

xv6は、Dennis RitchieとKen ThompsonのUnix Version 6 (v6) の再実装である。xv6は、大まかにはv6の構造とスタイルに従っているが、ANSI Cを使用して、最新のx86ベースのマルチプロセッサ向けに実装されている。

## 謝辞

xv6は、John LionsのUNIX 6th Commentary (Peer to Peer Communications; ISBN: 1-57398-013-7; 1st edition (June 14, 2000)) に触発されたものである。http://pdos.csail.mit.edu/6.828/2016/xv6.htmlも参照されたい。これは、v6に関するオンラインリソースをまとめたものである。

xv6は次のソースからコードを拝借している:

JOS (asm.h, elf.h, mmu.h, bootasm.S, ide.c, console.c, and others)  
Plan 9 (entryother.S, mp.h, mp.c, lapic.c)  
FreeBSD (ioapic.c)  
NetBSD (console.c)

次の方々に感謝いたします: Russ Cox (コンテキストスイッチ、ロック)、Cliff Frey (MP)、Xiao Yu (MP)、Nickolai Zeldovich、Austin Clements。

バグの報告とパッチをいただいた次の方々にも感謝いたします: Silas Boyd-Wickizer, Anton Burtsev, Cody Cutler, Mike CAT, Tej Chajed, Nelson Elhage, Saar Ettinger, Alice Ferrazzi, Nathaniel Filardo, Peter Froehlich, Yakir Goaron, Shivam Handa, Bryan Henry, Jim Huang, Alexander Kapshuk, Anders Kaseorg, kehao95, Wolfgang Keller, Eddie Kohler, Austin Liew, Imbar Marinescu, Yandong Mao, Hitoshi Mitake, Carmi Merimovich, Joel Nider, Greg Price, Ayan Shafqat, Eldar Sehayek, Yongming Shen, Cam Tenny, Rafael Ubal, Warren Toomey, Stephen Tu, Pablo Ventura, Xi Wang, Keiichi Watanabe, Nicolas Wolovick, Grant Wu, Jindong Zhang, Icenow Zheng, Zou Chang Wei.

xv6を構成するファイルのコードの著作権表示は次のとおりである。  
Copyright 2006-2016 Frans Kaashoek, Robert Morris, and Russ Cox.

## エラー報告

エラーや提案をFrans KaashoekとRobert Morris (kaashoek, rtm@mit.edu) に送ってください。xv6の主たる目的は、MITの講義科目6.828のための教育用オペレーティングシステムであるため、新しい機能よりも単純化と明確化の方に関心がある。

## XV6のビルドと実行

xv6をx86 ELFマシン (LinuxやFreeBSDなど) でビルドするには、"make"を実行する。非x86マシンあるいは (たとえx86でもOS Xなどの) ELF以外のマシンでは、x86 ELFバイナリを生成できるクロスコンパイラgccスイートをインストールする必要がある。http://pdos.csail.mit.edu/6.828/2016/tools.htmlを参照されたい。インストール後、"make TOOLPREFIX=i386-jos-elf-"を実行する。そして、QEMU PCシミュレータをインストールし、"make qemu"を実行する。

表中のファイル名の左側の数字はシート番号である。ソースコードは、ページ当たり2カラム、1カラムは50行で印刷されており、1シート (1ページ) あたり100行表示されている。そのため、行番号とシート版番号には便利な関係が存在する。

# ヘッダ	# System Call	67 pipe.c
01 types.h	32 traps.h	
01 param.h	32 vectors.pl	# 文字列操作
02 memlayout.h	33 trapasm.S	69 string.c
02 defs.h	33 trap.c	
04 x86.h	35 syscall.h	# 低レベルハード
06 asm.h	35 syscall.c	70 mp.h
07 mmu.h	37 sysproc.c	72 mp.c
09 elf.h		73 lapic.c
	# File System	76 ioapic.c
# xv6の起動	38 buf.h	77 kbd.h
10 entry.S	39 sleeplock.h	78 kbd.c
11 entryother.S	39 fcntl.h	79 console.c
12 main.c	40 stat.h	83 uart.c
	40 fs.h	
# ロック	41 file.h	# ユーザレベル
15 spinlock.h	42 ide.c	84 initcode.S
15 spinlock.c	44 bio.c	84 usys.S
	46 sleeplock.c	85 init.c
# プロセス	47 log.c	85 sh.c
17 vm.c	49 fs.c	
23 proc.h	58 file.c	# ブートローダ
24 proc.c	60 sysfile.c	91 bootasm.S
30 swtch.S	66 exec.c	92 bootmain.c
31 kalloc.c		
	# パイプ	

ソースリストの前には、xv6で定義されているすべての定数、構造体、グローバル変数、関数の相互参照表がある。各エントリには、名前とその名前が定義されている行番号 (複数の行番号がある場合もある) が同じ行に示されている。エントリリストの2行目以下は、その名前が使用されている行数をリストしている。たとえば、次のエントリは

```
swtch 2658
      0374 2428 2466 2657 2658
```

swtchは2658行で定義されており、シート03と24、26の5つの行で使用されていることを示している。

```

acquire 1574                                0263 1230 4438
    0380 1574 1578 2478 2548 2614    bmap 5410
    2649 2677 2769 2830 2891 2906        5154 5410 5436 5520 5570
    2966 2979 3175 3192 3416 3822    bootmain 9217
    3842 4309 4365 4470 4533 4624        9168 9217
    4636 4655 4830 4857 4876 4931    BPB 4107
    5258 5291 5362 5375 5880 5904        4107 4110 5022 5024 5059
    5918 6813 6834 6855 8010 8181    bread 4502
    8228 8264                            0264 4502 4777 4778 4790 4806
acquiresleep 4622                        4890 4891 4984 5006 5023 5058
    0389 4477 4492 4622 5311 5360        5211 5235 5314 5426 5470 5520
allocproc 2473                            5570
    2473 2525 2587                        brelse 4526
allocuvn 1927                            0265 4526 4529 4781 4782 4797
    0430 1927 1941 1947 2565 6651        4814 4894 4895 4986 5009 5029
    6665                            5034 5065 5217 5220 5244 5322
alltraps 3304                            5432 5476 5523 5574
    3259 3267 3280 3285 3303 3304    BSIZE 4055
ALT 7710                                3859 4055 4074 4101 4107 4280
    7710 7738 7740                        4296 4319 4758 4779 4892 5007
argfd 6071                                5520 5521 5522 5566 5570 5571
    6071 6123 6138 6157 6168 6181        5572
argint 3602                                buf 3850
    0404 3602 3616 3632 3783 3806        0250 0264 0265 0266 0308 0335
    3820 6076 6138 6157 6408 6475        2120 2123 2132 2134 3850 3856
    6476 6532                        3857 3858 4213 4231 4234 4274
argptr 3611                            4306 4354 4356 4359 4426 4430
    0405 3611 6138 6157 6181 6557        4434 4440 4453 4465 4468 4501
argstr 3629                            4504 4515 4526 4706 4777 4778
    0406 3629 6207 6308 6408 6457        4790 4791 4797 4806 4807 4813
    6474 6508 6532                        4814 4890 4891 4922 4969 4982
BACK 8561                                5004 5019 5054 5207 5232 5305
    8561 8674 8820 9089                    5413 5459 5506 5556 7930 7941
backcmd 8596 8814                        7945 7948 8168 8190 8204 8238
    8596 8609 8675 8814 8816 8942        8259 8266 8684 8687 8688 8689
    9055 9090                            8703 8715 8716 8718 8719 8720
BACKSPACE 8100                            8724
    8100 8117 8159 8192 8198            bwrite 4515
balloc 5016                            0266 4515 4518 4780 4813 4893
    5016 5036 5417 5425 5429            bzero 5002
BBLOCK 4110                            5002 5030
    4110 5023 5058                        B_DIRTY 3862
begin_op 4828                            3862 4294 4318 4323 4360 4378
    0336 2644 4828 5933 6024 6210        4486 4519 4939
    6311 6411 6456 6473 6507 6621    B_VALID 3861
bfree 5052                                3861 4322 4360 4378 4507
    5052 5464 5474 5477                C 7731 8174
bget 4466                                7731 7779 7804 7805 7806 7807
    4466 4496 4506                        7808 7810 8174 8184 8188 8195
binit 4438                                8206 8239

```

```

CAPSLOCK 7712                                0271 7898 8177 8375
    7712 7745 7886                        consoleread 8221
cgaputc 8105                                8221 8279
    8105 8163                            consolewrite 8259
clearpteu 2022                            8259 8278
    0439 2022 2028 6667                    consputc 8151
cli 0557                                    7917 7948 8018 8036 8039 8043
    0557 0559 1124 1660 8060 8154        8044 8151 8192 8198 8205 8266
    9112                                    context 2326
cmd 8565                                    0251 0377 2303 2326 2345 2509
    8565 8577 8586 8587 8592 8593        2510 2511 2512 2781 2822 3028
    8598 8602 8606 8615 8618 8623    CONV 7572
    8631 8637 8641 8651 8675 8677        7572 7573 7574 7575 7576 7577
    8752 8755 8757 8758 8759 8760        7578 7579
    8763 8764 8766 8768 8769 8770    copyout 2118
    8771 8772 8773 8774 8775 8776        0438 2118 6675 6686
    8779 8780 8782 8784 8785 8786    copyuvm 2035
    8787 8788 8789 8800 8801 8803        0435 2035 2046 2048 2592
    8805 8806 8807 8808 8809 8810    cprintf 8002
    8813 8814 8816 8818 8819 8820        0270 1254 1941 1947 3026 3030
    8821 8822 8912 8913 8914 8915        3032 3440 3453 3458 3710 5153
    8917 8921 8924 8930 8931 8934        6625 7659 8002 8063 8064 8065
    8937 8939 8942 8946 8948 8950        8068
    8953 8955 8958 8960 8963 8964    cpu 2301
    8975 8978 8981 8985 9000 9003        0311 0363 1254 1268 1506 1566
    9008 9012 9013 9016 9021 9022        1590 1608 1647 1717 2301 2312
    9028 9037 9038 9044 9045 9051        2436 2458 2761 3440 3453 3458
    9052 9061 9064 9066 9072 9073        7213
    9078 9084 9090 9091 9094        cpuid 2430
CMOS_PORT 7477                            0358 1254 1723 2430 3415 3441
    7477 7491 7492 7533                3454 3461
CMOS_RETURN 7478                        CR0_PE 0727
    7478 7536                            0727 1137 1170 9143
CMOS_STATA 7520                        CR0_PG 0737
    7520 7563                            0737 1054 1170
CMOS_STATB 7521                        CR0_WP 0733
    7521 7556                            0733 1054 1170
CMOS_UIP 7522                        CR4_PSE 0739
    7522 7563                            0739 1047 1163
COM1 8314                                create 6357
    8314 8324 8327 8328 8329 8330        6357 6377 6390 6394 6414 6457
    8331 8332 8335 8341 8342 8357        6477
    8359 8367 8369                        CRTPORT 8101
commit 4901                                8101 8110 8111 8112 8113 8131
    4753 4875 4901                        8132 8133 8134
CONSOLE 4186                                CTL 7709
    4186 8278 8279                        7709 7735 7739 7885
consoleinit 8274                        DAY 7527
    0269 1226 8274                        7527 7544
consoleintr 8177                        deallocvm 1961

```

0431 1942 1948 1961 2009 2568	8530 8626 8627
DEVSPACE 0204	execcmd 8569 8753
0204 1813 1826	8569 8610 8623 8753 8755 9021
devsw 4179	9027 9028 9056 9066
4179 4184 5509 5511 5559 5561	exit 2627
5862 8278 8279	0359 2627 2665 3405 3409 3469
dinode 4078	3479 3768 8417 8420 8461 8526
4078 4101 5208 5212 5233 5236	8531 8616 8625 8635 8680 8727
5306 5315	8734
dirent 4115	EXTMEM 0202
4115 5614 5655 6255 6304	0202 0208 1810
dirlink 5652	fdalloc 6103
0288 5652 5667 5675 6230 6389	6103 6125 6432 6562
6393 6394	fetchint 3567
dirlookup 5611	0407 3567 3604 6539
0289 5611 5617 5621 5659 5775	fetchstr 3581
6323 6367	0408 3581 3634 6545
DIRSIZ 4113	file 4150
4113 4117 5605 5672 5728 5729	0252 0278 0279 0280 0282 0283
5792 6204 6305 6361	0284 0351 2348 4150 4970 5860
DPL_USER 0779	5865 5875 5878 5881 5901 5902
0779 1726 1727 2533 2534 3373	5914 5916 5952 5965 6002 6065
3468 3478	6071 6074 6103 6120 6134 6153
E0ESC 7716	6166 6178 6405 6554 6758 6772
7716 7870 7874 7875 7877 7880	7911 8309 8578 8633 8634 8764
elfhdr 0955	8772 8972
0955 6615 9219 9224	filealloc 5876
ELF_MAGIC 0952	0278 5876 6432 6778
0952 6634 9230	fileclose 5914
ELF_PROG_LOAD 0986	0279 2639 5914 5920 6171 6434
0986 6645	6565 6566 6804 6806
end_op 4853	filedup 5902
0337 2646 4853 5935 6029 6212	0280 2607 5902 5906 6127
6219 6237 6246 6313 6347 6352	fileinit 5869
6416 6421 6427 6436 6440 6458	0281 1231 5869
6462 6478 6482 6509 6515 6520	fileread 5965
6624 6659 6710	0282 5965 5980 6140
entry 1044	filestat 5952
0961 1040 1043 1044 6699 7071	0283 5952 6183
9221 9245 9246	filewrite 6002
EOI 7366	0284 6002 6034 6039 6159
7366 7441 7467	FL_IF 0710
ERROR 7387	0710 1662 1669 2441 2537 2819
7387 7434	fork 2580
ESR 7369	0360 2580 3762 8460 8523 8525
7369 7437 7438	8742 8744
EXEC 8557	fork1 8738
8557 8622 8759 9065	8600 8642 8654 8661 8676 8723
exec 6610	8738
0275 6548 6610 6625 8468 8529	forkret 2853

2417 2512 2853	4238 4257 4287 4318
freerange 3151	IDE_BSY 4216
3111 3135 3141 3151	4216 4242
freevm 2003	IDE_CMD_RDMUL 4223
0432 1831 2003 2008 2060 2690	4223 4282
6702 6707	IDE_CMD_READ 4221
FSSIZE 0162	4221 4282
0162 4278	IDE_CMD_WRITE 4222
gatedesc 0901	4222 4283
0523 0526 0901 3361	IDE_CMD_WRMUL 4224
getcallerpcs 1627	4224 4283
0381 1591 1627 3028 8066	IDE_DF 4218
getcmd 8684	4218 4244
8684 8715	IDE_DRDY 4217
gettoken 8856	4217 4242
8856 8941 8945 8957 8970 8971	IDE_ERR 4219
9007 9011 9033	4219 4244
growproc 2558	idtinit 3379
0361 2558 3809	0415 1255 3379
havedisk1 4233	idup 5289
4233 4263 4362	0291 2608 5289 5762
holding 1645	iget 5254
0382 1577 1604 1645 2813	5159 5218 5254 5274 5629 5760
holdingsleep 4651	iinit 5143
0391 4358 4517 4528 4651 5333	0292 2864 5143
HOURS 7526	ilock 5303
7526 7543	0293 5303 5309 5325 5765 5955
ialloc 5204	5974 6025 6216 6229 6242 6317
0290 5204 5222 6376 6377	6325 6365 6369 6379 6424 6512
IBLOCK 4104	6628 8233 8253 8268
4104 5211 5235 5314	inb 0453
ICRHI 7380	0453 4242 4262 7346 7536 7864
7380 7444 7502 7514	7867 8111 8113 8335 8341 8342
ICRLO 7370	8357 8367 8369 9123 9131 9254
7370 7445 7446 7503 7505 7515	initlock 1562
ID 7363	0383 1562 2425 3133 3375 4255
7363 7404 7459	4442 4615 4762 5147 5871 6786
ideinit 4251	8276
0306 1232 4251	initlog 4756
ideintr 4304	0334 2865 4756 4759
0307 3424 4304	initproc 2414
idelock 4230	2414 2527 2633 2656 2658
4230 4255 4309 4312 4330 4365	initsleeplock 4613
4379 4383	0392 4456 4613 5149
iderw 4354	inituvum 1886
0308 4354 4359 4361 4363 4508	0433 1886 1891 2530
4520	inode 4162
idestart 4274	0253 0288 0289 0290 0291 0293
4234 4274 4277 4285 4328 4375	0294 0295 0296 0297 0299 0300
idewait 4238	0301 0302 0303 0434 1903 2349

4156 4162 4180 4181 4973 5139  
 5149 5159 5203 5230 5253 5256 itrunc 5456  
 5262 5288 5289 5303 5331 5358  
 5382 5410 5456 5488 5503 5553 iunlock 5331  
 5610 5611 5652 5656 5754 5757  
 5789 5800 6205 6252 6303 6356  
 6360 6406 6454 6469 6504 6616  
 8221 8259  
 INPUT\_BUF 8166  
 8166 8168 8190 8202 8204 8206  
 8238  
 insl 0462  
 0462 0464 4319 9273  
 install\_trans 4772  
 4772 4821 4906  
 INT\_DISABLED 7619  
 7619 7664  
 IOAPIC 7608  
 7608 7655  
 ioapic 7627  
 7308 7325 7326 7624 7627 7636  
 7637 7643 7644 7655  
 ioapicenable 7670  
 0311 4256 7670 8282 8343  
 ioapicid 7215  
 0312 7215 7326 7658 7659  
 ioapicinit 7651  
 0313 1225 7651 7659  
 ioapicread 7634  
 7634 7656 7657  
 ioapicwrite 7641  
 7641 7664 7665 7675 7676  
 IPB 4101  
 4101 4104 5212 5236 5315  
 iput 5358  
 0294 2645 5358 5385 5660 5783  
 5934 6235 6519  
 IRQ\_COM1 3233  
 3233 3434 8343  
 IRQ\_ERROR 3235  
 3235 7434  
 IRQ\_IDE 3234  
 3234 3423 3427 4256  
 IRQ\_KBD 3232  
 3232 3430 8282  
 IRQ\_SPURIOUS 3236  
 3236 3439 7414  
 IRQ\_TIMER 3231  
 3231 3414 3474 7421  
 isdirempty 6252

6252 6259 6329  
 4973 5367 5456  
 0295 5331 5334 5384 5772 5957  
 5977 6028 6225 6439 6518 8226  
 8263  
 iunlockput 5382  
 0296 5382 5767 5776 5779 6218  
 6231 6234 6245 6330 6341 6345  
 6351 6368 6372 6396 6426 6435  
 6461 6481 6514 6658 6709  
 iupdate 5230  
 0297 5230 5369 5482 5579 6224  
 6244 6339 6344 6383 6387  
 kalloc 3187  
 0316 1284 1744 1823 1892 1939  
 2051 2494 3187 6780  
 KBDATAP 7704  
 7704 7867  
 kbdgetc 7856  
 7856 7898  
 kbdintr 7896  
 0322 3431 7896  
 KBSTATP 7702  
 7702 7864  
 KBS\_DIB 7703  
 7703 7865  
 KERNBASE 0207  
 0207 0208 0210 0211 0213 0214  
 1310 1634 1810 1932 2009  
 KERNLINK 0208  
 0208 1811  
 KEY\_DEL 7728  
 7728 7769 7791 7815  
 KEY\_DN 7722  
 7722 7765 7787 7811  
 KEY\_END 7720  
 7720 7768 7790 7814  
 KEY\_HOME 7719  
 7719 7768 7790 7814  
 KEY\_INS 7727  
 7727 7769 7791 7815  
 KEY\_LF 7723  
 7723 7767 7789 7813  
 KEY\_PGDN 7726  
 7726 7766 7788 7812  
 KEY\_PGUP 7725  
 7725 7766 7788 7812  
 KEY\_RT 7724

7724 7767 7789 7813  
 KEY\_UP 7721  
 7721 7765 7787 7811  
 kfree 3164  
 0317 1949 1977 1979 2013 2016  
 2593 2688 3156 3164 3169 6802  
 6823  
 kill 2975  
 0362 2975 3459 3785 8467  
 kinit1 3131  
 0318 1219 3131  
 kinit2 3139  
 0319 1234 3139  
 KSTACKSIZE 0151  
 0151 1058 1067 1285 1874 2498  
 kvmalloc 1840  
 0427 1220 1840  
 lapiceoi 7464  
 0328 3421 3425 3432 3436 3442  
 7464  
 lapicid 7455  
 0326 2444 7455 8063  
 lapicinit 7408  
 0329 1222 1245 7408  
 lapicstartap 7483  
 0330 1289 7483  
 lapicw 7401  
 7401 7414 7420 7421 7422 7425  
 7426 7431 7434 7437 7438 7441  
 7444 7445 7451 7467 7502 7503  
 7505 7514 7515  
 lcr3 0590  
 0590 1855 1879  
 lgdt 0512  
 0512 0520 1135 1728 9141  
 lidt 0526  
 0526 0534 3381  
 LINT0 7385  
 7385 7425  
 LINT1 7386  
 7386 7426  
 LIST 8560  
 8560 8640 8807 9083  
 listcmd 8590 8801  
 8590 8611 8641 8801 8803 8946  
 9057 9084  
 loaduvm 1903  
 0434 1903 1909 1912 6655  
 log 4738 4750  
 4738 4750 4762 4764 4765 4766

4776 4777 4778 4790 4793 4794  
 4795 4806 4809 4810 4811 4822  
 4830 4832 4833 4834 4836 4838  
 4839 4857 4858 4859 4860 4861  
 4863 4868 4870 4876 4877 4878  
 4879 4889 4890 4891 4903 4907  
 4926 4928 4931 4932 4933 4936  
 4937 4938 4940  
 logheader 4733  
 4733 4745 4758 4759 4791 4807  
 LOGSIZE 0160  
 0160 4735 4834 4926  
 log\_write 4922  
 0335 4922 4929 5008 5028 5064  
 5216 5243 5430 5573  
 ltr 0538  
 0538 0540 1878  
 mappages 1760  
 1760 1829 1894 1946 2054  
 MAXARG 0158  
 0158 6528 6614 6672  
 MAXARGS 8563  
 8563 8571 8572 9040  
 MAXFILE 4075  
 4075 5566  
 MAXOPBLOCKS 0159  
 0159 0160 0161 4834 6017  
 memcmp 6915  
 0395 6915 7237 7288 7566  
 memmove 6931  
 0396 1275 1895 2053 2132 4779  
 4892 4985 5242 5321 5522 5572  
 5729 5731 6931 6954 8126  
 memset 6904  
 0397 1747 1825 1893 1945 2511  
 2532 3172 5007 5214 6334 6535  
 6904 8128 8687 8758 8769 8785  
 8806 8819  
 microdelay 7473  
 0331 7473 7504 7506 7516 7534  
 8358  
 min 4972  
 4972 5521 5571  
 MINS 7525  
 7525 7542  
 MONTH 7528  
 7528 7545  
 mp 7052  
 7052 7208 7229 7236 7237 7238  
 7255 7260 7264 7265 7268 7269

7280 7283 7285 7287 7294 7305	6623
7310 7342	nameiparent 5801
MPBUS 7102	0300 5755 5770 5782 5801 6227
7102 7329	6312 6363
mpconf 7063	namex 5755
7063 7279 7282 7287 7306	5755 5793 5803
mpconfig 7280	NBUF 0161
7280 7310	0161 4430 4453
mpenter 1241	NCPU 0152
1241 1286	0152 2312 7213 7318
mpinit 7301	ncpu 7214
0341 1221 7301	1277 2313 2447 4256 7214 7318
MPIOAPIC 7103	7319 7320
7103 7324	NDEV 0156
mpioapic 7089	0156 5509 5559 5862
7089 7308 7325 7327	NDIRECT 4073
MPIOINTR 7104	4073 4075 4084 4174 5415 5420
7104 7330	5424 5425 5462 5469 5470 5477
MPLINTR 7105	5478
7105 7331	NELEM 0442
mpmain 1252	0442 1828 3022 3707 6537
1209 1236 1246 1252	nextpid 2416
MPPROC 7101	2416 2489
7101 7316	NFILE 0154
mpproc 7078	0154 5865 5881
7078 7307 7317 7322	NINDIRECT 4074
mpsearch 7256	4074 4075 5422 5472
7256 7285	NINODE 0155
mpsearch1 7230	0155 5139 5148 5262
7230 7264 7268 7271	NO 7706
multiboot_header 1029	7706 7752 7755 7757 7758 7759
1028 1029	7760 7762 7774 7777 7779 7780
mycpu 2437	7781 7782 7784 7802 7803 7805
0363 1256 1278 1590 1647 1661	7806 7807 7808
1662 1663 1671 1673 1870 1871	NOFILE 0153
1872 1873 1874 1877 2431 2437	0153 2348 2605 2637 6078 6108
2442 2461 2761 2815 2821 2822	NPENTRIES 0821
2823	0821 1306 2010
myproc 2457	NPROC 0150
0364 2457 2561 2584 2629 2675	0150 2411 2480 2654 2681 2770
2811 2831 2876 3404 3406 3408	2957 2980 3019
3451 3460 3462 3468 3473 3478	NSEGS 0749
3569 3584 3604 3614 3704 3791	0749 2305
3808 3825 4629 5762 6078 6106	nulterminate 9052
6170 6505 6564 6619 6837 6857	8915 8930 9052 9073 9079 9080
8231	9085 9086 9091
namecmp 5603	NUMLOCK 7713
0298 5603 5624 6320	7713 7746
namei 5790	outb 0471
0299 2542 5790 6211 6420 6508	0471 4260 4269 4288 4289 4290

4291 4292 4293 4295 4298 7345	8964 9012 9031 9042
7346 7491 7492 7533 8110 8112	PCINT 7384
8131 8132 8133 8134 8324 8327	7384 7431
8328 8329 8330 8331 8332 8359	pde_t 0103
9128 9136 9264 9265 9266 9267	0103 0428 0429 0430 0431 0432
9268 9269	0433 0434 0435 0438 0439 1210
outsl 0483	1260 1306 1710 1735 1737 1760
0483 0485 4296	1817 1820 1823 1886 1903 1927
outw 0477	1961 2003 2022 2034 2035 2037
0477 1180 1182 9174 9176	2102 2118 2339 6618
O_CREATE 3953	PDX 0812
3953 6413 8978 8981	0812 1740 1973
O_RDONLY 3950	PDXSHIFT 0827
3950 6425 8975	0812 0818 0827 1310
O_RDWR 3952	peek 8901
3952 6446 8514 8516 8707	8901 8925 8940 8944 8956 8969
O_WRONLY 3951	9005 9009 9024 9032
3951 6445 6446 8978 8981	PGADDR 0818
P2V 0211	0818 1973
0211 1219 1234 1274 1742 1826	PGROUNDDOWN 0830
1918 1978 2012 2053 2111 7234	0830 1765 1766 2125
7262 7287 7493 8102	PGROUNDUP 0829
panic 8055 8731	0829 1937 1969 3154 6664
0272 1578 1605 1670 1672 1771	PGSIZE 0823
1827 1863 1865 1867 1891 1909	0823 0829 0830 1305 1747 1775
1912 1977 2008 2028 2046 2048	1776 1825 1890 1893 1894 1908
2442 2451 2529 2634 2665 2814	1910 1914 1917 1938 1945 1946
2816 2818 2820 2879 2882 3169	1970 1973 2044 2053 2054 2129
3455 4277 4279 4285 4359 4361	2135 2531 2538 3155 3168 3172
4363 4496 4518 4529 4759 4860	6653 6665 6667
4927 4929 5036 5062 5222 5274	PHYSTOP 0203
5309 5325 5334 5436 5617 5621	0203 1234 1812 1826 1827 3168
5667 5675 5906 5920 5980 6034	pinit 2423
6039 6259 6328 6336 6377 6390	0365 1228 2423
6394 7311 7340 8013 8055 8063	PIPE 8559
8123 8601 8620 8653 8731 8744	8559 8650 8786 9077
8928 8972 9006 9010 9036 9041	pipe 6762
panicked 7919	0254 0352 0353 0354 4155 5931
7919 8069 8153	5972 6009 6762 6774 6780 6786
parseblock 9001	6790 6794 6811 6830 6851 8463
9001 9006 9025	8652 8653
parsecmd 8918	pipealloc 6772
8602 8724 8918	0351 6559 6772
parseexec 9017	pipeclose 6811
8914 8955 9017	0352 5931 6811
parseline 8935	pipecmd 8584 8780
8912 8924 8935 8946 9008	8584 8612 8651 8780 8782 8958
parsepipe 8951	9058 9078
8913 8939 8951 8958	piperead 6851
parseredirs 8964	0353 5972 6851

```

PIPESIZE 6760                0582 3454 3461
    6760 6764 6836 6844 6866    readeflags 0544
pipewrite 6830                0544 1659 1669 2441 2819
    0354 6009 6830            readi 5503
popcli 1667                   0301 1918 5503 5620 5666 5975
    0386 1622 1667 1670 1672 1880    6258 6259 6632 6643
    2463                readsb 4980
printint 7927                 0287 4763 4980 5057 5152
    7927 8026 8030            readsect 9260
proc 2337                     9260 9295
    0255 0364 0369 0436 1205 1558    readseg 9279
    1706 1860 2309 2337 2343 2406    9214 9227 9238 9279
    2411 2414 2456 2459 2462 2472    read_head 4788
    2475 2480 2522 2561 2583 2584    4788 4820
    2629 2630 2654 2673 2675 2681    recover_from_log 4818
    2760 2762 2770 2777 2786 2811    4752 4767 4818
    2876 2955 2957 2977 2980 3015    REDIR 8558
    3019 3355 3459 3555 3569 3584    8558 8630 8770 9071
    3614 3704 3757 4207 4608 4965    redircmd 8575 8764
    6061 6106 6505 6604 6619 6754    8575 8613 8631 8764 8766 8975
    7211 7307 7317 7319 7914 8311    8978 8981 9059 9072
procdump 3004                REG_ID 7610
    0366 3004 8216            7610 7657
proghdr 0974                 REG_TABLE 7612
    0974 6617 9220 9234        7612 7664 7665 7675 7676
PTE_ADDR 0844                REG_VER 7611
    0844 1742 1913 1975 2012 2049    7611 7656
    2111                release 1602
PTE_FLAGS 0845               0384 1602 1605 2484 2491 2552
    0845 2050                2618 2696 2702 2788 2833 2857
PTE_P 0833                   2892 2905 2968 2986 2990 3180
    0833 1308 1310 1741 1751 1770    3197 3419 3826 3831 3844 4312
    1772 1974 2011 2047 2107        4330 4383 4476 4491 4545 4630
PTE_PS 0840                  4640 4657 4839 4870 4879 4940
    0840 1308 1310            5265 5281 5293 5364 5377 5884
pte_t 0848                   5888 5908 5922 5928 6822 6825
    0848 1734 1738 1742 1744 1763    6838 6847 6858 6869 8051 8214
    1906 1963 2024 2038 2104        8232 8252 8267
PTE_U 0835                   releasesleep 4634
    0835 1751 1894 1946 2029 2109    0390 4531 4634 5336 5373
PTE_W 0834                   ROOTDEV 0157
    0834 1308 1310 1751 1810 1812    0157 2864 2865 5760
    1813 1894 1946            ROOTINO 4054
PTX 0815                     4054 5760
    0815 1753                run 3115
PTXSHIFT 0826                3011 3115 3116 3122 3166 3176
    0815 0818 0826            3189 7311
pushcli 1655                 runcmd 8606
    0385 1576 1655 1869 2460        8606 8620 8637 8643 8645 8659
rcr2 0582                    8666 8677 8724

```

```

RUNNING 2334                 7708 7736 7737 7885
    2334 2779 2817 3011 3473        skipem 5715
safestrcpy 6982              5715 5764
    0398 2541 2610 6693 6982        sleep 2874
sb 4976                       0370 2707 2874 2879 2882 3009
    0287 4104 4110 4761 4763 4764    3829 4379 4615 4626 4833 4836
    4765 4976 4980 4985 5022 5023    6842 6861 8236 8479
    5024 5057 5058 5152 5153 5154    sleeplock 3901
    5155 5156 5210 5211 5235 5314    0258 0389 0390 0391 0392 3854
    7554 7556 7558                3901 4166 4211 4424 4610 4613
    sched 2808                    4622 4634 4651 4704 4967 5859
    0368 2664 2808 2814 2816 2818    6064 6757 7909 8307
    2820 2832 2898                spinlock 1501
scheduler 2758                0257 0370 0380 0382 0383 0384
    0367 1257 2303 2758 2781 2822    0418 1501 1559 1562 1574 1602
SCROLLLOCK 7714              1645 2407 2410 2874 3109 3120
    7714 7747                    3358 3363 3903 4210 4230 4423
SECS 7524                     4429 4609 4703 4739 4966 5138
    7524 7541                    5858 5864 6063 6756 6763 7908
SECTOR_SIZE 4215              7922 8306
    4215 4280                start 1123 8409 9111
SECTSIZE 9212                 1122 1123 1166 1174 1176 4740
    9212 9273 9286 9289 9294        4764 4777 4790 4806 4890 5154
SEG 0769                      8408 8409 9110 9111 9167
    0769 1724 1725 1726 1727        startothers 1264
SEG16 0773                    1208 1233 1264
    0773 1870                stat 4004
segdesc 0752                  0259 0283 0302 4004 4963 5488
    0509 0512 0752 0769 0773 2305    5952 6059 6179 8503
seginitt 1715                 stati 5488
    0426 1223 1244 1715            0302 5488 5956
SEG_ASM 0660                  STA_R 0669 0786
    0660 1189 1190 9184 9185        0669 0786 1189 1724 1726 9184
SEG_KCODE 0742                STA_W 0668 0785
    0742 1143 1724 3372 3373 9153    0668 0785 1190 1725 1727 9185
SEG_KDATA 0743                STA_X 0665 0782
    0743 1153 1725 1873 3313 9158    0665 0782 1189 1724 1726 9184
SEG_NULLASM 0654              sti 0563
    0654 1188 9183                0563 0565 1674 2766
SEG_TSS 0746                  stosb 0492
    0746 1870 1872 1878            0492 0494 6910 9240
SEG_UCODE 0744                stosl 0501
    0744 1726 2533                0501 0503 6908
SEG_UDATA 0745                strlen 7001
    0745 1727 2534                0399 6674 6675 7001 8718 8923
SETGATE 0921                  strncmp 6958
    0921 3372 3373                0400 5605 6958
setupkvm 1818                 strncpy 6968
    0428 1818 1842 2042 2528 6637    0401 5672 6968
SHIFT 7708                    STS_IG32 0800

