

天気予報を用いた太陽光発電によるグリッド の運用の検討

藤井賢一[†] 山際基^{††} 上原稔[†]

グリーンITの観点から,使用されなくなった旧型モデルPCを再利用する手段としてグリッドを考えた.しかし,旧型PCを再利用する場合,グリッドは常に電力を消費するので計算処理に対するエネルギー効率が悪い場合があり,省エネルギーではない.その点はグリーンITとしては好ましくないといえる.そこで,自然界に存在する太陽光エネルギーの様なCO₂の発生を伴わないエネルギー,クリーンエネルギーを用いることでこの難点を克服する事を考えた.そこで本研究では,クリーンエネルギーである太陽光発電によって電力を確保する事でデメリットを解決し,CO₂排出量削減効果と資源の再利用を結び付けて実現することを目的としている.本論文では,システムが外部から天気予報のデータを得る事で,そのデータに基づいてバッテリーマージンを動的に変化させる事で,システムの継続的な稼働,かつ効率の良い運用を目的とした,天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用を提案し,評価としてシミュレーションを行った.

A Study on Weather Forecast Based Operation of Photovoltaic Grid System

KENICHI FUJII[†] MOTOI YAMAGIWA^{††}
MINORU UEHARA[†]

We propose a way to reuse obsolete older model PCs as a grid in keeping with green IT. A grid can create a high performance environment consisting of ordinary PCs. However, it has continuous energy requirements. This is undesirable in terms of environmental concerns, because of the increased CO₂ emissions from generating the required electricity. Therefore, this study aimed at realizing a grid powered using solar power to overcome the disadvantage, while reusing obsolete older model PCs. In this paper, We propose for operation of grid system powered by photovoltaic using weather report to operate the system effectively and simulated.

[†]東洋大学大学院工学研究科情報システム専攻
Department of Information and Computer Science, Toyo University

^{††}東洋大学総合情報学部
Department of Information Sciences and Arts, Toyo University

1. はじめに

近年,温暖化効果ガス(主にCO₂)が原因と推測される地球温暖化が問題となっている.2012年までに先進国各国が中心となり,各国のCO₂排出量を目標数値まで削減する取り組みである京都議定書など,CO₂排出量削減を目的とした地球温暖化対策が先進国を中心に活発となっている.しかし,IT分野において将来的には,社会における情報量が爆発的に増加することが予測されている.そして,それらの情報処理に必要なIT機器の増加に伴ってIT機器全体の消費電力の増加が懸念されている.消費電力が増加することで,発電量を増加させる必要がでてくる.その結果,発電に伴うCO₂排出量が増加してしまう.加えて,IT機器の需要が増える事でPCの材料などに使われているレアメタルと呼ばれる金属の需要が高まっている.その結果,世界中でレアメタルの価格が高騰する現象,将来におけるレアメタルの枯渇への懸念など,レアメタル危機と呼ばれる問題も存在している.また,PCは新型から旧型となるサイクルが短い.そして近年の目覚ましい技術の進歩により,低価格化が進んでいる.ゆえに,旧型から新型に買い替えるサイクルが短くなり,使用しなくなったために手放される旧型PCが増加している.これらの廃棄やリサイクルの際にもエネルギーが使われるので,CO₂の排出量が増加してしまう.これらの地球環境問題に伴い,IT分野においても地球環境を考慮したIT,グリーンIT[1]の概念が広まってきている.グリーンITとは,ITを活用することで地球環境保護,資源の有効活用を行う取り組みである.グリーンITにおける主な取り組みは3つあり,1つ目はIT機器等の省電力化.2つ目はITの有効活用によってビジネス・プロセスや産業構造,社会構造における資源エネルギー効率を高めることによる,CO₂排出量削減効果の獲得.3つ目は,IT機器における3R(Reduce,Reuse,Recycle)を進めることである.例えば,地球環境負荷の小さい素材を使用する,リサイクルが容易となる様な設計,信頼性の高いリユース市場の形成,効率的なリサイクルシステムの構築などが挙げられる.

