

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：52601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656194

研究課題名(和文)可視光通信により自立・協調した調光を行い省電力を実現するLED照明システム

研究課題名(英文)LED Lighting System for Efficient Power Saving by Automatic and Collaborative Dimming with Visible Light Communication Network

研究代表者

松林 勝志 (MATSUBAYASHI, Katsushi)

東京工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80239061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災により電力が逼迫し、計画停電が実施された。その影響から、節電に関する意識が高くなったが、今後もエネルギーリスクの低減を目指し更に省電力を推進していく必要がある。本研究課題では、照明にLEDを利用し、照明自身の光で可視光通信ネットワークを構築する省電力照明システムを開発した。各照明は、環境に応じて自立調光するとともにネットワークを用いて照明同士が協調して省電力動作を行う。クラウドにより遠隔操作や節電状況の「見える化」も実現した。また、図書館等では、節電のため暗くしても、人がいるところだけは明るくしたいというニーズがある。そのためスマートフォンを用いたピンポイント調光も実現した。

研究成果の概要(英文)：Japan faced huge power shortage problems and was forced to execute scheduled blackouts because of Tohoku Earthquake that happened on March 11, 2011. It raised people's motivations to save the electric power. The power saving problem has been recognized as one of the most important initiatives since days.

In this study, we developed a lighting system that can automatically dim the lights according to the brightness of the surrounding area in order to achieve an efficient power saving. All LED light bulbs can autonomously transmit and receive the brightness data through a network based on visible light communications(VLC). We developed an application on Web browser and can watch the previous saving records and the current power saving situation in each room. On the other hand, we can control the brightness of the lamps in each room from a remote place by sending a command to the cloud server. In addition, the pinpoint dimming is realized by VLC between a LED lamp and a smart phone.

研究分野：組込みシステム開発

キーワード：可視光通信 照明 省電力 みえる化 クラウド 調光

1. 研究開始当初の背景

2011年に起きた東日本大震災により電力が逼迫し、計画停電が実施された。その影響から、節電に関する意識が高くなったが、今後もエネルギーリスクの低減を目指し更に省電力を推進していく必要がある。

数多くの節電方法の中で、照明による節電は取り組みやすく効果的である。しかし、現在の照明システムでは、通常、手動操作であるため、節電する／しないは人の意識に依存する他、節電を行うにあたっていくつかの問題がある。例えば、大部屋の照明システムでは、照明は「列」等のグループで分けられ、調光の範囲や組み合わせ等の自由度が乏しい。高い自由度を得るためには、複雑な配線が必要となり、施工コストが高くなる。また、どこかが故障すればシステム全体が停止する恐れもある。

2. 研究の目的

照明に LED を利用し、照明自身の光で可視光通信 (VLC: Visible Light Communication) ネットワークを構築する省電力照明システムを開発する。各照明は、環境に応じて自立調光するとともにネットワークを用いて照明同士が協調することで省電力動作を行う。クラウドを利用することで、遠隔操作や節電状況の「見える化」も実現する。また、図書館等では、節電のため暗くしても、人がいるところだけは明るくしたいというニーズがある。そのため、スマートフォンを用いたピンポイント調光も実現する。

3. 研究の方法

(1) 「I-4PPM-DFRM」伝送方式

可視光通信では、LED を高速点滅させてデータを送信する。照明は、通信中も明るさを一定に保つ必要があるため、伝送方式として I-4PPM (Inversed 4 Pulse Position Modulation) 方式を採用した。

I-4PPM 方式は、可視光通信の研究においてよく用いられる伝送方式であり、図 1 に示すようにデータ 2bit を 4 スロットで表現する。4 スロット中いずれかの 1 スロットが必ず点灯するため、データの内容に関わらず明るさを一定に保つことができる。また、点灯させる時間が全体の時間の 1/4 になるため、LED に定格より高い電圧をかけることができ、通信の SN 比が向上する。

本研究では可視光通信を行いながら調光を実現する必要があるため、I-4PPM 方式をさらに発展させた I-4PPM-DFRM (Data Frame Rate Modulation) 方式を考案した。I-4PPM-DFRM 方式は、データフレームの送信比率を変更することで調光を実現する (図 2)。データフレーム長×調光段数を 1 レコードとし、レコード内のデータフレーム数を調整することで調光する。図 2 のようにデータフレーム数が 3 で、調光段数が 10 の場合、照明の出力は 30%となる。LED の点灯パルスその

