

# コンピュータ アーキテクチャ I 第12回

---

塩谷 亮太 (shioya@ci.i.u-tokyo.ac.jp)

東京大学大学院情報理工学系研究科 創造情報学専攻

# 課題の解説

---

# 課題 1 1

- 以下のような状況の仮想メモリについて考える：
  - 仮想アドレス空間と物理アドレス空間は共に 32bit である
  - 単段ページ・テーブルを使用
  - ページ・サイズは 64KB である
  - ベース・レジスタには物理アドレス 0x20000000 が設定されている
  - 仮想アドレス 0x10000000 と 0xfea50000 から始まるページには、それぞれ物理アドレス 0x30000000 と 0x30010000 から始まるページが割り当てられているものとする
  - TLB は存在しない
- (すいません, 0xfea50000 のところが間違っていました)

# 課題 1 1

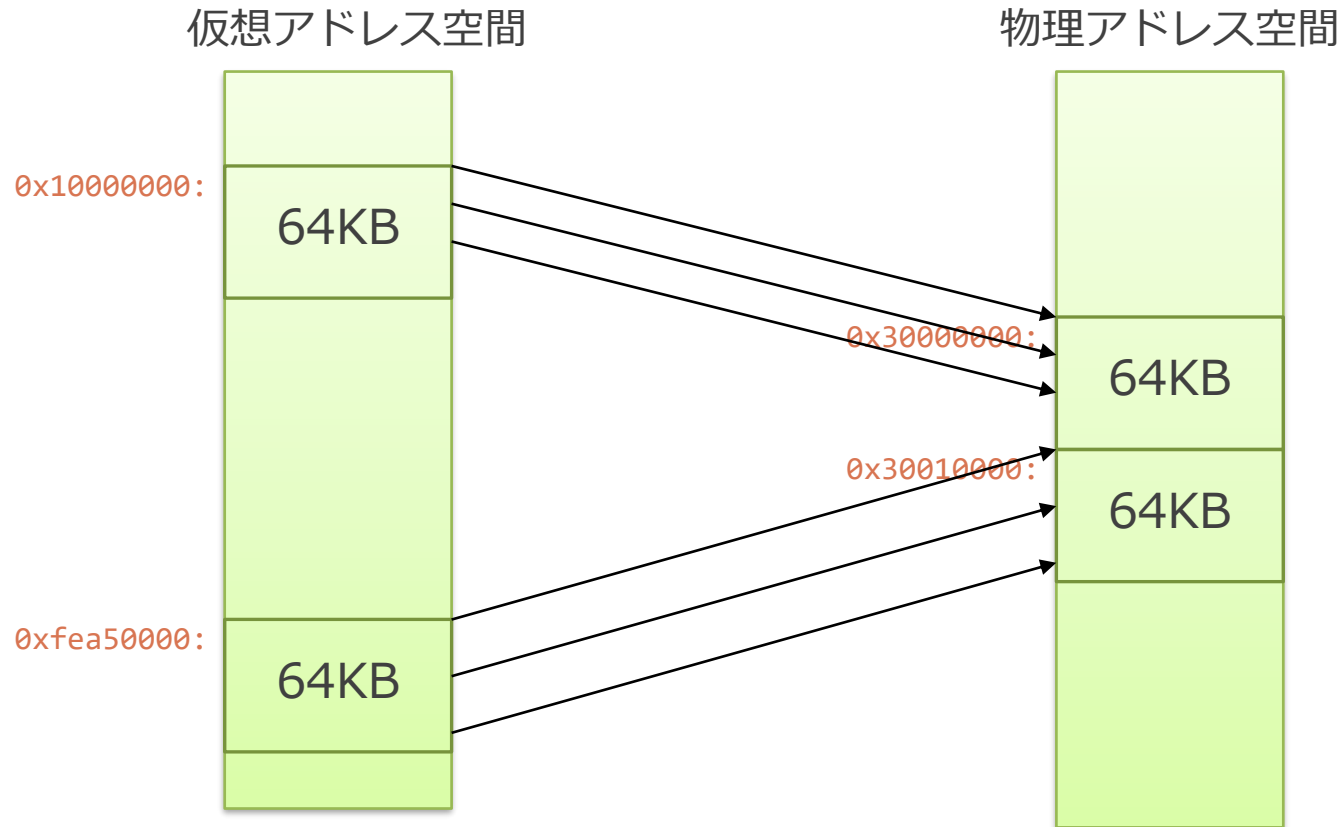
## ■ 前提からわかること

- ページサイズは  $64\text{KB} = 65536\text{B} = 0x10000\text{B} \rightarrow$  16進数で上4桁がページ番号
- アドレス空間は  $32\text{bit}$  = ページ先頭をさすポインタは  $4\text{B}$

## ■ (1) 仮想アドレス $0x10002000$ に格納されている値を読み出す際にアクセスされる物理アドレスをすべてあげよ

- $0x2000\ 0000 + 4\text{B} * 0x1000 = 0x2000\ 4000$  に最初にアクセス
  - ページ番号は上 4 桁なので,  $0x10002000 \rightarrow 0x1000$
  - ここから割り当てられている物理アドレス  $0x3000\ 0000$  が読める
- $0x3000\ 0000 + 0x2000 = 0x3000\ 2000$  に次にアクセス

