

令和元年6月5日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06360

研究課題名(和文) 一線式信号伝送によるグリーンPLCシステムとグリッド・アウェアネスへの応用研究

研究課題名(英文) Application research to green PLC system and grid awareness by one-wire signal transmission

研究代表者

都築 伸二 (TSUZUKI, Shinji)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：60236924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、筆者らが考案した一線式PLCシステムを発展して、高SN比通信路を提供し、超低消費電力(グリーンな)PLCシステムという新たな研究領域を提唱することである。

本研究期間では、クレーンのブーム先端とフック間でのエネルギーと情報の同時伝送方式を開発した。この伝送路のインピーダンスは所望の周波数帯域において数10 Ω であるため、低減衰かつ低ノイズであり、データパケットを損失することなく100%伝送できた。

情報伝送用のトロイダルコアを共用して電力も同時伝送したところ、29mのワイヤで37%、91mで15%の電力伝送効率を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ワイヤロープを用いた電力伝送においては、インピーダンスマッチング技術が重要であり、その実現方法も見出したので、今後論文にまとめていく予定である。クレーン以外にも、ループ回路を形成している任意の有線線路に適用可能な研究成果である。

近年のIoT(Internet of Things)技術を用いれば、「もうすこし気の利いたEMC(電磁両立性)」(Smart EMCと呼んでいる)が実現できる可能性がある。電気学会内に設置した調査専門委員会にて、本課題で提案した「グリッド・アウェアネス」に関連する研究動向も調査している。調査結果は2年後に書籍として出版する予定である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop the single-wire PLC system that we invented, to provide a high signal-to-noise ratio communication channel, and to propose a new research area of ultra-low power consumption (green) PLC system.

In this research period, we developed a simultaneous energy and information transmission method between the boom tip and the hook of mobile cranes. Since the impedance of this channel is several tens of ohms in the desired frequency band, it has low attenuation and low noise characteristics, and 100% transmission could be performed without packet losses. When power was also transmitted simultaneously by sharing a toroidal core for the information transmission, the transmission efficiencies of 37% and 19% were achieved for wires of 29 m and 91 m, respectively.

研究分野：通信工学

キーワード：一線式信号伝送 電力線通信 Internet of Things スマートEMC 輸送機械内通信 Diagnostics (異常診断) グリーンシステム スマートグリッド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ビル監視システム等の従来から行われている電子機器間の通信(M2M; Machine to Machine)に加えて、全てのモノ、ヒト、および環境の状況を把握し、新しいサービスを実現しようとするIoT(Internet of Things)技術が注目され始めていた時期である。IoTでは、大量のセンサデータを長期間収集し続けるために、Wi-SUN(Wireless Smart Utility Network; 920MHz帯)や

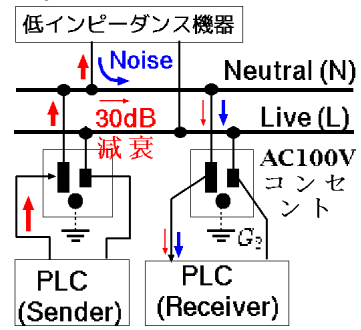
ZigBee(IEEE 802.15.4規格準拠、2.4GHz帯)といった低速・近距離ではあるが低消費電力の無線ネットワーク技術が用いられてきた。また、電波が使いにくい場所や、センシングに基づいた機器制御をするのであれば、電力線通信(Power-Line Communication; PLCと呼ぶ)も当時から注目されていた。

筆者らは1991年からPLCの研究に従事しており、電波法でPLC用に割り当てられている10k~450kHz(以後、kHz帯と呼ぶ)および2M~30MHz(MHz帯)のビル内や船舶の線路の

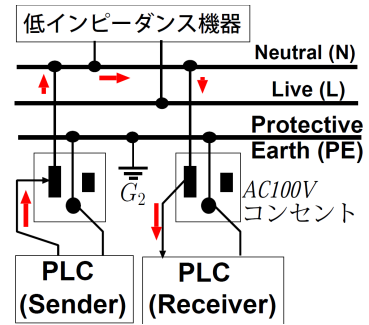
特性の解明とモデル化を行ってきた。無線に比べて電力線は、商用周波数(50/60Hz)に同期しながら時間軸および周波数軸で、SN比が変動し、かつ劣悪である点に特徴がある。特に、電気機器の電源回路が原因で線路インピーダンスが低い(0.1~数Ω)のため、図1(a)に示すようにPLC信号が約30dB減衰することが従来法の本質的な課題である。この対策として、従来のようにN-L(Neutral-Live)線間にPLC信号を注入せず、図1(b)に示すようにN線と大地(Protective Earth; PE、コンセントの3番目のアース端子)間に信号を注入するN-PE方式を筆者らは提案している。これにより低インピーダンス機器による信号減衰問題を回避できる。

