

小特集 広域情報処理システム

《解説》

# ARPA ネットワーク

田中英彦\*

## はじめに

地理的に離れた計算機システム相互を結合することは比較的早くから行なわれており、軍事システムや航空座席予約システムにおいてその例がみられる。しかし汎用の電子計算機網が技術的、経済的に意味をもち始めたのは、データ伝送、ミニコンピュータ、タイムシェアリングシステムなどの技術が成熟した最近のことであり、特に電子計算機網(Computer Networks)という言葉が広く使われ始めたのは、何といても1970年のSJCCで発表<sup>1)~5)</sup>されたARPA網以後であろう。

ARPA網は米国防省のAdvanced Research Projects Agencyが主体となって構成している計算機網であるが、汎用の計算機網としては世界最大規模のものであり、また、その目的も実験網として将来の情報

処理システムを目指す本格的な網である。すなわち、網に含まれる諸計算機システムのさまざまな特徴あるハードウェア、各所で開発され蓄積されているソフトウェア、また、さまざまなデータなどを計算機網の利用者が互いに共有し合うということを目的とし、一般にはリソース(資源)共有という名で呼ばれている。

ARPA網は、リンカーン研究所とSDCとの間で1966年に行なわれたリソース共有実験の経験に基づいて、網の建設が1968年に始められ、1969年末には4計算センタからなる最初の網が完成した。その後5年半ほどになるが、網の規模は合衆国のみならず欧州にも広がっており、40数カ所を結ぶ大規模な網にまで発展している。

## 1. ARPA網の概要

ARPA網では、各地の計算機センタを通信回線で

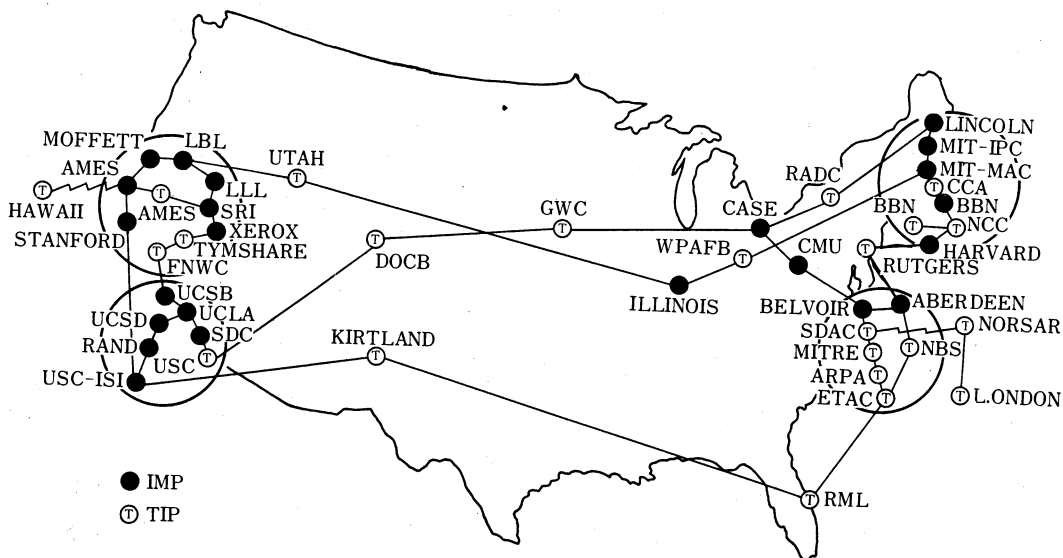


図1 ARPA網(1974年6月現在)

\* 東京大学 工学部

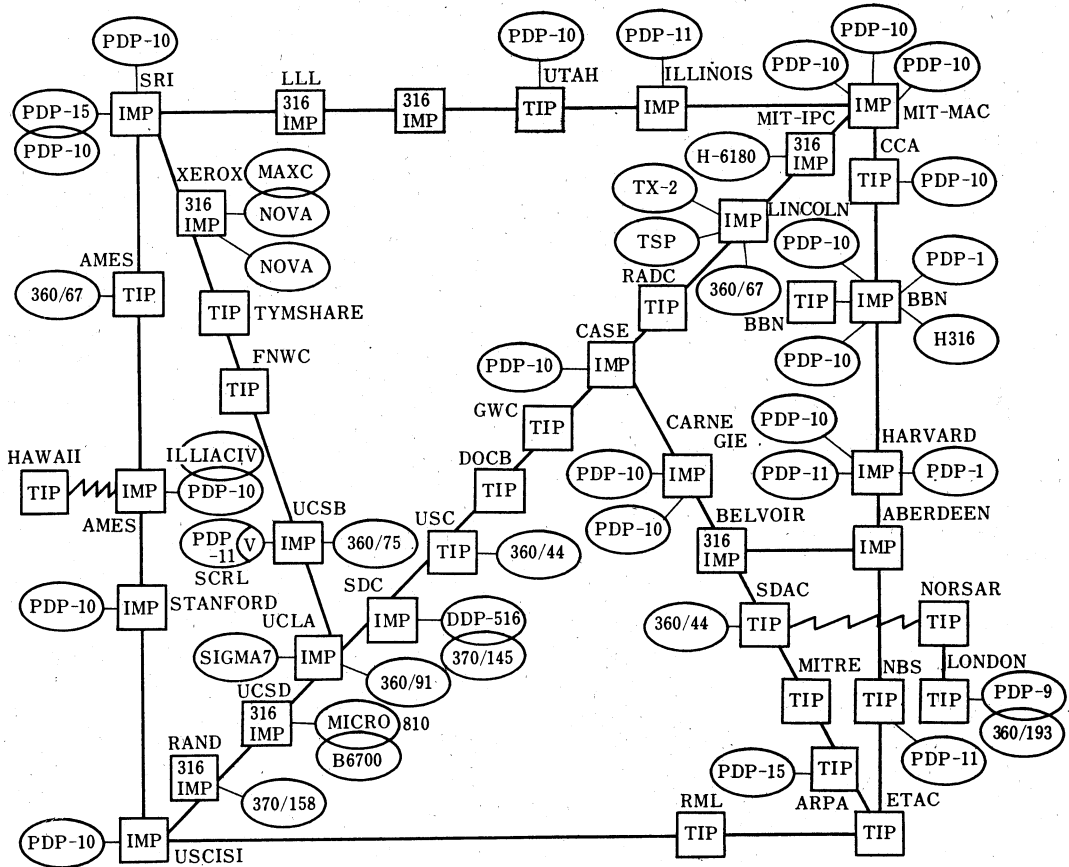


図2 ARPANET 網計算機種 (1973年9月現在)

結合するのにつぎのような方法をとっている。すなわち、網の各ノードに同種の小型プロセッサを設置し、それらを専用線で相互に結合して1つの網を作る。各計算センタはその小型プロセッサに接続をしそれによって網に参加する。小型プロセッサの網はサブネットと呼ばれているが、このように計算機網が通信系部分と計算処理部分とに明確に分けられている点の特徴である。これによってデータ伝送制御に関する部分を各計算機から明瞭に分離した結果、両者の役割がかなり明白に切離されている。通信用小型プロセッサはIMP (Interface Message Processor) と呼ばれ、処理計算機のはうは HOST と呼ばれている。