本研究では,グリーンITの観点から,使用されなくなった旧型PCを有効活用する手段としてグリッドを考える.しかし,旧型PCを再利用する場合,グリッドは常に電力を消費するので計算処理に対するエネルギー効率が悪い場合があり,省エネルギーではない.その点はグリーンITとしては好ましくないといえる.そこで,自然界に存在する太陽光エネルギーの様なCO₂の発生を伴わないエネルギー,クリーンエネルギーを用いることでこの難点を克服する事を考えた.すなわち,本研究では太陽光発電を用いて電力を得ながら,グリッドとして旧型PCを再活用する事を提案する[2].太陽光発電といったクリーンエネルギーを用いることで,CO₂排出量の削減効果の獲得と,旧型PCを再利用する事での資源の有効活用を結び付けて実現する.

太陽光発電によって電力を得るため,常に電力が得られる保証はない.そこで本システムを実現するためには,電力供給量の管理,電力供給量に応じたPCの終了,起動といった動作を制御できる自律的な管理システムの構築が必要となる.このシステムを搭

載している PC をマスターノード(親)とし、システムの管理、制御下にある旧型 PC をノード(子)としている。そして、マスターノードと数台のノードからなる旧型 PC 群と太陽光発電のためのソーラーパネル、電力供給制御装置等を 1 ユニットとして、コンテナ(ボックス)化する。この様に、ソーラーパネルからの電力だけでシステムが完結しているものを独立型太陽光発電システムという。独立化する事で、太陽光の届く屋外の空いているスペースに自由に設置し、運用する事が可能となる。屋外から外部ネットワークと接続する手段として Wi-Fi を用いる。また、災害時に電力の供給が停止した場合には、一時的な非常用電源装置としての転用が出来る様にする事も視野に入れている。ゆえに、非常用に備えたバッテリーマージンを常に確保して運用する事を検討している。

今回、本論文では、天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用の提案を行っている。この提案する運用について述べる。例えば、晴れの日には太陽光発電で発電できる時間帯が 9 時から 15 時の間とした場合、15 時から翌日の電力が得られる時間までは 18 時間ある。つまり、18 時間分のバッテリーマージン(マスターノードだけが動作しているシステムの消費電力量)がなければシステムは停止してしまう。そこで、仮に 1 日分(24 時間)のバッテリーマージンを設定したとする。しかし、天気が常に晴れとなるわけではない。したがって、1 日分のバッテリーマージンしか残ってない状態で、太陽光をソーラーパネルが受ける事のできないような悪天候(ここでの悪天候とは、曇、雨、雪等のソーラーパネルが太陽光を受けて発電できない天気と定義する。)が 1 日あると、次に発電できる時間帯に到達するまでに 42 時間の間が存在し、システムは停止してしまう。逆に、多くバッテリーマージンを常に確保しては、バッテリー容量にも左右されるが、他のノードは稼働せず、マスターノード 1 台だけしか動作していない場合が多くなる事が考えられる。そこで、システムが外部から天気予報のデータを得て、そのデータに基づいて、このバッテリーマージンを動的に変化させる事で、システムの継続的な稼働、かつ効率の良い運用が可能になると考えられる。そして、提案した機能に対する評価として、様々な条件を仮定し、動的なバッテリーマージンを持つシステムにおけるグリッドの仕事量の変化をシミュレーションした。

本論文の第 2 節では関連研究、第 3 節ではシステムにおけるハードウェア構成、ソフトウェア構成の設計、第 4 節ではプロトタイプシステムの実装、第 5 節では天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用の提案、第 6 節では提案した運用方法における評価、第 8 節では本論文におけるまとめについて記述した。

2. 関連研究

2.1 DC/AC コンバータを用いた場合と DC/DC コンバータを用いた場合の電力供給効率の比較[4]

DC/AC コンバータを用いた場合と DC/DC コンバータを用いた運用の場合では、どちらのコンバータを用いた運用が効率的にシステムを運用できるか調査した。そのため、各々のコンバータを用いた場合の電力供給効率を比較した。調査方法としては、それぞれのコンバータを用いた場合において、バッテリーのみでマスターノードを稼働させ、マスターノードの稼働時間を測定した。そして、各々のコンバータ適用時における電力供給効率を、式(1)を用いて算出した。

