



# アセンブリ言語

## ハードウェア・インタフェース（２）

情報工学系  
権藤克彦



# BIOSコール

ほぼスキップします



# BIOS (1)

- BIOS=Basic Input/Output System    firmware
- BIOSはソフトウェア. ファームウェアとも呼ぶ.
- 通常, BIOSは(書き換え可能な)ROM中にある.
  - ROMは不揮発性(電源を切っても内容が消えない).
- BIOSの主な機能.
  - ブートして, I/Oデバイスを(一時的に)初期化する.
  - BIOS起動画面などで, ブート時の設定を可能にする.
  - **BIOSコール**を提供する.

UEFIに移行中



## 宣伝😊 (再)

- ゼロからのOS自作入門
  - UEFI を使ってマイOSを作る本
  - 2021/3 発売
- 内田公太
  - 権藤研OB, サイボウズ・ラボ勤務



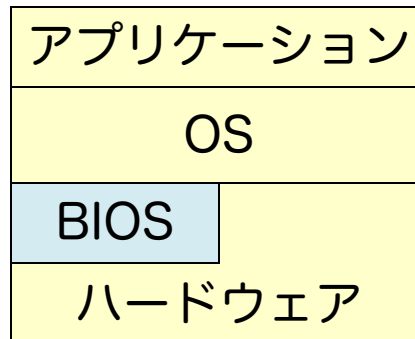
ゼロからのOS自作入門  
内田公太

<https://www.amazon.co.jp/dp/B08Z3MNR9J/>



## BIOS（2）

- BIOSはハードウェアとOSの間に位置する.
- OSは起動時にBIOSの機能を使う.
- OSはブート後はBIOSを介さずに、直接、ハードウェア（I/Oデバイス）とやりとりする.





# BIOSコール

- ソフトウェア割り込みを使う手続きの一種。
  - I/Oデバイスとの入出力のためによく使う。
  - レジスタを引数として使う。
  - DOSファンクションコールとは別物。
- 呼び出し方は通常の関数呼び出しと大きく異なる。
  - 多くのBIOSコールは%axと%eflagsだけを変更する。
  - 一部のBIOSコールは返り値として他のレジスタも変更する。
- 通常、16ビット・リアルモードでのみ使用可能。
  - 通常、起動後のOSはBIOSコールを呼び出さない。
  - BIOSコールのコードは再入可能ではないから。

再入可能(reentrant)=ある関数の実行中にその関数自身を再帰的、または非同期に呼び出しても問題が生じない関数の性質。



テレタイプ端末(teletype) :  
印刷式の端末. いわゆるtty (ダム) 端末.

## BIOSコールの例

- ビデオサービス

BIOSコールの引数

```
movb $0x0E, %ah  
movb $'X, %al  
movb $0x02, %bl  
int $0x10
```

テレタイプ式文字書き込みコマンド.  
書き込む文字を指定.  
文字属性.

- 文字属性はモードごとに異なる.

モード0x03の属性バイト

I	R	G	B	I	R	G	B
---	---	---	---	---	---	---	---

背景色

前景色

I = 高輝度 (intensity)

モード0x12の属性バイト

X				I	R	G	B
---	--	--	--	---	---	---	---

XOR

無視される

前景色の  
パレット番号



# BIOSビデオサービス（１）

int \$0x10：ビデオサービス	
%ah	説明
0x00	ビデオモードを設定
0x02	カーソル位置の変更
0x09	文字と属性を書き込む
0x0C	グラフィックの点を書く
0x0E	テレタイプ式文字書き込み

一部のみ





## BIOSビデオサービス（２）

int \$0x10 : ビデオサービス	
%ah	0x00（ビデオモードの設定）
%al	モードの値

%al	説明
0x03	80x25文字, 16色（デフォルト）
0x11	640x480ドット, 2色
0x12	640x480ドット, 16色, 80x30文字
0x72	640x480ドット, 16色, 80x25文字
0x73	80x25文字, 16文字

%al	説明
0x00	40x25文字, 白黒
0x01	40x25文字, カラー
0x02	80x25文字, 白黒
0x03	80x25文字, カラー
0x04	320x200ドット, カラー
0x05	320x200ドット, 白黒
0x06	640x200ドット, 白黒
0x07	モノクロのみ

OADG BIOSリファレンス

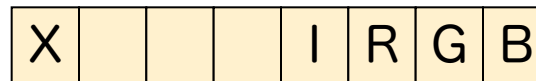
PhoenixBIOS 4.0 User's Manual



## BIOSビデオサービス（3）

int \$0x10：ビデオサービス	
%ah	0x0C (=1ドットの画素を書く)
%al	画素の色
%bh	0x00 (=画素を書くページ, 0を設定)
%cx	何列目に書くか
%dx	何行目に書くか

モード0x12の属性バイト



XOR    無視される    前景色の  
パレット番号

実行

int10-dot



## BIOSビデオサービス（４）

int \$0x10 : ビデオサービス	
%ah	0x0E (=テレタイプ式文字書き込み)
%al	書き込む文字
%bl	前景色 (グラフィックスモードのみ)

int \$0x10 : ビデオサービス	
%ah	0x02 (=カーソル位置の変更)
%bh	0x00 (=カーソル位置を変更するページ, 0を設定)
%dl	文字単位で何列目か
%dh	文字単位で何行目か

int10-cursor



# (フロッピー) ディスケットサービス

int \$0x13 : ディスケットサービス	
%ah	0x02 (=セクタを読み込む)
%dl	ドライブ番号 (0~3)
%dh	ヘッド番号 (シリンダ番号)
%ch	トラック番号
%cl	セクタ番号
%al	読み込むセクタ数
%es:%bx	読み込み先のメモリアドレス

$2 \times 80 \times 18 \times 512 = 1.44\text{MB}$

0~1 } 3.5インチ,  
0~79 } 1.44MB (MFM)  
1~18 } の場合

返り値	
%eflagsのCF	1=エラー, 0=正常
%al	転送されたセクタ数
%ah	エラーコード

エラーコード (一部)	
0x00	エラー無し
0x01	不正なBIOSコマンド
0x03	書き込み保護エラー
0x06	メディア変更あり
0x09	DMA境界エラー
0x40	シークエラー
0x80	タイムアウト発生



# ハードディスク入出力

- 基本はディスクサービスと同じ.
- 異なる点：
  - %dl (ドライブ番号) のビット7を1に設定する.
  - %ah=0x02 (セクタ読み込み) で, %clの0~5ビットにセクタ番号を, %clの6~7にはシリンダ番号10ビット中の上位2ビットをセットする.

詳細は, OADGテクニカル・リファレンス  
(DOS/V 技術解説編) を参照すること.  
BIOSコールの説明あり.

# ● VGAディスプレイ

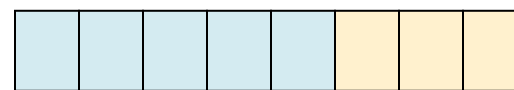


# VGAのI/Oレジスタ

- たくさんあるが、BIOSコールで初期設定すれば、ほとんどは知らなくてOK.
- ここではシーケンサ・アドレス・レジスタとマップ・マスク・レジスタのみ扱う.

