

# IPv6 を用いた遠隔機械制御システムの開発

## Development of a control system for remote machine with IPv6

賛 大谷 誠, 学 古賀 広樹, 非 真鍋 恵市  
非 角 和博, 正 穂屋下 茂, 正 池上 康之  
賛 渡辺 健次, 賛 近藤 弘樹 (佐賀大学)

Makoto OTANI, Hiroki KOGA, Ken-ichi MANABE  
Kazuhiro SUMI, Shigeru HOYASHITA, Yasuyuki IKEGAMI  
Kenzi WATANABE, Hiroki KONDO: Saga University

**Abstract:** Recently, the ubiquitous network attracts a great deal of attention. The ubiquitous network is an environment from which all information instruments and computers are connected with the network anytime and anywhere. IPv6 (next generation Internet protocol) is core technique for achieving the ubiquitous network. The IPv6 network also brings an integrated environment to ubiquitous instruments, that is, all media information, not only control signal but also multimedia information can be sent through the network. IPv6 network is expected to be a powerful tool for a remote control system. However, it is not evident how to implement actually the integrated environment to a remote control system. And also it is not clear how the characteristic of the Internet which is based on packet transfer system, affects the control. To examine these issues, we developed a system with which one can operate a remote barreling process machine using IPv6. This paper describes details of the function and an implementation of the system. We also describe the consideration of the evaluation experiment of this system.

**Keywords:** Machine Tool, Barreling Process machine, Remote Control, Internet, IPv6

## 1. はじめに

近年、ユビキタスという言葉が盛んに聞かれるようになってきた。このユビキタスとは、いつでも、どこでも様々な情報機器やコンピュータがネットワークに接続された環境のことである。このユビキタスの特徴として、コンピュータが生活の一部となり、人間がコンピュータを使っていることを意識することがないということが挙げられる。その他にもコンピュータ利用者や、利用者の状況に応じて、情報機器やコンピュータが提供するサービスの形態を容易に変化させることが可能であるといった特徴もある。たとえば、家庭ではビデオやエアコン、冷蔵庫などといった情報家電をネットワークに接続し、それら情報家電の遠隔制御や情報取得といったことが可能となる。また工場や実験室などにおいては、工作機械やセンサーなどに通信機能を持たせ、外部の他の工作機械やセンサーなどからの情報と連携して動作させたり、集中管理を行ったりすることによって、生産の効率化や合理化を図るといったことも可能となる。

このようなユビキタス環境を実現するための手段として、次世代のインターネットプロトコルである IPv6 が注目されている。IPv6 は、そのアドレス空間の広さにより、様々な情報機器をネットワークに接続可能である。そして、それら情報機器からの画像や映像、数値などの様々な情報を統合的に扱い、閲覧・制御することが容易に実現可能である。また Plug & Play 機能によって、ネットワークの設定を、利用者が特に意識する必要がなく、セキュリティに関する対応も標準的に行われている。

しかしながら、IPv6 を用いてこのようなユビキタス環境を実際の制御として実装することは、自明なことではない。よって、パケット転送を基礎とするインターネットのネットワークとしての特性が、どのように実際の制御に影響を及ぼすのか、また統合環境は現実の制御の中でどのように実現すべきなのか、といった検証が必要である。そこで我々は、IPv6 を用いてユビキタス環境を実現する際に発生する事象を把握

し、その解決を行うことを目的として、実際に IPv6 ネットワーク上から遠隔操作可能な機械制御システムの開発を行った。このシステムは、本学において設計・製作した工作機械（バレル研磨装置）を、WWW ブラウザ上から IPv6 を用いて制御・監視が可能なものである。このシステムを使用することにより、遠隔地からの工作機械の操作や、加工工程の監視が可能となる[1][2]。

本稿では、このシステムの概要について述べるとともに、このシステムの評価実験から得られた実装上の課題についての考察もあわせて述べる。

## 2. 工作機械(バレル研磨装置)の概要

### 2.1. バレル研磨装置の構造と特長

IPv6 を用いた工作機械の遠隔操作の実験に、本学で設計・製作した工作機械（バレル研磨装置）を用いた。この装置は、歯車などの機械要素を鏡面に仕上げることが目的に開発されたものである。装置の概観を Fig. 1 に示す。