式 (1) について述べると、左辺はマスターノードが稼働している間に消費した電力量の合計、右辺は使用された電力量を表している。実験結果として、DC/DC コンバータを用いた場合の方が DC/AC コンバータを用いたよりも電力供給効率が約 17% 向上した。そして、マスターノード 1 台で構成されるシステムの運用を行った実験[4]では、DC/AC コンバータを用いた場合[3]と DC/DC コンバータ用いた場合とでは、稼働時間に大きな差が確認できた。この比較結果より、我々が提案するシステムでは DC/DC コンバータを用いることにした。DC/DC コンバータを用いるデメリットとしては 2 つ挙げられる。1 つは再利用する旧型 PC が持つ AC アダプタを利用できなくなる事。もう 1 つは、各々の PC に合わせて DC/DC コンバータの出力電圧を調整する手間が増えることである。

$$W \times h = B \times \alpha \quad (1)$$

$$\begin{cases} W: \text{マスターノード消費電力 [W]} \\ h: \text{マスターノード稼働時間 [h]} \\ B: \text{バッテリー容量 [Wh]} \\ \alpha: \text{電力供給効率} (\leq 1) \end{cases}$$

2.2 継続的にシステムを運用するのに必要となるソーラーパネルの発電量算出

システムを継続的に運用するのに必要となるソーラーパネルの発電量を求める式 (2) を組み立てた。この式 (2) を基にソーラーパネルを増設し、システムの運用実験[4]を行った結果では、システムが 1 週間以上継続的に動作する事を確認した。

$$W_x \times \frac{Sun_{-AVE}}{h_{-YEAR}} \times h_{-DAY} \times \alpha = W_y \times h \quad (2)$$

W_x :ソーラパネル出力 [W]
 Sun_{-AVE} :全国の年間平均日照時間 [h]
 h_{-YEAR} :1年の時間 [h]
 h_{-DAY} :1日の時間 [h]
 α :電力供給効率 (≤ 1)
 W_y :システム消費電力 [W]
 h :1日あたりのシステム使用時間 [h/day]

3. システム設計

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 3.1 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蓄電される。バッテリーに蓄電された電力は、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 PC 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ノードに供給される。電力供給制御装置は各ノードへの電力供給の 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マスターノードに送信される。マスターノードは、出力電圧によって、何台のノードを稼働させれば良いのかを管理する。稼働させないノードは、マスターノードが電力供給制御装置に命令を出し、電力供給を停止する。同時に、マスターノードは稼働させないノードに終了を行わせる命令を出し、ノードを終了させる。一方、マスターノードが出力電圧によって、ノードを稼働させる事が可能であると判断した場合、電力供給制御装置に命令を出し、稼働させるノードに電力供給を開始する。その後、マスターノードは稼働させるノードにマジックパケットを送信し、WOL(Wake On Lan)[5]を用いてノードを起動させる。

次に、各ノードが備えているバッテリー容量を計測しながらの電力供給管理の仕組みについて説明する。一定時間ごとに各ノードは自身のバッテリー容量をマスターノードに送信する。マスターノードは、ノードが備えるバッテリーの容量が最大容量に近

い場合、そのノードに対する電力供給を電力供給制御装置に命令を出して停止させる。そして、ノードが備えるバッテリー容量が少量になった場合には、マスターノードは電力供給制御装置に命令を出し、そのノードに電力供給を開始させる。

