

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560401

研究課題名（和文）PLC 技術の異種伝送媒体への適用性と自己給電型 PLC 方式に関する研究

研究課題名（英文）Research on the applicability to the different types of transmission media of PLC technology, and a self-supply type PLC system

研究代表者

都築 伸二 (TSUZUKI SHINJI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：60236924

研究成果の概要（和文）：

従来の交流100V線路用電力線通信(PLC)技術の発展研究として、(1)省エネを目的として敷設されることが期待されている宅内直流配電線路、(2)省エネ効果の高いLED照明器具による可視光通信(VLC)通信路、および(3)高効率かつ長距離伝送が可能な磁界共鳴型ワイヤレス給電による通信路、の3種類の線路について、PLC技術の適用性を検討した。また(3)を応用して自己給電型PLC方式のための基礎検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

As a development research of Power-Line Communications (PLC) technology for the conventional AC 100V channels, it was examined to the following three channels and its applicability was researched. (1) The DC distribution power-line channel in a house, which is promising to save the energy and expected to be constructed, (2) The visible light communication (VLC) channel by using the LED light, which achieves high energy-saving effect, and (3) The wireless electric power supply channel by the magnetic field resonance, which carries out the high efficiency and long-distance transmission. Moreover, a preliminary study for a self-supply type PLC system using the results of (3) was done.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 2,500,000 | 750,000   | 3,250,000 |
| 2010年度 | 900,000   | 270,000   | 1,170,000 |
| 2011年度 | 400,000   | 120,000   | 520,000   |
| 総計     | 3,800,000 | 1,140,000 | 4,940,000 |

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：通信方式（有線）、電力線通信技術とその応用、省エネルギー、情報通信工学、可視光通信、スマートセンサ情報システム、直流配電、ワイヤレス給電

## 1. 研究開始当初の背景

交流(AC)100V 電力線の線路は、商用周波数(50/60Hz)に同期しながら時間および周波

数軸で変動するマルチパス伝送路であり、伝送損失は 80dB 以上ある。この劣悪な線路でも最大 8bits/Hz(=210Mbps /26MHz:

Panasonic 社の場合[<http://panasonic.jp/p3/plc/>]の高速通信が可能な PLC チップが実用されており、本研究開始当時 IEEE-P1901 委員会にて国際標準規格が策定中であった。

一方で、このような高性能なチップを AC100V 電力線以外にも適用しようとするのは必然の流れであり、例えばホテル内の TV 共聴システムにおいて PLC チップを用いた同軸モデムの実用化もなされていた(2007 年 10 月、NEC、住友電工他)。電力線と比べて同軸線はマルチパスや伝送損失などの問題が少ないため、より高品質・高速な通信を提供できるからである。

もともと PLC 技術は新規配線不要(エコロジカル)なユビキタス・ネットワーク実現手段であり、またエネルギーと情報を一本のケーブルで伝送する合理性が魅力とされている。従って、AC100V 用電力線(狭義の PLC)に限らず、既存の非 AC 電力線ケーブル(電話線、同軸線、ビル管理用通信線など)にも PLC 技術を適用することができれば(広義の PLC)、よりシームレスなユビキタス・ネットワークを構築できるようになる。

本研究で対象とした広義の PLC とその階層構造を図 1 に示す。上記同軸モデムは、既存の PLC チップを使い、信号の伝送線路だけを同軸に替える例であり、同軸からの給電は行わない。

本研究では、筆者らがこれまで行ってきた AC 100V 用 PLC 技術の発展研究として、各種電線が混在して構成されるネットワークにおける PLC 技術の適用性を検討した。これにより、各種電線が混在しても、同一の PLC 通信方式にて実現するシームレスかつ合理的なネットワークの実現方法を提案することが目的である。

また、センサーネットワークのような低速・超低消費電力ノードの場合に有効な方式として、通信信号のみで給電する方式(自己給電式と呼ぶ)、も検討した。本方式は、従来の PLC チップと比べて圧倒的に低い消費電力を実現する独自チップであることを前提とし、従来の PLC チップとは上位層で通信することを仮定している。

