

## MSS を用いた情報検索の応答時間の解析†

渡 辺 豊 英<sup>††</sup> 堀 池 博 巳<sup>††</sup>  
小 澤 義 明<sup>††</sup> 柴 山 守<sup>††\*</sup>

本稿では MSS (Mass Storage System) にデータベースを格納した場合に、検索応答時間がどのようになるかを検討している。それは、MSS の循環待ち行列システムによって解析した結果と、実際に MSS を用いて実験した結果を述べる。MSS の解析モデルを用いた算定では、情報検索の状況を種々のパラメータで設定し、解析した。また、実験では端末シミュレータの下に各検索処理のコマンドなどの応答時間を収集し、分析した。これらの解析や実験では、MSS の動作特性と検索応答時間について次の視点から検討を行った。1) ステージング DASD の容量が検索されるデータベースを収容するのに十分な大きさである場合とそうでない場合。2) ステージ・モード、シリンダ不在モード、ページ不在モードのステージング方法の相違。解析結果と実験結果より、MSS をデータベースの検索に用いる場合にはページ不在モードのステージング方法が最も効率よいことがわかった。転置ファイルの検索では、ステージ・モードに比べて3倍の差違がある。また、ステージング DASD の容量が十分な場合でも不十分な場合でも検索応答時間にほとんど差がないことがわかった。さらに、ステージング DASD の容量よりも装置台数のほうが効率に対して重要なファクタであった。

### 1. はじめに

MSS (Mass Storage System) は磁気テープ・ファイル並みの価格でデータを記録し、磁気ディスク・ファイルのようにオンラインでデータを処理できる<sup>1)</sup>。アクセス頻度の少ないデータや、一時に全体が参照されないデータなどを格納するのに最適な記憶媒体である。

データベースではすべてのデータが常に参照されるのではなく、条件に適合したレコードだけが処理される。膨大なデータに比べて参照レコードは数 % 以下である場合が多い。MSS は磁気ディスク装置 (以下、DISK という) に比べて大容量で、運用経費 (電気代、床面積対記録量など) も安く、データベースを格納するのに適した装置である。しかし、MSS の定性的・定量的な評価がほとんど行われておらず、カートリッジの取出しに機械動作が伴う MSS はアクセス時間に問題があり、MSS の性能を使用用途に合わせて評価する必要がある。

本稿では、MSS に格納したデータベースを検索する場合の応答時間を調べ、MSS の性能について検討する。本稿は次の各章から構成されている。2章では

MSS の解析モデルを説明し、3章ではこの解析モデルに検索状況を表すパラメータの設定方法を述べる。続いて、4章では平均検索応答時間を算定し、MSS の利用方法を評価する。また、5章では実際に MSS にデータベースを格納して検索実験した結果を述べる。

### 2. MSS の解析モデル

MSS に格納したデータベースの検索応答時間を算定するために、MSS をモデル化する。

#### 2.1 MSS の動作原理

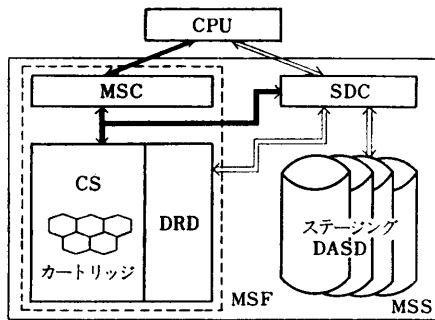
MSS をモデル化する前に、簡単に MSS を説明する。MSS のハードウェア構成を図 1 に示す。MSF (Mass Storage Facility) は MSS 全体を制御する装置で、複数の機構から構成されている。CS (Cartridge Store) はカートリッジを保管する機構、DRD (Data Recording Device) はカートリッジのデータを読み書きする機構、MSC (Mass Storage Control) は MSS の各ハードウェアを管理・制御する機構である。また、カートリッジのデータを CPU が直接読み書きできるように、一時的にデータを記録するステージング DASD (Direct Access Storage Device) という DISK がある。さらに、ステージング DASD と CPU 間、DRD とステージング DASD 間のデータ転送を制御する SDC (Staging Disk Control) がある。DRD からステージング DASD へのデータ転送をステージング、反対方向の転送をデステージングという。

MSS は、このような構成の下にカートリッジ・フ

† Response Time Analysis in Retrieving Databases Constructed on a Mass Storage System by TOYOHIDE WATANABE, HIROMI HORIIKE, YOSHIKI OZAWA and MAMORU SHIBAYAMA (Data Processing Center, Kyoto University).

†† 京都大学大型計算機センター

\* 現在 京都大学東南アジア研究センター



MSF : Mass Storage Facility  
 MSC : Mass Storage Control  
 DRD : Data Recording Device  
 CS : Cartridge Store  
 SDC : Staging Disk Control

⇔ : データの流れ  
 ⇨ : 制御情報の流れ

図 1 MSS のハードウェアの構成図

Fig. 1 Hardware configuration of MSS.

表 1 MSS のステージング動作  
 Table 1 Staging action of MSS.

ステップ	動作内容
S1	MSC はステージングの要求に対して MSS が処理するための管理情報ミニヘッダを作成する。
S2	MSC はこのミニヘッダを処理できる DRD を選択する。
S3	アクセス機構は該当のカートリッジを選択して DRD に設定する。そして、DRD はカートリッジ・データを読み、種々の制御データを照合する。
S4	MSC は SDC にステージングの実行を指示する。
S5	DRD は SDC を介してカートリッジ・データをステージング DASD に転送する。

ファイルとディスク・ファイルの間で DISK の仮想化を図り、ステージング DASD の容量に制限されることなく、膨大なデータを処理する。処理されるデータのみがステージング DASD にあればよく、一度に参照されるデータがほんの一部であるデータベースは MSS の特性に合致している。表 1 に MSS のステージング動作を示す。デステージングの場合もほぼ同じである。

