直流配電を考慮した需要家サイドにおける FRIENDS 導入効果に関する検討

学生員 九里 晃一 (北海道大学)
正員 北 裕幸 (北海道大学)
正員 田中 英一 (北海道大学)
正員 長谷川 淳 (北海道大学)

Analysis on Effects of FRIENDS in Demand Side Considering DC Distribution System

Koichi Kuri, Student Member, Hiroyuki Kita, Member

Eiichi Tanaka, Member and Jun Hasegawa, Member (Hokkaido University)

The authors have already developed the Flexible, Reliable and Intelligent Electrical eNergy Delivery System (FRIENDS) as a future promising delivery system. The most important function in FRIENDS is to execute customized power quality services by introducing Quality Control Center (QCC) between a distribution substation and electric consumers. Further, QCC can also supply a DC power directly using DC type dispersed generators such as fuel cell system (FC system), micro gas turbine (MGT). Therefore, if there are enough demands to the DC supply, introducing QCC or FC system (MGT) may give an economical value.

This paper considers a model of a quality control center which will be installed in an underground of an office building and analyzes the values of the DC supply using the model. Further, this paper proposes a method for determining the optimal capacity of facilities to be installed in QCC corresponding to the rate of DC demand to AC demand from an economical viewpoint. Also, this paper examines the optimal capacity of facilities to be installed in QCC considering the multi-quality power supply that classifies loads in the demand side according to the qualities.

キーワード：FRIENDS, 直流配電, 燃料電池, 交直変換器, 品質別供給, マイクロガスタービン

1. まえがき

近年、直流によって作動する機器が増加してきている。例えば、インバータエアコンなどの空調機器や、電子レンジ、電磁調理器、さらにはパソコンを中心とした情報機器などがその代表的なものとして挙げられる。これらの機器は、現状では個々に整流回路を持ち、商用電源から直流を得ているが、その際に高調波や変換ロスが発生し、需要の増加に伴い今後大きな問題となることが予想される。この問題を解決するための一つの方策として、直流電源を一般家庭、集合住宅やオフィスビルなどの個々の需要家に導入し、屋内電力を直流配電によって供給する方法^[1]が考えられる。このとき、新エネルギー電源として注目されている燃料電池(Fuel Cell: FC)、太陽光発電や二次電池などの直流型の小規模分散電源を用いることとすれば^[2]、効率的な供給が可能となるだけでなく、こうした新しい分散電源の

普及促進にも大きく寄与するものと考えられる。

ところで筆者らは、将来の配電システムの一形態として「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(Flexible, Reliable and Intelligent Electrical eNergy Delivery System: FRIENDS)」という新しい電力供給システムの概念を提案し^[3]、その基礎的な検討を行ってきた。FRIENDSでは、配電用変電所と需要家との間に電力改質センター(Quality Control Center: QCC)という、主に電力品質を改善するための設備を新たに導入することを特徴としている^[4]。QCC内部には、上記のような分散電源が備えられ、需要家の多様なニーズに応じて様々な品質の電力を作り出すことができ、「直流」についても供給すべき一つの電力品質と考えている。そこで、QCCから直接、直流を供給するという直流配電が、直流負荷を持つ需要家において一般的となれば、直流形の分散電源に対して必ずしも交直変換器を設ける必要がないという経済的なメリットが生じ、QCC全体のコストを抑えることができると期待される。

本論文では、オフィスビルの地下などに設置されるであろう QCC を想定し、QCC が従来の交流供給に加え直流供給をも行う場合の効果・価値について評価を行うことを目的としている。直流配電の導入効果については、文献[5][6]などで報告があるが、それらは直流供給システムを利用することにより従来の交流供給システムと比較して年間エネルギーロスを減少させるといったロス面での評価や、完全に直流供給システムと交流供給システムとに分けた場合のコスト比較による評価である。それに対して本論文では、需要家の持つ総負荷に対する直流負荷の比率をパラメータにとり、交直ハイブリッド型の供給システムをモデルにすることで現交流配電システムとのコスト比較を行い、さらには、QCC 内の分散電源容量、変換器容量を決定する手法を提案するという特徴を持っている。

