

## GXの実現に貢献する 岩石蓄熱エネルギーマネジメントシステム

Rock-bed Thermal Energy Storage and Energy Management Technology Contributing to Green Transformation

三木 浩睦 MIKI Hiromutsu 松崎 晃大 MATSUZAKI Akihiro 馬渡 峻史 MAWATARI Takashi

GX(グリーントランスフォーメーション)を進める中で、再生可能エネルギー(以下、再エネと略記)の主力電源化が望まれており、課題の一つとして電力需要と供給量の同時同量の実現がある。また、課題解決に貢献する技術の一つとして、大規模な蓄エネルギー技術である岩石蓄熱エネルギーマネジメント技術が挙げられる。この技術は、他の蓄エネルギー技術と比較して、環境負荷が極めて低く、安全性、信頼性に有意性があるのが特長である。

東芝は、この技術の開発を進めており、500 kWh級試験機により岩石蓄熱槽の蓄エネルギー量を把握することを目的に、蓄熱・放熱特性の原理検証評価を実施し、蓄熱槽内温度分布の予測技術を確立した。この成果を踏まえ、10 MWh級実証機の建設を進めており、2026年度中の実証試験終了を予定している。

From the viewpoint of promoting green transformation (GX), establishing renewable energy as a main power source is desired. In this context, large-scale rock-bed thermal energy storage and energy management technology is attracting considerable interest as a solution for balancing electricity supply and demand, due to its significantly lower environmental burden, higher safety, and greater reliability compared with other energy storage technologies.

As part of the development of this technology, Toshiba Corporation has built a 500 kWh-class mock-up test facility and conducted heat charging and discharging tests to grasp the energy storage capacity of the thermal storage tank, thereby establishing a technology to predict the temperature distribution in the tank. Utilizing these results, we are constructing a 10 MWh-class demonstration system and planning to complete demonstration tests within FY 2026.

### 1. まえがき

GXの実現に向けた取り組みの一つとして、カーボンニュートラルの実現が掲げられている。その中で、再エネの主力電源化に向け、蓄エネルギー技術への関心が高まっている。再エネは、立地や気象条件により発電量が変動するため、電力の安定供給に不可欠な同時同量を確保しながら普及を拡大するには、蓄エネルギー技術が重要となる。蓄エネルギー技術は、電力の需要と供給の時間的不一致を解消する手段として蓄電池などの導入が進んでいるものの、蓄エネルギー量の大容量化やレアメタルの確保などが課題となっている。

そこで、東芝は、中部電力(株)とともに、自然界に広く存在する岩石を蓄熱材とし、エネルギーを熱として蓄える蓄熱技術に着目して、基礎研究、技術検証を進めてきた。そして、「令和3年度岩石蓄熱技術を用いた蓄エネルギー・サービス事業の実現可能性評価・検証委託業務(環境省委託事業)」、「令和4、5年度岩石蓄熱技術を用いた蓄エネルギー技術評価・検証事業委託業務(環境省委託事業)」(以下、令和3～5年度事業と略記)の中で、岩石蓄熱技術の社会

実装に向けた原理検証・経済性評価を行い、一定の実現可能性を見いだした。また、環境省の「令和6～8年度地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業(岩石蓄熱プラントの技術実証および地域社会に適した大規模蓄熱エネルギーマネジメントモデルの技術開発)」(以下、令和6～8年度事業と略記)に採択され、実証プラントの建設を進めている。

ここでは、岩石蓄熱技術の概要を述べるとともに、岩石蓄熱技術の開発・検証内容、及び建設中の実証プラント技術について述べる。

### 2. 岩石蓄熱技術の概要

#### 2.1 岩石蓄熱システムの構成

図1に岩石蓄熱システムの系統構成の概略を示す。岩石蓄熱は、自然界に広く存在する岩石を、ほぼ無加工で蓄熱槽内に封入し、蓄熱槽内の温度分布により生じる高温側と低温側の温度勾配を利用してエネルギーを蓄積する。蓄熱槽の低温側に送風機・ダンパーなどの機器を設置したシステムで、蓄熱時は、送風機により常温(低温)の空気を熱交換器(電気ヒーター)に送気、外部熱源により空気を加熱後、