しかし、無線システムの補完手段としてPLCを使うためには、図2に示すようなフロア毎に分電盤があるような大型ビルにおいては、N-PE方式だけでは不十分であった。図2において、例えば1階と2階との間であれば分電盤での信号減衰(約25dB)だけなのでN-PE方式で通信可能である。しかし、2階と3階との間では異なる幹線ケーブルを経由することによる減衰(約30dB)が加わり、合計55dBの減衰となるため通信不能となるからである。

そこで、考案したのが図3に示す一線式と呼ぶ伝送方式であり(特開2015-023505)、幹線経路による減衰を回避できる。これら2つの提案法が同時に使えるようになれば、「ビル内であれば



(a)従来のN-L方式



(b)筆者らが提案したN-PE方式

図1 同一分電盤内のPLC伝送方式

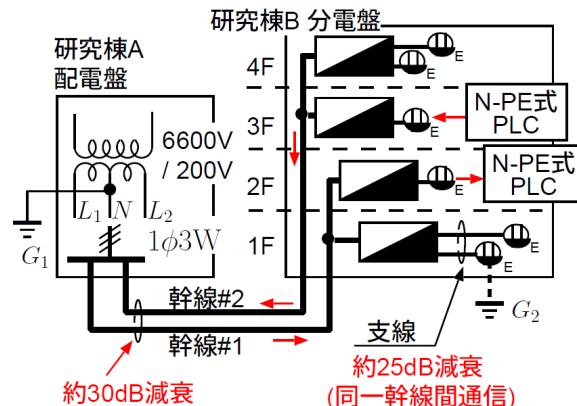


図2 大型ビルの配電例。(研究棟Aの電気室から幹線ケーブルで研究棟Bに配電している例。同一幹線間通信の場合は、分電盤の回路数に比例した減衰が生じる。)

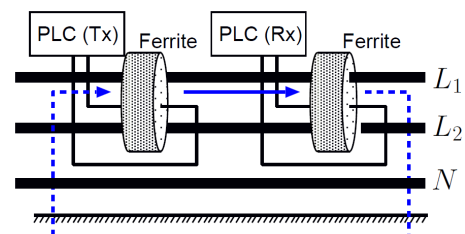


図3 一線式による信号伝送原理

どこでも PLC 可能」と言える通信品質を保証できる見込みであり、**本研究の動機**となった。

2. 研究の目的

IoT/M2M デバイスとの通信手段として、超低消費電力無線システムと、それらが使いにくいビル内等では PLC が期待されている。しかし従来の PLC システムでは信号減衰が大きいため、必ずしもビル内の隅々まで通信エリアとして網羅できなかった。これを克服するための信号処理に多大な電力を消費せざるを得ないという問題もあった。本研究では、筆者らが考案した一線式 PLC システムを発展して、信号減衰を低減し高 SN 比通信路を提供する。これによって超低消費電力（グリーンな）PLC システムという新たな研究領域を提唱する。その応用例として、電力線の状況（温度や電磁環境）や接続されている電気機器（電力消費量やノイズ発生）の変化を認識する「グリッド・アウェアネス」を挙げ、実現するための信号処理方式を研究する。

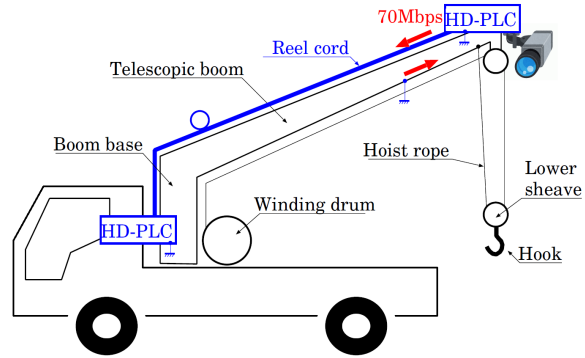


図4 検討したクレーン車とリールコード通信

3. 研究の方法

EMC（電磁両立性）問題において、ノイズを出す側と受ける側の間でのコミュニケーションができない場合、両立しているかどうかは知りえない。従来の EMC 規格では、機器単体のエミッションレベルを規定しても総量は制約されなかった。また、想定していない状況に電磁環境になったときの免疫性能は保証できなかった。今後、自動運転式のロボットに人命を託す機会も増えるであろう。こうした状況下でも安全安心に暮らすためには、「ICT を利活用することによって、もうすこし気の利いた EMC を実現」できないだろうか？という発想に至り、この概念を smart EMC と呼ぶことにした。電気学会の「スマートグリッド・コミュニティの EMC 問題調査専門委員会」(2014年10月～2017年9月。幹事拝命)にて Smart EMC 検討ワーキンググループを設置し（主査拝命）、この概念を定義する作業を進めた。

