

# 拡張キューシステムによるプロセス間通信機構

(昭和59年5月30日 原稿受付)

情報工学教室(大学院) 小 出 真  
情報工学教室 重 松 保 弘

## Inter-Process Communication Mechanism of The Extended Queue System

by Makoto KOIDE  
Yasuhiro SHIGEMATSU

### Abstract

One of the requirements in computer network architecture is to provide simple, flexible and reliable inter-process communication facilities.

In this paper, we provide the modules, their functions and relations of the Extended Queue System in detail, which is a simple and flexible inter-process communication mechanism. Each module is constructed as a process which waits only single event to communicate and synchronize with other processes. This is useful in using simple monitor systems which provide only the single-wait function. This paper also shows how to implement the system in HOLENET which is an experimental microcomputer network.

### 1. まえがき

コンピュータネットワークにおいて要求される基本的な通信機能の単位は、プロセス間通信である。信頼性が高く効率的なプロセス間通信を実現するためには、ネットワークに対して次のような機能が要求される。すなわち、1)信頼性の高い(論理)通信路を提供する機能、2)プロセス間通信を円滑に行う機能、3)ネットワーク管理の機能、4)プロセス間通信の手順を単純化する機能、である。[1][2][5]。

我々の研究室では、すでに、教育・研究を目的としてインハウス・マイクロコンピュータネットワーク HOLENET(HDLC Oriented Local Area Experimental Microcomputer Network)を開発し、そのモデルプロトコルを実現した[4][6]。しかし、このモデルプロトコルには、HOLENET を実用システムとして使用する際に要求される上述の4つの機能について、いくつかの不十分な点があった。そこで、筆者らは、これらの問題点を解決し、かつ、上述の4つの機能を実現する1つの方

式として、拡張キューの手法とそのプロトコルを提案した[7]。

本稿では、拡張キューの手法とプロトコルを実現するためのモジュール機構とその動作について具体的に述べる。

### 2. 拡張キューシステムのモジュール構成

拡張キューのモジュール機構は、HOLENETのレイヤ2[4][6]に用意される。このうち、特定ユーザプロセス[7]が、N:1アクセス方式の拡張キュー[7]をオープンした場合のモジュール機構を図1に示し、以下4章までこれに従って述べる。拡張キューシステムのモジュール[7]を構成する機構のうち、拡張キュー登録機構、拡張キュー設定機構、拡張キュー監視機構は、各々独立したプロセスとして構成され、システム常駐プロセスとして、ホスト稼動開始時に自動的に起動される。

また、拡張キュー制御機構は、受信制御機構とバッファ制御機構の2つのプロセスで構成され、拡張キューのオープン処理時に生成される。受信制御機構は、拡張

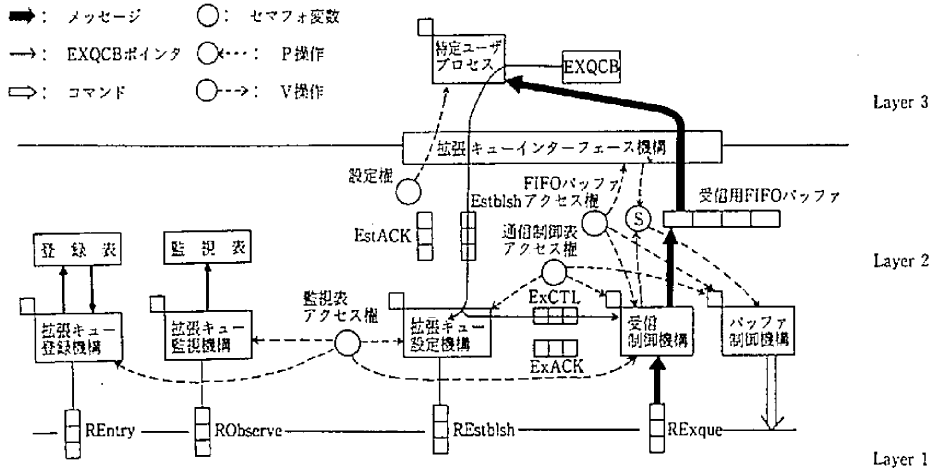


図-1 拡張キューシステムのモジュール機構

キュー制御機構の機能のうち、メッセージやコマンドの受信、メッセージの受信用 FIFO バッファへの書き込み、その他の必要な処理、を行う機能を受け持つ。また、バッファ制御機構は、受信用 FIFO バッファの監視、フロー制御を行うための CREDIT コマンド [7] の発行、などの機能を受け持つ。

