

性能予測ツール QM-X とその応用

納富 研造, 北浦 隆

(日本電気 ユニシステム支援部)

1. はじめに

近年、コンピュータ・システムは処理量の増大、EDP部分の拡大により大規模化し、DB/DCシステムの普及によりその処理形態は複雑さを増し、多様化してきている。また、ユーザのコンピュータ・システムのコスト・パフォーマンスに対する考え方も、年々厳しさを増し、システム性能の定量的な評価のニーズがますます高まってきている。評価のニーズとして下記のようなことがあげられる。

- ・ 最適なシステムの設計
- ・ 適切なシステム拡張(増設等)計画
- ・ 次期システムの導入計画
- ・ 効率的な運用方法

システム性能の評価が充分に行われていないと、たとえばプロポーザルや基本検討段階でユーザに約束した性能が、システム利用が進むにつれ実現できない事が判明し、機器の増設、設計の変更や運用方式の再検討等の莫大な工数が発生することになる。そこで上述のような事態を避け、システム性能を「結論を誤まない程度の正確さ」で把握することが必要であり、このために誰でも簡単にシステムのモデル化ができ、使用できる性能評価用のツールが必要不可欠となる。

我々は、すでにJGN型網(Jackson-Gordon-Newell)を基礎とした実用的なシステム性能評価ツールQM-1¹⁾を開発し、多くの評価を行ってきたが、この経験を生かして、機能を拡張したBCMP型網を基礎にした解析型のシステム性能予測ツールQM-X²⁾を開発した。なお、BCMP型網に基づくソフトウェア・パッケージとして国内外では、QNET4³⁾, BEST/1⁴⁾, QSEC⁵⁾, PNET⁶⁾等がよく知られている。

本稿は、このQM-Xの概要とその応用についてまとめた。QM-Xは開発後現在までに、主にSE部門で三十数システムの評価実績があり、使用状況のアンケート調査の結果より、使われ方の現状について報告する。

2. QM-Xの特長

QM-XはBCMP型待ち行列網モデルを基礎とするFORTRANで書かれた約13Ksのソフトウェア・パッケージである。その設計に際しては主に次の点を可能にする事を目指した。① バッチ処理, オンライン処理, TSS等の性格の異なるサブシステムが1つのシステム内に混在する多次元処理システムの性能評価ができること。② 待ち行列網に關する用語や概念を知らなくとも、コンピュータ・システムの世界の用語や概念さえ知っていれば容易にモデルが作れること。

上記の設計目標を実現するために、QM-Xではいくつかの工夫がこらされている。以下に特長となる項目をいくつか取り上げて述べる。

コンピュータ・システムにおいて共用され、競争を発生するCPUやDISK装置等のシステム資源(リソース)は待ち行列網におけるサービスセンタ(ノード)に対応付けられる。BCMP型待ち行列では4つのタイプのサービスセンタが許されているが、タイプ1以外のものはシステム資源のモデルになじまないため、QM-Xではすべてのリソースはタイプ1のセンタとして扱われる。(但し、計算エンジン部分は共用ネットワーク・ソルバとして使用可能である。)

コンピュータ・システムにおけるプロセスは待ち行列網中を動き回る客に対応付けられる。センタ i でのサービスを終了した客がセンタ j に推移する確率を P_{ij} とし $P = \{P_{ij}\}$ とすれば、マトリクス P は客の網内移動経路を確率的に表現する推移行列となる。BCMP型待ち行列網では、それぞれ異なる推移確率行列 P_1, P_2, \dots, P_M に従って網内を推移する M 種類の客の存在が許される。各推移確率行列のことを部分連鎖という。QM-X ではこの M 種類の部分連鎖を M 種類のサブシステムに対応付けることにより、多次元処理システムの性能評価を可能にした。

BCMP型待ち行列網の積形式解の中には客のセンタ間推移確率 P_{ij} は陽には現われず、 $P = \{P_{ij}\}$ を係数とする連立方程式の解として定まる平均訪問回数 $\theta = (\theta_i)$ が現われる。従って、入力データとして P を入力するより θ を直接入力情報とした方が入力量が少なく簡便である。 θ と平均サービス率から定まる負荷量は実システムにおける 1 ジョブあるいは 1 トランザクションあたりのリソース使用時間に対応付けることができるので、QM-X では P の代わりにこのリソース使用時間を直接の入力情報としている。

