# 計算機システムの性能評価技法"ISCP"の開発

# Performance Evaluation Tool for Computer Systems "ISCP"

近年の複雑化する計算機システムの性能の評価は、困難化の傾向にある。計算機システムの性能は、処理される負荷に関する要因とシステム自身に関する要因により決定される。性能評価とは、これらの要因とシステム性能との関係を明らかにすることを目的とする。

この論文では、計算機システムの設計時での性能評価の支援を目的とした会話型性能評価技法ISCPについて述べる。この技法の特徴は、システム設計の各段階に相応した各種の性能評価手法を用い、性能モデルの作成、修正、登録及び性能計算の実行をタイムシェアリングシステムの端末から会話的に行なえる点にある。この特徴からISCPの使用により、システム設計時での性能評価の質の向上を期待することができる。

大町一彦\* Omachi Kazuhiko
本山博司\* Motoyama Hiroshi
松岡武昭\*\* Matsuoka Takeaki
池田俊明\*\*\* Ikeda Toshiakira

## 1 緒言

近年,計算機システムへのニーズの多様化,システムの分散化,仮想化などにより,計算機システムは全体として複雑化の傾向にある。性能は、計算機システムの主要な評価尺度として用いられているが、システムの複雑化に伴い、その評価は困難なものとなってきている。

この論文では、始めに、計算機システムの性能とその決定要因との関係を明らかにするための基礎技術である性能実測技術と予測技術について論じ、次いでシステム設計時での性能評価を支援する目的で、日立製作所が開発したISCP (Interactive tool for System Configuration Planning:会話型性能評価技法)について述べる。

この技法は、システム設計の各段階に相応した次に述べるような性能評価手法を用いる点に特長がある。

- (1) システムを待ち行列網でモデル化することによる解析的手法
- (2) システムを、数学的に扱いやすい待ち行列に分解してモデル化することによる解析的手法
- (3) ストラクチャードモデリング機能をもつシミュレーション手法

## 2 計算機システムの性能評価

## 2.1 システム性能とその決定要因

計算機システムの性能の尺度としては,一般に次に述べる 項目が用いられる。

- (1) 時間当たりのジョブ\*1)処理量(スループット)
- (2) ジョブ要求がシステムに到着してからその処理が終了するまでの時間(応答時間)
- (3) システムを構成するCPU(中央処理装置), I/O (入出力装置)などの各要素, すなわち各資源が使われる割合(資源利用率)
- ※1) バッチシステムではジョブ、タイムシェアリングシステムでは コマンド、オンラインシステムではメッセージ処理を以下ジョ ブと呼ぶ。

これらの尺度で代表されるシステム性能は,次に述べる要 因で決定される。

- (a) ジョブに関する要因(ジョブ要因)
  - (i) ジョブ到着量
  - (ii) ジョブの資源使用量
- (b) システム自身に関する要因(システム要因)
  - (i) 各資源の処理能力
  - (ii) 資源管理方式
  - (iii) システム構成

## 2.2 性能評価の目的

計算機システムの性能評価の目的は、システム性能とそれを決定する諸要因との関係を明らかにし、それらの要因からシステム性能を求めること、あるいは目標性能を達成するために必要なそれらの要因の組合せを求めることである。

システム拡張時での性能予測,システム設計時での性能予測,あるいは稼動中のシステム性能についての現状把握などのいわゆる性能評価作業と,システム性能及びその決定要因との関係を表1に示す。

表 1 システム性能, その決定要因と性能評価作業との関係性能実測技術及び予測技術が性能評価の基礎となる技術である。

性能決定要因		システム		基礎とな	
システ ム要因	ジョブ 要 因	性 能	実 際 例	る技術	
実 + 実 → 実		→ 実	稼動中のシステムの性能の現状把握	実測	
実 + 予 → 予		→ 予	システム拡張あるいはシステム詳細	技予	
予 + 実 → 予 予 + 予 → 予		→ 予		術 測 技	
		→ 予	設計時での性能予測		
7	· ← 予 →	+ 予	システム基本設計時での目標性能と	術	
1			負荷予測からのシステム構成予測		

注:実(実測値),予(予測値) X+Y→Z (XとYからZを求める。)

