

共同利用形計算機システムの稼働状況解析と性能向上対策の一方法

藤沼康次, 松沢和雄, 岡田貞二, 小林隆志, 兼原信二
(KDD研究所) 藤間考雄, 赤岩和治(三菱電機)

1. はじめに

OSの多機能化やI/Oなどの機能分散, D/Sやアレープロセッサなどの導入等々計算機システムは益々複雑化し, そのふるまいを外評から把握することが難しくなる一方, 計算機システム利用の多様化とともに, システムの性能や処理能力, 稼働状況, 効率などの的確な評価・把握は益々必要となっている。

所内各研究者の共同利用形式をとっている研究共用電子計算機システムの稼働状況の把握および性能改善のために, バッチ・ジョブのエラップスト・タイムとTSSレスポンス・タイムを評価パラメータとして

- ① ホトルネックの抽出とその対策案の検討
- ② 対策案に対するいろいろなジョブの組合せによる評価試験
- ③ 試験データの統計解析(重回帰分析, 重相関分析)

を行なったので, ソフトウェアモニタによる現状解析とともにその大要を述べる。

2. システム構成

現システムの構成を図1に示す。

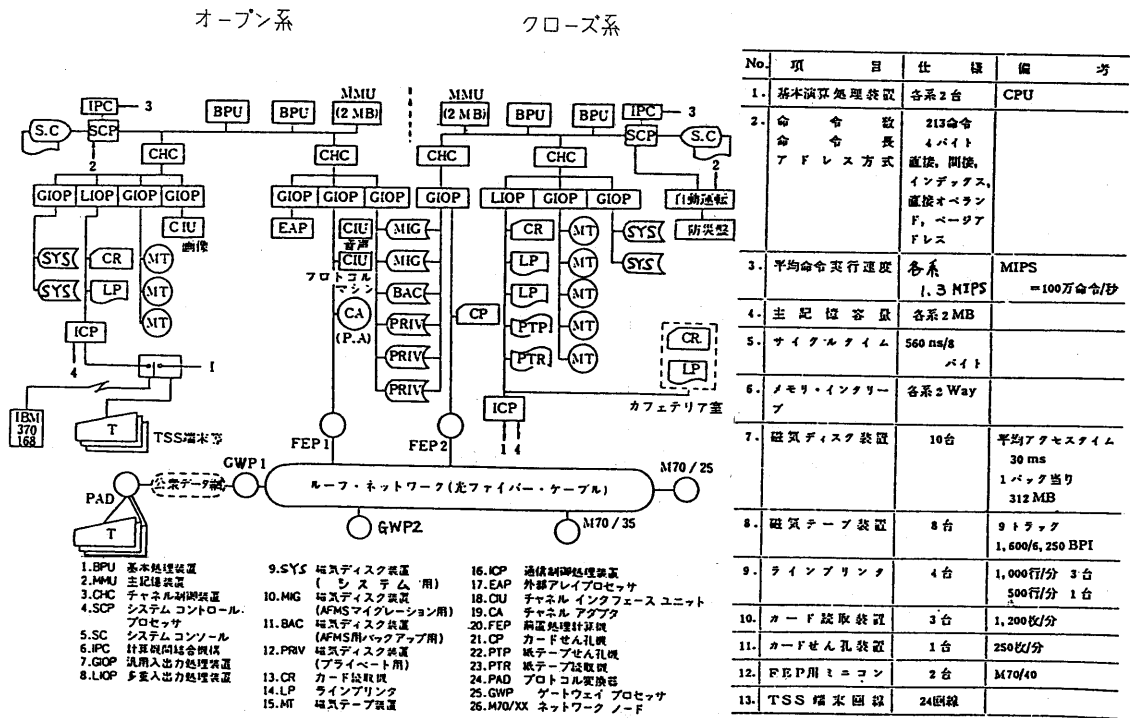


図1 研究共用電子計算機の構成

このシステムは昭和54年10月に導入されたもので、表1に示すような科学技術計算をはじめとする各種シミュレーションや特許管理・図書管理等のオンライン処理、さらには画像・音声・プロトコル変換等の研究実験データのオンライン処理に使用している。

