

# CO2削減インセンティブプログラムの シミュレーションモデルの開発

## Developing of CO2 Reduction Incentive Program Simulation Model

堀野 聡 (Satoshi Horino)

日本ヒューレット・パカード株式会社  
shorino@hp.com

**Abstract** : Hewlett Packard Japan is providing “Blade Pay Per Use CO2 Reduction Incentive Program”. This program makes to vary leasing cost by server usage. But there is no consulting tools to calculate optimized number of servers on an end user site. I have developed this model for consulting with Powersim Studio 7. I also verify “Blade Pay Per Use CO2 Reduction Incentive Program” to work effectively with the developed model.

キーワード： CO2削減、サーバ数、Studio7、最適化、モデリング、シミュレーション

**要旨**：日本ヒューレット・パカードでは、サーバの利用状況に応じて月次のリース料金が変化する「ブレード Pay Per Use CO2 削減インセンティブプログラム」を提供している。しかし、このプログラムをエンドユーザに適用する際に、最適サーバ数を算出するために使用できるコンサルティングツールは存在していなかった。今回、Powersim Studio 7 を使用してこのためのモデルを開発した。また、開発したモデルを使用して「ブレード Pay Per Use CO2 削減インセンティブプログラム」の有効性の検証を行った。

### 1. 開発の背景

日本ヒューレット・パカード株式会社(以下日本 hp)では、2007年9月に「ブレード Pay Per Use (以下 PPU) CO2 削減インセンティブプログラム」の提供を開始した。「ブレード PPU」とは、サーバのリース形態のひとつで、サーバの月次の利用台数に応じてリース料金が決定されるサービスである。

「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」は「ブレード PPU」サービスのオプションであり、サーバの利用方法により消費電力量(排出 CO2 量に比例する)を減らすことができれば、節減できた消費電力量に応じて従量課金部分のリース料金を割り引くというものである(図1)。

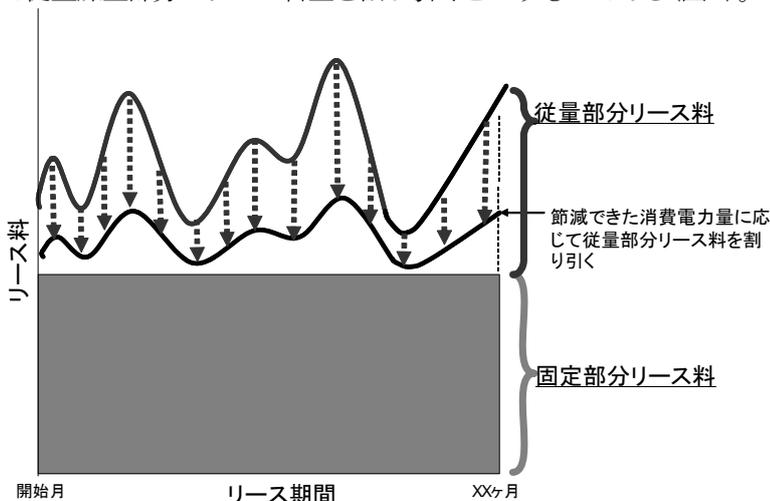


図1. 「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」の仕組み

「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」をエンドユーザに適用するにあたって、ユーザの環境に対して最適なサーバ台数が何台となるのか、その場合、リース料金はどの程度になるのか、また、消費電力量はどの程度になるのか、などを事前にエンドユーザに提示する必要があった。しかし、これらを行うためのシミュレーションモデルはこれまで存在しておらず、エンドユーザにとって最適なサーバ台数が何台になるのかを明確に示すことが困難であった。

この点から、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」のための、シミュレーションモデルを開発する必要があった。

## 2. 「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」でのリース料金算定の仕組み

「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」におけるリース料金算定の仕組みは以下のようになっている。エンドユーザは日本 hp との間で、エンドユーザサイトに設置するサーバ台数と設置期間(36 ヶ月等)のリース契約を結ぶ。

エンドユーザは、一ヶ月単位で、算定されたリース料を日本 hp に支払うことになるが、このときの月額リース料は固定部分リース料と、従量部分リース料の大きく 2 つの部分に分かれる(図 2)。

