

IPv6(次世代インターネットプロトコル)に関する佐賀大学での取り組み

学術情報処理センター
大谷 誠

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ました。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を指しています。

たとえば、家庭でビデオやエアコン、冷蔵庫などといった情報家電をネットワークに接続して、それらの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ります。また、大学の実験室などにおいては、工作機械やセンサなどに通信機能を持たせることにより、外部の他の工作機械やセンサ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も簡単になります。

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 が現在、注目されています。

今回は、この IPv6 の紹介をさせて頂くとともに、IPv6 に関する佐賀大学での取り組みについて紹介いたします。

2. IPv6 とは

IPv6 とは、簡単にいえば、“インターネットの世界で、データをやり取りするために必要な約束事(プロトコル)の第 6 番目のバージョン”といったところです。現在、一般的に利用されているインターネットは、“IPv4”と呼ばれています。

この IPv4 は、30 年以上前に設計されたものですが、その設計理念が優れていたために、

現在も基本的部分はほとんど変更なく使用されています。しかしながら、急速なインターネットの普及によって、近年発生し始めたいくつかの問題に対応できなくなってきています。

この問題点を解決し、またインターネットに新たな機能を付加するために提案されたのが、IPv6 です。以下では、この IPv6 の特徴について簡単に説明致します。

2.1. 膨大なアドレス数

IPv6 の最大の特徴は、膨大なアドレス数を扱えるということです。

現在のインターネットのプロトコルである IPv4 は、設計された当時に、これほどまでインターネットが普及するであろうとは考えられていませんでした。

IPv4 ではインターネット上で、PCなどの情報機器を識別するために IP アドレスと呼ばれる値を使用しています。IPv4 では、このアドレス数の上限を 2^{32} 個(約 42 億個)としました。設計された当時はこのアドレス数で十分でしたが、近年、インターネットが急速に普及し、ADSL・CATV・光ケーブルなどによって、一般家庭の PC などがインターネットに常時接続されることは当たり前となっていました。また現在は、携帯電話などもインターネットに接続するようになってきています。

このように、世界人口よりも少ないこの IP アドレスは、足りなくなってきているのです。

そこで IPv6 では、そのアドレス数を 2^{128} 個(約 340 潤個)と拡大しました。約 340 潤個というのは、世界人口を約 60 億人とすると、

一人あたり 5.7×10^{28} 個となります。このような膨大なアドレスがあれば、あらゆるものをインターネットに接続しようとしても、足らなくなることはありません。

2.2. 様々なものをインターネットに

上にも述べたように、IPv6 はそのアドレス数の多さから、様々なものに IP アドレスを割り当て、インターネットに接続することが容易となります。これによって、今までとは違った新たなサービスを提供することが可能となります。

たとえば、エアコンや・テレビなどをインターネットに接続し、それを携帯電話などから制御するといった使い方も実用化されつつあります。

また、自動車の速度や位置情報を集めて渋滞情報を表示するといったことや、ワイパーの動作状態から、気象情報を取得するなどといったことも容易に実現できます。このようなことは、IPv6 によって実現されることのほんの一部です。

2.3. End-to-End の通信

現在のインターネットプロトコルである IPv4 では、インターネットにつながっている通信機器に必ずしも特定の IP アドレスが割り当てられているわけではありません。たとえば、ADSL 回線などに用いられる PPPoE 接続では、この接続を行っているときにだけ、IP アドレスが割り当てられ、この接続を切断すると、他のユーザのためにアドレスが解放される場合があります。このため IPv4 では、IP アドレスによって同じ通信機器を特定するのは困難です。

また、IPv4 ではプライベートアドレスというものも使用されています。このプライベートアドレスは、研究室や学部内のみといったように、ある組織内でのみ使用できるアドレスのことです。

プライベートアドレスが割り振られた通信機器には、外部の組織から直接アクセスす

ることが困難です。このようなプライベートアドレスは、通信機器を遠隔から制御するといった場合に大きな障害となります。

IPv6 ではこのようなプライベートアドレスの概念を廃止し、End-to-End の通信を容易に実現することが可能となっています。

このように、IPv6 は IPv4 にはない様々な特徴を持っています。上記に述べたもの意外にも、動画や音声を円滑に扱う仕組みや、効率良く通信が行うことを可能にするアドレス形態の採用、ネットワーク設定の自動化など、セキュリティなど様々な機能が盛り込まれています。

3. 佐賀大学での取り組み

佐賀大学では、1997 年よりこの IPv6 の研究に取り組み、IPv6 の有効性や相互通信性の検証などを行うとともに、佐賀地域の IPv6 のネットワーク構築や、高画質映像による遠隔講義実験等を行ってきました。

