

## オンラインファイル記憶系装置のコスト評価に関する一考察†

木ノ内 康夫\*\* 山口 博\*\* 桜井 紀彦†

オンラインシステムにおけるファイル記憶系の望ましい階層構成を明らかにすることをねらいとして、同一のアクセス頻度、レスポンスタイム条件及び信頼度条件の下で各種ファイル記憶装置のコストを分析・評価し、その比較を通じて各装置の適用領域を明らかにした。コスト評価にあたっては、ファイル記憶系の動作を待ち行列モデルで記述し、複数の拘束条件下で最小コストを求める問題として検討した。ここで、厳密なコスト算出式をそのまま用いたのでは、適用領域を評価するためのコスト分析の方法としては使いにくいことから、オンラインシステムにおけるファイル記憶装置の使用特性に注目した近似を行い、コスト評価式の単純化を図った。さらに、この方法を拡張し、ファイル混在時や装置の一部機能に注目した場合のコストについて考察した。

### 1. はじめに

オンラインシステムにおいては、アクセス頻度、レスポンスタイムの異なる様々なファイルが要求されるため、各種ファイル記憶装置を適切に組み合わせることにより、システム全体として効率的なファイル記憶系を構成することが求められる。

近年、半導体メモリ素子の急激な価格低下に伴うファイル記憶装置への適用や、既存ファイル記憶装置間の発展度合いの差異による、性能・価格の相対的変化が生じていることから、新しいファイル記憶系構成の明確化が望まれている。

ファイル記憶系の望ましい構成を明らかにするためには、対象とする装置・方式について同一の性能条件（アクセス頻度、レスポンスタイム）及び信頼度条件の下でコスト比較を行う必要がある。

従来から、簡明なコスト評価法としては、「時間的、空間的に占有した割合に応じて各装置個別にコストを算出し、使用する全装置について和をとる」という手法が知られている<sup>1)~7)</sup>。Lum や藤井らはこれにより、ファイルマイグレーションや低速ファイル記憶系のコストを評価している。この手法は、多数のファイルが混在する中で特定のファイルの負担すべきコストを評価できるなど、コスト分析には使いやすい。しかし、レスポンスタイム条件を設定しての比較ができないことや、デバイスのコスト算出に性能条件が考慮されていないなどの点から、筆者らのめざす「同一要求条件下での最小コストの比較」にそのまま適用することは

できない。

本論文は、オンラインシステムにおけるファイル記憶装置を対象に、要求条件と適用すべき装置種別・性能の関係を考察するものであり、はじめに、レスポンスタイム、スループット等の性能条件がコストへ与える影響を評価可能なことをねらいとして、ファイル記憶系の動作を待ち行列モデルで記述し<sup>8)~10)</sup>、上記要求条件下での最小コスト算出式を示した。

ただし、このままでは一般に待ち行列が多段となるため、最小コストを解析的に求めるのは困難である。

本論文の主目的は、要求条件や装置性能・価格がどのような形でコストに反映しているかとらえることや、多種類のファイルで装置を共用している時に特定のファイルだけのコストを評価すること、あるいは装置内の一部の機能だけを使用する場合のコストを把握すること等にあり、コスト値そのものについては必ずしも高い精度を必要としない。そこで、オンラインシステムでの使用特性に注目した近似を行い、コスト算出式の単純化を図るとともに、ファイル混在時や装置の一部機能に注目した時のコストについて考察した。

最後に、この方法を用い、オンライン処理でアクセスされる各種ファイル記憶装置について、レスポンスタイム、スループット等の要求条件とコストとの関係や、各装置の適用領域を考察した。

### 2. 評価手法の検討

はじめに、ファイル系のコスト評価における要求条件を以下のように設定する。

(1) 容量条件：ファイルとして要求される容量を格納可能なこと。

(2) 性能条件：所定のスループット（単位時間当たりのファイルアクセス回数）、レスポンスタイム

† Cost Evaluation for Online Storage System by YASUO KINOUCHI, HIROSHI YAMAGUCHI and NORIHIKO SAKURAI (Processing Equipment Section, NTT Electrical Communications Laboratories).

\*\* NTT 電気通信研究所処理装置研究室

(I/O 要求発出後、主記憶上でデータが使用可能となるまでの時間)を満足すること。

(3) 信頼度条件: ファイル系障害が発生した場合でも、2重障害を除き所定の性能条件・容量条件を満足すること。

(1)の容量条件はファイル格納のための必要最小限のデバイス台数を定めるものであり、(2)の性能条件によってはさらに多くのデバイスが必要となる。

(3)の信頼度条件は、例えばアクセスパスの多重化のように、障害を考慮した装置構成上の必要な余裕や予備構成等を示すものである。本論文では、チャンネル、コントローラ(ディスク制御装置等)で構成されるアクセスパスは2パスが保証されるものとし、片パス障害時は残りの1パスで処理するものとする。ただし、予備デバイスの設置によるコスト増については、容易に算出できるため考察の対象から除外する。

検討にあたっては、始めに単一構成装置(通常の磁気ディスクや磁気ドラム装置)を対象に、磁気ディスクをベースとして、単純化した基本モデルを設定し、同一拘束条件下での最小コスト算出式及びその近似式を導いた。

次にこの結果を応用して、複数種のファイルが同一装置内に混在する時や複合装置(固定ヘッド部と可動ヘッド部からなる固定ヘッド付ディスクのように複数の構成要素を持つ装置)について考察する。

## 2.1 単一構成装置

ファイル記憶系の基本構成を図1に示すように  $N_d$  台のデバイスと  $N_c$  台のコントローラから構成されるものとする。はじめに、格納ファイルが1種類の場合について検討し、次に多種類のファイルが混在する場