クローズ系と疎結合されているオープン系の導入当初の要求性能としては、バッチ・ジョブ4多重メイントラクティブ的使用のTSS端末20台に対して

① バッチ・ジョブのエラップスト・タイムが単独実行時の2倍以下

② TSSレスポンス・タイム3秒以下とした。

しかしながら、計算機処理の需要は日々増大し、研究者から特に、TSSレスポンス・タイムが遅くなったとの苦情が出されてきた。

3. 現状分析

このシステムはコンピュータ白書'80年版P262~269に記されているように夜間無人運転機能を活用して毎月400時間以上の運用を行っているが、表2に示すようにJECCLレンタル・メータからみたCPU利用率は、毎月90%以上となっている。そして研究者が最も多く利用する時間帯には、6~7のバッチ・ジョブが動いている上に、7~8のTSS端末が更働しており、その時のTSS端末のレスポンス・タイムは2桁妙になることがしばしばある。また、バッチ・ジョブを4多重に制限する措置をとれば、TSSレスポンス・タイムは1桁妙におさまることと判った。しかしながら、研究者からの各種計算処理要求はあとを断たず、バッチ・ジョブを4多重に制限したのでは研究者の要求はまかさない恐れがあるので、システムとしての能力拡充が是非とも必要となった。

ソフトウェアモニタ(STATS^(注))データから得られるCPU稼働率は、サービスオペタスクの多いIDLEは月間4~5%におおむねらず月間80数%となっていることおよびCPU・WAIT状態が10数%占めているのが明らかになった。またCPU・WAITのうちスワップに關係するものが約2/3を占めている

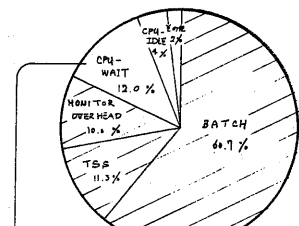
(注) Statistics Summary

表1 共用計算機処理ジョブ群の分類

科学技術計算 (数値計算)	光ファイバ特性計算 アンテナ特性計算 回路設計
シミュレーション	回線誤り符号シミュレーション 画像符号化方式シミュレーション クロスシューティングによる(画像)処理 衛星パケット交換方式 ニコー制御のシミュレーション デジタル遅延回路の計算 トラヒックシミュレーション 降雨データの処理 TV・PCM方式 FAX信号の統計処理 高効率DSI
最適問題	衛星システム間最適化 衛星軌道の最適化 リニアライザの最適化計算 ネットワーク設計
構造解析	光ケーブル筐体強度計算 外圧に対する応力計算
データベース	音声処理 ネットワークシミュレーション リレーショナルモデル
ソフトウェア開発	パケット交換プロトコル コンピュータネットワーク 端末制御プログラム

表2 電算機稼働状況

年月	運用日	運用時間			JECCL レンタル時間	CPU 利用率
		H	M	H		
56.4	25	451	34	420	93.0	
5	19	417	57	412	98.6	
6	23	498	58	481	96.4	
7	24	483	51	454	93.8	
8	22	436	30	433	99.2	



CPU-IDLE: サービスオペタスクが無い状態

CPU-WAIT: TASKの各種I/O進行中中

その完了をCPUが待っている状態

MONITOR OVERHEAD: スーパーバイザがコマンドの移動に要するCPU時間

* アスタリスクはスーパーバイザの機能の一部であり、主としてシステムを管理する到りである。

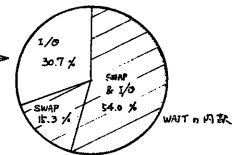
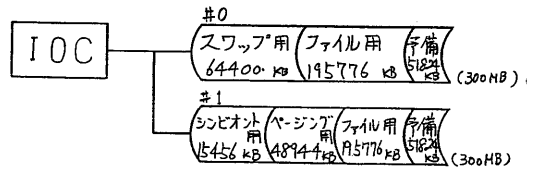


図2 CPU稼働状況(56.4)