拡張キュー制御機構が2つのプロセスで構成されているのは、1つのプロセスが同時に複数の事象を待つことを防ぐためである。これは、MP/M モニタのような単一事象待ちの機能しか提供していないモニタを利用する場合、特に有効である。

以上に述べた5つのプロセスを総称して、拡張キューシステムプロセスと呼ぶことにする。

拡張キューインターフェース機構は、HOLENET におけるレイヤ2のモニタサービスモジュールとして、どのプロセスでも利用できるような実現される。なお拡張キューシステムが提供する機能は、すべて、モニタアクションの形で用意される。(表1)。

拡張キューシステムプロセスは、拡張キューシステムプロトコルに従って互いに通信を行う[7]。これは HOLENET モデルプロトコルにおけるデータグラム方式の通信機能[4][6]を使って行なわれる。図1の REntry, RObserve, REstblsh, RExque はこのために用意されたキューであり、そのキューを用いて通信を行う各プロセスが生成されると同時に生成される。

図1の登録表は、拡張キュー登録機構が拡張キューを登録・管理するために利用される。例えば、拡張キュー登録機構は、拡張キュー作成時に MKEXQUE コマンド [7]を受け取ると、そのコマンドのパラメータである拡張キューの属性を登録表に書き込む。このことによって、拡張キューの作成が行なわれたことになる。

また、拡張キューのオープン時には、拡張キュー登録機構は、オープンの許可の決定 (OPNEXQUE コマンド受信時[7])、拡張キューの属性の通知 (SEQF, SEQ コ

表-1 拡張キューシステムのファンクション

Function No.	Function	Parameters
1	make	name, attribute
2	open	ExQCB
3	read n messages (block type)	ExQCB
4	read message (non-block type)	ExQCB
5	write n messages (block type)	ExQCB
6	write message (non-block type)	ExQCB
7	close	ExQCB
8	delete	name, attribute
9	get attribute	name
10	get communication process name	ExQCB
11	get status	ExQCB

にマンド[7]), 通信相手の通知 (IPA コマンド[7]), 通信開始の許可 (REQ コマンド[7]) のために登録表を参照し、オープンを許可したユーザプロセスのアドレスなど必要な情報をそれに書き込む。さらに、拡張キューのクローズ時、消去時などにも、登録表に対し読み書きを行う。

図1の監視表は、拡張キュー監視プロトコルを実現するために用意されたものである。監視表は、バッファ制御機構を除く拡張キューシステムプロセスによってアクセスされる。したがって、これらのプロセスが監視表をアクセスする際に競合しないよう排他制御を行う必要がある。そこで、監視表アクセス権を用意する。各プロセスは、監視表に対し、書き込み、あるいは読出しを行う際、必ず監視表アクセス権を獲得しなければならない。なお、監視表の具体的な利用方法については、第5章で述べる。

拡張キューシステムプロセスのうち、拡張キュー設定機構は、ユーザプロセスと拡張キューインターフェース機構を介して通信を行う。そのため、Estblsh キューと EstACK キューが用意される。すなわち、ユーザプロセスが、拡張キューの作成手順(ファンクション1)、オープン手順(ファンクション2)、クローズ手順(ファンクション7)、消去手順(ファンクション8)、あるいは、拡張キューサービス機能(ファンクション9~11)を実行した場合、各ファンクションのパラメータが Estblsh キューを通して渡される。拡張キュー設定機構は、各ファンクションに応じて必要な処理を行った後、その応答を EstACK キューへ書き込む。

