

分散形デジタル交換機のトラヒック特性

井出一郎 松永 亨 住田修一

日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所

あらまし 機能分散・負荷分散形デジタル交換機のトラヒック特性をプログラムシミュレータと環境シミュレータを用いて評価した。本稿では、主なトラヒック特性として接続遅延時間特性と負荷分散特性について報告する。また、両評価手法について評価の容易性、精度等の点から比較説明する。

1 まえがき

交換機制御系の呼処理容量の決定には、接続遅延時間、スループット等の総合特性の評価が必須であり、従来から評価手法としてプログラムシミュレータ、近似理論、環境シミュレータ等が用いられている⁽¹⁾。本稿では、機能分散・負荷分散形デジタル交換機⁽²⁾のトラヒック特性をプログラムシミュレータと環境シミュレータMETS-IIを用いて評価した結果について述べる。

汎用計算機を用いるプログラムシミュレータは、システム全体の評価のための豊富なデータが得られる反面、膨大な計算機時間を要するという問題がある。そのため、本稿で用いたプログラムシミュレータでは、機能分散・負荷分散の特徴を生かした簡略化を行い、高負荷時のシミュレーション時間の短縮化を図っている。

実システムの周辺系の動作を模擬する環境シミュレータは、制御系の応答特性（接続遅延時間）を実時間で測定することができ、システム全体の評価としては最も信頼できる。しかし、これは実システムのハードウェア、ソフトウェアとも完成していないと適用できないこと、および制御系内部の詳細な特性が得られないこと等の問題がある。

本稿の構成は次の通りである。章2

で対象とするシステムの呼処理方式について説明する。章3では、評価に用いたプログラムシミュレータの構成について、章4では環境シミュレータについて説明する。章5では、両評価手法を用いて得られたデジタル交換機のトラヒック特性について考察する。章6で、プログラムシミュレータと環境シミュレータの評価手法としての比較を行う。

2 デジタル市外交換機の概要

本稿での評価対象である機能分散・負荷分散形デジタル市外交換機D60（以下D60と呼ぶ）の制御系について述べる。

2.1 制御系方式構成

図1にD60の制御系構成を示す。制御系は、実時間性の厳しい入出力処

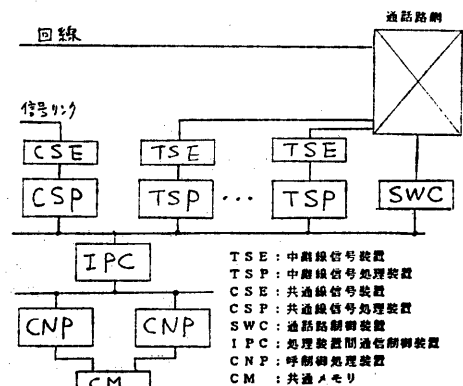


図1 D60形自動交換機制御系構成

信号送出の論理オーダを作成し、IPC内のCNP送信バッファへ送出する（内部処理）。IPCは、そのオーダをTSP受信バッファに転送する。

v) TSPは、周期起動のイベント受信プログラムによってTSP受信バッファから全オーダを取出し、Bレベル第1クラス待ち行列（BQ1）に登録する。BQ1レベルでは、起動完了信号送出オーダに従い、ハードウェア制御上必要な80msの信号送出待ちタイミングの後、前位局に起動完了信号を送出する（出力処理）。

3 プログラムシミュレータ

3.1 シミュレータの構成

汎用計算機を用いたプログラムシミュレータについて述べる。シミュレータは、モデルの記述性に優れた汎用シミュレーション言語GPS Sを用いて作成した。

プログラムシミュレータには、負荷形、サブコール形、及びフルスケール形の3種類がある⁽¹⁾。フルスケール形は、実際の呼処理を計算機内で忠実に模擬するもので、システム全体の精度の高い評価が可能である。しかし、これは膨大な計算機時間を要し、D60のような大規模システムの評価では大きな問題となる。サブコール形⁽⁶⁾は、呼処理をいくつかのフェーズ（サブコールと呼ぶ）に分割し、サブコール毎に独立に呼を発生させて模擬を行うものである。これはフルスケール形より精度は劣るが、所要計算機時間は少ない。

本シミュレータでは、機能分散・負荷分散の特徴を生かして、フルスケール形とサブコール形を併用し、模擬精度をあまり犠牲にすることなく、計算機時間の短縮化を図っている。