I/Oレジスタ	I/Oポート	インデックス
シーケンサ・アドレス・レジスタ	0x03C4	
リセット・レジスタ	0x03C5	0
クロッキングモード・レジスタ	0x03C5	1
マップ・マスク・レジスタ	0x03C5	2
文字マップ選択レジスタ	0x03C5	3
メモリモード・レジスタ	0x03C5	4

## シーケンサ・アドレス・レジスタ



予約済み インデックス

## マップ・マスク・レジスタ



予約済み マップ選択



# マップの選択例

マップは次ページで説明.

```
movw $0x03C4, %dx  
movb $0x02,    %al  
outb %al,      %dx  
movw $0x03C5, %dx  
movb $0x06,    %al  
outb %al,      %dx
```

マップ・マスク・レジスタを選択.  
(0x03C5に5つのレジスタがマップ  
されてるので, この選択が必要. )

ここではマップ1 (緑) とマップ2 (赤)  
を選択している.

マップは同時に複数選択可能.

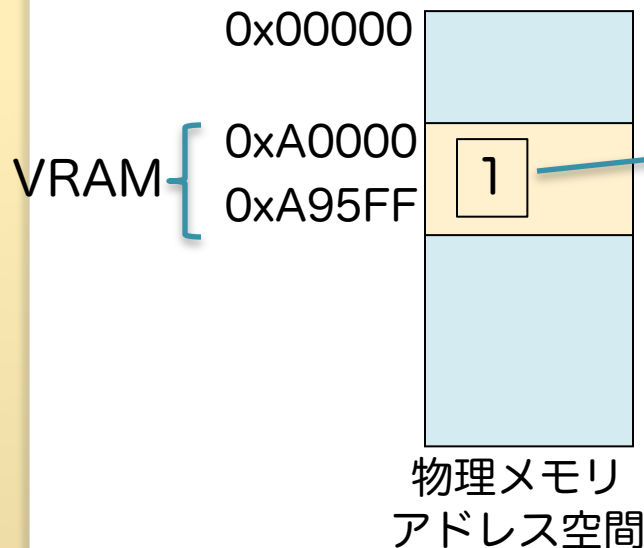




# モード0x12のVRAMメモリマップ（1）

$$640 \times 480 / 8 = 0x9600$$

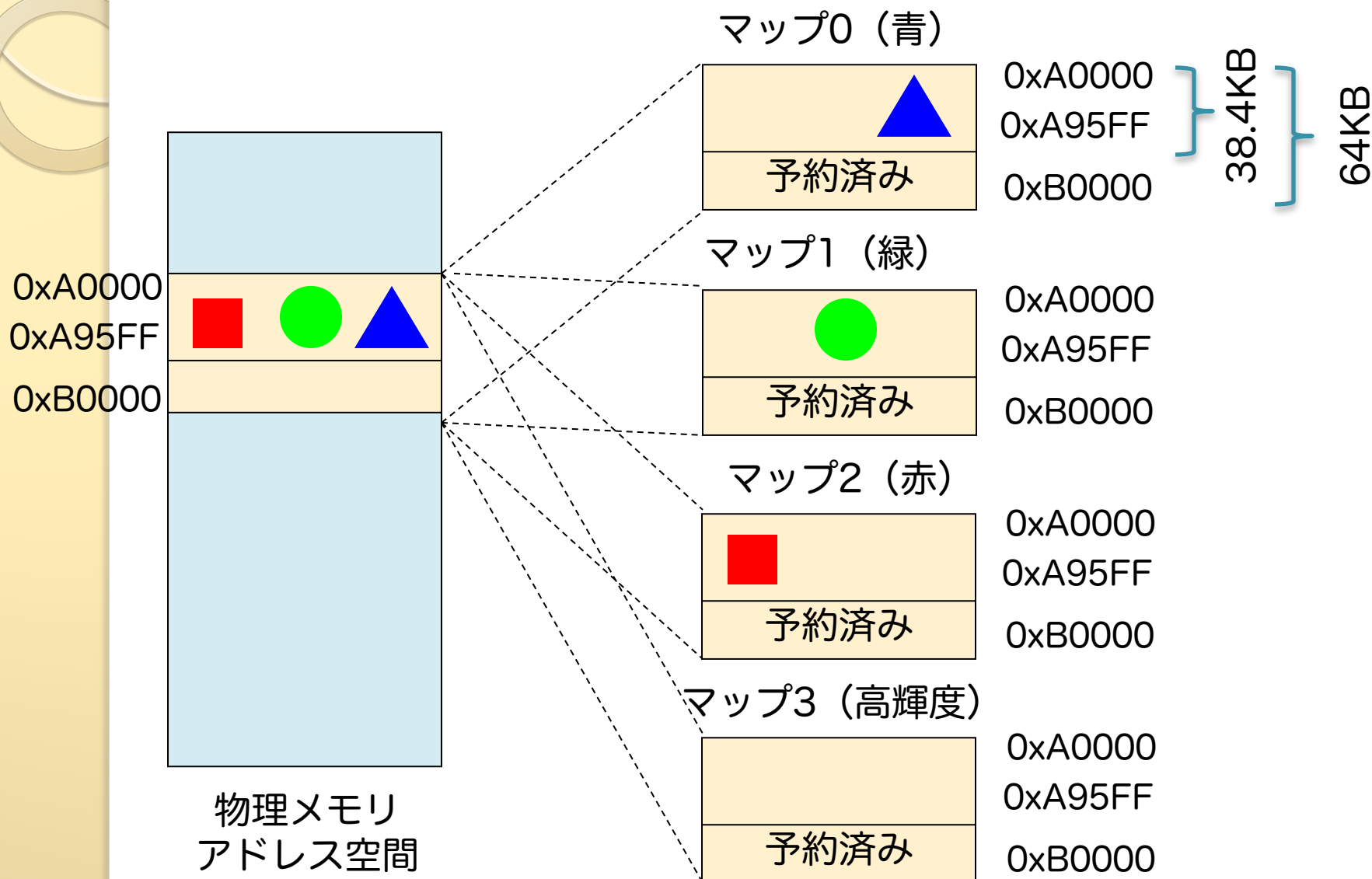
- VRAMは0xA0000～0xA95FFの範囲にマップ.
- その範囲のビットを1にするとドットが光る.
- 1つのドットにマップ0～マップ3が対応.
  - このマップを選ぶことで、**ドットの色を指定**可能.