2. 直流型分散電源を考慮した直流配電導入効果の解析

＜2・1＞ 想定する交直ハイブリッド型配電モデル 本章では交直ハイブリッド型の配電システムをモデル化するため、大きなエネルギー消費があり、多くの電気機器を有するオフィスビルを想定する。このオフィスビルの持つ交流負荷、直流負荷に対して、系統からの交流電力と QCC 内の燃料電池 (Fuel Cell; FC) からの直流電力とで供給することを考える。具体的には、図 1 に示すモデルを用いて検討を行う^[10]。なお、図中のパラメータ X は、総負荷に対する直流負荷の比率を示すものであるが、より正確には、そのビルが QCC から受電する際の直流電力の比率を意味している。すなわち、ここで言う「直流負荷」とは、ビル内部の「直流で動作する負荷」そのものではなく、ビルが「QCC から受電する直流電力」のことを指している。例えば、現在はビル内部に OA 機器をはじめとして多くの直流で動作する機器が存在するが、系統からの受電はすべて交流で行っている。この場合、本論文では $X = 0.0$ と与えることとする。すなわち、 $X=0.0$ とは、現状の交流受電方式を意味することになる(第 3 章以降においても同様)。

このように、本論文は、ビル内部の直流で動作する機器と交流で動作する機器の実際の割合を考慮せずに、「どの程度の割合で受電すると QCC にとって都合がよいか」という観点で評価するものである。従って、ここでは各々の

x : 直流負荷の比率, P : 総負荷, η_1, η_2 : 変換器効率

図 1 ハイブリッド型交直配電システム

Fig.1. AC-DC Hybrid Distribution System.

機器の使用電圧についても考慮していない。

＜2・2＞ 直流配電の導入効果に関する検討

(1) 評価手法 需要家の総負荷に対する直流負荷の比率 (X) をパラメータとして与えたうえで、一日ごとにコストを算出し、それらを積算することにより、年間を通しての現交流配電システムとのコスト比較を行う。なお、総コスト F は、与えられた X に対して、FC、コンバータ等の機器の運用量、設備量を求め、次式を用いて計算する。

$$F = f(P_0) + f(P_{fc}) + f_m(\text{system}) \quad (1)$$

ここに、 $f(P_0)$: 買電コスト (電気料金 $\times$ 電力量),

$f(P_{fc})$: 燃料コスト (単価 $\times$ 出力), $f_m(\text{system})$

: システム全体の固定費, P : 系統からの電力,

P_{fc} : FC の出力, system : FC, コンバータ, 配電線, 保護装置等システム中の機器

ここで、FC の運転パターンとしては、以下の 3 通りを考慮し検討を行った。

(a) FC の DC 負荷への追従運転

(b) FC 定格一定出力運転

(c) コスト最小化

(a) は、変換器による電力ロスをできる限り削減することを目的として、直流負荷には FC からその上下制限約に抵触しない範囲で供給し、交流負荷には系統のみから供給する運用パターンである。(b) は、他の要因 (例えば、コジェネとして用いる場合には十分大きな熱需要を満たすべく一定出力で運転したり、あるいは寿命などを考慮して定格出力で運転する場合など) により、FC の出力が決まっており、その条件下でコストを最小化するように運用するものである。(c) は、系統、FC の何れから供給するにしても、とにかく総コストを最小にするように運用するものである。

なお、FC の運転パターンが与えられれば、直流負荷の比率に応じて、コンバータ容量、FC 出力、各保護装置の容量などが一意的に決まるため、(1) 式の固定費は、それらの値を用いて容易に算定することができる。

