

# 直流電気鉄道用地上設置型蓄電装置のファジィフィードフォワード充放電制御

～饋電特性シミュレーションプログラムへの組み込み～

Fuzzy Feed-Forward Charge/Discharge Control of Trackside Energy Storage System for DC Electric Railways

~Implementation of the simulation model~

多賀 大悟 (電気システム工学科)

Hironori TAGA

交通・電力・環境システム研究室 指導教員 高木 亮 准教授

## 1. はじめに

我々の研究グループでは、直流饋電システム向け地上設置型蓄電装置(Energy Storage System : ESS)のための「賢い」充放電制御の1つとして充電度(State of Charge : SOC)カーブに基づく充放電制御(フィードフォワード制御)<sup>(1)</sup>を提案した。しかし、文献(1)で提案されたスキームではSOCカーブデータの保守が困難なうえ、複数列車・複数変電所が存在する直流饋電回路においては制御の精度も不十分であるという課題が挙げられる。そこで、我々はファジィ制御の考え方を導入することでこの問題の改善を図る研究を進めている<sup>(2)</sup>。本研究では、提案されたファジィフィードフォワード充放電制御の饋電特性シミュレーションプログラムへの導入について検討を行う。

## 2. フィードフォワード充放電制御

鉄道線路上を走行する列車は事前に走行路や走行パターンなどが明らかなることから、ESSの充電度や充放電電力は列車の位置により望ましい値がおおむね定まると考えられる。この考えのもと、列車の位置に対してESSの充電度や充放電電力を予めデータとして与えておき、それに基づき充放電制御を行う「フィードフォワード充放電制御<sup>(1)</sup>」を、我々の研究グループでは提案している。

この手法では、列車の種別数と路線上のESS設置箇所数の積で決まる数のパターンごとに数多くのフィードフォワードデータを作成・保守せねばならないという課題が挙げられている。

## 3. ファジィフィードフォワード充放電制御

### <3.1>理論の提案

フィードフォワード充放電制御をファジィ化する方法として、SOCカーブ関数  $SOC^*(x)$  および充放電パワー関数  $P_{CD}(x)$  の値をファジィ化することを提案している。<sup>(3)</sup>

非ファジィフィードフォワード充放電制御においては、これらの関数は定義域・値域とも実数(またはその部分集合)であるが、ファジィフィードフォワード充放電制御においてはこれらの値域のみがファジィな変数群となるものとしてみる。それらの集合を、例えば:

$$P_{CDi}(x) \in P \equiv \{..., P_{N2}, P_{N1}, P_{ZR}, P_{P1}, P_{P2}, \dots\} \dots\dots(2)$$

$$SOC_{i}^*(x) \in S \equiv \{..., S_{N2}, S_{N1}, S_{ZR}, S_{P1}, S_{P2}, \dots\} \dots(3)$$

とする。ここで、充放電電力について、 $P_{ZR}$ はゼロ、 $P_{Nm}$ は充電電力、 $P_{Pn}$ は放電電力を表し、 $P_{Pm}, P_{Nm}$ とも整数  $n$  が大きいほど電力の絶対値が大きいことを表すものとする。SOC値についても同様に、 $S_{ZR}$ は50%などの「中くらいの値」を表し、 $S_{Nm}$ は $S_{ZR}$ より低めの値、 $S_{Pn}$ は $S_{ZR}$ より高めの値をそれぞれ表し、 $S_{Pm}, S_{Nm}$ とも整数  $n$  が大きいほど $S_{ZR}$ からの乖離が大きいことを表すものとする。このような値域を持つファジィなSOCカーブ関数  $SOC_i^*(x)$  および充放電パワー関数  $P_{CDi}(x)$  を、フィードフォワードデータとして事前に与える。

### <3.2>饋電特性シミュレーションプログラムへの導入

本研究では、当研究室で開発・維持されている饋電特性シミュレータ RTSS<sup>(4)</sup>にファジィフィードフォワード充放電制

御をシミュレートできるプログラムを導入する。

まず、RTSS内に存在するESSの特性データが保存されているデータファイルにESSの充放電電力とSOC値をファジィ化したファジィな変数を定義する。これはXML形式で記載されている。データの入力例を図1に示す。

```
<fuzzy_power_data_set name="0">
  <fuzzy zero_down="0.000" one_down="0.300" one_up="0.500" zero_up="0.700" value="1P7">
  <fuzzy zero_down="0.300" one_down="0.000" one_up="0.000" zero_up="0.200" value="ZR7">
  <fuzzy zero_down="0.500" one_down="0.300" one_up="0.100" zero_up="0.000" value="1N7">
</fuzzy_power_data_set>
<fuzzy_SOC_data_set name="0">
  <fuzzy zero_down="52.00" one_down="54.00" one_up="56.00" zero_up="57.00" value="1P7">
  <fuzzy zero_down="47.00" one_down="48.00" one_up="52.00" zero_up="53.00" value="ZR7">
  <fuzzy zero_down="44.00" one_down="46.00" one_up="47.50" zero_up="49.00" value="1N7">
</fuzzy_SOC_data_set>
```

図1 ファジィな変数の定義の入力例

また、列車の各駅間においての走行時分を決定しているデータファイルに、路線上に存在する当該列車の位置に対して図1で定義されたファジィデータを対応させていく。図2にpowerデータの入力例を示す。SOC値のデータに関しても入力の方法は同様である。

```
<rtss_input_data>
  <create class="soc_feedforward_data">
    <data class="fuzzy_power" name="A">
      <fuzzy zero_down="0.000" one_down="0.300" one_up="0.500" zero_up="0.700" value="1P7">
      <fuzzy zero_down="0.300" one_down="0.000" one_up="0.000" zero_up="0.200" value="ZR7">
      <fuzzy zero_down="0.500" one_down="0.300" one_up="0.100" zero_up="0.000" value="1N7">
    </create>
  </rtss_input_data>
```

図2 ファジィデータの関数の入力例

以上より、文献(3)で提案されたファジィフィードフォワード充放電制御の理論を饋電特性シミュレータ RTSSに導入することができた。

## 4. おわりに

本研究では、一昨年提案されたSOCカーブに基づくフィードフォワード充放電制御のファジィ化した手法を饋電特性シミュレータ RTSSへ導入できた。

この手法を用いて、ESSを実路線に導入し定量的評価を行う必要がある。

## 文献

(1) 寺島光哉：「直流電気鉄道用地上設置型エネルギー蓄積装置のフィードフォワード制御の検討～制御系の設計と饋電特性シミュレーションプログラムへの組み込み～」工学院大学卒業論文(2012)

(2) 大槻紘平：「直流電気鉄道用地上設置型エネルギー蓄積装置のファジィ制御の検討～フィードフォワード制御～」工学院大学卒業論文(2013)

(3) 菊地拓哉：「直流電気鉄道用地上設置型蓄電装置のファジィフィードフォワード制御の検討～理論の提案～」工学院大学卒業論文(2014)

(4) 高木亮：「直流饋電系と列車群制御の統合インテリジェント化」, 東京大学学位論文(1995)