<sup>\*</sup> 日立製作所システム開発研究所 \*\* 日立製作所神奈川工場 \*\*\* 日立製作所ソフトウェア工場

## 2.3 性能実測技術と予測技術

#### (1) 実測技術

計算機システムの性能の実測手段として,次に述べる各種 のモニタがある。

## (a) ハードウェアモニタ

CPU, I/Oなどの装置に測定器を取り付け, 命令実行回数などのハードウェア固有の情報を収集する。

#### (b) ファームウェアモニタ

HITAC M-180のハードウェアカウンタ<sup>1)</sup>のように、従来ハードウェアモニタで収集していた情報を、測定器を取り付けることなくCPUに組み込まれているファームウェアによって収集する。

#### (c) ソフトウェアモニタ

オペレーティングシステムに組み込まれているソフトウェアにより,システム稼動状況に関する情報を収集する。

## (d) プログラムトレーサ

プログラムが実行した命令に関する情報,あるいはプログラムの実行中に発生する事象に関する情報を収集する<sup>1)</sup>。

表2に、これらの手段の特徴を示す。各種のモニタの特徴を生かし、目的ごとに使い分ける、あるいは併用するのが実際的な使用法である。

## (2) 予測技術

性能予測技術は、解析的手法とシミュレーション手法に大

#### 別される。

## (a) 解析的手法

この手法は、システムを待ち行列でモデル化し、数学的に各種の性能データを得るものである。待ち行列モデルを使う手法には、待ち行列網によるもの²)、システムを数学的に扱いやすい待ち行列に分解してモデル化する手法³)などがある。待ち行列網モデルによる手法は、簡便な計算アルゴリズムの開発⁴)に伴いその実用性が注目されてきている。

#### (b) シミュレーション手法

この手法は、GPSS(General Purpose Simulation System) $^{5)}$ のようなシミュレーション用言語などを用いて、システムの動作の性能面について模擬するモデル(性能モデル)を作成し、それにより各種の性能データを得るものである。

表3にこれらの手法の特徴を示す。解析的手法を用いて概括的な評価を行ない、システム性能を左右する部分についてシミュレーション手法を用いて詳細な評価を行なうという、両者の併用が有効である。

## 3 ISCPの機能と構成

#### 3.1 システム設計と性能評価

一般に計算機システムの設計は、その導入によって得られる総合的な経済性をできるだけ向上させたいというニーズを

表 2 性能実測手段の特徴 それぞれ異なる特徴をもつ性能実測手段を、目的に応じて使い分ける必要がある。

手段 特徴	ハードウェアモニタ	ファームウェアモニタ	ソフトウェアモニタ	プログラムトレーサ
長 所	I.稼動時のデータ収集が 可能である。	1. 同 左	I. 同 左	1.メモリ参照パターンの解 析が可能である。
	2.データ収集が対象システムに影響しない。	2.データ収集が対象システムにほとんど影響しない。	2.ソフトウェアの動作に連動し たデータの収集が可能である。	2.ミクロな解析が可能である。
	3.同時に発生する事象の 感知が可能である。	3.モニタの使用が容易である。	3. 同 左	3. 同 左
短所	I.モニタの組込みが容易 でない。	1.制御メモリ容量の制限から, カウンタの数が多くない。	1.ハードウェア固有情報が得ら れない。	I.長時間のデータ収集が事 実上不可能。
	2.ソフトウェアの動作と の対応が取りにくい。		2.データ収集が対象システムの 動きに影響する。	2.結果の解析に多くの時間を要する。
				3.一つのプログラムだけの データである。

## 表 3 性能予測手法の特徴 マクロな評価は解析的に、ミクロな評価をシミュレーションで行なうことが効果的である。

手 法	解			
	待 ち 行 列 線	モ デ ル 手 法	待ち行列の分解手法 <sup>3)</sup>	シミュレーション手法
持徴	簡 便 手 法 4)	汎用待ち行列網 2)		
長所	I.性能モデルの作成が容易 である。	1.性能モデルの作成がシミュレ ーション手法より容易である。	1.二次資源を扱える。	I.精度の高い性能モデルの 作成が可能である。
	2.性能計算に要するCPU時 間が短い。	2.複数種類のジョブの走るシステムを扱える。	2.入力すべきパラメータの数はシ ミュレーションほど多くない。	2.分散値が得られる。
	3.入力すべきパラメータの 数が少ない。			:
短所	I.平均的な I 種類のジョブ しか扱わない。	1.性能計算量は簡便手法より多い。	1. 同 左	I.性能計算に要するCPU時 間が長い。
	2.二次資源を扱わない。	2. 同 左	2.性能モデルの作成が容易でない。	2.性能モデルの作成,結果の検証が難しい。
	3.優先スケジュールを含む システムを扱わない。	3. 同 左		