拡張キュー設定機構は、さらに、受信制御機構、バッファ制御機構と通信を行い、拡張キューのオープン、クローズ、消去の処理を行う。このため、ExCTL キュー、および、ExACK キューが用意されている。

セマフォ変数 S (初期値 0) は、受信用 FIFO バッファ中のメッセージ数が増加した時、そのバッファを監視し必要な処理を行うバッファ制御機構を起動するために用意されたものである。バッファ制御機構は、セマフォ変数 S に対して常に V 操作を行い、その変数に P 操作が行なわれるのを待つ。受信制御機構と拡張キューインターフェース機構は各々、受信用 FIFO バッファにメッセージを書き込んだ時、あるいは、そこからメッセージを読み出した時、セマフォ変数 S に対して P 操作を行う。

図1の設定権、FIFO バッファアクセス権、通信制御表

アクセス権と同様に、種々の競合を防ぐために用意されたものである。

このうち、(拡張キューの)設定権はユーザプロセスの間で拡張キューの作成、オープン、クローズ消去手順の実行、および、拡張キューサービス機能の実行の際に相互排斥される。なぜなら、拡張キュー設定機構が、これらの手順、機能の処理をすべて受け持っているために複数のユーザプロセスが同時にこれらの処理を行うと、競合するおそれがあるためである。

FIFO バッファアクセス権は、受信用 FIFO バッファに対しアクセスを行う受信制御機構、バッファ制御機構、および拡張キューインターフェース機構の間で、アクセス権の競合を防ぐために相互排斥される。通信制御表アクセス権は、同様に、通信制御表に対するアクセスの競合を防ぐため、拡張キュー設定機構、受信制御機構、および、バッファ制御機構の間で相互排斥される。なお、通信制御表(図2)は、メッセージやコマンドの送受信を行う際、必要な情報を書き込んでおくためのコントロールブロックである。

通信制御表リンク領域	
受信用/送信用識別子	
通信制御表アクセス権制御表	
オープン識別子	
相手通信プロセス名	
送信先局アドレス	
送信先データグラム用キュー名	
シーケンス番号	メッセージ番号
制御表	データユニット番号
	コマンド番号
送信コマンド番号	
許可・確認	メッセージ番号
制御表	データユニット番号
	コマンド番号
処理中コマンド	コマンドコード
	パラメータ
システム作業領域	

図-2 通信制御表の構造

拡張キューを使ってプロセス間通信を行う際必要となるコントロールブロックには、通信制御表の他に、(1) 受信用 FIFO バッファを管理するために用いられる FIFO バッファ制御表(図3)、(2) 受信制御機構、バッ

ファ制御機構の2つのプロセスを生成し管理するのに必要なプロセスディスクリプタ、(3)メッセージやコマンドを受信するのに必要なデータグラム用キューを管理するためのキューコントロールブロック、の3種類がある。

また、ユーザプロセスと拡張キューシステムとの間で拡張キューの属性の通知やシステムのエラー状態の通知などを行うための、拡張キューコントロールブロック (ExQCB) (図4)も必要となる。ExQCBは上述の3つのブロックをリスト構造にして管理しているが、ExQCB自体も、リスト構造で拡張キュー設定機構によって管理される。なお、ユーザプロセスが用意しなければならないコントロールブロックは、ExQCBのみである。

FIFOバッファ制御表リンク領域	
受信用/送信用識別子	
FIFOバッファアクセス権制御表	
メッセージ数	
空き領域の大きさ	
バッファポインタ	バッファ領域ポインタ
	先頭ポインタ
	後尾ポインタ
	データユニットポインタ
システム作業領域	