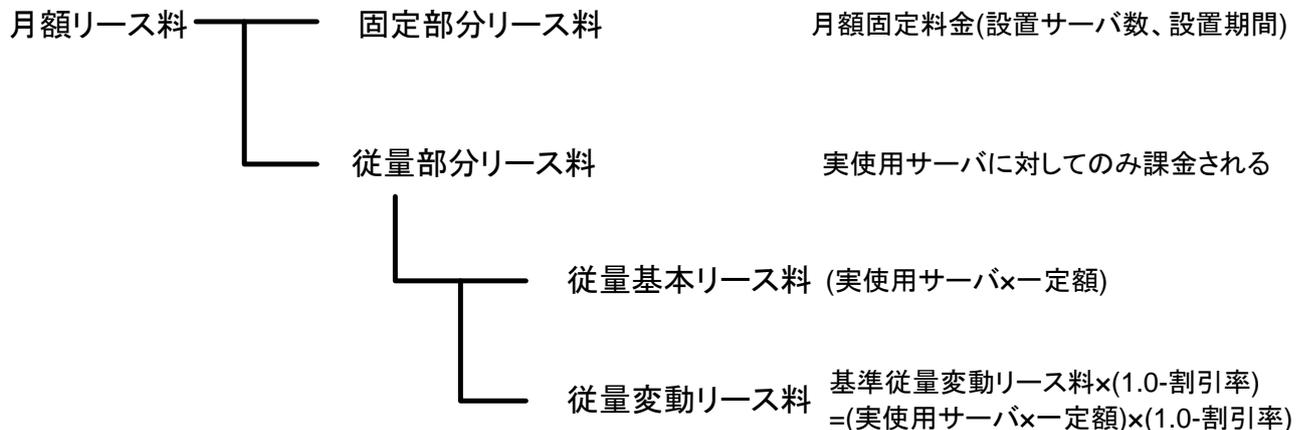


図 2. ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラムにおけるリース料金の内訳

固定部分リース料は、エンドユーザサイトに設置するサーバ台数と設置期間に基づいて算出され、これは月額固定の金額となっている。

一方、従量部分リース料は、エンドユーザサイトに設置されたサーバのうち、実際に稼動した(電源が投入された)サーバ(実使用サーバと呼ぶ)に対してのみ課金される。したがってエンドユーザは、ユーザ側のシステム処理能力量のニーズに応じて、実使用サーバ台数を変更することで、従量部分リース料を最小化することができるようになっている。

従量部分リース料は、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」で影響を受けない従量基本リース料と従量変動リース料の 2 つの部分に分けられる。従量変動リース料は、後述するサーバの省電力機能によって消費電力量を節減することができれば最大 100%の割引が可能ようになっており、この従量変動リース料の割引率はサーバの消費電力量の節減程度(省電力率)から求める。

サーバの省電力率は以下のように求める。日本 hp の一部のサーバには、Dynamic Power Saving 設定と呼ばれる電力設定の項目がある。この設定は、CPU に性能が必要とされない状況下では、CPU を節電モード(Pmin モードと呼ばれる)で稼動させ、CPU に性能が必要とされる状況になれば、自動的に CPU を高性能モード(Pmax モードと呼ばれる)で稼動させることで、CPU に性能が必要とされない状況、すなわち CPU 利用率が低い状況下では、サーバが常に高性能モードで稼動している場合に比べて消費電力を節減できるというものである。

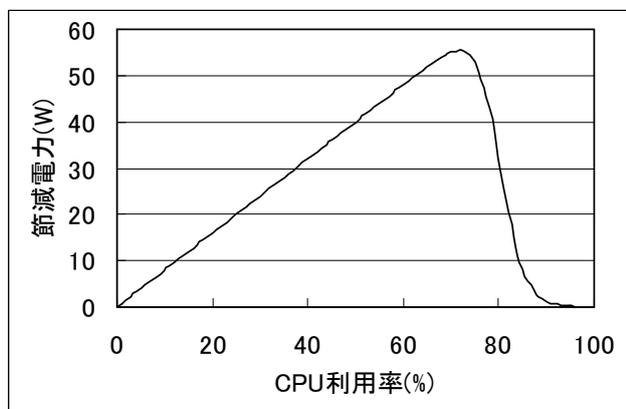


図 3. CPU 利用率に対する節減電力の変化

この電力設定の機能を利用して、節減できた電力量を以下のように求める。サーバが高性能モードのみで稼動している場合に消費すると想定される電力である想定最大消費電力から、実際に消費された電力を差し引くことで、節減電力を算出する。具体的な計算方法については 4. 3 で述べる。次に、この計算を毎日実施して、一ヶ月を単位として積算し、月末に(節減電力量の総計) ÷ (想定最大電力量の総