## 2. 研究の目的

本研究で対象とした、AC100V 電力線と非 AC 電力線が混在した PLC ネットワークのイメージを、図 2 に示す。Modem#1 は従来の

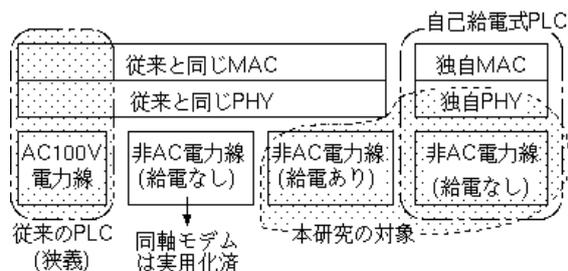


図 1. 本研究で対象とした広義の PLC とその階層構造

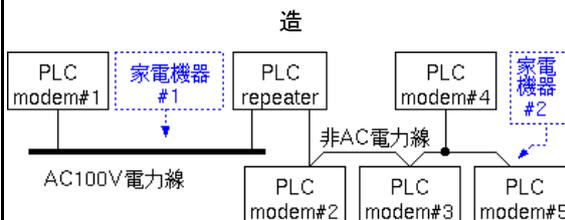


図 2. AC 電力線と非 AC 電力線が混在した PLC ネットワークのイメージ図

AC100V 用であるが、modem#2~#5 は非 AC 電力線用であり、PLC 信号は repeater により相互に中継される。両者は同じ PLC チップを使うためシームレスな通信が実現できる。

Modem#1 および repeater は AC100V 電力線から電源を得る。Modem#2~#5 が接続される線路に電源がない場合は、repeater が給電する。USB, IEEE1394 (i-Link と呼ばれる)、IEEE 802.3af (Power over Ethernet, PoE) などの給電機能と同様である。しかし、図 2 のように(1) 1 対のみのペア線でも給電が可能であること、(2)カスケード接続ができること、(3)線路の途中で分岐できること、等をサポートするためには PLC 技術が適している。なぜならば、これらは既存の 100V 電力線の配線トポロジと同じであるからである。

本研究で提案する自己給電型 PLC 方式も図 2 と同様なトポロジである。既存の短波帯 (2M~30MHz) PLC チップの変調方式は OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) であり超低消費電力化には適さないため、本方式では長波帯 (10k~450kHz) PLC モデムと同じ PSK 変調にして、より省電力型の簡易な通信方式を検討した。

## 3. 研究の方法

提案当初に研究対象として挙げていた、宅内電話線、同軸ケーブルと言った異種伝送媒体への PLC 技術の適用については、国際規格

ITU-T G. hn が制定された(2010年)。そこで、本研究では、以下の3種類の線路へのPLC技術の適用性を最終的には検討した。

(1) 交流/直流(AC/DC)変換による電力損失を軽減することを目的として、今後敷設されることが期待されている宅内DC配電線路を模擬した線路を実際に敷設した。その線路でPLCを行う場合の問題点を考察し、対策技術を開発した。

(2) 省エネ効果の高いLED照明機器による可視光通信(VLC)通信路。PLC/Ethernet及びEthernet/RC232Cブリッジ(いずれも既製品)を使用し、RC232C信号でLED照明をOOK(On Off Keying)変調にて点滅する送受信機を試作した。これによって、有線と無線を融合したシームレスなコピキタス・ネットワークを構築できるようになる。

(3) 磁界共鳴によって高効率かつ長距離伝送が可能なワイヤレス給電による通信路。本研究では、共鳴周波数 $f_0$ がPLCに割り当てられているMHz帯にあるワイヤレス給電システムを製作し検討した。 $f_0=22\text{MHz}$ のアンテナの場合、 $f_0$ での伝送損失1.5dB, 3dB帯域幅2.2MHz, 伝送距離16cmで、2Mbps以上の通信(BPSK変調)が可能であった。

(4) 自己給電については、低入力電圧昇圧型DC/DCコンバータ(TI社TPS61200)を例に調査した。(3)のワイヤレス給電システムの受電側に、当該コンバータを接続し定電圧源として、自己給電PLC用LSIを模擬した低消費電力マイコンを接続した。これによって、選定コンバータが、本研究目的に使用できるか調査した。

#### 4. 研究成果

(1) DC配電線路の特徴として、太陽光発電(PV)パネルや蓄電池などの低インピーダンス負荷が接続される点が挙げられる。PLCで使用できる2つの周波数帯(短波帯と長波帯)それぞれに対応するインピーダンスアッパを開発し、その有用性を実験的に検証した。

