

在宅ケア向け「HD-PLC」を使用したネットワーク構成の一検討

○古賀 久雄*、脇坂 俊幸*、井形 裕司*、田中 真**

*パナソニック(株)、**東京電力ホールディングス(株)

1. はじめに

昨今、福祉・医療サービスを在宅のまま提供する在宅ケアを受けられる方が増えている。この場合、家族に加えて介護、医療、福祉などに携わっている方々の協力・支援が必要であるが、人手不足が深刻化しているのが実情である。

人手不足の解消、あるいは福祉・医療の高度化のため、医療機器あるいは様々な情報を収集するための IoT 機器が今後宅内で使用されると考えられている。これらの機器の一部はクラウドへ接続されることになるが、そのためには安価なネットワークが必要である。

また、通信機器と医療機器が近くで使われることが多くなってきており、短波帯 (2-28MHz) を使用した高速 PLC (Power Line Communication) からの医療機器への影響についての調査も開始されている [1]。

本研究では、上記ネットワークを構成する候補となる「HD-PLC」を使用した在宅ケア向け屋内外ネットワーク構成の一検討について報告する。

2. 「HD-PLC」

ここでは、国際標準 IEEE 1901 [2] および TTC 標準 (JJ-300.20 and 21) [3] である「HD-PLC」 [4]-[5] を使用する。図 1 に「HD-PLC」の送信系のブロック図を示し、また表 1 に主な仕様諸元を示す。本方式では、変調方式として Wavelet OFDM を採用し、アマチュア無線帯域にノッチを施して 2-28MHz 帯域を使用して通信することで、PHY 速度で最大 240Mbps を実現する。また、誤り訂正には LDPC-CC を実装することにより、強力なロバスト通信を可能とする。

本方式は、これまで主に屋内用途で使用されてきたが、2013 年に行われた屋外

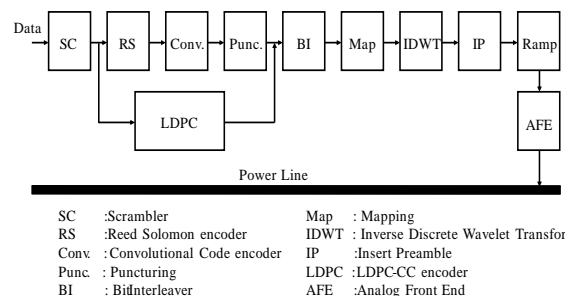


図 1 「HD-PLC」送信系のブロック図

表 1 「HD-PLC」の主な仕様諸元

Item	Specifications
Frequency band	2~28MHz
OFDM type	Wavelet
Num. of sub-carrier	360 (with amateur notches)
Sub-carrier interval	61.03515625kHz
Symbol length	8.192μsec
Modulation	2~32PAM
FEC	RS, RS-CC and LDPC-CC (RS: Reed Solomon, CC: Convolutional Code)
Max. PHY rate	240Mbps
Communication mode	Normal and Robust (Diversity) mode
Transmit power	Up to -50dBm/Hz (depends on country regulations)

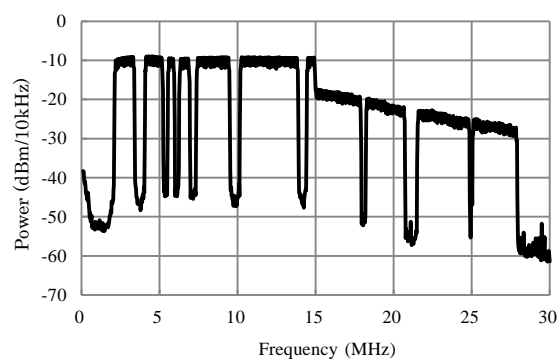


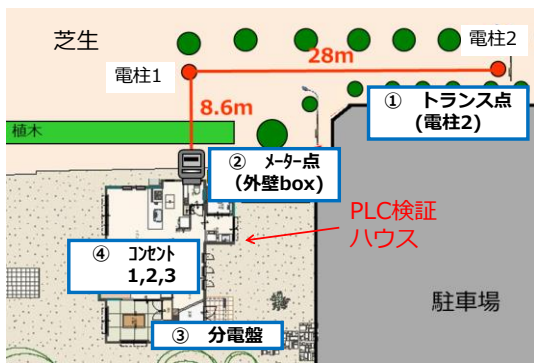
図 2 「HD-PLC」周波数スペクトル

利用に係る省令等の改正により、分電盤負荷側においては屋外でも使用可能となり、適用範囲が広がっている。

図 2 に市販品の「HD-PLC」(IODATA 製 :