合について拡張する。

(1) 格納ファイルが1種類の場合

ファイル容量を  $F$  [MB], ファイル全体へのアクセス回数を  $A$  [回/s], 許容されるレスポンスタイムを  $R$  [s], 所要最小コストを  $h$  とすると,  $h$  は次式で表現される。

$$h = \min_{N_c, N_d} (N_c \cdot C_c + N_d \cdot C_d) \quad (2.1)$$

$C_c$ : コントローラ価格

$C_d$ : デバイス価格

要求条件は以下のように記述される。

(ア) 容量条件

$$F \leq N_d \cdot D \quad (2.2)$$

$D$ : 装置1台当たりの容量

(イ) レスポンスタイム条件

$$R \geq T_d + T_{wd} + T_{wc} \quad (2.3)$$

$T_d$ : デバイス占有時間

$T_{wd}$ : デバイス空き待ち時間

$T_{wc}$ : コントローラ空き待ち時間

(ウ) スループット条件

$$AT_c / N_c = \rho_c < 1 \quad (2.4)$$

$$AT_d / N_d = \rho_d < 1 \quad (2.5)$$

$\rho_d$ : デバイス使用率

$\rho_c$ : コントローラ使用率

$T_c$ : コントローラ占有時間

(エ) 信頼度条件

$$\rho_c \leq \rho_c^* \quad (2.6)$$

$\rho_c^*$ : 信頼度条件より与えられるコントローラ使用率の上限

すなわち、図1のファイル構成について最小コスト

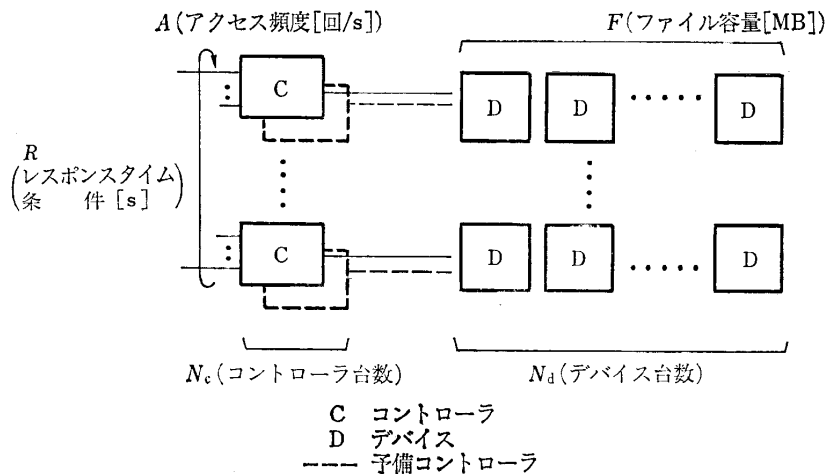


図1 ファイル系の基本構成

Fig. 1 The basic configuration of file storage subsystem.

$h$  を求めることは、(2.2)~(2.6)式を拘束条件として、(2.1)式の  $N_c, N_d$  を正の整数の範囲で変化させ最小値を求める非線形計画法の問題として定式化される。

本論文では、実用性を損なわない範囲で簡略化を図るため、はじめに以下の仮定をおく。

①  $N_c, N_d$  の意味を拡大し、連続する実数値をとり得るものとする。

これにより、整数計画法として厳密な解を求めることはできないが、装置規模の大小による量子化の影響を取り除くことが可能となる。

② デバイス空き待ち時間  $T_{wa}$ , コントローラ空き待ち時間  $T_{wc}$  が各々 M/M/1 モデルで評価可能とする。

①, ② の仮定により、(2.3)式は次のように書き直すことができる。

$$R \geq T_d + \frac{\rho_d}{1-\rho_d} T_d + \frac{\rho_c}{1-\rho_c} T_c \quad (2.7)$$

ただし、デバイス占有時間  $T_d$  は再結合待ちの影響によりコントローラ使用率の関数となる。

$$T_d = T_{d0} + \frac{\rho_c}{1-\rho_c} T_{rot} \quad (2.8)$$

$T_{d0}$ : 再結合待ちがない時のデバイス占有時間

$T_{rot}$ : ディスクの回転時間

次に  $N_c, N_d$  の拘束条件を整理し直すと、スループット条件(2.4)式より

$$N_c = \frac{AT_c}{\rho_c} \quad (2.9)$$

(2.5)式及びレスポンスタイム条件(2.7)式より

$$N_d \geq \frac{AT_d(\rho_c)}{\rho_d(\rho_c, R)} \quad (2.10)$$

$$\rho_d(\rho_c, R) = 1 - T_d(\rho_c) / (R - T_{wc}(\rho_c)) \quad (2.11)$$

容量条件(2.2)式より

$$N_d \geq \frac{F}{D} \quad (2.12)$$

となる。

$N_c$  に関しては(2.9)式により、 $N_d$  に関しては(2.10)式、(2.12)式により制限されるため、(2.1)式は  $\rho_c$  を通じて  $N_c, N_d$  を変化させ、最小コスト  $h$

を求める問題として次のように表すことができる。

$$h = \min_{\rho_c \leq \rho_c^*} \left[ \frac{AT_c}{\rho_c} C_c + \max \left\{ \frac{AT_d(\rho_c)}{\rho_d(\rho_c, R)}, \frac{F}{D} \right\} C_d \right] \quad (2.13)$$

しかし上式のままでは、解析的に解を求めることはもとより、数値計算も簡単ではない。そこで、本論文では現行のオンラインシステムでのファイルの使用形態を考慮した近似を行った。

