

# オペレーションズ・リサーチを用いた 南山大学瀬戸キャンパスの電気料金削減方法について

2008MI013 伴有加里 2008MI137 水野くり実

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

### 1.1 背景と研究目的

本研究では、南山大学瀬戸キャンパスにおける電気料金の削減方法について考える。

現在、東日本大震災の影響で節電が求められている。加えて、原子力発電所で事故が起きたことで、原子力発電所の安全性が問われ始めた。その結果、原子力発電所の停止、また、稼働が見送られている。瀬戸キャンパスが受電している中部電力も、浜岡原子力発電所の停止をした。さらに、新たな原子力発電所や原子炉の建設も見送られ、今後も節電を余儀なくされると考えられる。

また、瀬戸キャンパスでは、光熱費の半分以上を電気料金が占めている。電気料金は、浜岡原子力発電所の停止の影響で、値上がりが見込まれており、これを削減することで、資金を有効活用することができると考える。

そこで、本研究は瀬戸キャンパスの節電や光熱費削減に貢献することを目的に行う。本研究の成果は、瀬戸キャンパスだけでなく名古屋キャンパスをはじめ、他大学、事業所、工場などの他の施設にも適用できると考える。

### 1.2 現状と解決策

現在、瀬戸キャンパスの電気料金は年間約 4000 万円であり、その約 3 分の 1 以上を基本料金が占めている。このことから、電気料金を削減するためには基本料金を下げることが有効であると考えられる。

成瀬らの研究 [1] は、契約超過金を支払うことを考慮し、契約電力を下げることで 1 年間の基本料金の削減を提案している。しかし、この結果が実際に採用されなかったのは、最大需要電力が契約電力を超えると契約超過金が発生し、翌月から超過金が発生しないように契約電力を変更するという電力会社の規定があるためである。よって、契約超過金を支払わずに電気料金全体の削減を行うことが有効である。また、現在適用されている料金プランを見直すことで、さらに電気料金を下げられると考える。使用電力量とのバランスをとり、最適な契約電力、料金プランを導く。さらに、自家発電機器の導入をすることで、契約電力や使用電力量を下げられると考える。自家発電機器で得た電気を使用することで、電力会社から電気の購入を減らし、それに加え、余剰電力を売電し、電気料金を下げる。

以上より本研究では、成瀬らの研究に加え、料金プラン、自家発電機器の導入に着目し、瀬戸キャンパスの 10 年間の電気料金と自家発電機器導入費用の総計を最小化する。

## 2 電気料金の削減方法

### 2.1 料金プランについて

中部電力の料金プランには、WE プランの 3 段階、FR プランの 3 段階の 6 つのプランがある。契約者はこれらのプランを、自らの需要の特徴とあわせて選択することができる。プランにより定められた各料金単価は、表 1、表 2 に示されたとおりである。

表 1 : WE プラン

料金プラン	基本料金	休日料金
	契約電力 1kw につき	使用電力量 1kwh につき
WE プラン A	1570 円	9.81 円
WE プラン B	1759 円	9.81 円
WE プラン C	1843 円	9.81 円

料金プラン	平日料金	
	夏季料金	その他季料金
	使用電力量 1kwh につき	使用電力量 1kwh につき
WE プラン A	13.71 円	12.57 円
WE プラン B	12.18 円	11.18 円
WE プラン C	11.89 円	10.92 円

WE プランの電力量料金単価は、休日と平日の夏季(7月1日~9月30日)、その他季(夏季以外の期間)で異なる。休日に使用された電力量には休日料金を適用する。夏季に使用された電力量には夏季料金を、その他季に使用された電力量にはその他季料金をそれぞれ適用する。

表 2 : FR プラン

料金プラン	基本料金	
	契約電力 1kw につき	
FR プラン A	1570 円	
FR プラン B	1759 円	
FR プラン C	1843 円	

料金プラン	夏季料金	その他季料金
	使用電力量 1kwh につき	使用電力量 1kwh につき
FR プラン A	12.72 円	11.68 円
FR プラン B	11.65 円	10.70 円
FR プラン C	11.45 円	10.52 円

