

ネットワーク起動(PXE)の設定と応用

北 川 正 一

1 ネットワーク起動の状況

最近のパーソナルコンピュータではネットワークインターフェイスが標準で備わっているものが多く、そのほとんどでネットワーク起動の規格である PXE (Preboot eXecution Environment) がサポートされている。PXE はアメリカの半導体メーカーのインテルが策定したもので、ネットワーク起動の標準となった感がある。

この環境を有効に利用すれば、数十台規模のコンピュータ稼働環境を低労力低コストで管理運用することが可能となる。本論では旧来よりいろいろな形でネットワーク起動がサポートされている FreeBSD を中心にして、PXE 起動環境の構築とその応用について取り上げる。必要となるサービスを FreeBSD([F]) 上で動かし、起動する OS としては FreeBSD と Linux(Ubuntu([U])) を対象とする。

FreeBSD, Linux で PXE によるネットワーク起動を利用するためには、サーバーとして

- tftp サーバー
- DHCP サーバー
- NFS サーバー

を準備する必要がある。ここでは、これらのサービスを FreeBSD 9.0-STABLE 上で稼働させることにする。これらのサービスは複数のマシンに設定してもよいし、一台のサーバーでまかなうこともできる。

クライアントマシン側では BIOS 設定で PXE による起動を有効にしておけば十分で、ストレージデバイスは不要となる。サポートされたアーキテクチャのもと、ハードウェア的にネットワークインターフェイスカードに PXE に対応した ROM が備えられていていれば利用可能である。

2 サーバーの設定

ここでは、ネットワーク起動を設定するサブネットを 192.168.1.0/255.255.255.0 とし、各サービスは IP アドレス 192.168.1.1 のマシンで稼働させるものとする。今回設定を記述するのは以下のファイルである。

```
/etc/exports  
/etc/hosts.allow  
/etc/inetd.conf  
/etc/rc.conf  
/usr/local/etc/dhcpd.conf
```

これらはサーバーのプロセスから参照される。さらに、クライアント側で利用されるファイル群を必要に応じてサーバー上に準備する必要がある。以下、それらについて確認していく。

2.1 Tftp サーバーの設定

FreeBSD では標準状態で tftp サーバーの機能が備わっており、稼働させることは容易である。FreeBSD 9.0-STABLE での手順を例にして、作業内容をまとめておく。設定は以下の通り。

(1) /etc/inetd.conf

tftpd を inetd 経由で動かすため /etc/inetd.conf で tftp を有効にする。IPv4 で利用する場合、

```
#tftp dgram udp wait root /usr/libexec/tftpd tftpd -l -s /tftpboot
```

の行の先頭の# を削除し、-s 以下のオプションを必要に応じて変更する。これは tftp により配布するファイルの置き場所を指定するものである。

(2) pxeboot

(1) で設定したディレクトリに /boot/ にある pxeboot というファイルを置く。ソースから構築した環境 (amd64) では 8.2-STABLE の場合 239616 バイト、9.0-STABLE の場合 243712 バイトの大きさのファイルとなっていた。

```
tftp dgram udp wait root /usr/libexec/tftpd tftpd -l -s /opt/tftpboot
```

とした場合は、

```
/opt/tftpboot/pxeboot
```

を準備する。

(3) /etc/hosts.allow

外部からの tftpd への接続許可の設定をする。標準状態では、

```
ALL : ALL : allow
```

となっており、すべての接続要求を許可するように設定されている。そのため標準状態では変更は必要ではないが、本来は必要なサービスのみ許可するように修正すべきものである。そこで上記部分を

```
#ALL : ALL : allow
```

とコメントアウトし、tftpd については、

```
tftpd : 192.168.1.0/255.255.255.0 : allow
```

といった形で、許可するクライアントのアドレスを指定することにする。

(4) /etc/rc.conf

さらに /etc/rc.conf に inetd が起動されるように次の記述を追加しておく。

```
inetd_enable="YES"
```

特に取り上げないが、Linux でも同様の手順で tftp サーバーを稼働させることが可能である。

2.2 DHCP サーバーの設定

DHCP サーバーの機能を提供するソフトウェアとしては ports にある isc dhcp server 4.2 系 (4.2.3) を用いる。これは Internet Systems Consortium (ISC[I]) が提供している DHCP サーバーソフトウェアの現時点 (2012 年 1 月) における最新プロダクションリリースである。