通常のオンラインファイルのアクセスでは、アクセス当たりの転送データ量は数kB~10kB/回程度であり、 $T_d$  が数10msであるのに対して、 $T_c$  は数msと1桁程度小さい。またコントローラの片系障害に対応するためコントローラ使用率は0.4以下に制限されることが多いなどの特徴がある。

このような環境下で(2.13)式を見ると、

①  $T_c \ll T_d$  であるため、 $\rho_c$  が極端に小さい場合を除いて  $\rho_c$  の変化がコントローラ台数の増減としてコスト  $h$  に与える影響は少ない。

② 容量条件が支配的な範囲では  $\rho_c$  はデバイス台数に影響しない。性能条件が支配的である場合も  $\rho_c$  の上限が0.4と制限されていることや  $T_c$  が小さいことから、 $\rho_c$  によるデバイス台数への影響は少ない。

このような特徴を考慮するとともに、本論文でねらいとするファイル系の構成評価にあたっては、必ずしも常に高い精度でのコスト算出は必要なく、装置性能とコストの関係を容易に把握可能とすることが重要で

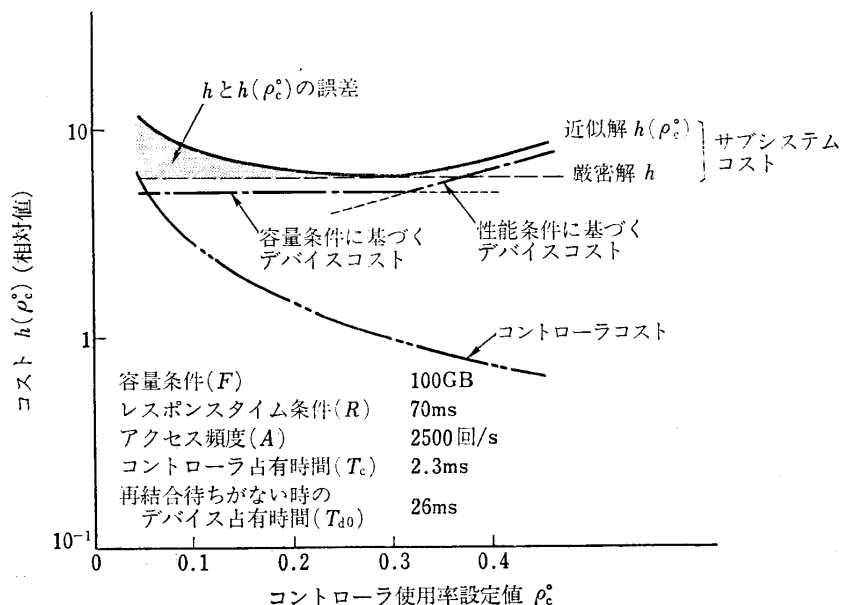


図2 コントローラ使用率とコスト  
Fig. 2 Cost ( $h(\rho_c)$ ) for controller busy ratio ( $\rho_c$ ).

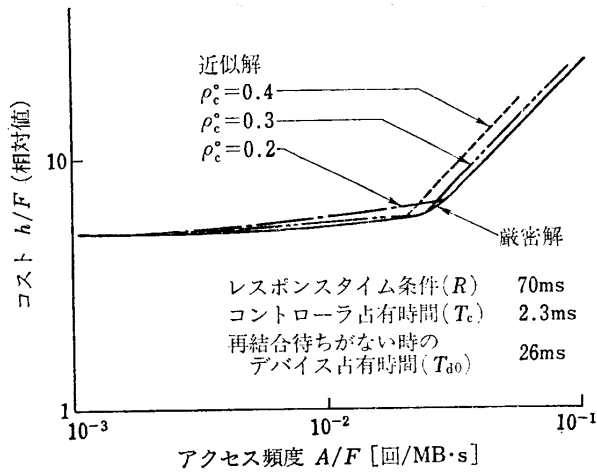


図3 アクセス頻度とコスト

Fig. 3 Cost ( $h/F$ ) for the frequency of file access ( $A/F$ ).

あることから、以下必要に応じて  $\rho_c$  の最適値算出を省略し、近似的に  $\rho_c^0$  と設定してコストを評価する。この場合の近似解  $h(\rho_c^0)$  は次式で示される。

$$h(\rho_c^0) = \frac{AT_c}{\rho_c^0} C_c + \max \left\{ \frac{AT_d(\rho_c^0)}{\rho_d(\rho_c^0, R)}, \frac{F}{D} \right\} C_d \quad (2.14)$$

図2に  $\rho_c^0$  を近似的に設定することによるコストへの影響(誤差)を示す。図中のサブシステムコスト  $h(\rho_c^0)$  の最小値が真の値  $h$  を示す。また、図3には単位容量当たりのアクセス頻度  $A/F$  と単位容量当たりのコスト  $h/F$  の関係について、厳密解と近似解を示す。図3において、アクセス頻度の低い領域でコストがほぼ一定となるのは、デバイスコストに関して容量条件が支配的であるため、 $h/F$  が性能条件にほとんど影響されないことを示している。

なお、精度が要求される時は、 $\rho_c^0$  を振らせて  $h(\rho_c^0)$  算出を繰り返すことにより、必要に応じて  $h(\rho_c^0)$  を  $h$  に近づけることが可能である。

また、コントローラとデバイスが同時に保留されるような装置では  $T_c = T_d$  となるが、この場合は一段の待ちモデルとなるため、より簡単なモデルに帰着させることが可能である。算出方法を3章に示す。

