

黒石市地中熱利用
ポテンシャル調査事業報告書

平成 23 年 3 月

黒 石 市

第1章 調査事業の目的	1
1.1 調査の社会的、時代的背景	1
1.2 調査の趣旨・目的	3
1.2.1 地域再生と再生可能エネルギー	3
1.2.2 地域再生と地中熱エネルギー	4
1.3 いちごについて	5
1.4 地熱資源の活用状況	8
1.4.1 融雪の利用例	8
1.4.2 冷暖房・融雪利用の例	9
1.4.3 ハウス農業利用の例	10
1.4.4 農業への温泉熱利用例	12
第2章 黒石市の地域特性	14
2.1 自然条件	14
2.2 人口と産業	15
2.3 観光	22
2.4 エネルギー消費	23
第3章 地中熱調査	26
3.1 サーマルレスポンス試験の概要	26
3.1.1 一般的に行われているサーマルレスポンス試験	26
3.1.2 今回採用したサーマルレスポンス試験方法と理由	28
3.2 サーマルレスポンス試験の地点と掘削方法の選定	31
3.2.1 地点の選定ならびに掘削方法の選定	31
3.2.2 サーマルレスポンス試験の実施スケジュール	32
3.3 サーマルレスポンス試験結果	35
3.3.1 地点の特徴	35
3.3.2 各地点の試験データ	37
3.4 地中熱調査結果	48
3.4.1 はじめに	48
3.4.2 平均有効熱伝導率の解析方法	50
3.4.3 黒石市 20 地点における平均有効熱伝導率の解析結果	51
3.4.4 黒石市 19 地点におけるサーマルレスポンス試験結果	55
3.4.5 光ファイバーケーブルを用いた不均質地層における有効熱伝導率の推定のための温度挙動解析	94
3.4.6 U字型熱交換井における不均質地層の有効熱伝導率の解析結果	97
3.4.7 地中熱交換井の単位深度あたりの採放熱量の推定－融雪暖房時を例として－	107
3.4.8 参考文献	109
3.5 地中熱調査のまとめ	110

3.5.1	実施時期の課題	110
3.5.2	試験孔掘削に関する課題	110
3.5.3	試験装置の課題	110
3.5.4	解析上の課題	110
第4章	地熱ポテンシャルマップ	111
4.1	マップ製作概要	111
4.2	黒石市の地形・地質	111
4.3	地下温度マップ	111
4.4	地下水位マップ	116
4.5	有効熱伝導率マップ	118
4.6	深度 50m で 100°C に達した N22-KR-8 号井の考察	118
4.7	地熱ポテンシャルマップのまとめ	122
第5章	黒石市地中熱利用実証試験	123
5.1	実証試験概要	123
5.1.1	ヒートポンプレス地中熱直接利用融雪	123
5.1.2	コンバートヒートポンプによる高効率地中熱利用冷暖房野菜栽培	123
5.2	地中熱ロードヒーティング試験結果	125
5.2.1	ヒートポンプレス地中熱利用駐車場実証試験概要	125
5.3	コンバートヒートポンプ概要	128
5.3.1	温冷風用コンバートヒートポンプ概要	128
5.3.2	温冷水用コンバートヒートポンプ概要	129
5.4	コンバートヒートポンプ性能	130
5.4.1	温冷風用改造エアコン性能実験	130
5.4.2	水冷式コンバートヒートポンプと空冷エアコンの比較実験	130
5.4.3	温冷水用コンバートヒートポンプの性能	131
5.5	地中熱利用温室栽培試験結果	132
5.5.1	実験概要イチゴ栽培ハウスでのコンバートヒートポンプによる地中熱利用暖房栽培 実験概要	132
5.5.2	実験結果	133
5.6	地中熱利用温室栽培経済性評価	136
第6章	地熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会	138
6.1	ポテンシャル検討委員会構成・日程	138
6.2	事業推進体制	142
6.3	地域における今後の地熱利用事業展開方針	142
6.4	地域における今後の地熱利用事業の問題点	143
第7章	まとめ	145
7.1	本調査の結果を踏まえた地中熱利用の可能性	145

7.2	地中熱利用に向けた課題及び今後の事業展開の方向	145
7.3	地熱利用による地域産業創出の可能性及び将来展望	146
	資料	147

第1章 調査事業の目的

1.1 調査の社会的、時代的背景

最近地域間の所得格差は開く一方で、平成19年度の青森県の県民所得は243万3千円で、全国平均305万9千円の約8割まで落ち込んでいる。平成22年12月の有効求人倍率も全国0.57倍に比べて青森県は0.42倍でしかなく全国最下位を低迷している。そのため県外への人口流出は増加し、人口増加率も平成22年の国勢調査の結果では、前回平成17年の調査よりも4.4%減少している。しかし平成19年の世界金融危機以降状況は変わり、平成20年から人口減が増加に転じ始めている。すなわち転出先での職がなくなり戻り始めたことを意味している。しかし戻ってきた青森にはもちろん職もない。今世界中を巻き込んでいる経済危機は今まで経済を主導してきた市場原理主義の破綻という未曾有の経済危機と言ってよく、今までの延長線上では考えられない深刻な状況にあると考えられる。その意味では地域の将来には大きな暗雲がたち込めているといっていいたいだろう。

それではこの経済危機の実態は一体何なのだろうか。それは産業革命以来の化石燃料の大量消費による、消費物質文明の転換を意味するものと考えられる。化石燃料は、エネルギー密度が高く低価格であり、エネルギー源・原材料として生産性が高い。この生産性の高さにより、産業革命以来産業は急激に増大し、都市化が進展し、人口増大をもたらした。しかし反面、地球温暖化や安全保障そして都市と地方、持てるものと持てないものの格差拡大という問題をもたらした。すなわち今までの石油依存体質の限界が顕在化してきているのであり、いまやエネルギーにおける構造的変革が迫られているものと考えられる。

2004年あたりから始まった原油価格上昇は、リーマンショック後の投機的動きによって未曾有の高騰となり、その影響は地域における第一次産業において大きな打撃を与え、現在でもその余波は大きく農業・漁業に大きな暗雲となつてのしかかっている。

一時原油高騰は収まったが、中国・インドなどアジアの発展途上国での需要は伸びる一方であるのに対して、供給側の大油田の発見がないことなどから、長期的には原油価格の上昇は避けられない問題として考えなければならない。

しかしこれらの課題は、いままでの化石燃料を基盤とした経済市場原理主義の延長の上では解決できるものではなく、新しい産業骨格の基本的転換の上に立たなければ解決できない問題である。

コロラド大学のPielke教授によると、「オバマ大統領が手本としているグリーンジョブ（新エネルギーによるジョブ）については、スペインの経験を踏まえると、4つのジョブを作り出す毎に9つのジョブを失う。」とある。このことは新エネルギーの持つ側面として見落としてはならない点を指摘している。すなわち「地球温暖化対策として化石燃料の使用を抑えると9つのジョブを失うことになる。その代替エネルギーとして新エネルギーを使用すれば、同じ資金では4つのジョブしか生み出さない。」ということでジョブ（雇用）は減りますよということの意味している。上に述べたように化石燃料はエネルギー密度が高くまた低価格でもあり、エネルギー源・原材料として生産性も高い。その化石燃料の代替

エネルギーとしての新エネルギーが高くつくのはやむを得ない。「この4のジョブをより多くのジョブにすることが今後の課題である」と解釈すべきである。

しかしグリーンジョブの最も重要な観点はnew deal＝富の再配分という点にある。エネルギーと食料の安定供給の確保は、最も基本的な政策課題であるが、現在の我が国におけるエネルギーの生産・供給は、大規模発電による「エネルギー中央集権型」ともいうべき状況であり、エネルギーの供給構造は、富や権限が一極集中する社会構造を形成している。すなわち、全ての地域において、密度が高く安価な原子力や化石燃料による大規模発電による電力を、巨額の投資により構築した送電網等を通じて、都市へ輸送することによって大都市集中の産業構造が成り立っている。

一方供給源が地域に分散している新エネルギーは密度が薄いので、コストの面から輸送によって都市などに集中できない。特に低温の熱エネルギー等は、分散した地点から長距離の輸送にはロスが大きすぎて都市へ集中は不可能である。したがってこれら分散したエネルギーは、供給地での直接利用が極めて重要となる。すなわちこれら密度の薄いエネルギー源の分散は、富の集中から分散へ、都市から地域へ、グローバル化からローカル化へ進む力となり、ここに地域再生の道がある。すなわち生産性は低くなっても、富の集中から富の平準化へと変わり、これが地域再生につながり、ひいては持続可能な社会の創出に導くということになる。

たぶんこのグリーンジョブによる富の平準化が、“有限な”地球の上で人類が生き延びていくためのカギであり、これからの新しい産業骨格となるべきものであろうと考えている。

1.2 調査の趣旨・目的

1.2.1 地域再生と再生可能エネルギー

化石燃料からの脱却が避けられないエネルギーの大転換期において、日本が立ち向かうべきものとして

- ◆ 食糧・資源・エネルギーの安全保障
- ◆ 資源エネルギー食料は海外から買うという産業骨格の基本転換
- ◆ 内需拡大
- ◆ 自立経済への道
- ◆ 若い世代が希望を持って働ける付加価値の高いJOBの創出
- ◆ 新たな富の獲得と分配
- ◆ 地域価値の再評価
- ◆ 自然資本最大活用
- ◆ 我が国の地形・地勢によって恵まれる土地、水・森林・海洋の超高度な潜在能力の活用最大化
- ◆ 地域創生～地域GDPの拡大
- ◆ 農林水産業の復興生産活動により雇用消費人口拡大
- ◆ 農商工連携

等が挙げられる。すなわち日本の再生は、地域、自然の再生に深くかかわっているといえる。

上に述べたように再生可能エネルギーは密度が薄く広く分散しているため、地産地消型の利用が有効で、その有効利用は本事業の「緑の分権」趣旨、すなわち、クリーンエネルギー資源を最大限活用することにより、地域の活性化を図り、「分散自立型・地産地消型社会」、「地域の自給力と創富力を高める地域主権型社会」の構築にもっとも適ったものと言える。

また青森県においては、バイオマス・風力・地熱・海洋エネルギーなど全国有数の豊富なポテンシャルを有している。この青森県における豊富な再生可能エネルギーを使い、第一次産業を含めた新たな産業の創出が大いに見込まれる。

1.2.2 地域再生と地中熱エネルギー

地中熱エネルギーは

1. 深さ10～100m程度の深さで
2. 夏冬通じて定常的に
3. 日本中、南北の差がなくどこでもほぼ同じ温度（～10℃）の熱が得られる。

ので、青森県などの積雪寒冷地においては、融雪への利用は有効な役割を果たす。

また夏におけるエアコンなどのヒートポンプによる冷房、冬における暖房においては、一般に利用されている空気熱交換による方式と比べて、夏では外気の30℃に対して13℃、冬では外気のマイナス温度に対して13℃の熱源が使えるので、ランニングコストは大幅に有利となる。

現在農業では、ビニールハウス栽培において、暖房にかかる重油の高騰が農家を圧迫して生産量を増やしたくても増やせない状況にある。このハウス暖房費の克服は農業にとって緊急課題である。

さらに付加価値の高い農業生産物としては、夏における冷涼栽培の農業生産物が挙げられる。南方の暑い地方と比べて、冷涼な気候の青森県で冷涼を好むイチゴは高い値段で売れ、商品作物として新しい産業創成が大いに見込まれる。暖房に引き換え、冷房はヒートポンプでのみ可能で、その際冷熱による熱交換がきわめて有効であり、ランニングコストが低くてすむ。大気より20℃近く低い地中熱の利用は生産コストを大幅に下げることが可能とする。

このように地中熱の利用は、都市における融雪・暖房等への適用だけでなく農業への適応も大いに有望であり、新たな産業創出が期待される。

青森県では、県内に豊富に賦存する再生可能エネルギーである地熱エネルギーを、住宅・事業所・農業ハウスでの地中熱利用暖冷房や融雪、温泉熱利用暖房・給湯等、様々な分野で活用することにより脱化石燃料を進めるため、平成19年度に「青森県地中熱利用推進ビジョン」を策定している。

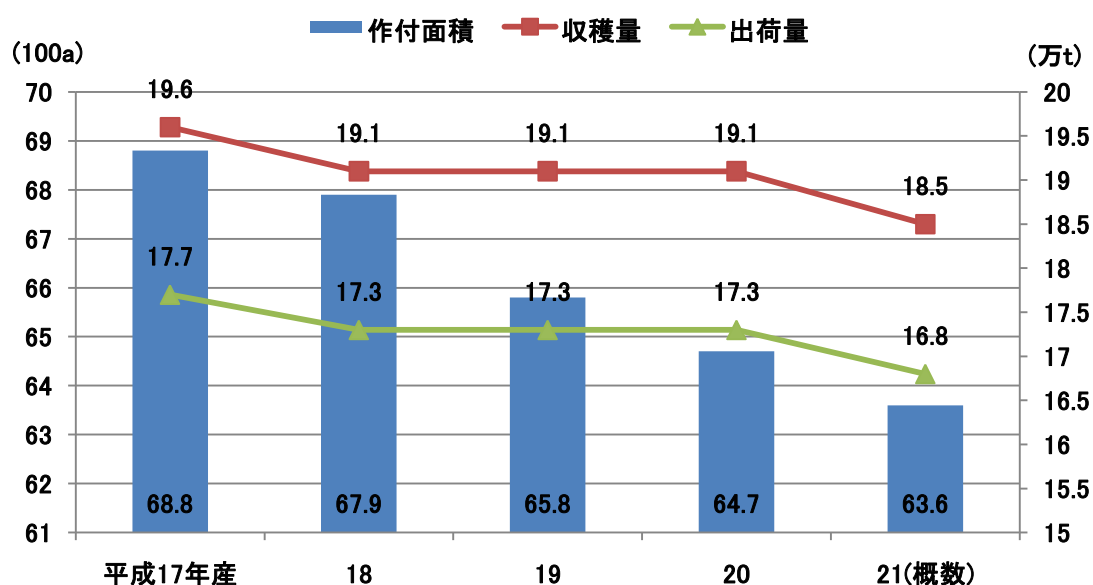
今後、より一層の地中熱・温泉熱の普及拡大を図るためには、地中熱等の導入に向けたきめ細かい地中熱のポテンシャル調査が必要である。

そこで、総務省の「緑の分権改革」推進事業の委託を受け、本県の地盤の熱伝導率や熱容量、地下水流による効果等を文献や実地で調査するほか、全市町村で住宅・事業所・農業ハウス等での地中熱利用を想定した実地調査（サーマルレスポンステスト（熱応答試験））を実施し、本県のポテンシャルマップを作成するとともに、調査地点から2地点程度を選定し、実際に地中熱利用システムを導入して運転実績データを収集し、環境性・経済性等の効果や課題等を検証することは、青森県の新たな富を生み出す産業創成のためにきわめて重要な調査として位置づけられる。

1.3 いちごについて

- ◆ 本来いちごは4～5月が旬の作物で、50年ほど前までは主に露地栽培。
- ◆ 現在では、新品種の開発やハウス栽培が普及され、12月～4月頃が旬(出盛り期)。
- ◆ 国産のいちごは7～10月に端境期。ケーキ用のいちごなどのほとんどは輸入に頼っている。
- ◆ 夏秋期に収穫ができるいちごは東北地方の冷涼な気候を活かし生産され、ケーキ用はもとより、生食用、贈答用としても利用されている。
- ◆ 国産のいちごが端境期となる時期に、夏秋いちごを栽培。
- ◆ 地中熱ヒートポンプの冷房時メリットが、ちょうど国産のいちごの端境期と重なる。いちご産地と青森県との平均気温が約5～6℃の差があるので、青森県にとっては、メリットとなるのではないだろうか。

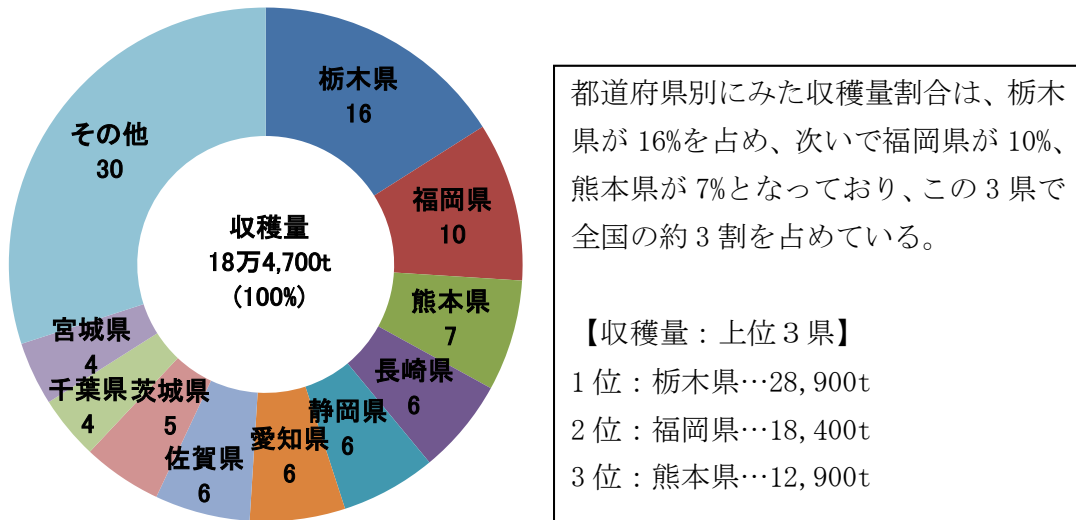
いちごの作付面積、収穫量及び出荷量の推移



出典：農林水産省平成21年産秋冬野菜、指定野菜に準ずる野菜等の作付面積、収穫量及び出荷量

図1.3.1 いちごの作付面積、収穫量及び出荷量の推移

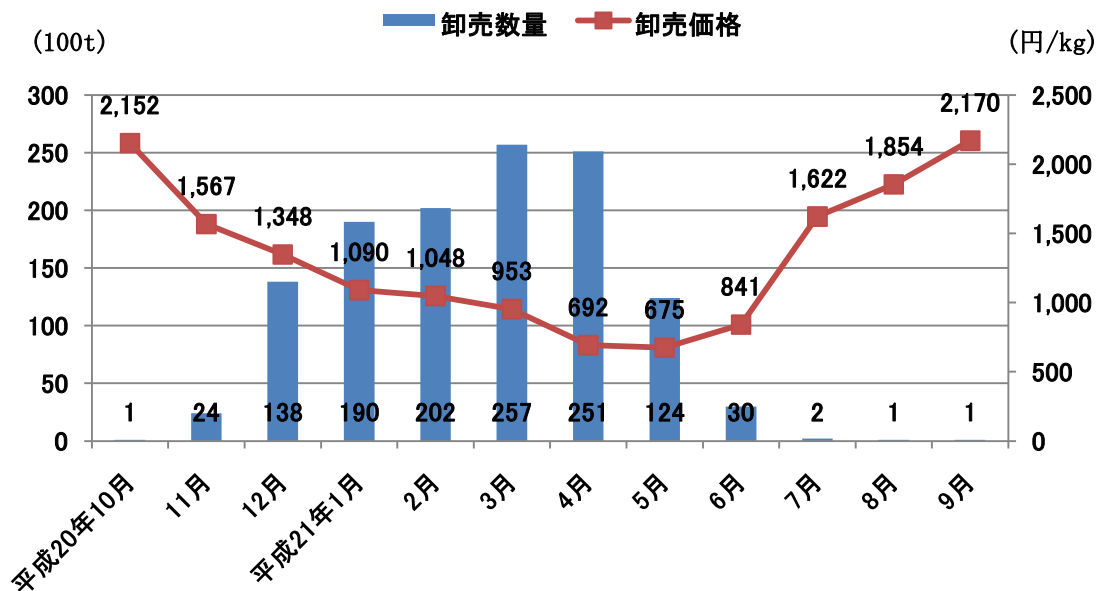
平成21年産いちごの都道府県別収穫量割合



出典：農林水産省平成21年産秋冬野菜、指定野菜に準ずる野菜等の作付面積、収穫量及び出荷量

図1.3.2 平成21年産いちごの都道府県別収穫量割合

平成21年産いちごの卸売数量と卸売価格の推移



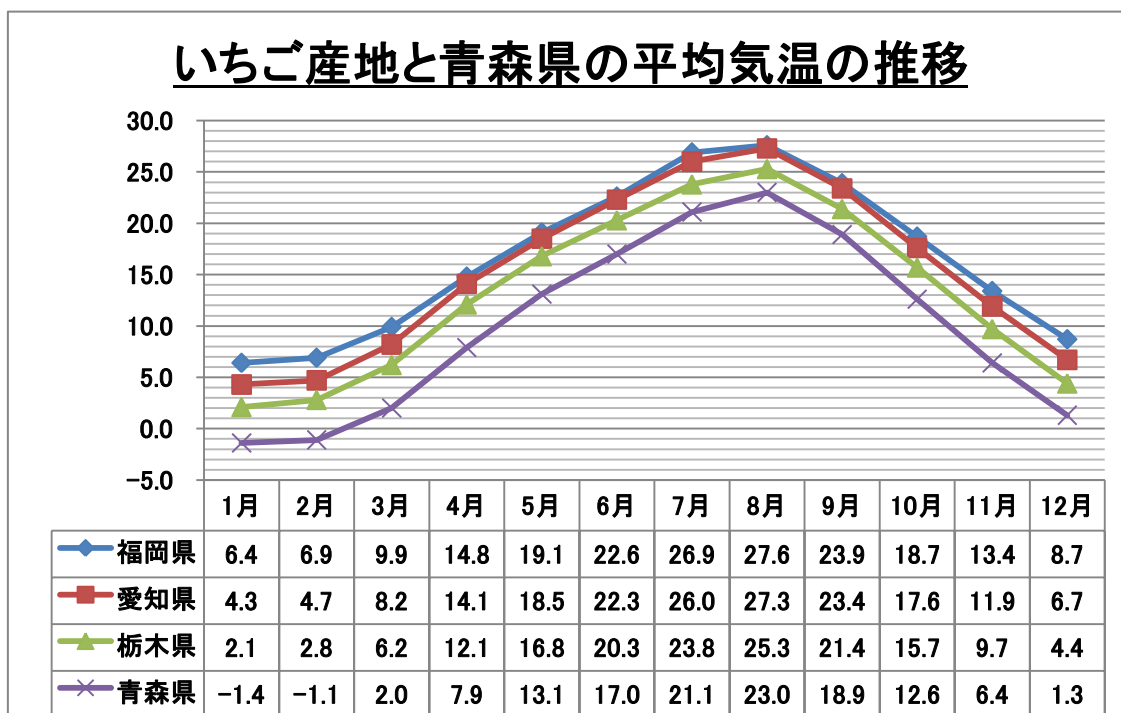
出典：農林水産省平成21年産秋冬野菜、指定野菜に準ずる野菜等の作付面積、収穫量及び出荷量

図1.3.3 平成21年産いちごの卸売数量と卸売価格の推移

表1.3.1 いちごの生育適温と限界温度

昼気温		夜気温		地温		
最高	適温	最適	最低	最高	最適	最低
30℃	18～25℃	10～15℃	5℃	25℃	15～21℃	13℃

出典：青森県農林水産部 農産園芸課 野菜花き振興グループ(夏秋いちご通信)



出典：気象庁。1971年～2000年までの平均値である。

図1.3.4 いちご産地と青森県の平均気温の推移

1.4 地熱資源の活用状況

1.4.1 融雪の利用例

◆ システム概要

地中熱交換井：深度 50m

地中熱交換器：16mm の銅パイプ U チューブ×2 本挿入

戻り側の銅パイプの地表下 10m 程度は断熱材で保護

◆ 融雪面の構造

融雪面積は約 20 m²

熱伝導率を改善した特殊なコンクリートを使用

表面には傾斜を付け更に溝を付けて融雪後の水が溜まらないような構造

◆ 融雪状況（2005 年 1 月上旬に試験）

融雪量は 340kg/日、単位面積あたりでは 31kg/日/m²

使用した熱量は 121W/m²

◆ 結論

融雪には時間は掛かるものの融雪することができることを確認した。

この融雪システムには 15mm の銅パイプ製の U チューブであること、更に、融雪面にもくふうされていることに留意する必要があるが、弘前市内のような豪雪地帯でも、地下水の熱移流と思われる効果を有効利用することにより、ヒートポンプを使用しない地中熱利用で融雪が可能と考えられる。



図 1.4.1.1 弘前大学敷地内における融雪状況

出典：平成 20 年 2 月青森県地中熱利用推進ビジョン

1.4.2 冷暖房・融雪利用の例



図 1.4.2.1 まちなか情報センター

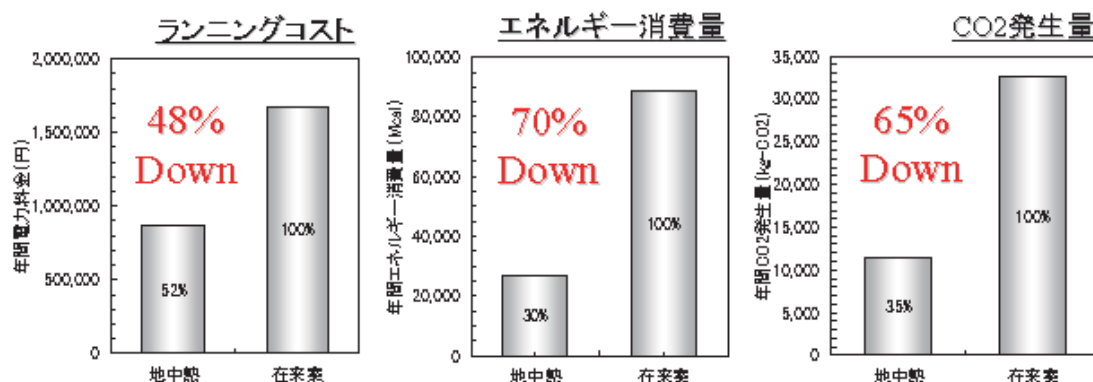


図 1.4.2.2 ランニングコスト・エネルギー諸費量・CO₂発生量比較

弘前市の”まちなか情報センター”では、建物内の冷暖房(面積 329 m²)と隣接する歩道融雪(面積 360 m²)に地中熱利用システムを導入している。ヒートポンプは、冷暖房用(暖房能力 33.8kW)と融雪用(融雪能力 74.8kW)に各 1 台設置しており、地中熱交換井は深度 90m × 16 本を共有している。2005 年度の運転実績は、石上ほか(2007)より、冷房 COP (Coefficient of Performance, 成績係数)で 5.93、暖房 COP で 3.82、融雪 COP で 6.92 と高効率な値を確認した。なお、在来案(冷房：空冷値ラー+暖房：灯油ボイラー+融雪：電熱線方式)に対するランニングコストは、図 1.4.2.2 より 48%であり、二酸化炭素排出削減比率は 65%である。

出典：平成 20 年 2 月青森県地中熱利用推進ビジョン

1.4.3 ハウス農業利用の例

地中熱と風力によるハウス栽培支援システムの導入

青森県農林総合研究センターでは、「冬の農業」推進プロジェクトより、地中熱と風力によるハウス栽培支援システムの導入をつがる市(旧木造町)に行った。施設概要は、ハウス床面積が 298.1 m²、ハウス被覆方法が二層ポリエチレンフィルム、地中熱交換井が 90m×8 本、ヒートポンプ加熱能力が 49.0kW であり、暖房方式は空気加温と地中熱加温の双方の回路を備えている。なお、本案件は環境省による補助(補助率 1/2)を受け実施したものである。実績値での灯油暖房と比較結果は、渡邊・葛西(2006)より、ランニングコストで 24% 減、二酸化炭素排出量で 43%削減であった。



図 1.4.3.1 地中熱利用システムによるハウス栽培状況

出典：平成 20 年 2 月青森県地中熱利用推進ビジョン

地中熱利用ヒートポンプシステムによる冬季ハウス暖房のCO2排出量削減

- ◆ 地中熱利用ヒートポンプシステムによる暖房で、冬期間（外気温-10℃～5℃）のパイプハウス内の気温を10℃～20℃に保つことができる。20℃で管理した場合、灯油温風暖房と比較するとCO2排出量は30%程度削減される。また、同様にランニングコストも10%程度削減される。
- ◆ 供試した地中熱システムの導入・設置コストは、28,244千円で耐用年数を17年とした場合の減価償却費は1,661千円/年である。コストの内訳は地中熱交換井戸掘削・配管12,494円、その他工事7,750円、ヒートポンプ3,243千円、その他機械器具4,757千円である。

