

省エネルギーのための PC 端末電源管理システム

船木 麻由[†] 西垣 桂[†] 齊藤 明紀[†]

[†]鳥取環境大学大学情報システム学科 〒689-1111 鳥取市若葉台北 1-1-1

E-mail: {s053039t, q063021e, saitoh}@kankyo-u.ac.jp

あらまし PC 端末を並べた教室で全端末を常時稼働させると電力を無駄に消費する。逆に原則電源オフで使うときだけ利用者が電源を投入するという方式だと OS 起動の待ち時間が生じ、利便性が低下する。そこで、端末室の利用状況に応じて自動的に端末の稼働台数を増減させるシステムを開発した。管理サーバは端末状態を監視し、起動済みの空き端末の台数が指定数を保つように、余分な空き端末を停止したり、不足分の端末を起動したりする。端末室の講義使用時や昼休みなど利用者が多く来室することがあらかじめ分かっている場合には、その数分前に一時的に指定数を増やすことにより、過渡的な新規来室者増加にも対応できる。

キーワード 端末室, 省エネルギー, 電源管理, Wake On Lan

A remote power control system for PC classroom to save energy

Mayu Funaki[†] Katsura NISHIGAKI[†] and Akinori SAITOH[†]

[†] Faculty of Engineering, First University 1-1-1 Wakabadai-kita, tottori-shi, 689-1111, Japan

E-mail: {s053039t, q063021e, saitoh}@kankyo-u.ac.jp

Abstract In PC classroom, running all PCs for 7x24 means waste of electric power cost. Contrarily, ordinary-off style operation brings low user satisfaction because users must wait for PC boot up for a few minutes. We propose a system that automatically controls number of running PCs along with active user number. The management server watches for PCs to keep number of vacant PC to be same as specified value by shutting down or turning their power on. If we are expecting many users will coming, lecture start time or lunchtime for example, we can handle many incoming user by giving larger number for the server.

Keyword PC classroom, power save, power control, Wake On Lan

1. はじめに

現在、パーソナルコンピュータ(PC)を並べた端末室やパソコン教室は、大学など多くの教育機関に設置されている。従来、このような端末室の運用方式は、端末を常時稼働させる事例が多かった。しかし、近年では省エネルギーの要請が強まっている。実際、本学の端末室に相当するワークステーション室でも、不使用端末は出来るだけ電源を切っておくという運用形態への変更を準備中である。

しかし、端末の電源を常時切っておき使用者がその都度電源を入れるという形態では、利用者は端末が起動するまで数分待たなければならない。

そこで、本研究では、ログイン可能端末の稼働台数を需要に応じて変えることで、利用者の利便性を損ねることなく省エネルギーを実現する。具体的には、「新規利用者のための数台はあらかじめ起動しておく」という方式を考える。利用者がログインすると新たな端末に電源が入り、ログアウトしてログイン可能端末が増えてくると何台かがシャットダウンする、というよ

うな電源管理システムである。

電源管理サーバを置き、クライアントを集中管理する。

なお、本稿では端末の状態を以下のように表す。

- 「電源オフ」: 電源が切れている状態。
- 「使用中」: 利用者がログイン中の状態。
- 「ログイン可能」: OS が起動済みで着席したらすぐに使える状態。スクリーンセーバーが働いているかまたは、ログイン画面が表示されている。
- 「空き端末」: 電源オフの状態及びログイン可能な状態の総称。

2. 電源管理システムの考察と検討

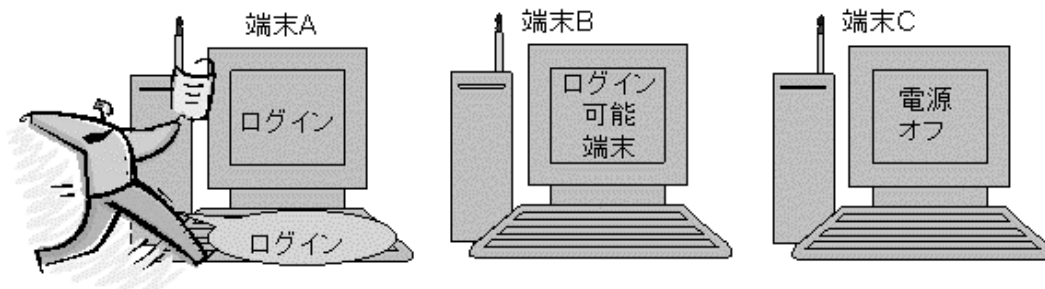
端末室(パソコン教室)の利用者数は時間によって不規則に変動するがおおむね以下のような特性を持つと考えられる。

