

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04043

研究課題名(和文)一線式によるデータと電力同時伝送システムとSmart EMCへの適用研究

研究課題名(英文) Simultaneous data and power transmission system using one-wire system and study of its application to Smart EMC

研究代表者

都築 伸二 (TSUZUKI, Shinji)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・教授

研究者番号：60236924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：車載クレーンのワイヤーロープを用いた情報と電力の同時伝送システムに関する研究である。滑車(シーブと呼ぶ)を介してワイヤーロープが電氣的にループ回路を形成することに着目し、筆者らが考案した一線式PLC(Power-Line Communication)システムを適用した。これは、通常のPLCとは異なる電流駆動型であり、かつワイヤとはトランスを利用した非接触であることを特徴としている。

本研究では、筆者らのシナリオにおいて、最大可能受電電力を推定するためのシミュレータを作成し、実測値と一致するか検討した。またこの時に発生する伝導雑音を測定し、PLCが誤りなく行えるかを実験的に検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

送電側に理想パワーアンプを挿入し、また受電側に力率改善コンデンサを挿入したとき、ワイヤー長30mにおいて最大78W受電できるはず(理論限界値)であることをシミュレーションで求めた。実際に使用したパワーアンプをシミュレーションしたときは73Wであり、実測値と一致した。また、実用時に用いる予定の矩形波による電力伝送の際に磁気飽和によって発生する伝導雑音の各高調波振幅の増大傾向を数値で近似できることを明らかにした。

EMCの立場からは、磁気飽和が生じない状態で電力伝送を行うことが望ましい。誤差なくシミュレーションするために必要な、磁気飽和による給電電流の歪み率は0.11以下であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This is a study of a simultaneous information and power transmission system using a wire rope on a vehicle-mounted crane. The authors focused on the fact that the wire rope forms an electrical loop circuit via a pulley (called a sheave), and applied a one-wire PLC (Power-Line Communication) system devised by the authors. This system differs from ordinary PLC in that it is current-driven and non-contact with the wire using a transformer.

In this study, a simulator was created to estimate the maximum possible power received in the authors' scenario, and it was examined whether the results agreed with actual measurements. The conducted noise generated during the simulation was measured, and it was experimentally verified that the PLC could be performed without error.

研究分野：通信工学

キーワード：電流駆動型PLC 雑音の抑圧制御 クレーンワイヤ 電力伝送 G3-PLC 磁気飽和 高調波ノイズ 非接触給電

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

対象としたのは図1に示す車載クレーンであるが、これ以外にも、多種多様なクレーンが存在する。いずれも近年大型化が進んでいる一方で、熟練作業員の人材不足が続いており、アシスト機能(吊荷、つまりフック部の姿勢制御など)の搭載が求められている。滑車(シーブと呼ぶ)を介して電氣的にループ回路を形成することはいずれのクレーンにも共通であるため、本研究の成果の波及範囲は極めて広い。しかるに実用化例は未だ無い。

筆者らが考案した一線式 PLC システムは、通常の PLC とは異なる電流駆動型であり、かつワイヤーとは非接触であるため、ワイヤーロープ通信にも適している。さらに同じ構造で電力も同時伝送できるため、Smart EMC システムが具現化できれば、実用化に向けての懸念が解決できる。