現在は、これらの研究内容をもとに、“IPv6 を用いた装置の遠隔操作とその教育実践”として、学内において、主に以下の二つの研究を行っています。

- 工業系高等学校における IPv6 を用いたユビキタス社会実験研究
- 歯車歯面改質装置の遠隔操作に関する研究

以下では、この二つの研究に関する紹介いたします。

3.1. 工業系高等学校における IPv6 を用いたユビキタス社会実験研究

現在、「ものづくり教育」というキーワードが工業高等学校教育の中で新しい流れとなっています。これにともなって、工業高校も時代に沿った教育内容を取り込むため、カリキュラムの編成が行われ始めています。

たとえば、なるべく高校生が興味を持ちやすくなるような教材の設定、実験、実習を増やす手立

て、基礎・基本の重視など、さまざまな方法で授業内容の改善が行われています。高校生が自ら発案し、資料を集め、部品を調達し、グループの場合は連携して作業を行い、また失敗を糧にしなが、ひとつの「もの」作っていくといったような、高校生のプロジェクト的取り組みを支援する授業への転換が始まっているのです。

工業高校では、ロボット対戦やロボットコンテストなど、電気、電子、機械関連の学科で広く、教材としてロボットが取り入れられています。よって IPv6 を使って、ロボットなどを遠隔操作し、対決することなどを学習内容に設定することによって、高校生にとって取り組みやすいテーマになると考えられます。

このような背景から、佐賀県内工業高等学校7校（有田工業高校・多久高校・佐賀工業高校・鳥栖工業高校・塩田工業高校・唐津工業高校・北陵高校）と佐賀大学が高大連携として取り組んでいます。日本の将来を担う高校生へ、次世代インターネットプロトコル IPv6 を実際に使用・学習する環境を提供し、ユビキタス・ネットワークとユビキタス・コンピューティングに取り組んでもらうことが、この研究の目的です[1][2]。

3.1.1. IPv6 ネットワークの構築

研究開始当時、各工業系高校は、すべて IPv4 のネットワークを利用できる環境がありましたが、IPv6 は利用できない環境にありませんでした。また IPv4 においても一部の組織においては、プライベートのアドレスによって構成されていたため、各組織間で End-to-End に通信を行える環境にもありませんでした。

そこで、各工業系高校に IPv6 のネットワーク環境を提供し、また IPv4 における End-to-End 通信の環境を整備するために、VPN 接続を行い、LAN to LAN 接続を行うことにしました(図 1)。

3.1.2. 研究概要

先ほども述べましたが、高校生が IPv6 を用いて、ユビキタス・ネットワークとユビキタス・コンピューティングに取り組み、学習

する環境を提供することが本研究の目的です。具体的なターゲットの一つには、ユビキタス性がわかりやすく高校生にとっても取り組みやすいと考えられる、ロボットの遠隔操作を選びました。もう一つには、総合的な情報家電模型の操作として、実際に家の模型の作成を行い、それを操作・監視することを選びました。これは、家をキーワードにすることにより、身近に発想することができ、また、高校生の柔軟な頭脳により既成の枠にとられない発想が出てくると考えたからです。

これらロボットや家の模型に関して、以下のテーマの実現を目標し研究を進めています。

- IPv6 についての基礎知識の学習を行う
- ロボットを、IPv6 ネットワークを介して遠隔操作する
- ロボット操作は歩行制御に加えて、多様な操作を実現する
- ネットワークを介して操作者にロボット映像を提示する
- 遠隔映像提示は、ロボット像に加えてロボット目線カメラ映像の提示を実現する
- 家の模型を作成し、その中に多様な情報家電模型を含む
- 家の部分の映像伝送を含む
- IPv6 ネットワークを介して監視および操作可能である

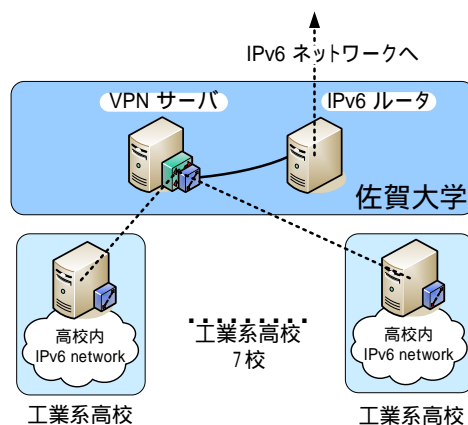


図 1 : IPv6 ネットワーク構成図

図 2はロボットの遠隔操作する際の構成例を示しています。高校生は、ロボットを操作する回路等(図 3)を作成し、IPv6 ネットワークに接続します。これを遠隔地より PC 上の WWW ブラウザを利用して、ロボットや自作装置の遠隔操作を行います(図 4)。