VRAM中のビットを1にすると  
対応するディスプレイ上のドットが光る。  
色はマップの選択で指定する。



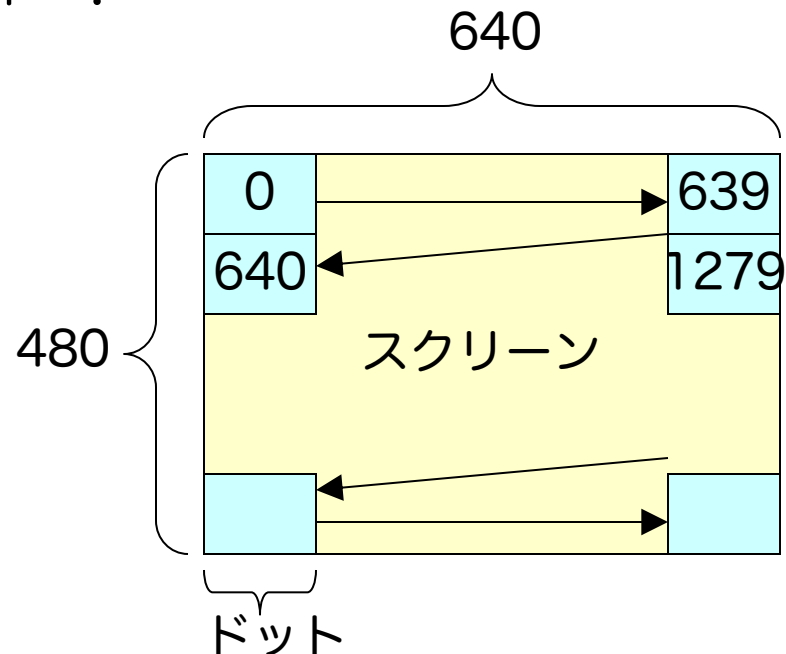
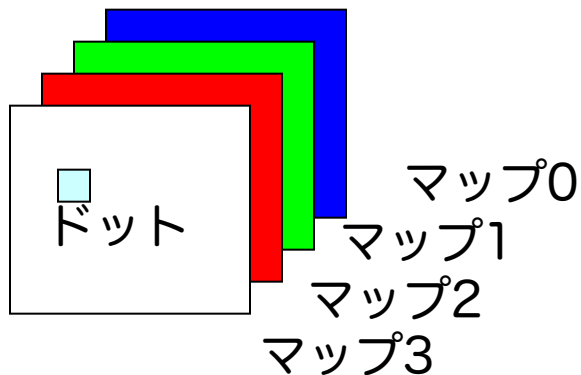
# モード0x12のVRAMメモリマップ (2)





# モード0x12のドット（画素，ピクセル）

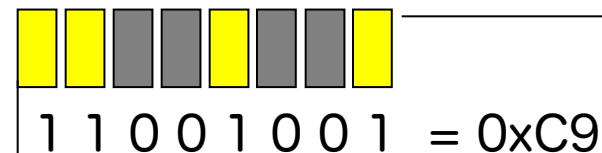
- 1ドットあたり4ビット（16色）
  - 4つのマップから1ビットずつで，1ドットを構成.
- ドットの順序.
  - 最初のドットはMSB.（=バイト内はビッグエンディアン）
  - 左から右へ，上から下へ.





# モード0x12でドット描画例

```
.code16
.text
    jmp $0x07c0, $1f
1:
    movb $0x00, %ah
    movb $0x12, %al
    int $0x10
#
    movw $0x03C4, %dx
    movb $0x02, %al
    outb %al, %dx
    movw $0x03C5, %dx
    movb $0x0E, %al
    outb %al, %dx
#
    movw $0xA000, %ax
    movw %ax, %gs
    movb $0xC9, %gs:0x0000
#
2: hlt; jmp 2b
.org 510
.word 0xaa55
```



モード0x12を設定.

マップ1とマップ2とマップ3を選択.  
(赤+緑+高輝度=明るい黄色)

VRAMの先頭バイトに11001001  
を書き込み.



# モード0x12で文字の描画例

非標準の

- ROMフォントの位置をBIOSコールで調べて使う。

int \$0x10 : ビデオサービス

%ax     0x1130 (フォント情報を得る)

%bh     ポインタ指示

ポインタ指示

6     ROM 8x16 フォント

7     ROM 9x16 代替フォント

返り値

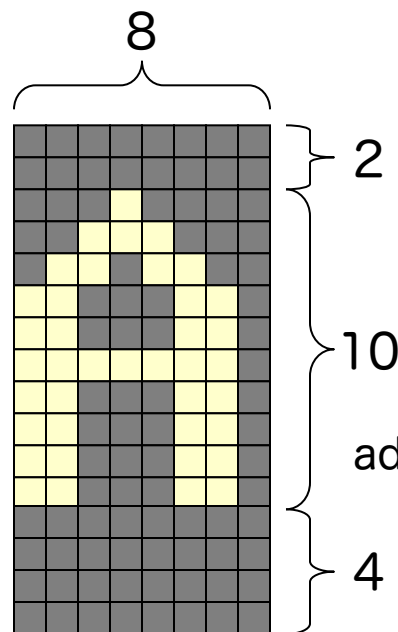
%es:%bp     フォントアドレス

%cx     文字あたりのバイト数

%dl     文字行数

```
movw $0x1130, %ax
movb $6, %bh
int $0x10
```

%es = 0xC000  
%bp = 0x255A  
%cx = 16  
%dl = 30



addr=0xC255A+'A'\*16

640x480の場合, 480/16=30.