(2) 使用データ 本論文では、図 2 に示すような各期間 (夏期、冬期、中間期) の負荷^[7]を有するオフィスビルを、一つの QCC の供給規模として想定した。ビルの地下に設置されるであろう QCC の持つ配電設備として、容量 1,300[kW], 燃料単価 16.19[¥/kWh], 固定費 100,000 [¥/kW], 年経費率 0.26[耐用年数 5 年]の FC (下限値 100kW) と、入出力効率 92%(DC $\rightarrow$ AC), 93%(AC $\rightarrow$ DC), 固定費 150,000[¥/kVA], 年経費率 0.13[耐用年数 15 年]の双方向コンバータを保有しているものとする^[6]。また、配電線の固定費は AC 線 3,000[¥/m], DC 線 4,000[¥/m] とし、年経費率はともに 0.10[耐用年数 25 年]とする。保護装置の固定費は文献[6]を参考にして表 1 に示すように与えた。さらに、系統からの買電料金は 18.08[¥/kWh]としている。ここで、上記の年経費率は、金利 6%とした定額償却分率に、人件費、修繕費等の分を 2.5%とした値を加えて算定したものである。

図2 オフィスビルの負荷パターン
Fig.2. Load Patterns in an Office Building.

表1 保護装置の固定費
Table.1. Fixed Cost of Protector

機器名称	交流用	直流用
配線用遮断器		
20A	1,000	1,500
100A	30,000	50,000
400A	100,000	150,000
低圧遮断器		
100A	100,000	150,000
200A	200,000	300,000
400A	300,000	450,000
1000A	600,000	1,000,000
2000A	1,200,000	1,800,000
保護リレー		
過電流リレー	35,000	100,000
不足電圧リレー	20,000	40,000

単位：円

(3)評価結果 需要家が総負荷に対してどの程度の直流負荷を持っていれば、直流配電を導入することにより効果が得られるかを定量的に評価するため、需要家の持つ総負荷に対する直流受電の比率(X)をパラメータとして、現行の交流のみの受電の場合(X=0.0)とのコスト比較を行った。得られた結果を図3に示す。図3(a)では、「DC 負荷追従運転」とFC出力を1,300[kW]に固定した「FC 定格運転」の比較を示している。この結果から、定格運転のようなFC運転に自由度がない場合は、大幅なコスト増となることがわかる。コスト増加の主な理由としては、FC から交流負荷への融通電力が増え、変換器のロス分、固定費などが増加するためである。

図3(b)では、「DC 負荷追従運転」と「コスト最小化」の比較を示している。この結果より、比率が0～0.6の場合、すなわち総負荷に対して直流負荷が小さいときには、「コスト最小化」の方が年間総コストで0.1～0.2%(10万～30万円)削減されることがわかる。このことは、「DC 負荷追従運転」では、変換器でのロスを最小にするという目的があるため、上下制限の範囲内で、FC が直流負荷に完全に追従するように運転するのに対して、「コスト最

(a) 「DC 負荷追従型」と「FC 定格運転」の比較

(b) 「DC 負荷追従型」と「コスト最小化」の比較

図3 直流負荷の比率と年間総コスト

Fig.3. Ratio of DC Loads and Annual Total Cost.

小化」では、買電料金よりも安い燃料費のFCから交流負荷へ供給する方が、変換器でのロス分を考慮してもコストを削減できるためである。従って、FCの燃料費が高い場合には、「コスト最小化」ではFCの運用を控えめにするとなり、「DC 負荷追従運転」とのコスト差はさらに大きくなると考えられる。

また、各々の結果より、直流負荷を持つ需要家に対して直流配電を導入することはコスト削減につながると言える。特に図3(b)より、総負荷に対して直流負荷を95%まで持つ需要家であれば、年間総コストは現交流配電方式(X=0.0)よりも低くなり、メリットが現れていることがわかる。

<2・3> 最適なFC容量および変換器容量の決定

(1)最適な設備容量 前節では、FC容量を1,300[kW]と設定し、交流負荷と直流負荷の大きさをパラメータにとって年間総コスト(ランニングコスト+固定費)を算出した。本節では逆に、交流負荷と直流負荷の大きさが、既に与えられている場合に、QCC内に導入すべき最適なFC容量、コンバータ容量を決定する手法について述べる。この場合の問題は、以下のような制約付きコスト最小化問題として定式化でき、線形計画法(LP法)を用いて解を求めることができる。