サブネットは、1974年6月現在、図1のような構成になっている<sup>7)</sup>。図中、黒丸や①で示す所がネットワークノードで小型プロセッサの置かれている所である。このように、米国大陸のみならず、ハワイやノルウェー (NORSAR)、英国にまで接続が伸びている。通信回線としては 50 kbps の専用回線 (政府所有) が主であるが、中にはより高速 (230.4 kbps) の回線が一部使われているほか、通信衛星も使われている。

IMP に接続されている HOST の数は 50 を越すが、さまざまなメーカーの機種や特徴ある装置を含んでいる。図2は少し古いだが、1973年9月現在のハードウェア・リソースを示す図である。64台のプロセッサからなる超大型計算機 ILLIAC IV から、小型の PDP-11 までさまざまな計算機種がみえる。

ネットワークの開発は主としてつぎのようなことが問題になる。

- ① IMP の設計と回線トポロジー・容量の設計
- ② 網を利用するための制御プログラムの規約を定めることと、諸サービスセンタを設けること。
- ③ システムのモデル化と性能の測定

IMP は BBN 社 (Bolt Beranek and Newman Inc.) が開発し、トポロジー設計は NAC (Network Analysis Co.) が行ない、システムのモデリングは UCLA が中心になった。また性能測定は、BBN 社と UCLA とで行なわれた。さらに網を能率良く、便利に利用可能とするための諸ソフトウェアの開発は諸大学と研究所の代表グループ (Network Working Group) によって開発が行なわれ、現在も進められている。

## 2. 通信系の構成

### 2.1 サブネットの概要と経過

IMPを相互結合した通信網—サブネット—によって HOST 間のメッセージ授受が行なわれるが、サブネット間での情報伝送は最大 1008 ビットのブロック (パケット: packet と呼ぶ) 単位に分割されて送られる。この場合、パケットはメッセージの発信 HOST が接続された IMP から、宛先 HOST の接続された IMP まで何回か中継 IMP を経て伝送されるが、各 IMP から隣接 IMP への伝送はパケットごとの蓄積再送方式 (パケット交換) で送られる。この IMP の開発や網の運営は当初から BBM 社によって行なわれており、その開発状況は 1969 年 4 月から 3 ヶ月ごとに発表されてきた IMP 技術報告<sup>6)</sup>に詳しい。

IMP の設計が最初に行なわれてからもう 6 年経過している。したがってその間さまざまな改良が行なわれているが基本思想は変わっていない。その基本思想とは、IMP に高度の自律性をもたせたことであって、IMP に接続される HOST が通信の詳細に関することができるだけ少なくし、HOST の出入口からみれば、網は透明に見えるようにしたことである。これによって HOST 部分と網部分とを明確に区別し、またそのインターフェイスを標準化して多くの HOST の参加を容易にしている。また、実験網であること、大規模網であることなどから、網の現況把握用の手段がサブネット内に用意されている。

### 2.2 サブネットの構成

サブネットは、通信用小型プロセッサとそれを結ぶ専用回線とからなっているが、ここではそれらの構成とその考え方について述べる。

#### 2.2.1 ネットワークトポロジーの選定<sup>3), 4), 15)</sup>

トポロジー設計は、網内回線をどこに張り、どのような容量をもたせるかを定めることである。この設計の評価基準としては、スループット、伝送遅延、コスト、信頼性などが用いられている。計算機網では網の利用形態がさまざまであり、したがって通信系に対する要求も広範である。会話形処理では短いパケットを発信 IMP から着信 IMP まで短い遅延時間で伝達できることが要求されるし、ファイル転送では一般に大量の情報を高速に伝送することが要求され、したがって長いメッセージに対しては伝送遅延をあまり問題にしないが実効的なスループットの高いことが必要である。信頼性に対しては、各 IMP ペア間に少なくとも独立な 2 経路が存在することという制約条件を課して

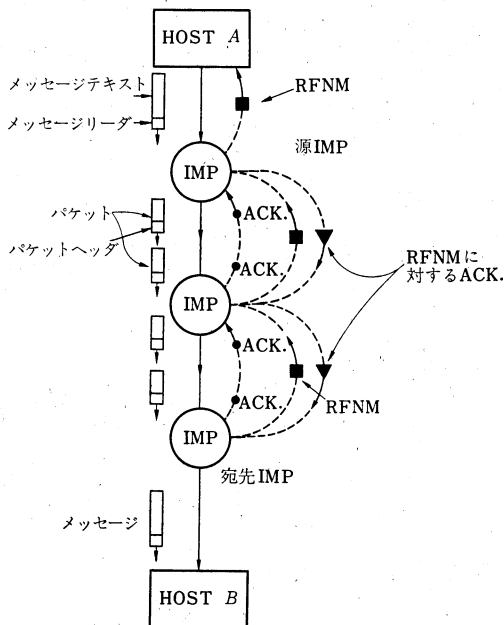


図 3 メッセージのパケット伝送

おり、これとダイナミックな迂回方式とを用いて IMP 障害や回線障害に対する対策としている。さらに、網発展に併う毎回の変更が既存網に与える影響をできるだけ少なくするようにして増設が行なわれてきた。

#### 2.2.2 IMP の機能<sup>7)</sup>

図 3 はメッセージが HOST A から HOST B へ届けられる手順を示したものである。HOST は IMP に対し (またはその逆) 最大長 8095 ビットのメッセージを 1 度に渡すことができるが、その先頭の 32 ビットはリーダと呼ばれ、宛先 HOST 名などが記述されている。源 IMP はその後メッセージを最大 1008 ビットまでのパケット単位で受取り、ヘッダやチェックコード、フレーミング文字、ACK フィールドなどを付けて回線に送り出す。ヘッダは 64 ビットからなる情報で、源—宛先両 IMP アドレスのほか、メッセージ番号、そのメッセージ内のパケット順を示すパケット番号のほか幾つかの制御情報からなる。

図 3 はメッセージが 2 つのパケットに分割されて伝送されている様子を示している。各パケットが隣接 IMP に正しく受信されると、肯定応答信号 (Acknowledge) が送出 IMP へ戻される。このようにして各パケットは網内をつぎつぎと中継され、宛先 HOST が接続されている IMP に到着する。このとき、各パケットごと、自由に網内を中継されるので、宛先に届いた時は必ずしも源 IMP からの送出順になっているとは限らない。宛先 IMP に、あるメッセージを構成す

る全パケットが到着すると、そこで各パケットのヘッダなどが取除かれ再結合をしてもとのメッセージに組立てられる(リアセンブル)。でき上がったメッセージは宛先 HOST へ送られ、受諾されると RFNM (Ready for Next Message) と呼ばれるメッセージがその IMP 内で作られて源 HOST まで返送される。RFNM も1つのメッセージ(1パケット)であり通常の ACK を受けるが、RFNM に対しては RFNM は返されない。

(1) 源 IMP—宛先 IMP 間のメッセージ流制御

宛先 HOST へメッセージが正しい順序で到着することを保証するためつぎのような方法が取られている。源 IMP と宛先 IMP との各ペアに対し論理的なパイプを設け、それを通るメッセージに一連の番号をふる。メッセージ番号は8ビットであるが、源—宛先 IMP 間で現在伝送中のメッセージ番号範囲(ウィンドと呼ぶ)を設け、その範囲内にある番号をもったメッセージは宛先 IMP で受領するが、範囲外の番号をもつものは重複及至エラーとして棄てざる。現在、ウィンドサイズとしては4が用いられている。メッセージ番号はサブネット内でのみ使われる番号で、HOST からは見えない。また、源—宛先 IMP 間のパイプは、優先(短遅延)パイプと非優先(高帯域)パイプの2本であり、伝送に優先度が設けられている。