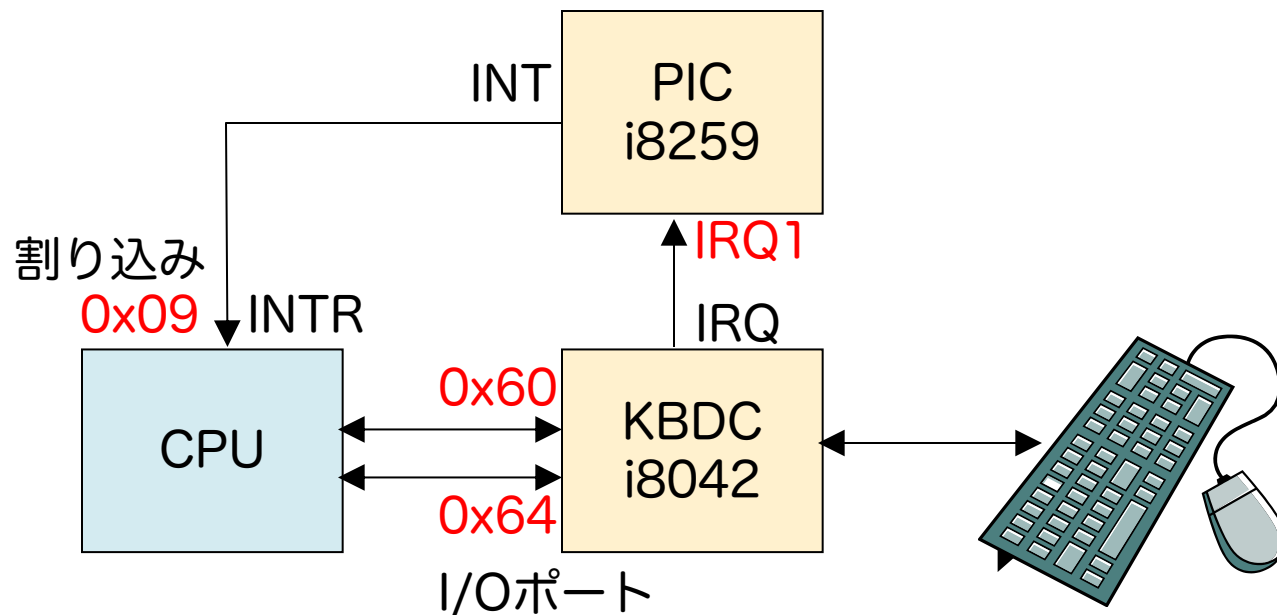


# キーボード



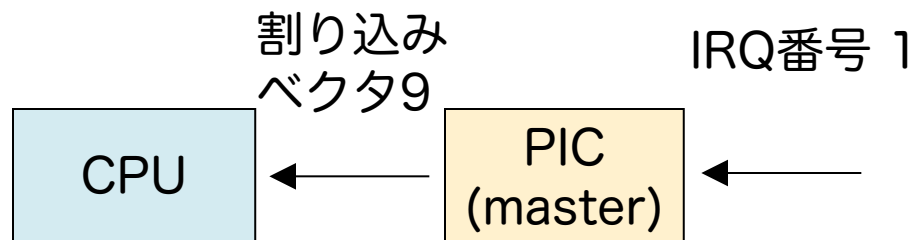
# キーボード, KBDC, PIC

- 2つのチップがキーボードを制御する。
  - i8042: キーボードコントローラ (KBDC)
    - ・ 2つのI/Oポート (0x60, 0x64) を持つ.
  - i8259: プログラム可能割り込みコントローラ (PIC)
    - ・ **割り込みベクタ9**でCPUに割り込み, キー入力をCPUに伝える.





# PIC (1)



- PICはI/Oデバイスの割り込み要求をCPUに伝える。
  - その際、IRQ番号を割り込みベクタ番号に変換。

IRQ	INT	I/Oデバイス		IRQ	INT	I/Oデバイス
0	08	タイマー		8	70	リアルタイムクロック
1	09	キーボード		9	71	
2	0A	(PICスレーブに接続)		10	72	予約
3	0B	シリアルポート2		11	73	予約
4	0C	シリアルポート1		12	74	補助デバイス (マウス)
5	0D	パラレルポート		13	75	コプロセッサ
6	0E	フロッピーディスク		14	76	ハードディスク
7	0F	パラレルポート		15	77	予約

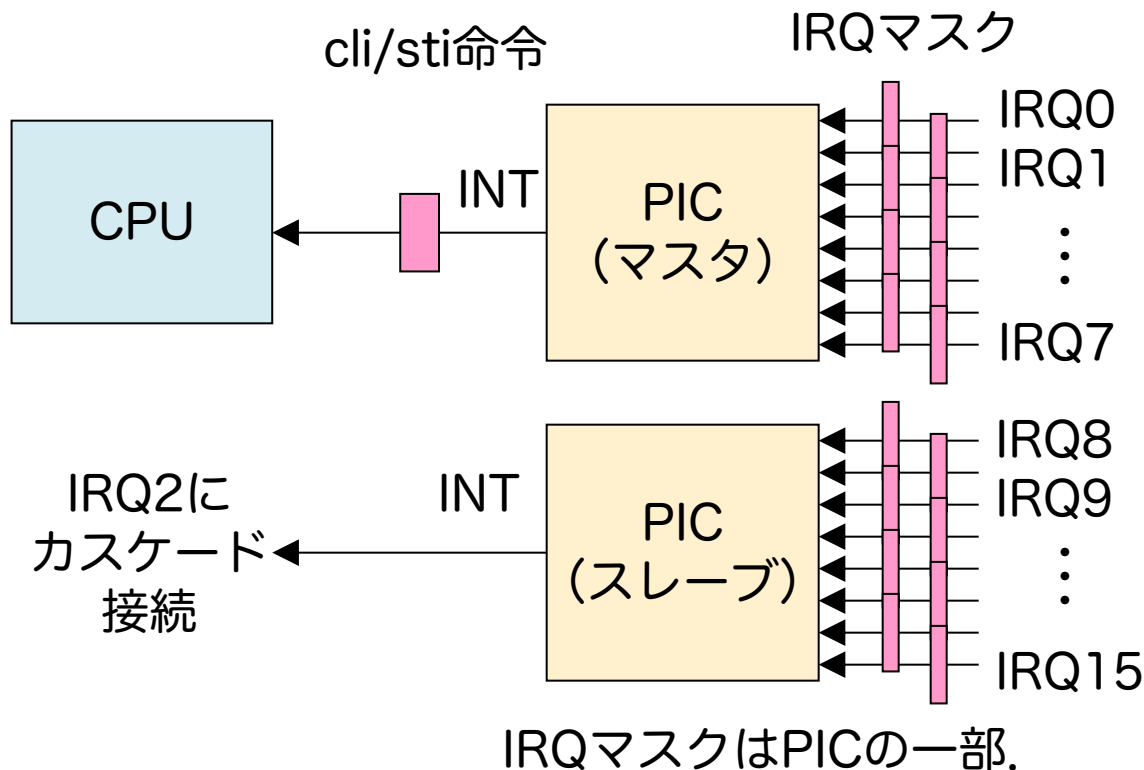
OADGテクニカル・リファレンス (ハードウェア) より抜粋。





## PIC (2)

- PICの**IRQマスク**は割り込み毎に無効/有効を設定。
  - cli/sti命令は（NMI以外の）全割り込みを無効/有効にする。



複数のI/Oデバイスの割り込みをPICが集約してCPUに伝える。



ここでは、IMRとOCW2だけ覚えればOK.  
同じアドレスのI/Oレジスタの選択方法も  
ここでは気にしなくてOK.

## PIC (3)

- PICのI/Oレジスタ
  - ICW1～ICW4：初期化コマンドワード.
  - OCW1～OCW3：オペレーションコマンドワード.
  - IRR：割り込み要求レジスタ（ペンディング中の割り込みを保持）.
  - ISR：割り込み中の割り込みを保持するレジスタ.
  - IMR：割り込みマスクレジスタ.

ICW1	w: 0x20 (0xA0)	ICW2	w: 0x21 (0xA1)
OCW2	w: 0x20 (0xA0)	ICW3	w: 0x21 (0xA1)
OCW3	w: 0x20 (0xA0)	ICW4	w: 0x21 (0xA1)
IRR	r: 0x20 (0xA0)	OCW1	rw: 0x21 (0xA1)
ISR	r: 0x20 (0xA0)	(IMR)	

OCW2 is selected if 0x20[4:3] = 0:0.  
OCW3 is selected if 0x20[4:3] = 0:1.  
ICW1 is selected if 0x20[4] = 1.

