

通 信 制 御 プ ロ セ ッ サ*

都 丸 敬 介**

1. ま え が き

電子計算機利用のオンライン化が進むにしたがって、通信系の構成に関する技術が急速に進展し、また、関心が高まっている。

電子計算機システムにおける通信系の発展の状況を見ると、まず、電子計算機と端末装置とが通信回線によって結合され、次に電子計算機相互間の結合が行われた。更に、電子計算機の利用のために設置された端末装置相互間のメッセージ通信が行われるようになった。この間に、電子計算機の用途の拡大と技術の進歩にしたがって、端末装置の種類が非常に多くなった。こうした状況の下で、電子計算機システムの通信系に関して、次のような問題が表面化してきた。

通信回線使用料の増大

通信制御に関する電子計算機の負荷の増大

多様化する端末装置の接続

異種電子計算機間の接続

これらの問題を解決するために、プログラム制御方式の通信制御プロセッサ (Communication Control Processor, 以下 CCP と略す) が開発され、種々の形態で使用されるようになった。

また、電子計算機網の実現のために開発されたパケット交換技術を利用したデジタルデータ交換網の建設が各国の通信業者によって進められており、種々の形態で CCP が使用される。

本文では、まず、CCP の出現の背景として、電子計算機システムにおける通信系の発展を概観し、次いで、電子計算機システム及び通信回線網のそれぞれの構成要素としての CCP 並びに CCP のハードウェア及びソフトウェアの特徴的な事項について述べ、最後に、CCP に関する技術動向及びこれからの課題について考察する。

* Communication Control Processor by Keisuke TOMARU (Data Communication Development Division, Yokosuka Electrical Communication Laboratory, N. T. T.)

** 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所データ通信研究部

2. 電子計算機システムにおける通信系の発展

電子計算機の使用形態の一つとして、電子計算機と端末装置を通信回線によって接続し、端末装置から直接電子計算機を使用する、いわゆるオンラインシステムを実現するために、1960年代前半から、電子計算機システムにおける通信系の発展が始まった。

初期の時代には、1964年に発表された IBM 2702/2703 伝送制御装置で代表されるような布線論理形の通信制御装置が、ホスト処理装置 (以下ホストと呼ぶ) と端末装置との間の通信文の授受の制御に使用された。

1台のホストに接続される端末装置の数が多くなり、また、ホストと端末装置の間の距離が大きくなるにしたがって、通信回線の使用料が増大してきた。そこで、通信回線の使用効率を高めて、一定量のデータを伝送するのに必要な通信回線料を低減するために、遠隔集線装置 (Remote data Concentrator, 以下 RC と略す)、分岐回線、交換回線等を使用する技術が定着してきた (図-1)。

オンラインシステムが大形化し、用途が多様化するにしたがって、布線論理形の通信制御装置では、

多様化する端末装置に迅速に対応するのが困難

ホストにおける通信制御処理負荷が非常に大きい等の問題が表面化してきた。

こうした問題を解決するために、1970年代に入る

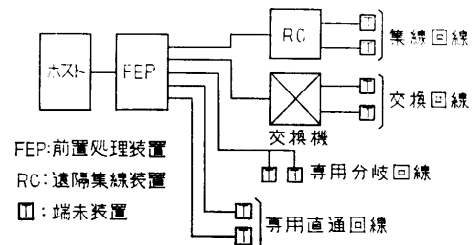


図-1 ホストと端末装置の接続形態

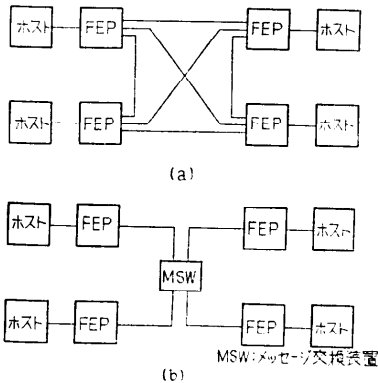


図-2 電子計算機網の構成（端末装置は省略）

と、布線論理形の通信制御装置の代りにプログラム制御形の前置処理装置（Front End Processor, 以下 FEP と略す）が使用されるようになった。

図-1 の形態のシステムでは全てのデータ処理が一つのホストに集中するが、このような形態に対して、複数のホストを通信回線によって相互に結合し、データ処理を分散して行う、いわゆる電子計算機網の研究が 1960 年代の後半から活発になった。

