

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24404024

研究課題名(和文) 熱帯地域でも普及可能な超低価格地中熱冷房システムのインドネシアでの実証研究

研究課題名(英文) Experimental study at Indonesia for very low cost geo-heat pump system possible to disseminate to tropical countries

研究代表者

高島 勲 (TAKASHIMA, Isao)

秋田大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：50163192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシアのバンドン工科大学に水平配管による熱抽出システムを構築し、通常のエアコンを改良した冷房システムを運転した。このシステムにより電力消費は約25%減少し、省エネルギー性能が確認された。運転に伴う地下の温度上昇は少なく、長期にわたる安定性も確保された。使用装置や技術はすべてインドネシアで確保でき、コストも現在の市場価格の10分の1以下となった。このシステムを冷房需要の大きな熱帯地域に導入し省エネルギーを推進することにより、地球温暖化防止に多大な貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Geo-heat pump system using horizontal thermal coupling and modified air conditioner are operating at Bandung Institute Technology, Indonesia. This system attains 25% shortage of electricity. Underground temperature is almost stable which grantee for long term good operation. Facilities and technique are all prepared at Indonesia. Then the cost of system becomes less than 1/10 for conventional cost. It is very hopeful result to keep earth environment good for introduction of this system to tropical countries where power consumption for cooling is very big.

研究分野：地質学的手法による地熱探査・利用法の研究

キーワード：地中熱冷房 熱帯地域 インドネシア 省エネルギー 地球温暖化防止 地熱多目的利用

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が顕著に現れはじめたことから、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換が進められるなど、大きな転換点にある。これらの動きのなかで、省エネルギーは基本的にエンタルピーを増加させないという大きな利点を持ち、導入が期待されている。地中熱利用による冷暖房システムは欧米諸国や中国などの寒冷地を主体に開発が進められ、普及が加速している。一方、熱帯地域の冷房需要は増加の一途を辿っており、その消費電力を抑制することは重要である。このような観点から、熱帯地方の大国であるインドネシアで基礎実験を企画した。

熱帯での地中熱利用は基本的に冷房のみであり、地下温度も高いことから導入そのものに否定的な意見が多かった。しかし、熱帯地域で初めての地中熱冷房研究がタイで実施され、適用が可能であるとの研究成果も得られていた。そのような情勢から、タイでの研究と連携して実験を開始した。

2. 研究の目的

熱帯での地中熱利用の問題点は地下温度と大気温度との差が小さく、有効な効率向上が図れるかどうかという点と、冷房のみの利用のため地下温度が一方向的に上昇して地下環境が悪化する可能性があるかもしれないという疑問に答えることである。また、価格面でも無理なく導入できる程度の低価格を実現する必要がある。

熱帯地方では地下温度もかなり高くなっているが、数mの深さが相対的に低温である。従って、2m程度の浅部に水平配管した熱交換システムが有利となる。このシステムはボーリング不要なので、價格的にも望ましい。このような浅部システムの熱交換効率の評価と地下環境変動の予測が基本的な研究目標である。

また、普及可能な価格達成のため、現地の機材を利用する手法を追及した。

3. 研究の方法

インドネシアのバンドン工科大学構内に深さ 1.5m、長さ 200mの水平配管による地中熱交換システムを設置し、性能評価、地下環境変動測定のために温度、流量、土壌水分量の連続観測システムを構築した(図1)。

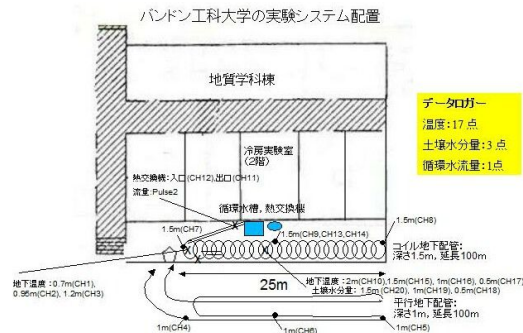


図1 システムと計測系の配置

配管素材は 32mm 径のポリエチレン管で、現地調達が可能である。

このシステムでは地下循環水を冷房の熱源とするため、市販のエアコンのファンによる大気との熱交換部分を切り離して冷媒を直接冷却する液体-液体の熱交換器に置き換える改造を行った(図2)。これにより、現地で入手可能な機材で実験が可能となるとともに、コストを大幅に低下させることができた。初期には同軸型を使用したのが、内部の腐食により使用不能となった。その後は効率の良いプレート式に置き換え、同時に地下循環水に不凍液を使うことで防食機能を持たせた。

