

解説



# KUIPNET システム†

坂井利之‡ 北澤茂良‡

## 1. KUIPNET の構成

KUIPNET<sup>1)</sup>の構成を、情報媒体向きの特殊リソースを有するコンピュータシステム、これらリソースを結合するプロトコル、ネットワーク向きのオペレーティングシステムの三つの項目について述べる。

### 1.1 コンピュータ・リソース

KUIPNET は研究室内の音声・画像などの研究グループが使用していた子計算機と親計算機のコンピュータ・コンプレックスの手动による切替方法を自動化し、並列化するため星型の中心にメッセージ交換機を置いて親子計算機を結合できる構成としたインハウスの情報処理用のコンピュータ・ネットワークである。1978年11月現在、図-1の構成で稼動中である。メッセージ交換機 (IMP) は加入計算機 (HOST) とモデムを介さずに 1.6 Mbps のデータ転送速度を持つ半二重の伝送路で結合されている。IMP のチャンネルの優先順位は高速のデータ転送を行う経路を随時に高位に割当てることができる。この機構によって、デジタル音声の実時間転送と同時に低速のデータ転送が可能である。星型結合では中心にメッセージ交換機が必要となるが、このように集中制御すれば HOST 間の経路の優先順位指定が容易で、また交換機の蓄積用バッファで HOST のデータ転送速度の差異が吸収される。従って Loopnet や Ethernet のように、分散制御のためメッセージ発信の際に局間での干渉が避けられなかったり、蓄積用バッファが無く、通信中の 2 局は同期してデータを送らねばならないものとは区別されなければならない。

NEAC 2200/250 B はネットワーク向き OS NOS<sup>2)</sup>の下に、大容量のファイル管理、言語処理プログラム、応用プログラムを提供している。MELCOM 70 は音声処理用のミニコンで音声データ入出力用 AD, DA

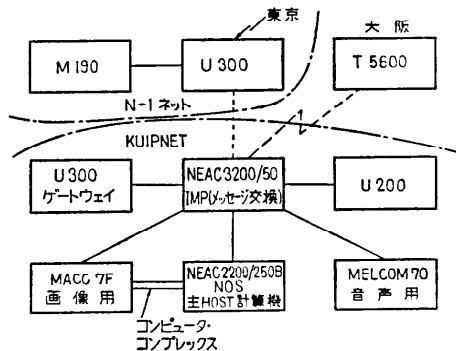


図-1 KUIPNET の構成図

変換器などを制御する。MACC 7F は画像処理用のミニコンで、NEAC 2200/250 B と計算機結合を形成して画像処理システムを構成している。

### 1.2 プロトコル

コンポーネント (HOST) の独立性を前提として相互接続の規約をプロトコルとして定めるコンピュータ・ネットワークの思想は KUIPNET のような中距離、小規模のネットワークでも有効であった。プロトコルの実現方式に大きな自由度があるので KUIPNET のように加入 HOST 計算機が個々に画像・音声処理などの応用向きにハードウェアとソフトウェアを確立してきたという実情によく合ったやり方であった。KUIPNET のプロトコルは IMP-HOST, HOST-HOST, ユーザの 3 レベルであり、それぞれ次のようになっている。

**IMP-HOST** HOST 及び IMP 側のハードウェアレベルのインタフェース条件とデータ転送制御からなる基礎レベルのプロトコルである。インハウス用の簡易な構成の高速な計算機結合装置を開発した。転送単位は 8095 ビット以下のメッセージで、先頭に 72 ビットの宛先、リンク番号などからなるヘッダが付く。

**HOST-HOST** 論理レベル (ソフトウェアレベル) でのネットワークを介しての処理は、複数 HOST に分散されたプロセスで実行され、実行時の同期とデータ交換はプロセス間通信で実現される。プロセスはソ

† The KUIPNET System by Toshiyuki SAKAI and Shige-yoshi KITAZAWA (Department of Information Science, Kyoto University).