試験場所：農林総研砂丘研究部内圃場
地中熱システムの仕様

- (1) ヒートポンプ暖房能力：46.0kw
- (2) ハウスへの温水供給量：140L/min
- (3) 地中熱交換井戸：
深さ90m, 8本（全層砂質土壌）
- (4) ハウスの大きさ：7.2×42m
（内張カーテン使用）

対照の灯油温風暖房機：37.2kw, 1台

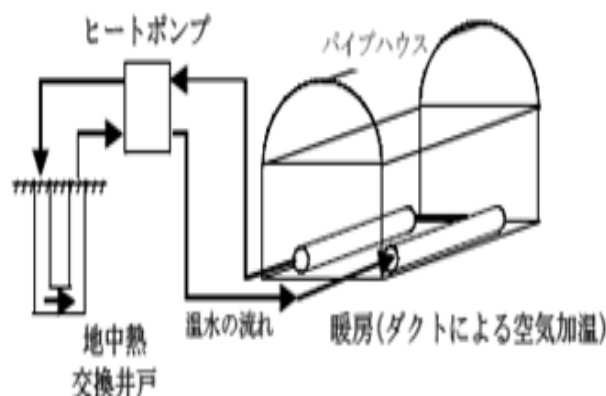


図 1.4.3.2 地中熱利用ヒートポンプシステムの概略

表 1.4.3.1 地中熱システム灯油暖房とのエネルギー消費量の比較

項目	目標気温20℃		目標気温15℃	
	地中熱システム	灯油温風暖房	地中熱システム	灯油温風暖房
ハウス内の平均気温 ℃	20.5	19.7	16.0	15.2
電力使用量 kWh/日	279	6	196	6
灯油使用量 リットル/日	-	60	-	51
ランニングコスト 円/日 (%) ^{1,2)}	4,182(88)	4,734(100)	2,940(76)	3,861(100)
原油換算エネルギー消費量 リットル/日 (%) ^{1,3)}	71(122)	58(100)	50(100)	50(100)
二酸化炭素排出量 kg-CO ₂ /日 (%) ^{1,3)}	105(69)	152(100)	74(57)	129(100)
測定期間	2006年11月27日～ 2007年2月6日		2005年1月27日～ 2006年2月6日	

- (注) 1 ()内は灯油温風暖房に対する割合。
2 電気及び灯油単価は実際の購入価格
(電力:15円/kw、灯油:06-07年77.5円/L、05-06年74円/L)
3 換算係数は「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令」に基づいた。

出典：平成19年度青森農林総研究・砂丘研究部研究成果情報

1.4.4 農業への温泉熱利用例

① 温泉熱を利用した葉菜類の栽培（弘前市）

- ◆ 作物：しゅんぎく、オータムポエム、サニーレタス、こまつな等
- ◆ 加温方法：30cm ごとに温水パイプ（かん水用ビニールホース）を地表配管
- ◆ 栽培体系：9～3月 葉菜類
2～6月 野菜・花き苗
- ◆ 水温・泉質：51度、弱ナトリウム塩泉
- ◆ 源泉からの距離：500m（1～2℃低下）
- ◆ 目標温度：10度
- ◆ 暖房期間：12月中旬から



出典：平成20年2月青森県地中熱利用推進ビジョン

② 温泉熱を利用した野菜、花き、山菜栽培（平川市（旧碓ヶ関村））

- ◆ 作物：なたね菜、しゅんぎく、パンジー、葉わさび等
- ◆ 加温方法：温水パイプを地表に這わせ地表を加温
- ◆ 栽培体系：10～3月、葉菜類、花き、山菜
- ◆ 水温・泉質：41.5℃、単純温泉弱アルカリ性
- ◆ 源泉からの距離：50m



出典：平成20年2月青森県地中熱利用推進ビジョン

③ 温泉熱を利用したトマト栽培（板柳町）

- ◆ 栽培管理上の特徴：ロックウール栽培であるため、水管理および肥培管理については比較的管理が楽である。温泉熱であるため、その廃湯を活用してハウスの周りの除雪に活用している。
- ◆ 取組みのメリット：初期投資は大きかったが、暖房と融雪にかかる経費が安価である。融雪に関しては、機械による除雪と違い労力がかからない。



出典：平成 20 年 2 月青森県地中熱利用推進ビジョン

第2章 黒石市の地域特性

2.1 自然条件

気候は日本海型気候に属し、三方が山に囲まれた盆地形の気象である。年間平均気温は9.9℃、冬季は偏西風が強く寒冷で、特別豪雪地帯に指定されている。

地域差

気温の年平均は地域によってさほど差はないがヤマセなどの影響によって 夏冬の季節によっては違ってくる。積雪は、太平洋側と日本海側の違いだけでなく、日本海から離れているかないか（深浦）などによって大きく変わる。都市における融雪、暖房、農業における農産物の熱管理においても地域差は大きい。

表2.1.1 平成22年青森県内月別平均気温

平成22年	黒石市	青森市	深浦町	むつ市	八戸市
1月	-1.5(-2.1)	-0.5(-1.4)	0.1(-0.4)	-0.7(-1.6)	-0.3(-1.2)
2月	-2.2(-1.7)	-1.0(-1.1)	-0.2(-0.2)	-1.8(-1.5)	-0.3(-0.9)
3月	1.1(1.4)	1.8(2.0)	2.0(2.6)	1.1(1.4)	2.1(2.3)
4月	7.0(8.1)	7.2(7.9)	7.1(8.3)	5.9(7.2)	7.0(8.3)
5月	12.7(13.4)	12.4(13.1)	12.5(13.0)	10.9(12.1)	11.5(13.1)
6月	19.3(17.4)	18.5(17.0)	18.5(17.2)	17.3(15.6)	17.6(16.1)
7月	23.6(21.1)	23.8(21.1)	23.0(21.3)	22.2(19.6)	22.6(20.2)
8月	25.5(22.8)	26.0(23.0)	24.8(23.1)	24.7(21.7)	25.6(22.3)
9月	19.7(18.5)	20.7(18.9)	20.1(19.1)	19.8(18.0)	20.2(18.6)
10月	13.3(12.3)	14.3(12.6)	14.0(13.3)	13.4(12.2)	14.2(12.7)
11月	7.0(6.2)	7.6(6.4)	8.4(7.5)	7.2(6.3)	7.7(6.6)
12月	1.7(0.9)	2.5(1.3)	3.4(2.5)	2.6(1.2)	3.3(1.6)

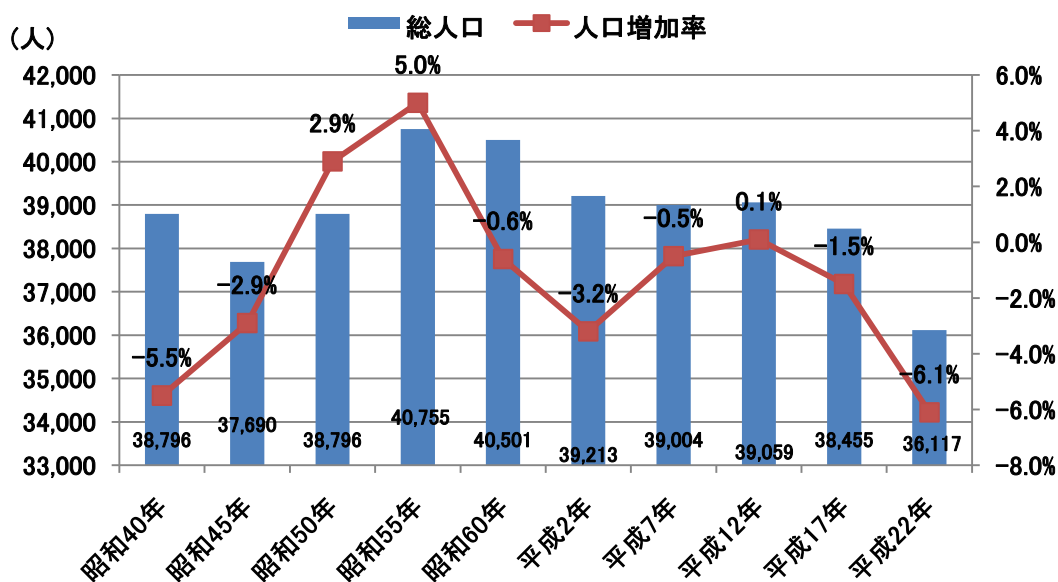
出典：気象庁。気象データの（ ）内は1971年～2000年までの平均値である。

2.2 人口と産業

黒石市の人口・世帯

- ◆ 平成22年国勢調査によると、人口は36,119人、世帯数は11,795世帯で、1世帯当たり人口は3.06人となっている。
- ◆ 黒石市の人口は、昭和45年以降著しく増加したが、昭和55年をピークに減少傾向へ転じた。近年は大きな変動はみられなかったが、平成22年には-6.1%と大幅に減少した。
- ◆ 人口の増減にかかわらず1世帯当たりの人口は減少している。

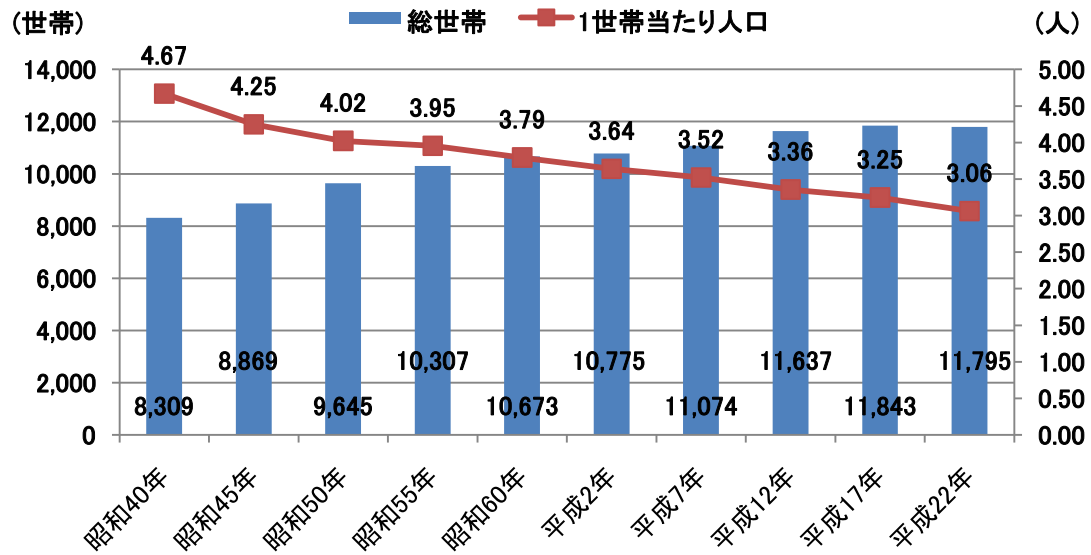
黒石市 総人口と人口増加率の推移



出典：国勢調査各年版

図2.2.1 黒石市 総人口と人口増加率の推移

黒石市 世帯数と1世帯当たり人口の推移



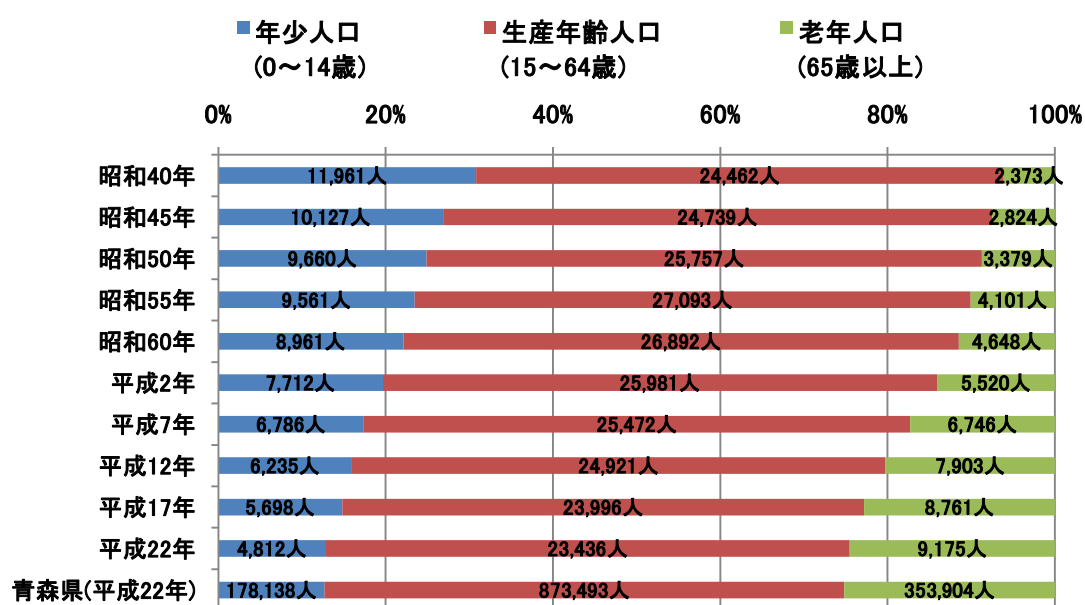
出典：国勢調査各年版

図2.2.2 黒石市 世帯数と1世帯当たりの人口推移

黒石市の人口構成

- ◆ 黒石市の年齢3区分別人口の推移を見ると、平成7年には年少人口と老年人口がほぼ同率、それ以降逆転し、少子高齢化の傾向が顕著に表れている。
- ◆ 昭和40年と平成22年の人口比率を比較すると、年少人は半減、老年人口は4倍近い値となっている。
- ◆ 青森県全体と比較すると、老年人口の割合がわずかに下回っている。(平成22年)

黒石市 年齢3区分別人口比率の推移



出典：

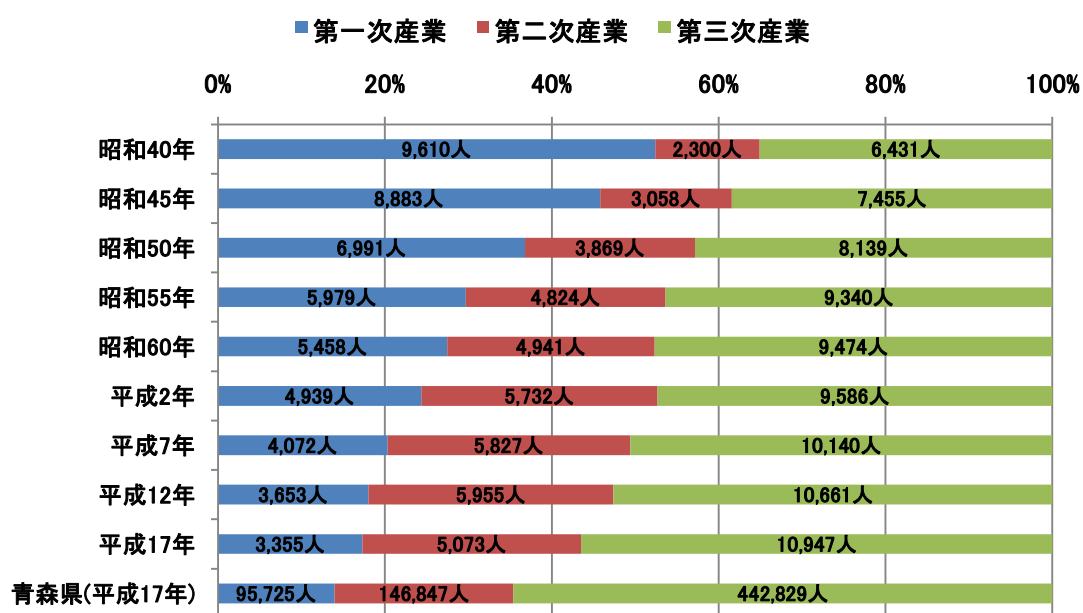
国勢調査各年版。平成22年のみ、平成22年3月31日現在住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数

図2.2.3 黒石市 年齢3区分別人口比率の推移

黒石市の産業構造

- ◆ 昭和40年には半数を占めていた第一次産業は年々減少し、平成17年には17.3%となっている。
- ◆ 第二次産業は、平成12年をピークに減少に転じた。第三次産業は増加傾向にあり、平成7年以降は比率が50%以上となっている。
- ◆ 青森県全体と比較すると、第一次産業と第二次産業の比率は黒石市が上回っている。

黒石市 産業別就業者比率の推移



出典：国勢調査各年版

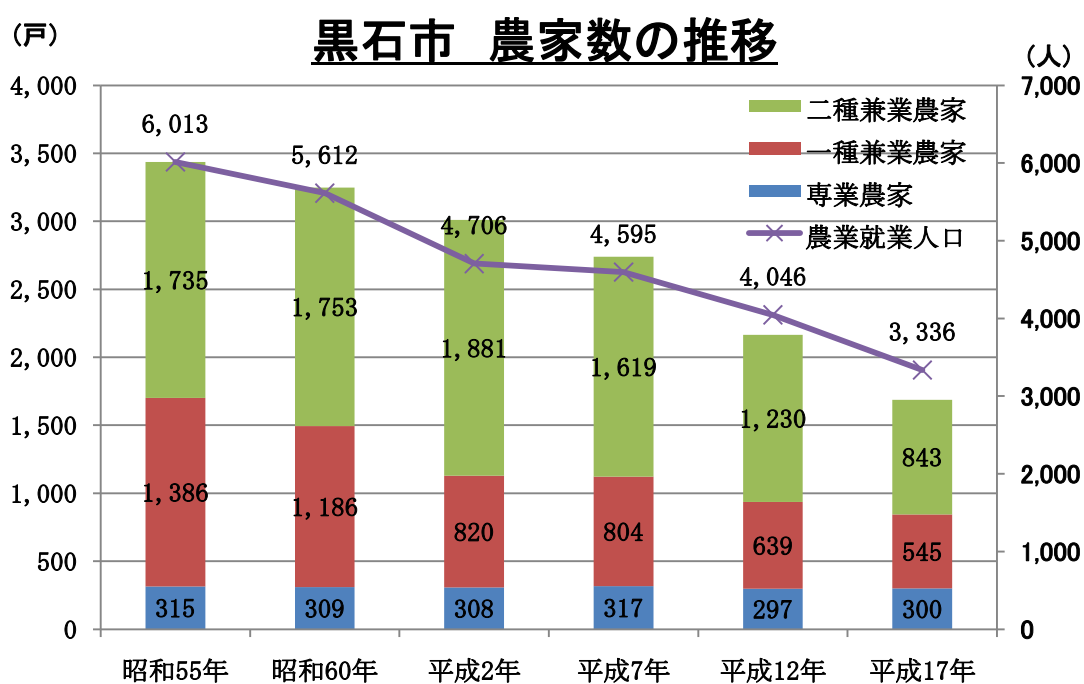
図2.2.4 黒石市 産業別就業者比率の推移

黒石市の農業

総農家数は年々減少しているが、専業農家は横ばいで推移している。農業就業人口は、農家数の推移に伴って減少し、平成17年には、3,346人と昭和55年の半数程度となっている。

経営耕地面積の推移としては、総面積が昭和60年以降減少している。耕地面積別に見ると、田は昭和55年、畑は平成7年、樹園地は平成2年がそれぞれ最大で、それ以降は減少しているが、構成比は概ね田55%、畑7%、樹園地38%で大きな変化は見られない。また、農家1戸当たり耕作面積は増加し続けており、平成17年は130.2aとなっている。

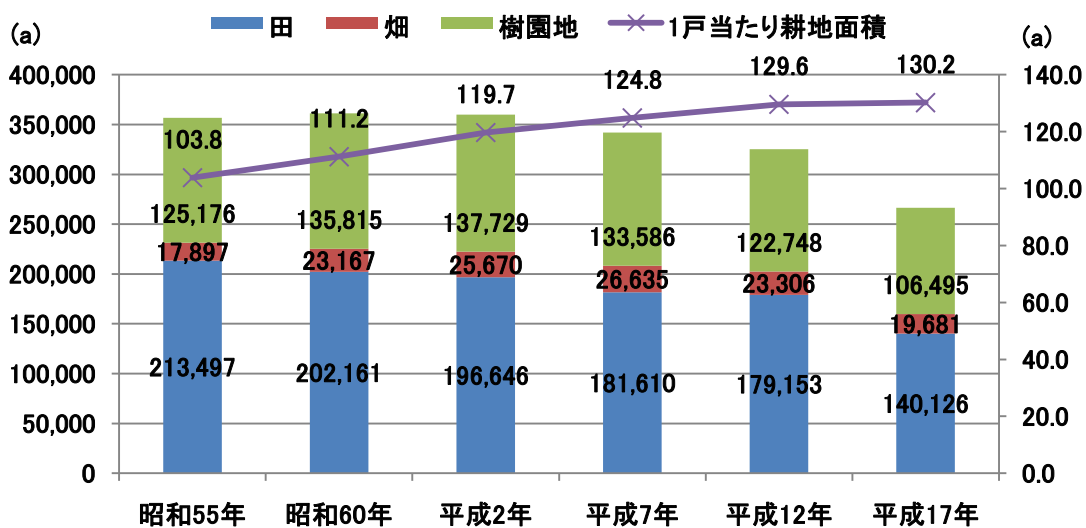
なお、農業就業人口の平均年齢は平成17年には60.1歳で、平成12年の58.3歳に比べ、1.8歳上昇した。



出典：農業センサス各年版

図2.2.5 黒石市 農家数の推移

黒石市 耕地面積の推移



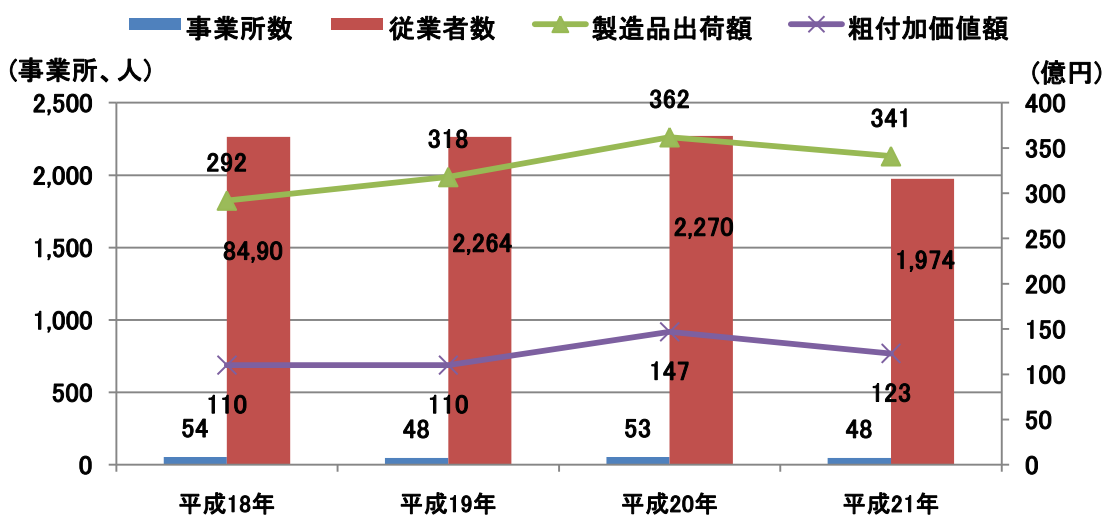
出典：農業センサス各年版

図2.2.6 黒石市 耕地面積の推移

黒石市の工業

- ◆ 平成21年は、事業所数・従業者数・製造品出荷額等・粗付加価値額、全て前年と比べて減少となっている。

黒石市 工業の推移



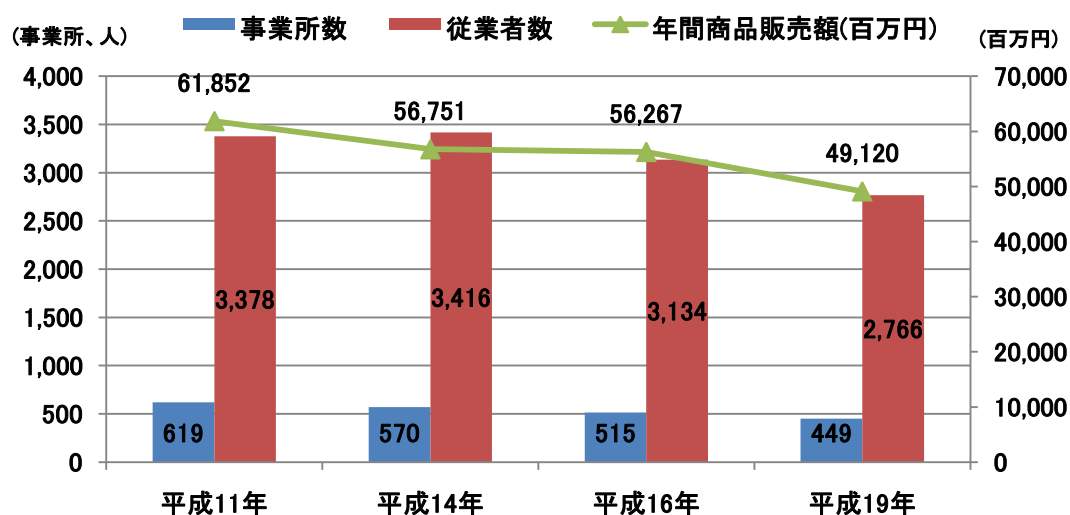
出典：工業統計調査各年版

図2.2.7 黒石市 工業の推移

黒石市の商業

- ◆ 平成19年は、事業所数・従業者数・年間商品販売額、全て平成16年と比べて減少となっている。

黒石市 商業の推移



出典：商業統計調査各年版

図2.2.8 黒石市 商業の推移

2.3 観光

黒石市は、古くから「米とりんごと温泉の田園観光都市」として親しまれており、地域に根ざした年中行事が数多く行われている。市内には城下町当時の町並みが残る「こみせ」があり、国の重要伝統的建造物群保存地区に選定されているほか、この中の「高橋家」は国の重要文化財に指定されている。

名所・観光施設

- ◆ こみせ
- ◆ 虹の湖公園
- ◆ 中野もみじ山
- ◆ 黒森山・しょうぶ園と文学の森
- ◆ カタクリ群生地
- ◆ 黒石温泉郷
- ◆ 津軽こけし館
- ◆ 津軽伝承工芸館
- ◆ 東公園

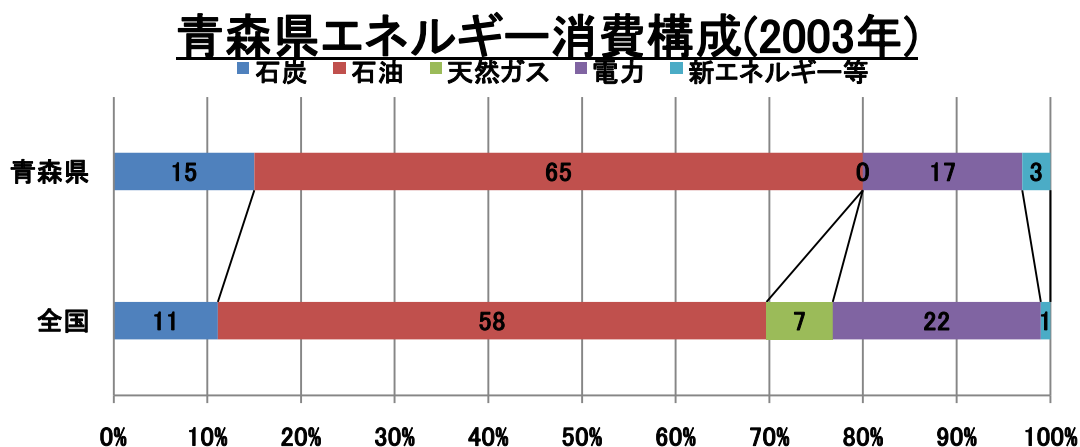
年中行事

- ◆ 黒石さくらまつり（4月下旬～5月上旬）
- ◆ 温湯丑湯まつり（土用丑の日）
- ◆ 黒石ねぷたまつり（7月30日～8月5日）
- ◆ 黒石よされ流し踊り（8月15日・16日）
- ◆ 大川原の火流し（8月16日）
- ◆ 黒石こみせまつり（9月上旬・2月上旬）
- ◆ りんご狩り（9月上旬～11月中旬）
- ◆ 中野もみじ山ライトアップ（10月中旬～11月上旬）
- ◆ 黒石りんごまつり（11月中旬）
- ◆ 旧正マッコ市・日本一の雪だるま（2月第1日曜日）

