

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | 水素蓄エネルギーシステムを対象とした汎用的技術/経済モデルの開発と最適化設計                                                                                                                                                         |
| Title(English)    |                                                                                                                                                                                                |
| 著者(和文)            | 大久保辰哉                                                                                                                                                                                          |
| Author(English)   | Tatsuya Okubo                                                                                                                                                                                  |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第12444号,<br>授与年月日:2023年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:伊原 学,MANZHOS SERGEI,大友 順一郎,下山 裕介,松本 秀行                                                               |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第12444号,<br>Conferred date:2023/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                                           |
| Category(English) | Doctoral Thesis                                                                                                                                                                                |
| 種別(和文)            | 審査の要旨                                                                                                                                                                                          |
| Type(English)     | Exam Summary                                                                                                                                                                                   |

(博士課程)

# 論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号            | 甲第  |                | 号 | 学位申請者氏名 |     | 大久保辰哉 |     |
|-----------------|-----|----------------|---|---------|-----|-------|-----|
| 論文審査<br><br>審査員 |     | 氏 名            |   | 職 名     |     | 氏 名   | 職 名 |
|                 | 主査  | 伊原学            |   | 教授      | 審査員 | 松本秀行  | 准教授 |
|                 | 審査員 | Sergei Manzhos |   | 准教授     |     |       |     |
|                 |     | 大友順一郎          |   | 教授      |     |       |     |
|                 |     | 下山祐介           |   | 教授      |     |       |     |

## 論文審査の要旨（2000 字程度）

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>本論文では「水素蓄エネルギーシステムを対象とした汎用的技術/経済モデルの開発と最適化設計」と題し、以下の8章で構成される。</p> <p>1章では、水素蓄エネルギー(HES)システムの特徴や課題、本研究の目的を述べた。カーボンニュートラル実現に向けて変動型再エネ(VRE)電源の活用が必須となるものの、系統増強や火力発電の予備力確保、設備利用率低下、出力抑制などに伴う「統合コスト」の増加を課題として挙げ、蓄エネルギーを活用した柔軟性確保の必要性を簡潔に説明している。蓄エネルギーシステムの一つである HES システムは水電解で電力を水素に変換し、貯蔵後、その水素を必要に応じて再び電力に変換するシステムであることを説明し、蓄電池などとは異なり、出力(kW)と貯蔵量(kWh)を独立に設計できる点や、生成した水素を電源や熱源、自動車燃料源などとして利用できる点を特徴として挙げた。これらの特徴はシステム設計の自由度が高いことを意味するため、システムの構成や各技術の容量を自由に設計できる汎用的手法の開発が必要となるが、熱や水素の関連補器を含むシステムをモデル化できるソフトウェアは現状存在しないこと(①)を研究課題として述べた。また、先行研究の調査を通じて、オフグリッドよりも経済性の高いオングリッドの HES システムを対象とした最適化設計を行い、最適化結果を決めるメカニズムを基に経済性に影響を与える要因を分析している研究例(②)や、オングリッドの HES システムの最適化設計を行う研究のうち、都市部への太陽電池(PV)導入時に重要となる PV 壁面設置を考慮したもの(③)や、水素を電源とともに熱源として使う FC 排熱利用を考慮した電力/熱併給(CHP)システムを対象としたもの(④)、水素を電源とともに自動車燃料源として使い、市場から安く電力調達することを考慮した水素ステーション(HRS)システムを対象としたもの(⑤)はこれまで報告されていないことを論じた。以上の①～⑤の研究課題を背景に、システムの構成を自由に選択し、各技術の容量を経済的に最適化できる「汎用的技術/経済モデル」を開発/提案し、経済性向上に有効となる施策の検討に向けてオングリッドの HES システムや CHP システム、HRS システムを対象とした最適化設計を行うことを、本研究の目的として述べた。</p> <p>2章(①)では、汎用的技術/経済モデルの詳細が記述されている。HES システムの構成要素を技術や資源、需要に分類するとともに各要素を繋ぐ役割を果たす「ハブ」という概念を導入した。ハブを通じて要素間のつながりを設定することで検討対象とするシステムをモデル化し、システムコストを目的関数として各技術の容量を最適化できる汎用的手法を提案するとともに、その適用範囲や学術の新規性を述べた。</p> <p>3章では、本論文を通して用いた PV 発電出力や電力需要などのエネルギーデータや 2050 年を想定したコストや GHG 排出量などのパラメータの概要が記述されているほか、その設定根拠の整理やエネルギー学理に基づく妥当性評価がなされている。</p> <p>4章(②)では、オングリッドの HES システムの最適化設計を行い、その経済性に影響を与える要因が定量的に分析されている。本分析から、HES 技術の価格低下に加え、余剰電力が十分に生じるような多量の PV 導入が HES システムの導入に経済的インセンティブを与えることを見出した。この知見に基づき、電力需要密度の低い地方部と高い都市部においてそれぞれ実現可能な PV 導入量を考察しており、都市部でより経済性の高い HES システムを構築するには、省エネや PV 変換効率向上、PV 壁面設置が有効となることを示した。</p> <p>5章(③)では、PV の屋上/壁面設置を考慮した HES システムの最適化設計を行い、様々な自給率条件下における屋上と壁面の PV の最適な組み合わせが検討されている。その結果、自給率が低い条件では設備利用率が高い屋上 PV を優先的に導入することが経済的に選択されるが、自給率が高い条件では屋上と西壁面の PV の組み合わせが EC のコストを、屋上と南壁面の PV の組み合わせが HT のコストを低減することを見出した。</p> <p>6章(④)では、FC 排熱利用を考慮した HES システムを対象に、熱主電従(熱需要の変動に合わせて FC を稼働)や電主熱従(電力需要の変動に合わせて FC を稼働)といったルールベース制御や、特定期間における運用費用を最小化する最適化ベース制御を想定した最適化設計を行い、経済的に適切な制御方法が検討されている。その結果、電主熱従が経済的に有効な制御方法であるが、長期間(約 1 か月間)の運用費用を最小化する最適化ベース制御によって経済性をさらに向上できる可能性を示している。</p> <p>7章(⑤)では、卸市場からの電力調達を考慮した FC を含む HRS システムの最適化設計を行い、経済的に適切なシステムの制御方法が検討されている。その結果、水素需要規模が拡大すると比較的長期(約 1 週間)の運用費用を最小化する最適化ベース制御が PV 由来の水素利用を促進させ、GHG 排出量を削減しつつ経済性を高めることを明らかにした。</p> <p>8章では、各章で得られた結論を総括し、本研究の学術的新規性を述べている。</p> <p>以上を要するに、本論文を通じた汎用的技術/経済モデルの開発と最適化設計によって、オンサイトのエネルギーデータと汎用的手法に基づくデューラーメード最適化を初めて提案し、様々なケーススタディからこれまでの部分最適化では不十分であり、全体最適化の重要性を明らかにした。したがって、エネルギー分野、特にエネルギーシステムの最適化研究における新たな分野を開拓したという点で学術的価値が高く、工学的な貢献も大きい。よって博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。