8259A PIC マスター（スレーブ）



## PIC (4)

- IRQマスクの設定にはIMRを使う.

	7	6	5	4	3	2	1	0
IMR	IRQ7	IRQ6	IRQ5	IRQ4	IRQ3	IRQ2	IRQ1	IRQ0

```
movw $0x21, %dx
inb   %dx,   %al
orb   $0x02, %al
outb  %al,   %dx
```

PICマスターのIMRの  
IRQ1を1（マスク）にする.

```
movw $0x21, %dx
inb   %dx,   %al
andb  $0xFD, %al
outb  %al,   %dx
```

PICマスターのIMRの  
IRQ1を0（マスク解除）にする.

- 他のビットの元の値を保存するために、orやandが必要.
- マスクされた割り込みはIRRが保持する. マスク解除後にその割り込みが発生する. ただし2つ目以降は失われる.



## PIC (5)

- 割り込み処理後，CPUはPICにEOIを送る必要あり。
  - EOI（割り込み終了） = end of interrupt
  - これを送ると，PICは次の割り込みをCPUに伝える。
  - CPUがPICスレーブに割り込まれた時は，PICマスターとPICスレーブの両方にEOIを送る。

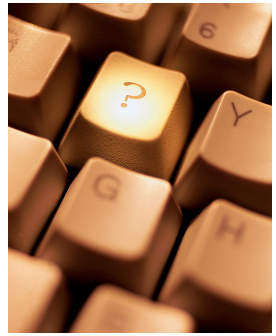
```
movb $0x20, %al  
outb  %al, $0x20
```

PICマスターのOCW2 (0x20) に  
EOI (0x20) を送信。

0x20はnon-specific EOI.



# キーボードのスキャンコード (1)



- スキャンコード (操作コード, scan code)
  - キー入力の際に, キーボードがCPUに送るコード (符号) .
  - ASCIIコードとは全くの別物.
  - 押す時 (**make-code**) と離す時 (**break-code**) でコードは別.
    - $\text{break-code} = \text{make-code} + 128$  (1バイト長のスキャンコードの場合) .
  - 多くのスキャンコードは**1バイト長** (拡張スキャンコードは別) .
  - 0x00=キーボードのバッファオーバーフロー.
  - 0xFF=キーエラー.
- キーボード毎にスキャンコードは異なる.
  - ここでは, 101キーボードを仮定.
- 3つのスキャンコードセットがある.
  - 事実上のデフォルトは**セット1**.



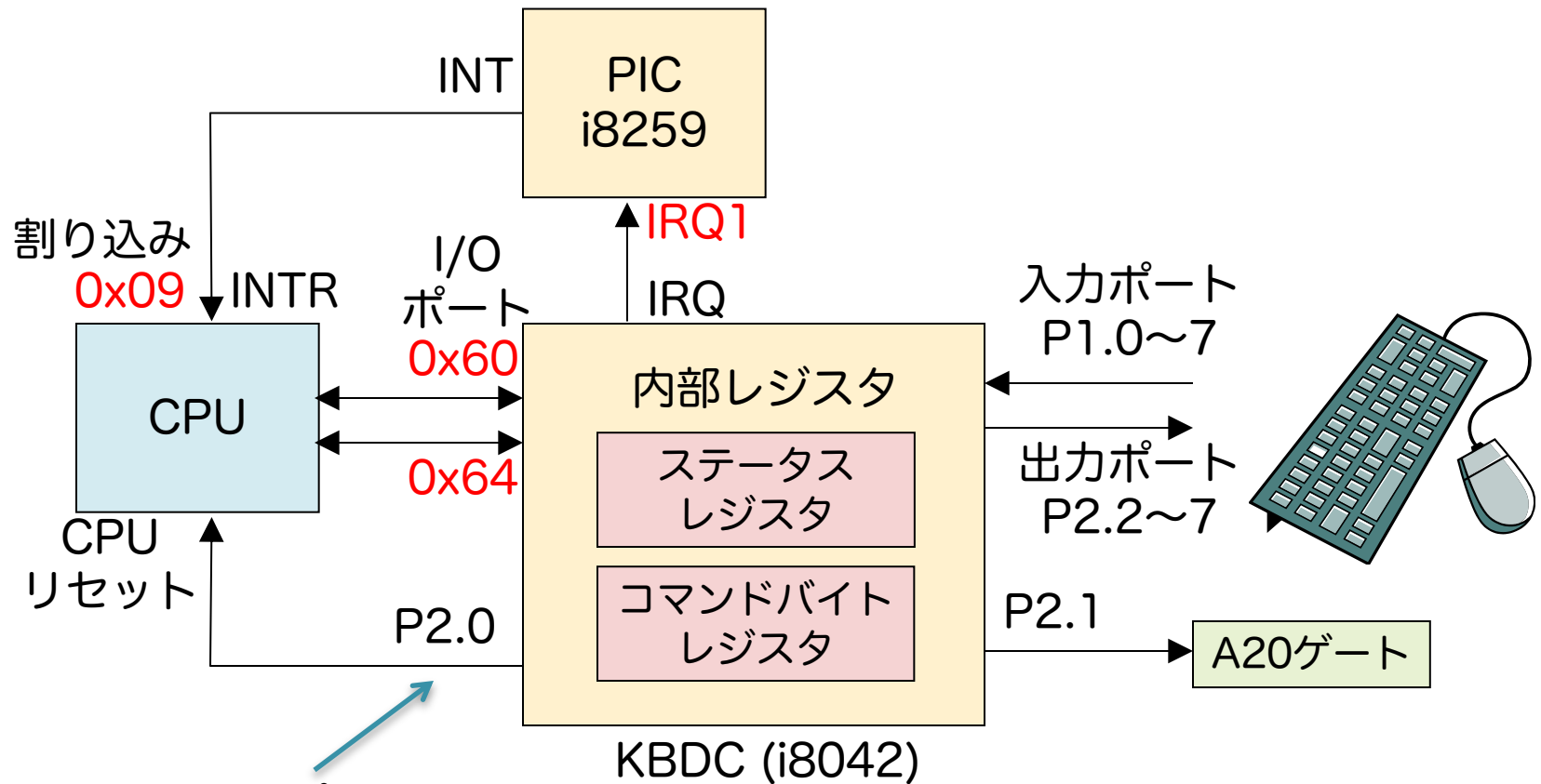
## キーボードのスキャンコード（２）

- セット1, 0x01~0x46の make-code.

01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10
esc	1!	2@	3#	4\$	5%	6^	7&	8*	9(	0)	-_	=+	back space	tab	Q
11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20
W	E	R	T	Y	U	I	O	P	[{	]} enter	ctrl	A	S	D	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	2A	2B	2C	2D	2E	2F	30
F	G	H	J	K	L	::	' "	`~	left shift	\	Z	X	C	V	B
32	32	33	34	35	36	37	38	39	3A	3B	3C	3D	3E	3F	40
N	M	,<	.>	/?	right shift	print screen	alt	space	caps	F1	F2	F3	F4	F5	F6
41	42	43	44	45	46	...									
F7	F8	F9	F10	num	scrl	...									