図-3 FIFOバッファ制御表の構造

ユーザプロセス名	
拡張キュー名	
拡張キュー識別番号	
バッファポインタ	
拡張キューの属性	
自局アドレス	
リンク領域	拡張キューコントロールブロック リンク領域
	FIFOバッファ制御表リンク領域
	通信制御表リンク領域
	拡張キュー制御機構プロセスディス クリプタ リンク領域
	データグラム用キューコントロール ブロック リンク領域
FIFOバッファの検査を要求するためのセマフォ変数(S)	
システムエラー識別子	
システム作業領域	

図-4 EXQCBの構造

各コントロールブロックが、1つのまとまったコントロールブロックではなく、リスト構造となっているのは、オープンされる拡張キューのアクセス方式や個数の違いによって、それぞれコントロールブロックの数が異なるためである。

これらコントロールブロックの使用方法については、拡張キューのオープン時の各機構の動作と、フロー制御に関する各機構の動作を例にとりて第3章と第4章で述べる。

### 3. 拡張キューオープン時の各機構の動作

拡張キューをオープンする時、ユーザプロセスは、拡張キューのオープンファンクションを呼び出す。この時、ユーザプロセスは、ExQCBを用意し、それへのポインタをファンクションのパラメータとする。拡張キューインターフェース機構は、このファンクションが呼び出されると、そのユーザプロセスを待ち (WAIT) 状態にする。ファンクションが呼び出される時、ExQCBには、オープンを行うユーザプロセス名、および、オープンされる拡張キューの名前とその識別番号が書き込まれている。なお、拡張キューシステムのプロトコルにおいて使用するユーザプロセスのアドレスは、実際には、ユーザプロセスの名前と、それが存在する局アドレスから構成される。

ExQCBへのポインタは、キュー (Establish キュー) を通じて拡張キュー設定機構へ渡される。この時、同時に設定権が獲得される。拡張キュー設定機構は、ExQCBへのポインタを受け取ると、拡張キューのオープン処理を行う。その際の動作は、次のようになる。

- (1) 以前に設定した拡張キューに対するExQCBのリストに、今回渡されたExQCBを加える。
- (2) OPNEXQUEコマンドを拡張キュー登録機構に送り、オープンの許可を受ける。
- (3) SEQFコマンドによって拡張キューの属性を、拡張キュー登録機構から受け取る。
- (4) ExQCBに対し、次の処理を行う。
  - (4-1) 拡張キューの属性をEXQCBに書き込む。
  - (4-2) 受信用FIFOバッファを管理するために必要なFIFOバッファ制御表を、拡張キューシステム内に用意されているFIFOバッファ制御表のプールから1つ取り出す。また、そ

れへのポインタを、ExQCB内のリンク領域に書き込む。

- (4-3) 拡張キュー制御機構を生成し管理するためのプロセスディスクリプタと、データグラム用キューを管理するためのキューコントロールブロックを、各プールから取り出す。さらに、これらに必要な初期値を書き込み、ExQCBのリンク領域にこれらへのポインタを書き込む。
- (5) 受信用FIFOバッファを管理する拡張キュー制御機構を生成する。この時の処理は、次のようになる。
  - (5-1) 拡張キュー設定機構は、受信制御機構を生成する。
  - (5-2) 拡張キュー設定機構は、ExCTLキューを通して受信制御機構にExQCBへのポインタを渡す。
  - (5-3) 受信制御機構は、生成されると次の処理を行う。
    - (5-3-1) 受信用FIFOバッファを、拡張キューシステム内に用意されたFIFOバッファプールから必要な大きさだけ取り出す。
    - (5-3-2) バッファ制御機構を生成する。
    - (5-3-3) ExACKキューを通して拡張キュー設定機構に処理の終了を通知する。
- (6) SEQFコマンドに対する応答を返す。また、EstACKキューを通して、拡張キューインターフェース機構に一連の処理の終了を通知する。

拡張キュー設定機構が以上の処理を行うと、拡張キューのオープンを行ったユーザプロセスの待ち(WAIT)状態がとかれオープンの終了が通知される。そして、設定権が放棄される。しかし、拡張キュー設定機構は、さらに、以下のような処理を続ける。