シミュレータの構成を図3に示す。

i) TSP模擬部：呼発生部、実行管理

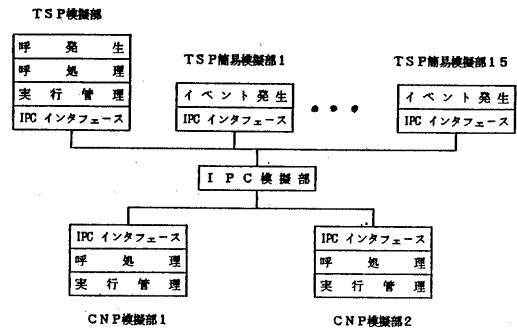


図3 プログラムシミュレータの構成

部、呼処理部、IPCインタフェース部より成り、呼をポアソン生起させ、実際の呼処理プログラムと同じ制御法のもとでTSPの動作を忠実に模擬する。

ii) TSP簡易模擬部：起呼、応答、切斷などのイベントをあらかじめ定められた比率に従って独立にポアソン生起させるイベント発生部と、IPCインタフェース部より成り、IPC及びCNPに負荷を加える機能をもつ。

iii) IPC模擬部：IPCのイベント送受信処理を忠実に模擬する。

iv) CNP模擬部：IPCインタフェース部、呼処理部、及び実行管理部より成り、CNPでの呼処理を忠実に模擬する。

本シミュレータの規模は、約7Kステップであり、実時間比は65万BHCA^(注1)時で約600倍である。

3.2 測定項目

GPS Sの豊富な統計機能を用いて各種接続遅延時間やトランザクション・トランク類等共通リソースの保留時間及び使用率等種々のトラヒック特性を約300項目にわたって測定した。また主要な測定項目については、batch-means法^(注2)によって信頼区間を推定した。

(注1) Busy Hour Call Attempts: 繁忙時1時間あたりに加わる数字受信完了呼数。

(注2) 1回の長い実験を統計処理上複数の区間に分割し、区間相互は独立とみなす方法。

4 環境シミュレータ

4.1 シミュレータの概要

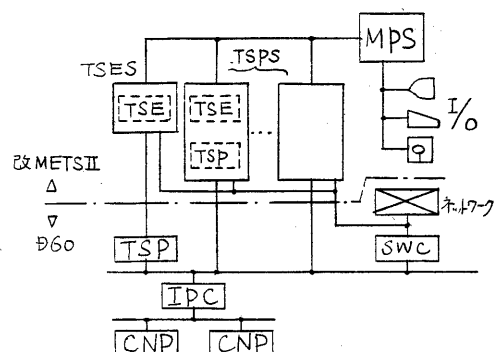
環境シミュレータは、CNP等の交換機制御系に対する通話路装置・呼動作等の外部環境を模擬し、制御系に模擬負荷を加えて遅延時間、呼数等のトラヒック特性を測定する装置である。

図4にD60制御系評価用環境シミュレータMETS-IIの構成を示す。TSEの呼動作を模擬するTSES、TSPの呼動作を模擬するTSPS、及び複数のTSES・TSPSを制御しマンマシンインタフェースを有するMPSの3種類の装置から成る。

METS-IIは、DTS-1⁽⁴⁾の制御系評価用環境シミュレータMETS⁽⁵⁾のソフト／ハードウェアにD60とのインタフェースをとるために機能変更を加えた装置であり、さらにプログラムデバッグのためのデバッグツール⁽³⁾としての機能も有している。METS-IIの各シミュレーション装置の負荷発生能力は、TSESで3.2万BHCA、TSPSで7.2万BHCAである。

4.2 実験方法

本装置では、実交換機とのインタフェース上での遅延時間と呼種別^(注1)呼数を測定した。負荷発生能力を上げるため、プログラムシミュレータのようにすべての呼について遅延時間の測定をするのではなく、測定用の呼（試験呼）を一般の呼とは別に発生させる「試験呼方式」を用いた。測定結果の信頼区間は、プログラムシミュレータ同様batch-means法で推定した。また、METS-IIの負荷発生能力（実現値）が設計時の予想よりも低かったため、CNP高負荷の特性評価時には、4ms毎に走行する固定分プログラム^(注2)に約40%の無効処理を加えたり（固定分増加）、呼処理イベント受