ステージング動作には、データセットのオープン時にすべてのデータを転送するステージ・モード (以下、**s** と表す)、ステージング要求のつど 1 シリンダ約 248 k バイトを転送するシリンダ不在モード (以下、**c** と表す)、ステージング要求のつど連続した 8 シリンダ約 2 M バイト (1 ページという) を転送するページ不在モード (以下、**p** と表す) などの処理モードがある。

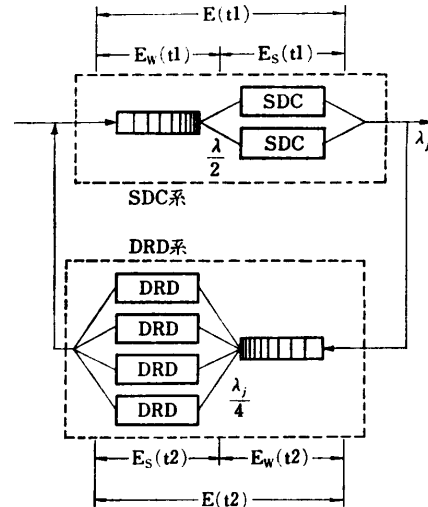


図 2 MSS の解析モデル

Fig. 2 Analysis model of MSS.

表 2 待ち行列の解析に用いられるパラメータ

Table 2 Parameters used in the analysis of MSS queuing model.

記号	意味
$\lambda_1$	ステージング要求の到着率
$\lambda_2$	デステージング要求の到着率
$\lambda_3$	マウント要求の到着率
$\lambda_4$	CPU のデータ読書きの要求の到着率
$\lambda_5$	MSC と SDC のデータ転送の要求の到着率
$\lambda$	$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5$
$\lambda_j$	$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$
$E_s(t1)$	SDC 系の平均サービス時間
$E_w(t1)$	DRD 系の平均サービス時間
$E_{s1}(t1)$	SDC 系の DRD とステージング DASD 間のデータ転送の平均サービス時間
$E_{cs}(t1)$	SDC 系の CPU とステージング DASD 間のデータ転送の平均サービス時間
$E_{ms}(t1)$	SDC 系の MSC と SDC 間のメッセージ、制御情報の転送の平均サービス時間
$E_{dc}(t1)$	SDC 系のデータ・チェックなどの平均サービス時間
$E_w(t1)$	SDC 系の平均待ち時間
$E_w(t2)$	DRD 系の平均待ち時間
$E(t1)$	SDC 系の平均応答時間
$E(t2)$	DRD 系の平均応答時間
$E_{s1}(t1)$	SDC 系の DRD とステージング DASD 間のデータ転送の平均応答時間
$E_{cs}(t1)$	SDC 系の CPU とステージング DASD 間のデータ転送の平均応答時間
$E_{ms}(t1)$	SDC 系の MSC と SDC 間のメッセージ、制御情報の転送の平均応答時間
$E_{dc}(t1)$	SDC 系のデータ・チェックなどの平均応答時間

## 2.2 解析モデルと定式化

MSS の解析モデルは、図 2 に示す循環待ち行列システムになり、SDC を介したデータの制御・転送に

関する SDC 系と, DRD を介したデータの転送に関する DRD 系から構成される<sup>1),3)</sup>. 表1の S1 から S3 が DRD のサービス, S4 と S5 が SDC のサービスである. S5 では DRD の処理も関係するが, ステージングの実行では新たに SDC がサービスを開始することだけが問題になるからである.

次に, このモデルを定式化する. この定式化に用いた記号を表2に整理した. 要求の到着はポアソン分布に, サービス時間は指数分布に従う. なぜなら, SDC では CPU や DRD とのデータ転送, ステージング DASD のデータ管理, MSC との制御情報の転送などの処理があり, サービス時間はそれぞれ異なっている. 一方, DRD でもカートリッジの格納場所によってアクセス時間が異なり, またある要求の処理が終了しても DRD がカートリッジを元の格納場所に戻すまでの時間(以下, DRD の返却時間という)が必要であり, これも要求の到着間隔によって異なっている.

以上の検討に従って定式化する.

#### (1) SDC 系

この系の平均サービス時間は,

$$E_s(t1) = (1/\lambda) \{ \lambda_1 E_{s1}(t1) + \lambda_4 E_{s2}(t1) + \lambda_5 E_{s3}(t1) + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) E_{s4}(t1) \} \quad (1)$$

である. SDC 系は二つの窓口を有した M/M/2 型の待ち行列であり, 平均待ち時間は,

$$E_w(t1) = \{ \lambda^2 E_s^2(t1) / (4 - \lambda^2 E_s^2(t1)) \} E_s(t1) \quad (2)$$

となる. したがって, SDC 系の各要求の平均応答時間は,

$$E_1(t1) = E_w(t1) + E_{s1}(t1) \quad (3)$$

$$E_2(t1) = E_w(t1) + E_{s2}(t1) \quad (4)$$

$$E_3(t1) = E_w(t1) + E_{s3}(t1) \quad (5)$$

$$E_4(t1) = E_w(t1) + E_{s4}(t1) \quad (6)$$

となる.

#### (2) DRD 系

DRD 系は四つの窓口を有した M/M/4 型の待ち行列であり,  $\lambda_1$  から  $\lambda_3$  に対する要求が到着する. この平均待ち時間は,

$$E_w(t2) = \lambda_j^4 E_s^5(t2) / \{ (24 + 18\lambda_j E_s(t2) + 6\lambda_j^2 E_s^2(t2) + \lambda_j^3 E_s^3(t2)) (4 - \lambda_j E_s(t2)) \} \quad (7)$$

となる. したがって, 平均応答時間は,

$$E(t2) = E_w(t2) + E_s(t2) \quad (8)$$

である.

したがって, 1 要求当りの平均応答時間は,

$$E(t) = (1/\lambda) \{ \lambda_1 E_1(t1) + \lambda_4 E_2(t1) + \lambda_5 E_3(t1) + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) E_4(t1) + \lambda_j E(t2) \} \quad (9)$$

となる. ここで,  $E_{s3}(t1)$  は  $E_{s1}(t1)$ ,  $E_s(t2)$  のデータ転送量に比べて比率が  $10^{-3}$  以下であり, 無視できる. また,  $E_{s4}(t1)$  の演算処理時間もデータの転送時間に比べて無視できる. したがって, これらを値 0 とすれば式(9)は,

$$E(t) = (1/\lambda) \{ \lambda_1 E_1(t1) + \lambda_4 E_2(t1) + \lambda_j E(t2) \} \quad (10)$$

となる. 式(10)では  $\lambda_5$  を無視できることを表している.

