

## 審査の結果の要旨

氏 名 韓 世 昊

本論文は「Vehicle-to-Grid Frequency Regulation for Smart Grid (スマートグリッドにおけるV2G周波数制御)」と題し、Plug-in ハイブリッド自動車の電池を用いて、スマートグリッド上での周波数制御の普及を目指し、その手法の提案と経済的評価の考察を行ったものであり、全六章から構成されている。

第一章は「Introduction」であり、V2G (Vehicle-to-Grid)の基本概念と、その目的である負荷移転や周波数制御) について概観するとともに、V2G に必須となるアグリゲータの仕組みについて述べている。

第二章は「Controls for V2G Frequency Regulation」と題し、V2G 周波数制御を行う際の、個々の車を制御する手法について論じている。一般的な電力市場での取引単位はMW オーダであるのに対し、一台の電気自動車の電池の充放電パワーはKW オーダである。そのため、適切な規模で電力市場に参加するためには十分な数の車からの電力を束ねるためのアグリゲータが必要となる。アグリゲータは、系統運営者からの周波数制御用指令と各車の予想プラグアウト時間に基づいて、各車の適切な運用戦略を考案しなければならないため、ここでは市場価格に基づいて最高収益となる運用戦略を提案している。その際、電池のエネルギー制約も定量的に評価し制約条件として反映している。併せて、実際の電池を用いた実証実験を行い、提案手法の実運用環境への適用可能性の検証も行っている。

第三章は「Economics of V2G Regulation regarding the Battery Degradation」と題し、V2G 周波数制御の経済性を電池の劣化という観点から評価している。従来のV2Gに関する経済性評価においては、電池を劣化のない理想的なものとし、V2G の制御手法と電力市場の価格のみを考慮した比較を行ってきた。しかしながら、V2G の経済的妥当性を正確に評価するためには、電池の劣化によるコストを考慮することが必須である。そこで本章ではまず、USABC が規定した電池の標準的なモデルを利用した上で、実際現在使われている周波数制御信号を用いた場合の、周波数制御信号と電池の劣化に直接影響を及ぼす累積電流値との相関性を導き、電池の劣化コストを考慮したV2G 周波数制御の経済性を評価した。更に、実電池を用いた実証実験を行い、得られた経済性評価の妥当性を確認した。

第四章は「Estimation of Optimal Power Capacity in Deregulated Power Market」と題し、アグリゲータが電力市場に参加する場合の最適な契約のための電力容量の確率的モデルの提案を行っている。アグリゲータは契約を結んだ車種や台数など電力容量算出のための一定の情報を得ることはできる。しかしながら、実運用においては、各車のプラグイン確率及び提供可能な電力は多岐にわたるため、単純な計算で確保可能な電力容量を算出することは不可能である。ここではこの問題に対する近似的解法を示している。求めた電力容量は確率的に表現される。また、これを用いてアグリゲータが契約パワーの供給に失敗した時のペナルティを幾つか想定した上で、アグリゲータの収益期待値が最も高くなるような最適契約容量の入札値の算出手法を示した。

第五章は「Reliability Index for Frequency Regulation under Introduction of Wind Power」と題し、V2G周波数制御が系統運用に与える影響度を定量的に求めている。そのために FRPR (Failure Rate for Frequency Regulation)という新しい信頼度指数の提案を行った。その上で、V2G と共に、風力発電のように確率的な挙動をする再生可能エネルギー利用の増大が見込まれることを考慮し、このような状況下での周波数制御失敗のリスクを定量的に論じた。併せて FRFR 指数を用いて Renewable Portfolio Standard (RPS) 法による効果などを定量的に評価するなどのケーススタディーを行った。

第六章は「Conclusion & Future Works」であり、論文の成果と今後の展開をまとめている。

以上これを要するに、本論文はV2G周波数制御の普及を目指し、その手法の提案と経済的評価を行いV2G周波数制御の有効性を明確にしたものであり、電子情報学上貢献するところが少なくない。よって本論文は博士（情報理工学）の学位論文として合格と認められる。