TSES : TSE シミュレータ

TSPS : TSP シミュレータ

MPS : 主処理装置

図4 METS-IIの構成

信毎に約1ms^(注3)の無効処理を加える（呼数比例分増加）等の工夫を行った。表1に実験パターンを示す。備考の○△等は測定結果の図5中のマークである。

表1 実験パターン

	①	②	③
CNP台数	1	1	2
固定分増加	有	無	有
呼数比例分増加	無	有	有
備考	○	△	□

5 実験結果の分析

プログラムシミュレータとMETS-IIの実験条件を表2に示す。以下に評価項目毎の結果と分析を示す。

5.1 接続遅延時間

図5に接続遅延の一つである入信号応答遅延時間特性を示す。図中プロセッサ間通信及びCNP系内の遅延時間はTSP内で論理イベントをTSP

（注1）呼種別には発呼者先掛け通話完了呼／被呼者先掛け通話完了呼／通話不完了呼（被呼者話中、不在等による不完了呼）等がある。

（注2）交換プログラムには、実行管理のオーバーヘッド等負荷によらず処理の必要な固定分プログラムと、負荷に比例して処理の必要な呼数比例分プログラムがある。

（注3）イベント処理時間の平均にほぼ等しい。

表2 実験条件

項目		プログラムシミュレータ	METS-II	
			一般呼	試験呼
加入者特性	発呼間隔	指数分布	指数分布	単位分布(8秒)
	通話時間	指数分布(平均10秒)*	指数分布	単位分布(1秒)
	呼種別の比率	市外局用モデルトラヒック条件**に従う		
システム条件	TSP台数	16	実験によって変更(最大6)	
	CNP台数	1		

* 計算機時間を短縮するためスケーリングを行っている。通話時間は、制御系の定常状態のトラヒック特性に、ほとんど影響を与えない。

**呼種別の比率等の代表値をトラヒック実態調査に基づいて定めたもの。

送信キューにつないでから、TSP内イベント受信プログラムにより本イベントの返事を受けるまでの時間である。

入信号応答遅延時間は、CNP使用率の低い時にはTSP内の検出待ち時間が支配的である。CNP使用率が高くなるとプロセッサ間通信及びCNP系内遅延が立ち上がり、遅延時間が伸びる。これは図2のTSP送信キュー、TSP送信バッファ内での待ち時間が増加するためである(5.2章で詳述)。またTSP内Bレベルキューの待ち時間(図5の「その他」の中に含まれる)はTSPの処理能力が十分あるため非常に短く、接続遅延時間の主要因とはならない。

図5では、プログラムシミュレータより、環境シミュレータの結果の方が遅延時間が大きい。これはMETS-IIでは、負荷発生能力不足を補うために、無効処理を加えているためであり、それを補正して考えると、両シミュレータで得られた遅延時間は、ほぼ同様の特性を示している。また、METS-IIの実験結果では、固定分に無効処理を加えた①より呼数比例分に無効処理を加えた②の方が大きい。これは、固定的なオーバーヘッドより、個々のサービス時間の方が、待ち時間に与える影響が大きいことを示している。

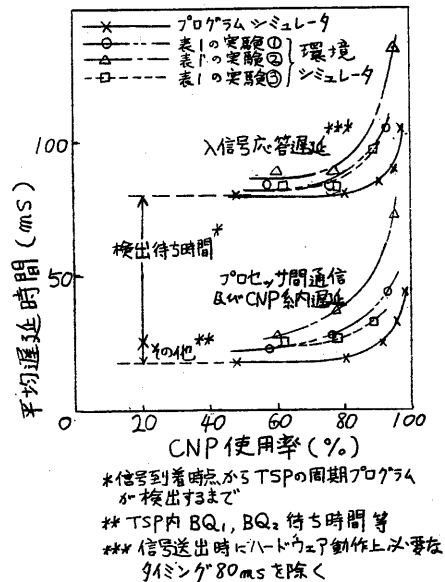


図5 λ信号応答遅延時間特性

CNP 2 台で実験を行った③は、固定分と呼数比例分の両方に無効処理を加えているにもかかわらず、①②より遅延が小さい。これは、複数サーバによる大群化効果のためである。

図6に入信号応答遅延の分布を示す。METS-IIの測定値は実験①のものである。また同図中に、各実験結果と平均・分散の一致したガンマ分布を示す。図からガンマ分布は良い近似であることがわかる。ガンマ分布は、1、2次モーメントのみで分布形が定まり、理論的取扱いも比較的容易であるので、本結果は重要である。