以上(2.13)式、(2.14)式により、各種拘束条件及びデバイス特性の関数として最小コスト及びその近似値が求められることを示したが、この方法は全体として Lum, 藤井らの方法を包含し、さらに以下の拡張をしたものと位置付けられる。

① 容量、性能の各条件に基づいてそれぞれにコスト負担分を求め、いずれか最大値を採るという操作を施

すことにより、デバイスのコスト負担分を、ファイル容量だけでなく、スループット、レスポンスタイムで示される性能条件も考慮して算出できるようにした。

② 性能条件に基づくデバイスのコスト負担分は、  

$$\frac{\text{単位時間当たりデバイス占有時間} \times \text{デバイス価格}}{\text{デバイス使用率上限}}$$

で表される。従来、単位時間当たりのデバイス占有時間を通じてスループット条件が反映されていたが、さらにデバイス使用率の上限を通じてレスポンスタイムが反映可能となった。

(2) ファイルの混在を想定した場合

複数のファイルが同一デバイス内に混在する時、注目するファイルのコストをそれ以外のファイルの特性にかかわらず求められることは、マイグレーション等を考える場合に有用である。本節では(2.14)式で示されたコスト算出式が複数ファイルの混在という環境下で持つ意味について考察する。

$N$  個からなる複数のファイル  $i$  ( $i=1 \sim N$ ) を想定し、その特性はアクセス頻度  $A_i$ 、ファイル容量  $F_i$  とする。ただし、デバイス占有時間  $T_d$ 、レスポンスタイム条件  $R$  は、各ファイルとも等しいとする。

このとき  $j \sim k$  のファイルを格納するに必要なコスト  $h(j, k)$  は前節と同様、次式で近似できる。

$$h(j, k) = \frac{\sum_i A_i}{\rho_c^0} T_c C_c + \max \left\{ \frac{T_d \sum_i A_i}{\rho_d}, \frac{\sum_i F_i}{D} \right\} C_d \quad (2.15)$$

厳密には、最小コストを与えるコントローラ使用率は対象とするファイル  $j \sim k$  によって変化するが、簡単化のため、ファイル  $j \sim k$  によらず一定値  $\rho_c^0$  で近似できるものとした。この場合、 $\rho_d$  は(2.11)式で示したように  $\rho_c^0, T_d, R$  の関数であり、 $j \sim k$  には依存しないとみなせる。

次に  $N$  個のファイルが混在する中でファイル1のコスト負担分  $h_1$  を次式で定義する。

$$h_1 = h(1, N) - h(2, N) \quad (2.16)$$

上式は、注目するファイル1が存在する場合と、存在しない場合のコスト差をもってファイル1のコスト負担分とみなすことを示している。

(2.15)式、(2.16)式から次の結果を得る(付録1)。

$$h_1 \leq h(1, 1)$$

$$h(1, 1) = \frac{A_1 T_c}{\rho_c^0} C_c + \max \left\{ \frac{A_1 T_d}{\rho_d}, \frac{F_1}{D} \right\} C_d \quad (2.17)$$

また、ファイル1以外の特性  $A_i, F_i$  を任意として

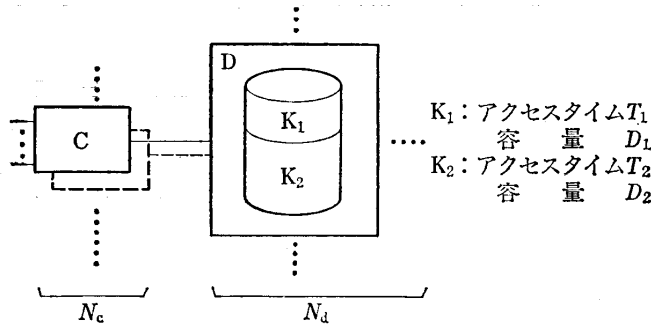


図4 複合ファイル装置のモデル  
Fig. 4 The model of hybrid file storage.

$h_1$  について最大値をとると、次式が成立する。

$$h(1, 1) = \max_{\substack{A_i, F_i \\ i \neq 1}} h_1 \quad (2.18)$$

以上より、混在を想定した場合のコスト負担分  $h_1$  は、他のファイル  $2 \sim N$  の特性により変化するが、その上限は  $h(1, 1)$  で与えられることが分かる。

すなわち、(2.14)式は、ファイル混在下では、「他のファイルの特性を任意とした時ファイル1として負担すべきコストの最大値」を示すとみなせる。

### 2.2 複合構成ファイル装置

本節では固定ヘッド付きディスク装置を例として、複合装置を対象に評価方法を検討する。

はじめに複合装置全体を対象とし、次に複合装置の一構成要素（例えば固定ヘッド部のみ）に注目した場合のコスト評価法について検討する。

複合装置のモデルとしては、図4の構成を想定する。装置内の機能は、 $K_1, K_2$  二つに分かれ、それぞれアクセスタイムは  $T_1, T_2$  で与えられるものとする。固定ヘッド付きディスクの場合、 $K_1$  が固定ヘッド部、 $K_2$  が可動ヘッド部に相当する。データの読出し口は1箇所であり、 $K_1$  と  $K_2$  は同時に動作することはできない。

$K_1, K_2$  に格納するファイルは、それぞれ所要ファイル量  $F_1, F_2$ 、レスポンスタイム条件  $R_1, R_2$  とする。

#### (1) 複合装置全体を対象としたときの評価方法

$K_1, K_2$  からなる複合装置を用いてファイル系を構成する場合の所要コスト  $h[K_1, K_2]$  の算出式とその条件は、以下のように記述される。

$$h[K_1, K_2] = \min \{ N_c C_c + N_d C_d \} \quad (2.19)$$

ただし、 $C_d = C_{d1} + C_{d2}$

$C_{di}$ :  $K_i$  部の価格 ( $i=1, 2$ )