2.4 エネルギー消費

青森県のエネルギー消費動向

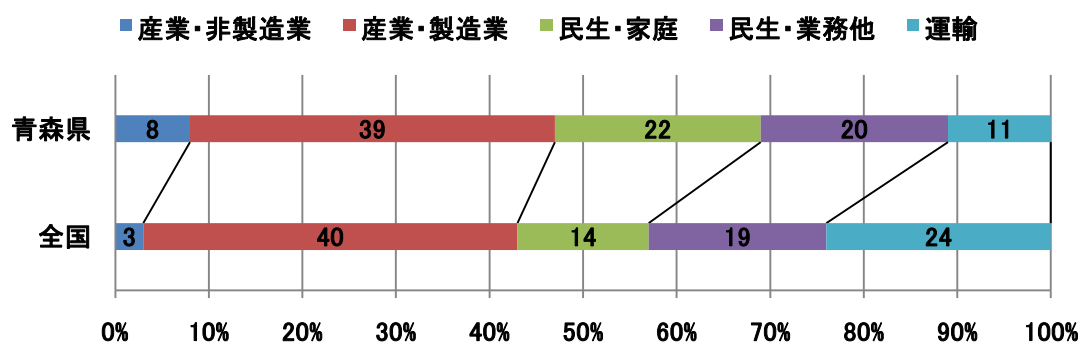
- ◆ 青森県は、全国と比較すると石炭及び石油の利用割合が高い。
- ◆ 冬季の暖房や融雪用の灯油の需要が大きいことなどによると考えられる。
- ◆ 部門別の消費動向をみると、青森県は産業部門が47%と、全国の43%と比べ高くなっており、中でも非製造業の占める割合が高くなっている。
- ◆ 民生部門では家庭の占める割合が22%と、全国の14%と比べ高くなっている。
- ◆ 以上のことを踏まえると、青森県においても、産業部門や民生部門において化石燃料を使用しない地中熱エネルギー等の再生可能エネルギーへの転換が必要となってきたと言える。



出典：平成21年2月青森県太陽エネルギー活用推進アクションプラン

図 2.4.1 青森県エネルギー消費構成（2003年）

部門別エネルギー消費状況(2005年)

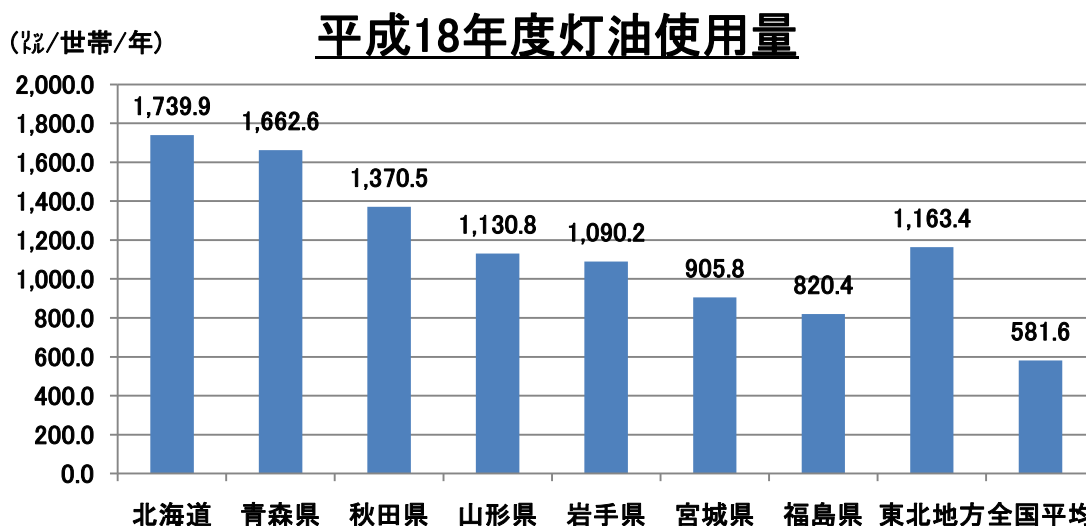


出典：平成21年2月青森県太陽エネルギー活用推進アクションプラン

図 2.4.2 部門別エネルギー消費状況（2005年）

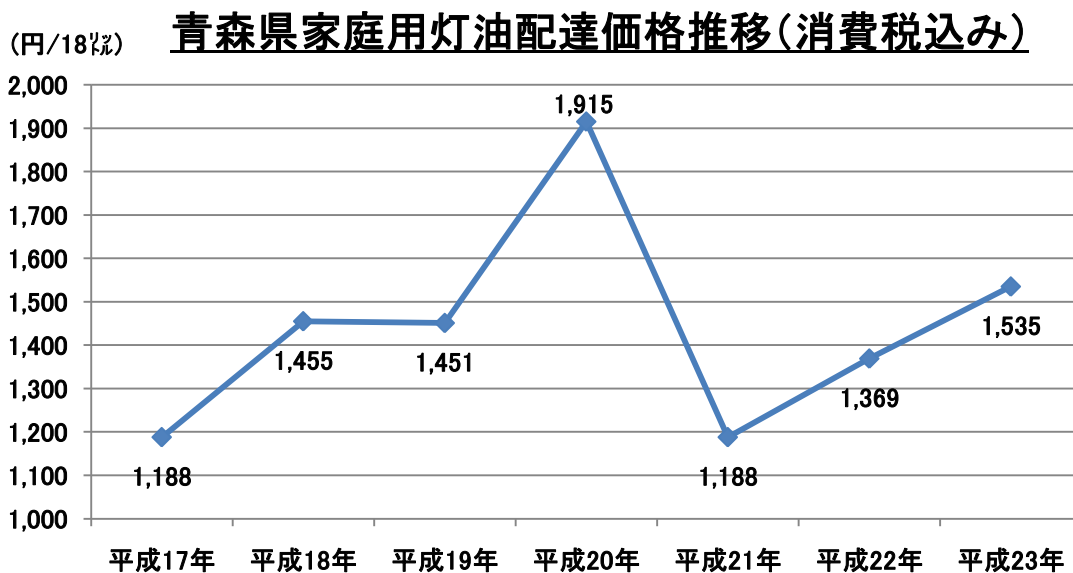
青森県の灯油について

- ◆ 青森県のエネルギー消費の約6割を占めるエネルギー源は灯油であり、平成18年度では、年間1世帯あたりの灯油使用量は約1,662.6ℓ。
- ◆ 県庁所在都市の中で北海道1,788.9ℓの次に多く、全国581.6ℓと比べて約3倍、東北地方1,163.4ℓと比べても多い使用量となっている。



出典：平成18年度灯油消費実態調査

図2.4.3 平成18年度灯油使用量

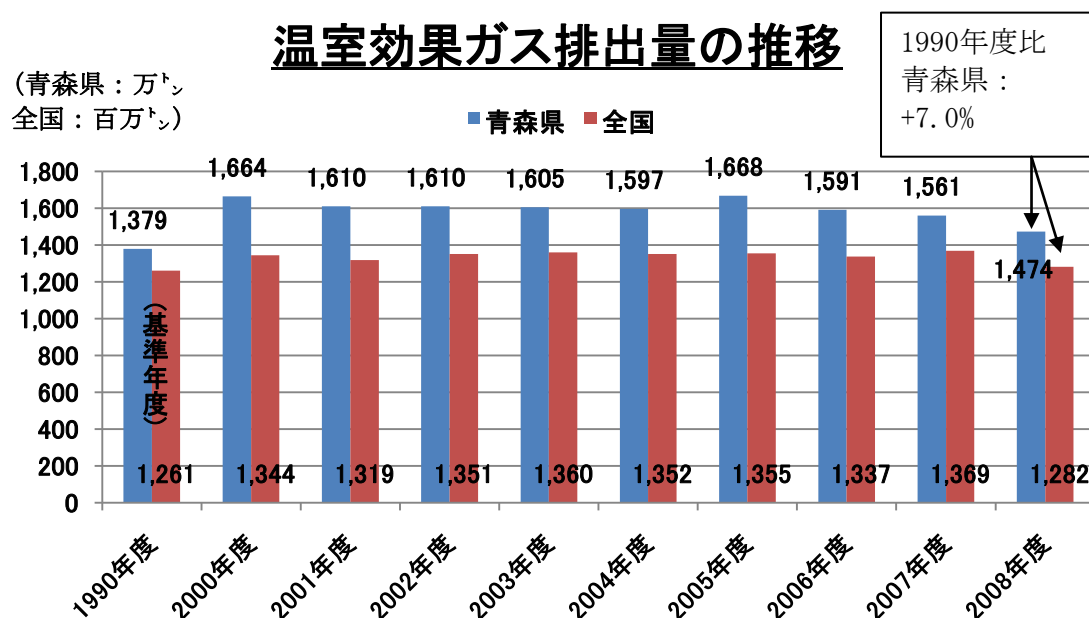


出典：石油情報センター 平成23年2月10日現在

図2.4.4 青森県家庭灯油配達価格推移(消費税込み)

青森県の温室効果ガス排出量

- ◆ 青森県内の 2008 年度の温室効果ガス排出量（速報値）は 1474 万 4000 トンで、前年度と比べ 5.6%（87 万 1000 トン）減少。
- ◆ 2006 年度から 3 年連続で減少したものの、基準年度の 1990 年度より 7.0%多く、青森県地球温暖化防止計画（2001～2010 年度）で定めた目標（基準年度比 6.2%減）を 13.2 ポイント上回る状況。
- ◆ 2008 年度の排出量は、青森県民 1 人当たり 9.7 トンで、全国平均（9.5 トン）を若干上回った。
- ◆ 排出された温室効果ガスの 92.1%を二酸化炭素（CO₂）が占める。その他は一酸化窒素 3.9%、メタン 2.5%、代替フロン等が 1.5%。



出典：青森県：平成 22 年 12 月 17 日付け陸奥新報記事・全国：全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<http://www.jccca.org/>)

図 2.4.5 温室効果ガス排出量の推移

第3章 地中熱調査

3.1 サーマルレスポンス試験の概要

3.1.1 一般的に行われているサーマルレスポンス試験

地中熱の有効活用に向けて、日本地熱学会などで推奨している方法は、図 3.1.1.1 に示すものである。

すなわち、ボーリング等により 50m 程度掘削した孔中に、U 型のチューブを挿入し、U チューブの入口側（往）から加熱水を注入し、出口側（還）から排出される水温の変化を観察することで、地中からの有効伝熱容量を求めるものである。

U チューブ内を流す水の加熱は、U チューブ内から排出される水を水タンクに戻し入れ、再度加熱して注入する循環方式であり、排出される水、ならびに再注入される水の温度は、徐々に高温側に移っていく試験方法である。

通常の試験では、二日間程度装置を連続的に稼働し、入口温度と出口温度の平均温度並びに温度上昇の傾きから有効伝熱容量が計算される。なお、評価方法については、3.4 章に詳細を記す。

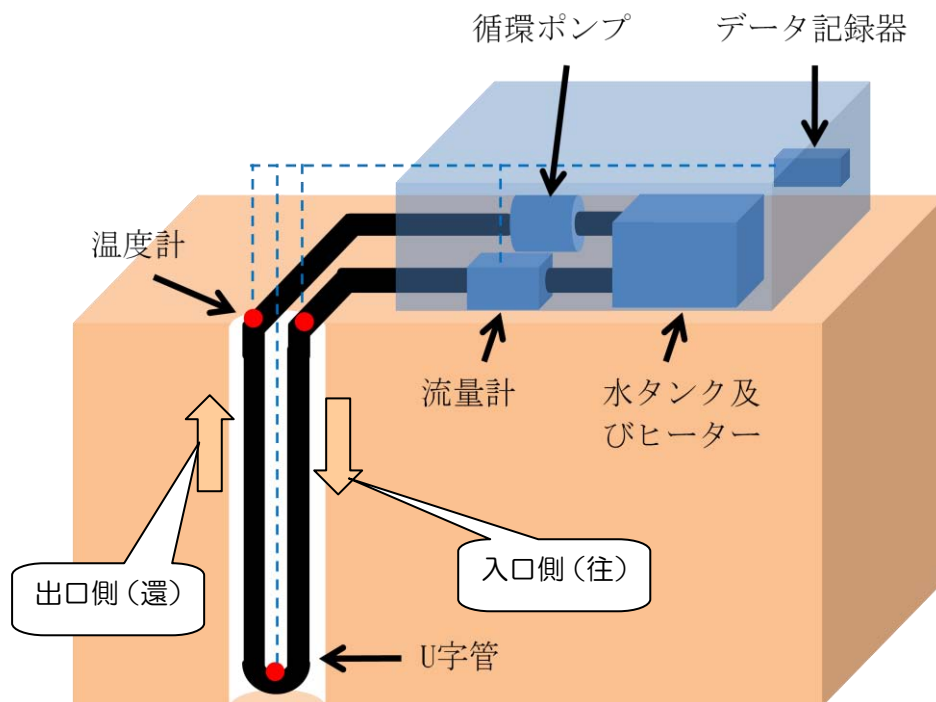


図 3.1.1.1 サーマルレスポンス試験装置概要

使用するUチューブは、図 3.1.1.2 に示すように、サーマルレスポンス試験に標準的な、イノアック住環境製の水道用2種管に準拠した外形27mmφ内径25mmφの高密度ポリエチレン製（型式GUF・25A60）を用い、先端には図 3.1.1.3 に示すような同一素材のU形器具が溶着されているもの（製品名U-ポリパイ、型式GUF・25A60）を用いた。

通常の試験では、二日間程度装置を連続的に稼働し、入口温度と出口温度の平均温度並

びに温度上昇の傾きから有効伝熱容量が計算される。なお、評価方法については、3.4章に詳細を記す。

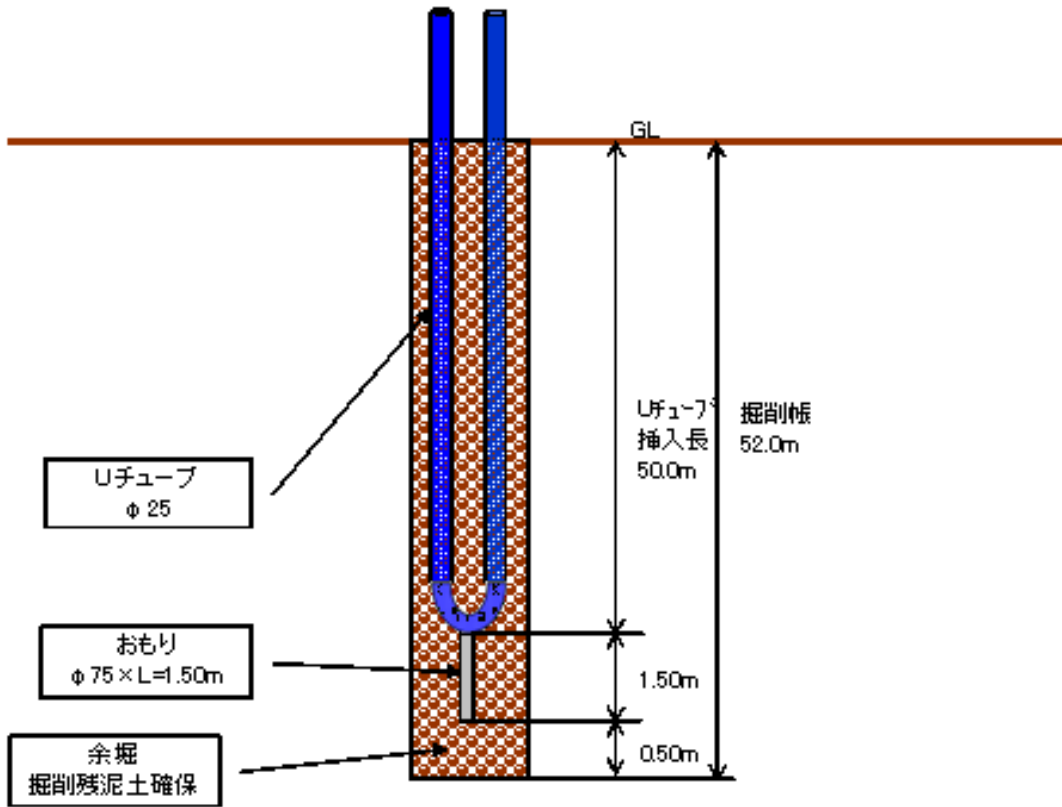


図 3.1.1.2 Uチューブの地下埋設の状況



図 3.1.1.3 Uチューブ先端

3.1.2 今回採用したサーマルレスポンス試験方法と理由

今回の試験の主目的が、積雪寒冷地である青森県において、従来除雪等は非常に労力のかかる人力作業、機械による排雪・消雪・融雪で化石燃料に頼っている部分を、自然エネルギーを活用して、快適な暮らしと産業を守ることである。

青森県および黒石市の特徴としては、高齢化による労働力不足、財政を圧迫する除雪費用の削減、農業や水産業における石油消費の削減などがある。このため、地中熱の利用といっても、今般では画一的なものは構築されていないが、今後の利用対象としては幅広い分野で有効活用の可能性が検討出来る。一般家庭から農業、さらには生産工場などがあり、利用目的も融雪・暖房・温水利用・ハウス温室栽培・高温利用など、さまざまな可能性が求められている。

このため、今回の試験では、従来のボーリング抗を用いた地中熱利用の形式に加えて、比較的安価に地中熱を採取出来る可能性があるとして、北日本新エネルギー研究所がすでに開発した鋼管杭を用いた地中熱利用方式によるサーマルレスポンス試験も実施することとした。

鋼管杭方式は、図 3.1.2.1 に示すように、ボーリングによる掘削戸は異なり、地盤改良などに利用する外径 139.8mm φ 内径 130.0mm φ の鋼管杭（日本ブレードパイル協会製、ブレードパイル）バックホウを用いて、深さ 10m ほどねじ込み挿入する工法である。

この鋼管の内側に外径 89mm φ 内径 80mm φ の塩ビ製の管を挿入して二重管とし、内管から水を注入し、外管から地中熱を採取する方式を採用した。

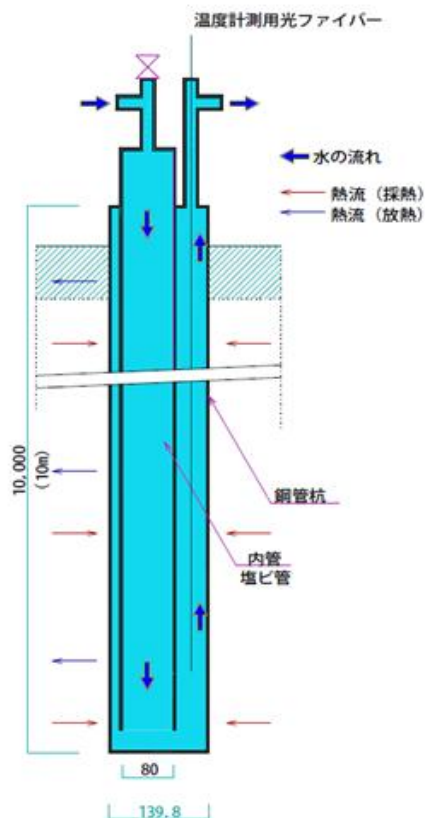


図 3.1.2.1 鋼管杭の構造

このほか、本試験では、地中の熱分布を詳細に調べ、深度何mの地点に熱供給の多い場所があるかを明らかにすることを目的として、深さ方向の温度分布を調べることにした。

このため、NKシステム社製の光ファイバー温度計ならびに温度解析ソフト(NK-OPTIS)を利用することとした。これにより得られるデータは、それぞれの地点において、有効熱伝導率を支配している深さがどの程度であるかを明らかにし、さらに実用面から、それぞれの地点で地中熱利用を行う場合に、どの程度の深さを利用することが、費用的に合理性があるかを示してくれるものである。

光ファイバー温度計の注入状態を図 3.1.2.2 に示す。

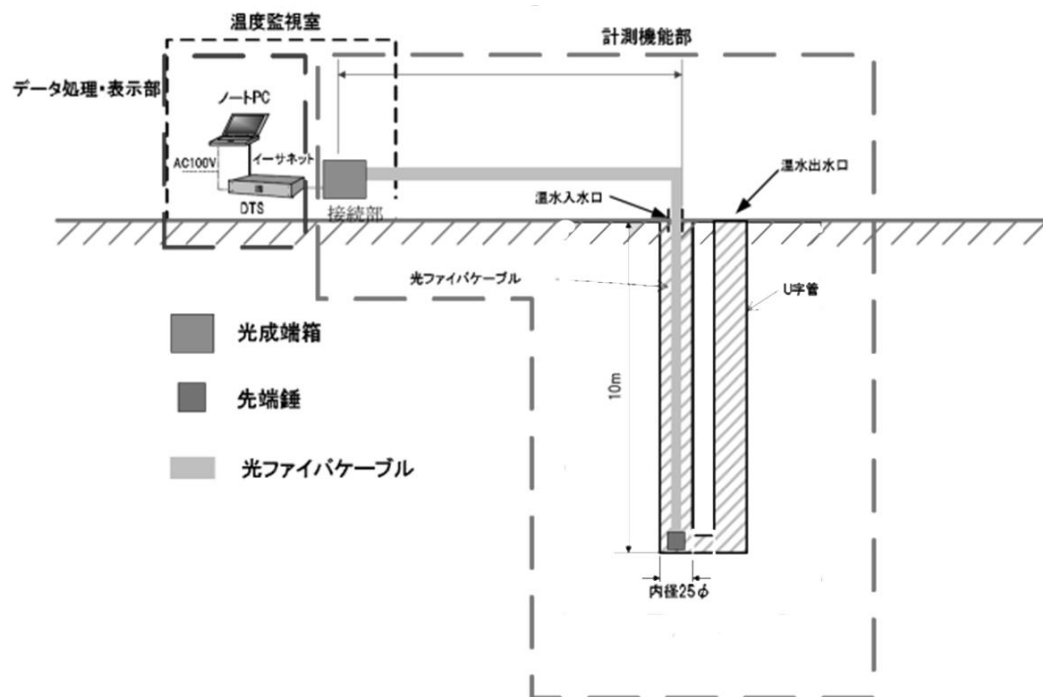


図 3.1.2.2 光ファイバー挿入状況

なお、光ファイバー温度計の挿入位置は、Uチューブでのサーマルレスポンス試験においては入口側に、鋼管杭方式では外管側の出口側に設置して、温度変化を計測した。

また、従来のサーマルレスポンス試験においては、加熱の状況のみをみることで、有効熱伝導率を把握しているが、実際の地中熱の利用においては、地中に保有する熱がどの程度くみ上げられるかを把握すると同時に、加熱循環試験の後、どの程度の時間で地中熱が元の状況まで回復するかも重要な情報である。

このため、約二日間の循環水での過熱の後、ヒーターもポンプも停止した状態で、光ファイバー温度計による約二日間の孔内の温度回復も同時に計測することとした。

したがって、本試験では、

- ① 試験孔の位置の決定には、50m Uチューブと 10m 鋼管杭の 2 種の中から地点の特徴を勘案して選択した
- ② 約二日間にわたって一般的なサーマルレスポンス試験手法を、50m Uチューブと 10

m鋼管杭にそのまま適用した。ただし、加熱用のヒーター容量は、それぞれの試験方法の循環水の容量、流速、深度などを考慮し、50mUチューブには 3kW、10m鋼管杭は 1kW とした。

- ③ 地中の深度方向の温度変化を観察するために、50mUチューブと 10m鋼管杭ともに光ファイバー温度計を挿入して計測を行った
- ④ サーマルレスポンス試験後の温度回復を観察するために、50mUチューブと 10m鋼管杭ともに約二日間の温度変化を計測した

3.2 サーマルレスポンス試験の地点と掘削方法の選定

3.2.1 地点の選定ならびに掘削方法の選定

1) 地点選定の基本的な方針

試験の目的が、将来の実用化に結び付けることを重要視していることから、今回の試験孔を将来独自に利用して、さらなる実証を希望する地点、あるいは将来多く方々が接する可能性のある場所などを配慮して地点の決定を行うこととした。

試験の地域は、それぞれの地形や地質などの違いによって、地中熱のポテンシャルにどの程度の違いがあるかを黒石市内全域にわたってマッピングすることを目的に、黒石市において表 3.2.1.1 ならびに図 3.2.1.1 に示す 20 地点（田舎館村の黒石市関連施設 1 地点を含む）を選定することとした。

表 3.2.1.1 黒石市内 20 ヶ所のサーマルレスポンス試験地点一覧

地点 No	試験地点	施設の中心となる住所	試験方法
1	いちごハウス団地（村元氏借用）	黒石市大字黒石字砂森 78-1	10m鋼管杭
2	バイオ技術センター	田舎館村大字堂野前字前川原 212-2	50m Uチューブ
3	南部汚水中継ポンプ場	黒石市追子野木二丁目 332-2	50m Uチューブ
4	ちとせ 2 号公園	黒石市ちとせ二丁目 86	50m Uチューブ
5	浅瀬石公民館	黒石市大字浅瀬石字村上 123-2	50m Uチューブ
6	旧アクアリゾート開発跡地	黒石市大字袋字富山 39-1	10m鋼管杭
7	旧西十和田ユースホテル	黒石市大字板留字長坂下 17-1	50m Uチューブ
8	虹の湖公園	黒石市大字沖浦字山神 5-1	50m Uチューブ
9	山形公民館	黒石市大字温湯字派 15-1	10m鋼管杭
10	花巻村づくりセンター	黒石市大字花巻字村家岸 36-1	10m鋼管杭
11	旧弘南鉄道用地	黒石市西ヶ丘 294	10m鋼管杭
12	東公園	黒石市大字石名坂字石法師 35	50m Uチューブ
13	青森県産業技術センターりんご研究所	黒石市大字牡丹平字福民 24	10m鋼管杭
14	上十川公民館	黒石市大字上十川字留岡一番 17-2	10m鋼管杭
15	農村環境改善センター（六宝館）	黒石市大字赤坂字野崎 1	50m Uチューブ
16	飛内集会所駐車場	黒石市大字飛内字飛内 15-1	10m鋼管杭
17	北地区ゲートボール場	黒石市大字小屋敷南 7 1-1	10m鋼管杭
18	黒石運動公園	黒石市緑ヶ丘 136-1	50m Uチューブ
19	黒石市除雪センター	黒石市緑ヶ丘 124	50m Uチューブ
20	スポカルイン黒石	黒石市ぐみの木三丁目 65	10m鋼管杭

地点の選定には、過去のボーリングや井戸や温泉のための掘削データを勘案し、それぞれの地域における予備候補地点を数地点準備し、黒石市にそれらを参照して、独自に地点

を推薦いただくこととした。市の関連施設以外においては、本試験の目的、実施内容を説明の上、協力の要請を行った。

また、掘削地点の決定には、黒石市の関係者立会の上で、将来の地中熱利用の可能性、試験用の電源の有無、試験用水の有無、発電機などの騒音に対する近隣住民への配慮などを勘案して行った。

なお、地点 No11 については、当初、黒石市牡丹平の上下水道施設を予定したが、掘削機械搬入の都合で断念し、急遽別の場所として、西ヶ丘地区の旧弘南鉄道用地に変更した。

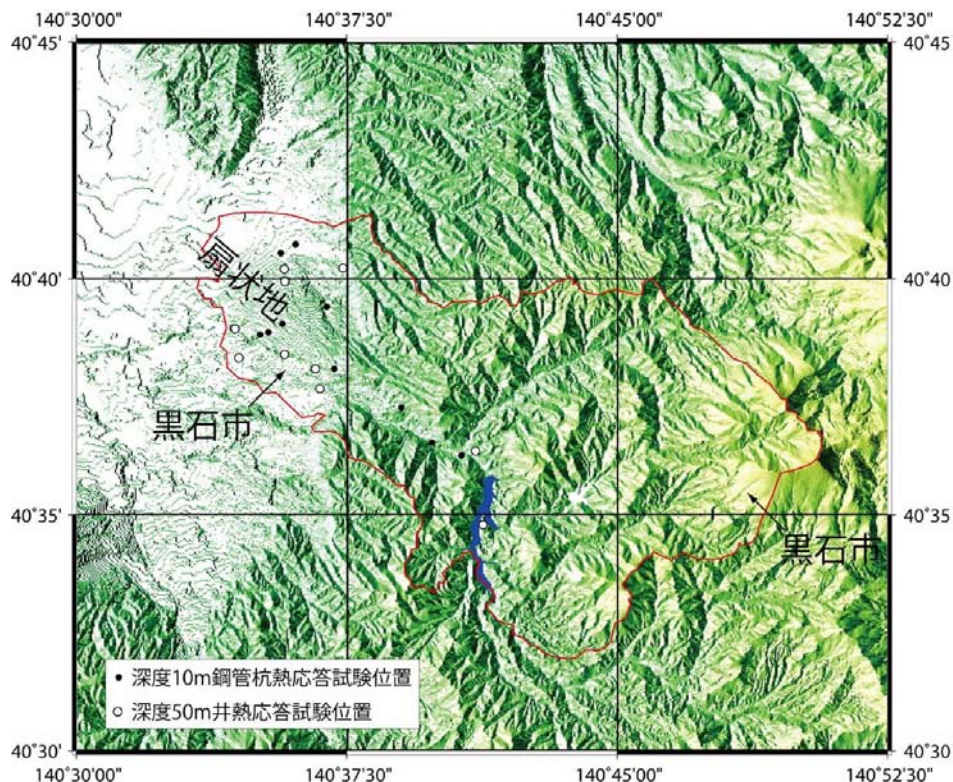


図 3.2.1.1 黒石市内 20 ヶ所のサーマルレスポンス試験地点位置

2) 掘削方法の選定

今回の試験の時間的予算的制約もあり、あらかじめ 50m ボーリングによる地点を 10 地点とし、残りの 10 地点は 10m 鋼管杭方式にて実施することとした。それぞれの地点における試験方法の選定は、過去のボーリングや井戸や温泉のための掘削データから、地下水のレベルや地質を勘案し、柔らかい地盤に向く 10m 鋼管方式と、硬岩などがあっても掘削可能な 50m ボーリング地点に仕分けし対応することとした。

