

## 電力線通信 (Power Line Communication) のお話

㈱オー・ケー・イー・サービス

古賀 浩行

### 初めに

電力線通信(以下 PLC と略記します)は昭和 30 年代、大学で有線通信の 1 つとして電力線搬送という内容の講義を受けた事があります。当時は数百キロヘルツ間隔の複数の搬送波を使って伝送する方式が記録に残っています。

今回お話するのは、高速 PLC に関するもので、当時のものとは雲泥の差が感じられ、電子技術の革命的な進歩に驚かされます。

高速 PLC は外国では既に商用化され、一般家庭でもパソコン通信の 1 つのモデムとして使用されており、日本のメーカーも輸出していますが、残念ながら外部へのノイズの問題が災いして、日本では一般に開放されたのは昨年 10 月 4 日です。これは私達が住む家の構造も災いしていると思います。しかしながら船舶に搭載する事はまだ許可されていないのが現状です。

その理由は、やはり前述の外部へのノイズの問題が関係して、重要な船舶通信に支障を来たしてはならない、というのが主な理由のようです。しかし船舶では、木船や FRP 船を除けば殆どが鉄船かアルミ船です。その中で使用される電力用ケーブルは船用の規格品であるあじろ外装ケーブルが使用され、そして船体は海水にアースされているので、むしろ船舶が最も使用に相応しい場所と思います。

船舶への搭載が許可された場合、その応用範囲は、船内電話は勿論の事、船内指令装置や水晶時計或いは火災報知機、そして船内のパソコン通信、さらには画像伝送と大変広範囲にわたり利用されると思います。

それが船内の電灯線だけで船内 LAN が実現出来るのですからこれは造船技術にも革新的な影響を与えるものと思います。この技術は在来船の生活環境も変える可能性をもっており、乗組員の生活にも良い生活環境を与える事になり得るものと思います。

これが実現できれば私達電装工事に携わる者にも遮蔽しよへいに関する電装技術が今迄よりはるかに重要になり、遮蔽技術を実際に身につける必要が出てきます。その技術によって初めて以上の夢が実現できるのではないのでしょうか。

それでは PLC とはどんなものなのか、以下に順次お話いたします。少し硬い部分もありますが、浅学故にどの位分かり易くお話できるか分かりませんが、最後までお付き合いのほどをお願い致します。もし不明な部分がありましたら、直接お問合せ下さい。

### 電力線通信とは、どんなものか

一言で言えば読んで字の如く、電力線を使って信号の送受信を行うことです。電力線とはこの場合 AC100V、50Hz か 60Hz が流れている電灯線です。この電線に信号を乗せるのです。ではどうすれば乗せることが出来るのか。

もし電灯線に AC100V が来ていなければ、直接つないで伝送する事が出来ます。これは電話のようなものですね (図-1)。

しかしここでは AC100V が常時供給されており、電灯や冷蔵庫やテレビ等に電力を供給している状態の電線に信号を乗せるので、直接信号を乗せても AC100V の影響を受けて任意の場所でその信号を受信

