

# 研究計画書

## All-IP Computer 実現に向けたデバイス相互接続基盤の研究

慶應義塾大学 環境情報学部

自署：\_\_\_\_\_

学籍番号 70475230

希望プログラム名： CI

平成 19 年 10 月 17 日

### 概要

ネットワークが高速化する中、計算機の構成部品をネットワーク経由で利用する手法が研究されている。このようにネットワーク上に分散配置された計算機の構成部品を動的に接続するためには、構成部品の規格の差異を OS が吸収し、各構成部品を統合して扱う機構が必要である。本研究では、そのような構成部品の統合した利用を実現する。その結果、ユーザが求める計算機環境に合わせた必要な構成部品の接続・切断を可能とする。

### 1 はじめに

近年、企業・大学・家庭など様々な場面で、計算機ネットワークを用いた多様な情報処理が行われている。ユーザの持つ計算機環境は様々であり、また、その計算機で扱われる情報も多様である。

このように、計算機は多種多様な用途に用いられている。今日では計算機の中でも、ノート型計算機や携帯電話など、携帯可能な計算機の普及がめざましい。この背景には、移動中や外出先などデスクトップ型計算機のない場所でも、ユーザが計算機とその中のデータを利用することが一般化している点が挙げられる。

しかし、携帯可能な計算機を用いても、ユーザが計算機環境や計算機に保存されたデータを自由に持ち運べる状態になっているとは言い難い。現在の計算機アーキテクチャでは、周辺機器と計算機は直接接続されている。そして、ユーザの持つデータやそれを記憶する計算機の構成部品も、同様に計算機に直接接続されている。つまり、現在の計算機アーキテクチャにおいて計算機・構成部品・データはすべて 1 つの「箱」として構成されている。

現在の計算機は、大別して 2 つのネットワークを持っている。1 つは、計算機という「箱」同士の情報交換に用いられる IP ネットワークである。そしてもう 1 つは、計算機という「箱」内外のデバイス同士を接続する機構である。計算機は個々の機能を持つデバイスの集合体であり、それは 1 つの「ネットワーク」として構成されている。

近年、計算機の持つ「ネットワーク」の高速化がめざましい。計算機内におけるデバイス間ネットワークでは、PCI Express や USB 3.0 といっ

た、従来よりも高速な規格が開発されつつある。また、通信網である IP ネットワークにおいても、10G Ethernet やそれを越える 40G Ethernet などの超高速ネットワークの研究開発が進んでいる。

「箱」内外のネットワークが高速化している今日、両ネットワークを、1 つの統合された「ネットワーク」として扱うことが可能となりつつある。例えば、iSCSI という規格では、従来から存在する SCSI デバイスの処理命令を、IP ネットワークを介して行っている。IP ネットワークを利用してデバイスを接続することにより、計算機の「箱」内外のネットワークを分断する物理的な壁が取り除かれる。

ユーザの計算機利用の目的は様々であり、目的に合わせた計算機の構成部品を接続・切断を動的に実現する。このような計算機が実現した時、ユーザの計算機利用の自由度を向上させることが可能となる。本研究において、ネットワーク上に存在するデバイスを統合的手法によって利用できる機構を実現する。その結果、ユーザの利用する計算機資源はある 1 箇所固定されたものではなく、IP ネットワーク上から自由に利用することが可能となる。

### 2 計算機アーキテクチャ

デバイスを IP ネットワークで接続した計算機は、現在の計算機アーキテクチャと異なる構成で成立する。本章では、現在の計算機アーキテクチャと、ネットワークを用いた新しい計算機アーキテクチャを比較する。