```

0800 0927	SYS_fstat 3508
STS_T32A 0797	3508 3680
0797 1870	sys_fstat 6176
STS_TG32 0801	3656 3680 6176
0801 0927	SYS_getpid 3511
sum 7218	3511 3683
7218 7220 7222 7224 7225 7237	sys_getpid 3789
7292	3657 3683 3789
superblock 4063	SYS_kill 3506
0260 0287 4063 4761 4976 4980	3506 3678
SVR 7367	sys_kill 3779
7367 7414	3658 3678 3779
switchkvm 1853	SYS_link 3519
0437 1243 1843 1853 2782	3519 3691
switchvum 1860	sys_link 6202
0436 1860 1863 1865 1867 2572	3659 3691 6202
2778 6701	SYS_mkdir 3520
swtch 3058	3520 3692
0377 2781 2822 3057 3058	sys_mkdir 6451
SYSCALL 8453 8460 8461 8462 8463 84	3660 3692 6451
8460 8461 8462 8463 8464 8465	SYS_mknod 3517
8466 8467 8468 8469 8470 8471	3517 3689
8472 8473 8474 8475 8476 8477	sys_mknod 6467
8478 8479 8480	3661 3689 6467
syscall 3701	SYS_open 3515
0409 3407 3557 3701	3515 3687
SYS_chdir 3509	sys_open 6401
3509 3681	3662 3687 6401
sys_chdir 6501	SYS_pipe 3504
3650 3681 6501	3504 3676
SYS_close 3521	sys_pipe 6551
3521 3693	3663 3676 6551
sys_close 6163	SYS_read 3505
3651 3693 6163	3505 3677
SYS_dup 3510	sys_read 6132
3510 3682	3664 3677 6132
sys_dup 6118	SYS_sbrk 3512
3652 3682 6118	3512 3684
SYS_exec 3507	sys_sbrk 3801
3507 3679 8413	3665 3684 3801
sys_exec 6526	SYS_sleep 3513
3653 3679 6526	3513 3685
SYS_exit 3502	sys_sleep 3815
3502 3674 8418	3666 3685 3815
sys_exit 3766	SYS_unlink 3518
3654 3674 3766	3518 3690
SYS_fork 3501	sys_unlink 6301
3501 3673	3667 3690 6301
sys_fork 3760	SYS_uptime 3514
3655 3673 3760	3514 3686

sys_uptime 3838	8316 8337 8355 8365
3670 3686 3838	uartgetc 8363
SYS_wait 3503	8363 8375
3503 3675	uartinit 8319
sys_wait 3773	0421 1227 8319
3668 3675 3773	uartintr 8373
SYS_write 3516	0422 3435 8373
3516 3688	uartputc 8351
sys_write 6151	0423 8160 8162 8347 8351
3669 3688 6151	userinit 2520
taskstate 0851	0371 1235 2520 2529
0851 2304	uva2ka 2102
TDCR 7391	0429 2102 2126
7391 7420	V2P 0210
ticks 3364	0210 1287 1289 1751 1811 1812
0416 3364 3417 3418 3823 3824	1855 1879 1894 1946 2054 3168
3829 3843	V2P_WO 0213
tickslock 3363	0213 1040 1050
0418 3363 3375 3416 3419 3822	VER 7364
3826 3829 3831 3842 3844	7364 7430
TICR 7389	wait 2671
7389 7422	0372 2671 3775 8462 8533 8644
TIMER 7381	8670 8671 8725
7381 7421	waitdisk 9251
TPR 7365	9251 9263 9272
7365 7451	wakeup 2964
trap 3401	0373 2964 3418 4324 4639 4868
3254 3319 3401 3453 3455 3458	4878 6816 6819 6841 6846 6868
trapframe 0602	8208
0602 2344 2502 3401	wakeup1 2953
trapret 3324	2420 2651 2658 2953 2967
2418 2507 3323 3324	walkpgdir 1735
tvinit 3367	1735 1768 1911 1971 2026 2045
0417 1229 3367	2106
T_DEV 4002	writei 5553
4002 5508 5558 6477	0303 5553 5674 6026 6335 6336
T_DIR 4000	write_head 4804
4000 5616 5766 6217 6329 6337	4804 4823 4905 4908
6385 6425 6457 6513	write_log 4885
T_FILE 4001	4885 4904
4001 6370 6414	xchg 0569
T_IRQ0 3229	0569 1256 1581
3229 3414 3423 3427 3430 3434	YEAR 7529
3438 3439 3474 7414 7421 7434	7529 7546
7664 7675	yield 2828
T_SYSCALL 3226	0374 2828 3475
3226 3373 3403 8414 8419 8457	__attribute__ 1305
uart 8316	0272 0367 1209 1305

```
0100 typedef unsigned int  uint;
0101 typedef unsigned short ushort;
0102 typedef unsigned char  uchar;
0103 typedef uint pde_t;
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137
0138
0139
0140
0141
0142
0143
0144
0145
0146
0147
0148
0149
```

```
0150 #define NPROC          64 // プロセスの最大数
0151 #define KSTACKSIZE 4096 // プロセス当りのカーネルスタックサイズ
0152 #define NCPU            8 // CPUの最大数
0153 #define NOFILE          16 // プロセス当りのオープンファイル
0154 #define NFILE           100 // システム当りのオープンファイル
0155 #define NINODE           50 // アクティブinodeの最大数
0156 #define NDEV            10 // 最大メジャーデバイス番号
0157 #define ROOTDEV         1 // ルートディスクファイルシステムのデバイス番号
0158 #define MAXARG          32 // execの引数の最大数
0159 #define MAXOPBLOCKS     10 // 任意のFS操作関数を書き込む最大ブロック数
0160 #define LOGSIZE          (MAXOPBLOCKS*3) // オンディスクログの最大データブロック
0161 #define NBUF             (MAXOPBLOCKS*3) // ディスクブロックキャッシュのサイズ
0162 #define FSSIZE           1000 // ファイルシステムのサイズ (大尉はブロック)
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199
```



```

0200 // メモリレイアウト
0201
0202 #define EXTMEM 0x100000 // 拡張メモリの開始アドレス
0203 #define PHYSTOP 0xE000000 // 物理メモリの最大アドレス
0204 #define DEVSPACE 0xFE000000 // その他のデバイスは高位アドレスにある
0205
0206 // アドレス空間レイアウトの鍵となるアドレス (レイアウトはvm.cのkmapを参照)
0207 #define KERNBASE 0x80000000 // カーネル仮想アドレスの開始アドレス
0208 #define KERNLINK (KERNBASE+EXTMEM) // カーネルがリンクされるアドレス
0209
0210 #define V2P(a) (((uint) (a)) - KERNBASE)
0211 #define P2V(a) (((void *) (a)) + KERNBASE)
0212
0213 #define V2P_W0(x) ((x) - KERNBASE) // V2Pと同じだが、キャストはしない
0214 #define P2V_W0(x) ((x) + KERNBASE) // P2Vと同じだが、キャストはしない
0215
0216
0217
0218
0219
0220
0221
0222
0223
0224
0225
0226
0227
0228
0229
0230
0231
0232
0233
0234
0235
0236
0237
0238
0239
0240
0241
0242
0243
0244
0245
0246
0247
0248
0249

```

```

0250 struct buf;
0251 struct context;
0252 struct file;
0253 struct inode;
0254 struct pipe;
0255 struct proc;
0256 struct rtcdate;
0257 struct spinlock;
0258 struct sleeplock;
0259 struct stat;
0260 struct superblock;
0261
0262 // bio.c
0263 void binit(void);
0264 struct buf* bread(uint, uint);
0265 void brelse(struct buf*);
0266 void bwrite(struct buf*);
0267
0268 // console.c
0269 void consoleinit(void);
0270 void cprintf(char*, ...);
0271 void consoleintr(int*)(void);
0272 void panic(char*) __attribute__((noreturn));
0273
0274 // exec.c
0275 int exec(char*, char**);
0276
0277 // file.c
0278 struct file* filealloc(void);
0279 void fileclose(struct file*);
0280 struct file* filedup(struct file*);
0281 void fileinit(void);
0282 int fileread(struct file*, char*, int n);
0283 int filestat(struct file*, struct stat*);
0284 int filewrite(struct file*, char*, int n);
0285
0286 // fs.c
0287 void readsb(int dev, struct superblock *sb);
0288 int dirlink(struct inode*, char*, uint);
0289 struct inode* dirlookup(struct inode*, char*, uint*);
0290 struct inode* ialloc(uint, short);
0291 struct inode* idup(struct inode*);
0292 void iinit(int dev);
0293 void ilock(struct inode*);
0294 void iput(struct inode*);
0295 void iunlock(struct inode*);
0296 void iunlockput(struct inode*);
0297 void iupdate(struct inode*);
0298 int namecmp(const char*, const char*);
0299 struct inode* namei(char*);

```

```

0300 struct inode* nameiparent(char*, char*);
0301 int readi(struct inode*, char*, uint, uint);
0302 void stati(struct inode*, struct stat*);
0303 int writei(struct inode*, char*, uint, uint);
0304
0305 // ide.c
0306 void ideinit(void);
0307 void ideintr(void);
0308 void iderw(struct buf*);
0309
0310 // ioapic.c
0311 void ioapicenable(int irq, int cpu);
0312 extern uchar ioapicid;
0313 void ioapicinit(void);
0314
0315 // kalloc.c
0316 char* kalloc(void);
0317 void kfree(char*);
0318 void kinit1(void*, void*);
0319 void kinit2(void*, void*);
0320
0321 // kbd.c
0322 void kbdintr(void);
0323
0324 // lapic.c
0325 void cmostime(struct rtcdate *r);
0326 int lapicid(void);
0327 extern volatile uint* lapic;
0328 void lapiceoi(void);
0329 void lapicinit(void);
0330 void lapicstartap(uchar, uint);
0331 void microdelay(int);
0332
0333 // log.c
0334 void initlog(int dev);
0335 void log_write(struct buf*);
0336 void begin_op();
0337 void end_op();
0338
0339 // mp.c
0340 extern int ismp;
0341 void mpinit(void);
0342
0343 // picirq.c
0344 void picenable(int);
0345 void picinit(void);
0346
0347
0348
0349

```

```

0350 // pipe.c
0351 int pipealloc(struct file**, struct file**);
0352 void pipeclose(struct pipe*, int);
0353 int piperead(struct pipe*, char*, int);
0354 int pipewrite(struct pipe*, char*, int);
0355
0356
0357 // proc.c
0358 int cpuid(void);
0359 void exit(void);
0360 int fork(void);
0361 int growproc(int);
0362 int kill(int);
0363 struct cpu* mycpu(void);
0364 struct proc* myproc();
0365 void pinit(void);
0366 void procdump(void);
0367 void scheduler(void) __attribute__((noreturn));
0368 void sched(void);
0369 void setproc(struct proc*);
0370 void sleep(void*, struct spinlock*);
0371 void userinit(void);
0372 int wait(void);
0373 void wakeup(void*);
0374 void yield(void);
0375
0376 // swtch.S
0377 void swtch(struct context**, struct context*);
0378
0379 // spinlock.c
0380 void acquire(struct spinlock*);
0381 void getcallerpcs(void*, uint*);
0382 int holding(struct spinlock*);
0383 void initlock(struct spinlock*, char*);
0384 void release(struct spinlock*);
0385 void pushcli(void);
0386 void popcli(void);
0387
0388 // sleeplock.c
0389 void acquiresleep(struct sleeplock*);
0390 void releasesleep(struct sleeplock*);
0391 int holdingsleep(struct sleeplock*);
0392 void initsleeplock(struct sleeplock*, char*);
0393
0394 // string.c
0395 int memcmp(const void*, const void*, uint);
0396 void* memmove(void*, const void*, uint);
0397 void* memset(void*, int, uint);
0398 char* safestrcpy(char*, const char*, int);
0399 int strlen(const char*);

```

```

0400 int      strcmp(const char*, const char*, uint);
0401 char*    strncpy(char*, const char*, int);
0402
0403 // syscall.c
0404 int      argint(int, int*);
0405 int      argptr(int, char**, int);
0406 int      argstr(int, char**);
0407 int      fetchint(uint, int*);
0408 int      fetchstr(uint, char**);
0409 void     syscall(void);
0410
0411 // timer.c
0412 void     timerinit(void);
0413
0414 // trap.c
0415 void     idtinit(void);
0416 extern uint ticks;
0417 void     tvinit(void);
0418 extern struct spinlock tickslock;
0419
0420 // uart.c
0421 void     uartinit(void);
0422 void     uartintr(void);
0423 void     uartputc(int);
0424
0425 // vm.c
0426 void     seginit(void);
0427 void     kvmalloc(void);
0428 pde_t*   setupkvm(void);
0429 char*    uva2ka(pde_t*, char*);
0430 int      allocuvmm(pde_t*, uint, uint);
0431 int      deallocuvmm(pde_t*, uint, uint);
0432 void     freevm(pde_t*);
0433 void     inituvm(pde_t*, char*, uint);
0434 int      loaduvm(pde_t*, char*, struct inode*, uint, uint);
0435 pde_t*   copyuvm(pde_t*, uint);
0436 void     switchuvm(struct proc*);
0437 void     switchkvm(void);
0438 int      copyout(pde_t*, uint, void*, uint);
0439 void     clearpteu(pde_t *pgdir, char *uva);
0440
0441 // 固定サイズの配列の要素数
0442 #define NELEM(x) (sizeof(x)/sizeof((x)[0]))
0443
0444
0445
0446
0447
0448
0449

```

```

0450 // Cコードがx86特殊命令を使用できるようにするためのルーチン。
0451
0452 static inline uchar
0453 inb(ushort port)
0454 {
0455     uchar data;
0456
0457     asm volatile("in %1,%0" : "=a" (data) : "d" (port));
0458     return data;
0459 }
0460
0461 static inline void
0462 insl(int port, void *addr, int cnt)
0463 {
0464     asm volatile("cld; rep insl" :
0465                  "=D" (addr), "=c" (cnt) :
0466                  "d" (port), "0" (addr), "1" (cnt) :
0467                  "memory", "cc");
0468 }
0469
0470 static inline void
0471 outb(ushort port, uchar data)
0472 {
0473     asm volatile("out %0,%1" : : "a" (data), "d" (port));
0474 }
0475
0476 static inline void
0477 outw(ushort port, ushort data)
0478 {
0479     asm volatile("out %0,%1" : : "a" (data), "d" (port));
0480 }
0481
0482 static inline void
0483 outsl(int port, const void *addr, int cnt)
0484 {
0485     asm volatile("cld; rep outsl" :
0486                  "=S" (addr), "=c" (cnt) :
0487                  "d" (port), "0" (addr), "1" (cnt) :
0488                  "cc");
0489 }
0490
0491 static inline void
0492 stosb(void *addr, int data, int cnt)
0493 {
0494     asm volatile("cld; rep stosb" :
0495                  "=D" (addr), "=c" (cnt) :
0496                  "0" (addr), "1" (cnt), "a" (data) :
0497                  "memory", "cc");
0498 }
0499

```

```

0500 static inline void
0501 stosl(void *addr, int data, int cnt)
0502 {
0503     asm volatile("cld; rep stosl" :
0504                 "=D" (addr), "=c" (cnt) :
0505                 "0" (addr), "1" (cnt), "a" (data) :
0506                 "memory", "cc");
0507 }
0508
0509 struct segdesc;
0510
0511 static inline void
0512 lgdt(struct segdesc *p, int size)
0513 {
0514     volatile ushort pd[3];
0515
0516     pd[0] = size-1;
0517     pd[1] = (uint)p;
0518     pd[2] = (uint)p >> 16;
0519
0520     asm volatile("lgdt (%0)" : : "r" (pd));
0521 }
0522
0523 struct gatedesc;
0524
0525 static inline void
0526 lidt(struct gatedesc *p, int size)
0527 {
0528     volatile ushort pd[3];
0529
0530     pd[0] = size-1;
0531     pd[1] = (uint)p;
0532     pd[2] = (uint)p >> 16;
0533
0534     asm volatile("lidt (%0)" : : "r" (pd));
0535 }
0536
0537 static inline void
0538 ltr(ushort sel)
0539 {
0540     asm volatile("ltr %0" : : "r" (sel));
0541 }
0542
0543 static inline uint
0544 readeflags(void)
0545 {
0546     uint eflags;
0547     asm volatile("pushfl; popl %0" : "=r" (eflags));
0548     return eflags;
0549 }

```

```

0550 static inline void
0551 loadgs(ushort v)
0552 {
0553     asm volatile("movw %0, %%gs" : : "r" (v));
0554 }
0555
0556 static inline void
0557 cli(void)
0558 {
0559     asm volatile("cli");
0560 }
0561
0562 static inline void
0563 sti(void)
0564 {
0565     asm volatile("sti");
0566 }
0567
0568 static inline uint
0569 xchg(volatile uint *addr, uint newval)
0570 {
0571     uint result;
0572
0573     // "+m"の+はread-modify-writeオペランドを示す
0574     asm volatile("lock; xchgl %0, %1" :
0575                 "+m" (*addr), "=a" (result) :
0576                 "1" (newval) :
0577                 "cc");
0578     return result;
0579 }
0580
0581 static inline uint
0582 rcr2(void)
0583 {
0584     uint val;
0585     asm volatile("movl %%cr2,%0" : "=r" (val));
0586     return val;
0587 }
0588
0589 static inline void
0590 lcr3(uint val)
0591 {
0592     asm volatile("movl %0,%%cr3" : : "r" (val));
0593 }
0594
0595
0596
0597
0598
0599

```

```

0600 // ハードウェアとtrapasm.Sによりスタック上に構築され、
0601 // trap()に渡されるトラップフレームのレイアウト
0602 struct trapframe {
0603     // pushalによりプッシュされるレジスタ
0604     uint edi;
0605     uint esi;
0606     uint ebp;
0607     uint oesp;    // 役立たずで無視される
0608     uint ebx;
0609     uint edx;
0610     uint ecx;
0611     uint eax;
0612
0613     // トラップフレームのその他の部分
0614     ushort gs;
0615     ushort padding1;
0616     ushort fs;
0617     ushort padding2;
0618     ushort es;
0619     ushort padding3;
0620     ushort ds;
0621     ushort padding4;
0622     uint trapno;
0623
0624     // これより下はx86ハードウェアにより定義されている
0625     uint err;
0626     uint eip;
0627     ushort cs;
0628     ushort padding5;
0629     uint eflags;
0630
0631     // これより下はユーザからカーネルへ、など空間をまたぐ時のみ
0632     uint esp;
0633     ushort ss;
0634     ushort padding6;
0635 };
0636
0637
0638
0639
0640
0641
0642
0643
0644
0645
0646
0647
0648
0649

```

```

0650 //
0651 // x86セグメントを作成するためのアセンブラマクロ
0652 // (訳注: セグメントディスクリプタ(32 bit)を作成する)
0653
0654 #define SEG_NULLASM                                     \
0655     .word 0, 0;                                         \
0656     .byte 0, 0, 0, 0
0657
0658 // 0xC0はlimitが4096バイト単位であり、(実行可能セグメントは)
0659 // 32ビットモードであることを意味する(G & D bitをオン)
0660 #define SEG_ASM(type, base, lim)                       \
0661     .word (((lim) >> 12) & 0xffff), ((base) & 0xffff); \
0662     .byte (((base) >> 16) & 0xff), (0x90 | (type)),    \
0663         (0xC0 | (((lim) >> 28) & 0xf)), (((base) >> 24) & 0xff)
0664
0665 #define STA_X      0x8    // 実行可能セグメント
0666 #define STA_E      0x4    // 拡大縮小(非実行可能セグメント)
0667 #define STA_C      0x4    // コンフォーミングコードセグメント(実行可能のみ)
0668 #define STA_W      0x2    // 書き込み可能(非実行可能セグメント)
0669 #define STA_R      0x2    // 読み取り可能(実行可能セグメント)
0670 #define STA_A      0x1    // アクセス
0671
0672
0673
0674
0675
0676
0677
0678
0679
0680
0681
0682
0683
0684
0685
0686
0687
0688
0689
0690
0691
0692
0693
0694
0695
0696
0697
0698
0699

```

```

0700 // このファイルはx86メモリ管理ユニット(MMU)
0701 // のための定義を含んでいる。
0702
0703 // Eflagsレジスタ
0704 #define FL_CF      0x00000001    // 1: キャリーフラグ
0705 #define FL_PF      0x00000004    // 2: パリティフラグ
0706 #define FL_AF      0x00000010    // 4: 補助キャリーフラグ
0707 #define FL_ZF      0x00000040    // 6: ゼロフラグ
0708 #define FL_SF      0x00000080    // 7: サインフラグ
0709 #define FL_TF      0x00000100    // 8: トラップフラグ
0710 #define FL_IF      0x00000200    // 9: 割り込みを有効化
0711 #define FL_DF      0x00000400    // 10: ディレクションフラグ
0712 #define FL_OF      0x00000800    // 11: オーバーフローフラグ
0713 #define FL_IOPL_MASK 0x00003000 // 12-13: I/O特権レベルビットマスク
0714 #define FL_IOPL_0   0x00000000    // IOPL == 0
0715 #define FL_IOPL_1   0x00001000    // IOPL == 1
0716 #define FL_IOPL_2   0x00002000    // IOPL == 2
0717 #define FL_IOPL_3   0x00003000    // IOPL == 3
0718 #define FL_NT      0x00004000    // 14: ネストタスク
0719 #define FL_RF      0x00010000    // 16: レジュームフラグ
0720 #define FL_VM      0x00020000    // 17: 仮想8086モード
0721 #define FL_AC      0x00040000    // 18: アライメントチェック
0722 #define FL_VIF      0x00080000    // 19: 仮想割り込みフラグ
0723 #define FL_VIP      0x00100000    // 20: 仮想割り込みペンディング
0724 #define FL_ID      0x00200000    // 21: IDフラグ
0725
0726 // コントロールレジスタフラグ
0727 #define CR0_PE      0x00000001    // 0: プロテクトモードを有効化
0728 #define CR0_MP      0x00000002    // 1: モニタコプロセッサ
0729 #define CR0_EM      0x00000004    // 2: エミュレーション
0730 #define CR0_TS      0x00000008    // 3: タスクスイッチ
0731 #define CR0_ET      0x00000010    // 4: 拡張タイプ
0732 #define CR0_NE      0x00000020    // 5: 数値演算エラー
0733 #define CR0_WP      0x00010000    // 16: 書き込み保護
0734 #define CR0_AM      0x00040000    // 18: アライメントマスク
0735 #define CR0_NW      0x20000000    // 29: ノットライトスルー
0736 #define CR0_CD      0x40000000    // 30: キャッシュ無効化
0737 #define CR0_PG      0x80000000    // 31: ページング
0738
0739 #define CR4_PSE      0x00000010    // 4: ページサイズ拡張
0740
0741 // セグメントセレクタの定義
0742 #define SEG_KCODE 1 // カーネルコード
0743 #define SEG_KDATA 2 // カーネルデータとスタック
0744 #define SEG_UCODE 3 // ユーザコード
0745 #define SEG_UDATA 4 // ユーザデータとスタック
0746 #define SEG_TSS 5 // このプロセスのタスクステート
0747
0748 // cpu->gdt[NSEGS] は上記のセグメントを保持する
0749 #define NSEGS 6

```

```

0750 #ifndef __ASSEMBLER__
0751 // セグメントディスクリプタ
0752 struct segdesc {
0753     uint lim_15_0 : 16; // セグメントリミット値の低位ビット
0754     uint base_15_0 : 16; // セグメントベースアドレスの低位ビット
0755     uint base_23_16 : 8; // セグメントベースアドレスの高位ビット
0756     uint type : 4; // セグメントタイプ (STS_定数を参照)
0757     uint s : 1; // 0 = システム, 1 = アプリケーション
0758     uint dpl : 2; // ディスクリプタの特権レベル
0759     uint p : 1; // 存在する
0760     uint lim_19_16 : 4; // セグメントリミット値の高位ビット
0761     uint avl : 1; // 未使用 (ソフトウェアで利用可能)
0762     uint rsv1 : 1; // 予約済
0763     uint db : 1; // 0 = 16 ビットセグメント, 1 = 32 ビットセグメント
0764     uint g : 1; // 単位: セットされるとリミット値が4K倍される
0765     uint base_31_24 : 8; // セグメントベースアドレスの高位ビット
0766 };
0767
0768 // 普通のセグメント
0769 #define SEG(type, base, lim, dpl) (struct segdesc) { \
0770     ((lim) >> 12) & 0xffff, (uint)(base) & 0xffff, \
0771     ((uint)(base) >> 16) & 0xff, type, 1, dpl, 1, \
0772     (uint)(lim) >> 28, 0, 0, 1, 1, (uint)(base) >> 24 }
0773 #define SEG16(type, base, lim, dpl) (struct segdesc) { \
0774     (lim) & 0xffff, (uint)(base) & 0xffff, \
0775     ((uint)(base) >> 16) & 0xff, type, 1, dpl, 1, \
0776     (uint)(lim) >> 16, 0, 0, 1, 0, (uint)(base) >> 24 }
0777 #endif
0778
0779 #define DPL_USER 0x3 // ユーザDPL
0780
0781 // アプリケーションセグメントのタイプビット
0782 #define STA_X 0x8 // 実行可能セグメント
0783 #define STA_E 0x4 // 拡大縮小 (非実行可能セグメント)
0784 #define STA_C 0x4 // コンフォーミングコードセグメント (実行可能のみ)
0785 #define STA_W 0x2 // 書き込み可能 (非実行可能セグメント)
0786 #define STA_R 0x2 // 読み取り可能 (実行可能セグメント)
0787 #define STA_A 0x1 // アクセス
0788
0789 // システムセグメントのタイプビット
0790 #define STS_T16A 0x1 // 16ビットTSSを利用可能
0791 #define STS_LDT 0x2 // ローカルディスクリプタテーブル
0792 #define STS_T16B 0x3 // ビジーな16ビットTSS
0793 #define STS_CG16 0x4 // 16ビットコールゲート
0794 #define STS_TG 0x5 // タスクゲート / Coum Transmissions
0795 #define STS_IG16 0x6 // 16ビット割り込みゲート
0796 #define STS_TG16 0x7 // 16ビットトラップゲート
0797 #define STS_T32A 0x9 // 32ビットTSSを利用可能
0798 #define STS_T32B 0xB // ビジーな32ビットTSS
0799 #define STS_CG32 0xC // 32ビットコールゲート

```

```

0800 #define STS_IG32    0xE    // 32ビット割り込みゲート
0801 #define STS_TG32    0xF    // 32ビットトラップゲート
0802
0803 // 仮想アドレス 'la' は次の3つの部分からなる構造をもつ:
0804 //
0805 // +-----10-----+-----10-----+-----12-----+
0806 // | ページディレクトリ | ページテーブル | ページ内オフセット |
0807 // |   インデックス   |   インデックス   |           |
0808 // +-----+-----+-----+
0809 // \---- PDX(va)  -----\--- PTX(va)  -----/
0810
0811 // ページディレクトリインデックス
0812 #define PDX(va)      (((uint)(va) >> PDXSHIFT) & 0x3FF)
0813
0814 // ページテーブルインデックス
0815 #define PTX(va)      (((uint)(va) >> PTXSHIFT) & 0x3FF)
0816
0817 // インデックスとオフセットから仮想アドレスを構築
0818 #define PGADDR(d, t, o) ((uint)((d << PDXSHIFT | (t) << PTXSHIFT | (o)))
0819
0820 // ページディレクトリとページテーブルの定数
0821 #define NPENTRIES     1024    // PGDIRあたりのディレクトリエントリの数
0822 #define NPENTRIES     1024    // ページテーブルあたりのPTEの数
0823 #define PGSIZE        4096    // 1ページによりマップされるバイト数
0824
0825 #define PGSHIFT        12     // log2(PGSIZE)
0826 #define PTXSHIFT      12     // 線形アドレスにおけるPTXのオフセット
0827 #define PDXSHIFT      22     // 線形アドレスにおけるPDXのオフセット
0828
0829 #define PGROUNDUP(sz)  (((sz)+PGSIZE-1) & ~(PGSIZE-1))
0830 #define PGRNDOWN(a)   (((a)) & ~(PGSIZE-1))
0831
0832 // ページテーブル/ディレクトリエントリのフラグ (p.308)
0833 #define PTE_P          0x001  // 0: メモリ上に存在
0834 #define PTE_W          0x002  // 1: 書き込み可能
0835 #define PTE_U          0x004  // 2: ユーザ
0836 #define PTE_PWT        0x008  // 3: ライトスルー
0837 #define PTE_PCD        0x010  // 4: キャッシュ禁止
0838 #define PTE_A          0x020  // 5: アクセス
0839 #define PTE_D          0x040  // 6: ダーティ
0840 #define PTE_PS         0x080  // 7: ページサイズ
0841 #define PTE_MBZ        0x180  // 7-8: ビットは0固定
0842
0843 // ページテーブル/ディレクトリエントリ内のアドレス
0844 #define PTE_ADDR(pte)  ((uint)(pte) & ~0xFFF)
0845 #define PTE_FLAGS(pte) ((uint)(pte) & 0xFFF)
0846
0847 #ifndef __ASSEMBLER__
0848 typedef uint pte_t;
0849

```

```

0850 // タスクステートセグメント形式
0851 struct taskstate {
0852     uint link;           // 旧タスクステートセクタ
0853     uint esp0;           // 特権レベルが上がった後の
0854     ushort ss0;         // スタックポインタとセグメントセクタ
0855     ushort padding1;
0856     uint *esp1;
0857     ushort ss1;
0858     ushort padding2;
0859     uint *esp2;
0860     ushort ss2;
0861     ushort padding3;
0862     void *cr3;           // ページディレクトリのベース
0863     uint *eip;           // 直前のタスクスイッチで保存されたステート
0864     uint eflags;
0865     uint eax;            // さらに保存されたステート (レジスタ)
0866     uint ecx;
0867     uint edx;
0868     uint ebx;
0869     uint *esp;
0870     uint *ebp;
0871     uint esi;
0872     uint edi;
0873     ushort es;           // さらにさらに保存されたステート (セグメントセクタ)
0874     ushort padding4;
0875     ushort cs;
0876     ushort padding5;
0877     ushort ss;
0878     ushort padding6;
0879     ushort ds;
0880     ushort padding7;
0881     ushort fs;
0882     ushort padding8;
0883     ushort gs;
0884     ushort padding9;
0885     ushort ldt;
0886     ushort padding10;
0887     ushort t;           // タスクスイッチを起こしたトラップ
0888     ushort iomb;        // I/Oマップのベースアドレス
0889 };
0890
0891
0892
0893
0894
0895
0896
0897
0898
0899

```

```

0900 // 割り込みとトラップ用のゲートディスクリプタ
0901 struct gatedesc {
0902     uint off_15_0 : 16;    // セグメントオフセットの低位16ビット
0903     uint cs : 16;           // コードセグメントセレクタ
0904     uint args : 5;         // 引数の数、割り込み/トラップゲートでは0
0905     uint rsv1 : 3;         // 予約済 (0にするべきだと思う)
0906     uint type : 4;         // タイプ(STS_{TG,IG32,TG32})
0907     uint s : 1;           // 0固定 (システム)
0908     uint dpl : 2;         // ディスクリプタ (の新しい) 特権レベル
0909     uint p : 1;           // 存在する
0910     uint off_31_16 : 16;   // セグメントオフセットの高位16ビット
0911 };
0912
0913 // 通常の(割り込み/トラップ)ゲートディスクリプタを設定する。
0914 // - istrap: 1 はトラップ (=例外) ゲート、0 は割り込みゲート。
0915 //   割り込みゲートはFL_FLをクリアするが、トラップゲートはFL_IFをいじらない
0916 // - sel: 割り込み/トラップハンドラ用のコードセグメントセレクタ
0917 // - off: 割り込み/トラップハンドラ用のコードセグメント内のオフセット
0918 // - dpl: ディスクリプタ特権レベル -
0919 //   ソフトウェアがint命令を使ってこの割り込み/トラップゲートを
0920 //   明示的に実行するために必要な特権レベル
0921 #define SETGATE(gate, istrap, sel, off, d) \
0922 { \
0923     (gate).off_15_0 = (uint)(off) & 0xffff; \
0924     (gate).cs = (sel); \
0925     (gate).args = 0; \
0926     (gate).rsv1 = 0; \
0927     (gate).type = (istrap) ? STS_TG32 : STS_IG32; \
0928     (gate).s = 0; \
0929     (gate).dpl = (d); \
0930     (gate).p = 1; \
0931     (gate).off_31_16 = (uint)(off) >> 16; \
0932 }
0933
0934 #endif
0935
0936
0937
0938
0939
0940
0941
0942
0943
0944
0945
0946
0947
0948
0949

```

```

0950 // ELF実行ファイルのフォーマット
0951
0952 #define ELF_MAGIC 0x464C457FU // リトルエンディアンで"\x7FELF"
0953
0954 // ファイルヘッダ
0955 struct elfhdr {
0956     uint magic; // ELF_MAGICに等しくなければならない
0957     uchar elf[12];
0958     ushort type;
0959     ushort machine;
0960     uint version;
0961     uint entry;
0962     uint phoff;
0963     uint shoff;
0964     uint flags;
0965     ushort ehsize;
0966     ushort phentsize;
0967     ushort phnum;
0968     ushort shentsize;
0969     ushort shnum;
0970     ushort shstrndx;
0971 };
0972
0973 // プログラムセクションヘッダ
0974 struct proghdr {
0975     uint type;
0976     uint off;
0977     uint vaddr;
0978     uint paddr;
0979     uint filesz;
0980     uint memsz;
0981     uint flags;
0982     uint align;
0983 };
0984
0985 // プログラムヘッダのtype値
0986 #define ELF_PROG_LOAD 1
0987
0988 // プログラムヘッダのflags値のフラグビット
0989 #define ELF_PROG_FLAG_EXEC 1
0990 #define ELF_PROG_FLAG_WRITE 2
0991 #define ELF_PROG_FLAG_READ 4
0992
0993
0994
0995
0996
0997
0998
0999

```



```

1000 # xv6のカーネルはこのファイルから実行を開始する。このファイルはカーネルの
1001 # Cコードにリンクされているので、main()などのカーネルシンボルを参照できる。
1002 # ブートブロック(bootasm.Sとbootmain.c)は以下のentryにジャンプする。
1003
1004 # マルチブートヘッダ。GUN Grubなどのマルチブート・ブートローダ用。
1005 # http://www.gnu.org/software/grub/manual/multiboot/multiboot.html
1006 #
1007 # GRUB 2を使って、Linuxファイルシステムに格納したファイルからxv6を
1008 # ブートできる。kernelまたはkernelmemfsを/bootにコピーし、
1009 # 以下をメニューエントリに追加する。
1010 #
1011 # menuentry "xv6" {
1012 #   insmod ext2
1013 #   set root='(hd0,msdos1)'
1014 #   set kernel='/boot/kernel'
1015 #   echo "Loading ${kernel}..."
1016 #   multiboot ${kernel} ${kernel}
1017 #   boot
1018 # }
1019
1020 #include "asm.h"
1021 #include "memlayout.h"
1022 #include "mmu.h"
1023 #include "param.h"
1024
1025 # マルチブートヘッダ。マルチブートローダへ向けるためのデータ。
1026 .p2align 2
1027 .text
1028 .globl multiboot_header
1029 multiboot_header:
1030 #define magic 0x1badb002
1031 #define flags 0
1032 .long magic
1033 .long flags
1034 .long (-magic-flags)
1035
1036 # 規約により、_startシンボルはELFエントリポイントを指定する。
1037 # まだ仮想メモリを設定していないので、エントリポイントは
1038 # 'entry'の物理アドレスである。
1039 .globl _start
1040 _start = V2P_W0(entry)
1041
1042 # ページはオフで、ブートプロセッサ上のxv6に入る
1043 .globl entry
1044 entry:
1045 # ページ単位が4MBになるようにページサイズ拡張をセットする
1046 movl    %cr4, %eax
1047 orl     $(CR4_PSE), %eax
1048 movl    %eax, %cr4
1049 # ページディレクトリをセットする

```

```

1050 movl    $(V2P_W0(entrypgdir)), %eax
1051 movl    %eax, %cr3
1052 # ページングを有効にする
1053 movl    %cr0, %eax
1054 orl     $(CR0_PG|CR0_WP), %eax
1055 movl    %eax, %cr0
1056
1057 # スタックポインタを設定する
1058 movl    $(stack + KSTACKSIZE), %esp
1059
1060 # main()にジャンプして、高位アドレスの実行コードにスイッチする。
1061 # ここでは間接呼び出しが必要である。
1062 # なぜなら、直接ジャンプをすると
1063 # アセンブラはPC相対の命令を生成するからである。
1064 mov     $main, %eax
1065 jmp     *%eax
1066
1067 .comm    stack, KSTACKSIZE
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099

```

```

1100 #include "asm.h"
1101 #include "memlayout.h"
1102 #include "mmu.h"
1103
1104 # 非ブートCPU ( "AP" ) はブートCPUのSTARTUP IPIに反応して開始される。
1105 # "Multi-Processor Specification"のB.4.2節によると、
1106 # APは、CS:IPにXY00:0000をセットしてリアルモードで開始される。
1107 # ここで、XYはSTARTUPで送信される8ビットの値である。
1108 # したがって、このコードは4096バイト境界から開始しなければならない。
1109 #
1110 # このコードはDSに0をセットするので、
1111 # 低位2^16(64K)バイトのアドレスにしなければならない。
1112 #
1113 # (main.cの) startothersは一度に1つSTARTUPを送信する。
1114 # startothersはこのコード(start)を0x7000にコピーし、
1115 # 新規にコアごとに割り当てられるスタックのアドレスを(start-4)に、
1116 # ジャンプ先のアドレス(mpenter)を(start-8)に、
1117 # entrypgdirの物理アドレスを(start-12)に置く。
1118 #
1119 # このコードはbootasm.Sとentry.Sの要素を結合する
1120
1121 .code16
1122 .globl start
1123 start:
1124 cli
1125
1126 # データセグメントレジスタDS, ES, SSを0クリアする。
1127 xorw    %ax,%ax
1128 movw    %ax,%ds
1129 movw    %ax,%es
1130 movw    %ax,%ss
1131
1132 # リアルモードからプロテクトモードに切り替える。切り替えの際に
1133 # 実効メモリマップが変わらないように、仮想アドレスを
1134 # 直接物理アドレスにマップするブートストラップGDTを使用する。e
1135 lgdt    gdtdesc
1136 movl    %cr0, %eax
1137 orl     $(CR0_PE), %eax
1138 movl    %eax, %cr0
1139
1140 # ロングジャンプして%csと%eipを再ロードし、32ビットプロテクト
1141 # モードへの移行を完了させる。セグメントディスクリプタは移行しないので
1142 # マッピングは依然として恒等マッピングである。
1143 ljmpl    $(SEG_KCODE<<3), $(start32)
1144
1145
1146
1147
1148
1149