### 3. 情報検索における解析モデル

式(10)に検索状況を表す値を設定することによって, 平均検索応答時間を求める. ここで, 検索応答時間とは検索コマンドを入力し, 次に表示コマンドで検索結果を出力するまで(この一連の経過を検索プロセスという)の時間とし, 平均検索応答時間とは複数のデータベースに対する複数の検索者の検索応答時間の平均値とする. したがって, 情報検索システムやデータベース管理システムの処理方法, データベースの構造などを考えないで, データへのアクセス時間だけを問題にする. また, 検索プロセスを考えるので, データの書き込みやデステージングは発生しないとする.

式(10)によって 1 要求の応答時間を求め, この値と検索プロセスで必要になるすべての要求数を積算すれば, 求める平均検索応答時間になる.

#### 3.1 検索状況の設定

##### (1) CPU 動作から捕えた検索プロセス

複数の検索者が複数のデータベースを検索する状況を表すために表3のパラメータを用いる. すなわち,  $A$ 個のデータベースが検索サービスされている時間  $T$  に,  $M$ 人の検索者がそれぞれ  $N_1$ 回の検索コマンドを入力し,  $N_2$ 回の表示コマンドを用いた場合を考える. そして, 1 検索コマンド当りの検索項目が, 転置ファイルの検索(以下, 転置検索という)に  $E_1$ 回, マスタ・ファイルの検索(以下, マスタ検索という)に  $E_2$ 回だけ用いられるとする. したがって, 転置ファイル, およびマスタ・ファイルを CPU が読み込むために必要な要求数  $x, y$  は,

$$\bullet \text{ 転置ファイル: } x = M * N_1 * E_1 * V_{11}$$

$$\bullet \text{ マスタ・ファイル:}$$

$$y = M * (N_1 * E_2 * V_{12} + N_2 * V_2)$$

となる. ここで,  $V_{11}$  は転置検索時の 1 検索項目当りの転置ファイルの参照回数,  $V_{12}$  はマスタ検索時の 1 検索項目当りのマスタ・ファイルの参照回数,  $V_2$  は出力時のマスタ・ファイルの参照回数である. これら

表 3 検索状況を表すパラメータ  
Table 3 Parameters of retrieval process.

	記号	意 味	4章で解析に用いた値	
CPU 側	<i>T</i>	データベースの検索サービス時間	$8 \times 3,600$	(秒)
	<i>M</i>	検索サービス時間当りの検索者数	96	(人)
	<i>A</i>	検索サービス時間当りの検索者サービスのデータベース数	5, 50	(個)
	<i>N<sub>1</sub></i>	1 検索者の検索回数	4	(回)
	<i>N<sub>2</sub></i>	1 検索者の結果出力回数	2	(回)
	<i>E<sub>1</sub></i>	転置ファイルの検索に対する 1 検索コマンドの検索項目数	0, 1, 3	(個)
	<i>E<sub>2</sub></i>	マスタ・ファイルの検索に対する 1 検索コマンドの検索項目数	0, 1	(個)
	<i>V<sub>11</sub></i>	転置ファイルの検索時における検索項目当りの転置ファイルの参照回数	$F/B \times S_1/R$	(回)
	<i>V<sub>12</sub></i>	マスタ・ファイルの検索時における検索項目当りのマスタ・ファイルの参照回数	$S_2/R$	(回)
	<i>V<sub>2</sub></i>	結果出力時におけるマスタ・ファイルの参照回数	$G \times S_2/R$	(回)
	<i>F</i>	転置ファイルの検索時における検索項目当りの転置ファイルの参照率	0.05/B, 0.25/B, 0.5/B	
	<i>G</i>	結果出力時におけるマスタ・ファイルの参照率	0.0001, 0.001, 0.01	
	<i>R</i>	CPU の 1 回のデータ読み込み量	0.25, 2, 32 $\times 10^{-3}$	(MB)
	<i>S<sub>0</sub></i>	1 データベースの容量 (= $S_1 + S_2$ )	$S_1 + S_2$	(MB)
	<i>S<sub>1</sub></i>	1 転置ファイルの容量	$0.4 \times S_2$	(MB)
	<i>S<sub>2</sub></i>	1 マスタ・ファイルの容量	50, 500	(MB)
	<i>B</i>	1 転置ファイルの転置項目数	5	(個)
	<i>D</i>	1 データベースの定義情報ファイルの読出し回数	<i>M, A</i>	(回)
<i>Z</i>	1 データベースの定義情報ファイルの容量	0.248	(MB)	
MSS 側	<i>I</i>	転置ファイルの検索時における転置ファイルの参照率	0.01, 0.1, 1	
	<i>J</i>	マスタ・ファイルの参照時におけるマスタ・ファイルの参照率	0.01, 0.1, 1	
	<i>H</i>	獲得処理を考慮した転送シリンダ数 (シリンダ不在時), および転送ページ数 (ページ不在時)	1, 2 1, 2	(シリンダ) (ページ)
	<i>K</i>	ステージング DASH の容量と実際に必要なページ数の割合	0.1, 0.5	
	<i>L</i>	ステージング DASH の容量が不十分な場合における再転送のシリンダ数 (シリンダ不在時), および再転送のページ数 (ページ不在時) の割合	0.1, 0.5	

はそれぞれのファイルに対する参照率 *F*, *G* を用いて次のように表現できる。

$$V_{11} = F \times ((S_1 + S_2) / R) / B, \quad V_{12} = S_2 / R, \\ V_2 = G \times S_2 / R$$