しても識別できません。

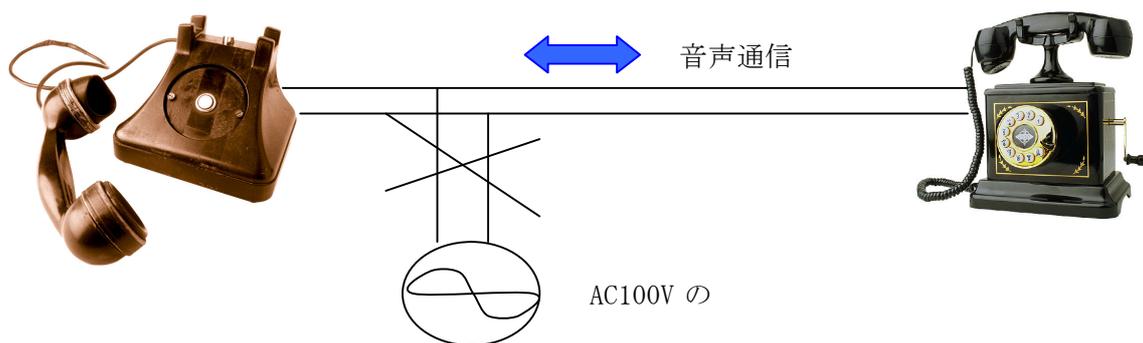


図-1) AC100V を切ると通話ができる

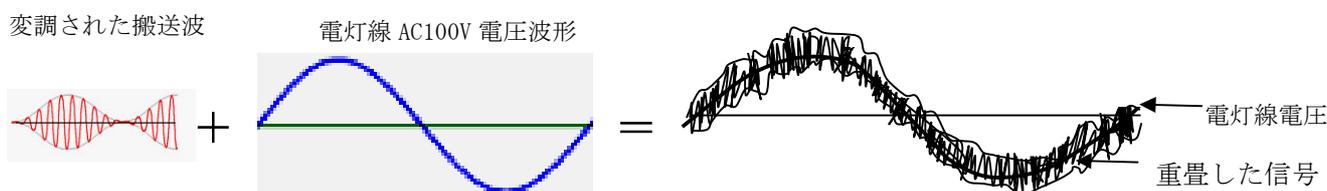


図-2) AC100V に変調された搬送波を重畳した場合の波形

それで伝送する手段として良く知られているのは無線通信ですが、信号を電波に乗せて伝送しますので電波として空間に輻射されてしまいます。

PLC もこれと似たような方法を取り、電灯線に接続しますが、電波として出ないようにする、そこが PLC の大きな特徴です。

PLC では、信号で電波、この場合搬送波になりますが、その搬送波を変調して電灯線に接続して送信し、任意の電線上で受信し、そして元の信号に戻す、即ち復調する事で送受信を行います。この搬送波の周波数は数 10KHz 以上のものです。図-2) 参照。

何故信号を伝送するのに搬送波を使うのかというと、電灯線の AC100V と識別する方法が必要になりますが、信号のレベルを高くする事は、外部への影響を与える事も懸念されるので、出来る限り信号レベルを下げる必要があります。そして AC100V 50/60Hz の信号とは全く異なる信号を重畳すれば、受信側での識別が容易になり、AC100V の影響を受ける事なく受信できる訳です。このような理由で搬送波を使用します。

以上のようにする事で一応は通信は出来るようになります。

しかしこれは音声の伝送ならば周波数が低いので減衰も少ないので何とか伝送できると思われませんが、うまく出来る保証はないのです。その理由は外部雑音による妨害です。これは電力線には AC100V の他にも雑音成分があり、それは周波数が低いほど強いようです。その参考データが 図-3) と図-4) です。

図-3) や図-4) のように低い周波数では雑音レベルが強くなっており、低い領域で電力線搬送を行おうとすると、信号対雑音特性、即ち S/N を良くするためには、それなりの細工が必要だと思います。その方法は、雑音に強いスペクトラム拡散という技術を使うと、雑音成分の中に信号が埋もれても、特殊な方法で信号を雑音から分離することが出来るようです。