```

```

1150 .code32 # ここからは32ビットコードを生成するようアセンブラに伝える
1151 start32:
1152 # プロテクトモードのデータセグメントレジスタを設定する
1153 movw    $(SEG_KDATA<<3), %ax # データセグメントセクタ(0x10)
1154 movw    %ax, %ds             # -> DS: データセグメント
1155 movw    %ax, %es             # -> ES: エクストラセグメント
1156 movw    %ax, %ss             # -> SS: スタックセグメント
1157 movw    $0, %ax              # 未使用のセグメントには0をセット
1158 movw    %ax, %fs             # -> FS
1159 movw    %ax, %gs             # -> GS
1160
1161 # ページ単位が4MBになるようにページサイズ拡張をセットする
1162 movl    %cr4, %eax
1163 orl     $(CR4_PSE), %eax
1164 movl    %eax, %cr4
1165 # 最初のページテーブルとしてentrypgdirを使用する
1166 movl    (start-12), %eax
1167 movl    %eax, %cr3
1168 # ページングを有効にする
1169 movl    %cr0, %eax
1170 orl     $(CR0_PE|CR0_PG|CR0_WP), %eax
1171 movl    %eax, %cr0
1172
1173 # startothers()により割り当てられたスタックに切り替える
1174 movl    (start-4), %esp
1175 # mpenter()を呼び出す
1176 call    *(start-8)
1177
1178 movw    $0x8a00, %ax
1179 movw    %ax, %dx
1180 outw    %ax, %dx
1181 movw    $0x8ae0, %ax
1182 outw    %ax, %dx
1183 spin:
1184 jmp     spin
1185
1186 .p2align 2
1187 gdt:
1188 SEG_NULLASM
1189 SEG_ASM(STA_X|STA_R, 0, 0xffffffff)
1190 SEG_ASM(STA_W, 0, 0xffffffff)
1191
1192
1193 gdtdesc:
1194 .word    (gdtdesc - gdt - 1)
1195 .long    gdt
1196
1197
1198
1199

```

```

1200 #include "types.h"
1201 #include "defs.h"
1202 #include "param.h"
1203 #include "memlayout.h"
1204 #include "mmu.h"
1205 #include "proc.h"
1206 #include "x86.h"
1207
1208 static void startothers(void);
1209 static void mpmain(void) __attribute__((noreturn));
1210 extern pde_t *kpgdir;
1211 extern char end[]; // カーネルをELFファイルからロードした後の最初のアドレス
1212
1213 // ブートストラッププロセッサはここからCコードの実行を開始する。
1214 // 実際のスタックを割り当て、それに切り替える。まず、メモリアロケータの
1215 // 動作に必要な設定を行う
1216 int
1217 main(void)
1218 {
1219     kinit1(end, P2V(4*1024*1024)); // 物理ページアロケータ
1220     kvmalloc(); // カーネルページテーブル
1221     mpinit(); // 他のプロセッサの検出
1222     lapicinit(); // 割り込みコントローラ
1223     seginit(); // セグメントデスク립タ
1224     picinit(); // picの無効化
1225     ioapicinit(); // もう1つの割り込みコントローラ
1226     consoleinit(); // コンソールハードウェア
1227     uartinit(); // シリアルポート
1228     pinit(); // プロセステーブル
1229     tvinit(); // トラップベクタ
1230     binit(); // バッファキャッシュ
1231     fileinit(); // ファイルテーブル
1232     ideinit(); // ディスク
1233     startothers(); // 他のプロセッサの開始
1234     kinit2(P2V(4*1024*1024), P2V(PHYSTOP)); // startothers()の後でなければならない
1235     userinit(); // 最初のユーザプロセス
1236     mpmain(); // このプロセッサの設定を終了
1237 }
1238
1239 // 他のCPUはentryother.Sからここにジャンプする
1240 static void
1241 mpenter(void)
1242 {
1243     switchkvm();
1244     seginit();
1245     lapicinit();
1246     mpmain();
1247 }
1248
1249

```

```

1250 // 共通のCPU設定コード
1251 static void
1252 mpmain(void)
1253 {
1254     printf("cpu%d: starting %d\n", cpuid(), cpuid());
1255     idtinit(); // idtレジスタのロード
1256     xchg(&(mycpu()->started), 1); // startothers()にこのCPUの起動を伝える
1257     scheduler(); // プロセスの実行を開始する
1258 }
1259
1260 pde_t entrypgdir[]; // entry.Sのために
1261
1262 // 非ブート(AP)プロセッサを開始する
1263 static void
1264 startothers(void)
1265 {
1266     extern uchar _binary_entryother_start[], _binary_entryother_size[];
1267     uchar *code;
1268     struct cpu *c;
1269     char *stack;
1270
1271     // エントリコードを0x7000の未使用メモリに書き込む
1272     // リンカはentryother.Sのイメージを_binary_entryother_startに
1273     // 置いた。
1274     code = P2V(0x7000);
1275     memmove(code, _binary_entryother_start, (uint)_binary_entryother_size);
1276
1277     for(c = cpus; c < cpus+ncpu; c++){
1278         if(c == mycpu()) // ブートCPUは開始済み
1279             continue;
1280
1281         // どのスタックを使うのか、どこにenterするのか、どのpgdirを使うのかを
1282         // entryother.Sに伝える。APプロセッサは低位アドレスで実効しているので
1283         // kpgdirはまだ使えない。そのため、APにもentrypgdirを使用する。
1284         stack = kalloc();
1285         *(void**)(code-4) = stack + KSTACKSIZE;
1286         *(void**)(code-8) = mpenter;
1287         *(int**)(code-12) = (void *) V2P(entrypgdir);
1288
1289         lapicstartap(c->apicid, V2P(code));
1290
1291         // cpuがmpmain()を終了するのを待機する
1292         while(c->started == 0)
1293             ;
1294     }
1295 }
1296
1297
1298
1299

```

```
1300 // entry.S と entryother.Sで使われるブートページテーブル.  
1301 // ページディレクトリ (とページエントリ) はページ境界から始めなければならない、  
1302 // そのため __aligned__ attribute を指定する。  
1303 // ページディレクトリエントリの PTE_PS はページサイズを4Mバイトにする。  
1304  
1305 __attribute__((__aligned__(PGSIZE)))  
1306 pde_t entrypgdir[NPDENTRIES] = {  
1307     // 仮想アドレス [0, 4MB) を物理アドレス [0, 4MB) にマップ  
1308     [0] = (0) | PTE_P | PTE_W | PTE_PS,  
1309     // 仮想アドレス [KERNBASE, KERNBASE+4MB) を物理アドレス [0, 4MB)  
1310     [KERNBASE >> PDXSHIFT] = (0) | PTE_P | PTE_W | PTE_PS,  
1311 };  
1312  
1313  
1314  
1315  
1316  
1317  
1318  
1319  
1320  
1321  
1322  
1323  
1324  
1325  
1326  
1327  
1328  
1329  
1330  
1331  
1332  
1333  
1334  
1335  
1336  
1337  
1338  
1339  
1340  
1341  
1342  
1343  
1344  
1345  
1346  
1347  
1348  
1349
```

```
1350 // Blank page.  
1351  
1352  
1353  
1354  
1355  
1356  
1357  
1358  
1359  
1360  
1361  
1362  
1363  
1364  
1365  
1366  
1367  
1368  
1369  
1370  
1371  
1372  
1373  
1374  
1375  
1376  
1377  
1378  
1379  
1380  
1381  
1382  
1383  
1384  
1385  
1386  
1387  
1388  
1389  
1390  
1391  
1392  
1393  
1394  
1395  
1396  
1397  
1398  
1399
```

1400 // Blank page.

1401  
1402  
1403  
1404  
1405  
1406  
1407  
1408  
1409  
1410  
1411  
1412  
1413  
1414  
1415  
1416  
1417  
1418  
1419  
1420  
1421  
1422  
1423  
1424  
1425  
1426  
1427  
1428  
1429  
1430  
1431  
1432  
1433  
1434  
1435  
1436  
1437  
1438  
1439  
1440  
1441  
1442  
1443  
1444  
1445  
1446  
1447  
1448  
1449

1450 // Blank page.

1451  
1452  
1453  
1454  
1455  
1456  
1457  
1458  
1459  
1460  
1461  
1462  
1463  
1464  
1465  
1466  
1467  
1468  
1469  
1470  
1471  
1472  
1473  
1474  
1475  
1476  
1477  
1478  
1479  
1480  
1481  
1482  
1483  
1484  
1485  
1486  
1487  
1488  
1489  
1490  
1491  
1492  
1493  
1494  
1495  
1496  
1497  
1498  
1499

```

1500 // 相互排他ロック
1501 struct spinlock {
1502     uint locked;        // このロックは獲得済みか?
1503
1504     // デバッグ用:
1505     char *name;         // ロックの名前
1506     struct cpu *cpu;    // ロックを獲得中のCPU
1507     uint pcs[10];       // このロックをロックしたコールスタック
1508                         // ( プログラムカウンタの配列 )
1509 };
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549

```

```

1550 // 相互排他スピンロック。
1551
1552 #include "types.h"
1553 #include "defs.h"
1554 #include "param.h"
1555 #include "x86.h"
1556 #include "memlayout.h"
1557 #include "mmu.h"
1558 #include "proc.h"
1559 #include "spinlock.h"
1560
1561 void
1562 initlock(struct spinlock *lk, char *name)
1563 {
1564     lk->name = name;
1565     lk->locked = 0;
1566     lk->cpu = 0;
1567 }
1568
1569 // ロックを獲得する。
1570 // ロックが獲得されるまでループ ( スピン ) する。
1571 // ロックを長時間保持すると、他のCPUがロックを
1572 // 獲得するためのスピンの時間を浪費させる可能性がある。
1573 void
1574 acquire(struct spinlock *lk)
1575 {
1576     pushcli(); // ヘッドロックを避けるために割り込みを禁止する。
1577     if(holding(lk))
1578         panic("acquire");
1579
1580     // xchgはアトミックである。
1581     while(xchg(&lk->locked, 1) != 0)
1582         ;
1583
1584     // クリティカルセクションのメモリ参照がロックの獲得後に行われるように、
1585     // この点を越えるロード/ストアの移動をしないように
1586     // Cコンパイラとプロセッサに指示する。( メモリバリア )
1587     __sync_synchronize();
1588
1589     // デバッグ用にロック獲得に関する情報を記録する。
1590     lk->cpu = mycpu();
1591     getcallerpcs(&lk, lk->pcs);
1592 }
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599

```

```

1600 // ロックを解放する。
1601 void
1602 release(struct spinlock *lk)
1603 {
1604     if(!holding(lk))
1605         panic("release");
1606
1607     lk->pcs[0] = 0;
1608     lk->cpu = 0;
1609
1610     // クリティカルセクションのすべてのストアが解放される前に、
1611     // 他のコアから見られるようにするため（逆？）に、この点を超えるロード/ストアの移動を
1612     // しないように、Cコンパイラとプロセッサに指示する。
1613     // Cコンパイラとプロセッサは共にロードとストアを再配置する可能性がある。
1614     // __sync_synchronize() は両者にそれをしないように指示する。
1615     __sync_synchronize();
1616
1617     // ロックの解放は、lk->locked = 0 に相当する。
1618     // このコードにCの代入は使えない。Cの代入はアトミックで
1619     // ないからである。実際のOSはCのアトミック関数をここに使うだろう。
1620     asm volatile("movl $0, %0" : "+m" (lk->locked) : );
1621
1622     popcli();
1623 }
1624
1625 // %ebpチェインをたどり、pcs[]に現在のコースタックを記録する。
1626 void
1627 getcallerpcs(void *v, uint pcs[])
1628 {
1629     uint *ebp;
1630     int i;
1631
1632     ebp = (uint*)v - 2;
1633     for(i = 0; i < 10; i++){
1634         if(ebp == 0 || ebp < (uint*)KERNBASE || ebp == (uint*)0xffffffff)
1635             break;
1636         pcs[i] = ebp[1]; // 保存されていた%eip
1637         ebp = (uint*)ebp[0]; // 保存されていた%ebp
1638     }
1639     for(; i < 10; i++)
1640         pcs[i] = 0;
1641 }
1642
1643 // このCPUがロックを保持しているかチェックする。
1644 int
1645 holding(struct spinlock *lock)
1646 {
1647     return lock->locked && lock->cpu == mycpu();
1648 }
1649

```

```

1650 // Pushcli/popcliは両者が対等であることを除いて、cli/stiと同じである：
1651 // 2回のpushcliを取り消すには2回のpopcliが必要である。また、割り込みが
1652 // オフであれば、pushcliとpopcliは割り込みをオフのままにする。
1653
1654 void
1655 pushcli(void)
1656 {
1657     int eflags;
1658
1659     eflags = readeflags();
1660     cli();
1661     if(mycpu()->ncli == 0)
1662         mycpu()->intena = eflags & FL_IF;
1663     mycpu()->ncli += 1;
1664 }
1665
1666 void
1667 popcli(void)
1668 {
1669     if(readeflags() & FL_IF)
1670         panic("popcli - interruptible");
1671     if(--mycpu()->ncli < 0)
1672         panic("popcli");
1673     if(mycpu()->ncli == 0 && mycpu()->intena)
1674         sti();
1675 }
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699

```

```

1700 #include "param.h"
1701 #include "types.h"
1702 #include "defs.h"
1703 #include "x86.h"
1704 #include "memlayout.h"
1705 #include "mmu.h"
1706 #include "proc.h"
1707 #include "elf.h"
1708
1709 extern char data[]; // kernel.ldで定義される
1710 pde_t *kpgdir; // scheduler()で使用する
1711
1712 // CPUのカーネルセグメントディスクリプタを設定する。
1713 // 各CPU上のエントリごとに1回実行する。
1714 void
1715 seginit(void)
1716 {
1717     struct cpu *c;
1718
1719     // 恒等マッピングを使用して「論理」アドレスから仮想アドレスにマップする。
1720     // カーネル用とユーザ用のコードディスクリプタを共用することはできない。
1721     // なぜなら、共有する場合は、DPL_USRをもつことになるが、CPUはCPL=0から
1722     // DPL=3への割り込みを禁止しているからである。
1723     c = &cpus[cuid()];
1724     c->gdt[SEG_KCODE] = SEG(STA_X|STA_R, 0, 0xffffffff, 0);
1725     c->gdt[SEG_KDATA] = SEG(STA_W, 0, 0xffffffff, 0);
1726     c->gdt[SEG_UCODE] = SEG(STA_X|STA_R, 0, 0xffffffff, DPL_USER);
1727     c->gdt[SEG_UDATA] = SEG(STA_W, 0, 0xffffffff, DPL_USER);
1728     lgdt(c->gdt, sizeof(c->gdt));
1729 }
1730
1731 // ページテーブルpgdir内の、仮想アドレスvaに対応するPTEのアドレスを返す。
1732 // alloc!=0 の場合は、
1733 // 必要なページテーブルページを作成する。
1734 static pte_t *
1735 walkpgdir(pde_t *pgdir, const void *va, int alloc)
1736 {
1737     pde_t *pde;
1738     pte_t *pgtab;
1739
1740     pde = &pgdir[PDX(va)];
1741     if(*pde & PTE_P){
1742         pgtab = (pte_t*)P2V(PTE_ADDR(*pde));
1743     } else {
1744         if(!alloc || (pgtab = (pte_t*)kalloc()) == 0) // 割当不要または割当失敗の場合は0を返す
1745             return 0;
1746         // これらすべてのPTE_Pが0になるようにする
1747         memset(pgtab, 0, PGSIZE);
1748         // ここでのパーミッションは通常上書きされるが、
1749         // 必要であれば、ページテーブルエントリのパーミッションでさらに制限する

```

```

1750     // こともできる。
1751     *pde = V2P(pgtab) | PTE_P | PTE_W | PTE_U;
1752 }
1753 return &pgtab[PTX(va)];
1754 }
1755
1756 // vaで始まる仮想アドレスのためのPTE（ページテーブルエントリ）を作成する。
1757 // これはpaから始まる物理アドレスを参照する。
1758 // vaとサイズはページ境界にない可能性がある。成功した場合は0を返す。
1759 static int
1760 mappages(pde_t *pgdir, void *va, uint size, uint pa, int perm)
1761 {
1762     char *a, *last;
1763     pte_t *pte;
1764
1765     a = (char*)PGROUNDDOWN((uint)va);
1766     last = (char*)PGROUNDDOWN((uint)va) + size - 1;
1767     for(;;){
1768         if((pte = walkpgdir(pgdir, a, 1)) == 0)
1769             return -1;
1770         if(*pte & PTE_P)
1771             panic("remap");
1772         *pte = pa | perm | PTE_P;
1773         if(a == last)
1774             break;
1775         a += PGSIZE;
1776         pa += PGSIZE;
1777     }
1778     return 0;
1779 }
1780
1781 // プロセスごとに1つページテーブルがあり、さらに1つ、CPUがプロセスを1つも実行していない時に
1782 // 使用されるページテーブルがある(kpgdir)。カーネルはシステムコールと割り込み処理の間、
1783 // カレントプロセスのページテーブルを使用する。
1784 // ページ保護ビットはユーザコードがカーネルマッピングを使用することを
1785 // 防止する。
1786 //
1787 // setupvm() と exec() は次のように各ページテーブルを設定する：
1788 //
1789 // 0..KERNBASE: ユーザメモリ (text+data+stack+heap),
1790 //             カーネルにより割り当てられた物理メモリにマップされる
1791 // KERNBASE..KERNBASE+EXTMEM: 0..EXTMEM にマップされる(I/O 空間用)
1792 // KERNBASE+EXTMEM..data: EXTMEM..V2P(data)にマップされる
1793 //             カーネルの命令コード読み込み専用データ用
1794 // data..KERNBASE+PHYSTOP: V2P(data)..PHYSTOPにマップされる
1795 //             読み書きデータとフリー物理メモリ
1796 // 0xfe000000..0: 直接マップされる (ioapicなどのデバイス)
1797 //
1798 // カーネルは自身のヒープとユーザメモリ用に物理メモリをV2P(end)と
1799 // 物理メモリの終わり(PHYSTOP)の間に割り当てる。

```



```

1800 // (end..P2V(PHYSTOP)は直接アドレス可能)
1801
1802 // このテーブルはカーネルのマッピングを定義する。これは全プロセスの
1803 // ページテーブルに現れる
1804 static struct kmap {
1805     void *virt;
1806     uint phys_start;
1807     uint phys_end;
1808     int perm;
1809 } kmap[] = {
1810     { (void*)KERNBASE, 0,          EXTMEM,    PTE_W}, // I/O空間
1811     { (void*)KERNLINK, V2P(KERNLINK), V2P(data), 0},   // カーネルのtext+rodata
1812     { (void*)data,      V2P(data),    PHYSTOP,  PTE_W}, // カーネルのdata+memory
1813     { (void*)DEVSPACE, DEVSPACE,      0,       PTE_W}, // デバイス
1814 };
1815
1816 // ページテーブルのカーネル部分を設定する
1817 pde_t*
1818 setupkvm(void)
1819 {
1820     pde_t *pgdir;
1821     struct kmap *k;
1822
1823     if((pgdir = (pde_t*)kalloc()) == 0) // ページテーブルの割当
1824         return 0;
1825     memset(pgdir, 0, PGSIZE);          // ページテーブルを0詰め
1826     if (P2V(PHYSTOP) > (void*)DEVSPACE)
1827         panic("PHYSTOP too high");
1828     for(k = kmap; k < &kmap[NELEM(kmap)]; k++)
1829         if(mappages(pgdir, k->virt, k->phys_end - k->phys_start,
1830             (uint)k->phys_start, k->perm) < 0) {
1831             freevm(pgdir);
1832             return 0;
1833         }
1834     return pgdir;
1835 }
1836
1837 // スケジューラプロセス用にカーネルアドレス空間用の
1838 // ページテーブルを1つマシンに割り当てる
1839 void
1840 kvmalloc(void)
1841 {
1842     kpgdir = setupkvm();
1843     switchkvm();
1844 }
1845
1846
1847
1848
1849

```

```

1850 // 実行中のプロセスがない場合に備えて、
1851 // ハードウェアページテーブルレジスタをカーネル専用のページテーブルに切り替える
1852 void
1853 switchkvm(void)
1854 {
1855     lcr3(V2P(kpgdir)); // カーネルページテーブルに切り替える
1856 }
1857
1858 // TSSとハードウェアページテーブルをプロセスpのものに切り替える
1859 void
1860 switchvm(struct proc *p)
1861 {
1862     if(p == 0)
1863         panic("switchvm: no process");
1864     if(p->kstack == 0)
1865         panic("switchvm: no kstack");
1866     if(p->pgdir == 0)
1867         panic("switchvm: no pgdir");
1868
1869     pushcli();
1870     mycpu()->gdt[SEG_TSS] = SEG16(STS_T32A, &mycpu()->ts,
1871         sizeof(mycpu()->ts)-1, 0);
1872     mycpu()->gdt[SEG_TSS].s = 0;
1873     mycpu()->ts.ss0 = SEG_KDATA << 3;
1874     mycpu()->ts.esp0 = (uint)p->kstack + KSTACKSIZE;
1875     // elangsにIOPL=0を設定し、*かつ*、tssセグメントのリミット値を超える値を
1876     // iombに設定するとユーザ空間からのI/O命令 (inbやoutb) を禁止する。
1877     mycpu()->ts.iomb = (ushort) 0xFFFF;
1878     ltr(SEG_TSS << 3);
1879     lcr3(V2P(p->pgdir)); // プロセスのアドレス空間に切り替える
1880     popcli();
1881 }
1882
1883 // initcodeをpgdirのアドレス0にロードする。
1884 // sz は1ページ未満でなければならない。
1885 void
1886 initvm(pde_t *pgdir, char *init, uint sz)
1887 {
1888     char *mem;
1889
1890     if(sz >= PGSIZE)
1891         panic("initvm: more than a page");
1892     mem = kalloc(); // 4096byte = 1 pageを割り当て
1893     memset(mem, 0, PGSIZE);
1894     mappages(pgdir, 0, PGSIZE, V2P(mem), PTE_W|PTE_U);
1895     memmove(mem, init, sz);
1896 }
1897
1898
1899

```

```

1900 // プログラムセグメントをpgdirにロードする。addrはページ境界になければならない。
1901 // また、addrからaddr+szのページはすでにマップされていなければならない。
1902 int
1903 loadvm(pde_t *pgdir, char *addr, struct inode *ip, uint offset, uint sz)
1904 {
1905     uint i, pa, n;
1906     pte_t *pte;
1907
1908     if((uint) addr % PGSIZE != 0)
1909         panic("loadvm: addr must be page aligned");
1910     for(i = 0; i < sz; i += PGSIZE){
1911         if((pte = walkpgdir(pgdir, addr+i, 0)) == 0)
1912             panic("loadvm: address should exist");
1913         pa = PTE_ADDR(*pte);
1914         if(sz - i < PGSIZE)
1915             n = sz - i;
1916         else
1917             n = PGSIZE;
1918         if(readi(ip, P2V(pa), offset+i, n) != n)
1919             return -1;
1920     }
1921     return 0;
1922 }
1923
1924 // プロセスをoldszからnewszに拡張するためにページテーブルと物理メモリを割り当てる
1925 // サイズはページ境界になくても良い。新しいサイズ、またはエラーの場合は0を返す
1926 int
1927 allocvm(pde_t *pgdir, uint oldsz, uint newsz)
1928 {
1929     char *mem;
1930     uint a;
1931
1932     if(newsz >= KERNBASE)
1933         return 0;
1934     if(newsz < oldsz)
1935         return oldsz;
1936
1937     a = PGROUNDUP(oldsz);
1938     for(; a < newsz; a += PGSIZE){
1939         mem = kalloc();
1940         if(mem == 0){
1941             cprintf("allocvm out of memory\n");
1942             deallocvm(pgdir, newsz, oldsz);
1943             return 0;
1944         }
1945         memset(mem, 0, PGSIZE);
1946         if(mappages(pgdir, (char*)a, PGSIZE, V2P(mem), PTE_W|PTE_U) < 0){
1947             cprintf("allocvm out of memory (2)\n");
1948             deallocvm(pgdir, newsz, oldsz);
1949             kfree(mem);

```

```

1950         return 0;
1951     }
1952 }
1953 return newsz;
1954 }
1955
1956 // プロセスサイズをoldszからnewszにするためにユーザページの割り当てを解除する
1957 // oldszとnewszはページ境界になくても良い。また、newszはoldszより小さくなくとも良い
1958 // oldszは実際のプロセスサイズより大きくなくとも良い
1959 // 新しいプロセスサイズを返す
1960 int
1961 deallocvm(pde_t *pgdir, uint oldsz, uint newsz)
1962 {
1963     pte_t *pte;
1964     uint a, pa;
1965
1966     if(newsz >= oldsz)
1967         return oldsz;
1968
1969     a = PGROUNDUP(newsz);
1970     for(; a < oldsz; a += PGSIZE){
1971         pte = walkpgdir(pgdir, (char*)a, 0);
1972         if(!pte)
1973             a = PGADDR(PDX(a) + 1, 0, 0) - PGSIZE;
1974         else if((*pte & PTE_P) != 0){
1975             pa = PTE_ADDR(*pte);
1976             if(pa == 0)
1977                 panic("kfree");
1978             char *v = P2V(pa);
1979             kfree(v);
1980             *pte = 0;
1981         }
1982     }
1983     return newsz;
1984 }
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999

```

```

2000 // ユーザ部分のページテーブルとすべての物理メモリを
2001 // 解放する。
2002 void
2003 freevm(pde_t *pgdir)
2004 {
2005     uint i;
2006
2007     if(pgdir == 0)
2008         panic("freevm: no pgdir");
2009     deallocuvvm(pgdir, KERNBASE, 0);
2010     for(i = 0; i < NPENTRIES; i++){
2011         if(pgdir[i] & PTE_P){
2012             char * v = P2V(PTE_ADDR(pgdir[i]));
2013             kfree(v);
2014         }
2015     }
2016     kfree((char*)pgdir);
2017 }
2018
2019 // ページのPTE_Uをクリアする。ユーザスタック直下に
2020 // アクセス不能なページを作成するのに使用する
2021 void
2022 clearpteu(pde_t *pgdir, char *uva)
2023 {
2024     pte_t *pte;
2025
2026     pte = walkpgdir(pgdir, uva, 0);
2027     if(pte == 0)
2028         panic("clearpteu");
2029     *pte &= ~PTE_U;
2030 }
2031
2032 // 親プロセスのページテーブルを与えると、子プロセス用に
2033 // そのコピーを作成する。
2034 pde_t*
2035 copyuvm(pde_t *pgdir, uint sz)
2036 {
2037     pde_t *d;
2038     pte_t *pte;
2039     uint pa, i, flags;
2040     char *mem;
2041
2042     if((d = setupkvm()) == 0)
2043         return 0;
2044     for(i = 0; i < sz; i += PGSIZE){
2045         if((pte = walkpgdir(pgdir, (void *) i, 0)) == 0)
2046             panic("copyuvm: pte should exist");
2047         if(!(*pte & PTE_P))
2048             panic("copyuvm: page not present");
2049         pa = PTE_ADDR(*pte);

```

```

2050     flags = PTE_FLAGS(*pte);
2051     if((mem = kalloc()) == 0)
2052         goto bad;
2053     memmove(mem, (char*)P2V(pa), PGSIZE);
2054     if(mappages(d, (void*)i, PGSIZE, V2P(mem), flags) < 0)
2055         goto bad;
2056     }
2057     return d;
2058
2059 bad:
2060     freevm(d);
2061     return 0;
2062 }
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099

```

```

2100 // ユーザ仮想アドレスをカーネルアドレスにマップする。
2101 char*
2102 uva2ka(pde_t *pgdir, char *uva)
2103 {
2104     pte_t *pte;
2105
2106     pte = walkpgdir(pgdir, uva, 0);
2107     if((*pte & PTE_P) == 0)
2108         return 0;
2109     if((*pte & PTE_U) == 0)
2110         return 0;
2111     return (char*)P2V(PTE_ADDR(*pte));
2112 }
2113
2114 // pからページテーブル pgdirのユーザアドレス va へ lenバイトコピーする
2115 // pgdirがカレントページテーブルでない場合に最も有効
2116 // uva2ka はPTF_Uページでのみ処理することを保証する
2117 int
2118 copyout(pde_t *pgdir, uint va, void *p, uint len)
2119 {
2120     char *buf, *pa0;
2121     uint n, va0;
2122
2123     buf = (char*)p;
2124     while(len > 0){
2125         va0 = (uint)PGROUNDDOWN(va);
2126         pa0 = uva2ka(pgdir, (char*)va0);
2127         if(pa0 == 0)
2128             return -1;
2129         n = PGSIZE - (va - va0);
2130         if(n > len)
2131             n = len;
2132         memmove(pa0 + (va - va0), buf, n);
2133         len -= n;
2134         buf += n;
2135         va = va0 + PGSIZE;
2136     }
2137     return 0;
2138 }
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149

```

```

2150 // Blank page.
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199

```

2200 // Blank page.

2201  
2202  
2203  
2204  
2205  
2206  
2207  
2208  
2209  
2210  
2211  
2212  
2213  
2214  
2215  
2216  
2217  
2218  
2219  
2220  
2221  
2222  
2223  
2224  
2225  
2226  
2227  
2228  
2229  
2230  
2231  
2232  
2233  
2234  
2235  
2236  
2237  
2238  
2239  
2240  
2241  
2242  
2243  
2244  
2245  
2246  
2247  
2248  
2249

2250 // Blank page.

2251  
2252  
2253  
2254  
2255  
2256  
2257  
2258  
2259  
2260  
2261  
2262  
2263  
2264  
2265  
2266  
2267  
2268  
2269  
2270  
2271  
2272  
2273  
2274  
2275  
2276  
2277  
2278  
2279  
2280  
2281  
2282  
2283  
2284  
2285  
2286  
2287  
2288  
2289  
2290  
2291  
2292  
2293  
2294  
2295  
2296  
2297  
2298  
2299

```

2300 // CPU毎のステート
2301 struct cpu {
2302     uchar apicid;           // ローカルAPIC ID
2303     struct context *scheduler; // スケジューラにはここにswtch()
2304     struct taskstate ts;     // 割り込み用のスタックを探すためにx86が使用
2305     struct segdesc gdt[NSEGS]; // x86グローバルディスクリプタテーブル
2306     volatile uint started;    // CPUは開始しているか?
2307     int ncli;                 // pushcliネストの深さ
2308     int intena;               // pushcliの前に割り込みは有効だったか?
2309     struct proc *proc;       // このCPUで実行中のプロセス。なければnull
2310 };
2311
2312 extern struct cpu cpus[NCPU];
2313 extern int ncpu;
2314
2315
2316 // カーネルコンテキストスイッチで保存されるレジスタ
2317 // すべてのセグメントレジスタ(%csなど)はカーネルコンテキストを
2318 // 通じて不変であるため保存する必要はない。
2319 // %eax, %ecx, %edxは、x86の規約で呼び出し元が保存するので、
2320 // 保存する必要はない。
2321 // コンテキストは自身が記述するスタックの底に格納される。
2322 // すなわち、スタックポインタはコンテキストのアドレスである。
2323 // コンテキストのレイアウトは、switch.Sのコメント"スタックを切り替える"に
2324 // 書かれているスタックのレイアウトに一致する。スイッチはeipを明示的には
2325 // 保存しないが、スタック上にあり、allocproc()がそれを処理する。
2326 struct context {
2327     uint edi;
2328     uint esi;
2329     uint ebx;
2330     uint ebp;
2331     uint eip;
2332 };
2333
2334 enum procstate { UNUSED, EMBRYO, SLEEPING, RUNNABLE, RUNNING, ZOMBIE };
2335
2336 // プロセスごとのステート
2337 struct proc {
2338     uint sz;                // プロセスメモリのサイズ(単位はバイト)
2339     pde_t* pgdir;          // ページテーブル
2340     char *kstack;          // このプロセスのカーネルスタックの底
2341     enum procstate state;   // プロセスの状態
2342     int pid;                // プロセスID
2343     struct proc *parent;    // 親プロセス
2344     struct trapframe *tf;   // 現在のsyscallのトラップフレーム
2345     struct context *context; // プロセスの実行するためにここにswtch()
2346     void *chan;             // 非ゼロの場合、chanでスリープ中
2347     int killed;             // 非ゼロの場合、キルされた
2348     struct file *ofile[NOFILE]; // オープンしたファイル
2349     struct inode *cwd;      // カレントディレクトリ

```

```

2350     char name[16];          // プロセス名(デバッグ用)
2351 };
2352
2353 // プロセスメモリは、低位アドレスから次のように、連続的に配置される。
2354 // テキスト
2355 // オリジナルのデータとbss
2356 // 固定サイズのスタック
2357 // 拡張可能なヒープ
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399

```

```

2400 #include "types.h"
2401 #include "defs.h"
2402 #include "param.h"
2403 #include "memlayout.h"
2404 #include "mmu.h"
2405 #include "x86.h"
2406 #include "proc.h"
2407 #include "spinlock.h"
2408
2409 struct {
2410     struct spinlock lock;
2411     struct proc proc [NPROC];
2412 } ptable;
2413
2414 static struct proc * initproc;
2415
2416 int nextpid = 1;
2417 extern void forkret(void);
2418 extern void trapret(void);
2419
2420 static void wakeup( void * chan );
2421
2422 void
2423 pinit(void)
2424 {
2425     initlock( &ptable . lock, "ptable" );
2426 }
2427
2428 // 割り込みを禁止してから呼び出す必要がある
2429 int
2430 cpuid() {
2431     return mycpu() - cpus;
2432 }
2433
2434 // lapicidの読み込みとループの実行の間に呼び出し側が再スケジュール
2435 // されないように、割り込みを禁止してから呼び出す必要がある
2436 struct cpu*
2437 mycpu(void)
2438 {
2439     int apicid, i;
2440
2441     if(readeflags() & FL_IF)
2442         panic("mycpu called with interrupts enabled\n");
2443
2444     apicid = lapicid();
2445     // APIC IDは連続であるとは限らない。リバースマップを持つか
2446     // &CUPUS[I]を格納するレジスタを予約するべきだろう。
2447     for (i = 0; i < ncpu; ++i) {
2448         if (cpus[i].apicid == apicid)
2449             return &cpus[i];

```

```

2450     }
2451     panic("unknown apicid\n");
2452 }
2453
2454 // cpu構造体からprocを読み込み間に再スケジュールされないように、
2455 // 割り込みを禁止する
2456 struct proc*
2457 myproc(void) {
2458     struct cpu *c;
2459     struct proc *p;
2460     pushcli();
2461     c = mycpu();
2462     p = c->proc;
2463     popcli();
2464     return p;
2465 }
2466
2467
2468 // プロセステーブルから状態がUNUSEDのprocを探す。
2469 // 見つかったら、状態をEMBRYOに変更し、カーネルで実行するために
2470 // 必要な状態の初期化を行う。
2471 // 見つからなかった場合は、0を返す。
2472 static struct proc*
2473 allocproc(void)
2474 {
2475     struct proc *p;
2476     char *sp;
2477
2478     acquire(&ptable.lock);
2479
2480     for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++)
2481         if(p->state == UNUSED)
2482             goto found;
2483
2484     release(&ptable.lock);
2485     return 0;
2486
2487 found:
2488     p->state = EMBRYO;
2489     p->pid = nextpid++;
2490
2491     release(&ptable.lock);
2492
2493     // カーネルスタックを割り当てる。
2494     if((p->kstack = kalloc()) == 0){
2495         p->state = UNUSED;
2496         return 0;
2497     }
2498     sp = p->kstack + KSTACKSIZE;
2499

```

```

2500 // トラップフレーム用のスペースを確保する。
2501 sp -= sizeof *p->tf;
2502 p->tf = (struct trapframe*)sp;
2503
2504 // forkretから実行を開始するために新たなコンテキストを設定する。
2505 // forkretからはtrapretに復帰する。
2506 sp -= 4;
2507 *(uint*)sp = (uint)trapret;
2508
2509 sp -= sizeof *p->context;
2510 p->context = (struct context*)sp;
2511 memset(p->context, 0, sizeof *p->context);
2512 p->context->eip = (uint)forkret;
2513
2514 return p;
2515 }
2516
2517
2518 // 最初のユーザプロセスを設定する。
2519 void
2520 userinit(void)
2521 {
2522     struct proc *p;
2523     extern char _binary_initcode_start[], _binary_initcode_size[];
2524
2525     p = allocproc();
2526
2527     initproc = p;
2528     if((p->pgdir = setupkvm()) == 0)
2529         panic("userinit: out of memory?");
2530     inituvm(p->pgdir, _binary_initcode_start, (int)_binary_initcode_size);
2531     p->sz = PGSIZE;
2532     memset(p->tf, 0, sizeof(*p->tf));
2533     p->tf->cs = (SEG_UCODE << 3) | DPL_USER;
2534     p->tf->ds = (SEG_UDATA << 3) | DPL_USER;
2535     p->tf->es = p->tf->ds;
2536     p->tf->ss = p->tf->ds;
2537     p->tf->eflags = FL_IF;
2538     p->tf->esp = PGSIZE;
2539     p->tf->eip = 0; // initcode.Sの先頭
2540
2541     safestrcpy(p->name, "initcode", sizeof(p->name));
2542     p->cwd = namei("/");
2543
2544     // p->stateにRUNNABLEを設定すると、他のコアがこのプロセスを実行
2545     // できるようになる。acquireは上の書き込みを見えるようにさせる。
2546     // この設定はアトミックではない可能性もあるので、
2547     // ロックが必要である。
2548     acquire(&ptable.lock);
2549