計)により、省電力率を求める。

なお、CPU利用率と節減電力の関係は図3に示されるように、おおむね70-80%程度のCPU利用率でピークに達する。これはCPU利用率がおおむね70%以下の場合、CPUの節電モードが活用され、節電が行われる一方、CPU利用率が70%を超えてくると、CPUを高性能モードで稼働させることが多くなるために、節電が行われにくくなってしまったためである。

最後に従量変動リース料割引率を、表1、図4に示されるリース料割引率表を使用して省電力率から求め、この従量変動リース料割引率によって基準従量変動リース料を割り引いて、従量変動リース料とする。

表 1. 従量変動リース料割引率(表)

省電力率 (%)	従量変動リース料の割引率 (%)
3%未満	0
3	5
4	10
5	15
6	20
7	25
8	50
9	65
10	80
11	85
12	90
13	91
14	92
15	93
16	94
17	95
18	96
19	97
20	98
21	99
22%以上	100

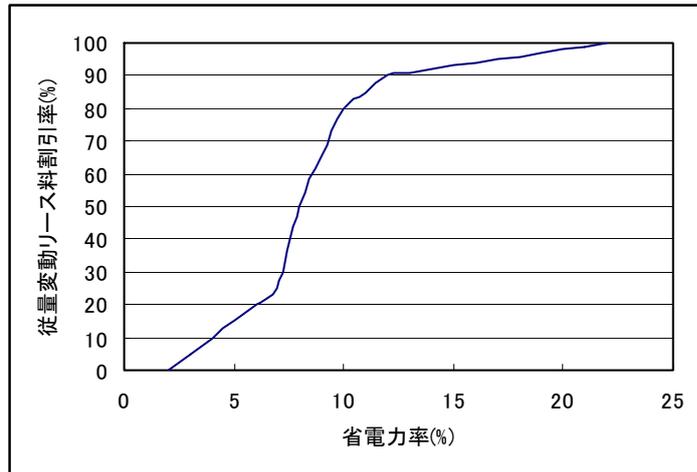


図 4. 従量変動リース料の割引率(グラフ)