ISC DHCP サーバーの設定は BSD, Linux 等で基本的な部分は同一であり、PXE に関係する部分は以下ようになる。

```
isc-dhcp42-server-4.2.3_2
```

をインストールした状態で、

```
/usr/local/etc/dhcpd.conf
```

に pxeboot のために以下の設定を加える。

```
# tftp Server
```

```
next-server 192.168.1.1;
```

```
# the filename to get
filename "pxeboot";

# path to root of the boot image
option root-path "192.168.1.1:/opt/pxeroot";
```

クライアントに IP アドレスを割り当てる設定も必要であるが、それは標準的なものであるので省略する。

最後に /etc/rc.conf に以下のようにサービス起動の設定を行う。

```
dhcpcd_enable="YES"
```

DHCP サーバーには他にも設定すべき起動オプションがあるが、PXE との関連性は低いので、ここでは触れない。

2.3 NFS サーバーの設定

ネットワーク起動では、起動時にリモートに置かれたデータを読み込む必要があり、さらに起動後は基本的にはリモートにあるファイルにアクセスしながら動作することが前提である。そのために FreeBSD 等では NFS (Network File System) を用いる。DHCP Server で、

```
option root-path "192.168.1.1:/opt/pxeroot";
```

と設定したディレクトリをクライアントからマウントできるようにエクスポートする訳であるが、具体的には NFS サーバー側で /etc/exports に、

```
/opt/pxeroot -maproot=root
```

と記載すればよい。

また、hosts.allow では、

```
rpcbind : 192.168.1.0/255.255.255.0 : allow
```

としておく。

NFS サーバーとして稼働させるため /etc/rc.conf に以下を追加する。

```
nfs_server_enable="YES"
```

```
mountd_enable="YES"
```

```
rpcbind_enable="YES"
```

さらに、クライアントがアクセスするためのデータとして、エクスポートしたディレクトリ `/opt/pxeroot/` に利用するオペレーティングシステムのイメージを置く。

特別な場合として、FreeBSD 8.2-STABLE のインストーラーのようにクライアント側で RAM ディスク上にルートを置いた状態を実現するためには、

```
/opt/pxeroot/boot/loader.conf
```

に次の設定

```
mfsroot_load="YES"
```

```
mfsroot_type="mfs_root"
```

```
mfsroot_name="/boot/mfsroot"
```

に加え、

```
vfs.root.mountfrom="ufs:/dev/md0"
```

なる記述を追加し、`/opt/pxeroot/boot/` にルートのイメージ

```
mfsroot.gz
```

を置いておく。この場合は `/boot/` の部分のみ準備すればよい。

`/opt/pxeroot` をルートにマウントしてディスクレスクライアントとして稼働させる場合は、クライアントが利用するイメージ内の `fstab` 等も適切に調整する必要がある。

各サーバープロセスに関する設定は以上である。

3 PXE による起動とその応用

実際に設定を行い、起動の様子を確認する。起動に用いるハードウェアには PXE に対応したノート PC を準備した。BIOS の設定で PXE の利用を有効にし、ハードディスクを取り外して内部ストレージからは起動しない状態で使用する。搭載されているネットワークコントローラーは Broadcom BCM5906 で、起動時に PXE-2.1 v10.0.9 と表示される。

3.1 PXE による FreeBSD の起動

ここでは最も簡単な場合として FreeBSD 8.2-RELEASE のインストーラーを起動してみる。そのために 2 節での設定において、FreeBSD 8.2-RELEASE のインストールイメージにある `mfsroot.gz` を用いる。