1 つのサブシステム、たとえばバッチ処理システムにおいては一般に M 種類のジョブがモデルの対象とされ、個々のジョブについてのリソースの使用時間が推定される。各ジョブはその発生比率で重味付け平均され、サブシステムで 1 つの平均的ジョブ特性が作られる。QM-X では個々のジョブ特性のことをワークロードと呼び、入力情報の基本としている。

待ち行列網の外部からの客の到着や退去のある移動経路を示す推移確率行列を開放型部分連鎖といい、外部からの出入りが無く一定数の客が網内を動き回るものを閉鎖型部分連鎖という。全ての部分連鎖が閉鎖型の場合を閉鎖型待ち行列網といい、閉鎖型と開放型部分連鎖が混在する場合を混合型待ち行列網という。QM-X では混合型待ち行列網を夫々み込み法により計算する新しい方法を開発し使用している。

コンピュータ・システムにおけるプロセスは待ち行列網中を動き回る客に対応付けられるが、閉鎖型部分連鎖 l に属する客数 K_l は常に一定であるため、そのままモデル化してしまうとサブシステム l のプロセス多重度すなわちマルチプログラミング多重度は常に K_l と一定値をとることになる。あるサブシステム l のプロセス多重度が常に一定というモデルはいささか不自然である。プロセスは起動と終了を周期的に繰り返しており、アクティブなプロセス数は確率的に変動し、その平均値が平均プロセス多重度となる。このプロセスの状態の変化をモデル化するために、QM-X では virtual service center (v.s.c) の概念を取り入れた。v.s.c は閉鎖型部分連鎖毎に 1 つずつ設定され、客数 K_l に等しい窓口数を持ち、従って待ち行列を持たないような仮想的なセンタである。v.s.c での滞在時間はプロセスがアイドル状態にある時間と対応づけられる。QM-X では v.s.c を設置することにより、利用者がサブシステム毎に、プロセスの最大多重度と平均多重度を区別して扱うことができるようにした。v.s.c を設置しないモデルではサブシステムのスループット(件/時間)は計算の結果として得られる。一方設置した場合には v.s.c の滞在時間すなわちプロセスのアイドル時間を調整する事によりスループットを設定値に合せることができる。オンライン処理サブシステムで処理件数/時間がある値に設定して評価したい場合には v.s.c を用いたモデル化が必要となる。QM-X はこの方法により閉鎖型サブシステムでも処理件数/時間を任意に設定できるようにしている。

3. QM-Xの概要

3.1 QM-Xの機能

QM-Xは下記機能を持った性能予測ツールであり、評価対象とするモデル(評価モデル)の構成情報および負荷条件を入力して、性能予測結果を出力する。

- ① 多次元処理システムの評価・解析が容易。
- ② 対話型処理が基本で、TSS環境下での簡単な操作を実現。
- ③ 入力パラメータの部分修正・変更が可能。
- ④ 入力パラメータの登録・再利用が可能。
- ⑤ 出力レポートの保存が可能。
- ⑥ バッチ処理も可能で、夕量の予測、長時間計算を要する場合便利。

3.2 QM-Xの入力/出力情報

QM-Xの入力/出力情報を以下に述べる。

(図1参照、下記説明の番号は図中の番号と対応)

① 評価モデルの構成情報

- ・リソース構成：リソースの数、リソースのサーバ数を定義。
- ・サブシステム属性：サブシステムの数、サブシステムのタイプ(CLOSED, OPEN), 最大夕重度, ワークロードの数を定義。
- ・ワークロード特性：ワークロードの発生比率, ワークロードのリソース使用時間を定義。

② 評価モデルの負荷条件

評価モデル内のサブシステムの負荷量であり、サブシステムの処理件数, 空き時間, 最大処理での動作を指定する。

③ 性能予測結果 (図4, 5 出力レポート参照)