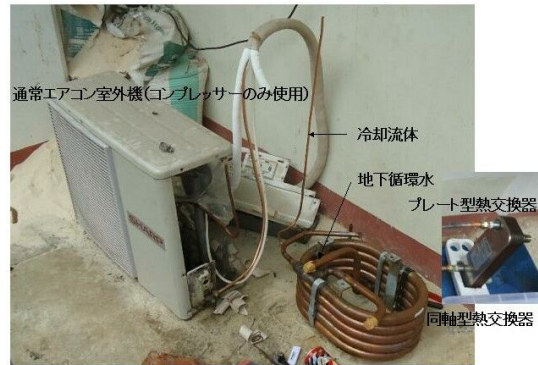


図2 熱交換器による地中熱冷却への改造

室内機については、通常のエアコンと全く同じであり、リモコンで地下循環ポンプを含むすべての装置が制御できる。本研究では、システムの効率評価法として同じ出力の通常エアコンとの消費電力比較を採用した。実験室内の両端部分に設置された2台の室内機を同時に作動させ、積算電力計で消費電力を記録して比較した(図3)。



図3 2台の冷房室内機と積算電力計

なお、バンドンは高原都市で典型的な熱帯気候とは異なるため、海岸地域であるジョグジャカルタのペマバングナン大学で補助的な地下温度測定を行った。同大学構内の4点でハンドオーガーにより2m深の観測孔を作成し、定期的に地下温度を測定した。この結果は、今後のシステム設計に利用されるものである。

4. 研究成果

(1) 運転実績と効率向上評価

システム設置は2012年7月に完成し、その後継続的に運転が行われた。運転およびデータ取得は共同研究者のバンドン工科大学グループの大学院生が担当した。運転は、週日の原則朝9時頃から午後4時頃までである。本来は、研究全期間を通じた運転を企画したが、ポンプ故障や熱交換器破損等でやむなく休止した期間もある。しかし、安定した運転データから地下入口と出口温度、消費電力が記録された。図4はその一例であり、熱

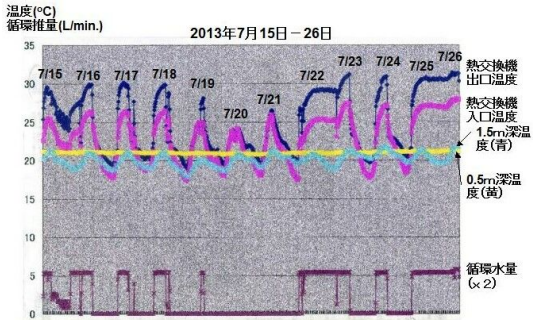


図4 システムの運転データ

交換器入口と出口温度に3 - 4 程度の温度差があり、地下循環水量 10L/分から計算されるエネルギー量は 2.1-2.8 kWとなる。この値は1台のエアコンの運転に十分なものであり、有効に地中の熱が利用されていることが実証された。また、地下温度も循環パイプに近接した 1.5m深温度でも運転休止時には元の温度に戻っており、配管から 1m離れた 0.5m深温度は全く変動していない。より長期の地下環境変動については次項で詳述するが、12日間の運転では温度変動はほとんどないと判断される。

本研究では消費電力の評価として2台の同等なエアコンの運転を比較している。図3で示した設備により、2台の電力消費を計測した。この結果、約25%の効率向上が期待される(表1)。

表1 地中熱と通常エアコンの効率比較

2013年5月29日 (9:15-15:15)	2013年5月30日 (9:55-15:25)
システム A(地中熱) 3.98kWh B(通常) 5.35kWh	システム A(地中熱) 3.38kWh B(通常) 4.52kWh
効率係数 A/B=0.74	効率係数 A/B=0.75

地中熱エアコンの効率評価で重要なことは、熱交換システムの違いによる冷却効率の差である。これまでの常識として、地下温度と大気温度の差が少ない熱帯地域での地中熱利用はメリットがないと考えられてきた。しかし、本研究やタイでの実験結果から、効率に係わる温度差以外に、熱交換(冷却)シ