‡ 京都大学工学部情報工学教室

ケット番号で識別され、このソケット間に論理的リンクを確立してプロセス間を相互に結合する。メッセージはリンク番号によって識別され、確立されたリンク上を流れる。プロセス間の通信は HOST の OS の一部にインプリメントされる NCP (Network Control Program) によって制御される。

ユーザ ユーザプロセス間の関係を規定する。タイプライタ型の仮想的な端末を想定した TELNET やファイル転送のためのプロトコルなどがインプリメントされている。

### 1.3 オペレーティングシステム

ネットワークの主 HOST となる NEAC 2200/250 B にネットワーク向き OS NOS<sup>2)</sup> を開発した。NOS は他の HOST から NEAC のリソースを利用するためにネットワークを介してのジョブとローカルジョブとの多重処理、実時間プロセスの運用などが可能である。

ミニコン HOST のネットワーク加入は、ミニコンという性格上必ずしも汎用機のような接続方式をすべて採用する必要はなく、使用目的が画像・音声入出力装置制御、端末装置接続、プロトコルの異なるネットワーク間を接続するためのゲートウェイなどの目的別機能を提供することになるので、制御システムの設計上考慮すべき点は限定される。このため HOST とネットワークとの接続は簡単化でき、MELCOM 70, MACC 7F, U 200, U 300 などにはモニタ、NCP を約 2kW (1W 16 ビット, バッファ 500 W) でインプリメントできた。

## 2. 動作の概要

KUIPNET の利用形態として、実時間データ転送、大量データ転送、文字列データ転送がある。ネットワーク上での転送のためにどのように処理され、どのような形態で転送されるかを表-1 に示した。

表-1 KUIPNET のデータ転送の分類

タイプ	内容	メッセージ長	情報単位長	実測転送速度
実時間 データ転送	音声波形: 原波形	7,760 ビット	1回の発話	120 kbps
	フィルタ出力	3,936	10秒	39.36 kbps
	ゼロ交差波	3,936	1回の発話	9.0 kbps
大量 データ転送	画像データ	1,616	フィルム	—
	オブジェクト コード	1,520	1コマ	—
	磁気テープ	656	1プログラム 1リール (1,200 ft)	3.0 kbps
文字列 データ転送	コマンド	144(測定値)	1コマンド	—
	会話型パッチ	218(測定値)	80文字以内	36 bps

### 2.1 実時間データ転送

音声データ処理のために音声波形を忠実に (10kHz サンプル, 12ビット量子化) 実時間で転送しファイルに格納するにはプロセス間で 120 kbps 以上のスループットを保証しなければならない。実測によれば、MELCOM (音声入力) から NEAC (ファイル書込) へ 400 kbps のスループットがある。転送中に途切れが生じないために IMP のチャンネルの優先順位指定ハードウェアの上位を指定する。NOS (NEAC) ではファイル書込みプロセスを優先スケジュールとする。

情報圧縮した音声データの実時間転送は性能上の要求としてはそれほど厳しくない。MELCOM で 20 チャンネルのフィルタバンクの出力を 10 ビット (1語 16 ビット内に収容) に量子化し、10ms/フレームでサンプルする。NEAC のデータ形式変換の処理量軽減のため、この数値は NEAC の 3語分を使用して 18 ビットに表現し、連続 10 フレームを 1 メッセージとして転送する (18 ビット×20 チャンネル×10 フレーム=3,600)。ヘッダ 72 ビットを加え、しかも両 HOST の語長 (6,16) の公倍数のメッセージ長とするため 3,936 ビットをメッセージ長とした。従って、必要な転送速度は 39.36 kbps である。既開発の音声合成法としてのゼロ交差波では、ローマ字書きの日本語を入力とし、これは自動的に NEAC 内の 2進データ系列に変換される。文章内容により、データ長は可変で、ネットワーク内での合成音声データの速度は実測で平均 9.0 kbps である。

### 2.2 大量データ転送

画像データは、NEAC のファイルに格納され、キーボードから会話的に処理を指示する。処理結果は MACC に返送されて表示される。画像データは分解の粗さによるが、例えば 1 画面を 256×256 点、各絵素 6 ビットで表わす。画面 (393k ビット) の左端から右端へ一走査線分のデータ (1,536 ビット) を 1 メッセージ (1,536+72+α=16×101=1,616 ビット) として転送する。表-1 の中のデータは以下同様の扱いをしている。実際には IMP での優先指定がないことが多いので、1 画面の転送時間は 1~5 秒程度である。

NEAC 2200/250 B は 210 M 字のディスク装置が接続されている。ネットワークのミニコン HOST は音声・画像などの生データを格納するのにネットワークを通じてこのファイルを使用する。