黒石市の試験地点 20 個所のそれぞれの住所および試験方法は表 3.2.1.1 に示す。

3.2.2 サーマルレスポンス試験の実施スケジュール

1) 各地点におけるサーマルレスポンス試験用の掘削実施したスケジュールを表 3.2.2.1 に示す。

黒石市の関連施設以外の県の保有地並びに個人の所有地については、許可が得られた段階で、スケジュールに従いサーマルレスポンス試験に用いる、50mのボーリング孔の掘削または10mの鋼管杭の埋設を開始した。

① ボーリング掘削

ボーリングについては、掘削準備から撤去までの予定日数を4日間とし、岩盤が固く掘削困難な状況下でも、一日程度の遅延と想定した。

また、ボーリング時に注入するベントナイト泥水が地盤中に多量に流出し、周辺の地下水などに影響を及ぼす恐れのある場合には、50mの予定の掘削深度にまでの掘削を控え、その時点までの掘削深度をもって、試験用のボーリング孔とした。

なお、ボーリング孔中にUチューブを挿入するに当たり、Uチューブの地下水圧ならびにベントナイト泥水による浮力を抑えるために、Uチューブの下端に長さ1.5m重さ60kgの錘を取り付け挿入するとともに、順次6~9mm程度の砂利を充填し埋め戻した。

このため、ボーリングで実際に掘削した深さは52mを標準とし、地下に50m分のUチューブが挿入される状況を確保した。

② 鋼管杭埋設

10mの鋼管杭の埋設においては、139.8mmφの鋼管杭を直接ねじ込む方式を基本とし、通常の作業は半日程度で作業が完結するため、予定日数を一日とし、早く完了する場合は二地点の作業を進めることとした。

ただし、地盤が硬く挿入が難しい状況では、事前に190.7mmφのブレード部の小さな鋼管にて先堀りを行った後、または200mmφのボーリングによる先行掘削の後に、所定の139.8mmφの鋼管杭を10m挿入することとした。

2) サーマルレスポンス試験の実施スケジュール

50mUチューブにおいても、10m鋼管杭においても、サーマルレスポンス試験は3.1章に示す同一の測定方法を採用し、掘削深度の違いにより、50mUチューブ方式では3kWのヒーター加熱を、また、10m鋼管杭方式では1kWのヒーター加熱とした。

最初のヒーターによる加熱試験においては、40時間から50時間程度の時間を確保し、後述の解析に十分な加熱を行った。また、加熱後の回復試験は、加熱に要した時間とほぼ同様の時間をかけ、地中温度がほぼ初期の温度になるまで試験を行った。

なお、試験期間内で電源トラブルや様々なトラブルを経験し、データがうまく取れない状況にも遭遇したが、サーマルレスポンス試験およびその解析を進める上で障害になるような試験結果しか得られなかった地点においては、再試験または部分の追加試験を行い、改めて取得したデータを解析には用いることとした。

表3.2.2.1に実際にサーマルレスポンス試験を実施したスケジュールを示す。表中の再試験ならびに追加試験の日程もあわせて表示した。

3.3 サーマルレスポンス試験結果

3.3.1 地点の特徴

黒石市の地形は、山間部を除いて浅瀬石川の扇状地を中心に平野部が構成されており、浅瀬石川の上流部分には、温泉地帯も多く存在している。今回選択された地点は、ほぼ全数が扇状地の中にあり、これらの地域は大きな石が地表近くに存在するところもある。

今回の試験では、すでに得られている情報を基におおよそ地下の状況を想定することはできるが、地下 10m から 50m 程度の浅層部では人工的な手が加わった部分もあり、周辺地域の状況から一様に評価することはできない。

50m のボーリング孔掘削においては、深度毎のおおよその地質を調べ、今後の地中熱利用に資することとした。本試験にて得られた地質状況を表 3.3.1.1 に示す。

なお、この表にもあるように、No7 の旧西十和田ユールホテル地点については、凝灰岩質の砂層で、掘削のために用いるベントナイト泥水が全量漏水するため、近隣の地下水への影響を考慮し、掘削を 20m で断念した。

虹の湖においては、50m のボーリングの段階で、地下温度が極めて高いことが明らかになった。この地点においては通常のサーマルレスポンス試験が不可能と判断し、改めて他の試験方法を検討することとした。

10m 鋼管杭の挿入においては、当初、ブレードパイルをそのまま挿入する予定であったが、表 3.3.1.2 に示すように、砂礫層に阻まれることを予測し、ブレード部の少ない 190.7 mm φ の大口径の先行掘削を 5 地点にて実施した。また、これらの方法では挿入の出来なかった地点 5 地点については、あらかじめ 200mm φ のボーリング孔をあけ、その後、規定のブレードパイルを挿入した。

10m 鋼管杭の挿入においは、ボーリングと違って地下のサンプルは採取できないため、今後の実用化に向けた地質面との関連の課題は直接見出せないが、先行掘削などのブレードパイルの挿入経験は、今後実用化の上での大いなる知見と考えられる。

表3.3.1.1 50m Uチューブ方式での掘削深度と掘削の特徴

地点No	施設名	ボーリング径	深度 m	土質区分
2	バイオ技術センター	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 1.5 m	礫・玉石
			1.5 ~ 9.0 m	軽石
			9.0 ~ 11.5 m	シルト
			11.5 ~ 27.0 m	砂礫
			27.0 ~ 37.0 m	軽石混じり礫
3	南部汚水中継ポンプ場	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 2.0 m	玉石混じり砂礫
			2.0 ~ 53.0 m	砂礫
4	ちとせ2号公園	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 2.5 m	凝灰質砂
			2.5 ~ 53.0 m	砂礫
5	浅瀬石公民館	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土・盛土
			0.5 ~ 1.0 m	凝灰質細中砂
			1.0 ~ 9.0 m	礫・玉石
			9.0 ~ 27.0 m	礫混じり中粗砂
			27.0 ~ 53.0 m	砂礫
33m付近非常に硬質(約50cm)				
7	旧西十和田ユースホステル	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 1.5 m	礫混じりローム
			1.5 ~ 20.9 m	軽石混じり凝灰質砂
			全量逸水のため終了	
8	虹の湖公園	179.2mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 4.0 m	礫混じり凝灰岩
			4.0 ~ 53.0 m	凝灰岩
12	東公園	117.0mmφ	0.0 ~ 0.3 m	表土・盛土
			0.3 ~ 1.0 m	凝灰質砂
			1.0 ~ 12.0 m	礫・玉石
			12.0 ~ 26.0 m	砂岩
			26.0 ~ 53.0 m	砂礫
15	農村環境改善センター(六宝館)	117.0mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 13.0 m	砂質シルト
			13.0 ~ 18.0 m	砂礫
18	黒石運動公園	117.0mmφ	0.0 ~ 0.5 m	表土
			0.5 ~ 1.2 m	礫・玉石
			1.2 ~ 12.0 m	礫・砂混じり軽石
			12.0 ~ 24.0 m	細・中砂
			24.0 ~ 53.0 m	礫混じり中粗砂
19	黒石市除雪センター	117.0mmφ	0.0 ~ 0.5 m	盛土
			0.5 ~ 11.0 m	礫・砂混じり細中砂
			11.0 ~ 18.5 m	腐植土混じり細・中砂
			18.5 ~ 53.0 m	礫混じり中粗砂

表3.3.1.2 10m鋼管杭方式での掘削深度と掘削の特徴

地点No	施設名	深度	鋼管径および備考
1	いちごハウス団地(村元氏借用)	7m	139.8mmφ 先掘り使用(190.7φ)
6	旧アクアリゾート開発跡地	9.7m	139.8mmφ 先行ボーリング(200φ)
9	山形公民館	10m	139.8mmφ 先行ボーリング(200φ)
10	花巻村づくりセンター	10m	139.8mmφ 先行ボーリング(200φ)
11	旧弘南鉄道用地	9.7m	139.8mmφ 先掘り使用(190.7φ)
13	青森県産業技術センターりんご研究所	10m	139.8mmφ 先掘り使用(190.7φ)
14	上十川公民館	9.0m	139.8mmφ 先行ボーリング(200φ)
16	飛内集会場駐車場	10m	139.8mmφ 先掘り使用(190.7φ)
17	北地区ゲートボール場	10m	139.8mmφ 先行ボーリング(200φ)
20	スボカルイン黒石	10m	139.8mmφ 先掘り使用(190.7φ)

3.3.2 各地点の試験データ

以下に黒石市内 20 地点の試験から得られた結果を示す。図はそれぞれ 3 段に分けて表示した。

上段：通常のサーマルレスポンス試験により得られる入口・出口温度、流速の時間変化を示す。なお、図中の青線は、試験時流速、赤線は注入水温度、緑線は排出水温度を示す。

中段：光ケーブルによる地中最深部から地上までのそれぞれの深度での温度変化（10 分平均）を示す。なお、横軸は試験期間全体の経過時間を示しており、前半は加熱循環時のデータ、後半は加熱とポンプを停止した後の回復試験時のデータを示す。また、図中の色の違いは、それぞれの深度での温度の違いを表している。

下段：加熱後の回復試験時の深さ毎の温度時間変化（10 分平均）を示す。なお、横軸はボーリング孔および鋼管杭の深度を表しており、0m が最深部を示している。図中の色の違いは、それぞれの回復時間毎のそれぞれの深度での温度を示している。

それぞれの地点の試験結果の中で、すべての温度計測結果が 0℃を示している部分があるが、電源故障などによるもので、評価上で特に大きな問題とならないと判断し、そのままのデータを採用した。また、機器の不具合により、いくつかの地点において、温度計測値がばらつきを示したものがあつた。それについては、再度試験を実施した。

50mのボーリングの結果 100℃近い温度が確認された虹の湖公園においては、通常の加熱方式によるサーマルレスポンス試験が不可能なことから、試験方法そのものの検討を行うとともに、新たに決めた試験方法に従って、地下からの得られる伝熱量を評価することとした。

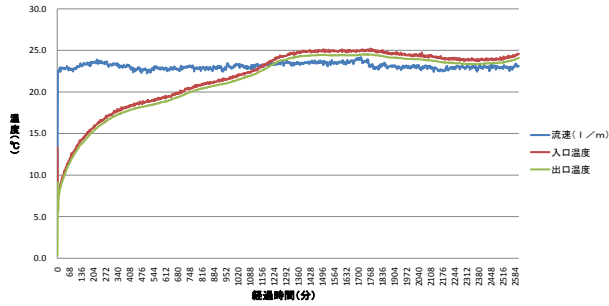
虹の湖公園において採用した試験方法は次の通りである。

通常の過熱試験に代わる方法として、温度一定の冷水を注入し、出口温度の低下を観測した。今回の試験では、約 2℃の冷水を 10 リットル/分にて注入し、十分に温度が低下するまで流し続けた。

通常の回復試験に代わる方法として、冷水注入後再び元の高温度状況に戻るまでの時間放置し、温度変化を深さ毎に観測した。

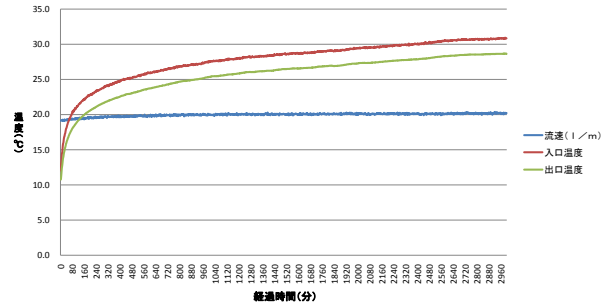
いちごハウス団地

加熱試験装置データ (いちごハウス団地)



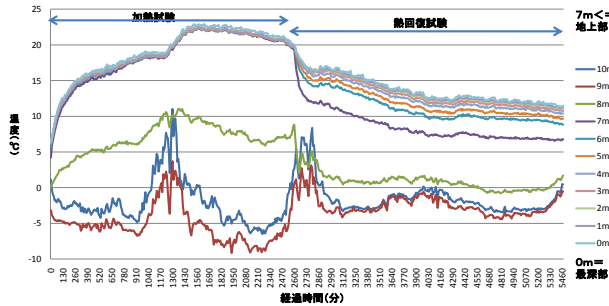
バイオ技術センター

加熱試験装置データ (バイオ技術センター)



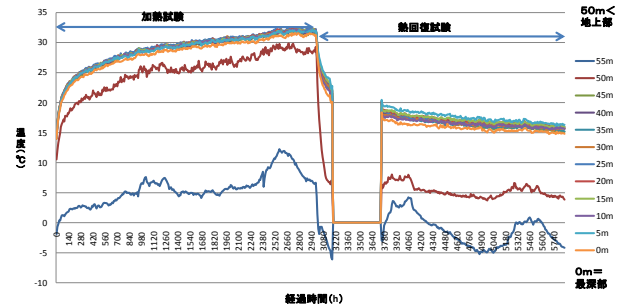
いちごハウス団地

10m サーマルレスポンス試験データ (いちごハウス団地)



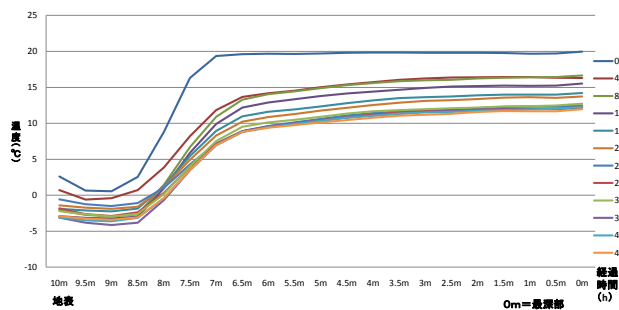
バイオ技術センター

50m サーマルレスポンス試験データ (バイオ技術センター)



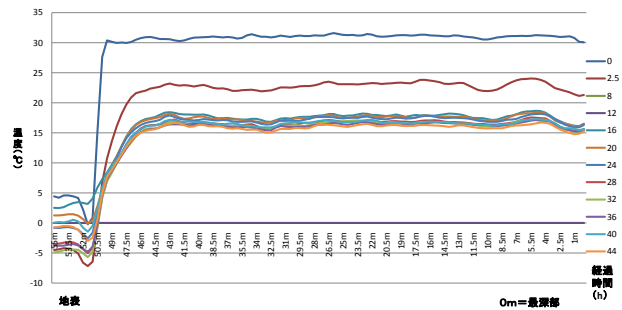
いちごハウス団地

10m 熱回復試験データ (いちごハウス団地)



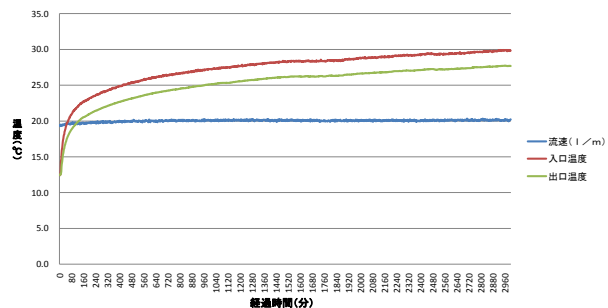
バイオ技術センター

50m 熱回復試験データ (バイオ技術センター)



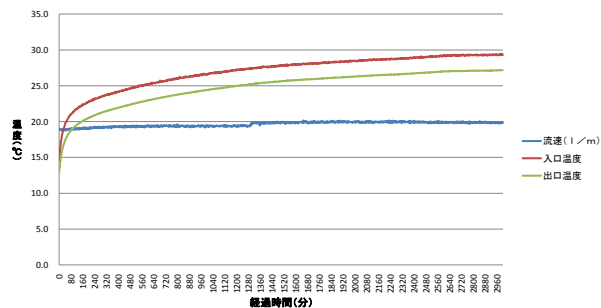
南部汚水中継ポンプ場

加熱試験装置データ (南部汚水中継ポンプ場)



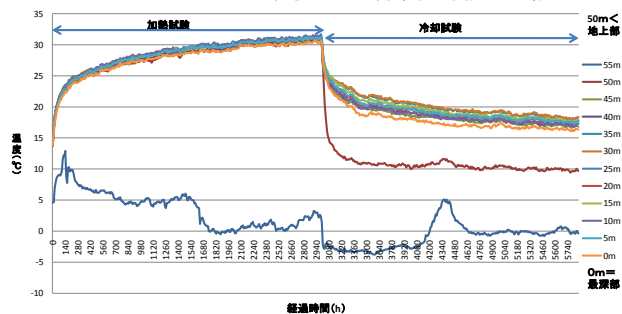
ちとせ2号公園

加熱試験装置データ (ちとせ2号公園)



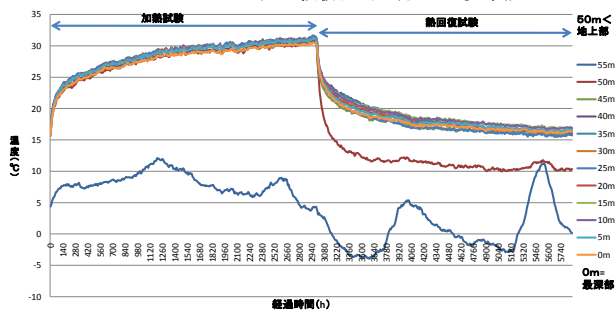
南部汚水中継ポンプ場

50m サーマルレスポンス試験データ (南部浄水中継ポンプ場)



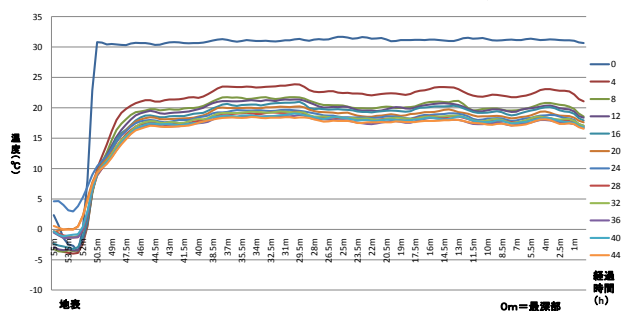
ちとせ2号公園

50m サーマルレスポンス試験データ (ちとせ2号公園)



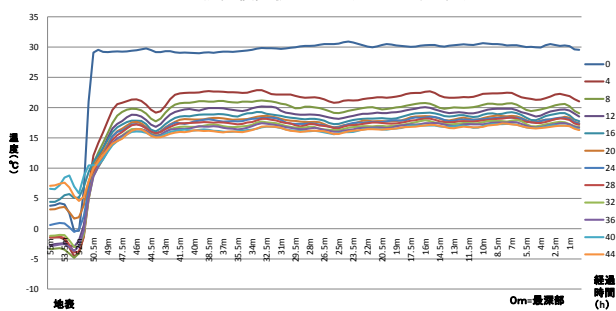
南部汚水中継ポンプ場

50m 熱回復試験データ (南部浄水中継ポンプ場)



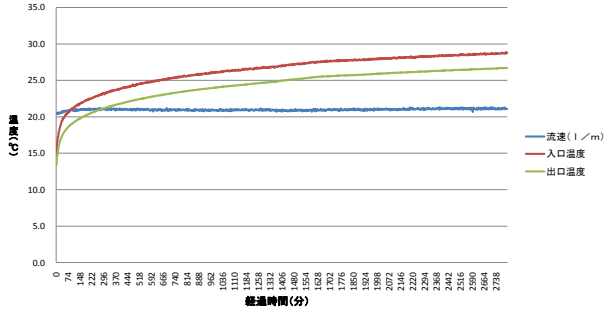
ちとせ2号公園

50m 熱回復試験データ (ちとせ2号公園)



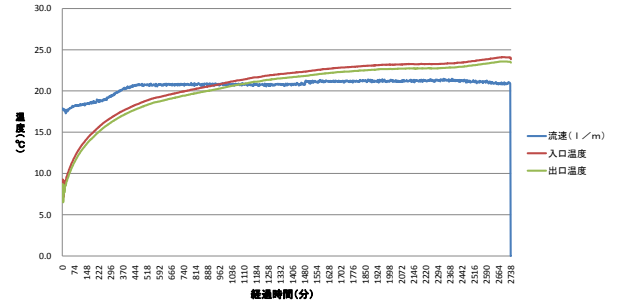
浅瀬石公民館

加熱試験装置データ (浅瀬石公民館)



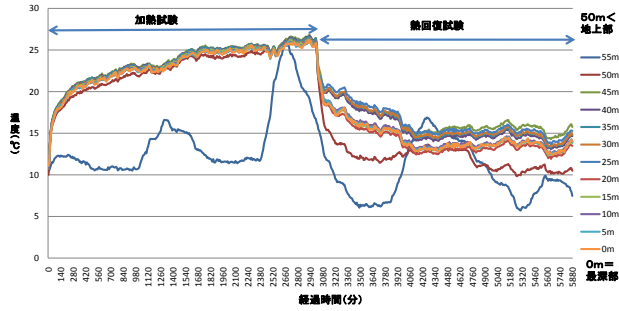
旧アクアリゾート開発跡地

加熱試験装置データ (旧アクアリゾート開発跡地)



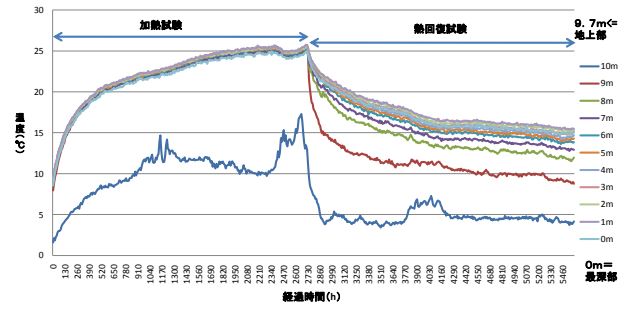
浅瀬石公民館

50m サーマルレスポンス試験データ (浅瀬石公民館)



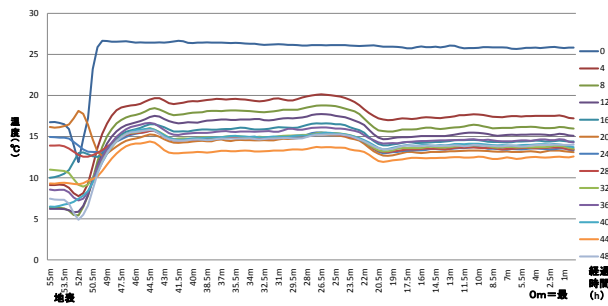
旧アクアリゾート開発跡地

10m サーマルレスポンス試験データ (旧アクアリゾート開発跡地)



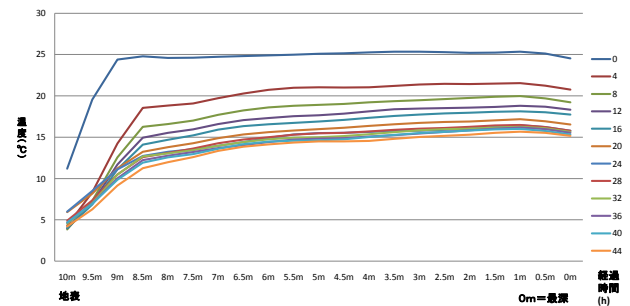
浅瀬石公民館

50m 熱回復試験データ (浅瀬石公民館)



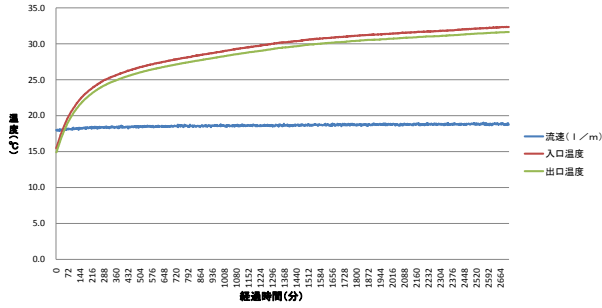
旧アクアリゾート開発跡地

10m 熱回復試験データ (旧アクアリゾート開発跡地)



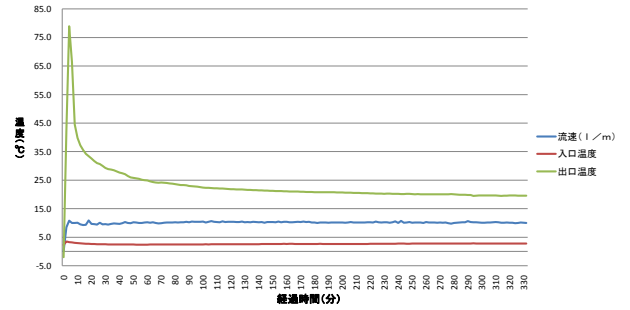
旧西十和田ユースホテル

加熱試験装置データ (旧西十和田ユースホテル)



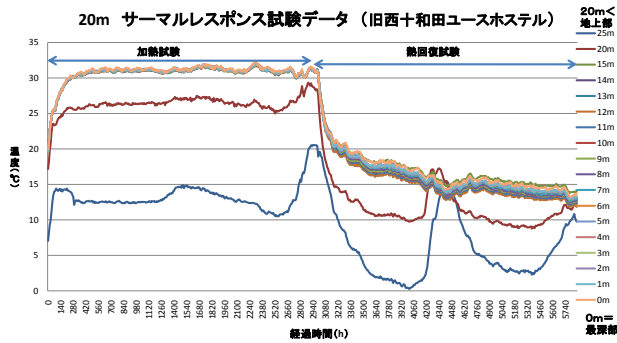
虹の湖公園

加熱試験装置データ (虹の湖公園)



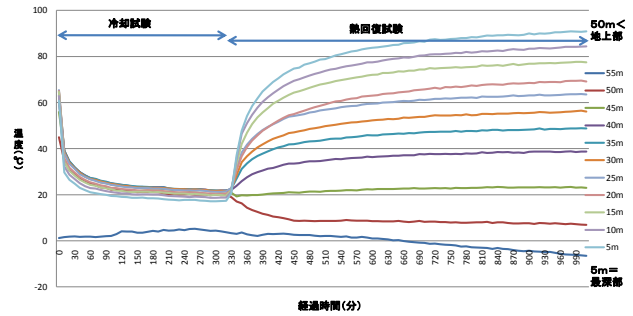
旧西十和田ユースホテル

20m サーマルレスポンス試験データ (旧西十和田ユースホテル)



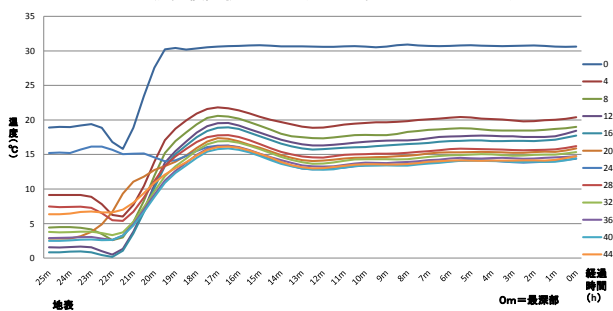
虹の湖公園

50m 熱回復試験データ (虹の湖公園)



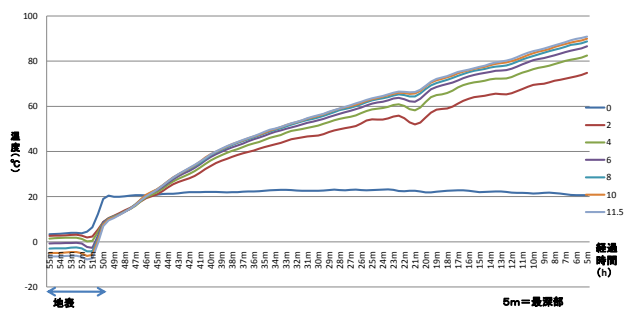
旧西十和田ユースホテル

20m 熱回復試験データ (旧西十和田ユースホテル)