各種のレポートに、リソースの使用率, 待ち時間, 各ワークロード/各サブシステムの経過時間, 応答時間, 処理件数等の情報が出力される。

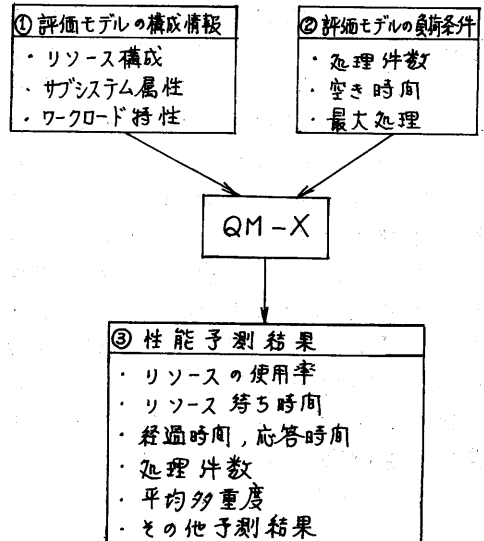


図1. QM-Xの入力/出力情報

3.3 QM-Xの処理の流れ

QM-Xの処理の流れを図2中の番号に沿って述べる。

① 評価モデルの作成・変更

リソース構成, サブシステム属性, ワークロード特性を入力し、評価モデルを作成する。評価モデルの変更も可能である。

② 計算条件の指定・変更

サブシステム毎に負荷条件(処理件数, 空き時間, 最大処理)を指定する。このときサブシステムの最大夕重度の変更も可能である。

③ 計算およびレポート表示

評価モデルが指定された負荷条件で動作した場合の性能予測値を計算し、必要に応じてレポート表示を行う。

④ 条件変更

他の計算条件で予測を繰り返す場合は、②へ戻る。

⑤ モデル変更

評価モデルを変更して予測を繰り返す場合は、①へ戻る。

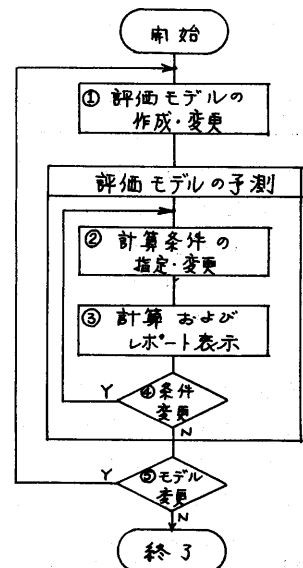


図2. QM-Xの処理の流れ

3.4 QM-Xを利用した評価

QM-Xを利用して評価を行う場合、評価の目的を明確にし、次にシステムの負荷としてジョブ特性と負荷量を分析して、モデル化を行い、予測を実施するという手順を踏む。評価例を使って以下に述べる。

評価例として中規模システムの基本検討段階で、導入時のシステム性能および将来のシステム性能を予測する例を想定する。

当例題のシステムには、バッチ処理業務とオンライン処理業務があり、オンライン処理業務は照会処理と更新処理に大別される。

バッチの処理量は1時間あたり約50ジョブである。トランザクション処理量は導入時平常時で0.5件/秒、ピーク時で1件/秒で、伸び率は年率20%と推定される。オンラインの応答時間はシステム系内で照会2秒以内、更新4秒以内でなければならない。上記前提での評価では、主にオンラインの応答時間の予測に重点を置き、オンラインの多重度の設定、将来の処理量の増加に伴うボトルネックの予測、将来の拡張計画の目安とする。

図3に示すようにシステムの構成を設定し、処理次元毎(例題ではバッチ処理次元とオンライン処理次元)にサブシステムを定義し、オンライン処理次元ではワークロードとして照会処理と更新処理を定義する。

ワークロードは負荷特性、処理単位が類似したものをグループ化して設定し、通常類似ジョブ群、類似トランザクション処理群に注目して設定する。サブシステムは処理次元毎に設定するが、特性が大きく異なる場合は複数のサブシステムに分割して設定する。サブシステム内のワークロードの重味付けは、ワークロードの処理件数の比率で発生比率として定義する。

例題のワークロード毎のリソース使用時間をまとめたワークロード特性を表1に示す。

QM-Xの入力操作は、ツールからの入力促進に従ってモデル情報を入力することで行われる。計算処理では、負荷条件としてバッチサブシステムの処理件数を50件/分と指定し、オンラインサブ