#### (ア) 容量条件

$$F_i \leq N_d D_i \quad (i=1, 2) \quad (2.20)$$

$D_i$ :  $K_i$  部の容量

#### (イ) レスポンスタイム条件

$$R_i \geq T_{di} + T_{wc} + T_{cc} \quad (i=1, 2) \quad (2.21)$$

$T_{di}$ :  $K_i$  部使用時の装置占有時間

ここで、 $T_{wd}$  は  $M_1, M_2/M_1, M_2/1$  モデルで評価可能と仮定すると、(2.21)式は次のように書ける。

$$R_i \geq T_{di} + \frac{\rho_c}{1 - \rho_c} T_c + \frac{\rho_{d1} T_{d1} + \rho_{d2} T_{d2}}{1 - \rho_{d1} - \rho_{d2}} \quad (i=1, 2) \quad (2.22)$$

ただし、

$$\rho_{di} = \frac{A_i T_{di}}{N_d} \quad (i=1, 2) \quad (2.23)$$

$$\rho_c = \frac{(A_1 + A_2) T_c}{N_c} \quad (2.24)$$

スループット条件、信頼度条件については前節と同様とする。

所要コスト  $h[K_1, K_2]$  の近似解は、前節と同様  $\rho_c$  の最適化を省略すると次のようになる。

$$h[K_1, K_2] = \frac{(A_1 + A_2) T_c}{\rho_c} + \max \left\{ \frac{1}{\rho_m}, (A_1 T_{d1} + A_2 T_{d2}), \frac{F_1}{D_1}, \frac{F_2}{D_2} \right\} C_d \quad (2.25)$$

ただし、

$$\rho_m = \min(\rho_{m1}, \rho_{m2}) \quad (2.26)$$

$$\rho_{mi} = \frac{R_i - T_{wc} - T_{di}}{W + R_i - T_{wc} - T_{di}} \quad (i=1, 2) \quad (2.27)$$

$$W = \frac{A_1 T_{d1}^2 + A_2 T_{d2}^2}{A_1 T_{d1} + A_2 T_{d2}} \quad (2.28)$$

(2.25)式で  $\{ \}$  内の第1項は性能条件を満たすための必要装置台数を示している。この場合の装置利用率上限  $\rho_m$  は  $K_1, K_2$  いずれかレスポンスタイム条件の厳しい方で決定される。

第2項、第3項は、 $K_1, K_2$  へのファイル格納からみた必要装置台数を示す。

以上のように複合装置全体のコスト評価式は前節の直接の拡張として求めることができる。

#### (2) 複合装置中の構成要素に注目した時の評価方法

複合装置における、各構成要素中のファイルのコスト負担分は必ずしも明確でない。これは、一部のハードウェアを複数の構成要素間で共用する結果、各構成

要素が独立に動作できなくなるなど、動作の干渉が生じるためである。

例えば、可動ヘッドディスクにオプションとして固定ヘッド部を付加する方法に関して、可動ヘッド部への影響も考慮した固定ヘッド部使用時のコスト負担分は明らかにされていない。

本論文では、複合装置として  $K_1, K_2$  の両方を使用したときのコストから、 $K_2$  のみからなる装置を使用したときのコストを差し引いたものを  $K_1$  使用時のコスト負担分  $h[K_1, 0]$  として次式で定義する。

$$h[K_1, 0] = h[K_1, K_2] - h_{k2} \quad (2.29)$$

ただし、

$$h_{k2} = \frac{A_2 T_c}{\rho_c} C_c + \max\left(\frac{A_2 T_{d2}}{\rho_{d2}}, \frac{F_2}{D_2}\right) C_{d2} \quad (2.30)$$

$$\rho_{d2} = 1 - \frac{T_{d2}}{R_2 - T_{wc}} \quad (2.31)$$

繁雑さを避けるため、ファイル容量  $F_i$  と装置容量  $D_i$  の間に  $F_i/F_2 = D_i/D_2$  の関係があると仮定し、また(2.25)式と(2.30)式の  $\rho_c$  を等しく置くと、 $h[K_1, 0]$  は近似的にこれまでの算出式と同様の形式で表現でき、次式となる(付録2)。

$$h[K_1, 0] = \frac{A_1 T_c}{\rho_c} C_c + \max\left\{\frac{1}{\rho_m}(A_1 T_{d1} C_{d1} + A_1 T_{d1} C_{d2} + A_2 T_{d2} C_{d1}) + \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_{d2}}\right) A_2 T_{d2} C_{d2}, \frac{F_1}{D_1} C_{d1}\right\} \quad (2.32)$$

上式で、 $\{ \}$  内の第1項は性能条件に基づく  $K_1$  使用時のコスト負担分を示すが、単に  $A_1 T_{d1} C_i / \rho_m$  で示される  $K_1$  自身の使用時間と価格の積だけではなく、次の三つの要素を含まなければならないことを示している。

(ア)  $K_1$  が動作中に  $K_2$  が保留されるためのコスト負担分

$$\frac{1}{\rho_m} A_1 T_{d1} C_{d2}$$

(イ)  $K_2$  が動作中に  $K_1$  が保留されるためのコスト負担分

$$\frac{1}{\rho_m} A_2 T_{d2} C_{d1}$$

(ウ)  $K_1, K_2$  と二つの構成要素があることにより、 $K_2$  のみの場合に比べて使用率上限が変化する

$$\text{ることによる影響} \quad \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_{d2}}\right) A_2 T_{d2} C_{d2}$$

