

地熱発電プラントリスク評価システムを開発 — 酸性熱水資源の活用を進め、地熱資源の 利用促進に貢献 —

柳澤 教雄¹⁾・佐藤 真丈²⁾・大里 和己²⁾・佐倉 弘持²⁾・三ヶ田 均³⁾・長田 和義⁴⁾

1. はじめに

現在、2050年のカーボンニュートラル達成に向け、再生可能エネルギーの1つであり、日本が世界第3位のポテンシャルを有する地熱発電の発電量拡大に向けての研究開発が進められています。筆者らは、地熱発電での利用率向上に向けた技術的な課題として、地熱発電プラントにおけるスケールの付着や配管材料の腐食に着目しました。そこで、2014～2020年度にかけて、地熱技術開発株式会社(GERD)、エヌケーケーシームレス鋼管株式会社および京都大学と共同で国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「地熱発電技術研究開発」プロジェクトの1テーマとして、地熱プラントにおける材料腐食対策の指針を作成するとともに、地熱発電を行う上で高いポテンシャルがある高温の酸性熱水の利用を促進するための研究に取り組んできました。

2014～2017年度は「地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)」のテーマで、1970年代以後に当時の工業技術院東北工業技術試験所(現在の産業技術総合研究所(産総研)東北センター)で実施されたサンシャイン計画の成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究」をレビューするとともに、短時間で材料腐食挙動を測定可能なシステムを設計し、国内で酸性熱水を生じる2つの地熱地域で单相流および二相流のケースで材料腐食試験などを実施しました。その過程で、東北工業技術試験所の成果である材料腐食予測式(倉田, 1992)の検証を行いました。この予測式は流体の温度、pHおよび使用材料のCr当量(材料耐食性の指標)を用いたものですが、本プロジェクトで同一温度、pH条件では材料の腐食速度とCr当量が対応することが確認されました。

2018～2020年度は、「未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発(在来型地熱資源における未利用酸性熱水活用技術の開発)」のテーマで、2017年度までの成果をふまえ、より高温(350℃程度まで)で酸性(室温pH3程度)の地熱流体での材料腐食評価を目標としました。ただ、この試験が国内で困難であったことから、室内試験をニュージーランドの研究機関であるGNSサイエンスで、フィールド試験をアメリカカリフォルニア州のガイザーズ地熱発電地域で行いました。この試験においても上記の材料腐食予測式の検証を行っています。さらに、酸性熱水での腐食を抑制する薬剤(インヒビター)の検討や海外での材料腐食事例の情報収集、材料の寿命を考慮した経済性評価などを行いました。

この7年間のプロジェクトの成果のうち、今後地熱開発や操業を実施する地熱事業者に向けて酸性熱水の利用を拡大できるように、材料腐食速度の予測、経済性評価、腐食データベースが「地熱発電プラントリスク評価システム(酸性熱水対応版)」の形で取りまとめられました。そのシステムは2022年10月20日に、本プロジェクトの代表機関である地熱技術開発株式会社からリリースされるとともに、NEDO、地熱技術開発株式会社、産総研、京都大学の連名でプレスリリースがされました。その内容は各機関のホームページで紹介されるとともにいくつかの新聞でも取り上げられています。

本稿では、そのプレスリリースの内容、プレスリリース本文からリンク先の地熱技術開発株式会社のホームページ https://www.gerd.co.jp/image/pdf/Explanation_of_functions.pdf (閲覧日:2022年10月20日)において説明されている各機能について紹介します。

1) 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

2) 地熱技術開発株式会社 〒104-0033 東京都中央区新川1丁目22-4

3) 京都大学大学院工学研究科 〒615-8246 京都府京都市西京区京都大学桂

4) 新エネルギー産業技術総合開発機構 〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番

キーワード: 地熱発電, 酸性熱水, 材料腐食, プラントリスク評価システム, Cr 当量

2. 概要

2.1 プレスリリースの内容

地熱発電プラントリスク評価システムを開発－酸性熱水資源の活用を進め、地熱資源の利用促進に貢献－

NEDO は「地熱発電技術研究開発」において、地熱資源の利用拡大につながる技術開発を進めてきました。この成果として、地熱技術開発株式会社と産総研、エヌケーケーシームレス鋼管株式会社、京都大学は、地熱発電用の熱水が酸性であると判明した際に、発電所の建設において最適な材料の検討を支援するソフトウェア(システム)「地熱発電プラントリスク評価システム(酸性熱水対応版)」を開発しました。