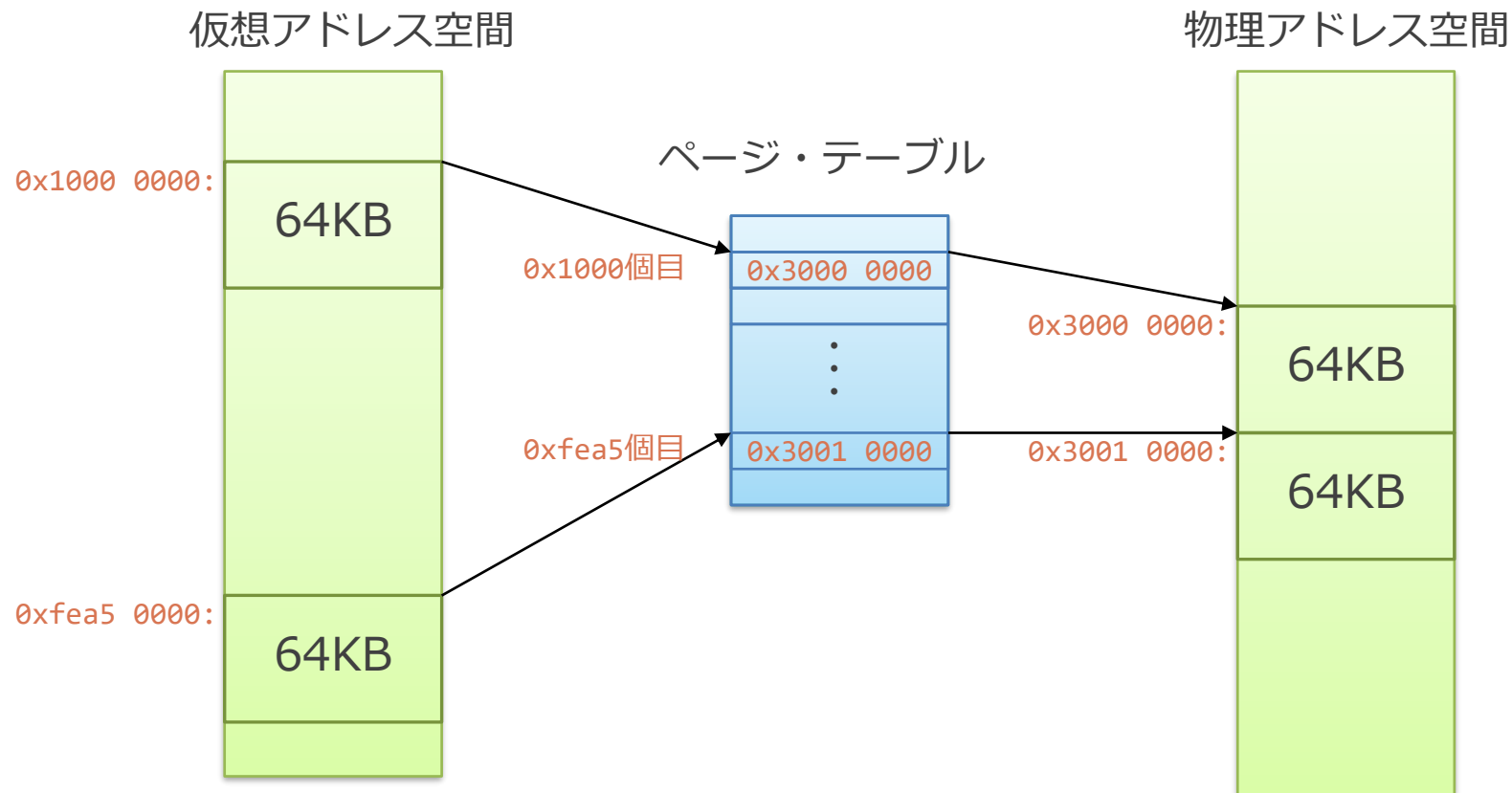
# 仮想メモリと物理メモリの対応



- 仮想アドレス上の 64KB が物理アドレスの 64KB のブロックにマップされている

- $64\text{KB} = 65536 = 0x10000$
- $0x10000000 \rightarrow 0x30000000$ ,  $0x10000001 \rightarrow 0x30000001$ ,  $0x10000002 \rightarrow 0x30000002$  ...  
 $0x1000ffff \rightarrow 0x3000ffff$  にマップされている
- $0xfea50000 \rightarrow 0xfea50000$ ,  $0xfea50001 \rightarrow 0xfea50001$ ,  $0xfea50002 \rightarrow 0xfea50002$  ...  
