慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	可視光通信における通信方式の研究
Sub Title	Research on Visible Light Communication
Author	中川, 正雄(NAKAGAWA, MASAO) 松本, 佳宣(MATUMOTO, YOSHINORI)
Publisher	
Publication year	2009
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2008.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究において、イメージセンサとフォトダイオードの両方を用いてLED交通信号機からのデータを受信するシステム、受信専用集積回路の設計と送信LEDを判断するフォトダイオードアレーの試作、変調方式や符号方式の検討可視光通信変調によるちらつきの影響、短距離高速可視光通信、有機ＥＬ可視光通信、可視光通信測量システムの研究成果を得た。
Notes	研究種目：基盤研究(A) 研究期間：2005～2008 課題番号：17206041 研究分野：工学 科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_17206041seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(A)
研究期間：2005～2008
課題番号：１７２０６０４１
研究課題名（和文）　可視光通信における通信方式の研究
研究課題名（英文）　Research on Visible Light Communication
研究代表者

中川　正雄（NAKAGAWA MASAO）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：30051882

研究成果の概要：
本研究において、イメージセンサとフォトダイオードの両方を用いて LED 交通信号機からのデータを受信するシステム、受信専用集積回路の設計と送信 LED を判断するフォトダイオードアレーの試作、変調方式や符号方式の検討可視光通信変調によるちらつきの影響、短距離高速可視光通信、有機ＥＬ可視光通信、可視光通信測量システムの研究成果を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2005 年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2006 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2007 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2008 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
年度			
総　計	36,600,000	10,980,000	47,580,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学
キーワード：可視光通信、可視光通信、LED、照明

１．研究開始当初の背景

研究開始当初は白色ＬＥＤがようやく普及しはじめたころであり、それが広く照明器具に使われる状況ではなかったので、その通信への応用研究はまれであった。

また、研究開始当初は、赤外線空間通信は製品があったが、可視光を利用した通信は製品がなかっただけでなく、可視光通信特有のちらつかないための変調方式などの検討も行われていなかった。

２．研究の目的

本研究の目的は、白色ＬＥＤなどの可視光ＬＥＤを利用した可視光通信の通信方式の検討、さまざまな通信への応用技術検討、および可視光通信用デバイスの研究開発である。また、可視光通信の変調方式の検討と、その方式の目への影響も検討事項に含まれる。

３．研究の方法

可視光通信の通信方式の検討、さまざまな可視光通信装置を試作し、その効果の検証を行った。また、可視光ＬＥＤアレーを用いた照明器具の光を変調して、目へのちらつきの実験を行った。

４．研究成果

本研究における主な成果は、可視光通信の通信方式を確立したこと、またさまざまな通信への応用技術を検討して実証したこと、可視光通信のちらつきの影響を解明したこと、および可視光通信用デバイスの研究開発を行ったことである。
また、得られた成果は、我々が可視光通信という今までにない新しい通信分野を切り開き、世界中にその重要性や有効性を気づかせ、国内外の可視光通信研究の活動を促したという点で、多大な貢献をしたと思われる。
今後の展望としては、ＬＥＤ照明や交通信号機の普及とともに、可視光通信技術が広く普及していくと思われる。

平成 17 年度から平成 20 年度までの間に以下の研究成果を得た。

平成１７年度の成果：

(1) 可視光域伝播特性の測定とモデル化
実験と数値解析により可視光域の空間伝播特性の測定・モデル化を行った．数 100Mbps 以上の場合には，壁での反射によるマルチパスの影響が大きくなり，符号間干渉が発生することを示した．
(2) ＬＥＤの線形応答および非線形応答の測定とモデル化
専用ＬＳＩと評価基板を製作して様々な可視光ＬＥＤの応答特性を測定した．高速オシロスコープを用いた波形振幅の減衰とアイパターン測定を通して現在市販されているＬＥＤの性能を明らかにした．
(3) 可視光受光機の応答測定とモデル化
受光機として浜松ホトニクス社制のアバランシェフォトダイオードとフォトＩＣの評価を行った．受光機に用いられているセンサと内部回路の構成によって光伝送速度が変化する事を実測してそれをモデル化して説明を行った．
(4) 送受信機の指向性の測定とモデル化
本年度は特に送信機側の測定を行った．ＬＥＤを用いたスポットライト・ライン型照明器具・スクウェア照明器具を作成し，指向性の測定を行った．使用するＬＥＤ・レンズの有無・配置するパターンを変化させることにより，放射角を５°から７０°まで調節できることが明らかになった．来年度以降はこれらの照明を用いて通信特性についての評価，さらに受信機側の測定・モデル化を行っていく予定である．
(5) 近接可視光通信の検討
携帯電話などのＬＥＤランプを利用した近接可視光通信について，波長多重による高速化を提案しシミュレーションにより評価した．多重する波長数を増やすほど速度は向上するはずであるが，同時に干渉も増加するため多重できるＬＥＤ数には限界があることが明らかになった．
さらに別の応用例として水中通信への適用を提案し，実験・解析を行った．水中では電波を用いることができないため，可視光通信は非常に有効な通信手段であることを示した．
(6) 照明通信の検討
２次元送受信機を用いた並列高速通信を提案し，照明条件・通信条件の検討を行った．この方式は照明器具と通信機器の両方の機能を満たすことを確認した．さらに，１Ｇｂｐｓ以上での通信を目指して研究・実装を行っている．