筆者らが考案した一線式 PLC システムの輸送機械応用として、当初は予定していなかったが図4に示すクレーン車を検討した。まず伸縮ブームに沿って配線されているリールコードに適用した。ブーム先端に監視カメラを設置することを目的としており、HD-PLC(High Definition PLC)信号の帰線経路は車体である。

次に行ったのが図5に示すクレーンのブーム先端とフック間通信への適用研究である。図中のワイヤとのインターフェースが図3で示したトロイダルコアであり、実物写真を図6に示す。

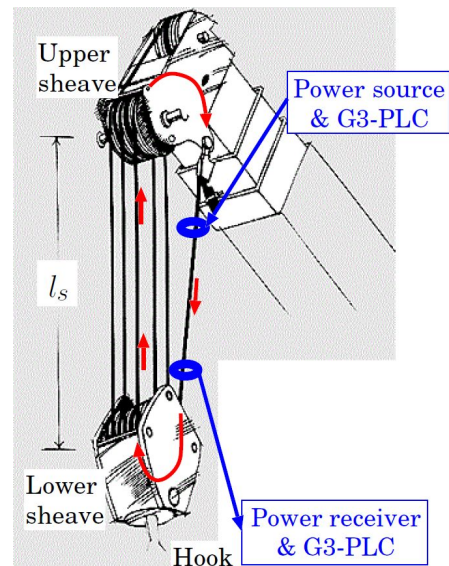


図5 クレーンのブーム先端とフック間通信

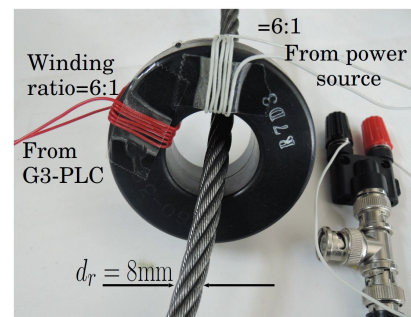


図6 一線式信号伝送用トロイダルコアの写真

IoT が進展している状況を鑑みれば、Smart EMC が実現できる可能性がある。こうした背景に着想を得て、2018 年 4 月からは同じ電気学会に「IoT 時代のシステムと EMC 調査専門委員会」を新規に設立し、筆者が委員長を務めている。同委員会では本課題で提案した「グリッド・アウェアネス」に関連する研究（電力線の状況（温度の他、絶縁劣化、断線）を検出認知する）動向も調査している。

4. 研究成果

10kHz ~ 30MHz までの帯域であれば、PLC 装置に内蔵する channel 推定機能を流用して、伝導および放射ノイズをモニタし、異常を検出する「グリッド・アウェアネス」にて実現可能と考えている。こうした Smart EMC の考え方を図書(2017.4)や研究会(2017.4, 2018.1, 2018.3)で発表した。

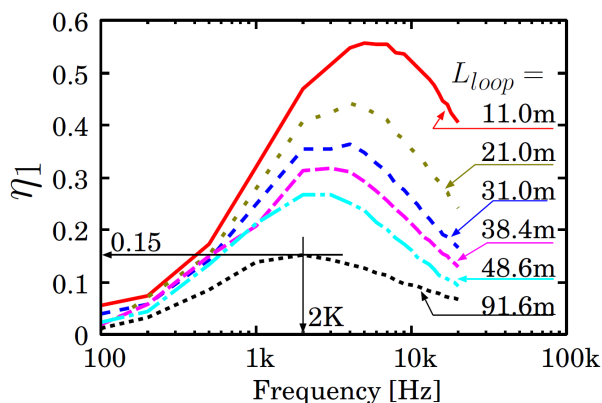


図7 ワイヤのループ長と電力伝送効率（実測値）

一線式 PLC システムを、図 3 に示したクレーン車のリールコードに適用した場合の実効スループットは 70Mbps であり、カメラ映像を伝送するに十分な性能を得た。図 4 に示したブーム先端とフック間の通信路は低減衰かつ低ノイズであるおかげで、HD-PLC であれば、図 3 と同じく実効スループットは 70Mbps であった。しかし、(1)実効スループットは kbps オーダでよいこと (2)不要輻射、いわゆる EMC 問題の懸念があること、のため G3-PLC(150k-400kHz を使用)モデムを通信に用いることを提案し、国際会議でその結果を発表した(2017.4)。