- 講義室兼用の場合、講義開始の前後数分間に多人数が同時にログインする。また時限の終了時刻前後に多人数が同時にログアウトする。

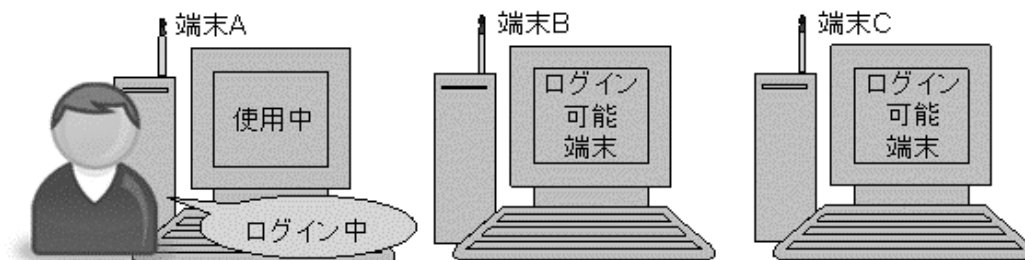
①利用者0人，全端末台数3台，用意しておくログイン可能端末数は2台とする...ログイン可能端末: 2台，電源オフ端末1台



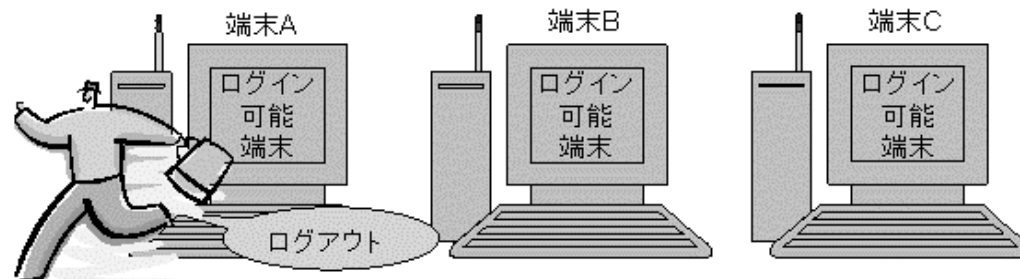
②利用者が1人やってきて，端末Aにログイン...ログイン可能端末: 1台，電源オフ端末: 1台，使用中端末: 1台



③ログイン可能端末が1台減ったので1台起動する...ログイン可能端末: 2台，使用中端末: 1台



④端末Aの利用者がログアウトする...ログイン可能端末: 3台



⑤ログイン可能端末が1台増えたので，1台電源を切る...ログイン可能端末: 2台，電源オフ端末: 1台



図1 提案システムの動作例

- 自由使用時間帯では来室者，退室者はランダム(ポアソン分布)であると考えて良い。
- 昼休みの始め/終わりなど多くの来室者/退室者が集中する時刻がありえる。
- 閉室時には利用者は居ないが，保守作業などが行われる事はある。
- 24 時間オープン of 自由使用端末室のばあい，深夜の利用者は少なく，また来室/退室も低頻度である

そこで，新規来室者が起動を待たずに端末が使用できるように，ログイン可能端末が一定数存在するように制御することを考えた。

また，手動で電源スイッチを押して端末を起動することも許すことにする。これは，想定以上の新規来室者があった場合への対処である。

今回実装した試作システムは，図 2 に示すように，ポリシーファイルで指定された台数のログイン可能端末が存在するように制御する起動管理サブシステムと，ポリシーファイルを指定時間ごとに書き換えるスケジュール制御サブシステムから構成されている。

2.1. 電源投入切断手法

遠隔電源投入は近年ほとんどの PC がもっている Wake On Lan(WOL)[1]機能を用いる。

電源断は，PC 端末そのものが持つ APM や ACPI 機能を用いて端末自らが行う。この場合数 W のスタンバイパワーを消費してしまう。

電源の投入や切断に遠隔制御テーブルタップを用いた場合待機電力が 0 になる一方，遠隔制御テーブルタップ自体の消費電力が発生する。PC1 セット(コンセント 2 個)あたり 2~5 万円程度の導入コストを要する。PC と LCD の待機電力はせいぜい数 W であるから，遠隔制御テーブルタップの導入はコスト的に引き合わないと考えられる。