ホストの数が比較的小さい、単純な構成の電子計算機網は、図-2 (a) のように FEP 間を直接結合して実現できるが、ホストの数が多くなると、図-2 (b) のようにメッセージ交換装置（Message Switcher, 以下 MSW と略す）を使用した方が経済的である。多種類のホストの相互接続を意図した代表的な電子計算機網である米国の ARPA 網では、多数の MSW すなわちノードプロセッサを相互に結合した通信網をサブネットとして位置づけ、ホスト及び端末装置はノードプロセッサに接続した。このノードプロセッサを IMP（Interface Message Processor）及び TIP（Terminal Interface Message Processor）と呼んでいる（図-3）。

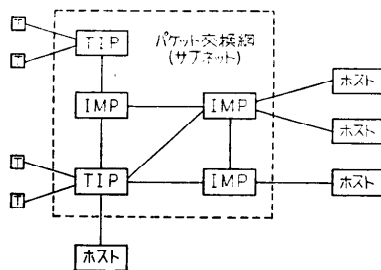


図-3 パケット交換網の構成（ホストに接続された FEP 及び端末装置は省略）

以上のように、最近の電子計算機システムでは、FEP, RC, MSW, IMP, TIP といった種々のプロセッサが通信系の構成要素として使用されている。ここでは、これらのプロセッサを総称して CCP と呼ぶ。

3. 電子計算機システムの構成要素としての CCP

前述のように、電子計算機システム構成要素としての CCP の代表的な形態には FEP, RC 及び MSW の3種類がある。米国のデータ¹⁾によれば、図-4 のように FEP が圧倒的に多い。したがって、本章では FEP を例にとって、CCP の機能、効果等を述べる。

3.1 通信制御の機能

通信制御の第1の目的は、通信回線によって接続された装置（電子計算機、端末装置等）の間で通信文を正しく授受することである。

この目的を達成するための通信制御機能は、

- 通信文の伝達に関する機能
- 通信文の伝達のために付随的に必要な機能
- 通信に関連した付加的な機能

の3種類に大別できる（表-1）。

普通、ホストの内部では、通信文をバイトまたは語を単位として並列に処理するのに対して、通信回線上ではビット単位で直列に伝送する。したがって、通信文の送受信に際して通信文を、ビット、バイト、複数バイトを単位とするデータブロック等のいくつかの単位に分解し、組立てる機能が必要である。

通信文の伝達のためには、まず通信リンクを設定し、

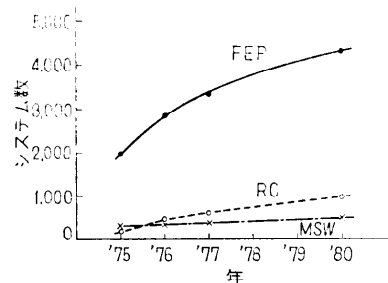


図-4 CCP 数の推移（米国）

表-1 通信制御の機能

分類	機能例
(A) 通信文の伝達に関する機能	キャラクタや通信文の分解・組立 通信文のバッファ
(B) 通信文の伝達に必要な付随的機能	回線制御、誤り制御、伝送制御手順にもとづく制御
(C) 付加的な処理機能	符号変換、データ編集、統計記録

通信文の送受信終了後はその通信リンクを開放する。そのために、通信回線の状態監視、呼出し、応答等の制御が必要である。通信リンクの設定、伝達する通信文の開始・終了の表示、通信中に発生する異常状態からの回復等の手続きを伝送制御手順あるいはプロトコルとして規定し、送信側と受信側は同一手順にしたがって通信を行う。

通信文の授受に直接係るものではないが、付加的な通信制御機能として、ホストの内部符号と端末装置が使用している符号が異なる場合の符号変換などがある。

3.2 FEP の機能と効果

FEP は必ずしも前節で述べた全ての機能を備えているわけではなく、普通はホストと分担する。ホストと FEP の間の通信制御機能の分担はシステムによってかなり異なる。これは、FEP に期待する効果、FEP のハードウェアの能力、ホストのオペレーティングシステムの構造、処理すべきデータやトラヒックの性格等によって影響を受けるからである。

1960 年代の布線論理形の通信制御装置は、主として、高速度で動作するホストと低速度で動作する多数の端末装置との間で通信文を授受するための整合を意図したものであり、具備機能はビット及びバイトの組立及び分解並びにパリティチェック程度の単純なものである。そして、伝送制御手順にもとづく制御動作のような高級な機能はホストが実行する。