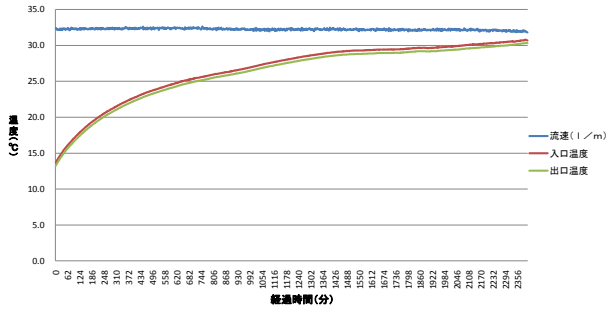
虹の湖公園

50m 熱回復試験データ (虹の湖公園)



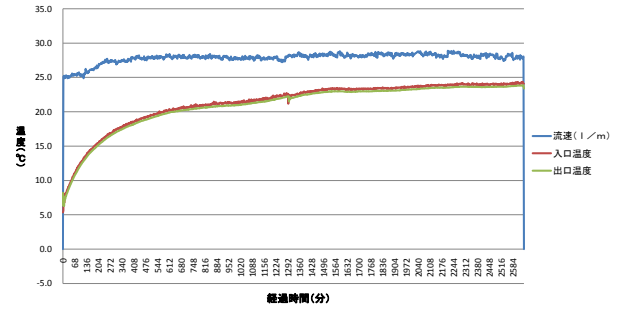
山形公民館

加熱試験装置データ (山形公民館)



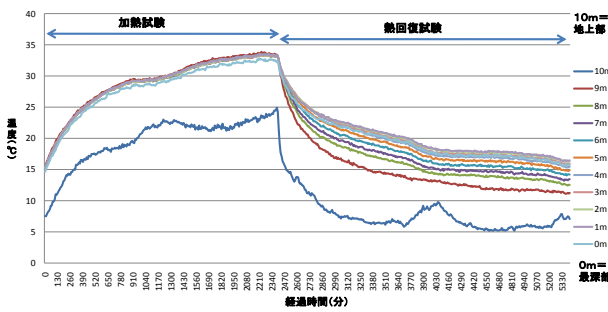
花巻村づくりセンター

加熱試験装置データ (花巻村づくりセンター)



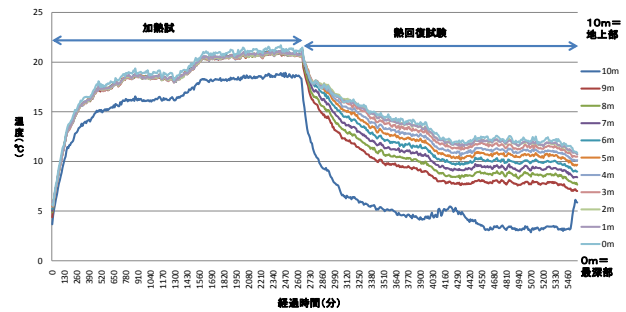
山形公民館

10m サーマレスポンス試験データ (山形公民館)



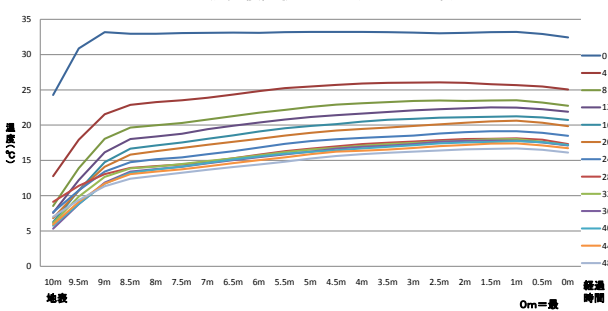
花巻村づくりセンター

10m サーマレスポンス試験データ (花巻村づくりセンター)



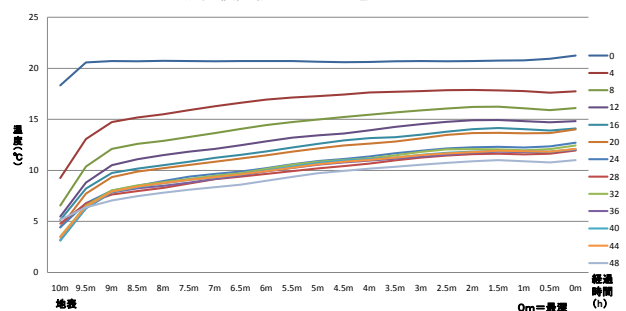
山形公民館

10m 熱回復試験データ (山形公民館)



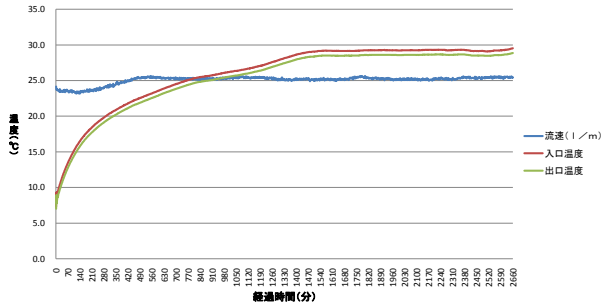
花巻村づくりセンター

10m 熱回復試験データ (花巻村づくりセンター)



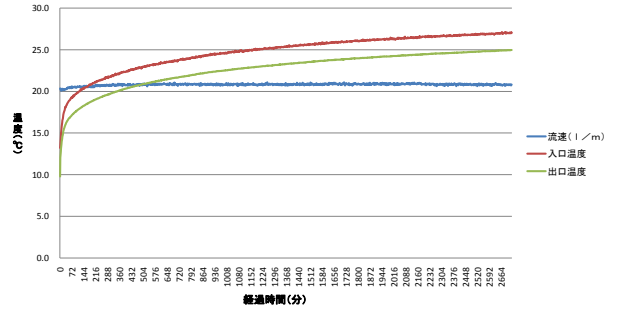
旧弘南鉄道用地

加熱試験装置データ (旧弘南鉄道用地)



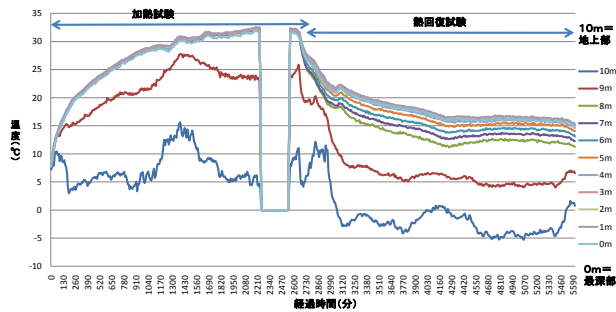
東公園

加熱試験装置データ 黒石市(東公園)



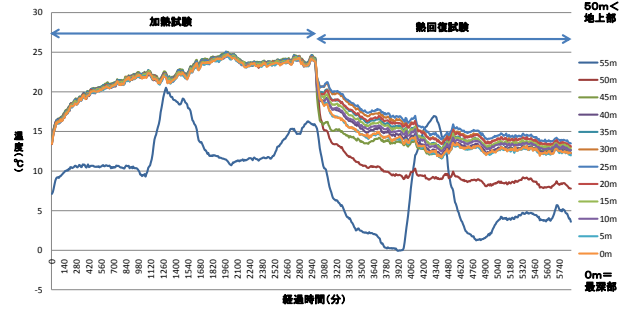
旧弘南鉄道用地

10m サーマルレスポンス試験データ (旧弘南鉄道用地)



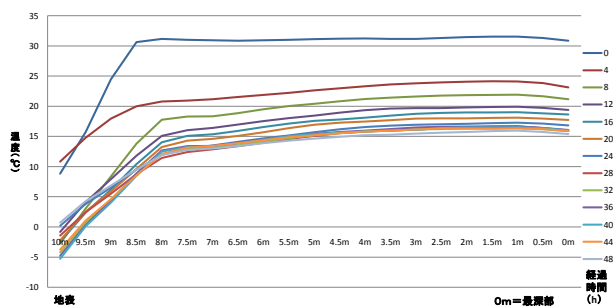
東公園

50m サーマルレスポンス試験データ 黒石市(東公園)



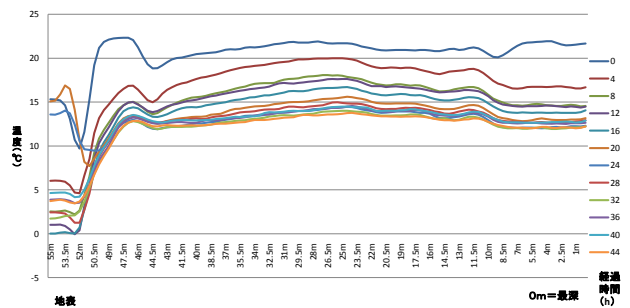
旧弘南鉄道用地

10m 熱回復試験データ (旧弘南鉄道用地)



東公園

50m 熱回復試験データ 黒石市(東公園)

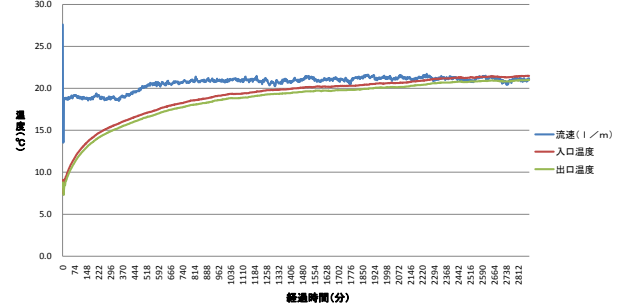
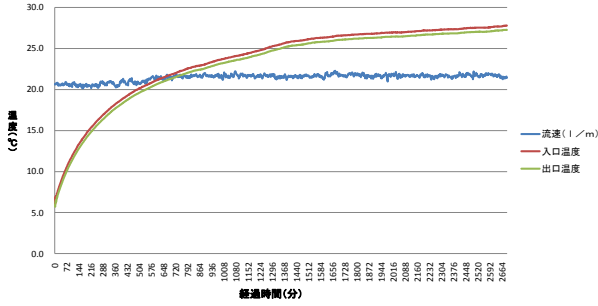


青森県産業技術センターりんご研究所

上十川公民館

加熱試験装置データ (青森県産業技術センターりんご研究所)

加熱試験装置データ 黒石市(上十川公民館)

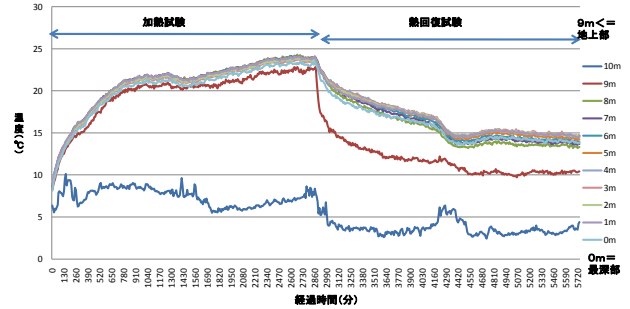
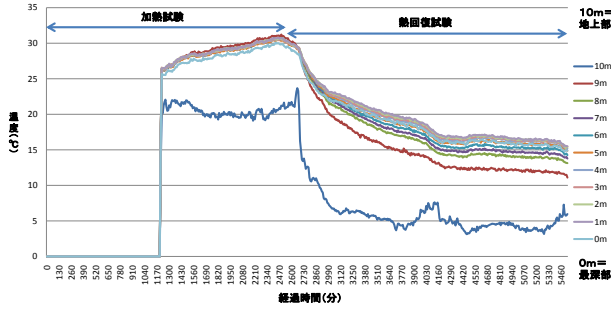


青森県産業技術センターりんご研究所

上十川公民館

10m サーマルレスポンス試験データ (青森県産業技術センターりんご研究所)

10m サーマルレスポンス試験データ 黒石市(上十川公民館)

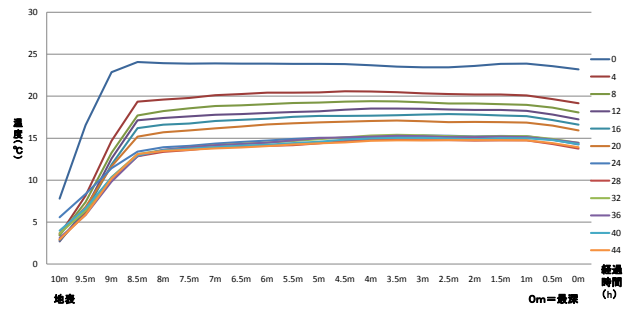
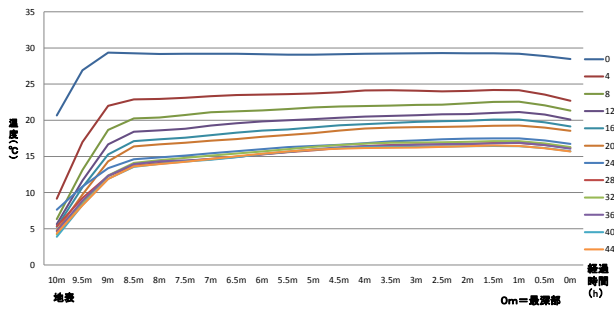


青森県産業技術センターりんご研究所

上十川公民館

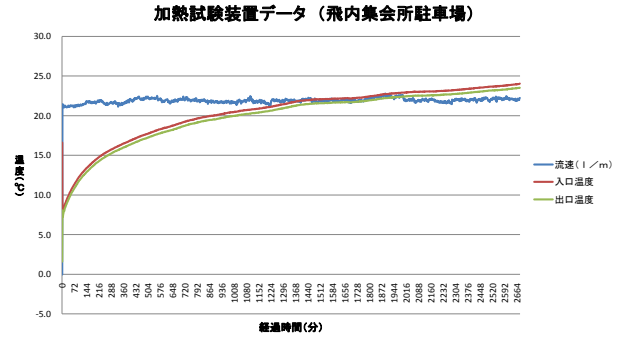
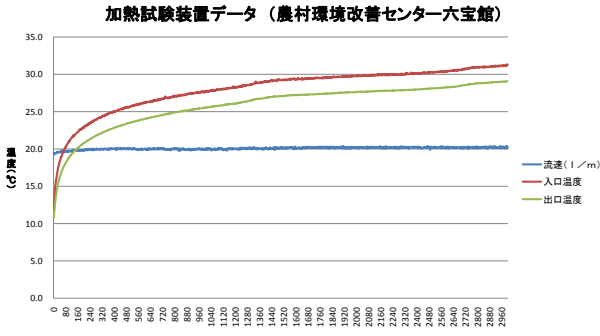
10m 熱回復試験データ (青森県産業技術センターりんご研究所)

10m 熱回復試験データ 黒石市(上十川公民館)



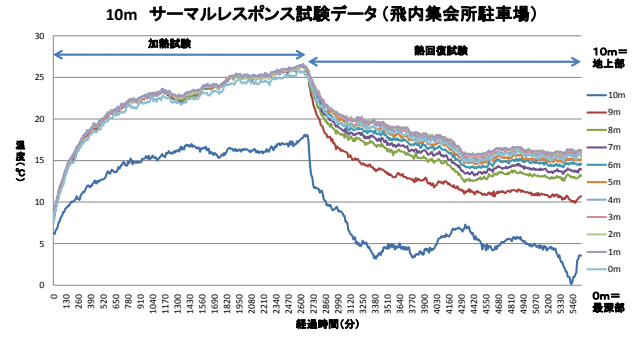
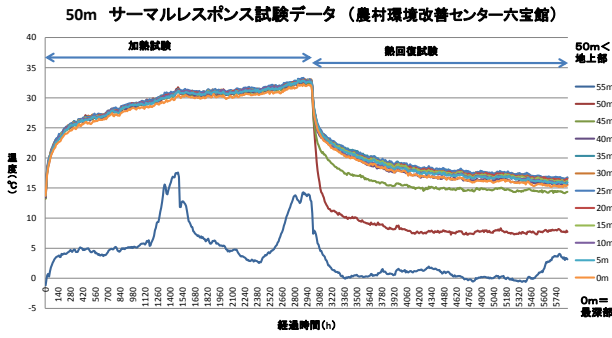
農村環境改善センター(六宝館)

飛内集会所駐車場



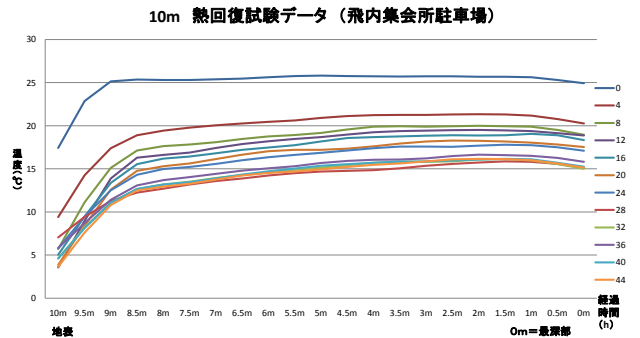
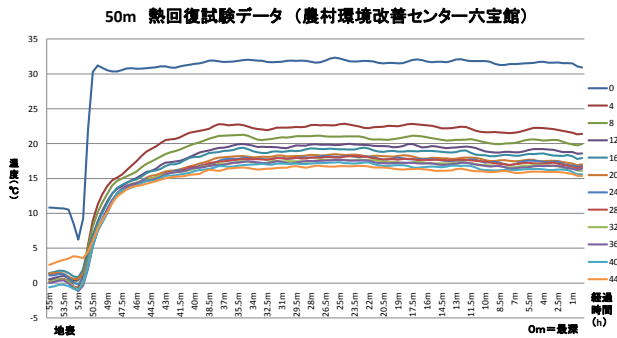
農村環境改善センター(六宝館)

飛内集会所駐車場



農村環境改善センター(六宝館)

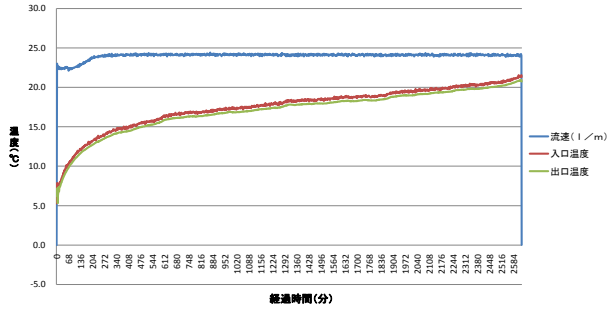
飛内集会所駐車場



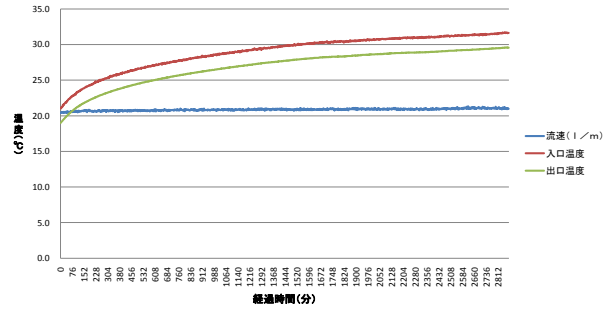
北地区ゲートボール場

黒石運動公園

加熱試験装置データ (北地区ゲートボール場)



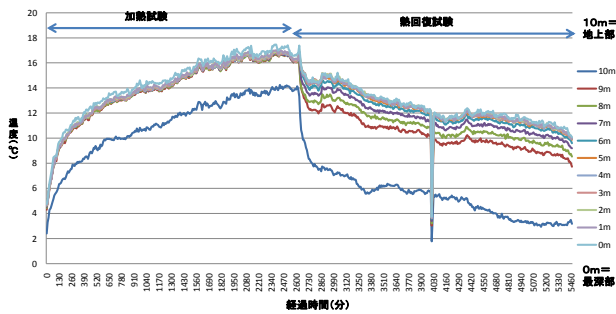
加熱試験装置データ (黒石運動公園)



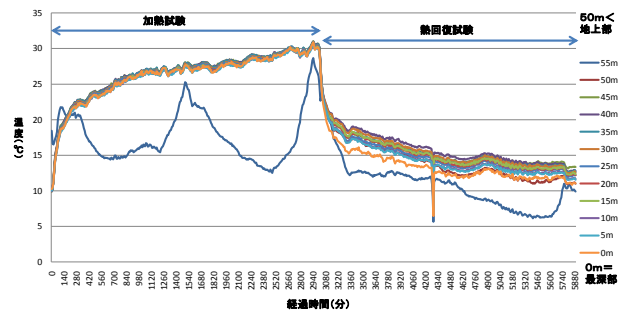
北地区ゲートボール場

黒石運動公園

10m サーマルレスポンス試験データ (北地区ゲートボール場)



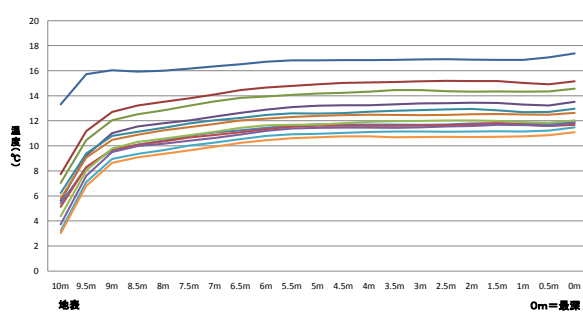
50m サーマルレスポンス試験データ (黒石運動公園)



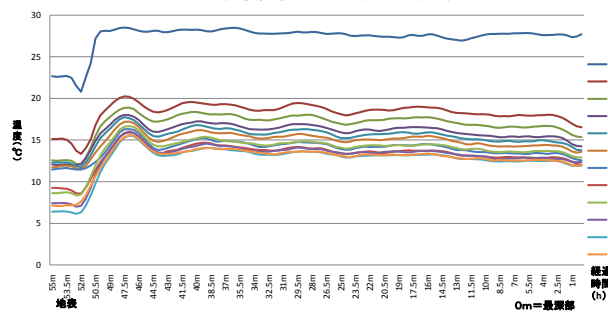
北地区ゲートボール場

黒石運動公園

10m 熱回復試験データ (北地区ゲートボール場)

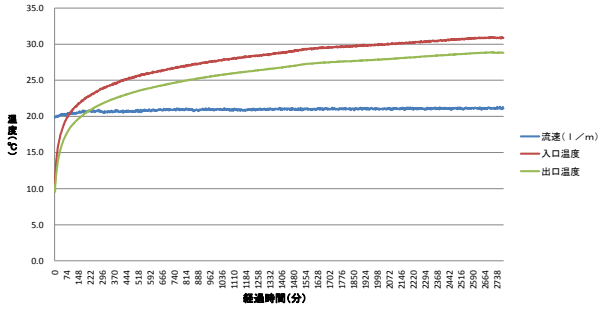


50m 熱回復試験データ (黒石運動公園)



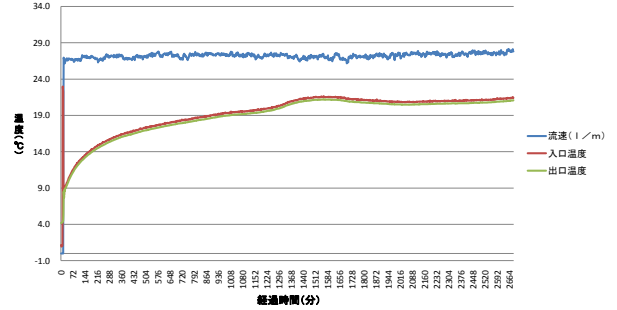
黒石市除雪センター

加熱試験装置データ (黒石市除雪センター)



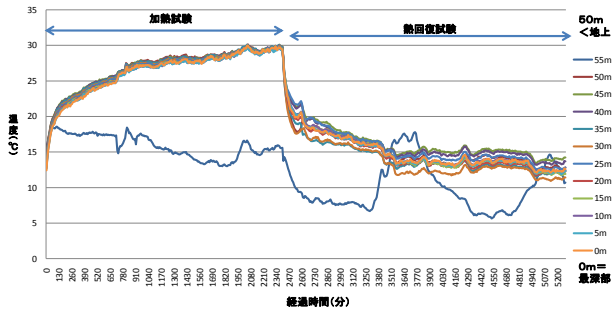
スポカルイン黒石

加熱試験装置データ (スポカルイン黒石)



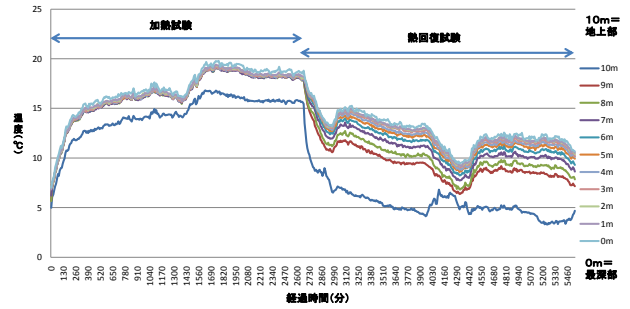
黒石市除雪センター

50m サーマルレスポンス試験データ (黒石市除雪センター)



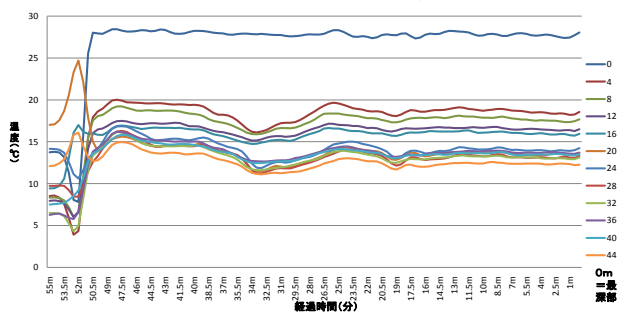
スポカルイン黒石

10m サーマルレスポンス試験データ (スポカルイン黒石)



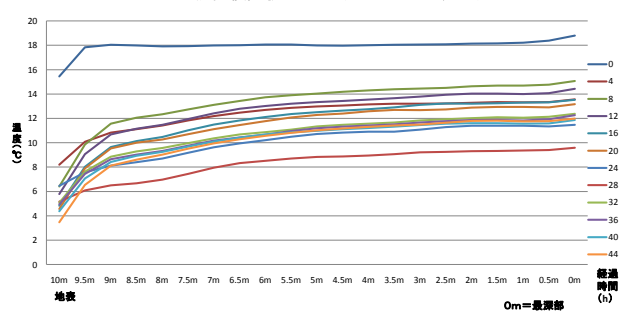
黒石市除雪センター

50m 熱回復試験データ (黒石市除雪センター)



スポカルイン黒石

10m 熱回復試験データ (スポカルイン黒石)



3.4 地中熱調査結果

3.4.1 はじめに

黒石市における地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業におけるサーマルレスポンス試験は、深度 50m の U 字型地中熱交換井（地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイ：高密度ポリエチレン製）および深度 10m の同軸型地中熱交換井（鋼管製）を用いて実施した。

サーマルレスポンス試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。図 3. 4. 1. 1 に生活に身近な物の熱伝導率を示す。

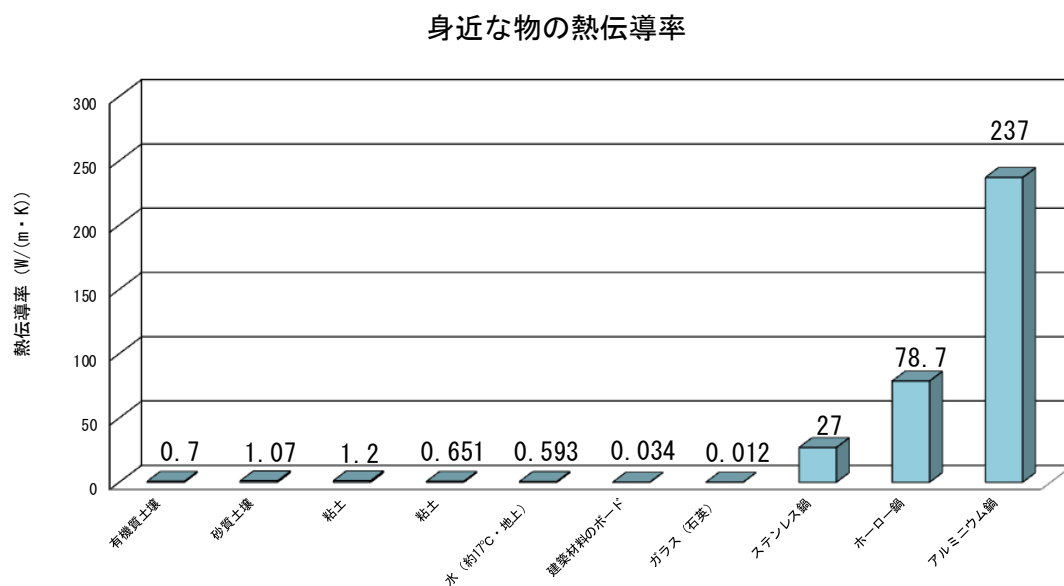


図 3. 4. 1. 1 身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）

図 3. 4. 1. 1 から、私たちが水を沸騰させるためや料理をするために使用している鍋は非常に熱が伝わりやすいことや、またそれと比較すると土壌や粘土などの地層構成物質は熱が伝わりにくいことが理解できる。

