

ロシア
技術ニューズレター
Russian Technical News Letter

2006年7月31日 No. 1

新技術 PLCテクノロジー

ROTOBO

社団法人ロシア東欧貿易会

〒104-0033 東京都中央区新川1-2-12 金山ビル

Tel. (03) 3551-6215 Fax. (03) 3555-1052 <http://www.rotobo.or.jp>

新技術 PLCテクノロジーの可能性

今号では、新しい通信技術として現在注目されているPower Line Communication (PLC) テクノロジーについて、ロシアのフィンプロム社に寄稿を依頼した。同社について、詳細はウェブサイト (<http://www.fpr-group.com/about/personal/>) を参照されたい。執筆者は同社社長、Igor E. Ablav氏である。

1. 概要.....	1
2. はじめに.....	2
3. ネットテクノロジー実現方法.....	3
4. PLCテクノロジーの分類.....	4
5. PLCテクノロジーの開発と発展.....	5
6. PLCテクノロジーの技術的限界.....	6
7. PLC通信の新しい技術と工夫.....	8
8. 世界における成果：OFDMとPowerlineテクノロジー.....	8
9. まとめ.....	10
10. PLCテクノロジーの応用と技術的進歩.....	10
11. 分散制御システムとそのタイプ.....	12
12. 自然の分散制御システムに類似する新技術のコンセプト.....	14
13. 知的制御システムと運輸機関用通信.....	16
14. 運輸機関用PLCテクノロジー.....	18
15. イスラエルの自動車PLCテクノロジー.....	19
16. フランスの自動車PLCテクノロジー.....	21
17. ロシアの自動車PLCテクノロジー.....	23
18. 自動車ネットテクノロジーの発展の傾向.....	29
19. 総括.....	30

1. 概要

本稿は、通信、制御、モニタリングの分野における情報技術とその過去及び現在の状況、さらに現在の技術を基礎にした将来の可能性をテーマとしている。ここではネット技術について2種類の方法を基礎に分析を行っている。一つは新設の回線網とインフラを使用する方法で、もう一つは新たな技術を使って既存回線網をより効果的に使用する方法である。通信効率向上技術として最も有望視されるものの一つに、既存の給電回線網を利用した情報通信技術、PLC (Power Line Communication) テクノロジーがある。

現時点においてPLCは、多くの権威ある研究者や技師たちの見方によれば、最も優れた通信方法であるが、まだ最後まで研究し尽くされておらず、当然その開発には今後も多大な作業を必要とする。本稿では、PLCと従来の通信方法の比較に力点がおかれている。そして、既に導入・実用化されているPLC技術とともに、最近の開発内容も分析されている。

また、PLCの定義と分類、開発の略史、世界各国での成果も紹介され、PLCテクノロジーのインターネット向けの応用とその国際的提携グループ (Homeplug Powerline Alliance、IPCF、その他) による導入の実績が特記されている。

PLCの客観的限界や技術上の問題は、その進歩を抑制する要因であり、世界中の開発者たちにとって焦眉の課題であることが指摘されている。この中では、PLC分野の最新の成果であるODFMテクノロジー、高速通信の実用化方法、ノイズ防御、インターネット用PLC規格において実現されたこのテクノロジーの物理的限界への対策を可能にする工夫が取り上げられている。

本稿はこのテクノロジーの分析において、PLCが実際に各種分野で応用されている例を取り上げた。PLCテクノロジーの近未来の可能性は、高速通信からグローバル制御、それからコントロールシステムに至るまで、新世代テクノロジーの視点で検討している。そして、様々な制御作業へのPLCの活用や『分散制御システム』開発の前提条件を示し、PLCテクノロジーを併用した分散制御システムのコンセプトと研究状況を紹介している。ここでは、PLCテクノロジーの活用が現代人の生活の快適性と安全性を向上させる最も重要なファクターの一つとして位置づけている。

「知的制御システムと運輸機関用通信」の章は、自動車分野の制御システムの開発傾向とハイテクノロジー応用の経験を主題としている。コンパクトな自動車付属品用の新型PLCテクノロジーと開発の技術的要件、またPLCテクノロジーを用いて解決可能な現代自動車の技術的問題に重点を置いている。

本稿で取り上げるテーマの緊要さは、現在PLCテクノロジーの開発と改良、各種分野への導入の問題に、多くの権威ある工学技術業界や世界の大手電子メーカーとインターネットプロバイダーが提携して取り組んでいる事実が示している (IEEE、SAE、Flex Ray、その他)。このことはまた、実際に現時点では通信の改善向上の問題が喫緊の課題となっていることを物語っている。それは、この分野を専門とする世界の有力企業の積極的な支援があればうまく解決することが可能な課題である。

本稿は、世界の様々な国々 (イスラエル、フランス、ロシア) における自動車PLCテクノロジーの成果を紹介している。これらの成果の分析は、当該各企業のデータやプレスリリース、報道機関の報道内容に基づいており、この種類のPLCテクノロジーと固定PLC通信テクノロジーとの比較を行っている。紹介内容が最

も充実しているのは、ロシア製のAVAS (Adaptable Vehicle Associated System) である。これは自動車付属品のために開発された技術で、他の類似の開発技術に比べて優れた点を最も多く持つ。

また、生物体と人工機械との類似分析も行っている。自動車における各種システムの統合、各プロセスの同時進行性、通信の高速性と信頼性の確保、各種規格の統一化、その結果としての自動車機構全体の適正化といった観点から知的システムの優秀性を検証し、それが自動車内部の電子・電気システムの簡素化につながっていくことを示している。

さらに、自動車隣接分野からの借用技術の例と独自の開発技術の例を挙げている。技術システムや工夫の進化と自然界に内在する進化メカニズムとの類似性を特筆し、PLCテクノロジーが自動車分野への導入にうまく適合できた技術工夫として検討を加えている。

最新のPLCテクノロジーの成果に、類似のより完成された技術を自然かつ漸次的に導入していくことが、より有機的なメカニズムやシステムの開発につながっていくことを示唆している。このようなアプローチは技術を構造的に人間そのものに最大限近づけることになり、それはすなわち、人間の要求に最大限に応え、人間を取り巻く環境に調和することにつながるであろう。

2. はじめに

20世紀の末～21世紀の初めにかけては、「ネットテクノロジー」時代の曙と呼ぶことができよう。ネット技術によって開かれたチャンスを一番先に手に入れたのは、全世界に販売網を広げた商業であった。ネット販売の発展に寄与したのはインターネットとグローバルコミュニケーションであり、それらは全世界の100万人単位の顧客をすばやく獲得することを可能にしている。このようなことは、従来の流通販売方法では何年も時間をかけ、莫大な資源の投入を必要とすることであった。

現代の生産とビジネスプロセスの自動化はネットテクノロジーに依拠し、一つのプロセスに多数の人間と知識と演算処理手段を動員し、ビジネスや生産の複雑な課題の解決を可能にしている。生産現場のルーティンワークの自動化から高度に複雑なテクノロジーの開発を含むネットテクノロジー市場の急激な成長は、ネットテクノロジーの利用者に膨大な可能性を提供するため、至極当然の現象である。

「統合」と「相乗作用」は、人間活動の各種分野をどんどん覆っていく新たなハイテクノロジー世界のキーワードとなった。経済のグローバル化、インターネット、デジタルテレビ放送、ホームオートメーションは、この傾向を顕著に証明するものであり、その中で社会はネットテクノロジーによってさらなる可能性と資源を獲得できる。新しいテクノロジーの世界では知識と情報の役割が飛躍的に高まっている。なぜならば、これらの要素こそが人間やグローバル企業の活動、あるいは多くの地域経済プロセスの適正化を可能にしているからだ。

しかし、どんな技術的成果も強力なインフラや様々な種類のネットがなければ、美しい絵空事に終わるのであろう。実際にネットそのものが大規模に成長しだしたことは、日ごろ目にするいくつかのネットを見れば明らかである (第1図)。

(第1図)



運輸・交通網や給電網、情報・電話網が発達し始めたのは、新たなネットテクノロジーの登場よりはるかに前のことである。それゆえ、新しいテクノロジーとネットそのものの現状の間には客観的な断絶がある。ネットの複雑化と新たな技術の導入に伴い、ネットの伝達機能の遂行のみならず、ネット自体の制御の問題が前面に出てきた。

情報テクノロジーの主要分野においてこれらの問題は抑制要因となっている。今日インターネットは家庭やオフィスに大量の新しい興味深い可能性をもたらしている。しかし、そのうち最も興味を引くべきものが、電話線の伝送能力と低い品質のせいで利用者の手に届かないでいる。これは具体的には、高画質映像や高音質の音声、グラフィックの豊富なウェブページ、その他の大容量情報添付物である。

かつてインターネットが新しいテクノロジーとして発展する上で有益な環境を提供した電話線は、今やむしろ抑制要因となってしまう、アナログ信号用の回線網は情報の負荷に対処しきれなくなっている。デジタルテクノロジーと電子部部分野の進化、とりわけDSP (Digital Signal Processor) は、高速ネット通信構築の新たな可能性を拓く。

あらゆる種類のネットテクノロジーと処理方法に共通する基本的な問題は、多くのハイテクノロジー処理方法を、しばしばそのような処理方法に全く適さない環境に取り込まねばならないことである。ネットを取り巻く環境は多くの点でネットに限界を設けている。これは、放送電波帯であり、運輸・交通上の制限であり、あるいはケーブルの物理的特性である。これらの問題を解決するには、固定通信から移動通信への移行にも似た、「量から質へ」の転換を実現する斬新な解決方法が必要である。

3. ネットテクノロジー実現方法

上記の問題は技術的観点からすると2種類の根本的に異なる方法で解決することができる。

解決法A——新しいハイテクノロジー設備を備え、新しい規格による、原理的に新しいネットを開発し、敷設する。

解決法B——従来のネットをより効果的に利用、またはネットに新たな物理特性を付与する新しい技術や設備を開発する。

解決法A

この技術的アプローチは盛んに用いられている。例えば、社会の情報需要の増大により、情報伝達に電波空間を使用するネットテクノロジー (Wi-Fi、Bluetooth、その他) がどんどん増えており、このような規格の

数は急増している。伝統的な通信の「有線オペレーター」は通信市場において携帯型システムとの厳しい競争にさらされている。携帯型システムは、3Gのような新規格によって技術的断絶を作り出し、モバイル技術の導入・革新によってサービス価格の低下を一貫して追及している。

運輸分野においては新しい将来性ある交通モデルが創られつつあり、それによって地上幹線路の交通量を最大化することができる。これは自動車の縦隊走行というもので、先頭の自動車のみが運転操縦され、他の車は車間距離を保ったまま先頭車に後続する、あるいは専用道路とセンサーを使って車両を自動運転する交通方式である。

かつて20世紀にあつてはまた珍しかった光ファイバー通信は、用途範囲が広がり、人間活動の新たな分野に浸透しつつある。その顕著な一例として、自動車内部のMOST通信規格による情報伝達が挙げられる。他の通信方法では不可能な情報伝達の高速度は、MOSTを自動車用マルチメディアにとって必要なものになっている。このタイプの通信規格が固定通信に広く活用されていることは言うまでもない。

現代は、衛星通信、テレビ放送、高速道路といった技術のない世の中など考えられなくなっている。これらの利用には、新しいネットテクノロジーの導入のための新規の回線網や規格や設備が必要になる。解決法Aに基づく技術的工夫の導入には、その開発段階と実用化段階において大規模な投資を必要とするため、この分野では大きな国際的提携関係が作られるのである。