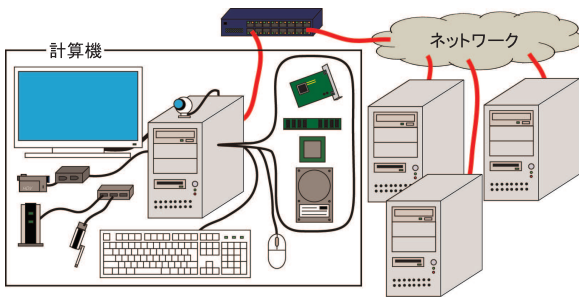


図 1: 現在の計算機アーキテクチャ

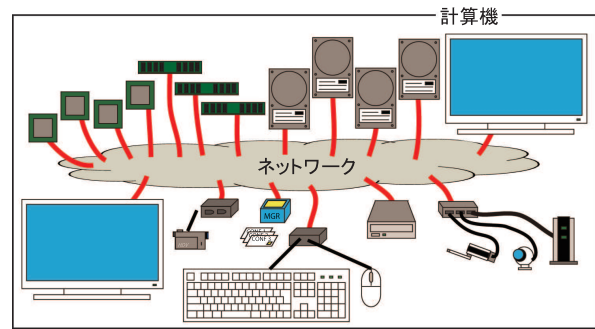


図 2: All-IP Computer アーキテクチャ

## 2.1 現在の計算機アーキテクチャ

現在の計算機アーキテクチャを図 1 に示す。計算機 1 台は様々な「デバイス」で構成されている。本研究におけるデバイスとは、中央演算装置・記憶装置・入出力装置など、計算機を構成する部品のことである。デバイスはそれぞれの役割を持って、ユーザが計算機に求める機能を提供している。

現在の計算機アーキテクチャにおいて、計算機は 2 つの「ネットワーク」を持っている。1 つ目は、通信網としての IP ネットワークである。ユーザの扱う情報は、この IP ネットワーク上で送受信されている。2 つ目は、計算機の持つデバイス同士を接続している専用の伝送路である。

また、現在の計算機アーキテクチャでは、IP ネットワーク上で送受信されるデータはユーザが利用する Web・メール・コミュニケーションなどのサービスに関する情報が大部分を占める。

このように、現在の計算機アーキテクチャにおける IP ネットワークとは、計算機の集合である。一方で、デバイス間の処理はそれぞれの計算機内で完結しており、ユーザのサービス利用に用いられる IP ネットワークには影響しない。2 つのネットワークは独立しており、互いに影響を与えない。

## 2.2 All-IP Computer アーキテクチャ

本研究で実現する新しい計算機アーキテクチャを図 2 に示す。現在の計算機アーキテクチャにおける計算機とは計算機の構成要素であるデバイスを物理的に集約したものである。また、IP ネットワークとは計算機という「箱」の集合である。バスを IP ネットワークで置き換え、デバイスの制御に IP ネットワークを利用する。

本アーキテクチャにおいては、デバイスのネットワークであるバスの情報も、ユーザの取り扱う情報も、すべて同一の IP ネットワーク上で送受信

される。このような計算機を、本研究では「All-IP Computer」と呼ぶ。

現在の計算機アーキテクチャに利用されているデバイスは専用のバスに接続され相互にデータの交換を行うことを前提として設計されている。バスは IP ネットワークで発生するような遅延や情報損失を想定して設計されていない。したがって、デバイスが IP ネットワークに接続される All-IP Computer では、低遅延、広帯域な超高速ネットワークと、そのような IP ネットワークの影響を吸収する新しいデバイス間通信の機構が必要である。

超高速ネットワークの例として、10G Ethernet が挙げられる。近年では、この 10G Ethernet を越える高速なネットワークも登場しつつある。All-IP Computer は、このような超高速ネットワークと本研究にて実現するデバイス共有機構に基づいて実現できる、新しい計算機である。

## 3 既存技術

「ネットワークにデバイスを接続する」試みは、いくつかの製品、プロジェクトによっても研究されている。

### 3.1 iSCSI

Internet Small Computer System Interface (iSCSI) [1] は、SCSI デバイスをネットワーク経由で接続することを可能とする規格である。iSCSI は、インターネット技術の標準規格を策定している Internet Engineering Task Force (IETF) によって規格化されている。