ファイルの転送は例えば媒体の変換の際に用いられる。NEAC 2200/250 B では 7トラックの磁気テープ

装置が接続されている。IMP に9トラックの磁気テープ装置が接続されていて、この両者間でファイル（順編成）を転送して規格の異なる媒体間の変換を行うことができる。この際、7ビットと9ビットのコードの変換、レコードをネットワークの転送単位（72バイト）に区切るなどの処理が含まれるのでテープからテープまでのデータ転送速度は実測で 3.0kbps となった。

### 2.3 文字列データの転送

コマンドやソースプログラムなどは文字列として人間がキーボードから入力する。このためにデータ量は少なく、データの発生は間歇的である。ソースプログラムの入力、コンパイル、リスト出力までの一連の操作を行っている場合に、キーボードとプリンタに関するデータの流れを実測したところ平均 36 bps であった。ネットワークを通過するための遅延時間はデータ伝送路で 0.6  $\mu$ s/ビット、IMP での処理時間を含めた測定結果は次章に示した。

## 3. ネットワークの測定<sup>3)</sup>

KUIPNET は高速のトラフィックを扱うので、ネットワークの測定には高速で容量の大きい記録装置が必要となる。データ記録用の磁気テープ装置は 0.5 インチ、800bpi、1,200 フィート、9トラックでデータ転送速度 30k 字/s である。これを 250  $\mu$ s のクロックと IMP のスイッチングプログラムに組込んだデータ収集モジュールとに組合せて IMP を測定装置として用いる。以下に示す数値と統計量とはこのシステムによる。本システムでは IMP の CPU 空き時間、蓄積用バッファ利用率、メッセージ長の統計、送受間のトラフィックマトリクスなどを求めることができるが、ここでは次の2例を示す。

### 3.1 メッセージが IMP で費やした時間

発信 HOST からの転送要求を IMP が知った時刻から IMP がこのメッセージを受信し宛先 HOST へ向けて転送が完了するまでの時間(図-2)をメッセージが IMP で費やした時間として測定した。これは IMP が発信 HOST の転送要求を検出する時間と転送要求コマンドの信号伝搬遅延時間とを含んでいないが、共に極めて小さい値であるから、これはメッセージの伝送遅延時間にはほぼ等しい。

U300 のタイプライタから NOS の会話システムを使用中に NOS から U300 へ送られた制御コマンド 118 個について IMP で費やした時間を測定し、結果を

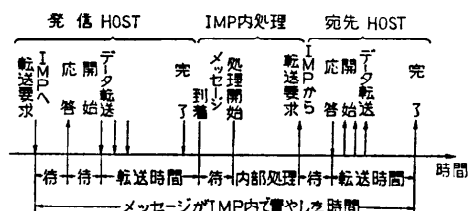


図-2 メッセージが IMP で費やした時間の解析

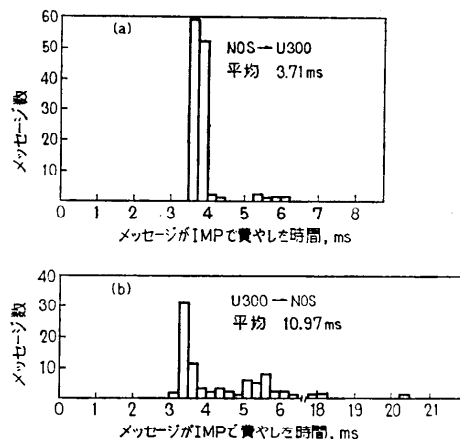


図-3 U300 と NOS の間で交換された制御コマンドについて測定した、メッセージが IMP で費やした時間のヒストグラム

図-3 (a) のヒストグラムに示す。U300 から NOS へ送られた 116 個について図-3 (b) に示す。メッセージが U300 から NOS へ達する時間分布の分散が NOS から U300 への場合と比べて大きい。これは NOS では、受信時には転送要求割込を多重処理中の他のプロセスの割込処理が済むまで受付けないのに対して、送信時には IMP からの応答割込を最優先で受け付けるからである。このため NOS の応答時間は受信時に多重処理中のジョブの数によって大きく変化するものが図-3の測定結果に表われている。