FR プランの電力量料金単価は、夏季とその他季で異なる。WE プランと違い、休日料金は無い。

WE プランの特徴は、休日料金が平日料金より安いことである。休日に使用電力量が多く、平日に使用電力量が少ない場合に適していると考えられる。それに対し FR プランの特徴は、休日料金は無いものの WE プランより電力量料金が安いことである。

現在適用しているプランは、FR プラン B である。瀬戸キャンパスでは、月曜日から金曜日に授業が集中しているため、FR プランを選択したと考えられる。プラン B の特徴は、基本料金単価、電力量料金単価ともに電力量

料金単価の高いプラン A と基本料金単価の高いプラン C の間である。プランの選択には、使用電力量とのバランスを考慮することが望ましいと考える。

## 2.2 契約電力について

現在、瀬戸キャンパスの契約電力は 750kw であり、高めに設定されている。最大需要電力が契約電力を超えてしまうと、契約超過金を支払わなければならないからであると考えられる。最大需要電力に余裕を持たせて契約電力を設定していることで、余分に基本料金を支払っている。電力会社の規定により、契約超過金を支払った場合、翌月から超過金を支払わないように新たに契約電力を設定することになっている。そのため、契約電力を低めに設定して契約超過金を支払うことは現実的ではない。よって、契約超過金を支払わないように最適な契約電力を設定することが必要であると考えられる。

## 2.3 自家発電機器について

現在、瀬戸キャンパスには自家発電機器が導入されていない。これを導入することで、電気料金の削減につながる 2 つの可能性が考えられる。1 つめは、電力会社から購入する電気を減らせることである。2 つめは、余剰電力を電力会社に売電できることである。

本研究では、太陽光発電機器とコジェネレーションシステム (以下コジェネとする) を取り扱う。

太陽光発電機器を導入した場合、昼間に発電した電気は利用し、余った電気は電力会社に売電する。また、夜間など発電できない時は必要分のみを電力会社から購入する。売電の際に発生する受給電力量料金単価は、電力会社が定める値である。太陽光発電機器は、電気の購入と売電を自動的に行うので、電気料金を節約できる。

コジェネは、ガスで発電する。その際発生する熱を給湯や冷暖房に有効活用することができる。これを導入した場合、発電した電気をすべて利用することで、契約電力、使用電力量を下げるができる。

これらのことを考えると、電気料金を削減するためには、最適な組み合わせの自家発電機器を導入することが必要である。

自家発電機器を設置する場所は、現在使われていないスペースを活用することを考える。瀬戸キャンパスの A 棟, B 棟, マルチメディア棟, 図書館, 学生会館, クラブハウス, G 棟, H 棟の各屋上が挙げられる。

また、自家発電機器の中で最短の寿命が 10 年である。そのため、機器の価格, 工事費用を 10 年間でまかなうことを考える。

## 3 電気料金の算出方法

1ヶ月の電気料金は、基本料金と電力量料金を足したもので算出される [2]。

基本料金は、基本料金単価, 契約電力, 力率割引率, 契約継続割引率をかけたもので算出される。

契約電力は、契約者と電力会社の協議によって定められる。最大需要電力が契約電力分を超えてしまうと、契約超過金を支払わなければならない。しかし、最大需要

電力が契約電力を超えなければ、使用電力量に関わらず契約電力分だけ基本料金を支払うことになっている。

力率割引率とは電力会社が定める平均力率により、割引または割増しされる措置である。平均力率が高いほど送電線に流れる電流が少なくなり、変圧器を有効に活用できている。瀬戸キャンパスでは基本料金が 15 % 割引された値になる。

契約継続割引率とは、契約継続年数により割引される優遇措置である。契約が継続された 1 年目は 1ヶ月につき 1 %, 2 年目 1.5 %, 3 年目以降 2 % の割引がされる。

電力量料金は、電力量料金単価と燃料費調整単価にそれぞれ使用電力量をかけて足したものである。燃料費調整単価とは、貿易統計の輸入品の数量および価格の値により、毎月電力会社が定める値である。

