

太陽光発電と低消費電力型 CPU による クラウド環境構築の検討

山際 基^{1,a)} 佐々木 和真^{1,b)} 上原 稔^{1,c)}

概要: 近年, 情報通信技術の発達に伴い, 膨大なデータを処理することが研究およびビジネスの場で行われるようになった。これは, データを処理するために必要とされる機器の数やデータ通信量の増大を意味するものであり, 処理をする機器やネットワーク機器が消費するエネルギーの増大を意味する。また, 利便性や利用コストの削減を目的として, 情報処理にクラウドサービスを利用されるようになった。本研究は再生可能エネルギーの 1 つである太陽光発電を用いてクラウド環境の構築を検討する。エネルギーを効率良くサービスへ提供するためのシステム構築を検討すると共に, クラウド環境における従来の高性能 CPU に対しての低消費電力 CPU のエネルギー効率および処理効率の優位性を検討する。

キーワード: 再生可能エネルギー, クラウド, 可動システム

A Study for Construction of Cloud Environment using Photovoltaic Generation and Low-power Consumption CPU

Abstract: Recently, by the growth of information and communication technology, processing with large amounts of data is deployed on research and business field. This means increase in the number of required devices and data traffic for the data processing, moreover, this means increase in the energy consumption of required devices and data traffic for the data processing. On the other hand, for the purpose of convenience or cost savings, to make use of cloud services for data processing has been increased. In this work, we consider the construction of a cloud environment using solar power generation that is one of the recyclable energy. And, we consider the construction of system for providing energy efficiently to the cloud service. We consider the advantages of energy efficiency and processing efficiency for low-power consumption CPU from conventional high-performance CPU in the cloud environment.

Keywords: Recyclable energy, Cloud environment, Movable system

1. はじめに

現在, コンピュータの利用形態はクラウドコンピューティングという形で再びコンピュータリソースは統合の道を歩んでいる。クラウドコンピューティングとはネットワーク上にあるリソースをユーザーがそのハードウェアやソフトウェアに依存せず, またそのリソースを意識せずに利用することができるという概念である。そのイメージが

雲の様にぼやけている為にクラウドと呼ばれている。従来のシステムに対してユーザーが最低限のハードウェア, 端末を所持するだけで良い事, また, 企業が従来所有していた自社サーバを移転することによるコストの削減やオンデマンドで迅速に設備増強が行える事等がクラウドの利点である。クラウドコンピューティングは主にデータセンターのような大規模なシステムにおいて構築されるが, グリーン IT やコストの観点から, その構築, 運用, 廃止までのプロセスにおいて省エネルギーが要求されている。特に長期的な運用におけるコスト, 消費電力に取り組む必要がある。大規模なデータセンターではサーバ自体の消費電力以外にネットワーク機器や空調等の冷却機器等, トータルでの消費電力を考慮する必要がある。既に業界内では仮想化

¹ 東洋大学総合情報学部
Faculty of Information Sciences and Arts, Kawagoe, Saitama
350-8585, Japan

a) yamagiwa@toyo.jp

b) is0902746@toyo.jp

c) uehara@toyo.jp

による CPU 空き時間の削減によるサーバの利用率の向上、冷却装置無しのシステムやノンクリティカルセクションにおける太陽光発電の利用等の取組みが行われている。しかしながら情報通信機器の総数は増え続けている為、業界の取組みによる消費電力の削減幅を大きく上回って消費電力も増加しているのが現状である。今後も世界全体での情報通信機器の増加は避けられず、改善、新しいシステムの提案が望まれる。そこで、この問題に取り組む為に独立した電源でシステム全体を稼働させると共に、消費電力、コストにおいて優位性が検討される低消費電力 CPU を採用したクラウドの運用を提案する。

太陽光発電は再生エネルギーの一種類であるが、その電力供給能力は不安定である。そこでバッテリーを接続することにより、継続的に電力を供給できるだけの電力確保手段を検討する。システムの消費電力に対して莫大な容量のバッテリーや出力の太陽電池を使用すれば継続運用は可能であるが、コストやシステムの大きさの点で既存のシステムに対して非常に劣るものとなってしまう。そこでシステムの最小化を図るべく、評価および検討をする。低消費電力 CPU とは従来組み込みシステムやモバイル機器等、リソースに制約のあるシステムにおいて利用されて来た CPU であり、性能はかなり低いものであった。しかし、ARM や Atom 等、昨今のスマートフォンやネットブック、タブレット PC の普及により、本来低かったプロセッサ性能の向上が図られ、また本来の利点としての厳しい低消費電力条件の実現をしている点等、低消費電力 CPU 利用によるサーバ構築の可能性が高まっている。本研究では低消費電力 CPU 使用したクラウド環境を構築し、低消費電力 CPU の優位性及び低消費電力 CPU 利用によるクラウド運用の検証を行う。

2. 関連事例

2.1 クラウド

クラウドコンピューティングとはネットワーク上にあるリソースをユーザーがそのハードウェアやソフトウェアに依存せず、またそのリソースを意識せずに利用することができるという概念である。しかしながら、クラウドという言葉が明確に定義されているわけではなく、従来からあるネットワーク・コンピューティングやユーティリティコンピューティング、グリッドコンピューティング、SaaS、ASP などを表現または発展させた概念である。