- (7) 拡張キュー登録機構から通信相手を通知するためのIPAコマンドを受け取り、次の処理を行う。
  - (7-1) メッセージの受信を管理するために必要な通信制御表を通信制御表プールから1つ取り出す。
  - (7-2) 相手ユーザプロセス名、送信先局アドレス、送信先データグラム用キュー名を通信制御

表へ書き込みこの表を初期化する。なお、これらの情報はIPAコマンドのパラメータによって得られる。

- (7-3) 初期化した通信制御表のアクセス権を獲得する。
- (7-4) 通信制御表リストに、初期化した通信制御表を加える。なお、そのリストの先頭を指すポインタは、ExQCBのリンク領域に書き込まれる。
- (8) IPAコマンドに対する応答を返す。
- (9) 通信の開始を許可するREQコマンドを拡張キュー登録機構から受け取ると、先の通信制御表のオープン識別子を'オープン'とする。また、通信制御表のアクセス権を放棄する。

(7)～(9)の処理は、他のユーザプロセスがこの拡張キューをオープンするたびに繰り返し行なわれる。

#### 4. フロー制御に関する各機構の動作

ここでは、説明を簡単にするため、アクセス方式がN:1方式の拡張キューに対し特定ユーザプロセスが読出しの手順を実行した場合を例に取る。さらに、REQUESTコマンドに対する処理を取りあげる。また、エラーの発生はないものとする。

いま、ユーザプロセスAが拡張キューにメッセージを書き込んだためにメッセージの送信を要求するREQUESTコマンド[7]が送られてきたとする。この場合、拡張キュー制御機構を構成する受信制御機構とバッファ制御機構、さらに、拡張キューインターフェース機構が処理に関係する。この処理の様子を図5に示す。

##### (a) 受信制御機構の処理

- (a-1) プロセスAの通信制御表に対するアクセス権を獲得する。プロセスAの通信制御表とは、ユーザプロセスAと通信をするために必要な通信制御表のことである。
- (a-2) プロセスAの通信制御表内にあるシーケンス番号制御表の「コマンド番号」の欄を、REQUESTコマンドのコマンド番号に書き換える。
- (a-3) 同通信制御表内にある処理中コマンド制御表のそれぞれの欄に、REQUESTコマンドの