2.2. システム構成と基本動作

電源管理システムは，サーバで動くソフトウェアと，各端末で動くソフトウェアから構成される。

基本方針として，電源はサーバからの指示で入れる(WOL)が，電源を切るのは各端末が自主的に切るという方式にする。これは，ログイン可能端末が少ないのは不便が多いのは不便ではない，ということと，PC の消費電力は数 10W なので，数秒を争ってシャットダウンする必要もないためである。

端末には，ログインされないまま所定の時間放置されるとシャットダウン~電源断を行うプログラムを常駐しておく。それに対して，サーバが，稼働を継続することを指示する。稼働継続を指示しなくなれば端末

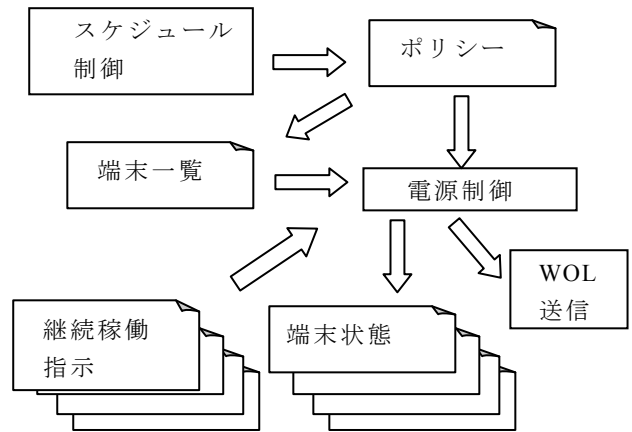


図 2 サーバプログラム構成

は電源を自ら切る。

これは，何らかのトラブルでサーバからの指示が届かなくなった際に，利用者の居ない端末はシャットダウンするというフェールセーフ策である。管理者権限が無いものが端末の電源を入れることは，電源スイッチを押すことで容易にできる。しかし，電源オフにすべき端末が動き続けている時に端末を安全に電源オフさせるのには管理者のパスワードが必要だからである。

2.3. 通信手法

電源管理サーバと端末との通信は，NFS で共有したファイルを用いる。端末の状態を知る手法としては SNMP[2]が広く用いられている。しかし，コンソールユーザの有無を調べる MIB 変数が host resource MIB[3]などに見つからなかったため，共有ファイルを選択した。

端末の状態を示すファイルは，ディレクトリ /var/pcroom/status/ に置かれたホスト名と同名のファイルである。また，サーバが端末に継続稼働を指示するには，ディレクトリ /var/pcroom/keepon/ に置かれたホスト名と同名のファイルを用いる。

各ファイルの状態と表す意味を表 1 と表 2 に示す。

電源管理サーバから見た端末の状態遷移を図 1 に示す。起動中の端末と電源オフの端末は区別がつかないため，OS 起動中という状態はない。WOL パケットを送信すると端末が起動中であると期待して「WOL 済」という状態に置く。WOL 送信後一定時間待っても起動しない端末は，故障等と見なして以降本システムの制御対象から除外する。端末は利用者の手動操作で電源が入られる事もあるので，「WOL 済み」を経ずに電源断からログイン可能に遷移することもある。起動を待っていた利用者がすぐにログインした場合，サーバがログイン可能状態になったことを検知しないうちにログイン中になってしまうこともあると考えられるため，電源オフからログイン中に直接遷移もあり得るこ