目的関数

$$\min Z = \sum_{x \in \text{機器}} F_x \cdot C_x + \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^{24} (aP_U(s,t) + bP_{FC}(s,t)) \quad (2)$$

ここに、 C_x : 機器容量、 F_x : 固定費、 a : 買電料金
 b : 燃料費、 s : 季節、 t : 時間

制約条件

・需給バランス制約

$$P_{FC} + P_{FC}/\eta - xP - (1-x)P/\eta = 0 \quad (P_{FC} \geq xP \text{ の時}) \quad (3)$$

$$P_{FC} + P_{FC}/\eta - (1-x)P - xP/\eta = 0 \quad (P_{FC} < xP \text{ の時}) \quad (4)$$

ここに、 x ：直流負荷の比率、 P ：総負荷、

η ：変換器効率

・FC の制約

$$P_{FC} \leq C_{FC} \quad \text{：上限制約} \quad (5)$$

$$P_{FC} \geq \alpha C_{FC} \quad \text{：下限制約} \quad (6)$$

ここに、 αC_{FC} ：最低出力

・コンバータの制約

$$P_{FC} - xP \leq C_{CONV} \quad (P_{FC} \geq xP \text{ の時}) \quad (7)$$

$$(xP - P_{FC})/\eta \leq C_{CONV} \quad (P_{FC} < xP \text{ の時}) \quad (8)$$

最終的に求めたい解は C_{FC} 、 C_{CONV} である。これらは、年間総コストを最小にする、すなわち経済性の面から見て最適な QCC 内設備容量として決定される。この結果より、需要家が持つ交流・直流負荷が与えられたとき、QCC 内にどれだけの容量の FC および変換器を導入すれば経済的であるかということの評価でき、QCC 内部の計画・設計のための指針として用いることができる。

なお、上記の(3)(4)式は次のような意味を持っている。すなわち、与えられた直流負荷と交流負荷に対する供給方法は、図1からわかるように、以下の2通りが考えられる。

- ① FC が直流負荷以上の電力を発電し ($P_{FC} \geq xP$)、余った分を交流負荷に供給する場合
- ② FC が直流負荷以下の電力を発電し ($P_{FC} \leq xP$)、足りない分を系統電力で賄う場合

①の場合には、直流負荷にはすべて FC から供給し、交流負荷には FC と系統電力の両方によって供給することになる。この場合、FC 出力 (P_{FC}) が決まれば、FC の交流供給分 ($P_{FC} - xP$) も自ずと定まるため、交流負荷の大きさから従属的に系統からの買い電電力の値が決定される。この関係を表したものが(3)式である。一方、②の場合には、交流負荷にはすべて系統電力から供給し、直流負荷には FC と系統電力によって供給することになる。この場合、系統からの買い電電力 (P_i) が決まれば、系統電力の直流供給 ($P_i - (1-x)P$) 分も自ずと定まるため、直流電力の大きさから従属的に FC 出力の値が決定される。この関係を表したものが(4)式である。従って、いずれの場合も、(3)式 (あるいは(4)式) を満たす限りは、直流負荷、交流負荷それぞれの需給バランスが満足される。

図4は、需要家の持つ直流負荷の比率に対する最適な FC 容量、コンバータ容量を示したものである。なお、データは前節の値を用いた。需要家の持つ直流負荷が多くなると、その直流負荷に対して電力を供給する FC の導入量が比例して多くなることがわかる。この理由としては系統からの買電料金よりも FC の燃料費が安いことと、FC を導入することにより系統からの融通電力のためのコンバータの固定費と変換器ロス分が低減されることがあげられる。しか

図4 最適な設備容量

Fig.4. Optimal Capacities of every Facility.