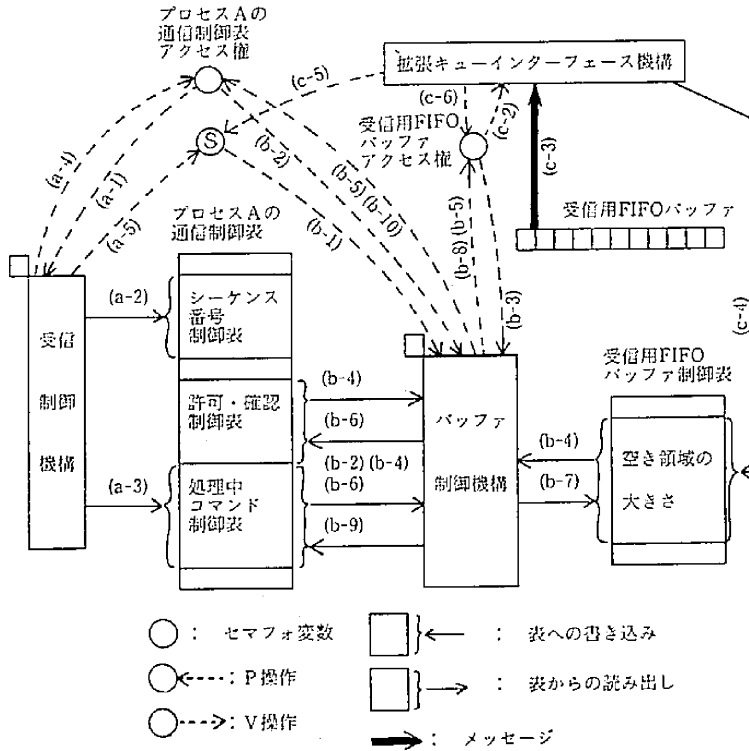


図-5 フロー制御に関する各機構の動作例

- ヘッダ[7]の内容を書き込む。
- (a-4) プロセス A の通信制御表のアクセス権を放棄する。
- (a-5) ExQCB 内にある FIFO バッファの検査を要求するためのセマフォ変数 (S) に P 操作を行う。これによって、バッファ制御機構が起動される。
- (b) バッファ制御機構の処理
  - (b-1) セマフォ変数 S に V 操作を行い、それに P 操作が行われるのを待つ。
  - (b-2) プロセス A の通信制御表の中の処理中コマンド制御表から、REQUEST コマンドが処理中であることを知る。なお、この時、プロセス A の通信制御表のアクセス権を獲得し、そのまま保持しておく。
  - (b-3) 受信 FIFO バッファのアクセス権を獲得する。

- (b-4) 受信 FIFO バッファ制御表の中の「空き領域の大きさ」の欄には、送信を許可したメッセージをすべて受信した後の受信 FIFO バッファの空き領域の大きさが記録されている。また、プロセス A の通信制御表内にある許可・確認制御表には、最後に送った CREDIT コマンドのパラメータが記録されている。そこで、この2つから、受信できる最後のメッセージのメッセージ番号を調べる。これと、REQUEST コマンドのパラメータから、CREDIT コマンドのパラメータを決定する[7]。REQUEST コマンドのパラメータは、同通信制御表内の処理中コマンド制御表から知ることができる。
- (b-5) (b-4) の処理の結果、受信できるメッセージが1つもない場合には、(b-1) の処理に戻る。この時、獲得しているすべてのアクセス権を放棄する。

- (b-6) CREDIT コマンドを送信する。コマンド番号は、プロセス A の通信制御表内にある処理中コマンド制御表のコマンド番号と同じである。また、同通信制御表の中の許可・確認制御表に、このコマンドのパラメータを書き込む。
- (b-7) 送信を許可したメッセージをすべて受信した後の受信用 FIFO バッファの空き領域の大きさを、受信用 FIFO バッファ制御表内にある「空き領域の大きさ」の欄に書き込む。
- (b-8) 受信用 FIFO バッファのアクセス権を放棄する。
- (b-9) プロセス A の通信制御表の中の処理中コマンド制御表を空にする。
- (b-10) プロセス A の通信制御表のアクセス権を放棄する。そして、(b-1) の処理に戻る。

#### (c) 拡張キューインターフェース 機構の処理

- (c-1) ユーザプロセスによって、拡張キューからの読み出しのファンクションが呼び出される。このファンクションのパラメータは、ExQCB へのポインタである。
- (c-2) 受信用 FIFO バッファアクセス権を獲得する。
- (c-3) メッセージを読み出す。ただし、メッセージが 1 つも書き込まれていなければ、メッセージが書き込まれるまで、受信用 FIFO バッファアクセス権を放棄して通信プロセスを待ち (WAIT) 状態にする。なお、読み出したメッセージは、ExQCB のバッファポインタが指すバッファに書き込む。
- (c-4) 受信用 FIFO バッファ制御表の「空き領域の大きさ」の欄の数値を 1 増す。
- (c-5) セマフォ変数 S に P 操作を行う。
- (c-6) 受信用 FIFO バッファアクセス権を放棄する。

#### 5. 拡張キュー監視機構の動作

拡張キューシステムの各機構の状態を調べるために拡張キュー監視プロトコルが規定されている[7]。しかし、HOLENET における MP/M モニタのもとでは、拡張キュー監視プロトコルを実現するのは困難である。そ

れは、次の理由による。すなわち、このプロトコルを実現するためには、任意のプロセスの状態を検査する機能が必要である。しかし、この機能は、MP/M モニタには用意されていない。また、本システムの場合、特定のプロセスのみが外からの影響でエラー状態となることはない。通常、注意しなければならないのは、ホストのダウンである。ホストがダウンすると、拡張キュー監視機構自体の動作が不可能になる。