(2) 隣接 IMP 間のパケット流制御

隣接 IMP 間の回線上では、各送信パケットに対し ACK 信号の返送があるが、これには ACK 返送の能率を上げるためつぎのような方法が取られている。網の初期には、各パケットに対し個別に ACK パケットを返す方式が取られていたが、能率が低いのでこのように変更された。

まず、各回線を各方向8つずつの論理チャンネルに分割し、すべてのパケットに設けた16ビットのACKフィールド内の8ビットおのおのに対応させる。すなわち、チャンネル番号*i*を付けて送ったパケットに対する ACK は、逆方向の任意のパケット内 ACK フ

ィールドの #*i* ビットにのせて返される。ACK が戻ってくるとそのチャンネルは空いたことになり、つぎのパケット伝送を開始することが許される。

パケットを回線に送り出すとき、パケット行列から最初に選ばれるのは新しい優先パケットで、つぎに新しい通常パケット、それもなければ ACK の戻らないパケットの順である。もちろん、後者の再送パケットについてはこのほかにタイムアウトの監視が付いており、タイムアウトになると新パケットと同様の扱いを受ける。伝送回線上のパケットフォーマットを図4に示す。テキスト内のデータはどんなビットパターンであってもよく(コード・トランスペアレント)、ASCII コードの DLE と同じパターンが現われれば、すぐその後と同じ DLE 文字を挿入して伝送し、受信側で取除くことによってフレーミング(開始・終了)との識別が可能になっている。

(3) 径路選択方式

源 IMP から宛先 IMP までの径路を選ぶ場合、その伝送遅延が最小となるような径路が動的に選択される。この径路は前もって定められた径路ではなく、中継各 IMP が独自に最適出線を選択する結果定められる。各 IMP での出線選択は、各宛先 IMP おのおのに対しそれぞれの出線からパケットを送出した時の推定遅延時間が入っているテーブル(Delay Table)を引くことにより、迅速かつ容易に行なわれる(図5参照)。このテーブル内の値は、網の輻輳状況、トポロジを反映しており時々刻々更新される。すなわち、各 IMP はこの内、各宛先に対する最小推定遅延時間のリストを周期的(640 ms)に隣接 IMP と交換し、隣接 IMP からのリスト情報と自分から各隣接 IMP への推定遅延時間とを用いて、新たな自分のテーブルを作成する。この処理に関して、IMP は網のトポロジを知っている必要はない。したがって、トポロジを変更することは容易である。

(4) トラヒック制御<sup>7),9)</sup>

トラヒックの輻輳は、システム障害やピークトラヒ

ハードウェア生成

ソフトウェア生成

ハードウェア生成

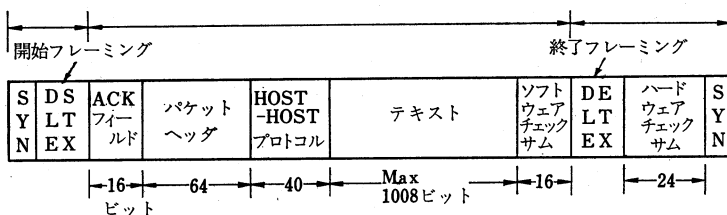
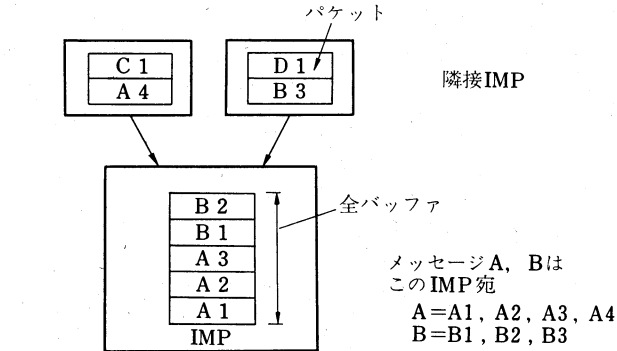


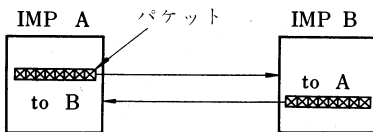
図4 パケット・フォーマット

宛先	出線			
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
A	3	6	2	5
B	7	1	5	3
C	2	4	4	4
D	5	3	4	2
E	3	4	6	5

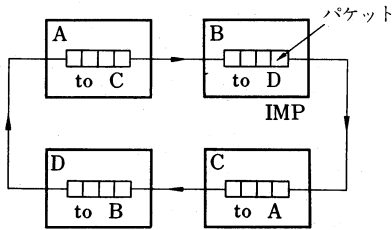
図5 遅延テーブル



(a) リアセンブリ・ロックアップ



(b) 直接蓄積再送ロックアップ



(c) 間接蓄積再送ロックアップ

図6 ロックアップ

ックなどさまざまな原因で生じるが、これは通信機能を低下させるばかりでなく、はなはだしいときには通信を完全に止めてしまうこと（ロックアップ）がある。これには、蓄積再送ロックアップとリアセンブリ・ロックアップとがある（図6参照）。これらロックアップを避けるために、IMPの全出線入線のおおのに少なくとも1つのバッファを割当てることと、マルチパケットメッセージの転送時は第1パケットをサブネットに取込んだ段階で宛先と源の両IMPにバッファ予約することが行なわれている。

(5) 障害対策

回線障害、IMP障害などのサブネット障害に対しては、障害検出手段とそれに対する対策用IMPプログラムが用意されている。まず障害検出については、

- ① hello bit と I heard you bit のやり取りによる回線断の検出法
  - ② IMP間最短経路長監視
  - ③ 回線制御ハードウェアやIMP自体の障害に対するソフトウェアチェック
- などの機能がある。①は毎回のルーティング・メッセージ内に入れた hellow bit と、返事としての I heard you bit（ヘッダ部のみの null パケット内）の交換によって回線断を監視するもの、②は遅延テーブルと同類の方法により各IMPにおいてその時点における他IMPへの最短経路長（中継数）を監視しており、それがある値を越すと対応IMPとの径路断（孤立IMP）と判定する。

対策としては、ダウンしたHOST宛メッセージはそのIMPにおいて棄て去り源IMPにその旨通知することとか、IMP障害時、隣接IMPからIMPプログラムの再ロードを開始し復旧を目指すなどの方法が用意されている。

2.2.3 IMPの構成

(1) プロセッサ<sup>8)</sup>

通信制御プロセッサは当初 Honeywell 社のミニコン DDP-516 を用いたIMPだけであったが、その後、廉価版（コスト1/2、性能2/3）の316IMP（DDP-316）、TIP、High Speed Modular IMP（Lockeed SUE 最大14台からなる）など、いくつかのタイプが開発されている。TIP<sup>10)~12)</sup>は、316IMPに端末制御部分（マルチラインコントローラ）を組み込んだもの（Terminal IMP）で、HOSTをもたないユーザー端末から直接サブネットへのアクセスを可能にする機能をもっており、多くの潜在ユーザーからの需要を掘起こすのに役立っている。また、HSMI-MP<sup>6),17)</sup>は新しいIMPのモデルであって、より高速（516IMPの1桁上）で、機能に合わせた拡張能力をモジュラー化により達成しようとするものである。