サーマルレスポンス試験から得られる熱伝導率は、詳しくは、図 3.4.1.2 に示したように熱交換井を設置した地点の地層の平均有効熱伝導率である。この“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

平均有効熱伝導率を推定するための解析法は、適用が容易であり、またサーマルレスポンス試験の解析においてより広範に用いられている線源理論に基づく作図法、特に循環時における熱媒体の温度を用いる解析法を採用した（藤井，2006）。

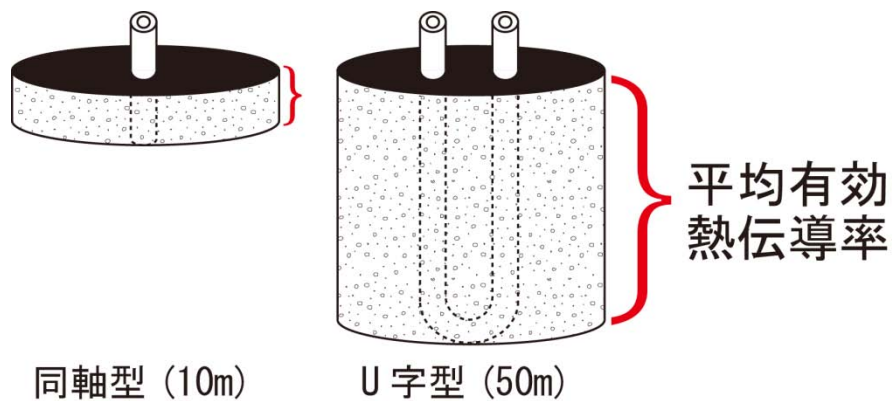


図 3.4.1.2 平均有効熱伝導率

また、深度 50m の U 字型地中熱交換井においては、熱媒体循環終了後の地下の温度回復の連続測定結果（熱交換井の熱媒体流入側に光ファイバーケーブルを入れ、深度 0.5m ごとに温度を測定）から、合計 98 深度（地表面下 1m は断熱材を使用）の有効熱伝導率について円筒型熱源関数（藤井ほか，2006；Fujii *et al.*, 2009）を用いて解析した（図 3.4.1.3）。

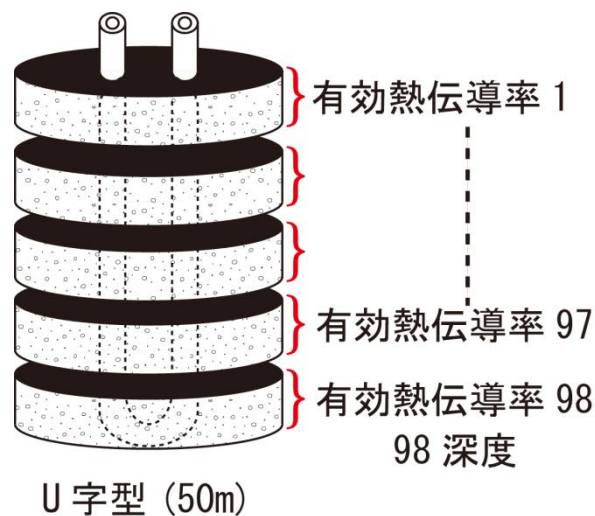


図 3.4.1.3 各層の有効熱伝導率

3.4.2 平均有効熱伝導率の解析方法

線源理論に基づく作図法による平均有効熱伝導率の推定について、線源理論による熱媒体の平均温度は、深度方向や時間に関係なく地中熱交換量を一定とした場合、次式になる（森谷ほか，2010）。

$$T_{ave} = \frac{Q}{4\pi\lambda H} \left(\ln \left(\frac{4\alpha t}{r_o^2} \right) - \gamma \right) + \frac{QR_b}{H} + T_i \quad (1)$$

さらに、(1)式は、時間 t に関する項と他項に分けると(2)式のようなになる。

$$T_f = k \ln(t) + m \quad (2)$$

$$k = \frac{Q}{4\pi\lambda_s H} \quad (3)$$

$$m = \frac{Q}{H} \left(\frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln \left(\frac{4\alpha}{r_b^2} \right) - \gamma \right) + R_b \right) + T_o \quad (4)$$

記号は、

- T_{ave} [C°] : 熱媒体平均温度,
- Q [W] : 熱交換井の地中熱交換量,
- λ_s [W/(m・K)] : 有効熱伝導率,
- H [m] : 熱交換井の長さ,
- α [m²/s] : 熱拡散率,
- t [s] : 時間,
- r_b [m] : 熱交換井半径,
- γ : オイラ一定数(0.5772),
- T_i [C°] : 初期地層温度,
- R_b [K/(W/m)] : 熱抵抗

を表している。

(2), (3)式および熱交換井の長さおよび地中熱交換量の値は得ることができることから、熱媒体の平均温度の経時変化の片対数プロットの勾配により、有効熱伝導率を求めることができる（森谷ほか，2010）。

3.4.3 黒石市 20 地点における平均有効熱伝導率の解析結果

表 3.4.3.1 に黒石市 19 地点における平均有効熱伝導率の解析結果を示す。残り 1 地点の虹の湖公園は、深度 50mにおいて地温が約 100℃という値を示した。冷却型のサーマルレスポンス試験の結果では、熱交換井の地中熱交換量が一定にならなかったため虹の湖公園における平均有効熱伝導率の推定方法は、上記の線源理論とは異なる方法を用いた。方法は、3.4.3.1 に示す。なお、表 3.4.3.1 には、平均有効熱伝導率の結果のほかに、サーマルレスポンス試験時の平均地中熱交換量および単位深度あたりの地中熱交換量、熱交換井の長さ、熱交換井の最浅部に巻きつけた断熱材の長さも示している。

表 3.4.3.1 黒石市 19 地点における平均有効熱伝導率の解析結果

	勾配 (自然対数)	勾配 (常用対数)	平均地中熱交換量 (kW)	熱交換井長 (m)	断熱材 (m)	単位深度あたり	平均有効熱伝導率 (W/(m・K))
						平均地中熱交換量 (W/m)	
1 いちごハウス (村元氏借用)	4.0829	9.4029	0.79	7.0	1	131.7	2.56
2 バイオ技術センター	3.0703	7.0709	3.0	50	1	61.2	1.58
3 南部汚水中継ポンプ場	2.3404	5.3899	3.0	50	1	61.2	2.08
4 ちとせ2号公園	2.6359	6.0705	3.0	50	1	61.2	1.85
5 浅瀬石公民館	2.5979	5.9830	3.0	50	1	61.2	1.87
6 旧アクアリゾート開発跡地	3.0321	6.9829	0.76	9.7	1	87.4	2.29
7 旧西十和田ユースホテル	3.4363	7.9138	0.92	20	1	48.4	1.12
8 虹の湖公園		0.0000		50	1		
9 山形公民館	4.2829	9.8635	1.0	10	1	111.1	2.06
10 花巻村づくりセンター	2.8552	6.5755	0.71	10	1	78.9	2.20
11 旧弘南鉄道用地	4.4874	10.3345	1.2	9.7	1	137.9	2.44
12 東公園	2.4460	5.6331	3.0	50	1	61.2	1.99
13 青森県産業技術センターりんご研究所	4.8812	11.2414	0.76	10	1	84.4	1.37
14 上十川公民館	2.6273	6.0507	0.73	9.0	1	91.3	2.76
15 農村環境改善センター(六宝館)	2.9796	6.8620	3.0	50	1	61.2	1.63
16 飛内集会所駐車場	3.5045	8.0709	0.76	10	1	84.4	1.91
17 北地区ゲートボール場	3.1489	7.2519	0.82	10	1	91.1	2.30
18 黒石運動公園	2.8979	6.6739	3.0	50	1	61.2	1.68
19 黒石市除雪センター	3.2371	7.4550	3.0	50	1	61.2	1.50
20 スポカルイン黒石	2.7350	6.2987	0.68	10	1	75.6	2.20

図 3.4.3.1 に黒石市 19 地点の平均有効熱伝導率値の分布を示す。図 3.4.3.1 が示しているように今回の黒石市における地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業におけるサーマルレスポンス試験により求められた平均有効熱伝導率は、 $3.0\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を超える値は認められなかった。高密度ポリエチレン製の U 字型地中熱交換井における平均有効熱伝導率は、鋼管製の同軸型地中熱交換井の値と比較して相対的に低い値を示した。この理由は、定量的には明らかではない。また、各地点における平均有効熱伝導率の算術平均値は $1.97\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ で、最大値は上十川公民館の $2.76\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、最小値は旧西十和田ユースホテルの $1.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。

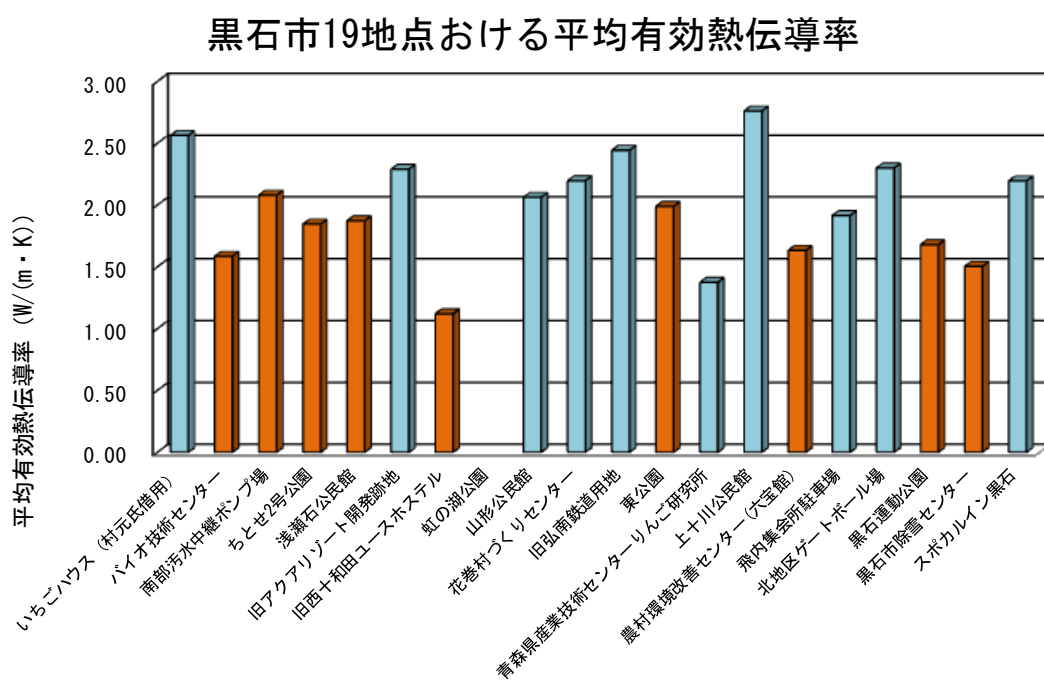


図 3.4.3.1 黒石市 19 地点の平均有効熱伝導率値の分布
(青色：同軸型地中熱交換井(鋼管製)，赤色：U字型地中熱交換井(高密度ポリエチレン製))

3.4.3.1 虹の湖公園におけるサーマルレスポンス試験の結果

虹の湖公園は、上述したように地下の温度が非常に高温であり地温勾配が大きい（図 3.4.3.1.1）。そのため、他の地点で実施してきた加熱型のサーマルレスポンス試験は実施できなかった。したがって、冷却型サーマルレスポンス試験を実施した。結果を図 3.4.3.1.2 と図 3.4.3.1.3 に示す。

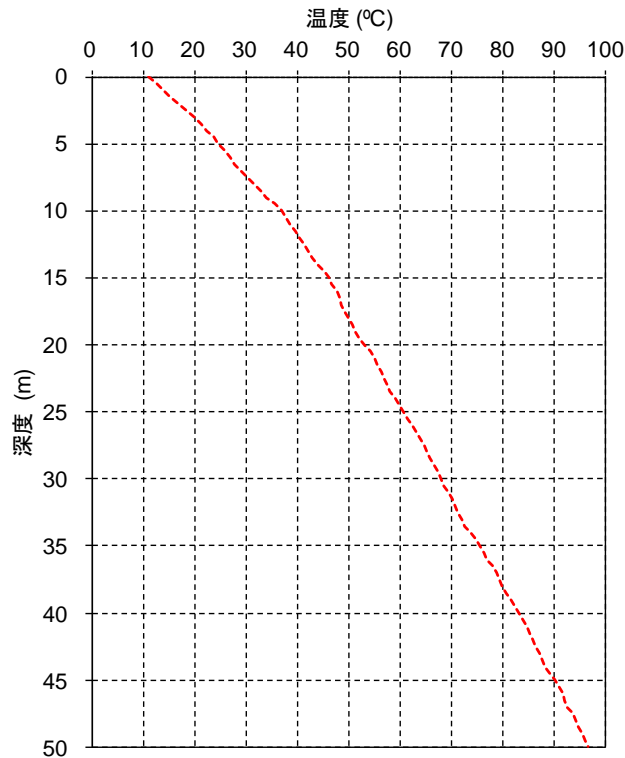


図 3.4.3.1.1 虹の湖公園における熱交換井内の循環媒体温度の深度分布

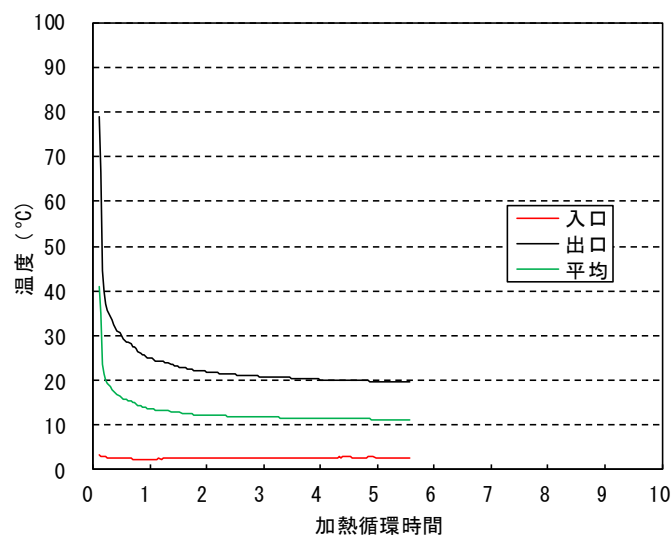


図 3.4.3.1.2 虹の湖公園における熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

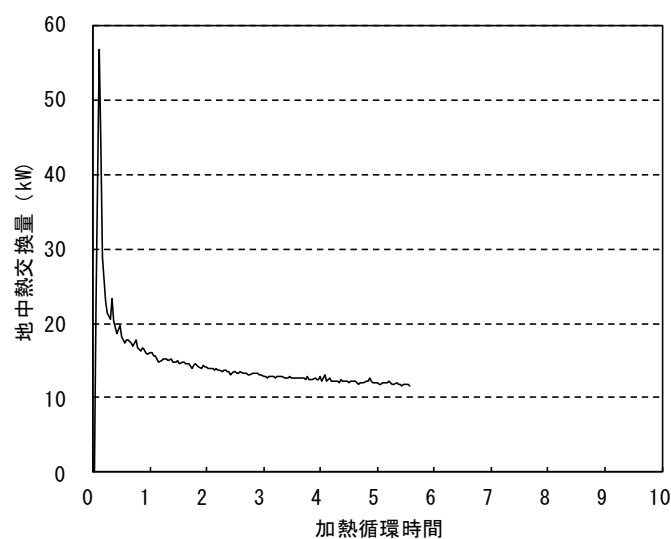


図 3.4.3.1.3 虹の湖公園における地中熱交換量の経時変化

図 3.4.3.1.3 から明らかなように虹の湖公園におけるサーマルレスポンス試験時には、地中熱交換量が一定になることはなかった。結果として、平均有効熱伝導率を推定するために線源理論による作図法ではなく、円筒型熱源関数に重ね合せの原理を適用した(5)式のマッチング法(藤井・秋林, 2002)により平均有効熱伝導率を推定した。

$$\Delta T_g = \frac{1}{\lambda_s} \sum_{i=1}^{nstep} \left\{ \frac{Q}{H_i} [G(Z, P)_{nstep+1-i} - G(Z, P)_{nstep-i}] \right\} \quad (5)$$

円筒熱源関数の詳細は、3.4.5.2 に詳述した。また、より詳しくは参考文献を確認いただきたい。

虹の湖にサーマルレスポンス試験を実施した地点の地下約 50m の全深度を 75℃ 均一とした場合、平均有効熱伝導率は 1.38 W/(m・K) の値を得た。全深度 90℃ 均一の場合は、0.95 W/(m・K) であった。一方、全深度の温度をさらに低くした 60℃ 均一の場合、2.30 W/(m・K) という値が得られた。

3.4.4 黒石市 19 地点におけるサーマルレスポンス試験結果

平均有効熱伝導率を算出するための解析に用いた黒石市の 19 地点のサーマルレスポンス試験結果を 1 地点ごとに 4 枚示す。第 1 図は熱交換井入口出口における熱循環媒体温度とそれらの平均温度の経時変化，第 2 図はサーマルレスポンス試験時における地中熱交換量の経時変化，第 3 図は熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット，そして第 4 図は加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化である。

