

省エネタイプ・ネットワークサーバ開発研究プロジェクト概要

総合情報処理センター長 吉岡良雄

slyoshi@si.hirosaki-u.ac.jp

1. まえがき

現在普及しているコンピュータの基本構造は、1946年に登場した EDVAC (Electric Discrete Variable Automatic Computer) と同じである。すなわち、処理装置と記憶装置が分離しており、一つのプログラムカウンタによって記憶装置に格納されているプログラム（プログラム内蔵方式）の1命令ずつを処理装置に取り込んで実行する逐次処理方式である。その後、種々のコンピュータ開発競争が行われ、発展してきた。そして、今日のように、インターネットの急速な展開によって、コンピュータ（パーソナルコンピュータ）の普及が相乗的に展開した。

以上のように、インターネットや携帯電話などを始めとして、情報通信技術 (IT: Information Technology) の急速な展開に伴い、国内の IT 関連産業の二酸化炭素排出量が 2002 年から 2010 年にかけて最大 3 倍余りに膨らむことが、2002 年 8 月に総務省の「IT が地球環境に与える影響調査」で明らかにされた。そして、「環境を配慮したインフラ整備と、省エネを促進する IT 機器の開発を検討する必要がある」としている。すなわち、インターネットでは 24 時間稼働を必要とするので、ネットワークサーバやネットワーク機器は、まったく利用されていなくても常に動作状態にしておく必要がある。また、このインターネットは家庭にまで入り込み、家庭内ネットワークを構築する方向に進む。このため、ネットワークサーバ（家庭内ネットワークのゲートウェイを含む）は利用されていない場合に供給電源を切るなどの機能を付加した省エネタイプのものを開発する必要があるということである。

弘前大学においても学内 LAN が整備され、電子メールによって会議通知や案内を行うこと、議事録や各種情報をホームページによって公開することなどインターネットの利用が急速に進んでいる。このため、これらをサポートするネットワークサーバやネットワーク機器の電力量が増加傾向にあることは確かである。このままの状態が続けば、今後電力量が増加することは明らかである。そこで、電力量を減少させても、現在の機能や信頼性を維持できるような省エネタイプのコンピュータシステムを導入することが必要になる。

本報告は、近い将来において、総合情報処理センターに研究部門を設置した場合、必要となる研究プロジェクトについて示す。まず、温故知新の立場から、省エネタイプ・ネットワークサーバを構築する上で、過去のコンピュータやインターネットの発展経緯について述べ、現段階で考えられる省エネタイプ・ネットワークサーバの構成方法や実現方法を述べる。