クラウドは提供するサービスや環境によって大きく SaaS、PaaS、IaaS(HaaS) の 3 種類に分けられる。SaaS(Software as a service) とはサービスプロバイダーがネットワークを通じてユーザーにソフトウェアパッケージを提供するサービスであり、ユーザーがインターネット上で電子メール、グループウェア、CRM 等を利用することができる。実際に提供されているサービスではセールスフォース・ドットコム

Salesforce CRM、マイクロソフトの Microsoft Online Services、Google の Google Apps がある。PaaS(Platform as a service) とはアプリケーション実行用のプラットフォームをサービスプロバイダーが提供するサービスである。サービスプロバイダーより提供される仮想化されたアプリケーションサーバやデータベース等にユーザー自身のアプリケーションを配置して運用することができる。現在あるサービスはセールスフォースの Force.com platform、Google の Google App Engine、マイクロソフトの Windows Azure、Amazon.com の Amazon S3 等がある。HaaS(Hardware as a service) または IaaS(Infrastructure as a service) とはサービスプロバイダーがハードウェアやインフラを提供するサービスである。仮想化やディスクの共有環境が提供される。ユーザーは提供されたプラットフォームを利用し、自ら、またはサービスプロバイダーから提供される OS やソフトウェアを導入運用する。実際の提供サービスでは Amazon.com の Amazon EC2 等がある。また、クラウドはネットワークの利用、構築形態毎に以下の分類がある。インターネット経由で一般にサービスを展開するクラウドであるパブリッククラウド、家庭内や社内等、閉鎖されたネットワーク上で提供されるプライベートクラウドが存在し、最近では両者を組み合わせたハイブリッドクラウドも存在する。

2.2 低消費電力プロセッサ

低消費電力プロセッサとは組み込みシステムやモバイル機器向けに開発されている CPU である。消費電力の低さ、CPU パッケージの小型化、低発熱等のモバイル機器に要求される特徴を有している。従来は組み込み、モバイル機器の分野では 1983 年に発表された RISC CPU である ARM アーキテクチャが広く利用されていたが汎用コンピュータにおける x86 のソフトウェア資源を利用できないことが問題であった。2008 年に Intel の発表した Atom は x86 CPU であり、この問題を解決している。

ARM とは ARM 社により開発されている組み込み向け CPU のアーキテクチャである。複数の企業にライセンス供与が成され、それぞれで目的別に設計し製造を行っている。組み込み機器や低電力アプリケーション向けに開発された 32 ビット RISC CPU のアーキテクチャである。低消費電力を要求されるモバイル機器に広く採用されている。また、昨今の低消費電力 CPU の要求の高まりを受けサーバ用途向けに 64bit アーキテクチャも発表された。Atom とは米 Intel 社が開発した携帯端末や組み込み向けの低消費電力プロセッサである。x86 命令に対応し、現在タブレット PC やスマートフォン、ネットブック、家電機器等、多様なモバイル機器に多く採用されている。

2.3 スモールコアサーバー

低消費電力 CPU の利用は各社ベンダーにおいても環境対応やコスト削減の点で進めている。従来の高周波数、メニコアの CPU をラージコアと呼び、低消費電力、小パッケージの CPU をスモールコアと呼ぶ。スモールコアサーバとはモバイル機器向けのスモールコア CPU を複数、大量に搭載したサーバである。ベンダーがスモールコア CPU を採用するのは低消費電力、コストの利点だけではない。CPU には CPU やコアを 2 倍にしてもその性能は $\sqrt{2}$ 倍しかないというポラックの法則と呼ばれる経験則がある。実際、スモールコアとラージコアの総面積を比べた場合、その総演算能力はスモールコアサーバの方が高い上に消費電力においてもスモールコアの方が少ない。つまり前述の問題に対して低消費電力 CPU を採用する事は面積あたりの性能向上や省スペース化による冷却、空調等のインフラ設備における消費電力の削減も可能となる点において従来の高性能プロセッサマシンに対して非常に優位性がある事がわかる。

次に HP 社と SeaMicro 社によるスモールコアサーバの事例を紹介する。HP Redstone とは 2011 年に次世代サーバ開発プロジェクト「Project Moonshot」が HP 社によって発表した同社のサーバ、ストレージ、ネットワーク、管理機能、電源、冷却技術の統合基盤である「HP Converged Infrastructure」を発展させた枠組みである。低消費電力 CPU を採用し、今後求められるクラウドコンピューティングやオンデマンドコンピューティングにおけるグリーン IT やコスト対応を見越して開発されている。現在の製品では ARM 版のみの発表であるが Atom 版の計画も存在する。最初の製品である Redstone は ARM 系 CPU である CPU Calxeda ECX-1000 を採用、単一ラックに 2800 台以上のサーバを搭載できる。採用 CPU Calxeda ECX-1000 はエネルギー効率に重点を置いて開発された ARM 系 CPU である。動作周波数は 1.1GHz から 1.4GHz である。特徴は SoC によるプロセッサや I/O 機能のようなソフトウェア、ハードウェアの統合実装であり、これにより高電力効率と高スペース効率を実現している事である。(SoC とはシステムに必要なハードウェアやソフトウェアの機能すべてを単一チップに実装する技術である。) 本製品の 1600 台のモデルではサーバ一台当たりの消費電力は 6W で周辺機器を含めたサーバ全体の消費電力は 9.9kW である。SM 10000 シリーズは SeaMicro が発表した 10U サイズの筐体に約 400 個のプロセッサ、コア数において 768 個搭載できる高密度サーバである。SM10000-64HD では Intel Atom N570 を採用。同 CPU の動作周波数は 1.66GHz であり、コア数 2 インテルハイパースレッディングテクノロジーによって 4 つのスレッドをサポートしている。本製品では同 CPU を 386 個搭載している。特徴は x86CPU の採用によりソフトウェアの変更が必要の無い事、独自開発したネッ