ステムの違いによる効率への影響を考慮する必要性が提起された。タイでは、気温が地下温度より低い場合でも地中熱システムの効率が低いという結果が報告されている。同様のデータは日本でも得られており(地中熱利用促進協会 笹田政克氏提供)その説明として図5のような熱交換(冷却)効率の違いが考えられる。

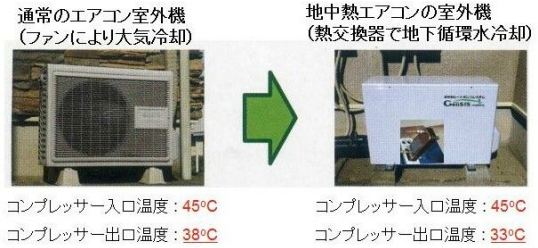


図5 方式の違いによる冷却効率変化

本研究やタイでの実績から、熱帯における地中熱冷房が十分な効率上昇を見込むことができると判断される。

(2) 地下環境変動予測

地中熱利用に伴う地下環境変動の予測は、地表の植生影響や効率保持の観点から重要な問題である。本研究では、多数の温度測定点を設置したが、比較的狭い範囲、かつ約2年という短期のデータ取得(図6)にとどまっているため、実用システムの運転期間である数十年オーダーについての十分な予測は困難である。

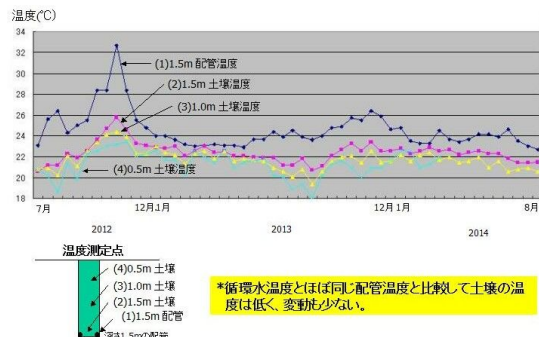


図6 実験時の連続地下温度変動

実験時の連続温度データからは、配管に密着させた点のデータ(循環水温度に近い)が著しく上昇した2012年10月頃(連続運転のため)を除き、平日中のみの間歇運転では循環水の温度上昇は少なく、地下温度も配管から1m離れた0.5mでは運転による影響より気温の変動に支配されている。今回の実験は1部屋1台の冷房機器運転のため、地下環境評価には負荷が不足していたことになる。タイで行われた実験でもほぼ同様の結果が得られており、家庭での小規模利用では地下の温度環境の変動はほとんどないと予想される。なお、同時に測定していた土壌水分量は1m深のデータで30-40%体積容量の範囲にあり、地下温度との相関関係を認めることはできなかった。

1.5-2m深の地下温度を観測したジョグジャカルタのペマバングナン大学では、比較的日照が少ない中庭の3点が27 前後、建物の外側では28 前後と約1 の温度差が認められた。熱帯では1 という温度差は重要であり、可能であれば日照の少ない地点を地下配管の候補とするのが望ましいとの結論が得られた。

(3)経済性と普及促進

本研究計画では、システムのコスト低減も大きな目標である。地中熱システムで最も高い経費となるのは掘削、次いでヒートポンプによる冷却機器である。熱帯の地下温度は4-10m付近が最も低く、それより深くなれば温度が上昇する。従って、50-100mの掘削を行うことはコスト以外に温度としても不利になる。水平配管による抽熱は欧米でもある程度普及しており、コスト削減に大きく寄与している。バンドン工科大学のシステムでは、掘削を人力により実施し、コストを削減し施工場所の制約を少なくしている。また、ヒートポンプを市販エアコンの改造で調達した。このように、高価格の2大要素を乗り切ることによって、システムの価格は劇的に低下し、下記のようなデータとなった(通貨換算は2012年7月)

掘削(25×0.8×1.5m)	:Rp3,500,000 (30,100円)
PEパイプ(200m)	:Rp1,200,000 (10,300円)
循環ポンプ(130W)	:Rp 342,500 (2,900円)
水槽(150L)	:Rp 279,800 (2,400円)
塩ビ配管当	:Rp 500,000 (4,300円)
熱交換器	:Rp 6000,000 (52,000円)
計 (1Rp=0.0086円)	<u>102,000円</u>

日本では2010年のやや古いデータだが、住宅の設備費として290-380万円(地中熱利用促進協会ホームページ)という価格が示されている。この価格は、暖房を含む数部屋の総設備費であり単純な比較はできないが、掘削なしで現地で装置を調達できれば無理のない価格で導入促進を図ることができると予想される。