ものの明るさは変化しないので、完全に消灯していない限りは可視光通信でき、SN 比は低下しないという特徴がある。完全に消灯していても点灯開始すれば通信は即座に回復する。

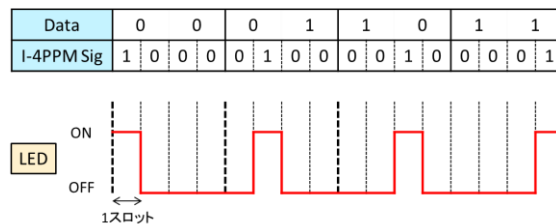


図 1 I-4PPM 方式

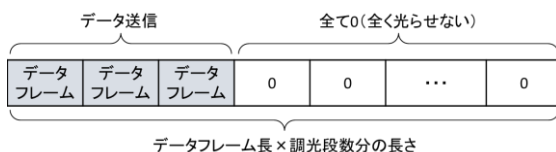


図 2 I-4PPM-DFRM 方式

(2) LED 照明

開発する LED 照明では、「I-4PPM-DFRM」伝送方式による通信機能と下方の机や床の明るさを測定するセンサを搭載する。照度センサは可視光通信に反応しないよう低速な CdS センサを搭載する。自立調光アルゴリズムと協調調光アルゴリズムの開発・検証のため、高輝度白色 LED を搭載し、40-60W 電球相当の明るさの LED 照明を設計・開発する。可視光通信において送信は LED、受信は高速フォトダイオード (PD) を使用する。PD は水平 4 方向と下方向に向けて搭載する。水平方向の PD は、他の照明との通信に使用し、下方向の PD はスマートフォンとの個別調光に利用する。LED は大半を下方向に向け、照明に供するが、一部は水平方向に向け、他の照明にデータを送信する。

各調光調光アルゴリズムの開発と動作検証後、実際の教室で使用可能な 6000 ルーメン (40 型直管蛍光灯 2 本分) の明るさを持つ照明を開発し、教室に設置し運用テストを行う。

(3) 調光コントローラ (操作パネル)

調光コントローラは、本システムを導入するオフィスなどの部屋毎に 1 つ設置することを想定している。調光コントローラに一番近い照明と有線接続し、その照明から他の全照明に向けて可視光通信ネットワークを介して適切な照度指示を行う。人が操作するため、優れた UI (User Interface), UX (User Experience) を実現する。さらに、建物単位での節電の「見える化」実現のため、インターネットに接続し、定期的にクラウドサーバに各照明の節電データを送信し、遠隔操作コマンドの受信を行う。

#### (4) クラウド連携遠隔操作

クラウドサーバを利用し、部屋ごとの節電データを共有することで、広い範囲での節電の「見える化」や、部屋の外からの遠隔操作（節電指示送信）を実現する。部屋ごとの現在の節電状況をリアルタイムで表示する機能、過去の節電記録を閲覧する機能、部屋に向けて節電指示を送信する機能を実装する。

#### (4) ピンポイント調光

スマートフォン-照明間の調光指示も可視光通信で実現するため、スマートフォン用可視光通信モジュールを開発する。本モジュールには小型のPICマイコンを使用し、スマートフォンとPICマイコン間はヘッドホン・マイク端子を利用したFSK方式とすることで、ハード的な機種依存を無くす。

なお研究期間中にスマートフォンがUSBホスト機能をサポートするようになったため、USB接続可能な可視光通信モジュールも開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) LED照明

当初開発した40W電球相当の明るさを持つVLC機能付LED照明装置を図3に示す。内蔵されたマイコンのSCI・クロック同期式で可視光通信を行っている。クロック同期式では信号とクロックの2本で通信するが、可視光通信では信号線のみで通信しなければならない。そこで受信側でも送信側と同じ周波数のクロックを発生させ、自らのクロックを基準に受信のタイミングを判断させた。この場合クロック周波数が送信側と受信側で完全には一致しないため、CRCを使ってエラーを検出し、エラー検出された場合はデータを破棄する。SCI動作クロックは812kHzであり、データ通信速度は406kbpsである。

