

IP ネットワークを介した小形モータ組込み制御システムの構築 An Embedded Control System for Small Motor through IP Network

○安樂厚二*, 秋山宜万*, 松尾健史*, 三浦 武*, 谷口敏幸*

○Koji Anraku*, Yoshikazu Akiyama*, Kenshi Matsuo*, Takeshi Miura*, Toshiyuki Taniguchi*

*秋田大学

*Akita University

キーワード：モータ制御(motor control), 組込み制御システム(embedded control system)
Ethernet(Ethernet), TCP/IP(TCP/IP), シリアル通信(serial communication), RS-232(RS-232)

連絡先：〒010-0852 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部 電気電子工学科
松尾 健史, TEL : (018)889-2338, FAX : (018)837-0406, E-mail : matsuo@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

今日, コントローラとしてマイクロコンピュータを用いた組込みシステムは FA 機器や OA 機器, 家電などに使用されており, 我々の生活の中に広く普及している.

一方, 近年のインターネットなどの情報通信技術の発展により, ネットワークは身近なものになってきている. これらを各種制御システムに取り入れるための研究¹⁾が行われている.

このネットワークは Ethernet と TCP/IP プロトコルを用いて接続されるのが最も普及している. このため, この方式を制御システムにどのように取り入れるのかを考える.

しかし, 現在実際に使われている組込みシステムでは, 外部との通信手段にシリア

ルインターフェースとして RS-232 しか持たないものも数多く存在する. このような場合, そのままでは IP ネットワークに接続することはできない.

そこで, Serial-Ethernet 変換器を用いることにより Ethernet を通じて IP ネットワークに接続することが可能になる. 本研究では Serial-Ethernet 変換器として Lantronix 社製の XPort を搭載した変換器(若松通商オリジナルキット)を用いる. また, XPort はシリアル通信プロトコルを自動的に TCP あるいは UDP のプロトコルに変換する機能を持っているため, この変換器を介することで RS-232 しか持たない機器を TCP/IP を意識せずに Ethernet を通じて IP ネットワークに接続することが可能となる.

本研究では, RS-232 のみを搭載した組込

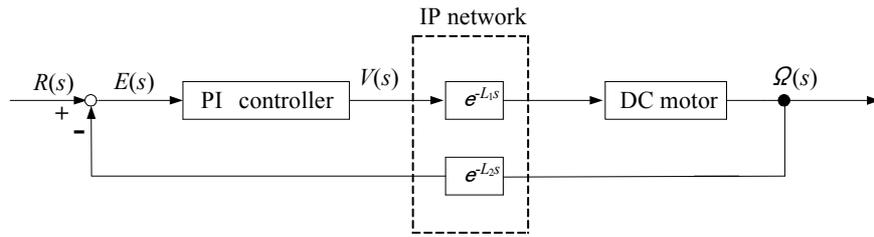


図1 IP ネットワークを介した DC モータ速度制御システム

Fig.1 DC motor speed control system through IP network

みシステムにおいて、Serial-Ethernet 変換器を用いることで Ethernet を介して IP ネットワークに接続するシステムの構築を想定している。

そのための基礎的研究として、組込みシステムを用いる前に PC を用いる。この IP ネットワークを介した DC モータ速度制御システムで、PC 間のデータ通信にシリアル通信プログラムを用いた場合、どのような条件でこのシステムが実装できるのかモータ速度制御実験を行い検討する。実装可能であれば、シリアル通信速度やネットワークの構成が制御システムにどのような影響を与えるのか検討する。

2. Serial-Ethernet 変換器

FA 業界などでは、まだシリアルインターフェースしか持たない組込み機器が数多く使用されている。RS232 のようなシリアルインターフェースを装備した組込みシステムは長い歴史があるため、これまでに蓄積されてきたプログラムなど数多くの資産が存在している。

本研究では、Serial-Ethernet 変換器として Lantronix 社製の XPort を搭載した変換器(若松通商オリジナルキット)を用いる。これは、ハードウェア的にシリアルインターフ

ェースを Ethernet インターフェースに変換する機能だけでなく、シリアル通信プロトコルを TCP/IP プロトコルに自動変換するソフトウェア的な機能も有している。これにより、組込み機器側はシリアル通信プログラムのまま IP ネットワークに接続することが可能となる。

