

# 車載充電器をスマートチャージングに活用した場合の 応答時間計測と周波数安定効果の評価

学生証番号 47186077 氏名 田中 大幹  
(指導教員 根本 孝七 教授)

Key Words : EV, SAEJ1772, Smart Charging, AGC30

## 1. はじめに

近年、電力系統への再生可能エネルギーの導入が増加している。脱炭素化という観点からみると好ましいが、一方で需給バランスが乱れ、電力系統の周波数維持が困難になるという課題もある。

日本においても調整力を取引する需給調整市場が検討され、電気自動車(EV)等の需要家側の機器の利活用も期待されている。欧州ではすでに周波数調整市場が確立している。一般に応答時間が短いほど市場において高値で取引される傾向にある。特に英国のEnhanced Frequency Response: EFRでは極めて短い応答時間(1s以下)が求められ、現状では定置型蓄電池のみがこれに参加している。

これに加えてEVの充電電力を制御することで電力系統の周波数安定化に寄与させるスマートチャージングの検討がなされている。EVによる電力需給調整の研究として、数十万台のEVを合計した時の周波数シミュレーションを行い、系統周波数に応じて充電電力を線形に制御させたときに風力発電由来の周波数変動を小さくできることを示した研究[1]、EVの普通充電規格(SAEJ1772)を基に充電制御のための制御器を製作し、マイクログリッドにおける太陽光発電の余剰電力吸収を行った研究[2]等が挙げられる。

本研究ではEVの普通充電規格を基にスマートチャージングのための制御器を試作し、この充電制御特性を評価した。また、実機特性を基にモデル化を行い、周波数シミュレーションによる系統貢献効果の評価を行った。

## 2. SAEJ1772に基づく充電制御器の試作

我が国の普通充電の規格はSAEJ1772に定められている。充電ケーブルは電力線と通信線から構成され、1kHzの矩形波信号によって、系統側と車両側とで通信している。具体的には矩形波信号の電圧レベルの変化で充電状態の制御が行われ、デューティ比で充電電流の制御が行われている。市販の充電ケーブルでは、このデューティ比は固定されている。

本研究では、このデューティ比を可変にするために、市販の充電ケーブルを切断し、そこに試作した制御

器を挿入した。制御器内のEV側模擬回路によって、電力線のコンタクターを閉じ、その後、任意のデューティ比の信号を制御器からEVに送ることで充電電力を制御できるようにしている。

## 3. スマートチャージングの実験装置

図1に装置構成を示す。EVとして日産リーフ(AZE0型)を使用した。

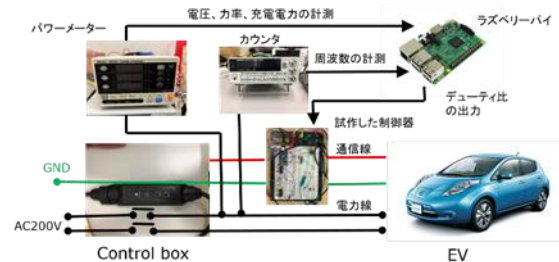


図1 装置構成

始めに系統周波数 $f$ [Hz]、電圧 $V$ [V]、力率 $pf$ 、充電電力 $P_0$ [kW]の計測を行う。次に式(1)から $f$ に応じて、充電電力指令値 $P$ [kW]を計算する。基準周波数50Hzにおいて2kWで充電し、周波数偏差に応じて線形に充電電力を変化させるように設定した。制御器へはデューティ比で指令をする必要があるため、算出した $P$ と $V$ 、 $pf$ 、 $P_0$ から電流指令値を算出したのち、デューティ比へ換算し、指令送信する。この制御を繰り返すことで、スマートチャージングを行う。

$$P[\text{kW}] = 2[\text{kW}] + (f - 50)[\text{Hz}] \times \frac{(3 - 1)[\text{kW}]}{(50.1 - 49.9)[\text{Hz}]} \quad (1)$$

## 4. スマートチャージングの実験結果

図2に、実験結果を示す。式(1)に示す充電電力指令値に実際の充電電力が追従することを確認した。また、指令値に対して実測値にはばらつきがあり、その差分のRMS値を求めると81.6Wとなった。

充電電力指令値に対して実測値には若干の遅れがある。そこで充電電力指令値に対する応答時間を推定するために指令値と実測値を制御周期の整数倍だけ時間をずらしたものの差分のRMS値を求めた。図3にずらした制御周期ごとに算出したRMS値を示す。指令から1.5~2周期の間に最小値が存在す

