

燃料電池を使用した 無線基地局用災害対策バックアップ電源システム

東日本大震災を契機として、長時間バックアップ電源を備えた通信設備の要求が高まってきている。現状のバックアップ電源としては、鉛蓄電池が利用されているが、長時間バックアップできる蓄電池容量を搭載するとなると、膨大な体積および重量となり、設置が困難な場合もある。そこで、発電が可能な燃料電池と、リチウムイオン電池などの蓄電池をバックアップ電源とする災害対策用バックアップ電源システムを構築し、停電時の動作や最適運用方法などを検証したため、その試験結果を報告する。

先進技術研究所
まつおか ほうせい やまうち たかふみ
松岡 保静 山内 隆史
ふるたに たかし たけの かずひこ
古谷 崇 竹野 和彦

1. まえがき

東日本大震災の影響で、災害時にも電力が途絶えない通信インフラの要求が高まっており、ドコモでは災害に強く環境にも優しいグリーン基地局[1]～[4]の開発を進めている。特に災害時に停電した際にも長時間サービスを継続できるような長時間バックアップ電源を備えた通信設備が必要となってきている。現状のバックアップ電源としては、鉛蓄電池が利用されているが、長時間（24時間程度）バックアップできる蓄電池容量を搭載するとなると、膨大な体積および重量となり、設置が困難な場合もある。そこで、エネルギー密度の高い燃料電池*1をバックアップ電源とする無線基地局用電源システムを構築した。本稿では、この燃料電池と蓄電池を組み合わせたバ

ックアップ電源の最適な制御・運用方法を提案し、その検証結果および考察について解説する。

2. 燃料電池システムの概要

まず、バックアップ電源として適した燃料電池システムの概要と、この燃料電池システムを用いて通信設備を模擬した試験環境について解説する。

この燃料電池は、メタノール水を燃料とした固体高分子型燃料電池（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）*2であり、メタノール水を改質器*3で水素に改質して、発電を行う。表1にこの燃料電池の仕様を示す。

試験環境は、図1に示すとおり、整流器*4、蓄電池、直流電子負荷装置、燃料電池2台で構成されている。また、整流器は、50A ユニッ

表1 燃料電池の仕様

	仕様値
出力電力	4.5kW
出力電圧	- 48V DC (46 ~ 56V DC)
出力電流	104A (最大 125A)
使用燃料	専用メタノール (225 タンク内蔵)
温度条件	- 5 ~ 46
寸法	130 × 110 × 177cm
重量	488kg (燃料 193kg 含む)

©2013 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 燃料電池：水素と酸素の化学反応によって電気を取り出す装置。
*2 PEFC：イオン交換膜を挟んで、正極に酸化剤を、負極に還元剤（燃料）を供給することにより発電する方式の燃料電池。
*3 改質器：メタノールから水素を取り出す化

学反応装置。
*4 整流器：交流電力を直流電力に変換する装置。

トを 3 並列，蓄電池には，12V 用鉛蓄電池を 4 個直列にして利用し，負荷装置は，直流電子負荷装置（1～5kW）を利用して構築した．整流器の入力は三相 200V^{*5}の交流であり，出力は 53.5V の直流である．また，図 2 に燃料電池装置の外観を示す．

3. 起動・停止の動作検証

前述の試験環境において，燃料電池の起動・停止における電気的特性を検証したため，その結果を報告する．燃料電池のパラメータは下記のとおりに設定した．

- ・燃料電池起動電圧：51V
- ・燃料電池出力電圧：52V

これは，負荷への供給電圧が 51V を下回ると燃料電池が起動し，燃料電池から 52V の電圧を供給することになる．

図 3 に負荷 1kW 時の停電・復電の電圧変動を示す．負荷 1kW の場合，停電後，蓄電池電圧は内部抵抗の電圧降下により 48V 程度まで低下する．燃料電池は停電による電圧降下を検出し，停電後約 1 分後に起動開始する．この時点で蓄電池の電圧降下は軽減され，燃料電池が徐々に出力を上げて，電圧が上昇していく．電圧が燃料電池出力の 52V 付近になると，燃料電池が安定動作を始める．その後，復電すると，電圧は整流器電圧の 53.5V に戻り，燃料電池は停止し，次の停電に向けたスタンバイ状態になる．

4. 出力電圧の最適化

停電から復電し，整流器から電力が出力されると，整流器のほうで電圧が高いため，燃料電池からの出力が下がり，本実験装置で使用した燃料電池は，300W 以下になると発電

を停止する．燃料電池の出力が 300W 以下になるための条件を下記に示す．整流器の出力電圧から，負荷への出力電流による電圧降下（電圧降下 A）と，燃料電池が 300W を出力するときの電圧降下（電圧降下 B）を比較し，電圧降下分を考慮