ただし, *S<sub>1</sub>* は転置ファイルの容量, *S<sub>2</sub>* はマスタ・ファイルの容量, *R* は CPU の 1 回のデータ読み込み量, *B* は転置ファイル当りの転置項目数である。

さらに, データベースを検索する場合に, CPU はデータベースの定義情報を参照するためにこの情報を読み出す必要がある。この情報はデータ・バッファに必ずしも常駐するわけではなく, この回数は定義情報ファイルの読出し回数 *D* を用いて  $D \times Z / R$  となる。*Z* は定義情報ファイルの容量である。したがって, 検索プロセスにおける CPU の読み込みの総要求数は  $x + y + D \times Z / R$  となる。

(2) MSS 動作から捕えた検索プロセス

CPU がデータを参照するには, ステージングによってステージング DASH にデータが転送されなければならない。s では一度にすべてのデータが転送されるが, c と p ではデータの参照範囲によってステー

ング回数も異なり, その参照範囲を表すために転置ファイル, マスタ・ファイルの参照率 *I*, *J* を用いる。しかし, ステージング回数はステージング方法だけでなく, ステージング DASH の容量にも依存する。ステージング DASH の容量が十分な場合と不十分な場合を考える必要がある。十分な場合とは一度ステージング DASH に転送されたデータは, 他のデータによって消去されないほど, ステージング DASH の容量が大きい場合である。一方, 不十分な場合とは同じデータが何回もステージングされる場合である。したがって, あるデータが何回ステージング DASH に再転送されるかを想定する必要がある。このためにパラメータ *L* を用いる。また, 実際に必要とするステージング DASH の容量とステージング DASH が提供する容量の割合によって再転送の回数も異なるので, この割合を表すためにパラメータ *K* を用いる。

さらに, MSS には獲得 (acquire) 処理と呼ぶ現象がある。獲得処理とはステージング動作中のカートリッジに対して新たなステージング要求が発生すると, その要求は別に処理されずに処理中の要求に吸収され

表 4  $\lambda_1$  と  $E_{s_1}(t_1)$  の設定  
Table 4 Parameters of  $\lambda_1$  and  $E_{s_1}(t_1)$ .

		temp	$\lambda_1$	$E_{s_1}(t_1)$
ステージング DASD の容量が十分な場合	ステージ・モード (転置, マスタ・ファイルが同一のデータセットの場合)	$3 * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * (2 + S_0 / 0.248) / 3$
	ステージ・モード (転置, マスタ・ファイルが別々のデータセットの場合)	$4 * A$	$(temp - 2 * A) / T$	$0.655 * (2 + S_0 / 0.248) / 4$
	シリンダ不在モード	$((I * S_1 + J * S_2) / (0.248 * H) + 2) * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A / temp$
	ページ不在モード	$((I * S_1 + J * S_2) / (0.248 * 8 * H) + 2) * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A / temp$
ステージング DASD の容量が不十分な場合	ステージ・モード (シリンダ不在)	$(3 + L * (1 - K)) * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * (2 + S_0 / 0.248 + L * (1 - K)) * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A / temp$
	ステージ・モード (ページ不在)	$(3 + (L/8) * (1 - K)) * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * (2 + S_0 / 0.248 + L * (1 - K)) * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * A / temp$
	シリンダ不在モード	$((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * (1 + L * (1 - K)) * A$	$(temp - A) / T$	0.655
	ページ不在モード	$((I * S_1 + J * S_2) / (0.248 * 8) + 2 + ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * (L/8) * (1 - K)) * A$	$(temp - A) / T$	$0.655 * ((I * S_1 + J * S_2) / 0.248 + 2) * (1 + L * (1 - K)) * A / temp$

注) ステージング DASD の容量が不十分な場合には、獲得処理を考慮していないが、十分な場合と同様に設定できる。

て処理されることをいう。したがって、 $c$  や  $p$  では必ずしも 1 シリンダ、1 ページが転送されるわけではなく、これを補正するためにパラメータ  $H$  を用いる。

### 3.2 解析モデルのパラメータ

以上のように設定した検索プロセスと測定データから、MSS の各サービス時間と要求の到着率を決める。

(1)  $E_{s_1}(t_1)$ : 測定データから 1 シリンダの転送に 0.655 秒を要する。この値はステージング方法によって異なり、1 回のデータの転送量に依存する。ただし、マウント要求時にも 1 シリンダの制御データが転送され、マウント要求回数とステージング要求回数の総計で平均した値を用いる。表 4 にはステージング方法とステージング DASD の容量の大きさに分けて値を示した。

(2)  $E_{s_2}(t_1)$ : この値は CPU が 1 回に読み込むデータ量によって決まり、測定データから 2k バイトの転送に 0.005 秒を要す。一般に、 $E_{s_2}(t_1) = 0.005 * R / 0.002$  となる。

(3)  $E_{s_3}(t_2)$ : 測定データより MSS の動作に余裕があるときには 7.414 秒である。しかし、MSS への要求が密に到着すれば、DRD の返却時間が影響し、 $(7.414 + d)$  秒となる。ただし、 $0 \leq d < 5.000$  である。 $d$  が DRD の返却時間を表し、要求の到着間隔の回数として決まる。

(4)  $\lambda_1$ : これは  $E_{s_1}(t_1)$  と同様に、ステージング方法とステージング DASD の容量などに依存する。表 4 におのおの場合を示した。すなわち、検索サービス時間  $T$  に発生したステージング要求の総数を  $T$  で割れば、単位時間当りの到着率が求められる。

(5)  $\lambda_2$ : これはデステージング要求の到着率であり、ここでは値 0 である。

(6)  $\lambda_3$ : これはマウント要求の総数を単位時間当りに換算すればよい。本解析では、ステージング DASD の容量が不十分な場合にもマウント時の制御データは消去されないものとする。したがって、データベースの個数  $A$  がマウント要求の総数になり、 $\lambda_3 = A/T$  となる。

(7)  $\lambda_4$ : これは CPU の読み込み要求の総数に依存し、 $\lambda_4 = (x + y + D * Z/R)T$  となる。