ことかわかった。システム制御パラメータやユーザ・ジョブのプログラム内容についての検討も行ったが、主としてCPU・WAITの観点からのTSSレスポンス・タイムやバッチ・ジョブのエラップスト・タイムの劣化について検討することとした(昭和56年6月のSTATSデータから得たCPU稼働状況を図示に示す)。

このシステムでは、システム用ディスク(300MB)2台を図3に示すようなレイアウトで使用しており、昭和56年6月の稼働状況は、表3に示すように、デバイス利用率#0ディスク約74%、#1ディスク約46%と共に非常に高い値を示している。としてスワップ用レイアウトされている#0ディスクは、月間平均毎分約40回ものI/O処理を行ない、そのうち156回はスワップI/Oに費やされていることが判った。

図3 システムディスクレイアウト



IOC: I/O コントローラ

表3 システムディスク稼働状況 (56.6)

	# 0	# 1
I/O RATE (回/分)	740.6	677.2
I/O 待ち時間 (ms/毎)	45.0	70.0
デバイスサービス時間 (ms/毎)	60.0	41.0
シーク距離 (cm/回)	208	159
SIO 実行数 (回/分)	765.3	718.2
ビジー数 (回/分)	24.7	41.0
ビジー時間 (ms/回)	3	48
* デバイス利用率 (%)	74.1	46.3

* デバイス利用率: I/O RATEとデバイスサービス時間を掛けて単位時間(分)で割った率

4. ボトルネックの抽出とその対策案の検討

このシステムは次のようなゴースト・モジュールを所有している。

- ① ジョブ管理、コンソールログやエラーログ管理およびファイルのアーカイブ管理、バックアップ管理、メンテナンス制御などのためにプログラムサイズとして約324KBのオーバレイ・モジュールを標準としてもっているが、これらの実行動作はイベント方式であり、そのSWAP時間は月間平均約3%程度(2秒/分)である。
- ② システム状態ログを5分毎に出力するSTATSゴースト、AFMS (Archival File Management System) 関係ゴースト、メッセージモード管理ゴースト、漢字処理関係ゴースト、MNA (Multi share Network Architecture) 関係ゴースト等でメモリサイズ約1200KBのオプション・ソフトウェア・モジュール。
- ③ 準無人運転、疎結合運転、カフェテリア・ジョブ管理等のメモリサイズ約160KBの当システム特有のゴースト。

システム導入時には、オープン系、クローズ系各2MBのメモリを実装したためこれらのモジュールはすべて非常駐としたが、上記、②③の追加モジュールのうち実行動作が定期的に行なわれるものも多く、その中には、1.2秒毎、4.8秒毎、9.6秒毎と動作回数の極めて多いものがある。またこれら定期的に動作するソフトウェアの平均スワップ時間は1分当たり10秒以上にもなることが予想される(漢字処理、その他稼働ジョブにより実行されないものもある)。

さき、3.で記した、昭和56年6月における月間平均156回/分のスワップ回

数のうち、ユーザ・ジョブのスワップ回数は月間平均約46回分であり、残りの110回分、すなわち約70%は、このようなゴーストのスワップおよびこのゴーストが入るために追い出されるユーザ・ジョブのスワップ等であると考えられる。

これらゴーストの

- ① 実行動作をイベント方式にする
- ② イベント方式にすることが出来ないものはメモリ常駐化する

ことを検討するとともにこれに伴うメモリの増設およびスワップ用ディスクを独立化(1台増設)することを検討した。

(1) ゴーストの改修およびメモリ増設による改善予測

メモリサイズ352KBのバッチ・ジョブおよび同メモリサイズのTSSジョブを作り、現システム片系(メモリ実装2MB、ユーザメモリ領域1MB)に付いたのスワップ回数およびTSSレスポンスタイムを測定しその結果を表4に示す。これをもとに、