3. 実験システム

3.1 システム構成

文献1)における IP ネットワークを介したモータ制御システムを図1に示す。ここで、 $R(s)$ は目標回転速度、 $\Omega(s)$ は実際の DC モータの回転速度、 $E(s)$ は目標回転速度と実際のモータの回転速度との偏差、 $V(s)$ は DC モータへの印加電圧を表している。IP ネットワークを介することで、ネットワーク部においてむだ時間が生じる。ここで、PI コントローラの伝達関数は(1)式で表される。

$$G_{PI} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (1)$$

K_p および K_i はそれぞれ比例ゲイン、積分ゲインを表す。

次に、本研究で用いる実験システムを図2に示す。PC1 が制御演算を行うコントローラの役割を担っており、PC2 は PC1 からの指令により AD/DA 変換器を操作してモー

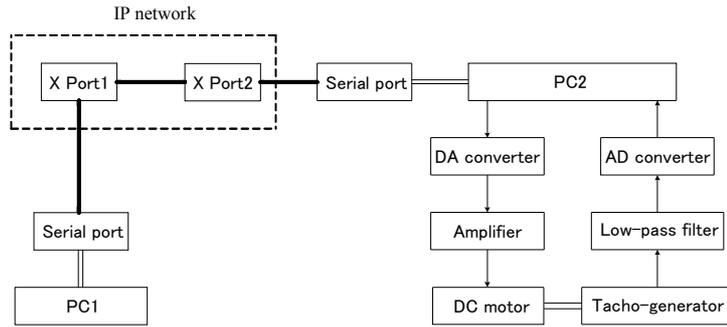


図 2 実験システム

Fig.2 Experimental system

タを駆動させる。制御対象とした DC サーボモータは山洋電気社製 R301T-011 であり、その仕様を表 1 に示す。

以下に実験システムの具体的な制御を説明する。モータの回転速度はタコジェネレータにより検出され、ローパスフィルタおよび AD 変換器を介して PC2 に取り込まれる。そして、速度情報は PC2 から送信され、XPort を介して PC1 で受信される。速度情報を受信した PC1 では PI 速度制御演算を行いモータの印加電圧となる操作量を算出する。そしてその情報は再び PC1 から XPort を介して PC2 に送信される。PC2 は受信した操作量を DA 変換器によってアナログ電圧に変換し、増幅器で 5 倍に増幅された電圧が、モータに印加される。

なお、PI 速度制御演算の比例ゲイン K_p および積分ゲイン K_i については、それぞれ 0.001, 0.005 とした。

表 1 DC モータの仕様

Table1 Specification of DC motor

rated power	11[W]
rated voltage	24[V]
rated current	1.25[A]
rated speed	3000[min^{-1}]

3.2. ネットワーク部の構成

この節では PC1 と PC2 間のネットワーク部の構成を示すことにする。図 3 に PC1 と PC2 間のネットワーク部の構成を示す。

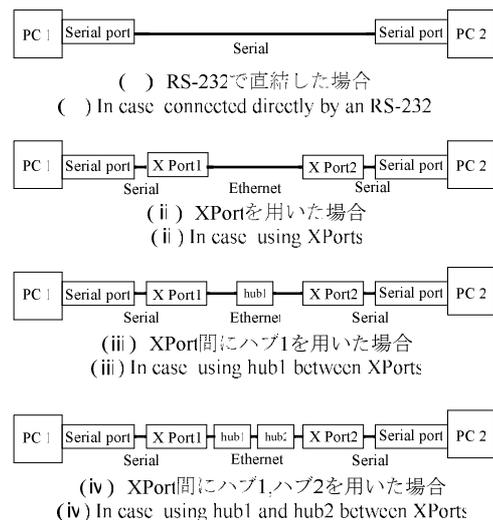


図 3 ネットワーク部の構成

Fig.3 Configuration of network

ネットワーク部の構成は、ネットワーク部に Serial-Ethernet 変換器を用いた場合に Serial-Ethernet 変換にかかる時間やネットワークの構成が制御システムにどのような影響を与えるのか調べるために以下に示す 4 つの構成とした。