```

```

2550     p->state = RUNNABLE;
2551
2552     release(&ptable.lock);
2553 }
2554
2555 // カレントプロセスのメモリをnバイト増減する。
2556 // 成功した場合は0、失敗した場合は-1を返す。
2557 int
2558 growproc(int n)
2559 {
2560     uint sz;
2561     struct proc *curproc = myproc();
2562
2563     sz = curproc->sz;
2564     if(n > 0){
2565         if((sz = allocuvm(curproc->pgdir, sz, sz + n)) == 0)
2566             return -1;
2567     } else if(n < 0){
2568         if((sz = deallocuvm(curproc->pgdir, sz, sz + n)) == 0)
2569             return -1;
2570     }
2571     curproc->sz = sz;
2572     switchuvm(curproc);
2573     return 0;
2574 }
2575
2576 // pを親としてコピーして新しいプロセスを作成する。
2577 // システムコールから帰るかのように復帰用のスタックを設定する。
2578 // 呼び出し側は返されるprocのstateをRUNNABLEにセットしなければならない。
2579 int
2580 fork(void)
2581 {
2582     int i, pid;
2583     struct proc *np;
2584     struct proc *curproc = myproc();
2585
2586     // プロセスを割り当てる。
2587     if((np = allocproc()) == 0){
2588         return -1;
2589     }
2590
2591     // procからプロセスの状態をコピーする。
2592     if((np->pgdir = copyuvm(curproc->pgdir, curproc->sz)) == 0){
2593         kfree(np->kstack);
2594         np->kstack = 0;
2595         np->state = UNUSED;
2596         return -1;
2597     }
2598     np->sz = curproc->sz;
2599     np->parent = curproc;

```



```

2600 *np->tf = *curproc->tf;
2601
2602 // 子プロセスではforkが0を返すように%eaxをクリアする。
2603 np->tf->eax = 0;
2604
2605 for(i = 0; i < NOFILE; i++)
2606     if(curproc->ofile[i])
2607         np->ofile[i] = filedup(curproc->ofile[i]);
2608 np->cwd = idup(curproc->cwd);
2609
2610 safestrcpy(np->name, curproc->name, sizeof(curproc->name));
2611
2612 pid = np->pid;
2613
2614 acquire(&ptable.lock);
2615
2616 np->state = RUNNABLE;
2617
2618 release(&ptable.lock);
2619
2620 return pid;
2621 }
2622
2623 // カレントプロセスを終了する。復帰しない。
2624 // 終了したプロセスは、親プロセスがwait()を呼び出してそれが終了したことを
2625 // 知るまで、zombie状態で残る。
2626 void
2627 exit(void)
2628 {
2629     struct proc *curproc = myproc();
2630     struct proc *p;
2631     int fd;
2632
2633     if(curproc == initproc)
2634         panic("init exiting");
2635
2636     // 開いていたファイルをすべて閉じる。
2637     for(fd = 0; fd < NOFILE; fd++){
2638         if(curproc->ofile[fd]){
2639             fclose(curproc->ofile[fd]);
2640             curproc->ofile[fd] = 0;
2641         }
2642     }
2643
2644     begin_op();
2645     iput(curproc->cwd);
2646     end_op();
2647     curproc->cwd = 0;
2648
2649     acquire(&ptable.lock);

```

```

2650 // 親プロセスはwait()でスリープしている可能性がある。
2651 wakeup1(curproc->parent);
2652
2653 // 見捨てられる子プロセスをinitに渡す。
2654 for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
2655     if(p->parent == curproc){
2656         p->parent = initproc;
2657         if(p->state == ZOMBIE)
2658             wakeup1(initproc);
2659     }
2660 }
2661
2662 // スケジューラにジャンプし、復帰しない。
2663 curproc->state = ZOMBIE;
2664 sched();
2665 panic("zombie exit");
2666 }
2667
2668 // 子プロセスが終了してpidを返すのを待つ。
2669 // このプロセスが子プロセスを持たない場合は -1 を返す。
2670 int
2671 wait(void)
2672 {
2673     struct proc *p;
2674     int havekids, pid;
2675     struct proc *curproc = myproc();
2676
2677     acquire(&ptable.lock);
2678     for(;;){
2679         // テーブルを走査して終了した子プロセスを探す。
2680         havekids = 0;
2681         for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
2682             if(p->parent != curproc)
2683                 continue;
2684             havekids = 1;
2685             if(p->state == ZOMBIE){
2686                 // 見つけた。
2687                 pid = p->pid;
2688                 kfree(p->kstack);
2689                 p->kstack = 0;
2690                 freevm(p->pgdir);
2691                 p->pid = 0;
2692                 p->parent = 0;
2693                 p->name[0] = 0;
2694                 p->killed = 0;
2695                 p->state = UNUSED;
2696                 release(&ptable.lock);
2697                 return pid;
2698             }
2699         }

```

```

2700 // 子プロセスを持っていなければ待つても意味がない。
2701 if(!havekids || curproc->killed){
2702     release(&ptable.lock);
2703     return -1;
2704 }
2705
2706 // 子プロセスの終了を待つ。(proc_exitのwakeup1コールを参照)
2707 sleep(curproc, &ptable.lock);
2708 }
2709 }
2710
2711
2712
2713
2714
2715
2716
2717
2718
2719
2720
2721
2722
2723
2724
2725
2726
2727
2728
2729
2730
2731
2732
2733
2734
2735
2736
2737
2738
2739
2740
2741
2742
2743
2744
2745
2746
2747
2748
2749

```

```

2750 // CPUごとのプロセススケジューラ。
2751 // 各CPUは自身を設定した後 scheduler() を呼び出す。
2752 // スケジューラは復帰しない。ループして以下を行う:
2753 //   - 実行するプロセスを選択する
2754 //   - スイッチしてそのプロセスの実行を開始する
2755 //   - 最後にそのプロセスに制御を渡す
2756 //   - スイッチバックでスケジューラに戻る
2757 void
2758 scheduler(void)
2759 {
2760     struct proc *p;
2761     struct cpu *c = mycpu();
2762     c->proc = 0;
2763
2764     for(;;){
2765         // このプロセッサ上での割り込みを有効にする。
2766         sti();
2767
2768         // プロセステーブルを走査して実行するプロセスを探す、
2769         acquire(&ptable.lock);
2770         for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
2771             if(p->state != RUNNABLE)
2772                 continue;
2773
2774             // 選択したプロセスにスイッチする。ptable.lockを解放して、
2775             // スケジューラに戻る前に再ロックするのは
2776             // プロセスの仕事である。
2777             c->proc = p;
2778             switchvm(p);
2779             p->state = RUNNING;
2780
2781             swtch(&(c->scheduler), p->context);
2782             switchvm();
2783
2784             // ここではプロセスは実行を終えている。
2785             // プロセスはここに戻る前に自分のp->stateを変更しているするはずだ。
2786             c->proc = 0;
2787         }
2788         release(&ptable.lock);
2789     }
2790 }
2791 }
2792
2793
2794
2795
2796
2797
2798
2799

```

```

2800 // スケジューラに入る。ptable.lockを保持し、
2801 // proc->stateが変更されていなければならない。
2802 // intenaは、このカーネルスレッドの属性であり
2803 // このCPUの属性ではないので、intenaの保存と復元を行う。
2804 // 本来ならproc->intenaとproc->ncliとするべきだが、それだと
2805 // ロックを保持しているがプロセスがないような場所で
2806 // まれに破綻する可能性がある。
2807 void
2808 sched(void)
2809 {
2810     int intena;
2811     struct proc *p = myproc();
2812
2813     if(!holding(&ptable.lock))
2814         panic("sched ptable.lock");
2815     if(mycpu()->ncli != 1)
2816         panic("sched locks");
2817     if(p->state == RUNNING)
2818         panic("sched running");
2819     if(readeflags() & FL_IF)
2820         panic("sched interruptible");
2821     intena = mycpu()->intena;
2822     swtch(&p->context, mycpu()->scheduler);
2823     mycpu()->intena = intena;
2824 }
2825
2826 // 1回のスケジュール処理ごとにCPUを明け渡す。
2827 void
2828 yield(void)
2829 {
2830     acquire(&ptable.lock);
2831     myproc()->state = RUNNABLE;
2832     sched();
2833     release(&ptable.lock);
2834 }
2835
2836
2837
2838
2839
2840
2841
2842
2843
2844
2845
2846
2847
2848
2849

```

```

2850 // scheduler()でスケジュールされる一番最初のフォークの子プロセスは
2851 // ここにスイッチする。ユーザ空間に「復帰する」。
2852 void
2853 forkret(void)
2854 {
2855     static int first = 1;
2856     // スケジューラからの ptable.lock をまだ保持しているので
2857     release(&ptable.lock);
2858
2859     if (first) {
2860         // ある種の初期化関数は通常のプロセスのコンテキストで実行
2861         // されなければならない (たとえば、スリープのコールなど)。
2862         // そのため、main()からは実行することができない。
2863         first = 0;
2864         init(ROOTDEV);
2865         initlog(ROOTDEV);
2866     }
2867
2868     // "caller"に戻るが、実際はtrapretに戻る (allocproc参照)。
2869 }
2870
2871 // アトミックにロックを解放し、chanでスリープする。
2872 // 目覚めた時にロックを再度獲得する。
2873 void
2874 sleep(void *chan, struct spinlock *lk)
2875 {
2876     struct proc *p = myproc();
2877
2878     if(p == 0)
2879         panic("sleep");
2880
2881     if(lk == 0)
2882         panic("sleep without lk");
2883
2884     // p->stateを変更し、schedを呼び出すために
2885     // ptable.lockの獲得しなければならない。
2886     // ptable.lockを保持していれば、起こし忘れが
2887     // ないことが保証されるので
2888     // (wakeuptable.lockをロックしてから実行するので),
2889     // lkを解放しても問題はない。
2890     if(lk != &ptable.lock){
2891         acquire(&ptable.lock);
2892         release(lk);
2893     }
2894     // スリープに入る。
2895     p->chan = chan;
2896     p->state = SLEEPING;
2897
2898     sched();
2899

```

```

2900 // 後片付けをする。
2901 p->chan = 0;
2902
2903 // オリジナルのロックを再度獲得する。
2904 if(lk != &ptable.lock){
2905     release(&ptable.lock);
2906     acquire(lk);
2907 }
2908 }
2909
2910
2911
2912
2913
2914
2915
2916
2917
2918
2919
2920
2921
2922
2923
2924
2925
2926
2927
2928
2929
2930
2931
2932
2933
2934
2935
2936
2937
2938
2939
2940
2941
2942
2943
2944
2945
2946
2947
2948
2949

```

```

2950 // chanでスリープしているすべてのプロセスを起こす。
2951 // ptable.lockを保持していなければならない。
2952 static void
2953 wakeup1(void *chan)
2954 {
2955     struct proc *p;
2956
2957     for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
2958         if(p->state == SLEEPING && p->chan == chan)
2959             p->state = RUNNABLE;
2960     }
2961
2962 // chanでスリープしているすべてのプロセスを起こす。
2963 void
2964 wakeup(void *chan)
2965 {
2966     acquire(&ptable.lock);
2967     wakeup1(chan);
2968     release(&ptable.lock);
2969 }
2970
2971 // 指定されたpidを持つプロセスをkillする。
2972 // プロセスはユーザ空間に復帰するまでは
2973 // 終了しない ( trap.cのtrapを参照 )。
2974 int
2975 kill(int pid)
2976 {
2977     struct proc *p;
2978
2979     acquire(&ptable.lock);
2980     for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
2981         if(p->pid == pid){
2982             p->killed = 1;
2983             // 必要であれば寝ているプロセスを起こす。
2984             if(p->state == SLEEPING)
2985                 p->state = RUNNABLE;
2986             release(&ptable.lock);
2987             return 0;
2988         }
2989     }
2990     release(&ptable.lock);
2991     return -1;
2992 }
2993
2994
2995
2996
2997
2998
2999

```

```

3000 // プロセッサ一覧をコンソールに出力する。デバッグ用。
3001 // ユーザがコンソールで^pとタイプすると実行する。
3002 // スタックしたマシンをさらに割り込ませないようにロックはしない。
3003 void
3004 procdump(void)
3005 {
3006     static char *states[] = {
3007         [UNUSED]    "unused",
3008         [EMBRYO]    "embryo",
3009         [SLEEPING]  "sleep ",
3010         [RUNNABLE]  "runble",
3011         [RUNNING]   "run   ",
3012         [ZOMBIE]    "zombie"
3013     };
3014     int i;
3015     struct proc *p;
3016     char *state;
3017     uint pc[10];
3018
3019     for(p = ptable.proc; p < &ptable.proc[NPROC]; p++){
3020         if(p->state == UNUSED)
3021             continue;
3022         if(p->state >= 0 && p->state < NELEM(states) && states[p->state])
3023             state = states[p->state];
3024         else
3025             state = "???";
3026         cprintf("%d %s %s", p->pid, state, p->name);
3027         if(p->state == SLEEPING){
3028             getcallerpcs((uint*)p->context->ebp+2, pc);
3029             for(i=0; i<10 && pc[i] != 0; i++)
3030                 cprintf(" %p", pc[i]);
3031         }
3032         cprintf("\n");
3033     }
3034 }
3035
3036
3037
3038
3039
3040
3041
3042
3043
3044
3045
3046
3047
3048
3049

```

```

3050 # コンテキストスイッチ
3051 #
3052 # void swtch(struct context **old, struct context *new);
3053 #
3054 # カレントレジスタコンテキストをoldに保存し、
3055 # fromからレジスタコンテキストをロードする。
3056
3057 .globl swtch
3058 swtch:
3059     movl 4(%esp), %eax    # old
3060     movl 8(%esp), %edx    # new
3061
3062     # 旧callee-saveレジスタを保存
3063     pushl %ebp
3064     pushl %ebx
3065     pushl %esi
3066     pushl %edi
3067
3068     # スタックを切り替える
3069     movl %esp, (%eax)
3070     movl %edx, %esp
3071
3072     # 新callee-saveレジスタをロード
3073     popl %edi
3074     popl %esi
3075     popl %ebx
3076     popl %ebp
3077     ret
3078
3079
3080
3081
3082
3083
3084
3085
3086
3087
3088
3089
3090
3091
3092
3093
3094
3095
3096
3097
3098
3099

```

```

3100 // 物理メモリアロケータ。ユーザプロセス、カーネルスタック、
3101 // ページテーブルのページ、パイプバッファのためのメモリの割り当てを行う
3102 // 4096バイトのページを割り当てる
3103
3104 #include "types.h"
3105 #include "defs.h"
3106 #include "param.h"
3107 #include "memlayout.h"
3108 #include "mmu.h"
3109 #include "spinlock.h"
3110
3111 void freerange(void *vstart, void *vend);
3112 extern char end[]; // カーネルがELFファイルからロードされた後の最初のアドレス
3113 // kernel.ldにあるカーネルリンクスクリプトで定義されている
3114
3115 struct run {
3116     struct run *next;
3117 };
3118
3119 struct {
3120     struct spinlock lock;
3121     int use_lock;
3122     struct run *freelist;
3123 } kmem;
3124
3125 // 初期化は2つのフェーズで行われる
3126 // 1. main()は、まだentrypgdirを使用している間にentrypgdirでマップされる
3127 // ページを空きリストに置くだけの目的で、kinit1を呼び出す
3128 // 2. main()はすべてのコア上のページをマップする完全なページテーブルを
3129 // インストールした後、残りの物理ページを指定してkinit2()を呼び出す
3130 void
3131 kinit1(void *vstart, void *vend)
3132 {
3133     initlock(&kmem.lock, "kmem");
3134     kmem.use_lock = 0;
3135     freerange(vstart, vend);
3136 }
3137
3138 void
3139 kinit2(void *vstart, void *vend)
3140 {
3141     freerange(vstart, vend);
3142     kmem.use_lock = 1;
3143 }
3144
3145
3146
3147
3148
3149

```

```

3150 void
3151 freerange(void *vstart, void *vend)
3152 {
3153     char *p;
3154     p = (char*)PGROUNDUP((uint)vstart);
3155     for(; p + PGSIZE <= (char*)vend; p += PGSIZE)
3156         kfree(p);
3157 }
3158
3159 // vで指し示される物理メモリのページを解放する。
3160 // vは通常、kalloc()の呼び出しにより返されるポインタである。
3161 // (例外は、アロケータを初期化する場合である。
3162 // 上のkinitを参照)
3163 void
3164 kfree(char *v)
3165 {
3166     struct run *r;
3167
3168     if((uint)v % PGSIZE || v < end || V2P(v) >= PHYSTOP)
3169         panic("kfree");
3170
3171     // ダングリング参照をキャッチするためにジャンクで満たす
3172     memset(v, 1, PGSIZE);
3173
3174     if(kmem.use_lock)
3175         acquire(&kmem.lock);
3176     r = (struct run*)v;
3177     r->next = kmem.freelist;
3178     kmem.freelist = r;
3179     if(kmem.use_lock)
3180         release(&kmem.lock);
3181 }
3182
3183 // 物理メモリの4096バイトのページを1つ割り当てる。
3184 // カーネルが利用可能なポインタを返す。
3185 // メモリを割り当てられなかった時は、0を返す。
3186 char*
3187 kalloc(void)
3188 {
3189     struct run *r;
3190
3191     if(kmem.use_lock)
3192         acquire(&kmem.lock);
3193     r = kmem.freelist;
3194     if(r)
3195         kmem.freelist = r->next;
3196     if(kmem.use_lock)
3197         release(&kmem.lock);
3198     return (char*)r;
3199 }

```

```

3200 // x86のトラップと割り込み関係の定数
3201
3202 // プロセッサで定義:
3203 #define T_DIVIDE      0      // 除算エラー
3204 #define T_DEBUG      1      // デバッグ例外
3205 #define T_NMI        2      // NMI割り込み
3206 #define T_BRKPT      3      // ブレークポイント
3207 #define T_OFLOW      4      // オーバーフロー
3208 #define T_BOUND      5      // BOUND範囲超過
3209 #define T_ILLOP      6      // 無効オペコード
3210 #define T_DEVICE      7      // デバイス使用不可
3211 #define T_DBLFLT      8      // ダブルフォルト
3212 // #define T_COPROC    9      // 予約済 (486以降未使用)
3213 #define T_TSS        10     // 無効TSS
3214 #define T_SEGNP      11     // セグメント不在
3215 #define T_STACK      12     // スタックフォルト例外
3216 #define T_GPFLT      13     // 一般保護例外
3217 #define T_PGFLT      14     // ページフォルト
3218 // #define T_RES       15     // 予約済
3219 #define T_FPERR      16     // 浮動小数点エラー
3220 #define T_ALIGN      17     // アライメントチェック
3221 #define T_MCHK       18     // マシンチェック
3222 #define T_SIMDERR     19     // SIMD浮動小数点エラー
3223
3224 // 以下は任意に選択したものであるが、プロセッサが定義している
3225 // 例外や割り込みベクタと重ならないように注意はしている。
3226 #define T_SYSCALL     64     // システムコール
3227 #define T_DEFAULT     500    // キャッチオール
3228
3229 #define T_IRQ0        32     // IRQ 0 はInt T_IRQに相当する
3230
3231 #define IRQ_TIMER      0
3232 #define IRQ_KBD        1
3233 #define IRQ_COM1       4
3234 #define IRQ_IDE        14
3235 #define IRQ_ERROR      19
3236 #define IRQ_SPURIOUS   31
3237
3238
3239
3240
3241
3242
3243
3244
3245
3246
3247
3248
3249

```

```

3250 #!/usr/bin/perl -w
3251
3252 # トラップと割り込みのエントリポイントであるvectors.Sを生成する。
3253 # 割り込み番号ごとに1つエントリポイントがなければならない。
3254 # そうでないと、trap()が割り込み番号を知る方法がない
3255 # からである。
3256
3257 print "# generated by vectors.pl - do not edit\n";
3258 print "# handlers\n";
3259 print ".globl alltraps\n";
3260 for(my $i = 0; $i < 256; $i++){
3261     print ".globl vector$i\n";
3262     print "vector$i:\n";
3263     if(!($i == 8 || ($i >= 10 && $i <= 14) || $i == 17)){
3264         print "    pushl $0\n";
3265     }
3266     print "    pushl $$i\n";
3267     print "    jmp alltraps\n";
3268 }
3269
3270 print "\n# vector table\n";
3271 print ".data\n";
3272 print ".globl vectors\n";
3273 print "vectors:\n";
3274 for(my $i = 0; $i < 256; $i++){
3275     print "    .long vector$i\n";
3276 }
3277
3278 # 出力例:
3279 # # ハンドラ
3280 # .globl alltraps
3281 # .globl vector0
3282 # vector0:
3283 #     pushl $0
3284 #     pushl $0
3285 #     jmp alltraps
3286 # ...
3287 #
3288 # # ベクタテーブル
3289 # .data
3290 # .globl vectors
3291 # vectors:
3292 #     .long vector0
3293 #     .long vector1
3294 #     .long vector2
3295 # ...
3296
3297
3298
3299

```

```

3300 #include "mmu.h"
3301
3302 # vectors.S はすべてのトラップをここに送信する。
3303 .globl alltraps
3304 alltraps:
3305 # トラップフレームを構築する。
3306 pushl %ds
3307 pushl %es
3308 pushl %fs
3309 pushl %gs
3310 pushal
3311
3312 # データセグメントを設定する。
3313 movw $(SEG_KDATA<<3), %ax
3314 movw %ax, %ds
3315 movw %ax, %es
3316
3317 # trap(tf)を呼び出す。ここで、tf=%esp
3318 pushl %esp
3319 call trap
3320 addl $4, %esp
3321
3322 # 復帰はtrapretへ向けられる...
3323 .globl trapret
3324 trapret:
3325 popal
3326 popl %gs
3327 popl %fs
3328 popl %es
3329 popl %ds
3330 addl $0x8, %esp # トラップ番号とエラーコード
3331 iret
3332
3333
3334
3335
3336
3337
3338
3339
3340
3341
3342
3343
3344
3345
3346
3347
3348
3349

```

```

3350 #include "types.h"
3351 #include "defs.h"
3352 #include "param.h"
3353 #include "memlayout.h"
3354 #include "mmu.h"
3355 #include "proc.h"
3356 #include "x86.h"
3357 #include "traps.h"
3358 #include "spinlock.h"
3359
3360 // 割り込みディスクリプタテーブル (すべてのCPUで共有される)
3361 struct gatedesc idt[256];
3362 extern uint vectors[]; // vectors.Sで設定される: 256エントリポインタの配列
3363 struct spinlock tickslock;
3364 uint ticks;
3365
3366 void
3367 tvinit(void)
3368 {
3369     int i;
3370
3371     for(i = 0; i < 256; i++)
3372         SETGATE(idt[i], 0, SEG_KCODE<<3, vectors[i], 0);
3373     SETGATE(idt[T_SYSCALL], 1, SEG_KCODE<<3, vectors[T_SYSCALL], DPL_USER);
3374
3375     initlock(&tickslock, "time");
3376 }
3377
3378 void
3379 idtinit(void)
3380 {
3381     lidt(idt, sizeof(idt));
3382 }
3383
3384
3385
3386
3387
3388
3389
3390
3391
3392
3393
3394
3395
3396
3397
3398
3399

```



```

3400 void
3401 trap(struct trapframe *tf)
3402 {
3403     if(tf->trapno == T_SYSCALL){
3404         if(myproc()->killed)
3405             exit();
3406         myproc()->tf = tf;
3407         syscall();
3408         if(myproc()->killed)
3409             exit();
3410         return;
3411     }
3412     switch(tf->trapno){
3413     case T_IRQ0 + IRQ_TIMER:
3414         if(cpuid() == 0){
3415             acquire(&tickslock);
3416             ticks++;
3417             wakeup(&ticks);
3418             release(&tickslock);
3419         }
3420         lapiceoi();
3421         break;
3422     case T_IRQ0 + IRQ_IDE:
3423         ideintr();
3424         lapiceoi();
3425         break;
3426     case T_IRQ0 + IRQ_IDE+1:
3427         // BochsはスプリウスIDE1割り込みを生成する。
3428         break;
3429     case T_IRQ0 + IRQ_KBD:
3430         kbdintr();
3431         lapiceoi();
3432         break;
3433     case T_IRQ0 + IRQ_COM1:
3434         uartintr();
3435         lapiceoi();
3436         break;
3437     case T_IRQ0 + 7:
3438     case T_IRQ0 + IRQ_SPURIOUS:
3439         cprintf("cpu%d: spurious interrupt at %x:%x\n",
3440             cpuid(), tf->cs, tf->eip);
3441         lapiceoi();
3442         break;
3443     }
3444 }
3445
3446
3447
3448
3449

```

```

3450 default:
3451     if(myproc() == 0 || (tf->cs&3) == 0){
3452         // カーネルだったら、何か問題があったに違いない。
3453         cprintf("unexpected trap %d from cpu %d eip %x (cr2=0x%x)\n",
3454             tf->trapno, cpuid(), tf->eip, rcr2());
3455         panic("trap");
3456     }
3457     // ユーザ空間だったら、プロセスが不正を行ったとみなす。
3458     cprintf("pid %d %s: trap %d err %d on cpu %d "
3459         "eip 0x%x addr 0x%x--kill proc\n",
3460         myproc()->pid, myproc()->name, tf->trapno,
3461         tf->err, cpuid(), tf->eip, rcr2());
3462     myproc()->killed = 1;
3463 }
3464
3465 // プロセスがkillされていて、ユーザ空間に合ったらプロセスを
3466 // 終了させる（カーネルで実行中の場合は、一般的なシステム
3467 // コールの復帰を確認するまで実行を継続させる）。
3468 if(myproc() && myproc()->killed && (tf->cs&3) == DPL_USER)
3469     exit();
3470
3471 // クロックティックではCPUを放棄させる。
3472 // 割り込みがロックの保持中にあった場合は、nlockをチェックする必要がある。
3473 if(myproc() && myproc()->state == RUNNING &&
3474     tf->trapno == T_IRQ0+IRQ_TIMER)
3475     yield();
3476
3477 // yield中にプロセスがkillされたか否かをチェックする。
3478 if(myproc() && myproc()->killed && (tf->cs&3) == DPL_USER)
3479     exit();
3480 }
3481
3482
3483
3484
3485
3486
3487
3488
3489
3490
3491
3492
3493
3494
3495
3496
3497
3498
3499

```

```

3500 // システムコール番号
3501 #define SYS_fork    1
3502 #define SYS_exit    2
3503 #define SYS_wait    3
3504 #define SYS_pipe    4
3505 #define SYS_read    5
3506 #define SYS_kill    6
3507 #define SYS_exec    7
3508 #define SYS_fstat   8
3509 #define SYS_chdir   9
3510 #define SYS_dup    10
3511 #define SYS_getpid  11
3512 #define SYS_sbrk   12
3513 #define SYS_sleep  13
3514 #define SYS_uptime 14
3515 #define SYS_open   15
3516 #define SYS_write  16
3517 #define SYS_mknod  17
3518 #define SYS_unlink 18
3519 #define SYS_link   19
3520 #define SYS_mkdir  20
3521 #define SYS_close  21
3522
3523
3524
3525
3526
3527
3528
3529
3530
3531
3532
3533
3534
3535
3536
3537
3538
3539
3540
3541
3542
3543
3544
3545
3546
3547
3548
3549

```

```

3550 #include "types.h"
3551 #include "defs.h"
3552 #include "param.h"
3553 #include "memlayout.h"
3554 #include "mmu.h"
3555 #include "proc.h"
3556 #include "x86.h"
3557 #include "syscall.h"
3558
3559 // ユーザコードは INT_T_SYSCALL でシステムコールを行う。
3560 // システムコール番号は %eax に置かれる。
3561 // スタックに積まれた引数は、ユーザコールからCライブラリの
3562 // システムコール関数に渡される。保存されるユーザ%espは、保存されるプログラム
3563 // カウンタを指しており、次が最初の引数である（最後の引数からスタックに積まれる）。
3564
3565 // カレントプロセスからaddrにあるintを取り出す。
3566 int
3567 fetchint(uint addr, int *ip)
3568 {
3569     struct proc *curproc = myproc();
3570
3571     if(addr >= curproc->sz || addr+4 > curproc->sz)
3572         return -1;
3573     *ip = *(int*)(addr);
3574     return 0;
3575 }
3576
3577 // カレントプロセスからaddrにあるヌル終端文字列を取り出す。
3578 // 実際には文字列はコピーしない。*ppがそれを指し示すように設定するだけである。
3579 // 文字列の長さ（ヌルを含まない）を返す。
3580 int
3581 fetchstr(uint addr, char **pp)
3582 {
3583     char *s, *ep;
3584     struct proc *curproc = myproc();
3585
3586     if(addr >= curproc->sz)
3587         return -1;
3588     *pp = (char*)addr;
3589     ep = (char*)curproc->sz;
3590     for(s = *pp; s < ep; s++){
3591         if(*s == 0)
3592             return s - *pp;
3593     }
3594     return -1;
3595 }
3596
3597
3598
3599

```

```

3600 // n番目の32ビットシステムコール引数を取り出す。
3601 int
3602 argint(int n, int *ip)
3603 {
3604     return fetchint((myproc()->tf->esp) + 4 + 4*n, ip);
3605 }
3606
3607 // n番目のワードサイズ(32bit)のシステムコール引数をsizeバイトのメモリブロックを指し示す
3608 // ポインタとして取り出す。ポインタがプロセスのアドレス空間に
3609 // あるかチェックする。
3610 int
3611 argptr(int n, char **pp, int size)
3612 {
3613     int i;
3614     struct proc *curproc = myproc();
3615
3616     if(argint(n, &i) < 0)
3617         return -1;
3618     if(size < 0 || (uint)i >= curproc->sz || (uint)i+size > curproc->sz)
3619         return -1;
3620     *pp = (char*)i;
3621     return 0;
3622 }
3623
3624 // n番目のワードサイズのシステムコール引数を文字列ポインタとして取り出す。
3625 // ポインタが有効かつ文字列がヌル終端であることをチェックする。
3626 // (共有の書き込み可能メモリがないので、このチェックのために
3627 // カーネルが使用する文字列を変更できない)
3628 int
3629 argstr(int n, char **pp)
3630 {
3631     int addr;
3632     if(argint(n, &addr) < 0)
3633         return -1;
3634     return fetchstr(addr, pp);
3635 }
3636
3637
3638
3639
3640
3641
3642
3643
3644
3645
3646
3647
3648
3649

```

```

3650 extern int sys_chdir(void);
3651 extern int sys_close(void);
3652 extern int sys_dup(void);
3653 extern int sys_exec(void);
3654 extern int sys_exit(void);
3655 extern int sys_fork(void);
3656 extern int sys_fstat(void);
3657 extern int sys_getpid(void);
3658 extern int sys_kill(void);
3659 extern int sys_link(void);
3660 extern int sys_mkdir(void);
3661 extern int sys_mknod(void);
3662 extern int sys_open(void);
3663 extern int sys_pipe(void);
3664 extern int sys_read(void);
3665 extern int sys_sbrk(void);
3666 extern int sys_sleep(void);
3667 extern int sys_unlink(void);
3668 extern int sys_wait(void);
3669 extern int sys_write(void);
3670 extern int sys_uptime(void);
3671
3672 static int (*syscalls[])(void) = {
3673     [SYS_fork]    sys_fork,
3674     [SYS_exit]    sys_exit,
3675     [SYS_wait]    sys_wait,
3676     [SYS_pipe]    sys_pipe,
3677     [SYS_read]    sys_read,
3678     [SYS_kill]    sys_kill,
3679     [SYS_exec]    sys_exec,
3680     [SYS_fstat]   sys_fstat,
3681     [SYS_chdir]   sys_chdir,
3682     [SYS_dup]     sys_dup,
3683     [SYS_getpid]  sys_getpid,
3684     [SYS_sbrk]    sys_sbrk,
3685     [SYS_sleep]   sys_sleep,
3686     [SYS_uptime]  sys_uptime,
3687     [SYS_open]    sys_open,
3688     [SYS_write]   sys_write,
3689     [SYS_mknod]   sys_mknod,
3690     [SYS_unlink]  sys_unlink,
3691     [SYS_link]    sys_link,
3692     [SYS_mkdir]   sys_mkdir,
3693     [SYS_close]   sys_close,
3694 };
3695
3696
3697
3698
3699

```

```

3700 void
3701 syscall(void)
3702 {
3703     int num;
3704     struct proc *curproc = myproc();
3705
3706     num = curproc->tf->eax;
3707     if(num > 0 && num < NELEM(syscalls) && syscalls[num]) {
3708         curproc->tf->eax = syscalls[num]();
3709     } else {
3710         cprintf("%d %s: unknown sys call %d\n",
3711             curproc->pid, curproc->name, num);
3712         curproc->tf->eax = -1;
3713     }
3714 }
3715
3716
3717
3718
3719
3720
3721
3722
3723
3724
3725
3726
3727
3728
3729
3730
3731
3732
3733
3734
3735
3736
3737
3738
3739
3740
3741
3742
3743
3744
3745
3746
3747
3748
3749

```

```

3750 #include "types.h"
3751 #include "x86.h"
3752 #include "defs.h"
3753 #include "date.h"
3754 #include "param.h"
3755 #include "memlayout.h"
3756 #include "mmu.h"
3757 #include "proc.h"
3758
3759 int
3760 sys_fork(void)
3761 {
3762     return fork();
3763 }
3764
3765 int
3766 sys_exit(void)
3767 {
3768     exit();
3769     return 0; // ここには来ない
3770 }
3771
3772 int
3773 sys_wait(void)
3774 {
3775     return wait();
3776 }
3777
3778 int
3779 sys_kill(void)
3780 {
3781     int pid;
3782
3783     if(argint(0, &pid) < 0)
3784         return -1;
3785     return kill(pid);
3786 }
3787
3788 int
3789 sys_getpid(void)
3790 {
3791     return myproc()->pid;
3792 }
3793
3794
3795
3796
3797
3798
3799

```

```

3800 int
3801 sys_sbrk(void)
3802 {
3803     int addr;
3804     int n;
3805
3806     if(argint(0, &n) < 0)
3807         return -1;
3808     addr = myproc()->sz;
3809     if(growproc(n) < 0)
3810         return -1;
3811     return addr;
3812 }
3813
3814 int
3815 sys_sleep(void)
3816 {
3817     int n;
3818     uint ticks0;
3819
3820     if(argint(0, &n) < 0)
3821         return -1;
3822     acquire(&tickslock);
3823     ticks0 = ticks;
3824     while(ticks - ticks0 < n){
3825         if(myproc()->killed){
3826             release(&tickslock);
3827             return -1;
3828         }
3829         sleep(&ticks, &tickslock);
3830     }
3831     release(&tickslock);
3832     return 0;
3833 }
3834
3835 // スタート以来、クロックティック割り込みが
3836 // 何回生じたかを返す。
3837 int
3838 sys_uptime(void)
3839 {
3840     uint xticks;
3841
3842     acquire(&tickslock);
3843     xticks = ticks;
3844     release(&tickslock);
3845     return xticks;
3846 }
3847
3848
3849

```

```

3850 struct buf {
3851     int flags;
3852     uint dev;
3853     uint blockno;
3854     struct sleeplock lock;
3855     uint refcnt;
3856     struct buf *prev; // LRUキャッシュリスト
3857     struct buf *next;
3858     struct buf *qnext; // ディスクキュー
3859     uchar data[BSIZE];
3860 };
3861 #define B_VALID 0x2 // バッファはディスクから読み込まれている
3862 #define B_DIRTY 0x4 // バッファをディスクに書き込む必要がある
3863
3864
3865
3866
3867
3868
3869
3870
3871
3872
3873
3874
3875
3876
3877
3878
3879
3880
3881
3882
3883
3884
3885
3886
3887
3888
3889
3890
3891
3892
3893
3894
3895
3896
3897
3898
3899

```

```
3900 // プロセス用の長期間ロック
3901 struct sleeplock {
3902     uint locked; // このロックは獲得済みか?
3903     struct spinlock lk; // このスリープロックを保護するためのスピunlock
3904
3905     // デバッグ用:
3906     char *name; // ロックの名前
3907     int pid; // ロックを獲得中のプロセス
3908 };
3909
3910
3911
3912
3913
3914
3915
3916
3917
3918
3919
3920
3921
3922
3923
3924
3925
3926
3927
3928
3929
3930
3931
3932
3933
3934
3935
3936
3937
3938
3939
3940
3941
3942
3943
3944
3945
3946
3947
3948
3949
```

```
3950 #define O_RDONLY 0x000
3951 #define O_WRONLY 0x001
3952 #define O_RDWR 0x002
3953 #define O_CREATE 0x200
3954
3955
3956
3957
3958
3959
3960
3961
3962
3963
3964
3965
3966
3967
3968
3969
3970
3971
3972
3973
3974
3975
3976
3977
3978
3979
3980
3981
3982
3983
3984
3985
3986
3987
3988
3989
3990
3991
3992
3993
3994
3995
3996
3997
3998
3999
```

```

4000 #define T_DIR 1 // ディレクトリ
4001 #define T_FILE 2 // ファイル
4002 #define T_DEV 3 // デバイス
4003
4004 struct stat {
4005     short type; // ファイルの種類
4006     int dev; // ファイルシステムのディスクデバイス
4007     uint ino; // inode番号
4008     short nlink; // ファイルへのリンク数
4009     uint size; // ファイルのサイズ (単位はバイト)
4010 };
4011
4012
4013
4014
4015
4016
4017
4018
4019
4020
4021
4022
4023
4024
4025
4026
4027
4028
4029
4030
4031
4032
4033
4034
4035
4036
4037
4038
4039
4040
4041
4042
4043
4044
4045
4046
4047
4048
4049