図 I システム設計の各段階とISCPの各サブシステム システム設計が進むにつれて、精度の高い性能評価が要求される。

満たすために、EDP (Electronic Data Processing)予算あるいはEDP管理体制などの内部的な条件と、技術動向などの外部的な条件とを勘案して行なわれる。

今後の計算機システムに対するニーズの多様化,そしてそれを満たすためのシステムの分散化,仮想化及びシステム構成要素の多様化によって,システム構成は複雑となりその設計作業も難しくなる。このため,システム設計の中心的な作業である性能評価を支援するツールの必要性は増加する。

システム設計は必ずしも明確に区別できない場合もあるが, 大別すると次に述べる3段階から成る。

## (1) システム計画段階

計算機システムに要求される機能が極めて流動的であり, 大局的な性能評価が必要な段階である。

## (2) 基本設計段階

システム性能を決定する諸要因がやや固まる段階で,システム計画段階より詳しい性能評価が必要となる。

## (3) 詳細設計段階

システム性能を決定する諸要因及びシステムの詳細仕様の 固まる段階で、それらのデータを基にして、高い精度の性能 評価が要求される。

これらの各段階で性能が評価され、目標性能に達しているか否かについて調べられる。

## 3.2 ISCPの構成

ISCPは上記のシステム設計の各設計段階での性能評価に相応する手法を用いる、次に述べる三つのサブシステムで構成されている(図1)。

## (1) ISCP-C(ISCP-Central Server Model)

これは、計算機システムを待ち行列網モデル(セントラルサーバモデル:図2に示す。)でモデル化し、解析的手法によって性能評価を行なうサブシステムで、主としてシステム計画段階での性能評価を支援するものである。この待ち行列網モデルによる解析的性能評価手法は下記の特徴を持つ。

- (a) 準備すべき入力パラメータの数が少ない(数十)。
- (b) 1 ケースの性能を求める計算は、資源の数をm、タスク多重度 $^{*2}$ をnとすると、n行(m-1)列の行列の各要素

をそれぞれ1回ずつの加算と乗算で求めるものであり、それに要する計算時間は短い4)。

ISCP-Cは、次に述べる二つの機能をもつ。

#### (a) 構成評価機能

入力としてシステム構成を与え, その性能を求める機能 である。

## (b) 目標性能グラフ機能

システムの目標性能を達成するために必要なCPUの速度、I/Oの速度及びタスク多重度についてのすべての組合せ(図3中の曲面)を求める機能である。図3で、各座標軸は原点に近づくほど高性能(あるいは大容量)の資源に対応するため、各座標軸が作る3平面と前記の曲面で形成される立体が、目標性能を達成するCPU速度、I/O速度及びタスク多重度のすべての組合せを示し、システム構成案はこの