このように各値を決めることができ、1 要求の応答時間を式(10)で求め、検索プロセスの平均検索応答時間は、

$$E_{total}(t) = (x + y + D * Z/R + temp) / (M * N_2) * E(t) \quad (11)$$

となる。temp は表 4 で用いた各ステージング方法によって決まる値である。

### 4. 検索応答時間の解析

実際に解析に用いたパラメータ値も表 3 に示した。これらの値は、京都大学計算機センターで運用している情報検索システム FAIRS<sup>9)</sup> が収集した統計情報に基づいて試算したものであり、とくに意味はない。以下の各図表の  $E$  は、 $E_1$  と  $E_2$  が (0, 1) のとき 0, (1, 0) のとき 1, (3, 0) のとき 3 を示し、 $E$  が 0 のとき マスタ検索、 $E$  が 1 と 3 のとき転置検索を表す。

解析ではステージング DASD の容量が十分な場合と不十分な場合に分け、各ステージング方法の平均検索応答時間を求めた。

表 5 ステージング DASD の容量が十分な場合におけるステージ・モードの平均検索応答時間

Table 5 Average retrieval response times of stage mode on sufficient staging DASD.

(単位: 秒)

A	S <sub>0</sub>	D	E	Mixed			Separated	
				F:1 G:1	F:1 G:100	F:10 G:1	F:1 G:100	F:10 G:1
				5	50	50	0	913.44
5	50	50	1	6.31	7.55	15.34	7.74	15.54
5	50	50	3	8.31	9.55	35.78	9.75	35.97
5	50	96	0	920.19	948.68	920.19	948.88	920.38
5	50	96	1	6.61	7.85	15.65	8.04	15.84
5	50	96	3	8.62	9.86	36.09	10.05	36.29
5	500	96	0	—	—	—	—	—
5	500	96	1	59.85	74.02	194.28	74.21	194.48
5	500	96	3	83.16	98.82	—	99.01	—
50	50	96	0	16,688.22	31,011.77	16,688.22	31,013.70	16,690.15
50	50	96	1	55.39	56.73	65.28	58.66	67.21
50	50	96	3	57.56	58.91	88.61	60.84	90.54
50	500	96	—	—	—	—	—	—

注) 表中の「—」は設定条件内ではすべての検索処理が完了しないことを意味する。これは以下の表でも共通である。

4.1 ステージング DASD の容量が十分な場合

表 5 に **a** のおもな結果を示す。CPU の 1 回のデータ読み量 *R* を変えても結果に差がなく、この区別を示していない\*。また、定義情報ファイルの読出し回数 *D* も大きな要因ではなかったので、*A*=5、*B*=50 のときだけ別々に示し、残りを *D*=96 の場合とした\*\*。

転置ファイルとマスタ・ファイルが別々のデータセットに作成されている場合 (表 5 の separated) とそうでない場合 (表 5 の mixed) を分けて解析した。separated の応答時間が多少長い。これはデータセットの数が倍になり、マウント要求の回数が増えたからである。

この結果では、データベースの個数 *A*、データベースの容量 *S*<sub>0</sub> が重要な因子である。マスタ検索 *E*=0 は転置検索 *E*=1 よりも 150 倍以上になり、転置ファイルの効果明らかである。それは *A* か *S*<sub>0</sub> が大きくなるほど、差が開いている。また、1 検索コマンドに検索項目が複数あってもその数に影響されない。すなわち、*E*=3 は *E*=1 の約 1.35 倍で、1 検索コマンドで複数の条件を与えて絞り込むほうが、検索コマンドで絞り込んでゆくよりも効率がよい。さらに、参照率 *F*、*G* の変化の割合に比べて応答時間の変化は鈍く、*F* が 10 倍になっても応答時間は *A*=5 で 4

\* これは以下の結果でも同じである。

\*\* 以下の結果では *D*=96 の場合だけを示した。

表 6 ステージング DASD の容量が十分な場合におけるシリンダ不在モードの平均検索応答時間

Table 6 Average retrieval response times of cylinder fault mode on sufficient staging DASD.

(単位: 秒)

A	S <sub>0</sub>	E	I	J	H:1			H:2	
					F:1 G:1	F:1 G:100	F:10 G:1	F:1 G:100	F:10 G:1
					5	50	0	1	1
5	50	0	1	100	826.30	849.70	826.30	849.50	826.10
5	50	0	100	1	829.25	852.74	829.25	851.99	828.49
5	50	1	1	1	1.77	3.01	10.79	3.00	10.78
5	50	1	1	100	2.18	3.42	11.19	3.22	11.00
5	50	1	100	1	3.40	4.64	12.41	3.88	11.66
5	50	3	1	1	3.77	5.01	31.09	5.00	31.08
5	50	3	1	100	4.18	5.42	31.50	5.22	31.30
5	50	3	100	1	5.40	6.64	32.72	5.88	31.96
5	500	0	—	—	—	—	—	—	—
5	500	1	1	1	11.08	23.58	113.77	23.48	113.68
5	500	1	1	100	15.15	27.65	117.97	25.69	116.01
5	500	1	100	1	27.34	39.86	130.58	32.30	123.02
5	500	3	1	1	31.39	44.34	—	44.24	—
50	50	0	1	1	834.93	858.61	834.93	858.52	834.93
50	50	0	1	100	844.86	846.86	844.86	866.90	842.90
50	50	0	100	1	875.15	900.15	875.15	892.59	867.59
50	50	1	1	1	5.74	6.98	14.75	6.88	14.66
50	50	1	1	100	9.80	11.04	16.82	9.08	16.86
50	50	1	100	1	21.99	23.23	31.01	15.67	23.45
50	50	3	1	1	7.74	8.98	35.06	8.88	34.97
50	500	0	—	—	—	—	—	—	—
50	500	1	1	1	16.71	29.22	119.59	28.27	118.65
50	500	1	1	100	57.37	69.92	161.65	50.31	142.04
50	500	1	100	1	296.95	309.72	406.12	116.59	212.99
50	500	3	1	1	37.03	50.00	—	49.05	—