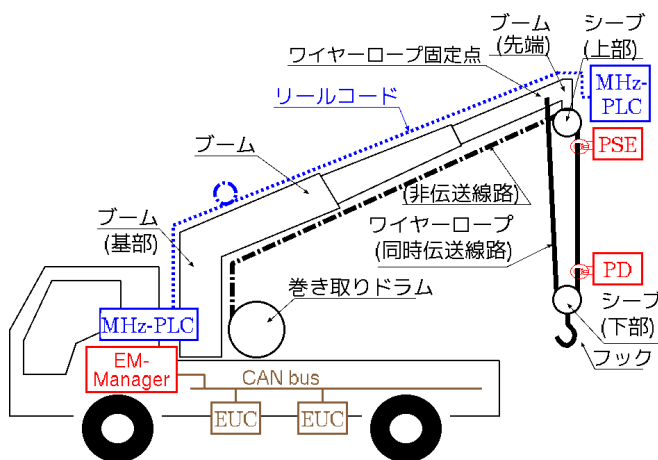


図1 本研究対象の車載クレーンの外観図。(ブームの基部から先端までの間は、一点鎖線のリールコード(直流給電線)を用いて一線式 PLC で通信できることは特許公開済み。本研究ではブーム先端からフックまでの間を、ワイヤーロープを用いて電力と情報を同時伝送する。)

2. 研究の目的

2.1 従来の EMC 技術

EMC 規格に準拠した電子機器は、他の機器に妨害(与干渉)を与えないように規定レベル以上の雑音は出さない。逆に言えば、全く出さないわけではないので、雑音が入ってきてても(被干渉)、規定レベル以下であれば誤動作しないことを保証する。つまり、与干渉と被干渉が両立する雑音レベルを策定すること、あるいは策定されたレベルに準拠するための技術開発が従来の EMC 技術である。

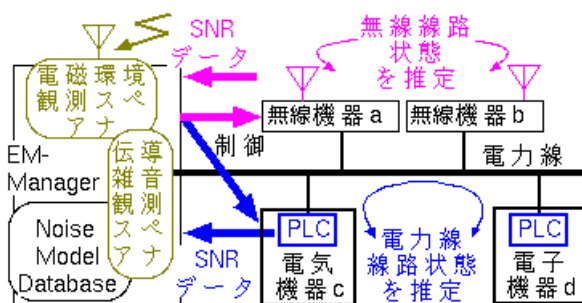


図2 通信機の線路状態の推定結果を2次利用する Smart EMC システム。(PLC は電力線の伝導雑音を、無線機は放射雑音を推定している。この情報を2次利用して、電磁環境(EM)-Manager が雑音源を特定し、かつ該当機器を制御することが研究の目的である。)

2.2 筆者らが提唱する Smart EMC

従来は、与干渉側と被干渉側とで相互に通信できないことを前提としており、両立しているかどうかは知りえなかった。しかし、図1に示したように雑音に関する情報を2次利用できれば、両立性を確保できるはずである。これを筆者らは Smart EMC と呼んでいる。

2.3 本研究の目的

図1に示す PSE (Power Sourcing Equipment) から送電した電力を、PD(Powered Device)にて受電できる最大可能電力を推定するためのシミュレータを作成し、実測値と一致するかを検討する。またこの時に発生する伝導雑音を測定し、PLC が誤りなく行えるかを実験的に検証する。

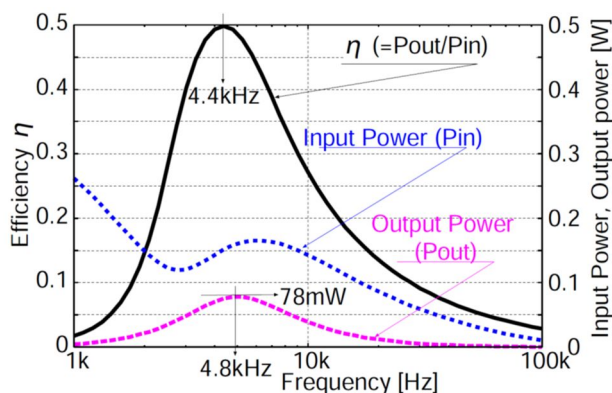


図3 電源周波数と電力伝送効率との関係。(研究開始時点で、ワイヤのループ長 $L=29\text{m}$ のとき $\eta=50\%$ を達成済み)

