

## 問010057解説

### ◆解答

設問1 a ウ

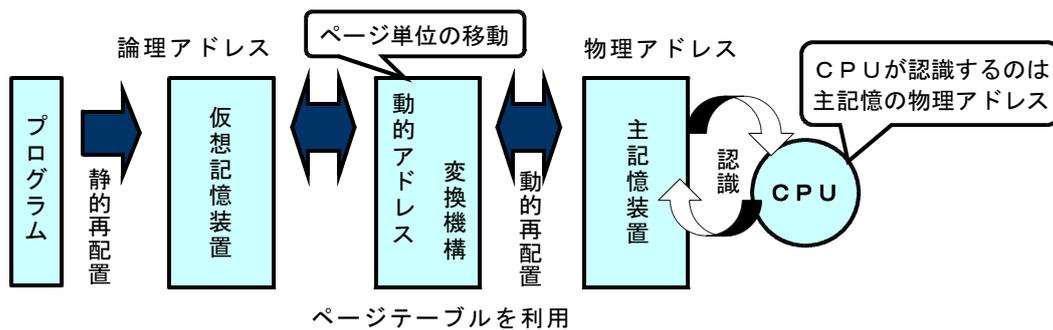
設問2 b エ c ア

設問3 d ア e エ

### ◆解説

仮想記憶方式に関する問題である。

#### ① 仮想記憶システム



仮想記憶システムは仮想記憶装置を利用する。仮想記憶装置は、概念上の記憶装置で、高速で小容量の主記憶装置と低速で大容量の補助記憶装置を組み合わせ、高速で大容量の経済的なメモリを提供する。

#### ② 仮想記憶の基本原理

仮想記憶の原理は実行すべきプログラムを仮想記憶装置にローディングし、仮想記憶装置と実記憶装置の間でプログラムの入出力を行いながらプログラムを実行する仕組みである。実記憶装置には使用頻度の高いプログラム部分だけを格納する。

仮想記憶装置の論理アドレス空間をページという一定の大きさの単位に分割し、プログラムをページの大きさに分割して仮想記憶装置上の仮想ページの領域にローディングし、仮想記憶アドレスを与える。プログラムまたはデータが必要になると、それらを含むページが仮想記憶装置から実記憶装置に読み込まれる。その時にページテーブルという対応表が利用され、実記憶上のページ位置である実記憶アドレスがページテーブルに登録される。

#### ③ ページング方式

アドレス空間をページ単位に分割し、管理する方式をページング方式という。仮想空間のアドレスは全てのメモリ空間を直接アドレスづけしている。プロセッサはプログラムに応じて仮想アドレスを生成する。実記憶空間に存在する仮想アドレスは主記憶または二次記憶内の物理メモリ内に対応する実アドレスを持っており、仮想ページと実ページの対応はページテーブルに記憶されている。

主記憶内に存在する全てのページのアドレスを保持しているページテーブルを参照することによって、プロセッサが生成した仮想アドレスを主記憶内の実アドレスに変換できる。仮想アドレスのページが主記憶内に無ければソフトウェアルーティンが自動的に起動され、必要なページを主記憶内に格納しページテーブルを更新する。仮想記憶装置上のページは、実記憶装置上の空いたページ枠や使用頻度の低いページを格納しているページ枠にページインされる。

#### ④ ページテーブル

ページテーブルは主記憶上にあつて、仮想アドレスをキーとして該当するページが実記憶上に存在するかどうかを知ることができる。該当するページが実記憶上に存在しなければ仮想記憶のページから実記憶のページに読み込まれ、実記憶アドレスが与えられる。これを動的ローディングまたは動的再配置という。ページテーブルはページインの有無に関する情報、ページ枠のアドレス等をページに保持して動的アドレス変換に利用される。

#### ⑤ 動的アドレス変換

必要なページはすべて実記憶装置上でCPUに認識される。必要なページが実記憶装置上にない場合、そのページは補助記憶装置から実記憶装置にページインされる。必要なページが実記憶装置上にない状態をページフォールトという。

プログラムを実行する場合、ページ単位に仮想記憶装置から実記憶上に呼び込まれ仮想アドレスから実アドレスに変換される。仮想アドレスを実アドレスに変換する時に動的アドレス変換機構を利用する。これを動的アドレス変換という。動的アドレス変換は命令が実行される直前に論理アドレスを物理アドレスに変換することである。

アドレス情報はページ番号とページ内の変位を利用して求める。動的アドレス変換はページの先頭アドレスを変更することによってページ単位に行われる。ページ内のアドレスを求める場合、ページ番号をもとにページ枠の先頭の実アドレスを参照し、そのアドレスに変位を加算して求めることができる。