倍ほどである。*A* が多くなるほど、この変化は小さくなる。

次に、表 6 に **c** のおもな結果を示す。ここでは、獲得処理がある場合 (表 6 の *H*=2) とそうでない場合 (表 6 の *H*=1) を分けた。獲得処理があれば多少応答時間が短く、1 シリンダを 1 つずつ転送するよりも、獲得処理でデータの転送回数を減らすことは有効である。

応答時間は **a** よりもよく、またマスタ検索と転置検索の比も 300 倍以上になり、**c** では転置ファイルの効果がいっそう現れている。また、マスタ検索では **a** が *A* か *S*<sub>0</sub> の増大によって極端に悪くなるのに対して **c** はあまり変らない。たとえば、*A*=50、*B*=50 を比べれば明らかである。情報検索に MSS を用いる場合に、**c** が有効である。一方、転置検索では *F* の変化による応答時間は **a** よりも顕著に現れ、**a** が 4 倍ほどであったのに対し最大 10 倍にもなる\*

\* *A*=5、*B*=500 の場合である。

表7 ステージング DASD の容量が十分な場合におけるページ不在モードの平均検索応答時間

Table 7 Average retrieval response times of page fault mode on sufficient staging DASD.

(単位: 秒)

A	S <sub>0</sub>	E	I	J	H: 1		
					F: 1 G: 1	F: 1 G: 100	F: 10 G: 1
5	50	0	1	1	825.30	848.67	825.30
5	50	0	1	100	825.96	849.36	825.96
5	50	0	100	1	827.93	851.42	827.93
5	50	1	1	1	1.76	2.99	10.77
5	50	1	1	100	1.84	3.07	10.85
5	50	1	100	1	2.08	3.31	11.09
5	50	3	1	1	3.76	5.00	31.07
5	50	3	1	100	3.84	5.08	31.15
5	50	3	100	1	4.08	5.31	31.39
5	500	0	—	—	—	—	—
5	500	1	1	1	10.92	23.41	113.61
5	500	1	1	100	11.72	24.22	114.54
5	500	1	100	1	14.11	26.62	117.35
5	500	3	1	1	31.22	44.17	—
50	50	0	1	1	834.77	858.44	834.77
50	50	0	1	100	841.43	865.43	841.43
50	50	0	100	1	861.92	886.92	861.92
50	50	1	1	1	5.58	6.81	14.59
50	50	1	1	100	6.37	7.61	15.39
50	50	1	100	1	8.76	10.00	17.78
50	50	3	1	1	7.58	8.81	34.90
50	500	0	—	—	—	—	—
50	500	1	1	1	15.06	27.57	117.94
50	500	1	1	100	23.05	35.60	127.33
50	500	1	100	1	47.07	59.83	156.23
50	500	3	1	1	35.38	48.35	—

また、ステージングに関するファイルの参照率  $I, J$  と  $F, G$  を比べると、 $A=5$  では  $F, G$  により強く依存するが、 $A=50$  では  $I, J$  の影響が強くなっている。1 検索コマンドが含む検索項目数では  $s$  よりも  $c$  のほうが強く現れ、 $E=3$  と  $E=1$  の比は  $s$  で 1.3 であるのに対して  $c$  では 1.3 から 2 となっている。

表7に  $p$  のおもな結果を示す。獲得処理による現象は  $c$  と同様であり、省略した。ほとんど  $c$  と同じ状況であるが、若干よい。しかし、 $c$  と比べて著しい相違は  $p$  では  $I, J$  の影響が少ないことであり、 $A$  が多くなっても大きな変化がない。たとえば、 $A=5, B=50, E=1, I=100, J=1$  のときの値を表6と表7で比べれば明らかである。

表5から表7の結果を比べると、 $p$  が最もよい。情報検索では、データベースの大きさに比べて参照されるデータがごく一部であり、必要なデータだけをステージングするほうがよいという推測を裏づける。 $c$

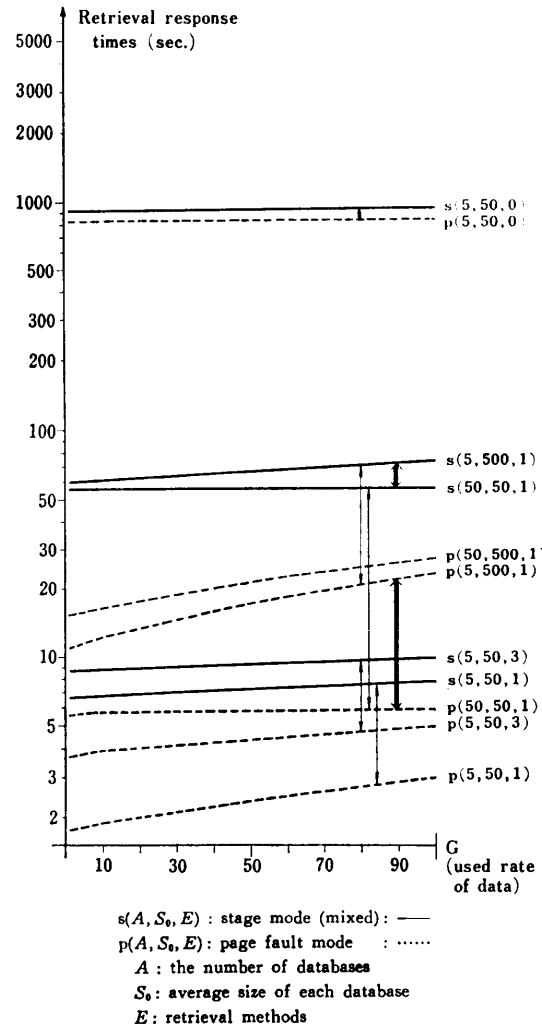


図3  $s$  と  $p$  のデータベースの個数・容量、検索回数との相違による平均検索応答時間

Fig. 3 Average retrieval response times of  $s$  and  $p$  by difference of the number and size of databases, and the number of retrievals.