熱せられた空気を蓄熱槽に送り込み蓄熱する。また、放熱時は、送風機により常温(低温)の空気を蓄熱槽の低温側から高温側へ送って加熱し、蓄熱槽で加熱された空気を蒸気発生器に送ることで、発電、又は熱源が必要なプロセスで利用する蒸気を発生させる仕組みである。

## 2.2 岩石蓄熱技術の特長

岩石蓄熱技術は、数時間から数日間に至る長時間の熱エネルギー供給・蓄エネルギー量の大容量化に適しており、熱及び電力の両方(又は一方)でエネルギー供給を可能とする。そして、熱需要の多い事業所などで、熱及び電力の需

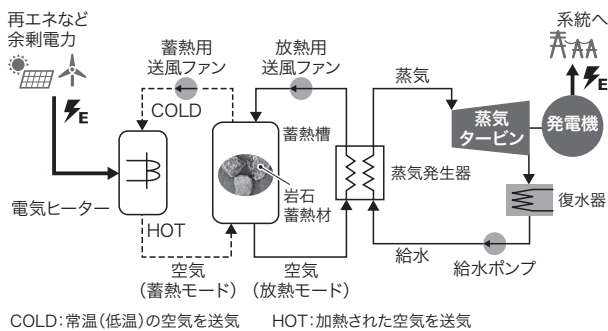


図1. 岩石蓄熱システムを発電設備へ適用した場合の概略システム構成例

岩石蓄熱システムは、再生エネルギーの蓄熱(電気ヒーター)、蓄熱槽、蒸気タービン、発電機を経て系統へ接続されている。

Outline of system configuration applying rock-bed thermal energy storage system to power generation facility

要と供給に応じて、運転コストやCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)排出量が最小となる蓄熱・放熱タイミングを算出可能なエネルギー管理システム(EMS)と組み合わせたシステムとして構成できる。

図2に、岩石蓄熱技術の展開先を示す。熱需要の多い事業所(化学・製紙・製油工場、ごみ処理場、製鉄所など)、コンビナート、自治体などに加え、CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)設備、アンモニア・水素製造などのプロセス熱源が必要な設備との一体運用、更には休廃止火力設備を活用したゼロエミッション蓄熱発電システムとして展開が期待される。

表1は、主な蓄エネルギー技術の比較表である。岩石蓄

表1. 主な蓄エネルギー技術の比較  
Comparison of main energy storage technologies

蓄エネルギー技術	環境負荷	ライフサイクルコスト*	扱いやすさ	運用性	備考
蓄電池	× (高)	× (高)	△ (化学物質)	○	製造時のCO <sub>2</sub> 排出量大、廃棄方法が課題
揚水発電	× (高)	△ (中)	○ (水)	○	ダムの開発が必要
溶融塩蓄熱	△ (中)	△ (中)	△ (化学物質)	×	運用面の課題あり(凝固対策必要など)
岩石蓄熱	◎ (低)	◎ (低)	○ (石)	△	製造時のCO <sub>2</sub> 排出量も限りなく少ない天然石を使用