解決法B

新たなテクノロジーの導入にあたり、既存のネットを残し、あるいは一部のみ改造する方法には、なによりもまず経済的な利点がある。多くのネットは数十年間にわたって形成され、投資されてきているため、従来のネットを一気に取り替えることは、莫大な費用もさることながら、多くの客観的理由により不可能である。伝統的な有線通信網や携帯通信におけるIP電話や他の「情報圧縮」の登場は、既存のネットと電波をより有効に活用しようとする傾向の現れである。

そのうえ、新型ネットは進歩してきているものの、周波数帯、信号の減衰、運輸・交通網用の最大伝達能力など、やはり従来のネットと同じ物理的限界を持っている。新たな技術的工夫は、どのネットテクノロジーとその活用方法にとっても緊要である。いかなる技術も時間とともに古くなっていくからだ。技術上の進化は製品と技術の寿命を縮めている。IT分野での規格や基盤環境はめまぐるしく移り変わり、電子製品が波のように次々と入れ替わっていく状況が、このことを明瞭に物語っている。

また、「従来のネット」に新たな性質と特性を付加して使用方法もある。そのような技術的工夫の好例が、給電網を情報伝達に利用するPLC (Power Line Communication) テクノロジーである。伝統的な媒体(ケーブル)を通して情報を伝達することにより、電気利用者間で「従来の給電網」を通信線として利用することが可能になる。

4 . PLCテクノロジーの分類

PLCテクノロジーは、給電網を情報伝送に利用する新しい遠隔通信技術である。既存テクノロジーは伝送

速度によって大まかに三つのクラスに分けられる。

- ・低速度送受信 (Low Baud rate、時に0.05Kbps未満)

伝送距離数十km。同様の通信システムは、エネルギー分野において高圧線を使ったデータや業務情報の伝送に使用。

- ・中速度送受信 (Medium Baud rate、通常0.05～50Kbps)

数km以内の中距離間伝送。簡単なコントロール機能の付加を可能にし、既存の給電網を利用——家庭自動化、照明制御システム、自動計測、インターネットモニタリングなど。情報伝送周波数帯は50～535kHz。

- ・高速度送受信 (High Baud rate、100Kbps～)

伝送距離は1km未満。主な目的は、コンピューターのローカルデータ交換やマルチメディア情報処理である。高速度通信の基本的課題は、プリンターやスキャナー、その他の機器を共通のアクセスリソースに統合したり、家庭内のコンピューター端末をネット化したりすることである。情報伝送周波数帯は広く、1.7～30MHzである。

5. PLCテクノロジーの開発と発展

PLCテクノロジーのプロトタイプに対する最初の特許申請は1920年代のことで、発明者はそれを、「装置の始動と停止のためのケーブルを通じたいくつかの音声周波数トーンの利用」と表現している。この研究は二つの方向性に沿って進められた。一部の企業は音声伝送の際の回線網適正化を目指し、1940年代にはすでにこの方式の量産装置が登場した。別の企業はノイズ防御の制御システムの開発に取り組み、PLCを使って映像信号を数メガヘルツの周波数帯で伝送することを試みた。

ロシアでは1970年代に、現代のPLCテクノロジーのプロトタイプとなった技術が伸び始めた。例えば、電動車両では高圧給電線を通じて遠隔計測データの伝送がいたるところで行われている。1980年代には遠隔物体から情報を受け取って、市内建造物の灯光信号機や照明の通信・制御のローカルネットを形成する技術が生み出された。

このような技術には高速の情報伝達は要求されず、当時の課題の水準と基盤環境に適合していた。準デジタル的手法とアナログ的手法では、その当時高速通信を実現することはできなかった。また、技術のコストと性能水準にも付加機能の範囲が制限されていた。

PLCテクノロジーへの関心が再び高揚したのは1990年代の半ばで、シーメンスやノルテル (Nortel) といったいくつかの大企業と通信プロバイダー数社が、ケーブルを使ったデータ・会話伝送の試験的プロジェクトを開始した。同様のプロジェクトは一連の失敗を重ねたが、世界中にPLCテクノロジーに関する多数の企業提携と大規模プロジェクトが生まれていった。技術の進歩と併行して、電気通信技術者協会 (IEEE) のような大きな国際機関が参加したPLC新規格の形成も進んでいる。

通信分野でのPLCテクノロジーの急速な進歩は全世界で進行しており、アメリカ合衆国とカナダでのこの技術の導入にはホームプラグ・パワーライン・アライアンス (Homeplug Powerline Alliance) が関わっており、2001年にはPLC装置の量産を開始した。このアライアンスには、インテル、AMD、フィリップス、ヒューレ

ット・パッカード、コンパクト・コンピューター、パナソニック、シスコ、モトローラ、その他の企業が名を連ねている。アメリカでは、そもそもベンチャー企業として出発したグーグルが、アメリカ国内の給電網を使ったインターネット情報伝送網構築のためにカレント・コミュニケーションズ (Current Communications) に1億ドルを投資すると発表した。このように野心的なプロジェクトは、従来のネット観の見直しを迫り、新世代PLCテクノロジーの新たな装置を必要とするだろう。

日本ではかなり前から伝送速度9.6Mbps、周波数帯域450kHzのデータ通信規格エコーネット (Echonet) がある。関西電力やソフトバンクなど一連の企業が日本国内で高速インターネットの対抗プロジェクトを進展させている。三菱電機はPLCの新製品と新技術で国際市場に進出中である。2000年にはこの分野の有力専門家たちが参加する国際組織、PLCフォーラムが創設された。

ヨーロッパでもPLCテクノロジーに関係する新技術と製品が進化している。ドイツのRWEは2001年の夏からRWE Power Netを通じた高速インターネットサービスの提供を始めた。類似のネット用PLCモデムの主要メーカー、スイスのアスコム (Ascom) はモデムの量産を確立した。フランスでは今後5年間のうちに誰でもPLCインターネットを利用できるようにする国家プロジェクトが採用された。この国家プロジェクトは通信インフラの整備に13億ドルの融資を想定している。

PLC分野の技術革新が経済的意義を持っているのは明らかだ。新たに構築したり投資したりする必要のない給電網を使うため、膨大な潜在的利用者が見込める。投資が必要な主な対象は、このタイプの通信を支える設備であり、その投資は利用者がインターネットに接続することで部分的に回収できる。こうして、インターネットサービスの利用者は携帯通信の利用者並みに増やすことが可能だ。

6. PLCテクノロジーの技術的限界

いかなる工学的工夫もその成果とともに、物理的な限界や欠点を持っているため、今のところPLCアダプター (PLC通信装置) とイーサネット (Ethernet) カードを価格の点で比較することはできない。PLC通信の伝送媒体の基本的な特徴は、それが通常のケーブルであり、情報交換専用に作られたものではない点にある。したがって、PLCアダプターこそが伝送媒体のあらゆる欠点を補わなければならない。

PLCの第一の問題点は、送電網が50~60Hzの周波数帯でエネルギーを利用者に伝送することを想定したものであり、高速情報通信媒体としてはいくつかの欠点を持っていることである。この回線は周波数特性の点では、いかなる情報ネットケーブルのカテゴリーにも適合していない。通常のケーブルでは頻繁な信号反射を避けることが困難である。

伝送信号の反射は伝送媒体の構造の非均質性によるのかもしれないが、各接触部や並行始動またはケーブルの分岐は、頻繁な信号の干渉と信号の周波数選択性の弱化を招く。利用者の接続と切断、回線網の諸特性指数の変更は、同一位相の電気を消費する通信の構造に変化をもたらす。

これらの効果は、放送電波や光ファイバー通信ではよく知られている、シンボル間干渉 (ISI) の発生につながる。これは、送信装置から伝送される短い信号の代わりに、受信装置には主信号に遅れたり、先んじたりする一連の信号が発生する現象である。信号の歪みの原因に関わらず、結果として信号スペクトルは

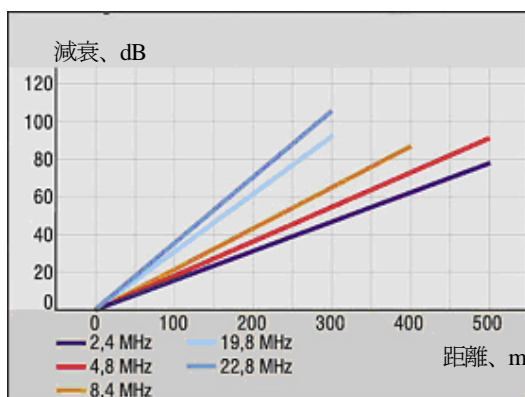
かに拡大されたり、あるいは一つながりの信号に変わってしまったりして、通信時間のエラーや伝送速度の制限につながる。

PLCテクノロジーの第二の非常に重大な問題は、ノイズ保護されていないケーブルによる電気ノイズである。電気製品は多くの雑音やノイズを発生させる。その大半は偶然の振幅ノイズであるが、回線の基本電圧を一桁上回っている。「電気ノイズ」と偶然のノイズはPLC線による伝送速度低下をもたらす基本要因の一つであり、ノイズレベルが高いほど、通信効率は低下する。

PLC線の第三の問題は、電磁気との両立性が要求される点である。通常のケーブルは広域のPLC信号を受信して外界に伝送することが十分にできるアンテナであるが、PLC線といくつかの周波数帯域との両立性の問題がある。それに、PLC線が放射する電磁波が外界の電磁波汚染基準をクリアする必要もある。二つまたはそれ以上のPLC線の電波空間での相互影響の問題について、現時点では良い解決法がない。

PLC通信の第四の問題点は、どの種類のケーブルにも共通するものである。大容量の付加情報に必要な高速の伝送速度は、伝送周波数帯域を数十MHzにまで広げてしまう。伝送周波数の伸びにしたがって、ケーブル路長による減衰係数が大きくなる（第2図）。

(第2図) 伝送距離、周波数によるケーブル信号の減衰、dB



(第3図)

実用の観点からは、信号の高周波部分の伝送は、（1 kmまでの）相当な伝送距離がある場合、受信を安定させるために威力を数十倍に上げる必要に迫られる。

上記の諸問題から言えることは、PLC電子アダプターは個々の具体的な回線に応じた調整ができる複雑な装置であるということだ（第3図）。PLC通信の実用には、かなり複雑な通信プロトコルとソフトが必要になる（1）。これらすべての点は最終的に「利点と値段」の比較衡量に影響を及ぼし、製品の利用者にとっての価値を下げてしまう。

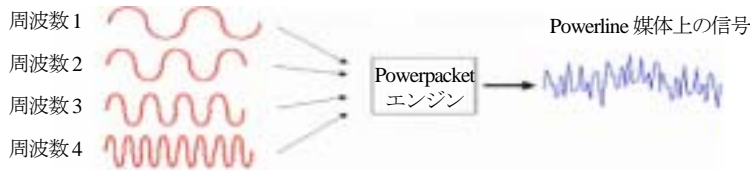


7. PLC通信の新しい技術と工夫

現代のPLC技術と製品はOFDM方式（直交波周波数分割多重：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）に基づいている。この方式は、チップセットとそのPLC応用技術の開発を行っているインテルロン（Intellon）によって開発、導入されたものである。同社は10年以上に亘って「No New Wires」のスローガンの実現に取り組んでいる。これは、大容量データ伝送用に64種類以上の搬送波を使う方法である。