これらのリース料算出の流れを図にまとめると図5のようになる。

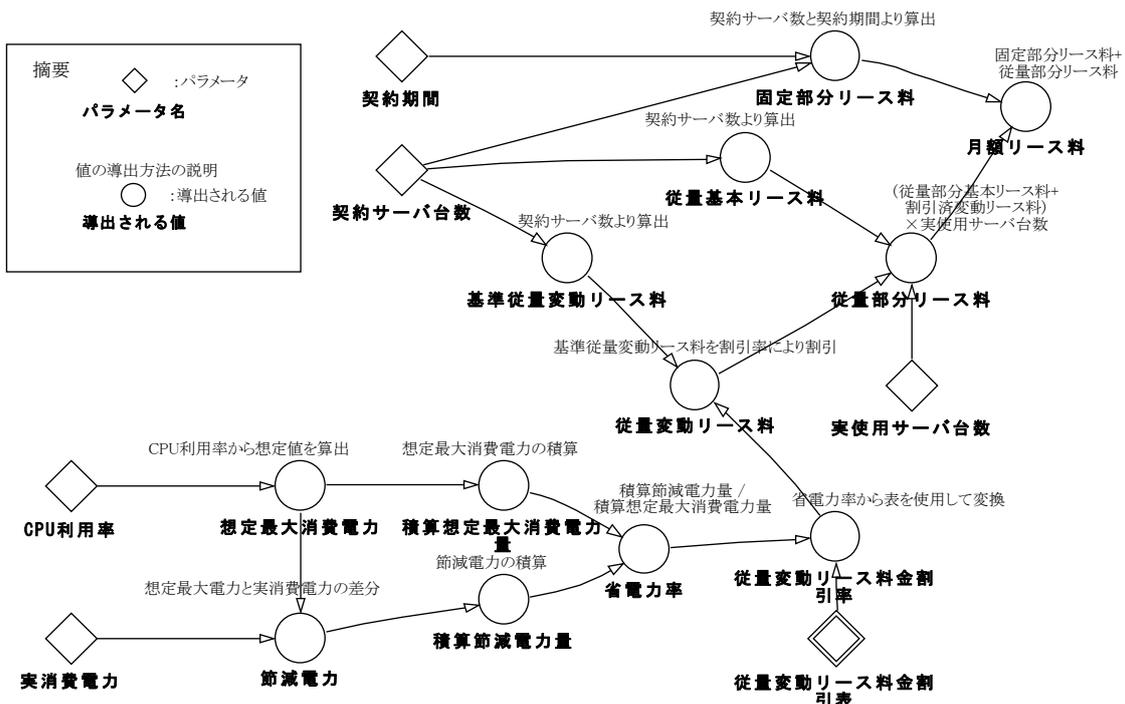


図 5. リース料金算出の流れ

### 3. 開発に当たっての問題

「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」をシミュレーションするモデル(PPU CO2 Reduction Incentive Program シミュレーションモデル 以下、PPU CRIP シミュレーションモデルと略す)を開発するに当たって以下のような点が問題となった。

#### (1) リース料金算出のアルゴリズムが複雑である

リース料金割引率算出のためには、前述のように、多くの手順を行ってリース料金の算出を行う必要があり、算出がむずかしい。

#### (2) リース料金算出のアルゴリズムを図示することが必要である

「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」の提案時には、エンドユーザ先において日本 hp のコンサルタントが、顧客に「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」の説明を行いながら、最適なサーバ台数、リース料金の提案を行うために、エンドユーザとともに PPU CRIP シミュレーションモデルを使用する状況が発生すると考えられる。このため、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」のリース料金算出アルゴリズムを図示化し、エンドユーザに示すことで、エンドユーザの納得性を高める必要がある。

#### (3) 相互に関係するファクタが存在しており、最適値算出が難しい

前述のようにサーバ単体で見れば、CPU 利用率が 70%前後となる場合がもっとも省電力率が高くなり、従量変動リース割引率が高くなることから、従量部分リース料が減少することが期待できる。したがって、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」を適用すると、ある程度サーバ数は増加するとおもわれる。

一方、一台あたりの CPU 利用率を高くすればするほど、システム負荷量を処理するのに必要なサーバ数は少なくなる。このことは、前項と矛盾する。

このように矛盾する条件のなかで、エンドユーザで必要な負荷量に最適な処理能力を確保しながら、リース料金を低減化するサーバ台数の最適値を見つけることは非常に困難である。

### 4. PPU CRIP シミュレーションモデルの開発

今回、PPU CRIP シミュレーションモデルの開発を開発するために、Powersim Studio 7 を使用した。Studio 7 を採用した理由としては、以下のとおりである。

#### (1) リース料、消費電力量などの算出アルゴリズムを図示化することができる。

Studio7 をはじめとするシステムダイナミクスで使用されるツールでは、各値を算出するのに必要なアルゴリズムをオブジェクトとリンクにより図示化することができる。このことにより、当初の目標であるエンドユーザの納得性を高めるためのアルゴリズムの図示化が可能になった。

また、アルゴリズムを図示化することによって、複雑なアルゴリズムを容易に、また、可読性の高い状態で実装できるようになったと考えている。

#### (2) シミュレーションによる最適値の導出が容易である。

Studio7 では、作成したモデル上での最適値の導出が可能になっている。今回の場合、矛盾のあるパラメータを調整しながらシミュレーションを行い、最適サーバ数を求める必要があったため、この機能が必須であった。

開発したモデルでは、一ヶ月間の毎日のシステム負荷量を入力した場合に、月額リース料金がどのようになるかを見ることができる。また、稼動するサーバ数を変化させることで月額リース料金の変化を見ることが、処理できない負荷量の総量が 0 で、かつリース料金が最小となる条件で最適なサーバ種別と実使用サーバ台数をシミュレーションによって決定することができるようになっている。

開発したモデルは図 6 に示されるように、大きく 3 つの部分に分かれている。図中上部の実システムを模した部分(A 部)、図中左側のサーバリース料金を求める部分(B 部)、そして、節減電力量、想定最大消費電力量、リース料を算出する部分(C 部)となっている。