### 3. オンラインファイル系の構成

前章で示した基本的なモデルによる検討結果を、各

装置に適用し、CPU 使用コスト、CH 使用コストも含めたコスト算出式を求める。

次にこの式を用いて各装置の適用領域を考察する。

対象とする装置は、磁気ディスク装置、磁気ドラム装置及び半導体ファイル装置(半導体メモリ素子を用いて構成した周辺装置、電子ディスクとも呼ばれる)とする。さらに、従来磁気ドラム等に格納していたファイルの主記憶への常駐化が増えていることから、主記憶装置も比較の対象とする。

#### 3.1 装置別コスト評価式

##### (1) 磁気ディスク装置

磁気ディスク装置を使用する場合のトータルコスト  $H_{DK}$  は次式で求められる。

$$H_{DK} = h_{CPU} + h_{CH} + h_c + h_{DK} \quad (3.1)$$

$h_{CPU}$ : CPU 使用コスト,  $h_{CH}$ : 転送系使用コスト,  $h_c$ : コントローラ使用コスト,  $h_{DK}$ : DK 使用コスト

ここで、

$$h_{CPU} = \frac{A T_{CPU}}{\rho_{CPU}} C_{CPU} \quad (3.2)$$

$$h_{CH} = \frac{A T_{CH}}{\rho_{CH}} C_{CH} \quad (3.3)$$

$T_i$ : 装置  $i$  の占有時間 ( $i = CPU, CH$ )

$\rho_i$ : 装置  $i$  の最大使用率 ( $i = CPU, CH$ )

$C_i$ : 装置  $i$  の価格 ( $i = CPU, CH$ )

$h_c + h_{DK}$  の算出は前章(2.14)式による。ただし、レスポンスタイム条件は  $R - T_{CPU}$  と置く。

##### (2) 半導体ファイル装置

半導体メモリ素子で構成され、機械的動作を伴わない半導体ファイル装置では、デバイスとコントローラは同時に保留されるため、待ちモデルは一段のモデルで記述できる。ただし、レスポンスタイムはコントローラ使用率  $\rho_c$ 、デバイス使用率  $\rho_d$  のいずれか高い方によって決定される。

デバイス占有時間を  $T (= T_d = T_c)$  とすると、レスポンスタイム条件は次式のようになる。

$$R \geq T_{CPU} + \frac{T}{1 - \rho_c} \quad (3.4)$$

$$R \geq T_{CPU} + \frac{T}{1 - \rho_d} \quad (3.5)$$

ただし、

$$\rho_c = \frac{AT}{N_c} \quad (3.6)$$

$$\rho_d = \frac{AT}{N_d} \quad (3.7)$$

したがって

$$N_c = \frac{AT}{\rho_c} \geq \frac{AT}{1-T/(R-T_{CPU})} \quad (3.8)$$

$$N_d = \frac{AT}{\rho_d} \geq \frac{AT}{1-T/(R-T_{CPU})} \quad (3.9)$$

2章と同様、容量条件、信頼度条件を加えると、所要コストは次式で算出できる。

$$h_c = \max \left\{ \frac{AT}{1-T/(R-T_{CPU})}, \frac{AT}{\rho_c^*} \right\} C_c \quad (3.10)$$

$$h_d = \max \left\{ \frac{AT}{1-T/(R-T_{CPU})}, \frac{F}{D} \right\} C_d \quad (3.11)$$

(3) 主記憶装置

主記憶装置にファイルを常駐した場合、CPU からファイルに直接アクセスできるため、転送装置等アクセスパスのコストを考慮する必要がないこと、また、主記憶装置の応答は極めて高速であることから、コスト  $H_{mem}$  は、ファイル格納に要する容量  $F$  見合いの主記憶コストのみとした。

$$H_{mem} = F \cdot C_{mem} \quad (3.12)$$

$C_{mem}$ : 単位容量当たり主記憶価格

(4) その他

固定ヘッド付き磁気ディスク装置の固定ヘッド部のみを使用する場合のコストは前章に示した式により算出する。

また、固定ヘッドディスク装置や磁気ドラムについては、シークタイムを0とすることにより、磁気ディスク装置と同様に算出可能である。

3.2 装置適用領域の推定

以上の結果に基づいてファイル系各装置の適用領域を推定した。算出例を図5、図6に示す。

(a)は、要求レスポンスタイムを一定とした時のアクセス頻度と所要コストの関係を示したものであり、(b)は、横軸にアクセス頻度、縦軸にレスポンスタイムをとり、各ポイントごとにコストを比較して、最小となる装置を求めることにより、各記憶装置の適用領域を示したものである。

図5は、昭和50年代後半の諸元を、図6は昭和60年代前半の推定諸元を用いている。

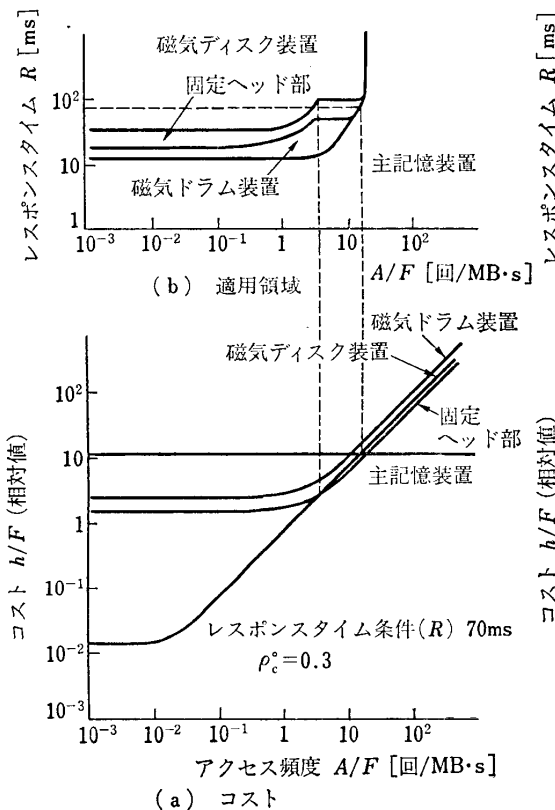


図5 各ファイル記憶装置の適用領域とコスト  
〔昭和50年代後半〕  
Fig. 5 Cost comparison of storages in the first half of 1980's.