しかし、このような機能分担では 2. で指摘したような問題を解決できない。こうした問題の解決には、プログラム制御形の FEP を使用すると同時に、通信制御に関する処理機能を大幅に FEP に持たせることが効果的である。ホストと FEP の間の機能の配分が適切であり、かつ、両者間のデータ授受の方法が簡明であれば、新しい端末装置の追加に際して必要なプログラムの追加・修正範囲を FEP に限定できる。しかし、余り多くの機能を FEP に持たせると FEP 自身が大規模になり、高価になる。特に、ホストのような充実した周辺装置を FEP につけると、その制御のために FEP の負荷が増えて価格も上昇する。

日本電信電話公社で開発した DIPS-CCP における機能配分を例にとると、図-5 のような 4 種類のモデルを設定し、その中からタイプ 2 を採用している。各モデルによって期待できるホストの負荷軽減率* は

タイプ	ホスト-CCP 間データ授受単位	処 理 機 能				備 考
		回線側 制御	通信 制御	端末対 応制御	メッセ- ジ処理	
タイプ0	キャラクタ	CCP	ホスト	ホスト	ホスト	布線論理形 FEP
タイプ1	伝送 ブロック	CCP	CCP	ホスト	ホスト	
タイプ2	伝送ブロック 単位	CCP	CCP	CCP	ホスト	
タイプ3	伝送ブロック 単位	CCP	CCP	CCP	CCP	補助記憶 装置も使用

図-5 ホストと CCP の機能配分

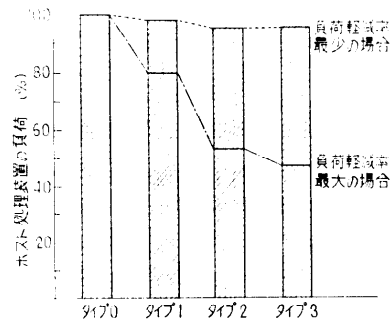


図-6 ホストの負荷減少効果

図-6 のようになる²⁾。

3.3 RC 及び MSW の機能

RC は通信回線の使用能率を高めるために、複数の端末装置が授受する通信文を多重化して伝送することを目的としている。したがって、RC の基本的な機能は、複数の端末装置からホストに向う通信文を時分割的に多重化すること及びホストから端末装置に向う通信文を指定された端末装置に分配することである。RC と端末装置との間の通信速度と RC とホスト (FEP) との間の通信速度が異なる場合には RC が速度変換を行う。

普通、RC は通信文の分配に必要な情報を調べる程度の比較的単純な機能しか持たず、通信文の内容に対しては透過性を持つ。しかし、RC の機能はこのような範囲に限定されたものではなく、技術やサービスの変化にしたがって、時と共に変化し多様化している。MSW は通信文の蓄積と送出機能を持つ交換機であって、本質的には次章で述べる IMP と変りはない。通信業者が提供する交換回線を使用せずに、専用回線を利用して、限定した範囲での専用の交換網を形成するのに使用する。RC と同様に、基本的には通過する通信文に対する透過性を持っているが、交換機として必要な、方路選択、トラヒック管理等の機能を備える。FEP に交換機能を持たせて MSW と兼ねることもできる。

* 負荷軽減率 = $\frac{\text{CCP (FEP) によって肩代りされた負荷}}{\text{ホストの全負荷}}$

4. 通信回線網の構成要素としての CCP

電子計算機の普及に伴って、通信回線のデジタルトラフィックが急増している。デジタル通信における情報はアナログ通信における情報よりも冗長度が少ないので、デジタル通信のためにはより良い品質の通信回線が必要である。電話の場合には伝送帯域幅も通信回線と端末装置（すなわち電話機）とのインタフェースもほぼ一定しているが、デジタル通信の場合はいずれも極めて多様である。このような多様化した要求に応える通信回線網を利用者に提供するために、世界各国の通信業者はデジタルデータ交換網の研究を続けており、1970年代に入ってから研究の段階から実用化の段階に移ってきた。

デジタルデータ交換網の建設を進めている通信業者が最も注目しているのは、ARPA 網のサブネット で確立されたパケット交換技術である。米国では ARPA 網の研究に参加していたメンバーが設立したテレネット・コミュニケーション社がパケット交換網を建設して、1975年8月にサービスを開始した。現在、世界各国で研究及び実用化が進められているパケット交換網は、基本的には ARPA 網の通信サブネットすなわちテレネット社の交換網のような方式を指向しているといえる。