 $0xfea5ffff \rightarrow 0xfea5ffff$  にマップされている

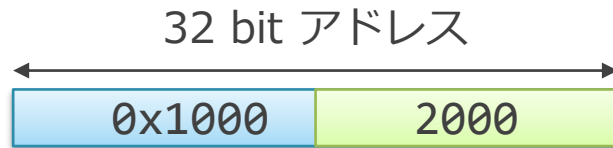
# 仮想メモリと物理メモリの対応



## ■ この対応付けを，ページテーブルによって表現する

- 64KB=0x10000個のブロック単位で仮想アドレスから物理アドレスに対応付けられている
- ページテーブルはポインタの配列であり，N番目の要素=仮想アドレスのN個目のブロックのためのポインタを格納
- 仮想アドレスから，その仮想アドレスが何個目のブロックなのかは `0x10000` で割れば良い
  - `0x10000` で割る = 16進数で下4桁（下16bit）を取りのぞく → 上16ビットが残る

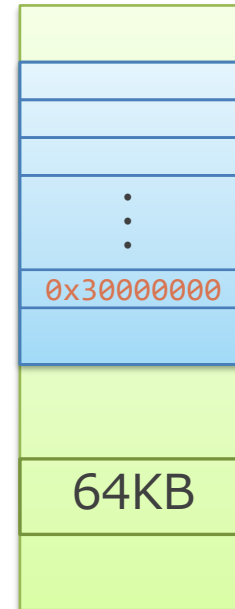
# 単段ページ・テーブルの動作



物理メモリ

0x20000000:  
0x20000004:  
0x20000008:

ページ・テーブル



0x20004000:

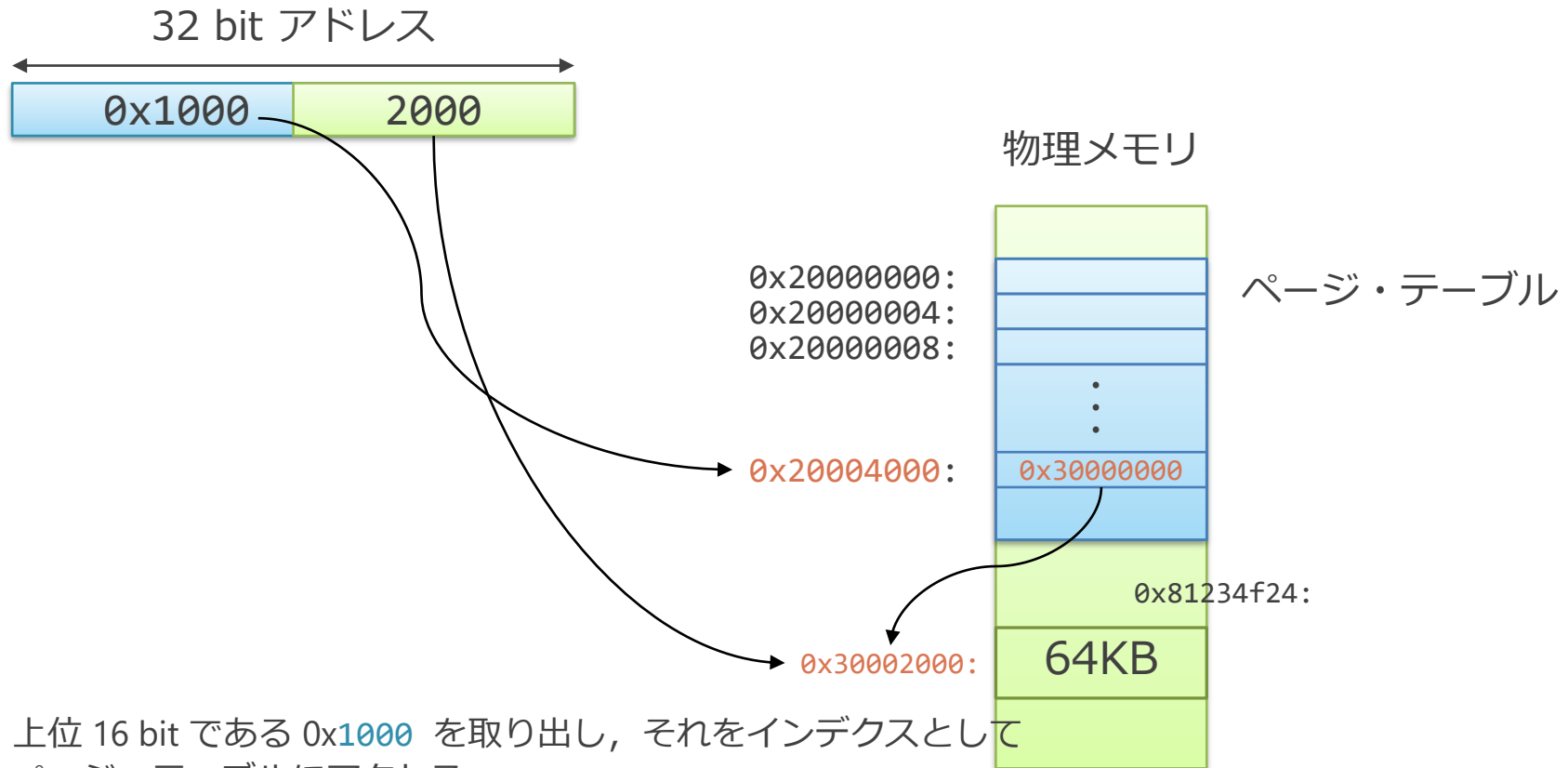
0x30000000:

- ページ・テーブルは実際には物理空間上におかれる
  - その先頭アドレスがベース・レジスタで指定する
  - 今回は 0x20000000 からがページ・テーブル

## ■ 仮想アドレスからの変換の手順

1. 仮想アドレスをページ・サイズで割り、それがアドレス空間中にある N 番目のページなのかを計算する
2. ページ・テーブルの N 番目の要素を読む
  - $0x20000000 + N \times 4$  の物理アドレスを読む
  - \*4 は格納されているポインタのサイズが 4B だから
3. 仮想アドレスをページ・サイズで割った余りを 2. で得られたアドレスに足す
  1. 余り=64KB ページの中の何番目のアドレスなのかを意味する
  2. 16進数で下4桁を取り出すことは、ページ・サイズ0x10000で割った余りを求めるのと等価 7