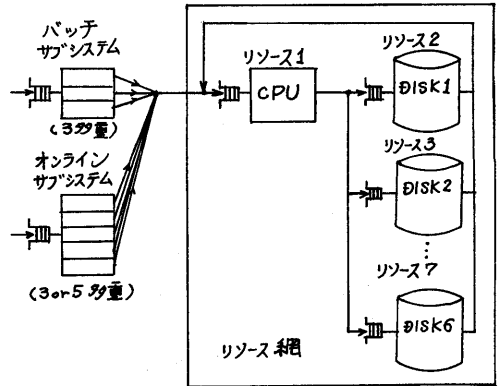


図3. QM-Xにおける待ち行列モデル

サブシステム	バッチ	オンライン		
最大多重度	3	3 or 5		
ワークロード	バッチ	照会処理	更新処理	
発生比率	100%	70%	30%	
リソース 使用時間	CPU	20 SEC	200 μSEC	400 μSEC
	DISK1	10 %	120 %	120 %
	DISK2	10 %	150 %	210 %
	DISK3	20 %	-	-
	DISK4	10 %	-	-
	DISK5	-	210 %	210 %
	DISK6	-	-	500 %

表1. ワークロード特性

```

>> QM-X OUTPUT REPORT <<
DATE 82-09-10 TIME 16:50:39 PAGE 1
-----
SUBSYSTEM SUMMARY REPORT.
-----
> SUBSYSTEM INFORMATION.
SUBSYSTEM
NO. LABEL TYPE CONDITION
1 バッチ CLOSED THROUGHPUT( 50.00/HOUR)
2 オンライン CLOSED THROUGHPUT( 1.00/SEC)

> ELAPSED TIME & THROUGHPUT.
*SUBSYSTEM NO. LABEL MAX. MPL AV. USING TIME WAITING TIME ELAPSED TIME THROUGHPUT RATE
1 バッチ 3 1.32 70.00 25.20 95.20 50.00
2 オンライン 3 1.23 908.00 319.85 1227.85 (1/HOUR)
(HOUR) (1/SEC)

> RESOURCE UTILIZATION.
RESOURCE NO. LABEL SUBSYSTEM NO. LABEL
1. 2. TOTAL(%)
1 CPU 27.89 26.10 53.99
2 DISK1 13.95 12.05 25.99
3 DISK2 13.95 16.85 30.81
4 DISK3 27.89 0.00 27.89
5 DISK4 13.95 0.00 13.95
6 DISK5 0.00 21.08 21.08
7 DISK6 0.00 15.05 15.06

> RESPONSE TIME ( ELAPSED TIME + TASK WAITING TIME ).
SUBSYSTEM TASK WAITING RESPONSE
NO. LABEL TIME TIME
2 オンライン 103.27 1331.12 (MSEC)

```

図4. 出力レポート(サブシステムサマリレポート)

システムの処理件数を0.5件/sから順次増加させ、各条件下での予測を繰り返す。また、オンラインサブシステムの最大多重度3と5の両方のケースで予測を繰り返す。

予測結果のサンプルを図4,5に示す。図4は評価モデルの予測結果の概要を示すもので、サブシステム毎の経過時間、応答時間およびリソースの使用率が示される。図5はオンラインサブシステム内のワークロードの経過時間、応答時間およびリソース毎の使用率、使用時間、待ち時間を示している。

予測を実施したケース毎にオンラインの応答時間を多重度毎にプロットしグラフ化すると図6のようになる。

これらの予測結果から評価すると、オンラインの最大多重度を5に設定すること、4年後以降にはシステム拡張を実施する必要があることが解かる。

システム拡張を考える場合、予測結果から得られた情報を基にして、将来ボトルネックとなるリソースおよび要求される性能が得られないワークロードに着目して、その要因を分析し拡張計画の検討を行う。例題ではリソースの使用率、待ち時間(図7参照)より、CPU,DISKにネックが検出される。

1つの拡張案としてCPUの増設(マルチプロセッサシステム)とDISKの増設、負荷の分散を考え、モデルを変更して予測すると、図7,8に示すような拡張効果が現われることが解かる。