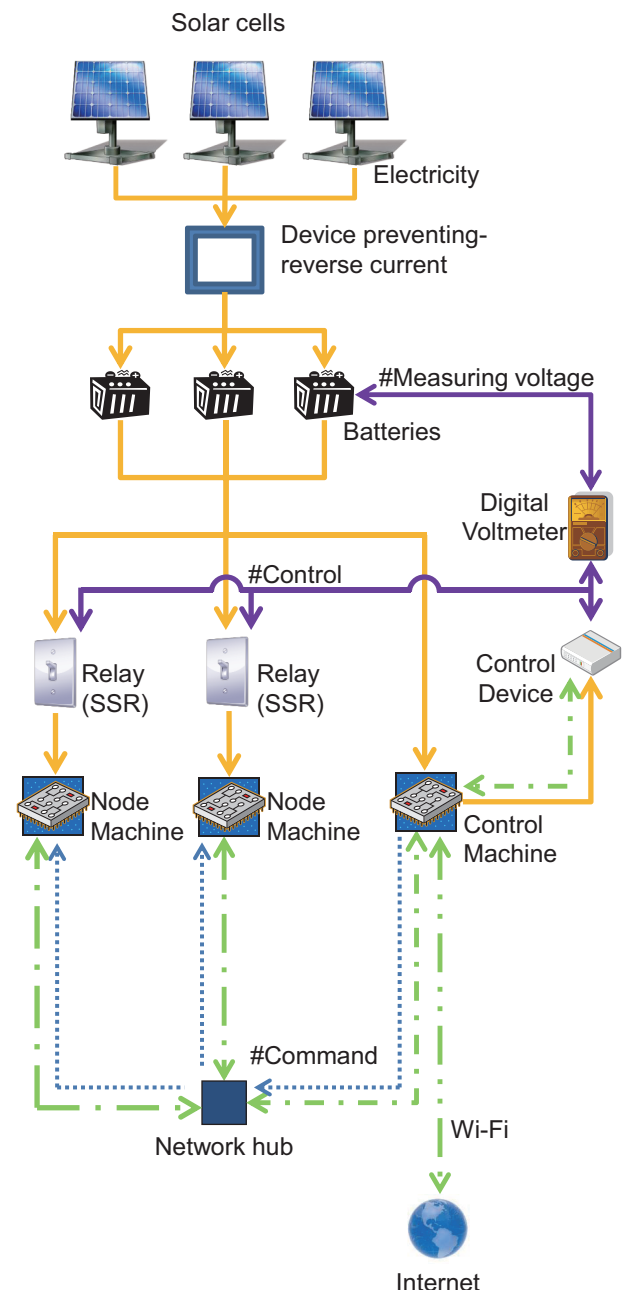


図 1 システムのハードウェア構成
 Fig. 1 The hardware configuration of system.

トワーク LSI によりネットワークスイッチやロードバランサー機能を持ちこの LSI をプラグアンドプレイでシステム構成の増強が行える事である。また一つ一つの LSI の ON/OFF ができる為、細かい電力管理が可能である事である。消費電力は一台当たり 8.5W である。

3. システム構成

3.1 ハードウェア構成

我々が提案するシステムのハードウェア構成全体図を図 1 に示す。役割ごとに分けて、システムの仕組みを説明していく。初めに電力供給の仕組みから述べる。ソーラーパネルが太陽光を受ける事で、電力を発電する。発電された電力は、

電流の逆流を防ぐ役割をするチャージコントローラを通り、鉛電池のバッテリーに充電される。バッテリーに充電された電力は、直流電力の電圧の大きさを変換する役割を持つ DC/DC コンバータを通る事で各々のマシンに適した電圧に変圧される。変圧された電力は、電力供給制御装置を通過して各マシンに供給される。電力供給制御装置は各マシンへの電力供給の ON/OFF の切り替えを行う装置である。

次に、バッテリーの出力電圧による電力供給管理について説明する。デジタル電圧計がバッテリーの出力電圧を計測する。計測した出力電圧は電力供給制御装置に送信される。電力供給制御装置は、出力電圧によって、何台のマシンを稼働させれば良いのかを管理する。稼働させないマシンへは、動作停止命令を送信し、電力供給を停止する。一方、ソーラーパネルによる発電およびバッテリーへの充電によって出力電圧の上昇した場合、マシンを稼働させる事が可能であると判断し、稼働させるマシンに電力供給を開始する。その後、稼働させるマシンにマジックパケットを送信し、WOL(Wake On Lan) を用いてマシンを起動させる。