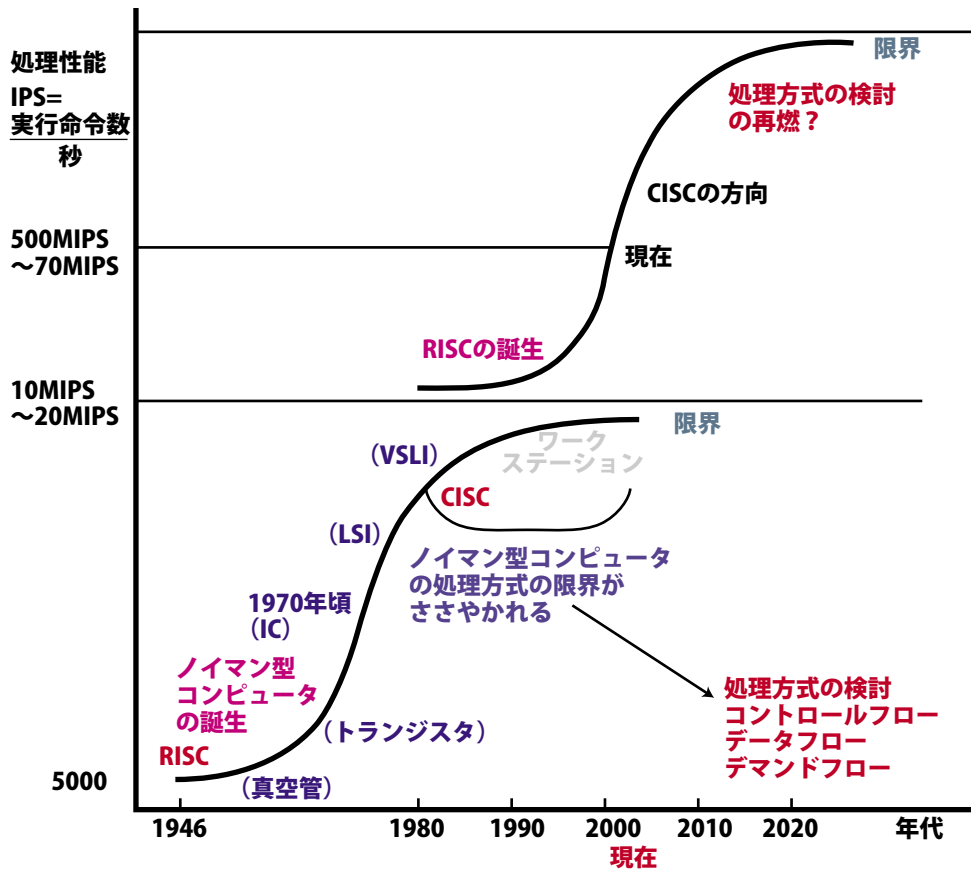


図1 コンピュータの発展経緯

2. ITの発展経緯

本章では、IT 発展となっている背景を述べ、省エネ・コンピュータの必要性を明らかにしよう。

2.1 コンピュータの発展過程

1946年にノイマン型コンピュータが登場して以来、コンピュータの性能の経緯は図1に示すようになるであろう。すなわち、1950年代から1990年代においては、その回路素子が1950年代の真空管（第1世代）、1960年代前半のトランジスタ（第2世代）、1960年代後半の集積回路IC（第3世代）、1970年代の大規模集積回路LSI（第4世代）、1980年代以降の超大規模集積回路VLSI（第4.5世代）と変遷し、現在に至っている。ソフトウェアにおいても、第1世代および第2世代では、科学技術計算を行うFORTRANやALGOLなどといったプログラミング言語の開発が中心であった。しかし、第3世代以降では、TSS (Time Sharing System) や汎用OS (Operating System) の開発が行われ、その下で種々のソフトウェアを実行する方式が定着した。なお、1980年から1992年において、通産省が中心となって次世代コンピュータプロジェクトICOTを作り、Prolog言語による人工知能用コンピュータの開発を試みたが、現状をみるとこの方向には進まなかったといえる。

コンピュータは、過去において性能を上げるため、多くの工夫が行われた。これらのいくつかは、パイプライン処理機構やメモリの階層化などである。すなわち、当初のコンピュータ構造に複雑な処理概念や機構を組み込み、その制御が非常に複雑なものになった。さらに性能を上げるため、パイプ長を長くしたり、高機能命令（高級言語指向）を取り入れたりして、複雑化する方向であった。いわゆる CISC (Complex Instruction Set Computer) である。この方向とは逆に、1990 年代にあまり利用されない複雑な命令を取り除き、命令実行を整理し、ハードウェアを単純化して高速化を実現した。これが RISC (Reduced Instruction Set Computer) 手法である（図 1 の RISC 手法によるブレイクスルー）[2]。この RISC 指向は現在においては当然のことであるが、CISC 指向の時期においては逆行の手法であった。この手法で成功した主な理由は、高集積化技術が確立していたことによる。現在、RISC 手法の面影は薄れ、パイプライン処理機構の導入など複雑化する方向（CISC の方向）に向かっている。

このように、ノイマン型コンピュータが今日のように普及した要因は、その構造が非常に単純であること、処理が逐次的で考え易いこと、汎用性が高いこと、などが上げられるであろう。