## 3.2 USB/IP

USB/IP [2] [3] は、USB 機器のネットワーク経由での利用を可能とする Linux デバイスドライバである。USB/IP を利用すれば、多種の USB デバイスをネットワーク経由で扱うことができる。OS から利用する場合も、USB 機器をその計算機に接続しているかのように扱うことが可能である。

## 4 統合的手法によるデバイスの連結

第3章で述べた通り、デバイスを IP ネットワーク上で共有する手法の開発が進んでいる。この手法を応用することにより、ネットワーク上に存在するデバイスを任意に連結し、必要な構成の計算機を動的に構築することができる。

様々なデバイスがネットワークで接続される All-IP Computer の実現には、デバイスの接続規格を統合して扱う技術が必要である。その技術の実現を、本研究の目標とする。

### 4.1 デバイスの差異を吸収する機構

異なる接続規格に基いたデバイスを統合して扱う仕組みは、現在の OS でも一部の種類のデバイスにおいては実現されている。そのような仕組みを「サブシステム」と呼ぶ。サブシステムとは1つの機能の集合体であり、OS は各機能を実現するサブシステムの集合である。

デバイスをネットワークを用いて共有する手法は、各バスの規格を個別にネットワークに接続することを目的として開発されている。そして、それらの手法ではそれぞれ独自の手法を用いてデバイスの IP ネットワークへの接続を実現している。

接続規格の違いを吸収することは OS の機能である。例えば、USB/IP によってネットワーク共有されたデバイスを、OS は USB 規格に基くデバイスであるかのように抽象化する。同様に、USB プリントサーバによってネットワーク共有された印刷機も、USB 規格に基いて接続されたデバイスであるかのように抽象化する。

異なる規格のデバイスを利用するためには、そのデバイスに対して OS が対応する必要がある。OS の改変なくネットワーク上のデバイスを扱うことが可能であれば、デバイスのネットワーク共有がより実現しやすいものとなる。

より多くのデバイスがネットワーク上で利用されるようになると、異なる手法や規格に基くデバ

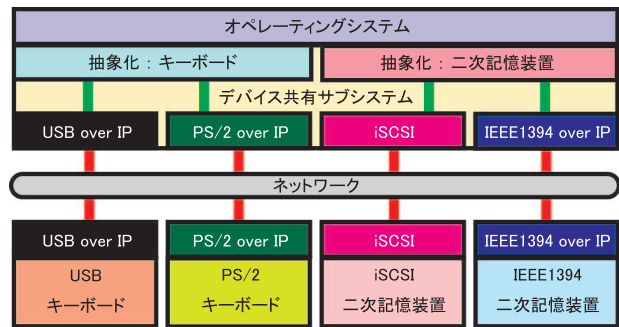


図 3: デバイス共有サブシステム

イスの接続が増加すると考えられる。規格の違いを吸収し、統一された利用手法を提供する手法が、All-IP Computer の実現には必要である。

### 4.2 デバイス共有サブシステム

本研究では、様々な規格のデバイスがネットワークに接続された際、デバイスを統合して扱う手法を開発する。その手法を、図3に示す。このようなネットワーク上のデバイスを扱うシステムを、本研究では「デバイス共有サブシステム」と呼ぶ。

本研究で実現するデバイス共有サブシステムは、デバイスドライバの動作をネットワーク経由で行うことを支援するものである。デバイスドライバとは計算機に接続されたデバイスを OS が制御できるようにする特殊なソフトウェアである。

まず、デバイスが計算機に接続された際、デバイスに対応するデバイスドライバを OS は読み込む。接続されたデバイスは、ソフトウェアが扱える形で抽象化される。デバイスドライバの持つ情報に従い、ソフトウェアは抽象化されたデバイスの操作を行う。操作には、デバイスの利用開始、操作、利用終了などがある。

既存のデバイスドライバの処理では、IP ネットワークに接続されたデバイスの利用を実現することができない。現在のデバイスドライバは計算機とデバイスが接続されたことを検知し、動作している。ネットワークを介したデバイスの利用には、デバイスドライバをネットワーク接続に対応させる機構が必要である。