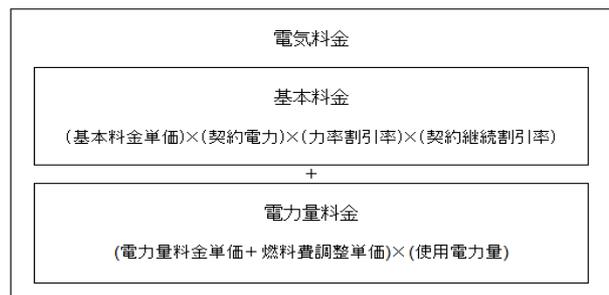


図 1 電気料金の算出方法

## 4 使用するデータについて

本研究では、瀬戸キャンパスにおける過去 (2010 年 11 月 ~ 2011 年 10 月) の使用電力量を用いる。瀬戸キャンパスの屋上の寸法は、図面から計測した。太陽光発電機器の価格と工事費用の総計費用, メンテナンス費用, 予測発電量は、瀬戸キャンパス専用のシミュレーションデータであり、株式会社京セラソーラーコーポレーションから得た。太陽光発電機器の工事費用は、日本工業大学 [3] の導入事例を参考に設定した。コジェネの価格, 発電量, 外形寸法をヤンマー株式会社ホームページ [4] から取得した。コジェネの工事費用は、発電量 × 10 万円とする。メンテナンスは、年に 1 度行い、費用は名古屋キャンパスに設置されている機器を参考に設定した。

## 5 モデル化

瀬戸キャンパスにおける 10 年間の電気料金と自家発電機器導入費用の総計を最小化することを目的とし、非線形の整数計画問題を用いて最適な契約電力, 料金プラン, 自家発電機器数を求める。

### 5.1 記号の定義

まず、添字, 定数, 変数を以下のように定義する。  
添字

$I$ : 自家発電機器の集合

$I_1$ : 太陽光発電の機器の集合

$I_2$ : コジェネの機器の集合

$J$ : 自家発電機器の設置場所の集合

$K$  : 月の集合  
 $K_1$  : その他季の集合  
 $K_2$  : 夏季の集合  
 $L$  : 年の集合  
 $M$  : 料金プランの集合  
 $M_1$  : WE プランの集合  
 $M_2$  : FR プランの集合  
 $N$  : 時間の集合

定数

$a_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  の価格  
 $b_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  の工事費用  
 $c_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  のメンテナンス費用  
 $d$  : 力率割引率  
 $e_l$  :  $l$  年目の契約継続割引率  
 $f_k$  :  $k$  月の平日の使用電力量  
 $F_k$  :  $k$  月の休日の使用電力量  
 $g_{ijk}$  :  $k$  月の場所  $j$  にある機器  $i$  の平日の発電量  
 $G_{ijk}$  :  $k$  月の場所  $j$  にある機器  $i$  の休日の発電量  
 $h_k$  :  $k$  月の燃料費調整単価  
 $p$  : 受給電力量料金単価  
 $q_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  の縦の長さ  
 $r_j$  : 場所  $j$  の縦の長さ  
 $s_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  の横の長さ  
 $t_j$  : 場所  $j$  の横の長さ  
 $u_j$  : 場所  $j$  の面積  
 $v_{ij}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  の電池容量  
 $w_{kn}$  :  $k$  月  $n$  時の平日の需要電力  
 $W_{kn}$  :  $k$  月  $n$  時の休日の需要電力  
 $A_k$  :  $k$  月の平日の日数  
 $B_k$  :  $k$  月の休日の日数  
 $D_{ijkn}$  : 場所  $j$  にある機器  $i$  における  $k$  月  $n$  時の  
 予測発電量  
 $T$  : 期間  
 $\alpha_m$  : 料金プラン  $m$  の基本料金単価  
 $\beta_m$  : 料金プラン  $m$  のその他季の電力量料金単価  
 $\gamma_m$  : 料金プラン  $m$  の夏季の電力量料金単価  
 $\sigma_m$  : 料金プラン  $m$  の休日の電力量料金単価

変数

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{機器 } i \text{ を場所 } j \text{ に設置する} \\ 0 & \text{機器 } i \text{ を場所 } j \text{ に設置しない} \end{cases} \quad i \in I_1$   
 $x_{ij}$  : 場所  $j$  に設置する機器  $i$  の数  $i \in I_2$   
 $y$  : 契約電力  
 $z_m = \begin{cases} 1 & \text{料金プラン } m \text{ を選択する} \\ 0 & \text{料金プラン } m \text{ を選択しない} \end{cases}$