平成１８年度の成果：

(7) 変調方式や符号方式の検討
可視光通信において、人間の目で見てもちらつかない変調方式が必要であるが、その代表的なものとしてサブキャリア４PPM 変調と反転サブキャリア４PPM 変調を検討した。その結果、サブキャリア４PPM 変調は通信性能を最適化する場合に適した変調方式であり、反転サブキャリア４PPM変調はLEDへ流すピーク電流を低く抑えた状態で、照明器具としてなるべく輝度を上げたいという場合に適した変調方式であることがわかった。

(8) 複数の波長の光を用いた並列通信方式の検討
複数の波長による並列通信の検討を行った。シミュレーションの結果、可視光波長領域において、1 種類の波長の光を使う場合の約７倍のデータ通信速度を得られることが判った。
３．フォトセンサーアレーの受信性能の検討
受信機としてフォトセンサーアレーを用いたときの受信性能を検討して、最大６．５Gbps の高速通信が行えることをシミュレーションで示すことが出来た。またサブキャリアをフ

ォトセンサーアレーで受信する方式も検討した。

(9) LED による送信と受信
LED は通常光を放射するので光送信機として使えるが、外から LED に光を当てると受信機として利用することができる。我々は OMRON の協力を得て、LED 単体による送受信機を試作し、実際に送信だけでなく受信もおこなえることを実証した。

(10) 受信専用集積回路の設計と送信 LED を判断するアルゴリズムの開発
８行８列のアレー状フォトダイオードと選択回路、トランスインピーダンスアンプを集積化した受信専用集積回路を設計した。また、送信 LED の位置を判断するアルゴリズムを考案して C 言語を用いて動作確認を行った。

(11) ピーキング回路を用いた送信集積回路の設計
送信 LED の応答速度を向上させるために、ピーキング回路を組み込んだ送信集積回路を設計して各種 LED と組み合わせて評価を行った。その結果、ほとんどの LED において応答速度が２倍程度向上する事を確認した。

平成１９年度の成果：

(12) イメージセンサとフォトダイオードの両方を用いて LED 交通信号機からのデータを受信するシステム
イメージセンサとフォトダイオードの両方を用いて LED 交通信号機からのデータを受信するシステムを提案し、そのプロトタイプを試作して検証した。

(13) 受信専用集積回路の設計と送信 LED を判断するフォトダイオードアレーの試作
８行８列のアレー状フォトダイオードと選択回路、トランスインピーダンスアンプを集積化した受信専用集積回路を設計した。また、サブキャリアを受信できるフォトセンサーアレー回路を設計し、検証を行った。

(14) 変調方式や符号方式の検討
可視光通信において、人間の目で見てもちらつかない変調方式が必要であるが、その代表的なものとしてサブキャリア４PPM 変調と反転サブキャリア４PPM 変調を 2006 年度に検討したが、さらに 8B１０B コーディングをもちいてちらつきを減らすことを検討し、実験の結果それを実証することができた。

平成２０年度の成果：

(15) 可視光通信変調によるちらつきの影響
光強度変調が低速である場合、人間の目にはちらつきを感じることがあるため、ちらつきを防ぐのにどの程度の変調速度が必要となるか検討した．また，より低い変調速度でもちらつきを感じないための変調方式，変調度，色などを実験的見地から検討した．

(16) 短距離高速可視光通信
受信機を送信機にかざすことによって非接触で大容量のファイルを可視光通信技術を用いて瞬時に伝送する方式を検討した。受信可能な領域を増加させるため、受信機が傾いた場合でも信号を受信できるようにするため、アイセーフティーのため凸レンズと直方体のアクリルロッドと拡散板を用いた拡散光学系を提案した。

(17) 有機ＥＬ可視光通信
本研究では，今後様々な市場へと登場する事が予測される有機 EL を用いて，近年高速な無線通信の手段として注目を浴びている可視光無線通信を行う事が可能であるか，実験によってその可能性の検討を行った．

(18) 可視光通信測量システム
本研究では，可視光通信とイメージセンサを用いることで複数個所を短時間に同時に測量可能かつ簡易なシステムで実装可能で実用的な精度を持つ測量システムを提案し、トータルステーションや GPS, 写真測量等といった既存の測量技術よりも有利な点があることを示した。また、実際にそのシステムを実装し，イメージセンサのフレームレート変動といった実装上の問題点を解決するとともに実験的評価を行うことによりその有用性を示した。