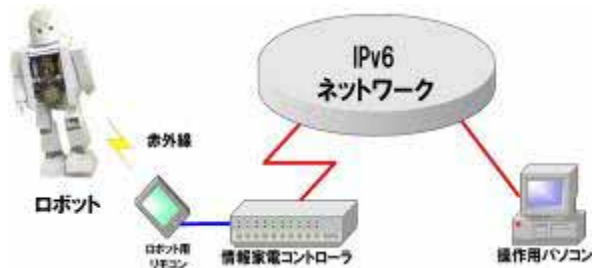


図 2 : ロボットの遠隔操作 構成例



図 3 : ロボット制御用回路

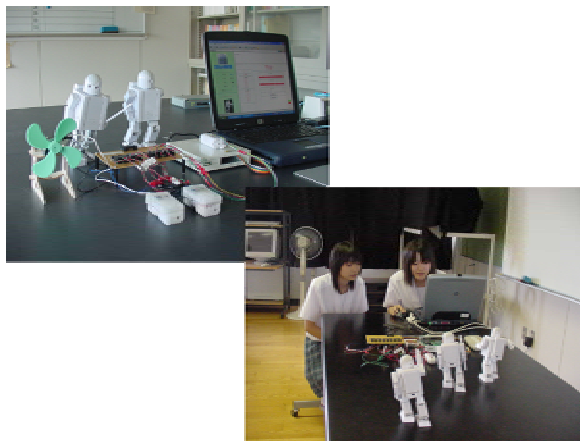


図 4 : 遠隔操作の様子

図 5は、家電の遠隔操作の模型となります。高校生はこのような家の模型を授業などの

一環として作成します。この模型に対してたとえば図 6のような家電を操作する回路を作製し、組み込みます。この模型もロボットを操作する場合と同様に、WWW ブラウザ等を用いて操作します。



図 5 : 家電遠隔操作模型の作製



図 6 : 家電の遠隔操作回路

高校生はこのロボットや家模型の作製・操作に関して、授業やクラブ活動等で取り組むことになります。回路等の作製等には、高校生に主体となって取り組んでもらいますが、作製時のサポートや IPv6 ネットワークに関する疑問点に対しては、佐賀大学がサポートします。このようなコミュニケーションは、佐賀大学で作製したグループウェアや、メーリングリスト、ビデオ会議ツールを用いて、定期的に行っています。

3.2. 歯車波面改質装置の遠隔操作に関する研究

最初にも述べたように、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ました。しかし、IPv6 を用いてこのようなユビキタス環境を、実際の制御という形で実装することは、自明なことではありません。

そこで、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と考えられます。

そこで 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ています。

このシステムは、機械システム工学科において設計・製作した工作機械（パレル研磨装置）を、WWW ブラウザ上から IPv6 を用いて制御・監視が可能なものです。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ります[3][4]。

3.2.1. 工作機械(パレル研磨装置)の概要

IPv6 を用いた工作機械の遠隔操作の実験に、機械システム工学科で設計・製作した工作機械（パレル研磨装置）を用いています。この装置は、歯車などの機械要素を鏡面に仕上げることを目的に開発されたものです(図 7)。