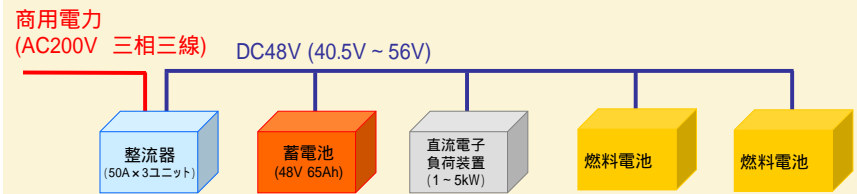


図 1 試験環境のシステム構成



図 2 燃料電池の外観

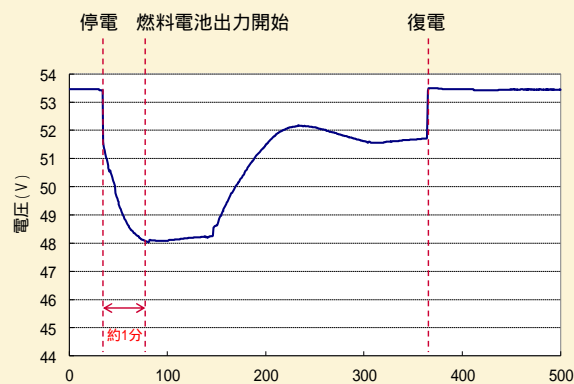


図 3 負荷 1kW 時における停電・復電の電圧変動

*5 三相 200V：動力用の交流電源であり，120 度ずつ位相が異なる 3 つの交流 200V の電源．

した上での整流器側の電圧が高いことが条件となる。図4にこの条件を示す電力系統図を示す。

- ・燃料電池の停止条件：
整流器出力電圧 - 電圧降下 A
> 燃料電池出力電圧 - 電圧降下 B

この条件を満たす燃料電池出力電圧であれば、燃料電池は復電時に停止する。しかし実際には、この条件を満たす出力電圧の最大値（出力電圧限界値）よりも 0.7V 程度低いほうが、復電時に燃料電池が停止する

時間が短くなり、余分な燃料消費量を削減できる。表2に出力電圧限界値と出力電圧の差分電圧と停止時間の関係を示す。出力電圧限界値と出力電圧の差が大きいほど停止時間が短くなる。電圧差が 0.7V 以上大きければ、停止時間はほぼ 100 秒程度であり、復電時の停止時間を短縮できる。しかし、全体の電圧変動幅を小さくするためにも、燃料電池出力電圧はなるべく整流器電圧と近いほうがよい。そのため、この出力電圧限界値よりも 0.7V 低い電圧値を燃料電池の出力電圧の推奨値とする。

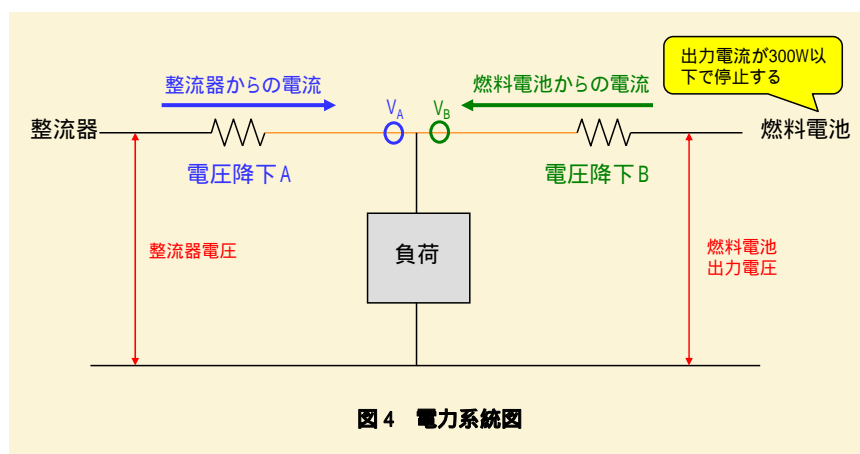


図4 電力系統図

表2 燃料電池の出力電圧限界値との電圧差と停止時間の関係

出力電圧限界値との電圧差	復電からの停止時間
0.1V	514 秒
0.2V	290 秒
0.3V	262 秒
0.4V	221 秒
0.5V	206 秒
0.6V	196 秒
0.7V	101 秒
0.8V	98 秒
0.9V	97 秒
1.0V	92 秒