物理マシンは 1 台のコントロールマシンと複数台のノードマシンに分けられる。コントロールマシンは常時稼働する最小限の物理マシンであり、クラウドサービスを行うための必要最小構成の機能を有する。また電力供給制御装置と接続し、ノードマシンの稼働状況を把握する。

3.2 過飽和クラウドサービスシステムの構成

過飽和クラウドは、与えられた資源を最大限利用するクラウドである。我々は、過飽和を物理資源以上の論理資源を割り当てる事と定める。例えば、CPU 資源はコア数として計量される。あるノードの仮想マシンのコア数の合計がそのノードの物理的なコア数より大きい時、そのノードは過飽和状態にあるという。過飽和クラウドのインスタンス数はメモリ容量で決定される。メモリを過飽和状態で利用すると、swap により性能が大きく低下する。そこで、メモリの過飽和は推奨できない。一方、CPU の過飽和は著しい性能低下を起こさないため容認できる。ディスク資源は余剰傾向にあり、ほとんど飽和しない。よって、メモリ容量がインスタンス数を決定する。我々が過去に構築したクラウドでは、ノードは 100GB のメモリを持ち、インスタンスは 0.5GB のメモリを消費する。それゆえ理論上はノードあたり約 200 インスタンスを稼働できる。本システムは UEC(Ubuntu Enterprise Cloud) に基づき CLC(Cloud controller), CC(Cluster controller), SC(Storage Controller), NC(Node Controller), FE(Front End), Proxy, DNS のコンポーネントから構成される。(図 2 参照)。CLC(Cloud Controller) とはクラウド全体を制御するコンポーネントである。複数の CC(Cluster Controller) を配下に持つ。Walrus とはインスタンスイメージ等を保管するストレージサービスである。CLC に所属している。

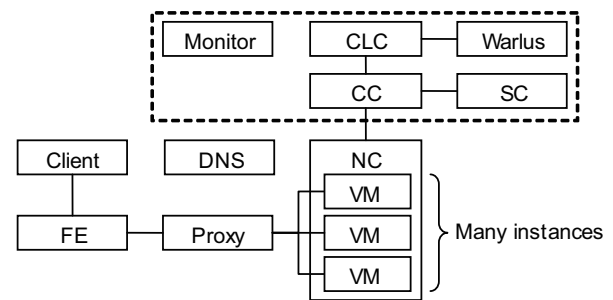


図 2 過飽和クラウドのシステム概要
 Fig. 2 System overview of supersaturated cloud.

CC(Cluster Controller) とは一群の NC(Node Controller) を束ねて管理するコンポーネントである。大規模なクラウドは千台以上の NC を持つことがあるが、このようなクラウドは単一ネットワークで構成することは不適切である。また、サブネットをクラスタとして構成する機能を持つ。SC(Storage Controller) とは EBS(Elastic Block Store) を管理するストレージサービスである。EBS は仮想的な外付けディスクであり、手軽にインスタンスのディスク容量を増大できる。NC(Node Controller) とは VMM(Virtual Machine Monitor) を持ち、複数の仮想マシンのインスタンスを実行する主体となるコンポーネントである。インスタンスとは仮想マシンで実行される実態であり、インスタンスのスペックはイメージにより異なる。典型的な演習は最小構成で可能であり、そのスペックは 0.5GB メモリ、10GB ディスクである。FE(Front End) とはクラウド利用の利便性を図るために導入された共用クライアントである。クラウドを手軽に利用するためメニュー形式の操作法を提供し、インスタンスにアクセスする SSH 鍵を管理する。また、本クラウドはセキュリティのために学外との直接アクセスを禁止する。そこで、学外へのアクセスを許可するプロキシや学内(特定インスタンス)へのアクセスを許可するリバースプロキシを提供する。最後に、インスタンスに外部から参照可能な名前を与える為 DNS を設置する。

我々が構築するクラウドは以下のような特徴を持つ。まずは過飽和クラウドである。これにより安価に構築できる。100 インスタンス以上を稼働させるために NC と CC を 1:1 で対応させ、プライベートネットワークを構成する。プライベートネットワークは外部からの攻撃を防ぐのに有用であり、クラウドのセキュリティを高める。プライベートネットワークから外部へのアクセスにはプロキシを用いる。プロキシはキャッシュを兼ね、トラフィックを低減する。一般的に、授業では同じデータにアクセスすることが多い。キャッシュの効果は高い。一方で、サービスを公開する上で障害ともなるため、公開可能なサービスに対してリバースプロキシを用いて外部からのアクセス手段を提供する。クラウドにアクセスするためのツールはポータブルであり、USB メモリ等でどこでも利用できる。

表 1 マシンの仕様

Table 1 Specification of computing device.

Mother board	Intel BOX D525MW
CPU	Intel Atom D525
Memory	Samsung DDR3 4GB
Storage	ADATA SSD 40GB
Power supply	Mini-Box PicoPSU-90
OS	Ubuntu linux 10.10

表 2 バッテリーの仕様

Table 2 Specification of deep-cycle battery.