516IMPに取付可能な回線数は全二重5回線、HOST数は4台であり、両方合わせて7以下でなければならない。またIMPは、対HOSTインターフェイスによってもいくつかの種類があり、接続可能距離によって3種類（30ft{9m}以下、2,000ft{610m}以下、VDH）存在する。VDHは2,000ft以上の場合で、これには通常のIMP間通信に用いられているモデムインターフェイスが用いられている。

メモリはコアであるが、その容量は初期バージョンの12kWからだんだん増加しており、1973年初期16

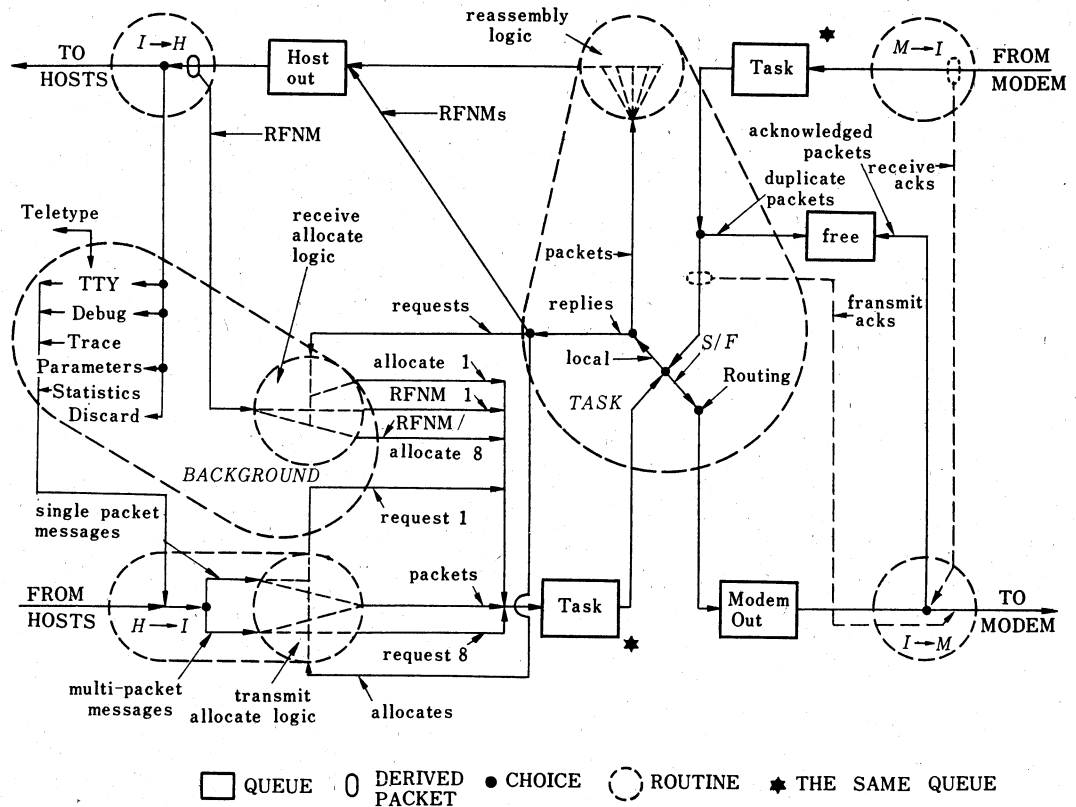


図7 IMP内処理フロー

kW に増設, 1974 年中期には 19 kW になっている。これは IMP の機能が拡大されて種類が増し, 再ロード時の初期化に必要なメモリ量が増したからである。

(2) IMP プログラム<sup>7)</sup>

プログラムは機能的に異なった 15 のルーチンからなっており, このうち 7 つは IMP を通るパケット制御に直接関係するもので, パケット処理, モデムチャンネル制御, HOST インターフェイスの制御, タイムアウト処理などを行なう。

IMP 内パケットフローとその処理の流れを図 7 に示す。プログラムの制御構造は, 最も優先度の低いバックグラウンドから最も高い Modem to IMP のハードウェア割込まで 11 のレベル構造になっている。クロック割込は 25.6 ms 周期で生じタイムアウトルーチンが起動される。

2.2.4 端末インターフェイス

計算機網をユーザが利用する場合の端末接続径路は, 各 HOST の固有会話形端末またはリモートジョブ端末, TIP, ANTS (ARPA Network Terminal System) の 3 通りである。TIP<sup>10)~12)</sup> は最初コアメモ

- 1 : TIP に対する端末タイプ ID
- HELLO : TIP の返答
- @HOST 1 : 接続すべき HOST をユーザが指定
- @LOGIN : 接続設定要求
- T R OPEN : 接続完了の通知
- LOG ON : UCLA Σ 7 からのメッセージ
- . : } ユーザと Σ 7 間の対話
- . : }
- LOG OFF : Σ 7 からのクローリングメッセージ
- @CLOSE : Σ 7 と TIP 間の切断指示
- T R CLOSED : TIP からの切断完了通知

cf @ は, TIP へのコマンド指定

図 8 TIP の利用例

り 20 kW でスタートしたが, その後 IMP 機能の増大, 扱う端末種類の増加, 新 TIP コマンドの追加などにより 28 kW に増設されている。TIP に接続できる端末は 63 台まで, 同期式, 非同期式のを回線速度 75 bps~19.2 kbps で接続可能である。現在接続されている端末は, 幾種かの会話形端末, ラインプリ

ンタ、グラフィック・ディスプレイなどであり、メモリを 4kW 増設すれば磁気テープの接続も可能である。図 8 に TIP から UCLA の HOST 計算機 SIGMA 7 へログインする場合の利用例を示す。

ANTS は PDP-11 上に組まれたフロントエンドのプログラマブル通信プロセッサであり、ミニ HOST として TIP または IMP に接続して使われる。TIP が非常に限られた種類の端末しか扱えないのと異なり、いかなる端末でも扱える。また、リモートジョブエントリの機能もサポート可能であり、したがって ANTS はソフトウェア的には、後述する網制御プログラム (NCP) の HOST/HOST プロトコル上の全機能を備えたミニ HOST である。

これらの端末の特長としてはつぎのようにいわれている。まず、標準会話形端末からのアクセスに対しては TIP が最も経済的であり、標準的でない会話形端末や他の端末、またスマート端末などからでは ANTS が適し、より複雑な端末や巨大計算・検索などに対しては大きな HOST 計算機の端末からアクセスするのが適当である。

## 2.3 サブネットコストとパフォーマンス

### 2.3.1 通信コスト<sup>26)</sup>

ARPA 網上を流れるパケットの数はかなりの勢いで増加しているが、通信コストはそれに従って相対的に減少してきており、現在では計算処理コストの 20~30% 程度といわれている。

通信コストは通信プロセッサのレンタル料と、パケット数に比例したコストからなり、516 IMP では

$$\text{COST} = \$1700 + 30¢ \times n \quad \text{／月}$$

ただし、 $n$  はパケット数 (単位  $10^3$  パケット) である。TIP では \$1700 の所が \$3300 になり、ANTS を用いる場合は、さらに \$2700 加算される。

### 2.3.2 パフォーマンス

ARPA 網内にはさまざまなサービスセンタが設けられている。たとえば網制御センタ<sup>6)</sup> (Network Control Center: NCC)、網測定センタ (Network Measurement Center: NMC)、網情報センタ<sup>13)</sup> (Network Information Center: NIC)、などがある。