このスペクトラム拡散方式で変調された搬送波を使用すると、伝送速度は低い方は数100bps前後から192kbps以下の伝送速度が得られるようです。

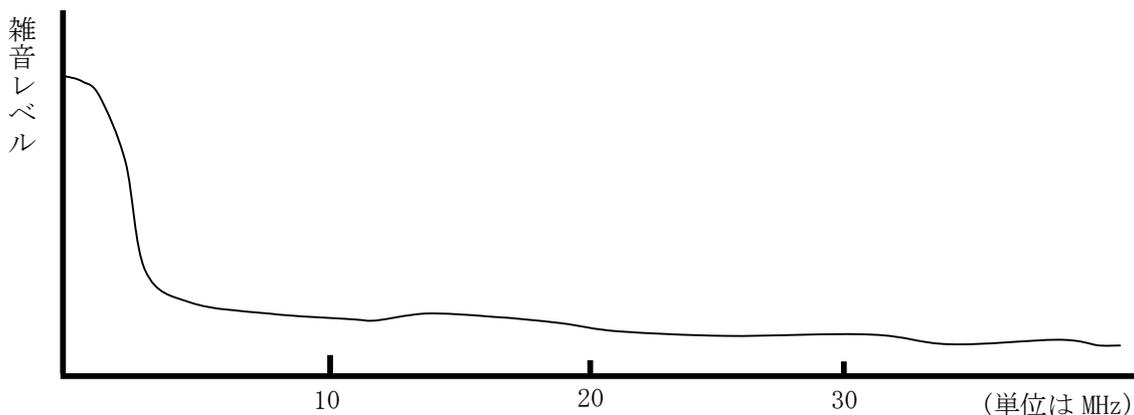


図-3) 一般的な電源上の雑音分布

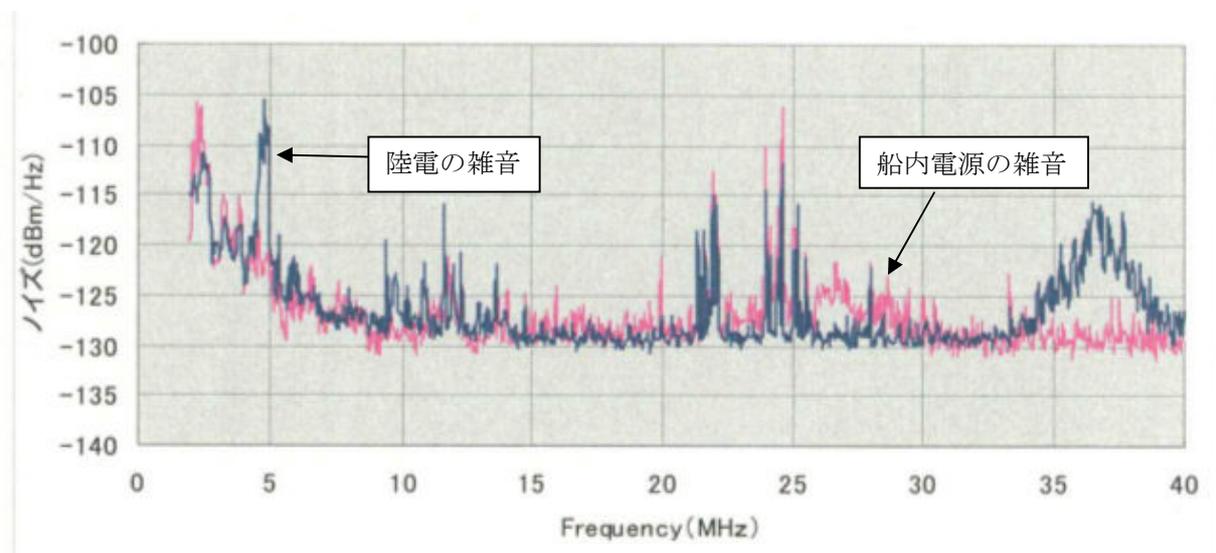


図-4) 船舶での陸電と船内電源上の雑音分布の比較

搬送波は450KHz以下で、応用例ではEchonet (Energy Conservation and Homecare Network)、これはエネルギー節約と在宅看護の頭文字をとったものネットワーク制御用とか、冷凍コンテナの温度管理や船舶内のエンジンモニタや電力計の遠隔モニタ等の電力線伝送に使用されており、電波法でもその使用が1990年代に許可されています。

以上は低速度での電力線搬送の例です。主題の高速伝送は2Mbpsから200Mbpsという伝送速度を実現できる伝送技術についてのお話です。この速度を実現するためには搬送波はもっと高域の周波数帯が使用されます。それは2MHz帯から30MHz帯が使われます。図-3)や図-4)でも分かるように、5MHz帯以上では、急激に雑音レベルが低下しているため、搬送波のレベルは低レベルでもS/Nを良くすることが可能であることを示しています。この帯域を使って、最高で200Mbpsの伝送速度が実現可能だそうです。この伝送速度が実現しますと完全動画の伝送が可能となり、これは電灯線でテレビの画像が伝送できることを意味しています。その1例が図-5)です。これは家庭内での高速PLCを用いた有線LANによるビジュアルホームネットワークのモデルです。このようなシステムを構築す

