

## 学位論文内容の要旨

学位論文題目	単相 3 線式配電の電力品質保証機能を付加した電気自動車用スマートチャージャ (Smart Charger for Electric Vehicles With Power-Quality Compensator on Single-Phase Three-Wire Distribution Feeders)
氏名	田中 秀典

電気自動車(Electric Vehicle: EV)は大容量なバッテリーが搭載されている。EV のバッテリーを家庭用補助電源として利用する Vehicle-to-Home(V2H)システムが注目を集めている。この V2H システムの活用法として、以下の 3 つが挙げられる

- ・ 家庭の太陽光発電からの発電電力や系統電力によるバッテリーの充電
- ・ 系統電力ピークの削減
- ・ 非常用バックアップ電源

上記の項目を実現するためには、電力を交流から直流または直流から交流に双方向電力変換可能な電気自動車用双方向バッテリーチャージャが必要である。

一方、10 年後の家庭用スマートメータ導入完了に伴い、電力会社が日本全国の家庭で消費される電力量をデマンド時間で把握可能になる。スマートメータが導入される日本の家庭用配電方式として広く単相 3 線式配電方式が使用されている。この方式は 3 本の電線により、単相交流電力を 2 つの家庭内負荷に供給する。各電線間の家庭内負荷は各家庭の電気機器に相当する。家庭内負荷は絶えず変動し常に不平衡状態であり、家庭用電気機器から発生する無効電力および不平衡有効電力は家庭の電力品質の低下の原因である。上記を背景に、需要家自身が電力品質保証責任を請け負う必要があると考えられる。本学位論文では、需要家自身の電力品質保証責任を果たすために家庭の電力品質保証機能を付加した電気自動車用充電器を取り扱っている。

第 1 章および第 2 章では、研究背景および電気自動車用バッテリーチャージャの分類と研究動向についてそれぞれ論じている。先に提案されているフルブリッジインバータを用いた双方向バッテリーチャージャでは、

- ・ バッテリーの充放電動作
- ・ 電源側の無効電力補償動作

について詳細に検討されているが、単相 3 線式配電で発生する不平衡有効電力の補償については検討されていない。そこで本学位論文の目的は不平衡有効電力補償が可能な電力品質保証機能を付加した電気自動車用スマートチャージャを提案し、その有効性を明らかにすることである。

第 3 章では、柱上変圧器低圧側で完全に無効電力および不平衡有効電力を補償する機能を有する電気自動車用スマートチャージャを提案している。本提案方式では、スマートチャージャの 3 レグインバータ構成 Pulse Width Modulation(PWM)整流器に直流キャパシタ電圧一定制御だけを用いることで、柱上変圧器低圧側で完全に無効電力および不平衡有効電力をスマートチャージャに

より補償し、力率が1でバランスした電源電流を得ることができる。PSIMを用いた計算機シミュレーションにより、提案した制御法の有効性を確認した。さらに、Digital Signal Processor(DSP)を用いた実験装置を構成し、提案した制御法の有効性を検証した。シミュレーションおよび実験結果から、柱上変圧器低圧側でバッテリーの无放電動作をしているスマートチャージャにより完全に無効電力および不平衡有効電力を補償し、力率が1でバランスした電源電流を得ることができることを明らかにしている。しかしながら、直流キャパシタ電圧一定制御だけを用いた制御法では、3レグインバータ構成PWM整流器に流出入する無効電力が大きいいため、スマートチャージャが大容量となる問題点がある。

第4章では、第3章で提起した問題点を解決可能な制御法について議論している。柱上変圧器低圧側において、電気供給約款で定められている柱上変圧器低圧側力率の規制下限値である0.9となる無効電力だけをスマートチャージャにより補償する無効電力調整法を提案している。本制御方式の特長は、バッテリーに融通する有効電力を変えずに3レグインバータ構成PWM整流器に流出入する無効電力を低減することができる。計算機シミュレーションおよび実験により提案制御法の有効性を検証した。シミュレーションおよび実験結果から、第3章で提案した制御法と用いて柱上変圧器低圧側で力率を1に制御した場合と比較して、バッテリーに融通する電力を等しくかつ力率が0.9でバランスした電源電流を得ることができ、3レグインバータ構成PWM整流器の変換器容量が31%低減可能であることを明らかにしている。しかしながら、この無効電力調整法では、バッテリーおよび家庭内負荷の有効電力成分を演算する制御ステップが必要であるため、演算時間が長くなるという新たな問題点がある。

第5章では、第3章および第4章で提起した問題点を同時に解決可能な直流キャパシタ電圧一定制御に基づいた無効電力調整法を提案している。本制御方式では、直流キャパシタ電圧一定制御により出力される有効電力成分に基づき柱上変圧器低圧側で力率が0.9となる無効電力成分を決定している。そのため、3レグインバータ構成PWM整流器に流出入する無効電力を低減でき、かつ家庭内負荷およびバッテリーの有効電力成分の検出を必要とせず制御プログラムの演算時間の低減が可能である。計算機シミュレーションおよび実験により提案制御法の有効性を検証した。シミュレーションおよび実験結果から、第4章で提案した無効電力調整法と同等な変換器容量低減効果でありながら制御方式の演算時間を15%低減可能であることを明らかにしている。