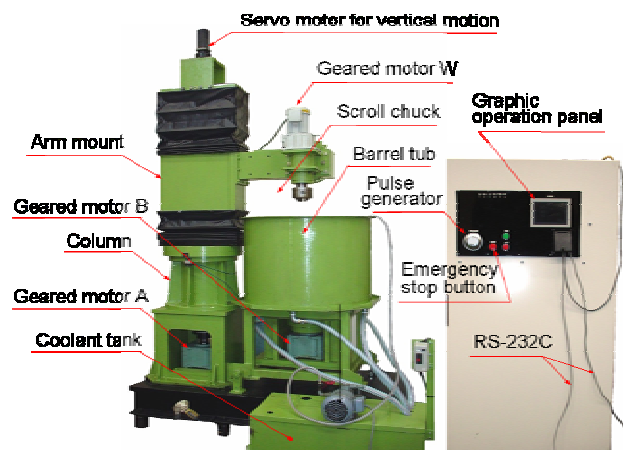


Fig. 1 Barreling process machine

本装置は、ワーク移送部、パレル研磨槽、及びコンパウンド削循環装置で構成されている。ワーク移送部において、ワーク取付け軸を支えるアーム部は、センターピラーが上下し、さらにセンターピラーは回転可能な構造となっている。ワーク取付け軸は、2 つ備えることが可能である。また、取り付け可能なワークの直径は、最大 = 300 mm である。

一般に、工作機械の位置決め制御には、制御 (Numerical Control: NC) 装置が使用される。しかし、NC 装置は高価であり、本装置の位置決め精度は、1mm 程度で構わないため、センターピラーの回転は、エンコーダのパルスカウントで制御する簡易方式を開発し採用した。センターピラー回転は、三相誘導モータ (1.5kW、ギヤド減速比 1/200) と 50 pulse/rev のエンコーダ (モータ軸取り付け) を用いた。またアームの上下用には、安全のため NC サーボモータ (0.75kW、ギヤド減速比 1/20) を用いた (Table 1)。

Table 1 Specification of barrel polish equipment

Motion	Motor	Power (kW)	Speed (rpm)	Speed ratio
Vertical motion of arm	Servo motor	0.75	3000	1/20
Rotation of center pillar	4P motor Inverter	1.5	1800	1/200
Rotation of work shaft	4P motor Inverter	0.75	1800	1/100
Rotation of barrel tub	4P motor Inverter	3.7	1800	1/40
Specifications and conditions of barrel process				
Effective diameter of barrel tub			800 mm	
Effective depth of barrel tub			500 mm	
Rotational speed of barrel tub			45 rpm	
Rotational speed of work shaft			15 rpm	
Maximum diameter of work			300 mm	

## 2.2 シーケンス制御

制御システムは、モータ軸 4 つを一括制御できるように、上位コントローラに M 社製のシーケンサ (FX<sub>2N</sub> シリーズ) を設けた。また、シーケンサからの指令信号でインバータやサーボアンプを動作させるシーケンス制御システムを用いた。制御システムの構成を Fig. 2 に示す。

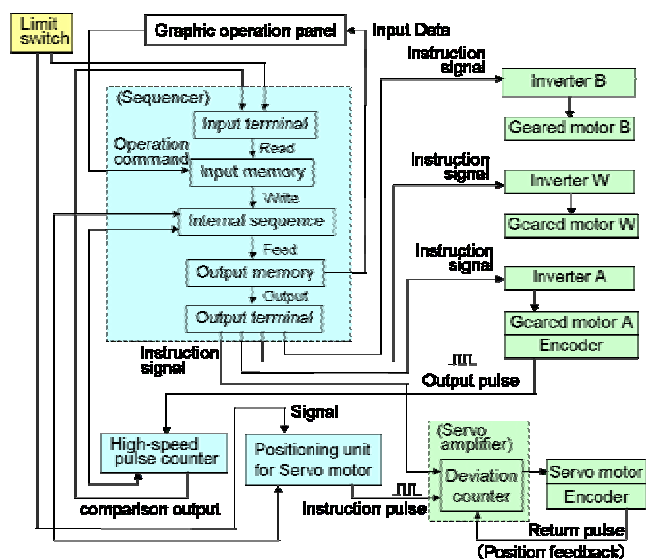


Fig. 2 Composition of control system

工作機械の制御プログラムは、PC で作成したラダー図式のシーケンスプログラムをシーケンサに転送して構成した。このラダープログラム (Fig. 3) によって、シーケンサは各インバータやサーボアンプに指令信号を出力し、装置の制御を行う。センターピラーの繰返し位置決め精度を Fig. 4 に示す。設計通り、-0.2 ~ 0.7mm の範囲に収まっている。