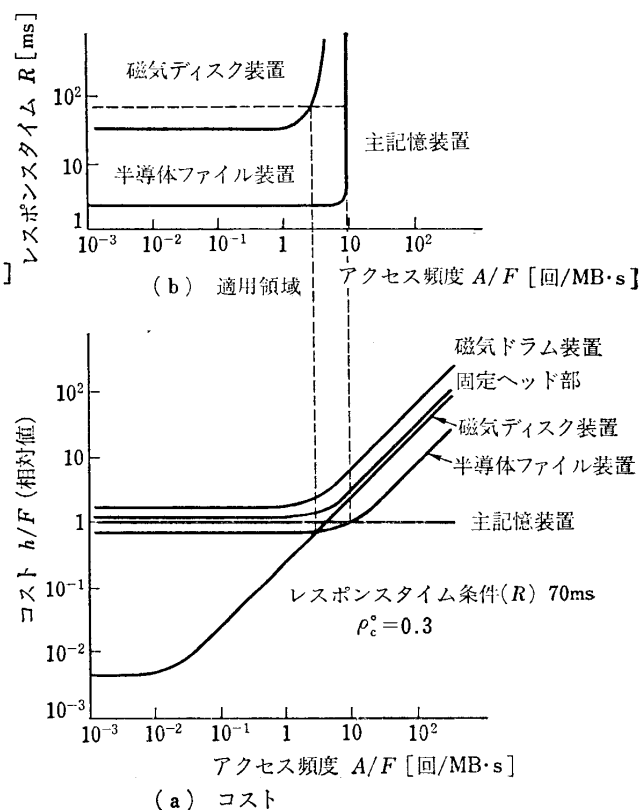


図6 各ファイル記憶装置の適用領域とコスト  
〔昭和60年代前半〕  
Fig. 6 Cost comparison of storages in the latter half of 1980's.

主な特徴は以下のとおりである。

(1) 固定ヘッド部や磁気ドラム装置は、主記憶のコスト低下や半導体ファイル装置の導入により、適用領域が失われつつある。

(2) 主記憶装置へのファイル常駐方式は、アクセス頻度の高い、あるいはレスポンスタイム要求条件の厳しいファイル格納において、既に有利となっている。

(3) 磁気ディスク装置は、アクセス頻度が数回/MB・s 以下かつレスポンスタイムが数十 ms 以上の領域で適用領域を保持しつづけている。

#### 4. おわりに

本論文では、オンラインファイル系評価に適した実用的な近似方法を取り入れ、ファイル系装置のコスト評価式及び適用領域を明らかにした。

本稿では比較的構成の単純なファイル系装置についてコスト評価例を示したが、今後は、ディスクキャッシュ装置や大容量記憶装置 (MSS)、光ディスクライブラリ装置等、さらに構成の複雑な装置に、本稿で示した考え方を適用しコスト評価を行っていく予定である。

謝辞 本研究の遂行にあたり有益な助言をいただいた図書館情報大学徳山五郎教授、NTT 電気通信研究所橋本昭洋知識処理研究部長、松永俊雄主幹研究員に感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) Lum, V. Y. et al.: A Cost Oriented Algorithm for Data Set Allocation\* in Storage Hierarchies, *C. ACM*, Vol. 18, No. 6, pp. 318-322 (1975).
- 2) 藤井, 浅井: 階層的ファイル自動管理システムの設計, 情報処理学会論文誌, Vol. 21, No. 6, pp. 442-453 (1980).
- 3) 田尻, 木ノ内: ファイル記憶装置の適用領域に関する一考察, 昭和 56 年度信学会全国大会, 1548 (1981).
- 4) 木ノ内, 久保田: 可動ヘッドディスクの使用容量削減による高速ファイル装置の代替について, 昭和 57 年度信学会全国大会, 1530 (1982).
- 5) 小橋, 木ノ内: データ転送単位の大形化による入出力処理の価格・性能改善について, 情報処理学会第 22 回全国大会, 3J-7 (1981).
- 6) 桜井, 宮川: 系間共用可能な半導体ファイル装置に関する一考察, 情報処理学会第 24 回全国大会, 6H-5 (1982).
- 7) 桜井, 宮川: 高速半導体ファイル装置構成法に

関する一考察, 情報処理学会第 25 回全国大会, 4F-2 (1982).

- 8) Chen, P. P. S.: Optimal File Allocation in Multi-level Storage System, pp. 277-282, N. C. C. (1973).
- 9) Ferrari, D.: *Computer Systems Performance Evaluation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. (1978).
- 10) Gelenbe, E. and Mitrani, I.: *Analysis and Synthesis of Computer Systems*, Academic Press, New York (1980).