表1 status ディレクトリ内のファイルの意味

状態	意味	
存在しない	電源断	
タイムスタンプが古い	電源断	
1分以内に更新	サイズ0	ログイン可能
	サイズ>0	ログイン中

表2 keepon ディレクトリ内のファイルの意味

状態	意味
存在しない	端末自律
タイムスタンプが古い	端末自律
1分以内に更新	継続稼働せよ

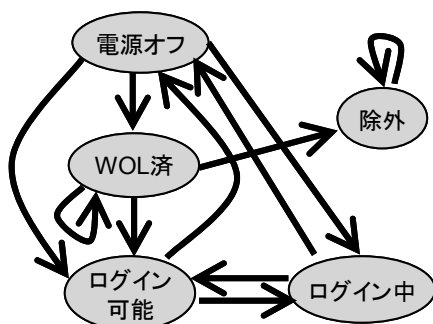


図3 サーバから見た端末の状態遷移

ととしている。

2.4. サーバのシステム構成

サーバのシステム構成は図2に示した。

時刻に応じてポリシーを変更させるスケジュール制御プログラムと、実際に電源制御を行うプログラム、および WOL のマジックパケット送信を実際に行うプログラムからなる。矢印はファイルの書き込み/読み出し方向である。

3. 実装と評価

システムの実装と評価について述べる。

3.1. サーバ側プログラム

電源管理プログラムは JAVA で実装した。このプログラムは一定時間ごとにポリシーファイルを読み込み、端末状態ファイルのサイズと最終更新時刻を調べる。

そのうえで、ログイン可能な台数、WOL 送信済み端末の台数、目標とするログイン可能台数を調べる。

WOL に応答しない端末を除外リストに移した後、端末リストにある端末を5群に分類する。

- 現在電源オフであり、そのままオフしておく
- 現在電源オフであり、今から起動指示を出す
- WOL 送信済みであり、まだ起動していない
- 現在使用中(ログインユーザが居る)

```
#!/bin/sh
# wol hostname
mac=`awk '$2=="$1" {print $1;exit}' /etc/ethers`
#
if [ -n "$mac" ];then
    /usr/perl5/5.8.4/bin/wakeonlan $mac
else
    echo MAC address for $1 not found 1>&2
    exit 1
fi
exit 0
```

図4 wol コマンド

- 利用可能(ログイン待ち)であり、今後も継続稼働
- 利用可能(ログイン待ち)であり、端末の自律判断でシャットダウンして構わない

上記の分類の結果に従い、keepon ディレクトリ内の各ファイルを作成/タイムスタンプ更新/削除する。

マジックパケットを送信するために、電源管理プログラムは/var/pcroom/sbin/wol を起動する。今回の実装では wol コマンドはマジックパケットを実際に送信するプログラムへのラッパー(wrapper)であり、引数としてホスト名を1つとるシェルスクリプトである(図4)。

マジックパケットを実際に送信する本体プログラムは、perl で書かれたフリーソフトウェア(/usr/perl5/5.8.4/bin/wakeonlan)を用いた。この wakeonlan プログラムは引数として MAC アドレスをとるので、ホスト名から MAC アドレスを得る処理は wol コマンド内で行っている。MAC アドレス変換は/etc/ethers を参照して行う。

3.2. 端末側のプログラム

端末で動作するプログラムは新規に作るのではなく、空き端末表示装置[4]を駆動するプログラムへの機能追加という形で行った。

利用者がログインしている間、動作するプログラム(txdon)には、指定されたファイルを1分に1回更新する機能を追加した。4バイトの時刻値をオフセット0から定期的に上書きするという実装になっている。

端末が空いている(ログイン画面が表示されている)時に実行されるプログラム(blink)にも、指定されたファイルを1分に1回更新する機能を追加した。こちらは、4バイトの時刻値を書き込んでタイムスタンプを更新した直後に truncate でファイルサイズを0に切り詰める実装になっている。

ユーザがログインしないまま一定時間が経過するとシャットダウンする機能は blink がもともと持って

いた。そこに、指定したファイルが存在し、かつタイムスタンプが現在時刻から1分以内であれば、指定した時刻が来てもシャットダウンしないように改修を行った。

txdon と blink は C で実装した。

3.3. スケジュール運転

サーバで稼働するスケジュールプログラムは cron を用いてポリシーファイルを書き換えることで代用した。

たとえば、平日 9 時～18 時には自由使用時間帯として 3 台のログイン可能端末を確保し夜間と週末は全シャットダウン(0 台)だとする。さらに、毎週月曜日の 2 時限(10:40～12:10)には 40 名の受講生が居る講義が行われるものとする。またその場合は、crontab を図 5 のように¹設定すればよい。