# KBDC (i8042)



KBDC出力ポート  
の0ビット目.  
I/Oポートとは別物.



# KBDCの2つのI/Oポート

- 0x64と0x60の2つしかない。
  - アクセス方法や順番で意味が変わるので注意.

主な処理：

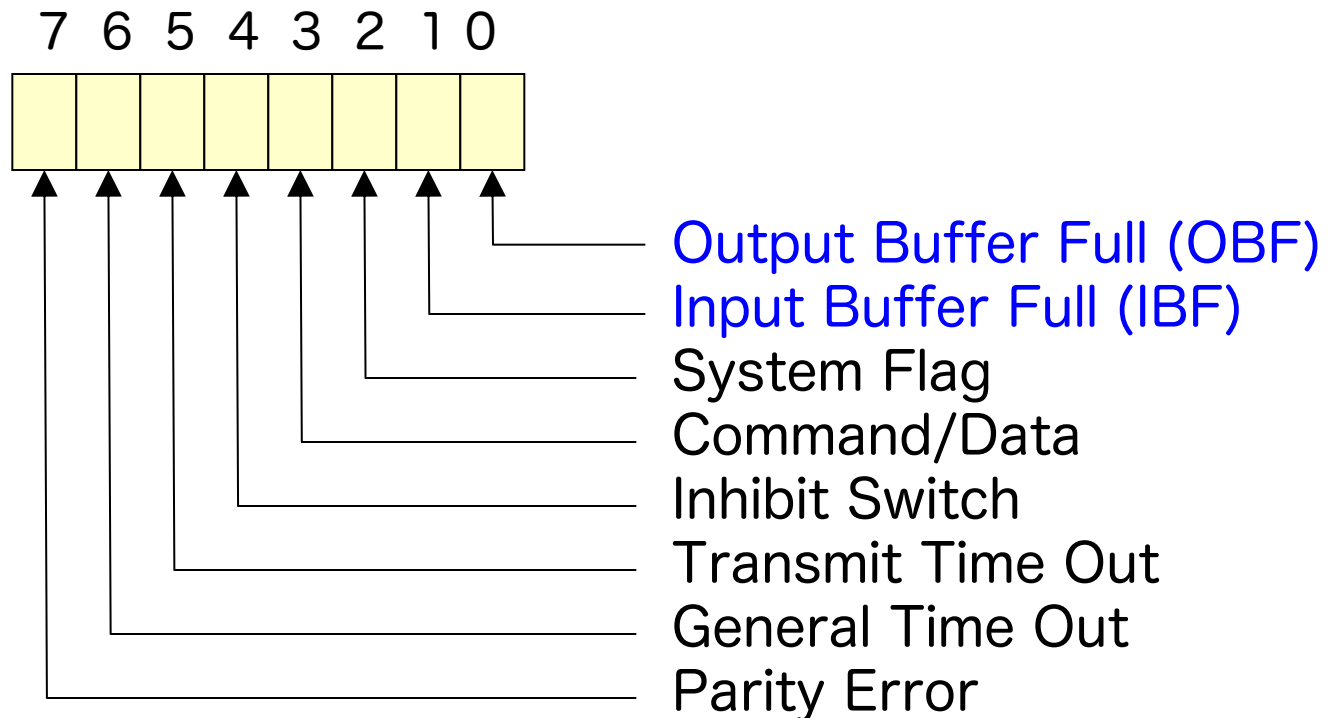
- ステータスレジスタの値を読む.
- キーボード（≠KBDC）へのコマンドを書き込む.
- KBDCへのコマンドを書き込む.
- KBDCのコマンドバイトレジスタを読み書きする.





# ステータスレジスタ

- I/Oポート **0x64** を読むとステータスレジスタ値を得る。
  - **0x64** はいつでも読んで良い. (cf. **0x60** の読み書き)
- ビット0のOBFとビット1のIBFが重要.

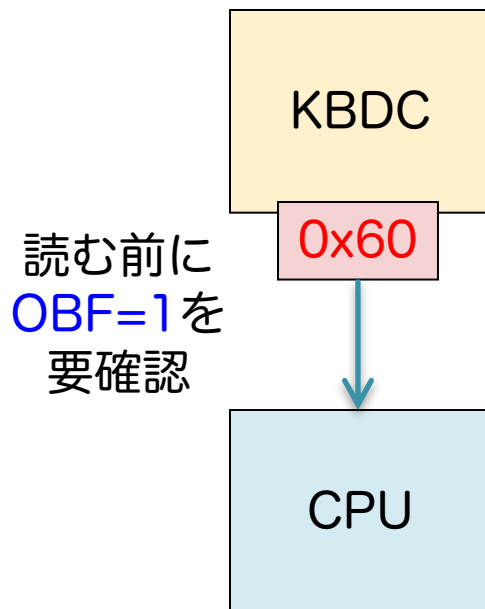




KBDCから見て出力なので、CPUから見ると入力になる。

## OBF（出力バッファフル・フラグ）

- OBF=1は、I/Oポート0x60の出力バッファにデータが存在することを意味する。
  - そのデータをCPUが読むと、自動的にOBF=0になる。
- 0x60からの読み出し前にOBF=1の確認が必要。



```
movw $0x64, %dx
wait:
inb    %dx,    %al
test   $0x1,   %al
jz     wait
```

ステータス  
レジスタを読む

OBF=1になるまで待つコード。

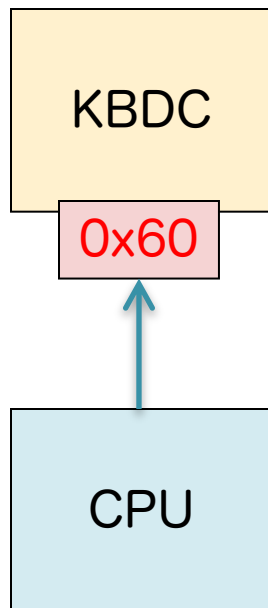
busy-waitはCPUを浪費する点と、  
タイムアウト処理がない点で悪いコード。



# IBF（入力バッファフル・フラグ）

- **IBF=1**は、I/Oポート**0x60**の入力バッファにデータが存在することを意味する。
  - そのデータをKBDCが読むと、自動的に**IBF=0**になる。
- **0x60**への書き込み前に**IBF=0**と**OBF=0**の確認が必要。

書く前に  
**IBF=0**  
と**OBF=0**  
を要確認



```
movw $0x64, %dx
wait:
inb    %dx,    %al
test   $0x3,   %al
jnz    wait
```

IBF=OBF=0になるまで待つコード。

busy-waitはCPUを浪費する点と、  
タイムアウト処理がない点で悪いコード。



# キーボードへのコマンドを書き込む（１）

- 手順

0x64に書かずにいきなり0x60に書き込むと、KBDCではなくキーボードへのコマンドと解釈される。

- IBF=OBF=0を確認後、0x60にコマンドを書く。
  - ・ 引数があれば、さらにIBF=OBF=0を確認後、0x60に書く。
- OBF=1を確認後、キーボードからの応答を0x60から読む。