またフック先端に非接触で給電するために、kHz 帯を使うことも提案した。エネルギーと情報の同時伝送方式を開発し、国際会議でその成果を発表した(IEEE-ISPLC2019)。この伝送路のインピーダンスは所望の周波数帯域において数 10 であるため情報伝送の観点では低減衰かつ低ノイズであり、筆者らのシナリオではデータパケットを損失することなく 100%伝送できた。情報伝送用のトロイダルコアを共用して電力も伝送したところ、29m のワイヤで 37%、91m で 15% (図 7 参照) の電力伝送効率を達成した。電力伝送においてはインピーダンスマッチング技術が重要であり、その実現方法も見出したので、今後論文にまとめていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- [1] Shinji TSUZUKI, Simultaneous Transmission Method of Power and Information Using Hoist Ropes for Mobile Crane PLC, 2019 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC), 査読あり、pp.24-29
DOI: 10.1109/ISPLC.2019.8693377
- [2] Tsuzuki Shinji, Yamada Yoshio, Propagation characteristics of hoist ropes for mobile-crane PLC, IEEE-ISPLC2017 (2017 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications), 査読あり、pp.1-6, 2017.
DOI: 10.1109/ISPLC.2017.7897100

〔学会発表〕(計 8 件)

- [1] 都築伸二、愛媛大学の I o T 関連取り組み、電子情報通信学会通信方式研究会第 2 種研究

会第31回情報伝送と信号処理ワークショップ(C S W S 3 1), 2018年10月31日, 松山市(招待講演)

- [2] 谷田浩輝, 都築伸二, クレーン用ワイヤーロープによる電力伝送方式とその効率, 3-1, p.35, 平成30年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 松山, 平成30年9月22日.
- [3] 都築伸二, 徳田正満, 大前彩, 高草木恵二, 櫻井秋久, 原田高志, 原田公樹, IoT時代のSmart EMC, EMC-18-002, 電気学会電磁環境研究会, 2018.
- [4] 都築伸二, IoT時代のPLC技術の展開とSmart EMCの提案, 信学技報, vol. 117, no. 422, CS2017-82, pp. 19-23, 2018.
- [5] 水野拓輝, 日野景太, 都築伸二, 山田芳郎, 電子百葉箱用太陽電池出力のEDLC充放電回路の高効率化, 平成29年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-1, p.108, 2017.
- [6] 都築伸二, 輸送機械用電力線通信(PLC)の研究動向とSmart EMC, 電子情報通信学会, 無線通信システム研究会(RCS), 信学技報, vol.117, no.11, RCS2017-14, pp.67-70, 2017年4月24日.
- [7] 水野拓輝, 日野景太, 都築伸二, 山田芳郎, 電子百葉箱用太陽電池出力の充電回路の改良試作, 平成28年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-21, 2016年9月17日.
- [8] 都築伸二, 日野景太, 山田芳郎, 環境情報IoT基盤を用いた「校区のお天気」の可視化と広域化, 平成28年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-22, 2016年9月17日.

〔図書〕(計4件)

- [1] 都築伸二, 電気学会調査専門委員会設立ーIoT時代のシステムとEMCー今後の展開ー, 月刊EMC, No.372, 科学情報出版, pp.44-49, 2019.
- [2] 都築伸二他, スマートグリッド・コミュニティのEMC問題調査専門委員会編, スマートグリッドにおけるEMC課題、第8章 Smart EMC(pp.45-59), 8.1節 総論(pp.45-46), 電気学会技術報告, 2018.
- [3] 都築伸二, 電力線通信(PLC)の研究動向とSmart EMC, 月刊EMC, 科学情報出版株式会社, 2017年4月5日号, vol1348, pp.13-18, 2017.
- [4] 都築伸二他スマートグリッドとEMC調査専門委員会編, スマートグリッドとEMC 電力システムの電磁環境設計技術、5.3.3, 5.3.4, 6.1, 6.2.1, 付録A, 科学情報出版株式会社, 2017.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1)研究分担者(平成28, 29年度)

研究分担者氏名：山田芳郎

ローマ字氏名：Yoshio YAMADA

所属研究機関名：愛媛大学

部局名：理工学研究科（工学系）

職名：教授

研究者番号（8桁）：00110833

(2)研究協力者

特になし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。