NIC は、Stanford Research Institute に設けられているが、ここには、各計算センタの電話番号・責任者などのリストや諸技術のドキュメントリスト、および各計算センタで利用できるプログラムリソースの主要を記したリソースノートブックなどの情報が蓄積されている。

NCC は BBN 社に設けられているが、網の動作

状態の統計データを集めることになっている。また NMC は UCLA に置かれ、IMP 内に組み込まれた測定システムを用いて網の特性を測定する機能を持っている。この測定システムは、各 IMP 内に設けられ、外からのプログラム制御のもとに利用することができる。この測定システムはつぎのような機能を持っている。

まず、ある時間間隔での各ノードにおけるメッセージ長、数、遅延時間、誤り率の統計データをメッセージとして送出する機能、ある瞬間における IMP の状態記録を取る機能 (スナップショット)、特定のメッセージが網内を走る状況をトレースする機構などのほか、人工トラヒックを生成することもできる。このほか、IMP 内に組み込まれたモニタリング機能 (NCC 用) として、ステータスレポートがある。各 IMP は 1 分に 1 回の割りりで周期的に NCC へ 1 つのステータスレポートを送る。これらは NCC で処理され、オペレータに網内障害を知らせたり要約した統計などを生成する。

### ・測定結果

サブネットの特性についての測定結果<sup>14), 15)</sup> は以下の通りである (1973 年 8 月)。

- ① 単一パケットメッセージ対マルチパケットメッセージ = 25 : 1
- ② 平均パケット数 / メッセージ = 1.12
- ③ 平均ラウンド・トリップ・メッセージ遅延 = 93 ms
- ④ 平均径路長 = 3.31 チャンネル
- ⑤ パケット誤り率 =  $7.7 \times 10^{-5}$
- ⑥ IMP 障害率 = 1.64% (1974 年 8 月)
- ⑦ 回線切断率 = 1.02%

⑧は、IMP が HOST からメッセージ転送を依頼されてからそのメッセージに対する RFNM を宛先 IMP より受取るまでの時間で、設計目標値 200 ms に対する値である。

つぎに回線オーバーヘッドの測定結果を示す。プロセス間でメッセージの授受を行なう場合、それを制御するためのコマンドや伝送制御文字 (SYN, DLE etc)、チェックサム、パケットヘッダ、ルーティングメッセージ、ステータスレポートなどはすべてオーバーヘッドになる。測定によると<sup>16)</sup> (1974 年 5 月)。

- ① 回線上のパケット数 = 4.27 パケット / 秒
- ② 伝送パケット中のサブネット制御メッセージ = 49.15%
- ③ HOST/HOST 間パケットの内、コントロールコマンドの割合 = 41%

利用のさまざまな実験についても述べる。

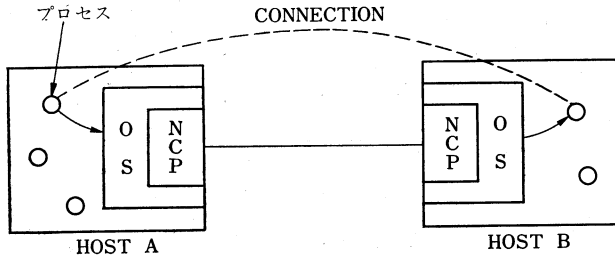


図9 網制御プログラム

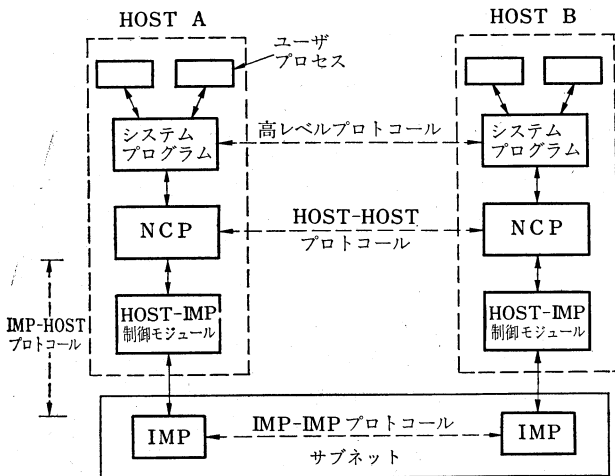


図10 諸プロトコール

であり、したがって、回線の利用率はオーバーヘッドも含めて6.59%で、これから諸オーバーヘッドを差引けば、50 kbpsのうち実際のデータが用いているのは296 bps (0.59%)にすぎない。しかしこれは平均トラフィックであって、回線を飽和にまでもってゆきただけメッセージの負荷を増せば、プロセス間通信データとしてどの程度になるか推定すると、50 kbpsの20%のほぼ10 kbpsという値が得られている。もちろん、送るメッセージの単位長にも依り、単一文字のメッセージと最大長メッセージとは最大実効データ速度が数十倍も異なる。

### 3. 処理系の構成

計算機を結合し相互に情報授受を可能ならしめるためには、数多くのソフトウェア上の問題を解決せねばならない。特に ARPA 網のように本格的な異種計算機網のリソース共有を達成するためには、多種の計算機ハードウェアの差異や、言語や利用法の差異を克服することが問題である。ここでは、そのような問題に対して取られている方式を紹介すると共に、計算機網

### 3.1 計算機網ソフトウェアの基本構造<sup>18)</sup>

各 HOST 計算機内にはそれぞれオペレーティングシステムが存在するが、網として結合するにあたって既存の OS に網制御プログラム (NCP: Network Control Program) が付加されている。図9に示すように、ソフトウェアからみれば各 HOST は、OS とその下で動いているプロセス (タスク) とからなるものとみなすことができ、網から各 HOST を見た場合の OS が NCP である。したがって計算機網の利用とは、異なる計算機システムそれぞれの中で動いているプロセスが協調しあって1つの仕事を行なうことであって、NCP の最も基本的な役目は、ある HOST と他の HOST の内に存在するプロセス間での連絡手段 (プロセス間通信) を提供することである。ARPA 網ではこのような観点を基礎にソフトウェアシステムが作られている。各計算機システム内での処理形式は一般に異なるので、計算機間で共通の取定めを設定し各 HOST がそれに従うという形を取っている。この取定めをプロトコール (protocol) と呼んでいるが、それにはさまざまなものがある。ARPA 網での諸プロトコールの関係を図10に示す。

すなわちプロトコールは階層構造になっており、高レベルプロトコールは実際の処理目的・機能に応じた取定めを設定し、それより下位の低レベルプロトコールは基本的な通信機構を設定する。最も低位のプロトコールはサブネット内の IMP 間プロトコールであり、メッセージを源 IMP から宛先 IMP に届けるための、前章に述べたような諸取定めが含まれる。このレベルではメッセージの意味について何の取定めもなく、単にある大きさのビットストリームとして扱われるのみである。この上にあるプロトコールは IMP-HOSTプロトコールであって、IMP-HOST 間でメッセージ授受法を取定め、それによって HOST 間の仮想通信路を構成する。このプロトコールによって HOST は、ほかの適当な HOST にメッセージを送る手段が提供される。

HOST-HOST プロトコールはさらにその上に作られているもので、リモート計算機内の適当なプロセスとの間の通信リンクを設定したり保持したりするための規則のセットである。すなわち、ほかのリモート計算機システム上にあるプロセスと通信したいプロセス