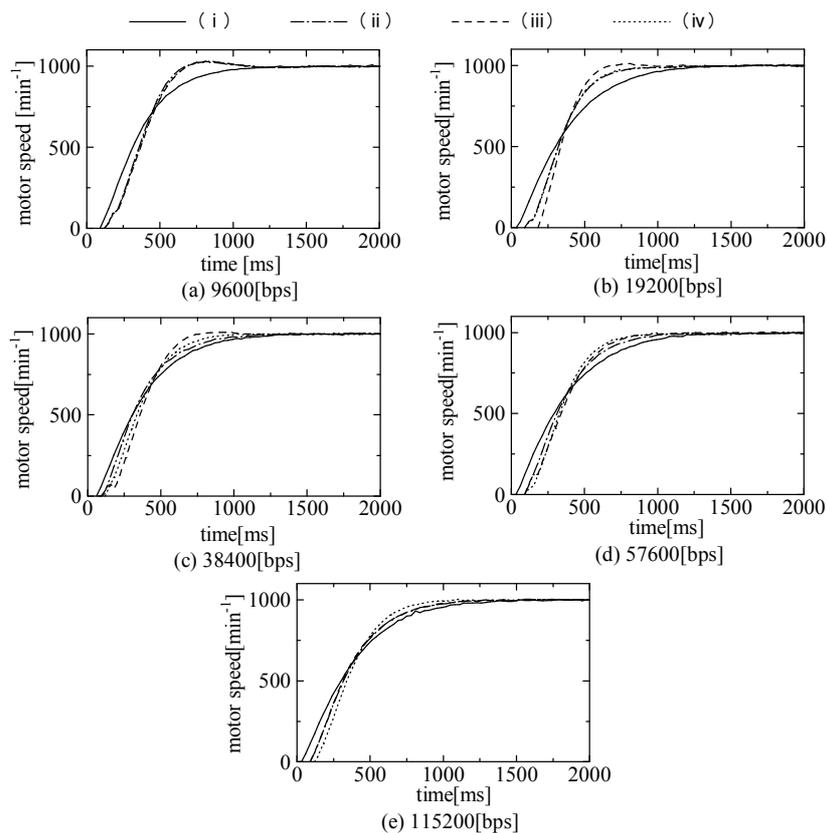


図4 DC モータの速度ステップ応答(ネットワークの構成)
Fig.4 Speed step response of DC motor (Configuration of network)

- (i) 2 台の PC 間を RS-232 で直結した場合
- (ii) シリアルポート間に 2 つの XPort を用いた場合
- (iii) (ii) の XPort 間に通信速度 100Mbps のハブ 1(100BASE-TX)を用いた場合
- (iv) (iii)にさらに通信速度 10Mbps のハブ 2(10BASE-T)を用いた場合

8 ビット, ノンパリティ, ストップビット 1 として, 通信速度のみを 9600[bps], 19200[bps], 38400[bps], 57600[bps], 115200[bps]と変化させた. ネットワーク部の構成については前章で示した 4 つの場合について実験を行った.

4. 実験

前章に示した実験システムを用いて DC モータの速度制御を行う. モータには $25.0 \times 10^{-6} [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2/\text{rad}]$ の慣性負荷を装着し, 目標回転速度を $1000 [\text{min}^{-1}]$, サンプル時間は $30 [\text{ms}]$ とした. シリアル通信の設定はモデム制御なし, データビット数は

5. 実験結果

前章で述べた実験の結果についての考察を行うため, ネットワーク部の構成(i)~(iv)で比較したものを図 4, シリアル通信の通信速度で比較したものを図 5 に示す. 図 4 の結果より, 全ての条件で(i)の場合と比較して通信に遅れが生じている. これは RS232 による直結以外では XPort を介する