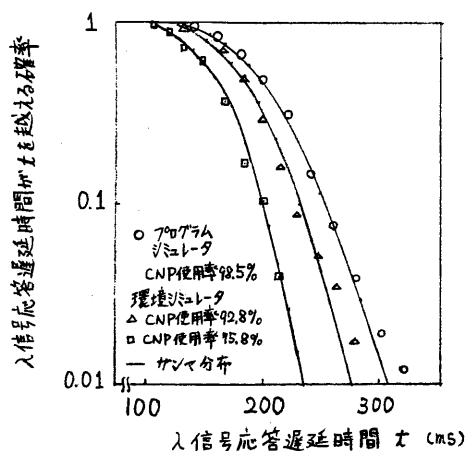


図6 入信号応答遅延時間分布

5.2 遅延時間要因分析

入信号応答遅延時間が伸びる要因であるプロセッサ間通信及びCNP系内遅延時間(図5)をプログラムシミュレータの結果(図7)を用いて検討する。

上記遅延時間はTSP-CNP間通信時間^(注1)、CNPイベント処理時間、CNP-TSP間通信時間の和である。このうちCNP処理時間は、1イベント当り1ms程度なので、ここでは無視する。またIPCが、イベントをTSP送信バッファからCNP受信バッファへ、及びCNP送信バッファからTSP受信バッファへ転送する時間は、0.1～0.2ms程度⁽⁷⁾であり、IPC処理能力がネックとなることはない。

i) TSP-CNP間通信時間の要因であるTSP送信待ち時間^(注3)、TSP送信バッファ保留時間、CNP受信バッファ保留時間を図7に示す。TSP-CNP間通信時間は、CNP使用率が95%程度から急激に立ち上がっている。これは負荷が高くなるとCNPのイベント取出し処理が遅れ、CNP受信バッファが満杯になってTSP送信バッファからのイベント転送ができず、TSP送信バッファ、TSP送信キュー内での遅延が伸長するためである。

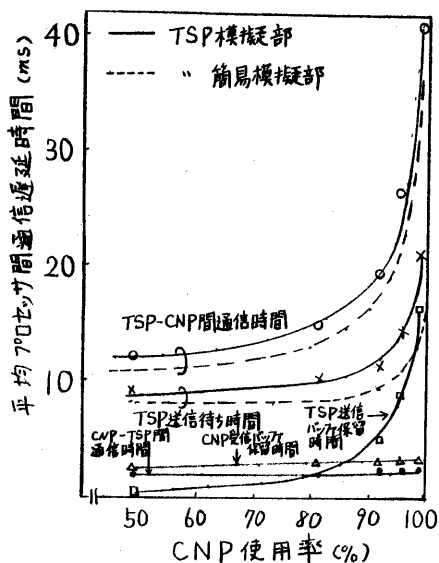


図7 プロセッサ間通信遅延時間特性

受信イベントが無くなるとCNPは次のクロック割込みまでイベント取込み処理を中止するため、軽負加時でもCNP受信バッファには、ある程度の固定的な保留時間がある。また負荷が高くなってもCNP受信バッファ保留時間があまり伸びないのは、バッファ面数が少ないためである。

ii) CNP-TSP間通信時間は、ほとんど伸長していない。これは、今回の実験ではTSPの使用率が低く、TSPは一定周期のイベント受信プログラムによって全イベントを取込むため、周期待ち以外の遅延要因がほとんど無いためである。

iii) サブコール形併用の影響

プログラムシミュレータでは、計算機時間を短縮するためフルスケール形とサブコール形を併用した。ここでは、サブコール形併用の模擬精度に与える影響について検討する。

(注1) イベントがTSP送信キューに入ってからCNPに取込まれるまでの時間。

(注2) イベントがCNP送信バッファに入ってからTSP内BQ1に登録されるまでの時間。

(注3) イベントがTSP送信キューに入ってからTSP送信バッファに移されるまでの時間。

図7よりTSP模擬部で測定したTSP送信待ち時間(実線)に比べTSP簡易模擬部での測定値(破線)の方が小さい。この原因はTSP送信キューへの実際のイベント到着過程は、ポアソンではない^(注1)のに、TSP簡易模擬部ではイベントをポアソン生起させているためである。

しかしTSP送信バッファやCNP受信バッファの保留時間については、TSP模擬部からと簡易模擬部からのイベントで顕著な差は見られない。このことから、到着の初段以外では、サブコール形を併用しても模擬精度上、問題ないと思われる。

5.3 負荷分散特性

IPCは、各CNPに対する負荷が均等に分散されるよう動的に制御している⁽¹⁾。図8に負荷とMCP、CNP使用率の関係を示す。MCPは、保守運用機能を持っているため、無負荷時(固定分)の使用率は、CNPより高い。図よりプロセッサ使用率が高くなるとMCPとCNPの差が小さくなることからわかる。これはDTS-1の評価実験でも見られた特徴であり⁽⁵⁾、負荷の低い所では、MCPも余裕があるのでCNPと同程度のイベントを受付けるが、使用率が高くなるにしたがい、CNPの方へ回る負荷が増えるためである。これは、CNP間の負荷分散機能がうまく作用している事を示す。