3. 研究の方法

研究開始時点での電源周波数と電力伝送効率との関係を図3に示す。ワイヤーのループ長 $L=29\text{m}$ のとき $\eta=50\%$ を達成していた。ただし、出力電力(図中 P_{out})の最大値が 78mW しかなかった。そこで、評価関数を η ではなく、受電可能電力の最大化とし、パワーアンプを PSE 側に導入した。達成目標は、USB Power Delivery(PD)規格相当の 50W とした。また、その周波数は、EMC を考慮して 1k から 10kHz の範囲で行うこととした。 10kHz 未満であれば妨害を与える放送や無線通信は存在しないためである。

送電と同時に通信には G3-PLC 規格 (154kHz から 403kHz , ARIB STD-T84) 準拠の市販モジュールを使用した。G3-PLC 規格は、電波法施行規則第 46 条 2 の 6 に定める一般搬送式デジタル伝送装置(搬送波の変調方式がスペクトル拡散方式のもの)に該当し、予め総務大臣から技術基準に適合していることの指定を受ける(型式指定)ための送信電力は、

- $10\text{mW}/10\text{kHz}$ (200kHz 以上)
- $30\text{mW}/10\text{kHz}$ (200kHz 未満)である。

以上をまとめると図4のような FDM(周波数分割多重)システムである。

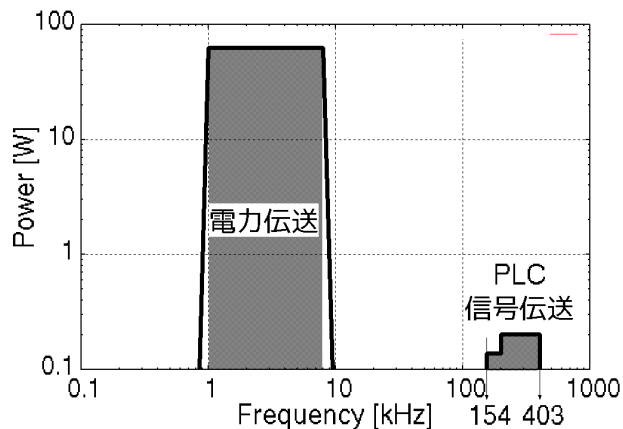


図4 本研究で使用する周波数バンドと伝送電力

4. 研究成果

4.1 2021 年度

図3の従来システムでは筆者らが考案した一線式 PLC にて非接触で通信が行えることを実証することが目的であったため、信号源の出力インピーダンスは 50Ω であり、最大 78mW しか PD で受電できなかった。そこで、PSE 側にオーディオ用パワーアンプを挿入し、また PD 側に力率改善コンデンサを挿入した結果、ワイヤー長 30m において最大 73W まで受電可能になり、当初受電目標の 50W 以上の成果を得た。また、この 73W 受電時、高調波ノイズが発生していることを確認したうえで、同じワイヤーで行った PLC (G3-PLC 規格準拠) に及ぼす影響について考察した。