これらの搬送波は「直交」である。すなわち、耐ノイズ性符号化すると「ホワイトノイズ」のスペクトルに似る信号の伝送に際し、搬送波は互いに影響しあわないのだ。現代PLCテクノロジーの基礎は信号の周波数分割である。これは高速のデータの流れが比較的低速の複数の流れに分流し、それぞれの支流は個別の周波数軸上で伝送され、それから一つの信号に統合される（第4図）。

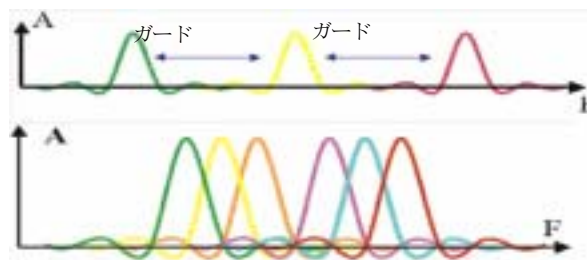
(第4図)



8. 世界における成果: OFDMとPowerlineテクノロジー

OFDM方式を使用すれば、通常の周波数多重方式よりも周波数間隔がより有効に使われる。これは、各後続信号のピークが先行信号の周波数が0となる時に一致するように、各搬送波の中心が配置されていることによる（第5図）。すべての搬送波が一つの信号に統合される直前、各搬送波がビット数の順に変調される。

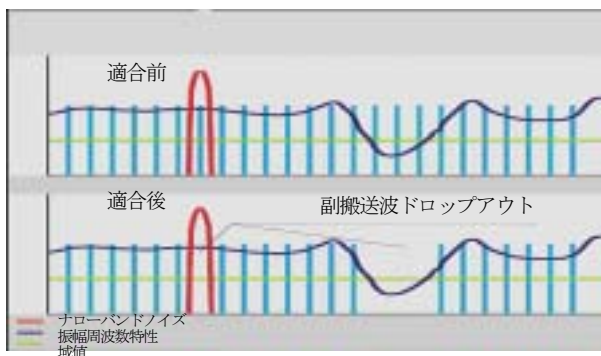
(第5図)



実際の装置では、4～21MHzの幅の搬送波数十種類が使用されているが、中には周波数帯域を8～32MHzに拡大するものもある。OFDM方式のデータ伝送の理論速度は100Mbpsを超える。家庭用給電網を通じた信号伝送の際には特定の搬送波において信号の減衰が発生しうる。伝送周波数帯域の拡大と搬送波の増加は伝送速度を上げる一方で、拡大された周波数帯域でのノイズ発生の確率を高める面もある。インテルロンの

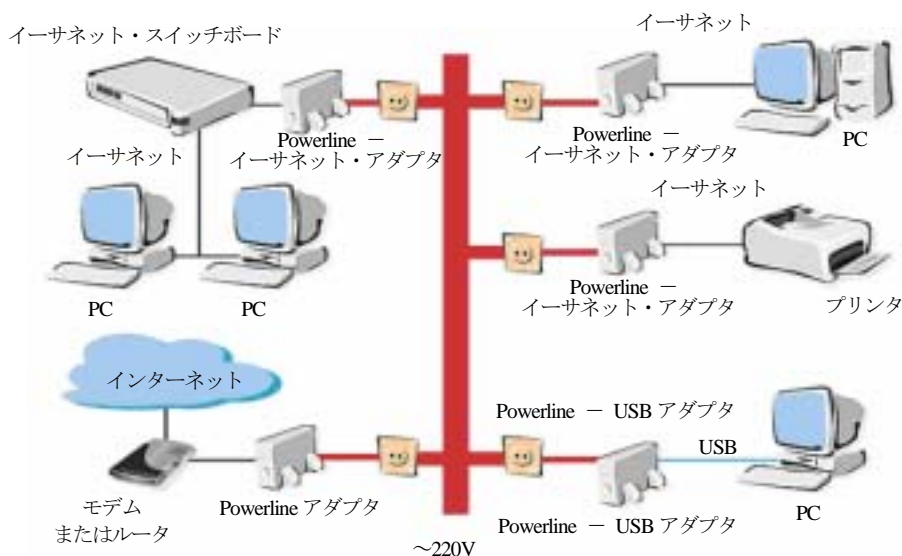
Powerlineテクノロジーは、信号とノイズの比率が許容範囲外となった場合に、一つまたは複数の周波数を一時的に除外することができる（2）。そのような周波数を発見するためにPLC装置（PLCアダプター）自体が搬送波を常にモニタリングしており、当該の周波数にとって正常な減衰値が完全に回復するまで伝送を調整している（第6図）。

(第6図) 伝送環境および衝撃ノイズ・パラメータに対するチャンネル適合アルゴリズム

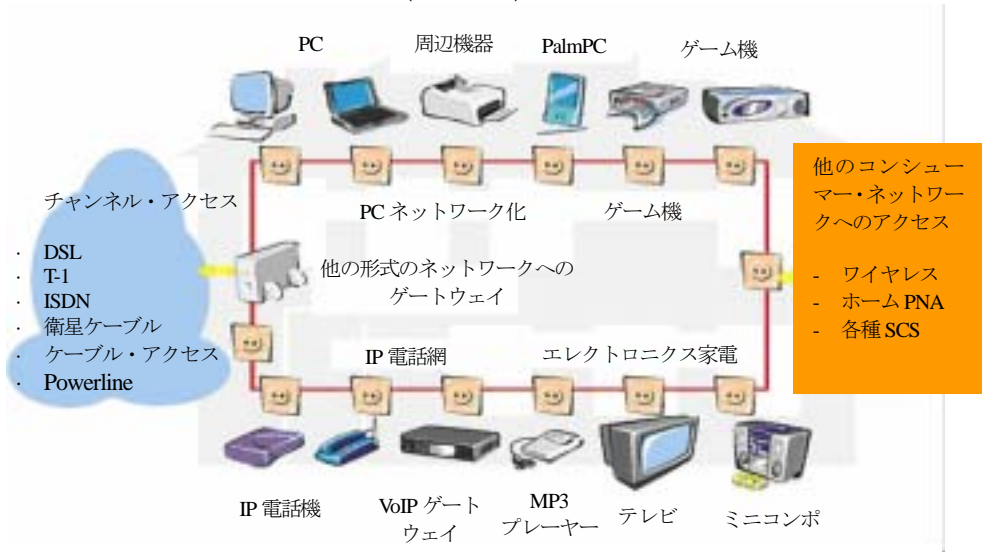


1 マイクロ秒までの衝撃ノイズに対抗すべく、Powerlineテクノロジーは耐ノイズ性符号処理をおこなう。これは、エラーの発見と認識のためのデコーダーとして使用される追加のビットを情報に入れることである。パワーラインネットワークング（PowerLine Networking）とパワーラインインターネット（PowerLine Internet）の概要は第7図のとおり。

(第7-1図)



(第7-2図)



9. まとめ

この分野の標準規格となった上記の各方式は、PLC通信の物理的限界を直接または間接に克服することを目指したものである。最終的にまだ解決されていない問題のうちの主なものは、ある搬送波での雑音の問題と発生するノイズへの対策である。現在のところ、ノイズレベルと伝送速度の間には直接的な相関関係がある。また、いくつかのPLC線間、PLC線と他の電子装置、生物体との間の電磁波両立性の面で大きな課題が残っている。

インテルロンの工学上、技術上の成果はホームプラグ・アライアンスの新規格の基礎となるだろう(3)。R7.3グループの他の有望な規格は、CEA (Consumer Electronic Association)によって開発が進められている(4)。現在、PLCテクノロジーの支援と広範な導入のためにいくつかの組織と提携関係が築かれている(ヨーロッパのIPCFとパラス (PALAS) プロジェクト、国際的なホームプラグ・アライアンス、その他)。主な複雑な問題は技術的な面のほかに、PLCテクノロジー利用の法整備の面にもある。PLCネットによる許容電磁波放射基準が最終的には定まっていない。

放送電波や専用回線に対して競争力を持つためには、PLCテクノロジーは伝送速度100Mbpsへの技術的飛躍と新規格用のより簡易で低価の装置の開発を必要としている。過去最近のデジタル技術の進歩は、そのようなPLCテクノロジーがもうすぐ実現されることを期待させる。

10. PLCテクノロジーの応用と技術的進歩

PLC通信自体、PLCテクノロジーの多くの消費費、産業用アプリケーションを作る上でよい基盤となる。ロシアではこのテクノロジーの様々なアプリケーションが開発されつつある。それは何よりもまず、極めて

複雑かつ高価な設備を必要とする、十分に「速度の遅い」追跡・監視のユニットとシステムである。また、各種設備の産業用・消費者用リアルタイム制御・コントロールシステムの研究及び開発の分野でも成果が見られる。

電子分野の基盤とIT応用技術の進歩と向上は、PLCテクノロジーの以下の有望な分野への導入を促進している。

- ・遠隔計測情報収集ローカルネット
- ・都市インフラ制御・コントロールローカルネット（照明、信号機、空気清浄、保安システムその他）
- ・産業設備及び生産プロセスの情報収集と制御のシステム
- ・家庭利用ローカルネット（「ホームオートメーション」やその類似システム）
- ・家庭用及び業務用インターネット回線網（SOHO）
- ・各種分割制御・コントロールシステム
- ・運輸機関用知的制御・通信システム

情報収集ローカルネットは既に新しいものではないが、電子部品やITユニットの価格低下がこの種類のPLCテクノロジーが大きく普及する基盤を作っている。現代の回線網は包含する要素が増加する傾向にあり、回線網の発達とともに意思決定の中心から客体までの距離が延びつつある。このことはまったく、テレコミュニケーション、鉱物資源採掘・輸送用情報アプリケーション、その他遠隔計測が必要とされるアプリケーションについても言える。

都市用の制御・コントロールローカルネットはあまり普及していないが、都市インフラそのものは飽和状態の傾向にある。現代都市の情報需要は、数十の各種都市サービスに及んでいる。都市インフラは生産活動、ビジネス、市民の需要を満たさなければならない。メガポリスが大きくなっていくと、そのインフラも拡大し、その維持とサービスの費用も増大していく。

PLCテクノロジーが都市インフラのサービスとコントロールの改善の上で次の点に役立つことは明白だ。

- ・各種都市施設の総合コントロール
- ・各施設の事故の警報・通知
- ・同型施設の一元監視システムの構築
- ・都市の環境及び安全の水準向上（安全・環境管理統合システム）

この分野におけるPLCテクノロジーの主要な長所の一つは、電気が通っていれば、いかなる場所からも様々な情報を得ることができる点である。PLCテクノロジーは回線網の構築に多大なコストをかけることなく、芝生の自動水撒きから都市の幹線輸送路のコントロールまで様々な課題のために、極めて多数の分枝化された回線網を持つ（5）。

生産設備・工程の情報収集・制御システムはPLCテクノロジーの最も有望な分野とみなされている。生産の自動化から、ロボットのように完全な自動化に至るまで、設備の電子化は、複雑な設備の内部及び一工程内各ポイント間の効率的な情報伝達を要求する。とりわけこのことが言えるのは、複雑かつ多段階の生産活動と「人工知能」の設備並びに産業用アプリケーションである。