5. 蓄電池の容量選定（内部抵抗）

燃料電池は停電時に自動的に起動するが、実際に負荷に電力を供給できるようになるまで、1~2 分程度の時間を要する。起動時間中は、鉛蓄電池やリチウムイオン蓄電池などの補助的なバックアップ電源が必要となる。そこでこの補助的なバックアップ電源としての蓄電池容量がどれくらい必要かを選定するための手法について記述する。

整流器に接続される蓄電池は、過放電を防止するために電池電圧が 41V 以下になると遮断されるように整流器にスイッチが備わっている。放電中の蓄電池の放電電圧は、蓄電池の内部抵抗により、放電電流による電圧降下が含まれる。蓄電池の内部抵抗による電圧降下は、放電電流にほぼ比例して高くなる。図5は、12V 用鉛蓄電池を 4 個直列にした場合の放電電流と電圧降下の関係を示す。放電電流 80A で、約 3.5V 程度の電圧降下が生じている。この鉛蓄電池は 65Ah であるため、放電電流 80A は、約 1.2C 放電となる。したがって、1C 放電*6 で約 3.0V の電圧降下が生じる。燃料電池を設置することで停電時のバックアップ蓄電池の容量を小さくできるが、小さい容量の蓄電池を使用すると同じ放電電流でも放電レートが高くなり、電圧降下が大きくなるため、最大使用電流における電池の内部抵抗の電圧降下によって、電圧が 41V 以下にならないように蓄電池の容量を選

*6 1C 放電：蓄電池が満充電状態から 1 時間ですべて放電する場合の放電率を 1C という。2 時間ですべて放電する場合は 0.5C となり、30 分ですべて放電する場合は 2C となる。

定する必要がある。

6. 並列運転時の出力電圧調整

複数の燃料電池を並列に接続し、並列運転する場合、基本的には各燃料電池装置の燃料消費が均等になることが望ましい。燃料消費がアンバランスになると、1つの装置の燃料が切れた時点で供給電力が足りなくなる。しかしながら、各燃料電池の出力電圧を同じにしたとしても、配線の長さ（配線抵抗）の違いによって、燃料の消費量がアンバランスになる。図6を用いて説明する。燃料

電池と燃料電池が並列に接続される場合、分岐点からの配線抵抗 R_1 と配線抵抗 R_2 が異なると、抵抗の小さい方から電力が多く消費され、燃料消費のアンバランスが生じる。本稿で記載した試験環境の場合、 R_1 が約0.005、 R_2 が約0.008であり、この場合の燃料消費量（燃料電池1：燃料電池2）が約8：5になった。この燃料消費量のアンバランスを均等にするためには、各燃料電池の出力電圧を微調整する必要がある。以下に、2台並列運転時に燃料消費を均等にさせる計算式を示す。なお、 I は使用電流値であり、 V は

並列燃料電池の分岐点における電圧値である。

$$V = E_1 - \frac{I}{2} R_1$$

$$R_1 E_1 - R_2 E_2 = (R_1 - R_2) V$$

この式を満たす出力電圧 E_1 、 E_2 を算出し、各装置に設定すれば、燃料消費量がほぼ均等になる。本稿での試験環境の場合、 E_1 を51.00Vとすると、 E_2 は、51.12Vとなる。

複数台（ N 台）並列に接続する場合の計算式を下記に示す。1台目の出力電圧 E_1 を基準に i 台目の出力電圧を算出する。

$$V = E_1 - \frac{I}{N} R_1$$

$$R_1 E_1 - R_i E_i = (R_1 - R_i) V$$

この式を満たす各燃料電池の出力電圧 E_i を算出して設定すれば、燃料消費量はほぼ均等になる。

7. 最適なバックアップ電源システムの設定

本稿では、バックアップ電源として、蓄電池と燃料電池を組み合わせた電源システムについて検証し、各装置および設定値を最適に設定するための指針として、停止条件の電圧、蓄電池の容量、並列運転時の電圧調整などについて考察を述べた。実際に燃料電池を運用する際には、これらをすべて考慮して電源設備の設計