し、FC の導入量は必ずしも直流負荷のピークと一致していない。すなわち、一部の直流負荷は系統からコンバータを介して供給されている。これは、FC およびコンバータの固定費が高いため、ここで用いた買電料金 18.08 [¥/kWh] と FC の燃料費 16.19 [¥/kWh] の差では、すべてを FC で供給するとコスト的に不利になるためである。また、FC およびコンバータの固定費が高いということは、図4からもわかるように需要家の持つ直流負荷が増えていくと、FC とコンバータの導入に伴い、年間総コストが高くなっていくことにつながる。したがって、FC の燃料費が安くなるか、あるいは FC とコンバータの固定費が安くなることで、QCC に直流配電が導入された場合に FC およびコンバータが設置されることによるコスト削減を可能にする。

(2)FCの燃料費をパラメータとした評価 (1)で考察したことを確認するため、ここでは(2)～(8)式において燃料費をパラメータにとり、燃料費がどの程度安くなれば QCC 内の FC およびコンバータ導入による経済的なメリットが得られるかについて検討した。結果を図5に示す。この結果より、燃料費が 11.59 [¥/kWh] までは図4でも示された通り、現在の交流配電方式 ($X = 0.0$) の年間総コストが最も安く、FC を導入して直流配電を行う ($X \neq 0.0$) メリットはないことになる。すなわち、いかなる需要家にも FC 導入のメリットはないことを示している。これに対して、FC の燃料費が 11.59 [¥/kWh] よりも安い場合には、FC を導入して部分的に直流配電を行うことで、現行の交流配電

図5 FC 燃料費をパラメータとした結果

Fig.5. Annual Total Cost versus Fuel Cost of FC

方式よりも年間総コストが安くなることがわかる。すなわち、直流で動作する負荷には、FC を導入して直流で供給する方式に切り替えることで、メリットが現れることになる。従って、この点を境にして、FC を導入した直流配電のメリットが現れることとなり、直流配電を可能とする FC 燃料費のブレイクイーブンポイント(BEP)と言える。

将来的に FRIENDS が導入される際に、経済的な効果を引き出すため FC の燃料費を BEP まで下げるには、FC の燃料となる LNG 単価が安くなるか、FC の効率が増加することが必要であり、今後の研究開発に期待したい。

(3)QCC内設備の固定費をパラメータにとった評価 ここでは(2)～(8)式において FC とコンバータの固定費をパラメータにとり、固定費がどの程度まで安くなれば QCC 内の FC およびコンバータ導入による経済的なメリットが得られるかについて検討した。コンバータの固定費を初期値 150,000[¥/kVA]に設定し、FC の固定費をパラメータにとった結果を図 6 に示す。この結果より、FC の固定費が 24,000[¥/kW] (現状の 24%) までは、前述のごとく、現在の交流配電方式($X = 0.0$)の年間総コストが最も安く、FC を導入して直流配電を行う($X \neq 0.0$)メリットはないことになる。一方、固定費が 24,000[¥/kW]よりも安くなると、FC を導入した直流配電のメリットが現れることとなり、(2)と同様に、この値は直流配電を可能とする FC 固定費の BEP と言える。

次に、コンバータの固定費をパラメータにとり試算した

図 6 FC 固定費をパラメータとした結果

Fig.6. Annual Total Cost versus Fixed Cost of FC.

図 7 QCC 内設備の固定費をパラメータとした結果

Fig.7. Merits versus Fixed Costs of FC and Converter.

結果を図 7 に示す。ここで、図中の斜線部分まで固定費を抑えることができれば、交流配電システムに比べ経済的なメリットが得られることを示している。また、同図より FC 固定費を 34,000[¥/kVA]から 24,000[¥/kVA]まで下げるとは、コンバータ固定費の上昇を約 15 万円まで許容することを可能とする。このことから、年間総コストが高くなる原因は FC の固定費が高いことに重みがあることがわかり、直流配電の FC に依存する部分が大いであることを示している。

将来的に FRIENDS が導入される際に経済的な効果を引き出すためには、直流配電に影響の強い FC の固定費を BEP まで下げるか、FC の年経費率を下げるために耐用年数を増すような研究開発が必要になるであろう。