パレル研磨装置は、2 軸 (A, Z) 制御である。パレル槽、およびワーク軸が回転する。これらもシーケンサで制御できるため、遠隔操作も容易である。

本研究では、まずシーケンサ内のプログラムの改良を行った。例えば、モータの回転方向を変更する際、「停止」キーを押さないと正転、逆転出力がリセットされなかった。これでは回転方向の変更時に、たびたび停止キーを押さなくてはならない。そこで回転方向入力 of B 接点にリセット命令を連動させることで問題を解決した。また、歯車の研磨を均一にするため、ワークの正転逆転を一定時間ごと (今回は約 30 分間) に切り替えるタイマーを新設した。

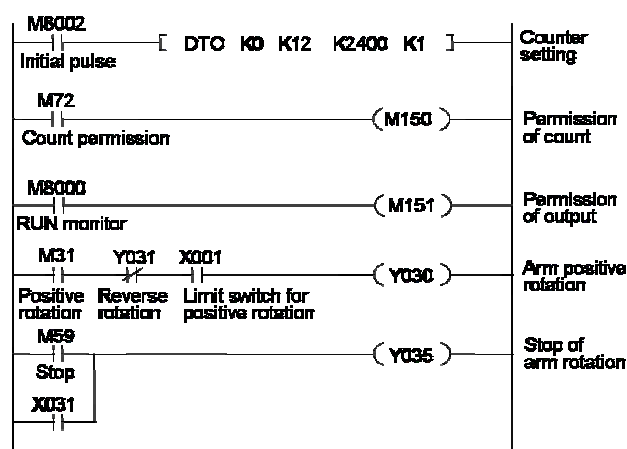


Fig. 3. Example of Ladder program for rotating center pillar

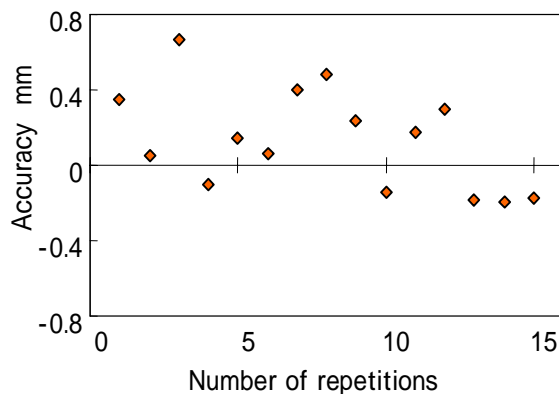


Fig. 4 Accuracy of positioning for rotation of a center pillar

## 3. IPv6 ネットワーク環境の概要

実験に用いた学内のネットワーク構成を Fig 5 に示す。

このネットワーク (IPv4) を利用して、実験棟を IPv6 ネットワークに接続した。すでに IPv6 ネットワークに対応している理工学部棟と、実験棟の 2 カ所にそれぞれ IPv6/IPv4 ルータを配置し、この間を IPv6 over IPv4 を用いたトンネリング接続 (Fig. 6) により結ぶことにより、実験棟の IPv6 ネットワークへの接続を実現した。

あるネットワークの中にパケットをカプセル化して通す技術を一般的に“トンネリング”と呼ぶが、IPv4 と IPv6 の間においてもトンネリングを用いることにより、互いのパケットを通すことができるようになる。この際に、パケットのカプセル化/デカプセル化といった作業が必要となるが、それを上記の設置したルータを用いて行っている。