- ① 3ヶのゴーストをイベント方式
- ② 6ヶのゴーストを常駐化

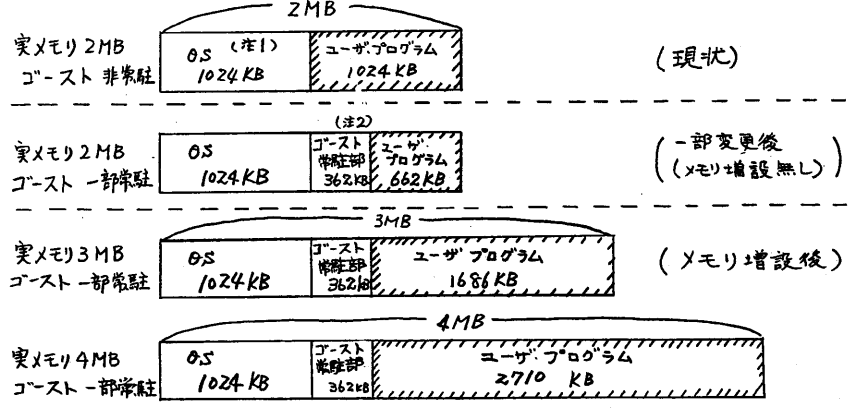
し、メモリを1MB増設(3MB実装)、2MB増設(4MB実装)の場合のスワップ回数およびTSSレスポンス・タイムを算出した。これらの場合のメモリ・マップおよび結果を図4、表5・6に示す。

(2) スワップ用ディスクの独立化による改善予測

簡単のために次のような計算を行った。I/O要求が到着率λのポアソン分布に従い、ディスクサービスが平均サービス率μの指数分布に従うと仮定すると、待行列理論のM/M/1(∞)型モデルとしてI/Oの平均待ち時間Wは次の式で表わすことが出来る。

$$W = \frac{\rho}{(1-\rho)} \times \frac{1}{\mu} \quad (\rho = \frac{\lambda}{\mu} : \text{利用率})$$

56年6月のデータを用いて上式で計算すると表7のようになる。(なおI/Oの稼働状況もSTATSデータより調査したが、競合状態はほとんど起きてない)



(注1) 上図でOSは次のものを含み
 1. UTS/VSSの核の部分
 2. シェアードプロセッサの領域
 3. オペレーティングゴーストの領域
 (注2) 上図でゴースト常駐部(362KB)とはメモリに常駐するゴーストの領域である

図4. 現状およびメモリ増設後のメモリ・マップ

表4 多重度に対するスワップ回数とTSSレスポンスタイム(実測)

多重度	TSS	メモリ		スワップ回数			TSSレスポンスタイム
		必要量	不足量	全体	ユーザーJOB	ゴースト	
1	1	704 KB	- KB	126回	0回	126回	1.2秒
2	1	1056	32	148	44	124	1.2
3	1	1408	384	133	39	94	7.2
4	1	1760	736	103	30	73	12.0
5	1	2112	1088	103	30	73	9.3
6	1	2464	1440	93	27	66	9.2
7	1	2816	1790	93	27	66	8.9
8	1	3168	2144	96	28	68	22.3

(注) 実装2MBに対し1MBをOSに使用、ユーザー用として1MB(1024KB)使用

表5 メモリ増設時のスワップ回数(算出)

多重度	TSS	メモリ: 3MB			メモリ: 4MB				
		不足メモリ	スワップ全体	ユーザーJOB	ゴースト	不足メモリ	スワップ全体	ユーザーJOB	ゴースト
1	1	0 KB	21回	0回	21回	0 KB	21回	0回	21回
2	1	0	21	0	21	0	21	0	21
3	1	0	21	0	21	0	21	0	21
4	1	74	67	46	21	0	21	0	21
5	1	462	58	37	21	0	21	0	21
6	1	778	51	30	21	0	21	0	21
7	1	1130	51	30	21	106	68	47	21
8	1	1480	48	27	21	458	57	36	21

表7 ディスク増設による効果

DISK NO.	I/O 動作	平均サービス時間 (ms)	システム・ディスク2台		システム・ディスク3台			
			平均I/O回数/分	利用率 (%)	平均待ち時間 (ms)	平均I/O回数/分	利用率 (%)	平均待ち時間 (ms)
#0	スワップI/O	173	156	0.74	492	156	0.40	115
	ファイルI/O	40	585		114	-		-
#1	ページングI/O	41	≠0	0.46	34	≠0	0.43	34
	シンビオントI/O	39	108		33	-		-
#2	ファイルI/O	40	569	-	34	585	0.37	30
	シンビオントI/O	39	-		-	108		-
	ファイルI/O	40	-	-	-	569	-	24