```

```

4050 // オンディスク・ファイルシステムフォーマット。
4051 // カーネルとユーザプログラムは共にこのヘッダファイルを使用する。
4052
4053
4054 #define ROOTINO 1 // ルートinode番号
4055 #define BSIZE 512 // ブロックサイズ
4056
4057 // ディスクレイアウト:
4058 // [ boot block | super block | log | inode blocks |
4059 //                               free bit map | data blocks]
4060 //
4061 // mkfs はスーパーブロックを計算し、初期ファイルシステムを構築する。
4062 // スーパーブロックはディスクレイアウトを記述する:
4063 struct superblock {
4064     uint size; // ファイルシステムイメージのサイズ (単位はブロック)
4065     uint nblocks; // データブロックの数
4066     uint ninodes; // inodeの数
4067     uint nlog; // ログブロックの数
4068     uint logstart; // ログブロックの最初のブロック番号
4069     uint inodestart; // inodeブロックの最初のブロック番号
4070     uint bmapstart; // 空きマップブロックの最初のブロック番号
4071 };
4072
4073 #define NDIRECT 12
4074 #define NINDIRECT (BSIZE / sizeof(uint))
4075 #define MAXFILE (NDIRECT + NINDIRECT)
4076
4077 // オンディスク inode 構造体
4078 struct dinode {
4079     short type; // ファイルのタイプ
4080     short major; // メジャーデバイス番号 (T_DEV のみ)
4081     short minor; // マイナーデバイス番号 (T_DEV のみ)
4082     short nlink; // ファイルシステムのinodeへのリンクの数
4083     uint size; // ファイルのサイズ (単位はバイト)
4084     uint addrs[NDIRECT+1]; // データブロックアドレス
4085 };
4086
4087
4088
4089
4090
4091
4092
4093
4094
4095
4096
4097
4098
4099

```

```

4100 // ブロックあたりのinode
4101 #define IPB          (BSIZE / sizeof(struct dinode))
4102
4103 // inode iを含むブロック
4104 #define IBLOCK(i, sb) ((i) / IPB + sb.inodestart)
4105
4106 // ブロックあたりのBitmapビット数
4107 #define BPB          (BSIZE*8)
4108
4109 // ブロックbのbitを含む空きマップのブロック
4110 #define BBLOCK(b, sb) (b/BPB + sb.bmapstart)
4111
4112 // ディレクトリは一連のdirent構造体を含むファイルである
4113 #define DIRSIZ 14
4114
4115 struct dirent {
4116     ushort inum;
4117     char name[DIRSIZ];
4118 };
4119
4120
4121
4122
4123
4124
4125
4126
4127
4128
4129
4130
4131
4132
4133
4134
4135
4136
4137
4138
4139
4140
4141
4142
4143
4144
4145
4146
4147
4148
4149

```

```

4150 struct file {
4151     enum { FD_NONE, FD_PIPE, FD_INODE } type;
4152     int ref; // 参照カウント
4153     char readable;
4154     char writable;
4155     struct pipe *pipe;
4156     struct inode *ip;
4157     uint off;
4158 };
4159
4160
4161 // inodeのインメモリコピー
4162 struct inode {
4163     uint dev;           // デバイス番号
4164     uint inum;          // inode番号
4165     int ref;            // 参照カウント
4166     struct sleeplock lock; // 以下のすべてを保護する
4167     int valid;          // inodeはディスクから読み込まれているか?
4168
4169     short type;         // ディスクinodeのコピー
4170     short major;
4171     short minor;
4172     short nlink;
4173     uint size;
4174     uint addrs[NDIRECT+1];
4175 };
4176
4177 // メジャーデバイス番号をデバイス関数に
4178 // マッピングするテーブル
4179 struct devsw {
4180     int (*read)(struct inode*, char*, int);
4181     int (*write)(struct inode*, char*, int);
4182 };
4183
4184 extern struct devsw devsw[];
4185
4186 #define CONSOLE 1
4187
4188
4189
4190
4191
4192
4193
4194
4195
4196
4197
4198
4199

```



```

4200 // 簡単なPIOベース (DMAではない) IDEドライバコード。
4201
4202 #include "types.h"
4203 #include "defs.h"
4204 #include "param.h"
4205 #include "memlayout.h"
4206 #include "mmu.h"
4207 #include "proc.h"
4208 #include "x86.h"
4209 #include "traps.h"
4210 #include "spinlock.h"
4211 #include "sleeplock.h"
4212 #include "fs.h"
4213 #include "buf.h"
4214
4215 #define SECTOR_SIZE 512
4216 #define IDE_BSY 0x80
4217 #define IDE_DRDY 0x40
4218 #define IDE_DF 0x20
4219 #define IDE_ERR 0x01
4220
4221 #define IDE_CMD_READ 0x20
4222 #define IDE_CMD_WRITE 0x30
4223 #define IDE_CMD_RDMDL 0xc4
4224 #define IDE_CMD_WRMDL 0xc5
4225
4226 // idequeue は現在ディスクを読み込み/書き込みしているバッファを指している。
4227 // idequeue->qnext は次に処理するバッファを指している。
4228 // キューの操作中はidelayを保持しなければならない。
4229
4230 static struct spinlock idelay;
4231 static struct buf *idequeue;
4232
4233 static int havedisk1;
4234 static void idelay(struct buf *);
4235
4236 // IDEディスクの準備が整うのを待つ。
4237 static int
4238 idelay(int checkerr)
4239 {
4240     int r;
4241
4242     while(((r = inb(0x1f7)) & (IDE_BSY|IDE_DRDY)) != IDE_DRDY)
4243         ;
4244     if(checkerr && (r & (IDE_DF|IDE_ERR)) != 0)
4245         return -1;
4246     return 0;
4247 }
4248
4249

```

```

4250 void
4251 ideinit(void)
4252 {
4253     int i;
4254
4255     initlock(&idelay, "ide");
4256     ioapicenable(IRQ_IDE, ncpu - 1);
4257     idelay(0);
4258
4259     // ディスク1が存在するかチェックする。
4260     outb(0x1f6, 0xe0 | (1<<4));
4261     for(i=0; i<1000; i++){
4262         if(inb(0x1f7) != 0){
4263             havedisk1 = 1;
4264             break;
4265         }
4266     }
4267
4268     // ディスク0に戻す。
4269     outb(0x1f6, 0xe0 | (0<<4));
4270 }
4271
4272 // bの要求を開始する。呼び出し側はidelayを保持していなければならない、
4273 static void
4274 idelay(struct buf *b)
4275 {
4276     if(b == 0)
4277         panic("idelay");
4278     if(b->blockno >= FSSIZE)
4279         panic("incorrect blockno");
4280     int sector_per_block = BSIZE/SECTOR_SIZE;
4281     int sector = b->blockno * sector_per_block;
4282     int read_cmd = (sector_per_block == 1) ? IDE_CMD_READ : IDE_CMD_RDMDL;
4283     int write_cmd = (sector_per_block == 1) ? IDE_CMD_WRITE : IDE_CMD_WRMDL;
4284
4285     if (sector_per_block > 7) panic("idelay");
4286
4287     idelay(0);
4288     outb(0x1f6, 0); // 割り込みを生成する
4289     outb(0x1f2, sector_per_block); // セクターの数
4290     outb(0x1f3, sector & 0xff);
4291     outb(0x1f4, (sector >> 8) & 0xff);
4292     outb(0x1f5, (sector >> 16) & 0xff);
4293     outb(0x1f6, 0xe0 | ((b->dev&1)<<4) | ((sector>>24)&0x0f));
4294     if(b->flags & B_DIRTY){
4295         outb(0x1f7, write_cmd);
4296         outsl(0x1f0, b->data, BSIZ/4);
4297     } else {
4298         outb(0x1f7, read_cmd);
4299     }

```

```

4300 }
4301
4302 // 割り込みハンドラ
4303 void
4304 ideintr(void)
4305 {
4306     struct buf *b;
4307
4308     // キューの先頭のバッファはアクティブリクエストである。
4309     acquire(&idelock);
4310
4311     if((b = idequeue) == 0){
4312         release(&idelock);
4313         return;
4314     }
4315     idequeue = b->qnext;
4316
4317     // 必要ならデータを読み込む。
4318     if(!(b->flags & B_DIRTY) && idewait(1) >= 0)
4319         insl(0x1f0, b->data, BSIZE/4);
4320
4321     // このバッファを待っているプロセスを起こす。
4322     b->flags |= B_VALID;
4323     b->flags &= ~B_DIRTY;
4324     wakeup(b);
4325
4326     // キューの次のバッファでディスクを起動する。
4327     if(idequeue != 0)
4328         idestart(idequeue);
4329     release(&idelock);
4330 }
4331
4332
4333
4334
4335
4336
4337
4338
4339
4340
4341
4342
4343
4344
4345
4346
4347
4348
4349

```

```

4350 // バッファとディスクを同期する。B_DIRTYがセットされていたら、バッファをディスクに書き込み、
4351 // B_DIRTYをクリアして、B_VALIDをセットする。B_DIRTYもB_VALIDもセットされていない場合は、
4352 // ディスクからバッファに読み込み、B_VALIDをセットする。
4353 void
4354 iderw(struct buf *b)
4355 {
4356     struct buf **pp;
4357
4358     if(!holdingsleep(&b->lock))
4359         panic("iderw: buf not locked");
4360     if((b->flags & (B_VALID|B_DIRTY)) == B_VALID)
4361         panic("iderw: nothing to do");
4362     if(b->dev != 0 && !havedisk1)
4363         panic("iderw: ide disk 1 not present");
4364
4365     acquire(&idelock);
4366
4367     // bをidequeueに追加する。
4368     b->qnext = 0;
4369     for(pp=&idequeue; *pp; pp=(*pp)->qnext)
4370         ;
4371     *pp = b;
4372
4373     // 必要ならディスクを起動する。
4374     if(idequeue == b)
4375         idestart(b);
4376
4377     // 要求が完了するのを待つ。
4378     while((b->flags & (B_VALID|B_DIRTY)) != B_VALID){
4379         sleep(b, &idelock);
4380     }
4381
4382     release(&idelock);
4383 }
4384
4385
4386
4387
4388
4389
4390
4391
4392
4393
4394
4395
4396
4397
4398
4399

```

```

4400 // バッファキャッシュ。
4401 //
4402 // バッファキャッシュは、ディスクブロックコンテンツのキャッシュコピーを
4403 // 保持するバッファ構造体の連結リストである。ディスクブロックをメモリにキャッシュすることは
4404 // ディスクリードの回数を減らす共に、マルチプロセスにより使用される
4405 // ディスクブロックに同期点を与える。
4406 //
4407 // インターフェース:
4408 // * 特定のディスクブロックを取得するために、breadを呼び出す。
4409 // * バッファデータをキャッシュした後、データをディスクに書き込みにはbwriteを呼び出す。
4410 // * バッファを使う作業が終わったら、brelseを呼び出す。
4411 // * brelseを呼び出した後には、バッファを使用しない。
4412 // * バッファを使用できるのは一度に1プロセスだけである。
4413 //   そのため、必要以上にバッファを保持しないこと。
4414 //
4415 // この実装では内部で次の2つの状態フラグを使用する。
4416 // * B_VALID: バッファデータはディスクから読み込まれている。
4417 // * B_DIRTY: バッファデータは変更されており、
4418 //   ディスクに書き込む必要がある。
4419
4420 #include "types.h"
4421 #include "defs.h"
4422 #include "param.h"
4423 #include "spinlock.h"
4424 #include "sleeplock.h"
4425 #include "fs.h"
4426 #include "buf.h"
4427
4428 struct {
4429   struct spinlock lock;
4430   struct buf buf[NBUF];
4431
4432   // prev/nextでたどることができる、すべてのバッファの連結リスト。
4433   // head.nextはもっとも最近使用されたバッファである。
4434   struct buf head;
4435 } bcache;
4436
4437 void
4438 binit(void)
4439 {
4440   struct buf *b;
4441
4442   initlock(&bcache.lock, "bcache");
4443
4444
4445
4446
4447
4448
4449

```

```

4450 // バッファの連結リストを作成する。
4451 bcache.head.prev = &bcache.head;
4452 bcache.head.next = &bcache.head;
4453 for(b = bcache.buf; b < bcache.buf+NBUF; b++){
4454   b->next = bcache.head.next;
4455   b->prev = &bcache.head;
4456   initsleeplock(&b->lock, "buffer");
4457   bcache.head.next->prev = b;
4458   bcache.head.next = b;
4459 }
4460
4461
4462 // バッファキャッシュを走査して、デバイスdevのブロックを探し出す。
4463 // 見つからなかった場合は、バッファを割り当てる。
4464 // どちらの場合も、ロックしたバッファを返す。
4465 static struct buf*
4466 bget(uint dev, uint blockno)
4467 {
4468   struct buf *b;
4469
4470   acquire(&bcache.lock);
4471
4472   // バッファはキャッシュ済みか?
4473   for(b = bcache.head.next; b != &bcache.head; b = b->next){
4474     if(b->dev == dev && b->blockno == blockno){
4475       b->refcnt++;
4476       release(&bcache.lock);
4477       acquiresleep(&b->lock);
4478       return b;
4479     }
4480   }
4481
4482   // キャッシュされていいない。未使用のバッファをリサイクルする。
4483   // Even if refcnt==0であっても、B_DIRTYの場合は、バッファが使用中であることを示す。
4484   // log.cがそれを変更したが、まだコミットしていないからである。
4485   for(b = bcache.head.prev; b != &bcache.head; b = b->prev){
4486     if(b->refcnt == 0 && (b->flags & B_DIRTY) == 0) {
4487       b->dev = dev;
4488       b->blockno = blockno;
4489       b->flags = 0;
4490       b->refcnt = 1;
4491       release(&bcache.lock);
4492       acquiresleep(&b->lock);
4493       return b;
4494     }
4495   }
4496   panic("bget: no buffers");
4497 }
4498
4499

```

```

4500 // 指定したブロックのコンテンツを含むバッファをロックして返す。
4501 struct buf*
4502 bread(uint dev, uint blockno)
4503 {
4504     struct buf *b;
4505
4506     b = bget(dev, blockno);
4507     if((b->flags & B_VALID) == 0) {
4508         iderw(b);
4509     }
4510     return b;
4511 }
4512
4513 // bのコンテンツをディスクに書き込む。bはロックされていなければならない。
4514 void
4515 bwrite(struct buf *b)
4516 {
4517     if(!holdingsleep(&b->lock))
4518         panic("bwrite");
4519     b->flags |= B_DIRTY;
4520     iderw(b);
4521 }
4522
4523 // ロックされたバッファを解放する。
4524 // MRUリストのヘッドを移動する。
4525 void
4526 brelse(struct buf *b)
4527 {
4528     if(!holdingsleep(&b->lock))
4529         panic("brelse");
4530
4531     releasesleep(&b->lock);
4532
4533     acquire(&bcache.lock);
4534     b->refcnt--;
4535     if (b->refcnt == 0) {
4536         // このバッファを待っているものはいない。
4537         b->next->prev = b->prev;
4538         b->prev->next = b->next;
4539         b->next = bcache.head.next;
4540         b->prev = &bcache.head;
4541         bcache.head.next->prev = b;
4542         bcache.head.next = b;
4543     }
4544
4545     release(&bcache.lock);
4546 }
4547
4548
4549

```

```

4550 // Blank page.
4551
4552
4553
4554
4555
4556
4557
4558
4559
4560
4561
4562
4563
4564
4565
4566
4567
4568
4569
4570
4571
4572
4573
4574
4575
4576
4577
4578
4579
4580
4581
4582
4583
4584
4585
4586
4587
4588
4589
4590
4591
4592
4593
4594
4595
4596
4597
4598
4599

```

```

4600 // スリープロック。
4601
4602 #include "types.h"
4603 #include "defs.h"
4604 #include "param.h"
4605 #include "x86.h"
4606 #include "memlayout.h"
4607 #include "mmu.h"
4608 #include "proc.h"
4609 #include "spinlock.h"
4610 #include "sleeplock.h"
4611
4612 void
4613 initsleeplock(struct sleeplock *lk, char *name)
4614 {
4615     initlock(&lk->lk, "sleep lock");
4616     lk->name = name;
4617     lk->locked = 0;
4618     lk->pid = 0;
4619 }
4620
4621 void
4622 acquiresleep(struct sleeplock *lk)
4623 {
4624     acquire(&lk->lk);
4625     while (lk->locked) {
4626         sleep(lk, &lk->lk);
4627     }
4628     lk->locked = 1;
4629     lk->pid = myproc()->pid;
4630     release(&lk->lk);
4631 }
4632
4633 void
4634 releasesleep(struct sleeplock *lk)
4635 {
4636     acquire(&lk->lk);
4637     lk->locked = 0;
4638     lk->pid = 0;
4639     wakeup(lk);
4640     release(&lk->lk);
4641 }
4642
4643
4644
4645
4646
4647
4648
4649

```

```

4650 int
4651 holdingsleep(struct sleeplock *lk)
4652 {
4653     int r;
4654
4655     acquire(&lk->lk);
4656     r = lk->locked;
4657     release(&lk->lk);
4658     return r;
4659 }
4660
4661
4662
4663
4664
4665
4666
4667
4668
4669
4670
4671
4672
4673
4674
4675
4676
4677
4678
4679
4680
4681
4682
4683
4684
4685
4686
4687
4688
4689
4690
4691
4692
4693
4694
4695
4696
4697
4698
4699

```

```

4700 #include "types.h"
4701 #include "defs.h"
4702 #include "param.h"
4703 #include "spinlock.h"
4704 #include "sleeplock.h"
4705 #include "fs.h"
4706 #include "buf.h"
4707
4708 // 並列のFSシステムコールを可能にするシンプルなロギング。
4709 //
4710 // ログトランザクションは複数のFSシステムコールの更新を含んでいる。
4711 // ロギングシステムはアクティブなFSシステムコールが存在しない場合にのみ
4712 // コミットを行う。したがって、コミットしていないシステムコールの
4713 // 更新をコミットがディスクに書き込む可能性があるかを
4714 // 考える必要はまったくない
4715 //
4716 // システムコールはその開始と終了を知らせるためにbegin_op()/end_op()を
4717 // 呼び出さなければならない。通常、begin_op()は実行中のFSシステムコールの
4718 // カウントをインクリメントしただけで復帰する。
4719 // しかし、ログが枯渇してクローズされると思われる場合、begin_op()は
4720 // 最後の未処理のend_op()がコミットされるまでスリープする。
4721 //
4722 // ログはディスクブロックを含む物理的なre-doログである。
4723 // オンディスクログフォーマットは次の通り：
4724 // ヘッダブロック、ブロックA, B, C...のブロック番号を含む
4725 //   ブロックA
4726 //   ブロックB
4727 //   ブロックC
4728 //   ...
4729 // ログの追加は同期的に行われる
4730
4731 // ヘッダブロックの内容。オンディスクヘッダブロックと
4732 // コミット前のログ出力ブロック番号をメモリ上で追跡するために使用される
4733 struct logheader {
4734     int n;
4735     int block[LOGSIZE];
4736 };
4737
4738 struct log {
4739     struct spinlock lock;
4740     int start;
4741     int size;
4742     int outstanding; // FSシステムコールがいくつ実行中か
4743     int committing; // commit()中なので待つ
4744     int dev;
4745     struct logheader lh;
4746 };
4747
4748
4749

```

```

4750 struct log log;
4751
4752 static void recover_from_log(void);
4753 static void commit();
4754
4755 void
4756 initlog(int dev)
4757 {
4758     if (sizeof(struct logheader) >= BSIZE)
4759         panic("initlog: too big logheader");
4760
4761     struct superblock sb;
4762     initlock(&log.lock, "log");
4763     readsb(dev, &sb);
4764     log.start = sb.logstart;
4765     log.size = sb.nlog;
4766     log.dev = dev;
4767     recover_from_log();
4768 }
4769
4770 // コミットしたブロックをログからその本来の場所にコピーする。
4771 static void
4772 install_trans(void)
4773 {
4774     int tail;
4775
4776     for (tail = 0; tail < log.lh.n; tail++) {
4777         struct buf *lbuf = bread(log.dev, log.start+tail+1); // ログブロックを読み込む
4778         struct buf *dbuf = bread(log.dev, log.lh.block[tail]); // dstを読み込む
4779         memmove(dbuf->data, lbuf->data, BSIZE); // ブロックをdstにコピーする
4780         bwrite(dbuf); // dstからディスクに書き込む
4781         brelse(lbuf);
4782         brelse(dbuf);
4783     }
4784 }
4785
4786 // ログヘッダをディスクからインメモリログヘッダに読み込む
4787 static void
4788 read_head(void)
4789 {
4790     struct buf *buf = bread(log.dev, log.start);
4791     struct logheader *lh = (struct logheader *) (buf->data);
4792     int i;
4793     log.lh.n = lh->n;
4794     for (i = 0; i < log.lh.n; i++) {
4795         log.lh.block[i] = lh->block[i];
4796     }
4797     brelse(buf);
4798 }
4799

```

```

4800 // インメモリログヘッダをディスクに書き込む。
4801 // ここで本当にカレントトランザクションが
4802 // コミットされることになる。
4803 static void
4804 write_head(void)
4805 {
4806     struct buf *buf = bread(log.dev, log.start);
4807     struct logheader *hb = (struct logheader *) (buf->data);
4808     int i;
4809     hb->n = log.lh.n;
4810     for (i = 0; i < log.lh.n; i++) {
4811         hb->block[i] = log.lh.block[i];
4812     }
4813     bwrite(buf);
4814     brelse(buf);
4815 }
4816
4817 static void
4818 recover_from_log(void)
4819 {
4820     read_head();
4821     install_trans(); // コミットされたら、ログからディスクにコピーする
4822     log.lh.n = 0;
4823     write_head(); // ログをクリア
4824 }
4825
4826 // 各FSシステムコールの最初に呼び出される。
4827 void
4828 begin_op(void)
4829 {
4830     acquire(&log.lock);
4831     while(1){
4832         if(log.committing){
4833             sleep(&log, &log.lock);
4834         } else if(log.lh.n + (log.outstanding+1)*MAXOPBLOCKS > LOGSIZE){
4835             // このオペレーションはログスペースを使い尽くす可能性がある; コミットを待つ
4836             sleep(&log, &log.lock);
4837         } else {
4838             log.outstanding += 1;
4839             release(&log.lock);
4840             break;
4841         }
4842     }
4843 }
4844
4845
4846
4847
4848
4849

```

```

4850 // 各FSシステムコールの最後に呼び出される。
4851 // これが最後の未処理の操作だった場合はコミットする。
4852 void
4853 end_op(void)
4854 {
4855     int do_commit = 0;
4856
4857     acquire(&log.lock);
4858     log.outstanding -= 1;
4859     if(log.committing)
4860         panic("log.committing");
4861     if(log.outstanding == 0){
4862         do_commit = 1;
4863         log.committing = 1;
4864     } else {
4865         // begin_op()がログスペースが空くのを待っている可能性がある。
4866         // また、log.outstandingをデクリメントしたことで予約スペースが
4867         // 減ったかもしれない。
4868         wakeup(&log);
4869     }
4870     release(&log.lock);
4871
4872     if(do_commit){
4873         // ルックを保持したままスリープすることは許されないので、
4874         // ロックを獲得せずにcommitを呼び出す。
4875         commit();
4876         acquire(&log.lock);
4877         log.committing = 0;
4878         wakeup(&log);
4879         release(&log.lock);
4880     }
4881 }
4882
4883 // 変更されたブロックをキャッシュからログにコピーする。
4884 static void
4885 write_log(void)
4886 {
4887     int tail;
4888
4889     for (tail = 0; tail < log.lh.n; tail++) {
4890         struct buf *to = bread(log.dev, log.start+tail+1); // ログブロック
4891         struct buf *from = bread(log.dev, log.lh.block[tail]); // キャッシュブロック
4892         memmove(to->data, from->data, BSIZE);
4893         bwrite(to); // ログを書き込む
4894         brelse(from);
4895         brelse(to);
4896     }
4897 }
4898
4899

```

```

4900 static void
4901 commit()
4902 {
4903     if (log.lh.n > 0) {
4904         write_log(); // 変更されたブロックをキャッシュからログに書き込む
4905         write_head(); // ヘッダをディスクに書き込む -- 本当のコミット
4906         install_trans(); // 書き込み内容を本来の場所にコピーする
4907         log.lh.n = 0;
4908         write_head(); // トランザクションをログから消去するE
4909     }
4910 }
4911
4912 // 呼び出し側でb->dataを変更した。それは、バッファ上で行われている。
4913 // ブロック番号を記録して、キャッシュのB_DIRTYフラグをたてる。
4914 // commit()/write_log()がディスクへの書き込みを行う。
4915 //
4916 // log_write()はbwrite()を置き換える; 通常の使用法は次の通り:
4917 //   bp = bread(...)
4918 //   modify bp->data[]
4919 //   log_write(bp)
4920 //   brelse(bp)
4921 void
4922 log_write(struct buf *b)
4923 {
4924     int i;
4925
4926     if (log.lh.n >= LOGSIZE || log.lh.n >= log.size - 1)
4927         panic("too big a transaction");
4928     if (log.outstanding < 1)
4929         panic("log_write outside of trans");
4930
4931     acquire(&log.lock);
4932     for (i = 0; i < log.lh.n; i++) {
4933         if (log.lh.block[i] == b->blockno) // ログ統合
4934             break;
4935     }
4936     log.lh.block[i] = b->blockno;
4937     if (i == log.lh.n)
4938         log.lh.n++;
4939     b->flags |= B_DIRTY; // 追い立てを防ぐ
4940     release(&log.lock);
4941 }
4942
4943
4944
4945
4946
4947
4948
4949

```

```

4950 // ファイルシステムの実装. 5つの層:
4951 //   + ブロック: 生のディスクブロックのアロケータ
4952 //   + ログ: 複数ステップによる更新のクラッシュリカバリ
4953 //   + ファイル: inodeアロケータ、読み、書き、メタデータ
4954 //   + ディレクトリ: 特別なコンテンツ (他のinodeのリスト) を持つinode
4955 //   + 名前: 便利な命名方法としての /usr/rtn/xv6/fs.c のようなパス
4956 //
4957 // このファイルは低レベルのファイルシステム操作ルーチンを含んでいる。
4958 // (高レベルの) システムコールの実装はsysfile.cにある。
4959
4960 #include "types.h"
4961 #include "defs.h"
4962 #include "param.h"
4963 #include "stat.h"
4964 #include "mmu.h"
4965 #include "proc.h"
4966 #include "spinlock.h"
4967 #include "sleeplock.h"
4968 #include "fs.h"
4969 #include "buf.h"
4970 #include "file.h"
4971
4972 #define min(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))
4973 static void itrunc(struct inode*);
4974 // ディスクデバイスごとに1つスーパーブロックが必要であるが、このOSで使えるデバイスは
4975 // 1つだけ。
4976 struct superblock sb;
4977
4978 // スーパーブロックを読み込む
4979 void
4980 readsb(int dev, struct superblock *sb)
4981 {
4982     struct buf *bp;
4983
4984     bp = bread(dev, 1);
4985     memmove(sb, bp->data, sizeof(*sb));
4986     brelse(bp);
4987 }
4988
4989
4990
4991
4992
4993
4994
4995
4996
4997
4998
4999

```



```

5000 // ブロックを0クリア
5001 static void
5002 bzero(int dev, int bno)
5003 {
5004     struct buf *bp;
5005
5006     bp = bread(dev, bno);
5007     memset(bp->data, 0, BSIZE);
5008     log_write(bp);
5009     brelse(bp);
5010 }
5011
5012 // ブロック
5013
5014 // ディスクブロックを割り当てて0クリア
5015 static uint
5016 balloc(uint dev)
5017 {
5018     int b, bi, m;
5019     struct buf *bp;
5020
5021     bp = 0;
5022     for(b = 0; b < sb.size; b += BPB){
5023         bp = bread(dev, BBLOCK(b, sb));
5024         for(bi = 0; bi < BPB && b + bi < sb.size; bi++){
5025             m = 1 << (bi % 8);
5026             if((bp->data[bi/8] & m) == 0){ // ブロックは空き?
5027                 bp->data[bi/8] |= m; // ブロックに使用中のマークを付ける。
5028                 log_write(bp);
5029                 brelse(bp);
5030                 bzero(dev, b + bi);
5031                 return b + bi;
5032             }
5033         }
5034         brelse(bp);
5035     }
5036     panic("balloc: out of blocks");
5037 }
5038
5039
5040
5041
5042
5043
5044
5045
5046
5047
5048
5049

```

```

5050 // ディスクブロックを解放する
5051 static void
5052 bfree(int dev, uint b)
5053 {
5054     struct buf *bp;
5055     int bi, m;
5056
5057     readsb(dev, &sb);
5058     bp = bread(dev, BBLOCK(b, sb));
5059     bi = b % BPB;
5060     m = 1 << (bi % 8);
5061     if((bp->data[bi/8] & m) == 0)
5062         panic("freeing free block");
5063     bp->data[bi/8] &= ~m;
5064     log_write(bp);
5065     brelse(bp);
5066 }
5067
5068 // Inode.
5069 //
5070 // inodeは名前のない1つのファイルを記述する。
5071 // inodeディスク構造体はメタデータ(ファイル種別、
5072 // サイズ、自身を参照しているリンクの数、ファイルコンテンツを保持している
5073 // ブロックのリスト)を保持する。
5074 //
5075 // inodeはディスク上にsb.startinodeから連続的に配置されている。
5076 // 各inodeはディスク上の位置を示す番号を
5077 // 持っている。
5078 //
5079 // カーネルは使用中のinodeのキャッシュをメモリ上に保持しており、
5080 // これにより複数プロセスの使用によるinodeへの同期的アクセスを
5081 // 実現している。キャッシュされたinodeには、ディスクには保管されない
5082 // 記帳情報(book-keeping information): ip->refとip->valid
5083 // が含まれている。
5084 //
5085 // inodeとそのインメモリコピーは、他のファイルシステムコードで
5086 // 使用可能になるまでに、次のように状態が変遷する。
5087 //
5088 // * Allocation(割当): inodeはその(ディスク上の)種別が0でない場合、
5089 //   割当が行われる。
5090 //   ialloc()が割当を行い、参照とリンクカウントが0になった場合に
5091 //   iput()が解放する。
5092 //
5093 // * Referencing in cache(キャッシュ内で参照中): inodeキャッシュのエントリは
5094 //   ip->refが0になると解放される。そうでない場合、ip->refは
5095 //   そのエントリ(オープンファイルとカレントディレクトリ)への
5096 //   インメモリポインタの数を監視する。
5097 //   iget()は、キャッシュエントリの検出または作成を行い、
5098 //   そのrefをインクリメントする。iput()はrefをデクリメントする。
5099 //

```

```

5100 // * Valid(有効): inodeキャッシュエントリの情報(種別、サイズ、&c)は
5101 //   ip->validが1の時にのみ、正しいものである。
5102 //   ilock()はinodeをディスクから読み込み、ip->validをセットする。
5103 //   iput()はip->refが0になった時に、ip->validをクリアする。
5104 //
5105 // * Locked(ロック): ファイルシステムコードは、まずinodeをロックした
5106 //   場合にのみ、icode内の情報やそのコンテンツを調べたり、変更したり
5107 //   することができる。
5108 //
5109 //   したがって、典型的なコードの流れは次のようになる:
5110 //   ip = iget(dev, inum)
5111 //   ilock(ip)
5112 //   ... ip->xxxのチェックと変更 ...
5113 //   iunlock(ip)
5114 //   iput(ip)
5115 //
5116 //   ilock()とiget()から分離されているため、システムコールはinodeへの長期参照を得る
5117 //   ( ファイルのオープンなど ) ことができ、一方、( read()のように ) 短期間のみ
5118 //   inodeをロックすることもできる。
5119 //   この分離はパス名検索の際のデッドロックや競合の防止にも役立っている。
5120 //   iget()はip->refをインクリメントので、
5121 //   inodeはキャッシュに留まり、inodeを指すポイントが引き続き有効と
5122 //   なる。
5123 //
5124 //   内部ファイルシステム関数の多くは、使用するinodeが呼び出し側(caller)で
5125 //   ロックされていることを想定している。これは呼び出し側が複数ステップの
5126 //   アトミック操作を作成するよう仕向けるためである。
5127 //
5128 //   icache.lockスピンロックはicacheエントリの割当を保護する。
5129 //   ip->refはエントリが空いているか否かを、ip->devとip->inumは
5130 //   エントリがどのinodeを保持しているかを示すので、これらのフィールドの
5131 //   いずれかを使用する際は、icache.lockを保持する必要がある。
5132 //
5133 //   ip->lockスリープロックは、ip->のref, dev, inum以外のすべての
5134 //   フィールドを保護する。inodeのip->valid, ip->size, ip->type
5135 //   などの読み書きをするには、ip->lockを保持する必要がある。
5136
5137 struct {
5138   struct spinlock lock;
5139   struct inode inode[NINODE];
5140 } icache;
5141
5142 void
5143 init(int dev)
5144 {
5145   int i = 0;
5146
5147   initlock(&icache.lock, "icache");
5148   for(i = 0; i < NINODE; i++) {
5149     initsleeplock(&icache.inode[i].lock, "inode");

```

```

5150   }
5151
5152   readsb(dev, &sb);
5153   cprintf("sb: size %d nblocks %d ninodes %d nlog %d logstart %d\
5154   inodestart %d bmap start %d\n", sb.size, sb.nblocks,
5155         sb.ninodes, sb.nlog, sb.logstart, sb.inodestart,
5156         sb.bmapstart);
5157 }
5158
5159 static struct inode* iget(uint dev, uint inum);
5160
5161
5162
5163
5164
5165
5166
5167
5168
5169
5170
5171
5172
5173
5174
5175
5176
5177
5178
5179
5180
5181
5182
5183
5184
5185
5186
5187
5188
5189
5190
5191
5192
5193
5194
5195
5196
5197
5198
5199

```

```

5200 // デバイス devにinodeを割り当てる。
5201 // 指定されたタイプ typeのinodeであるとマーク付ける。
5202 // ロックされていない、割り当て済みで参照済みのinodeを返す。
5203 struct inode*
5204 ialloc(uint dev, short type)
5205 {
5206     int inum;
5207     struct buf *bp;
5208     struct dinode *dip;
5209
5210     for(inum = 1; inum < sb.ninodes; inum++){
5211         bp = bread(dev, IBLOCK(inum, sb));
5212         dip = (struct dinode*)bp->data + inum%IPB;
5213         if(dip->type == 0){ // a free inode
5214             memset(dip, 0, sizeof(*dip));
5215             dip->type = type;
5216             log_write(bp); // デスクに割り当て済みであるとマーク付ける
5217             brelse(bp);
5218             return iget(dev, inum);
5219         }
5220         brelse(bp);
5221     }
5222     panic("ialloc: no inodes");
5223 }
5224
5225 // 変更したインメモリinodeをディスクにコピーする。
5226 // inodeキャッシュはライトスルーなので、ディスクに存在するinodeの
5227 // ip->xxxのフィールドを変更する度によびだされなければならない。
5228 // 呼び出し側はip->lockを保持しなければならない。
5229 void
5230 iupdate(struct inode *ip)
5231 {
5232     struct buf *bp;
5233     struct dinode *dip;
5234
5235     bp = bread(ip->dev, IBLOCK(ip->inum, sb));
5236     dip = (struct dinode*)bp->data + ip->inum%IPB;
5237     dip->type = ip->type;
5238     dip->major = ip->major;
5239     dip->minor = ip->minor;
5240     dip->nlink = ip->nlink;
5241     dip->size = ip->size;
5242     memmove(dip->addrs, ip->addrs, sizeof(ip->addrs));
5243     log_write(bp);
5244     brelse(bp);
5245 }
5246
5247
5248
5249

```

```

5250 // デバイス devでinode番号 inumを持つinodeを探し、
5251 // そのインメモリコピーを返す。inodeはロックせず、
5252 // ディスクから読み込みもしない。
5253 static struct inode*
5254 iget(uint dev, uint inum)
5255 {
5256     struct inode *ip, *empty;
5257
5258     acquire(&icache.lock);
5259
5260     // 対象のinodeはすでにキャッシュされているか?
5261     empty = 0;
5262     for(ip = &icache.inode[0]; ip < &icache.inode[NINODE]; ip++){
5263         if(ip->ref > 0 && ip->dev == dev && ip->inum == inum){
5264             ip->ref++;
5265             release(&icache.lock);
5266             return ip;
5267         }
5268         if(empty == 0 && ip->ref == 0) // 空のスロットを記憶する
5269             empty = ip;
5270     }
5271
5272     // inodeキャッシュエントリをリサイクルする
5273     if(empty == 0)
5274         panic("iget: no inodes");
5275
5276     ip = empty;
5277     ip->dev = dev;
5278     ip->inum = inum;
5279     ip->ref = 1;
5280     ip->valid = 0;
5281     release(&icache.lock);
5282
5283     return ip;
5284 }
5285
5286 // ipの参照カウントをインクリメントする。
5287 // イディオム ip = idup(ip1) を使えるように、ipを返す。
5288 struct inode*
5289 idup(struct inode *ip)
5290 {
5291     acquire(&icache.lock);
5292     ip->ref++;
5293     release(&icache.lock);
5294     return ip;
5295 }
5296
5297
5298
5299