図 5 の例では、まず平日は学生が来はじめる 8:30(1 時限の開始 30 分前)にログイン可能端末の指定数を 3 とし、18 時には 0 台に変えている。また、月曜の朝 10:40 からの講義の受講生の来室に備えて 10:35 分に 40 台の利用可能端末を用意する。欠席した学生に相当する PC の電力は無駄なので、遅刻してくる学生がほぼ居なくなるであろう 10:45 にはログイン可能端末を 1 台に減らす(端末室を講義専用でつかい、空き端末を自由使用する事は許さないと想定)。講義が終了する 12:10 にはログイン可能端末の指定数を 3 台に戻している。

3.4. 評価実験

サーバ 1 台と端末 4 台からなる実験環境を用意して評価実験を行った。実験環境を表 3 に示す。

サーバには /var/pcroom/status 内のファイルを定期的に更新するシェルスクリプトを走らせ、電源管理サーバにとっては表の 4 端末のほかに端末が 48 台存在するようにみえる環境を構築した。

この状態でポリシーファイルを書き換えて稼働台数が指示通り変化することを確認した。また端末の電源を手動で入れたたりログインしたりログアウトしたりして、設計通りに働くかどうかを確認した。また、端末の状態変化からのサーバの応答時間も計測した。

3.5. サンプリング間隔

当初、サーバが端末の状態を確認するのは 60 秒に 1 回としていた。この場合、利用者がログインしてログイン可能端末の台数が減ったあと、別の端末の電源が入るまでに最悪 1 分を要することになる。実際に実験運用してみると、利用者から見てこれは長いように感

```
# min hour day Month wday cmd
30 8 * * 1-5 /var/pcroom/sbin/setp 3
0 18 * * 1-5 /var/pcroom/sbin/setp 0
35 10 * * 1 /var/pcroom/sbin/setp 40
45 10 * * 1 /var/pcroom/sbin/setp 1
10 12 * * 1 /var/pcroom/sbin/setp 3
```

図 5 crontab の設定例

表 3 実験環境

種別	機種	OS
サーバ	Sun Java workstation 2100	Solaris 10
端末 1	DELL Power Edge 600SC	Vine4.2
端末 2	自作 PC	ubunstu-ja-8
端末 3	自作 PC	ubunstu-ja-8
端末 4	DELL Dimension 2400C	ubuntsu-9

じたので 30 秒ごとに status ファイルを確認するように変更した。

3.6. 自動シャットダウンまでの時間

当初は、講義間の休憩時間が 10 分であることから、10 分間ログイン待ちが続けばシャットダウンとしていた。

省エネルギー運用をするには、使用していない端末は電源オフにした方がよい。しかし、シャットダウンや起動は端末の電子部品にとってはストレスをあたえるので無用に頻繁な起動停止は避けた方がよい。

また、利用者にとっての利便という観点で考えると、空き端末をめがけて利用者が移動した際に、目の前でシャットダウンしてしまうというのは非常に心証を害する。そこで、ログイン後、利用者が荷物をまとめて席を立つのを見つけて次の利用者が教室の端から歩いてくる、という場合を想定して、5 分に変更した。

利用者にとって、本システムが継続稼働と指示しているログイン可能端末と、時間が経過するとシャットダウンしてしまうログイン可能端末が区別できないからである。

3.7. 省エネルギー効果

本学のワークステーション室に本システムを適用した場合を想定して期待される省エネルギー効果を計算した。

ワークステーション室に設置されているのは Compaq Evo D510SF/CT P2.8 (Red Hat Linux 7.3)と 17 インチ液晶ディスプレイ(I.O DATA LCD-A171WS)が 50 台である。

稼働中の消費電力は本体が 64W, LCD が 41W であ

¹ Solaris の場合。

った。電源オフ(PC本体は Wake On Lan の hunt モード, LCD はビデオ信号途絶によるパワーセーブモード)の状態の消費電力はそれぞれ 1.9W と 1W であった。これらの消費電力値は家庭用積算電力計(三菱電機 M1LM)と市販のワットチェッカー(計測技術研究所 2000MS1)で計測した。どちらも計測可能下限にちかいため、PC は 5 台, LCD は 10 台の合計消費電力を計測し、両者の計測値が一致することを確認した。

