南山大学瀬戸キャンパスにおける電気料金の最適化

2006MI116 成瀬 佳一　2006MI145 坂口 洸太
指導教員：澤木 勝茂

1　はじめに

近年，世界中で地球温暖化が問題になってきている．地球温暖化による海水面の上昇や気象の変化により，生態系や人類の活動への影響が懸念されている．地球温暖化の要因としては，人為的な温室効果ガスの放出，なかでも二酸化炭素やメタンガスの影響が大きいと考えられており，電気を使用することによっても二酸化炭素を排出している．そこで，私たちが地球温暖化対策として身近なところで出来ることに，無駄なエネルギー消費を抑え，二酸化炭素の排出を減少させていくことが挙げられる．本研究では南山大学瀬戸キャンパスにおけるエネルギー消費，特に電力消費量に注目し，その結果として南山大学瀬戸キャンパスの電気料金を削減することを考える．

2　研究方針

2.1　問題点

電気料金の算出方法は，一般的に基本料金と電力量料金を足したもので決定する [2]．現在の南山大学瀬戸キャンパスの基本料金は，契約電力を 750kW としており，この値に基本料金単価をかけた値で決まる．また，電力量料金は，夏季（7/1～9/30）とその他季（夏季以外の期間）とで異なる電力量料金単価に，電力使用量をかけた値で決まる．この条件のもとで南山大学瀬戸キャンパスの電気料金を計算すると図 1 のように年間約 4,000 万円前後，月額約 350 万円前後の電気料金がかかっている．

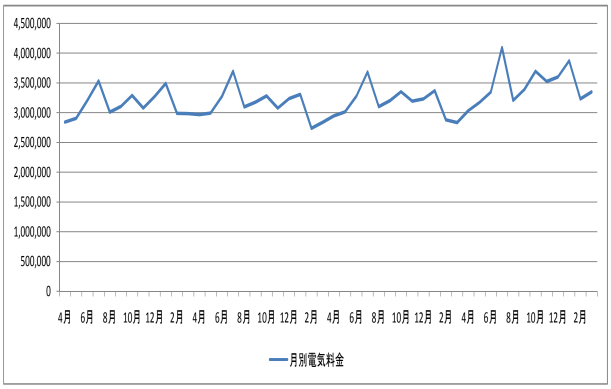

図 1: 月別電気料金

この電気料金の中でも基本料金が大きな割合を占めている．最大需要電力が契約電力分を超えてしまうと超過した分，違約金を支払わなければならないが，契約電力分を超えない限り使った量に関係なく契約電力分だけ基本料金を支払うことになっている．現在の南山大学瀬戸キャンパスでは契約電力を高めに設定してあると思われるので，契約電力分を超えることはないが，契約電力に達していない分無駄に基本料金を支払っていると考えられる．

2.2　解決方法

本研究では主に無駄に支払っている部分が多いと思われる契約電力の値に着目し，過去の需要データと予測需要データから在庫管理のモデルを用いて最適な基本料金を算出していき，そこから考察していく．また，現在実際に電力会社から提案されている電気料金プランの他に，私達自身で考えたプランを用いたらどのような結果になるかをシミュレーションしていく．ただし，直近の過去一年の契約電力は最大需要電力を越えないものとする．

2.3　移動平均法

予測需要データは移動平均法を用いたもので最適な値を求める．移動平均法とは，時系列データを平滑化する手法のことであり，直近の n 個のデータを p_1，p_2，$\cdots$，p_n とすると，移動平均を求める式は $\frac{p_1+p_2+\cdots+p_n}{n}$ となる [3]．本研究では n=3 とし，三か月移動平均法を用いる．

3　モデル 1

モデル 1 では，コストを最小化するという目的において，新聞売り子の問題 [1] を用いて最適な契約電力を求める．

3.1　記号の説明

a　:基本料金単価
b　:割引率
x　:契約電力
y　:最大需要電力（月毎の平均値）
u　:契約電力を超えた際の違約金の割増率
$p(y)$　:需要分布
$e(x,y)$:総コスト
$E(x)$　:期待コスト

割引率とは電力会社が定める力率のことを言い，力率が高いほど送電線に流れる電流が少なくなり変圧器の有効利用が図れる，また送電損失が減少するなどのメリットを考慮した優遇措置のことである．本研究では，南山大学瀬戸キャンパスにおける力率が毎月 100 %であること，力率 85 %を基準として割引されることを考慮し，$b = 0.85$ として計算をしていく．