## 5.2 定式化

目的関数

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{l \in L} \left[ \frac{1}{T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} + \frac{1}{T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} b_{ij} x_{ij} \right. \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + 12 \sum_{m \in M} \alpha_m d e_l y z_m \\
 & \left. + \sum_{m \in M} \left\{ \beta_m \sum_{k \in K_1} (f_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} g_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \right. \\
 & \left. + \sum_{m \in M_2} \left\{ \gamma_m \sum_{k \in K_2} (f_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} g_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \right. \\
 & \left. + \sum_{m \in M_1} \left\{ \sigma_m \sum_{k \in K} (F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} G_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \right. \\
 & \left. + \sum_{k \in K} h_k \left\{ f_k + F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (g_{ijk} + G_{ijk}) x_{ij} \right\} \right. \\
 & \left. - p \sum_{k \in K} A_k \sum_{n \in N} \max \left\{ 0, \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. - (w_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij}) \right\} \right. \\
 & \left. - p \sum_{k \in K} B_k \sum_{n \in N} \max \left\{ 0, \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. - (W_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij}) \right\} \right]
 \end{aligned}$$

制約条件

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{m \in M_2} \left\{ \beta_m \sum_{k \in K_1} (F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} G_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \\
 & + \sum_{m \in M} \left\{ \gamma_m \sum_{k \in K_2} (f_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} g_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \\
 & + \sum_{m \in M_2} \left\{ \gamma_m \sum_{k \in K_2} (F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} G_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \\
 & + \sum_{m \in M_1} \left\{ \sigma_m \sum_{k \in K} (F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} G_{ijk} x_{ij}) z_m \right\} \\
 & + \sum_{k \in K} h_k \left\{ f_k + F_k - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (g_{ijk} + G_{ijk}) x_{ij} \right\} \\
 & - p \sum_{k \in K} A_k \sum_{n \in N} \max \left\{ 0, \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \right. \\
 & \quad \left. - (w_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij}) \right\} \\
 & - p \sum_{k \in K} B_k \sum_{n \in N} \max \left\{ 0, \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \right. \\
 & \quad \left. - (W_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij}) \right\} \Big] \tag{1}
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i \in I} q_{ij} x_{ij} \leq r_j \quad j \in J \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I} s_{ij} x_{ij} \leq t_j \quad j \in J \tag{3}$$

$$\sum_{i \in I} q_{ij} s_{ij} x_{ij} \leq u_j \quad j \in J \tag{4}$$

$$\sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} v_{ij} x_{ij} \leq 500 \tag{5}$$

$$y \geq \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} v_{ij} x_{ij} \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I_1} \sum_{j \in J} v_{ij} x_{ij} \geq 50 \tag{7}$$

$$w_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \geq 0 \quad k \in K, n \in N \tag{8}$$

$$W_{kn} - \sum_{i \in I_2} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \geq 0 \quad k \in K, n \in N \tag{9}$$

$$w_{kn} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ijkn} x_{ij} \leq y \quad k \in K, n \in N \tag{10}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I_1, j \in J \tag{11}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i \in I_2, j \in J \tag{12}$$

$$y \geq 0 \tag{13}$$

$$\sum_{m \in M} z_m = 1 \tag{14}$$

$$z_m \in \{0, 1\} \quad m \in M \tag{15}$$

目的関数の説明

(1) 10年間の電気料金と自家発電機器導入費用の総計を最小化する関数

制約条件の説明

- (2) 場所  $j$  に設置する機器の縦の長さの和を場所  $j$  の縦の長さ以下にする制約
- (3) 場所  $j$  に設置する機器の横の長さの和を場所  $j$  の横の長さ以下にする制約
- (4) 場所  $j$  に設置する機器の面積の和を場所  $j$  の面積以下にする制約
- (5) 太陽光発電機器の太陽電池容量を 500kw 以下にする制約
- (6) 太陽光発電機器の太陽電池容量を契約電力以下にする制約
- (7) 太陽光発電機器の太陽電池容量を 50kw 以上にする制約
- (8) コジェネの平日の発電量を平日の需要電力以下にする制約
- (9) コジェネの休日の発電量を休日の需要電力以下にする制約
- (10) 最大需要電力を契約電力以下にする制約
- (11) 太陽光発電機器のバイナリー変数制約
- (12) コジェネの非負制約
- (13) 契約電力の非負制約
- (14) 料金プランを 1 つ選択する制約
- (15) 料金プランのバイナリー変数制約

6 実行結果と考察

契約超過金を考慮せずに電気料金を 1 年間で計算した結果と 10 年間で計算した結果を表 3, 表 4 に示す. 契約超過金を考慮して計算した結果を表 5, 表 6 に示す.