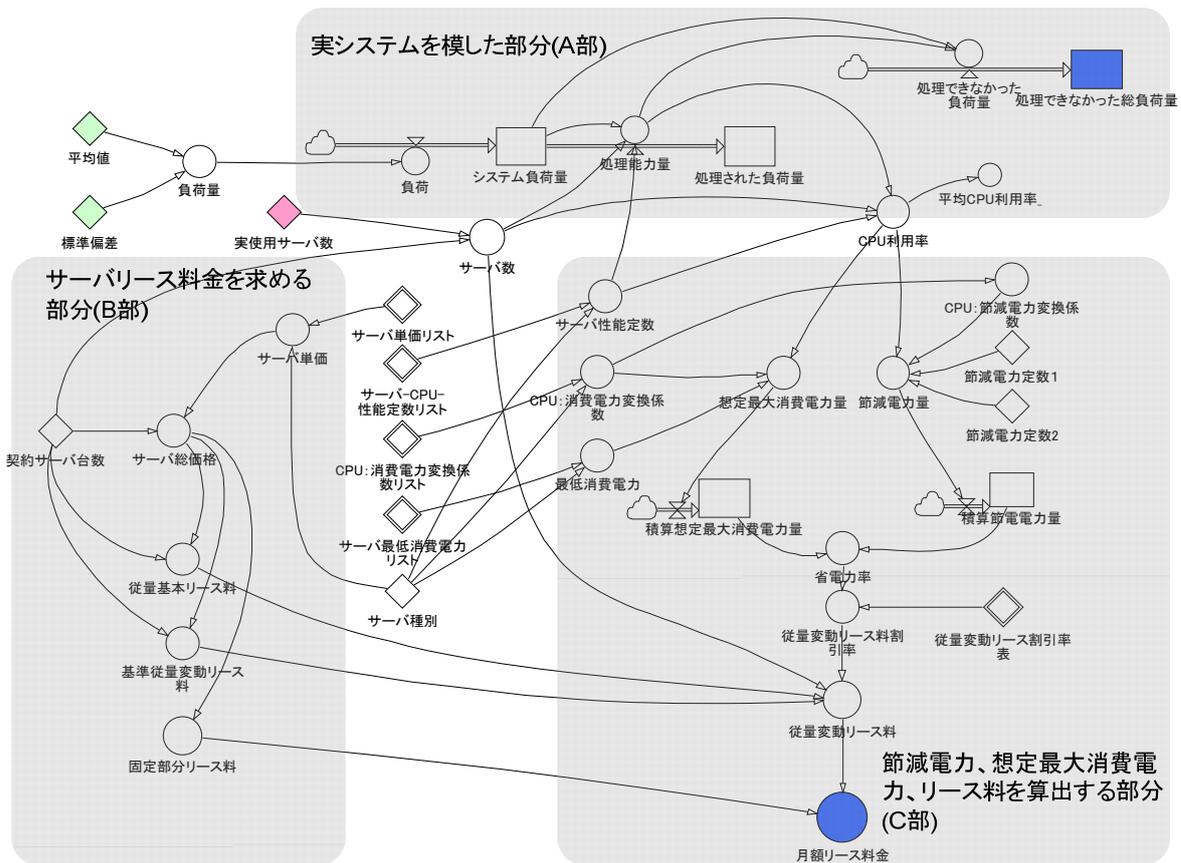


図6. PPU CRIP シミュレーションモデルの全体図

#### 4. 1 実システムを模した部分(A部) の概要

実システムを模した部分(A部)では、一定の範囲で生成されたランダムなシステム負荷量とシステム処理能力量からCPU利用率と処理できなかった負荷量を算出している(図7)。

通常、システムの処理能力は、CPUの処理能力以外のさまざまなファクタ(メモリ、ディスクI/O、ネットワークI/O)などがかわるが「PPU CO2 インセンティブプログラム」では、最終的にCPU利用率のみが想定最大消費電力、節電電力、従量変動リース料割引率に影響を与えることになるため、CPUの処理能力のみをモデル内で使用している。また、モデル内では、CPUの種別やサーバの構成にかかわらず、システムの処理能力はCPUのクロック数、サーバ一台あたりのCPU数とシステム内のサーバの台数に比例するものとしている。