3.2　モデルの定式化

このモデルでは，契約電力が最大需要電力を超える場合は基本料金のみを支払い，契約電力が最大需要電力を超えない場合は基本料金に超過分の違約金を支払うと考え，年間基本料金の最適な値を求める．この場合の総コストは

$$e(x,y) = \begin{cases} abx & x > y \\ abx + abu(y-x) & x \le y \end{cases}$$

で与えられる．したがって，需要分布 $p(y)$ に対して契約電力 x の場合の期待コスト $E(x)$ は，

$$E(x) = \sum_{y=0}^{x-1} abxp(y) + \sum_{y=x}^{\infty} \{abx + abu(y-x)\} p(y)$$

のようになる．$E(x)$ を最小にする最適な契約電力は，次の解である．

$$\begin{cases} E(x) - E(x-1) \leq 0 \\ E(x+1) - E(x) \geq 0 \end{cases}$$

よって最適な契約電力は，

$$\begin{cases} \displaystyle\sum_{y=0}^{x-1} p(y) \leq \frac{u-1}{u} \\ \displaystyle\sum_{y=0}^{x} p(y) \geq \frac{u-1}{u} \end{cases}$$

の解である．

3.3 考察

現在契約しているプランの値である基本料金単価 a=1,759，割引率 b=0.85，違約金の割増率 u=1.5 として計算すると，表 1 のような結果を得られた．最適な契約電力は 615.80kW となり，現在よりも 134.20kW も低くなった．現在の年間基本料金よりも 1,467,527.10 円も削減することができるが，最大需要電力が契約電力を超える確率が 58.33% と高くなっているので，現実的にこのモデルを用いることは難しいと考えられる．

また 3 か月移動平均法 (n=3) を用いた場合，契約電力が 619.57kW のとき年間基本料金 11,652,279.58 円という結果を得ることができた．これは現在よりも 1,804,070.42 円も削減できたことになり，さらに過去のデータを用いた場合と比べると 336,543.32 円も削減できたことになる．授業日程の変更が可能ならば，使用電力量を多い月から少ない月に移すだけで約 33 万円も削減できる．

表 1 :最適な契約電力と計算結果

	過去のデータ	移動平均法
契約電力	615.80	619.57
年間基本料金	¥11,988,822.90	¥11,652,279.58
削減できた値段	¥1,467,527.10	¥1,804,070.42
契約電力を超える確率	58.33%	58.33%
超過金	¥940,262.46	¥433,810.30

4 モデル 2

モデル 2 では，契約電力が最大需要電力を超える場合は，契約電力分は基本料金を支払わなくてはならないので，契約電力から最大需要電力を引いた値に基本料金単価 a と割引率 b をかけた値を余分なコストと考える．契約電力が最大需要電力を超えない場合は，通常よりも割増しの違約金分を無駄な支払い額と考えて最適な値を求める．

4.1 記号の説明

本モデルにおける記号は，モデル 1 と同様の記号を使用する．

4.2 モデルの定式化

このモデルでは，余分な基本料金や割増しの違約金を支払うと考えているので，この場合のコストは

$$e(x,y) = \begin{cases} ab(x-y) & x > y \\ abu(y-x) & x \leq y \end{cases}$$

で与えられる．したがって，需要分布 $p(y)$ に対して契約電力 x の場合の期待コスト $E(x)$ は，

$$E(x) = \sum_{y=0}^{x-1} ab(x-y)p(y) + \sum_{y=x}^{\infty} abu(y-x)p(y)$$

のようになる．よって最適な契約電力は

$$\begin{cases} \displaystyle\sum_{y=0}^{x-1} p(y) \leq \frac{u}{u+1} \\ \displaystyle\sum_{y=0}^{x} p(y) \geq \frac{u}{u+1} \end{cases}$$

の解である．

4.3 考察

a，b，u にモデル 1 と同様の値を入れ計算すると，表 2 のような結果が得られた．最適な契約電力は 666.00kW となり，現在よりも 84kW も低くなった．このときの無駄に支払う額は 1,053,632.43 円となり，現在の契約電力 750kW のときと比べて 1,183,411.00 円も無駄を少なくすることができ，そのときの年間基本料金は現在よりも 1,183,411.22 円削減できた．最大需要電力が契約電力を超える確率が 33.33 ％とモデル 1 のときよりも低くなっているので，より現実的なモデルであると考えられる．

また 3 か月移動平均法 (n=3) を用いた場合，契約電力が 637.93kW のときに年間基本料金 11,868,926.82 円という結果を得ることができた．これは現在よりも 1,587,423.18 円も削減できたことになり，過去のデータを用いた場合と比べても 404,011.96 円も削減できたことになる．

表 2 :最適な契約電力と計算結果

	過去のデータ	移動平均法
契約電力	666.00	637.93
年間基本料金	¥12,272,938.78	¥11,868,926.82
削減できた値段	¥1,183,411.22	¥1,587,423.18
契約電力を超える確率	33.33%	33.33%
超過金	¥194,219.99	¥253,988.61