このような形の通信回線網の構成要素として使われる CCP は種々の名称で呼ばれているが、内容的には ARPA 網の IMP 及び TIP と大同小異である。IMP は複数のパケット多重高速回線の間での蓄積・送出形交換機能を持つ。TIP は、IMP に端末装置の接続機能を持たせたものである。

5. CCP のハードウェア

5.1 FEP のハードウェア

典型的な FEP は図-7 のように、プロセッサ (PU)、主記憶 (MM) 及びこれらに結合されるいくつかのインタフェース部からなる。インタフェース部として

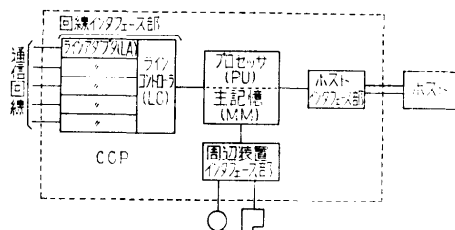


図-7 FEP の構成

は、回線インタフェース部、ホストインタフェース部及び周辺装置インタフェース部がある。

実用に供されている FEP の PU としては、既存のミニコンピュータを利用したものが多いが、大形機種では専用設計のものが多い。FEP の処理機能としてはビット処理及びバイト単位の処理が多く、数値計算処理は少ない。したがって、専用設計された FEP の PU の命令は、ホストの CPU の命令と比較して種類が少ないのが普通である。FEP の動作の特徴は実時間処理に対する要求が厳しいことである。例えば、一つのキャラクタを受信した後、次のキャラクタを受信するまでに前のキャラクタの処理が終らないと、後のキャラクタが処理しきれずに紛失する危険がある。厳しい実時間処理に対する要求を満足するために、割込処理やインタフェース部と MM との間のデータ転送に対する配慮が重要である。

MM の用途は制御プログラム用と送受する通信文のバッファ用の 2 種類に大別できる。前者のメモリ量は回線数によってあまり変らないが、後者のメモリ量は回線数及びトラフィック状況によって大幅に変化する。収容回線に見合ったメモリ量を実装するのが経済的であり 32k バイトあるいは 64k バイトを MM の増設単位としている例が多い。

回線インタフェース部は、個々の回線に対応するラインアダプタ (LA) と、多数の LA と PU 及び MM との間のデータの授受を共通的に制御するラインコントローラ (LC) によって構成する形式が一般的である。LA は、回線の同期方式、回線インタフェース等に対応して複数種類を用意する。表-2 は DIPS-CCP における LA の種類の例である。通信速度に関しては、同一 LA で広い速度範囲をカバーしている。ホストとの接続は、ホストのデータチャンネルに接続する形式とメモリバスに接続する形式とがあるが、既存の FEP はデータチャンネルに接続する形式が多い。周辺装置インタフェース部はミニコンピュータや汎用電子計算機が備えているものと同じ形式でよく、CCP に固有な条件はない。

表-2 DIPS-CCP の LA の種類 (○印)

	物理的インタフェース	モデムインタフェース		DCE インタフェース	
		不平衡形	平衡形	不平衡形	平衡形
同期方式		V28*	V35*	V10*	V11*
調歩同期		○	—	—	○
同期		○	○	—	○

* CCITT 勧告番号

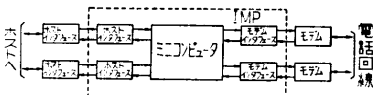


図-8 ARPA 網の IMP の構成

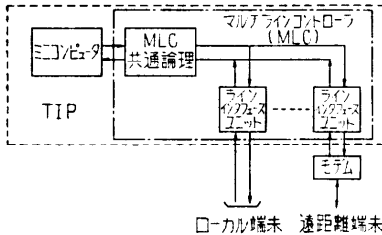


図-9 ARAP 網の TIP の構成

RC, MSW 等の FEP 以外の用途においても、ハードウェアに関しては上記のことが成り立つ。したがって、いずれの用途に対しても同一ハードウェアを使用できる。但し、FEP 以外ではホストインタフェース部は不要である。

5.2 IMP 及び TIP のハードウェア

ARPA 網の IMP 及び TIP はいずれも既存のミニコンピュータにインタフェース部を付加したものである（図-8 及び図-9）^{3),4)}。

IMP の場合は回線数が少ないので、ミニコンピュータの I/O チャンネルごとに 1 回線分のインタフェース回路を設けている。それに対して、TIP では端末装置を接続するために回線数が多くなるのでマルチラインインコントローラ (MLC) と呼ぶ多数回線制御用のインタフェース部を設けている。