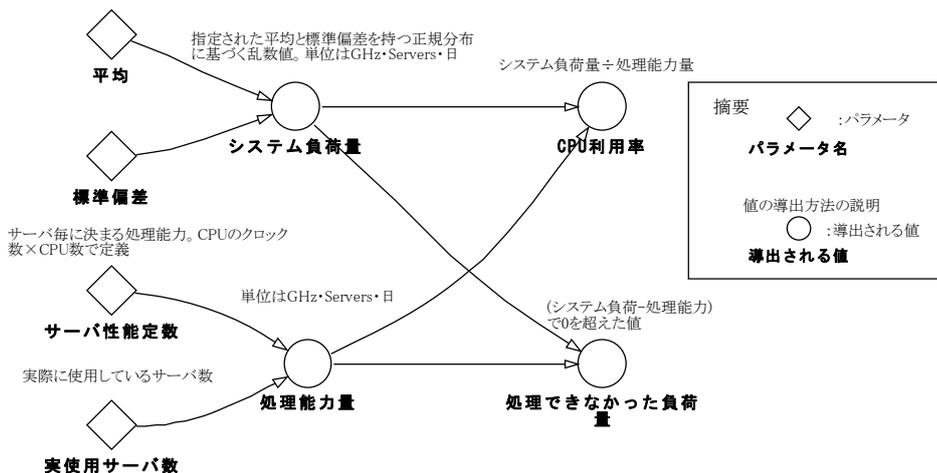


図7. CPU利用率、処理できなかった負荷の算出方法

る。

そして、システムの処理能力量やシステム負荷量の単位は、「GHz・Servers・日」を使用している。1 (GHz・Servers・日)は、1GHzのCPUを持つ一台のサーバが一日で処理できる負荷量を表している。

このモデルでは、入力である毎日のシステム負荷量は、シミュレーション期間一ヶ月分の一日毎に、正規分布

に基づく乱数値で与えられる。正規分布の平均、標準偏差は、実環境の測定などに基づきエンドユーザにより、与えられることとしている。

本来であれば、顧客の実環境の測定に基づく CPU 利用率の推移をもとにシステム負荷量の推移をモデルに入力するのが適切であるが、多くの場合、モデル使用時点には実際の測定データは存在しないか、将来のシステム負荷量の予測、予想を入力したいとエンドユーザが要望することが多いと考えられるため、実データを入手することは困難である。このため、システム負荷量はエンドユーザが設定した平均と標準偏差による正規分布に基づく乱数値で与えられるものとした。

システム負荷量をシステム処理能力で除すことによってシステム全体の CPU 利用率を算出し、これを C 部への入力としている。また、処理できなかった負荷量は、システム負荷量と処理能力の差で 0 を超えた値としている。これは、与えられた一日のシステム負荷量のうち、その日のうちに処理できず溢れてしまったものを示している。

なお、現在のモデルでは、月初に決定した実使用サーバ数はシミュレーション期間の一ヶ月の間は変化させないこととなっている。

#### 4. 2 サーバリース料金を求める部分(B部)の概要

サーバリース料金を求める部分(B部)では、サーバの種別に基づく単価、契約するサーバの台数、その他の内部的に定義される定数から、固定部分リース料、及び従量基本リース料、基準従量変動リース料が算出される。算出されたこれらの値はC部への入力となる。なお、これらの値の算出方法、算出に使用するパラメータの詳細については、本論文では割愛する。

#### 4. 3 節減電力量、想定最大消費電力量、リース料を算出する部分(C部)の概要

節減電力量、想定最大消費電力量、リース料を算出する部分(C部)では、まずA部から入力されたCPU利用率に基づき、各日の想定最大消費電力量と、節減電力量を算出し、実際と同様に一ヶ月間の積算を行う。その上で、積算された節減電力量と積算された想定最大消費電力量から省電力率を求めている。

実際のプログラム運用時にはCPU利用率から想定最大消費電力量が算出され、想定最大消費電力量から実際の消費電力量を差し引くことで節減電力量を算出することになるが、開発したモデルでは実際の消費電力量は測定できない。したがってA部から入力されたCPU利用率から直接、想定最大消費電力量と、節減電力量を計算によって求めている。

想定最大消費電力は、2.においても述べたように、CPU利用率と無関係に消費される一定の最低消費電力と、CPU利用率と比例して消費される電力の和で近似され、また、節減電力は、図3のようになるので、それぞれ図8内の式を用いて算出している。

$$\text{想定最大消費電力} = \text{最低消費電力} + \text{CPU利用率消費電力変換係数} \times \text{CPU利用率}$$

最低消費電力：サーバの種別ごとに定まる一定値

CPU利用率消費電力変換係数：サーバの種別ごとに定まる一定値

$$\text{節減電力} = \text{CPU利用率節減電力変換係数} \times \text{CPU利用率} \times \left( 1 - \frac{e^{(\text{CPU利用率}-\text{節減電力定数1}) \times \text{節減電力定数2}}}{1 + e^{(\text{CPU利用率}-\text{節減電力定数1}) \times \text{節減電力定数2}}} \right)$$