ることがわかる。1周期が約0.6sであることから、試作したシステムの応答時間は約1s程度であると推定される。

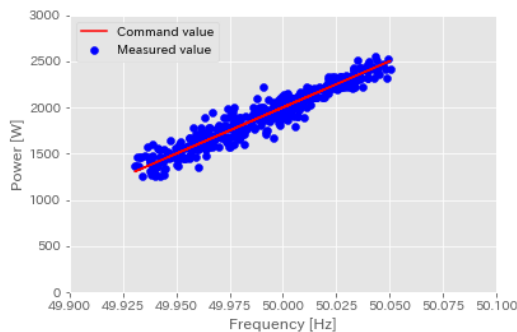


図2 スマートチャージングの実験結果

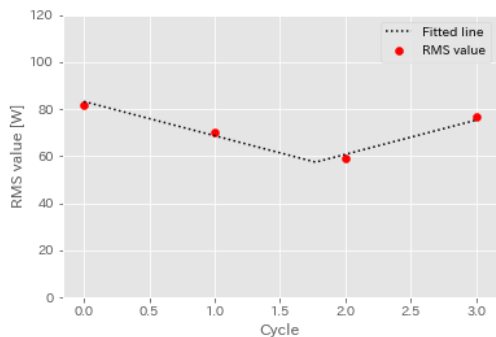


図3 指令値と制御周期分ずらした実測値との差分のRMS値

### 5. 車載充電器の解析モデルの作成

システムへの貢献効果の確認のため、図4に示すような車載充電器の解析モデルの作成を行った。実機特性から1.0sのむだ時間、±3kW/sの変化率制約、+3kW(定格)～+1.254kWの上下制限制約を考慮した。また、この場合のゲインは1.0としている。

実測値に対する作成したモデル出力の差分のRMS値は54.9Wで、実測値の平均に対するRMS値の割合は2.9%であった。

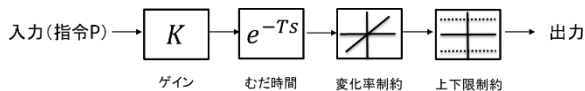


図4 車載充電器の解析モデル

### 6. 周波数シミュレーション

AGC30モデル[3]の解析例題2を参考に車載充電器の解析モデルを導入して、スマートチャージングの周波数シミュレーションを行った。EV1台あたり基準周波数50Hzにおいて2kWで充電し、式(1)のとおり周波数偏差に対して10kW/Hzで充電電力を変化させている。本シミュレーションでは簡単のため基準周波数における2kWの充電電力分を省き、期間中のEV台数の変化はないものとしている。図5はシミュレーション結果であり、基準周波数からの偏差を示している。

スマートチャージング可能なEVが増加するほど周波数偏差が小さくなっている[4]。一方でEV台数が6万台を超え8万台導入するとかえって周波数偏差が大きくなる傾向がみられた。これはNAS電池を対象に同一のシステムモデルを用いた周波数シミュレーションを行っている文献[5]でも示されており、EV台数の増加による過制御が原因であると考えている。

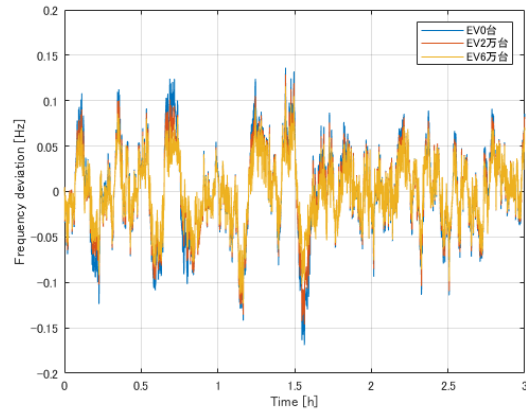


図5 周波数シミュレーション結果(11時～14時の3時間)

### 7. まとめ

EV用の普通充電規格SAEJ1772を基にスマートチャージングのための制御器を試作し、周波数偏差に対して10kW/Hzの感度での充電制御機能を確認した。指令値に対する応答時間は約1s程度と推定され、英国EFRでの要求レベルと同等である。周波数応答時間のうち計測の時間が大きな割合を占めており、さらなる応答時間の短縮も期待できる。また、実機特性を反映した車載充電器の解析モデルを導入したAGC30モデルを用いた解析では、多数台のEVにより周波数変動を抑制できることを確認した。

### 8. 参考文献

- [1]高木雅昭・山本博巳・山地憲治:「系統連系されたプラグインハイブリッド車の充電制御による風力発電連系可能量の評価」, 電学論B, Vol.128, No.12, pp.1513-1521 (2008)
- [2]雪田和人:「マイクログリッドにおける次世代自動車の充電制御手法」, 電学論B, Vol.133, No.6, pp.501-504 (2013)
- [3]電力需給解析モデル標準化調査専門委員会:「電力需給・周波数シミュレーションの標準解析モデル」, 電気学会技術報告, No.1386 (2016)
- [4]田中大幹・馬場旬平・名雪琢弥・根本孝七:「車載充電器をスマートチャージングに活用した場合の応答時間計測と周波数安定効果の評価」, 令和2年電気学会全国大会
- [5]田中晃司・浅野健太・福原基広・中島洋典・玉井昌彦:「蓄電池によるガバナフリー機能の実装と系統周波数のシミュレーション解析」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.181