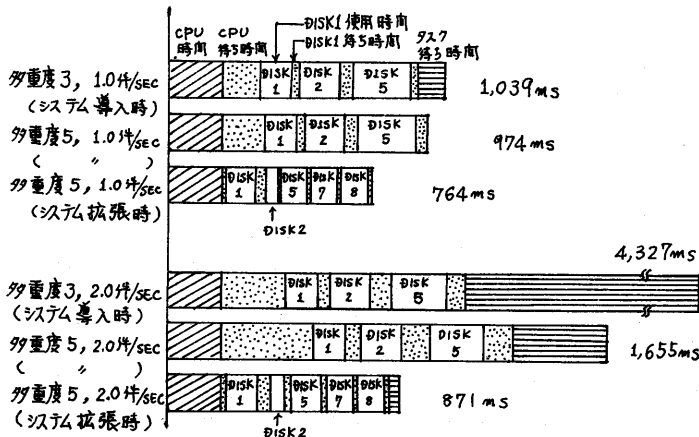


図7. 照会処理の応答時間内訳

WORKLOAD SUMMARY REPORT.

*SUBSYSTEM NO.2 LABEL(オンライン)	TYPE (CLOSED)	CONDITION : THROUGHPUT(1.00/SEC)
MAX MPL	3	
AV. MPL	1.23	
THROUGHPUT RATE	1.00 (1/SEC)	
ELAPSED TIME	1227.85 (MSEC)	

> ELAPSED TIME & THROUGHPUT.

WORKLOAD NO.	WORKLOAD LABEL	WEIGHT	USING TIME(MSEC)	WAITING TIME(MSEC)	ELAPSED TIME(MSEC)	THROUGHPUT RATE(1/SEC)
2- 1	オンライン	70.0	680.00	255.30	935.30	0.70
2- 2	オフライン	30.0	1440.00	470.46	1910.46	0.30
AVERAGE			908.00	319.85	1227.85	1.00

> RESOURCE UTILIZATION & WAITING TIME.

RESOURCE NO.	RESOURCE LABEL	WORKLOAD NO.	WORKLOAD LABEL	UTILIZATION(%)	USING TIME(MSEC)	WAITING TIME(MSEC)
1	CPU	2- 1	オンライン	14.05	200.00	141.18
		2- 2	オフライン	12.05	400.00	282.37
		AVERAGE	26.10	260.00	183.54	
DISK1		2- 1	オンライン	8.43	120.00	32.86
		2- 2	オフライン	3.61	120.00	32.86
		AVERAGE	12.05	240.00	65.72	

> RESPONSE TIME (ELAPSED TIME + TASK WAITING TIME).

WORKLOAD NO.	WORKLOAD LABEL	TASK WAITING TIME(MSEC)	RESPONSE TIME(MSEC)
2- 1	オンライン	103.27	1038.57
2- 2	オフライン	103.27	2013.74

図5. 出力レポート(ワークロードサマリレポート)

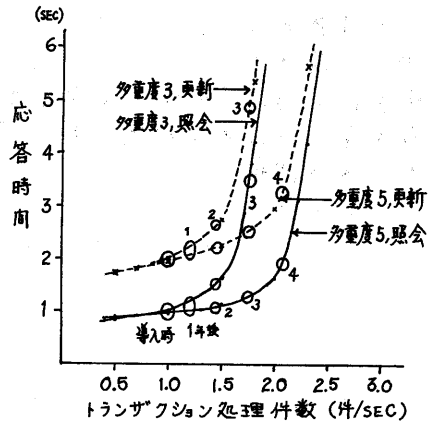


図6. オンライン応答時間

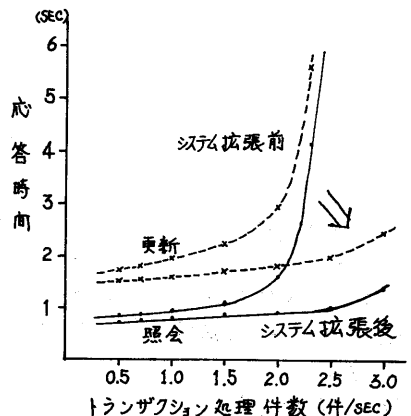


図8. オンライン応答時間のシステム拡張効果

4. QM-Xの使われ方

QM-Xは、56年10月ファーストバージョンをリリースして以来、これまでに三十数システムの評価にSE部門で使用されている。ここでは、利用者に対する「QM-X利用状況アンケート調査」の結果から、QM-Xの使われ方について考察する。アンケート調査は、当部に利用要求のあった30グループに調査用紙を送付し実施した。このうち、20件の回答が返送されてきた。(回収率67%)
以下に調査項目毎に調査結果を示す。