る高速PLCについて以下にお話いたします。

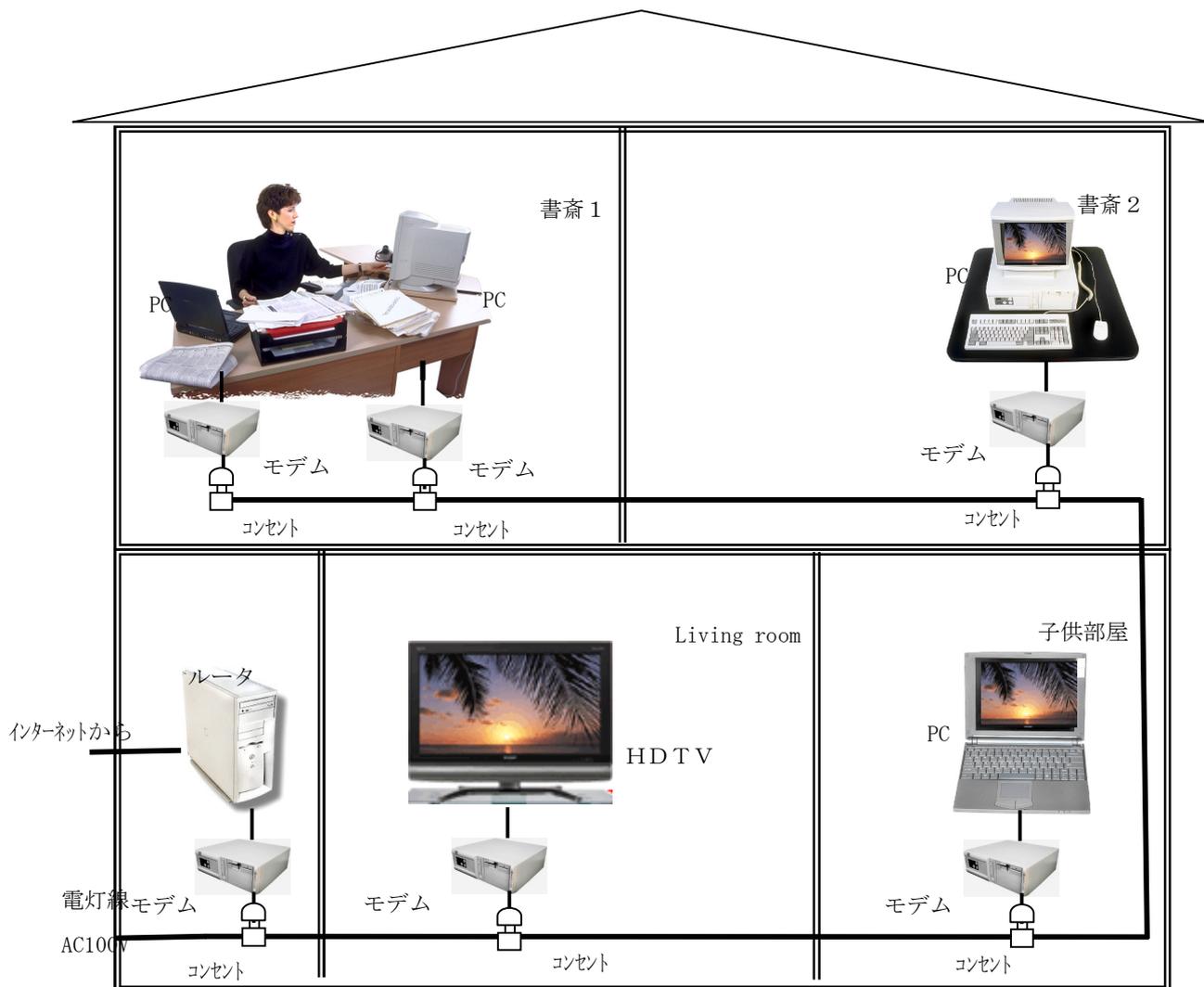


図-5) 家庭内高速PLC使用有線LANホームビジュアルネットワーク

### 搬送波を変調すること

搬送波を変調することが必要という事は既にお話しています。

この変調方法には大きく分けるとアナログ変調とデジタル変調があります。アナログ変調の代表的なものがラジオ放送の振幅変調(AM)と周波数変調(FM)の二種類です。その説明が図-6)です。

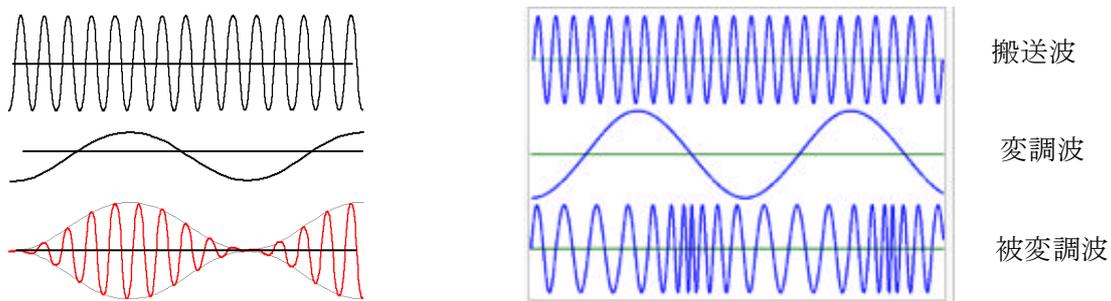


図-6) 振幅変調(左図)と周波数変調(右図)

この中で振幅変調は雑音に弱く、周波数変調は雑音には強いが搬送波が一般に高い周波数で、占有

帯域幅が広いので、そのためにどちらも PLC の変調方法としては適しているとはいえません。この他位相変調もありますが、周波数変調と同様です。

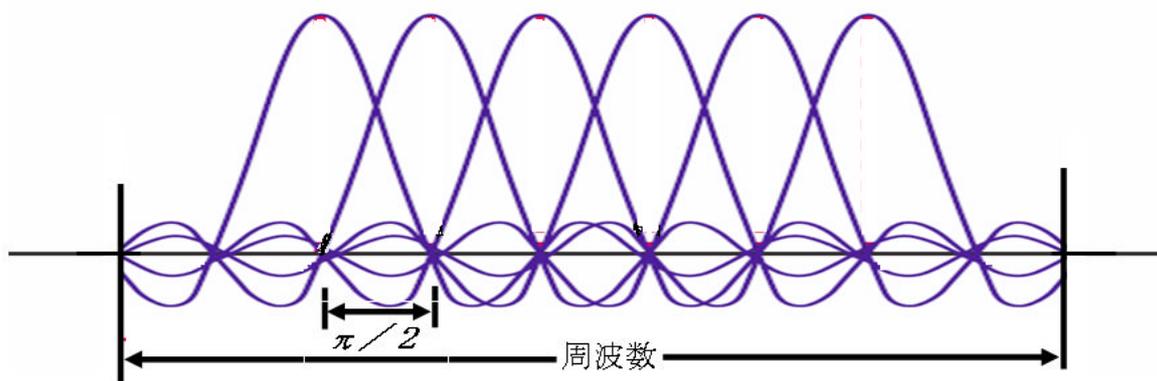
高速 PLC にはデジタル変調が用いられています。

このデジタル変調も沢山の方法があります。簡単でよく使用されるのが周波数をデジタル信号で変化させる FSK、その帯域を最小限に抑えて行う MSK、これ等の変調方法では決して帯域を狭く出来ないで狭い帯域で高速伝送ができる GMSK という方法があります。更にスピードを上げるために QPSK という方法がありますが、今回お話する OFDM というのは、これ等とは違った手法が使用されています。この変調方法は携帯電話、地上デジタルテレビにも使用されている手法で、今後の主流になり得るそうです。