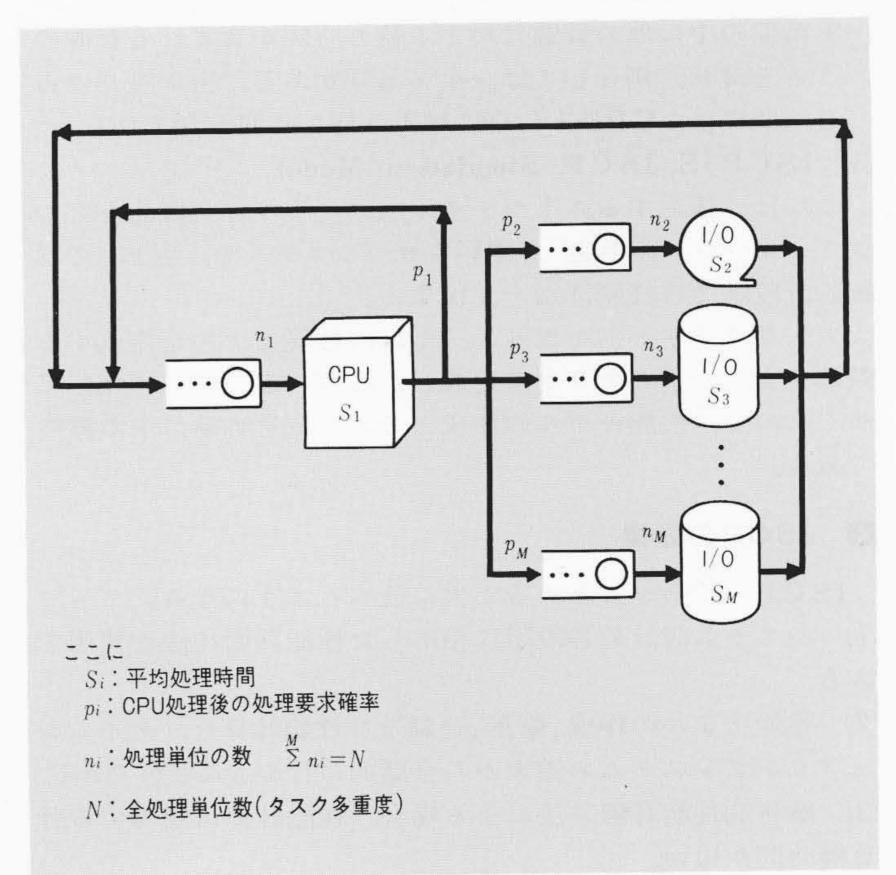


図 2 セントラルサーバモデル 到着したジョブは、まずCPUの待ち行列に並び、 $S_1$ 時間の処理を受けて、確率 $p_i$ で $I/O_i$ の待ち行列に並び、そこで $S_i$ 時間の処理を受けて再び CPUの待ち行列に並ぶというようにモデル化する。

<sup>※2)</sup> 計算機システムの中で同時に処理される処理単位の数をタスク 多重度と言う。

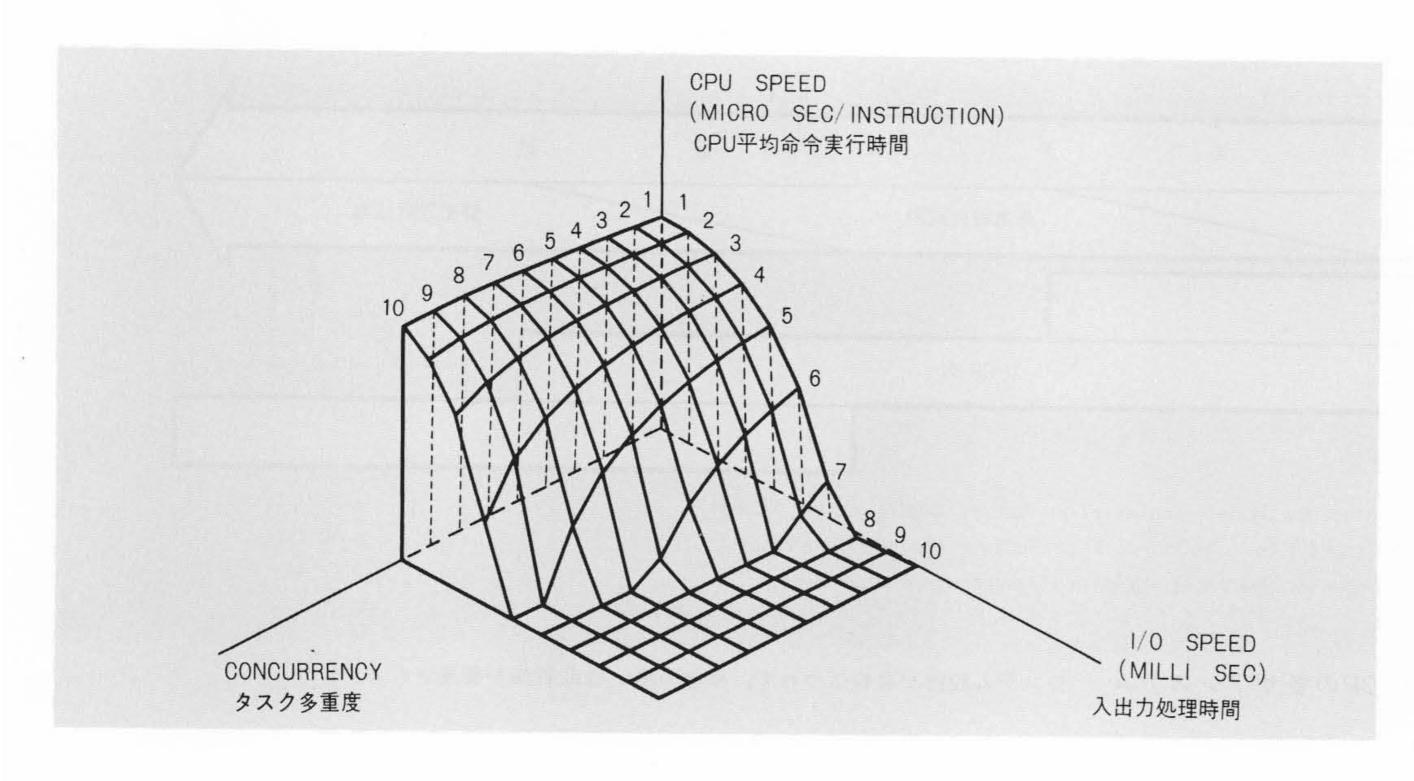


図 3 ISCP-Cの目標性能グラフ 3平面と曲面で作られる立体は、目標性能を達成する CPU速度、入出力装置速度及びタスク多重度のすべての組合せ(システム構成)の集まりである。