図3に、このインピーダンスアッパ機能を利用した、インダクティブカップラへの適用例を示す。鉛バッテリーの状態監視用センサ出力をPLCで伝送することを想定している。

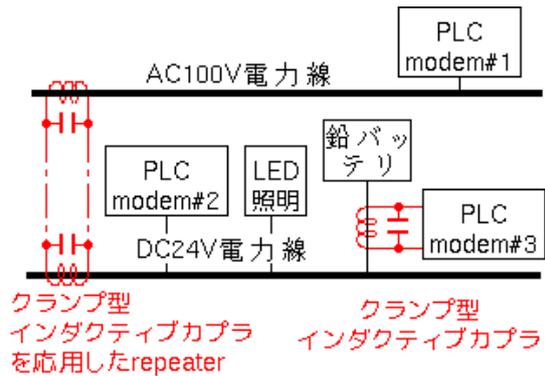


図3. 開発したインダクティブカップラ

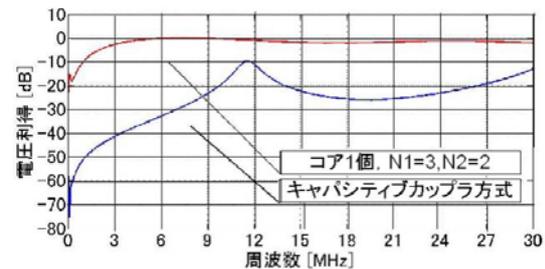


図4. 短波帯PLC用カップラ間の伝達関数

従来はコンデンサを用いたキャパシティブカップラを用いていたが、バッテリーのインピーダンスが低いために、信号減衰が大きいことが問題であった。しかし、本研究で開発したクラump型のインピーダンスアッパのインピーダンス値を、PLCモデム(図中の#3)の出力インピーダンスと整合させることによって、PLCモデム#2との通信が可能となることを、実験的に確認した。なお、DC電力線は24Vで動作するLED照明を、電力負荷として接続した。

図4には、短波帯PLC用に製作したカップラ間の伝達関数を示す。キャパシティブカップラの場合、特に2M-10MHzの周波数帯域での減衰が大きいことが分かる。一方、開発したインダクティブカップラは、全帯域でほとんど減衰していないことが分かる。

さらに、既存のAC100Vに接続されているPLCモデム#1とも通信を行うためには、両電力線間にPLC信号をバイパスさせるリピータが必要であり、この目的にも当該カップラは使用できることも確認した。

(2) 図5に、試作したPLC/VLC/ZigBeeによる通信システムを示す。また図6には、その通信距離 $r$ に対するパケット誤り率(PER)と照度差(LED照明を消灯した状態での背景照度と、LED照明を点灯した状態での

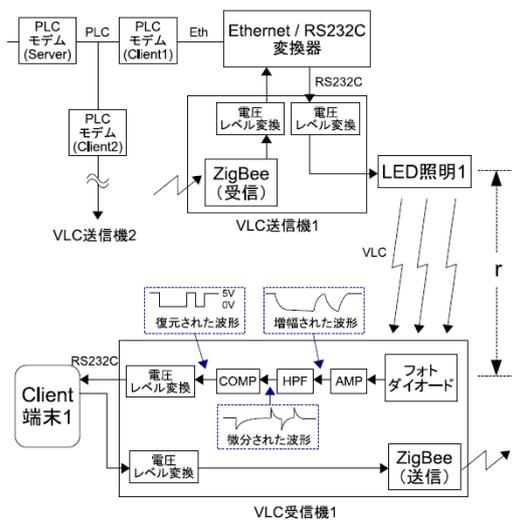


図 5. 試作した PLC/VLC/ZigBee 通信システム

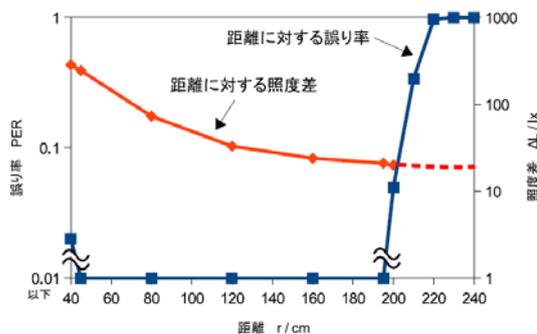


図 6. 通信距離  $r$  に対する PER および照度差との関係

照度との差)との関係を示す。115.2Kbps の場合  $40\text{cm} \leq r \leq 2\text{m}$  範囲での伝送が可能であった。また、照明機器毎に ID を割り当てることにより、Client 端末がどの照明機器の下にいるかという測位も可能にした。一方上り回線は、測位の必要がないため電波を用いることにし、本研究では ZigBee (近距離無線規格) を用いて、一つの受信器で複数送信器を収容できるようにした。

ただし、本研究で用いた OOK 変調は、通信時と非通信時で、照明が大きく異なるため、照明器具としては不適切であるという問題があり、今後の課題である。

- (3) 図 7 に、試作したワイヤレス給電システムの構成を示す。図中の文献[1]は、小森ら (IEICE 総合大会, pp. S30-S31, Mar. 2010) の論文に従って製作した場合である。文献[1]の場合は、ループコイルとスパイラル間距離  $a$  が  $2\text{cm}$  であり、設置するために 3 か所 ( $a$  が 2 か所、 $d$  が 1 か所) 調整する必要があった。本研究では、 $a=0$ 、つまりループ