# 単段ページ・テーブルの動作



- 上位 16 bit である 0x1000 を取り出し、それをインデクスとしてページ・テーブルにアクセス
  - 物理メモリへのポインタはここでは 4B 単位であり、ベースレジスタは 0x2000 0000 をさす
  - $0x2000\ 0000 + 4B * 0x1000 = 0x2000\ 4000$  にアクセス
- マップされているページの先頭の物理アドレス 0x30000000 を得る
  - OS がこの論理アドレスに割り当てたページのアドレス
- 下位 16bit である 0x2000 と結合して 0x30002000 にアクセス



# 課題 1 1

- (2) 仮想アドレス `0xfea51fff` に格納されている値を読み出す際にアクセスされる物理アドレスをすべてあげよ
  - $0x2000\ 0000 + 4B * 0xfea5 = 0x2003\ FA94$  に最初にアクセス
    - ここから `0x3001 0000` が読める
  - $0x3001\ 0000 + 0x1fff = 0x30011fff$  に次にアクセス

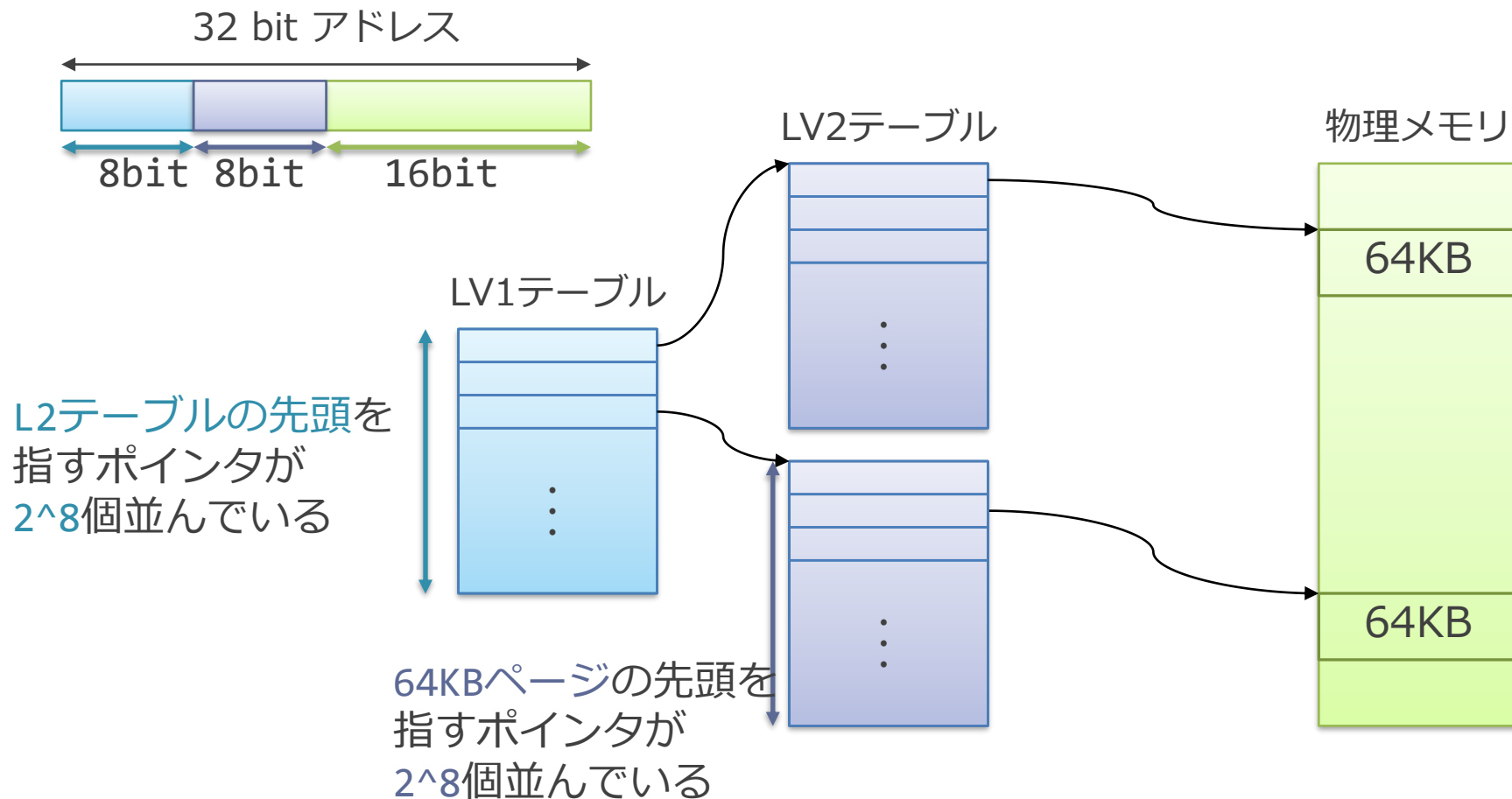
# 課題 1 1

- (3) 仮想アドレス  $0x10000000$  と  $0xfea50000$  から始まる2つのページのみが確保されている場合を想定する。この時に使用される物理メモリの容量の合計（ページ・テーブルとページそのもの）を求めよ
  - 単段テーブル全体 :  $0x10000 * 4\text{Byte} = 0x40000 \text{ Byte}$ 
    - ページは  $0x10000$  個存在する
  - 確保されているページは2つ :  $0x10000 \text{ Byte} * 2 = 0x20000 \text{ Byte}$ 
    - $64 \text{ KB} = 0x10000 \text{ Byte}$  が2つ
  - 合計すると  $0x60000 \text{ Byte}$

# 課題 1 1

- (4) (3)と同様の条件で, 2 段ページ・テーブルを使用した場合に使用される物理メモリの容量の合計を求めよ. この時 LV1 と LV2 に使用されるアドレスのビット幅は等しいものとする.
- LV1 と LV2 に使用されるアドレスのビット幅は等しい = アドレス上位 16 bit を 8bit x2 に分解して使うということ