### 3.2 月間メッセージ数

磁気テープに記録開始 (1976年4月)以降のトラフィックデータから、月間メッセージ数を求めたのが図-4である。季節変動に次のような特徴がある。

(a) ピークは4月5月、9月10月、1月2月の3箇所である。一方、7月8月、12月、3月の学年休暇時に対応して谷が3箇所ある。

(b) 休暇明けの9月は急激に立上る。一方、4月5月には徐々に増加する。

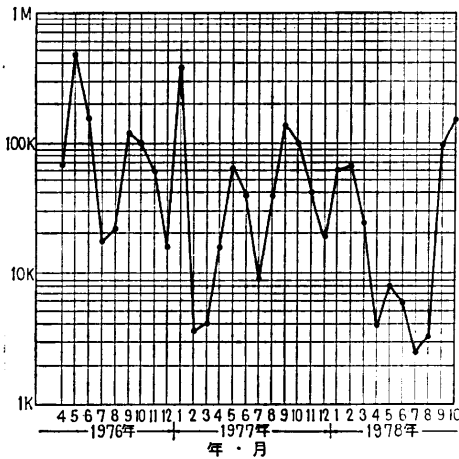


図-4 1カ月間の総メッセージ数の推移

#### 4. 考察

KUIPNET は大学研究室用のコンピュータ・ネットワークとして開発された。コンピュータ・ネットワークの構成技術、基礎技術の実地検証という目的は達成され実用運転中である。しかし、KUIPNET は現実には構内用で小規模であり、大規模なネットワーク方式を踏襲した蓄積交換、階層的プロトコル、HOSTの多重利用など汎用的な形態を採用したのは、汎用ネットワークの研究そのものも考慮の中にあつた（例、ファイル転送、会話型利用、異種ネットワークとの接続、ネットワークの測定）からである。小規模な効果的なシステムに留まる限り、得策であつたとはいえない。

ネットワーク上に2または3 HOSTを結合した多数の応用情報処理システムが開発された。例えば、対話型音声データ収集編成システム、会話型画像処理システム、磁気テープファイルの転送、TSSとの接続などがある。表-2に年度ごとに開発された情報処理システム数を示す。いずれも開発に0.5~1人年を要した。会話型画像処理システムなど、ハードウェアとソフトウェアの結合したシステムで開発コストの大きいシステムをネットワークで結合することによって遠隔地（図-1、大阪 T 5600）から使用したり他の処理系と結合して使用することが容易となった。

表-2 開発されたネットワーク利用情報処理システム数

年度	1973	1974	1975	1976	1977	1978
システム数	3	5	6	6	2	1

ネットワーク上に分散処理システムを構築するための問題点とその解決方法は次のようである。

(1) 処理装置間の距離が長いと通信コストが高いため装置間で転送されるデータ量を少なくしなければならない。KUIPNETでは回線使用料が不要で、しかも情報処理用に合格する高速データ転送可能な工夫を行ったので、音声・画像などの大量データを転送するネットワーク上の分散処理システムを構築できた。

(2) 分散処理システムが効果的に制御されるには、プロセス間通信という従来のOSでは実現が困難な機構をOS設計の核とした全く新しいOSが開発されねばならない。KUIPNETのNOSはネットワーク内プロセス間通信を中核に含めて設計され、同時に従来のOSがサポートしていた応用プログラムも互換性をもってサポートするよう拡張されている。

(3) ネットワークの測定システムが充実して、メッセージ単位、発着信HOSTごとに時刻、順序も詳細に記録できるようになったので、初期に経験したような、ステップごとでは問題がなく、実時間転送ではトラブルが生じるような微妙な現象も実時間現象の解析により容易に把握できるようになりデバッグの困難さが著しく減少した。

なお、表-2から見られるように、1977年以降に新規に開発されたシステムは少なくなっている。これは以前に開発された基本的なシステムがやや充実したためである。図-4の月間メッセージ数からも判るようにネットワークは定常的に運用されている。KUIPNETが比較的良く使用されている1つの理由は、インハウスであるために利用者がネットワークのリソースについて知識を得やすいことがある。この点では広域のネットワークではネットワーク情報の配布などかなりの努力が必要であろう。

#### 参考文献

- 1) Kitazawa, S.: Development of an Inhouse Computer Network KUIPNET, 京都大学学位論文 (1976年12月)。
- 2) 林 恒俊: 計算機網向きOS, NOSの開発——開発上の仕様とその一実現法——, 情報処理, Vol. 19, No. 9, pp. 860-866 (1978)。
- 3) Kitazawa, S. and Sakai, T.: Performance Evaluation of the Kuipnet Computer Network, Computer Communications, Vol. 1, No. 3, pp. 149-155 (1978)。

(昭和53年11月27日受付)