2.2 インターネットの発展過程

日本において、1993 年（平成 5 年）頃からインターネット（コンピュータネットワーク）が急速に発展してきたことはよく知られている。そもそもコンピュータネットワークは 1968 年にアメリカ国防省が大学に研究委託して、研究用 ARPA (Advantaged Research Project Agency) ネットワークを構築したことから始まっている。当時は冷戦時代であり、1 つの大型コンピュータに情報や機能が集中して置かれていた時代でもある。このため、そのコンピュータが攻撃され破壊された場合にアメリカ国内のすべてがマヒしてしまうという懸念があった。この解決策として、コンピュータを通信回線で接続し、情報の分散配置や機能分散を図って、一部のコンピュータが破壊されても全体として機能を維持することができることを狙った。

筆者は、1975 年からコンピュータネットワークの構築法に関する研究に携わってきた。当初、日本国内の電気通信に関する規制が非常に強かった。すなわち、専用回線を引いてコンピュータ通信を行うことは電電公社が指定する通信機器を使用しなければならないことなどによって、容易にコンピュータに接続することができなかった。さらに、電電公社が独占的であったため、使用料も高額であったと記憶している。1984 年に電気通信に関する規制緩和が行われ、1985 年 4 月に電電公社から民間の NTT に移った。これを機に新しい電話会社が設立された。当時を振り返ると交換用コンピュータ（現在のルータやスイッチに相当）は高価なミニコンピュータであった。そして、現在のパソコンにも満たない機能のものであった。さらに、端末も大型汎用コンピュータ (TSS) のデータターミナル程度のものであった。このような状況が続いていれば、コンピュータネットワークの普及はなかったであろう。しかし、この 20 年間のマイクロプロセッサの急速な進歩は、これを用いた交換用コンピュータやワークステーションを安価にした。また、安価な高機能パソコンも造られ、一般家庭でも購入できるようになった。このようなマイクロプロセッサの発展経緯は、図 2 に示すようになる。