- 合計で 0x20C00 B
  - $256 * 4B * 3\text{テーブル} = 0xC00 \text{ Byte}$
  - 確保されているページは 2 つ :  $0x10000 \text{ Byte} * 2 = 0x20000 \text{ Byte}$

## 2 段ページ・テーブルの例



- 各レベルには  $2^8=256$  個のポインタを含むテーブルがある
- $256 * 4B * 3\text{テーブル} = 0xC00 \text{ Byte}$
- 確保されているページは 2 つ :  $0x10000 \text{ Byte} * 2 = 0x20000 \text{ Byte}$

# 期末試験について

- 7/30 にいつもの講義の時間にここで実施
- A4 1枚手書きのみの持ち込み可
  - 裏表双方へ書き込み可
  - 印刷したものを一部貼り付けるなどはダメ
  - 必ず全部完全に手書きにしてください
- 基本的に課題で出した部分を中心に出题する予定
  - 練習問題と課題を中心に勉強しておいてください

- 質問がある場合は、遠慮無くメールで聞いて下さい
  - できるだけこの時間中に聞いて貰えるとよいです
- 今日も感想をかけるようにしています
  - しかし別に必須ではないですし、特に加点もしないです
  - 今後の要望等、なんでも書いてもらえれば参考になります

# 質問とか感想

---

- ページテーブルの容量と、ページテーブルの面積が一致しているのかなと思って考えていたのですが、何度も計算を間違えてしまって、容量を求めるのが大変でした。最後一致した時はとてもうれしかったです。試験頑張ります。



- 図ではページテーブルごとに書かれているが、実際は同じメモリ上にのっていることがポイントでした。そのことに気づいてから、ページテーブルの各行のビット数がメモリのビット数が同じことがわかりました。

- スライドで物理メモリー一つが4KBの時なぜ下位12bitをとってくるのかわかりませんでした。

- ページサイズを64KBに設定する理由やメリットについて詳しく教えてください。他のサイズと比べたときの利点や欠点も知りたいです。

# 質問とか感想

- 新しく習った内容が私にとってかなり難しかったので、テストがさらに不安になりました、、。全部16進数で答えたのですが、答え方に決まりはありますか？また、多段の時のページテーブルをどう求めたら良いか教えて欲しいです。