は  $p$  よりもさらに限定してデータを転送するが、ステージング要求の回数が増え、逆に悪くなっている。

$c, p$  を  $s$  と比較すると、マスタ検索では約 90 秒以上の差があり、 $s$  は効率が悪い。 $A$  か  $S_0$  が増大すればその差も大きくなる。転置検索では 3 倍以上の差があり、 $A$  か  $S_0$  が増えればマスタ検索と同様に、より顕著になる。図3にデータベースの個数・容量と検索回数の相違だけに注目して  $s$  と  $p$  を図示したが、 $s$  と  $p$  の対応するグラフを両矢印で示したが、いずれも  $p$  がよい。さらに、太両矢印で対応させたグラフは、データベース全体では同じ容量であるが、個数が多い構成は応答時間がよいことを表す。また、個数が多い

表 8 ステージ・モードにおけるステーキング DASD の容量が十分な場合と不十分な場合の比較  
Table 8 Comparison with the cases of insufficient and sufficient staging DASD on stage mode.

(単位: 秒)

A	S <sub>0</sub>	E	F	G	I	J	Sufficient DASD (mixed)	Insufficient DASD (under cylinder fault)				Insufficient DASD (under page fault)			
								K:1 L:1	K:1 L:5	K:5 L:1	K:5 L:5	K:1 L:1	K:1 L:5	K:5 L:1	K:5 L:5
5	50	1	1	1	1	1	6.61	6.65	6.81	6.63	6.72	6.62	6.65	6.62	6.63
5	50	1	1	1	1	100		6.69	6.99	6.65	6.82	6.63	6.69	6.62	6.65
5	50	1	1	1	100	1		6.80	7.54	6.72	7.13	6.65	6.79	6.63	6.71
5	50	1	1	100	1	1	7.85	7.89	8.05	7.87	7.96	7.87	7.89	7.86	7.87
5	50	1	10	1	1	1	15.65	16.69	15.85	15.67	15.76	15.66	15.69	15.65	15.67
5	50	3	1	1	1	1	8.62	8.66	8.81	8.64	8.73	8.62	8.65	8.62	8.63
5	500	1	1	1	1	1	59.85	59.90	60.13	59.88	60.01	59.86	59.91	59.85	59.88
50	50	1	1	1	1	1	55.39	55.79	57.39	55.62	56.50	55.47	55.80	55.44	55.62
50	500	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

構成は G の変化による影響がほとんどなく、応答時間が一定である。これは、データベースを MSS に格納する場合に、一つの大きなデータベースよりも複数の小さなデータベースで作成するほうが効率が良いことを示している。

4.2 ステージング DASD の容量が不十分な場合

ここでは、ステーキング DASD の容量が同じであるとして応答時間を求めるのではなく、各ステーキング方法で必要になる容量の何割が実際に提供されているかという状況を考える。したがって、同一容量のステーキング DASD を考えれば s に比べて c と p がさらによくなる。さらに、この解析では獲得処理を考慮しないが、これがあるとすれば以下の値よりも若干よくなる。

まず、s の場合を検討する。ステーキング DASD のデータが一度消去され、再転送されるときにステーキング方法 (以下、転送モードという) が c か p であるかを区別し、またステーキング DASD の容量が十分な場合の結果と対比して表 8 におもな結果を整理した。この結果、ステーキング DASD の容量が十分な場合とほとんど変りなく、必要な容量に対する割合 K が 1 割, 5 割であっても、また再転送の割合が 1 割, 5 割であってもほぼ同じである。すなわち、ステーキング DASD の容量よりも、扱うデータベースの特性に応答時間は依存している。また、転送モードでも p が c よりよい。

同様に、表 9 に p の場合を示したが、s と同じ現象である。

これらの結果より、ステーキング DASD の容量は応答時間に大きな影響を与えないことが明らかである。

表 9 ページ不在モードにおけるステーキング DASD の容量が十分な場合と不十分な場合の比較

Table 9 Comparison with the cases of the insufficient and sufficient staging DASD on page fault mode.

(単位: 秒)

A	S <sub>0</sub>	E	F	G	I	J	Sufficient DASD (H=1)	Insufficient DASD			
								K:1 L:1	K:1 L:5	K:5 L:1	K:5 L:5
5	50	1	1	1	1	1	1.76	1.76	1.80	1.76	1.78
5	50	1	1	1	1	100	1.84	1.85	1.91	1.84	1.88
5	50	1	1	1	100	1	2.08	2.11	2.26	2.10	2.18
5	50	1	1	100	1	1	2.99	3.00	3.03	3.00	3.02
5	50	1	10	1	1	1	10.77	10.78	10.81	10.77	10.79
5	50	3	1	1	1	1	3.76	3.76	3.80	3.76	3.78
5	500	1	1	1	1	1	10.92	10.93	10.97	10.92	10.95
50	50	1	1	1	1	1	5.58	5.65	5.96	5.62	5.79
50	500	1	1	1	1	1	15.06	15.18	15.62	15.13	15.37

4.3 解析結果に対する考察

MSS にデータベースを格納しても、c, p の転置検索では非常に広範囲の検索を行わない限り、50 M バイトでは 3 秒前後で、500 M バイトでは 30 秒前後で検索処理でき、MSS を十分に活用できる。しかし、広範囲の検索や検索語がすべてのレコードに共通するような検索では 2 分前後も要している。この場合には、転置ファイルやよく利用される転置項目だけをステーキング DASD に前もって設定する方法、DISK に格納する方法などの別の手段を講ずる必要がある。また、検索者が極端に多くなった場合にも同様の対策が必要になる。たとえば、M を 960 とすれば検索サービス時間内にすべての処理を行うことができない。

さらに、データベースを作成する上でキーワードをよく整理・分類しないと、非常に応答性が悪くなることに注意しなければならない。



表 10 実験における検索応答時間  
Table 10 Results of experiments.