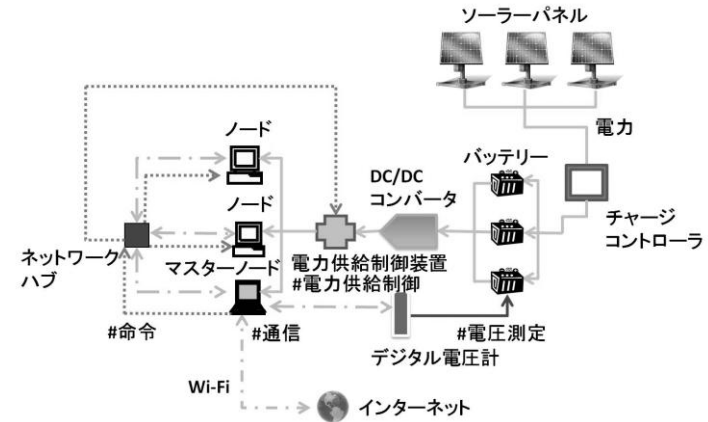


図 3.1 ハードウェア構成全体図
Hardware configuration

3.2 ソフトウェア構成

ここでは、マスターノードとノードのソフトウェア構成について述べる。次の図 3.5 にマスターノードとノードのソフトウェア構成図を示す。主なソフトウェアを説明する。WOL(Wake On Lan)はLAN経由でPCを起動させる機能である。マジックパケットを受信するとPCを起動させる。また、マスターノードはWi-Fiを用いて外部ネットワークとの通信を行う役割を持つ。一方、ノードはグリッドコンピューティングのためのソフトウェア BOINC[6]を作動させることである。BOINCではユーザが操作しなくても、すべて自動でタスクをダウンロードして計算処理を行い、処理が終わったタスクは自動でアップロードされる。ノードはマスターノードを通じて外部ネットワークと接続し、BOINCのサーバと通信を行う。そのため、マスターノードはDHCP,NAT,FWを用いて、ルータの役割を担う。コントロールシステムは電力供給管理やノードの終了、起動などを行うプログラムである。また、マスターノード上でもBOINCを作動させる事でマスターノードが稼働している間の消費電力も計算資源として有効活用する。

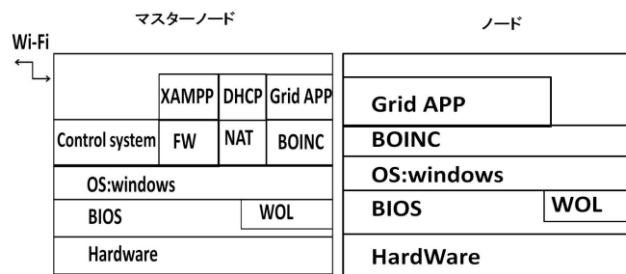


図 3.2 マスターノードとノードのソフトウェア構成図
Hardware configuration

4. システムの実装

本研究におけるシステムのプロトタイプを実装した。次の図 4.1 に実装したプロトタイプの写真、図 4.2 に配置図を示す。最下層の棚にはバッテリー群を配置した。最下層にバッテリーを配置した理由は、バッテリー1 個の重量が約 11kg と重いため、システム全体の重心バランスを考慮した結果である。2 段目の棚にはケーブル類や電力供給制御装置等、3 段目の棚には PC 群を配置した。直射日光や雨天時における雨水等からシステムを保護するためにラック全体をカバーとブルーシートで覆った。最上段の棚にはソーラーパネルを設置した。現在のシステムはマスターノードとノードの 2 台の PC で構成されている。各 PC のスペックを表 4.1、システム各部位の消費電力を表 4.2、ソーラーパネルのスペックを表 4.3、に示す。また、本システムで使用しているバッテリーは Grandstar EB25(GSYUASA 製、12V、25Ah)である。なお、本システムではバッテリーを 4 個で構成されているため、バッテリー4 個の電力量用は 1200[Wh]となる。マスターノードのみが稼働している状態でのシステム全体の消費電力量は約 12[W]、バッテリーから各 PC への電力供給効率は約 57%である。



図 4.1 プロトタイプ実装図
Photograph of the prototype

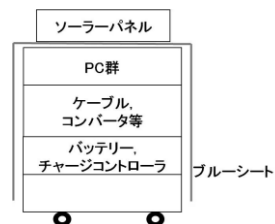


図 4.2 配置図
Prototype layout plan

表 4.1 各々の PC スペック
PCs specifications

	Master node PC 1 (msi U115)	Node PC 1 (EndeavorNa01mini)
OS	Windows XP Pro SP3	Windows XP Home SP3
CPU	Atom Z530 1.60GHz	Atom N270 1.60GHz
Memory	0.99GB	0.99GB

表 4.2 システム各部位における消費電力
Power consumption of the various parts of the system

システム各部位名称	およそのBOINC動作時の通常消費電力[W]	およその充電時消費電力[W]
マスターノード (msi U115)	10	25
ノード1 (EndeavorNa01mini)	12	23
デジタル電圧計	1	
ネットワークハブ	1	
電源管理装置	1	