従来、坑井ケーシングなどの腐食による金属材料の損傷が、地熱発電所の利用率低下や開発の断念などの要因になっています。本システムの利用により、各金属材料の腐食速度や経済性の評価が可能になり、耐腐食性能・コスト面を含めた最適な材料を選定できます。また、対象となる金属材料の腐食に関する試験データおよび関連論文から、各金属材料の事前検討を簡便に行えます。これにより酸性熱水資源の活用が進み、地熱発電所の利用率向上および設備容量の増加につながることを期待されます。

2.2 背景と実施内容

2050年のカーボンニュートラル達成に向け、再生可能エネルギーの導入拡大が望まれる中、世界第3位の地熱資源量を有する日本では、ベース電源としての地熱発電が注目を集めています。しかし、地熱開発に伴い酸性熱水(水素イオン指数[pH]5以下を想定)が生じる事例では、坑井のケーシングや地表配管、発電設備の材料が腐食・損傷し、これが地熱発電所の利用率の低下や開発の断念などの要因となっています。

1992年度にNEDOが行った「酸性熱水の対策技術等に関する調査研究」によると、日本における地熱発電に利用できる地下の熱水(高温熱水対流型資源)のうち、約13%(地熱開発会社へのアンケート)が酸性熱水である可能性があります。日本の地熱資源量は約2300万kW(村岡ほか、2008)であることから、酸性熱水資源は約300万kWとなり、この値は2021年時点での日本の地熱発電の設備容量59.3万kWの約5倍に相当します。このことから、今後の地熱資源の利用促進には、酸性熱水資源の活用に向けた技術開発が重要になると見られています。

このような背景から、NEDOは「地熱発電技術研究開発」(2013年度～2021年度)において、地熱資源の利用拡大

につながる技術開発を実施しました。その中のテーマの一つとして、地熱技術開発株式会社と産総研、エヌケーケーシームレス鋼管株式会社、国立大学法人京都大学は、「未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発(在来型地熱資源における未利用酸性熱水活用技術の開発)」(2018年度～2020年度、以下本テーマ)を推進し、地熱エネルギーのさらなる高度利用を目指した技術開発に取り組んできました。

今回、本テーマの成果を活用し、地熱開発で酸性熱水が生じた場合、最適な発電設備の材料の検討に役立つシステム「地熱発電プラントリスク評価システム(酸性熱水対応版)」を開発しました。

地熱開発を目指す事業者は、このシステムに備わった材料腐食に関する過去の知見や腐食速度の予測技術を利用することにより、地熱発電所の開発前に坑井ケーシングなどの腐食発生リスクを予見し、対策を講じる手掛かりをつかめます。また、既存の発電所においても、利用率の向上に役立つデータを得ることが可能です。