◎: 特に優れている    ○: 優れている    △: 普通    ×: 優れていない  
\* 設備費用+運転費用の合計コスト

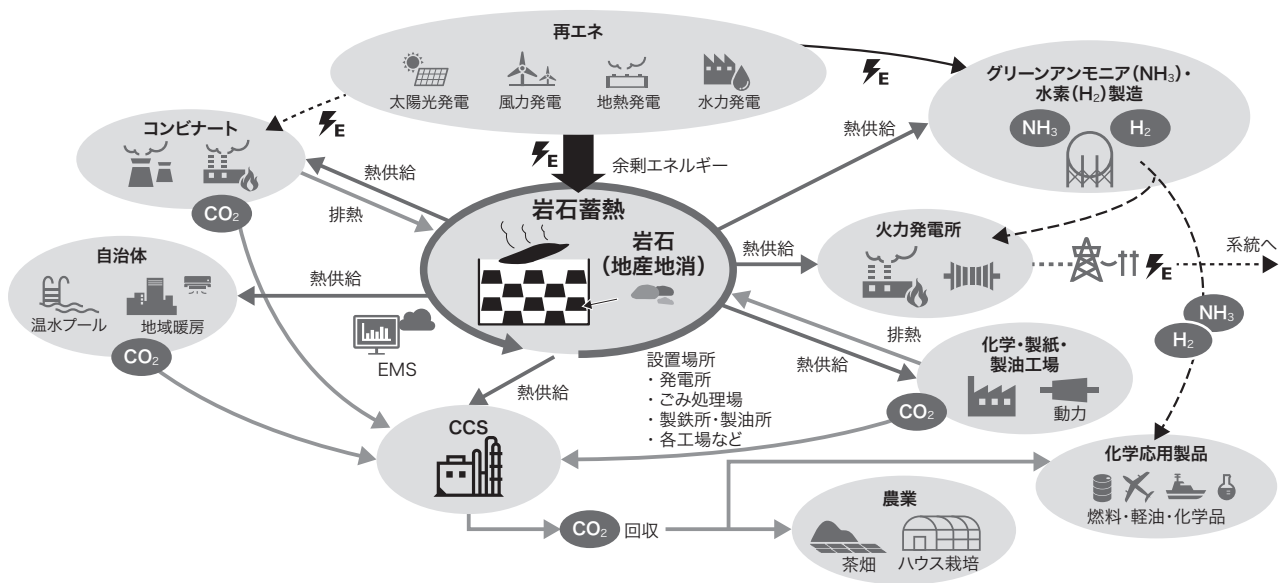


図2. 岩石蓄熱技術の事業展開先

岩石蓄熱技術で見込んでいる展開先は、火力発電所、化学・製紙・製油工場、自治体、コンビナートなど、様々である。

Conceptual diagram of future applications of rock-bed thermal energy storage technology

熱技術は、製品ライフサイクルを通じて環境負荷が極めて低く、製造時のCO<sub>2</sub>排出も限りなく少ない。また、経済性(コスト・寿命)、導入後のCO<sub>2</sub>削減効果、安全性、信頼性に有意性があり、地産地消の天然石を利用した蓄エネルギーシステムが構築可能であるため、持続可能な社会の実現に貢献できる技術である。

### 3. 岩石蓄熱技術の課題と原理検証

#### 3.1 岩石蓄熱技術の課題

図3は、蓄熱槽内の温度分布模式図、及び運用上の問題点を示したものである。岩石蓄熱では、蓄熱槽内に形成される温度勾配が高温側と低温側の温度境界となるが、蓄熱槽内の温度分布は常に変化する。蓄熱運転時は、高温空気の流入・熱交換により高温の領域が拡大し、放熱運転時は逆に低温領域が拡大する。そのため、各運転を続けていくと、蓄熱時には低温側温度の過昇温や、放熱時には供給可能な空気温度が熱需要側の要求温度を下回るようになり、運転が継続できなくなる。そのため、岩石蓄熱では、蓄熱槽内に形成される温度境界の位置・幅などの蓄熱槽内温度分布とその過渡変化の予測手法の確立が必要となる。

#### 3.2 岩石蓄熱の蓄熱・放熱特性原理検証

蓄熱槽内温度分布の予測技術の確立に向け、令和3～5年度事業により、500 kWh級試験機を構築し、当社の横浜事業所内に設置した。この試験機は、岩石を充填した蓄熱槽2台(1台は補助蓄熱槽)、送風機、電気ヒーター(空気加熱ヒーター)、冷却器、及びこれら機器をつなぐ配管から構成されており、その全景を図4に示す。蓄熱槽の蓄熱容量は500 kWh、蓄熱温度は700℃級として設計した。

この試験機の蓄熱槽内の内部構造を、図5及び図6に示す。蓄熱槽内には充填層区画が8区画あり、各区画には、任意の岩石など蓄熱材を充填可能であるほか、岩石を放射(ふくしゃ)により直接加熱するヒーターの設置も可能である。各区画の間の整流板には、3×3配列の熱電対が設置されており、整流板9か所の断面の温度計測が可能であり、主流(送風)方向、及び断面方向の温度分布の計測に加え、充填層区画両端間の差圧を計測できる。