表6 TSSレスポンスタイムの比較

多重度	メモリ	計算値			
		2MB	2MB	3MB	4MB
1	1	1.2秒	1.2秒	1.2秒	1.2秒
2	1	1.2	1.2	1.2	1.2
3	1	7.6	7.6	2.0	2.0
4	1	12.0	11.6	5.5	3.8
5	1	9.3	10.6	4.9	2.2
6	1	9.2	10.4	4.9	1.4
7	1	8.9	14.4	7.3	3.9
8	1	22.3	26.5	14.0	7.6

5. 改善案に対する評価試験およびデータの統計解析

(1) 評価試験システム構成と評価用モデルジョブ

計算機システムの性能、処理能力等はそのジョブの内容や負荷の状況(ジョブの組合せ)により大きく変わるので、評価試験にあたり表8のような7種の評価実験用モデルジョブとTSSレスポンス測定用のジョブを作成した。なおこれらのジョブは現用ジョブの中から抽出作成した。

また、評価試験のためのシステム構成(システム1~6)を表9に示す。

表8 実験用モデルジョブ

JOB名	JOB特性	ピークプログラムサイズ	単独処理プログラム実行時間	CPUタイム	CPU利用率	I/Oコール回数	I/Oレコード回数	備考
バッチ処理	P コンパイル&リンク&ラン	284 KB	130 秒	64 秒	49%	1641	1111	
	A CPUバウンド	344	48	43	90	300	70	11回連続実行
	B I/Oバウンド	308	56	11	22	2322	3476	同上
	C コンパイル	136	51	27	53	4013	870	同上
TSS処理	D CPUバウンド	260	-	40				行列計算
	E I/Oバウンド	260	-	1				ファイルアクセス
	F MIX	88	-	80				ファイルアクセス&CPU
	T レスポンスタイム測定	88	-					

注 CPU利用率=(CPUタイム/単独処理エラップストタイム)×100

表9 システム実験環境

メモリシステム・ディスク	2MB (ゴースト現状)	2MB (ゴースト改善)	3MB (ゴースト改善)	4MB (ゴースト改善)
2台	システム1	システム2	システム3	システム4
3台	×	×	システム5	システム6

なお、前述したゴーストおよびシンビオント負荷としてカードリーダー、ラインプリンタジョブを各1個づつ実行させている。

(2) 試験結果

① 各システム構成におけるCPU-WAIT率を図5に、スワップ回数を図6に示す。なお両図のP, 3A, B, C, Tなどの表示はPジョブ+Aジョブ3ヶ+Bジョブ1ヶ+Cジョブ1ヶ+Tジョブ1ヶ計7多重処理のジョブ構成を示す。

② システム構成(システム1:現用システム, システム3:ゴースト改修, メモリ3MB, システム4:ゴースト改修, メモリ4MB)における各負荷の状態に対するバッチ・ジョブのエラップスト・タイムおよびTSSレスポンス・タイムならびにスワップ回数, CPU稼働率, I/O回数のデータを表10に、また多重度に対するエラップスト・タイムおよびTSSレスポンス・タイムの一例を図7, 8に示す。