	CASE 1			CASE 2			CASE 3			CASE 4		
	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.
SEL	6.1	16.0	1.0	14.1	160.0	4.0	96.0	361.0	6.0	23.0	61.0	2.0
SEA	3.5	29.0	1.0	13.5	308.0	1.0	66.4	210.0	1.0	33.2	147.0	0.0
AND	3.5	64.0	0.0	4.9	72.0	0.0	46.4	538.0	0.0	33.4	506.0	1.0
OR	2.0	9.0	0.0	2.1	45.0	0.0	1.8	10.0	0.0	9.4	81.0	0.0
NOT	—	—	—	6.2	15.0	2.0	27.7	42.0	6.0	10.4	38.0	1.0
OUT	3.8	22.0	0.0	5.3	52.0	1.0	114.8	768.0	0.0	62.3	368.0	0.0

(単位: 秒)

CASE 1: REAL DISK  
CASE 2: S (staging DASD: 200 MB)  
CASE 3: S (staging DASD: 100 MB)  
CASE 4: P (staging DASD: 100 MB)

SEL (SELECT) : データベースの選択コマンド  
SEA (SEARCH) : データベースの検索コマンド  
AND : データベースの検索コマンド (論理積)  
OR : データベースの検索コマンド (論理和)  
NOT : データベースの検索コマンド (論理差)  
OUT (OUTPUT) : 検索結果の表示コマンド

### 5. MSS を用いた検索実験

いままで解析的に検討したが、実際に MSS を用いて実験し、MSSの動作特性と検索応答時間を調べた<sup>2)</sup>。

実験では 102 G バイトを実装できる MSS を用いて、ステージング DASD として容量 200 M バイトの DISK 2 台の下に FAIRS で検索した。実験に用いたデータベースは総容量 178 M バイトで、ステージング DASD の 1 台の DISK に収容可能である。検索プロセスの経過時間の収集に TIOS (Terminal Input/Output Simulator) を用いた。このシミュレーションの条件としてコマンドの入力時間を無視し、思考時間を 1 秒とした。したがって、4 章の解析結果と比較する場合には、以下で示す値より思考時間を差し引く必要がある。

表 10 が実験結果を整理した値であり、CASE 1 が DISK に、CASE 2 から CASE 4 が MSS にデータベースを格納した場合である。CASE 2 は 200 M バイト (装置 2 台) のステージング DASD を s で、CASE 3 は 100 M バイト (装置 1 台) のステージング DASD を s で、CASE 4 は 100 M バイト (装置 1 台) のステージング DASD を p で実験した値である。ただし、VSAM データセットを作成してステージング DASD の容量を調節した。CASE 2 は CASE 1 に比べて平均 2 から 3 倍の応答時間の開きがあるのに対して、ステージング DASD の容量が全データを格納するのに十分でない CASE 3 では CASE 1 に比べて 15 から 20 倍の時間を要し、とくに出力時間は 30 倍にも達している。これは解析結果と異なっているが、この原因はステージング DASD の容量の差でなく、

ステージング DASD として DISK を何台用いたかによる。すなわち、ステージング DASD として DISK を 2 台用いると、DISK 1 台当りのアクセス・パスの競合が緩和されるためである。一方、CASE 4 では同じステージング DASD の容量の CASE 3 に比べて 1/2 から 1/3 倍となり、解析結果と同じ結果になっている。論理和検索コマンド OR が CASE 3 に比べて悪いが、s の場合にはすでにステージング DASD にデータが存在する確率が高く、ステージング要求が発生しなかったためである。

### 6. おわりに

本稿では MSS に格納したデータベースの平均検索応答時間を解析結果と実験結果より検討した。それは、ステージング DASD の容量が十分な場合と不十分な場合、およびステージング方法が異なる場合に分けて行った。検索応答時間はステージング DASD の容量にはそれほど影響を受けず、データベースの容量・個数に依存することがわかった。また、ページ不在モードのステージング方法は応答時間が最もよく、ステージ・モードに比べて約 3 倍である。参照されるレコードの数、転置ファイルの参照率によって応答時間は異なるものの、MSS は情報検索に十分利用できる。MSS をデータベースに活用することの利点は、データベースの大きさに比べて比較的小容量のファイル空間で処理できることである。データの一部しか参照されないデータベースは最も MSS に適している。

本稿では、情報検索システムの処理ロジックについては無視して検討した。実際には、利用するシステムのデータ・バッファなどの管理・制御によってステー

ジング DASD への参照回数も異なってくる<sup>6),7)</sup>。この検討は別稿で議論することとする。

**謝辞** データベースの研究開発に積極的に支援していただいている丹羽義次センター長、萩原宏研究開発部長に謝意を表します。また、口頃からご協力いただいている星野聡前センター助教授（現在、図書館情報大学教授）、北川一、島崎真昭両助教授、村尾義和技官を初めとする研究開発部員の方々に感謝します。さらに、本稿をよりよくするために種々のアドバイスをいただいた査読者に感謝します。

### 参 考 文 献

- 1) 渡辺, 星野: Mass Storage System を用いたジョブ処理の性能解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 24, No. 5, pp. 654-663 (1983).
- 2) 堀池, 柴山, 小澤, 渡辺: データベースにおける MSS 利用に関する実験と考察, 全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集, No. 2, pp. 129-140 (1980).
- 3) 小澤, 堀池, 渡辺, 星野: 大容量記憶システム (MSS) を用いた情報検索の性能について, 情報処理学会第 22 回 (昭和 56 年前期) 全国大会論文集, 4 L-11 (1981).
- 4) FACOM OS IV/F 4 MSS 解説書, MSS 運用手引書, 富士通 (1980).
- 5) FACOM OS IV/F 4 FAIRS-I 解説書, FAIRS-I コマンド文法書 (情報検索, 情報蓄積・更新編), 運用手引書, 富士通 (1980).
- 6) 小澤, 堀池, 芦田, 渡辺: ADABAS と FAIRS に於ける INSPEC データベースの比較, 全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集, No. 3, pp. 63-72 (1981).
- 7) 渡辺, 小澤, 堀池, 芦田: Mass Storage System に於ける ADABAS のデータ・バッファ領域の効果, 昭和 57 年度電子通信学会総合全国大会講演集, 電子計算機 B-1497 (1982).

(昭和 57 年 4 月 5 日受付)

(昭和 58 年 4 月 19 日採録)