## 5 デバイス共有サブシステムの動作

デバイス共有サブシステムには、現在の計算機アーキテクチャにおけるデバイス管理機構と同等

の機能が要求される。その機能を以下に示す。

1. デバイスの初期化
2. ネットワークの隠蔽
3. 機器間データフロー制御
4. デバイスの切断

デバイス共有サブシステムを用いたデバイスの利用手法を以下に述べる。

## 5.1 デバイスの初期化

現在の計算機アーキテクチャにおいて、ケーブルの接続などによりデバイスは接続され、デバイスと計算機の間に電気信号が発生する。この電気信号の検知により、デバイス利用のための初期化が計算機内で行われる。

All-IP Computer では、デバイスと計算機の間に物理的な接続は行われない。したがって、物理的な接続に代わるデバイス検知手法が必要である。

本研究では、ネットワーク上に接続されたデバイスを管理するサーバの存在を、IP ネットワーク上に想定する。デバイスは起動した際、デバイスの種類や接続規格、自らのネットワーク上の識別子などの情報をサーバに登録する。このため、本研究では All-IP Computer としての OS の他に、デバイスが IP ネットワーク上でデータを送受信するための小規模 OS が必要である。

All-IP Computer はデバイス管理サーバへデバイス要求を送信し、サーバはデバイスに対して、All-IP Computer より要求された接続を通知する。デバイスはその要求に対して、All-IP Computer への応答を行う。このとき、既に別の All-IP Computer によってデバイスが利用されている場合、読み取りのみの利用や、利用すること自体が出来ない場合もある。デバイスが利用可能である場合は、デバイスへの接続確立をデバイス共有サブシステムで検知し、接続初期化を行う。

## 5.2 ネットワークの隠蔽

IP ネットワークを介して接続されているデバイスをソフトウェアが利用できるようにするため、サブシステムはデバイスを仮想的に接続する。仮想デバイスの接続により、ソフトウェアに対して IP ネットワーク上のデバイスが計算機に、実際に接続されたものと見せかける。

ネットワークを介して利用されるデバイスは、計算機に直接デバイスを接続されている場合と同様に扱える必要がある。デバイスがネットワークを介して接続されていることを隠蔽することにより、現在の OS の持つデバイスドライバを用いたネットワーク上のデバイスの利用が可能となる。

## 5.3 機器間データフロー制御

現在、デバイスは専用のバスを用いて通信している。バスはデバイス専用の回路であるため、バス上での遅延や情報損失はデバイスの規定値以下に制御されている。しかし、IP ネットワーク上ではデバイスの処理情報以外の様々な情報が送受信されているため、遅延や情報損失がデバイスの想定値を越える可能性がある。

デバイスの情報送受信にあたり、送信した情報に対応した応答受信の成否など、状態の管理が必要である。デバイスへの要求が送信され、それに対応した応答が受信されていない場合、OS はデバイスの利用を一時中断する必要がある。

このような場合、デバイスの種類や中断時間に応じた処理を行う必要がある。デバイスによっては、データをバッファリングしておくことで短時間の中断には対応できる可能性がある。一方、遅延の影響を大きく受けるデバイスでは、僅かな中断であっても許容されない可能性もある。このような違いを吸収し、統一して扱うことも、本サブシステムの役割である。

## 5.4 デバイスの切断

デバイスの利用を終了する場合、仮想通信路を切断することによって、All-IP Computer ではデバイスとの接続を切断できる。しかし、IP ネットワークによって接続されたデバイスの切断を行う際にはいくつかの問題が生じる。

デバイスの利用を終了する際には、規格で規定された正規の手順でデバイスとの接続を切断する必要がある。装置の利用途中にデバイスを切断すると、デバイスに対する要求を完了しないまま切断されてしまう可能性がある。

各デバイスとの接続を切断するにあたり、各デバイスに適切な利用終了処理が存在する。それらの処理は、デバイス毎に定義されている。各デバイスに応じた適切な処理を扱うことは本サブシステムの役割である。その詳細は本研究の中で考慮していく予定である。