○ 電源「オン」から BIOS でネットワークインターフェイス (Onboard NIC) からの起動を選択する。今回はハードディスクを取り外してあるので、起動の選択肢には内蔵ディスクは表示されていない (下图)。

```
Use the up- and down-arrow keys to move the pointer to the desired
boot device. Press [Enter] to attempt the boot or ESC to cancel.
```

```
CD/DVD/CD-ROM Drive
```

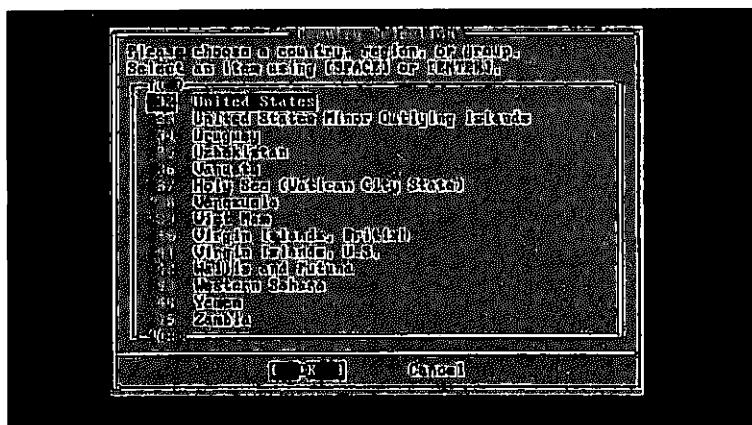
```
Onboard NIC
```

```
BIOS Setup
```

```
Diagnostics
```

○ ネットワーク起動のプロセスに進む。DHCP サーバーからネットワーク設定、IP アドレスを取得、tftp サーバーから `pxeboot` が読み込まれ、起動手順に従って進行し、次のようにインストール開始状態に至る。

実際にインストールを実行する場合は、インストレーションメディア (CD-ROM, FTP, NFS 等) を準備する必要があるが、NFS サーバーは既に有効であるので、それを利用すればインストールを実行することができる。ただし、マウントされた状態にはないので、手動で NFS マウント先を指定する必要がある。



3.2 応用 I FreeBSD イメージ更新環境の起動

この起動方法を数十台規模のパーソナルコンピュータの一斉インストール(動作イメージ更新)作業([K])に利用することができる。設定は 8.2-RELEASE インストーラー起動の手順と同様で、今回動作させたものは FreeBSD 8.2-STABLE 上で作成した環境である。8.2-RELEASE のインストーラーが起動できる状態で、`/opt/pxeroot/boot/` にカスタマイズされた RAM Disk イメージ `msfsroot.gz` を置けば設定は完了する。起動用 CD-ROM イメージの場合と異なるのは NFS サーバーの設定で注意した `loader.conf` への一行追加部分だけである。

ネットワーク起動を用いれば、起動メディアを一台ずつ装着する必要がなくなり、作業は大幅に省力化される。また、リストアスクリプトを細かく調整し、DHCP の設定と組み合わせれば更新作業を全自動化することも可能である。

3.3 応用 II FreeBSD ディスクレス稼働

FreeBSD をはじめとする BSD 系 OS では PXE が策定されるかなり前からディスクレスで運用するための設定が標準で準備されており、PXE の利

用も比較的容易である。作業内容は起動対象を 8.2-STABLE とする場合と 9.0-STABLE とする場合で、ほとんど変わらない。

以下、NFS サーバーによりエクスポートする箇所を /opt/pxeroot から /opt/diskless

に変更した状態で設定を行うことにする。FreeBSD をディスクレスで動かすために、/opt/diskless/ に boot ディレクトリだけでなく OS 稼働のためのイメージ全体を準備 (ほぼフルインストール) する。さらに FreeBSD では 1 つのイメージで複数のクライアントに対応させる仕組みも用意されており、ディスクレス稼働には適した OS であると言える。

ディスクレスイメージを準備する方法の一つとして、同一アーキテクチャの場合は以下の手順が有効である。ソースツリーを /usr/src に準備し、

```
# cd /usr/src
# make buildworld
# make installworld DESTDIR=/opt/diskless
# make kernel DESTDIR=/opt/diskless KERNCONF=GENERIC
# mergemaster -d -i -D /opt/diskless
```

