

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)            | 論文要旨                                                                                                                                                                                           |
| Type(English)     | Summary                                                                                                                                                                                        |

# 論文要旨

## THESIS SUMMARY

|                                            |               |          |                                                             |
|--------------------------------------------|---------------|----------|-------------------------------------------------------------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 応用化学<br>エネルギー | 系<br>コース | 申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)<br>Academic Degree Requested Doctor of |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 大久保辰哉         |          | 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)                      |
|                                            |               |          | 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)                       |
|                                            |               |          | 伊原学<br>Sergei Manzhos                                       |

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

カーボンニュートラル実現に向けて、近年低コスト化した変動型再生可能エネルギー(VRE)電源の活用が必須となる。一方、VRE 電源導入拡大に伴う系統増強や火力発電の予備力確保、設備利用率低下、出力抑制などによって生じる「統合コスト」の増加が課題となり、蓄エネルギーなどの技術を活用した柔軟性確保が必要となる。水素蓄エネルギー(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。蓄電池などと異なり、HES システムは出力(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ことが特徴である。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、HES 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存在しない①。また、HES システムには現状経済的課題が存在するため、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が重要となるが、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た研究例はない②。加えて、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)システムを対象とするもの④、水素を電源とともに自動車燃料源として使い、卸市場から電力を安く調達することを考慮した水素ステーション(HRS)システムを対象とするもの⑤はこれまで報告されていない。以上の①~⑤の研究課題を背景に、本研究では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目的とした。1 章では、上述の研究課題について述べた。

2 章①では、汎用的技術/経済モデルの詳細を説明した。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」という概念を提案した。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初めて開発した。

3 章では、本論を通して使用した 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を説明するとともに、その設定根拠を整理した。

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を分析した。その結果、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が分かった。高い自給率を達成するには、特に水電解装置(EC)や水素タンク(HT)の低コスト化や余剰電力の変動性緩和が重要となる。電力需要密度の低い地方部では多量の PV を導入しやすいが、送電網や配電設備などの系統容量の制約を受ける。一方、電力需要密度の高い都市部では系統容量が大きいものの、PV に利用できる土地面積が小さい。都市部で経済性の高い 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。

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を検討した。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が分かった。

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を検討した。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(約 1 か月)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た。

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を検討した。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が分かった。

以上から、本論文を通じた汎用的技術/経済モデルの開発/提案によって HES システムの今後の社会実装を支援するソフトウェア基盤が確立したとともに、将来を想定した最適化設計によって HES システムの経済性に与える影響が明らかとなった。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

|                                  |               |          |
|----------------------------------|---------------|----------|
| 系・コース：                           | 応用化学<br>エネルギー | 系<br>コース |
| Department of, Graduate major in |               |          |
| 学生氏名：                            | 大久保辰哉         |          |
| Student's Name                   |               |          |

|                           |                |      |
|---------------------------|----------------|------|
| 申請学位 (専攻分野)：              | 博士             | (工学) |
| Academic Degree Requested | Doctor of      |      |
| 指導教員 (主)：                 | 伊原学            |      |
| Academic Supervisor(main) |                |      |
| 指導教員 (副)：                 | Sergei Manzhos |      |
| Academic Supervisor(sub)  |                |      |

#### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Hydrogen energy storage (HES) systems, which convert electricity into hydrogen and re-convert the stored hydrogen to electricity, are promising options to make the best use of variable renewable energy (VRE) toward a carbon neutral society. Although HES systems consist of various technologies and the produced hydrogen has a variety of usage, economic challenges currently hinder its implementation. In this thesis, a versatile techno-economic model was developed to flexibly design HES systems and the optimized design was performed using the model. The first chapter introduces the research gaps related to HES system optimization studies.

In the second chapter, the detail of a versatile techno-economic model of HES systems was described. This model classifies the system components into “Technology”, “Resource”, and “Demand”. The concept of “Hub”, which connects each component, was also proposed. Input parameters used in the model was explained in the third chapter.

In the fourth chapter, the optimized design of HES systems including an electrolysis cell (EC), hydrogen tank (HT), and fuel cell (FC) was performed. The results showed that massive photovoltaic (PV) implementation economically incentivized the use of HES systems.

In the fifth chapter, the optimal combination of rooftop and façade PVs was analyzed via the optimized design of HES systems. The combination of rooftop and west façade PVs reduced the EC cost while that of rooftop and south façade PVs reduced the HT cost.

In the sixth chapter, different operation strategies of combined heat and power (CHP) systems was analyzed via the optimized design of HES system considering the use of FC waste heat. In the seventh chapter, appropriate operation strategy of hydrogen refueling station (HRS) systems with FC was explored via the optimization studies. These analyses revealed that 1 week ~ 1 month-operational cost optimization is economically effective for both of CHP and HRS systems.

Therefore, this study established a software basis that promotes the implementation of HES systems, and showed the importance of using hydrogen as a multiple usage.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).