

# 超小型EtherCAT制御モジュール

新嶋 克利 田中 克幸

近年は、生活支援ロボット、パートナーロボットなどのFA系以外のロボット市場においてモータ制御モジュールの高性能化および小型化のニーズが高まってきている。OKI情報システムズ（以下、OISという）では、このようなニーズに対応したモータ制御モジュールの開発に取り組んでいる。高性能化の取り組みにおいては、リアルタイム性の確保が可能なネットワーク対応とOKIグループ内の技術を展開しモータ制御モジュール基板の小型化を実現した。本開発では、通信手段としてEtherCAT\*<sup>1)</sup>を採用し、高さ0.8mm以下の部品を基板内に埋め込むことにより従来の基板サイズ1/2化を目標とした。

本論では、EtherCATと部品内蔵基板の開発に焦点を絞って述べる。

## EtherCATの開発

EtherCATは、元々FA用ネットワークの標準規格として、提唱されたものであり、2003年11月にEtherCATの普及促進、技術支援を目的として設立されたEtherCATテクノロジーグループ（以下、ETGという）により、欧州を中心に北米、アジアなど世界的に普及しつつある。ETGには、2009年12月現在、全世界で1,200を越える会員登録があり、日本では、100会員を超える会員登録がある。

OISは、2007年8月にETGに加盟した。

EtherCATは、通信の物理層にイーサネットを使用し、パケットのフレーム構成、およびマスタとスレーブ間との接続に特徴を持たせることで、リアルタイム性を確保し高性能化を実現している。また、物理層がイーサネットなので、マスタとなる装置は、市販の汎用パソコンの使用が可能であることや、配線がEtherCAT通信と電源のみの省配線化が可能になり、設備導入時のコストや機器の共通性、汎用性などの面においても有効である。

EtherCATがリアルタイム性に優れている理由として2つある。一つ目は、イーサネットフレームのデータエリアに複数のスレーブ宛データが格納できること（図1）。二つ目は、パケットのコリジョンが発生しないライン型トポロジで、各スレーブには2つのLANポートを設けていることである（図2）。各スレーブは、フレームから自分宛のデータのみ抽出し、新たな送信データを付加し次のスレーブにデータを渡す。

ここで、1フレームに組み込めるスレーブの数は、イーサネットフレームのデータ部の容量約1,500バイト内で任意に設定できる。通信速度は100BASE-TXのフルデュプレックスで100Mbit/sを超える高速なデータ転送が可能であり、スレーブ間のデータ転送遅延はナノ秒単位である。

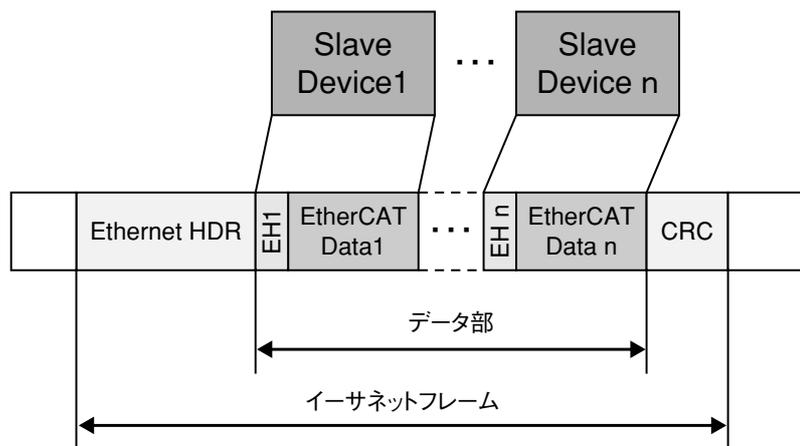


図1 フレーム構成

\* 1) EtherCATはbeckhoff,Hans氏の国際登録商標です。

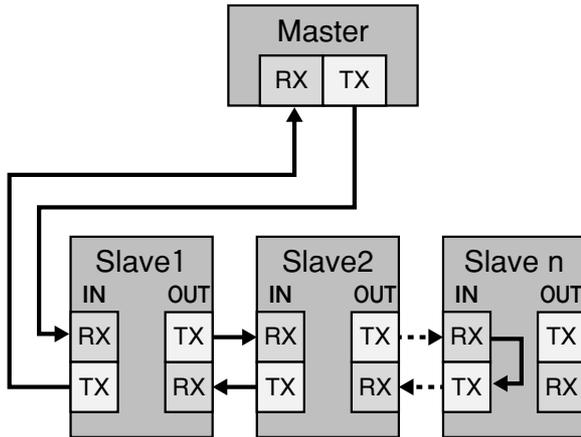


図2 接続構成

従来のイーサネットをモーションコントロールに用いることは、伝送方式の問題やコリジョンの発生などによるリアルタイム性の問題から適していなかったが、産業用イーサネット技術の向上により、モーションコントロールなどの用途にも採用されるようになった。