CPU利用率節減電力変換係数：サーバの種別ごとに定まるCPU利用率消費電力変換係数に比例した一定値と仮定した節減電力定数1、節減電力定数2：図3の特性をうまく表現できるような定数を仮定した

図8. 想定最大消費電力、及び節減電力の算出式

つぎに、求められた省電力率とリース料割引率表を用いて、従量部分リース料金の割引率を算定する。最終的に、従量部分リース料金の割引率とB部からの従量基本リース料、基準従量変動リース料を用いて従量部分リース料を算出した上で、B部からの入力である固定部分リース料を加えて、最終的な月額リース料を算出している。この流れは、実際のブレードPPU C02 削減インセンティブプログラムの流れ(図5)と同様に実装されている。

#### 4. 4 PPU CRIP シミュレーションモデルを使用する際の最適サーバ数の提案

PPU CRIP モデルを使用してエンドユーザシステムに最適なサーバ数を提案する場合には、Studio7 の最適化機能を使用する。

モデル上のシステム負荷量の平均と標準偏差を設定した上で、シミュレーション期間を一ヶ月として、処理で

きなかった負荷量の総量が0となり、かつ、月額リース料が最小となる条件で最適化機能により、最適となる実使用サーバ数を探索している。

### 5. 作成したモデルの評価

本来であれば、今回作成したモデルと、実際の「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」を使用している環境の稼働状況とを比較して、モデルの妥当性を検証する必要があるが、本論文執筆時点では、同プログラムの適用事例が存在しておらず、実環境との比較が実施できない。このため、以下の2点の確認をおこなってモデルの評価を行った。

- (1) 最適なサーバ数を選択すれば、リース料金が減額されることが実現できているか？
- (2) さまざまなシステム環境を想定して、システム負荷量の標準偏差を変化させた場合でも、開発したモデルが適用可能であるか？

#### 5. 1 最適なサーバ数を選択すれば、リース料金が減額されることが実現できていることの確認

作成したモデルを使用して、システム負荷量の平均値 600 (GHz・Servers・日)、標準偏差 0 (GHz・Servers・日)、サーバの CPU クロック数を 7.44 (GHz) とした場合、実使用サーバ台数と従量部分リース料の関係をそれぞれ図示すると、図9のようになる。サーバ台数 80 台以下の場合にはシステム負荷量に比して、サーバの台数が少なすぎるためにシステム処理能力が不足し、システム負荷量を処理しきれないため、上記の条件下においては、サーバ台数 81 台がシステムの下限となる。

図9に示されるように、従量部分リース料が最小となるサーバ台数は 104 台となっており、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」を利用し最適なサーバ台数を選択すると、リース料を減額できる可能性がある

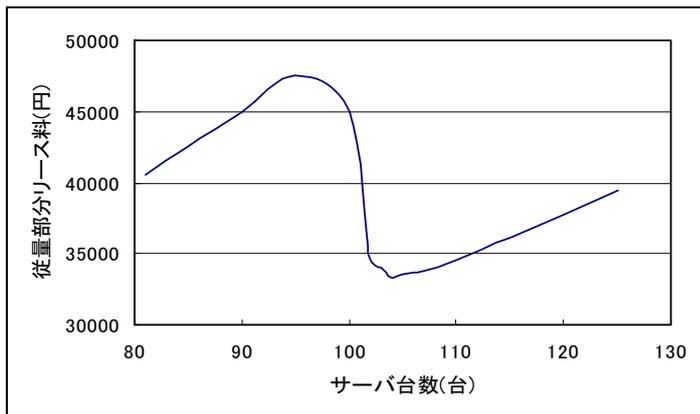


図9. 負荷変動がない場合の台数に対する変動部分リース料の変化

表 2. 負荷がない場合の最小サーバ数条件下でのパラメータ値

CPU利用率 (%)	77.54
省電力率 (%)	12.16
従量変動リース料金割引率 (%)	90
サーバ台数 (台)	104
従量部分リース料	¥33,280

表 3. システム負荷の変動による最適サーバ数、CPU 利用率、省電力率、従量変動リース料金割引率の変化

標準偏差	0	60	120	180	240
リース料金が最低となるサーバ台数 (台)	104	108	116	125	127
平均CPU利用率 (%)	77.54	72.53	67.85	63.27	62.57
省電力率 (%)	12.16	12.11	12.22	12.02	10.13
従量変動リース料金割引率 (%)	90	90	90	90	80