家庭用ローカルネットとインターネット——家庭用・ビジネス用回線網は基本的にこれまで説明してきた規格と技術に依拠している。ただしここでは、PLCテクノロジーが大体において他のあらゆる種類の通信を「破壊する技術」となってしまう。今のところPLCテクノロジーの技術水準は家庭向け・ビジネス向けの応用に必要なレベルになく、このテクノロジーを市場に広く浸透させるにはかなり多くの「サポート」テクノロジーを必要としている。また、情報伝送速度の向上や周波数帯域の縮小、伝送速度へのノイズの影響低減やその他の面でも同じことが言える。

通信サポートのためのアプリケーションと並行して、ごく最近登場したTMN (Total Management Network) 電気通信制御網市場も伸びている。このPLCアプリケーションは全世界で大きな需要があり、特殊ソフトウェアの形や分散演算要素を持つプログラミング環境の形で急進歩している。TMNのアプリケーションは、回線網の最終プロセスをコントロールし、回線網の中で起きている動きや各種の物理的プロセスの把握を可能にする。

分散制御・コントロールシステムと運輸機関用知的制御・通信システムがPLCテクノロジーの新アプリケーションとして登場したのは比較的最近のことである。それは21世紀に入ってからのもので、PLCテクノロジーがさらに進化して新たな分野で新たな役割を担うことになった。PLCをベースに給電中継点を統合する技術上の発想と分散制御システムの間には親和性がある。これが、各種分野の分散制御システムの開発と実用化の出発点となった。

このアプローチは、PLCテクノロジーにとってはまったく新しい運輸の分野で飛躍する可能性をもたせる。これら2種類のシステムはPLCテクノロジーのまったく新しいハイテクノロジーであり、以下に詳しく触れたい。

11. 分散制御システムとそのタイプ

「分散制御システム」の概念は、その使用分野や回線網の構造、特性その他によって様々に定義される。分散システムはだまかに二つのタイプに分けられる。

タイプA: 多数のセンサーと実行機構 (ターミナルユニットあるいはターミナル) が演算ユニット群とつながっている多重処理環境。通信のタイプによって単一の課題を遂行するためのローカルシステムや、複数のローカルシステムが存在するグローバルシステムがある。このような環境で複数のローカルシステムを統合するには通信回線をもう1本追加しなければならない。

これは、産業や運輸その他の分野で最も普及している分散システムである。その特長は、技術的な簡易性と、少数のターミナルユニットを結ぶ複雑でない機能をよく遂行し、連携性の悪いプロセス間の制御には十分な点にある。

しかしこのタイプの分散システムは、機能遂行が非同時的で「事後」制御となる点が欠点で、より複雑な機能を求めると、システム自体が複雑化し、高価になる。例えば、周波数100Hzの回線網に数百のターミナルユニットを持つCAN規格のグローバルシステムの構築は、現状で最高の2Mbpsの伝送速度に対して20Mbpsを要求する。

タイプB：演算ユニット群がターミナルユニット中継拠点群ではなく、その物理的パラメータに関する多重処理環境。つまり、タイプBの演算ユニットは制御対象のパラメータの塊とも言える「バーチャルユニット」と連携する。たいていの場合、「バーチャルユニット」はタイプAの1個のローカルシステムである。

このタイプの特長は、通信速度に対する要求が少なく、複雑かつ相互に連携した機能を同時に処理できる点である。タイプBの応用の成功例は、宇宙航空、自動車の分野で利用されているTTP (Time Triggered Protocol) 通信プロトコルである (6)。

またタイプBの欠点は、過去5年の間に登場した最新の電子技術を必要とすることである。このタイプは高い演算能力のあるかなり複雑なチップと目的限定型プログラミングを使用しているため、このようなシステムの進歩と普及は速い。タイプBの分散制御システムはまだ新しく、分散制御システムの「最新の進化形」であるため、その研究と普及はタイプAに比べて遅れている。

デジタル制御システムの開発と設計の標準的なやり方はパラダイム方式である。すなわち、データの受け取りと制御命令の実行を同時並行して行う順次連続的なデータ処理である。これは、すばやく通過できる非知的ターミナルユニットと強力なデータ処理中枢の存在を想定したやり方だ。この場合の電子制御システムで最も重要な指標である反応時間は次の3変数の和である――

- ・すべてのセンサーから情報を収集する時間
- ・制御拠点が情報を処理する時間
- ・実行メカニズムに対して命令を出す時間

タイプAのローカルシステムを複数統合すると、システム全体の反応時間が倍以上かかる。これはタイプAのすべての分散制御システムについて言えることで、その機能範囲を制限する技術的要因となっている。タイプBの分散制御システムの主な構想は、全部の機能を最小の情報交換という基準でできるだけ多くの同時並行プロセスに分散させることである。

タイプB分散制御システムは、制御客体の共有データを同時並行処理する複数の知的ユニットからなる。つまり、一つの制御ユニットの中で複数の相互非関連機能の並行処理を可能にする。タイプBは順次連続式制御システムに比べて以下の点で有利である。

- ・システム規模の拡大が容易であり、特にPLCテクノロジーと組み合わせた場合、装置を給電網へ接続することによって情報ネットへのアクセスが可能
- ・回線網の簡素化と機能の重複化による高い信頼性
- ・実用的アプリケーションの開発、テスト、整備の期間短縮化
- ・通信データを「ユニット」で処理することで回線速度への要求水準低下
- ・回線網のチップ間での機能分散 (Decomposition : 分解) による低能力チップ及びコンピューターの使用が可能となるが、この特性は反作用があり、演算能力は知的ユニットの数の増加に伴って非線形 (Nonlinear) に伸びていく。

12. 自然の分散制御システムに類似する新技術のコンセプト

新技術のコンセプトは技術システムに対する有機的アプローチに基づいて築かれている。それは、自然界に存在する原理とその類似性に則って技術システムを設計し、製造することである。私たちを取り巻く生きた環境は百万年単位で時が流れる中で、有機体という進化システムの構築において膨大な経験を蓄えてきた。自然界のこの経験と知識は、体系化して人間の必要に用いることができる。新技術は次の三つの原則に則って開発されている。

- (1) 環境の個別性と変異性
- (2) 人間と環境の調和と統一
- (3) 環境の人工性と有機性

(1) 環境の個別性と変異性

個々の生物体は独自の特性を持っているが、それらの特性を広い範囲で変えることもできる。システムの機能としての変異性は生物界に広く見られる。これは生物体にとってはめまぐるしく変わる世界での生き残りの問題なのである。生物体は色や形、スピード、エネルギー配分、その他のパラメータを、自らの必要と環境次第で瞬間的に変える。

特性としての個別性は、生き残りと種の進化に必要で自然に備わったシステムと機能の「セット」に左右される。適応能力もまた、種の個別性の一部分だと言える。特性としての変異性は次の条件下で発現する。すなわち、あらゆる情報源からの情報はいかなる場所においても受信可能でなければならず、情報処理にかかる時間は最小にして、多くのプロセスが同時並行かつ相互連携して進まなければならない。

技術システムの応用においては、それぞれのシステムは明瞭な個別性と幅広い特性を持っていなければならない。なぜならば、システムの特性がそれぞれの制御システムの目的とする機能の範囲を規定するからだ。また、このようなシステムに、技術は適応の機能と超高速変異の可能性を与えねばならない。

個別性／変異性の特性は幅広く技術製品に利用され、日本では既に1969年に「メカトロニクス」と「メカトロニックユニット」の用語が現れた。メカトロニクスとは変異しプログラム化される特性を持つ装置とユニットの開発に関する科学である。メカトロニクスのアプローチが工学的観点から意味するところは、定められた時間内にシステムあるいはユニットが厳格に指定されたパラメータを持ち、ユニットのパラメータ制御回路を使ってかなり広い範囲でこれらのパラメータを変えることができるということである。

歳月の流れとともにメカトロニクスは世界中で学問として認められ、日本やドイツ、ロシア、アメリカ合衆国の最も有名な高等教育機関で研究されている。機械製作や自動車製造、航空宇宙産業などの多くの経済分野はこの科学の成果を積極的に実用化している。ユニットに対するメカトロニクスのアプローチと最新の分散システム技術思想を組み合わせると、近未来の柔軟なシステムが持つべき特性が理解できる。

- ・システムのあらゆるポイントでの情報の共有性とアクセスの可能性
- ・複数のプロセスとシステムを同時に制御する能力
- ・迅速かつミスのない情報を処理する能力

- ・超高速処理（反射）の実現
- ・特性の広範囲な順応・可変性。

(2)人間と環境の調和と統一

人間は生物界の一員としてすべての生物体と共通の欲求を持ち、人間の進化は人々の欲求と願望を広い範囲で変えることをもたらした。周囲の環境と調和したいという欲求は、我々が物品を買ったり、家を建てたり、木を植えたり、ペットを飼ったりする強力な動機である。調和は恒常的なものではなく、時間とともに発生し、消失していく。

これらの考えを物体に当てはめると、人間が新しいものを買うのは、古いものが喜びや誇り、変わってしまった願望と欲求と調和する感覚を呼び起こさないからである。調和のある人間の生活圏を築くには、人間の持つ物などの幅広い可能性が人間の欲求の大きな範囲に適合する必要がある。

一般の利用者にすれば、周囲を取り巻くものの基礎にどんなシステムやどんな技術があるのかは関係ない。しかし、まさしく柔軟な制御システムとそれを支える高度な技術こそが、調和的製品のオプションへのアクセスを可能にする。選択の自由と人間の欲求の満足は、調和的特性を備えた分散制御システムによって保障されうる。

- ・システム全体及びそのユニットの知性
- ・システムの大きな記憶容量と演算能力
- ・システムのダイナミックな調整、作業量、再調整
- ・幅広い機能と特性
- ・システム特性改善（アップグレード）の可能性。

(3)環境の人工性と有機性

進化プロセスは有機種の効率的な機能システムとしての生命力を認めている。有機的環境は、人間自身を含む自然界に存在する種が繁栄し進化する可能性を与えている。逆説的なのは、人間が作り出す人工的システムがしばしば自然のシステムより効率が悪く、人間と環境に害悪を及ぼしている点である。

人間の生存圏に「賢い」が相互の連携が弱い装置やシステムが多数存在すること自体は、その環境に新しい性質をもたらさしめない。長い時代に亘って技術上の進化は粗放的に進み、どんな新しいシステムが人間を取り巻く環境に追加されても、その中に質的な変化はもたらさなかった。

過去最近になって登場したネット的解決法やネット世界は、環境の統合と質的变化に向けた最初の一步である。この環境は徐々に「人工性」を薄め、「有機性」を濃くしていつている。人間の作り出した装置とシステムが、人間と類似の装置を見る、聞く、理解する可能性を手にしつつある。

この始まったプロセスは、自然界において生物種が効果的に相互に連携し、グループにまとまり、現下の課題の最適な解決法を考え実行するプロセスに似ている。このような特性を実現する基礎は技術的観点からすると、以下の特性を備えた分散制御システムとなるはずである。