3. 今回の開発成果

3.1 機能

地熱発電プラントリスク評価システム(酸性熱水対応版)には、下記の五つの機能があります(第1図参照)。

(1) 目的とする材料の腐食速度を計算する「金属材料腐食速度試算」

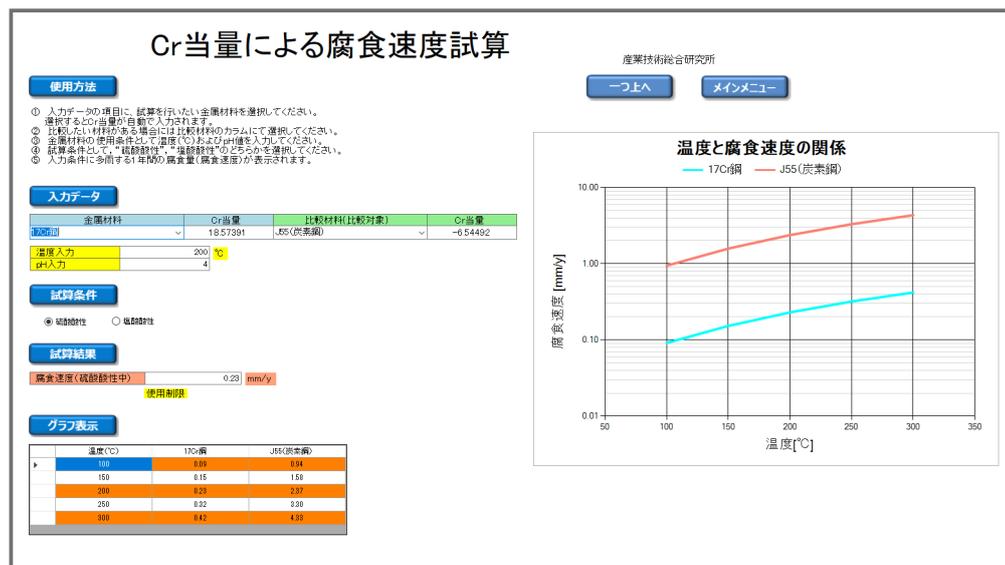
本機能は、地表での熱水分析データ、例えば、熱水の温度、pH(この他に、データがあればCl濃度、CO₂・H₂S分圧等)を入力すると、各鋼種(金属材料)に対する1年間当たりの腐食量を試算することができます。腐食速度の予測には、後述の材料腐食速度データベースに基づいた鋼種のCr当量に基づく予測式(開発:産総研、第2図参照)を用いるものと、主に本事業で取得した金属材料の腐食試験データを基に開発した実験式(開発:エヌケーケーシームレス鋼管株式会社、第3図参照)の2種類を使用することができます。前者は、Cr当量に基づくため多様な鋼種に対する試算が可能であり、後者は対象鋼種が限定されるものの、実験データに基づいた予測式であることから、式の適用範囲内では、より実際に即した試算結果が得られると期待されます。

(2) 使用可能な金属材料を示す「金属材料選定チャート」

地表で実測された、あるいは予測される熱水の温度・pHから適用可能な金属材料をチャート上で簡易に表示します。本機能では、温度とpHに対する各材料の適用範囲を



第1図 「地熱発電プラントリスク評価システム (酸性熱水対応版)」基本画面



第2図 Cr当量による腐食速度試算画面

示した材料選定ダイアグラム(第4図参照), ならびに pH, 温度, H₂S・CO₂分圧から材料を選定する材料選定フローチャートを提供します(第5図参照).

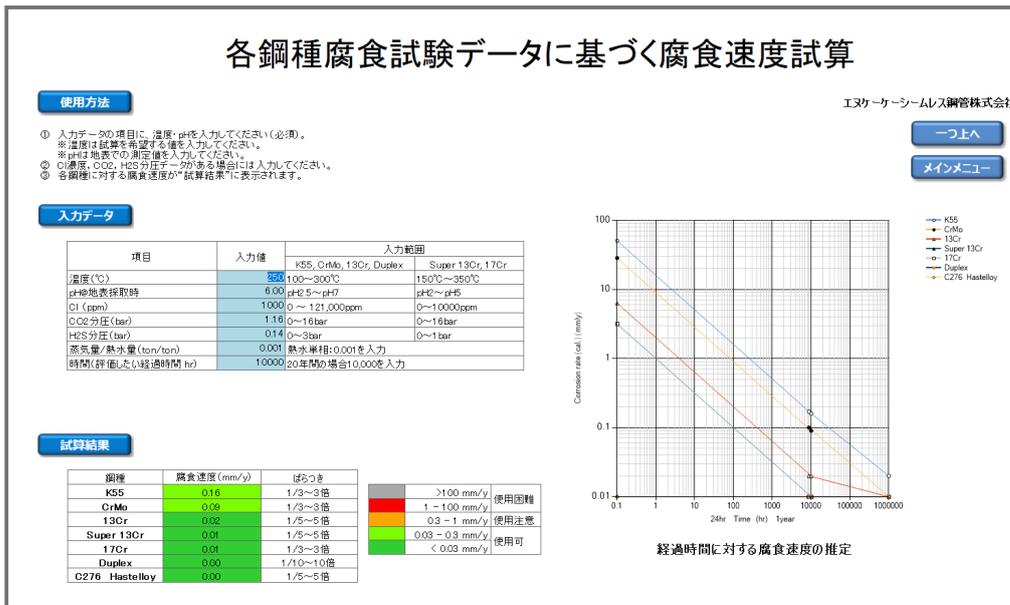
(3) 1 kW 当たりの掘削単価を計算する「金属材料による経済性評価」

本機能では, 腐食速度予測式から推定した腐食速度により材料の減肉量からケーシングの耐用年数を試算します. ケーシングの耐用年数あるいは一定期間の想定生産量に対して, ケーシングに使用する鋼材の違い(坑井単価の違い)