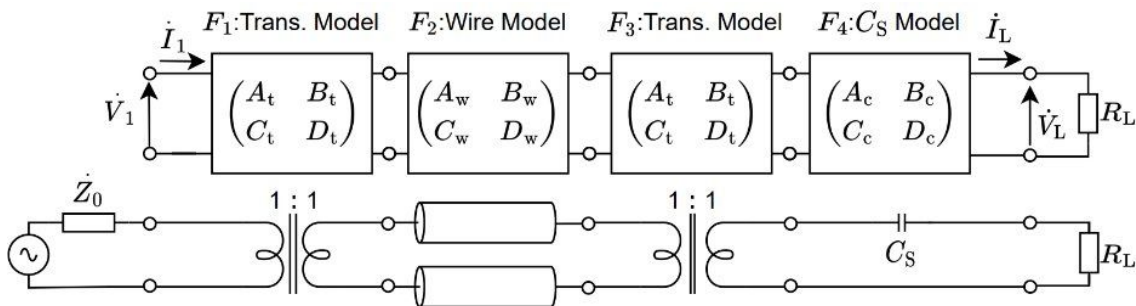


図5 PSE から送電した電力を、PD にて受電できる最大可能電力を推定するためのシミュレータの構成

4.2 2022 年度

PSE 側に理想パワーアンプを挿入し、また PD 側に力率改善コンデンサを挿入したとき、ワイヤー長 30m において最大 78W 受電できるはず(理論限界値)であることを、図5に示すシミュレーションで求めた。ワイヤー伝送路を F 行列の縦続接続でモデル化した。トランス F_1 , F_3 、ワイヤー F_2 、力率改善コンデンサ C_s の F_4 、それぞれ FRA(Frequency Response Analyzer)で測定した。

図6が、シミュレーション結果と実測値との比較である。 13.5kHz 以上では磁気飽和が軽度であり、両者はよく一致した。また、実際に使用できるパワーアンプにシミュレーション条件を合わせたときは 73W であり、実測値と一致した。

また、実用時に用いる予定の矩形波による電力伝送の際に磁気飽和によって発生する伝導雑音の各高調波振幅は、当初機械学習による雑音モデルを想定していたが、数値で近似できる

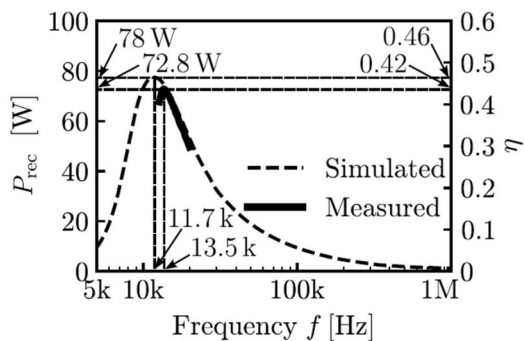


図6 シミュレーション結果と実測値との比較

ことを明らかにした。また、その高調波が PLC (G3-PLC 規格準拠) 装置に及ぼす影響については、トランスの磁気飽和を許容する場合でも EMC 的な問題は生じない程度であった。

4.3 2023 年度

EMC の立場からは、磁気飽和が生じない状態で電力伝送を行うことが望ましい。誤差なく受電電力をシミュレーションするために必要な、磁気飽和による給電電流の歪み率は 0.11 以下であることを明らかにした。その制約下での計算結果と実測値との比較を図 7 に示す。ワイヤー長が 2 から 30m の範囲で変動しても、受電可能電力の推定誤差は 4% 以下であることを明らかにした。