5　モデル3

仮想モデルとして「最大需要電力が契約電力に達しなかった場合，残った電力量のうち一定の量までは返金するモデル」を考える．このモデルを用いることにより，電気消費者は使用量を抑えようとする意識を高く持つことができ，結果として二酸化炭素の排出量削減につながる．現実的には契約電力分の電気を使い切らなかったとしても，契約電力分だけ基本料金を支払わなければならないが，今回は使い切らなかった分の一部を値引きして返金すると仮定して値を算出する．

5.1　記号の説明

x　:契約電力
y　:最大需要電力
$x^{'}$　:使い切らなかった電力量（$x^{'}=x-y$）
D　:返金できる最大電力量
a　:基本料金単価
b　:割引率
u　:最大需要電力が契約電力を超えた際の割増率
$1-r$　:返金する際の値引き率
$E(x)$　:期待コスト
$P(y)$　:需要分布
$e(x,y)$　:総コスト

5.2　モデルの定式化

このモデルでは，最大需要電力が契約電力を超えない場合に生じる余分な電力量を，一定の量まで値引きして返金するので，この場合のコストは

$$e(x,y)=\begin{cases} abx+abrD & y<x-D \\ abx-abr(x-y) & x-D\le y<x \\ abx+abu(y-x) & x\le y \end{cases}$$

で与えられる．したがって，需要分布 $p(y)$ に対して契約電力 x の場合の期待コスト $E(x)$ は，

$$\begin{aligned} E(x) = & \sum_{y=0}^{x-D-1}(abx-abrD)P(y) \\ & +\sum_{y=x-D}^{x-1} abx-abr(x-y)P(y) \\ & +\sum_{y=x}^{\infty} abx+abu(y-x)P(y) \end{aligned}$$

のようになる．よって最適な契約電力 x は,

$$\begin{cases} \displaystyle\sum_{y=0}^{x-D-1} P(y)+\sum_{y=x-D}^{x-1}(1-r)P(y)+\sum_{y=0}^{x-1}(u-1)P(y) \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \ge 1 \\ \displaystyle\sum_{y=0}^{x-D} P(y)+\sum_{y=x-D+1}^{x}(1-r)P(y)+\sum_{y=0}^{x}(u-1)P(y) \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \le 1 \end{cases}$$

の解である．

5.3　考察

a，b，u にモデル1と同様の値を入れ，返金できる電力量 D=167kW，値引き率 r=1.0 としたとき表3のようになった．このときの最適な契約電力は 692.00kW となり，現在の契約電力よりも 58kW も低くなっている．さらに最大需要電力が契約電力を超える確率が 16.66% とかなり低くなっている．しかしこれは値引きをせずに返金し，さらに余った電力量を最大まで返金する値となっているため，電力会社の利益を全く無視したものとなっている．

表 3 :電力会社の利益を考慮しない場合の結果

契約電力	692.00
年間基本料金	¥11,246,630.44
削減できた値段	¥2,209,719.56
契約電力を超える確率	16.66%

少しでも電力会社の利益を考えるために，返金できる電力量 D=84kW，値引き率 r=0.5 と先ほどの半分にしたとき表4のようになった．このときの最適な契約電力は 622kW となり現在の契約電力よりも 128kW も低くなっている．これは，モデル1，モデル2と比べてもかなり電気料金を削減できていると言える．しかし，最大需要電力が契約電力を超える確率が約 67 %と高くなっている．

表 4 :電力会社の利益を考慮する場合の結果

契約電力	622.00
年間基本料金	¥11,779,352.38
削減できた値段	¥1,676,997.62
契約電力を超える確率	66.66%

6　モデル4

ここでは，二段階の契約電力を考えた仮想モデルを用いて，最適な契約電力を考える．一段階目の契約電力を超えた場合，第一契約電力と第二契約電力分の基本料金を支払い，さらに二段階目の契約電力を超えた場合は基本料金に加え，第二契約電力を超えた分だけ違約金を支払うとする．

6.1　記号の説明

x　:第一契約電力
y　:最大需要電力
$x^{'}$　:第二契約電力
a　:第一基本料金単価
b　:割引率
$a^{'}$　:第二基本料金単価　($a^{'}>a$)

u :最大需要電力が第二契約電力を超えた際の割増率
$E(x,x')$:期待コスト
$P(y)$:需要分布
$e(x,x',y)$:総コスト

6.2 定式化

このモデルでは，二段階の契約電力が存在するので，この場合の総コストは

$$e(x,x',y) = \begin{cases} abx & y < x \\ abx + a'b(x'-x) & x \le y < x' \\ abx + a'b(x'-x) + a'bu(y-x') & x' \le y \end{cases}$$