Catalog Number	AC Delco Voyager M31MF
Cold Cranking Amperes (CCA)	625
Reserve Capacity (RC)	180
Rated voltage [V]	12

我々が構築するクラウドは以下のようなサービスを提供する．基本的に IaaS(Infrastructure as a Service) である．ユーザーの利用しやすさを考慮すると CLI(Command Line Interface) より GUI(Graphical User Interface) の方が親しみやすい．そこで，DaaS(Desktop as a Service) を提供する 1)．DaaS では SSH トンネルにより安全な通信路を確保する．また，トンネル接続の手順を簡略化するツールも提供している．また，IaaS 上に PaaS(Platform as a Service) の層を構築している．PaaS では代表的な Web アプリケーションをワンクリックでインストールできる．さらに，PaaS 上でソフトウェア開発に特化したサービスを集約した DEVaaS(Development as a Service) を構築した 6)．DEVaaS は必要な時すぐにでも共同開発が始められるように典型的な開発パッケージをサポートしている．必要なイメージが迅速に入手できるように 2 通りの方法を提供する．PaaS のように比較的大きなパッケージを複数インストールする必要があるサービスでは，あらかじめイメージを提供する．そうでない場合，差分をスクリプトで提供する．これにより GB 単位のイメージデータを送信する必要がなくなり，素早くサービスを立ち上げることができる．

4. システムの実装と評価

4.1 ハードウェアの評価

ハードウェア構成を検討するにあたって，システムの最適化を行うには以下の 3 点が重要な要素となる．

- 稼働時のシステムの消費電力量．
- システムが常時稼働できるだけのバッテリー容量．
- システムがバッテリーを使用しながら常時稼働できるだけの太陽電池の発電容量．

実装に当たってのマシン，バッテリー，太陽電池の各仕様を表 1，2，3 に示す．

システム消費電力の計測およびバッテリー容量を算定する際には，稼働状態での消費電力を計測する必要があ

表 3 太陽電池の仕様

Table 3 Specification of solar panel.

Manufacturer	HAIGE
Maximum output power [W]	100
Rated Voltage [V]	17.28
Rated Current [A]	5.62
Maximum System Voltage [V]	715
Open voltage [V]	21.6
Short-circuit current rating [A]	6.35

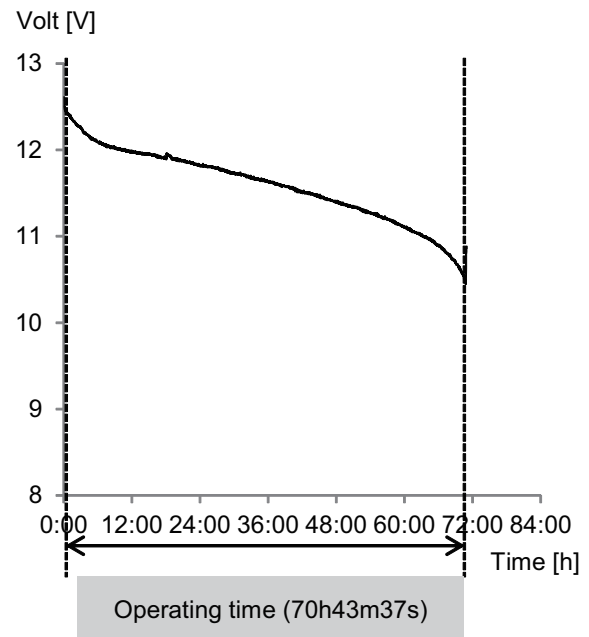


図 3 バッテリー電圧の遷移

Fig. 3 Battery voltage transition in the experiment.

る．そこで，システムの電源を投入し，OS が起動した後に CPU 負荷，ディスクアクセス負荷，ネットワークアクセス負荷の 3 種類の負荷をシステムに課し，その際の消費電力を計測した．CPU 負荷については，常時 100% の負荷となるよう Perl スクリプトを実行させた．ディスクアクセス負荷については，毎秒 100 バイト程度のファイル出力を実行した．ネットワーク負荷については iperf を実行し，常に 10Mbps 程度のデータ送信を実行した．

太陽電池の容量の決定については，出力 100W のパネルを用意し，その発電量をもとに検討する．測定にあたっては 30 日間一定の位置にソーラーパネルを設置しその発電量を計測した．

4.2 ハードウェア評価結果

バッテリーにマシンを接続し，各負荷を課した状態での稼働時間を計測した．稼働時のバッテリー電圧の遷移を図 fig:4-1 に，消費電流の遷移を図 fig:4-2 に示す．図 fig:4-1 において，システムは満充電状態から 10.5V に落ち込むまで稼働し，10.5V になるとシステムを停止させる．これは

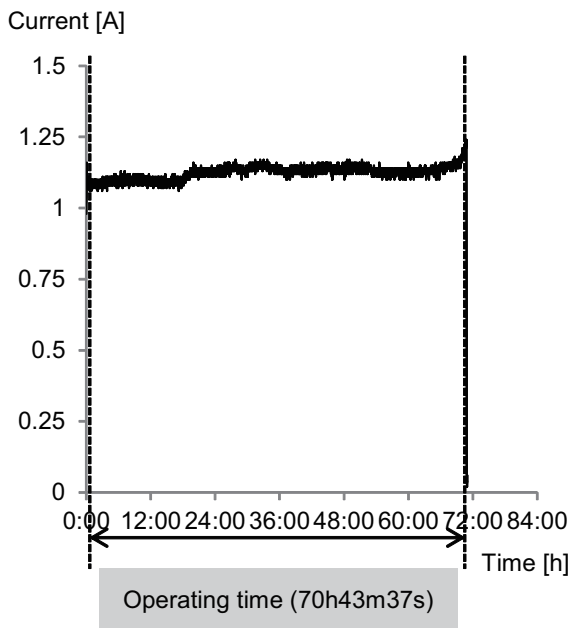


図 4 消費電流の遷移

Fig. 4 Electricity current transition in the experiment.