(1) 評価目的

複数項目の記入で調査したQM-Xによる評価の目的をまとめると表2のとおりとなり、提案時のシステム性能の提示のために利用されているのが解る。

1	システム提案時の性能予測	14件
2	処理量増加に伴う将来性能予測	7
3	機器増設時の性能予測	6
4	システム改善のための性能予測	5
5	新規業務追加時の性能予測	4
6	その他	2

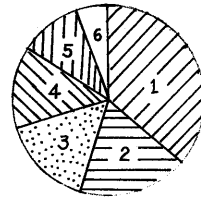


表2. 評価目的

(2) 評価対象システム

回答分では、25システムの評価に利用され、表3で示されるように、提案時詳細なシステム性能値の提示が要求される大型システムでの利用比率が高くなっているのが窺える。

大型システム	12件
中型システム	7
小型システム	6

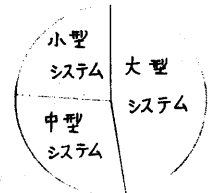


表3. 評価対象システム

(3) 評価項目

複数項目のチェックにより調査した評価項目では、表4に示すように、オンラインシステムの普及に伴って性能指標としてのオンラインの応答性が主な関心事になっている。またボトルネックの予測やシステムの余裕度の尺度を示すものやシステムの能力を把握するための評価に関心が高くなっているのが解る。

オンラインの応答時間	16件
リソースの使用率	13
スループット(処理件数)	11
TSSの応答時間	7
バッチの経過時間	7
その他	2

表4. 評価項目

(4) 評価モデルの規模

QM-Xを使って評価したモデルの規模を、設定したモデルのリソースの数、サブシステムの数、最大多重度とOPEN型の使用数、ワークロードの数で調査した。(表5~9)

これらの平均値をとった平均的モデルとしては、リソース数15コ、サブシステム数3~4コ、最大多重度5~6多重ワークロード数11コ、サブシステムあたりのワークロード数3コとなる。

表6のサブシステムの数2または3に集中しているのは、モデルの設定が処理次元単位の設定になっており、バッチとオンライン、バッチとオンラインとTSSというように設定されたケースが多いためである。それ以上の場合は、もっと細かくオンライン処理次元またはバッチ処理次元を分割して設定している場合にみられる。

1 ~ 5リソース	5件
6 ~ 10	6
11 ~ 20	3
21 ~ 30	1
31 ~ 50	1
51 ~	1

表5. リソースの数

ワークロードの数を見ても、評価を実施した時点やシステム負荷データの分析法により異なっていると思われるが、1サブシステム1ワークロードと1サブシステム n ワークロードの定義に=分されている。

ここでQM-Xのシステム諸元に触れておくと、ツールとしてテーブルサイズおよびFORTRANの制限等から、リソース数 max 256コ、サブシステム数 max 10コ (CLOSED型 max 7コ)、ワークロード数 max 100コとしている。

1 サブシステム	0 件
2	5
3	5
4	3
5	2
6	1
7	1

表6. サブシステムの数

1 夕重	19 件
2 ~ 5	24
6 ~ 10	10
11 ~ 20	4
21 ~ 30	2
31 ~	2
OPEN型	3

表7. 最大夕重度, OPEN型の使用数

1 ~ 5 ワークロード	8 件
6 ~ 10	4
11 ~ 20	3
21 ~ 30	2
31 ~	1

表8. ワークロードの数

1 ワークロード	36 件
2 ~ 5	19
6 ~ 10	6
11 ~ 20	2
21 ~	1

表9. ワークロード数/サブシステム

(5) 負荷条件の指定

負荷条件の指定には3つあるが、表10に示すように、やはり最も解りやすい処理件数指定の比率が高くなっている。またシステムや特定サブシステムの最大処理能力の評価に最大処理指定が使われ、空き時間指定はTSSの思考時間として使われている。

処理件数指定	18 件
空き時間指定	4 件
最大処理指定	11 件

表10. 負荷条件の指定

(6) 性能評価工数

性能評価を実施した際の評価に要した総工数, QM-X利用のために要した工数, QM-Xで予測したケース数およびQM-Xの予測作業に要したマシン使用時間を、調査データより表11~14に示す。