従来は、これら 50 台の端末が 24 時間稼働していた。

ワークステーション室を用いる講義の受講生がログインするのべ時間は現状では非常に短く、50 台×24 時間×365 日の稼働にたいしてほぼ無視できる。

3 台だけログイン可能端末を確保するという運用では消費電力を従来の 6%($3 \div 50$)に減らせると期待される。

9 時から 17 時までではログイン可能端末 3 台, それ以外は 0 台という運用にすれば、従来の 2%($8 \div 24 \times 3 \div 50$)にまで減らせる計算になる。

省エネルギーへの異なるアプローチとしては、空き端末を待機/スリープ(ACPI S3: suspend to RAM)やハイバネーション(ACPI S4: suspend to disk) など休止モードにしておくという方式も考えられる。本学のワークステーション室では OS が linux で、かつ端末の機種が現在のような省エネルギー機能が普及する前の製品であったため休止モードの活用は検討しなかった。しかし、新規導入の端末室で特に端末 OS が Windows の場合は休止モードの活用も有望であると考えられる。

S3, S4 と提案手法との利害得失について考察すると、消費電力の大小関係は一般には

$$\text{電源断} = S4 < S3 \ll \text{稼働中}$$

と考えられる。S3 と S4 の差が大きい機種では、電源断を行う提案手法が有利である。提案手法と S3 スリープのどちらを選ぶかは、端末室の規模、機種ごとの待機時電力、端末室利用者の人数などに依存すると考えられる。

問題点は、電源オフと S3 の消費電力は機種ごとの違いが大きいことである。たとえば ECCJ 省エネルギーセンターの公表している省エネルギー型デスクトップパソコン 19 機種中スリープ時の消費電力[5]は最小のものは 1.6W, 最大のものは 9.6W である。また、カタログ値と実際の消費電力が異なるのも特徴で、たとえば レノボ ThinkCentre 6418-A13 はメーカーカタログではスタンバイ 3.7W/電源オフ 2.5W となっているが、実測では 3W 弱/2W 弱であった。このように、導入前に正確な省エネルギー設計を行うことは難しい情勢にある。

3.8. 今後の課題と考察

起動する端末や起動し続ける端末の選択を行う際、今回の実装では端末リストの掲載順としたが、他の方式も考えられる。たとえば、教室の前の黒板に近い席を優先する、あるいは全端末の延べ稼働時間が均一になるようにする、あるいは、端末室の中にログイン可能端末が均等に分布するように制御する、などである。

現実装では稼働台数のスケジュール制御として cron を使っている。そのため、スケジュールを crontab の設定として表現するのに熟練が必要であるし、コマンドラインでの設定しかできない。また、祝日や夏休み等の平日の非講義日などへの対処も完全手動である。本システムに適した、GUI ベースの設定ツールとスケジュール管理ソフトウェアの提供が必要である。

4. まとめ

本研究では、大学などでの PC を並べた端末室の省エネルギー運用のために、利用状況に応じて動的に端末の稼働台数を変える遠隔電源管理システムを考案・開発した。

本システムでは、来室者が待たずにログインできる起動済み端末を指定した台数だけ確保するように、端末の起動/停止を行う。講義時間や自由使用时间などの台数需要が変わる時間帯に応じて指定する端末数を変えることで、利用者の利便性を損なわずに省エネルギーが実現できる。

本システムを運用した場合、端末室の中に起動済みの空き端末は少数しか存在せず、他の席は使用中か電源が切れているという状況になる。そこで、利用者が容易にすぐログイン可能な空き端末を探せるように、各端末に取り付ける LED ランプの状況表示装置も開発済みである[4]。

平成 21 年度には本システムを本学ワークステーション室で実際に運用し、効果等について検証する予定である

文 献

- [1] Advanced Micro Devices, "Magic Packet Technology", AMD whitepaper #20212, November 1995.
- [2] J. Case et al. A Simple Network Management Protocol, Request for Comments 1067, August 1988.
- [3] S. Waldbusser and P. Grillo, "Host Resources MIB", Request for Comments 2790, March 2000.
- [4] 船木麻由, 西垣桂, 齊藤明紀, "空き端末探索のための状態表示装置", 情処技報, 2008-IOT-3(8) pp.43-48, September 2008.
- [5] "省エネ性能カタログ 2008 年春", <http://www.eccj.or.jp/catalog/2008sp-pc/data1.html>, 省エネルギーセンター, March 2008.