

審査の結果の要旨

氏 名 池上 洋行

本論文は、「低圧環境における抵抗負荷を用いた電流型電力線通信の研究」と題し、日本文で記されており、全体で6章から成る。スマートグリッドにおける新しい需要制御や当該システムに接続される負荷機器の自動認識を目的として、電流の特性を用いた電力線通信技術と、それを応用した需要制御システムを提案したものである。電力系統は電気エネルギーを配送する分散システムであるが、系統にどのような負荷機器が接続されているかという情報を十分には管理しておらず、任意の負荷機器のみに電力を供給するなど細やかな制御を実現することができていない。そのため、電力系統の制御においては、需要量にあわせて供給側が出力量を増減させて系統の配送制御を行ってきた。近年、スマートグリッドの実現のために、供給側が需要側の状況を把握しながら、発電・配電動作を制御する需要応答の技術に関する研究開発が加速されている。本論文では、そのようなスマートグリッドシステムが要求する技術要件を満足するために、電流の特性に着目した新しい電力線通信方式を提案し、提案した電力線通信方式を用いて自家発電装置を持つ環境向けの需要制御システムを構築しその有効性・実現性を検証した。

第1章「序論」では、電力系統の発展の歴史と、近年のスマートグリッドに関する研究開発の動向を整理している。特に、その中でも、電力線通信がどのような役割を担っているか、また担うことができるのかを議論・整理している。加えて、本論文の構成を示している。

第2章「スマートグリッドと電力線通信」では、スマートグリッドシステムと電力線通信技術を俯瞰しながら、本論文が解決する課題と、根幹となる提案手法を記述している。その中で、従来の電力線通信では行われてこなかった分類軸を議論・提案している。電流型と電圧型という新しい分類軸を導入することで、UNB-PLC方式をより細かく分類することに成功している。加えて電流型について、「引き込み式」と「押し込み式」という2つの分類方式を提案し、既存研究の整理と分類を行っている。加えて、電流型の電力線通信の特徴である「ループ上にのみ信号が観測できる」という特徴を用いることで、接続機器識別というスマートグリッドシステムにとって重要な要求課題の解決に応用できることを示している。

第3章「単方向電流型電力線通信」では、本論文の根幹となる提案方式であるZ3C(Zero Cross Current Communication)についての記述を行っている。Z3Cは、電力線を木構造でみた場合に、下位から上位方向への単方向通信を電力系統から電流を引き込むことで単方向でのデータ通信を実現する方式である。電流型の電力線通信方式の特性と共に、Z3C

を実現するための回路構成などに関する提案も本章にて行っている。結果として、従来の電流型電力線通信方式が実現可能なデータ通信速度よりも、より高速なデータ通信速度を Z3C で実現可能であることを示している。また、低圧環境において抵抗負荷を用いることによって電流パルスの形状を制御することにより、パルス幅にデータ値を重畳することに成功したことを示している。

第 4 章「双方向通信への拡張」では、第 3 章で述べた単方向での電流型電力線通信方式を双方向通信に拡張している。加えて、マスタ/スレーブ型のデータ通信を実現し、多数の通信機を持つネットワークへの拡張方法についての言及も行っている。原理と実現回路に加えて、メディアアクセス制御や通信用フレームの設計についてもこの章で記述している。具体的には、第 3 章で提案した回路と同じような、回路を抵抗でショートする親機を、電源の上位に設置することで、下位側の通信機が引き込める電流が下る現象を利用することで、上位から下位への逆方向のデータ通信を実現している。加えて、Z3C の持つ通信を下位から起動する必要があるという特殊な物理特性に適合可能な媒体アクセス制御(MAC)方法を提案しており、この MAC 方式により Z3C での双方向多機器通信が可能になることをプロトタイプシステムを用いて実証している。

第 5 章「応用例: 回路遮断機による需要制御」では、電流型電力線通信を用いた回路遮断機による電力の自動需要応答システムについての議論を行った。電力の供給能力にあわせた遮断閾値を回路遮断機に広告しておくことで、需要が電力供給能力を超えないように回路遮断機で電力の需要を制御するシステムの設計を提案している。コンセント単位よりも一段階上流の装置で需要制御することにより、設置機器数を大幅に削減することができることを示している。加えて実証実験においては、供給側の制約を満足するような動作を確認、回路遮断機を用いた電力需要制御方式の有用性・可能性・実用性が確認・実証できたことを示した。また第 3 章、第 4 章で提案した Z3C により、その他に実現可能なアプリケーションである家電製品の状態監視や、直流システムへの適応性などに関する議論を行っている。

第 6 章「結論」では、論文全体での技術的・学術的貢献についてまとめ、今後の研究課題を議論した。Z3C に関して、新たに必要となる通信セパレータや通信シミュレータの必要性とその研究開発の方向性を議論しており、また Z3C を実現するためのハードウェアの低コストでの実現可能性も議論を行っている。

以上を要するに、本論文は、IoT・M2M の進化を電力システムに取り込むスマートグリッドが持つ要求項目に対し、従来技術では実現不可能であった課題に対して新しい技術を提案し、その実現性を実証している。Z3C と呼ぶ新しい通信方式を提案し、この通信方式を用いてスマートグリッドからの要求に答えることに成功している。このことは、スマートグリッドの研究開発に対する現実的かつ実効的な貢献であり、情報理工学における創造的実践の観点で価値が認められる。

よって、本論文は、博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。