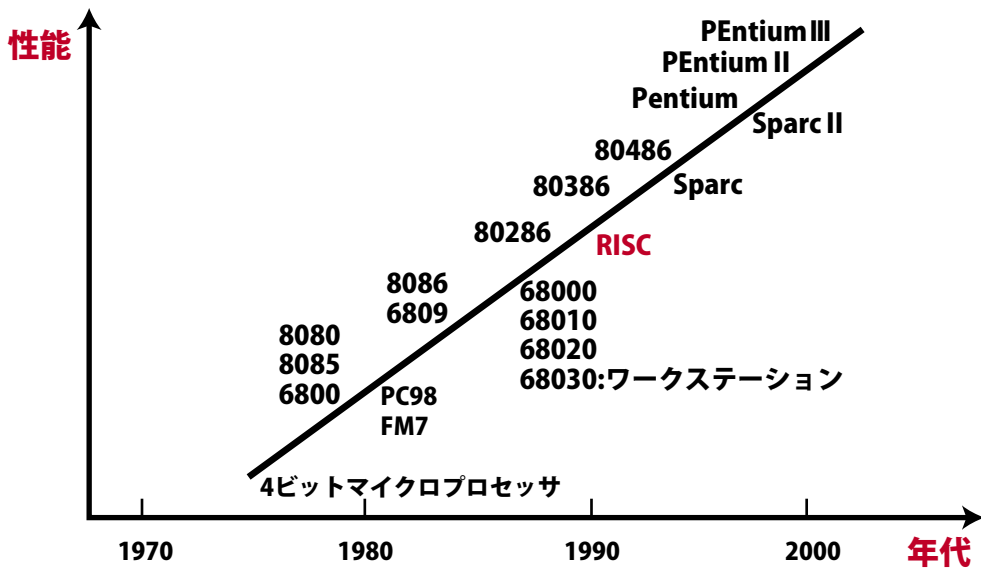


図2 マイクロプロセッサの発展経緯

1987年には文部省の学術情報センターが中心となって、全国国立大学に設置されている汎用コンピュータを接続するN1 ネットが構築された。そして、1990年（平成2年）に、このN1 ネットの一部を使って実験用インターネット jain (Japan Academic Inter-Net) や wide などの学術用コンピュータネットワークが構築された。さらに、1993年には学術情報センターが中心となって sinet (Science Information Network) が運用された。このころからインターネットに接続されるドメイン数やホストコンピュータ数が指数関数的に増加してきた。インターネットのホストコンピュータ数の増加に伴い、インターネット利用者も急激に増加した。この影には、1980年代後半において、高機能なマイクロプロセッサの開発があった。そして、UNIX OS を搭載した安価なワークステーションが登場し、インターネットのホストコンピュータとして利用されたからである。ここで、UNIX OS は、当時の汎用 OS の使いにくさから生まれたものである。また、インターネットの交換機（ルータなど）にもマイクロプロセッサを搭載して安価になり、構内ネットワーク（LAN）が構築し易くなったことにもよる。さらには、インターネット利用の Windows を搭載した使い易く安価なパソコンの登場もインターネット利用者を急激に増やしたといえる。

インターネットの急激な広がりにはさらに家庭にまで入り込み、ますますその広がりが増してきている。すなわち、家庭まで光ケーブルを敷設して、インターネット利用はもちろんのこと、ビデオオンデマンドのように見たいときにニュースやドラマ・映画などを見ることができるようになる。具体的には、パソコンをサーバとしたホーム LAN が構築される。各部屋にはゲーム機程度の端末（パソコン）が置かれ、サーバ機を経由してインターネットが利用できるようになる。また、電化製品やホームセキュリティなどとも接続され、外出先からも携帯電話等で電化製品の制御や部屋の監視などが可能になる。

一方、電気通信に関する規制緩和に伴って、携帯電話はその手軽さから若者を中心に急激に拡大した。さらには、携帯電話から電子メールの送受、ホームページの閲覧、切符予約や購入などといったインターネットの利用が可能になってきている。パソコンからのインターネット利用ができなくても携帯電話からインターネットを利用しているという若者も少なくない。現在、パソコンの機能が非常に高く複雑になり、Windows も多機能・大規模化し、非常に使い勝手が悪く

なってきた。このため、パソコンによる若者のインターネット利用者を増やすことは困難である。むしろ、携帯電話の方が安価で手軽である。この方面からのインターネット利用が増えたと予想する。