表 4.3 ソーラーパネルスペック
Solar panel specifications

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

5. 天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用の提案

マスターノードと複数のノードで構成されるシステムを継続的に稼働させることを考える。なお、晴れの場合には一定の発電量が得られるとし、システムのソーラーパネルの1時間あたりの発電量はマスターノードだけが動作しているシステムの1時間あたりの消費電力の12倍以上と仮定する。さらに、その消費電力量は常に一定とする。晴れの日に発電できる時間帯は9時から15時の間とした場合、15時から翌日の電力が得られる時間までは18時間ある。つまり、18時間分のバッテリーマージン(マスターノードだけが動作しているシステムの消費電力量)がなければシステムは停止してしまう。そこで、仮に1日分のバッテリーマージンを設定したとする。しかし、天気が常に晴れとなるわけではない。したがって、1日分のバッテリーマージンしか残ってない状態で、太陽光をソーラーパネルが受ける事のできないような悪天候(ここでの悪天候とは、曇、雨、雪等のソーラーパネルが太陽光を受けて発電できない天気と定義する。)が1日あると、システムは停止してしまう。

2008年から2010年における埼玉県(東洋大学川越キャンパスが所在する県)熊谷の過去の天気[7]を調べ、1年間における悪天候が続く平均日数を調査した。その調査結果を表5.1に示す。事象数の小数点以下は切り上げとした。調査結果について述べると、1年間の平均悪天候事象数67のうち56が2日間以内の連続した悪天候である。つまり、2日間続く悪天候を越える能力をシステムが有する場合、1年間の間に存在する悪天候事象のうち、約8割の悪天候事象を乗り越えて継続的に稼働する能力を有するシステムであるといえる。そこで悪天候が2日間続くことまで考える。3日以上悪天候が続く場合は、バッテリー容量にも左右されるがシステムは停止するものとする。その場合はバッテリーが再充電されたら、システムをリブートする機能によってリブートされる事となる。現在、リブートする条件はバッテリーが停止してから約100%充電された後となっている。

例えば、1日目は晴れ、2日は悪天候、3日は晴れの場合における、悪天候の日を乗り越えるために必要なバッテリーマージンの大きさを考える。晴れの日に発電できる時間帯は9時から15時の間とする。電力が得られない時間の最悪の場合を考えると、1日目の15時から3日目の9時の間となり、42時間となる。つまり、42時間分のバッテリーマージンを残さなければ、システムは停止してしまう。同様に、1日目晴れ、2日目悪天候、3日目悪天候、4日目晴れの場合を考える。この場合は、必要となるバッテリーマージンは、66時間分となる。したがって、最大バッテリー容量は66時間より多いと仮定する。

しかし、バッテリー容量にもよるが、常に66時間分のバッテリーマージンを確保している、晴れの日が続いた場合でも、他のノードは稼働せず、マスターノード1台だけしか動作していない状態が多くなる場合が考えられる。

そこで、天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用を提案する。

システムが外部から天気予報のデータを得る事で、そのデータに基づいてこのバッテリーマージンを動的に変化させる事で、システムの継続的な稼働、かつ効率の良い運用が可能となると考えられる。

次に方法について述べる。まず、天気予報のデータは、短期予報を用いる事とする。短期予報とは、今日、明日、明後日の3日間の天気予報である。天気予報のデータを得る時間は、ある日の天候状態を、天気が晴れの場合を0、悪天候の場合を1とする。この3日間における天候状態を場合分けすると、8通りとなる。3日間悪天候が続く状態を除くと7通りである。そして、システムを継続させるのに残すべくバッテリーマージン量を7通りの天候を対応付けた。対応付け表を表5.2に示す。

表5.2について述べると、oは晴れ、xは悪天候を表わしている。また、BMはバッテリーマージンを表し、BM₉は1日目の9時の段階、BM₁₅は1日目の15時の段階で必要となるBMを表す。そして、説明しやすい様に7通りの天候状態にw₁からw₇までの記号を付けた。表5.2を詳しく見ると、w₁とw₂、w₄とw₅の残すべきバッテリーマージンが同一条件である事が分かる。したがって、w₁とw₂、w₄とw₅は同一化できるので、運用判断の天候条件は7通りから5通りになる。同一化した場合の対応付けを表5.3に示す。□は晴れか悪天候の場合を示す。