3. 品質別供給を考慮した直流配電導入の効果

<3.1> 解析モデルおよび定式化 品質別供給を行うモデルとして、前章まで単一品質として扱ってきた交流・直流負荷をそれぞれ品質別に分けて、多品質電力供給を考慮した最適な QCC 内の設備容量の決定手法について検討する。なお、ここでの「品質」としては、特に供給信頼度を考えている。従って、何らかの理由で系統からの供給が停止しても($P_i=0$)、QCC は少なくとも高品質負荷に電力供給できなければならず、そのための分散電源を一定程度保有していることが必要となる。また、QCC 内に導入される分散電源としては、FC とマイクロガスタービン(Micro Gas Turbine: MGT)の 2 種類を考慮する。このモデルに対して、交流負荷と直流負荷の大きさがそれぞれ与えられている場合に、QCC 内に導入すべき最適な分散電源容量(C_{DG})、コンバータ容量(C_{CONV})は、前章の(2)～(8)式の制約付きコスト最小化問題に、さらに以下のような分散電源の制約(9)式と、コンバータの制約(10)式を加えて計算することができる。

$$C_{DG} \geq \max(P_{ACH} + P_{DCH}) \quad (9)$$

$$C_{CONV} \geq C_{DG} - \max P_{DCH} \quad (10)$$

ここに、 P_{ACH} : 高品質交流負荷、 P_{DCH} : 高品質直流負荷

なお、(9)、(10)式は高品質負荷への電力供給を行うための制約であり、ここでは事故時における他 QCC からの電力融通は考慮していない。すなわち、分散電源の容量は高品質負荷以上必要となる。ところで、MGT の場合は、定格回転数が 100,000rpm 前後と非常に高速であるため、系統に連系する際には通常直流に変換してから、インバータで再び商用周波数に変換する必要がある。従って、直流配電を行う場合には、その直流部を直接利用することになる^[4]。

データとしては、FC システムについては<2.2>節の値を用い、MGT システムについては燃料単価 13.88[¥/kWh]、固定費 70,000[¥/kVA]、年経費率 0.211 の MGT と、入出力効率 93%(AC → DC)、固定費 60,000[¥/kVA]、年経費率

0.13[耐用年数 15 年]のコンバータを保有するものとする。ここで、MGT については系統連系のインバータを最初から含んだコストデータを与えている。そのため、交流負荷へ電力供給するための変換器を新たに設置する必要がなく、(7)、(10)式の制約は不要となる。

＜3・2＞ 試算結果 比較的高品質負荷の多い負荷地域として、前節のオフィスビルの負荷パターンを用いて試算を行った。なお、高品質負荷と標準品質負荷の割合を 7:3 と仮定した。得られた結果を図 8 に示す。この図は分散電源として FC、MGT をそれぞれ考慮した場合に対して、需要家の持つ総負荷に対する直流負荷の比率をパラメータとして、最適な分散電源容量、変換器容量を示したものである。FC、MGT のいずれの場合も、直流負荷の比率が 0.7 ～ 0.8 で年間総コストが最小になっており、分散電源を非常時の高品質電力供給源として導入することにより、交流のみの品質別供給(すなわち総負荷に対する直流負荷の比率が 0.0 の点)よりもメリットがあることがわかる。比率が 0.7 ～ 0.8 以下では、分散電源が交流・直流それぞれの高品質負荷を補償する分だけ導入されており、直流負荷が増えていくと、変換器による損失電力量が減少し、年間総コストも減少する。一方、比率が 0.7 ～ 0.8 以上では、分散電源が直流・交流の高品質負荷のみならず標準品質の直流負荷をも供給した方が経済的なことから、導入量は直流負荷に従って増加する。ただし、分散電源の導入量は必ずしも直流負荷のピークと一致していない。これは、一部系統から変換器を通して直流負荷に供給した方がコスト的に有利になる場合があるため、分散電源の導入量が抑えられるからである。それにより、コンバータ容量は増加することになる。また、FC、MGT 両方を比較すると、分散電源が MGT の場合、FC よりも導入コストが安いいため、大きくコスト削減されていることがわかる。

図 9 は、同様にオフィスビルの負荷パターンを用いて、QCC 内に分散電源がない場合の年間総コストと、QCC 内の分散電源を FC、MGT にした場合の品質別供給の有無による年間総コストの比較を示したものである。この結果より、QCC 内の分散電源として FC を導入した場合、現状のコストデータのままで直流配電を行うと、現行の交流配電システムと比べてコストメリットが得られないことがわか

図 8. 設備容量と年間総コスト

Fig.8. Capacities of Facilities and Annual Total Cost.