- 課題11でページ・アドレスからマップされている先頭の物理アドレスを得る時も物理アドレスにアクセスしたと捉えて良いのでしょうか。それとも下位16ビットを結合してアクセスする時だけがアクセスでしょうか。

- また、ページサイズが64KBの場合に仮想アドレスを分けるところがなぜ16ビットになるかがわからなくなりました。16ビットで2の16乗個の場所を表せるというのと、64KBが512000ビットという数字が合わないのでどう考えるのかももう一度解説してくださいと幸いです。

- スライド 10 ページ目に  
「(1) 最初のアクセスで左のようにタグの 0x580 が書き込まれた後はずっとそのまま」  
とありますが、変化しないのでしょうか？
- すいません、これは間違いでした

# 課題 10 ダイレクトマップの場合の系列 2

1. 0x8000, 0x9000, 0xA000, 0xB000, 0x8000, 0x9000, 0xA000, 0xB000  
インデックス（オレンジ）を決定するビットが全部同じ = 同じエントリへ上書き  
最後にアクセスされた 0xb000 の分が残る

1. 0x8000 = 0b1000 0000 0000 0000 miss
2. 0x9000 = 0b1001 0000 0000 0000 miss
3. 0xA000 = 0b1010 0000 0000 0000 miss
4. 0xB000 = 0b1011 0000 0000 0000 miss
5. 0x8000 = 0b1000 0000 0000 0000 miss
6. 0x9000 = 0b1001 0000 0000 0000 miss
7. 0xA000 = 0b1010 0000 0000 0000 miss
8. 0xB000 = 0b1011 0000 0000 0000 miss  
0b101 1000 0000=0x580

タグ

0	0x580
1	
2	
3	

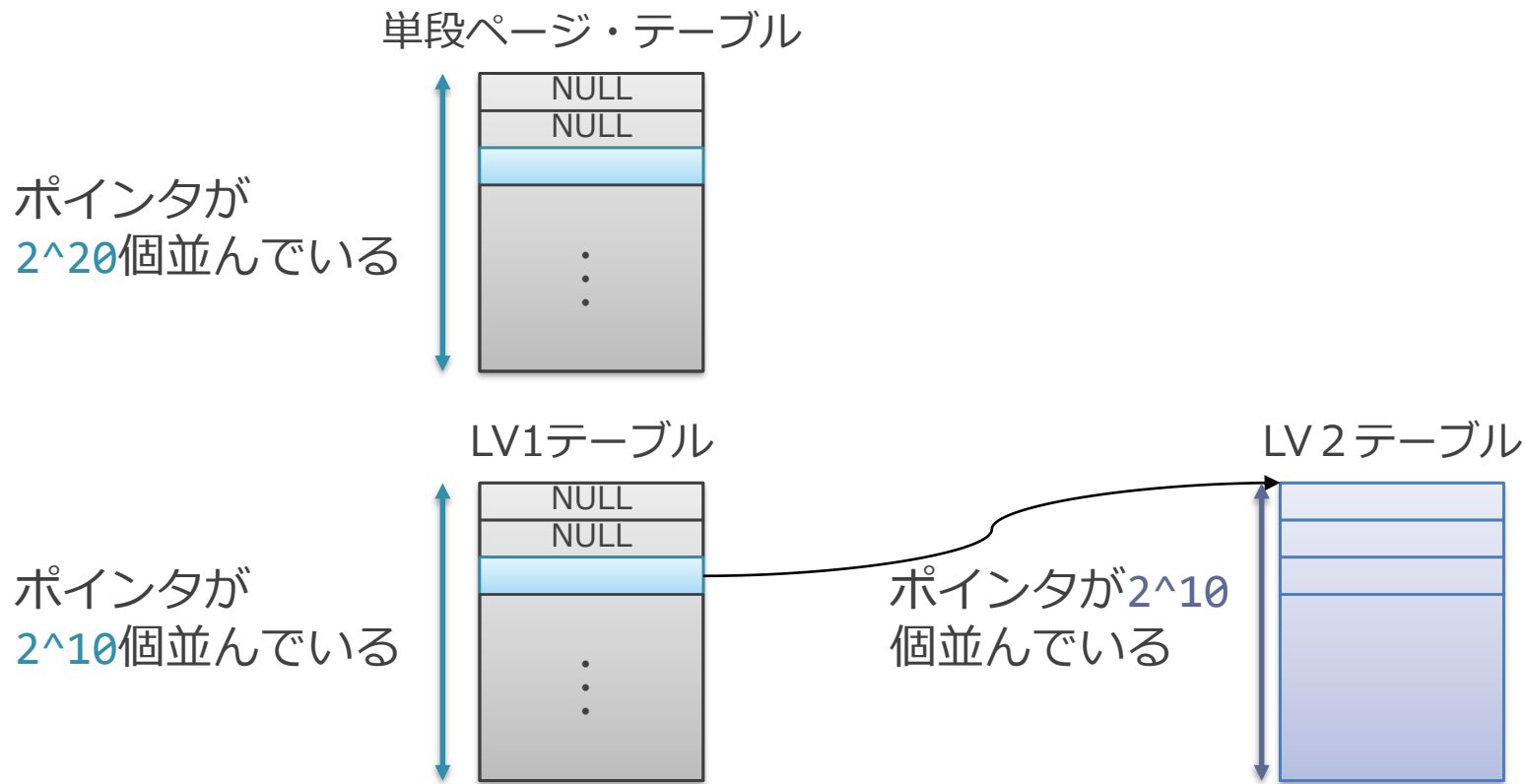
- (1) タグが上書きされていき, 最後に 0x580 が書き込まれる
- (2) ヒット率 : 0
- (3) 全部ミスなので局所性がない