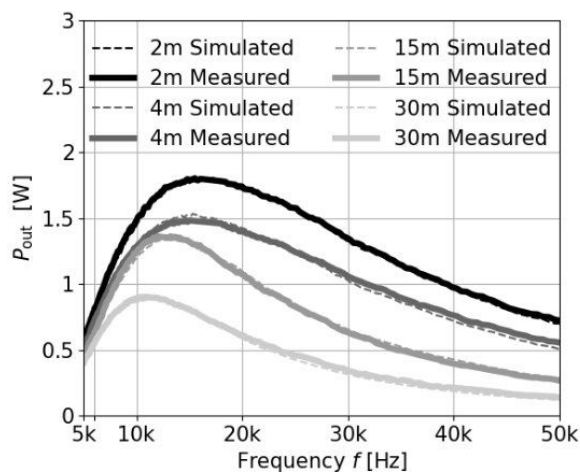


図 7 歪み率は 0.11 のときのシミュレーション結果と実測値との比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 喜田 光紀, 吉井 達也, 都築 伸二
2. 発表標題 クレーンワイヤー電力伝送の最大受電可能電力のシミュレータ の製作
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会, 高松市, 2023年9月23日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 雄貴, 高田 拓郎, 都築 伸二
2. 発表標題 2値化FM-CW 信号を用いたツイストケーブル長推定
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会, 高松市, 2023年9月23日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 都築伸二
2. 発表標題 有線・無線IoTシステムを用いた防災・減災への取り組み事例の紹介
3. 学会等名 IEICE信学技報, vol. 122, no. 235, pp.53-58, RCS2022-140, 発行日2022-10-20, Print edition: ISSN 0913-5685; Online edition: ISSN 2432-6380. (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉井 達也, 都築 伸二, 岡南 佑紀
2. 発表標題 クレーンワイヤーによる電力伝送時の磁気飽和による高調波スペクトルモデル
3. 学会等名 3-10, 令和4年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会, 2022年9月24日(土), ハイブリッド開催(徳島大学).
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田 拓朗, 都築 伸二, 岡南 佑紀
2. 発表標題 2 値化 FM-CW 信号を用いた同軸ケーブル長推定の基礎検討
3. 学会等名 12-9, 令和4年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会, 2022年9月24日(土), ハイブリッド開催(徳島大学).
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉井達也, 都築伸二, 杉本大志, 岡南佑紀
2. 発表標題 クレーンワイヤーによる大電力伝送システム
3. 学会等名 IEICE, 信学技報, vol. 122, no. 4, EMCJ2022-3, pp. 13-18, 2022-04-15
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉井達也・都築伸二・杉本大志・岡南佑紀
2. 発表標題 クレーンワイヤーによる大電力伝送システム
3. 学会等名 信学技報, vol. 122, no. 4, EMCJ2022-3, pp. 13-18, 2022-04-15
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柿本侑亮・都築伸二・杉本大志・李 還幫・長尾和彦
2. 発表標題 LoRa無線の疑似海上伝搬特性とその測定システムの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会信学技報, vol. 121, no. 297, RCC2021-53, pp. 71-75, 発行日: 2021-12-06 (WBS, ITS, RCC), 発表日時: 2021-12-13
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉井達也, 都築伸二, 杉本大志
2. 発表標題 クレーンワイヤーによる 5 W 級電力伝送システム
3. 学会等名 令和3年度 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 8-5, p.53, 2021年9月17日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柿本侑亮, 都築伸二, 杉本大志
2. 発表標題 LoRa 無線の疑似海上伝搬特性と ITU-R モデルとの比較
3. 学会等名 令和3年度 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 12-8, p.111, 2021年9月17日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡野 宏佑, 杉本 大志, 都築伸二
2. 発表標題 , 深層学習による未来予測を活用した小型船舶衝突回避システムの基礎検討
3. 学会等名 令和3年度 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 15-7, p.174, 2021年9月17日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 都築伸二
2. 発表標題 無線IoTシステムを用いた防災・減災, 防疫への取り組み事例の紹介
3. 学会等名 令和3年電気学会A部門大会, 特別企画 持続可能なポストコロナ社会の実現に向けた研究・技術開発の紹介 - 基礎・材料・共通部門の取り組み -, 3-A-a1-3, p.1, 2021.9.3
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 都築伸二(分担), 章「IoT時代のシステムとEMC 調査専門委員会」での主要なトピック紹介	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本能率協会	5. 総ページ数 92
3. 書名 TECHNO-FRONTIER 2022 - 第35回 EMC・ノイズ対策技術展, 特別企画『世界のEMC規格・規制(2022年度版)』	

1. 著者名 都築伸二(分担)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本能率協会,	5. 総ページ数 81
3. 書名 , IoTとEMC~電気学会の調査専門委員会の活動状況~, 第34回 EMC・ノイズ対策技術展<特別企画>世界のEMC規格・規制(2021年版), pp.16-25, 2021年6月23日発行.	

〔産業財産権〕

〔その他〕

publications(2009年以降) http://miyabi.ee.ehime-u.ac.jp/~tsuzuki/Gyouseki/gyouseki_1.html 業績2009年以降 http://miyabi.ee.ehime-u.ac.jp/~tsuzuki/Gyouseki/gyouseki_1.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	杉本 大志 (SUGIMOTO Masashi) (40780424)	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・助教 (50102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------