といった手順でコマンドを実行し、必要に応じて、/opt/diskless/ 以下の

```
boot/{device.hints,loader.conf}
etc/{passwd,master.passwd}
```

等のファイルを確認し修正を行えばよい。このとき、ログインパスワード設定のための /opt/diskless/etc/{pwd.db,spwd.db} ファイルの更新にも注意が必要である。

より細かい調整やクライアント毎に異なった設定を反映させたい場合は、

```
/opt/diskless/conf/base/etc/
/opt/diskless/conf/default/etc/
/opt/diskless/conf/[IP address of client]/etc/
```

に記述する。設定が必要となるファイルとしては、

ログインプロンプトが表示される。

また、サーバーの /etc/exports を調整した後、fstab に、

```
192.168.1.1:/home      /home  nfs  rw,tcp,noatime    0 0
192.168.1.1:/usr       /usr   nfs  rw,tcp,noatime    0 0
```

を追加すれば、以下のようにマウントされる。

```
192.168.1.1:/opt/diskless on / (nfs, noatime)
devfs on /dev (devfs, local, multilabel)
/dev/md0 on /etc (ufs, local)
/dev/md1 on /tmp (ufs, local, noatime, soft-updates)
/dev/md2 on /var (ufs, local, noatime, soft-updates)
procfs on /proc (procfs, local)
192.168.1.1:/usr on /usr (nfs, noatime)
192.168.1.1:/home on /home (nfs, noatime)
```

このように設定を行うと、クライアントでは何も追加することなく、サーバー上に必要なアプリケーションを導入、設定すれば X Window System 等 GUI 環境も利用できるようになる。

さらに詳しく調整を行えば、同時に多数のディスクレスクライアント(シンクライアント)稼働環境の構築も可能である。実現できれば、授業用コンピュータ運用の形式としては理想的なものとなるであろう。

3.4 応用 III FreeBSD 9.0-RELEASE インストーラーの起動

FreeBSD 9.0-RELEASE ではインストール環境に Live CD の稼働環境が追加された。そこで、今回はその環境を PXE で起動してみる。手順はディスクレス稼働環境構築と同様である。エクスポートする箇所を