蓄熱槽内は、岩石が多量に充填された充填層区画で構



図4. 500 kWh級試験機的全景

当社の横浜事業所内に、蓄熱槽の蓄熱・放熱特性評価用の縮小試験機を設置した。

500 kWh-class mock-up test facility

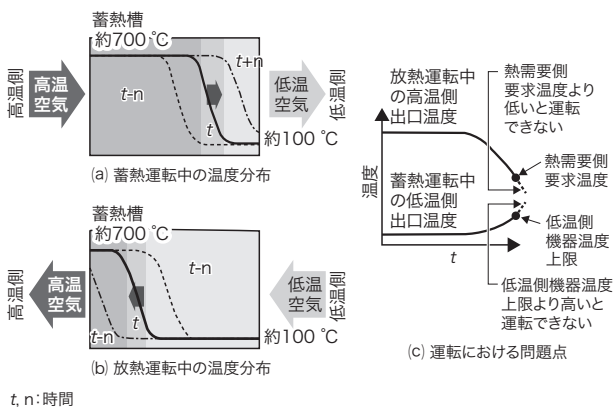


図3. 岩石蓄熱槽温度境界概念と運転における問題点

放熱時の熱需要側要求温度よりの低下や、蓄熱時の低温側機器温度よりの上昇で、運転できなくなる問題点がある。

Concept of temperature boundaries and operational issues of rock-bed thermal storage tank

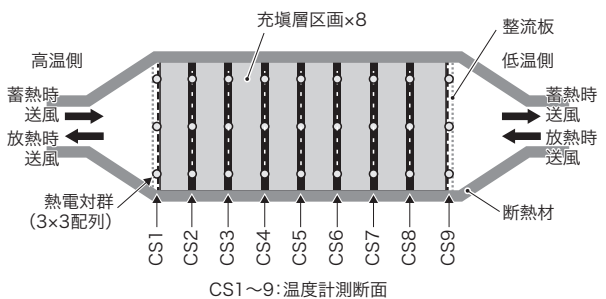


図5. 500 kWh級試験機蓄熱槽の内部構造

蓄熱槽の内部構造としては、岩石充填層が8区画ある。各区画の境界の整流板には熱電対が設置しており、断面の温度計測が可能である。

Internal structure of thermal storage tank used in 500 kWh-class mock-up test facility

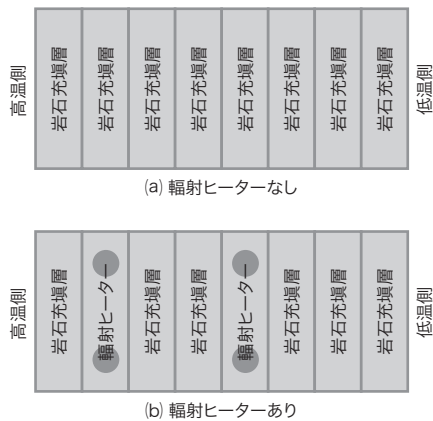


図6. 500 kWh試験機蓄熱槽内の例

蓄熱槽内の全ての区画を岩石充填層としたり、一部の区画に放射ヒーターを設置した構成としたりすることができる。

Layouts of components inside thermal storage tank with and without radiant heaters

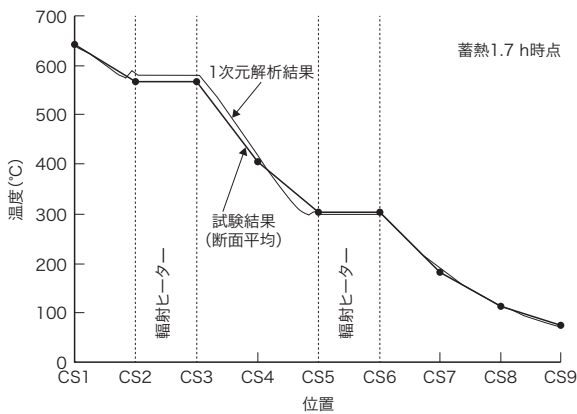


図7. 500 kWh級試験機の温度分布の試験解析結果

蓄熱開始して1.7 h経過後の蓄熱槽内温度分布に関して、試験と解析が、よく一致した結果が得られた。

Measured and simulated temperature distributions inside thermal storage tank

成され、基本的には、圧力損失や岩石と空気間の熱伝達率などについても、一般的な充填層に関する予測手法が適用できる。しかし、岩石は様々な大きさ・形状のものが混在しており、蓄熱槽内の熱流動特性に影響を及ぼす。そこで、この試験機により、様々な岩石の種類や大きさ・形状などについて、岩石蓄熱槽の蓄熱・放熱特性の原理検証評価を実施した<sup>(1)</sup>。