(a) 外観



(b) 上空から見たイメージ

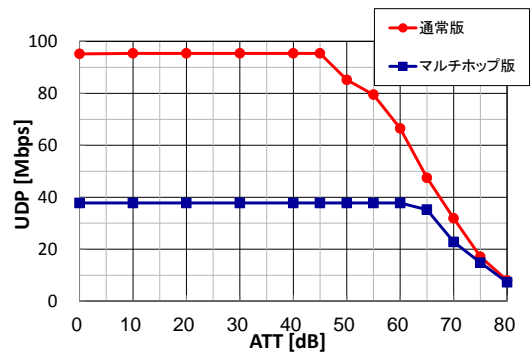
図3 「HD-PLC」検証ハウス

PLC-HP240EA-S)の周波数スペクトルを示す。

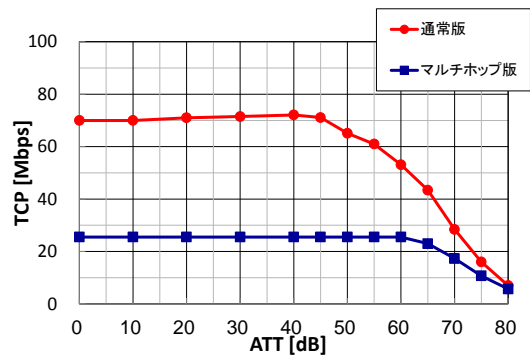
3. 測定環境

本研究では、在宅ケアをイメージした戸建ての測定環境を構築した。図3に測定環境である「HD-PLC」検証ハウスを示す。

ここでは、“電柱2”まではネット環境（光網あるいは携帯網）が構築されており、ラスト数十mを「HD-PLC」で接続してネットワークを構築することを仮定する。この場合、①（トランス点）に「HD-PLC」Coordinatorを設置し、その他の②（メーター点）、③（分電盤）、④（コンセント）にはすべて「HD-PLC」Nodeを設置した。今回の検討に使用する試作機（マルチホップ版「HD-PLC」アダプタ）は、市販されている IODATA 製「HD-PLC」アダプタのソフトをアップデートすることで作製



(a) UDP



(b) TCP

図4 「HD-PLC」通信速度

した。そのため、ハード的な変更は行っていない。

4. 「HD-PLC」通信特性

図4に静的環境下での通常版「HD-PLC」（市販品）と試作したマルチホップ版「HD-PLC」のUDP/TCP通信特性を示す。図4から、雑音がない環境下においては、どちらもATT（減衰器）80dBの減衰量で通信可能である。ただし、マルチホップ版においては、その機能をソフト処理ですべて行っているため、通信速度の上限が1/2以下に制限されている。なお、マルチホップ時の通信特性としては、静特性環境下における10ホップ時のTCP通信速度において10Mbps以上を得ている。

次に、実際の環境を想定した図3(b)の①②③④の各点にマルチホップ版「HD-PLC」を設置した場合の通信特性を測定した。ただし、電力線において①（トランス点）からの2-30MHzの帯域を使用

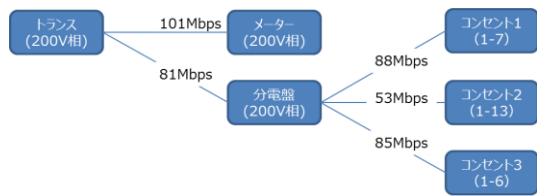


図5 マルチホップトポロジー
(数値：PHY速度[Mbps])

表2 マルチホップ時の通信速度

	UDP (Mbps)	TCP (Mbps)
	上り／下り	上り／下り
① ⇄ ②	32.5 / 34.4	22.5 / 22.5
① ⇄ ③	30.9 / 24.7	18.1 / 16.6
① ⇄ ④ (コンセント1)	15.0 / 14.5	10.3 / 9.6
① ⇄ ④ (コンセント2)	8.4 / 8.8	5.6 / 7.3
① ⇄ ④ (コンセント3)	16.5 / 17.8	10.9 / 10.3