```

```

5300 // 指定されたinodeをロックする。
5301 // 必要であれば、ディスクからinodeを読み込む。
5302 void
5303 ilock(struct inode *ip)
5304 {
5305     struct buf *bp;
5306     struct dinode *dip;
5307
5308     if(ip == 0 || ip->ref < 1)
5309         panic("ilock");
5310
5311     acquiresleep(&ip->lock);
5312
5313     if(ip->valid == 0){
5314         bp = bread(ip->dev, IBLOCK(ip->inum, sb));
5315         dip = (struct dinode*)bp->data + ip->inum%IPB;
5316         ip->type = dip->type;
5317         ip->major = dip->major;
5318         ip->minor = dip->minor;
5319         ip->nlink = dip->nlink;
5320         ip->size = dip->size;
5321         memmove(ip->addrs, dip->addrs, sizeof(ip->addrs));
5322         brelse(bp);
5323         ip->valid = 1;
5324         if(ip->type == 0)
5325             panic("ilock: no type");
5326     }
5327 }
5328
5329 // 指定されたinodeのロックを外す
5330 void
5331 iunlock(struct inode *ip)
5332 {
5333     if(ip == 0 || !holdingsleep(&ip->lock) || ip->ref < 1)
5334         panic("iunlock");
5335
5336     releasesleep(&ip->lock);
5337 }
5338
5339
5340
5341
5342
5343
5344
5345
5346
5347
5348
5349

```

```

5350 // インメモリinodeへの参照をデクリメントする。
5351 // それが最後の参照だった場合は、inodeキャッシュエントリが
5352 // リサイクル可能になる。
5353 // それが最後の参照で、それへのリンクがない場合は、ディスク上のinode（とその
5354 // コンテンツ）を解放する。
5355 // inodeを解放する必要がある場合に備えて、iput()の呼び出しはすべて
5356 // トランザクションの内側で行われなければならない。
5357 void
5358 iput(struct inode *ip)
5359 {
5360     acquiresleep(&ip->lock);
5361     if(ip->valid && ip->nlink == 0){
5362         acquire(&icache.lock);
5363         int r = ip->ref;
5364         release(&icache.lock);
5365         if(r == 1){
5366             // inodeはリンクがなく、他に参照もない：切り詰めて解放する
5367             itrunc(ip);
5368             ip->type = 0;
5369             iupdate(ip);
5370             ip->valid = 0;
5371         }
5372     }
5373     releasesleep(&ip->lock);
5374
5375     acquire(&icache.lock);
5376     ip->ref--;
5377     release(&icache.lock);
5378 }
5379
5380 // 一般的なイディオム：unlockしてputする
5381 void
5382 iunlockput(struct inode *ip)
5383 {
5384     iunlock(ip);
5385     iput(ip);
5386 }
5387
5388
5389
5390
5391
5392
5393
5394
5395
5396
5397
5398
5399

```

```

5400 // inodeのコンテンツ
5401 //
5402 // 各inodeに関係するコンテンツ（データ）はディスクのブロックに
5403 // 格納される。最初のNDIRECT個のブロック番号は
5404 // ip->addrs[]に記録される。次のNINDIRECTこのブロックは
5405 // ip->addrs[NDIRECT]のブロックに記録される。
5406
5407 // inode ipのn番目のブロックのディスクブロックアドレスを返す。
5408 // そのようなブロックが存在しない場合、bmapはブロックを割り当てる。
5409 static uint
5410 bmap(struct inode *ip, uint bn)
5411 {
5412     uint addr, *a;
5413     struct buf *bp;
5414
5415     if(bn < NDIRECT){
5416         if((addr = ip->addrs[bn]) == 0)
5417             ip->addrs[bn] = addr = balloc(ip->dev);
5418         return addr;
5419     }
5420     bn -= NDIRECT;
5421
5422     if(bn < NINDIRECT){
5423         // 間接ブロックを、必要なら割り当てて、ロードする。
5424         if((addr = ip->addrs[NDIRECT]) == 0)
5425             ip->addrs[NDIRECT] = addr = balloc(ip->dev);
5426         bp = bread(ip->dev, addr);
5427         a = (uint*)bp->data;
5428         if((addr = a[bn]) == 0){
5429             a[bn] = addr = balloc(ip->dev);
5430             log_write(bp);
5431         }
5432         brelse(bp);
5433         return addr;
5434     }
5435
5436     panic("bmap: out of range");
5437 }
5438
5439
5440
5441
5442
5443
5444
5445
5446
5447
5448
5449

```

```

5450 // inodeを切り詰める（コンテンツを破棄する）。
5451 // そのinodeへのリンクがなく（参照するディレクトリ
5452 // エントリがない）、かつ、そのinodeへのインメモリ参照が
5453 // ない（オープンされたファイルでないか、カレントディレクトリ
5454 // でない）場合にのみ呼び出される
5455 static void
5456 itrunc(struct inode *ip)
5457 {
5458     int i, j;
5459     struct buf *bp;
5460     uint *a;
5461
5462     for(i = 0; i < NDIRECT; i++){
5463         if(ip->addrs[i]){
5464             bfree(ip->dev, ip->addrs[i]);
5465             ip->addrs[i] = 0;
5466         }
5467     }
5468
5469     if(ip->addrs[NDIRECT]){
5470         bp = bread(ip->dev, ip->addrs[NDIRECT]);
5471         a = (uint*)bp->data;
5472         for(j = 0; j < NINDIRECT; j++){
5473             if(a[j])
5474                 bfree(ip->dev, a[j]);
5475         }
5476         brelse(bp);
5477         bfree(ip->dev, ip->addrs[NDIRECT]);
5478         ip->addrs[NDIRECT] = 0;
5479     }
5480
5481     ip->size = 0;
5482     iupdate(ip);
5483 }
5484
5485 // inodeからstat情報をコピーする。
5486 // 呼び出し側でip->lockを保持しなければならない。
5487 void
5488 stati(struct inode *ip, struct stat *st)
5489 {
5490     st->dev = ip->dev;
5491     st->ino = ip->inum;
5492     st->type = ip->type;
5493     st->nlink = ip->nlink;
5494     st->size = ip->size;
5495 }
5496
5497
5498
5499

```

```

5500 // inodeからデータを読み込む。
5501 // 呼び出し側でip->lockを保持しなければならない。
5502 int
5503 readi(struct inode *ip, char *dst, uint off, uint n)
5504 {
5505     uint tot, m;
5506     struct buf *bp;
5507
5508     if(ip->type == T_DEV){
5509         if(ip->major < 0 || ip->major >= NDEV || !devsw[ip->major].read)
5510             return -1;
5511         return devsw[ip->major].read(ip, dst, n);
5512     }
5513
5514     if(off > ip->size || off + n < off)
5515         return -1;
5516     if(off + n > ip->size)
5517         n = ip->size - off;
5518
5519     for(tot=0; tot<n; tot+=m, off+=m, dst+=m){
5520         bp = bread(ip->dev, bmap(ip, off/BSIZE));
5521         m = min(n - tot, BSIZE - off%BSIZE);
5522         memmove(dst, bp->data + off%BSIZE, m);
5523         brelse(bp);
5524     }
5525     return n;
5526 }
5527
5528
5529
5530
5531
5532
5533
5534
5535
5536
5537
5538
5539
5540
5541
5542
5543
5544
5545
5546
5547
5548
5549

```

```

5550 // データをinodeに書き込む。
5551 // 呼び出し側でip->lockを保持しなければならない。
5552 int
5553 writei(struct inode *ip, char *src, uint off, uint n)
5554 {
5555     uint tot, m;
5556     struct buf *bp;
5557
5558     if(ip->type == T_DEV){
5559         if(ip->major < 0 || ip->major >= NDEV || !devsw[ip->major].write)
5560             return -1;
5561         return devsw[ip->major].write(ip, src, n);
5562     }
5563
5564     if(off > ip->size || off + n < off)
5565         return -1;
5566     if(off + n > MAXFILE*BSIZE)
5567         return -1;
5568
5569     for(tot=0; tot<n; tot+=m, off+=m, src+=m){
5570         bp = bread(ip->dev, bmap(ip, off/BSIZE));
5571         m = min(n - tot, BSIZE - off%BSIZE);
5572         memmove(bp->data + off%BSIZE, src, m);
5573         log_write(bp);
5574         brelse(bp);
5575     }
5576
5577     if(n > 0 && off > ip->size){
5578         ip->size = off;
5579         iupdate(ip);
5580     }
5581     return n;
5582 }
5583
5584
5585
5586
5587
5588
5589
5590
5591
5592
5593
5594
5595
5596
5597
5598
5599

```

```

5600 // ディレクトリ
5601
5602 int
5603 namecmp(const char *s, const char *t)
5604 {
5605     return strncmp(s, t, DIRSIZ);
5606 }
5607
5608 // ディレクトリ中のディレクトリエントリを検索する。
5609 // 見つかった場合、エントリのバイトオフセットを *poff に設定する。
5610 struct inode*
5611 dirlookup(struct inode *dp, char *name, uint *poff)
5612 {
5613     uint off, inum;
5614     struct dirent de;
5615
5616     if(dp->type != T_DIR)          // dpがディレクトリでない場合はエラー
5617         panic("dirlookup not DIR");
5618
5619     for(off = 0; off < dp->size; off += sizeof(de)){
5620         if(readi(dp, (char*)&de, off, sizeof(de)) != sizeof(de))
5621             panic("dirlookup read");
5622         if(de.inum == 0)
5623             continue;
5624         if(namecmp(name, de.name) == 0){
5625             // エントリがパス要素に一致
5626             if(poff)
5627                 *poff = off;
5628             inum = de.inum;
5629             return iget(dp->dev, inum);
5630         }
5631     }
5632
5633     return 0;
5634 }
5635
5636
5637
5638
5639
5640
5641
5642
5643
5644
5645
5646
5647
5648
5649

```

```

5650 // 新しいディレクトリエントリ (名前、inum) をディレクトリdpに書き込む。
5651 int
5652 dirlink(struct inode *dp, char *name, uint inum)
5653 {
5654     int off;
5655     struct dirent de;
5656     struct inode *ip;
5657
5658     // 名前が存在しないかチェックする。
5659     if((ip = dirlookup(dp, name, 0)) != 0){
5660         iput(ip);
5661         return -1;
5662     }
5663
5664     // 空のdirentを探す。
5665     for(off = 0; off < dp->size; off += sizeof(de)){
5666         if(readi(dp, (char*)&de, off, sizeof(de)) != sizeof(de))
5667             panic("dirlink read");
5668         if(de.inum == 0)
5669             break;
5670     }
5671
5672     strncpy(de.name, name, DIRSIZ);
5673     de.inum = inum;
5674     if(writei(dp, (char*)&de, off, sizeof(de)) != sizeof(de))
5675         panic("dirlink");
5676
5677     return 0;
5678 }
5679
5680
5681
5682
5683
5684
5685
5686
5687
5688
5689
5690
5691
5692
5693
5694
5695
5696
5697
5698
5699

```

```

5700 // パス
5701
5702 // pathから次のパス要素をnameにコピーする。
5703 // コピーした要素の次の要素へのポインタを返す。
5704 // 呼び出し側がnameが最終要素であるか否かを *path=='\0' で
5705 // チェックできるように、返されるパスには先頭にスラッシュを付けない。
5706 // 取り除く名前がなかった場合は、0 を返す。
5707 //
5708 // 例:
5709 // skipelen("a/bb/c", name) = "bb/c", setting name = "a"
5710 // skipelen("///a//bb", name) = "bb", setting name = "a"
5711 // skipelen("a", name) = "", setting name = "a"
5712 // skipelen("", name) = skipelen("////", name) = 0
5713 //
5714 static char*
5715 skipelen(char *path, char *name)
5716 {
5717     char *s;
5718     int len;
5719
5720     while(*path == '/')
5721         path++;
5722     if(*path == 0)
5723         return 0;
5724     s = path;
5725     while(*path != '/' && *path != 0)
5726         path++;
5727     len = path - s;
5728     if(len >= DIRSIZ)
5729         memmove(name, s, DIRSIZ);
5730     else {
5731         memmove(name, s, len);
5732         name[len] = 0;
5733     }
5734     while(*path == '/')
5735         path++;
5736     return path;
5737 }
5738
5739
5740
5741
5742
5743
5744
5745
5746
5747
5748
5749

```

```

5750 // パス名を検索して、そのinodeを返す
5751 // nameiparent != 0の場合は、親のinodeを返し、最終パス要素をnameにコピーする。
5752 // nameはDIRSIZ(14)バイトが確保されていなければならない。
5753 // iput()を呼び出すので、トランザクションの内側で呼び出す必要がある。
5754 static struct inode*
5755 namex(char *path, int nameiparent, char *name)
5756 {
5757     struct inode *ip, *next;
5758
5759     if(*path == '/')
5760         ip = iget(ROOTDEV, ROOTINO);
5761     else
5762         ip = idup(myproc()->cwd);
5763
5764     while((path = skipelen(path, name)) != 0){
5765         ilock(ip);
5766         if(ip->type != T_DIR){
5767             iunlockput(ip);
5768             return 0;
5769         }
5770         if(nameiparent && *path == '\0'){
5771             // 1レベル前で処理を停止
5772             iunlock(ip);
5773             return ip;
5774         }
5775         if((next = dirlookup(ip, name, 0)) == 0){
5776             iunlockput(ip);
5777             return 0;
5778         }
5779         iunlockput(ip);
5780         ip = next;
5781     }
5782     if(nameiparent){
5783         iput(ip);
5784         return 0;
5785     }
5786     return ip;
5787 }
5788
5789 struct inode*
5790 namei(char *path)
5791 {
5792     char name[DIRSIZ];
5793     return namex(path, 0, name);
5794 }
5795
5796
5797
5798
5799

```



```
5800 struct inode*
5801 nameiparent(char *path, char *name)
5802 {
5803     return namex(path, 1, name);
5804 }
5805
5806
5807
5808
5809
5810
5811
5812
5813
5814
5815
5816
5817
5818
5819
5820
5821
5822
5823
5824
5825
5826
5827
5828
5829
5830
5831
5832
5833
5834
5835
5836
5837
5838
5839
5840
5841
5842
5843
5844
5845
5846
5847
5848
5849
```

```
5850 //
5851 // ファイル記述子
5852 //
5853
5854 #include "types.h"
5855 #include "defs.h"
5856 #include "param.h"
5857 #include "fs.h"
5858 #include "spinlock.h"
5859 #include "sleeplock.h"
5860 #include "file.h"
5861
5862 struct devsw devsw[NDEV];
5863 struct {
5864     struct spinlock lock;
5865     struct file file[NFILE];
5866 } ftable;
5867
5868 void
5869 fileinit(void)
5870 {
5871     initlock(&ftable.lock, "ftable");
5872 }
5873
5874 // ファイル構造体を割り当てる。
5875 struct file*
5876 filealloc(void)
5877 {
5878     struct file *f;
5879
5880     acquire(&ftable.lock);
5881     for(f = ftable.file; f < ftable.file + NFILE; f++){
5882         if(f->ref == 0){
5883             f->ref = 1;
5884             release(&ftable.lock);
5885             return f;
5886         }
5887     }
5888     release(&ftable.lock);
5889     return 0;
5890 }
5891
5892
5893
5894
5895
5896
5897
5898
5899
```

```

5900 // ファイル f の参照カウントをインクリメントする。
5901 struct file*
5902 filedup(struct file *f)
5903 {
5904     acquire(&ftable.lock);
5905     if(f->ref < 1)
5906         panic("filedup");
5907     f->ref++;
5908     release(&ftable.lock);
5909     return f;
5910 }
5911
5912 // ファイル f を閉じる ( 参照カウントをデクリメントして、0になったら閉じる )。
5913 void
5914 fileclose(struct file *f)
5915 {
5916     struct file ff;
5917
5918     acquire(&ftable.lock);
5919     if(f->ref < 1)
5920         panic("fileclose");
5921     if(--f->ref > 0){
5922         release(&ftable.lock);
5923         return;
5924     }
5925     ff = *f;
5926     f->ref = 0;
5927     f->type = FD_NONE;
5928     release(&ftable.lock);
5929
5930     if(ff.type == FD_PIPE)
5931         pipeclose(ff.pipe, ff.writable);
5932     else if(ff.type == FD_INODE){
5933         begin_op();
5934         iput(ff.ip);
5935         end_op();
5936     }
5937 }
5938
5939
5940
5941
5942
5943
5944
5945
5946
5947
5948
5949

```

```

5950 // ファイル f に関するメタデータを取得する。
5951 int
5952 filestat(struct file *f, struct stat *st)
5953 {
5954     if(f->type == FD_INODE){
5955         ilock(f->ip);
5956         stati(f->ip, st);
5957         iunlock(f->ip);
5958         return 0;
5959     }
5960     return -1;
5961 }
5962
5963 // ファイル f から読み込む。
5964 int
5965 fileread(struct file *f, char *addr, int n)
5966 {
5967     int r;
5968
5969     if(f->readable == 0)
5970         return -1;
5971     if(f->type == FD_PIPE)
5972         return piperead(f->pipe, addr, n);
5973     if(f->type == FD_INODE){
5974         ilock(f->ip);
5975         if((r = readi(f->ip, addr, f->off, n)) > 0)
5976             f->off += r;
5977         iunlock(f->ip);
5978         return r;
5979     }
5980     panic("fileread");
5981 }
5982
5983
5984
5985
5986
5987
5988
5989
5990
5991
5992
5993
5994
5995
5996
5997
5998
5999

```

```

6000 // ファイル f に書き込む。
6001 int
6002 filewrite(struct file *f, char *addr, int n)
6003 {
6004     int r;
6005
6006     if(f->writable == 0)
6007         return -1;
6008     if(f->type == FD_PIPE)
6009         return pipewrite(f->pipe, addr, n);
6010     if(f->type == FD_INODE){
6011         // 最大ログトランザクションサイズを超えないように
6012         // 数ブロックずつ書き込む。関係するのは、inode、間接ブロック、
6013         // 割り当てブロック、非アライン書き込みのための
6014         // 2ブロックのスロット。
6015         // writei()がコンソールなどのデバイスに書き込む場合があるので
6016         // これは本当に低速の部類に入る。
6017         int max = ((MAXOPBLOCKS-1-1-2) / 2) * 512;
6018         int i = 0;
6019         while(i < n){
6020             int n1 = n - i;
6021             if(n1 > max)
6022                 n1 = max;
6023
6024             begin_op();
6025             ilock(f->ip);
6026             if ((r = writei(f->ip, addr + i, f->off, n1)) > 0)
6027                 f->off += r;
6028             iunlock(f->ip);
6029             end_op();
6030
6031             if(r < 0)
6032                 break;
6033             if(r != n1)
6034                 panic("short filewrite");
6035             i += r;
6036         }
6037         return i == n ? n : -1;
6038     }
6039     panic("filewrite");
6040 }
6041
6042
6043
6044
6045
6046
6047
6048
6049

```

```

6050 //
6051 // ファイルシステム関連のシステムコール。
6052 // 殆どの関数で引数をチェックしている。ユーザのコードは信用していないし、
6053 // file.cとfs.cを呼び出すからである。
6054 //
6055
6056 #include "types.h"
6057 #include "defs.h"
6058 #include "param.h"
6059 #include "stat.h"
6060 #include "mmu.h"
6061 #include "proc.h"
6062 #include "fs.h"
6063 #include "spinlock.h"
6064 #include "sleeplock.h"
6065 #include "file.h"
6066 #include "fcntl.h"
6067
6068 // システムコールのN番目のワードサイズの引数をファイル記述子として取り出し、
6069 // その記述子と対応するfile構造体を返す。
6070 static int
6071 argfd(int n, int *pfd, struct file **pf)
6072 {
6073     int fd;
6074     struct file *f;
6075
6076     if(argint(n, &fd) < 0)
6077         return -1;
6078     if(fd < 0 || fd >= NOFILE || (f=myproc()->ofile[fd]) == 0)
6079         return -1;
6080     if(pfd)
6081         *pfd = fd;
6082     if(pf)
6083         *pf = f;
6084     return 0;
6085 }
6086
6087
6088
6089
6090
6091
6092
6093
6094
6095
6096
6097
6098
6099

```

```

6100 // 指定されたファイルのファイル記述子を割り当てる。
6101 // 成功した場合、呼び出し側からファイル参照を引き継ぐ。
6102 static int
6103 fdalloc(struct file *f)
6104 {
6105     int fd;
6106     struct proc *curproc = myproc();
6107
6108     for(fd = 0; fd < NOFILE; fd++){
6109         if(curproc->ofile[fd] == 0){
6110             curproc->ofile[fd] = f;
6111             return fd;
6112         }
6113     }
6114     return -1;
6115 }
6116
6117 int
6118 sys_dup(void)
6119 {
6120     struct file *f;
6121     int fd;
6122
6123     if(argfd(0, 0, &f) < 0)
6124         return -1;
6125     if((fd=fdalloc(f)) < 0)
6126         return -1;
6127     filedup(f);
6128     return fd;
6129 }
6130
6131 int
6132 sys_read(void)
6133 {
6134     struct file *f;
6135     int n;
6136     char *p;
6137
6138     if(argfd(0, 0, &f) < 0 || argint(2, &n) < 0 || argptr(1, &p, n) < 0)
6139         return -1;
6140     return fileread(f, p, n);
6141 }
6142
6143
6144
6145
6146
6147
6148
6149

```

```

6150 int
6151 sys_write(void)
6152 {
6153     struct file *f;
6154     int n;
6155     char *p;
6156
6157     if(argfd(0, 0, &f) < 0 || argint(2, &n) < 0 || argptr(1, &p, n) < 0)
6158         return -1;
6159     return filewrite(f, p, n);
6160 }
6161
6162 int
6163 sys_close(void)
6164 {
6165     int fd;
6166     struct file *f;
6167
6168     if(argfd(0, &fd, &f) < 0)
6169         return -1;
6170     myproc()->ofile[fd] = 0;
6171     fileclose(f);
6172     return 0;
6173 }
6174
6175 int
6176 sys_fstat(void)
6177 {
6178     struct file *f;
6179     struct stat *st;
6180
6181     if(argfd(0, 0, &f) < 0 || argptr(1, (void*)&st, sizeof(*st)) < 0)
6182         return -1;
6183     return filestat(f, st);
6184 }
6185
6186
6187
6188
6189
6190
6191
6192
6193
6194
6195
6196
6197
6198
6199

```

```

6200 // old と同じinodeへのリンクとして新しパスを作成する。
6201 int
6202 sys_link(void)
6203 {
6204     char name[DIRSIZ], *new, *old;
6205     struct inode *dp, *ip;
6206
6207     if(argstr(0, &old) < 0 || argstr(1, &new) < 0)
6208         return -1;
6209
6210     begin_op();
6211     if((ip = namei(old)) == 0){
6212         end_op();
6213         return -1;
6214     }
6215
6216     ilock(ip);
6217     if(ip->type == T_DIR){
6218         iunlockput(ip);
6219         end_op();
6220         return -1;
6221     }
6222
6223     ip->nlink++;
6224     iupdate(ip);
6225     iunlock(ip);
6226
6227     if((dp = nameiparent(new, name)) == 0)
6228         goto bad;
6229     ilock(dp);
6230     if(dp->dev != ip->dev || dirlink(dp, name, ip->inum) < 0){
6231         iunlockput(dp);
6232         goto bad;
6233     }
6234     iunlockput(dp);
6235     iput(ip);
6236
6237     end_op();
6238
6239     return 0;
6240
6241 bad:
6242     ilock(ip);
6243     ip->nlink--;
6244     iupdate(ip);
6245     iunlockput(ip);
6246     end_op();
6247     return -1;
6248 }
6249

```

```

6250 // ディレクトリ dp は"."と".."を除いて、空であるか?
6251 static int
6252 isdirempty(struct inode *dp)
6253 {
6254     int off;
6255     struct dirent de;
6256
6257     for(off=2*sizeof(de); off<dp->size; off+=sizeof(de)){
6258         if(readi(dp, (char*)&de, off, sizeof(de)) != sizeof(de))
6259             panic("isdirempty: readi");
6260         if(de.inum != 0)
6261             return 0;
6262     }
6263     return 1;
6264 }
6265
6266
6267
6268
6269
6270
6271
6272
6273
6274
6275
6276
6277
6278
6279
6280
6281
6282
6283
6284
6285
6286
6287
6288
6289
6290
6291
6292
6293
6294
6295
6296
6297
6298
6299

```

```

6300 int
6301 sys_unlink(void)
6302 {
6303     struct inode *ip, *dp;
6304     struct dirent de;
6305     char name[DIRSIZ], *path;
6306     uint off;
6307
6308     if(argstr(0, &path) < 0)
6309         return -1;
6310
6311     begin_op();
6312     if((dp = nameiparent(path, name)) == 0){
6313         end_op();
6314         return -1;
6315     }
6316
6317     ilock(dp);
6318
6319     // "."と"..はunlinkできない。
6320     if(namecmp(name, ".") == 0 || namecmp(name, "..") == 0)
6321         goto bad;
6322
6323     if((ip = dirlookup(dp, name, &off)) == 0)
6324         goto bad;
6325     ilock(ip);
6326
6327     if(ip->nlink < 1)
6328         panic("unlink: nlink < 1");
6329     if(ip->type == T_DIR && !isdirempty(ip)){
6330         iunlockput(ip);
6331         goto bad;
6332     }
6333
6334     memset(&de, 0, sizeof(de));
6335     if(writei(dp, (char*)&de, off, sizeof(de)) != sizeof(de))
6336         panic("unlink: write");
6337     if(ip->type == T_DIR){
6338         dp->nlink--;
6339         iupdate(dp);
6340     }
6341     iunlockput(dp);
6342
6343     ip->nlink--;
6344     iupdate(ip);
6345     iunlockput(ip);
6346
6347     end_op();
6348
6349     return 0;

```

```

6350 bad:
6351     iunlockput(dp);
6352     end_op();
6353     return -1;
6354 }
6355
6356 static struct inode*
6357 create(char *path, short type, short major, short minor)
6358 {
6359     uint off;
6360     struct inode *ip, *dp;
6361     char name[DIRSIZ];
6362
6363     if((dp = nameiparent(path, name)) == 0)
6364         return 0;
6365     ilock(dp);
6366
6367     if((ip = dirlookup(dp, name, &off)) != 0){
6368         iunlockput(dp);
6369         ilock(ip);
6370         if(type == T_FILE && ip->type == T_FILE)
6371             return ip;
6372         iunlockput(ip);
6373         return 0;
6374     }
6375
6376     if((ip = ialloc(dp->dev, type)) == 0)
6377         panic("create: ialloc");
6378
6379     ilock(ip);
6380     ip->major = major;
6381     ip->minor = minor;
6382     ip->nlink = 1;
6383     iupdate(ip);
6384
6385     if(type == T_DIR){ // "."と"..エントリを作成する
6386         dp->nlink++; // "..エントリ
6387         iupdate(dp);
6388         // "."では、循環参照カウントを避けるために、ip->nlink++をしない。
6389         if(dirlink(ip, ".", ip->inum) < 0 || dirlink(ip, "..", dp->inum) < 0)
6390             panic("create dots");
6391     }
6392
6393     if(dirlink(dp, name, ip->inum) < 0)
6394         panic("create: dirlink");
6395
6396     iunlockput(dp);
6397
6398     return ip;
6399 }

```

```

6400 int
6401 sys_open(void)
6402 {
6403     char *path;
6404     int fd, omode;
6405     struct file *f;
6406     struct inode *ip;
6407
6408     if(argstr(0, &path) < 0 || argint(1, &omode) < 0)
6409         return -1;
6410     begin_op();
6411
6412     if(omode & O_CREATE){
6413         ip = create(path, T_FILE, 0, 0);
6414         if(ip == 0){
6415             end_op();
6416             return -1;
6417         }
6418     } else {
6419         if((ip = namei(path)) == 0){
6420             end_op();
6421             return -1;
6422         }
6423     }
6424     ilock(ip);
6425     if(ip->type == T_DIR && omode != O_RDONLY){
6426         iunlockput(ip);
6427         end_op();
6428         return -1;
6429     }
6430 }
6431
6432 if((f = filealloc()) == 0 || (fd = fdalloc(f)) < 0){
6433     if(f)
6434         fileclose(f);
6435     iunlockput(ip);
6436     end_op();
6437     return -1;
6438 }
6439 iunlock(ip);
6440 end_op();
6441
6442 f->type = FD_INODE;
6443 f->ip = ip;
6444 f->off = 0;
6445 f->readable = !(omode & O_WRONLY);
6446 f->writable = (omode & O_WRONLY) || (omode & O_RDWR);
6447 return fd;
6448 }
6449

```

```

6450 int
6451 sys_mkdir(void)
6452 {
6453     char *path;
6454     struct inode *ip;
6455
6456     begin_op();
6457     if(argstr(0, &path) < 0 || (ip = create(path, T_DIR, 0, 0)) == 0){
6458         end_op();
6459         return -1;
6460     }
6461     iunlockput(ip);
6462     end_op();
6463     return 0;
6464 }
6465
6466 int
6467 sys_mknod(void)
6468 {
6469     struct inode *ip;
6470     char *path;
6471     int major, minor;
6472
6473     begin_op();
6474     if((argstr(0, &path)) < 0 ||
6475        argint(1, &major) < 0 ||
6476        argint(2, &minor) < 0 ||
6477        (ip = create(path, T_DEV, major, minor)) == 0){
6478         end_op();
6479         return -1;
6480     }
6481     iunlockput(ip);
6482     end_op();
6483     return 0;
6484 }
6485
6486
6487
6488
6489
6490
6491
6492
6493
6494
6495
6496
6497
6498
6499

```

```

6500 int
6501 sys_chdir(void)
6502 {
6503     char *path;
6504     struct inode *ip;
6505     struct proc *curproc = myproc();
6506
6507     begin_op();
6508     if(argstr(0, &path) < 0 || (ip = namei(path)) == 0){
6509         end_op();
6510         return -1;
6511     }
6512     ilock(ip);
6513     if(ip->type != T_DIR){
6514         iunlockput(ip);
6515         end_op();
6516         return -1;
6517     }
6518     iunlock(ip);
6519     iput(curproc->cwd);
6520     end_op();
6521     curproc->cwd = ip;
6522     return 0;
6523 }
6524
6525 int
6526 sys_exec(void)
6527 {
6528     char *path, *argv[MAXARG];
6529     int i;
6530     uint uargv, uarg;
6531
6532     if(argstr(0, &path) < 0 || argint(1, (int*)&uargv) < 0){
6533         return -1;
6534     }
6535     memset(argv, 0, sizeof(argv));
6536     for(i=0;; i++){
6537         if(i >= NELEM(argv))
6538             return -1;
6539         if(fetchint(uargv+4*i, (int*)&uarg) < 0)
6540             return -1;
6541         if(uarg == 0){
6542             argv[i] = 0;
6543             break;
6544         }
6545         if(fetchstr(uarg, &argv[i]) < 0)
6546             return -1;
6547     }
6548     return exec(path, argv);
6549 }

```

```

6550 int
6551 sys_pipe(void)
6552 {
6553     int *fd;
6554     struct file *rf, *wf;
6555     int fd0, fd1;
6556
6557     if(argptr(0, (void*)&fd, 2*sizeof(fd[0])) < 0)
6558         return -1;
6559     if(pipealloc(&rf, &wf) < 0)
6560         return -1;
6561     fd0 = -1;
6562     if((fd0 = fdalloc(rf)) < 0 || (fd1 = fdalloc(wf)) < 0){
6563         if(fd0 >= 0)
6564             myproc()->ofile[fd0] = 0;
6565         fileclose(rf);
6566         fileclose(wf);
6567         return -1;
6568     }
6569     fd[0] = fd0;
6570     fd[1] = fd1;
6571     return 0;
6572 }
6573
6574
6575
6576
6577
6578
6579
6580
6581
6582
6583
6584
6585
6586
6587
6588
6589
6590
6591
6592
6593
6594
6595
6596
6597
6598
6599

```



```

6600 #include "types.h"
6601 #include "param.h"
6602 #include "memlayout.h"
6603 #include "mmu.h"
6604 #include "proc.h"
6605 #include "defs.h"
6606 #include "x86.h"
6607 #include "elf.h"
6608
6609 int
6610 exec(char *path, char **argv)
6611 {
6612     char *s, *last;
6613     int i, off;
6614     uint argc, sz, sp, ustack[3+MAXARG+1];
6615     struct elfhdr elf;
6616     struct inode *ip;
6617     struct proghdr ph;
6618     pde_t *pgdir, *oldpgdir;
6619     struct proc *curproc = myproc();
6620
6621     begin_op();
6622
6623     if((ip = namei(path)) == 0){
6624         end_op();
6625         cprintf("exec: fail\n");
6626         return -1;
6627     }
6628     ilock(ip);
6629     pgdir = 0;
6630
6631     // ELFヘッダーをチェックする
6632     if(readi(ip, (char*)&elf, 0, sizeof(elf)) != sizeof(elf))
6633         goto bad;
6634     if(elf.magic != ELF_MAGIC)
6635         goto bad;
6636
6637     if((pgdir = setupvm()) == 0)
6638         goto bad;
6639
6640     // プログラムをメモリにロードする。
6641     sz = 0;
6642     for(i=0, off=elf.phoff; i<elf.phnum; i++, off+=sizeof(ph)){
6643         if(readi(ip, (char*)&ph, off, sizeof(ph)) != sizeof(ph))
6644             goto bad;
6645         if(ph.type != ELF_PROG_LOAD)
6646             continue;
6647         if(ph.memsz < ph.filesz)
6648             goto bad;
6649         if(ph.vaddr + ph.memsz < ph.vaddr)

```

```

6650         goto bad;
6651         if((sz = allocvm(pgdir, sz, ph.vaddr + ph.memsz)) == 0)
6652             goto bad;
6653         if(ph.vaddr % PGSIZE != 0)
6654             goto bad;
6655         if(loadvm(pgdir, (char*)ph.vaddr, ip, ph.off, ph.filesz) < 0)
6656             goto bad;
6657     }
6658     iunlockput(ip);
6659     end_op();
6660     ip = 0;
6661
6662     // 次のページ境界に2ページ割り当てる。
6663     // 最初のページをアクセス不可にする。2番目のページをユーザスタックとして使用する。
6664     sz = PGROUNDUP(sz);
6665     if((sz = allocvm(pgdir, sz, sz + 2*PGSIZE)) == 0)
6666         goto bad;
6667     clearpteu(pgdir, (char*)(sz - 2*PGSIZE));
6668     sp = sz;
6669
6670     // 引数文字列をプッシュし、ustackの残りの要素を用意する。
6671     for(argc = 0; argv[argc]; argc++) {
6672         if(argc >= MAXARG)
6673             goto bad;
6674         sp = (sp - (strlen(argv[argc]) + 1)) & ~3;
6675         if(copyout(pgdir, sp, argv[argc], strlen(argv[argc]) + 1) < 0)
6676             goto bad;
6677         ustack[3+argc] = sp;
6678     }
6679     ustack[3+argc] = 0;
6680
6681     ustack[0] = 0xffffffff; // フェイク復帰PC
6682     ustack[1] = argc;
6683     ustack[2] = sp - (argc+1)*4; // argvポインタ
6684
6685     sp -= (3+argc+1) * 4;
6686     if(copyout(pgdir, sp, ustack, (3+argc+1)*4) < 0)
6687         goto bad;
6688
6689     // デバッグ用にプログラム名を保存する。
6690     for(last=s=path; *s; s++)
6691         if(*s == '/')
6692             last = s+1;
6693     safestrcpy(curproc->name, last, sizeof(curproc->name));
6694
6695     // ユーザイメージにコミットする。
6696     oldpgdir = curproc->pgdir;
6697     curproc->pgdir = pgdir;
6698     curproc->sz = sz;
6699     curproc->tf->eip = elf.entry; // main

```

```

6700 curproc->tf->esp = sp;
6701 switchvm(curproc);
6702 freevm(oldpgdir);
6703 return 0;
6704
6705 bad:
6706 if(pgdir)
6707     freevm(pgdir);
6708 if(ip){
6709     iunlockput(ip);
6710     end_op();
6711 }
6712 return -1;
6713 }
6714
6715
6716
6717
6718
6719
6720
6721
6722
6723
6724
6725
6726
6727
6728
6729
6730
6731
6732
6733
6734
6735
6736
6737
6738
6739
6740
6741
6742
6743
6744
6745
6746
6747
6748
6749