ARPA 網以外のパケット交換網の IMP 及び TIP 相当のプロセッサも、大部分はミニコンピュータその他の既存のプロセッサに回線インタフェース部を付加したものである。

6. CCP のソフトウェア

CCP のソフトウェアの構造はハードウェアほどには類型化されていない。したがって、ここでは CCP ソフトウェアの設計、製造上考慮すべき主な項目の指摘に止める。

第1は、端末装置の多様化に対する考慮である。通信制御の面から見て端末装置の多様化が問題になるのは、端末装置の属性に対応して CCP のハードウェア及びソフトウェアを用意しなければならないからである。端末装置の属性としては表-3 のような項目があ

表-3 端末装置の属性例

項目	種類
通信方式	半二重, 全二重
同期方式	調歩同期, 同期
通信速度	200 ビット/秒, 1,200 ビット/秒等
符 号	JIS 7単位, EBCDIC 等
誤り検出方式	パリティ検査, CRC 符号等
伝送制御手順	基本形手順, HDLC 手順等

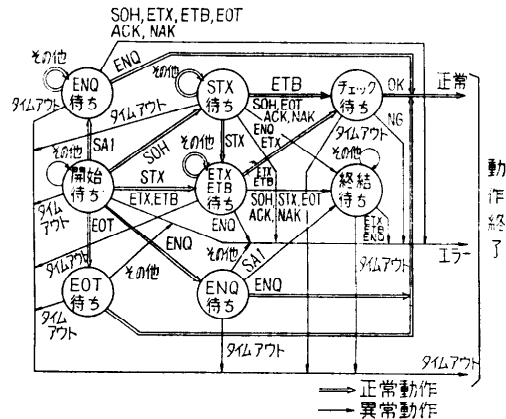


図-10 伝送制御手順状態遷移図 (例)

る。特に伝送制御手順は既存のものとのさ細な相違に対しても CCP ソフトウェアの変更が必要になる。また、設計者間で伝送制御手順の解釈が異なると正常な通信が保証できなくなるので、伝送制御における状態遷移を厳密に規定しなければならない。図-10 は JIS C6362 の基本形データ伝送制御手順に準拠した状態遷移図の一例である。

第2は、CCP の外部とのインタフェースの確認方法である。分散処理システムでは個々のプロセッサをそれぞれ独立に試験し、相互に結合したときは直ちに正常に動作することが要求される。特に、結合する一方あるいは双方がすでに稼動しているものであれば、相互結合によって動作不良になることは許されない。例えば、すでに動作しているデジタルデータ交換網に新しいホストを追加接続した際に異常動作が生じたとすれば、それは新たに追加したホスト（または FEP）の責任になる。こうした事態を防ぐためには、前述の伝送制御手順と同様に、相互接続のためのインタフェース及びプロトコルを明確に規定すること並びにこれらを十分に試験する手段を用意することが必要である。

7. CCP の技術動向と研究課題

電子計算機システムの通信系における

端末装置の多様化
通信形態の多様化
電子計算機網の拡大

等は依然として進展しつつある。こうした状況に対処するための主な技術項目として、

通信制御機能の分散処理
通信系の標準的なアーキテクチャの確立
デジタルデータ交換網の効果的な利用

等がある。

通信制御機能を FEP, RC 等に分散する形態は定着しつつあるが、どの機能をどこで処理するかということになると、様々な考え方がある。したがって、それぞれ異なった考え方に基づいて設計されたシステムを相互に接続しようとする困難な問題が生じる。こうした問題を解決して、電子計算機の利用分野と使用効率を高めるためには、通信系の標準的なアーキテクチャを確立して普及しなければならない。

通信回線を経済的に使用するためには、通信業者が提供する交換網の利用技術の確立と普及が必要である。交換網としては特にデジタルデータ交換網が注目される。わが国でも日本電信電話公社が回線交換形及びパケット交換形のデジタルデータ交換網の実用化を進めており、近い将来、これらを使用できるようになる。したがって、デジタルデータ交換網が使用できるようになる前に、専用回線を使用して実現するシステムも、将来容易にデジタルデータ交換網を使用できるよう考慮しておくことが望ましい。