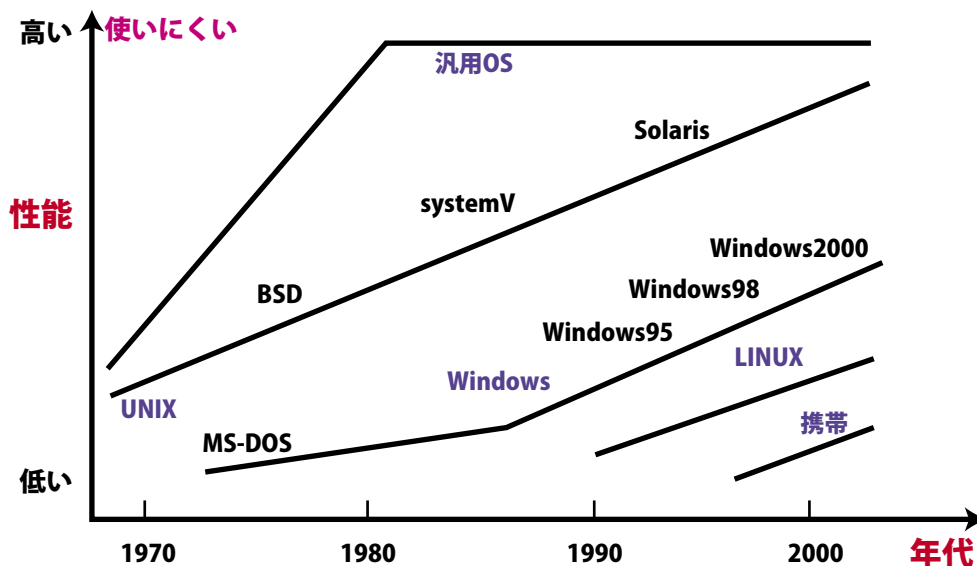


図 3 制御ソフト (OS) の発展経緯

以上を考慮すると、インターネットの普及は、安価なマイクロプロセッサの開発と使い易い OS により、初心者の裾野を増やしたといつてよい。この経緯は図 2 に示すマイクロプロセッサの発展経緯および図 3 に示す OS の発展経緯から理解できるであろう。

2.3 省エネタイプ・コンピュータの必要性

まえがきにも述べたように、情報通信技術 (IT: Information Technology) の急速な展開に伴い、国内の IT 関連産業の二酸化炭素排出量が 2000 から 2010 年にかけて最大 3 倍余りに膨らむことが 2002 年 8 月総務省の「IT が地球環境に与える影響調査」で明らかにされた。そして、「環境に配慮したインフラ整備と、省エネを促進する IT 機器の開発を検討する必要がある」としている。従って、ネットワークサーバやネットワーク機器は、利用されていなくても 24 時間稼働が必須であるため、省エネタイプのコンピュータシステムの開発が必要となってきたといえる。

省エネタイプのコンピュータシステムとしては、利用されていないとき自ら供給電源を落とし (または休止状態にし)、利用要求があったとき、電源供給され処理を開始するシステムであると考えられる。ネットワークサーバである場合、できるだけ速い応答時間を確保するためには、休止状態から利用可能状態に達するまでの時間をせいぜい数秒程度に抑えることが望まれる。現在のパーソナルコンピュータでは、一応利用されていないとき、プロセッサに電源供給を抑えるような設計が行われているようであるが、休止状態から利用可能状態になるまでに非常に時間がかかる。これは、次のような理由による。すなわち、マイクロプロセッサの構造が、高速化を実現するため、パイプライン処理機構やキャッシュなどを導入し、複雑化していること (CISC 指向) である。次に、基本制御ソフト (OS) が、種々の機能を付加した (汎用化した) ため、複雑化・大規模化していることである。さらには、大きなソフトや大きなデータを扱うようになったため、

主記憶装置や補助記憶装置の容量が大きくなり、アクセスに時間がかかるようになったことである。これらの開発方法は、1980年代の大型汎用コンピュータ開発方向と同じであり、利用状況や形状は異なるが、歴史は繰り返されているといつてよい。

1990年代に RISC 指向プロセッサ開発によって、高速プロセッサ開発のブレイクスルーが起こったことは前述したとおりである(図1参照)。そして、現在は、1980年代にみられた CISC 指向プロセッサの開発方向に進んでいる。そこで、筆者は、やがて到来するであろうプロセッサ開発の頭打ちに対して、多くの単純な RISC プロセッサをもっとも簡単な結合方式である単方向性回線でループ状に結合した並列・分散処理コンピュータ LSC を提案し、種々の処理方式を実装してどのような処理が可能であるかの検討を行ってきた。さらに、この LSC をさらに発展させて、稼動していないプロセッサの電源を落とす省エネタイプ・マイクロプロセッサの提案 [6] を行い、具体的構築に関して検討を行っている。

3. 省エネタイプ・ネットワークサーバ

現在のコンピュータは、ハードウェアにおいてもソフトウェア(OS)においても大規模化・複雑化している。このため、コンピュータが休止状態(あるいは電源断の状態)から動作状態に達するまでかなりの時間がかかり、省エネタイプ・ネットワークサーバにはなりえない。そこで、本章では、ネットワークサーバとして、利用していないとき、電源を切り(または休止状態)、アクセスがあった場合に電源が入り数秒で動作状態になるネットワークサーバの要件および構築法について述べる。