6 評価手法の比較

プログラムシミュレータと環境シミュレータの特徴を整理すると表3のようになる。表より、機能分散・負荷分散形ディジタル交換機のトラヒック特性を評価する際、プログラムシミュレータと環境シミュレータを以下のように使うのが有効であろう。

詳細なトラヒック特性を必要とする

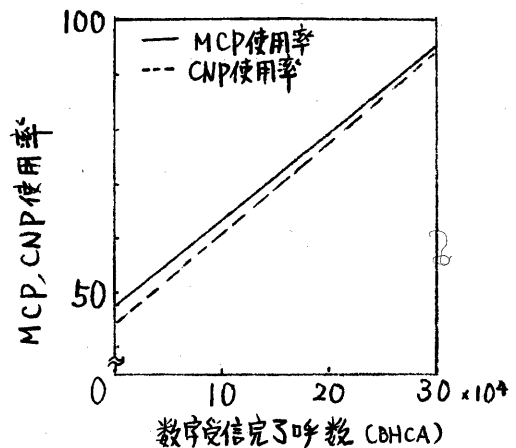


図8 実験③でのMCP、CNP使用率

表3 プログラムシミュレータと環境シミュレータの比較

	プログラムシミュレータ	環境シミュレータ
実験時間	交換機の規模・使用計算機によるが、一般に大きい	交換機の規模によらず実時間で評価できる
得られるデータ	呼処理過程における任意の時点間の遅延時間が得られる	制御系外部から見た遅延時間および交換機で収集するデータに限られる
実験精度	測定誤差は小さい。但しモデル化時に誤りが生じたり、ダイナミックステップ数算出時に誤差が生ずる	シミュレータ内のソフトウェアタイマの精度に依存する
実験規模	使用計算機に依存する	シミュレーション装置の処理能力で制限される
呼処理能力評価以外の用途	なし	デバッグツールとして使用できる
適用段階	詳細設計後	実システム完成後

方式設計時には、プログラムシミュレータを用いてトラヒック特性を評価する。これと並行して、デバッグツールとして環境シミュレータを開発する。システム完成後、デバッグツールとして開発した環境シミュレータに統計機能等を付加して、最終的な呼処理能力を確認する。

(注1) 測定によると、TSP送信キューへのイベント到着間隔の変動係数は、1.3程度であった。

6 むすび

機能分散・負荷分散形デジタル交換機のトラヒック特性をプログラムシミュレータと環境シミュレータの2つの手法を用いて評価し、接続遅延時間特性と負荷分散特性について報告した。接続遅延時間は本稿で述べた入信号応答接続遅延時間の他多数あり、各々についてサービス品質上規格値が定められており、呼処理能力を決定する上での重要な要因である。

評価で用いた両手法とも評価対象であるマルチプロセッサの特徴を考慮して開発したものであるが、プログラムシミュレータについては、より大規模なシステムの評価を効率よく行うため、一部に理論値を用いる等の簡略化手法の検討、環境シミュレータについては各種交換機に適用できる汎用性の検討が今後の課題である。

また、方式設計初期には理論による評価が有効である。評価手法として待ち行列網モデルを用いることが考えられるが、交換処理に特徴的な優先権処理・周期処理の扱いが問題となろう。

謝辞 本研究にあたり御指導・御討論いただいた武蔵野電気通信研究所トラヒック研究室布谷嘉章調査役、川島幸之助調査役、戸田彰調査員に深謝いたします。

文献

- (1) 戸田，布谷：“分散形デジタル交換機の呼処理方式と性能評価手法”，情報処理学会計算機システムの制御と評価研究会，19-2（1983）
- (2) 池田，伊吹，倉橋：“デジタル中継線交換機の方式構成”，通研実報，31,5,pp.889-892(1982)
- (3) 森田：“マルチプロセッサ制御交換機に適した擬似負荷発生方式”，58年度信学総全No. 1804
- (4) 五嶋他：“デジタル電話市外システムDTS-1の方式構成”，通研実報，28，7，pp. 1231-1244（1979）
- (5) 松永他：“マルチプロセッサ制御系評価用環境シミュレータMETSの評価”，57年度信学部全大No.234
- (6) Dietrich, G., et al. : "Subcall-type control simulation of SPC switching systems", 8th ITC, No. 433 (1976)
- (7) 丹羽他：“デジタル中継線交換機の制御系装置構成”，通研実報，31,5,pp.929-942(1982)