図 9. 年間総コストの比較(オフィスビル)

Fig.9. Annual Total Costs (Office Building).

図 10. 年間総コストの比較(住宅地域)

Fig.10. Annual Total Costs (Residential Region).

る。また、品質別供給を行う場合には、直流配電導入によってコスト削減がなされているが、単一品質供給に比べて、コストが大幅に増加してしまう。しかし、同様に分散電源として MGT を考慮した場合は、直流配電を考慮することで年間総コストは削減され、品質別供給を行う場合にもコストが低く抑えられることから FC に比べて導入されやすいことがわかる。

一方、標準品質負荷の方が多い住宅地域の負荷パターン¹⁾を用いて高品質負荷:標準品質負荷の割合を 3:7 と仮定して、同様に試算した。得られた結果を図 10 に示す。この結果より、品質別供給を考慮した場合には、オフィスビルモデルほどコストメリットが現れていないが、同様に FC および MGT の両ケースにおいて、ある直流負荷の比率(およそ $X=0.5$)においてコストが最小となっていることがわかる。また、住宅地域では高品質負荷が少ないため、直流負荷が多くなると分散電源の導入により交流配電システムの品質別供給よりも年間総コストが高くなり、導入されにくくなる部分が出てくる。

以上のことから、現在のシステムとコスト比較により QCC 内に導入すべき最適な分散電源容量を決定することが重要であることがわかる。

4. まとめ

本論文では、将来的に配電システムに導入されるであ

う FRIENDS の一機能としての直流配電について、需要家側負荷のパラメータ解析による検討を行った。また、交流負荷と直流負荷の大きさが既に与えられている場合の最適な分散電源容量や変換器容量を決定する手法を開発し、モデルシステムによる試算を行った。これらの結果から、直流配電を導入することにより、年間の総コストを抑えることが可能であることが確認でき、需要家の持つ直流負荷の大きさに対して導入すべき QCC 内設備の各容量も決定できることが確かめられた。また、直流配電の導入にあたり、FC およびコンバータの価格を将来的にどれだけ抑えることができれば、交流配電システムに比べて、経済的なメリットが得られるかということを定量的に評価した。さらに、需要家の持つ交流・直流負荷をそれぞれ品質別に分けて、多品質電力供給を考慮した直流配電についても、需要家負荷のパラメータ解析により検討を行った。ここで、QCC 内に導入される分散電源としては、FC とマイクロガスタービンの2種類を考慮し比較検討した。分散電源として導入コストの安いマイクロガスタービンを導入した上で、直流配電を導入することにより、年間の総コストを抑えることが可能であることが確認された。

今後は、品質別供給まで考える際に、直流配電を導入することで減少が期待される停電コストを取り込むことで、トータル的に見た社会コストを算定し、評価することが課題となるであろう。また、これからますます需要家側に分散電源が導入された場合、需要家側の分散電源からの逆流などが存在することを念頭にいれ、システムを構築していく必要があろう。

最後に、本研究は文部省科学研究費基盤研究(B)(一般研究)(展開研究)、同国際学術研究(共同研究)の研究助成を受けていることを付記する。

(平成 12 年 2 月 28 日受付, 平成 12 年 6 月 8 日再受付)

文 献

- [1] 岡村:「直流集配電システムの予備検討」, 電力中央研究所報告, T92058(1993)
- [2] 「特集:分散型電源 Q&A」, OHM '93/11, pp.25-63
- [3] 奈良, 長谷川:「新しい柔軟な電気エネルギー流通システム」, 電学論 B, vol.117, No.1, pp.47-53(1997)
- [4] 三島, 北, 長谷川:「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (FRIENDS)における電力改質センターの内部構成の一提案」, 電学論 B, Vol.118, No.11, pp.1292-1301(1998)
- [5] T. Ishikawa, B. Kamimura: " Possibility of DC Power Supply in Commercial Buildings ", proc. of Japan-US Seminar on Intelligent Distributed Autonomous Power Systems (IDAPS) (1998)
- [6] 「電気用品等の直流電力供給による使用の可能性調査」, NEDO-P-8422(1985)
- [7] 尾島研究室:「建築の光熱水原単位 [東京版]」, 早稲田大学出版部(1995)