表 5.1 1年間における平均悪天候日数データ
Average number of bad weather for a year

悪天候の連日日数[日間]	事象数
1	39
2	17
3	5
4	3
5	2
6	0
7	1
合計	67

表 5.2 天候とバッテリーマージンの対応付け

Relation between weather and battery margin

記号	天候			BM[h]		ノード動作条件[h]
	1日目	2日目	3日目	BM ₉	BM ₁₅	
w ₁	○	○	○	0	18	BM>18
w ₂	○	○	×	0	18	BM>18
w ₃	○	×	○	0	36	BM>36
w ₄	×	○	○	24	18	BM>24
w ₅	×	○	×	24	18	BM>18
w ₆	×	×	○	48	42	BM>42
w ₇	○	×	×	0	66	BM>66

表 5.3 実際の運用判断条件

Improved Relation between weather and battery margin

天候			BM[h]		ノード動作条件[h]
1日目	2日目	3日目	BM ₉	BM ₁₅	
○	○	□	0	18	BM>18
○	×	○	0	36	BM>36
×	○	□	24	18	BM>24
×	×	○	48	42	BM>42
○	×	×	0	66	BM>66

6. 評価

提案した天気予報に基づく動的なバッテリーマージンが有効なのか調査するために、動的なバッテリーマージンを持つシステム、バッテリーマージンを持たない、かつリブートする条件がバッテリー容量が最大まで満たされた場合のシステム、バッテリーマージンを持たない、かつバッテリー残量または発電があれば即リブートするシステムの各システムに対して、7通りの天候条件下での3日間におけるグリッドの仕事量をシミュレーションした。この3つのシステムを記述した順に S₁, S₂, S₃ と呼ぶことにする。

シミュレーション時における条件設定について述べる。シミュレーション開始時刻は1日目の9時であり、そこから72時間行った。マスターノードとノードを同性能とした。つまり、1時間における消費電力量、グリッドの仕事量が同一である。そして、各PCの1時間あたりにおけるグリッドの仕事量を1とした。ソーラーパネルの発電量条件設定は、晴れの場合は9時から15時の間に1時間の発電でマスターノードの12時間分の消費電力量を得られ、悪天候の場合は、発電量は0とした。マスターノードの稼働条件はバッテリーマージンが1以上の場合、または発電量が1以上の場合とした。バッテリー容量は72時間分とした。リブートやPCの起動、終了に要する時間は0とした。ノードの動作条件はシステムごとに異なる。S₁では、表5.2で示している動作条件となる。S₂では、バッテリー容量が0時間分から72時間分まで充電された後であり、かつ全てのノードの1時間当たりの合計消費電力量よりバッテリーマージンが残っている場合に動作する。S₃では、発電量が1時間当たりの全てのノードの合計消費電力量が多い場合、または全てのノードの1時間あたりの合計消費電力量よりバッテリーマージンが多い場合に動作する。

シミュレーションした結果を表6.1、表6.2に示す。表6.1は各々の天候状態における各システムの3日間分の仕事量を示している。JOB₃はノードが3台、JOB₆はノードが6台の場合の仕事量を表す。表6.2は各々の天候状態と各システムにおけるシミュレーション開始時のバッテリーマージンと、シミュレーション終了時に残っていたバッテリーマージンを表している。

シミュレーション結果について述べる。ノード3台の場合は、S₃の仕事量から、どの天候条件でも電力を最大限に使えている事が分かる。S₁は w₁, w₃, w₄, w₆ の場合に、バッテリーマージンを使いきれなかった分だけ仕事量が少ない。S₂の仕事量が少ない理由は、バッテリーマージンは使いきっているが、発電が行われている時間帯にバッテリー容量が最大になると、1時間分の発電量分のバッテリーマージンを1時間で消費しきれないために、72時間分を越えた分だけ電力を損失してしまうからである。これらの結果より、ノード3台では S₁の仕事量は最大にはならないといえる。そこで、徐々にノードの数を増やしてシミュレーションしていき、ノード数が6台に達すると、S₁は各々の天候条件でも最大限の仕事量を行いつつ、システムを継続的に動作させる事が可能となった。