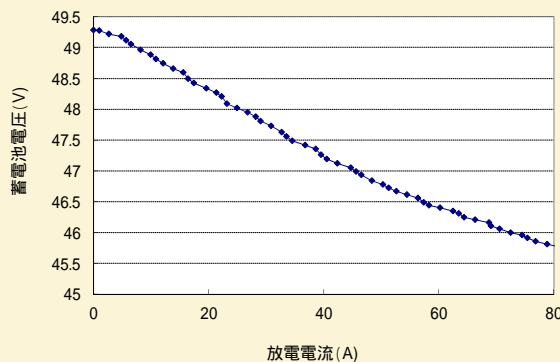


図5 放電電流と電圧降下の関係（12V用鉛蓄電池を4個直列にした場合）

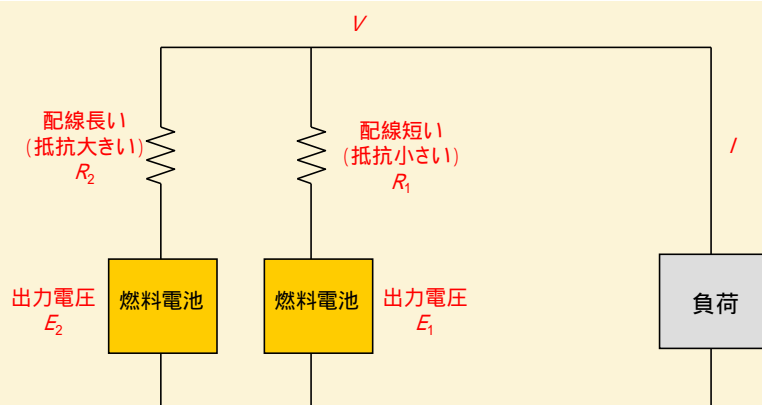


図6 配線抵抗の違いと電力の関係

および燃料電池の設定をする必要がある。

表 3 には、既存局に単一の燃料電池を設置する際に、参考となる推奨設定パラメータを示す。整流器電圧は、蓄電池が長寿命据置シール鉛蓄電池の 23 個組、24 個組、12V 用小型制御弁式鉛蓄電池 4 個組で電圧が変わるため、蓄電池の種類によって燃料電池の設定値も変わる。まず、燃料電池の停止条件を考慮し、電圧降下分も余裕をもって考慮しておく、燃料電池の出力電圧は整流器電圧よりも 1~1.5V 程度低い値が設定値として好ましい。燃料電池の起動電圧は、発電スタック*7¹ と発電スタック 2 で別々に設定できる。スタック 1 だけで負荷への供給電力が足りない場合は、スタック 2 も起動する。起動電圧は整流器電圧よりも 1~2V 程度低ければ問題ないが、表 3 に参考値を掲載する。

また、整流器には蓄電池劣化判定機能があり、この機能を使う場合、定期的に整流器電圧を下げて、蓄電池が劣化していないかを自動的に判定する。この機能を使う場合、整流器電圧を下げた時点で燃料電池が起動してしまうため、燃料電池の起動

表 3 燃料電池の参考パラメータ

	長寿命据置シール鉛蓄電池 23 個組	長寿命据置シール鉛蓄電池 24 個組	12V 用小型制御弁式鉛蓄電池 4 個組
整流器電圧	51.3V	53.5V	54.6V
燃料電池出力電圧	50.0V	52.0V	53.0V
燃料電池起動電圧	49.0V	51.0V	52.0V
燃料電池起動電圧	48.0V	50.0V	51.0V

電圧を蓄電池劣化判定時の整流器電圧よりも低く設定しておき、燃料電池の起動は、整流器の停電信号で起動させるようにすることが望ましい。これは、整流器の停電信号の接点と燃料電池のリモートスタートスイッチの接点を接続しておくことで可能になる。

8. あとがき

本稿では、無線基地局用のバックアップ燃料電池システムを構築するうえで、システム設計や運用に必要な最適な動作条件および設計指針を示した。

この燃料電池は、従来の鉛蓄電池と比べて、同じバックアップ時間で体積が約 1/2、重量が約 1/14 であり、今後の無線基地局の長時間バックアップ電源として有望であると考えられる。将来的には小型のリチ

ウムイオン電池と組み合わせ、さらなる小型化、省スペース化を考えている。

文 献

- [1] 松岡 保静, 関 禎徳, 竹野 和彦: “グリーン基地局を想定した直流統合制御の一考察,” 信学技報, Vol.111, No.223, EE2011-20, pp.11-15, Sep. 2011.
- [2] 松岡 保静, 山内 隆史, 古谷 崇, 竹野 和彦: “グリーン基地局の電力連系を想定した電力制御手法の一考察,” 信学会全国大会, B-9-1, 2012.
- [3] 竹野 和彦, 関 禎徳, 松岡 保静: “グリーン基地局用リチウムイオン電池を想定した放熱効果による熱暴走防止法,” 信学会全国大会, B-9-9, Mar. 2012.
- [4] 小宮, ほか: “環境に優しく災害に強いグリーン基地局用試験システムの開発,” 本誌, Vol.21, No.1, pp.34-39, Apr. 2013.

*7 発電スタック: 燃料電池が発電を行う部分であり、燃料極に水素、空気極に酸素が供給される仕組みで電気化学的反應で発電を行う。