#### ⑥ ページング方式のページ管理方法の例を次の㉗～㉙に示す。

- ㉗ 仮想アドレス空間及び物理アドレス空間の各ページには、1から順に番号を付け、それぞれを仮想ページ番号、物理ページ番号と呼ぶ。
- ㉘ 仮想ページと物理ページの対応は、ページテーブルで管理する。ページテーブルの各要素は仮想ページと1対1に対応付けられており、要素の個数は仮想ページの個数と同じである。
- ㉙ ページテーブルには、仮想ページのデータが物理アドレス空間に存在しているかどうかを示すビット（以下、存在ビットという）と、存在している場合に対応する物理ページ番号を登録する領域がある。存在ビットは、当該仮想ページのデータが物理アドレス空間に存在している場合は1、存在していない場合は0である。

## ⑦ ページフォールド割込み処理

- ㊦ 物理ページのうち、仮想ページと対応付けられていない物理ページ（以下、空きページという）を一つ探す。
- ① 空きページがなかった場合、空きページにする「物理」ページを一つ選び、その選んだページに格納されているデータを「補助記憶装置に書き出す」。その後、対応するページテーブルの要素の存在ビットを0にする。これによって空きページを確保する。
- ㊧ 空きページがあった場合、又はなかった場合では①の処理後に、その空きページにプログラムの実行に必要な「仮想」ページに格納されているデータを「補助記憶装置から読み込む」。その後、対応するページテーブルの要素に物理ページ番号を登録して、その存在ビットを1にする。

## ⑧ ページ置換アルゴリズム

実記憶装置が満杯の場合、必要なページをページインするために使用されないページが仮想記憶装置のスロットに掃き出される。これをページアウトという。このような各ページの使用状況はページ枠テーブルで管理される。使用頻度の高いページを実記憶装置に常駐させ、スラッシングを回避するために、プログラムの特性に最適なページ置換アルゴリズムが利用される。ページ置換アルゴリズムには、LRU法、FIFO法、LFU法などがある。

次の表は、各ページが実記憶空間にロードされた時刻、最終参照時刻、現在から一定時間内における参照回数を示したものである。

ページ	1	2	3	4
内容	M0	M1	M2	M3
ロード時刻（時：分）	0:02	0:03	0:04	0:05
最終参照時刻（時：分）	0:08	0:06	0:05	0:10
参照回数	10	1	3	5

### ㊦ FIFO法

実記憶装置上にあるページのうち一番古くから実記憶装置上に存在するページを追い出す方法である。上記の表中では、最も早くロードされたのは、1ページの0:02であり、追い出されるページは1ページになる。

### ① LRU法

実記憶上にあるページのうち最後に参照されてから次に参照される時点までの経過時間が最も長いページを追い出す方法で、実記憶装置上に格納されていながら最も参照されないページを追い出す。上記の表中では、参照されてからの現在までの経過時間が最も長いのは、最終参照時刻の0:05の3ページであり、追い出されるページは3ページになる。

## 設問 1

図 1 に示す仮想アドレス空間の仮想ページと物理アドレス空間の物理ページを対応づけるページテーブル上の物理アドレスを記入する問題である。ページテーブルは仮想ページと対応してアドレスが付けられており、その仮想アドレスのデータの存在する物理アドレスを求める問題である。