# 質問とか感想

- スライド46ページ目に  
「2段：ポインタが  $2^{10} + 2^{10} = 2K$  個」  
とありますが、L1ポインタの数だけL2ポインタがあったら  
 $2^{10} * 2^{10} = 2^{20}$ になるように感じて少し不思議に思いました。
- L1 の中の1エントリだけが確保され L2 ポインタが1つだけ  
ある形です

## 2 段ページの利点：必要な容量が少ない



- 4KB のメモリを確保したときにページテーブルに必要な容量：
  - 単段：ポインタが  $2^{20}=1024\text{K}$  個
  - 2段：ポインタが  $2^{10}+2^{10}=2\text{K}$  個

- 仮想アドレスの話はシステムプログラミングでも聞いたので多少馴染みがあったが、具体的な数字を追うと混乱する。  
\*4Bをするとき、桁が上がってしまってもよいのかがわからない。

# 質問とか感想

- システムプログラミング実習の授業でやったようなことが出てきてより理解が深まったような気がする。
- 仮想メモリの話はシステムプログラミング実習という別の科目で軽く聞いたことがあったので、今回の授業でより理解が深まって嬉しかった。

- 一つ質問があります。資料では、仮想メモリのページテーブルが大きくなりすぎる問題への対策として多段ページテーブルが紹介されていましたが、この多段ページテーブルを実際の実装する際の具体的な手順や注意点について、もう少し詳しく教えていただきたいです。

- ページと言われるとどうしてもノートのパージを想像してしまっ  
て、領域と捉えるのが難しかった。

# 質問とか感想

- 大変私ごとなのですが、課題の出し忘れ(1回ほど)や感想の期限超過(2回ほど出し忘れていました。)はかなり成績に影響しますでしょうか。
- 1回や2回はそんなに影響しないです

# 質問とか感想

- 久しぶりの猫ちゃん、癒されました～(∩▽∩)
- アスキーねこ再登場嬉しかったです。
- 猫ちゃんたちがカムバックを果たしていて嬉しかった。特に今回は社長が頼もしかった。



# 質問とか感想

一学期間おつかれさまでした  
テストがんばってください

^^  
(..Д) オツカレ  
(つ つ

^\_^  
( '▽` ) マタネ  
(つ つ

^^.  
(\*ー) ガンハッテ  
(つ つ

^\_^  
( '・ω・ ) ハイハイ  
(つ つ