### 3.3 500 kWh級試験機による蓄熱・放熱試験解析結果

この試験機により、蓄熱槽内の温度分布や圧力損失と、それらの時間的推移を計測し、岩石充填層の熱流動特性を評価した。また、試験結果をよく再現する1次元及び3次

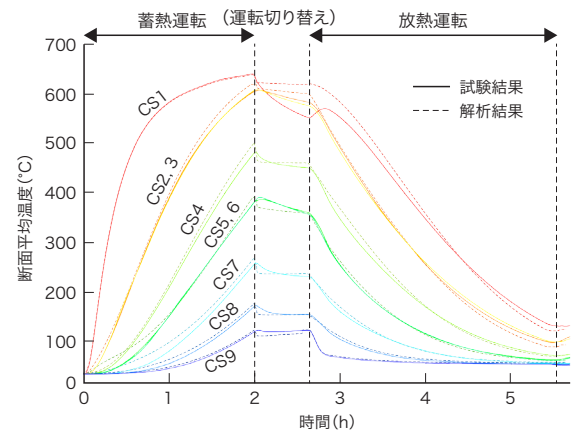


図8. 500 kWh級試験機の試験・解析における温度推移

蓄熱から放熱まで5 h運転した場合の蓄熱槽内温度分布であり、時間推移においても、試験と解析が、よく一致した結果が得られた。

Measured and simulated temperature transitions inside thermal storage tank

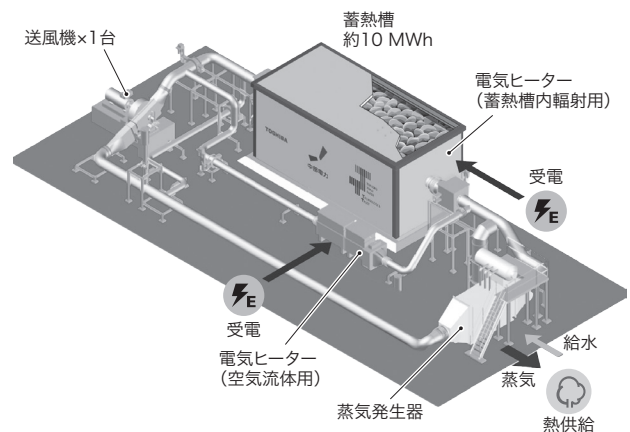


図9. 10 MWh級岩石蓄熱EMS実証機の概要

静岡県島田市で建設中の10 MWh級岩石蓄熱EMS実証機であり、2026年6月より実証運転を開始する予定である。

Rendering of 10 MWh-class demonstration system

元流体解析モデルを構築した<sup>(2)</sup>。図7は、蓄熱槽内の高温側から2及び5区画目に、岩石を充填する代わりに放射ヒーターを挿入し、空気加熱ヒーターと併用した場合の試験結果と、1次元解析結果の一例を示している。図8のとおり、蓄熱槽内に熱源であるヒーターを内蔵した場合についても、解析モデルは試験をよく再現できた<sup>(3)</sup>。

## 4. 岩石蓄熱EMS実証試験

ここでは、現在取り組んでいる、10 MWh級岩石蓄熱EMS実証試験に関して述べる。

令和3～5年度事業の成果を踏まえ、令和6～8年度事

業で、図9で示すような、社会実装規模の岩石蓄熱EMS実証機(熱容量10 MWh級)を、製紙工場(新東海製紙(株)島田工場)内に建設中である。この実証機は、熱容量10 MWh級の岩石蓄熱槽、電気出力1 MW級の電気ヒーター、熱出力2 MW級の蒸気発生器(蒸気温度180 °C)、及び送風機1台から構成されている。2024年度末より着工し、2025年8月に蓄熱槽躯体(くたい)が完成した。今後、2026年6月より実証運転を開始し、2026年度内の実証完了を予定している。