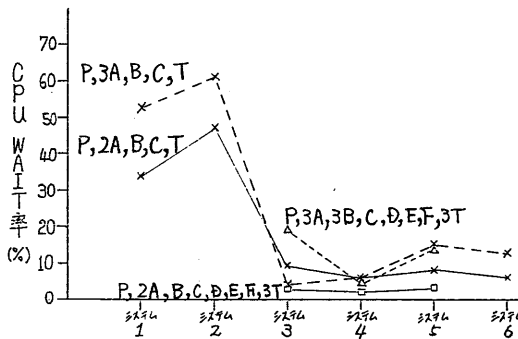


図5 CPU WAIT率

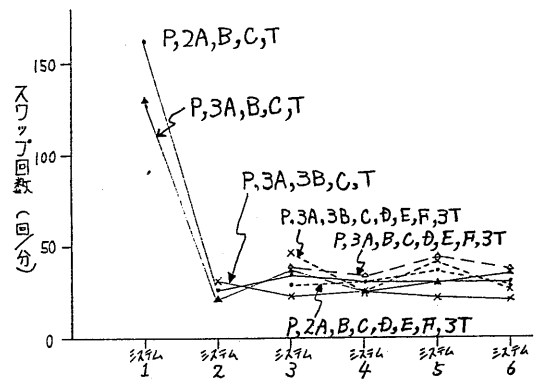


図6 スワップ回数

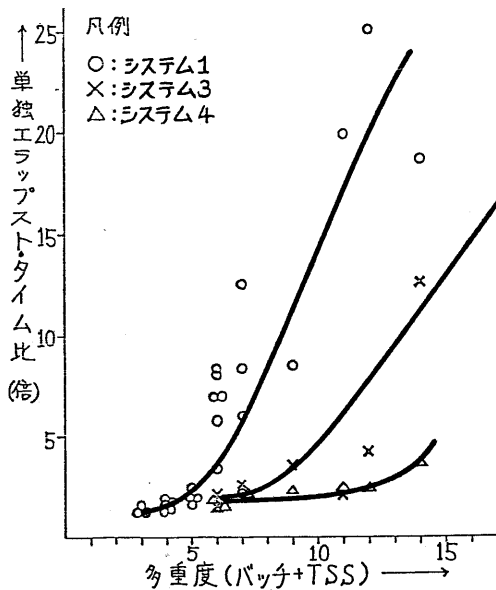


図7 ジョブPのエラップストタイム

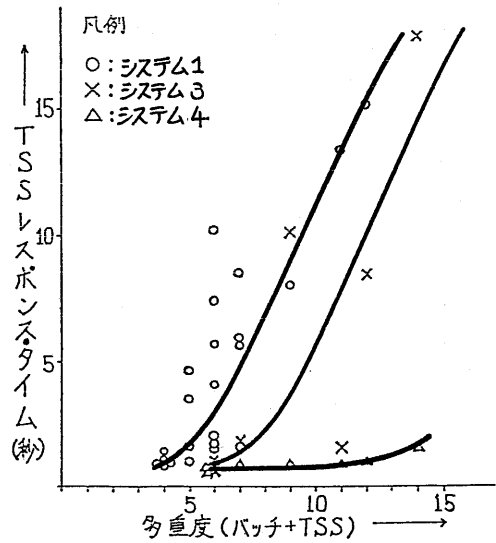


図8 TSSレスポンス・タイム

表10 MELCOM-COSMO 700 III-MP システム性能

合計	多重度		(注2) バッチJOB 組合せ (JOB使用メモリ KB)	(注1) システム 構成	(注3) バッチJOBエラーアップタイム				TSSレスポンスタイム				スワップ 回数/ 分	CPU 稼働 率(%)	I/O 回数/ 分
	バッチJOB	TSSJOB			(注2) P	(注2) A	(注2) B	(注2) C	Acc ↑ ↓ (秒)	E ↑ ↓ (秒)	PCL ↑ ↓ (秒)	OFF ↑ ↓ Logon PLS (秒)			
					(倍)	(倍)	(倍)	(倍)	(秒)	(秒)	(秒)	(秒)			
6	5	1 (T)	P.4A (1748)	①	7.0	2.3			44.3	10.2	26.5	35.8	117	95.0	360
				②	1.7	2.6			1.2	1.0	0.7	3.3	27	98.2	507
				③	1.6	2.6			1.0	0.8	0.7	4.0	23	98.9	508
			P.4B (1604)	①	5.7		10.2		10.8	4.1	2.7	13.8	94	17.1	2,372
				②	2.0		4.9		1.7	0.8	2.1	5.0	20	26.6	4,063
				③	1.8		4.8		1.4	1.8	1.5	6.4	22	27.1	3,729
			P.2A.B.C (1504)	①	3.4	1.8	9.3	9.1	4.5	1.6	6.4	16.5	160	79.2	306
				②	1.8	1.6	2.6	2.5	1.4	0.9	1.0	5.3	33	90.3	2,454
				③	1.4	2.0	2.7	2.6	1.4	0.7	0.7	5.9	29	95.4	2,569
7	6	1 (T)	P.3A.B.C (1848)	①	8.4	2.4	12.8	24.0	11.6	5.6	8.9	27.7	132	65.4	443
				②	2.5	2.4	3.2	3.2	1.9	1.8	1.0	4.8	37	93.9	2,355
				③	2.1	2.7	1.9	2.9	1.5	0.9	0.8	4.7	26	95.8	2,704
9	8	1 (T)	P.3A.3B.C (2464)	①	8.5	5.8	21.4	16.4	12.2	8.0	8.6	59.8	146	31.8	788
				②	3.5	2.3	10.3	9.3	1.9	10.1	28.3	19.8	22	93.5	1,797
				③	2.3	2.6	4.6	3.8	1.5	0.9	0.9	5.8	26	96.5	3,343