[8] 「特設記事:マイクロガスタービン」, OHM '99/4, pp.55-61

九里 晃一

(正員)1974 年 5 月 10 日生。2000 年 3 月北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻修士課程修了。同年 4 月中部電力(株)入社。現在、緑営業所に勤務。在学中、主として FRIENDS の経済性評価に関する研究に従事。

北 裕 幸

(正員)1963 年 5 月 7 日生。88 年 3 月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。89 年 4 月同大学工学部電気工学科助手, 95 年 4 月同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻助教授となり、現在に至る。博士(工学)。平成 9 年度論文賞受賞。主として、電力システムの計画・運用・制御に関する研究に従事。日本 OR 学会, 電気設備学会会員。

田中 英一

(正員)1952 年 8 月 12 日生。77 年 3 月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月同大学工学部電気工学科助手, 95 年 4 月改組により、同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり、現在に至る。主として、電力システムの解析・制御に関する研究に従事。日本 OR 学会, 電気設備学会, 計測自動制御学会会員。

長谷川 淳

(正員)1943 年 12 月 13 日生。71 年 3 月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 4 月同大学工学部電気工学科講師, 同助教授を経て, 85 年 4 月同教授。95 年 4 月改組により、同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり、現在に至る。工学博士。平成 9 年度論文賞受賞。平成 6 年度 B 部門長, 同 9 年度副会長(調査担当)。主として、電力システムの計画・運用・解析・制御および電気エネルギー工学全般に関する研究に従事。IEEE, 照明学会, エネルギー・資源学会, 低温工学協会, 日本 OR 学会, 電気設備学会, 等, 会員。

電力・エネルギー部門大会座長のコメントと回答

—A 25 新型電力供給システム—

質 疑

座長 伊庭 健二

同セッションでの対象論文への質疑応答

- (1) 直流配電については供給電圧は固定するのか。負荷の機器によって定格電圧は異なるが…。
- (2) FC を考える場合、熱供給によるコスト回収は考慮しているのか？
- (3) オフィスビルと一般住宅モデルでは、年間総コスト比較の結果に差があるが、モデルの差異として何のファクタが大きいのか？

応 答

九里 晃一・北 裕幸
田中 英一・長谷川 淳 (北海道大)

「同セッションでの質疑応答」に対する追加説明

- (1) 本論文のモデル化においては、ビル内部の実際の

負荷機器までは考慮しておらず、ビルが QCC から受電する際の直流電力をパラメータとして与え、QCC の経済性評価を行っている。したがって、ここでは実際に使用する際の種々の電圧レベルについては考慮していない。

(2) 本論文では、分散電源による「直流配電」の効果の評価することを目的としており、分散電源の「熱供給」の効果についてはあえて考慮していない。なお、熱供給によるコスト回収を考えれば、分散電源に有利に働き、導入の可能性は更に大きくなるものと予想される。

(3) 分散電源は高品質負荷へ電力供給するための設備としてモデル化されている。したがって、多品質電力供給が一般的となっているような状況下においては、現状の交流受電方式（直流比率=0.0）であっても、高品質負荷に供給するための分散電源が導入されていることになる。ここで、需要家が直流受電をも行う場合には、多品質電力供給のために導入されている分散電源を、直流供給にも用いることができるため、直流受電の比率が増加するにつれ、年間総コストは減少していくことになる。特に、オフィスビルの場合、総負荷に対する高品質電力の割合が一般住宅に比べ大きいため、分散電源の導入割合もより大きいと考えられる。したがって、オフィスビルでは、直流受電の比率がより大きなケースで、導入メリットが最大（年間コストが最小）となる傾向があるといえる。