データ数) をカウントした。本研究では、欠損データを、しきい値 (TH_U , TH_L) を超えないデータと定義した。本研究では、 TH_U は電圧の最大値の 50%, TH_L は電圧の最小値の 50% とした。

(2) 信号の情報品質と視程の関係

視程と信号強度の関係を図-10 に示す。赤色 LED では、視程の低下に伴い、信号強度が低下する傾向が見られ、特に、視程が 800 m 以下になると信号強度が急激に減少することがわかった。

視程と Q_m の関係を図-11 に示す。周波数の増加にともなって Q_m が減少した。また周波数が 500kHz, 900kHz の場合で、視程が変化しても Q_m に変化は見られないが、100kHz の場合では、視程の低下にともなって Q_m が減少する傾向が見られることから、搬送波の周波数が小さいほど情報品質は高くなるが、同時に視程の影響も受けやすくなることが分かる。

視程と連続欠損データ数の関係を図-12 に示す。視程の増加にともなって連続欠損データ数が大きくなり、特に、視程が 800m 以下になると連続欠損データ数が大きく増加した。

4. 結論

可視光通信型 LED 信号機の通信能力測定試験の結果、信号灯器への着雪厚さが増加すると SNR が低下し、変調周波数が大きくなるほど着雪の影響が大きくなることが分かった。また、変調周波数が 100kHz の場合では、降雪強度の増加にともなって SNR が減少する傾向が見られた。

可視光通信 LED ユニットを用いて、降雪量を変化させて情報通信能力を測定した結果、視程の減少にともなって信号強度と Q_m が低下し、欠損率と連続欠損データ数が増加すること、その傾向は視程が 800m 以下になると顕著になることが分かった。また、変調周波数が大きくなるほど Q_m は低下し、欠損率が増加することが分かった。

以上のことから、可視光通信 LED は、降雪の影響を受け、情報品質が低下することが明らかとなった。今後は、屋外冬期フィールドにおいても同様の測定を実施し、実現象下における影響を明らかにする予定である。

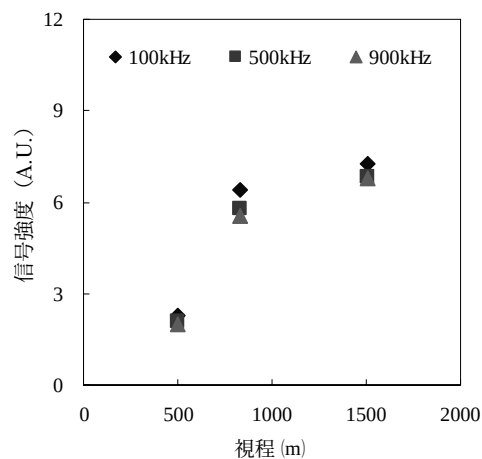


図-10 視程と信号強度の関係

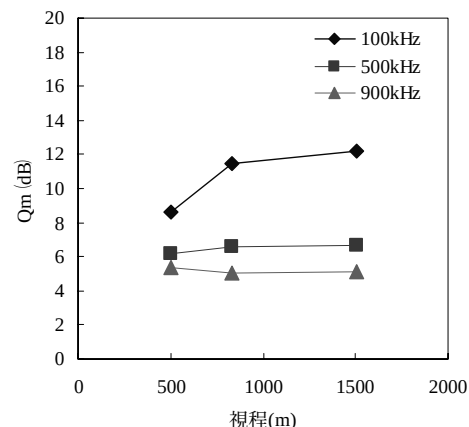


図-11 視程と Q_m の関係

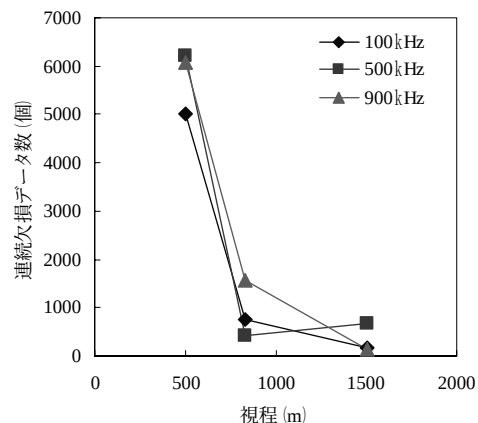


図-12 視程と連続欠損データ数の関係

参考文献

- 1) 可視光通信コンソーシアム：可視光通信の世界，2006.2.1
- 2) 宮原晋平 他：可視光通信 LED ドライバーの試作と可視光 LED の応答性能の評価，電子情報通信学会技術研究報告 105 (730)，pp25-30，2005.7.
- 3) 林靖彦 他：信号灯器を用いた可視光通信の検討，電子情報通信学会技術研究報告 101(726)，pp111-116，2002.3.19
- 4) 社家一平 他：振幅ヒストグラムを用いた平均 Q 値評価による光信号品質監視に関する検討，電子情報通信学会技術研究報告 99 (605)，pp.55-60，2000.2.