## キーボードへの主なコマンド

コマンド	引数	説明
0xF4	なし	キーボードをイネーブル（有効化）。
0xFF	なし	キーボードをリセット。
0xED	1バイト	LEDの点滅。
0xF3	1バイト	オートリピート遅延や割合を設定。

キーボードからの応答は0xFA(Ack).  
コマンドが0xEDや0xF3の場合、コマンドと引数に対して、それぞれAckを返す。



## キーボードへのコマンドを書き込む（２）

コマンド0xED（LED明滅）の引数バイト

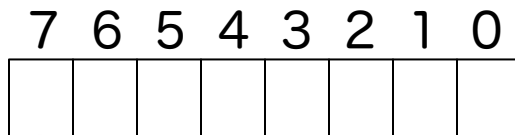


予約  
(0を入れる)

Caps lock  
Num lock  
Scroll lock

1でオン,  
0でオフ.

コマンド0xF3（オートリピート設定）の引数バイト



期間 =  $(8 + [2:0]) * 2^{[4:3]} * 0.00417 \text{秒} \pm 20\%$   
遅延 =  $([6:5] + 1) * 0.25 \text{秒} \pm 20\%$   
予約 (0を入れる)



# キーボードへのコマンドを書き込む (3)

例：NumロックLEDを点灯する。

```
.code16
.text
start:
    jmp $0x07c0, $start2
start2:
    movw %cs, %ax
    movb $0xED, %al
    movw $0x60, %dx
    outb %al, %dx
    call wait_OBF_1
    movw $0x60, %dx
    inb %dx, %al
    call wait_IBF_OBF_0
    movw $0x60, %dx
    movb $2, %al
    outb %al, %dx
```

LED点滅  
コマンドを  
送信

ack (0xFA)  
を受け取る

引き数バイト  
を送信. num  
をオンに指定.

```
call wait_OBF_1
movw $0x60, %dx
inb %dx, %al
movb $0x0E, %ah
subb $0x80, %al
int $0x10
exit: hlt; jmp exit
wait_IBF_OBF_0:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $3, %al
    jnz 1b; ret
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al
    jz 1b; ret
.org 510
.word 0xaa55
```

Ack (0xFA)  
を受け取る

Ack-0x80='z'  
を画面に表示

IBF=OBF=0  
を待つ

OBF=1  
を待つ

num-lock2



# KBDCへのコマンドを書き込む（１）

- 手順

0x64に書いてから、0x60に書き込むと、  
キーボードではなくKBDCへのコマンド引数と解釈される

- 0x64にKBDCへのコマンドを書く.
- 2バイト目以降の引数や返り値は0x60で読み書きする.
  - OBF=1やIBF=OBF=0の確認をしてから.

## KBDCへの主なコマンド

コマンド	説明
0xAA	セルフテスト. 成功すると0x55が返る.
0xAB	キーボードインタフェーステスト. 成功すると0x00が返る.
0x20	コマンドバイトレジスタの値を読む.
0x60	コマンドバイトレジスタに値を書く.
0xD0	出力ポートの値を読む.
0xD1	出力ポートに値を書く（A20ゲートの値を設定できる）.



## KBDCへのコマンドを書き込む（２）

セルフテスト(0xAA)のコマンドを実行.  
0x55(='U')が返れば正常.

```
start:
    ljmp $0x07c0, $start2
start2:
    movw %cs, %ax
    movb $0xAA, %al
    movw $0x64, %dx
    outb %al, %dx
    call wait_OBF_1
    movw $0x60, %dx
    inb %dx, %al
    movb $0x0E, %ah
    int $0x10
1: hlt; jmp 1b
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al
    jz 1b; ret
.org 510
.word 0xaa55
```

} セルフテスト  
コマンドを送信.

} 戻り値を読む.  
0x55なら成功

'U' = 0x55

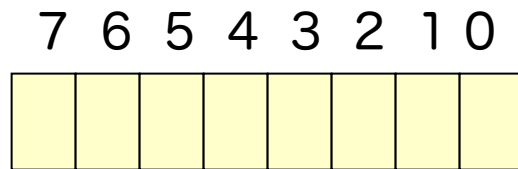
self-test





## コマンドバイトレジスタ（１）

- KBDCへのコマンド0x20と0x60をI/Oポート0x64に書くと，コマンドバイトレジスタの読み書きを指示.
- 次にI/Oポート0x60から読み書きをしてコマンドバイトレジスタの値をやりとりする.



ビット0を1にすると，キー入力時に割り込みIRQ1が発生するようになる.

Enable Keyboard Interrupt

Reserved=0

System Flag

Reserved=0

Disable Keyboard

IBM PC Mode

IBM Keyboard Translate Mode

Reserved=0



## コマンドバイトレジスタ（２）

```
.code16
.text
start:
    jmp $0x07c0, $start2
start2:
    movw %cs, %ax
    movb $0x20, %al
    movw $0x64, %dx
    outb %al, %dx
    call wait_OBF_1
    movw $0x60, %dx
    inb %dx, %al
1: hlt; jmp 1b
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al
    jz 1b; ret
.org 510
.word 0xaa55
```

コマンドバイトレジスタの  
値を読む。

} コマンドバイトレジスタの  
読み込みを指示。

} コマンドバイトレジスタの  
値を%alに読む。

bochsデバッガで%alの値を  
調べると、0x61が入っていた。



コマンドバイトレジスタのビット0を0に設定して、  
キーボード割り込みを無効にする。

## コマンドバイトレジスタ (3)

```
.code16
.text
start:
    jmp $0x07c0, $start2
start2:
    movw %cs, %ax
    call echo
    movb $0x20, %al
    movw $0x64, %dx
    outb %al, %dx
    call wait_OBF_1
    movw $0x60, %dx
    inb %dx, %al
    andb $0xFE, %al
    movb %al, %cl
    movb $0x60, %al
    movw $0x64, %dx
    outb %al, %dx
    call wait_IBF_OBF_0
```

ここではキー入力可能。

} コマンドバイト  
レジスタの  
読み込みを指示。

} コマンドバイト  
レジスタの値を読む。  
ビット0だけを0に。

} コマンドバイト  
レジスタの  
書き込みを指示。

```
    movb %cl, %al
    movw $0x60, %dx
    outb %al, %dx
    call echo
1: hlt; jmp 1b
wait_IBF_OBF_0:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $3, %al
    jnz 1b; ret
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al
    jz 1b; ret
echo:
    movb $0x00, %ah
    int $0x16
    movb $0x0E, %ah
    int $0x10
    ret
.org 510
.word 0xaa55
```