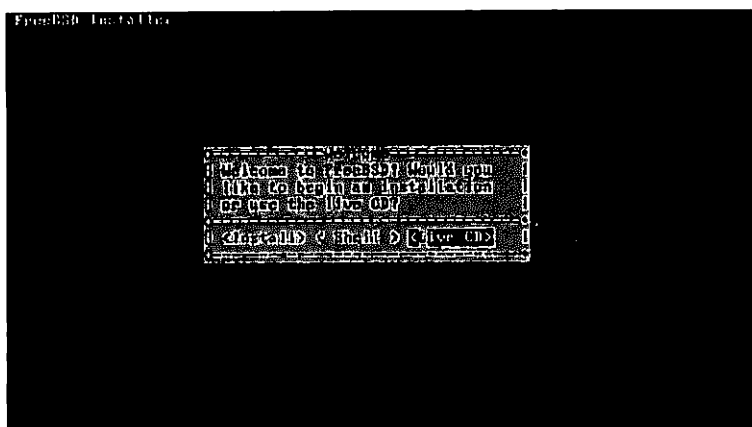
```
/opt/pxeroot-install/
```

とし、そこに ISO またはメモリスティック用インストールイメージを展開する。

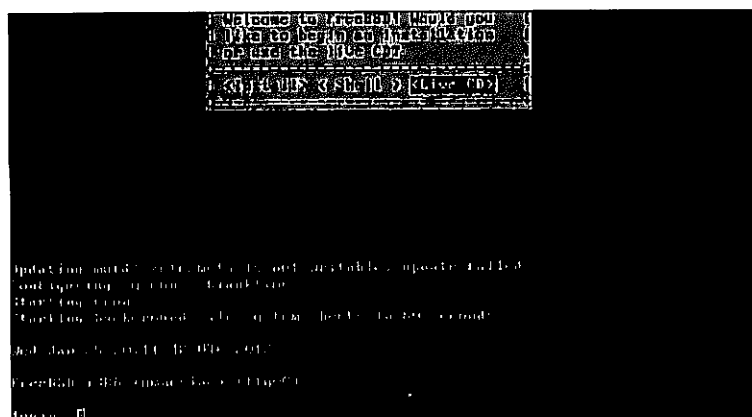
/opt/pxeroot-install/conf/

以下についてはディスクレス環境の場合と同様である。CD-ROM 等から起動された場合の/opt/pxeroot-install/etc/fstab にある設定は稼働状況に合わないで、項目を削除しておく。

起動すると、次のようなメニューが表示される。＜Install＞を選択すればインストーラーが動き出す。



＜Live CD＞に進むと、コンソールのログインプロンプトに到達する。



これにより root としてログインすることができ、FreeBSD 9.0-RELEASE の動作、ハードウェア対応状況等様々な確認が可能で、sysinstall も起動できる。この状態では各メディアから起動した場合の CD-ROM、USB メモリ等に代わり、192.168.1.1:/opt/pxeroot-install がルートにマウントされている。

3.5 応用 IV Ubuntu インストーラーの起動

近年最も注目されている Linux ディストリビューションである Ubuntu のインストーラー起動を PXE を用いて行ってみる。この方法によれば、ネットワーク環境を適切に設定すれば、DVD 等のインストールメディアもローカルマシン側の光学ドライブ等のメディア読み取り装置も使用することなく、インストールが可能となる。

```
http://archive.ubuntu.com/ubuntu/dists/natty/main/\n
installer-i386/current/images/netboot/netboot.tar.gz
```

を /opt/tftboot/ に展開し、dhcpd.conf の filename の設定を

```
filename "pxelinux.0";
```

とする。option root-path の設定は不要で、NFS サーバーも利用しない。これだけで Ubuntu 11.04 のインストーラーが起動される。

しかしながら、Ubuntu を試すのであれば、追加の設定作業は必要となるが、次節の方法がより一般的であろう。

3.6 応用 V Ubuntu デスクトップ環境の起動

Ubuntu では CD-ROM から起動することでインストーラーを動かすだけでなく試験的にデスクトップ環境を稼働させることができる。ここではその環境の起動を PXE により実行してみる。起動イメージとしては 2012 年 1 月時点での最新版 11.10 の xubuntu (デスクトップ環境 xfce4) を用い、エクスポートするディレクトリを /opt/pxeroot-xubuntu/ として、そこに ISO イメージ

(xubuntu-11.10-desktop-i386.iso) を展開する。また, /opt/tftpboot/ には次のファイルを配置する。

```
menu.c32
pxelinux.0
xubuntu/casper/vmlinuz
xubuntu/casper/initrd.lz
xubuntu/install/mt86plus
```

ここで, menu.c32, pxelinux.0 は, Ubuntu 11.10 において syslinux(-common) パッケージにより /usr/lib/syslinux/ にインストールされるものであり, 他は ISO イメージの該当ディレクトリ casper, install に存在するファイルである。Ubuntu の動作には mt86plus は必要ではないが, メニュー設定に関連して準備している。この状態で,

```
/opt/tftpboot/pxelinux.cfg/default
```