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計４件）

① 中川正雄、春山真一郎 「可視光無線通信技術」電子情報通信学会 Vol. 90 、2007-12、pp. 1056-1061, 2007（査読有）

② Haswani Binti Che Wook, Shinichiro Haruyama, Masao Nakagawa、”Visible Light Communication with LED Traffic Lights Using 2-Dimensional Image Sensor” 平成 18 年 3 月 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E89-A No.3 March 2006、pp. 654-659（査読有）

③ Hidemitsu Sugiyama, Shinichiro Haruyama, Masao Nakagawa、“Experimental Investigation of Modulation Method for Visible-Light Communications”平成 18 年 12 月 IEICE Transactions on Communications, Vol. E89-B, No.12, December 2006 pp. 3393-3400（査読有）

④ Toshihiko Komine, Shinichiro Haruyama, Masao Nakagawa、”A Study of Shadowing on Indoor Visible-Light Wireless Communication Utilizing plural White LED Lightings” Kluwer Wireless Personal Communications, vol. 34, number 1-2, July 2005、pp. 211-225（査読有）

〔学会発表〕（計 27 件）

① 貫田雅剛、春山真一郎、中川正雄 OLED による光無線通信の可能性、電子情報通信学会 信学技報, vol. 108, no. 309, OCS2008-86, pp. 13-17 2008 年 11 月 20 日、静岡

② 安田典生、春山真一郎、中川正雄 近距離高速可視光通信のための拡散光学系における SNR 特性の実験的検討、電子情報通信学会 信学技報, vol. 108, no. 309, OCS2008-85, pp. 7-11 2008 年 11 月 20 日、静岡

③ 吉野昌樹、内山英昭、春山真一郎、中川正雄、掛橋孝夫、永元直樹 可視光通信とイメージセンサを用いた測量システム、電子情報通信学会 信学技報, vol. 108, no. 309, OCS2008-84, pp. 1-6 2008 年 11 月 20 日、静岡

④ 木村遙介,中田啓道,松本佳宣、「可視光 ID 用フォトトランジスタアレイの評価」、第 25 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム講演集,D5-7, pp.714-717、2008 年 10 月 24 日 沖縄

⑤ Yoshinori Matsumoto, Takaharu Hara and Yohsuke Kimura CMOS photo-transistor array detection system for visual light identification (ID), Proc. of INSS2008, pp.99-102 2008 年 6 月 18 日 金沢

⑥ 内山英昭、吉野昌樹、春山真一郎、斎藤英雄、中川正雄、掛橋孝夫、永元直樹 可視光通信を用いた写真測量システム、第 14 回画像センシングシンポジウム 2008 年 6 月 11 日、横浜

⑦ 石川翔一、中川正雄、春山真一郎、「データ符号化と変調方式による可視光通信におけるちらつき軽減の検討」、電子情報通信学会 信学技報, vol. 108, no. 39, OCS2008-1、2008 年 5 月 16 日、東京

⑧ Yoshinori Matsumoto, Takaharu Hara and Yohsuke Kimura Integrated CMOS photo-transistor array for visual light identification (ID), International Semiconductor Device Research Symposium 2007 Maryland, USA 2007 年 12 月 12 日

⑨ 山中大、春山真一郎、中川正雄 「可視光 ID 情報受信用高速イメージセンサチップの設計」電子情報通信学会 信学技報, OCS2007-60, OPE2007-115, LQE2007-101 2007 年 11 月 2 日 九州工業大学

⑩ 斎藤翼、春山真一郎、中川正雄 「可視光路車間通信におけるイメージセンサとフォトダイオードを用いたトラッキングシステム」、電子情報通信学会 信学技報、OCS2007-59, OPE2007-114, LQE2007-100 2007 年 11 月 2 日 九州工業大学

⑪ 松本佳宣、原貴東、木村遙介 「可視光 ID 用集積化受光素子の試作」電気学会フィジカルセンサ研究会 東京 2007 年 9 月 7 日

⑫ 山中大、春山真一郎、中川正雄 「イメージセンサを用いた可視光通信におけるサブキャリア変調方式適用の検討」電子情報通信学会 信学技報 CS2006-74, 2007 年 1 月 11 日, pp. 25-30, 沖縄

⑬ 石田正徳、春山真一郎、中川正雄 「並列可視光無線通信方式における通信速度限界の検討」電子情報通信学会信学技報CS2006-76, 2007 年 1 月 11 日,沖縄 pp. 37-41