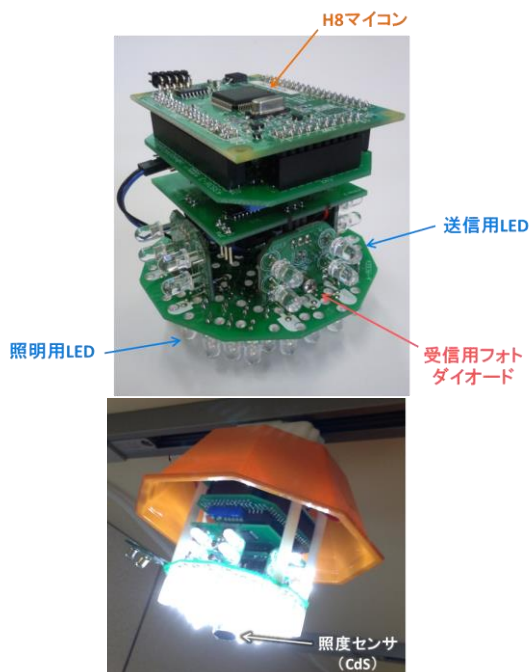


図3 VLC付LED照明(40W電球相当)

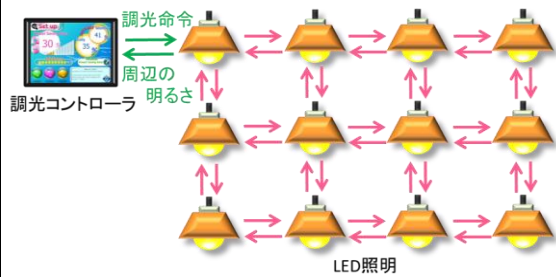


図4 調光コントローラと二次元可視光通信



図5 調光コントローラ(操作パネル)

#### (2) 調光コントローラ(操作パネル)

調光コントローラは、オフィスなどの部屋毎に1つ設置することを想定している。調光コントローラに一番近い照明と有線接続し、その照明から他の全照明に向けて可視光通信ネットワークを介して適切な照度指示を行う(図4)。優れたUI、UXを実現し、かつクラウドにアクセスするため、組み込み用OSであるWindows Embedded Compact 7 (WEC7)及び、WEC7が動作するICOP社の超小型コンピュータeBox-3310を採用した。開発言語はVisual C#である。また、節電の見える化を実現するため、表示・操作装置としてタッチパネルディスプレイを搭載した。さらに、建物単位での節電の見える化実現のため、インターネットに接続し、定期的にクラウドサーバと節電データの送受信を行う。開発した調光コントローラを図5に示す。eBox3310は壁の裏側に取り付けられている。

調光モードは次の3つを実現した。いずれの場合もスマートフォンから個別調光指示を受けた照明は調光コントローラからの制御から外れる。

##### ① 節電率優先モード

部屋の中で、周辺が明るい場所の照度を優先的に下げ、余剰分の照度を暗い場所にまわすことで、部屋全体の明るさを均一にしながら、ユーザーが任意に設定した節電率を必ず達成するよう動作する。例えば、政府から20%の節電をするよう要請があった場合にこのモードを使用すれば、必ずその節電率を達成することができる。

##### ② 明るさ優先モード

部屋の明るさを10段階で設定できる。調光コントローラはその明るさの段階を各照明に指示し、各照明は「照明自身の照度+窓からの採光」で、段階に対応する明るさを実



現するように動作する。そのため、窓際の照明は暗くなり、部屋の奥の照明は明るく点灯する。すなわち各照明が協調し室内の各所の明るさが一定になるよう動作する。

### ③ シンプル調光モード

各照明を一律に調光する。調光コントローラでユーザーは節電率を設定し、設定した節電率で全ての照明が動作する。通常の照明の調光と同様の動作となる。

### (3) 節電の見える化

調光コントローラにはタッチパネルディスプレイを利用し、次の3つの画面を実装した。全ての画面においてコメントボックスを用意し、簡単な操作方法も表示している。

#### ① 節電モード設定画面 (図6)

節電モードをタッチ操作で設定する。節電モードの変更、節電率、明るさの設定、確認をすることができる。

#### ② 節電状況確認画面 (図7)

現在の節電状況を部屋の見取り図と照明のアイコンにより視覚的に表現する。照明のアイコンをタッチすれば、その照明の現在の節電率が表示される。照明や窓の配置等の見取り図を示す簡単なテキストファイルを読むことで書くアイコンの配置は簡単に変更でき、高い汎用性を持たせた。