3.1 省エネタイプ・ネットワークサーバの考え方

まず、コンピュータの高速化に対する動向について述べる。一般的に、CPU を高速動作させる場合、動作クロック周波数を上げるために、高集積化とバイポーラタイプにする必要がある。このことは、高速動作のためには大電力を必要とするということである。そして、その放熱が大きな問題となる。また、コンピュータの高速化には、CPU を高速にするだけでなく、メモリや補助記憶装置(ハードディスク)等、CPU の周辺装置も高速にしないと、CPU が空回りすることになり、無駄となる。省エネのためには、CPU が空回りしないようなハードウェアの設計が必要になる。

ソフトウェアにおいても、コンピュータの高速化はプログラムを速く処理するため、省エネに繋がる。しかし、現実はそのようになっていない。以前においては、CPU の処理能力および小容量メモリの問題から、小容量で速く処理する工夫(アルゴリズム)が多くなされた。このため、よいアルゴリズムが数多く生まれた。しかし、最近では、大規模容量のメモリや仮想記憶に加え、バグ数を少なくするソフトウェア開発(ソフトウェア工学)のため、プログラム規模を無視してソフトウェア開発が行われている。すなわち、小容量で速く処理するアルゴリズムよりは、バグ数を少なくするソフトウェア開発に重点がおかれているといつてよい。

現在普及しているコンピュータは、性能を上げるためにパイプライン処理機構やキャッシュなどの複雑な機構を組み込み複雑化する方向である。また、OS もインターネット対応のための機能強化・汎用化のために複雑化・大規模化する方向である。さらに、情報を集中化すれば、補助記憶装置(ハードディスク)の容量も大きくなり、ファイルアクセス時間が長くなる。アクセス時間を短くするためのキャッシュなどの機構を補助記憶装置に付加しなければならなくなり、複雑化・大規模化することになる。すなわち、一つのコンピュータに情報を集中化することは、プロセッサ自体を高速にしなければならないと同時に、記憶装置や補助記憶装置なども高速にアクセスできるようにしなければならない。このことは、コンピュータ自体を大規模化・複雑化

する方向になり、過去における大型汎用コンピュータ開発の経緯からも明らかである。

コンピュータの性能向上とソフトウェアの規模は、一般的に増加する。これは、ソフトウェアを使い易くするための機能追加がなされ大規模化しているということである。しかし、一方では無駄な処理も少なくない。従って、コンピュータの性能向上に対する処理効率は、ソフトウェアの無駄な処理（無駄な処理等）が増えるために、ある点で最大値をとることになる。なお、計算を行うような連続的な処理の場合、コンピュータの性能とともに効率が上がる。

以上をまとめると、コンピュータの性能が上がるにつれて、ソフトウェアにおいても大規模・複雑化する方向になる。ネットワークサーバとして省エネであるためには、ハードウェアにおいて無駄な電力を少なくすることや、ソフトウェアにおいても無駄な処理を少なくすることである。これを実現する例としては、パイプライン処理機構やキャッシュなど複雑なハードウェアを使用しない小規模・小機能プロセッサを用い、ソフトウェアにおいても単機能のみとして、機能分散および情報の分散配置によるネットワークサーバを構築することである。そして、利用されないプロセッサは電源を切るというコンピュータシステムを提案するものである。以降において、省エネタイプ・ネットワークサーバを構築するための具体的手法について述べていこう。

3.2 具体的構築法

提案するシステム構成は、図4に示す複数の小機能・小規模プロセッサ（サーバ）をHUBなどでネットワーク接続し、マスタープロセッサは他サーバの電源をON・OFFするとともに、処理を振り分ける機能をもつ。いわゆる機能分散・情報分散型サーバシステムである。各サーバには、余分な機能をすべて取り除いた専用のOSが搭載されている。また、マスタープロセッサは、アクセス要求によってプロセッサを振り分ける機能のみが搭載されている。なお、各サーバにはハードディスクを搭載せず、1GB程度のフラッシュメモリで代用する。従って、電源のON・OFF（CMOSタイププロセッサであれば、クロックのON・OFF）による故障が少ない。