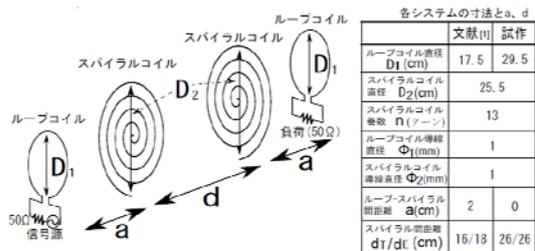


図 7. 試作したワイヤレス給電システムの構成

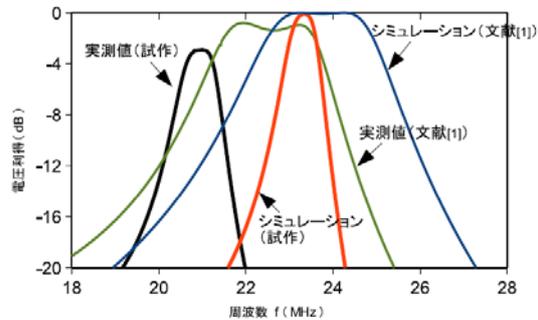


図 8. 図 7 のシステムの伝送特性

コイルとスパイラルコイルを同一平面内に構成することにより、調整は 1 か所だけでよい、つまりより設置が容易なシステムを実現した。

図 8 には、図 7 の伝送特性を示す。シミュレーション値と実測値を比べると、両システムとも  $f_0$  は、ずれているが、伝送特性の形状はほぼ等しい。試作システムの方は、同一平面化したことによって設置は容易になったものの、通過帯域幅が文献[1]システムよりも狭く、 $f_0$  付近の信号減衰も増加している。これらの改善は今後の課題である。

- (4) コンバータの調査結果を図 9 に示す。図のように定電圧源  $V_i$  から給電する場合は、 $V_i = 0.4\text{V}$  でも  $5\text{V}$ ,  $100\text{mW}$  が得られた。しかし、(3) で述べたワイヤレス給電システムの受電ループコイルから給電する場合は、コンバータの入力インピーダンスが変動し、共鳴条件が変わるためうまく給電できない

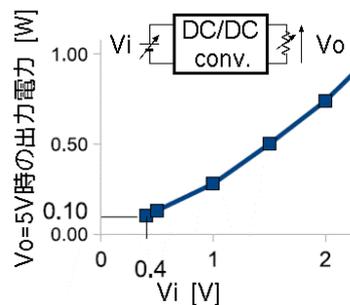


図 9 低入力電圧時の DC/DC コンバータ出力電力測定例

ことが分かった。ワイヤレス給電アンテナのマッチング方式の開発が今後の課題である。

このため、自己給電式システムの開発には至らなかった。ただし逆に言えば、マッチング方式の開発に目途がたてば、選定したコンバータは自己給電式システムに適用できると考えている。今後導入が加速されることが期待されているスマートグリッドへの適用研究が有望であり、今後も検討を継続する所存である。

本研究期間中に、異種伝送媒体へ PLC 技術を適用するための国際規格 ITU-T G.hn が決まり (2010 年)、この規格を実装したチップの開発がアナウンスされ始めている (2011 年)。今後は本研究で得た知見をもとに、当該チップを実線路に適用した場合の有用性についても調査を行っていく予定である。

#### 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 1 件)

- ① 都築 伸二, 科学技術出版、pp.31-37, 2011 年 11 月号, 月刊 EMC (電磁環境工学情報)、No.283, IEEE 国際電力線通信シンポジウム (ISPLC) におけるスマートメータ用通信の動向, 査読無

[学会発表] (計 16 件)

- ① I. S. Areni, Shinji Tsuzuki, Yoshio Yamada, Packet Size Optimization of PPS Based Radiation Detection for AEE-PLC, 2012 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), W-3, pp. 47-51, 28 Mar., 2012, Beijing, China, 査読有
- ② Shinji Tsuzuki, I. S. Areni, Yoshio Yamada, A Feasibility Study of 1Gbps PLC System Assuming a High-balanced DC Power-line Channel, 2012 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), F-4, pp. 386 - 391, 30 Mar., 2012, Beijing, China, 査読有
- ③ 二宮政浩, 山本 武, 都築伸二, 山田芳郎, PLC/VLC/ZigBee 通信システムの性能