#### 付録 1

$$h_1 = h(1, N) - h(2, N)$$

$$= \frac{1}{\rho_c} A_1 T_c C_c + \max\{l_1, m_1\} - \max\{l_2, m_2\}$$

$$\text{ただし, } l_k = \frac{C_d T_d}{\rho_d} \sum_{i=k}^n A_i \quad (k=1, 2)$$

$$m_k = \frac{C_d}{D} \sum_{i=k}^n F_i \quad (k=1, 2)$$

ここで、第 2 項以下を  $C_d'$  とおくと、 $C_d'$  は  $l_k, m_k$  の大小関係に応じて以下のように算出される。

$$\text{(ケース 1)} \quad l_1 \geq m_1, \quad l_2 \geq m_2$$

$$C_d' = l_1 - l_2 = \frac{C_d T_d}{\rho_d} A_1$$

$$\text{(ケース 2)} \quad l_1 \geq m_1, \quad l_2 < m_2$$

$$C_d' = l_1 - m_2 = (l_1 - l_2) + (l_2 - m_2) < \frac{C_d T_d}{\rho_d} A_1$$

$$\text{(ケース 3)} \quad l_1 < m_1, \quad l_2 \geq m_2$$

$$C_d' = m_1 - l_2 = (m_1 - m_2) + (m_2 - l_2)$$

$$\leq \frac{C_d}{D} F_1$$

$$\text{(ケース 4)} \quad l_1 < m_1, \quad l_2 < m_2$$

$$C_d' = m_1 - m_2 = \frac{C_d}{D} F_1$$

$$\text{したがって, } C_d' \leq \max\left\{\frac{T_d C_d}{\rho_d} A_1, \frac{C_d}{D} F_1\right\}$$

以上より,

$$h_1 \leq h(1, 1)$$

$$h(1, 1) = \frac{A_1 T_c}{\rho_c} C_c + \max\left\{\frac{A_1 T_d}{\rho_d}, \frac{F_1}{D}\right\} C_d$$

また、 $A_1, F_1$  を固定し、 $i \neq 1$  の  $A_i, F_i$  を任意に変化させると、上記のすべてのケースに該当させることができ、次式を得る。

$$\max_{\substack{A_i, F_i \\ i \neq 1}} h_1 = h(1, 1)$$



## 付録 2

$$\begin{aligned} h[K_1, 0] &= h[K_1, K_2] - h_{k2} \\ &= \frac{1}{\rho_c} A_1 T_c C_c + [\max(l_{1,2}, m_{1,2}) \\ &\quad - \max(l_2, m_2)] \end{aligned}$$

$$\text{ただし, } l_{1,2} = \frac{1}{\rho_m} (A_1 T_{d1} + A_2 T_{d2}) C_d$$

$$l_2 = \frac{1}{\rho_{d2}} A_2 T_{d2} C_{d2}$$

$$m_{1,2} = \max\left\{\frac{F_1}{D_1}, \frac{F_2}{D_2}\right\} C_d = \frac{F_1}{D_1} C_d$$

$$m_2 = \frac{F_2}{D_2} C_{d2} = \frac{F_1}{D_1} C_{d2}$$

ここで、第2項の [ ] 内を  $C_d''$  とおくと、 $C_d''$  は  $l, m$  の大小関係に応じて以下のように算出される。

$$\text{(ケース1) } l_{1,2} \geq m_{1,2}, l_2 \geq m_2$$

$$C_d'' = l_{1,2} - l_2$$

このケースでは常に  $l_{1,2} - l_2 \geq m_{1,2} - m_2$  が成立する。

$$\text{(ケース2) } l_{1,2} \geq m_{1,2}, l_2 < m_2$$

$$C_d'' = l_{1,2} - m_2 = (l_{1,2} - l_2) + (l_2 - m_2) < l_{1,2} - l_2$$

$$\text{(ケース3) } l_{1,2} < m_{1,2}, l_2 \geq m_2$$

本文中に示した仮定  $F_1/D_1 = F_2/D_2$  より、本モデルではこのケースは存在しない。

$$\text{(ケース4) } l_{1,2} < m_{1,2}, l_2 < m_2$$

$$C_d'' = m_{1,2} - m_2 = \frac{F_1}{D_1} C_{d1}$$

ケース4はさらに  $l_{1,2} - l_2 \geq m_{1,2} - m_2$  が成立するケース4.1と  $l_{1,2} - l_2 < m_{1,2} - m_2$  が成立するケース4.2に分かれる。

ケース2とケース4.1を  $l_{1,2} - l_2$  で近似すると次式

を得る。

$$\begin{aligned} C_d'' &= \max\{l_{1,2} - l_2, m_{1,2} - m_2\} \\ &= \max\left\{\frac{1}{\rho_m} (A_1 T_{d1} C_{d1} + A_1 T_{d1} C_{d2} + A_2 T_{d2} C_{d1}) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_{d2}}\right) A_2 T_{d2} C_{d2}, \frac{F_1}{D_1} C_{d1}\right\} \end{aligned}$$

(昭和60年6月14日受付)

(昭和61年3月20日採録)



木ノ内康夫 (正会員)

昭和21年生。昭和44年早稲田大学理工学部応用物理学科卒業。昭和46年同大学院修士課程修了。同年NTT入社。現在、NTT情報通信処理研究所勤務。これまで主にDIPSハードウェアシステムの研究実用化に従事。電子通信学会会員。



山口博 (正会員)

昭和23年生。昭和45年名古屋大学工学部電子学科卒業。同年NTT入社。現在、NTT情報通信処理研究所勤務。主に、DIPSハードウェアの研究・開発に従事。電子通信学会会員。



桜井紀彦 (正会員)

昭和31年生。昭和54年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年NTT入社。現在、NTT情報通信処理研究所勤務。主にDIPS記憶階層構成の研究・開発に従事。