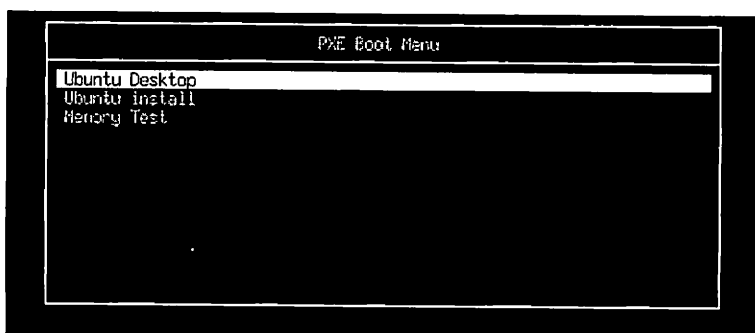
に必要な設定を行う。内容は以下の通りであるが, append 行の行末 \ は継続行であることを示しており, 実際には一行で記述する必要がある。

```
# Boot Menu
DEFAULT menu.c32
PROMPT 0
NOESCAPE 0
ALLOWOPTIONS 0
TIMEOUT 300
MENU TITLE PXE Boot Menu
# Desktop xfce
LABEL Ubuntu Desktop
kernel xubuntu/casper/vmlinuz
append boot=casper netboot=nfs nfsroot=192.168.1.1:/opt/pxeroot-xubuntu \
    initrd=xubuntu/casper/initrd.lz -- splashd
# Install
LABEL Ubuntu Install
kernel xubuntu/casper/vmlinuz
append boot=casper netboot=nfs nfsroot=192.168.1.1:/opt/pxeroot-xubuntu \
    initrd=xubuntu/casper/initrd.lz -- splash only-ubiquity
```

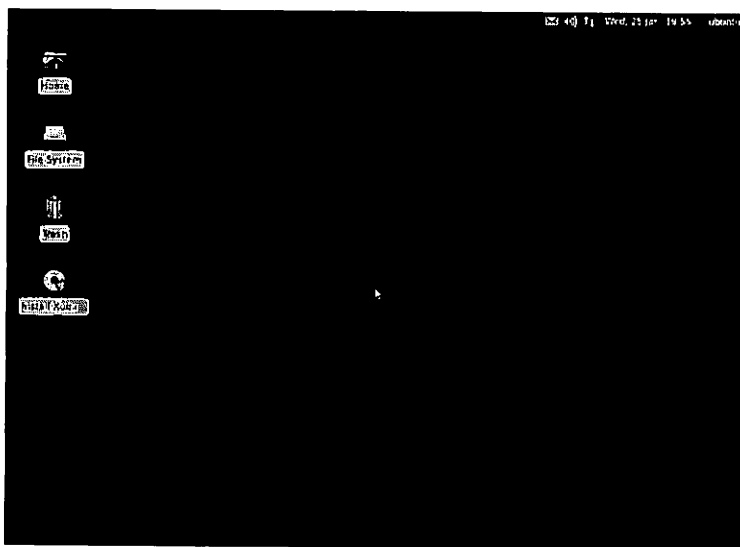
```
# memtest86
LABEL Memory Test
kernel xubuntu/install/mt86plus
```

さらに前節と同様 dhcpd.conf には filename "pxelinux.0"; と記載する。

以上の設定のもと PXE 起動を行うと、次のようなメニューが表示され、稼働させる項目を選択できるようになる。



Ubuntu Desktop を選択すると、Xfce デスクトップ環境が利用できる。



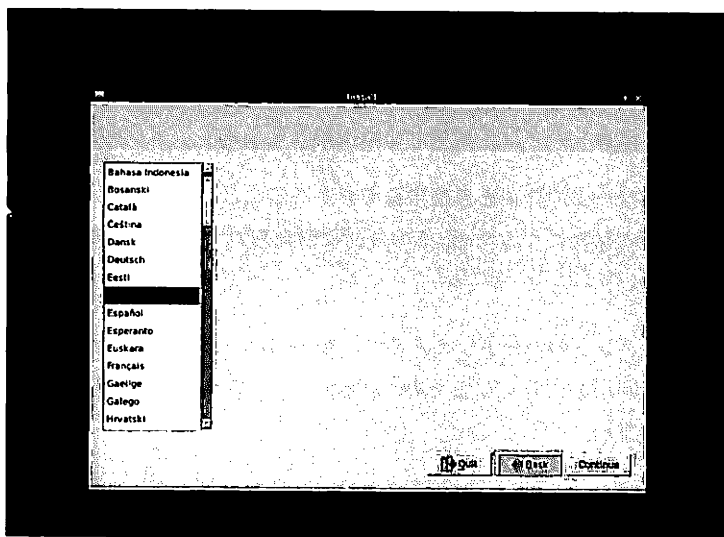
ハードウェア (デバイスドライバ) の対応状態等を確認した後、この環境からインストーラーに進むこともできる。CD-ROM から起動した場合と異なり /cdrom にマウントされているのは、

```
192.168.1.1:/opt/pxeroot-xubuntu
```