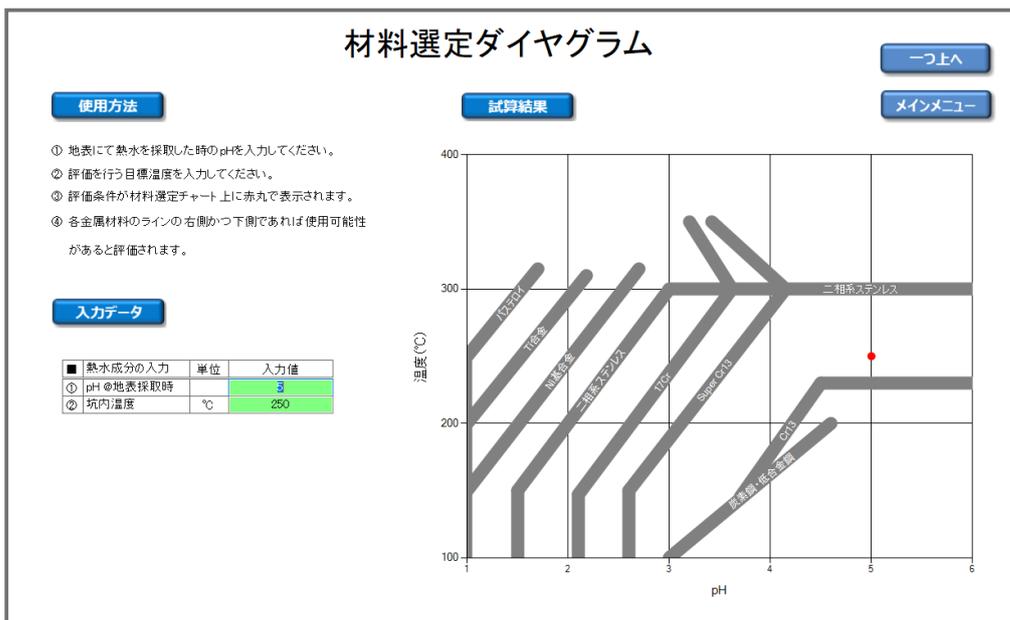
による 1 kWh 当たりの掘削コストを試算します(第6図参照).

(4) 材料腐食試験を基にグラフ化した「材料腐食速度データベース」

工業技術院東北工業技術試験所で実施されたサンシャイン計画の成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究, 1986」(工業技術院東北工業技術試験所, 1986)における腐食試験データ(公開データ)のデータベース化を行い, 各鋼材における腐食速度の pH や温度の依存性をグラフ化し



第3図 各鋼種の腐食試験データに基づく腐食速度試算画面



第4図 材料選定ダイアグラム画面

ます(第7図参照)。検索条件として、温度、pH、Cl⁻濃度、CO₂分圧、H₂S分圧が選択できます。また、腐食環境として酸性熱水、および酸性熱水に非凝縮性ガス(飽和 H₂S)を加えた条件、あるいは NaCl を加えた条件を選択することができます。