} コマンドバイト  
レジスタに書き込む。  
ここではキー入力不可。

} キーボードから  
%alに1文字入力。  
} テレタイプ式  
文字書き込み。



busy-waitで（普通はやらない）

# キーボードからスキャンコードを受信（１）

```
.code16
.text
    jmp $0x07c0, $start2
start2:
    movw %cs,    %ax
    movw %ax,    %ds
loop:
    call read_key
    jmp loop
read_key:
    call wait_OBF_1
    movw $0x60, %dx
    inb %dx, %al
    test $0x80, %al
    jnz skip
    movzbw %al, %bx
    movb keymap(%bx), %al
    movb $0x0E, %ah
    int $0x10
skip:
    ret
```

```
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al
    jz 1b; ret
keymap:
    .byte 'X', '*', '1', '2', '3', '4'
    .byte '5', '6', '7', '8', '9', '0'
.org 510
    .word 0xaa55
```

busy-waitで待つ。  
スキャンコードを  
得る。

breakコード（キーを離す）は無視。  
スキャンコードを  
ASCIIコードに変換。

0～9までのキー入力を仮定。

何もコマンドを送っていない時に、  
キー入力があると、OBF=1となり、  
0x60からスキャンコードを読める。



ここでは起動時のPICの  
設定をそのまま利用.

割り込みで (普通のやり方)

## キーボードからスキャンコードを受信 (2)

```
.code16
.text
movw %cs, %ax
movw %ax, %ds
movw %ax, %ss
movl $0xFFFF0, %esp
movl $0xFFFF0, %ebp
movw $handler, %ax
addw $0x7C00, %ax
movw %ax, 4*9
movw %cs, 4*9+2
sti
1: hlt; jmp 1b
handler:
cli; pusha;
call wait_OBF_1
movw $0x60, %dx
inb %dx, %al
test $0x80, %al
jnz handler_exit
movzbw %al, %bx
addw $0x7C00, %bx
```

9番の割り込み  
ハンドラを設定.  
割り込み許可.

割り込みを禁止して  
レジスタを退避.  
スキャンコードを  
得る.

```
movb keymap(%bx), %al
movb $0x0E, %ah
int $0x10
handler_exit:
movb $0x20, %al
outb %al, $0x20
popa; sti; iret
wait_OBF_1:
movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
test $0x1, %al
jz 1b; ret
keymap:
.byte 'X', '*', '1', '2', '3', '4'
.byte '5', '6', '7', '8', '9', '0'
.org 510
.word 0xaa55
```

PIC1にEOI  
を送信.

kbd-intr

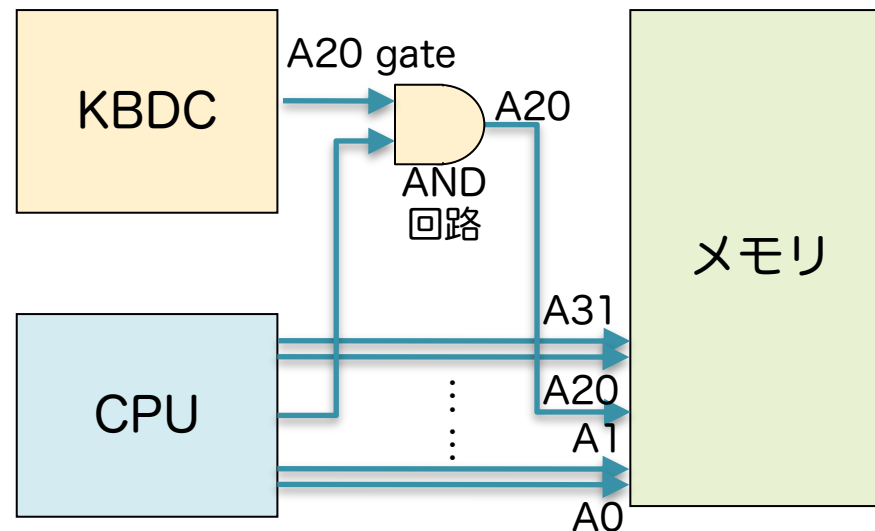
何もコマンドを送っていない時に,  
キー入力があると, 割り込み番号9の  
割り込みが発生して,  
0x60からスキャンコードを読める.



8086の「1MBの壁」と  
互換性を保つための仕組み。

## 参考：A20ゲート（１）

- A20=i386の21番目のアドレスピン。
- A20ゲート=A20を有効・無効に制御するピン。
  - なぜかKBCについている。起動後のデフォルト値はオフ(0)。
  - A20ゲート=0だと、常にA20=0になる。
    - 1MB以上のメモリアクセスに支障。



アドレスバス



## 参考：A20ゲート（2）

- OADGのマニュアルでは、デフォルトで、A20ゲートはオン（A20をマスクしない）とある.
- KBDCの出力ポートをコマンド0xD0と0xD1で読み書きして、A20ゲートをオン・オフする.
  - P2.1=1でオン, P2.1=0でオフ.
  - 他にも方法はある：BIOSコールやシステムポート(0x92).



# 参考：A20ゲート（3）

a20gate

```
.code16
.text
ljmp $0x07c0, $start2
start2:
call check_a20gate
movw $0x64, %dx
movb $0xD0, %al
outb %al, %dx
call wait_OBF_1
movw $0x60, %dx
inb %dx, %al
movb %al, %bl
movw $0x64, %dx
movb $0xD1, %al
outb %al, %dx
call wait_IBF_OBF_0
movw $0x60, %dx
movb %bl, %al
# orb $0x02, %al
andb $0xFD, %al
outb %al, %dx
1: hlt; jmp 1b
```

出力ポートの  
現在の値を  
%blに代入。

A20ゲート  
(P2.1) を  
変更して出力  
ポートに書く。

```
wait_IBF_OBF_0:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $3, %al; jnz 1b; ret
wait_OBF_1:
    movw $0x64, %dx
1: inb %dx, %al
    test $1, %al; jz 1b; ret
check_a20gate:
    movw $0x0000, %ax
    movw %ax, %ds
    movw $0xFFFF, %ax
    movw %ax, %es
    movb '$C', %al
    movw $0x1234, %ds:0x0000
    movw $0x5678, %es:0x0010
    movw %ds:0x0000, %bx
    cmpw $0x5678, %bx
    je 1f
    movb '$O', %al
1: movb $0x0E, %ah
    int $0x10; ret
.org 510
.word 0xaa55
```

0x000000に  
0x1234を書き、  
0x100000に  
0x5678を書き、  
値を比較して  
A20ゲートが有効  
か否かを調べる。





通常、ユーザ空間で in/out命令を実行できない理由.

## 参考：IOPL

- I/Oポートの特権レベル.
  - %eflagsのIOPLフィールド（2ビット）で設定.
  - I/Oポートは、数値的に $CPL \leq IOPL$ の時のみアクセス可能.
  - CPLは実行中のコードセグメントディスクリプタの特権レベル.
- IOPLフィールドは%popfd命令で設定する.
  - $CPL=0$ の時のみ、IOPLフィールドを設定可能.
  - 特権命令ではないが、 $CPL \geq 1$ の時はIOPLを設定できない.