### 直交周波数分割多重変調 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) とは

OFDM とはどんな特徴を持っているかという点、狭い通過帯域でも高速伝送が可能で、マルチパスに強いので反射等による映像の乱れが生じない等の特徴を有しており、PLC でもこれ等の特徴を有効に生かしているといつてよいでしょう。

この OFDM とは、名称が意味する通り、沢山の搬送波がそれぞれ直交して互いに干渉しないよう配置され、伝送しようとする信号を複数に分割された搬送波を変調して送信する多重方式を使った変調方式です。



図一7) 隣り合う搬送波が直交した状態

重なり合っても干渉しないようにするには、夫々の搬送波が直交するように配置する事、即ち、図一7) で隣り合う搬送波の位相が  $\pi/2$  ずれる、即ち直交するようにすると良いということです。それは1つの搬送波が最大点の時隣り合う搬送波はゼロ点にあり、これが交互に続く、即ちマルチキャリアとして動作します。

言い換えますと、与えられ搬送波の帯域を細かく分割して、サブキャリアを作り、この複数のサブキャリアをデータで変調して伝送します。データは多数のサブキャリアに分けて伝送されるので、サブキャリアのいずれかがノイズでやられても全体のデータには、ほとんど影響が無い、つまり、バースト誤り(データがビット単位でなく、数バイト単位に多く誤ること)が起こらない限り、通常の誤り訂正で復元出来てしまう範囲となるのです。

さらに、まとめて送信しているわけではなくサブキャリアに分けてガードインターバル(電波の遅延送信)といつて、送信間隔を設けて送信しているため、マルチパスにも強い特徴をもっています。

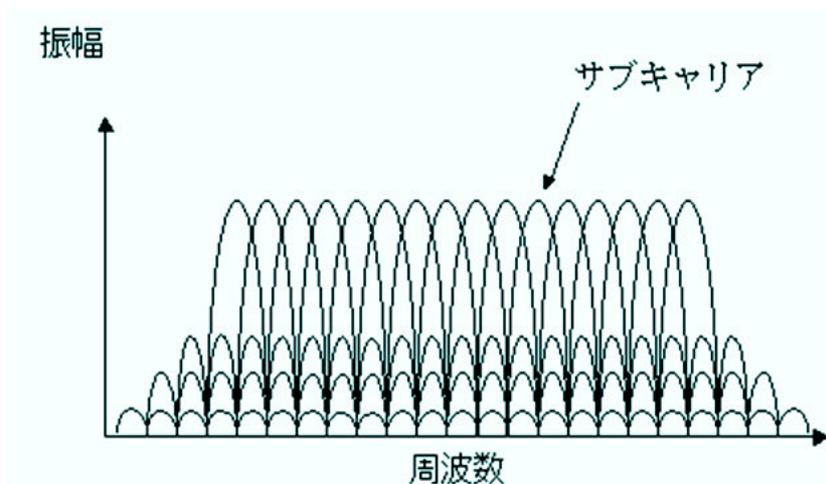


図-8)  $\pi/2$  間隔で並んだサブキャリア群

図-8) は 16 チャンネルのサブキャリアを有する波形の例です。各サブキャリアのピークが隣接するサイドバンドのピークの時最小になるように配置されていることが良く表されています。このような搬送波を作り出す変調器の動作原理のブロックダイアグラムを図-9) に示します。