バッテリーが深放電状態となるとバッテリーの寿命が縮んでしまうからである。特に、稼働時間が 65 時間を経過したところから急激に電圧が下降していることがわかる。また、図 fig:4-2 においても 65 時間を経過したところから消費電流値の上昇が確認できる。図 fig:4-1, fig:4-2 より、システム稼働時の平均電圧は 11.586V, 平均消費電流は 1.124A であった。よって、本システムの消費電力量は 13.02W となる。

出力 100W のソーラーパネルを用意し、30 日間一定の位置にソーラーパネルを設置しその発電量を計測した結果を図 fig:4-3 に示す。図 fig:4-3 において、晴天日および曇天日の両方ともに測定期間 30 日中最も発電した日の発電量遷移である。当然のことながら曇天日はほぼゼロであった。晴天日は 264.04Wh の発電量であった。なお、昼 12 時より 13 時 30 分頃までは太陽が雲に陰ったため発電量の低下が確認できる。

永続的にシステムを稼働させるために、バッテリー容量と太陽電池の容量を算定する。式 1 はシステムを継続動作するためのバッテリー容量の算出式である。

$$RC = \frac{T_{sys}}{1 - R_{loss}} \cdot \frac{A_{sys}}{25} \quad (1)$$

ここで、 RC はバッテリー容量を示す。 RC 値は 25A の電流を流した際の継続可能時間 (単位は分) である。 T_{sys} はバッテリー使用時のシステム稼働時間、 R_{loss} は充放電損失 (一般には 0.2 程度)、 A_{sys} はシステムの消費電流量を示す。バッテリーの仕様より RC 値が、評価実験より消費電流が判明している。また新品のバッテリーを使用しているため R_{loss} をゼロと設定できるので、式 2 のように変形し、システム稼働時間を算出する。

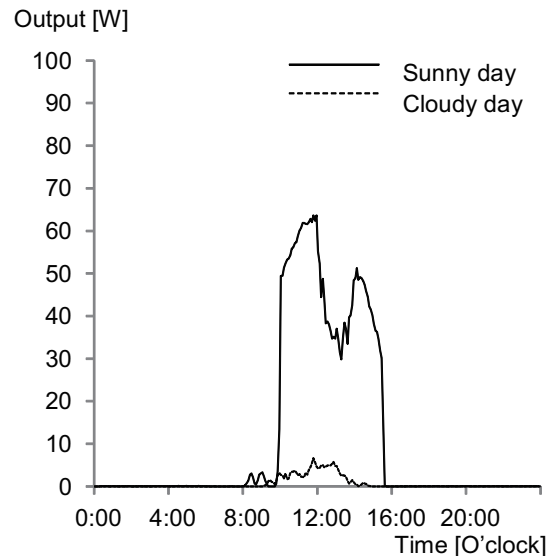


図 5 太陽電池の発電量 (晴天日と曇天日)

Fig. 5 Power generation amounts of solar panel (Sunny day and Cloudy day).

$$T_{sys} = RC(1 - R_{loss}) \cdot \frac{25}{A_{sys}} \quad (2)$$

式 2 より、システム稼働時間は 4003.6 分 (66.72 時間) であった。評価結果においては 70.74 時間であったので、約 5.7% 程度の誤差であった。なお、バッテリーを継続利用によって、充放電損失の値が一般的な 0.2 となった場合、システム稼働時間は 53.38 時間と予想される。最大連続曇天日を 10 日 (240 時間) とした場合、バッテリーの必要量は 5 つと計算される。

次に太陽電池の発電容量について検討する。式 3 は太陽電池の出力量とシステム出力の関係式である。

$$W_x \times \frac{Sun_{AVE}}{h_{YEAR}} \times h_{DAY} \times \alpha = W_y \times h \quad (3)$$

ここで、 W_x は太陽電池の出力、 Sun_{AVE} は日本の平均日照時間 (1897.4 時間)、 h_{YEAR} は 1 年の時間 (8760 時間)、 h_{DAY} は 1 日の時間 (24 時間)、 α は変圧器の変換効率、 W_y はシステムの消費電力 (13.02W)、 h は 1 日当たりのシステム稼働時間 (連続稼働の場合は 24) である。式 3 を式 4 のように変形すると、太陽電池の必要出力が算出できる。

$$W_x = \frac{W_y \times h}{h_{DAY} \times \alpha} \times \frac{h_{YEAR}}{Sun_{AVE}} \quad (4)$$