標準的な通信系のアーキテクチャの確立及びデジタルデータ交換網の利用技術の確立のためには、

回線インタフェースの標準化
プロトコルの標準化
端末装置の仮想化と仮想仕様の標準化
等の種々の標準化が必要である。

回線インタフェースに関しては、電電公社の回線インタフェースは CCITT 勧告に準拠しているので、この勧告にしたがって CCP を設計すれば問題はないであろう。

プロトコルについては、例えば 図-11 のような階層化の概念が定着してきたが、回線インタフェースのようなレベルの標準化はまだ行われていない。

端末装置の仮想化は、FEP やホストが実際の端末装置の多様性を意識せずに一元的に扱う手段である。分散処理を指向した電子計算機システムアーキテクチャやパケット交換網の設計において端末装置の仮想化

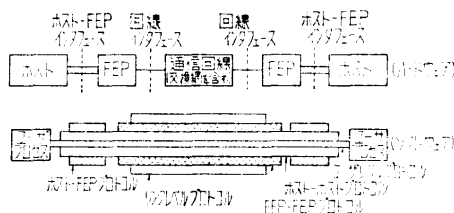


図-11 プロトコルの階層構造 (計算機間通信の例)

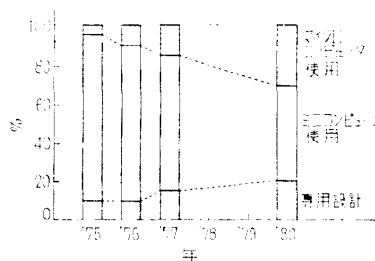


図-12 CCP の機種種の推移 (米国)

が行われているが、まだ、仮想化の概念自体が多様な状態である。仮想仕様と実仕様との変換は CCP が処理すべき機能である。

上記以外の技術的問題として、

CCP の機能及び規模の増大

半導体部品の高集積化のインパクト

等がある。

FEP を例にとると、処理する機能、接続する回線数、通信速度等のいずれも増大する傾向があり、それに伴って FEP の処理能力の増大に対する要求が強くなる。しかし、FEP をあまり大規模化すると、分散処理によるシステム全体の価格性能比の向上が損なわれる。このような相反する問題を同時に解決するために、安価なミニコンピュータを、要求される処理量に応じて並列接続するマルチプロセッサ方式が試みられている⁵⁾。図-12¹⁾のようにミニコンピュータの代りにマイクロプロセッサが使われる傾向もある。

8. む す び

電子計算機システムにおける通信系並びに CCP に関する技術の現状、動向、今後の課題等について述べた。

現在の状況は、プログラム制御方式の FEP、パケット交換等のいくつかの主要な技術が揺らん期を脱して定着する段階にあると見なせる。もちろん、技術の進歩は急速であり、個々の技術を取上げて見れば日進

月歩が続けているが、革新的な概念の提案は鳴りをひそめている。

こうした時期に重要なことの一つは、定着しつつある技術の標準化である。通信におけるインタフェース、プロトコル等の標準化の重要性はいうまでもなく、すでに CCITT, ISO 等の標準化の機関で一部の技術の標準化が行われている。技術の標準化と調和をとりながら優れたハードウェア及びソフトウェアを実現することが CCP に課せられた課題である。

本文が、電子計算機の通信系に関心を持っている方々にとって多少なりとも参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 米国におけるデータ通信の中期展望, 日経エレクトロニクス, No. 119, pp. 137~141 (1975).
- 2) K. Tomaru, K. Naemura & K. Itoh: Architectural Design of a Multi-purpose Communication Control Processor, 2nd USA-JAPAN Comp. Conf., pp. 47~51 (1975).
- 3) F. E. Heart, R. E. Kahn, S. M. Ornstein, W. R. Crowther & D. C. Walden: The interface message processor for the ARPA computer network, AFIPS Conf. Proc., Vol. 36, pp. 551~567 (1970).
- 4) S. M. Ornstein, F. E. Heart, W. R. Crowther, H. K. Rising, S. B. Russell & A. Michel: The Terminal IMP for the ARPA Computer Network, AFIPS Conf. Proc., Vol. 40, pp. 243~254 (1972).
- 5) W. F. Mann, S. M. Ornstein & M. F. Kralej: A network-oriented multiprocessor front-end handling many hosts and hundreds of terminals, AFIPS Conf. Proc., Vol. 45, pp. 533~540 (1976).

(昭和 51 年 11 月 30 日受付)

(昭和 52 年 1 月 12 日再受付)