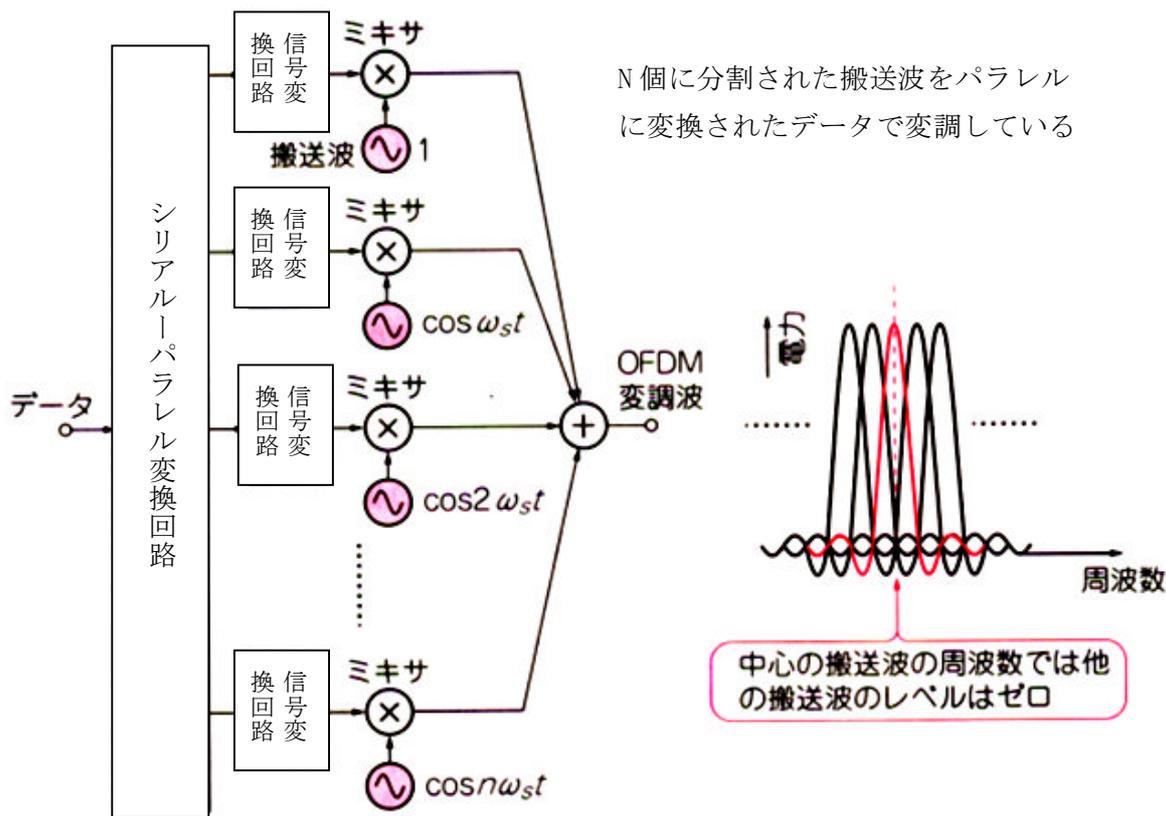


図-9) OFDMの変調回路

詳しい説明は省きますが、図のように高速の変調信号はシリアルです。それをパラレル信号に変換します。そして複数に分割された搬送波を変調するために、高速のデータも分割されます。そして多数の搬送波によって伝送されるので、その中のいくつかの搬送波が妨害等により受信できなくなっ

もそれ以外の搬送波が受信できれば、殆ど受信データには支障を来たさないのです。(途中の説明は省略してあります)復調回路は省略します。

更にこのようにデータが搬送波分だけ分割されるので、各変調ブロックのデータの伝送速度は搬送波の数の分だけ遅くなります。従って高速のデータも低速化することになります。例えば伝送するデータの伝送速度が200Mbps、搬送波が1500チャンネルに分割されているとすると、1チャンネル当たり133kbpsという低速で伝送する事と同等になります。これは伝送特性の優れた伝送ケーブルでなくとも伝送が可能になり得ることを意味しています。

それともう1つ大きな特徴は、反射波やマルチパスに対して、その影響を受けにくいという特性があります。このために市街地などでのテレビ映像が極めて鮮明に受信可能になり、地上デジタルテレビでもこの方式が採用される根拠になっています。これはガードインターバルという手法によるものです。

PLCにおいても伝送系で画像等の伝送においては反射等の影響はゼロではないと思いますが、以上の特徴により鮮明な動画の伝送が可能になります。

以上OFDMについての概要を説明いたしました。実際にこのシステムをPLCに採用した場合、船舶等に使用する場合の問題点についてお話いたします。

#### PLCを船舶に使用する場合の諸問題について

第1は、ノイズの問題です。

2MHzから30MHzの間の周波数を搬送として使用して、その送信出力を電灯線に重畳させるので、ケーブルは伝送路であると同時にアンテナとしても作用する恐れがあります。

家庭用に張られている電力線用ケーブルは、片側が接地されているため、コモンモードノイズが発生する環境下にあります。屋内への引込み線はトランスの二次側になり浮いているので、比較的バランスがとれており、コモンモードノイズは発生しにくい環境下にあるといえますが、負荷の状態により、バランスが崩れた場合は、コモンモードノイズが発生する可能性があると思います。

