

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 下村 誠

論 文 題 目

中山間地域における自立型住宅に適したマイクロ水力-太陽光-リチウム

イオン電池複合電力供給システムの電力需給解析

(Numerical study for analyzing electric power balance of an off-grid residential small hydro and PV generator with lithium-ion battery storage system)

論文審査担当者

主 査 高野 雅夫 名古屋大学大学院環境学研究科 教授

渡邊誠一郎 名古屋大学大学院環境学研究科 教授

奥宮 正哉 名古屋大学大学院環境学研究科 教授

平野 恭弘 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授

論文審査の結果の要旨

本論文は、持続可能なエネルギーシステムを構築するにあたって必須とされている分散型電力需給システムに関し、最も単純なシステムとして、中山間地域を想定したマイクロ水力発電とオフグリッド・ソーラーシステムを組み合わせた自立型住宅の電力需給解析を行う手法を構築したものである。そのために発電および蓄電に関する素過程について、水車の水塊と羽根の力学的相互作用、太陽光発電の光電効果、リチウムイオン電池の電気化学プロセスなど、詳細な物理・化学過程を記述し、らせん水車発電機、太陽光発電パネル、リチウムイオン電池からなる電力供給システムの挙動を再現・予測する数値モデルを構築した。

らせん水車発電システムに関し、数値モデルを用いて羽根形状の最適化を行う手法を確立した。まず、水車力学特性を記述するモデルとして、MPS法による粒子法モデルと計算時間を短縮できる簡易モデルとしてタンクモデルを構築した。両者のモデルの妥当性は水路実験によって確認された。その上で、一定の与えられた流量と落差の下で、出力、重量、回転数を最適化する羽根枚数、羽根ピッチ、羽根と軸の直径比などの設計パラメータを、遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化によって求める手法を構築した。その結果、水路勾配 15 度、流量 25L/sec の条件で、最大出力 60W、重量 31kg、回転数 60rpm の水車が実現できることを示した。

次にオフグリッド・ソーラーシステムについてのモデル化を行った。従来、蓄電池の特性を記述するためには、鉛蓄電池については経験的な近似式が使われていたが、リチウムイオン電池についてはそのようなものは確立していない。そこで本論文では、電極における電気化学プロセスを 1 次元電気化学反応モデルで記述し、充放電に伴う電圧変化、および長期的な劣化の程度を出力できるようにした。このモデルの妥当性は、実験による充放電特性データによって検証した。その上で、一定の需要パターンおよび日射量変動を与えて、1 時間ごとの電力余剰量および停電率を計算できるモデルを構築した。さらに、オフグリッド・ソーラーシステムにベース電源としてのらせん水車発電システムを導入した場合に、停電率およびコストに与える効果を評価した。

このように本論文によるマイクロ水力・太陽光・リチウムイオン電池複合電力供給システムモデルを用いることによって、らせん水車発電システムについて、一定の落差、流量の条件下で最適な羽根形状を求め、出力が正確に予測できるようになった。さらに、リチウムイオン電池の挙動を電池の長期的な劣化を含めて記述し、一定の電力需要パターンにおいて、最適な太陽光パネルと蓄電池の容量を求め、その場合の停電率およびコストを正確に予測できるようになった。これらは学術的のみならず、環境・エネルギー問題の解決に対する大きな貢献となる。よって本論文提出者下村誠君は博士(環境学)の学位を授与されるにふさわしいものと判断する。