- ・一元的デジタル技術による諸システムの調整
- ・同時並行的プロセス

- ・システム間的高速かつ信頼性ある通信連絡
- ・通信と制御の統一的普遍的規格
- ・共通の演算環境とソフト。

13. 知的制御システムと運輸機関用通信

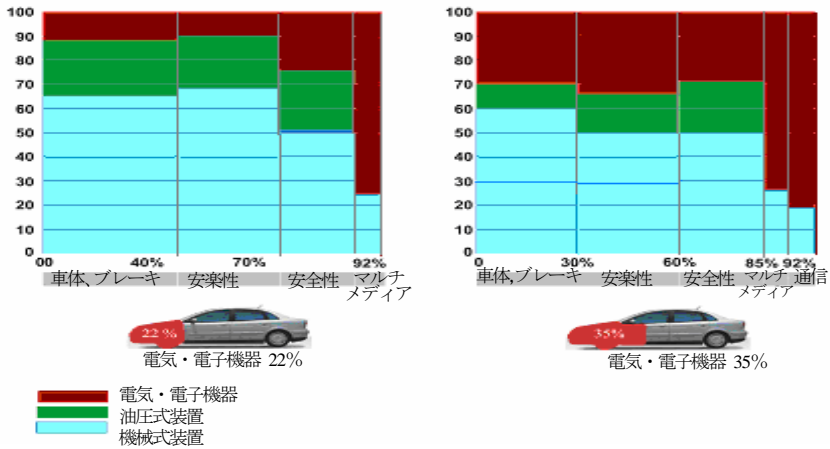
現代の運輸機関は、社会が現在達成している最新の技術と製品の組み合わせである。第1表は過去百年間に自動車に導入されてきた技術上の開発・革新を示している。これらの成果を分析すると、自動車分野の大きな技術革新の間隔は1970年代から縮まり始めた。まさしくその当時に、自動車分野における電子部品やメカトロニクス原理、メカトロニックユニットの大量導入が始まった。

(第1表) 過去100年間の自動車分野の技術開発

1914年	最初の油圧式ブレーキシステムが市場に登場
1918年	車台と車体を鋼鉄から製造
1933年	回転ピストン誘導式エンジンの開発
1934年	シトロエンの前輪駆動自動車が市場に登場
1939年	BMWのディスクブレーキ発明 (市場には出ず)
1940年	オートマチックトランスミッションの登場
1948年	ラジアルタイヤの登場
1952年	最初のガソリン噴射システムが4サイクルエンジンに使用される
1952年	パワーステアリングハンドルシステムの量産開始
1957年	シートベルトの受注取り付け
1963年	ワンケル式ロータリーエンジン搭載自動車の誕生
1967年	ガソリンの電子噴射システムの発明
1974年	GMによるガソリンエンジン用触媒コンバーターの開発
1977年	サーブのターボエンジン量産開始
1978年	アンチブロックブレーキシステム (ABS) が市場に登場
1980年	スポーツ車用全輪駆動がはじめてアウディクワトロで使用される
1980年	エアバッグ搭載自動車の開発
1981年	スイスでシートベルト着用義務化
1989年	自動車用燃料直噴式ディーゼルエンジンの登場
1990年	ディーゼルエンジン用触媒コンバーターの開発
1992年	BMW第7シリーズモデルにキセノンライト装備
1994年	アウディのアルミニウムボディ自動車モデルA8の開発
1995年	ABSの延長である電子安定化プログラム (ESP) の開発
1998年	ハイブリッド駆動自動車 (電気エンジン+内燃機関) の量産開始
1999年	フォルクスワーゲンのルポ——最初の30モデル
2000年	ディーゼル噴射システム用圧電技術導入
2001年	BMWの7-1シリーズ開発の基礎となった画期的コンセプト (1-Drive)
2003年	BMWが人気車種にヘッドアップ・ディスプレイを世界で最初に搭載
2004年	メルセデスが自動車100台の燃料テスト実施

自動車に現代電子工学やプログラム設計のような隣接分野の成果を幅広く導入することにより、自動車に新開発が導入される時間的間隔がさらに縮小されている。多くの専門家たちは、現代の自動車構造の電子部品による占有度は1970年代のボーイングのエアバスに匹敵するとみなしている。また、近い将来には自動車価格に占める電子・電気システムの割合が22~35%に伸びると言われる (第8図)。

(第8図)自動車市場における近代化のトレンド

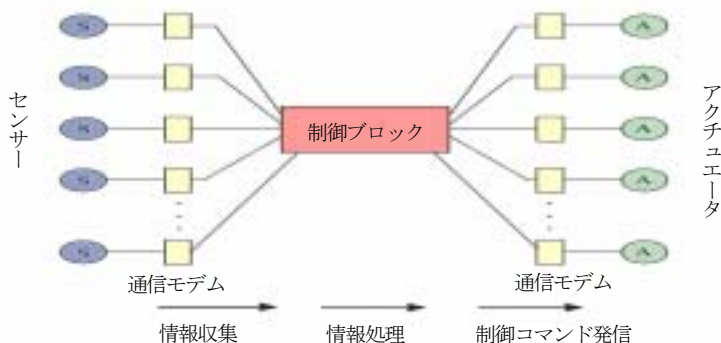


自動車の純粋に機械式・油圧式システムの電子・電気システムへの転換という全体的な方向性にも技術的限界がある。自動車のシステムの大半は局部的である。つまり、あるシステムはそれぞれ特定部分に作用し、他のシステムとの連携はない。この事実はいわば歴史的に形成されたもので、新たな技術が自動車に順次一つ一つ導入されてきたことによる。個々の新しい自動車システムの導入は、それが自動車の他のシステムや部分に悪影響を与えないパラメータを選択していくような形で進んできた。

自動車構造の電子化率向上は多くの問題を作り出している。なぜならば、電子システムは「古い」システムに比べてより敏感で繊細だからだ。このように、新しい電子システムを「ローカルシステムの総和」主義に基づいて自動車に導入していくのは、技術的にかなり難しくなってきた。例えば、2005年の末にフォルクスワーゲンは減益の主な原因の一つとして、自社製品に搭載している電子システムの相互連携の悪さを挙げている(7)。

自動車へのデジタル技術とメカトロニックユニットの広範な導入の障害となっている、もう一つ重要な原因がある。それは、主に非知的端末と強力な処理中枢からなるIT分野から借用した制御モデルである(第9図)。

(第9図)制御モデル



このモデルには必ず高速回線と通信プロトコルがある。例えば、有力な自動車メーカーコンソーシアムのフレックス・レイ（Flex Ray）は、将来の自動車システム用の通信速度は10Mbps以上と主張している。

現代の自動車の制御システムはこの原理を利用し、それによく知られているCANやLINの通信プロトコル及びその派生プロトコルを組み合わせている。高速通信の確保は難しいが、これらのプロトコル上で機能する電子端末部品は低い価格ですむ、と考えられている。この原理は分散制御システムのタイプAのものである（11. 分散制御システムとそのタイプ を参照）。

自動車の分野で発生している多くの問題と困難は、もっと前に他の分野に現れていた。例えば、効率的で信頼性のある制御は航空宇宙分野で追及されていた。自動車への電子システム装備に似た航空機の電子化率向上を図る動きは1970年代の末～1980年代初頭に見られた。この問題は航空機の自動操縦の実現も含め、次の方法で解決された。

- ・ ローカル電子システムの統合
- ・ 時間制御のプロトコルとアルゴリズムの採用（同時化）
- ・ タイプBの分散制御システムの採用
- ・ システム間衝突を解消するためのシステムモニターの導入。

もちろん、航空宇宙分野の工夫と規格をそのまま自動車に移し変えるのは技術的に完全に正しいとは言えない。それは、IT分野の解決法をそのまま借用して通信システムがどんどん複雑になってしまったのと同じである。とはいえ、航空機開発の過程で蓄積された知識と経験を自動車の技術的工夫やオプションに活かすことはできる。現代デジタル技術の可能性と電子分野の進歩に依拠すれば、今でもコンパクトで安価な自動車用アプリケーションの開発は可能だ。

このような工夫の成功例の一つは、航空分野のABSシステムのアイデアを自動車分野に転用することだ。このシステムは1978年にボッシュが開発し、改良に改良を重ね、最終的にはABSシステムの「知的」バージョンまで登場した。このような可能性と工夫は経済的でもある。ある一つの分野の優良な規格が隣接分野にうまく導入されれば、開発と導入のコストは下がる。

様々な分野の工夫の統合と最新技術の導入は、自動車用知的制御システムの最新モデルを開発する前提条件となった。PLCテクノロジーはIT分野の新しい工夫とともに、運輸機関の通信・制御システムの重要な一部である。自動車用の最新の知的テクノロジーはPLCの原理に加え、自動車隣接産業の成果をうまく「拡散」させたものである。

14. 運輸機関用PLCテクノロジー

PLCテクノロジーの自動車分野への導入は2000年に始まり、当時一部の企業が自動車向けPLC製品に関するプレスリリースを発表した。この技術が自動車に採用されるようになった理由の一つは、それによって自動車の回線網設計を簡素化することができるからだ。給電動力設計と情報設計は複雑化しつつあり、この傾向は現代の自動車の電子・電気ユニットとオプションの数が急増していることと関係している。自動車の電気

エンジンの数だけでも今や、1960年代の自動車と比べて20倍以上になっていると推計されている。

もう一つの重要な問題は、物理的なレベルでの各設計間の相互連携である。これらの設計はお互いに関連しており、設計の複雑さが倍増すると多くの技術的問題を引き起こす。このことがまったく当てはまるのは、ハイブリッド車のような最新の成果である。ハイブリッド技術そのものは、燃料エネルギーを柔軟に配分、蓄積、使用しようというアイデアに基づくものである。それゆえ、各構成ブロック間の電力配分機能と電気ブロック群制御の厳密な時間調整はハイブリッド車共通の課題である。

従来の方と技術をもつても、ハイブリッド車が通常の自動車と比べて販売価格及び製造コストの面で競争力を持ち、燃料節約の面で優位に立つことはできない。通常の自動車にも多くの有望な革新技術がある。例えば、電気トランスミッションあるいは「電力マネージャー」というオプションは、システム設計の問題とシステム統合の複雑さから導入が難しい。

PLCテクノロジーの役割は、現代のあらゆる種類の自動車の工学的問題を本質的に解決することにある。PLCの主な利点の一つは、この技術をベースにしてより簡単で安価な自動車回線網の設計が可能となることだ。これら技術の最新の成果は、電力線にエネルギー伝達の他にさらに多数の情報回線の機能を持たせることができる。

これらの回線は本質的には、操作・制御が柔軟にできる「バーチャル通信回線」である。この場合、自動車の構成要素間の位相や連絡の複雑さが影響するのは、自動車自体ではなく、回線ソフトだけである。PLCテクノロジーは自動車の回線網とオプションの簡素化と同時に、回線網とその制御も柔軟にする（8）。

15. イスラエルの自動車PLCテクノロジー

自動車分野にPLCテクノロジーを導入した先駆者はイスラエル企業のヤマル（Yamar）である。この会社は動力ケーブルを使った多重通信用の一連のモデム送受信機を開発、提案した。DC-BUS技術は自動車専用に開発され、自動車回線網においてUSART、SPI、CAN、LINの工業プロトコルをサポートする（9）。

ヤマルの技術は非同時性及び同時性通信のためのもので、12～42ボルトの電圧の範囲内で最大500Kbpsの伝送速度を持つ。ヤマルのPLCネット一つで、4種類の回線（USART、SPI、CAN、LIN）の一つを通じて16個に上る装置の機能を支援している。