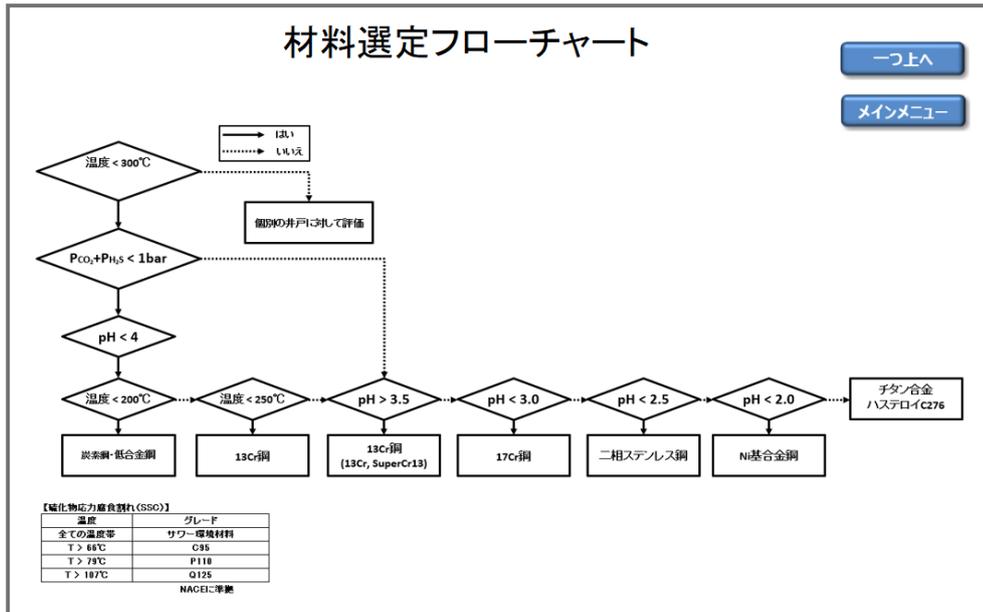
(5) 文献検索用の「腐食に係る文献データベース」

本機能は、地熱における腐食に関する公開文献(国内・海外を含む約 300 文献: 2020 年度中頃までが対象)について、キーワードや著者名、腐食試験条件(温度、pH、金属

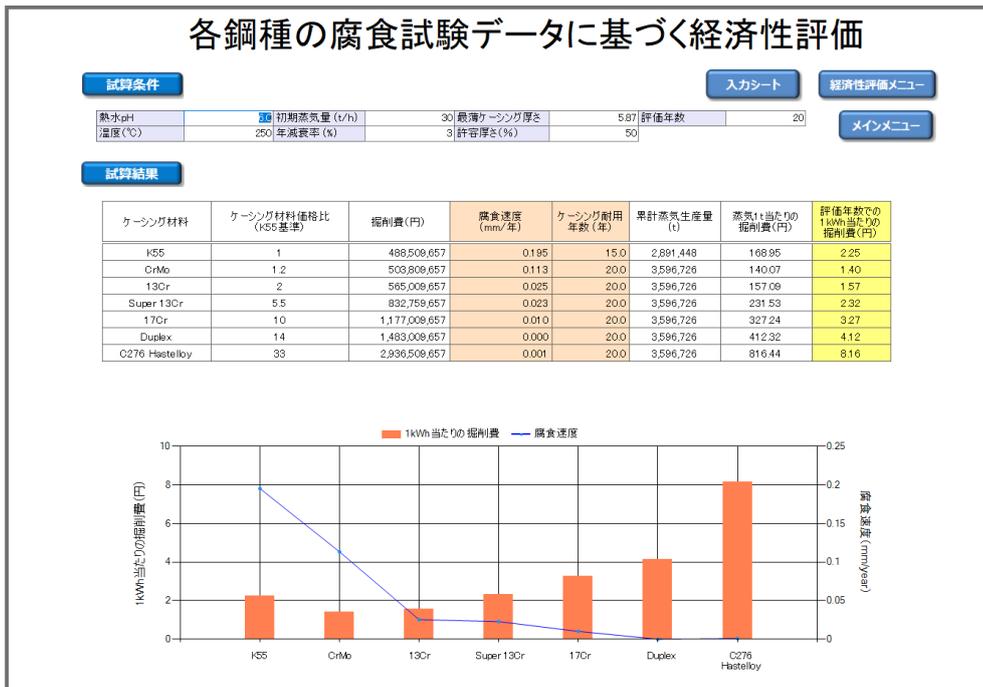
の設定)等により検索し、書誌情報を表示するためのデータベースです(第8図参照)。

4. システム活用の方向性

地熱資源の開発事業者は酸性熱水が生じると、従来はその地域での開発や坑井の利用を断念する事例が見られました。しかし、本システムを用いることにより、地熱設備に使用する金属材料の耐用年数とコストを計算し、適用可否