式 4 に各値を代入し、変圧器の変換効率を 1 とすると 60.11W となる。また、1 日当たりの平均日照時間は 5.2 時間と計算される。そして 1 日当たりの発電量は 312.572Wh と計算される。しかしながら、評価実験で得られた 1 日当たりの発電量は 264.06Wh であったことから想定計算から大きく外れる結果となった。100W の出力の太陽電池では 1 日当たり 520Wh 発電する計算だが、評価では半分満たなかったことから、必要とする太陽電池の出力は 120W 程度と想定され、ノードマシン 2 台をできるだけ稼働させ

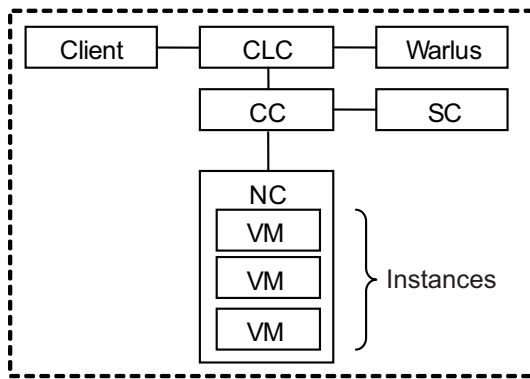


図 6 低電力クラウドのシステム構成

Fig. 6 System overview of low power cloud.

ようと考えた場合、300W 程度の出力が必要とされる。

4.3 低消費電力クラウドシステムの評価

低消費電力 CPU を用いたクラウド環境を構築する。クラウド基盤には Eucalyptus を採用する。システムの概要を図 6 に示す。構築環境については UEC を利用し、単一マシン上に全てのコンポーネントを含む、All in One のシステムを構築する。これは CPU に着目し検証するためである。使用したマシンは compuLab 社の fit-PC3(APU: AMD Embedded G-Series Processor 1.65GHz ,Memory: 2GB DDR SODIMM x2(4GB)) である。ARM 系のプロセッサを使わず x86 を選択した理由は x86 のソフトウェア資源を利用することができるからである。また AMD のプロセッサを選択した理由は仮想化支援機能を備えているためである。OS は Ubuntu 10.04LTS Server である。同一ネットワーク上に既に CLC が存在するとインストール時に CLC を選択できない問題が発生する。その為、インストール時にはネットワークを遮断、またはルータによって分離する必要がある。本研究では図 2 のようにルータを使用し、研究室内のネットワークから分離している。インスタンスに使用するイメージは Eucalyptus より配布されている Ubuntu 10.04 64bit 版を使用する。UEC(Ubuntu Enterprise cloud) とは ubuntu が提供する Eucalyptus(Amazon EC2/S3 互換の仮想化環境構築ソフトウェア) セットである。Eucalyptus とはカリフォルニア大学サンタバーバラ校が開発を進めているオープンソースのソフトウェアである。所有するコンピュータリソースを統合し仮想化を行う IaaS 構築基盤ソフトウェアである。特徴は Amazon EC2/S3 互換のあるプライベートクラウド環境を構築可能なことである。UEC を利用することで簡単に Eucalyptus の導入を行うことができる。Ubuntu 9.10 から対応し、11.04 まで同梱している。Ver.11.10 からは機能へのサポートを残しているが初期値では Openstack への対応に方針を変更している。本研究では、使用マシンへの OS のドライバ対応状況を考慮し Ver.10.04LTS を利用している。

表 4 低電力クラウドと高性能クラウドの性能比較

Table 4 Performance comparison of low power cloud and high performance cloud.

	NC of low power cloud	NC of high performance cloud	instance
# cores	2	8	1
Memory [GB]	4	96	0.5
Storage [GB]	250	1000	6

表 5 低電力クラウドと高性能クラウドの処理所要時間比較

Table 5 Processing time comparison of low power cloud and high performance cloud.

# instance	Low power cloud [sec]	high performance cloud [sec]
1	116.7251637	31.6384334
2	122.0862973	31.91059477
4	249.6645268	31.77115719
8	505.2752909	32.08360906
16	1026.865307	61.12105398

表 6 低電力クラウドと高性能クラウドの消費電力比較

Table 6 Power consumption comparison of low power cloud and high performance cloud.

# instance	Low power cloud [W]	high performance cloud [W]
1	17	198
2	19	210
4	19	233
8	19	262
16	19	261

評価に際し、比較対象として筆者らが既に関与した高性能クラウドを採用する。今回の評価で比較する低電力クラウドと高性能クラウドの仕様を表 4 に示す。ここで、NC の OS は Ubuntu Server 10.4 である。なお、インスタンスを起動後には素数計算プログラムを実行し、その処理時間を測定すると共に、処理中の消費電力を測定する。

4.4 低消費電力クラウドシステムの評価結果

低電力クラウドと高性能クラウドの処理時間を比較した結果を表 5 に、消費電力を比較した結果を表 6 に示す。

表 5 および表 6 より、起動するインスタンス数が 1 の場合は、高性能クラウドの消費電力が低消費電力クラウドの 11.64 倍に対して、処理時間は低消費電力クラウドの処理時間が高性能クラウドの 3.69 倍となる。よって、低消費電力クラウドの方が処理効率が良いことが確認された。一方起動するインスタンス数が 16 の場合、高性能クラウドの消費電力が低消費電力クラウドの 13.73 倍に対して、処理時間は低消費電力クラウドの処理時間が高性能クラウドの 16.80 倍となり効率の良さは逆転する。これは、低消費電力クラウドはコア数の 8 倍のインスタンスを起動している