立体に含まれる点から選択される

ISCP-Cは他の二つのサブシステムに比較し、入力パラメータの数が少なく評価精度も粗い。しかし、中規模のオンラインシステム及び大規模のタイムシェアリングシステムに適用した場合の、実測値との相対誤差は次に述べるとおり大きくない。

- (i) 資源利用率及びスループット…… 5%以下
- (ii) 応答時間…………10%以下

## (2) ISCP-N(ISCP-Nested Queue Model)

これは、数学的に扱いやすい待ち行列に分解して、システムをモデル化する解析的手法を用いるサブシステムで、主として基本設計段階での性能評価を支援する。ISCP-Nで用いている性能評価手法は、次に述べるような特徴をもつ。

- (a) 入力パラメータの数はシミュレーション手法より少ない(数百)。
- (b) 二次資源を扱うことができる。二次資源とは、その占有時間の中に他の資源に対する待ち時間が含まれる資源のことを言う。例としては、主メモリがある。主メモリの占有時間には、CPUとI/Oに対する待ち時間が含まれる。

## (3) ISCP-S(ISCP-Simulation Model)

これは、後述するストラクチャードモデリング機能をもつシミュレーション手法<sup>6)</sup>を用いるサブシステムで、主として詳細設計段階での性能評価を支援する。

ストラクチャードモデリングとは、性能モデルを作成する際に、大きなまとまりから定義し、必要に応じて詳細化してゆくもので、性能モデルの作成とその検証を容易にする機能である。

## 4 ISCPの効果

ISCPの特徴をまとめると次に述べるようになる。

- (1) システム設計の各段階に相応した性能評価技法が使用できる。
- (2) 性能モデルの作成,修正,登録及び性能計算を,タイムシェアリングシステムの端末から会話的に行なうことができる。
- (3) 解析的性能評価手法による場合, 性能計算に使用する計算機時間が短い。
- (4) シミュレーションでの性能モデルの作成にストラクチャードモデリング機能が使用できる。

以上の特徴から、ISCPの使用により次に述べる性能評価

の質の向上を期待することができる。

- (1) 多ケースについての性能計算が容易となり、評価誤差に伴うリスクが減少し、各種の性能決定要因がシステム性能に及ぼす影響についての感度を把握することができる。
- (2) システム設計の各段階で各種の性能決定要因が変更された場合にも、容易に性能再評価を行なうことができる。
- (3) 性能評価の要請に迅速に対応することができる。
- (4) システム設計の各段階に応じた精度の性能評価を行なうことができる。

## 5 結 言

計算機システムの主要な評価尺度である性能の評価技法の 実用化を目的として、システム設計を支援する会話型性能評価技法ISCPを開発した。この技法は性能評価手法として、 各設計段階での性能評価に相応した、待ち行列網モデルなど による解析的手法とシミュレーション手法とを用いている。 また、性能モデルの作成、修正、登録及び性能計算を、タイムシェアリングシステム端末から会話的に行なうことができる。 ISCPの使用により、評価誤差に伴うリスクの減少など の性能評価の質の向上を期待することができる。

終わりに、ISCP開発に対し長期にわたり御指導及び御協力をいただいている京都大学工学部情報工学科教授、大野豊工学博士をはじめ、関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

- 1) 日立製作所: VOS 3 モニタリング支援解説文法書 (1977)
- Baskett, F., Chandy, K. M., Muntz, R. R., Palacios, F. G., : Open, Closed and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers, JACM, 22, 3 (1975)
- 3) 森村, 大前:応用待ち行列理論, 日科技連 (1975)
- 4) Buzen, J. P., : Computational Algorithms for Closed Queueing Networks with Exponential Servers, CACM, 16, 9 (1973)
- 5) 日立製作所:離散型シミュレーションシステムGPSS 機能 編(1975)
- 6) Tabata, K., Wada, Y. and Ohno, Y.,: Top-Down Modeling and Simulation with Graphics, Proc. of 2nd UJCC (1975)