それぞれのモデム送受信機は通信回線の観点で言えば、上記4種類の回線のどれかで制御される受動的ターミナルである。

この技術には受動フィルターのついたQPSK変調が用いられている。ターミナルからの情報は送信機に保存され、自動車の動力回線網で発生する衝撃ノイズを考慮して特別開発されたエラー修正をして符号化される。ヤマルのDC-BUS技術の主な特性は以下のとおりである。

- ・電力線を使ったマルチユニット通信
- ・データ及び音声の伝送
- ・固定モデムとエラー修正
- ・ケーブルレス化

- ・低廉性
- ・組立コスト削減
- ・使用回線の選択性と耐ノイズ性。

ヤマルはDC-BUS技術をベースにして、SAE規格のA及びBクラスの機能遂行において部分的に利用するための、様々な伝送速度を持つ装置をいくつか開発した。モデム送受信機の寸法は70×48mmで、外観は第10図に示す。

(第10図)



ヤマルの技術の特徴はローカルなPLCシステムである点であり、このシステムの全体の電気系統から分離するか、または独自の電源を持たせる必要がある。また、ヤマルの技術はマルチ回線の作業はサポートせず、回線網の配線回路に左右される。

DC-BUS技術の導入と標準化を目的とした同名のDC-BUSアライアンスがヤマルの主導で結成され、そこにはBMW、アウディ、インフィネオン・テクノロジーズ、その他の企業が参加している(10)。この新しい規格は自動車内部の通信を個別の電力線の代わりに、直流電力線を通じてサポートする。開発陣は、これが自動車の重量を軽減し、自動車の複雑化と高価格化を避けることができると考えている。なぜならば、車体のケーブルシステムは複雑化の傾向にあるからだ。

この技術の開発に当たっては、自動車の中ではボディとエンジンに次いでケーブルが最も重量があつて高価な部分であるとの見方が考慮に入れられている。ヤマルの社長ヤイル・マリアンカ氏の言うとおりに、DC-BUS技術の開発は1995年からイスラエル政府の支援の下に進められてきた。

「私たちは、自動車に使用されるモジュールに組み込みが可能な非常に小さな半導体装置を開発した」——マリアンカ氏は語る。「それぞれのモジュールに一つのマイクロ回路が必要で、自動車1台にはこのようなマイクロ回路が、もちろん数百ではないが、数十個備わることになる」。

DC-BUSアライアンスとヤマルはDC-BUS技術を幅広い応用を計画している——

- ・自動車内ユニット間の通信
- ・安全な通信網のための代替的で豊富な回線としての応用
- ・自動車内ユニットの迅速な再プログラミング技術としての応用
- ・音楽・音声の伝送
- ・高速感知モニタリング技術としての応用。

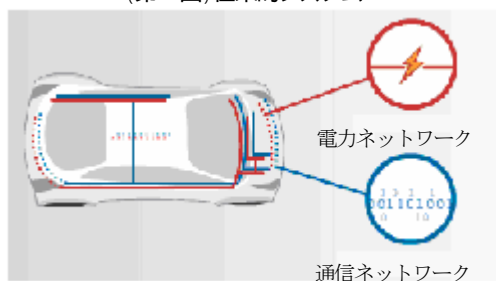
16. フランスの自動車PLCテクノロジー

世界最大手自動車部品メーカーの一つであるヴァレオは、1998年から独自の自動車用PLCアプリケーションの開発を始めている。同社のPLCテクノロジーに対する関心は、同社が自動車市場に大量の部品やシステム、モジュールなどを提供し、売上は約100億ユーロにも上ることからして明らかだ。自動車の発電機、自動車用配電線、エンジン冷却システム、空調システム、その他の自動車用システムなど、同社の製品は世界中に広く知られている。

また、ヴァレオは欧州の大手自動車メーカー数社とともにDC-BUSアライアンスにも参加している。DC-BUSテクノロジーの基礎となっているアイデアはある程度ヴァレオの工夫と製品にも影響を及ぼしている。ヴァレオは自社のPLCテクノロジーの成果を、様々な多重システムと20年以上も自動車に使用されている多重化手法に替わりうるものとして位置づけている。

ヴァレオのPLCテクノロジー(11)とDC-BUS技術との基本的な違いは、二つの電力線を使用する点にある。一つの電力線は主に消費電力の大きい部品への給電に用い、もう一つは電子部品や電子部品間通信の電力供給を担う(第11図)。

(第11図)在来的システム



他の特性はDC-BUS技術と多くの点で類似しているが、現時点では同社の発表内容に詳細は明らかにされていない。それゆえ、他の特性については同社が実現を計画している自動車用アプリケーションの内容から間接的に類推してみよう。

- ・エンジン停止時の冷却または加熱
- ・挟み込み防止機能付パワーウィンドウモーター
- ・トランク自動開閉システム
- ・知的ガラス洗浄装置
- ・配光可変型前照灯
- ・車線逸脱を通知するフロントガラスのミニチュアビデオセンサー
- ・スタートストップテクノロジー
- ・エンジン温度調整システム
- ・電力線を使用するクラッチシステム。

展示会「コンヴァージェンス (Convergence) 2004」でヴァレオは、インターネット回線で使用される通信システムと類似のPLCデータ伝送システムを装備した自動車フォード Freestarを初公開した (第12図)。

(第12図)



ヴァレオは、このPLCシステムが多重システムに比べて柔軟性に優れ、調整がより簡単であることを表明している。そのうえ、この新しいアーキテクチャーは自動車部品市場をすっきり整理することができ、消費者にとってもより安価で簡単である。

しかし、同社自ら認めている主な問題点は、PLCによる工夫の価格が多重システムの価格と同程度となることだ。現在市場の約70%を占めるといわれるCAN規格は、ボッシュが開発して改良を重ね、1978年から普及してきており、回線を多重設計している。

ヴァレオのPLCテクノロジーのもう一つ重要な特徴は、それが他の多重システムとPLC製品の組み合わせである点だ。同社は、PLCテクノロジーと既存の、例えばLINのような規格との両立技術の開発を進めている。これらの諸問題と多数のメーカーが新しい技術に移行することの難しさが、PLCによる工夫と新しいPLCアーキテクチャーを自動車産業に大量導入する上での障壁となっている。

現代の自動車に広く使用されているヴァレオの主なPLCオプションは、自動車購入後のアフターサービスである。同社は自動車用PLCアプリケーションの範囲の拡大を積極的に進め、利益の6%以上を様々な方向の技術革新に充てている。ヴァレオのPLCテクノロジーの主な利点は次のとおりである。

- ・自動車配電線の価格低下、簡素化、重量軽減
- ・急速に変化する自動車システムへのPLCテクノロジーの柔軟な適応力
- ・大きな空間を必要とする軽量のシステムに応用可能
- ・自動車の他システムの重複システムとしてPLCが使用可能
- ・回線電圧24～42ボルトへの移行時に有利
- ・「電力マネージャー」(EEDS) オプションにPLCテクノロジーが使用可能。

ヴァレオの取締役会議長のティエリ・モリン氏は同社のプレスリリースの中で次のように述べている。「ヴァレオのPLCは、ヴァレオが他分野の適合技術の発見と研究に取り組み、革新的で有益な工夫を見つけ出し、それらを今後の自動車産業に取り込もうとしていることのさらなる一例である。この技術は、自動車の電装分野におけるヴァレオのプロフェッショナルな経験のみならず、自動車テクノロジーの範囲を常に拡張する能力を示している」。

17. ロシアの自動車PLCテクノロジー

ロシアでは2003年に、様々な分野のPLCテクノロジー開発の経験があるフィンプロム・リソース (Finprom-Resource) が自動車用PLC技術の開発を始めた (12)。当初は、自動車の給電システムの適正化とEEDSオプションに似た電力制御を課題としていたが、AVAS (Adaptable Vehicle Associated System) と名づけられた新技術の開発過程でその機能と応用の範囲を広げる可能性が出てきた。

この技術のコンセプトが多くの点で依拠するのは自然界の分散制御システムで、その中でも最も良いのは人間自身のシステムである。AVASテクノロジーは完全にタイプBの分散制御システムとして開発されている。順応・可変型システムの組織と構築の原理が最も広範かつ明瞭に認められるのは自然界であるため、AVASの技術思想の基礎は自然界から借用している。その運輸機関への応用は第13図のとおりである。

(第13図) 自動車と生物体の共通点と相違

複合ダイナミックシステム

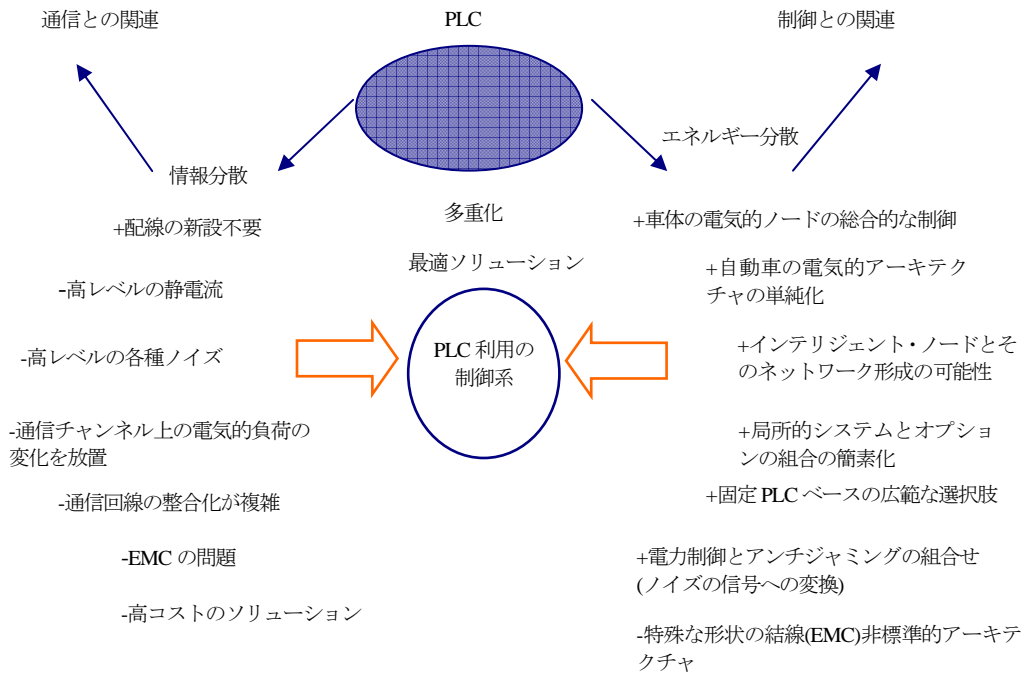


- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| (1) 単一命令ユニット | (1) 多機能的ユニット |
| (2) 3レベル処理 - データ収集、演算、制御コマンド出力 | (2) 任意の位置に全ての情報が遍在 |
| (3) 数種類の反射行動 | (3) 迅速な反射 |
| (4) ユニット間の相互作用を過小評価 | (4) 全ユニット、システムが協調的に動作 |
| (5) センサーは局所的サブシステムにのみ対応 | (5) 感覚器が神経系を通じて生体全体と接続 |
| (6) 局所的サブシステムの緩慢な変化(適応性の低さ) | (6) 生体の瞬間的な状態変化(適応性の高さ) |
| (7) 広範な進化 | (7) 集中的進化 |
| (8) 自己発展性の低さ | (8) 自己発展的システム |