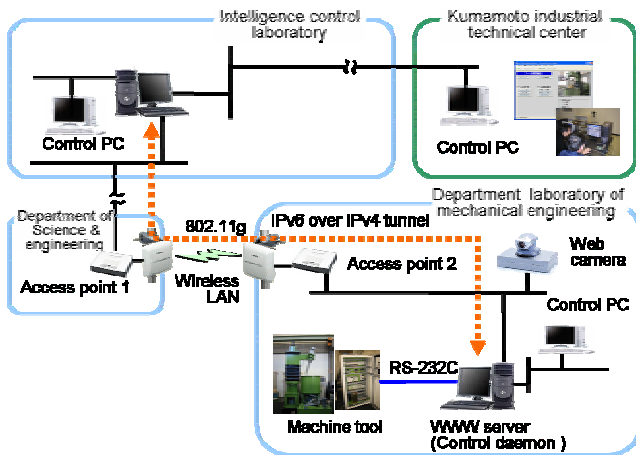


Fig. 5 IPv6 network composition

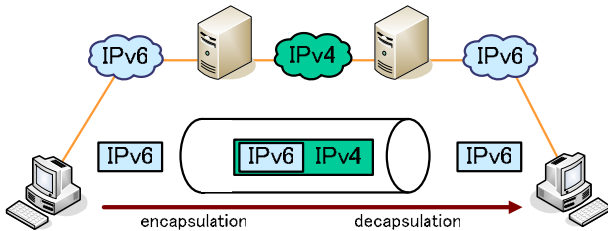


Fig. 6 IPv6 over IPv4 tunneling

#### 4. 遠隔制御・監視システムの構成

本システムでは、遠隔からのパレル研磨装置の監視と操作の2つを行うことが可能である。

システムの構成図を Fig. 7 に示す。

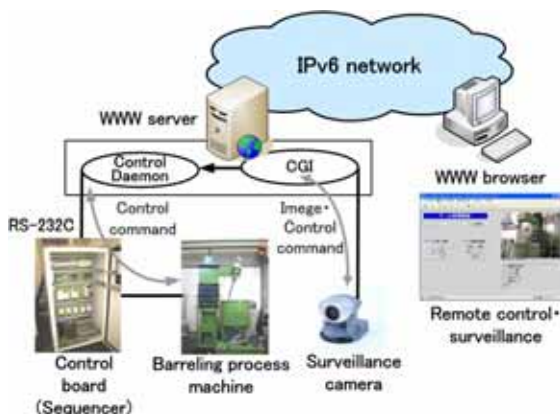


Fig. 7 System Architecture

システムの利用者は、IPv6 に対応した WWW ブラウザを用いて、遠隔制御・監視を行う。操作画面上にはネットワークカメラからの映像と、装置のパレル槽、ワーク軸、およびアームの操作を行うためのボタンを配置している (Fig. 8)。

#### 4.1. 遠隔制御部

WWW ブラウザ上に表示されたボタンにより操作を決定すると、WWW サーバ上の CGI は、機械制御用のデーモンに対して命令を送信する。デーモンは、リクエストに応じて制御装置を操作するための信号を RS-232C (シリアルポート) によって制御装置へ送信する。制御装置に信号を送信するために用いるシリアルポートは、その接続処理や終了処理に数秒の時間を要し、その間、他の制御命令を受け取ることができない。CGI は通常、一つの操作を終えて結果を出力すると終了するため、CGI が直接シリアルポートに通信を行った場合、頻繁に接続処理や終了処理が発生し、その間に他の制御を行うことができなくなる。このため高速な処理を行うことができない。そこで、この問題を回避するために、CGI と制御装置の間の仲介を行うデーモンプログラムを起動し、CGI が直接シリアルポートに通信を行わない構成とした。

この制御部によって制御可能な動作は、以下のようになっている。

- **パレル槽**  
正転・逆転 (高速・中速・低速)・停止
- **ワーク軸**  
正転・逆転 (高速・中速・低速)・停止
- **アーム軸**  
上昇・下降・停止  
正転・逆転・停止

これらの動作を、WWW ブラウザ上のボタンによって指定することで制御を行う。



Fig. 8 WWW browser for remote control

#### 4.2. 監視部

本システムでは、装置の状況を監視するために、市販のネットワークカメラを利用した。このネットワークカメラは、カメラサーバ機能を持ち、インターネット上から WWW ブラウザを用いて、カメラの制御および映像の取得を行うことができる。ただし、このネットワークカメラは IPv4 のみの対応であるので、IPv6 で中継を行う CGI プログラムを作成した。また映像の表示は、Java アプレットを作成し、それを用いて行った。

表示される映像の位置は予め設定されており、その中から表示させたい位置を選択することによって、工作機械の映像を確認することが可能である。

## 5. 評価実験

IPv6 のネットワークから実用的に遠隔制御および監視が可能なことを確認するために、遠隔地である熊本県工業技術センターから、IPv6 ネットワークを用いて実際に遠隔操作を行った。その際の様子を Fig. 9 に示す。



Fig. 9 Evaluation experiment of remote control

右下の WWW カメラ(b) から送られた工作機械の映像を、WWW ブラウザ上のインタフェースで監視しながら、左上の熊本工業技術センター(a) から操作している。