⑭ 斎藤翼、春山真一郎、中川正雄 「可視光通信におけるちらつき軽減の方法」電子情報通信学会 信学技報 OCS2006-75, 2007 年 1 月 11 日,沖縄, pp. 31-35

⑮ Shoko Nishida, Yousuke Ito, Shinichiro Haruyama, Masao Nakagawa, “Wavelength Division Multiplexing using LEDs for Short-Range Visible Light Communication”, Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), San Diego, USA, 2006 年 9 月 17 日 , pp.756－760

⑯　山口真和、春山真一郎、中川正雄
「可視光通信を利用したカプセル型内視鏡の検討」電子情報通信学会　信学技報　RCS2006-34, 2006年5月19日, pp. 97-102, 東京

⑰ 西田祥子、伊藤陽介、春山真一郎、中川正雄　LED波長多重による近接可視光並列通信, 電子情報通信学会技術研究報告〔通信方式(CS)〕, 2006年3月7日, pp. 115-120, 沖縄

⑱ 齋藤翼、春山真一郎、中川正雄　LEDテールランプとイメージセンサを用いた可視光車車間通信および測距方式の検討, 電子情報通信学会技術研究報告〔通信方式(CS)〕, 2006年3月7日, pp. 121-126, 沖縄

⑲ 伊藤陽介、春山真一郎、中川正雄　波長依存性を考慮した適応変調を用いた水中可視光通信方式, 電子情報通信学会技術研究報告〔通信方式(CS)〕2006年3月7日, pp.127-132, 沖縄

⑳ Satoshi Miyauchi, Toshihiko Komine, Shinichiro Haruyama and Masao Nakagawa　Analysis of LED allocation algorithms for Parallel Wireless Optical Communication, Proc. of IEEE Radio and Wireless Symposium 2006 (RWS2006), 2006年1月18日, pp.191 – 194, San Diego

㉑ 伊藤陽介、春山真一郎、中川正雄
可視光を用いた海中通信の検討, 電子情報通信学会技術研究報告〔光通信システム(OCS)〕Vol.105 No.428, 2005年11月25日, pp.65 – 70,大阪

㉒ Masanori Ishida, Satoshi Miyauchi, Toshihiko Komine, Shinichiro Haruyama and Masao Nakagawa An Architecture for High-Speed Parallel Wireless Visible Light Communications System Using 2D Image Sensor and LED Transmitter, Proc. of WPMC'05, 2005年9月23日, pp.1523 – 1527, デンマーク

㉓Hidemitsu Sugiyama, Shinichiro Haruyama and Masao Nakagawa　Experimental Investigation of Modulation Method for Visible-Light Communications, Proc. of WPMC'05, 2005年9月23日, pp.1548–1552, デンマーク

㉔宮内聡、小峯敏彦、春山真一郎、中川正雄
並列光空間通信方式におけるLED割当てアルゴリズムの一検討, 電子情報通信学会 2005 ソサエティ大会講演論文集, 2005年9月20日,　A-5-4, 北海道

㉕ 宮原晋平、青野　聖、松本佳宣　可視光通信用LEDドライバーの試作と可視光LEDの応答特性の評価, 電子情報通信学会技術研究報告〔集積回路研究専門委員会（ICD)〕　ICD2005-44, 2005年7月14日, 25-30,豊橋

㉖　杉山英充、春山真一郎、中川正雄
可視光通信に適した変調方式の実験的検討, 電子情報通信学会技術研究報告〔光通信システム(OCS)〕　Vol. 105 No.76, 2005年5月24日, pp.43 – 48, 沖縄

㉗　石田正徳、宮内聡、小峯敏彦、春山真一郎、中川正雄　２次元送受信機による高速な並列空間可視光通信システムの設計, 電子情報通信学会技術研究報告〔光通信システム(OCS)〕　Vol. 105 No.76, 2005年5月24日, pp.49 – 54, 沖縄

〔図書〕（計　１件）

①「可視光通信の世界　－　LEDで拓く「あかりコミュニケーション」」可視光通信コンソーシアム (編集), 中川正雄、工業調査会, 2006年, 240頁

〔産業財産権〕

○出願状況（計　２　件）

①
名称：導光体
発明者：小峯敏彦、春山真一郎、石榑　崇明、中川正雄、小池康博
権利者：株式会社中川研究所
種類：特許出願
番号：2006-250686
出願年月日：2006年9月15日
国内外の別：国内

②
名称：送信データ割り当て方法および光通信システム
発明者：小中川正雄、春山真一郎、宮内聡権
利者：株式会社中川研究所
種類：特許出願
番号：2005-270313
出願年月日：2005年9月16日
国内外の別：国内

６．研究組織

(1)研究代表者

中川　正雄（NAKAGAWA MASAO）

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：30051882

(2)研究分担者

松本　佳宣（MATUMOTO YOSHINORI）

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：60252318

(3)連携研究者

該当なし