EtherCATは、同一フレームに対して各スレーブが読み書きし次のスレーブに渡す方式であるため、帯域を有効に使うことができる。また、フレーム内にマスタクロック情報を入れて配信することにより、正確な同期（1  $\mu$ S以下）が実現できる。そのため、複数スレーブの同期制御を必要とするモーションコントロールシステムなどに最適である。EtherCATのパフォーマンスの例を表1に示す。

表1 EtherCATパフォーマンス

制御データ	更新時間
256点のデジタルI/O読み書き	11 $\mu$ S
1,000点のデジタルI/O読み書き	30 $\mu$ S
200点のアナログI/O (16bit) 読み書き	50 $\mu$ S
100軸サーボ制御 (8Byte) の読み書き	100 $\mu$ S

※出典 EtherCAT Presentation by ETG

EtherCATでは、次の5つのプロファイルを提供する。

- EoE (Ethernet over EtherCAT)
- CoE (CANOpen over EtherCAT)
- FoE (File over EtherCAT)
- SoE (Servo Drive over EtherCAT)
- VoE (Vendor specific Profile over EtherCAT)

\*2) LVDSは Low Voltage Differential Signalingの略称です。

これらの規格におけるアプリケーションレイヤの実現は、ソフトウェアで行い、用途に応じてプロファイルを搭載する。OISでは、これらのプロファイルを順次開発中である。

EtherCATの開発は、規格書を参照して行き、ETGが提供するコンFORMANCEテストツールにてテストをパスする必要がある。しかし、規格書に記載されている内容だけでは把握できないことも多々あり、テストツールでテストすると多くのエラーが発生した。

その中でエラーの原因究明と対応策を見出すために一番苦労した点は、イレギュラテストに対するスレーブ側の動作解析である。一例としては、テストツールが送信するイレギュラパケットを読み取り、スレーブ側で仕様通りの振舞いをするように解析、修正するのに時間を費やした。

### 超小型制御基板の開発

モータ制御モジュールを小型化することで、モータなどのアクチュエータ部の近傍にそれらを制御する制御モジュールの設置が可能となり、アクチュエータ部と制御モジュール間の配線量も少なくできるので、システム自体の小型が実現できる。

OISでは、小型化要求に応えるため、部品内蔵基板の技術を持つOKIプリントドサーキット（以下、OPCという）と長野OKI（以下、NOKIという）とともに、共同で部品内蔵制御基板を開発することにした。

部品内蔵基板のイメージ図を図3に示す。

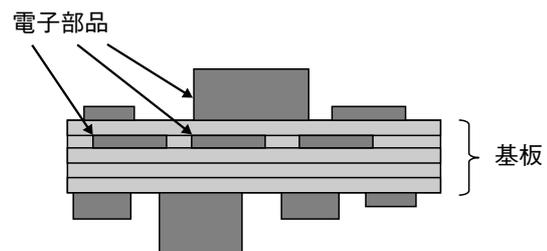


図3 部品埋め込みのイメージ図

今回開発した小型化制御モジュール仕様としては、EtherCAT通信は、通常のイーサネット（IEEE802.3）ではなく、LVDS\*<sup>2)</sup>規格に準拠したEBUS通信をIN用とOUT用の2ポートを実装する。EBUSを採用した理由としては、小型化のためにEtherCATコントローラに内蔵されているLVDSトランシーバが利用できることや、PHYや