が、そのローカルスーパーバイザ (NCP) に要求を出すと、NCP は HOST-HOST プロトコルのもとで通信を設定しそれを保持する。

ARPA 網ではこれまでのレベルのプロトコル構成によってユーザプロセスに通信の基本手段セットを提供し、それによってユーザプロセスは OS や通信についての詳細を知らずに済ませることができる。このレベルのプロトコル上にさまざまな機能向きプロトコルがあり、ARPA 網をさまざまな目的で利用するためのモジュールセットが存在する。このとき、これら機能向きのプロトコルの利用する通信環境は単方向性のバイト単位伝送システムである。

### 3.2 低レベルプロトコル

計算機間通信の基本になるプロトコルを低レベルプロトコルと呼ぶが、前述のようにこれには、IMP-IMP, IMP-HOST, HOST-HOST の各プロトコルがある。この内、IMP-IMP については前に述べたので、ここでは後2者について述べる。

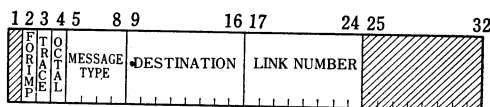
#### (1) IMP-HOST プロトコル<sup>8)</sup>

IMP-HOST 間のメッセージは最大 8095 ビットであり、先頭の 32 ビットは図 11 のようなリーダである。リーダは、HOST から IMP へのもものと IMP から HOST へのもものによって内容が異なっている。図中、Destination, Source はそれぞれ宛先、源 HOST の番号であり、Link number は対応するプロセス間の仮想通信路の番号である。この番号は通信開始時に双方の NCP 間で取定められ、その後のメッセージ伝送ではこれによって通信相手プロセスを識別する。また先頭の 8 ビットは IMP の制御に使われる。

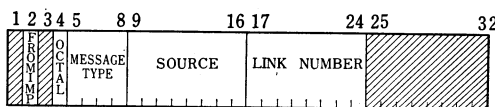
#### (2) HOST-HOST プロトコル<sup>18)</sup>

HOST-HOST プロトコルは各計算機内で走っているプロセス間の通信に対する取定めであり、これを制御するプログラムが NCP である。ARPA 網では、プロセス間通信を行なうとき、実際のメッセージ転送に先立って両プロセスの間で通信契約としての connection を設定し、それに適当な番号 (リンク番号) をふってからメッセージの授受を始める。この connection は単方向性であり、会話形でプロセス間の通信を行なうときには 2 つの connection を設定する必要がある (図 12 参照)。

プロセス間で通信契約を交わす場合、プロセスのネームが必要になるが、一般には各 HOST でその付け方が異なるので標準の仲介ネーム (ソケットと呼ぶ) を用い、網上ですべての



(a) HOST-to-IMP リーダ



(b) IMP-to-HOST リーダ

図 11 メッセージ・リーダ

HOST がその仲介ネームを用いることによってプロセスの指定を行なっている。したがって、網上に存在するさまざまな connection は両 HOST 番号とソケット番号対とによって唯一に指定される。この connection に対し、さらに短縮 ID としてリンク番号が用いられている。リンク番号はメッセージを受ける側の NCP がユニークに定める。リンク番号が 0 のリンクは特に制御リンクと呼ばれ、諸 NCP 間のリンクとして始めから定められている。

リンク上を走るメッセージ形式は先頭の 32 ビットがリーダであり、そのあとに続く 40 ビットのフィールドが HOST-HOST プロトコルでさらに利用されている。これは、両 HOST マシンの語長差に対処するためのフィールドで、通信時に用いるバイトの大きさ (6, 8, 24 ビット etc) と、そのバイト単位で数えたメッセージ長が含まれている。

プロセスはシステムコールにより NCP に対して connection の確立、切断、メッセージ転送などを依頼するが、それにはつぎのような基本オペレーションがある。( ) は、パラメータである。

- ① Initiate connection (local socket, foreign socket)
- ② Wait for connection (local socket)
- ③ Send, Receive (local socket, data)

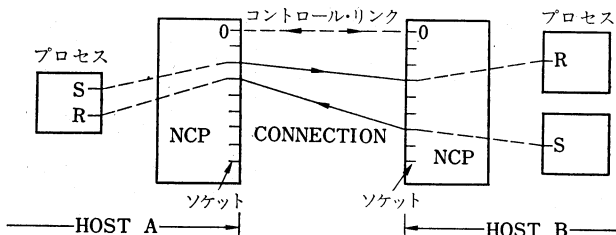


図 12 ソケットとコネクション

表1 コントロールコマンド

略称	名称	機能
STR RTS CLS	Sender to Receiver Receiver to Sender Close	接続確立 接続断
ALL GVB RET	Allocate Give Back Return	メッセージ フロー制御
INS INR	Interrupt by Sender Interrupt by Receiver	割込用
ECO ERP	Echo Echo Reply	テスト用
RST RRP ERR	Reset Reset Reply Error	誤り制御 と通知
NOP	No operation	無機能

- ④ Close (local socket)
- ⑤ Send interrupt signal (local socket)

リモート NCP とローカル NCP との間で交わすコントロールコマンドには、リンク設定・解放コマンド、メッセージフロー制御コマンド、割込コマンド、および誤り通知コマンド、テストコマンドなどがある。表1にコントロールコマンドの一覧表を示す。

リンクの設定は、双方のソケット番号の付いたSTR、RTS コマンドを交わし合うことで確立する。切断はCLS コマンドの交換によってリンク解放とみなされる。ARPA 網でのメッセージフローは2つのレベルで制御されている。1つは、同時に複数メッセージを単一リンク上で送らせないことであり、メッセージ送出後その RFRNM が戻って来ないうちはそのリンクをビジーとみなしつぎの転送を禁止している。ほかはコントロールコマンドを用いることで、データメッセージの転送に先立って受側 NCP が送側 NCP に対してメッセージバッファを割当て (ALL コマンド)、送側ではその範囲内でメッセージ転送を行なうという方法である。したがってそのバッファが尽きると、送信側からはメッセージを送出できない。

割込コマンドは、1つのリンクに対しその両側のプロセスどちら側からでもそのメッセージ転送に割込むことを可能にするコマンドである。また、リセットコマンドは、NCP 間の制御が狂い回復不能になった場合に初期状態に戻すためのコマンドである。

前述のプロトコルはすべての網利用における基礎となるものであり、計算機網をより有効にまた容易に使うため、種々の使い方に対して設計された高水準のプロトコルがその上にある。これらにはつぎのようなものがある。

- ① 初期接続プロトコル (ICP)
- ② テレコミュニケーション・ネットワーク・プロトコル (TELNET)
- ③ データ転送プロトコル (DTP)
- ④ ファイル転送プロトコル (FTP)
- ⑤ リモートジョブエントリ・プロトコル (RJEP)
- ⑥ メールボックス・プロトコル (MBP)
- ⑦ グラフィックス・プロトコル (GP)

ICP は、異なる HOST 内のプロセス間で connection を確立するための標準手法を与えるもので、相手のソケット番号が未知の場合に利用する。TELNET はローカルなキーボード端末と、会話形処理サービスを提供しているリモート HOST 間の通信を可能にするもので、端末のバラエティに対処するため、網仮想端末 (Network Virtual Terminal) が設定されており、そのための標準化が、キャラクタセット、エコーイング (ローカル vs リモート)、接続の確立、アテンションハンドリングなどに対して行なわれている。図13にTELNETの制御フローを示す。