第5図 材料選定フローチャート画面



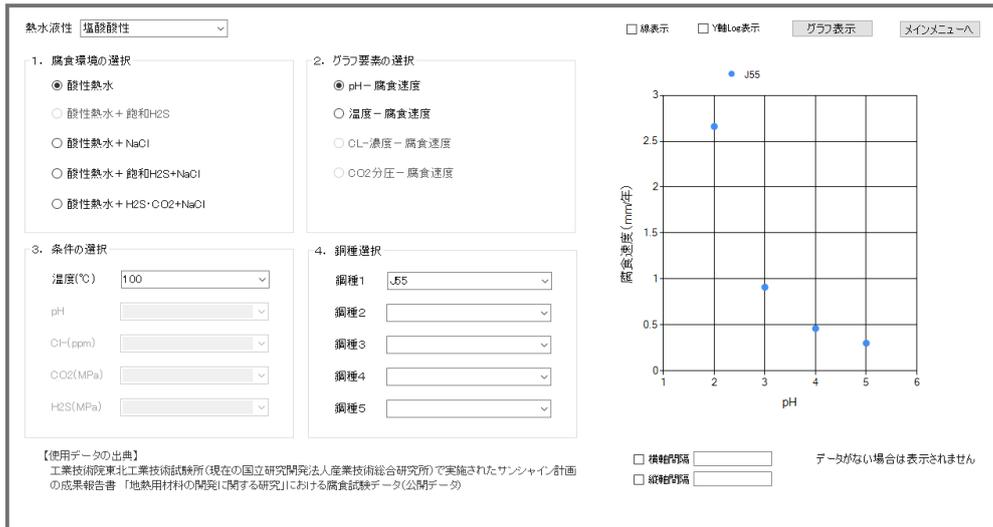
第6図 経済性評価試算結果画面

を予測することができます。これにより事業者は、酸性熱水が生じた場合も、腐食実験なしに安価で適用可能な材料を検討することができます。

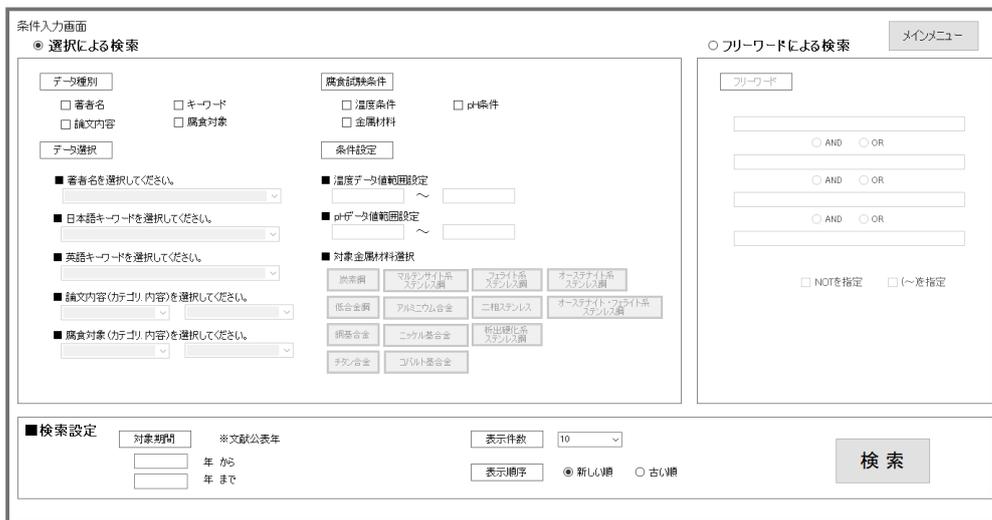
この予測結果に基づき、現地で実際に腐食試験を実施することで、耐腐食性能やコスト面で最適な材料を効率よく選定できます。これにより、酸性熱水資源の活用が進み、地熱発電所の利用率や設備容量の増加が期待できます。

5. 今後の予定

地熱技術開発株式会社は、「地熱発電プラントリスク評価システム(酸性熱水対応版)」と本システムの操作マニュアルを無償配布します。また参画機関である地熱技術開発株式会社や産総研(筆者ら)は学会・講演会などを通じて本システムの広報を行い、新たな腐食試験データや実際の坑井による腐食データなどの知見が得られた際には、腐食速度



第7図 材料腐食速度データベース画面



第8図 腐食に係る文献データベース画面

予測式の改良などを行う予定です。

文献

工業技術院東北工業技術試験所(1986)地熱用材料の開発に関する研究. 東北工業技術試験所, 235p.
 倉田良明(1992)地熱材料用腐食データベースの開発. 東北工業技術試験所報告, no. 25, 7-14.
 村岡洋文・阪口圭一・駒澤正夫・佐々木 進(2008)日本の熱水系資源量評価. 日本地熱学会学術講演会講演要旨集, B01.

YANAGISAWA Norio, SATO Masatake, OSATO Kazumi, SAKURA Koji, MIKATA Hitoshi and OSADA Kazuyoshi (2023) Development of the risk evaluation system of geothermal power plant -Promoting the utilization of acidic hydrothermal resources and contributing to the promotion of geothermal resource utilization-.

(受付: 2022年12月21日)