この実証機は、製紙工場内のエネルギー需要に応じて運転する計画である。自家発電設備で発生する所内余剰電力を使って、電力需要に対する電気ヒーターの出力制御により岩石を熱して、熱エネルギーを貯蔵する。所内で消費されるプロセス蒸気が不足する際は、蒸気量需要に対する蒸気発生器の出力(蒸気量)制御により、必要な蒸気エネルギーをプロセス側に供給する。

また、この実証機は、製紙工場内に設置した当社製の統括監視制御システム、及び蓄熱制御盤により、実証機の各機器(蒸気発生器・電気ヒーター・送風機など)の運転操作・制御が可能である。更には、蓄熱設備の導入効果検証のため、製紙工場内既設の動力設備(ボイラー・タービン)の運転コスト・CO<sub>2</sub>排出量を削減する経済性運転が可能なシステムとして計画している。具体的には、まず、想定される製紙工場内の電力・蒸気需要を元に、蓄熱・放熱の最適タイミングをEMSシミュレーターにより算出する。次に、算出された結果を、統括監視制御システムへ伝送し、実証機各機器の起動・負荷変動・停止を、運転員の運転実行ボタン操作だけで最適運転計画のとおり自動制御する。これらが可能なシステムとして開発しており、2026年内の実装を予定している。

## 5. あとがき

この論文では、岩石蓄熱技術に関して、当社の開発技術の概要を述べた。

将来的には、熱容量50 MWh級以上の大容量蓄熱プラント設備で、再エネの主力電源化に必要な電力の時間的不一致を解消し、電力の同時同量を実現するための蓄エネルギー技術として、社会実装していくことを目指す。

現在、令和6～8年度事業により、自治体内に熱容量50 MWh超級の蓄熱プラントの設置を想定した運用シミュレーションを実施中である(静岡県島田市及び愛知県岡崎市のそれぞれと、岩石蓄熱技術導入によるCO<sub>2</sub>削減の実現可能性を評価するための連携協定を締結済み)。岩石蓄熱設備設置により、自治体域内の電力・エネルギーの安定供

給に寄与することで、化石燃料から不安定電源である再エネへのエネルギー転換が進み、ひいてはCO<sub>2</sub>削減に貢献していく。

## 文 献

- (1) Miki, H. et al. "Feasibility evaluation and verification of Thermal Energy Storage (TES) system with Rock Bed: Demonstration Planning of the TES and Examining the Charge/Discharge Characteristics by TES mock-up test". International Conference on Power Engineering 2023 (ICOPE-2023). Kyoto, 2023-05, The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME). 2023. ICOPE-2023-1070.
- (2) Mawatari, T. et al. "Feasibility evaluation and verification of Thermal Energy Storage (TES) system with Rock Bed: Thermal and Hydraulic Calculation Modeling and Evaluation of the TES Rock Bed". ICOPE-2023. Kyoto, 2023-05, JSME. 2023. ICOPE-2023-1080.
- (3) Mawatari, T. et al. "Experiments and calculations of Thermal Energy Storage (TES) with rock bed and evaluation of radiant heater effectiveness". The 7th International Symposium on Innovative Materials and Processes in Energy Systems (IMPRES 2025). Sendai, 2025-10, The Society of Chemical Engineers, Japan (SCEJ). 2025. IMPRES2025 1C12.



三木 浩睦 MIKI Hiromutsu  
サーマル&ハイドロパワー事業部  
ヒートサイクル計画・技術部  
Heat Cycle Planning & Engineering Dept.



松崎 晃大 MATSUZAKI Akihiro  
サーマル&ハイドロパワー事業部  
ヒートサイクル計画・技術部  
Heat Cycle Planning & Engineering Dept.



馬渡 峻史 MAWATARI Takashi, D.Eng.  
総合研究所  
エネルギーシステムR&Dセンター 機械技術開発部  
博士(工学) 原子力学会・機械学会会員  
Mechanical Engineering R&D Dept.