本研究の実施中に、実験地であるバンドンに本部のある西ジャワ州エネルギー・鉱物資源開発公社が地中熱冷房システムの導入を企画した。この計画にバンドン工科大学とともに全面的に協力し、システムを完成させた。このように、今後の普及に明るい見通しが得られている。

(4)今後の展望

熱帯地方での地中熱冷房システムの研究は、産業技術総合研究所やCCOP(政府間機関である東・東南アジア地球科学計画調整委員会)を主体にタイで精力的に進められてきており、本研究代表者もメンバーとして参加してきた。CCOPは2014年3月の総会時にバン

ドン工科大学のシステムを見学し、意見交換を行った。その結果、今後も東南アジア全域で地中熱利用を推進することとなった。現在はタイのチュラロンコン大学と共同でバンコクの同校敷地内で実験が進行中である。

本研究の総括的な報告会が、2014年10月に青森県弘前大学で開催された日本地熱学会学術講演会で行われた。この報告会で、これまでほとんど関心のなかった日本の企業や研究者が興味を持ち、積極的に研究や事業展開を検討する動きがでてきている。

インドネシアについては設置したシステムを利用した基礎データの取得を行い、これまでのデータを生かして、活発化した熱帯地域での地中熱利用活動と連携して研究を続ける予定である。

<引用文献>

- Yasukawa, K., Takashima, I., Uchida, Y., Tenma, N. and Lorphensri, O., Geothermal heat pump application for space cooling in Kamphaengphet, Thailand, Bull. Geol. Surv. Japan, vol.60, 2009, 491-501.
Tenma, N., Yasukawa, K., Takashima, I., Uchida, Y., Lorphensri, O. and Zyvolosky, S., Surface thermal influence of experimental geothermal heat pump system operation for space cooling in Kamphaengphet, Thailand, Bull. Geol. Surv. Japan, vol.60, 2009, 503-509.
Takashima, I., Sumintadereja, P., Suparka, E. and Sucipta, E.I.G.B., Indonesian first geo-heatpump system application for space cooling in Bandung, Proc. 1st International Seminar of Environmental Geosciences, 2013, 36-43.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

- Takashima, I., Sumintadireja, P., Suparka, E. and Sucipta, E.I.G.B., Indonesian first geo-heatpump system application for space cooling in Bandung, Proc. 1st International Seminar of Environmental Sciences, 査読無, 2013, 36-43.

[学会発表](計5件)

- 高島勲、インドネシアバンドン工科大学の地中熱冷房システムについて、日本地熱学会オーガナイズドセッション、2014年10月31日、弘前大学(青森県弘前市)
Takashima, I., Feasibility study on GHP system in tropical Asia from the experimental data of Thailand and Indonesia, Seminar on Task of

IEA-Annex VIII、2014年10月19日、産業技術総合研究所福島再生可能研究所（福島県郡山市）

高島勲、インドネシアで初の地中熱冷房の実証研究、日本地質学会西日本支部例会、2013年6月9日、雲仙岳災害記念館（長崎県島原市）

Takashima, I., Geothermal development strategy of Thailand, CCOP Geothermal Seminar, 2013年5月23日, Petroleum Authority of Thailand (Bangkok, Thailand)

高島勲、浅部水平抽熱システムによる地中熱利用設備と運転実績 - タイ・秋田・インドネシアの例、日本地熱学会、2012年10月24日、湯沢文化会館（秋田県湯沢市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高島 勲 (TAKASHIMA, Isao)

秋田大学・名誉教授

研究者番号：50163192

(2) 研究分担者

尾西 恭亮 (ONISHI, Kyouzuke)

秋田大学・国際資源学部・助教

研究者番号：20402969

(3) 連携研究者

西川 治 (NISHIKAWA, Osamu)

秋田大学・国際資源学部・講師

研究者番号：90375220

(4) 研究協力者

小助川 洋幸 (KOSUKEGAWA, Hiroyuki)

秋田大学・国際資源学部・技術専門員

(5) 研究協力者

SUPARUKA, Emmy

バンドン工科大学・地球科学技術学部・教授

(6) 研究協力者

SUMINTADEREJA, Prihadi

バンドン工科大学・地球科学技術学部・准教授

(7) 研究協力者

YUDINANTORO, Fitri

ペマバングナン大学・鉱物技術学部・講師