評価, 平成 23 年度 電気関係学会四国支部連合大会, 12-25, p. 187, 平成 23 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校 (徳島県), 査読無

- ④ 白川義浩, 都築伸二, 山田芳郎, 設置が容易なワイヤレス給電アンテナの検討, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-20, p. 182, 平成 23 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校 (徳島県), 査読無
- ⑤ 宇都宮裕之, 都築伸二, 山田芳郎, 低インピーダンス電力線用インダクティブ PLC カップラの検討, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-26, p. 188, 平成 23 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校 (徳島県), 査読無
- ⑥ Intan Sari Areni, Shinji Tsuzuki, Yoshio Yamada, Radiation Detection Method considering Channel Occupation Ratio, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-27, p. 189, 平成 23 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校 (徳島県), 査読無
- ⑦ 都築伸二, スマートグリッドと EMC, IEEE 国際電力線通信シンポジウムにおけるスマートメータ用通信の動向, 第 17 回 EMC 環境フォーラム (招待講演), 2011 年 6 月 2 日, サンシャインシティ文化会館 (東京), 査読無
- ⑧ I. S. Areni, S. Tsuzuki, Y. Yamada, A Study of Radiation Detection Methods for Cognitive PLC System, 15th IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (IEEE-ISPLC2011), W2. 5, pp. 430-433, 2011 年 4 月 6 日, Udine, Italy, 査読有
- ⑨ Shinji Tsuzuki, Shinpei Tatsuno, I S Areni, Yoshio Yamada, Radiation Detection and Mode Selection for a Cognitive PLC System, IEEE-ISPLC2011, T5. 5, pp. 323-328, 2011 年 4 月 5 日, Udine, Italy, 査読有
- ⑩ 大西, 都築, 山田, 電力ケーブルの減衰特性と絶縁体の  $\epsilon_r$  及び  $\tan \delta$  の関係, 平成 22 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2010 年 9 月 25 日 (愛媛県), 査読無
- ⑪ S. Tsuzuki, S. Tatsuno, I. S. Areni, Y. Yamada, AEE POWER CONTROLLED PLC SYSTEM WITH DUAL-MODE SIGNAL TRANSMISSION, 2010 Asia-Pacific Radio Science

Conference (AP-RASC' 10), p. E1-2.  
Toyama International Conference Center,  
Toyama, Japan, September 22-26, 2010,  
査読有

- ⑫ Shinji TSUZUKI, Akihiko GODA, Shinpei TATSUNO, Seiichiro ISHII, Yoshio YAMADA, Hiroyuki KAWASAKI, Jun NISHIOKA, Dual mode transmission PLC system with an EMC considered algorithm, IEEE-ISPLC2010, Session 5A-2, pp.213-218, Rio de Janeiro, Brazil, (30 March 2010), 査読有
- ⑬ 都築伸二、大西政綱、川崎裕之、山田芳郎、高速電力線通信に配慮した宅内 DC 給電用電力ケーブルの検討、電子情報通信学会、2010 年総合大会、A-5-19, 2010 年 3 月 17 日(東北大学, 仙台市) 査読無
- ⑭ 樹野慎平、都築伸二、山田芳郎、電磁環境適応型 PLC システムのスループット測定機能、平成 21 年度電気関係学会四国支部連合大会、SJCIEE 2009, p.12-27. 平成 21 年 9 月 26 日(愛媛大学, 愛媛県) 査読無
- ⑮ 江田暁彦、都築伸二、山田芳郎、自動切換によるデュアルモード伝送 PLC 方式の検討、信学技報, vol.109, no.144, WBS2009-14, pp.43-48, 2009 年 7 月 24 日(静岡大, 静岡県) 査読無
- ⑯ 石井誠一郎、都築伸二、西岡潤、山田芳郎、船内電力線線路の遅延及び減衰特性、信学技報, vol.109, no.71, WBS2009-1, pp.1-6, ワイドバンドシステム研究会(WBS), 2009 年 6 月 3 日(埼玉県ふじみ野市) 査読無

[図書] (計 1 件)

高速電力線通信(高速 PLC) 調査専門委員会,  
電気学会技術報告, 論文 No.1175, 電子  
発行日:2009/12/25, 担当執筆節:2.2.1,  
2.2.3, 2.4.1, 5.4.1. 高速電力線通信の  
技術動向と適用事例, 査読無

[その他]

ホームページ:

<http://miyabi.ee.ehime-u.ac.jp/~tsuzuki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

都築 伸二 (TSUZUKI SHINJI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号:60236924

### (2) 研究分担者

山田 芳郎 (YAMADA YOSHIO)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号:00110833

### (3) 連携研究者

なし