自動車隣接分野の規格の直接的な借用ではなく、自然界の類似システムをコピーしたことは、自動車に対する見方を広げることになった。つまり、個々のオプションの制御から、PLCテクノロジーを用いた自動車装備の全システムの完全制御に視野が広がったのだ。AVASのもう一つの特徴は、開発の最終目的が自動車を多数の部分からなる複雑な構成物として質的な制御をすることにある。自動車用の類似の技術は主に、通信回線の構築や自動車ユニット間のデータ交換といった、より狭い課題のためのものである (13)。

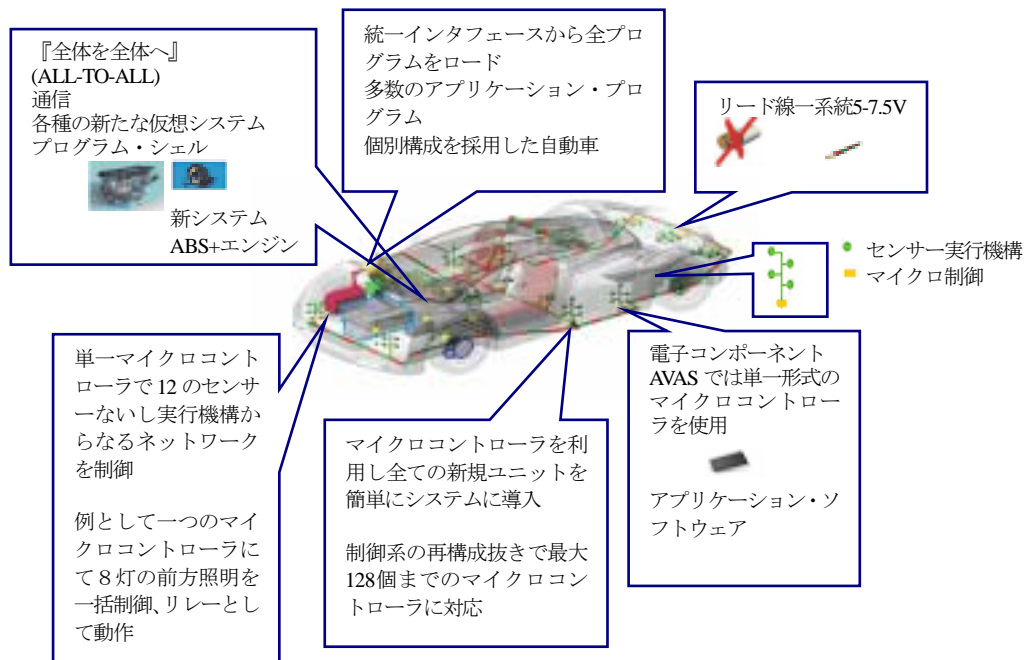
通信の観点から言えば、PLCテクノロジーは物理的レベルにおいて多くの欠点と技術上の矛盾を抱えている。PLCは他方、自動車内のいかなる電気ユニットにもアクセスが可能で、PLCを使ったデータ伝送のみならず、どの電気ユニットをも調整制御することが見込める。この場合、PLC通信の限界を克服するための技術的コストは分散制御システムによって補償される (第14図)。

(第14図) 異なった観点からのPLCの展望



AVASテクノロジーを装備した自動車の全体構造は第15図に示すとおりである。

(第15図) AVAS構造



イスラエル及びフランスの技術との間には基本的に下記の違いがある。

- 一つのシステムの中におけるターミナルの数 (2,560) の多さ
- 単一のPLC回線網
- TTP通信プロトコルに類似の情報同時化
- 最大20カ所のターミナルを制御できる、規格化されたアクティブチップ
- 他の通信規格とのIT連結
- 順応・可変型電力網とITシステム保障
- チップに組み込まれたデータ処理ポイント (Application Host)。

AVASテクノロジーは、インターネット通信に採用されているOFDM変調方式を使用しているが、それでもインターネット用PLC通信とは明らかな違いがある (第2表)。搬送波の数の削減と周波数帯域の縮小、通信回線に不可避なノイズからの保護に特別な配慮がなされている。これによって、製品の第1バージョンにおいて500K~3Mbpsの伝送速度を達成し、より高速なAVASアプリケーションの開発に取り組むことが可能となった。

(第2表)

パラメータ	標準PLC	AVASの基礎となるソリューション - PLC
1. ネットワーク目的	接続	制御
2. ネットワーク・インタフェース	ランダム・アクセスの可能な星状ネットワーク ネットワーク: マスター - スレイブ	同期的《ウィンドウ》、マルチマスター形式のネットワーク
3. ハードウェア・ソリューション	マスター - ノード + 端末 情報的に独立した一連のノード	強固にクランプされた情報処理のタイミング・パラダイムを有する同一形式のチップによるネットワーク (分散演算環境)
4. 運搬レベルでのハードウェア・ソリューション	TTP、イーサネットによる多様なプロトコル (PLISの基板上の構成要素) 運搬レベルでは計算力は具体化されない	制御タスク用の特殊なプロトコル (TTP原理による) 運搬レベルで計算力が具体化
5. 物理レベルのハードウェア・ソリューション	主としてアナログ的ソリューション (フィルタ処理の原理)	主としてデジタル的ソリューション (信号の合成と認識)
6. 物理的搬送媒体	64OFDM電流周波数から、V=最大14Mbps	3 OFDM電流周波数またはボルトボルトから、V=3Mbpsまで
7. 信号スペクトル	広帯域スペクトル 4-21MHz、8-32MHz、信号伝達速度はスペクトル帯域に大きく依存	固有スペクトル 4-10MHz、信号伝達速度のスペクトル帯域への依存度減
8. ジャミング防止法	搬送波周波数の監視、受信情報のみにおける不具合の表示と修正	耐ジャミング・コード、5つのレベルのジャミング防止 - 物理レベルで2レベル、搬送波レベルで2レベル、受信情報の不具合修正で1レベル
9. メッセージ遅延に対するノイズ・レベルの影響	最善でも直接的に比例	信号対ノイズ比 ≤ 1 に依存せず
10. ソリューション導入コスト	PLC用アダプタ - 接続 - 40ドルから 端末ノードとの通信	実験室プロトタイプの場合: PLC接続用アダプタ+計算力<10ドル 20系統のアナログまたはデジタル端末との直接接続

AVASには同時環状通信回線が使用されている。回線の同時性が自動車のユニット多数の作動と、機能のパラメータによって変わる様々な搬送波との間の連携を可能にする。環状の通信回線が選ばれたのは、自動車は閉鎖的なシステムであり、すべての物理的プロセスは明確な因果関係を持っているからだ。回線のこれら二つの特性を合わせることによって、自動車のユニットやオプションの開発者たちが手を加えることなく、制御の質と信頼性を高めることができる。技術特性の概要は以下のとおりである。

(第3表)

パラメータ	最小	最大	基準単位
マイクロコントローラの数	2	128	
オブジェクト間の接続チャンネル数	10	20	
エミュレートされたオブジェクトとの通信プロトコル	CAN、Lin、I2C、USART、SPI、3線		
オブジェクト・ウィンドウ容量	2	1,024	バイト
フレーム周波数	12.5	75	Hz
通信チャンネル伝送速度	550から		Kb/秒
バッキング密度	0.7	0.94	<情報ビット> /<総データ長>
最大妨害下での伝送速度減衰係数		0.6	
致命的妨害帯域の上限		7.5	mHz
供給電力	9	50	V
マイクロコントローラ電力消費	2	50	mw

(第4表)カーネルの基本パラメータ

パラメータ	最小	最大	基準単位
コマンドのメモリ容量	4	64	Kb
動作速度	1	12	MIPS
RAM	128	4,096	バイト

(注) 最大3Mb/秒まで増速可能。

同時性環状通信回線は制御に関する課題を解決するだけではない。自動車の各ユニット、各システムの状態に関するすべての情報が常時AVAS通信回線を通して「情報ウィンドウ」の形で伝えられる。この情報群は伝送1サイクルごとに更新され、自動車のローカルシステムすべての情報を完全に透明化する。いかなるローカル制御システム（例えばエンジン制御システム）も、AVASをベースとしたより高次の制御システムに、「電力マネージャー」のような複雑なオプションの簡潔な実行ユニットとして組み込むことができる。

PLCによるローカルシステムの情報統合は、様々なオプションの幅をかなり広げる。それらの潜在的可能性は、どれかのオプションに属しながら通常は「眠っている」演算能力を動員することで増大する。AVASのネット的工夫は自動車のすべての演算余力と情報余力を糾合し、いくつかのオプションを相互連携させたり、あるいはすべてのオプションを一元的な制御システムに統合することができる。

プログラミングの観点から言えば、AVAS装備自動車は、自動車全体に分散された強力なコンピューターであり、パーソナルコンピューターと同様にプログラムされ、制御されるものである。

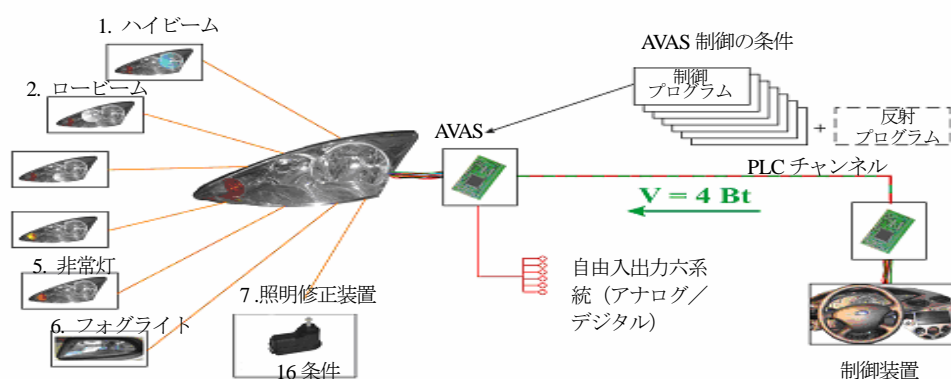
このようなアプローチは、PLCによって簡素化された回線設計に加え、純粋に経済的な優位性を持っている。多数のオプションに使用されるチップの汎用性、コストの上昇なしに総合的な演算能力を向上できるこ

と、PLCによる自動車グローバルネットを基礎にした共通のソフトウェア、IT技術を使って順応・可変の自動車性能の柔軟性などである（14）。

AVASテクノロジーの様々な特性は、アプリケーションの中に新しい性質を獲得することを可能にする。これは照明オプションを例に取ればよく分かる。自動車のライトが静的状態のものの集合である一方、AVASのアクティブチップは通信コントローラーのほかに組み込み式演算ポイントを持っていることにより、このオプションの制御システムでは制御対象物の状態制御という古典的な制御手法が採られる。このようなアプローチは、わずか4ビットの情報で1個のライトを制御することを可能にする（第16図）。

(第16図)AVASオプション制御の可能性(照明)

基本条件：



すでに実現されている付加オプション：

1. ランプ点灯モード
2. ネットワーク統一性制御
3. ブリッジ制御

新たに実現可能なオプション：

1. Partronic
2. ヘッドライト洗浄
3. 赤外線オプション
4. 車体の回転角度に対応したヘッドライトの照射方向制御

この簡単なオプションでは、自然界に普及している反射という超高速機能の実行もできる。これは、照明ランプの「柔らかい点火」や回線網保全電子コントロール、電気ショートからのオプション保護について言える（第17図）。