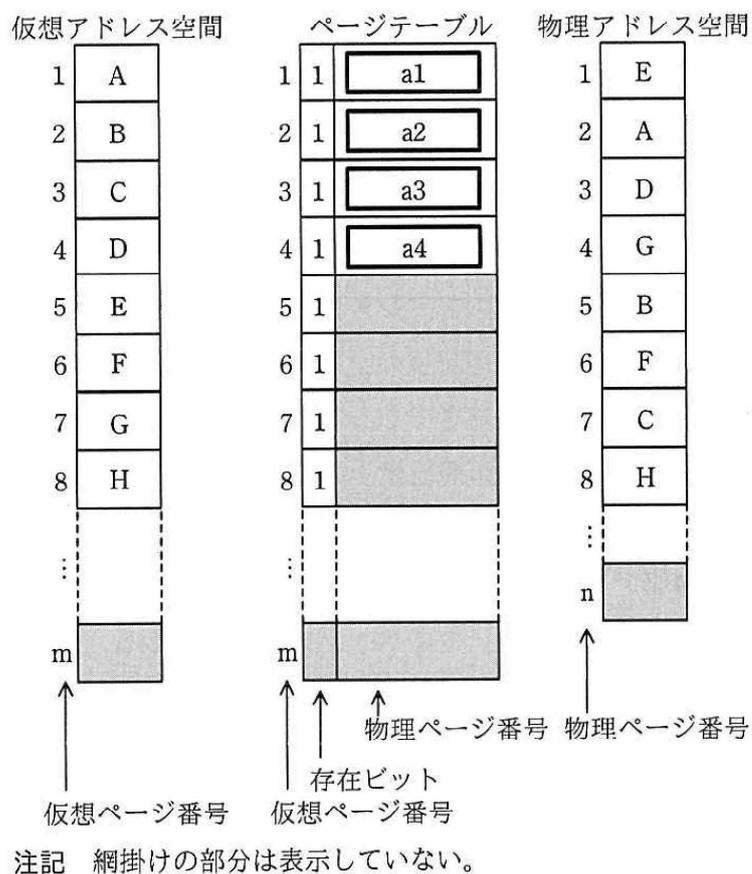


図 1 仮想アドレス空間の仮想ページと物理アドレス空間の物理ページとの対応例

仮想アドレス 1 に存在するデータ A は、物理アドレス 2 に存在する。仮想アドレス 2 に存在するデータ B は、物理アドレス 5 に存在する。仮想アドレス 3 に存在するデータ C は、物理アドレス 7 に存在する。仮想アドレス 4 に存在するデータ D は、物理アドレス 3 に存在する。従って、ページテーブル a 1、a 2、a 3、a 4 に入る答えは 2、5、7、3 となる。求める答えはウとなる。

## 設問 2

ページフォルト発生時のページング処理の内容を問う問題である。

b の答えは、解説⑦の④に示す内容から、b 1 は物理ページの内容を、b 2 は主記憶装置から補助記憶装置に書き出す処理になる。従って、b 1 は物理、b 2 は補助記憶装置に書き出すとなる。求める答えはエとなる。

cの答えは、書き出し後の読み込み処理の内容であり、c1は仮想ページの内容を、c2は補助記憶装置から主記憶装置に読み込む処理になる。従って、c1は仮想、c2は補助記憶装置から読み込むとなる。求める答えはアとなる。

### 設問3

仮想ページの参照順が、 $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 5$ となる場合の置換アルゴリズムがFIFO、LRUに対応するページフォルト発生回数を求める問題である。

FIFO方式で物理ページ数3の場合

$4 \rightarrow 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 2 \ 1 \ 5 \rightarrow 1 \ 5 \ 4 \rightarrow 5 \ 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 3 \rightarrow \boxed{4 \ 2 \ 3} \rightarrow \boxed{4 \ 2 \ 3} \rightarrow 2 \ 3 \ 1 \rightarrow 3 \ 1 \ 5$   
 $\rightarrow \boxed{3 \ 1 \ 5} \rightarrow \boxed{3 \ 1 \ 5}$  ページフォルト9回

FIFO方式で物理ページ数4の場合

$4 \rightarrow 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \ 5 \rightarrow \boxed{4 \ 2 \ 1 \ 5} \rightarrow \boxed{4 \ 2 \ 1 \ 5} \rightarrow 2 \ 1 \ 5 \ 3 \rightarrow 1 \ 5 \ 3 \ 4 \rightarrow 5 \ 3 \ 4 \ 2$   
 $\rightarrow 3 \ 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \ 5 \rightarrow 2 \ 1 \ 5 \ 3 \rightarrow \boxed{2 \ 1 \ 5 \ 3}$  ページフォルト10回 物理ページ数3の場合と比較してページフォルト回数が1回増える。求める答えはアとなる。

LRU方式で物理ページ数3の場合

$4 \rightarrow 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 2 \ 1 \ 5 \rightarrow 1 \ 5 \ 4 \rightarrow 5 \ 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 3 \rightarrow \boxed{2 \ 3 \ 4} \rightarrow \boxed{3 \ 4 \ 2} \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 2 \ 1 \ 5$   
 $\rightarrow 1 \ 5 \ 3 \rightarrow \boxed{1 \ 3 \ 5}$  ページフォルト10回

LRU方式で物理ページ数4の場合

$4 \rightarrow 4 \ 2 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \ 5 \rightarrow \boxed{2 \ 1 \ 5 \ 4} \rightarrow \boxed{1 \ 5 \ 4 \ 2} \rightarrow 5 \ 4 \ 2 \ 3 \rightarrow \boxed{5 \ 2 \ 3 \ 4} \rightarrow \boxed{5 \ 3 \ 4 \ 2}$   
 $\rightarrow 3 \ 4 \ 2 \ 1 \rightarrow 4 \ 2 \ 1 \ 5 \rightarrow 2 \ 1 \ 5 \ 3 \rightarrow \boxed{2 \ 1 \ 3 \ 5}$  ページフォルト8回 物理ページ数3の場合と比較してページフォルト回数が2回減る。求める答えはエとなる。

数字を  で囲んだ時は、ページフォルトが発生しない場合である。