表 6.1 シミュレーション結果

Simulation result						
ノード台数[台]	3			6		
JOB (仕事量)	JOB ₃			JOB ₆		
各システム 3日間の天気	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃
w ₁	207	216	216	216	216	216
w ₂	144	144	144	144	144	144
w ₃	135	144	144	144	144	144
w ₄	159	152	168	168	158	168
w ₅	96	80	96	96	86	96
w ₆	111	88	120	120	100	120
w ₇	72	72	72	72	72	72

表 6.2 シミュレーション開始時と終了時のバッテリーマージン

Battery margin at simulation start and end												
BM												
シミュレーション開始時												
シミュレーション終了時												
ノード台数	3			6			3			6		
各システム 3日間の天気	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃
w ₁		0		9	0	0	0	0	0			
w ₂		0		0	0	0	0	0	0			
w ₃		0		9	0	0	0	0	0			
w ₄		24		9	0	0	0	0	0			
w ₅		24		0	0	0	0	0	0			
w ₆		48		9	0	0	0	0	0			
w ₇		0		0	0	0	0	0	0			

シミュレーション結果を考察すると、S₁ を適切な台数のノードで構成すれば、S₁ は最大限の仕事量を行いつつ、継続的に動作する事が可能であるといえる。シミュレーション上では、S₁ と S₃ は同じ仕事量であるが実際にシステムを運用した場合には、S₁ と S₃ では仕事量に差異が出る事が考えられる。なぜならば、シミュレーション上では、リポートする時のマスターノードの起動に要する時間、バッテリーが無くなった場合のマスターノードの終了に要する時間を考慮していないためである。S₁ は継続的に動作するようになっているので、リポート回数が S₂, S₃ と比べて少なくなる。すなわち、3つのシステムの中で、我々が提案する機能を持つ S₁ が効率よくエネルギーを仕事量にして運用できると仮説を立てる事ができる。

7. まとめ

本論文では、天気予報を用いたシステムの動的な動作条件変化における運用を提案した。そして、提案した機能を持つシステムの3日間の各天候状態における仕事量をシミュレーションした。シミュレーション結果から、仮想上ではあるが、天気予報に基づいた動的なバッテリーマージンを持つシステムは、構成されるノードの数が発電量やバッテリー容量に対して適切であれば、最大限の仕事量を行いつつ、継続的に動作する事が可能であると結論付けた。今後の課題として、今回提案した機能をプロトタイプシステムに実装して、実際に運用を行い、評価をすることである。しかし、今回提案したシステムのソーラーパネル発電量の仮定条件に対して、現在のプロトタイプシステムに構成されているソーラーパネルの発電量では不足している。なので、同様のスペックを持つソーラーパネルを並列接続する事で、総合的に発電量を増加させた後に評価を行う。

参考文献

- 1) 菊池隆裕, 佐竹三江, 高木邦子, 深尾典男, 福田崇男, 三輪芳久: グリーン IT 完全理解!, 日経 BP 社, 東京, (2008).
- 2) 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.
- 3) 藤井 賢一, 山際 基, 上原 稔: 旧型 PC に基づくグリッドの太陽光発電による運用, The 73rd National Convention of IPSJ, 2011
- 4) 藤井 賢一, 山際 基, 上原 稔: 太陽光発電を利用したグリッドの継続的な運用に対する検討, 第3回再生可能集積システム時限研究会, 入手先 <<http://www.am.ics.keio.jp/reconf/ris/>>, 2011.
- 5) 藤井 賢一, 山際 基, 上原 稔, "太陽光発電による旧型 PC のグリッドの提案", 第9回情報科学技術フォーラム, 2010.
- 6) IBM: WorldCommunityGrid, 入手先 <http://www.worldcommunitygrid.org/index.jsp?language=ja_JP->
- 7) Yahoo JAPAN: 過去の天気-熊谷-Yahoo! 天気情報-, 入手先 <<http://weather.yahoo.co.jp/weather/jp/past/11/4320.html>>