1. いちごハウス（村元氏借用）

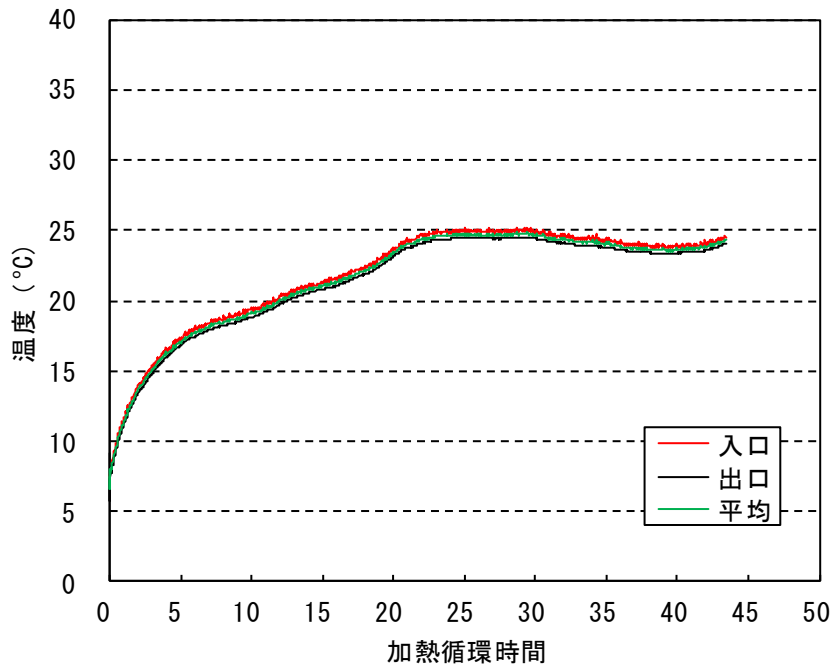


図 3. 4. 4. 1. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

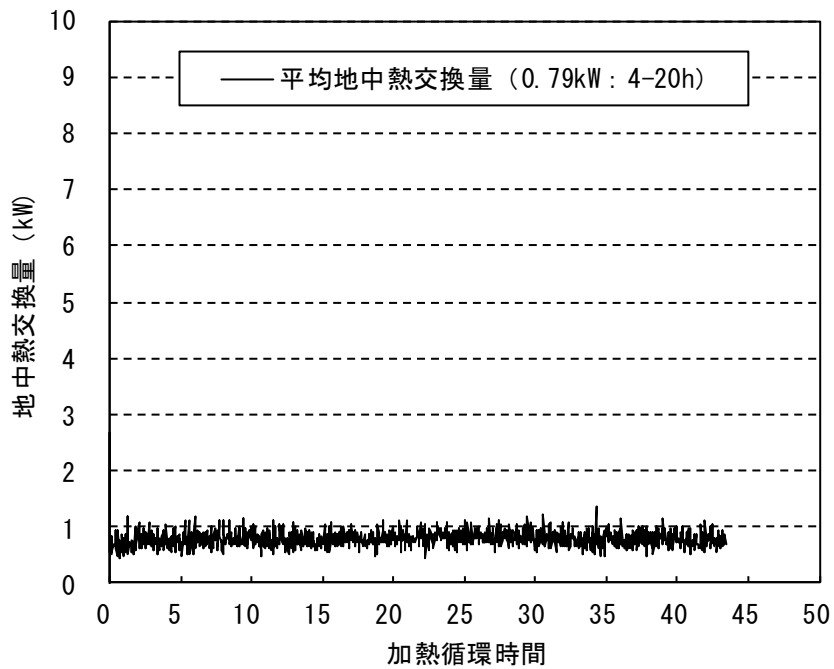


図 3. 4. 4. 1. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

1. いちごハウス（村元氏借用）

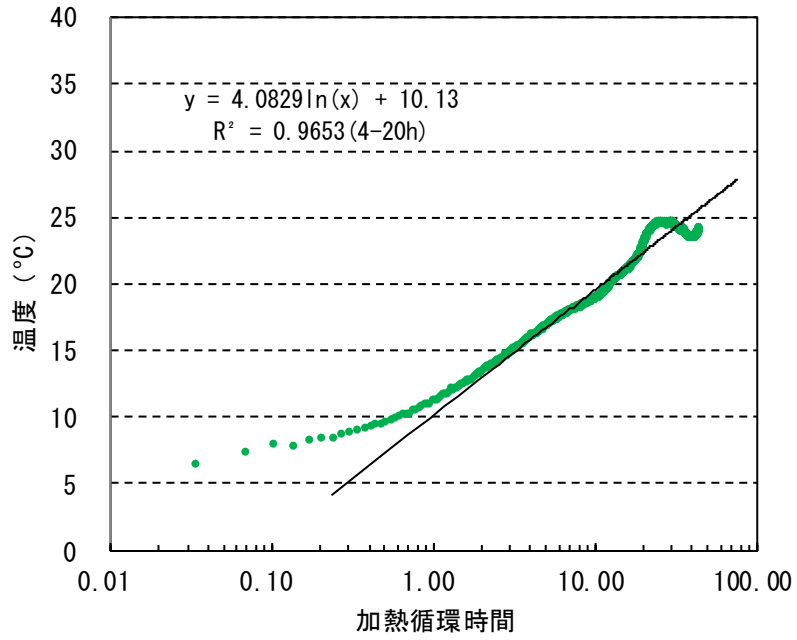


図 3. 4. 4. 1. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

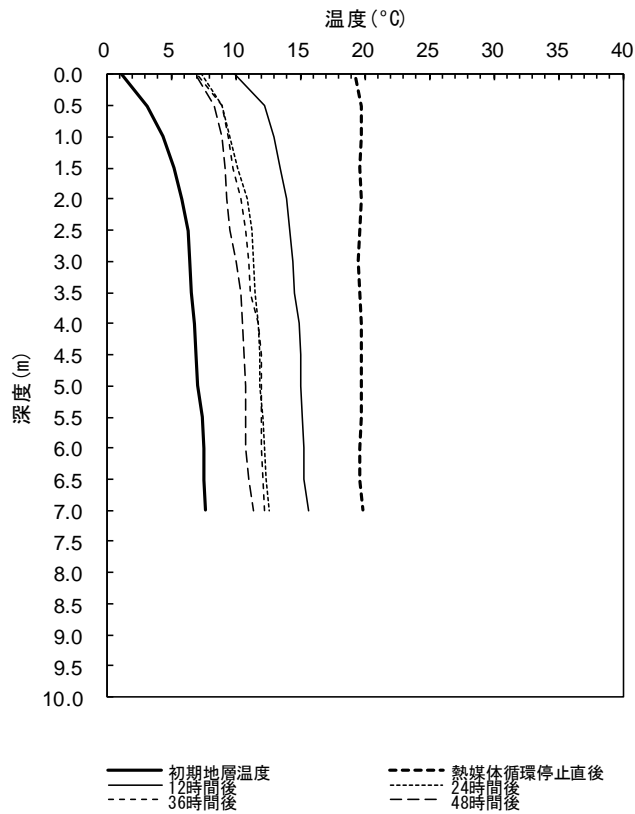


図 3. 4. 4. 1. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

2. バイオ技術センター

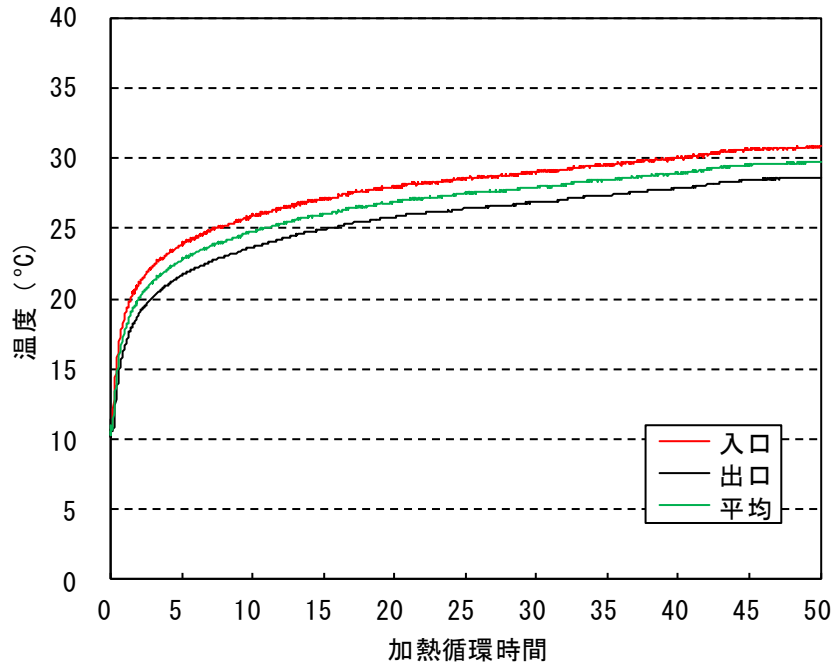


図 3. 4. 4. 2. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

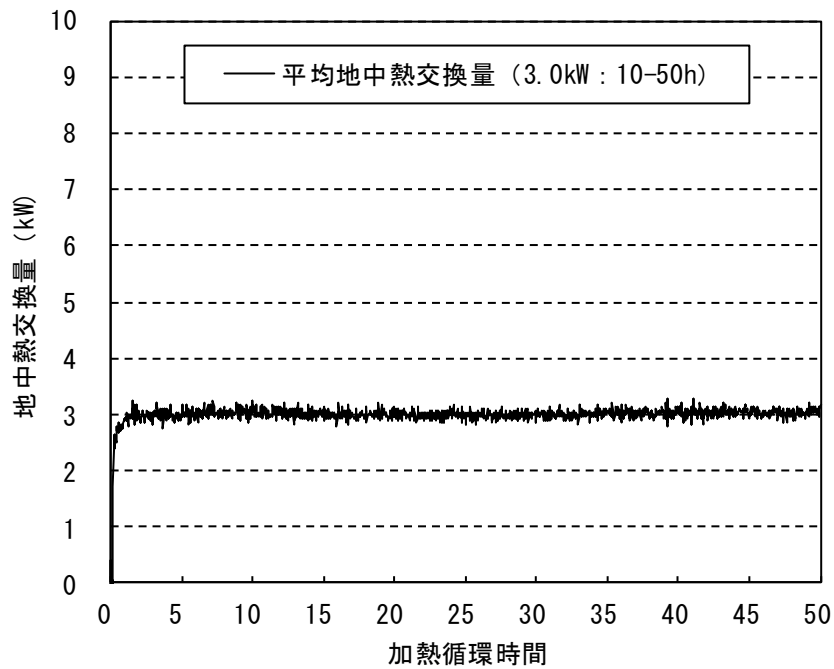


図 3. 4. 4. 2. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

2. バイオ技術センター

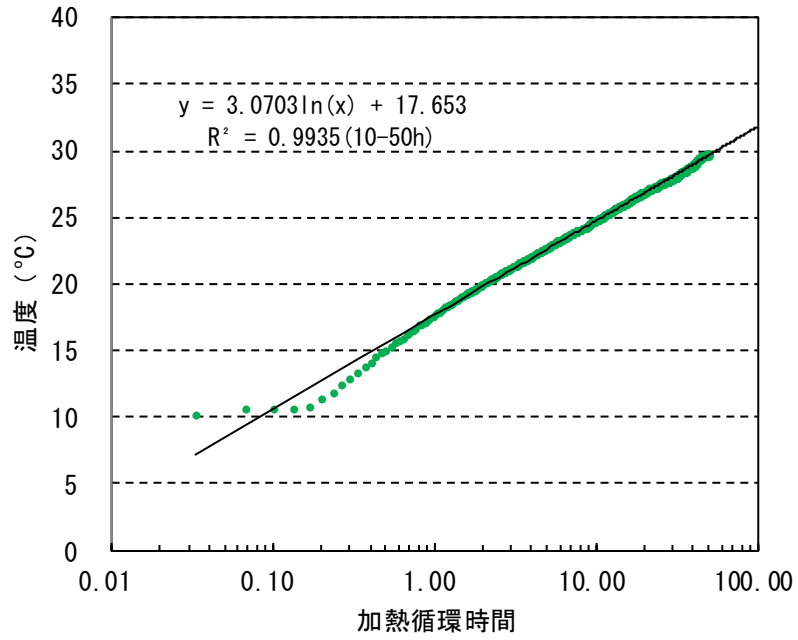


図 3. 4. 4. 2. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

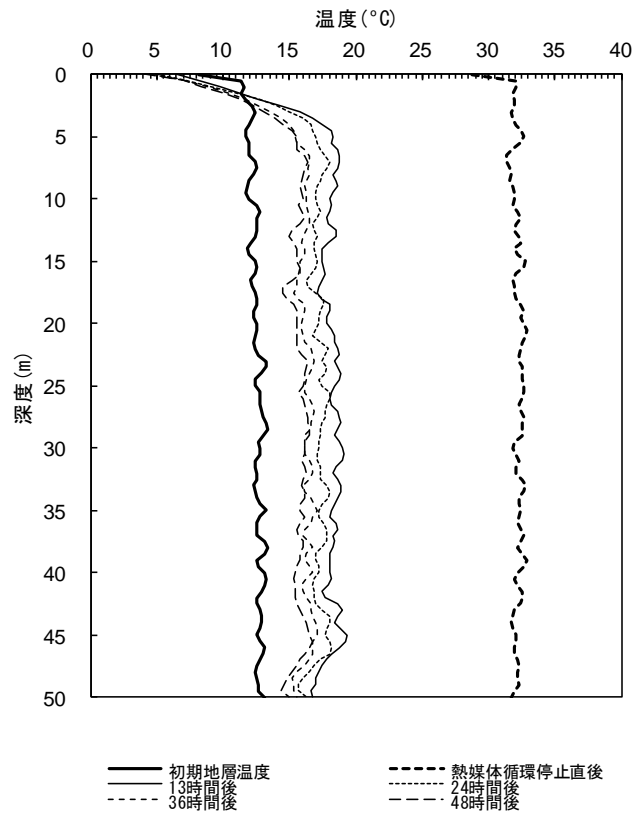


図 3. 4. 4. 2. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

3. 南部汚水中継ポンプ場

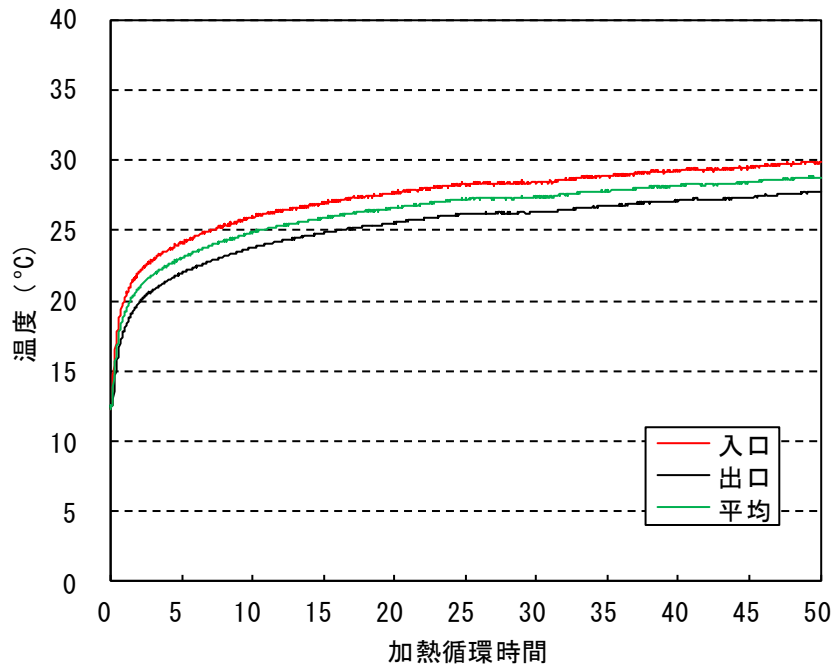


図 3. 4. 4. 3. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

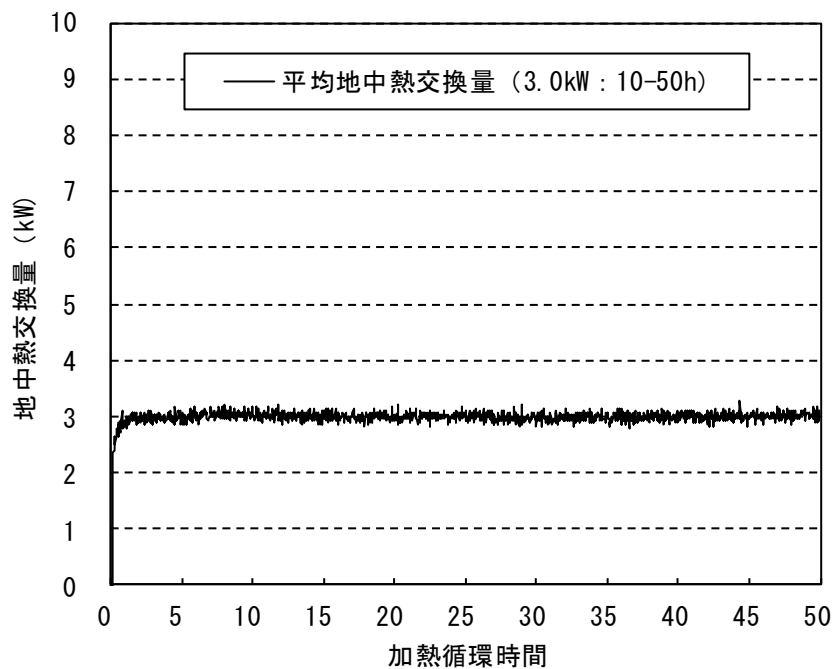


図 3. 4. 4. 3. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

3. 南部汚水中継ポンプ場

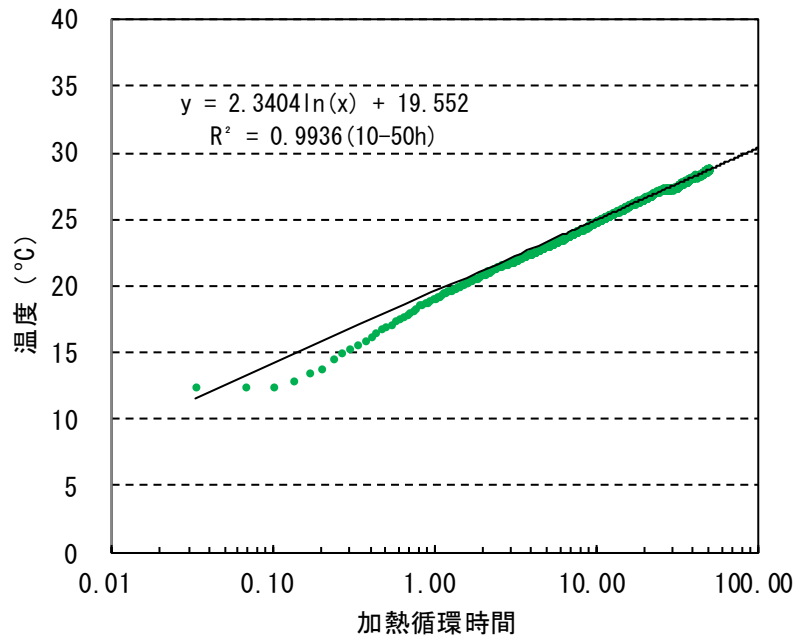


図 3. 4. 4. 3. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

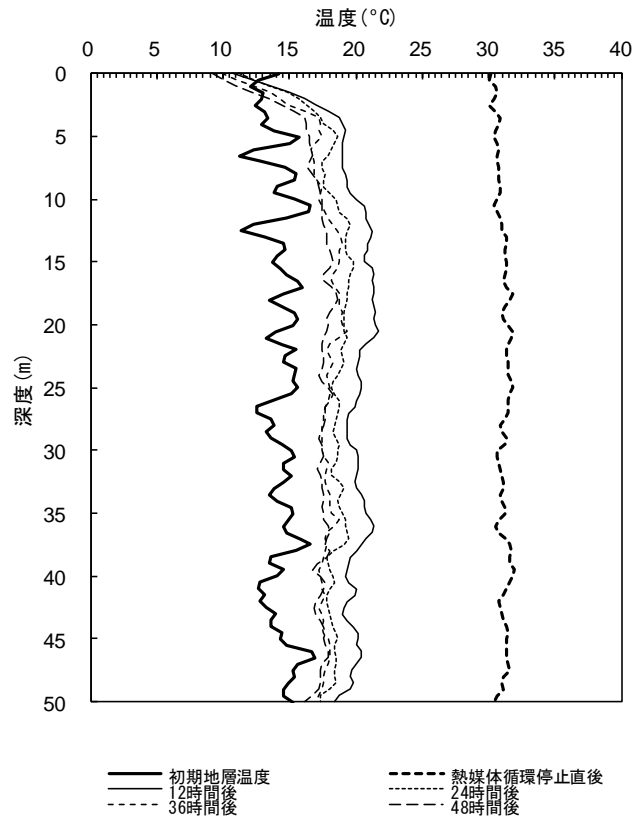


図 3. 4. 4. 3. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

4. ちとせ2号公園

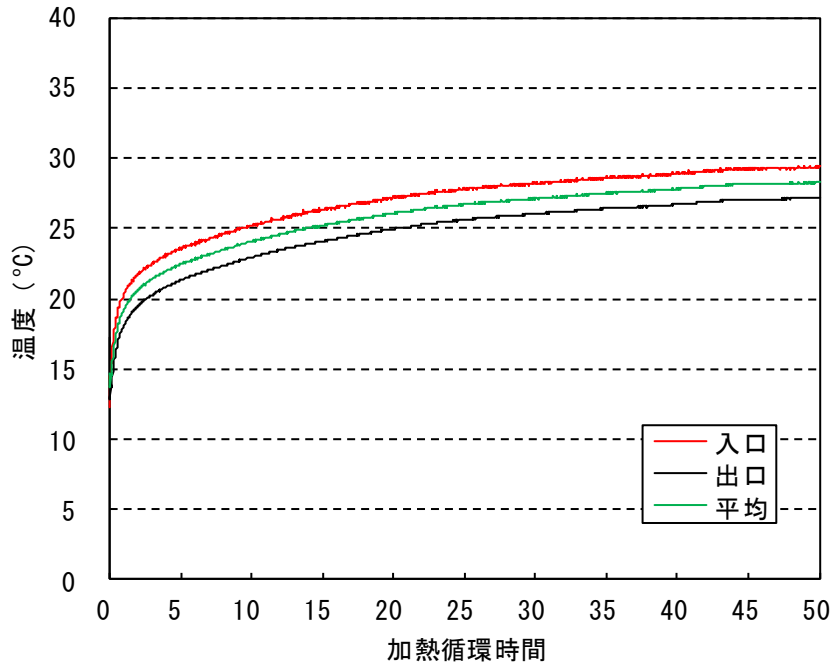


図 3.4.4.4.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

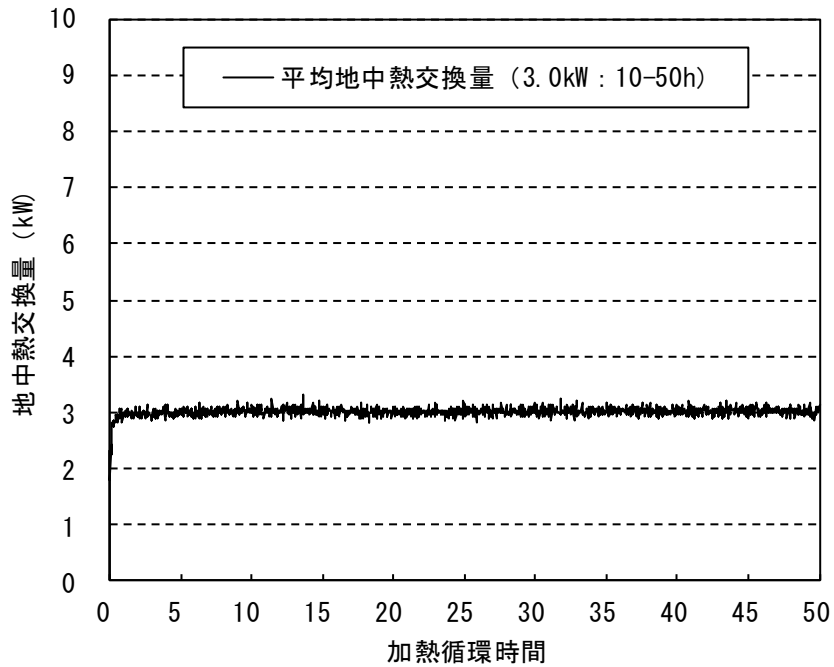


図 3.4.4.4.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

4. ちとせ2号公園

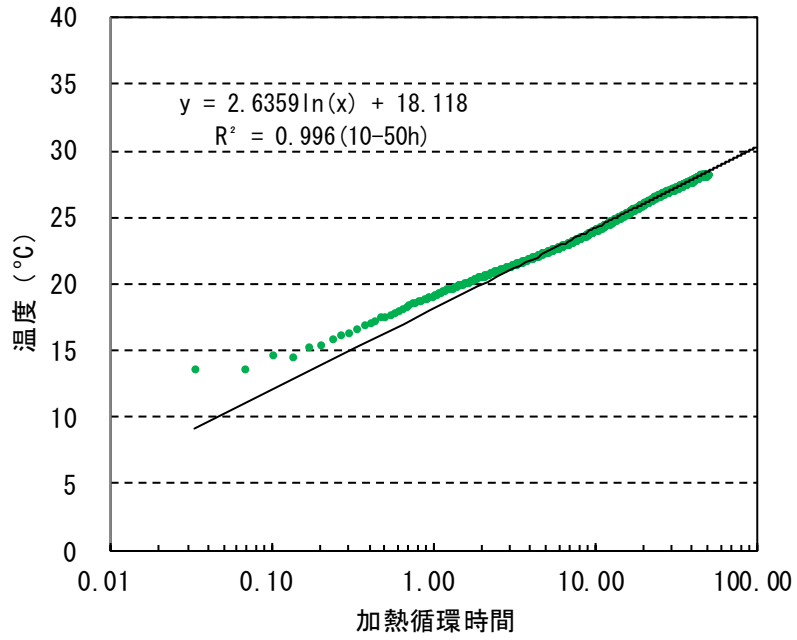


図 3. 4. 4. 4. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

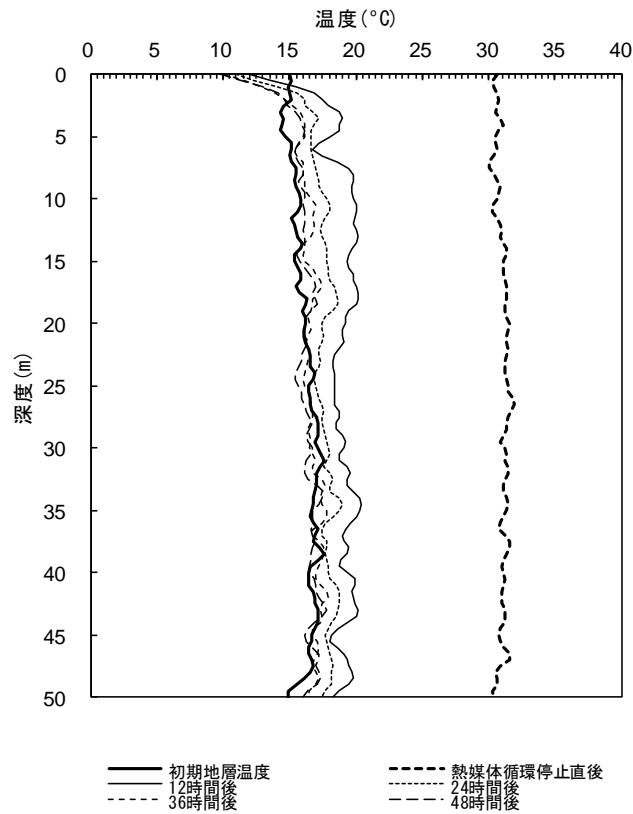


図 3. 4. 4. 4. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

5. 浅瀬石公民館

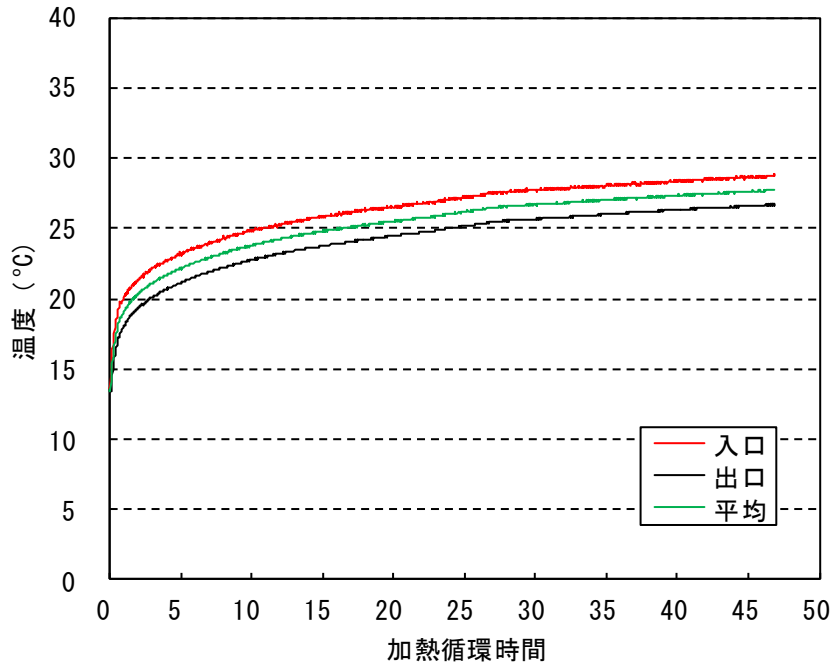


図 3. 4. 4. 5. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

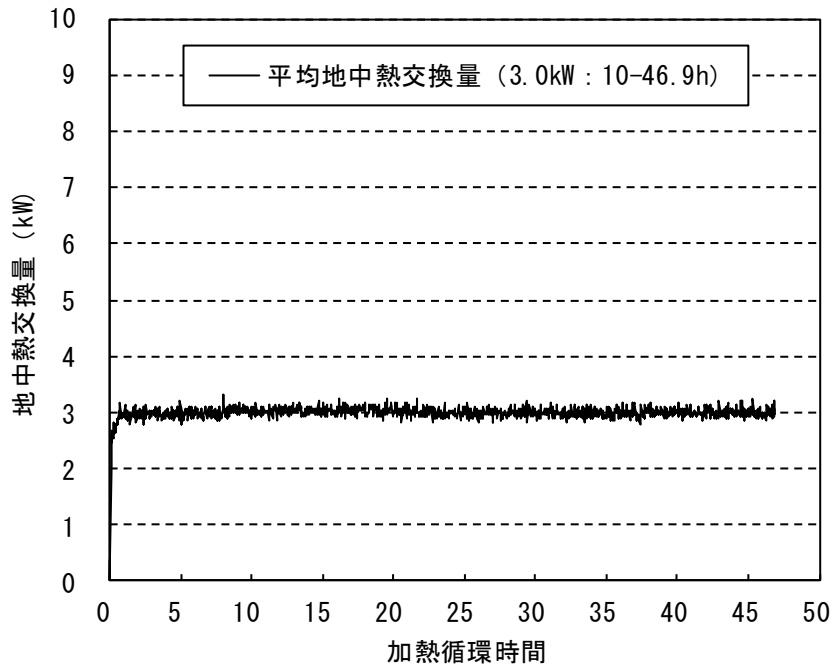


図 3. 4. 4. 5. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

5. 浅瀬石公民館

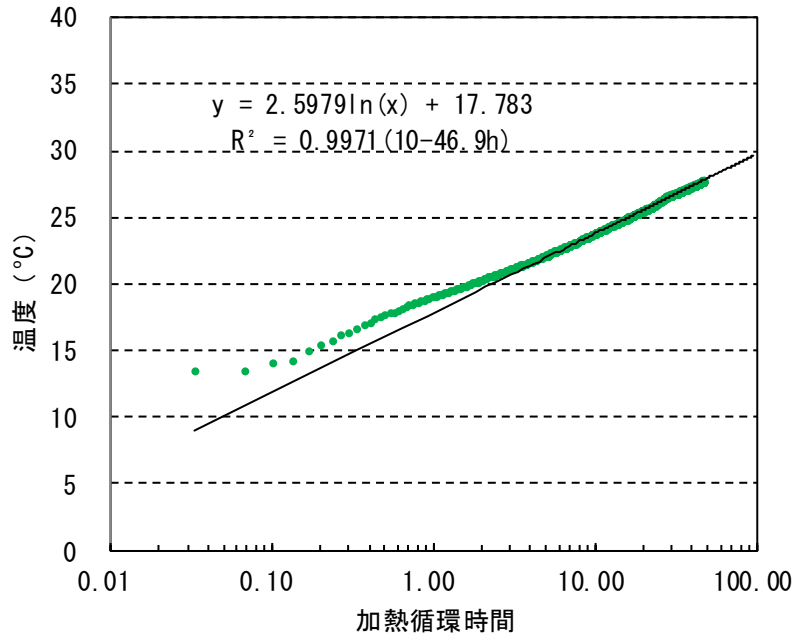


図 3. 4. 4. 5. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

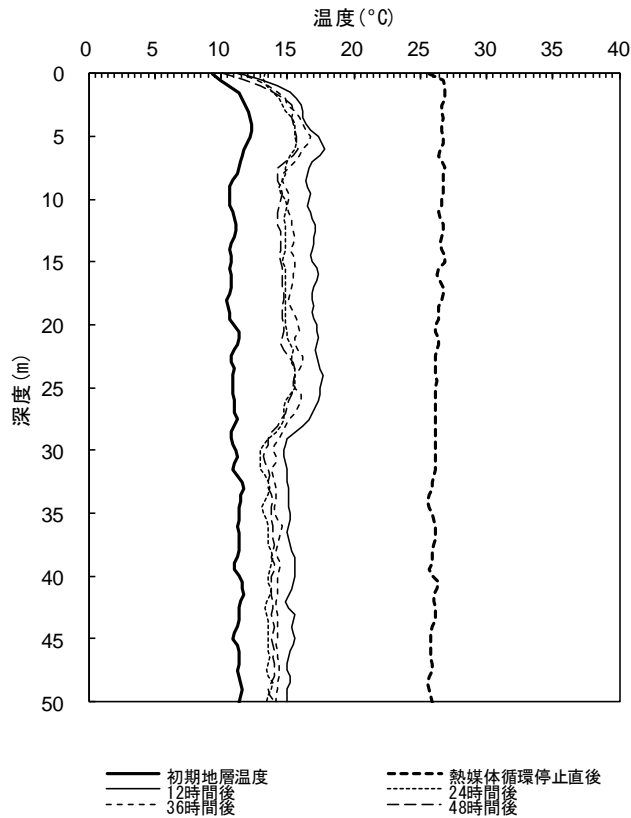