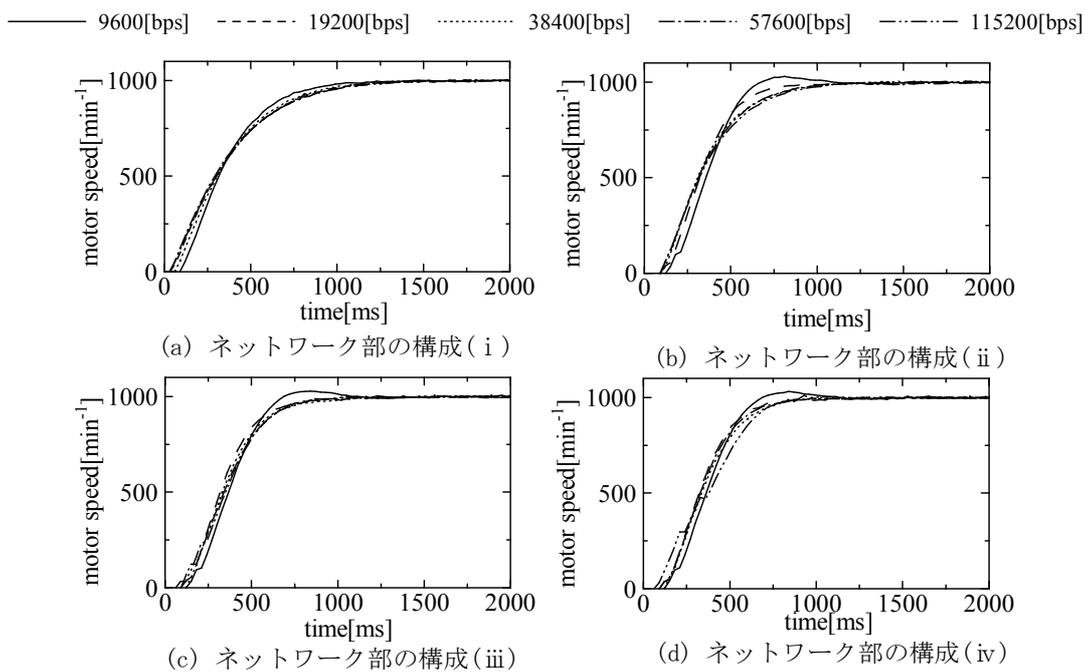


図 5 DC モータの速度ステップ応答(通信速度)

Fig.5 Speed step response of DC motor (baud rate)

ときの Serial-Ethernet 変換に掛かっている時間の影響であると考えられる。

通信速度別に比較をすると最も遅い 9600[bps]のとき、(i)の場合を除きほぼ同じ波形となっており、ネットワーク部の違いによる差はほとんど見られないが、最も通信速度の速い 115200[bps]のときは、(iv)の場合に遅れが大きくなっていることが分かる。

通常、(iii)と(iv)を比べた場合にはハブを 2 台使用している(iv)の方で大きな遅れが生じると考えられるが、最低速度と最高速度の間では、速度応答波形上ではハブを 1 台だけしか使用していない(iii)の方が遅れているような場合が見られる。

このような結果が現れている原因としては通信の途中で遅れが大きくなった場合、1

度データを受信してから次のデータを受信するまでの時間が長くなってしまい、本来与えようとしているものより高い電圧がかかってしまうことで、速度応答上では目標速度に対しての追従ができていないように見えてしまっている可能性がある。

図 5 のシリアル通信の通信速度で比較した場合、RS232 での直結以外の場合は通信速度が遅いときオーバーシュートが大きくなっているが、通信速度がある程度速くなるとほとんどオーバーシュートが見られなくなる。

ネットワークの構成部の違いや通信速度の違いによる差は生じているが XPort を介することでシリアル通信のプログラムのままで IP ネットワークを介した制御システムの構築が行えることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、IP ネットワークを介した組み込み制御システムの構築のための基礎的研究として、PC 間に XPort を介することでシリアル通信プログラムを用いて DC モータの速度制御を行い、シリアル通信プログラムを使用した場合でも、IP ネットワークを介した制御システムが構築可能であることを確認した。

今回は組み込みシステムの代わりに PC 間を XPort でつなぐことで制御システムの構

築を行った。

今後の課題として PC ではなく、実際の組み込みシステムを用いて検討したい。

参考文献

- 1) 松尾健史, 秋山宜万, 三浦 武, 谷口敏幸 : LAN ネットワークを用いたモータ制御, 計測自動制御学会東北支部第 230 回研究集会, 230-1(2006)