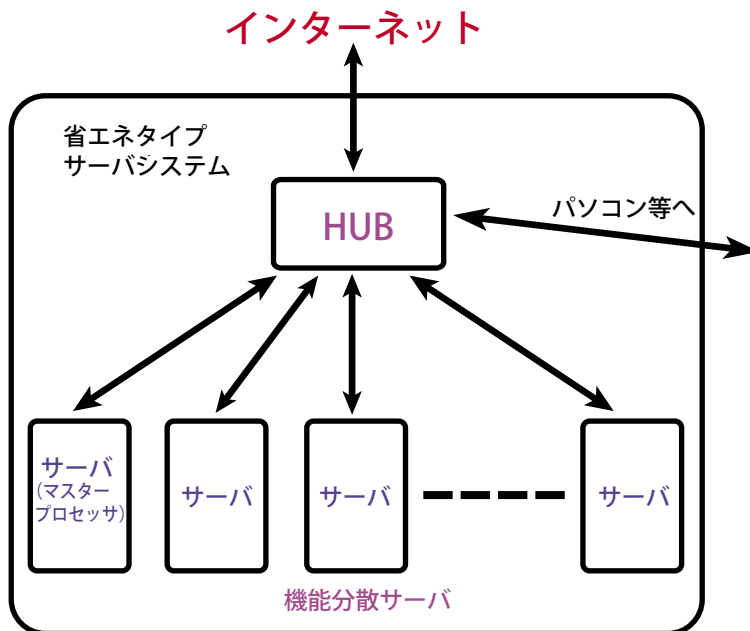


図4 省エネタイプサーバシステムの構成例

4. まとめ

インターネットでは 24 時間稼働を必要とするので、ネットワークサーバやネットワーク機器は、まったく利用されていなくても常に動作状態にしておく必要があり、稼働状態にしておくのは無駄である。ネットワークサーバ（家庭内ネットワークのゲートウェイを含む）は利用されていない場合に供給電源を切るなどの機能を付加した省エネタイプのを開発する必要がある。弘前大学においても学内 LAN が整備され、電子メールやホームページなどによるインターネット利用が急速に進んでおり、これらをサポートするネットワークサーバやネットワーク機器の電力量が増加傾向にあることは確かである。そこで、電力量を減少させても、現在の機能や信頼性を維持できるように省エネタイプのコンピュータシステムを導入する必要があることを述べ、近い将来総合情報処理センターに研究部門を設置した場合、必要となる研究プロジェクトについて示した。さらに、現段階で考えられる省エネタイプ・ネットワークサーバの構成方法や実現方法を述べた。

参考文献

- [1] "コンピュータ構造を変革するデータフローコンピュータの動向（上）（中）（下）", 日経エレクトロニクス, 1979.
- [2] "命令制御を単純化して高性能マイクロプロセッサを簡単に作る RISC 手法", 日経エレクトロニクス, pp.123-140, (1983-1) .
- [3] 吉岡良雄:"マイクロコンピュータによる点接続計算機網および単方向性ループ状計算機網の構成", 電子通信学会交換研究会資料, SE80-137, (1980-12) .
- [4] 吉岡良雄:" Loop Structured Computer のトラヒック解析", 電子情報通信学会論文誌 D-I, J72-D-I, 3, pp.149-156 (1989-03).
- [5] 弓場敏嗣, 山口喜教:" データ駆動型並列計算機 ", 電子通信学会編, オーム社, 1993.
- [6] 吉岡良雄:" 複数の小規模・高速プロセッサによるワンチップ並列処理プロセッサ ", 電子情報通信学会, 機能集積情報システム時限研究専門委員会 FIIS-02-98, (2002-03).