DTP は網を通してデータを送るため、データをフォーマティングする標準手法を与えるものであり、より高位のプロトコルを実装するのに用いることができる。FTP はリモート HOST に蓄えられたファイルを読み書きし、また更新するための標準手法を与えるもので、各所にあるファイルシステムそれぞれの差異がみえないように工夫されている。RJEP はリモート HOST にバッチジョブを依頼し出力結果を得るためのプロトコルである。MBP は人と人との間でメッセージを授受するためのサービスで、プロトコル開発などに従事している人々に広く利用されている。GP<sup>20)</sup> は図形情報を取扱うための標準手法を定めるプ

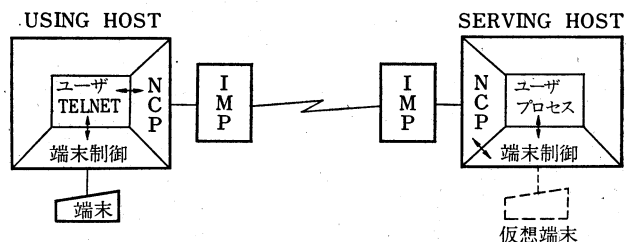


図13 TELNET

3.3 高レベルプロトコル<sup>19), 20), 29)</sup>

ロトコールである。

### 3.4 諸サービス

計算機網を利用する基本的な道具立てのほかに、網を利用する場合に便利なもしくは不可欠なサービスがある。前述の網サービスセンタもその一種であるが、ここではそれ以外に ARPA 網で用いられたり試みられている諸サービスについて述べる。1つは諸計算機内のデータ記述の差異に対処するためのデータ変換サービスで、他はリソース共有をユーザが便利に行なうための便宜を与えるユーザサービスである。

#### 3.4.1 DRS<sup>21),22)</sup>

異機種網においては、各 HOST 内のデータ表現やファイル利用手続などの差異が問題になる。このうち、前者に対処するため、データ供給者と利用者間にデータ再編プログラムを置き、これを動かして両者間のデータ変換をオンラインで行なうシステムがある。これを用いると、データサーバとユーザ間の接続があたかもされているように見える。ARPA 網ではこのサービス（インタプリタ）を特定の HOST（UCSB, MIT）上で行なっており、Data Reconfiguration Service と呼んでいる（図14参照）。

DRS では、必要なデータ変換を記述したフォームと呼ばれるプログラムをそのネームとともに蓄積し、のちほどその利用者が必要に応じ呼び出して利用する。このとき、ユーザはそのフォームをネームで呼び出し、データサーバプロセスとユーザプロセスとを指定すれば、両者間のデータ流に特定の変換がなされる。

フォームを記述する言語はかなり簡単なもので、これを用いて、フィールド挿入・除去、可変長レコードのコード変換、ストリング長の計算、フィールドの位置変え、圧縮されたデータストリームのアンパッキングなどが容易に記述できる。

このサービスは、ユーザプログラムとサーバプログラムとに対する変更が最少で済みかつ経済的であるが、実時間データ変換の実効データ速度はあまり高くない。

#### 3.4.2 ユーザサービス

計算機網は、そのリソースが多いほど有用性が増す。しかし逆にユーザから見れば、諸リソース間の非両立

性が増すことによって、特別な援助システムが無いとますます利用が難しくなる。すなわち網利用に関して、

- ① リソースについての情報を得る手段
- ② リソースへのアクセス手続きの多様性対策
- ③ 特定の HOST を持たない端末ユーザからの網への参加を容易にすること

などが問題になる。リソース情報については単にリソース個々の情報に止まらず、相互に比較し選択するための援助、また自動的に適当な（または指定の）リソースを取得（自動ログイン）する手段などが問題になる。②については、統一的なアクセス手続きから各個別の手続きに自動変換することや、より容易なアクセスを可能ならしめる援助システムが必要であろう。③については TIP, ANTS に関連して前述した。

NIC のリソースノートブックも1つのオンライン情報サービスであるが、より強力なリソース選定・取得の援助をするサービスとして、以下 RSEXEC, REX システムについて述べる。また最後に述べる NAM は②に対する一実験である。

#### (1) RSEXES<sup>23)</sup>

TENEX HOST 計算機上で走る分散エクゼクティブシステムで、ARPA 網上の HOST 間リソース共有を可能とするシステムである。TENEX はページングハードウェアを備えた PDP-10 上で走るタイムシェアリング OS で、現在、ARPA 網内で最もポプラーナリソースの1つである。RSEXEC は、多くの TENEX を結合したマルチ HOST TENEX システムを実現するほかに、TENEX 上の他ユーザの居所を問合わせつぎに自分の端末とその相手端末とをリンクしてオンラインで対話する援助をしたり、いくつかの TENEX ファイルシステムを結合して1つの複合ファイルとするなどのサービスをもサポートしている。このうち、問合わせ機能は、特に TIP ユーザに対して便利になっており、特定の HOST にログインする以前の状態で利用できる。

#### (2) REX システム<sup>24)</sup>

REX は、端末ユーザが簡単な問合わせ言語を用いることによって網リソースについての情報を得ることを可能にすると同時に、リソース取得要求を出せば自動的にそのリソースへの接続をしてくれるシステムであり、ARPA 網上で開発されている網リソースマネージャのプロトタイプである。

REX では単なるリソース情報を提供するほかに、特定のリソース位置やリソース比較のための情報をも提供する。さらにそのリソースを取得する方法をも記

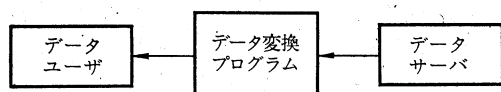


図 14 Data Reconfiguration Service

述する。REXの現在のバージョンでは、情報検索に関する全機能は持っているが、実際のリソース取得はいくつかのチュートリアル・ヘルプサービスへの結合のみに限られている。しかし最終的な目標は、ユーザが選んだ諸リソースと結合するための諸プロトコルをREXに実行させることである。

### (3) NAM<sup>25)</sup>

異種計算機網でさまざまなリソースを利用するためには、ユーザは多くの異なるアクセス手続きを憶えねばならない。たとえば、初期接続、ログオン、サブシステムへのアクセス、ログオフ、切断などの手続きがそうである。しかし、真に便利な網とするためには、ユーザは端末での複雑で冗長な手続きに煩らわされてはならない。

このような問題に対するアプローチとして、ユーザと網との間にミニコンピュータを置き、各リソースへの適当なアクセス手続きを生成できるようにする方法がNAM (Network Access Machine)である。NAMはNBSで開発されているが、プログラムジョブコントロールによる機能をユーザに与えると同時に、計算機網内の各システムの評価道具として、またコマンド標準化への試みに必要な道具としても利用できるものである。

## 4. 網利用例と将来

ARPA網は実際どのように利用されその結果どのようなことが見出されているか、また網の将来はどうあるべきかなどについていくつかの例<sup>26)</sup>を挙げる。

### (1) 計算機種のスムーズな移行

SRIで計算機XDS 940をPDP-10に代えるとき、新しい機種のソフトウェア開発にUTAH大学にあるPDP-10を用いその結果移行がスムーズになされた。これにはファイル転送プロトコルを利用している。

### (2) 網利用による計算コストの低減

イリノイ大学のCenter for Advanced Computationでは、もとあったB 6700のレンタルを解約し代わりにANTSを用いてUniv of California at San DiegoにあるB 6700を網から利用することに定め移行が行なわれたが、2~3ヵ月のうちに完了しその結果、以前よりも信頼性高く、サービスレベルも向上している。また、コストも以前\$40k/月だったのに対し、その40%の\$16kに減少している。その内訳はつぎの通りである。