#### ③ 節電記録確認画面 (図8)

記録された過去の節電率を読み込み、月毎、日毎の節電率の状況をグラフで確認することができる。グラフをタッチすることでその時間帯の平均節電率がコメントボックスに表示され、確認することができる。

### (4) クラウド連携遠隔操作

遠隔での節電の「見える化」及び、管理者がどのような状況でも、管理・設定・確認できることを目的とし、Windows Azure クラウドを利用して、部屋毎の節電データを共有できるようにした。節電データを共有するコンポーネントは、調光コントローラ、パソコンのブラウザ、スマートフォンの3つである(図9)。アプリケーションを実行するための「コンピュートサービス」と、アプリケーションデータを格納するための「ストレージサービス」の2つを利用した。コンピュートサービスを利用した節電の「見える化」と遠隔操作をするパソコンの画面を図10に示す。

調光コントローラは、1日の節電記録データ、1ヶ月の節電記録データを10分毎に、現在の節電状況データを3秒毎にクラウドサーバへ送信する。また、クラウドサーバ上には、スマートフォンアプリ、またはブラウザでアクセスするWebページ(図10)より、各部屋に向けた節電指示データが送信される。調光コントローラでは、3秒毎にアクセスした時、節電指示データの有無を確認する。節電指示データがあった場合、その内容に従って各照明に適切な照度を指示する。



図6 節電モード設定画面



図7 節電状況確認画面

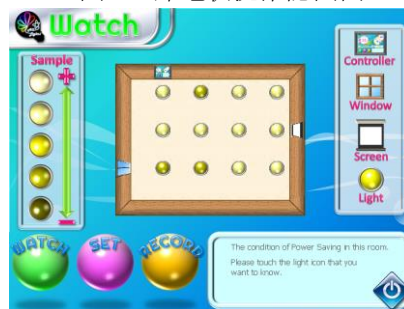


図8 節電記録確認画面

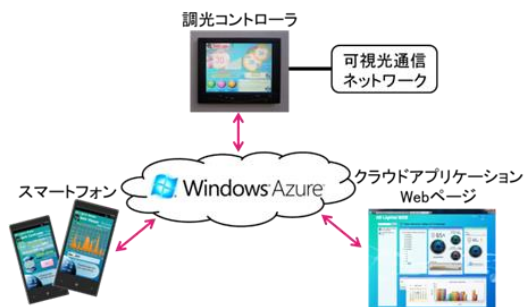


図9 クラウド連携遠隔操作



図10 クラウドによる節電の「見える化」と節電遠隔操作

(5) スマートフォンによる個別調光

スマートフォン照明間の調光指示も可視光通信で実現するため、スマートフォン用 VLC モジュールを開発した。小型の PIC マイコンを使用し、スマートフォンと PIC マイコン間通信はヘッドフォン・マイク端子を利用した FSK 方式とすることで、ハード的な機種依存を無くした。VLC モジュールとスマートフォンのピンポイント調光アプリケーション画面を図 11, 12 に示す。

(5) 省電力照明システムの運用実験

図 13 に示す部屋の模型を作成し、照明を 12 個取り付けて通信実験・節電実験を行った。明るさ優先モードで 1 週間の運用実験を行った結果を図 14 に示す。1 日辺り平均 28% の節電効果が得られた。この棒グラフの形状は一日の平気日射量の統計データ<sup>①</sup>とよく一致する。

(5) 実証実験用 LED 照明の開発

本校の教室には 40W の蛍光灯 (1 本 3000lm) 2 本セットの照明機器が、12 基取り付けられているので、同程度の明るさを持つ、1 照明あたり約 6000lm の明るさ (全光束) を持つ可視光通信機能付きの LED 照明を開発した。

開発した照明と調光コントローラを図 15, 16 に示す。現在、この照明を天井に 6 基取り付け運用実験の準備を整えた。

また WEC7 はマイナーな OS であることと使用したスマートフォン OS は Windows Phone7 でありこれも普及していない。クラウドとして使用した Windows Azure の利用料も高価である。