する高速 PLC 通信は許可されていないため、実験局申請を行って今回の実証を行った。

この場合のマルチホップトポロジー結果を図5に示す。配線としては、③(分電盤)以降の④(コンセント)において、コンセント1,2は同相でかつ同一回路ブレーカ(渡り配線)に接続され、コンセント3は異相関係にある。各「HD-PLC」アダプタはコンセントでの接続以外は、すべて200V接続とする。

①(トランス点)にCoordinatorを設置し、その他にはNodeを設置している。また、図5に示している数値は各「HD-PLC」アダプタ間のPHY速度である。このように、マルチホップ機能を使用することで、①(トランス点)から宅内の④(コンセント)までネットワーク接続することが可能となっている。この時のUDP/TCP通信速度を表2に示す。1ホップで接続されている部分については高速通信で接続され、2ホップで接続されて

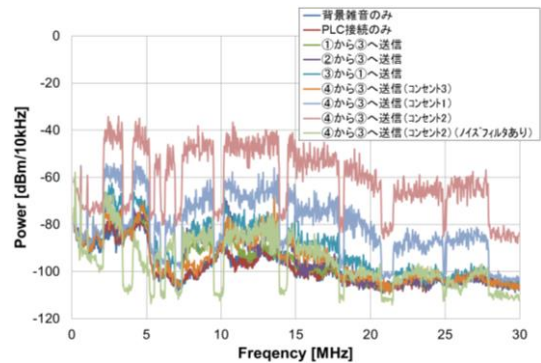


図6 周波数スペクトル
(④(コンセント2)で測定)

表3 図6の平均受信レベル
(背景雑音のみと相对比较)
(2-28MHzの通信帯域内)

④で測定(コンセント2)	平均レベル dB
「HD-PLC」接続のみ	0.18
①から③へ送信	3.3
②から③へ送信	6.3
③から①へ送信	10.5
④から③へ送信 (コンセント3)	5.2
④から③へ送信 (コンセント1)	23.6
④から③へ送信 (コンセント2)	45.3
④から③へ送信 (コンセント2+ノイズフィルタ)	7.0

いる部分については、1ホップ時における通信速度の半分程度であった。

5. 「HD-PLC」送受信信号からの影響

電力線に接続されている他機器から見ると、「HD-PLC」の信号は雑音となりえる。そのため、今回は①～④に設置した「HD-PLC」アダプタからの送受信信号レベルを測定した。図6に④(コンセント2)で観測された「HD-PLC」アダプタの送受信信号の周波数スペクトルを示す。また、通信帯域内(2-28MHz)の背景雑音のみ

表4 時間波形の rms 値

④で測定 (コンセント 2)	rms 値(mV)
「HD-PLC」なし (背景雑音のみ)	6
③から①へ送信	48
③から④へ送信	130
④から③へ送信	500
④から③へ送信 (ノイズフィルタあり)	4
背景雑音のみ (ノイズフィルタあり)	1
プラズマ TV	60

と「HD-PLC」送受信信号が存在する場合との相対値(dB)を表3に示す。

表3から背景雑音と比較して、「HD-PLC」接続のみの場合では、平均で0.18dBの増加であった。これは、間欠で送信されてくる制御信号に対する応答信号によるものである(現在の設定では10秒に1回)。また、①(トランス点)／②(メーター点)からの送信の影響は3~6dB程度であるが、③(分電盤)からの送信の場合は、約10dBまで増加した。さらに、各④(コンセント)から送信した場合の④(コンセント2)での影響について示す。④(コンセント3)からの送信の場合は、分電盤を介しているため影響が小さい(5.2dB)が、④(コンセント1と2)では渡り配線となっているため影響は23.6dBの増加であった。特に、同じ④(コンセント2)からの送信の場合は45.3dBまで増加した。ただし、ノイズフィルタ(Panasonic製BL-PST15)を接続した状態で測定した場合は7dBの増加に留まった。このノイズフィルタにより、約40dBの減衰が得られた。