\$16k=\$9k(UCSD計算コスト)  
+\$2.7k(ANTSリース代)  
+\$2.0k(オペレーションコスト)

+\$1.7k(IMPリース代)

+\$400(通信コスト)

### (3) 大規模なシミュレーション実験

イリノイ大学のLaboratory for Atmospheric Researchで大規模な気象シミュレーションがなされた。まず、UCLAのIBM 360/91用のバッチプログラムの準備をUSC-ISIのPDP-10上で行なってそれを360/91に送り、コンパイルと数時間を要する計算が行なわれ多量のデータベースファイルが生成された(これにはファイル転送プロトコルやUCSBにあるDRSサービスが用いられている)。このファイルはついでUCLAからUSC-ISIに送られ、PDP-10のサブルーチンを用い軌跡マップの形で出力が作られた。これをイリノイ大学に送り、結果として出力表示された。

### (4) 分散並列処理 McROSS<sup>27)</sup>

これはBBN社で開発された航空トラフィックモデリング用の単一計算機によるシミュレーションシステムROSS (Route Oriented Simulation System)の拡張で、シミュレーションを多くの計算機(TENEX)上で分割(シミュレーション区域として)して並列に実行するものであり、実験用分散形プログラミングシステムである。

### (5) 問題に適したマシンの選択

数多くの計算機を容易にアクセスできる環境にあると、諸計算機の特徴が明確になり、自分の問題に向いた最適なシステムを選ぶことが可能になる。たとえば、会話形処理に対してはB 6700やPDP-10が向いており、大きなバッチ処理に対してはIBM 360/91や問題によってはILLIAC IVが向いているなどである。これは非常なコスト節約になりうるもので、プログラミング労力やシステム開発のためのコンピュータコストなどは1/2~1/5になるといわれている。

### (6) 協同研究

共通のデータベースがあり共通の数値技術を利用できれば、各研究者は他研究者と協力して能率良く研究を進めることができる。また、個々の研究プロジェクトによって作られた新しいリソースは、容易にほかのマシンへ移すことができないのが普通であるが、網を利用すれば各地からそれを利用できる。個人間通信に関しても網のメールボックスを用いれば、迅速かつ効果的に通信が可能である。

### (7) 網の将来

網が発展し便利になってゆくためには、それがリソース選択の広範な市場になることが大切である。たとえば、同じBASIC言語を用いるにしてもそれをサポ

ートするマシンがさまざまに存在するように、同類のサービスを提供する場合にもさまざまな形（フィロソフィ）でサポートすることが望ましい。また、リソース共有プロトコルが発達するに従って、リソースはそれぞれ特定の種類の問題（高速数値計算、大容量ファイルetc）に対し最も効率が良いように作成しうる。一方、同機種が数多く網内に存在することは、バックアップ機能にもなるしロード共有が可能になる。網の利用が進むにつれて、ソフトウェア開発の重複は減少し、また新しいハードウェアへの移行もスムーズになるであろう。

しかし、網を作り上げそれに参加してゆくことはユーザの心理的抵抗がかなり予想されるし、また管理運営の面で解決されなければならないこと（課金、ソフトウェアやデータの秘密保護など）が多い。さらに、将来計算機網がいくつか建設されてくると、それら相互を結合することが問題になる。このためのネットワーク間プロトコルの研究<sup>28)</sup>も進められている。

#### 参 考 文 献

- 1) L. G. Roberts and B. D. Wessler: Computer network development to achieve resource sharing; SJCC, 543/549, May (1970)
- 2) F. E. Heart et al.: The Interface Message Processor for ARPA computer network; SJCC, 551/567, May (1970)
- 3) L. Kleinrock: Analytic and simulation method in computer network design; SJCC, 569/579, May (1970)
- 4) H. Frank, I. T. Frisch, and W. Chou: Topological considerations in the design of the ARPA computer network; SJCC, 581/587, May (1970)
- 5) C. S. Carr: HOST-HOST communication protocol in the ARPA network; SJCC, 589/597, May (1970)
- 6) F. E. Heart: Interface Message Processor for the ARPA computer network; BBN Report, Quarterly Technical Report No. 1~19, April 1969~Oct. 1973.
- 7) BBN: The Interface Message Processor program; AD-781466, June (1974)
- 8) L. C. Roberts: Interface Message Processor-Specification for the inter-connection of a HOST and an IMP; BBN Report No. 1822, Oct. (1971)
- 9) R. E. Kahn and W. G. Crowther: Flow control in a resource sharing computer network; IEEE Trans. Vol. COM-20, No. 3, 539/545, June (1972)
- 10) S. M. Ornstein, et al.: The Terminal IMP for the ARPA computer network; SJCC, 243/254 (1972)
- 11) D. C. Walden: User's guide to the terminal IMP; NIC No. 10916, Sept (1972)
- 12) N. W. Mimno, B. P. Cosell, and D. C. Walden: Terminal access to the ARPA network; experience and improvements, COMPCON 39/43 (1973)
- 13) Network Information Center and Computer augmented team interaction; Augmentation Research Center SRI, RADC-TR-71-175, June (1971)
- 14) G. D. Cole: Performance measurements on the ARPA computer network; IEEE Trans. Vol. COM-20, No. 3, 630/636, June (1972)
- 15) L. Kleinrock and W. E. Naylor: On measured behavior of the ARPA network; NCC 767/780(1974)
- 16) L. Kleinrock W. E. Naylor and H. Opderbeck: A study of line overhead in the ARPANET; Intl. Inst. for Applied Sys., Austria Oct (1974)
- 17) Lockheed Electronics: The system user engineered computer from Lockheed Electronics; カタログ (1972)
- 18) A. McKenzie: HOST-HOST protocol for the ARPA network; NIC 8246, Jan. (1972)
- 19) S. D. Crocker, J. F. Heafner and R. M. Metcalfe: Function-oriented protocols for the ARPA computer network; SJCC 271/279 (1972)
- 20) D. Cohen and E. Taft: Fast interactive computer graphics over the ARPA network; Proc. 7th Hawaii Intl. Conference on Sys. Science, 19/21, Jan. (1974)
- 21) V. Cerf, E. F. Harslem et al.: An experimental service for adaptable data reconfiguration; IEEE Trans. Vol. COM-20, No. 3, 557/564, June (1972)
- 22) E. F. Harslem, J. Heafner and T. D. Wisniewski: Data Reconfiguration Service Compiler; R-887-ARPA, April (1972)
- 23) R. H. Thomas: Resource sharing executive for the ARPANET; NCC 155/163 (1973)
- 24) J. W. Benoit and E. G. Weboter: Evolution of network user service-the network resource manager; Proc. 1974 Symp. Computer Networks, 21/24.
- 25) R. Rosenthal and S. W. Watkins: Automated access to network resources; A Network Access Machine, ibid, 47/50.
- 26) M. S. Sher: A case study in networking; DATA-MATION, 56/59, March (1974)
- 27) R. H. Thomas and D. A. Henderson: McROSS-A multicomputer programming system; SJCC 281/293 (1972)
- 28) V. G. Cerf and R. E. Kahn: A protocol for packet network interconnection; IEEE Trans., Vol. COM-22, No. 5, 637/648, May (1974)
- 29) D. W. Davies and D. L. A. Barber: Communication Networks for Computers; John Wiley & Sons Co., (1973)
- 30) 元岡達編: 計算機システム技術; オーム社 (1973)