そこで、拡張キュー監視機構は、HOLENET においては、拡張キュー監視プロトコルを実行するかわりに、レイヤ 1 が提供するネットワーク監視機能[7]を利用してネットワークの監視を行う。拡張キュー監視機構は、一定時間ごとにレイヤ 1 に対しネットワークステータスコマンドを出しその応答を受け取る。そして、この応答を監視表に書き込む。これと同時に、その応答からダウンしたホストを検出すると、拡張キュー登録機構、および、拡張キュー設定機構に対しダウンしたホストが存在することを通知する。この通知は、各機構が持っているデータグラム用キューを利用して実行される。

各機構は、この通知を受け取ると、ダウンしたホストに関係する拡張キューに対してエラー処理を行う。例えば、拡張キュー設定機構は、設定した拡張キューがダウンしたホストに存在するユーザプロセスによってアクセスされるものならば、その拡張キューを制御管理している拡張キュー制御機構を消去するなどの処理を行う。また、各機構は、任意の時に拡張キュー監視表を調べ、エラー処理を行うこともできる。

#### 6. あとがき

本稿では、拡張キューシステムのモジュール機構について述べた。ただし、アクセス方式が 1:1 方式の拡張キューに対するモジュール機構などは、紙面の関係で省略した。しかし、プロセスの構成、コントロールブロックの使用法の基本的な部分は、本稿で用いた例と同様である。

本システムの特徴の 1 つは、拡張キューシステムを構成する各機構が各々 1 つのプロセスとなっており、各プロセスは単一事象を待つように構成されていることである。したがって、単一事象待ちの機能を提供するモニタを使う小規模のシステムにおいて特に効果的に使用できると思われる。

拡張キューシステムは、HOLENET においてはレイ

ヤ2において実現されることを前提としており、また、それが実現上容易でもあると思われる。しかし、これをレイヤ1において実現することにすれば、拡張キュー監視プロトコルの実現も可能になる。つまり、ホストダウン時にも、拡張キュー監視機構は、HOLENETのサブネット (CCP 群) 上で動作を続けることができるからである。

今後の課題は、本システムを HOLENET 上で実現し、その有効性を確認することである。また、本システムは、データフローに着目したインターフェーシング手法であるので、これをメモリ共有型のマルチプロセッサ構成の通信制御システムに適用することも検討の余地があると思われる。

#### 謝 辞

日頃御指導いただく本学・情報工学科の安在弘幸・教授に感謝します。

#### 参 考 文 献

- [1] 松下：“コンピュータ・ネットワーク”，培風館，p.260，(1983)
- [2] 猪瀬，苗村，田畑，浅野：“コンピュータネットワーク技術”，情報処理学会，p.105，(1980)
- [3] P.B.Hansen，田中 訳：“並行動作プログラムの構造”，日本コンピュータ協会，p.339，(1980)
- [4] Y. Shigematsu：“HDLC Oriented Local Area Experimental Microcomputer Network：HOLENET”，The Application of Mini-and-Micro-Computers in Information, Documentation and Libraries, North-Holland, pp.721-727, (1983)
- [5] “DCNA 機能制御レベルプロトコル”，日本電信電話公社，p.392，(1981)
- [6] 重松，柴田，小出：“教育・研究用マイクロコンピュータネットワーク HOLENET”，ローカルエリアネットワークシンポジウム論文集，情報処理学会，pp.115-122，(1983)
- [7] 小出，重松：“ローカルコンピュータネットワークにおけるプロセス間通信方式の一検討”，九州工業大学研究報告（工学），No.49，(1984)
- [8] 柴田：“教育・研究用マイクロコンピュータネットワーク HOLENET”九州工業大学・情報工学科修士論文，p.67，(1984)
- [9] 小出：“ローカルコンピュータネットワークに関する研究”，九州工業大学・情報工学科修士論文，p.53，(1984)