以上、第6章では本研究で得られた成果と今後の検討課題について言及し、単相3線式配電の電力品質保証を需要家の所有する電気自動車用スマートチャージャで実現でき、電気自動車用スマートチャージャはスマートメータを導入した日本の家庭用電力供給システムの省エネルギーに貢献できると結論づけている。

## 【論文審査結果の要旨】

電気自動車(Electric Vehicle: EV)は大容量バッテリーが搭載されている。EVの大容量バッテリーを電力系統と接続するVehicle-to-Home(V2H)システムが注目を集めている。V2Hでは、

- 家庭の太陽光発電からの発電電力や系統電力によるバッテリーの充電
- 系統電力のバッテリー貯蔵電力を活用したピークシフト
- 非常用バックアップ電源

が期待されている。これらを実現するためには、電力を交流から直流または直流から交流に双方向電力変換が可能な電気自動車用双方向バッテリーチャージャが必要である。一方、家庭用スマートパワーメータの設置が進められているが、家庭用スマートパワーメータが普及することで電力会社は家庭で消費される電力量をデマンド時間で把握可能になるとともに各家庭内の家電機器による電力品質低下状況を把握することが可能となる。電力会社は、各家庭によって引き起こされる電力品質低下に応じた電力料金設定を行うこととなる。このことは、各家庭が電力品質保証責任を負う時代が到来することを予期している。そこで、本学位論文では各需要家自身が電力品質保証責任を果たすために電力品質保証機能を付加した電気自動車用チャージャを提案し、工学的な有用性を明らかにしている。

第1章および第2章では、本学位論文の研究背景および電気自動車用バッテリーチャージャの分類と研究動向について述べている。これまで提案されているフルブリッジインバータを用いた双方向バッテリーチャージャでは、

- バッテリーの充放電動作
- 電源側の無効電力補償動作

について詳細に検討されている。しかしながら、単相3線式配電で発生する不平衡有効電力の補償法については検討されていない。これらのことから、本学位論文では不平衡有効電力補償が可能な電力品質保証機能を付加した電気自動車用スマートチャージャを提案し、その有効性を明らかにすることが目的であることを明確にしている。

第3章では、柱上変圧器低圧側で完全に無効電力および不平衡有効電力を補償する機能を有する電気自動車用スマートチャージャを提案している。本提案方式では、スマートチャージャの3レグインバータ構成Pulse Width Modulation(PWM)整流器に直流キャパシタ電圧一定制御だけを用いることで、柱上変圧器低圧側で完全に無効電力および不平衡有効電力をスマートチャージャにより補償し、力率が1でバランスした電源電流を得ることができる。シミュレーションおよび実験結果から、柱上変圧器低圧側でバッテリーの充放

電動作を実現しながら電源側で無効電力および不平衡有効電力を補償し、力率が1でバランスした電源電流を得ることができることを明らかにしている。しかしながら、直流キャパシタ電圧一定制御を用いた制御法では、3レグインバータ構成PWM整流器に流出入する無効電力が大きいため、スマートチャージャが大容量となる問題点がある。

第4章では、柱上変圧器低圧側において電気供給約款で定められている柱上変圧器低圧側力率の規制値の下限である0.9となる無効電力だけをスマートチャージャにより補償する無効電力調整法を提案し、スマートチャージャの容量を低減できることを明らかにしている。本制御方式では、バッテリーに融通する有効電力を変えずに3レグインバータ構成PWM整流器に流出入する無効電力を低減することができる。シミュレーションおよび実験結果から、第3章で提案した制御法と比較し、スマートチャージャを構成する3レグインバータの変換器容量が31%低減可能であることを明らかにしている。

第5章では、無効電力と有効電力の演算が不要な直流キャパシタ電圧一定制御に基づいた無効電力調整法を提案し、その有効性を明らかにしている。本制御方式では、直流キャパシタ電圧一定制御により出力される有効電力成分を基に柱上変圧器低圧側で力率が0.9となる無効電力成分を決定している。シミュレーションおよび実験結果から、第4章で提案した無効電力調整法と同等な変換器容量低減効果を実現しながら制御演算時間を15%低減可能であることを明らかにしている。

第6章では、本研究の結論と今後の検討課題について述べている。

#### 【本審査及び公聴会における主な質問内容】

①スマートチャージャは据え置き型を想定されているのか、あるいは、車載用か、②太陽光発電の場合に導入されるパワーコンディショナとスマートチャージャの違いについて、③太陽光発電を導入することを考えたときに、スマートチャージャを設置しているとDCラインを持つ家庭とみなすことができる。このとき、太陽光発電電力はACラインに接続されるべきか、DCラインに接続するべきか？ビジョンがあれば示してほしい、④負荷としてバッテリーを想定しているが、満充電時などスマートチャージャはどのように制御するのか、などに関する質問があった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は実用性、創造性、有効性、信頼性ともに優れ、博士（工学）の学位論文に十分値するものと判断した。