っている影響であると考えられる。

ことがわかった。

なお、サーバ 104 台構成の場合の CPU 利用率、省電力率、従量変動リース料金割引率を確認すると、表 2 のようになっており、CPU 利用率が 77.54%、従量変動リース料金割引率が 90% と「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」が効果的に働いて従量部分リース料金が減額されていることがわかる。

#### 5. 2 システム負荷量の標準偏差を変化させた場合の稼働状況への影響の調査

システム負荷量生成の標準偏差を 0、60、120、180、240 と変化させ、システム負荷量の変動がある場合のリース料金、CPU 利用率、省電力率、従量変動リース料金割引率への影響を確認した(表3)。表3で示されているリース料金が最低となるサーバ数は4.4で述べた手法によって求めている。

この結果、表3のように負荷量の変動が大きくなるにつれて、リース料金が最小となるサーバ数が増加する一方、CPU 利用率、省電力率、従量変動リース料金割引率は、低下する傾向が確認できた。

この動きは、現在のモデルではシミュレーション期間のヶ月間、実使用サーバ数は変化しないこととしており、また、処理できなかった総負荷量が0となるようなサーバ台数を選定するようなシミュレーションを行

負荷量の変動が大きくなればなるほど、大きな負荷量が発生する場合があるので、必要となるサーバ台数は、この大きな負荷量が処理できるように、大きな台数で選定される。

そして、一度選定されたサーバの台数はシミュレーション期間の一ヶ月の間、固定されるので、一時的にシステム負荷量が低い状況では低いCPU利用率でサーバを稼働することになり、Dynamic Power Saving 設定による省電力効果が発揮しにくくなる状況が増えるためと考えられる。

Dynamic Power Saving 設定による省電力効果が発揮できる状況とするためには、日々の負荷量の変化に応じてダイナミックに実使用サーバ数を変化させることが必要である。これにより、システムの負荷量が低い場合は、少数のサーバが、システムの負荷量が大きき場合は多数のサーバが稼働することができるようになり、Dynamic Power Saving 設定の効果が発生しやすいCPU利用率で動作することができるようになる。

現実には、サーバ運用の自動化が充分進んでいないために、毎日の負荷変化に応じたダイナミックな実使用サーバ台数の調整は行われることはない。せいぜい月次の負荷予測に応じて月に一回、稼働サーバ台数の調整を計画実施しているのが現状である。したがって、今回のモデルは現実に即したものであるといえる。

しかし、今後サーバの有効活用の点から考えると、近い将来には、日々の負荷変動に応じてダイナミックなサーバの稼働台数の調整を行う自動化が行えるようになって考えられる。本モデルもそれをみこして、負荷量の状況に応じた稼働サーバ台数の調整をモデル内で処理できるようにしなければならないと考える。

## 6. 今後の課題

今後の課題としては以下の3点が挙げられる。

### (1) PPU CRIP シミュレーションモデルの実環境との比較によるモデルの検証

本論文執筆時点では、実際の「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」を適用した環境と PPU CRIP シミュレーションモデルとの比較は行われていない。今後、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」の実事例の導入を行ったうえで、「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」との比較をおこない、モデルの妥当性の検証、パラメータの調整などを行う必要がある。

### (2) 負荷量の変動に応じて実使用サーバ数を変化させる仕組みのモデルへの実装

前述したように、現在のモデルでは、日々の負荷量の変動に応じて実使用サーバ数を動的に変化させることができない。今後システム運用の自動化とともに、実使用サーバ数の動的な変更が実装される状況も発生すると考えられる。これに対応できるように負荷量の変動に応じて実使用サーバ台数を調整できる仕組みをモデルに実装したい。

### (3) コンサルティングツールとしての拡張

このモデルを単なるサーバのリース料金の算出のためだけではなく、運用時の電気料金、運用コストなども含めたシステム全体の TCO を算出できるように、モデルの取り扱う対象範囲の拡大をおこない、機能を拡張したいと考える。これができれば、本モデルを「ブレード PPU CO2 削減インセンティブプログラム」のセールスツールからコンサルティング領域へ適用できるようなモデルに拡大できると考えられるからである。

## 参考文献

- [1] Hewlett-Packard Company : Power Regulator for ProLiant servers technology brief, 3rd edition, , 14p, 2007  
<http://h20000.www2.hp.com/bc/docs/support/SupportManual/c00593374/c00593374.pdf>
- [2] Hewlett-Packard Company : Insight Power Manager, , 62p, 2007  
<http://docs.hp.com/ja/435547-196/435547-196-j.pdf>