11	5	6 (DEF) (3T)	P.2A.B.C (2200)	①	19.9	3.5	37.8	35.7	14.8	13.3	13.6	32.3	167	80.5	272
				②	2.1	2.5	3.3	4.4	2.1	1.5	1.4	7.3	29	97.8	1,923
				③	2.4	3.4	2.1	3.8	1.5	0.9	0.9	5.8	26	96.5	1,936
12	6	6 (%)	P.3A.B.C (2544)	①	25.7	5.1	45.0	47.4	16.4	15.1	15.6	42.2	159	31.8	245
				②	4.2	2.6	11.3	5.0	12.2	8.4	2.8	21.2	39	98.4	668
				③	2.4	3.4	2.1	3.8	1.5	1.0	1.3	5.6	33	96.4	2,385
14	8	6 (%)	P.3A.3B.C (3160)	①	18.6	9.9	23.6	31.8	11.7	11.2	12.3	39.7	154	37.6	684
				②	13.4	2.9	30.9	34.3	28.8	17.8	26.9	49.1	46	82.5	544
				③	3.6	3.2	4.9	6.9	2.2	1.5	1.9	7.4	28	96.0	2,465

(注1)：①メモリ2MB ゴースト現状
 ② " 3 " " 改修
 ③ " 4 " " 改修
 (注2)：JOB-P：TEST用JOB(通常の科学計算処理)、メモリ284KB
 A：CPUバウンドJOB、メモリ344KB
 B：I/OバウンドJOB、メモリ308KB
 C：コンパイルJOB、メモリ136KB

(注3)：単独処理比

(3) 評価試験データの統計解析

実験データについて、MELCOM統計ライブラリMSL001(重相関分析
 重回帰分析)を用いて各措置に対する統計分析を行った。寄与率のデータを表
 11に示す。

これらの解析結果から次の事が判明した。

- ① バッチJOBエラーアップタイムの改善
 - (イ) TSS負荷の小さい場合：メモリ増設の寄与が大きい。
 - (ロ) TSS負荷の大きい場合：ゴーストジョブ改修の寄与が大きい。
- ② TSSレスポンスタイムの改善
 - (イ) ゴースト改修およびメモリの増設の寄与が大きい。
 特に負荷の大きい場合はメモリを4MBにすると効果が大きい。
- ③ CPUの稼働率の向上には
 - (イ) TSS負荷小の場合はメモリ増設が大きく寄与している。
 - (ロ) TSS負荷大の場合はゴーストジョブの改修が大きく寄与している。

(4) スワップ回数の削減には、ゴーストジョブの改修が寄与している。

(5) システムパック1台の増設の寄与率が小さいのは、ゴーストジョブを常駐化
 したためである。

6. むすび

以上、述べたように、我々は、システム性能評価パラメータとして、バッチジョブのイラップストタイムとTSSコマンドのレスポンスタイムを主に、そのほかCPU稼働率、I/O回数、スワップ回数等を補助データとして、いろいろな状態（仕事の内容）における