が高性能クラウドはコア数の2倍のインスタンスを起動している状況に起因する。集約度を極端に上げるとかえって効率が悪くなることが確認された。

5. まとめ

本論文では、再生エネルギーの一つである太陽光発電を用いてクラウド環境の構築を検討した。太陽光発電の電力供給能力は不安定であるがバッテリーを接続することにより、継続的に電力を供給できるだけの電力確保手段を検討した。システムの消費電力に対して莫大な容量のバッテリーや出力の太陽電池を使用すれば継続運用は可能であるが、コストやシステムの大きさの点で既存のシステムに対して非常に劣るものになってしまうため、システムの最小化を図るべく、評価および検討をした。低消費電力CPUを用いたシステム構成ならば、膨大な容量のバッテリーや出力の太陽電池を使用しなくともシステムの永続的動可は可能であると考えられる。また、低消費電力CPUによるクラウド運用の有用性を実証する為、低消費電力CPUを採用しオープンソースのAmazonEC2/S3互換プライベートクラウド環境を単一マシン上に構築した。UECを利用することで技術的な導入障壁は下がっているがハードウェア等に依存する各固有の問題が導入時にあった。検証では高性能クラウドはインスタンスの増加に伴い、消費電力が微増している。一方、低電力クラウドの消費電力はインスタンスの台数が増えても変わらない。性能面では高性能クラウドの能力は低下せず、低電力マシンではインスタンスが増加すると、処理時間も大きく伸びている。対電力性能は台数が少なければ明確に低電力マシンの方が高い。本研究の低電力マシンではメモリの制約上、インスタンスの同時起動は6台が限界であるが高性能クラウドは100台程度同時起動が可能である。低電力クラウドではインスタンスを100台起動するには16台程度のマシンを構築する必要がある。その為、本研究での採用マシンはコストの面では大幅に高性能クラウドを上回ってしまうことが考えられるが、スモールコアサーバの利用でコストは抑えられこの問題は解決可能である。以上により低電力CPUによるクラウドの運用には導入に至る十分な優位性がある。

参考文献

- [1] P. Mell, T. Grance: "The NIST Definition of Cloud Computing", NIST Special Publication 800-145(draft), (2011)
- [2] Shinichiro Kibe, Minoru Uehara: "Proposal for a Cloud-based Educational Environment", In Proc. of 3rd International Workshop on Information Technology for Innovative Services(ITIS2011) in conjunction with the 14th International Conference on Network-Based Information Systems(NBiS2011), pp.523-528, (2011.9.7-9, Tirana, Albania)
- [3] Shinichiro Kibe, Minoru Uehara, Motoi Yamagiwa: "Evaluation of Bottlenecks in an Educational Cloud En-

- vironment", In Proc. of the 13th International Symposium on Multimedia Network Systems and Applications (MNSA2011) in conjunction with the 3rd IEEE International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2011), pp.520-525, (2011.11.30-12.2, Fukuoka, Japan)
- [4] Shinichiro Kibe, Motoi Yamagiwa, Minoru Uehara: "Proposal for Improving Throughput in Supersaturated Cloud", In Proc. of 4th International Workshop on Information Technology for Innovative Services(ITIS-2012-03) in conjunction with 2012 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2012), pp.981-986, (Fukuoka, Japan, 2012.3.26-29)
- [5] 木部真一郎, 小山輝明, 上原 稔: "クラウド教育環境におけるDaaSの評価", 信学技報, pp.1-6 (2012.4.10)
- [6] 松本勝慶, 木部真一郎, 上原 稔, 森 秀樹: "教育用クラウドにおけるDEVaaSの提案", 信学技報, pp.1-6 (2012.4.10)
- [7] スモールコアサーバ
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20120706/407691/>
- [8] T.Kikuchi, M.Satake, K.Takagi, N.Fukao, T.Fukuda, Y.Miwa, "Complete understanding of Green IT", Nikkei Business Publications, Inc., 2008 (In Japanese).
- [9] RITEA (Refurbished(Reuse) & Recycle Information Technology Equipment Association)
<http://www.ritea.or.jp/>
- [10] K.Fujii, M.Yamagiwa, M.Uehara, "A Proposal for Old Model PC Grid Powerd by Solar Cell", Forum on Information Technology, 2010. (in Japanese)
- [11] K.Fujii, M.Yamagiwa, M.Uehara, "Solar Powered Grid Based on Reused PCs", The 73rd National Convention of IPSJ, 2011. (In Japanese)
- [12] K.Fujii, M.Yamagiwa, M.Uehara, "A Study on Continuous Operation of the Grid Powered by Solar Power", The third Technical committee on Renewable Integrated System, IEICE, (In Japanese)
<http://www.am.ics.keio.ac.jp/reconf/ris/>, 2011.
- [13] K.Fujii, M.Yamagiwa, M.Uehara, "Proposal for Solar Powered Grid Based on Reused PCs", 25th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2011.