熊本工業技術センターから、遠隔で一連の歯車の加工操作を行ってもらったが、システムは正常に動作した。

しかしながら、システムは正常に動作したものの、実用化する上でいくつかの問題点が明確化した。これらの問題点に関する考察は、次章において述べる。

## 6. 考察

評価実験によって、実際に IPv6 ネットワーク上から遠隔より操作・監視が可能であり、システムも正常に動作することが検証できたが、実用化する上での問題点が明確化した。

まず問題点の一つは、遠隔操作の際に発生する遅延による影響である。本工作機械は GOT (Graphic operation terminal) と呼ばれるソフトウェアを経由して制御を行っているが、この制御において、0.3 秒～0.5 秒程度の遅延があらかじめ生じていた。しかし、工作機械を直接制御する場合には、この遅延はあまり問題にはならなかった。しかしながら、IPv6 を用い WWW ブラウザ上から制御した場合には、WWW ブラウザ上の制御ボタンを押してから実際に動作が開始するまでに 0.5 秒～0.8 秒程度の遅延が生じていることが確認できた。またネットワークカメラの映像を見ながら、WWW ブラウザ上のボタンを、マウスを使って操作するため、この操作に要する時間も影響し、思い通りに制御できない場合があった。このような問題は、工作機械を数値的に制御することによって解決すると考えられる。本工作機械は、ワーク軸の位置やアーム軸の回転速度を、数値的に制御することが可能である。この数値的な制御に関するインタフェースを本システムに実装することにより、目測によって工作機械を制御することがなくなるため、遅延の影響が軽減されるものと考えられる。また数値的に制御することによって、操作過程を記録に残し、後に実際に行った操作を、現実的にまたは仮想的に再現するといったことも容易に可能になると考えられる。

また、遠隔操作において工作機械の動作音がとても重要な

要素であることがわかった。一般に工作機械を操作する上で、機械の動作音は意識的に聞いていない場合でも、操作を行う上での判断に、重要な影響を及ぼしている場合がある。よって遠隔操作を行う際に、動作音を遠隔地に伝えることにより、より臨場感のある操作が行えるだけでなく、工作機械の動作異常などが、動作音によっても判断可能になると考えられる。また、遠隔地からの音声も伝えることにより、工作作業に関する指示も行うことが可能となるため、双方向の音声通信機能を追加することで、より統合的なシステムの構築が可能になると考えられる。

その他にも、現在はカメラを一方向から映し、その映像をもとに遠隔操作を行っているため、角度によっては操作しづらいといった問題があった。よってカメラを複数台設置し、様々な角度からの映像を切り替え表示したり、複数の映像から立体映像を作成し提示したり、といったインタフェースの改良を行う必要もあると考えられる。

## 7. まとめ

ユビキタス社会を実現するための手段として、次世代のインターネットプロトコルである IPv6 が注目されている。この IPv6 は現在のインターネットの問題を解決し、またインターネットに新たな機能を実現するために提案されたインターネットプロトコルである。具体的には、IPv6 は、そのアドレス空間の広さにより、様々な情報機器をネットワークに接続可能であり、その接続された機器からの情報を統合的に扱うことが可能である。また Plug & Play 機能によって、ネットワークの設定を意識する必要も必要なく、セキュリティに関しても標準的にサポートされる。

このような IPv6 を用いたユビキタス社会の実現を目標として、本学において設計・製作した歯車歯面改質装置 (パレル研磨装置) を、WWW ブラウザ上から IPv6 を用いて制御・監視が可能なシステムの開発を行った。このシステムを使用することにより、遠隔地からの工作機械の操作や加工工程の監視が可能になる。今後は考察で述べた問題点に対応するとともに、機能向上に向けた研究を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究に際してご協力頂いた佐賀大学機械システム工学科の濱崎崇則君、知能情報システム学科の中山友宏君、及び評価実験に際してご協力頂いた熊本工業技術センターの皆様にご心より感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 大谷 誠, 近藤 弘樹, 渡辺 健次, 真鍋 憲市, 穂屋下 茂, 古賀 広樹, 角 和博, 池上 康之(佐賀大学): “IPv6 を用いた工作機械遠隔制御・監視システムの開発”, 第 57 回電気関係学会九州支部連合大会, (2004.9).
- [2] 穂屋下 茂, 大谷 誠, 近藤 弘樹, 渡辺 健次, 真鍋 憲市, 古賀 広樹, 林 憲二, 角 和博, 池上 康之: “IPv6 を用いた工作機械の遠隔操作に関する研究”, 日本機械学会 (山口地方講演会), (2004.11)