である。マウント状態は以下の通り。

```
/cow on / type overlayfs (rw)
proc on /proc type proc (rw,noexec,nosuid,nodev)
sysfs on /sys type sysfs (rw,noexec,nosuid,nodev)
fusectl on /sys/fs/fuse/connections type fusectl (rw)
udev on /dev type devtmpfs (rw,mode=0755)
devpts on /dev/pts type devpts (rw,noexec,nosuid,gid=5,mode=0620)
tmpfs on /run type tmpfs (rw,noexec,nosuid,size=10%,mode=0755)
192.168.1.1:/opt/pxeroot-xubuntu on /cdrom type nfs \
(ro,relatime,vers=3,rsize=65536,wsizes=65536,namlen=255,\
hard,nolock,proto=tcp,port=65535,retrans=3,sec=sys,\
local_lock=all,addr=192.168.1.1)
/dev/loop0 on /rofs type squashfs (ro,noatime)
none on /sys/kernel/debug type debugfs (rw)
none on /sys/kernel/security type securityfs (rw)
tmpfs on /tmp type tmpfs (rw,nosuid,nodev)
none on /run/lock type tmpfs (rw,noexec,nosuid,nodev,size=5242880)
none on /run/shm type tmpfs (rw,nosuid,nodev)
gvfs-fuse-daemon on /home/ubuntu/.gvfs type fuse.gvfs-fuse-daemon \
(rw,nosuid,nodev,user=ubuntu)
```

また、メニュー二番目の項目 Ubuntu install を選べば、次のようにインストーラーが動き出す。これらでは CD-ROM から起動した場合と同等な状態が実現されている。



4 ネットワーク起動利用の利点

ネットワーク起動の最大の利点は、個々のクライアントに対するソフトウェア的保守の負担が軽減されることであるが、その利点を列挙してみる。

- さまざまな保守、確認作業のために、その起動メディア等を準備する必要がない。
- 一旦 PXE を利用可能な状態にしておけば、すべての変更作業はサーバー側の設定で完了する。また、クライアントの追加にも柔軟に対応できる。
- サーバー側の一つのイメージを修正することで、全クライアントに対する修正が可能となる。そのため、ソフトウェアの更新が容易となり、緊急を要するセキュリティ面の問題にも迅速に対応できる。
- ローカルマシン上にストレージが不要となり、ハードディスク等の故障、データ破損の問題から開放され、消費電力の面でも有利である。不慮の電源ダウン、振動等への耐性も大幅に向上する。

一方、導入のための負担となる面については、

- サーバーの管理 (安定稼働, セキュリティ面等) に注意が必要。サーバーダウンは多くのクライアントに直接影響を与えてしまう。
- ネットワークの負荷を考慮する必要がある。どうしてもトラフィックが増大する傾向になるため、その負荷に耐えられる環境を準備しなくてはならない。
- クライアントのハードウェアについて、ストレージは不要となるが、仮想記憶は利用しにくくなるため、主記憶については通常よりも多く搭載した方がよい。

といった点が指摘できる。しかしながら、近年のコンピューターハードウェア、ネットワーク機器の性能向上を考慮すれば、上記の問題点は克服可能であり、ネットワーク起動の利用は

- 管理の省力化
- セキュリティ対策としてのソフトウェア更新

といった面については非常に有力な手法を提供するものと考えられる。検討すべき課題は残されているが、教室での授業用環境での利用を考慮すれば、PXEの活用は導入に向けて十分に検討をする価値があるだろう。

参考文献

[F] <http://www.freebsd.org/>

[U] <http://www.ubuntu.com/>

[I] <http://www.isc.org/>

[K] 北川 正一, 「教室用コンピュータ環境の効率的複製作成方法」, 九州国際大学教養研究 第16巻 第1号 (2009年7月)