表 3 : 契約超過金を考慮しない場合

	1 年間	10 年間
電気料金	2712 万円	2 億 6969 万円
削減金額	388 万円	4045 万円
削減割合	約 12.5 %	約 13 %
契約電力	596kw	596kw
削減電力	154kw	154kw
計算時間	1 分 26 秒	23 分 45 秒
料金プラン	FR プラン A	FR プラン A

表 4 : 契約超過金を考慮しない場合の機器の設置数

1 年間			10 年間		
設置場所	機器	数	設置場所	機器	数
A 棟	コジェネ 35kw	2	B 棟	コジェネ 35kw	2
B 棟	コジェネ 25kw	1	クラブハウス	コジェネ 35kw	1
図書館	コジェネ 9.9kw	2	G 棟	コジェネ 9.9kw	1

表 5 : 契約超過金を考慮した場合

	1 年間	10 年間
電気料金	2707 万円	2 億 6927 万円
削減金額	393 万円	4087 万円
削減割合	約 12.7 %	約 13.2 %
契約電力	547kw	547kw
削減電力	203kw	203kw
計算時間	5 時間 26 分 9 秒	71 時間 56 分 37 秒
料金プラン	FR プラン B	FR プラン B

表 6 : 契約超過金を考慮した場合の機器の設置数

1 年間			10 年間		
設置場所	機器	数	設置場所	機器	数
A 棟	コジェネ 5kw	1	クラブハウス	コジェネ 5kw	1
図書館	コジェネ 5kw	1	図書館	コジェネ 5kw	1
B 棟	コジェネ 35kw	3	B 棟	コジェネ 35kw	3

実行結果より, 電気料金を年間約 400 万円削減できることが分かった. コジェネを導入することによって使用電力量と契約電力が下げられたからだと考えられる. 契約電力は, 超過金を考慮しない場合の方が考慮する場合よりも高くなっている. その代わりに, 基本料金単価の安い料金プランが選ばれたり, 機器の組合せが異なったりしている. また, 契約超過金を考慮する場合の方が考慮しない場合よりも年間 5 万円安くなっている. 超過金を考慮する場合では, 最大需要電力が契約電力を超える月がいくつかあった. そのため, 現実的ではないが, 超過金を支払う方が電気料金をわずかに削減できると考えられる.

また, 太陽光発電機器は設置されないという結果を得た. これは, コジェネに比べて導入費用が高いからだと考えられる.

7 おわりに

本研究では, 瀬戸キャンパスの電気料金を削減するため, モデルを作り最適化ツールで計算をした. その結果, 自家発電機器の導入や契約電力の低減, 最適な料金プランの選択によって, 電気料金を年間約 400 万円削減できることが分かった. また, 契約超過金を考慮した方が考慮しない場合よりも電気料金をわずかに削減できることも分かった. 契約電力を低めに設定して超過金を考慮することは, 電力会社の規定によると現実的ではない. しかし, 超過金を考慮しない場合と比べると年間 5 万円しか差がないため, 契約電力の設定方法には改善の余地があるかもしれない. 自家発電機器はコジェネのみ設置するという結果を得た. しかし, ガスの使用量を料金に含んでいないため, 割高になる可能性もある. ガスの使用量を含めた料金の削減が課題である.

今後, 名古屋キャンパスや他大学, 事業所などの他の施設に本研究を適用できれば, より多くの施設で節電や資金の有効活用に貢献できると考える.

参考文献

- [1] 成瀬佳一, 坂口洸太: 南山大学瀬戸キャンパスにおける電気料金の最適化, 南山大学数理情報学部情報システム数理学科卒業論文, 2009
- [2] 中部電力株式会社ホームページ  
<http://www.chuden.co.jp/>
- [3] 学校法人日本工業大学ホームページ  
<http://www.nit.ac.jp/>
- [4] ヤンマー株式会社ホームページ  
<http://www.yanmar.co.jp/>