## 6 利用シーン

All-IP Computer の実現により、ユーザは自由かつ動的に利用用途に応じた計算機環境を構築することが可能となる。また、デバイスが IP ネットワークに接続されることで、デバイスや計算機資源を複数ユーザで共有することも可能である。

例えば、複数ユーザが共同作業を行っていると仮定する。All-IP Computer 上で作成されている資料を、各ユーザが利用している画面に出力する。各ユーザの持つ入力機器によって同一の All-IP Computer を操作することで、共同作業が効率化される。

次に、計算シミュレーションなどユーザが豊富な計算機資源を必要とする状況を想定する。その際、All-IP Computer はネットワークを介してスーパーコンピュータの計算機資源を利用し、自身の計算能力を一時的に増強することができる。

さらに、映画観賞時にも All-IP Computer を利用することで観賞に適した計算機環境を利用できる。映画観賞に適した環境としてサラウンド音響システム、単純な入力デバイスとしてリモコンなどがある。これらの計算機環境を All-IP Computer は動的に選定しユーザに提供することができる。

それぞれの処理は、計算機の利用シーンとしては異なるものである。しかし、ここで利用されている計算機は常に同一の All-IP Computer であり、動的な拡張や構成によって、異なる計算機環境を構築している。自由かつ動的な計算機環境の構築を、All-IP Computer では可能とする。

## 7 研究手法

本研究では、Linux 上で実装・公開することを考えている。誰でも開発・利用が可能な OS である Linux は、一般的な計算機から小型端末まで幅広く利用されている。そのような OS 上に本研究を実装することで、本研究で開発する技術も幅広く利用されることが予想できる。

## 8 これまでの活動

私は学部 2 年次後期より、村井研究室に所属している。研究室では本研究の基礎となる仕組みや、既存技術について学んでいた。既存技術の解析のためにプログラムの作成や、USB/IP 標準化に向けて Internet Draft [4] の執筆も行った。

さらに、本研究の一部として、キーボードをネットワーク経由で利用する、Linux デバイスドライバの作成をした。デバイスドライバの作成を通して、デバイスのネットワークへの接続を実現と、今後の開発に役立つ知識を得ることができた。

## 9 志望理由

私が所属している村井研究室には、All-IP Computer を実現するためのプロジェクトが存在する。プロジェクトでは 10G Ethernet といった超高速ネットワーク回線や、それに対応した機器など、本研究に必要な設備を利用できる。また、本研究における指導員の方々も、本プロジェクトに参加している。私も研究室で実施されているプロジェクトに参加しており、今後も本研究を続行したいと考えている。

設備・人材の両者が揃った環境が、本研究の実現には必要である。このような環境を利用できることは本研究科ならではの利点であり、研究の実現に向けてその利点を有効に活用したいと考えている。以上の理由から、私は慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科への入学を強く希望する。

## 参考文献

- [1] J.Satran, K.Meth, C.Sapuntzakis, M.Chadalapaka, E.Zeidner, "Internet Small Computer Systems Interface (iSCSI)". Request for Comments 3720, Internet Engineering Task Force, April 2004.
- [2] T.Hirofuchi, E.Kawai, K.Fujikawa, H.Sunahara, "USB/IP - a Peripheral Bus Extension for Device Sharing over IP Network". In the Proceedings of the FREENIX Track: USENIX Annual Technical Conference, pp.47-60, April 2005.
- [3] T.Hirofuchi, E.Kawai, K.Fujikawa, H.Sunahara, "USB/IP: A Transparent Device Sharing Technology over IP Network". IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, Vol. 46, No. SIG11 (ACS11), pp. 349-361, August 2005.
- [4] K.Muda, Y.Nishida, K.Okada, H.Yoshifuji, R.Wakikawa, "Problem Statement of Internet Universal Serial Bus (iUSB)" (work in progress, draft-muda-iusb-ps-00). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2, 2007.