```

```

6750 #include "types.h"
6751 #include "defs.h"
6752 #include "param.h"
6753 #include "mmu.h"
6754 #include "proc.h"
6755 #include "fs.h"
6756 #include "spinlock.h"
6757 #include "sleeplock.h"
6758 #include "file.h"
6759
6760 #define PIPESIZE 512
6761
6762 struct pipe {
6763     struct spinlock lock;
6764     char data[PIPESIZE];
6765     uint nread;    // 読み込まれたバイト数
6766     uint nwrite;   // 書き込まれたバイト数
6767     int readopen;  // read fdはまだオープンされている
6768     int writeopen; // write fdはまだオープンされている
6769 };
6770
6771 int
6772 pipealloc(struct file **f0, struct file **f1)
6773 {
6774     struct pipe *p;
6775
6776     p = 0;
6777     *f0 = *f1 = 0;
6778     if((*f0 = filealloc()) == 0 || (*f1 = filealloc()) == 0)
6779         goto bad;
6780     if((p = (struct pipe*)kalloc()) == 0)
6781         goto bad;
6782     p->readopen = 1;
6783     p->writeopen = 1;
6784     p->nwrite = 0;
6785     p->nread = 0;
6786     initlock(&p->lock, "pipe");
6787     (*f0)->type = FD_PIPE;
6788     (*f0)->readable = 1;
6789     (*f0)->writable = 0;
6790     (*f0)->pipe = p;
6791     (*f1)->type = FD_PIPE;
6792     (*f1)->readable = 0;
6793     (*f1)->writable = 1;
6794     (*f1)->pipe = p;
6795     return 0;
6796
6797
6798
6799

```

```

6800 bad:
6801   if(p)
6802       kfree((char*)p);
6803   if(*f0)
6804       fileclose(*f0);
6805   if(*f1)
6806       fileclose(*f1);
6807   return -1;
6808 }
6809
6810 void
6811 pipeclose(struct pipe *p, int writable)
6812 {
6813     acquire(&p->lock);
6814     if(writable){
6815         p->writeopen = 0;
6816         wakeup(&p->nread);
6817     } else {
6818         p->readopen = 0;
6819         wakeup(&p->nwrite);
6820     }
6821     if(p->readopen == 0 && p->writeopen == 0){
6822         release(&p->lock);
6823         kfree((char*)p);
6824     } else
6825         release(&p->lock);
6826 }
6827
6828
6829 int
6830 pipewrite(struct pipe *p, char *addr, int n)
6831 {
6832     int i;
6833
6834     acquire(&p->lock);
6835     for(i = 0; i < n; i++){
6836         while(p->nwrite == p->nread + PIPESIZE){
6837             if(p->readopen == 0 || myproc()->killed){
6838                 release(&p->lock);
6839                 return -1;
6840             }
6841             wakeup(&p->nread);
6842             sleep(&p->nwrite, &p->lock);
6843         }
6844         p->data[p->nwrite++ % PIPESIZE] = addr[i];
6845     }
6846     wakeup(&p->nread);
6847     release(&p->lock);
6848     return n;
6849 }

```

```

6850 int
6851 piperead(struct pipe *p, char *addr, int n)
6852 {
6853     int i;
6854
6855     acquire(&p->lock);
6856     while(p->nread == p->nwrite && p->writeopen){
6857         if(myproc()->killed){
6858             release(&p->lock);
6859             return -1;
6860         }
6861         sleep(&p->nread, &p->lock);
6862     }
6863     for(i = 0; i < n; i++){
6864         if(p->nread == p->nwrite)
6865             break;
6866         addr[i] = p->data[p->nread++ % PIPESIZE];
6867     }
6868     wakeup(&p->nwrite);
6869     release(&p->lock);
6870     return i;
6871 }
6872
6873
6874
6875
6876
6877
6878
6879
6880
6881
6882
6883
6884
6885
6886
6887
6888
6889
6890
6891
6892
6893
6894
6895
6896
6897
6898
6899

```

```

6900 #include "types.h"
6901 #include "x86.h"
6902
6903 void*
6904 memset(void *dst, int c, uint n)
6905 {
6906     if ((int)dst%4 == 0 && n%4 == 0){
6907         c &= 0xFF;
6908         stosl(dst, (c<<24)|(c<<16)|(c<<8)|c, n/4);
6909     } else
6910         stosb(dst, c, n);
6911     return dst;
6912 }
6913
6914 int
6915 memcmp(const void *v1, const void *v2, uint n)
6916 {
6917     const uchar *s1, *s2;
6918
6919     s1 = v1;
6920     s2 = v2;
6921     while(n-- > 0){
6922         if(*s1 != *s2)
6923             return *s1 - *s2;
6924         s1++, s2++;
6925     }
6926
6927     return 0;
6928 }
6929
6930 void*
6931 memmove(void *dst, const void *src, uint n)
6932 {
6933     const char *s;
6934     char *d;
6935
6936     s = src;
6937     d = dst;
6938     if(s < d && s + n > d){
6939         s += n;
6940         d += n;
6941         while(n-- > 0)
6942             *--d = *--s;
6943     } else
6944         while(n-- > 0)
6945             *d++ = *s++;
6946
6947     return dst;
6948 }
6949

```

```

6950 // memcpyはGCCをなだめるために存在する。memmoveを使用されたい。
6951 void*
6952 memcpy(void *dst, const void *src, uint n)
6953 {
6954     return memmove(dst, src, n);
6955 }
6956
6957 int
6958 strncmp(const char *p, const char *q, uint n)
6959 {
6960     while(n > 0 && *p && *p == *q)
6961         n--, p++, q++;
6962     if(n == 0)
6963         return 0;
6964     return (uchar)*p - (uchar)*q;
6965 }
6966
6967 char*
6968 strncpy(char *s, const char *t, int n)
6969 {
6970     char *os;
6971
6972     os = s;
6973     while(n-- > 0 && (*s++ = *t++) != 0)
6974         ;
6975     while(n-- > 0)
6976         *s++ = 0;
6977     return os;
6978 }
6979
6980 // strncpyと同じだが、NULL終端が保証されている。
6981 char*
6982 safestrcpy(char *s, const char *t, int n)
6983 {
6984     char *os;
6985
6986     os = s;
6987     if(n <= 0)
6988         return os;
6989     while(--n > 0 && (*s++ = *t++) != 0)
6990         ;
6991     *s = 0;
6992     return os;
6993 }
6994
6995
6996
6997
6998
6999

```

```

7000 int
7001 strlen(const char *s)
7002 {
7003     int n;
7004
7005     for(n = 0; s[n]; n++)
7006         ;
7007     return n;
7008 }
7009
7010
7011
7012
7013
7014
7015
7016
7017
7018
7019
7020
7021
7022
7023
7024
7025
7026
7027
7028
7029
7030
7031
7032
7033
7034
7035
7036
7037
7038
7039
7040
7041
7042
7043
7044
7045
7046
7047
7048
7049

```

```

7050 // マルチプロセッサ仕様書第1巻を参照 [14]
7051
7052 struct mp {           // 浮動ポインタ
7053     uchar signature[4]; // "_MP_"
7054     void *physaddr;      // MP構成テーブルの物理アドレス
7055     uchar length;        // 1
7056     uchar specrev;       // [14]
7057     uchar checksum;      // すべてのバイトの合計は0でなければならない
7058     uchar type;          // MPシステム構成種別
7059     uchar imcrp;
7060     uchar reserved[3];
7061 };
7062
7063 struct mpconf {       // 構成テーブルヘッダ
7064     uchar signature[4]; // "PCMP"
7065     ushort length;      // 総テーブル長
7066     uchar version;      // [14]
7067     uchar checksum;     // すべてのバイトの合計は0でなければならない
7068     uchar product[20];  // 製品ID
7069     uint *oemtable;     // OEM テーブルポインタ
7070     ushort oemlength;   // OEM テーブル長
7071     ushort entry;       // エントリカウント
7072     uint *lapicaddr;    // ローカルAPICのアドレス
7073     ushort xlength;     // 拡張テーブル長
7074     uchar xchecksum;    // 拡張テーブルチェックサム
7075     uchar reserved;
7076 };
7077
7078 struct mpproc {       // プロセッサテーブルエントリ
7079     uchar type;        // エントリ種別 (0)
7080     uchar apicid;      // ローカルAPIC ID
7081     uchar version;     // ローカルAPIC バージョン
7082     uchar flags;       // CPU フラグ
7083     #define MPBOOT 0x02 // このプロセッサはブートストラッププロセッサ
7084     uchar signature[4]; // CPU シグネチャ
7085     uint feature;      // CPUID命令のfeatureフラグ
7086     uchar reserved[8];
7087 };
7088
7089 struct mpioapic {     // I/O APIC テーブルエントリ
7090     uchar type;        // エントリ種別 (2)
7091     uchar apicno;      // I/O APIC ID
7092     uchar version;     // I/O APIC バージョン
7093     uchar flags;       // I/O APIC フラグ
7094     uint *addr;        // I/O APIC アドレス
7095 };
7096
7097
7098
7099

```

```
7100 // テーブルエントリ種別
7101 #define MPPROC    0x00 // プロセッサごとに1つ
7102 #define MPBUS      0x01 // バスごとに1つ
7103 #define MPIOAPIC   0x02 // I/O APICごとに1つ
7104 #define MPIOINTR   0x03 // バス割り込みソースごとに1つ
7105 #define MPLINTR    0x04 // システム割り込みソースごとに1つ
7106
7107
7108
7109
7110
7111
7112
7113
7114
7115
7116
7117
7118
7119
7120
7121
7122
7123
7124
7125
7126
7127
7128
7129
7130
7131
7132
7133
7134
7135
7136
7137
7138
7139
7140
7141
7142
7143
7144
7145
7146
7147
7148
7149
```

```
7150 // Blank page.
7151
7152
7153
7154
7155
7156
7157
7158
7159
7160
7161
7162
7163
7164
7165
7166
7167
7168
7169
7170
7171
7172
7173
7174
7175
7176
7177
7178
7179
7180
7181
7182
7183
7184
7185
7186
7187
7188
7189
7190
7191
7192
7193
7194
7195
7196
7197
7198
7199
```

```

7200 // マルチプロセッササポート
7201 // MP記述構造体をメモリ上で探索する。
7202 // http://developer.intel.com/design/pentium/datashts/24201606.pdf
7203
7204 #include "types.h"
7205 #include "defs.h"
7206 #include "param.h"
7207 #include "memlayout.h"
7208 #include "mp.h"
7209 #include "x86.h"
7210 #include "mmu.h"
7211 #include "proc.h"
7212
7213 struct cpu cpus[NCPU];
7214 int ncpu;
7215 uchar ioapicid;
7216
7217 static uchar
7218 sum(uchar *addr, int len)
7219 {
7220     int i, sum;
7221
7222     sum = 0;
7223     for(i=0; i<len; i++)
7224         sum += addr[i];
7225     return sum;
7226 }
7227
7228 // addrからlenバイト内でMP構造体を探索する。
7229 static struct mp*
7230 mpsearch1(uint a, int len)
7231 {
7232     uchar *e, *p, *addr;
7233
7234     addr = P2V(a);
7235     e = addr+len;
7236     for(p = addr; p < e; p += sizeof(struct mp))
7237         if(memcmp(p, "_MP_", 4) == 0 && sum(p, sizeof(struct mp)) == 0)
7238             return (struct mp*)p;
7239     return 0;
7240 }
7241
7242
7243
7244
7245
7246
7247
7248
7249

```

```

7250 // MP浮動ポインタ構造体を探索する。
7251 // 仕様書によれば次の3箇所のいずれかにある。
7252 // 1) EBDAの最初のKB内;
7253 // 2) システムベースメモリの最後のKB内;
7254 // 3) BIOS ROMの0xF0000から0xFFFFFの間。
7255 static struct mp*
7256 mpsearch(void)
7257 {
7258     uchar *bda;
7259     uint p;
7260     struct mp *mp;
7261
7262     bda = (uchar *) P2V(0x400);
7263     if((p = ((bda[0x0F]<<8)! bda[0x0E]) << 4)){
7264         if((mp = mpsearch1(p, 1024)))
7265             return mp;
7266     } else {
7267         p = ((bda[0x14]<<8)! bda[0x13])*1024;
7268         if((mp = mpsearch1(p-1024, 1024)))
7269             return mp;
7270     }
7271     return mpsearch1(0xF0000, 0x10000);
7272 }
7273
7274 // MP構成テーブルを探索する。さしあたり、デフォルトの
7275 // 構成 ( physaddr == 0 ) は受け付けない。
7276 // シグネチャが正しいかチェックし、チェックサムを計算する。
7277 // 正しければ、バージョンをチェックする。
7278 // TODO: 拡張テーブルチェックサムをチェックする。
7279 static struct mpconf*
7280 mpconfig(struct mp **pmp)
7281 {
7282     struct mpconf *conf;
7283     struct mp *mp;
7284
7285     if((mp = mpsearch()) == 0 || mp->physaddr == 0)
7286         return 0;
7287     conf = (struct mpconf*) P2V((uint) mp->physaddr);
7288     if(memcmp(conf, "PCMP", 4) != 0)
7289         return 0;
7290     if(conf->version != 1 && conf->version != 4)
7291         return 0;
7292     if(sum((uchar*)conf, conf->length) != 0)
7293         return 0;
7294     *pmp = mp;
7295     return conf;
7296 }
7297
7298
7299

```

```

7300 void
7301 mpinit(void)
7302 {
7303     uchar *p, *e;
7304     int ismp;
7305     struct mp *mp;
7306     struct mpconf *conf;
7307     struct mpproc *proc;
7308     struct mpioapic *ioapic;
7309
7310     if((conf = mpconfig(&mp)) == 0)
7311         panic("Expect to run on an SMP");
7312     ismp = 1;
7313     lapic = (uint*)conf->lapicaddr;
7314     for(p=(uchar*)(conf+1), e=(uchar*)conf+conf->length; p<e; ){
7315         switch(*p){
7316             case MPPROC:
7317                 proc = (struct mpproc*)p;
7318                 if(ncpu < NCPU) {
7319                     cpus[ncpu].apicid = proc->apicid; // apicid はncpuとは異なる可能性あり
7320                     ncpu++;
7321                 }
7322                 p += sizeof(struct mpproc);
7323                 continue;
7324             case MPIOAPIC:
7325                 ioapic = (struct mpioapic*)p;
7326                 ioapicid = ioapic->apicno;
7327                 p += sizeof(struct mpioapic);
7328                 continue;
7329             case MPBUS:
7330             case MPIOINTR:
7331             case MPLINTR:
7332                 p += 8;
7333                 continue;
7334             default:
7335                 ismp = 0;
7336                 break;
7337         }
7338     }
7339     if(!ismp)
7340         panic("Didn't find a suitable machine");
7341
7342     if(mp->imcrp){
7343         // BochsはIMCRをサポートしていない。そのため、Bochs上では動かない。
7344         // しかし、実際のマシン上では動くはず。
7345         outb(0x22, 0x70); // IMCRを選択
7346         outb(0x23, inb(0x23) | 1); // 外部割り込みをマスクする
7347     }
7348 }
7349

```

```

7350 // ローカルAPICは内部（非I/O）割り込みを管理する。
7351 // Intelプロセッサマニュアル第3巻の8章と付録Cを参照のこと。
7352
7353 #include "param.h"
7354 #include "types.h"
7355 #include "defs.h"
7356 #include "date.h"
7357 #include "memlayout.h"
7358 #include "traps.h"
7359 #include "mmu.h"
7360 #include "x86.h"
7361
7362 // ローカルAPICレジスタ、unit[]のインデックスとして使うために4で割っている。
7363 #define ID (0x0020/4) // ID
7364 #define VER (0x0030/4) // バージョン
7365 #define TPR (0x0080/4) // タスク優先度
7366 #define EOI (0x00B0/4) // EOI
7367 #define SVR (0x00F0/4) // スプリアス割り込みベクタ
7368 #define ENABLE (0x00000100) // ユニットイネーブル
7369 #define ESR (0x0280/4) // エラーステータス
7370 #define ICRLO (0x0300/4) // 割り込みコマンド
7371 #define INIT (0x00000500) // INIT/RESET
7372 #define STARTUP (0x00000600) // スタートアップIPI
7373 #define DELIVS (0x00001000) // デリバリスステータス
7374 #define ASSERT (0x00004000) // アサート割り込み (vs deassert)
7375 #define DEASSERT (0x00000000)
7376 #define LEVEL (0x00008000) // レベルトリガ
7377 #define BCAST (0x00080000) // 自分を含め、すべてのAPICに送信
7378 #define BUSY (0x00001000)
7379 #define FIXED (0x00000000)
7380 #define ICRHI (0x0310/4) // 割り込みコマンド [63:32]
7381 #define TIMER (0x0320/4) // ローカルベクタテーブル 0 (TIMER)
7382 #define X1 (0x0000000B) // カウントを1で割る
7383 #define PERIODIC (0x00020000) // 定期的
7384 #define PCINT (0x0340/4) // パフォーマンスカウンタLVT
7385 #define LINT0 (0x0350/4) // ローカルベクタテーブル 1 (LINT0)
7386 #define LINT1 (0x0360/4) // ローカルベクタテーブル 2 (LINT1)
7387 #define ERROR (0x0370/4) // ローカルベクタテーブル 3 (ERROR)
7388 #define MASKED (0x00010000) // 割り込みマスク
7389 #define TICC (0x0380/4) // タイマー初期カウント
7390 #define TCCR (0x0390/4) // タイマーカレントカウント
7391 #define TDCR (0x03E0/4) // タイマー除算設定
7392
7393 volatile uint *lapic; // mp.cで初期化される
7394
7395
7396
7397
7398
7399

```



```

7400 static void
7401 lapicw(int index, int value)
7402 {
7403     lapic[index] = value;
7404     lapic[ID]; // 読み込むことで、書き込みが終了するのを待機する
7405 }
7406
7407 void
7408 lapicinit(void)
7409 {
7410     if(!lapic)
7411         return;
7412
7413     // ローカルAPICを有効化; スプリアス割り込みベクタをセットする。
7414     lapicw(SVR, ENABLE | (T_IRQ0 + IRQ_SPURIOUS));
7415
7416     // タイマーはバス周波数でlapic[TICR]から繰り返しカウントダウンし、
7417     // 割り込みを発生する。
7418     // xv6がもっと正確な時間管理をしたとしたら、
7419     // TICRは外部のタイムソースを使って補正されていただろう。
7420     lapicw(TDCR, X1);
7421     lapicw(TIMER, PERIODIC | (T_IRQ0 + IRQ_TIMER));
7422     lapicw(TICR, 100000000);
7423
7424     // 論理割り込みラインを無効化。
7425     lapicw(LINT0, MASKED);
7426     lapicw(LINT1, MASKED);
7427
7428     // パフォーマンスカウンタオーバーフロー割り込みエントリを提供して
7429     // いるマシン上の当該笑い込みを無効化する。
7430     if(((lapic[VER]>>16) & 0xFF) >= 4)
7431         lapicw(PCINT, MASKED);
7432
7433     // エラー割り込みをIRQ_ERRORにマップする。
7434     lapicw(ERROR, T_IRQ0 + IRQ_ERROR);
7435
7436     // エラーステータスレジスタをクリアする (連続書き込みが必要)
7437     lapicw(ESR, 0);
7438     lapicw(ESR, 0);
7439
7440     // 未処理のすべての割り込みを付けつける。
7441     lapicw(EOI, 0);
7442
7443     // Init/Level/De-Assertを送信して、arbitration IDを同期する。
7444     lapicw(ICRHI, 0);
7445     lapicw(ICRLO, BCAST | INIT | LEVEL);
7446     while(lapic[ICRLO] & DELIVS)
7447         ;
7448
7449

```

```

7450     // APIC上 (プロセッサ上ではない) で割り込みを有効化する。
7451     lapicw(TPR, 0);
7452 }
7453
7454 int
7455 lapicid(void)
7456 {
7457     if (!lapic)
7458         return 0;
7459     return lapic[ID] >> 24;
7460 }
7461
7462 // 割り込みを確認する。
7463 void
7464 lapiceoi(void)
7465 {
7466     if(lapic)
7467         lapicw(EOI, 0);
7468 }
7469
7470 // 指定されたマイクロ秒数だけスピンする。
7471 // 実際のハードウェアではこれを動的に調整したいだろう。
7472 void
7473 microdelay(int us)
7474 {
7475 }
7476
7477 #define CMOS_PORT    0x70
7478 #define CMOS_RETURN  0x71
7479
7480 // addrにあるエントリコードを追加プロセッサで実行開始する
7481 // マルチプロセッサ仕様の付録Bを参照
7482 void
7483 lapicstartap(uchar apicid, uint addr)
7484 {
7485     int i;
7486     ushort *wrv;
7487
7488     // BSPは、[汎用スタートアップアルゴリズム]の前に、CMOSシャットダウン
7489     // コードを0AHに、warmリセットベクタ (40:67をベースとするDWORD) を
7490     // APスタートアップにコードを指すように初期化しなければならない。
7491     outb(CMOS_PORT, 0xF); // オフセット0xFはシャットダウンコード
7492     outb(CMOS_PORT+1, 0x0A);
7493     wrv = (ushort*)P2V((0x40<<4 | 0x67)); // Warmリセットベクタ
7494     wrv[0] = 0;
7495     wrv[1] = addr >> 4;
7496
7497
7498
7499

```

```

7500 // "汎用スタートアップアルゴリズム"
7501 // INIT (レベルトリガ)割り込みを送信して他のCPUをリセットする
7502 lapicw(ICRHI, apicid<<24);
7503 lapicw(ICRLO, INIT | LEVEL | ASSERT);
7504 microdelay(200);
7505 lapicw(ICRLO, INIT | LEVEL);
7506 microdelay(100); // 10msでなければならないが、Bochsは遅すぎる!
7507
7508 // スタートアップIPIを ( 2回!)送信してコードに入る。
7509 // 一般的なハードウェアは、INITによる停止中にある場合、
7510 // STARTUPしか受け付けられないと思われる。そのため、2回目は無視されるはずで
7511 // あるが、これが正式なIntelのアルゴリズムである。
7512 // Bochsは2回目の送信について文句を言う。Bochsにとっては最悪だ。
7513 for(i = 0; i < 2; i++){
7514     lapicw(ICRHI, apicid<<24);
7515     lapicw(ICRLO, STARTUP | (addr>>12));
7516     microdelay(200);
7517 }
7518 }
7519
7520 #define CMOS_STATA 0x0a
7521 #define CMOS_STATB 0x0b
7522 #define CMOS_UIP (1 << 7) // 進行中にRTCを更新
7523
7524 #define SECS 0x00
7525 #define MINS 0x02
7526 #define HOURS 0x04
7527 #define DAY 0x07
7528 #define MONTH 0x08
7529 #define YEAR 0x09
7530
7531 static uint cmos_read(uint reg)
7532 {
7533     outb(CMOS_PORT, reg);
7534     microdelay(200);
7535
7536     return inb(CMOS_RETURN);
7537 }
7538
7539 static void fill_rtcdte(struct rtcdate *r)
7540 {
7541     r->second = cmos_read(SECS);
7542     r->minute = cmos_read(MINS);
7543     r->hour = cmos_read(HOURS);
7544     r->day = cmos_read(DAY);
7545     r->month = cmos_read(MONTH);
7546     r->year = cmos_read(YEAR);
7547 }
7548
7549

```

```

7550 // qemuは24時GWTを使用し、その値はBCDエンコードされているようだ。
7551 void cmostime(struct rtcdate *r)
7552 {
7553     struct rtcdate t1, t2;
7554     int sb, bcd;
7555
7556     sb = cmos_read(CMOS_STATB);
7557
7558     bcd = (sb & (1 << 2)) == 0;
7559
7560     // 読み込み中にCMOSが時間を変更しないようにする
7561     for(;;) {
7562         fill_rtcdte(&t1);
7563         if(cmos_read(CMOS_STATA) & CMOS_UIP)
7564             continue;
7565         fill_rtcdte(&t2);
7566         if(memcmp(&t1, &t2, sizeof(t1)) == 0)
7567             break;
7568     }
7569
7570     // 変換する
7571     if(bcd) {
7572         #define CONV(x) ((t1.x >> 4) * 10) + (t1.x & 0xf)
7573         CONV(second);
7574         CONV(minute);
7575         CONV(hour);
7576         CONV(day);
7577         CONV(month);
7578         CONV(year);
7579         #undef CONV
7580     }
7581
7582     *r = t1;
7583     r->year += 2000;
7584 }
7585
7586
7587
7588
7589
7590
7591
7592
7593
7594
7595
7596
7597
7598
7599

```

```

7600 // I/O APICはSMPシステムのハードウェア割り込みを管理する。
7601 // http://www.intel.com/design/chipsets/datashts/29056601.pdf
7602 // picirq.cも参照。
7603
7604 #include "types.h"
7605 #include "defs.h"
7606 #include "traps.h"
7607
7608 #define IOAPIC 0xFEC00000 // IO APICのデフォルト物理アドレス
7609
7610 #define REG_ID 0x00 // レジスタインデックス: ID
7611 #define REG_VER 0x01 // レジスタインデックス: バージョン
7612 #define REG_TABLE 0x10 // リダイレクションテーブルベース
7613
7614 // リダイレクションテーブルはREG_TABLEから始まり、
7615 // 2つのレジスタを使って、各割り込みを構成する。
7616 // 最初の(低位)レジスタは構成ビットを持つ。
7617 // 2番めの(高位)レジスタは、どのCPUがその割り込みに対応できるかを
7618 // 示すビットマスクを持つ。
7619 #define INT_DISABLED 0x00010000 // 割り込みは禁止
7620 #define INT_LEVEL 0x00008000 // レベルトリガ (vs エッジトリガ)
7621 #define INT_ACTIVELOW 0x00002000 // アクティブロー (vs アクティブハイ)
7622 #define INT_LOGICAL 0x00000800 // 宛先はCPU id (vs APIC ID)
7623
7624 volatile struct ioapic *ioapic;
7625
7626 // IO APIC MMIO 構造体: regを書き込み、次にdataの読み込み/書き込みを行う。
7627 struct ioapic {
7628     uint reg;
7629     uint pad[3];
7630     uint data;
7631 };
7632
7633 static uint
7634 ioapicread(int reg)
7635 {
7636     ioapic->reg = reg;
7637     return ioapic->data;
7638 }
7639
7640 static void
7641 ioapicwrite(int reg, uint data)
7642 {
7643     ioapic->reg = reg;
7644     ioapic->data = data;
7645 }
7646
7647
7648
7649

```

```

7650 void
7651 ioapicinit(void)
7652 {
7653     int i, id, maxintr;
7654
7655     ioapic = (volatile struct ioapic*)IOAPIC;
7656     maxintr = (ioapicread(REG_VER) >> 16) & 0xFF;
7657     id = ioapicread(REG_ID) >> 24;
7658     if(id != ioapicid)
7659         cprintf("ioapicinit: id isn't equal to ioapicid; not a MP\n");
7660
7661     // すべての割り込みの設定を、エッジトリガ、アクティブハイ、禁止、
7662     // どのCPUにも転送しない、とする。
7663     for(i = 0; i <= maxintr; i++){
7664         ioapicwrite(REG_TABLE+2*i, INT_DISABLED | (T_IRQ0 + i));
7665         ioapicwrite(REG_TABLE+2*i+1, 0);
7666     }
7667 }
7668
7669 void
7700 ioapicenable(int irq, int cpunum)
7701 {
7702     // 割り込みの設定を、エッジトリガ、アクティブハイ、受け付ける、
7703     // 指定されたcpunumに転送する、とする。
7704     // cpunumはそのcpuのAPIC IDであることもある。
7705     ioapicwrite(REG_TABLE+2*irq, T_IRQ0 + irq);
7706     ioapicwrite(REG_TABLE+2*irq+1, cpunum << 24);
7707 }
7708
7709
7710
7711
7712
7713
7714
7715
7716
7717
7718
7719
7720
7721
7722
7723
7724
7725
7726
7727
7728
7729
7730
7731
7732
7733
7734
7735
7736
7737
7738
7739
7740
7741
7742
7743
7744
7745
7746
7747
7748
7749
7750
7751
7752
7753
7754
7755
7756
7757
7758
7759
7760
7761
7762
7763
7764
7765
7766
7767
7768
7769
7770
7771
7772
7773
7774
7775
7776
7777
7778
7779
7780
7781
7782
7783
7784
7785
7786
7787
7788
7789
7790
7791
7792
7793
7794
7795
7796
7797
7798
7799
7800
7801
7802
7803
7804
7805
7806
7807
7808
7809
7810
7811
7812
7813
7814
7815
7816
7817
7818
7819
7820
7821
7822
7823
7824
7825
7826
7827
7828
7829
7830
7831
7832
7833
7834
7835
7836
7837
7838
7839
7840
7841
7842
7843
7844
7845
7846
7847
7848
7849
7850
7851
7852
7853
7854
7855
7856
7857
7858
7859
7860
7861
7862
7863
7864
7865
7866
7867
7868
7869
7870
7871
7872
7873
7874
7875
7876
7877
7878
7879
7880
7881
7882
7883
7884
7885
7886
7887
7888
7889
7890
7891
7892
7893
7894
7895
7896
7897
7898
7899
7900
7901
7902
7903
7904
7905
7906
7907
7908
7909
7910
7911
7912
7913
7914
7915
7916
7917
7918
7919
7920
7921
7922
7923
7924
7925
7926
7927
7928
7929
7930
7931
7932
7933
7934
7935
7936
7937
7938
7939
7940
7941
7942
7943
7944
7945
7946
7947
7948
7949
7950
7951
7952
7953
7954
7955
7956
7957
7958
7959
7960
7961
7962
7963
7964
7965
7966
7967
7968
7969
7970
7971
7972
7973
7974
7975
7976
7977
7978
7979
7980
7981
7982
7983
7984
7985
7986
7987
7988
7989
7990
7991
7992
7993
7994
7995
7996
7997
7998
7999
8000

```

```

7700 // PCキーボードインターフェース関連の定数
7701
7702 #define KBSTATP      0x64    // キーボードコントローラステータスポート(I)
7703 #define KBS_DIB      0x01    // バッファのキーボードデータ
7704 #define KBDATAP      0x60    // キーボードデータポート(I)
7705
7706 #define NO            0
7707
7708 #define SHIFT         (1<<0)
7709 #define CTL           (1<<1)
7710 #define ALT           (1<<2)
7711
7712 #define CAPSLOCK      (1<<3)
7713 #define NUMLOCK       (1<<4)
7714 #define SCROLLLOCK    (1<<5)
7715
7716 #define E0ESC         (1<<6)
7717
7718 // 特別なキーコード
7719 #define KEY_HOME      0xE0
7720 #define KEY_END       0xE1
7721 #define KEY_UP        0xE2
7722 #define KEY_DN        0xE3
7723 #define KEY_LF        0xE4
7724 #define KEY_RT        0xE5
7725 #define KEY_PGUP      0xE6
7726 #define KEY_PGDN      0xE7
7727 #define KEY_INS       0xE8
7728 #define KEY_DEL       0xE9
7729
7730 // C('A') == Control-A
7731 #define C(x) (x - '@')
7732
7733 static uchar shiftcode[256] =
7734 {
7735     [0x1D] CTL,
7736     [0x2A] SHIFT,
7737     [0x36] SHIFT,
7738     [0x38] ALT,
7739     [0x9D] CTL,
7740     [0xB8] ALT
7741 };
7742
7743 static uchar togglecode[256] =
7744 {
7745     [0x3A] CAPSLOCK,
7746     [0x45] NUMLOCK,
7747     [0x46] SCROLLLOCK
7748 };
7749

```

```

7750 static uchar normalmap[256] =
7751 {
7752     NO,    0x1B, '1', '2', '3', '4', '5', '6', // 0x00
7753     '7', '8', '9', '0', '-', '=', '\b', '\t',
7754     'q', 'w', 'e', 'r', 't', 'y', 'u', 'i', // 0x10
7755     'o', 'p', '[', ']', '\n', NO, 'a', 's',
7756     'd', 'f', 'g', 'h', 'j', 'k', 'l', ';', // 0x20
7757     '\'', ',', NO, '\\', 'z', 'x', 'c', 'v',
7758     'b', 'n', 'm', ',', '.', '/', NO, '*', // 0x30
7759     NO, ' ', NO, NO, NO, NO, NO, NO,
7760     NO, NO, NO, NO, NO, NO, NO, '7', // 0x40
7761     '8', '9', '-', '4', '5', '6', '+', '1',
7762     '2', '3', '0', '.', NO, NO, NO, NO, // 0x50
7763     [0x9C] '\n', // KP_Enter
7764     [0xB5] '/', // KP_Div
7765     [0xC8] KEY_UP, [0xD0] KEY_DN,
7766     [0xC9] KEY_PGUP, [0xD1] KEY_PGDN,
7767     [0xCB] KEY_LF, [0xCD] KEY_RT,
7768     [0x97] KEY_HOME, [0xCF] KEY_END,
7769     [0xD2] KEY_INS, [0xD3] KEY_DEL
7770 };
7771
7772 static uchar shiftmap[256] =
7773 {
7774     NO,    033, '!', '@', '#', '$', '%', '^', // 0x00
7775     '&', '*', '(', ')', '_', '+', '\b', '\t',
7776     'Q', 'W', 'E', 'R', 'T', 'Y', 'U', 'I', // 0x10
7777     'O', 'P', '[', ']', '\n', NO, 'A', 'S',
7778     'D', 'F', 'G', 'H', 'J', 'K', 'L', ';', // 0x20
7779     "'", ' ', NO, '\\', 'Z', 'X', 'C', 'V',
7780     'B', 'N', 'M', '<', '>', '?', NO, '*', // 0x30
7781     NO, ' ', NO, NO, NO, NO, NO, NO,
7782     NO, NO, NO, NO, NO, NO, NO, '7', // 0x40
7783     '8', '9', '-', '4', '5', '6', '+', '1',
7784     '2', '3', '0', '.', NO, NO, NO, NO, // 0x50
7785     [0x9C] '\n', // KP_Enter
7786     [0xB5] '/', // KP_Div
7787     [0xC8] KEY_UP, [0xD0] KEY_DN,
7788     [0xC9] KEY_PGUP, [0xD1] KEY_PGDN,
7789     [0xCB] KEY_LF, [0xCD] KEY_RT,
7790     [0x97] KEY_HOME, [0xCF] KEY_END,
7791     [0xD2] KEY_INS, [0xD3] KEY_DEL
7792 };
7793
7794
7795
7796
7797
7798
7799

```

```

7800 static uchar ctlmap[256] =
7801 {
7802     NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,
7803     NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,      NO,
7804     C('Q'),  C('W'),  C('E'),  C('R'),  C('T'),  C('Y'),  C('U'),  C('I'),
7805     C('O'),  C('P'),  NO,      NO,      '\r',  NO,      C('A'),  C('S'),
7806     C('D'),  C('F'),  C('G'),  C('H'),  C('J'),  C('K'),  C('L'),  NO,
7807     NO,      NO,      NO,      C('\'), C('Z'), C('X'), C('C'), C('V'),
7808     C('B'),  C('N'),  C('M'),  NO,      NO,      C('/'), NO,      NO,
7809     [0x9C] '\r',    // KP_Enter
7810     [0xB5] C('/'),  // KP_Div
7811     [0xC8] KEY_UP,  [0xD0] KEY_DN,
7812     [0xC9] KEY_PGUP, [0xD1] KEY_PGDN,
7813     [0xCB] KEY_LF,   [0xCD] KEY_RT,
7814     [0x97] KEY_HOME, [0xCF] KEY_END,
7815     [0xD2] KEY_INS,  [0xD3] KEY_DEL
7816 };
7817
7818
7819
7820
7821
7822
7823
7824
7825
7826
7827
7828
7829
7830
7831
7832
7833
7834
7835
7836
7837
7838
7839
7840
7841
7842
7843
7844
7845
7846
7847
7848
7849

```

```

7850 #include "types.h"
7851 #include "x86.h"
7852 #include "defs.h"
7853 #include "kbd.h"
7854
7855 int
7856 kbdgetc(void)
7857 {
7858     static uint shift;
7859     static uchar *charcode[4] = {
7860         normalmap, shiftmap, ctlmap, ctlmap
7861     };
7862     uint st, data, c;
7863
7864     st = inb(KBSTATP);
7865     if((st & KBS_DIB) == 0)
7866         return -1;
7867     data = inb(KBDATAP);
7868
7869     if(data == 0xE0){
7870         shift |= E0ESC;
7871         return 0;
7872     } else if(data & 0x80){
7873         // キーが離された
7874         data = (shift & E0ESC ? data : data & 0x7F);
7875         shift &= ~(shiftcode[data] | E0ESC);
7876         return 0;
7877     } else if(shift & E0ESC){
7878         // 最後の文字が E0 escape だった; または、0x80と共に押された
7879         data |= 0x80;
7880         shift &= ~E0ESC;
7881     }
7882
7883     shift |= shiftcode[data];
7884     shift ^= togglecode[data];
7885     c = charcode[shift & (CTL | SHIFT)][data];
7886     if(shift & CAPSLOCK){
7887         if('a' <= c && c <= 'z')
7888             c += 'A' - 'a';
7889         else if('A' <= c && c <= 'Z')
7890             c += 'a' - 'A';
7891     }
7892     return c;
7893 }
7894
7895 void
7896 kbdintr(void)
7897 {
7898     consoleintr(kbdgetc);
7899 }