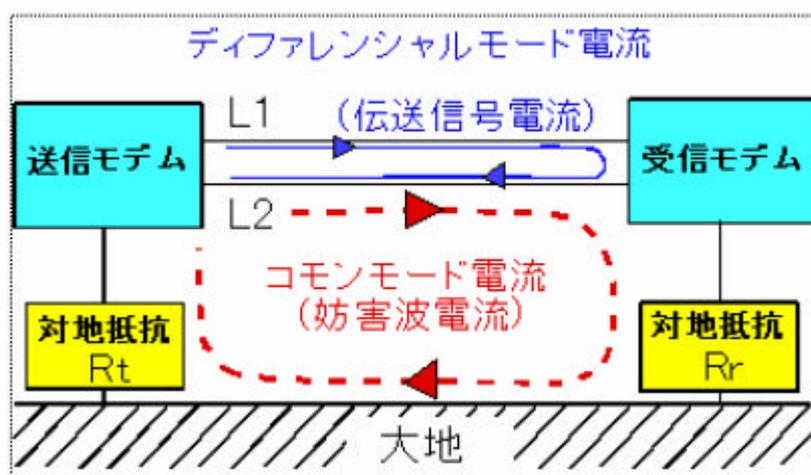


図-10) コモンモードノイズとディファレンシャルモードノイズ

そのような環境下でも使用可能なPLCが開発され、家屋内で使用するという条件で、昨年10月4日に解禁されて現在市場に沢山のPLCモデムが出回っています。

一方船舶では、ノイズが短波帯に悪影響を及ぼすという理由から船舶での使用はまだ認められては

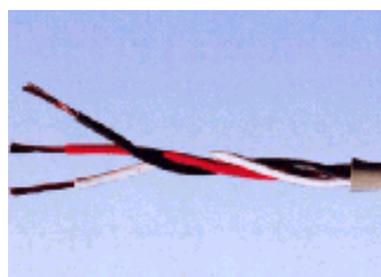
いません。船舶に使用されているケーブルは、心配されているノイズを発生するアンテナとして働くのだろうか、という観点に立って検討してみる必要があります。



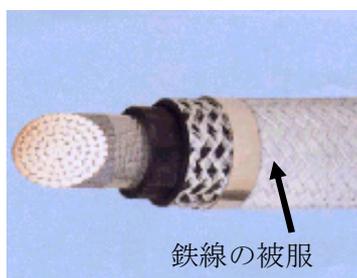
図-11) 船内のケーブル敷設状況

このようなケーブルを使用している船舶では、木船やFRP船を除き殆ど鉄船です。従ってこのようなケーブルに陸上で許可されたPLCを使用した場合の外部への影響や、逆に外部からの影響についてどのようになるのか検討をしてみますと次のようになると思います。使用されているケーブルですが、船用ケーブルとして認められた規格品を使用しています(図-11)。

船用ケーブルは、絶縁された芯線がツイストケーブルとなっています。その外側が絶縁され、更に外部は鉄線で編んだ網、あじろ外装で覆われています。図-12)がそれです。



屋内で使用されるケーブル



船用ケーブルの外観と右側はその断面図

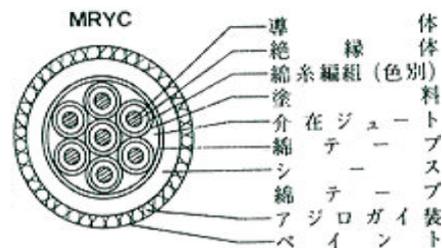


図-12) 一般のケーブルと船用ケーブル

これはケーブルの保護と若干の電磁輻射を抑える効果があります。この機能を充分生かす事ともう1つは内部の芯線はより線、即ちツイストケーブルとなっていることです。ツイストケーブルは、電磁輻射をその構造上抑制する機能を持っています。この機能により外部へのノイズ輻射を抑える事ができます。

この他に、鉄船の内部から外部へ敷設するケーブルは貫通金物を通して外部へ引き出されます。この貫通部分の貫通方法が二種類あります。その中で構造上や手間を考えると、図-13)の右図のコンパウンド固めた作業が手間が掛かりませんが機能的には、左図のグラウンドの手法がノイズに対しては優れた方法といえます。

外部へノイズを洩らさないためにも、貫通部分の工夫が必要です。

実質的には影響が無い程度まで減らす事は出来ると思います。この部分に電装工事の良否が関係してきますので、PLCを使用する場合、ノイズ対策として検討する必要があります。

外部へのノイズの漏れは、擬似信号を船内の電力線に注入して得られたデータでは、全く漏れを認識する事は出来なかったというデータがありますが、他方では洩れがあり、その対策が必要という報告も聞いております。どちらも事実で、この違いは前述のように工事によって大きく影響するものと思います。