で与えられる．したがって，需要分布 $P(y)$ に対して契約電力 x の場合の期待コスト $E(x,x')$ は，

$$E(x,x') = \sum_{y=0}^{x-1} abxP(y) + \sum_{y=x}^{x'-1}\{abx + a'b(x'-x)\}P(y) + \sum_{y=x'}^{\infty}\{abx + a'b(x'-x) + a'bu(y-x')\}P(y)$$

のようになる．よって最適な契約電力は，

$$\begin{cases} \displaystyle\sum_{y=0}^{x-1} ap(y) + \sum_{y=x}^{x'-1} ap(y) + \sum_{y=0}^{x'-1}(a'u-a)p(y) \ge (a'u-a) \\ \displaystyle\sum_{y=0}^{x} ap(y) + \sum_{y=x+1}^{x'} ap(y) + \sum_{y=0}^{x'}(a'u-a)p(y) \le (a'u-a) \end{cases}$$

の解である．

6.3 考察

6.3.1 基本料金単価基準

第一基本料金単価を現在と同じ 1495.15 円，そして二段階目を一段階目の 1.1 倍の 1644.67 円，1.2 倍の 1794.18 円，1.3 倍の 1943.70 円，1.4 倍の 2093.21 円とする．一段階目の契約電力を 450kW から 700kW まで変えていき，こちらも二段階目をそれぞれ一段階目の 1.1 倍，1.2 倍，1.3 倍，1.4 倍と変えていった結果が図 2 である．また，ここではモデル 1 と同様に b=0.85，u=1.5 とする．1.2 倍と 1.3 倍のグラフは形が似ているが，第一契約電力が 530kW までは 1.2 倍の方が基本料金が高く，530kW を超えると 1.3 倍の方が高くなる．これは 1.3 倍の方が第二契約電力を超えてしまい，違約金が発生するためだと考えられる．1.4 倍のグラフはほぼ全てで現在の契約電力を超え，1.1 倍のグラフはかなり基本料金を抑えることができた．過去のデータでは最大需要電力が 700kW を超えることは無かったため，第一契約電力が 700kW のときは同じ金額に収束する．

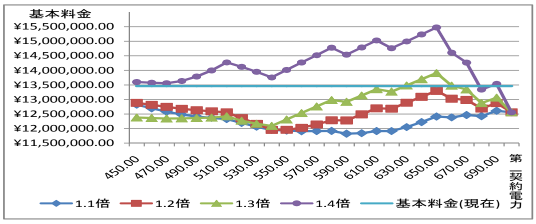

図 2: 基本料金単価基準のときのグラフ

6.3.2 第一契約電力基準

第一契約電力と第一基本料金単価を基準に等間隔の倍率で第二契約電力と第二基本料金単価を増やしたところ，図 3 のようになった．第二契約電力を第一契約電力に近づければ近づけるほどグラフの左端が少しずつ上昇していくと考えられるので，契約電力間の差が小さすぎても大き過ぎてもコストがかかってしまう．

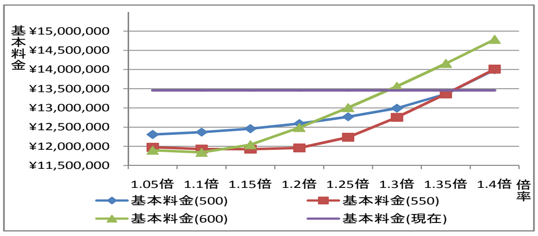

図 3: 第一契約電力基準のときのグラフ

6.3.3 第二契約電力基準

第二契約電力と第一基本料金単価を基準に等間隔の倍率で第一契約電力と第二基本料金単価を変化させたところ，図 4 のようになった．どの値も第一契約電力と第二契約電力の差を大きくするとコストが大きくなっていく．これは超過金を払うことはなくなるが，二段階目で無駄に基本料金を払うコストが大きくなっている．

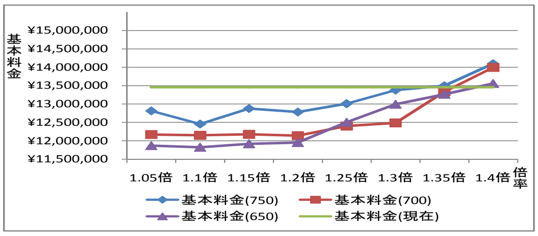

図 4: 第二契約電力基準のときのグラフ

参考文献

[1] 小和田 正，澤木 勝茂，加藤 豊 :『ＯＲ入門　意思決定の基礎』，実教出版株式会社 (1984)

[2] 中部電力株式会社ホームページ
http://www.chuden.co.jp/index.html?st=lg

[3] wikipedia『移動平均』
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A7%BB%E5%8B%95%E5%B9%B3%E5%9D%87