```

```

7900 // コンソール入出力。
7901 // 入力キーボードまたはシリアルポートから。
7902 // 出力はスクリーンとシリアルポートに書き込まれる。
7903
7904 #include "types.h"
7905 #include "defs.h"
7906 #include "param.h"
7907 #include "traps.h"
7908 #include "spinlock.h"
7909 #include "sleeplock.h"
7910 #include "fs.h"
7911 #include "file.h"
7912 #include "memlayout.h"
7913 #include "mmu.h"
7914 #include "proc.h"
7915 #include "x86.h"
7916
7917 static void consputc(int);
7918
7919 static int panicked = 0;
7920
7921 static struct {
7922   struct spinlock lock;
7923   int locking;
7924 } cons;
7925
7926 static void
7927 printint(int xx, int base, int sign)
7928 {
7929   static char digits[] = "0123456789abcdef";
7930   char buf[16];
7931   int i;
7932   uint x;
7933
7934   if(sign && (sign = xx < 0))
7935     x = -xx;
7936   else
7937     x = xx;
7938
7939   i = 0;
7940   do{
7941     buf[i++] = digits[x % base];
7942   }while((x /= base) != 0);
7943
7944   if(sign)
7945     buf[i++] = '-';
7946
7947   while(--i >= 0)
7948     consputc(buf[i]);
7949 }

```

```

7950
7951
7952
7953
7954
7955
7956
7957
7958
7959
7960
7961
7962
7963
7964
7965
7966
7967
7968
7969
7970
7971
7972
7973
7974
7975
7976
7977
7978
7979
7980
7981
7982
7983
7984
7985
7986
7987
7988
7989
7990
7991
7992
7993
7994
7995
7996
7997
7998
7999

```

```

8000 // コンソールにプリントする。%d, %x, %pのみ理解する。
8001 void
8002 cprintf(char *fmt, ...)
8003 {
8004     int i, c, locking;
8005     uint *argp;
8006     char *s;
8007
8008     locking = cons.locking;
8009     if(locking)
8010         acquire(&cons.lock);
8011
8012     if (fmt == 0)
8013         panic("null fmt");
8014
8015     argp = (uint*)(void*)&fmt + 1;
8016     for(i = 0; (c = fmt[i] & 0xff) != 0; i++){
8017         if(c != '%'){
8018             consputc(c);
8019             continue;
8020         }
8021         c = fmt[++i] & 0xff;
8022         if(c == 0)
8023             break;
8024         switch(c){
8025             case 'd':
8026                 printint(*argp++, 10, 1);
8027                 break;
8028             case 'x':
8029             case 'p':
8030                 printint(*argp++, 16, 0);
8031                 break;
8032             case 's':
8033                 if((s = (char*)*argp++) == 0)
8034                     s = "(null)";
8035                 for(; *s; s++)
8036                     consputc(*s);
8037                 break;
8038             case '%':
8039                 consputc('%');
8040                 break;
8041             default:
8042                 // 注意を引くために、未知の%シーケンスをプリントする。
8043                 consputc('%');
8044                 consputc(c);
8045                 break;
8046         }
8047     }
8048 }
8049

```

```

8050     if(locking)
8051         release(&cons.lock);
8052 }
8053
8054 void
8055 panic(char *s)
8056 {
8057     int i;
8058     uint pcs[10];
8059
8060     cli();
8061     cons.locking = 0;
8062     // mycpu()からpanicを呼べるように、lapiccpunumを使用する。
8063     cprintf("lapicid %d: panic: ", lapicid());
8064     cprintf(s);
8065     cprintf("\n");
8066     getcallerpcs(&s, pcs);
8067     for(i=0; i<10; i++)
8068         cprintf(" %p", pcs[i]);
8069     panicked = 1; // 他のCPUをフリーズさせる。
8070     for(;;)
8071         ;
8072 }
8073
8074
8075
8076
8077
8078
8079
8080
8081
8082
8083
8084
8085
8086
8087
8088
8089
8090
8091
8092
8093
8094
8095
8096
8097
8098
8099

```

```

8100 #define BACKSPACE 0x100
8101 #define CRTPORT 0x3d4
8102 static ushort *crt = (ushort*)P2V(0xb8000); // CGAメモリ
8103
8104 static void
8105 cgaputc(int c)
8106 {
8107     int pos;
8108
8109     // カーソル位置: col + 80*row.
8110     outb(CRTPORT, 14);
8111     pos = inb(CRTPORT+1) << 8;
8112     outb(CRTPORT, 15);
8113     pos |= inb(CRTPORT+1);
8114
8115     if(c == '\n')
8116         pos += 80 - pos%80;
8117     else if(c == BACKSPACE){
8118         if(pos > 0) --pos;
8119     } else
8120         crt[pos++] = (c&0xff) | 0x0700; // 白地に黒
8121
8122     if(pos < 0 || pos > 25*80)
8123         panic("pos under/overflow");
8124
8125     if((pos/80) >= 24){ // スクロールアップ。
8126         memmove(crt, crt+80, sizeof(crt[0])*23*80);
8127         pos -= 80;
8128         memset(crt+pos, 0, sizeof(crt[0])*(24*80 - pos));
8129     }
8130
8131     outb(CRTPORT, 14);
8132     outb(CRTPORT+1, pos>>8);
8133     outb(CRTPORT, 15);
8134     outb(CRTPORT+1, pos);
8135     crt[pos] = ' ' | 0x0700;
8136 }
8137
8138
8139
8140
8141
8142
8143
8144
8145
8146
8147
8148
8149

```

```

8150 void
8151 consputc(int c)
8152 {
8153     if(panicked){
8154         cli();
8155         for(;;)
8156             ;
8157     }
8158
8159     if(c == BACKSPACE){
8160         uartputc('\b'); uartputc(' '); uartputc('\b');
8161     } else
8162         uartputc(c);
8163     cgaputc(c);
8164 }
8165
8166 #define INPUT_BUF 128
8167 struct {
8168     char buf[INPUT_BUF];
8169     uint r; // 読み込みインデックス
8170     uint w; // 書き込みインデックス
8171     uint e; // 編集インデックス
8172 } input;
8173
8174 #define C(x) ((x)-'@') // Control-x
8175
8176 void
8177 consoleintr(int (*getc)(void))
8178 {
8179     int c, doprocdump = 0;
8180
8181     acquire(&cons.lock);
8182     while((c = getc()) >= 0){
8183         switch(c){
8184             case C('P'): // プロセス一覧を表示する。
8185                 // procdump() はcons.lockを間接的にロックする; 後で呼び出す。
8186                 doprocdump = 1;
8187                 break;
8188             case C('U'): // 1行削除。
8189                 while(input.e != input.w &&
8190                     input.buf[(input.e-1) % INPUT_BUF] != '\n'){
8191                     input.e--;
8192                     consputc(BACKSPACE);
8193                 }
8194                 break;
8195             case C('H'): case '\x7f': // バックスペース
8196                 if(input.e != input.w){
8197                     input.e--;
8198                     consputc(BACKSPACE);
8199                 }

```



```

8200     break;
8201     default:
8202         if(c != 0 && input.e-input.r < INPUT_BUF){
8203             c = (c == '\r') ? '\n' : c;
8204             input.buf[input.e++ % INPUT_BUF] = c;
8205             consputc(c);
8206             if(c == '\n' || c == C('D') || input.e == input.r+INPUT_BUF){
8207                 input.w = input.e;
8208                 wakeup(&input.r);
8209             }
8210         }
8211         break;
8212     }
8213 }
8214 release(&cons.lock);
8215 if(doprocdump) {
8216     procdump(); // ここでprocdump()を呼び出す。cons.lockが保持される。
8217 }
8218 }
8219
8220 int
8221 consoleread(struct inode *ip, char *dst, int n)
8222 {
8223     uint target;
8224     int c;
8225
8226     iunlock(ip);
8227     target = n;
8228     acquire(&cons.lock);
8229     while(n > 0){
8230         while(input.r == input.w){
8231             if(myproc()->killed){
8232                 release(&cons.lock);
8233                 ilock(ip);
8234                 return -1;
8235             }
8236             sleep(&input.r, &cons.lock);
8237         }
8238         c = input.buf[input.r++ % INPUT_BUF];
8239         if(c == C('D')){ // EOF
8240             if(n < target){
8241                 // 次回、呼び出し側が0バイトの結果を得られるように、
8242                 // ^D を保存する。
8243                 input.r--;
8244             }
8245             break;
8246         }
8247         *dst++ = c;
8248         --n;
8249         if(c == '\n')

```

```

8250     break;
8251 }
8252 release(&cons.lock);
8253 ilock(ip);
8254
8255 return target - n;
8256 }
8257
8258 int
8259 consolewrite(struct inode *ip, char *buf, int n)
8260 {
8261     int i;
8262
8263     iunlock(ip);
8264     acquire(&cons.lock);
8265     for(i = 0; i < n; i++)
8266         consputc(buf[i] & 0xff);
8267     release(&cons.lock);
8268     ilock(ip);
8269
8270     return n;
8271 }
8272
8273 void
8274 consoleinit(void)
8275 {
8276     initlock(&cons.lock, "console");
8277
8278     devsw[CONSOLE].write = consolewrite;
8279     devsw[CONSOLE].read = consoleread;
8280     cons.locking = 1;
8281
8282     ioapicenable(IRQ_KBD, 0);
8283 }
8284
8285
8286
8287
8288
8289
8290
8291
8292
8293
8294
8295
8296
8297
8298
8299

```

```

8300 // Intel 8250シリアルポート(UART)。
8301
8302 #include "types.h"
8303 #include "defs.h"
8304 #include "param.h"
8305 #include "traps.h"
8306 #include "spinlock.h"
8307 #include "sleeplock.h"
8308 #include "fs.h"
8309 #include "file.h"
8310 #include "mmu.h"
8311 #include "proc.h"
8312 #include "x86.h"
8313
8314 #define COM1    0x3f8
8315
8316 static int uart;    // uartがあるか?
8317
8318 void
8319 uartinit(void)
8320 {
8321     char *p;
8322
8323     // FIFOを止める
8324     outb(COM1+2, 0);
8325
8326     // 9600 ボー、8 データビット、1 ストップビット、パリティオフ。
8327     outb(COM1+3, 0x80);    // divisorのロックを外す
8328     outb(COM1+0, 115200/9600);
8329     outb(COM1+1, 0);
8330     outb(COM1+3, 0x03);    // divisorをロックする、8 データビット。
8331     outb(COM1+4, 0);
8332     outb(COM1+1, 0x01);    // 受信割り込みを有効にする。
8333
8334     // ステータスが0xFFの場合、シリアルポートがない。
8335     if(inb(COM1+5) == 0xFF)
8336         return;
8337     uart = 1;
8338
8339     // 事前の割り込み条件を確認する。
8340     // 割り込みを有効にする。
8341     inb(COM1+2);
8342     inb(COM1+0);
8343     ioapicenable(IRQ_COM1, 0);
8344
8345     // ここにいることを通知する。
8346     for(p="xv6...\n"; *p; p++)
8347         uartputc(*p);
8348 }
8349

```

```

8350 void
8351 uartputc(int c)
8352 {
8353     int i;
8354
8355     if(!uart)
8356         return;
8357     for(i = 0; i < 128 && !(inb(COM1+5) & 0x20); i++)
8358         microdelay(10);
8359     outb(COM1+0, c);
8360 }
8361
8362 static int
8363 uartgetc(void)
8364 {
8365     if(!uart)
8366         return -1;
8367     if(!(inb(COM1+5) & 0x01))
8368         return -1;
8369     return inb(COM1+0);
8370 }
8371
8372 void
8373 uartintr(void)
8374 {
8375     consoleintr(uartgetc);
8376 }
8377
8378
8379
8380
8381
8382
8383
8384
8385
8386
8387
8388
8389
8390
8391
8392
8393
8394
8395
8396
8397
8398
8399

```

```

8400 # 最初のプロセスの実行 /init.
8401 # このコードはユーザ空間で実行する。
8402
8403 #include "syscall.h"
8404 #include "traps.h"
8405
8406
8407 # exec(init, argv)
8408 .globl start
8409 start:
8410     pushl $argv
8411     pushl $init
8412     pushl $0 // 呼び出し側のpcはここになる
8413     movl $SYS_exec, %eax
8414     int $T_SYSCALL
8415
8416 # for(;;) exit();
8417 exit:
8418     movl $SYS_exit, %eax
8419     int $T_SYSCALL
8420     jmp exit
8421
8422 # char init[] = "/init\0";
8423 init:
8424     .string "/init\0"
8425
8426 # char *argv[] = { init, 0 };
8427 .p2align 2
8428 argv:
8429     .long init
8430     .long 0
8431
8432
8433
8434
8435
8436
8437
8438
8439
8440
8441
8442
8443
8444
8445
8446
8447
8448
8449

```

```

8450 #include "syscall.h"
8451 #include "traps.h"
8452
8453 #define SYSCALL(name) \
8454     .globl name; \
8455     name: \
8456     movl $SYS_## name, %eax; \
8457     int $T_SYSCALL; \
8458     ret
8459
8460 SYSCALL(fork)
8461 SYSCALL(exit)
8462 SYSCALL(wait)
8463 SYSCALL(pipe)
8464 SYSCALL(read)
8465 SYSCALL(write)
8466 SYSCALL(close)
8467 SYSCALL(kill)
8468 SYSCALL(exec)
8469 SYSCALL(open)
8470 SYSCALL(mknod)
8471 SYSCALL(unlink)
8472 SYSCALL(fstat)
8473 SYSCALL(link)
8474 SYSCALL(mkdir)
8475 SYSCALL(chdir)
8476 SYSCALL(dup)
8477 SYSCALL(getpid)
8478 SYSCALL(sbrk)
8479 SYSCALL(sleep)
8480 SYSCALL(uptime)
8481
8482
8483
8484
8485
8486
8487
8488
8489
8490
8491
8492
8493
8494
8495
8496
8497
8498
8499

```

```

8500 // init: 最初のユーザレベルのプログラム
8501
8502 #include "types.h"
8503 #include "stat.h"
8504 #include "user.h"
8505 #include "fcntl.h"
8506
8507 char *argv[] = { "sh", 0 };
8508
8509 int
8510 main(void)
8511 {
8512     int pid, wpid;
8513
8514     if(open("console", O_RDWR) < 0){
8515         mknod("console", 1, 1);
8516         open("console", O_RDWR);
8517     }
8518     dup(0); // stdout
8519     dup(0); // stderr
8520
8521     for(;;){
8522         printf(1, "init: starting sh\n");
8523         pid = fork();
8524         if(pid < 0){
8525             printf(1, "init: fork failed\n");
8526             exit();
8527         }
8528         if(pid == 0){
8529             exec("sh", argv);
8530             printf(1, "init: exec sh failed\n");
8531             exit();
8532         }
8533         while((wpid=wait()) >= 0 && wpid != pid)
8534             printf(1, "zombie!\n");
8535     }
8536 }
8537
8538
8539
8540
8541
8542
8543
8544
8545
8546
8547
8548
8549

```

```

8550 // シェル
8551
8552 #include "types.h"
8553 #include "user.h"
8554 #include "fcntl.h"
8555
8556 // パースし後のコマンド表現
8557 #define EXEC 1
8558 #define REDIR 2
8559 #define PIPE 3
8560 #define LIST 4
8561 #define BACK 5
8562
8563 #define MAXARGS 10
8564
8565 struct cmd {
8566     int type;
8567 };
8568
8569 struct execcmd {
8570     int type;
8571     char *argv[MAXARGS];
8572     char *eargv[MAXARGS];
8573 };
8574
8575 struct redircmd {
8576     int type;
8577     struct cmd *cmd;
8578     char *file;
8579     char *efile;
8580     int mode;
8581     int fd;
8582 };
8583
8584 struct pipecmd {
8585     int type;
8586     struct cmd *left;
8587     struct cmd *right;
8588 };
8589
8590 struct listcmd {
8591     int type;
8592     struct cmd *left;
8593     struct cmd *right;
8594 };
8595
8596 struct backcmd {
8597     int type;
8598     struct cmd *cmd;
8599 };

```

```

8600 int fork1(void); // エラー時にpanicを呼び出すfork
8601 void panic(char*);
8602 struct cmd *parsecmd(char*);
8603
8604 // cmdを実行する。復帰しない。
8605 void
8606 runcmd(struct cmd *cmd)
8607 {
8608     int p[2];
8609     struct backcmd *bcmd;
8610     struct execcmd *ecmd;
8611     struct listcmd *lcmd;
8612     struct pipecmd *pcmd;
8613     struct redircmd *rcmd;
8614
8615     if(cmd == 0)
8616         exit();
8617
8618     switch(cmd->type){
8619     default:
8620         panic("runcmd");
8621
8622     case EXEC:
8623         ecmd = (struct execcmd*)cmd;
8624         if(ecmd->argv[0] == 0)
8625             exit();
8626         exec(ecmd->argv[0], ecmd->argv);
8627         printf(2, "exec %s failed\n", ecmd->argv[0]);
8628         break;
8629
8630     case REDIR:
8631         rcmd = (struct redircmd*)cmd;
8632         close(rcmd->fd);
8633         if(open(rcmd->file, rcmd->mode) < 0){
8634             printf(2, "open %s failed\n", rcmd->file);
8635             exit();
8636         }
8637         runcmd(rcmd->cmd);
8638         break;
8639
8640     case LIST:
8641         lcmd = (struct listcmd*)cmd;
8642         if(fork1() == 0)
8643             runcmd(lcmd->left);
8644         wait();
8645         runcmd(lcmd->right);
8646         break;
8647
8648
8649

```

```

8650 case PIPE:
8651     pcmd = (struct pipecmd*)cmd;
8652     if(pipe(p) < 0)
8653         panic("pipe");
8654     if(fork1() == 0){
8655         close(1);
8656         dup(p[1]);
8657         close(p[0]);
8658         close(p[1]);
8659         runcmd(pcmd->left);
8660     }
8661     if(fork1() == 0){
8662         close(0);
8663         dup(p[0]);
8664         close(p[0]);
8665         close(p[1]);
8666         runcmd(pcmd->right);
8667     }
8668     close(p[0]);
8669     close(p[1]);
8670     wait();
8671     wait();
8672     break;
8673
8674 case BACK:
8675     bcmd = (struct backcmd*)cmd;
8676     if(fork1() == 0)
8677         runcmd(bcmd->cmd);
8678     break;
8679 }
8680 exit();
8681 }
8682
8683 int
8684 getcmd(char *buf, int nbuf)
8685 {
8686     printf(2, "$ ");
8687     memset(buf, 0, nbuf);
8688     gets(buf, nbuf);
8689     if(buf[0] == 0) // EOF
8690         return -1;
8691     return 0;
8692 }
8693
8694
8695
8696
8697
8698
8699

```

```

8700 int
8701 main(void)
8702 {
8703     static char buf[100];
8704     int fd;
8705
8706     // 3つのファイル記述子がオープンされていることを保証する。
8707     while((fd = open("console", O_RDWR)) >= 0){
8708         if(fd >= 3){
8709             close(fd);
8710             break;
8711         }
8712     }
8713
8714     // 入力されたコマンドを読み込んで実行する。
8715     while(getcmd(buf, sizeof(buf)) >= 0){
8716         if(buf[0] == 'c' && buf[1] == 'd' && buf[2] == ' '){
8717             // chdir は子プロセスではなく、親プロセスから呼ばなければならない。
8718             buf[strlen(buf)-1] = 0; // \nを捨てる
8719             if(chdir(buf+3) < 0)
8720                 printf(2, "cannot cd %s\n", buf+3);
8721             continue;
8722         }
8723         if(fork1() == 0)
8724             runcmd(parsecmd(buf));
8725         wait();
8726     }
8727     exit();
8728 }
8729
8730 void
8731 panic(char *s)
8732 {
8733     printf(2, "%s\n", s);
8734     exit();
8735 }
8736
8737 int
8738 fork1(void)
8739 {
8740     int pid;
8741
8742     pid = fork();
8743     if(pid == -1)
8744         panic("fork");
8745     return pid;
8746 }
8747
8748
8749

```

```

8750 // コンストラクタ
8751
8752 struct cmd*
8753 execcmd(void)
8754 {
8755     struct execcmd *cmd;
8756
8757     cmd = malloc(sizeof(*cmd));
8758     memset(cmd, 0, sizeof(*cmd));
8759     cmd->type = EXEC;
8760     return (struct cmd*)cmd;
8761 }
8762
8763 struct cmd*
8764 redircmd(struct cmd *subcmd, char *file, char *efile, int mode, int fd)
8765 {
8766     struct redircmd *cmd;
8767
8768     cmd = malloc(sizeof(*cmd));
8769     memset(cmd, 0, sizeof(*cmd));
8770     cmd->type = REDIR;
8771     cmd->cmd = subcmd;
8772     cmd->file = file;
8773     cmd->efile = efile;
8774     cmd->mode = mode;
8775     cmd->fd = fd;
8776     return (struct cmd*)cmd;
8777 }
8778
8779 struct cmd*
8780 pipecmd(struct cmd *left, struct cmd *right)
8781 {
8782     struct pipecmd *cmd;
8783
8784     cmd = malloc(sizeof(*cmd));
8785     memset(cmd, 0, sizeof(*cmd));
8786     cmd->type = PIPE;
8787     cmd->left = left;
8788     cmd->right = right;
8789     return (struct cmd*)cmd;
8790 }
8791
8792
8793
8794
8795
8796
8797
8798
8799

```

```

8800 struct cmd*
8801 listcmd(struct cmd *left, struct cmd *right)
8802 {
8803     struct listcmd *cmd;
8804
8805     cmd = malloc(sizeof(*cmd));
8806     memset(cmd, 0, sizeof(*cmd));
8807     cmd->type = LIST;
8808     cmd->left = left;
8809     cmd->right = right;
8810     return (struct cmd*)cmd;
8811 }
8812
8813 struct cmd*
8814 backcmd(struct cmd *subcmd)
8815 {
8816     struct backcmd *cmd;
8817
8818     cmd = malloc(sizeof(*cmd));
8819     memset(cmd, 0, sizeof(*cmd));
8820     cmd->type = BACK;
8821     cmd->cmd = subcmd;
8822     return (struct cmd*)cmd;
8823 }
8824
8825
8826
8827
8828
8829
8830
8831
8832
8833
8834
8835
8836
8837
8838
8839
8840
8841
8842
8843
8844
8845
8846
8847
8848
8849

```

```

8850 // パース処理
8851
8852 char whitespace[] = " \t\r\n\v";
8853 char symbols[] = "<|>&()";
8854
8855 int
8856 gettoken(char **ps, char *es, char **q, char **eq)
8857 {
8858     char *s;
8859     int ret;
8860
8861     s = *ps;
8862     while(s < es && strchr(whitespace, *s))
8863         s++;
8864     if(q)
8865         *q = s;
8866     ret = *s;
8867     switch(*s){
8868     case 0:
8869         break;
8870     case '|':
8871     case '(':
8872     case ')':
8873     case ';':
8874     case '&':
8875     case '<':
8876         s++;
8877         break;
8878     case '>':
8879         s++;
8880         if(*s == '>'){
8881             ret = '+';
8882             s++;
8883         }
8884         break;
8885     default:
8886         ret = 'a';
8887         while(s < es && !strchr(whitespace, *s) && !strchr(symbols, *s))
8888             s++;
8889         break;
8890     }
8891     if(eq)
8892         *eq = s;
8893
8894     while(s < es && strchr(whitespace, *s))
8895         s++;
8896     *ps = s;
8897     return ret;
8898 }
8899

```

```

8900 int
8901 peek(char **ps, char *es, char *toks)
8902 {
8903     char *s;
8904
8905     s = *ps;
8906     while(s < es && strchr(whitespace, *s))
8907         s++;
8908     *ps = s;
8909     return *s && strchr(toks, *s);
8910 }
8911
8912 struct cmd *parseline(char**, char*);
8913 struct cmd *parsepipe(char**, char*);
8914 struct cmd *parseexec(char**, char*);
8915 struct cmd *nulterminate(struct cmd*);
8916
8917 struct cmd*
8918 parsecmd(char *s)
8919 {
8920     char *es;
8921     struct cmd *cmd;
8922
8923     es = s + strlen(s);
8924     cmd = parseline(&s, es);
8925     peek(&s, es, "");
8926     if(s != es){
8927         printf(2, "leftovers: %s\n", s);
8928         panic("syntax");
8929     }
8930     nulterminate(cmd);
8931     return cmd;
8932 }
8933
8934 struct cmd*
8935 parseline(char **ps, char *es)
8936 {
8937     struct cmd *cmd;
8938
8939     cmd = parsepipe(ps, es);
8940     while(peek(ps, es, "&")){
8941         gettoken(ps, es, 0, 0);
8942         cmd = backcmd(cmd);
8943     }
8944     if(peek(ps, es, ";")){
8945         gettoken(ps, es, 0, 0);
8946         cmd = listcmd(cmd, parseline(ps, es));
8947     }
8948     return cmd;
8949 }

```

```

8950 struct cmd*
8951 parsepipe(char **ps, char *es)
8952 {
8953     struct cmd *cmd;
8954
8955     cmd = parseexec(ps, es);
8956     if(peek(ps, es, "|")){
8957         gettoken(ps, es, 0, 0);
8958         cmd = pipecmd(cmd, parsepipe(ps, es));
8959     }
8960     return cmd;
8961 }
8962
8963 struct cmd*
8964 parseredirs(struct cmd *cmd, char **ps, char *es)
8965 {
8966     int tok;
8967     char *q, *eq;
8968
8969     while(peek(ps, es, "<>")){
8970         tok = gettoken(ps, es, 0, 0);
8971         if(gettoken(ps, es, &q, &eq) != 'a')
8972             panic("missing file for redirection");
8973         switch(tok){
8974             case '<':
8975                 cmd = redircmd(cmd, q, eq, O_RDONLY, 0);
8976                 break;
8977             case '>':
8978                 cmd = redircmd(cmd, q, eq, O_WRONLY|O_CREATE, 1);
8979                 break;
8980             case '+': // >>
8981                 cmd = redircmd(cmd, q, eq, O_WRONLY|O_CREATE, 1);
8982                 break;
8983         }
8984     }
8985     return cmd;
8986 }
8987
8988
8989
8990
8991
8992
8993
8994
8995
8996
8997
8998
8999

```



```

9000 struct cmd*
9001 parseblock(char **ps, char *es)
9002 {
9003     struct cmd *cmd;
9004
9005     if(!peek(ps, es, "("))
9006         panic("parseblock");
9007     gettoken(ps, es, 0, 0);
9008     cmd = parseline(ps, es);
9009     if(!peek(ps, es, "))")
9010         panic("syntax - missing )");
9011     gettoken(ps, es, 0, 0);
9012     cmd = parseredirs(cmd, ps, es);
9013     return cmd;
9014 }
9015
9016 struct cmd*
9017 parseexec(char **ps, char *es)
9018 {
9019     char *q, *eq;
9020     int tok, argc;
9021     struct execcmd *cmd;
9022     struct cmd *ret;
9023
9024     if(peek(ps, es, "("))
9025         return parseblock(ps, es);
9026
9027     ret = execcmd();
9028     cmd = (struct execcmd*)ret;
9029
9030     argc = 0;
9031     ret = parseredirs(ret, ps, es);
9032     while(!peek(ps, es, "|)&;")){
9033         if((tok=gettoken(ps, es, &q, &eq)) == 0)
9034             break;
9035         if(tok != 'a')
9036             panic("syntax");
9037         cmd->argv[argc] = q;
9038         cmd->eargv[argc] = eq;
9039         argc++;
9040         if(argc >= MAXARGS)
9041             panic("too many args");
9042         ret = parseredirs(ret, ps, es);
9043     }
9044     cmd->argv[argc] = 0;
9045     cmd->eargv[argc] = 0;
9046     return ret;
9047 }
9048
9049

```

```

9050 // すべての終了文字列をヌル終端する。
9051 struct cmd*
9052 nulterminate(struct cmd *cmd)
9053 {
9054     int i;
9055     struct backcmd *bcmd;
9056     struct execcmd *ecmd;
9057     struct listcmd *lcmd;
9058     struct pipecmd *pcmd;
9059     struct redircmd *rcmd;
9060
9061     if(cmd == 0)
9062         return 0;
9063
9064     switch(cmd->type){
9065     case EXEC:
9066         ecmd = (struct execcmd*)cmd;
9067         for(i=0; ecmd->argv[i]; i++)
9068             *ecmd->eargv[i] = 0;
9069         break;
9070
9071     case REDIR:
9072         rcmd = (struct redircmd*)cmd;
9073         nulterminate(rcmd->cmd);
9074         *rcmd->efile = 0;
9075         break;
9076
9077     case PIPE:
9078         pcmd = (struct pipecmd*)cmd;
9079         nulterminate(pcmd->left);
9080         nulterminate(pcmd->right);
9081         break;
9082
9083     case LIST:
9084         lcmd = (struct listcmd*)cmd;
9085         nulterminate(lcmd->left);
9086         nulterminate(lcmd->right);
9087         break;
9088
9089     case BACK:
9090         bcmd = (struct backcmd*)cmd;
9091         nulterminate(bcmd->cmd);
9092         break;
9093     }
9094     return cmd;
9095 }
9096
9097
9098
9099

```

```

9100 #include "asm.h"
9101 #include "memlayout.h"
9102 #include "mmu.h"
9103
9104 # 最初のCPUを起動する: 32ビットプロテクトモードに切り替えて
9105 # Cの関数にジャンプする。
9106 # BIOSはこのコードをHDの第1セクタから物理アドレス 0x7c00のメモリに
9107 # ロードして、%cs=0, %ip=7c00 として、リアルモードで実行を開始する。
9108
9109 .code16                # 16ビットモードでアセンブルする
9110 .globl start
9111 start:
9112     cli                # BIOSが有効にした割り込みを禁止する。
9113
9114 # データセグメントレジスタ DS, ES, SS を0クリア。
9115     xorw    %ax,%ax    # %ax を0にセット
9116     movw    %ax,%ds    # -> データセグメント
9117     movw    %ax,%es    # -> 拡張セグメント
9118     movw    %ax,%ss    # -> スタックセグメント
9119
9120 # 物理アドレスラインA20は0にセットされており、はじめて2MBのメモリを持つ
9121 # PCで1MBを想定したソフトウェアを実行できるようにした。これを元に戻す。
9122 seta20.1:
9123     inb     $0x64,%al    # busy状態が解消されるまで待機
9124     testb   $0x2,%al
9125     jnz     seta20.1
9126
9127     movb    $0xd1,%al    # 0xd1 -> port 0x64
9128     outb    %al,$0x64
9129
9130 seta20.2:
9131     inb     $0x64,%al    # busy状態が解消されるまで待機
9132     testb   $0x2,%al
9133     jnz     seta20.2
9134
9135     movb    $0xdf,%al    # 0xdf -> port 0x60
9136     outb    %al,$0x60
9137
9138 # リアルモードからプロテクトモードに切り替える。仮想アドレスをそのまま
9139 # 物理アドレスにマップするブートストラップGDTを使うことにより、
9140 # 実効メモリマップが移行期間中変更されない。
9141     lgdt    gdt_desc
9142     movl    %cr0,%eax
9143     orl     $CR0_PE,%eax
9144     movl    %eax,%cr0
9145
9146
9147
9148
9149

```

```

9150 # ロングジャンプを使用することにより、%csと%ipを再ロードして、32ビット
9151 # プロテクトモードへの移行を完了させる。セグメントディスクリプタは
9152 # 変更せずに設定されるので、マッピングは恒等マッピングのままである。
9153     jmp     $(SEG_KCODE<<3), $start32
9154
9155 .code32 # アセンブラにここからは32ビットコードを生成するように伝える。
9156 start32:
9157 # プロテクトモードのデータセグメントレジスタを設定する。
9158     movw    $(SEG_KDATA<<3), %ax    # 使用するデータセグメントセクタ
9159     movw    %ax,%ds                # -> DS: データセグメント
9160     movw    %ax,%es                # -> ES: 拡張セグメント
9161     movw    %ax,%ss                # -> SS: スタックセグメント
9162     movw    $0,%ax                # 未使用のセグメントは0クリア
9163     movw    %ax,%fs                # -> FS
9164     movw    %ax,%gs                # -> GS
9165
9166 # スタックポインタをセットして、Cno関数を呼び出す。
9167     movl    $start,%esp
9168     call    bootmain
9169
9170 # bootmainが復帰したら(しないはず)、Bochs下で実行している場合は
9171 # Bochsのブレークポイントを呼び出して、ループする。
9172     movw    $0x8a00,%ax            # 0x8a00 -> port 0x8a00
9173     movw    %ax,%dx
9174     outw    %ax,%dx
9175     movw    $0x8ae0,%ax            # 0x8ae0 -> port 0x8a00
9176     outw    %ax,%dx
9177 spin:
9178     jmp     spin
9179
9180 # ブートストラップGDT
9181 .p2align 2                # 4バイト境界に揃える
9182 gdt:
9183     SEG_NULLASM            # nulセグメント
9184     SEG_ASM(STA_X|STA_R, 0x0, 0xffffffff) # コードセグメント
9185     SEG_ASM(STA_W, 0x0, 0xffffffff)      # データセグメント
9186
9187 gdt_desc:
9188     .word    (gdt_desc - gdt - 1)        # sizeof(gdt) - 1
9189     .long    gdt                        # gdtアドレス
9190
9191
9192
9193
9194
9195
9196
9197
9198
9199

```

```

9200 // ブートローダ。
9201 //
9202 // bootmain()を呼び出すbootasm.Sと共にブートブロックを形成する。
9203 // bootasm.Sは、プロセッサを32ビットプロテクトモードにする。
9204 // bootmain()は、ディスクのセクタ1からELFカーネルイメージをロードして、
9205 // カーネルのエントリルーチンにジャンプする。
9206
9207 #include "types.h"
9208 #include "elf.h"
9209 #include "x86.h"
9210 #include "memlayout.h"
9211
9212 #define SECTSIZE 512
9213
9214 void readseg(uchar*, uint, uint);
9215
9216 void
9217 bootmain(void)
9218 {
9219     struct elfhdr *elf;
9220     struct proghdr *ph, *eph;
9221     void (*entry)(void);
9222     uchar* pa;
9223
9224     elf = (struct elfhdr*)0x10000; // 開始位置を設定
9225
9226     // ディスクから最初のページを読み込む
9227     readseg((uchar*)elf, 4096, 0);
9228
9229     // ELF実行ファイルか?
9230     if(elf->magic != ELF_MAGIC)
9231         return; // bootasm.Sにエラー処理を任せる
9232
9233     // 各プログラムセグメントをロードする (phフラグは無視する)
9234     ph = (struct proghdr*)((uchar*)elf + elf->phoff);
9235     eph = ph + elf->phnum;
9236     for(; ph < eph; ph++){
9237         pa = (uchar*)ph->paddr;
9238         readseg(pa, ph->filesz, ph->off);
9239         if(ph->memsz > ph->filesz)
9240             stosb(pa + ph->filesz, 0, ph->memsz - ph->filesz);
9241     }
9242
9243     // ELFヘッダからエントリポイントを読み出す。
9244     // 復帰しない!
9245     entry = (void(*) (void))(elf->entry);
9246     entry();
9247 }
9248
9249

```

```

9250 void
9251 waitdisk(void)
9252 {
9253     // ディスクの用意ができるのを待機する。
9254     while((inb(0x1F7) & 0xC0) != 0x40)
9255         ;
9256 }
9257
9258 // offsetからセクタを1つdstに読み込む。
9259 void
9260 readsect(void *dst, uint offset)
9261 {
9262     // コマンドを発行する。
9263     waitdisk();
9264     outb(0x1F2, 1); // count = 1
9265     outb(0x1F3, offset);
9266     outb(0x1F4, offset >> 8);
9267     outb(0x1F5, offset >> 16);
9268     outb(0x1F6, (offset >> 24) | 0xE0);
9269     outb(0x1F7, 0x20); // cmd 0x20 - セクタの読み込み
9270
9271     // データを読み込む。
9272     waitdisk();
9273     insl(0x1F0, dst, SECTSIZE/4);
9274 }
9275
9276 // カーネルから'offset'の'count'バイトを物理アドレス'pa'に読み込む。
9277 // 要求以上にコピーする場合がある。
9278 void
9279 readseg(uchar* pa, uint count, uint offset)
9280 {
9281     uchar* epa;
9282
9283     epa = pa + count;
9284
9285     // セクタ境界に切り捨てる。
9286     pa -= offset % SECTSIZE;
9287
9288     // バイトをセクタに変換する; カーネルはセクタ1から始まる。
9289     offset = (offset / SECTSIZE) + 1;
9290
9291     // これが遅すぎる場合は、一度のもっと多くのセクタを読み込めるかもしれない。
9292     // 要求以上にメモリに書き込む場合があるが、昇順でロードするので、
9293     // 問題はない。
9294     for(; pa < epa; pa += SECTSIZE, offset++)
9295         readsect(pa, offset);
9296 }
9297
9298
9299

```