- (1) 稼働状況データからのボトルネックの抽出と簡易理論モデルによる改善案の検討
- (2) いろいろなジョブの組み合わせ状態実測実験
- (3) 重相関分析、重回帰分析の統計手法による改善案の解析

を行った。

これらの結果からゴースト常駐化とメモリの増設により相

当の性能改善が期待出来ることが判明したので本年2月からこの対策を実施した。これについての実際の効果を確認する作業を行い、この様な性能向上対策の方法についてさらさら検討を進める。

終りに、この調査・実験・解析は三菱電機株式会社の計算機製作所ソフトウェア製造部および同社電子技術・システム第一部の多くの方々の大なる御援助により実施できたものであることを記し感謝の意を表するとともに、日頃御指導を賜わり、今回、発表の機会を与えられた当社中込取締役、銀治研究所長、寺村研究所副所長に謝意を表します。

表 II 性能向上策に対する寄与率

(注) X_1 : コード使用可能メモリ・容量 (KB)
 X_2 : ディスク台数 (2台/3台)
 X_3 : ユースト改修 (なし/あり(2))

ジョブの組合せ		P.4A (T)	P.4B (T)	P.2A.B.C (T)	P.3A.B.C (T)	P.3A.3B.C (T)	P.2A.B.C (D.E.F.3T)	P.3A.B.C (D.E.F.3T)	P.3A.3B.C (D.E.F.3T)	
バッチジョブ・イラップ	Pジョブ 秒	X ₁	0.70565	0.50086	0.76123	0.72514	0.75990	0.00021	0.00581	0.99453
		X ₂		0.25497		0.04155		0.00007		0.00028
		X ₃		0.07760	0.07965		0.06212	0.99932	0.99181	0.00335
	Aジョブ 秒	X ₁	0.34074		0.24092	0.13445	0.59979		0.11096	0.00065
		X ₂				0.31117			0.00213	
		X ₃			0.12573	0.24588		0.88789	0.97008	0.99445
	Bジョブ 秒	X ₁		0.31819	0.67340	0.72324	0.72253	0.00069	0.05053	0.71882
		X ₂		0.08123		0.02502		0.00002	0.00098	0.05319
		X ₃			0.12570	0.03226	0.26719	0.99915	0.94428	0.16467
	Cジョブ 秒	X ₁			0.68001	0.69236	0.97271	0.00057	0.03844	0.98927
		X ₂						0.00022	0.00141	
		X ₃			0.10395		0.13533	0.99903	0.95668	0.20630
TSSレスポンス	Account 秒	X ₁	0.57575	0.60808	0.42509	0.50280			0.28510	0.17053
		X ₂				0.05952				
		X ₃	0.13330	0.13326	0.08642	0.09212	0.51274	0.78041		0.25916
	EDIT 秒	X ₁	0.49141	0.15008	0.19536	0.33442			0.15671	0.19156
		X ₂		0.00124			0.29085		0.01396	
		X ₃		0.02623		0.08063		0.41385	0.00193	0.07167
	!Rel 秒	X ₁		0.30397		0.50344			0.04992	0.10154
		X ₂					0.18046			
		X ₃	0.79586		0.60907			0.37971	0.52015	0.09439
	!OFF 秒	X ₁	0.49567	0.27032	0.13072	0.64185			0.54142	0.36666
		X ₂		0.17552		0.05985	0.27850			
		X ₃			0.65079	0.03804		0.79217		0.13995
システム状況	CPU 稼働率 %	X ₁	0.39905	0.40399	0.80397	0.69836	0.07631	0.00058	0.00368	0.05704
		X ₂	0.14403	0.32631				0.00075		0.00376
		X ₃				0.11731	0.08051	0.99329	0.96201	0.93392
	スワップ 回数/分	X ₁	0.00589					0.00099	0.00358	0.02654
		X ₂		0.05057				0.00099	0.00192	0.00054
		X ₃	0.97956	0.91462	0.99582	0.48274	0.99367	0.99385	0.98869	0.96926