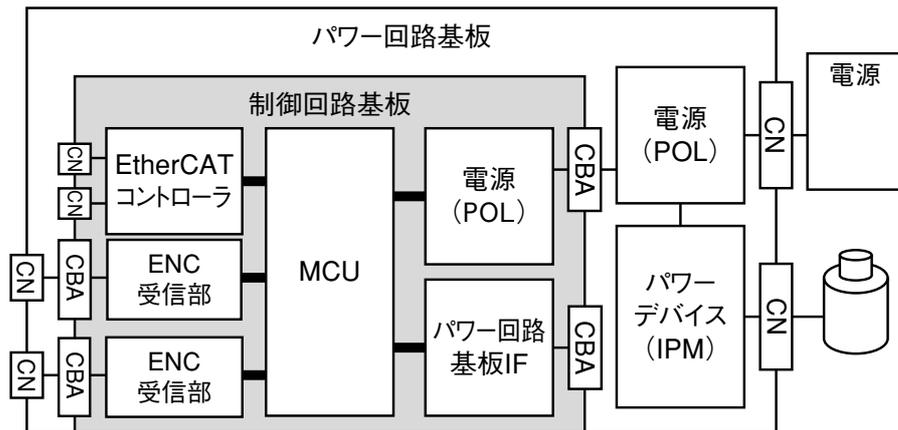


図4 制御モジュールのブロック図

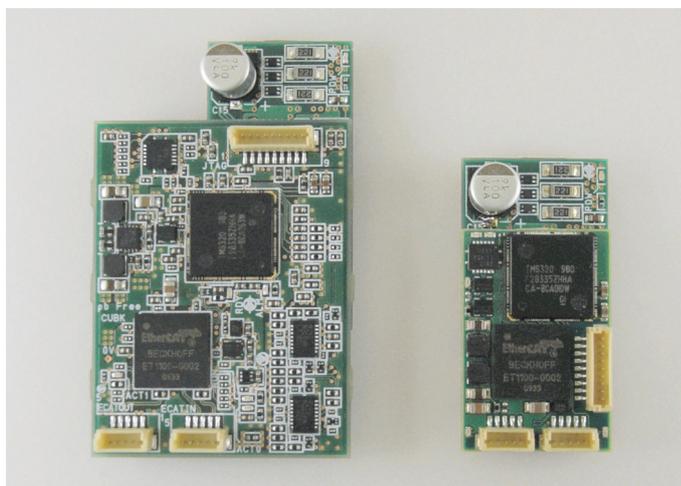


写真1 今回開発した制御回路基板  
(左：部品埋め込み前 右：部品埋め込み後)

パルストランスを実装する必要がないことである。

モータ容量は小型の20W以下の小型モータを想定し、低負荷の駆動部をターゲットとした。

モータエンコーダは、汎用的なA,B,Zのインクリメントエンコーダとモータ軸の電気角を回転させずに検出できるsin/cosの磁気式アブソリュートエンコーダに対応した。

モータ制御モジュールの構成は、EtherCAT通信部とモータ、エンコーダを制御する「制御回路基板」とモータを駆動する「パワー回路基板」の2枚構成とした。

2枚構成とすることにより、モータ容量変更に伴うパワー回路基板の変更が発生しても、制御回路基板の共通化が可能となる。ブロック図を図4に示す。

小型化の取り組みでは、部品点数を減らすための回路の大幅な見直しと、基板に内蔵できる部品の再選定を行った。部品の選定条件としては、高さが0.8mm以下で、

より小型のパッケージを新たに選定する必要があった。

データシートを元に部品の選定を行うが、あまり小型のパッケージになると、流通実績が少ない。特に日本国内においては流通実績が無い部品が多く、部品の入手が非常に困難であった。そのため、部品の選定には大変苦労した。

以上の条件において、部品内蔵無しの通常基板仕様でのサイズは、35mm×48mm×12mmになった（写真1：左）。そこで、部品を内蔵したことによる目標サイズをその50%以下に設定した。

可能な限りの部品を効率良く内蔵する方式をOPC、NOKIと合同で検討した結果、ほぼすべてのチップ部品とアブソリュートエンコーダの受信部、電源回路の一部を内蔵することが可能となった。また、パターン引き回

しも通常の貫通配線ではなく、ビルドUP構成にしたので、表面への部品実装密度もあがった。その結果、基板サイズは、20mm×30mm×12mmとなり65%のサイズ縮小が実現した（写真1：右）。

### 今後の展開

OISは、「小型化」と「EtherCAT通信」をキーワードに更に小型化高性能化を進め、今後の事業展開を図る。

その施策の一つとして、MCUとEtherCATコントローラデバイスをFPGA内に実装し、1チップ化の実現を目指す。1チップ化することにより、実装面積をさらに30%削減できると想定している。近年、FPGA内にマイコンを実装することがスタンダードになりつつあるので、これらの技術向上を図る。また、EtherCAT通信については、マスタ側環境の充実化を目指す。マスタ側プラットフォームを構築することにより、マスタからスレーブまでシステムとしてお客様に提供できる。

今後、部品内蔵基板を開発することで、採用部品の選定、発熱の問題など、多くの課題が発生すると予想できるが、回路構成の最適化と部品点数削減の検討を含め今後確認していく。パワー回路基板においては、小型部品の採用と部品内蔵化への検討、また、モータ容量の多品種化を実施していく計画である。

### おわりに

本プロジェクトでは部品の入手や部品実装におきましてNOKI、パターン設計や板製造、内蔵部品実装におきましてOPCには大変お世話になりました。感謝いたします。 ◆◆

### 参考文献

1) EtherCAT Technology Group : <http://www.ethercat.org>

### ● 筆者紹介

新嶋克利 : Katsutoshi Nijima. 株式会社OKI情報システムズ EM開発第三部 開発第二チーム

田中克幸 : Katsuyuki Tanaka. 株式会社OKI情報システムズ EM開発第三部 開発第二チーム