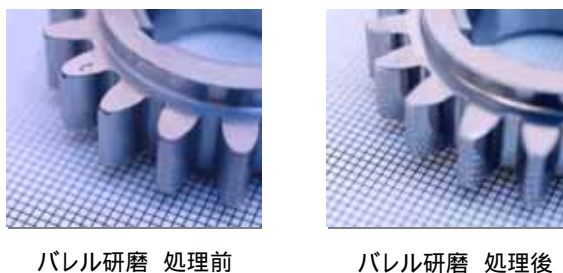


図 7 : パレル研磨の結果

この装置の概観を図 8 に示します。

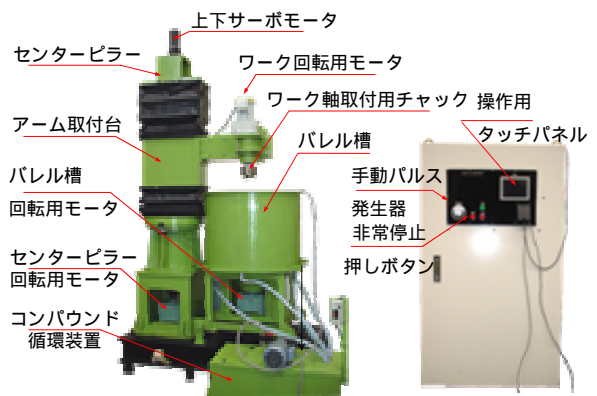


図 8 : パレル研磨装置の概観

3.2.2. 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図 9 に示します

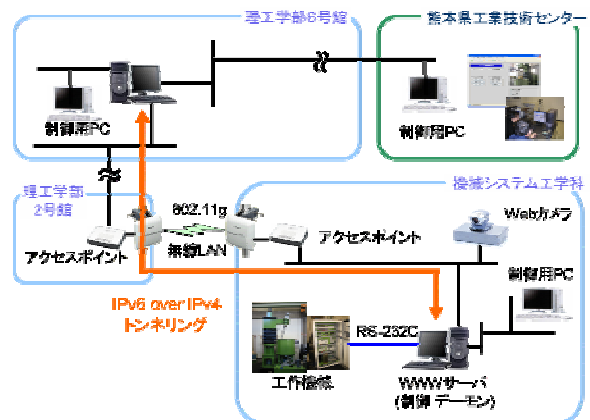


図 9 : ネットワーク構成図

学内の既存ネットワーク(IPv4)を利用して、実験棟を IPv6 ネットワークに接続しました。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により結ぶことによって、実験棟の IPv6 ネットワークへの接続を実現しました。

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”と呼ぶのですが、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な

ります。この際に、パケットのカプセル化/カプセル解除といった作業が必要となりますが、それを上記の設置したルータを用いて行っています。

3.2.3. 遠隔制御・監視システムの構成

本システムでは、遠隔からのバレル研磨装置の監視と操作の 2 つを行うことが可能です。システムの構成図を、図 10 に示します。

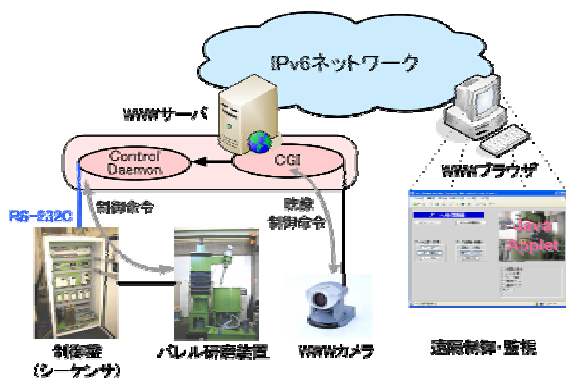


図 10：システムの構成図

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・監視を行います。操作画面にはネットワークカメラからの映像と、装置のバレル槽、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ます。

3.2.3.1. 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します。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-232(シリアルポート)によって制御装置へ送信します。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通常、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ません。

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、頻り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ってしまいます。これでは、高速な処理を行うことができません。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ています。

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ます。

- バレル槽
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ことが可能です(図 11)。



図 11：操作インターフェース

3.2.3.2. 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ています。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ます。ただし、このネットワークカメラは IPv4 のみの対応のため、IPv6 で中継を行う CGI プログラムを作成していません。また映像の表示は、Java アプレットを作成

し、それを用いて行っています。

表示される映像の位置は予め設定されていて、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となっています。

3.2.4. 遠隔制御実験

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のご協力の下、IPv6 ネットワークを用いて実際に遠隔操作を行いました。その際の様子を図 12 に示します。



図 12 : 遠隔制御実験

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)から遠隔操作してもらいました。

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いましたが、システムは実用的に、かつ正常に動作しました。

4. まとめ

今回は、この IPv6 の紹介をさせて頂くとともに、IPv6 に関する佐賀大学での取り組みについて紹介いたしました。このほかにも、佐賀大学では、いろいろな IPv6 を使った研究に取り組んでいます。

この IPv6 は次世代のインターネットの技

術ですが、近年登場した OS では比較的簡単に利用することが可能です。具体的な利用の仕方については、学術情報処理センター広報の第 2 号にも載せていますので、これを参考に、ぜひ皆さんもこの IPv6 にふれてみてください。

本稿が、次世代のインターネットプロトコルである IPv6 の理解に、少しでもお役に立てれば幸いです。

参考文献

- [1] Yusuke Takamori, Kouta Tsukamoto, Takatoshi Nakamura, Shigenori Yamada, Toshihide Yamashita, Takafumi Suetsugu, Toshihiko Ogata, Masaaki Mizoguchi, Ryuichiro Nishimura, Makoto Otani, Hiroyuki Egashira, Hisaharu Tanaka, Kenzi Watanabe and Hiroki Kondo: "A tele-control project over IPv6 in technical high schools", Proceedings of 2004 International Symposium on Applications and the Internet Workshops, the IEEE Computer Society, pp.128-130 (2004.1).
- [2] 中村隆敏, 山田成仙, 山下利秀, 末次孝文, 緒方俊彦, 溝口正昭, 西村龍一郎, 江頭広幸, 大谷誠, 田中久治, 渡辺健次, 近藤弘樹: "工業系高校での IPv6 を用いた教育実践 ~ ユビキタス社会への人材育成 ~", 日本教育工学会 第 20 回全国大会講演論文集, 225 - 228 (2004.9).
- [3] 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).
- [4] 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)