(第17図)AVASにおける反射プログラム

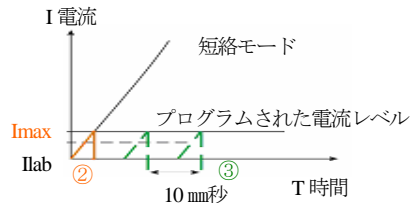
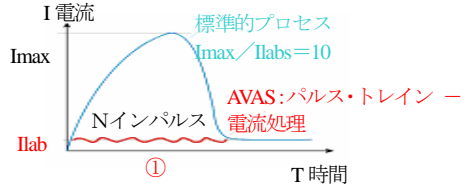
目的 — 制御されたノードでの超高速選択の実現
 イベントへの応答時間 — 10 mm秒



反射：
 ①インパルスによる点灯
 目的：熱衝撃からの保護

反射：
 ②短絡からの保護
 目的：事故による被害軽減

反射：
 ③ネットワーク回線の破断の有無および点灯の有無とは関係なく全照明の短絡確認
 間隔=10mm 秒
 目的：ネットワークの監視



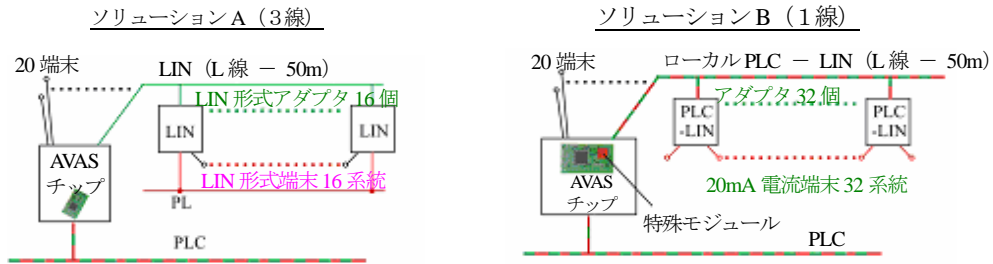
照明は自動的に消灯、運転者ないしEEDSに破損を報告

「イベント」にシステムがすばやく反応できるのは、これらの機能がAVASチップにプログラム化されており、ユニット間の通信回線を通じた情報交換を必要としないからである。

オプション1個のそれぞれの反射機能に一つずつ対応する反射プログラムがあり、このようなプログラムの集合は拡大することも、変更することも可能で、厳格に定められた諸条件と自動車のパラメータにそって反射プログラムを活性化させることもできる。これらすべては、IT技術を利用して自動車ユニットを柔軟に操作したり、メカトロニクス機能をより広範に導入したり、「自動車の反射神経」を使って現代における自動車中の人間の安全レベルを高めたりする可能性をもたらす。

いかなる新技術にとっても実用上重要な点は、当該分野の既存規格と新技術との結合である。AVASテクノロジーはITの次元においてCANやLINの自動車規格とはよく結びつくことができる。この結合は二つの異なる技術の機能を保持するだけでなく、既存システムに新しい性質を与えもする。PLC-LINシステムの例を第18図に示そう。

(第18図) LIN規格とAVASの通信



ソリューション A の分析

- + シリアル LIN アダプタの採用
- 特殊なアダプタ
- LIN アダプタへの電力供給に追加の PL が必要
- チャンネルのアンチジャミング性能の低下

ソリューション B の分析

- + 新型 LIN アダプタの開発
- 端末のマルチモード・インタフェース
 - デジタル混合入出力
 - コンバータ・モード
 - PWM
 - 12C インタフェース、USART
- + 端末数の倍増
- + PLC 回線
- + 高レベルのアンチジャミング性能

この図のAVASテクノロジーは、様々な通信規格で作動するローカルシステムと統合するためのものだ。なぜならば、各規格は現代の自動車にとって一群の最適な応用技術を持っているからだ。

このようにAVASは、PLCのほかにも一つのテクノロジーに統合された多数のハイテクノロジーソリューションである。この成果には陰の面もある。新しい単一回線網の設計は自動車にとって従来とは異なる工夫であり、汎用性チップもいくつかの自動車オプションには使用できず、自動車内ローカルシステムの統合も現時点では車両故障及びリコールの問題の解決法としては検討されていない。

このテクノロジーの多くの実用的工夫が一見しても明瞭ではなく、自動車オプションの形でAVASアプリケーションの範囲を拡大していく必要がある。この技術が、消費電力の小さい電子部品から数十kW級の電気エンジンまでいろんな電気ユニットに対応できる点が、AVASアプリケーションの範囲拡大を期待させる。このことは、ハイブリッド技術、自動車運動電子制御統合オプション、「ブラックボックス」オプション、自動車自動運転システムなどについて言える。

18. 自動車ネットテクノロジーの発展の傾向

すべての自動車PLCテクノロジーの成果についてまとめると、それらはみな高度な技術特性の達成を目指し、PLCテクノロジーの応用範囲の拡大を図っていると言われている。多くの結果は、電子分野の強力かつ小さなDSPプロセッサやIT分野の最新の情報符号化・伝送方法、制御理論における分散システムの創造、その他の画期的技術など、隣接分野の成果なしにはありえなかっただろう。

自動車PLCテクノロジーは、PLCの静的アプリケーションと違って最も革新的な技術である点を指摘せね

ばならない。自動車PLCテクノロジーは自動車分野の高い規格条件と信頼性の要求に応え、高い機能性と量産にとって魅力的な価格を持たねばならない。これらの広範な要求すべてを満たすことは、ソリューション、半導体部品製造、自動車部品製造、自動車製造の業界間の緊密な協力なくしては不可能である。

自動車用通信技術開発のために最近結成されている企業提携はグローバルな性格と業界における大きな権威を持っているが、技術的には効率がよくない。個々の提携企業はそれぞれ新技術開発の大きな力を持っているが、最新の知識も開発も実用化されるのは提携企業の間だけである。なぜならば、自動車通信技術のあらゆる知的財産は提携条件にしたがって、提携グループ全体の共有財産となるからである。

この逆説的状況は、見た目ではあくせく動いているがほとんど同じ場所に留まっている強力な機関車の姿を思い起こさせる。最もプラグマティックな形態は、自動車メーカーの要求に沿って活動し、消費者のために互いに公正な競争をし合う、大規模でない企業提携を結ぶことであろう。この分野には、欧州のTTPアライアンス、日本で汎用的な技術的工夫を開発するために最近結成されたJasPar、DC-BUSアライアンスなどのいくつかの例がある (15)。

同様の企業提携は「知的アウトソーシング」の役割を演じることができる。というのも、最近のハイテクノロジーはより広範な知識を要求する傾向にあり、技術自体あるいは製品は学術分野複数の接点の位置を占めているからだ。最新のPLCテクノロジーを見ると、それは電子工学、信号と情報の理論、高等数学、制御理論、対象志向性プログラミング、ファジー理論、その他多くの科学分野と知識である。

このようなアプローチは、自動車製造に隣接分野の技術を直接コピーするのに替わりうるものであり、経済的な優位性を持っている。例えば、インターネット用の標準的なPLCアダプターの価格が40ドル以上するのは自動車用アプリケーションにとって受け入れられるものではなく、自動車はより機能的で、より安価な技術的工夫を必要としている。それに、自動車用にコピーされる技術は、似てはいてもやはり自動車とは別のものの課題を解決するために開発されたものである。それゆえ、これらの技術を自動車に適合させるには、そもそも生産プロセス制御規格として開発されたCAN規格の場合のように、相当な時間がかかってしまう。

19. 総括

PLCテクノロジーの成果に関する本稿は、この分野の企業や企業提携、世界中に導入されつつあるこの技術について、全貌を詳細に網羅することはできない。多くの限定性の強いアプリケーションは製造企業の内部規格として実用化されている。しかし、本稿に取り上げた諸例には、様々な分野でのPLCテクノロジーの種類が増加しつつある全般的な傾向を見て取ることができる。

これらの工夫に対する科学技術上、そしてビジネス上の関心は、PLCテクノロジーが利用者にもたらす広範な可能性によって説明がつく。徐々に、「賢いエネルギー」という新しいアイデアが形成されつつある。これは、エネルギーが人間の必要とする場所に発生し、厚い情報層を運ぶものである。このアイデアは現代のPLCテクノロジーをすべて統合し、しかも自然の法則に反しない。「賢いエネルギー」は人工の類似物に比べて生物体が超高速のパラメータを手にするのを可能にする。

PLCテクノロジーは、野中郁次郎氏と竹内弘高氏の共著「知識創造企業」に詳細に叙述されている「暗黙

知」が、人々の経験や知識から借用するだけでなく、自然のメカニズムとテクノロジーを研究することによっても獲得できるものであることの一例である。「賢いエネルギー」の原理を自然界にもあるものとして見ると、それは既にマクロとミクロの世界で利用されていることがわかる。それゆえ、多くの革新的工夫は自然のプロセスの知識を研究し、記号化することによって獲得できる。

このプロセスと関わってくるのが、既存のものよりもっと「有機的」で、もっと人間に近いシステムと製品の獲得である。「ホームオートメーション」のような多くの現代技術、ロボット工学システム、車両間通信言語の開発とそのような言語への「感覚器官」の付加は、この傾向を証明している。「有機的な」自動車と「有機的な」環境は、効果的なネットテクノロジーや「ニューロンネット」や新しい通信方法なくしてありえない。

純粋に技術的観点から言えば、PLCテクノロジーはまったく新次元のITテクノロジーを創造する幅広い基盤を提供する。それは高速通信や制御、遠隔計測、監視の技術である一方、いろんな分野の人間活動と産業分野、それに先進の知識を包含統合する新たな現実的技術である。運輸分野だけを見ても、これらの技術の有望なアプリケーションは、乗用車製造から商用輸送車両の生産、造船、航空宇宙分野、軌道輸送車両などすべての方向性を網羅している。

このような応用範囲の潜在的な幅広さと開かれつつある可能性からして、PLCテクノロジーは最も有望な工夫の一つ、新しい通信方法、複雑なシステムの制御の基礎とみなすことができる。これらの技術は最も近い将来に、他の分野の科学・技術の成果と組み合わせあって、人間を取り巻くまったく新しい、調和的なネット世界の創造に益々重要な役割を演じていくであろう。

参考資料

論文:

- (8) http://www.fpr-group.com/publications/problems_and_trends.html
- (13) <http://www.automotivedesignline.com/howto/showArticle.jhtml?articleID=16040372>

インターネットサイト:

- (1) http://www.plcforum.com/frame_plc.html
- (2) <http://www.intellon.com/company/>
- (3) <http://www.homeplug.org/en/products/index.asp>
- (4) <http://www.ce.org/Research/default.asp>
- (5) <http://www.computerra.ru/focus/251259/>
- (6) <http://www.tttech.com/technology/index.htm>
- (7) <http://www.volkswagen-ag.de/german/defaultIE.html>
- (9) <http://www.yamar.com/profile.html>
- (10) http://www.export.gov.il/Eng/_Articles/Article.asp
- (11) <http://www.valeo.com/automotive-supplier/Jahia/lang/en/pid/75>
- (12) <http://www.fpr-group.com/technology/avas/>
- (14) http://www.fpr-group.com/technology/avas/technical_rev/
- (15) <http://pub.nikkan.co.jp/mgz/sekkei/zsek0501z.html>