

帯水層蓄熱システムの効率的な運転方法に関する研究

吳, 濟元

<https://hdl.handle.net/2324/4495956>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 吳 濟元

論 文 名 : 帯水層蓄熱システムの効率的な運転方法に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

日本政府は成長戦略の柱として「経済と環境の好循環」を掲げ、2050年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにすることを宣言している。その実現のためには太陽光発電や風力発電などの変動性再生可能エネルギーの大量導入が不可欠であるが、太陽光発電の導入が進んだ九州電力管内では電力需要が少ない中間期に電力が余り発電出力を抑制せざるを得ない状況となり、電力系統において需給調整という新たな課題が顕在化しつつある。こうした中で分散型の発電設備や需要調整が可能な建物等を集めて電力需給調整を行うバーチャルパワープラント (VPP) という新たな概念が登場し、制度の整備や実証事業などが進められている。そのため、電力需要調整手法が必要とされており、その手段の一つとして蓄熱システムに期待が集まっている。

蓄熱システムの中で最も普及しているのは水蓄熱システムで、地下ピットなどに水槽を設けて冷温水を貯めるシステムである。一方、まだほとんど普及していないが、熱容量が大きいために電力需給の調整役として期待されているのが帯水層蓄熱システムである。帯水層とは、粘土層などの不透水層に挟まれた地下水で飽和した地層のことで、井戸を掘って建物の地下の帯水層に蓄熱を行うのが帯水層蓄熱システムである。日本では、帯水層蓄熱システムとしては今のところ小規模なものが融雪の目的で導入された事例が多く、建物の蓄熱システムとしての利用は試験的な導入に留まっている。今後の普及が期待される帯水層蓄熱システムであるが、これまでの帯水層蓄熱システムに関連する研究では、蓄熱効率がどの程度となるかなど蓄熱槽としての基本的な性能を把握するものに留まり、帯水層蓄熱を空調熱源システムと組み合わせた場合のシステムとしての運転方法やそのピークシフト効果、省エネルギー効果については十分に研究がなされていない。

本研究は、実際に帯水層蓄熱システムが組み込まれたオフィスビルの空調熱源システムを対象として、実測によって帯水層蓄熱システムの基本的な性能を把握した上で、帯水層蓄熱システムを含む空調システムのシミュレーションモデルを構築し、帯水層蓄熱システムの効果的な制御方法やピークシフト効果、省エネルギー効果について明らかにするものである。本論文は6章より構成される。

第1章では、帯水層蓄熱システムが普及してきた背景、地中熱利用システムの種類や帯水層蓄熱システムに関する既往研究、帯水層蓄熱システムのメリット・デメリットを示し、本研究の目的を述べた。

第2章では帯水層蓄熱システムが導入されたオフィスビルと対象地の地層について概要を示し、対象地の地盤では上部に不透水層がない構成であることを示した。また対象建物において帯水層蓄熱システムの運転実験を行い、対象システムの蓄熱効率は38.8%で、既往研究で調査されている他の帯水層と比べて蓄熱効率が低いことなどを示した。実験で得られたデータを整理して、次章で構築するシミュレーションモデルの基礎データとしてまとめた。

第3章ではシミュレーションモデルの構築を行った。帯水層は、既往研究に基づき円筒モデルで

構築し、蓄熱を行う帯水層と還元を行う層とが離れている状況を想定して、第2章で得られた実測値によってパラメータフィッティングを行うことで、実際の帯水層の応答を再現した。空調システムを構成する熱源機器、熱交換器などもそれぞれモデル化し、それらを組み合わせることで、帯水層を含む空調システムモデルを構築した。各機器について実測値を用いた精度検証を行い、十分な計算精度が得られることを確認した。

第4章では第3章で構築したシミュレーションモデルを用いて、水蓄熱システムと帯水層蓄熱システムの運転性能を比較し、帯水層蓄熱システムの効率的な運転方法を検討した。水蓄熱システムと同様の運転方法を帯水層蓄熱システムに適用した場合、蓄熱効率が低下し、エネルギー消費量が増加することを確認した。空調機に予冷・予熱コイルを導入し、帯水層蓄熱システムから直接送水する手法を取り入れる場合、蓄熱時の水温を冷房時には高め、暖房時には低めの設定とすることで、熱源効率および蓄熱効率を向上できることを示した。また、対象とした帯水層のように蓄熱を行う層と還元を行う層とが異なる場合には、地下水自体が持つ熱も空調に利用できるメリットが得られ、より大きな省エネルギー効果が期待できることを示した。冷房時に14℃で帯水層に蓄熱するケースでは、水蓄熱システムに比べ電力消費量を20%程度削減できる結果となった。同様に、暖房時は25℃で帯水層に蓄熱するケースで10%程度電力消費量を削減できることを示した。

第5章では第4章の検討結果に基づき、帯水層蓄熱システムと予冷・予熱コイルを組み合わせるシステムの運転方法について、揚水速度、蓄熱温度と時間、空調機の予冷・予熱コイルの設定温度に関するケーススタディを行い、適切な制御手法を検討した。冷房運転、暖房運転共に3時間程度の短い蓄熱時間とし、放熱時間を長く確保することで地下水自体が持つ熱も空調機での予冷・予熱に利用でき、蓄熱による夜間移行の効果（昼間の電力消費量を削減する効果）が得られることを明らかにした。対象とした帯水層のように層内での水の混合により水温の変化が起りやすい場合には、汲み上げ温度が変化しても予冷・予熱コイルでの送水温度を保てるように流量を制御することで、より長い時間予冷・予熱運転を行えることを示した。

第6章では各章で得られた成果を要約して総括とした。