1 ~ 5 人日	12 件
6 ~ 10	4
11 ~ 20	2
21 ~ 30	3
31 ~ 50	1
51 ~	1

平均総評価工数 12人日

表11. 性能評価総工数

1 ~ 2 ケース	10 件
3 ~ 5	7
6 ~ 10	6
11 ~	0

平均利用工数 3.8人日

表12. QM-X利用工数

1 ~ 5 H	12 件
6 ~ 10	4
11 ~ 20	2
21 ~ 30	3
31 ~ 50	2
51 ~	1

平均予測ケース数 16ケース

表13. 予測ケース数

1 ~ 2 H	8 件
3 ~ 5	6
6 ~ 10	5
11 ~ 20	3
21 ~ 30	1
31 ~	0

平均マシン使用時間 6.7H

表14. マシン使用時間

(7) QM-Xの効果

QM-Xの利用者から見たQM-Xの効果として次のような点があがっている。

- ・ 手計算では非常に困難だった夕次元処理システムの評価ができる。
- ・ システム性能に關する各種の指標が定量的に示せる。
- ・ ツールを利用した評価の実施ということ、客先の信頼感および説得に効果がある。
- ・ 経験値の裏付けが得られた。
- ・ 設計時の支援ツールとして利用できた。(夕重度, ファイル割当等)
- ・ ツールがあったので、これまでより真面目に性能評価に取り組めた。

(8) QM-Xへの要望事項

利用者のQM-Xに対する要望事項として次のような点があがっている。

- ・ ワークロード特性の自動見積り、モデル生成ツールの提供
- ・ 評価のための手引書(分析,モデル化,結果の評価等)の提供
- ・ 通信系を含めた評価
- ・ 仮想記憶制御の評価
- ・ コントローラ(MSP等)を含めた評価
- ・ グラフレポートの出力
- ・ 入力の簡易化

5. まとめ

QM-Xのツール化に際しては、コンピュータ・システムの用語・概念を導入して、現実の多次元処理システムの性能評価が実現できるように、使い勝手のよい入出力設計に注意を払った。まだまだ未熟な点も多いが、アンケート調査からも、利用者からの好評を得、困難な手計算からの解放、システム提案時の性能指標の提示、設計時の支援ツールとしての利用等々の利用効果が大きかったことが報告されている。また性能評価作業を支援する目的で、稼働システムのモニタ情報から負荷特性を分析するためのツールの開発および性能評価技法の教育(現在までに約200名参加)が実施されている。

今後の残こされた課題としては、アンケート調査のQM-Xへの要望事項にも見られるように、計算アルゴリズム面では、各サブシステムのプライオリティ制御、仮想記憶管理制御およびネットワーク制御を組込むこと、ツール面では画面を利用したより簡単な操作、グラフ表示、OSの基礎データ内蔵によるワークロードおよびモデル構築の自動化、モニタ情報からの負荷特性情報との連結等によるより容易に使えるツールにしていくことがある。これらに对应、総合的な性能評価システムの構築を現在進めている。

最後に、QM-Xの開発に際し多大な援助をしていただいた、当営業支援本部 高橋晃本部長、当オニシステム支援部 小澤五郎部長、並びに計算アルゴリズムの提供、技術支援をしていただいた、C&C研 紀一誠主任、教育・普及および設計の支援をしていただいた、教育部 守田節雄主任、QM-Xを使用し貴重な御意見、感想を寄せられた各システム事業部のSE諸兄に感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 紀, 本郷, 松田: 性能評価ツール QM-1 について, 情報処理学会 システム性能研究会資料 (1977)
- 2) 紀, 守田, 小林: BCMP型待ち行列網による性能評価ツール QM-X, 情報処理学会第24回全国大会 (1982)
- 3) Reiser, M.: Modeling of computer system with QNET4, IBM Syst. J. Vol 15 No.4 (1976)
- 4) Buzen, J.P. et al.: BEST/1-Design of a tool for Computer system capacity planning, AFIPS, Conf. Proc. (NCC) 1978
- 5) 池原, 山田: 汎用ネットワーク型待ち行列解析プログラム QSECK について, 信学会, 全国大会 (1978)
- 6) S.C. Bruehl & G. Balbo: Computational Algorithms for Closed Queuing Networks, NORTH HOLLAND (1980)