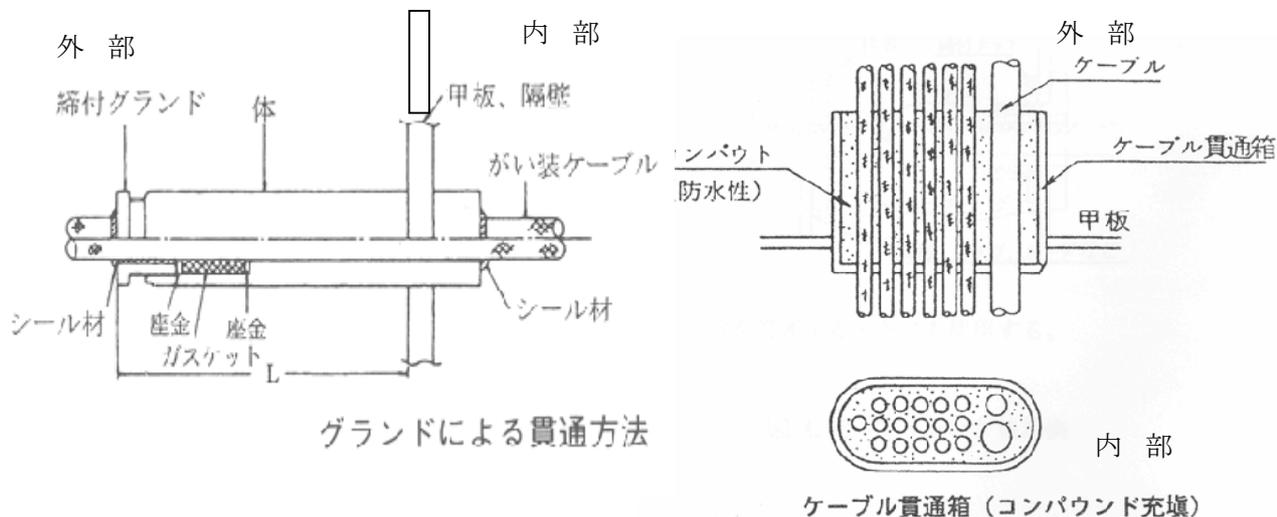


図-13) 船舶の外部へのケーブル貫通の手法

電力線による減衰について

第二の問題は、減衰はどのくらい生ずるかということです。これは電力線には沢山の負荷があるので、一概には言えない問題です。殆どの電力線の負荷インピーダンスは、非常に低く、直流的にも一桁以下の抵抗と見てよいでしょう。高周波的にも低インピーダンスと見ておく必要が有ります。

各周波数帯で実際に測ったデータがあります。これはSGで擬似信号を電力線に加えて行ったデータですが、あくまで参考として見てください。図-14) がそれです。

ディップ点は回路の共振点と考えられます。ケーブル長が長くなれば、更に減衰は激しくなりますので、その対策が必要になります。

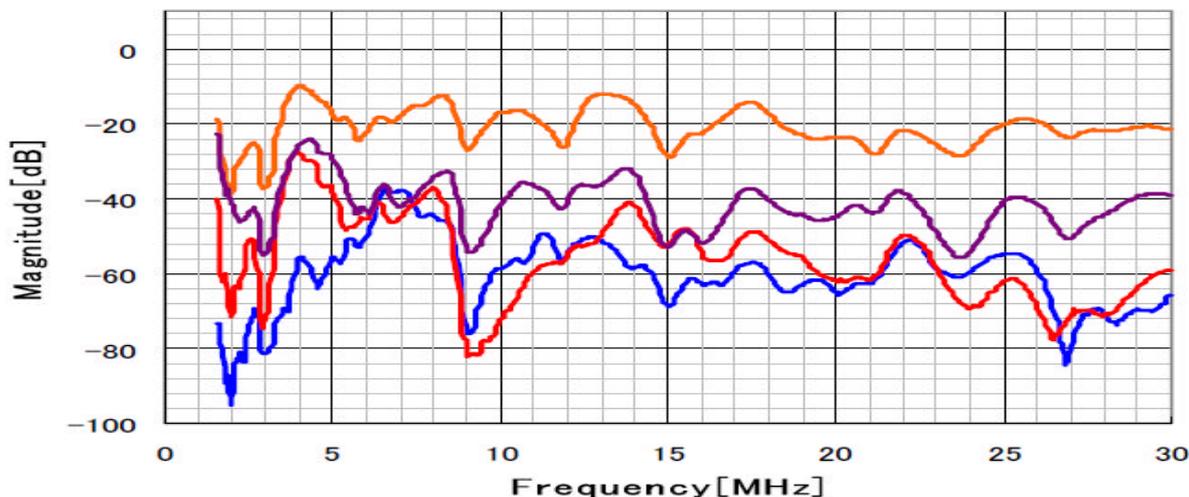


図-14) 電力線の各線間における各周波数毎の減衰カーブ

## 終わりに

PLCの回路技術や理論については専門外ですので、詳しい説明については専門書をご参考下さい。

ここで特に申し上げたいのは、PLCを船内で使用する場合の起こりえる問題についてです。その中で一番問題視されているのがノイズです。これは電装工事でノイズの影響を軽減できる部分があると思います。その一番大きな要因はアースのとり方とグラウンドを使った外部へのケーブルの敷設だと思います。これはコモンモードノイズが生じないようにアースのとり方を考える事。即ち基本に立ち返って工事をやることに尽きると思います。

この他に減衰対策等がありますが、これらも解決するための手段等更に検証を重ねてゆくことが今後の課題としてあるだろうとおもいます。今後が楽しみな製品、これがPLCではないでしょうか。

以上、浅学故に途中説明を省いたりして分かりにくい点もあったかと思いますが、PLCについての概要を把握して頂けたら幸いです。有難うございました。この執筆に当たって下記の方々のご指導に厚く御礼申し上げます。

参考文献：電波航法 2006 47.48号 三菱電機株「高速PLCの概要。当社の取組み」

情報システム担当部長 森田淳士氏

電子情報通信学会誌 Vol. 88. NO. 3. 2005 「高速パワラインコミュニケーション」

武蔵工業大学電子通信工学科工学博士 徳田正満教授

トランジスタ技術 2001. 7. 「デジタル変復調の基礎と実際」中込勝氏

## 会社プロフィール

---

(株) オー・ケー・イー・サービス 代表取締役社長 古賀 浩行

<http://www.dl.dion.ne.jp/~okes/>

〒221-0825 神奈川県横浜市神奈川区反町 2-14-4

TEL 045-324-1711 FAX 045-324-1714

---