2013 年頃から USB ホスト機能をサポート Android スマートフォンが発売になったことと、急速なタブレット端末の普及と低価格化が進んだため、調光コントローラを Android タブレットに置き換え、スマートフォンも Android に置き換えた。そのためのアプリケーションの移植や VLC モジュールの改良を行った他、クラウドも無料の GoogleDrive に変更した。今後これら新しいシステムで運用実験を進めていく予定である。



図 11 FSK 方式でスマートフォンと接続する VLC モジュール



図 12 スマートフォンピンポイント調光アプリ



図 13 40W 相当の VLC 機能付き LED 照明を 12 基実装した部屋の模型

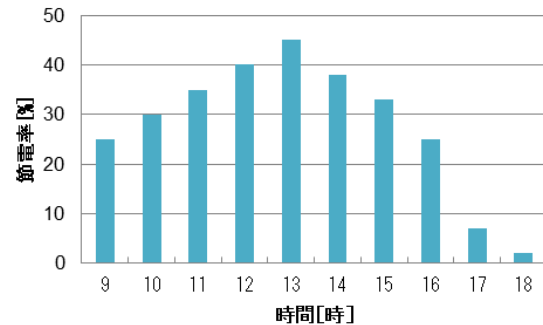


図 14 運用実験結果



図 15 6000lm の明るさを持つ VLC 機能付 LED 照明



図 16 Android タブレットに移植した  
調光コントローラ

<引用文献>

- ① NEDO 日射量データベース閲覧システム,  
<http://app7.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

- ① 星合拓馬, 松林勝志, 可視光通信を利用した省電力照明システムの開発, 情報処理学会第 77 回全国大会, 2015. 3, pp. 1\_139-140
- ② 星合拓馬, 松林勝志, 可視光通信を用いた省電力照明システム, 照明学会第 47 回全国大会, 2014. 9, 9-10
- ③ 星合拓馬, 松林勝志, 可視光通信を用いた省電力照明システム, 照明学会全国大会講演論文集, 2014. 9, ポスター9-10
- ④ 田畑愛実, 大川水緒, 赤松駿一, Tan Tun Jie, 小嶋徹也, 松林勝志, 可視光通信を利用した省電力照明システムの開発, 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013. 3, pp. 4\_703-704
- ⑤ Mio OKAWA, Megumi TABATA, Shunichi AKAMATSU, Tun Jie TAN, Tetsuya KOJIMA and Katsushi MATSUBAYASHI, Power Saving Lighting System with Visible Light Communication (査読有), International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2012), 2012. 11, pp. 497-500, Thailand, Bangkok
- ⑥ 松林勝志, 可視光通信による省電力照明システム All Lights!, 可視光通信コンソーシアム・VLCC 普及促進委員会, 2012. 9

[その他]

本研究課題で国際 IT コンテストに参加し, 準優勝した記事・受賞。

<ホームページ>

- ① ITmedia ニュース, 「Imagine Cup」で初の快挙 ソフトウェアデザイン部門で日本代表が 2 位に,  
<http://www.itmedia.co.jp/news/article>

s/1207/12/news117.html

- ② マイナビニュース, 世界大会は楽しんだ - 日本チームが過去最高の成績を収めた Imagine Cup,  
<http://news.mynavi.jp/articles/2012/07/13/iImaginecup/index.html>
- ③ TechWave, #イマジンカップ 2012 世界大会、日本はソフトウェア部門で 2 位の快挙,  
<http://techwave.jp/archives/51753249.html>

<学会誌記事>

- ① ImagineCup2012 世界大会参加報告, 大川水緒・田畑愛実・赤松駿一・Tan Tun Jie・小嶋徹也・松林勝志, 日本高専学会誌, Vol18 No. 1, 2013. 1, pp. 35-36

<受賞>

- ① 第 5 回ものづくり日本大賞 (内閣総理大臣賞), All Lights! -可視光通信による省電力照明システム-
- ② 文部科学大臣賞, 最優秀賞, Grand Prize, 東芝ソリューション賞, 高専プログラミングコンテスト 2012, All Lights! -可視光通信による省電力照明システム-

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松林 勝志 (MATSUBAYASHI Katsushi)  
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号: 80239061

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

小坂 敏文 (KOSAKA Toshifumi)  
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号: 60153524

(4) 研究協力者