表4に送受信信号の時間波形のrms値を示す。ここでは、最も「HD-PLC」送受信信号の影響がある同じコンセント2に接続した場合で測定した。まず、背景雑

音のみの場合のrms値は6mV程度であったものが、③(分電盤)からの信号を①(トランス点)で受信する場合には48mVであり、④(コンセント2)で受信する場合には130mVであった。また、④(コンセント2)から送信する場合は500mVまで増加した。ただし、同様にノイズフィルタを接続することで4mVまで減少した。なお、ノイズフィルタ有りの場合の背景雑音レベルは、1mVであった。参考として、50インチプラズマTVをONした場合には60mV程度であった。

上記のことから、①(トランス点)から③(分電盤)間での「HD-PLC」通信においては、家電機器(一例としてプラズマTV)からの影響と同レベルであることがわかる。また、宅内における「HD-PLC」通信からの影響は、家電機器からの影響と比較して大きい。

国際的なイミュニティ規格であるIEC61000では、IEC61000-4-6にて伝導RFの適合性レベルとして3Vrms(150kHz~80MHz)が定められている。また、高速電力線通信推進協議会ではガイドラインを策定し、最大出力電圧を3Vrms以下とするよう求めている[7]。国内で市販されている高速PLCは、少なくともこの基準を超えない(表4では最大500mVrms)、且つ電力線に接続される医療機器のイミュニティ耐性が上記規格に準拠している場合、同じコンセントで高速PLC通信が行われても甚大な影響あることはないと考えられる。

一方、2-28MHzの周波数を医療測定に利用されている超音波診断装置については、モニタとスピーカに雑音が混入したとの報告[1]があることから、雑音混入のメカニズムを明らかにすると共に、「ノイズフィルタを医療機器の電源プラグに接続する」、または「異なる回路ブレーカ下の電力線配線を活用する」など、上記超音波診断装置の電源には、減衰した高速PLC信号しか届かないように活用方法を提示するガイドラインを策定し、安全な

利活用を図るよう推進していく必要がある。

まとめ

本論文では、在宅ケア向けとして、宅内までのラスト数十mを高速 PLC 技術であるマルチホップ版「HD-PLC」を適用した場合について検討した。

実証結果では、医療機器を含めた IoT 機器用の IP ネットワークとして十分な通信速度を確保していることを示した。また、各コンセントから得られる雑音としてみた場合の「HD-PLC」信号レベルについても測定し、医療機器を含めた IoT 機器への影響についても考察した。その結果、IoT 機器が接続される回路ブレーカ以外で「HD-PLC」信号の送受信が行われる場合であれば、家電機器（ここではプラズマ TV）から直接得られる雑音レベルと比べて同等以下の rms 値であった。

ただし、同様な測定を同一回路ブレーカ内の同一コンセントで行った場合は特に大きな rms 値が観測された。このことから、「HD-PLC」信号からの影響が報告されている 2-28MHz の周波数を医療測定に利用されている超音波診断装置については、「ノイズフィルタを医療機器の電源プラグに接続する」、または「異なる回路ブレーカ下の電力線配線を活用する」など、上記超音波診断装置の電源には、減衰した高速 PLC 信号しか届かないように活用方法を提示するガイドラインを策定し、安全な利活用を図るよう推進していく必要がある。

今後は、様々な医療機器へ与える「HD-PLC」信号の影響などを調査すると共に、集合住宅あるいは実際の病院などでの実証実験を行っていきたい。

参考文献

[1] 石田, 花田, 廣瀬: 高速電力線搬送通信 (PLC) の医療現場での安全な利用のための基礎的検討 (第 2 報), 平成 27 年度 第 4 回医療電磁環境研究会

[2] <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html>

[3] <http://www.ttc.or.jp/cgi/document-db/docdb.cgi?cmd=s&sc=T25>

[4] <http://www.hd-plc.org/>

[5] H Koga, N Kodama, and T Konishi: "A study on the performance of Wavelet OFDM in power line", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.128, No.7 p.1081-1086 (2008) (in Japanese)

[6] 村井: 医用電気機器に関する EMC 規制と測定/評価方法, 平成 28 年度 第 1 回医療電磁環境研究会

[7] 高速電力線通信推進協議会: 安全と共存のためのガイドライン