図 3. 4. 4. 5. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

6. 旧アクアリゾート開発跡地

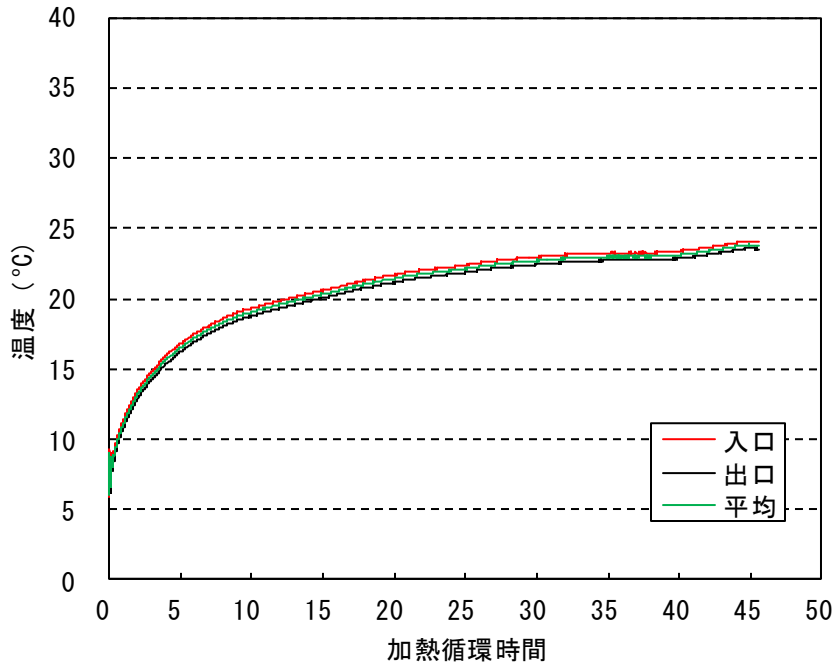


図 3. 4. 4. 6. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

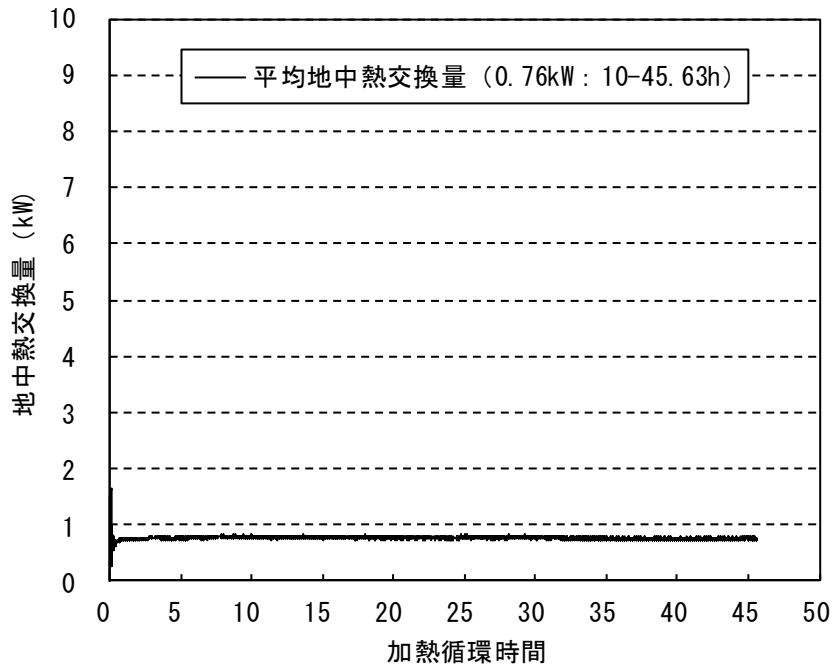


図 3. 4. 4. 6. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

6. 旧アクアリゾート開発跡地

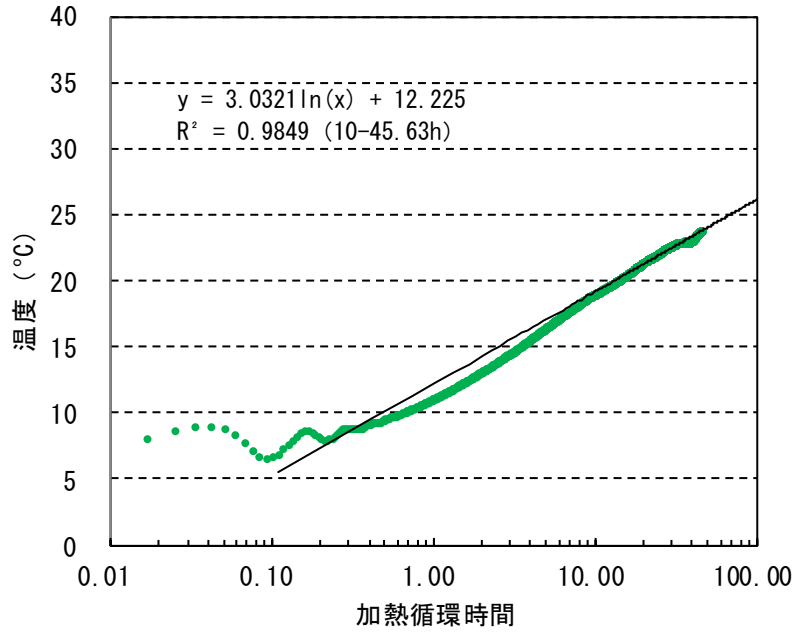


図 3. 4. 4. 6. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

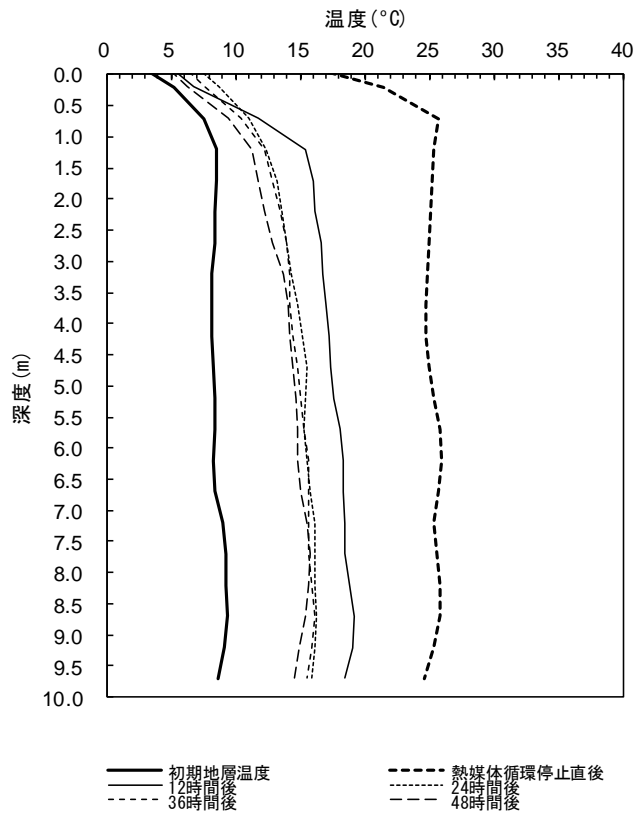


図 3. 4. 4. 6. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

7. 旧西十和田ユースホテル

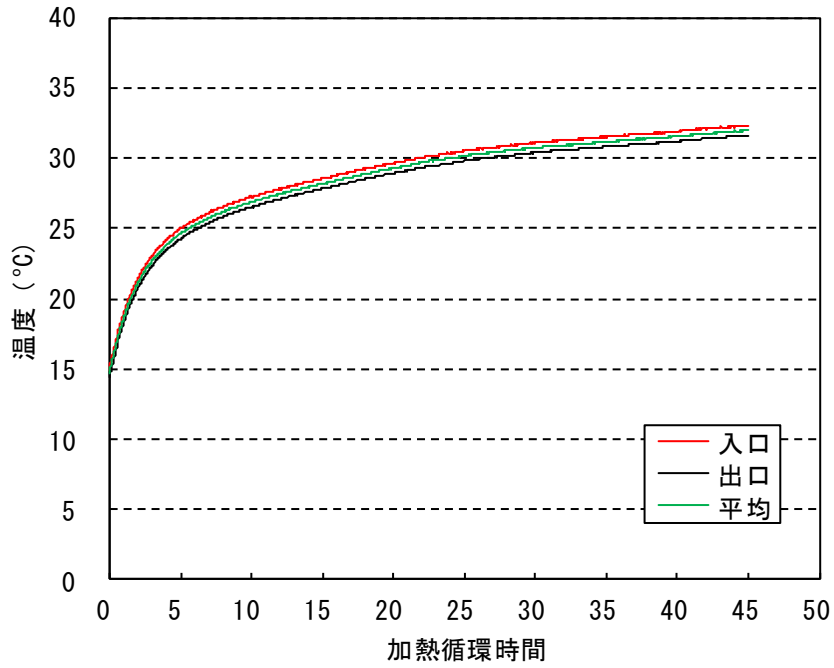


図 3.4.4.7.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

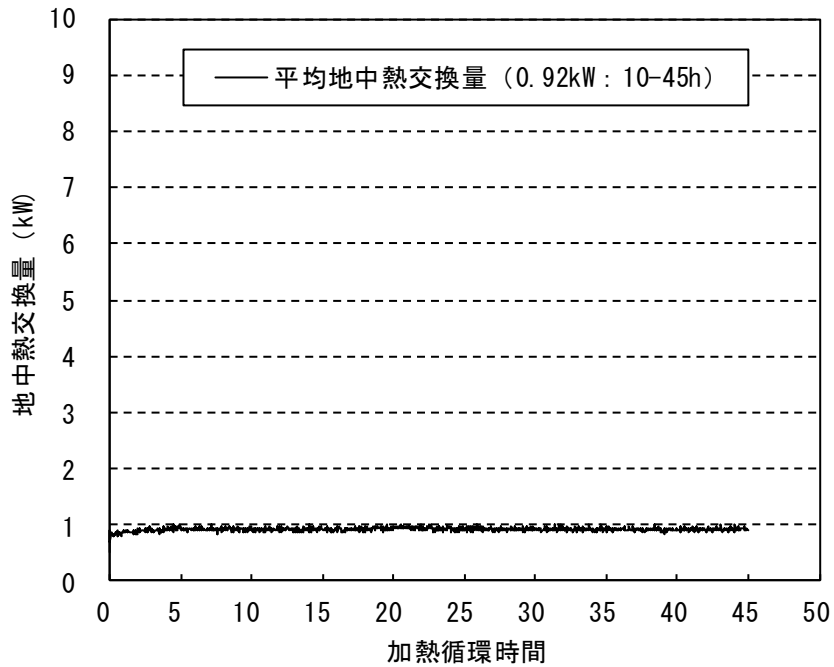


図 3.4.4.7.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

7. 旧西十和田ユースホテル

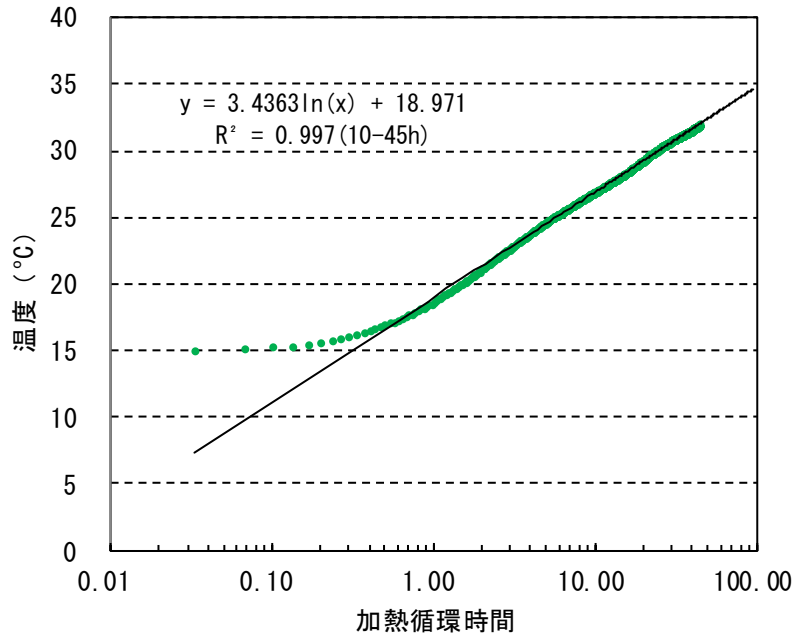


図 3. 4. 4. 7. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

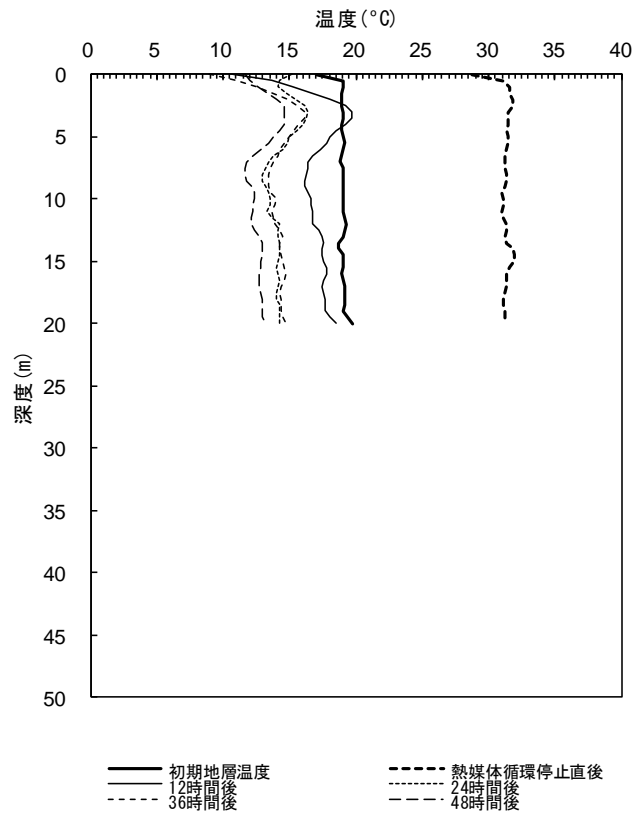


図 3. 4. 4. 7. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

9. 山形公民館

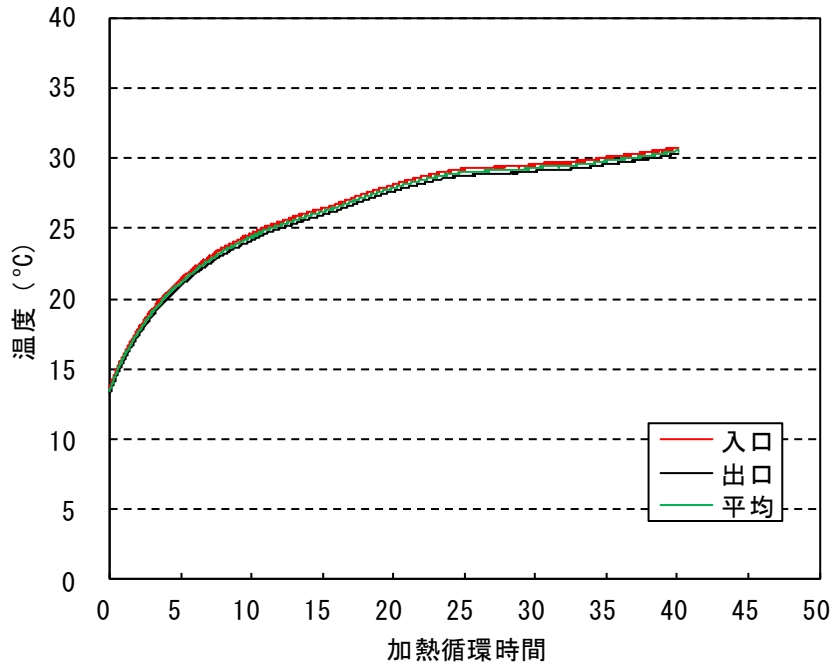


図 3. 4. 4. 9. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

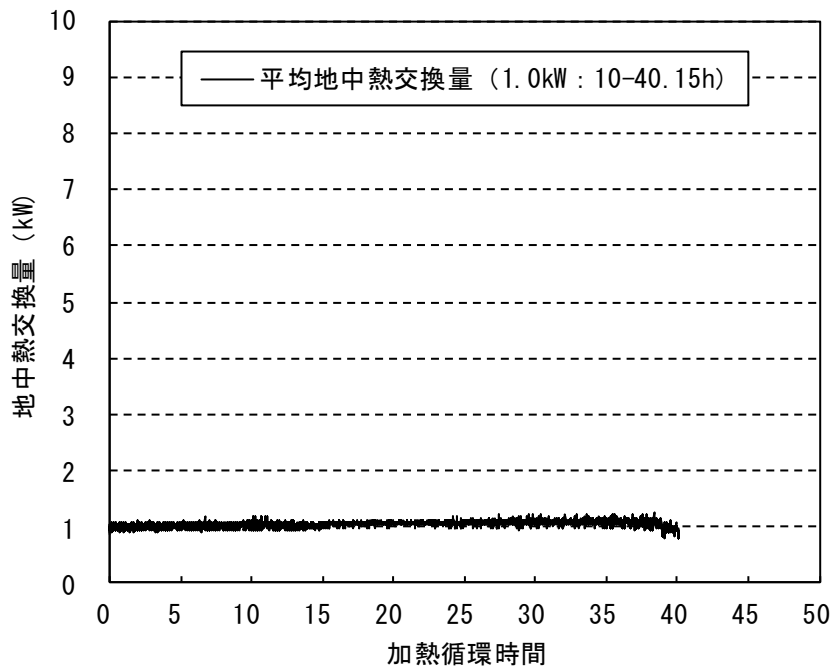


図 3. 4. 4. 9. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

9. 山形公民館

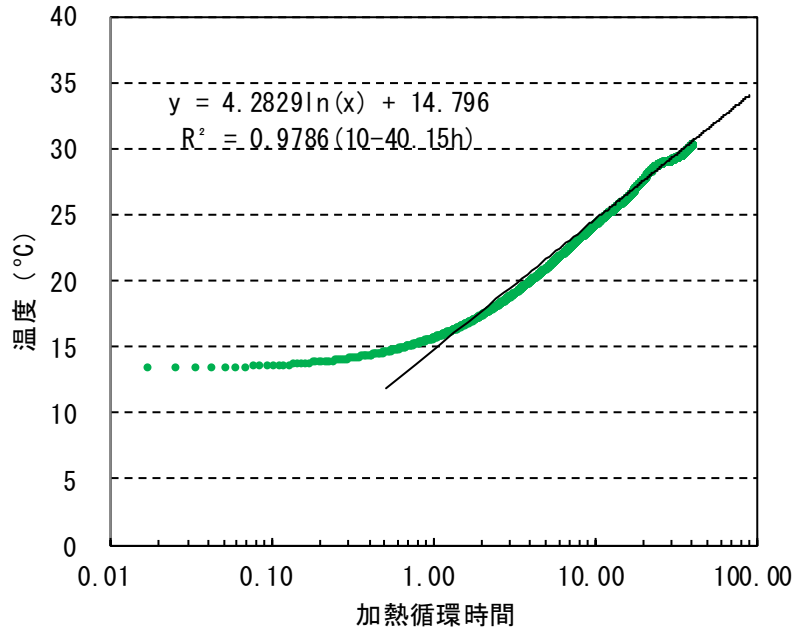


図 3.4.4.9.3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

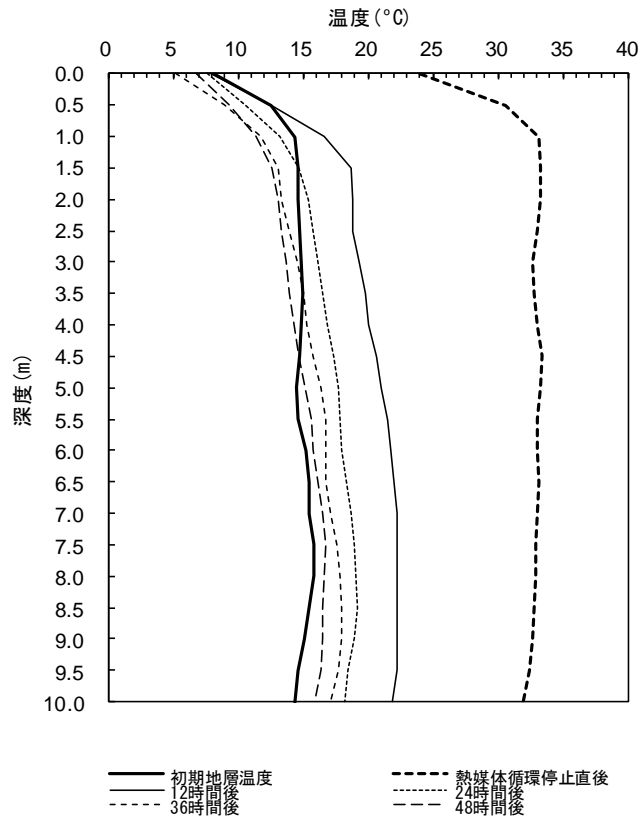


図 3.4.4.9.4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

10. 花巻村づくりセンター

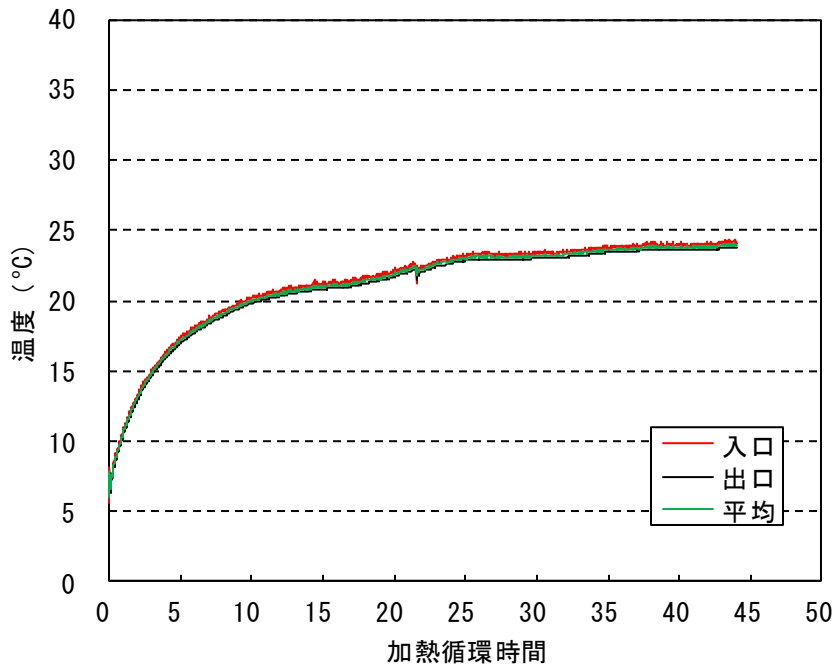


図 3.4.4.10.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

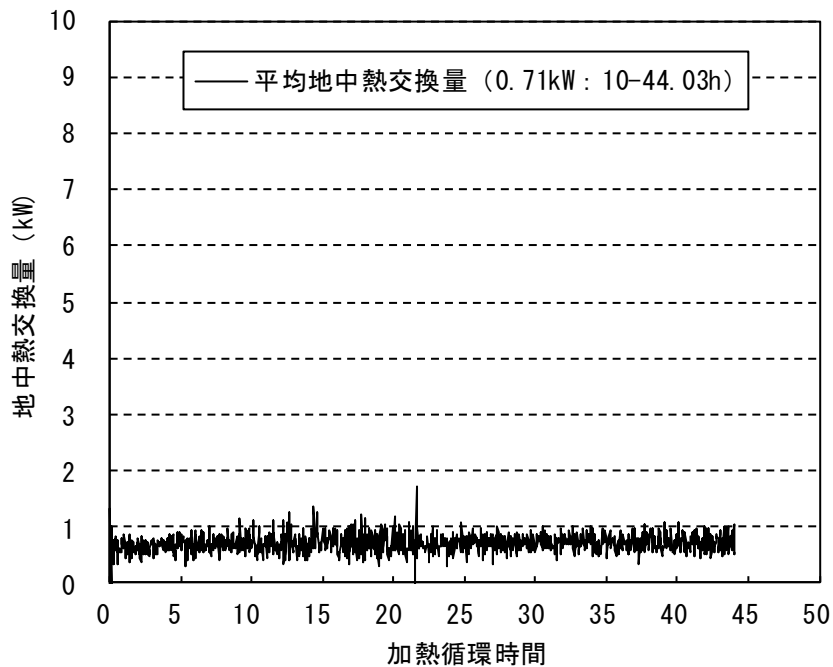


図 3.4.4.10.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

10. 花巻村づくりセンター

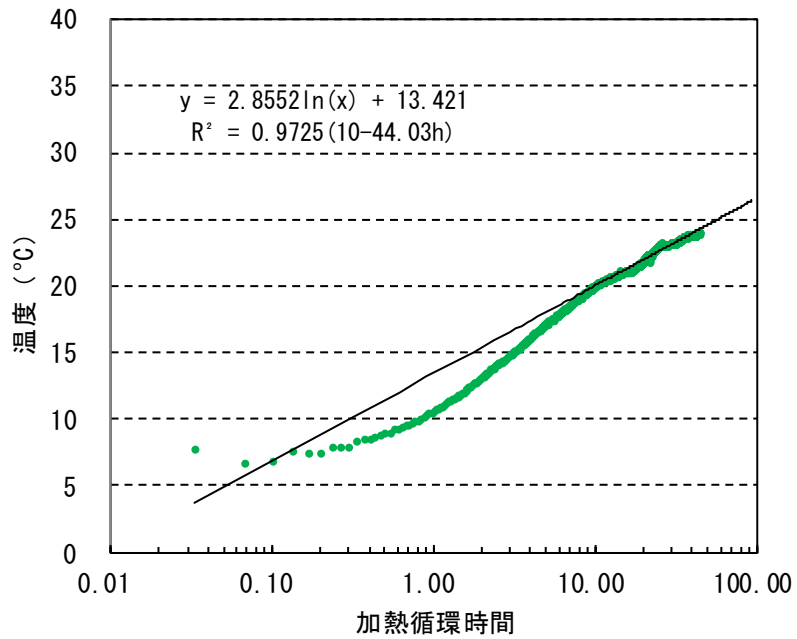


図 3. 4. 4. 10. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

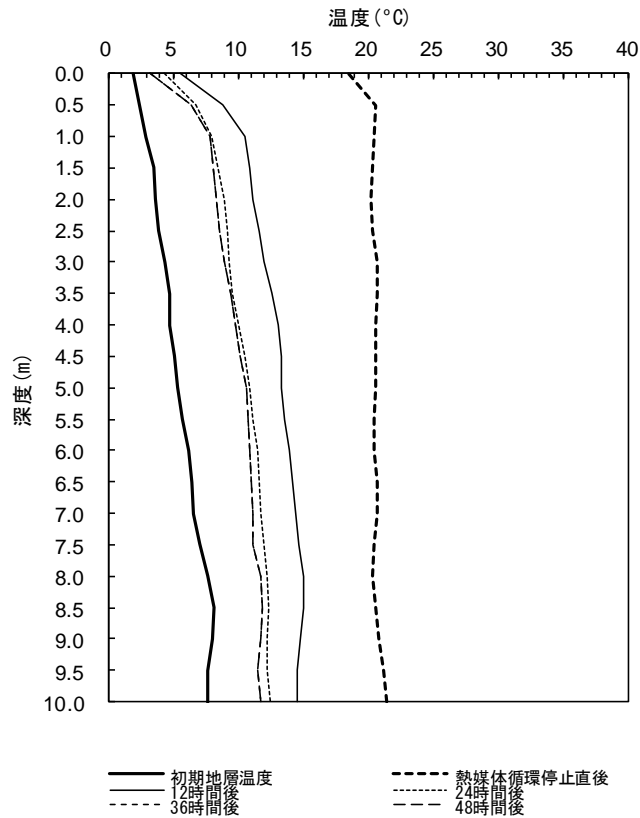


図 3. 4. 4. 10. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

11. 旧弘南鉄道用地

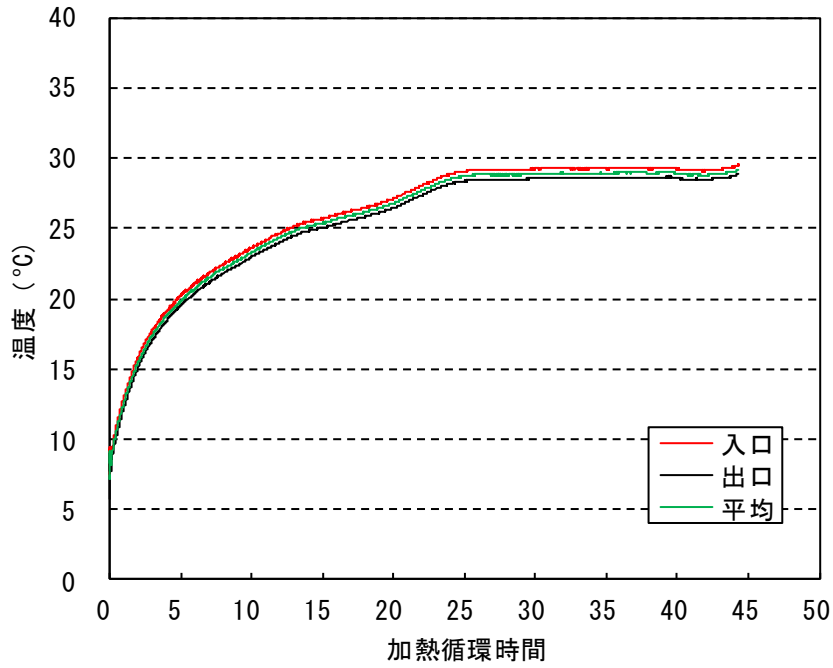


図 3.4.4.11.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

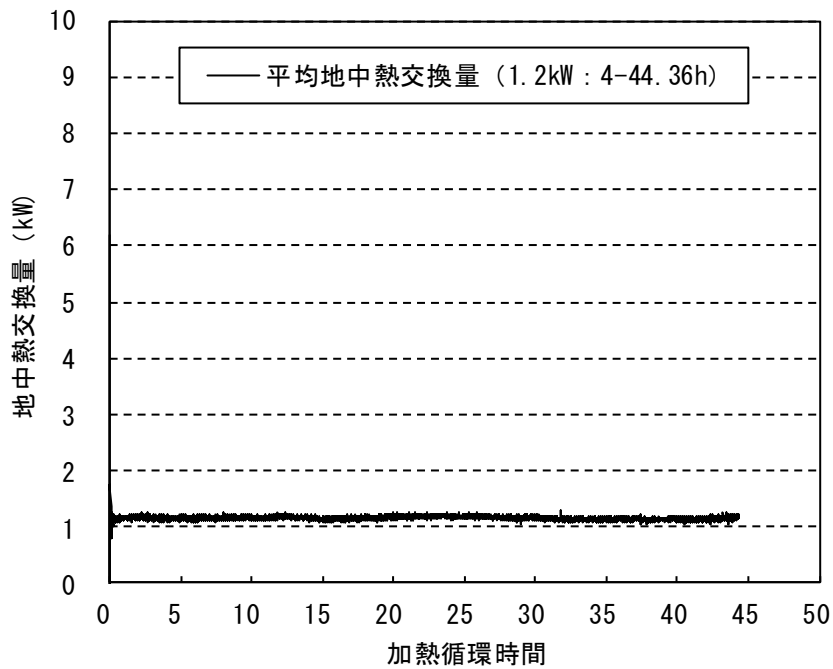


図 3.4.4.11.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

11. 旧弘南鉄道用地

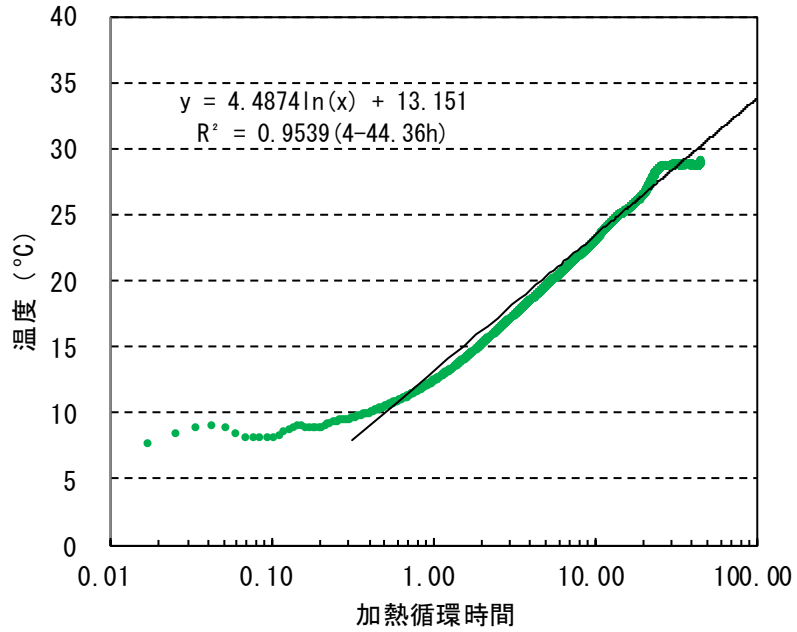


図 3.4.4.11.3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

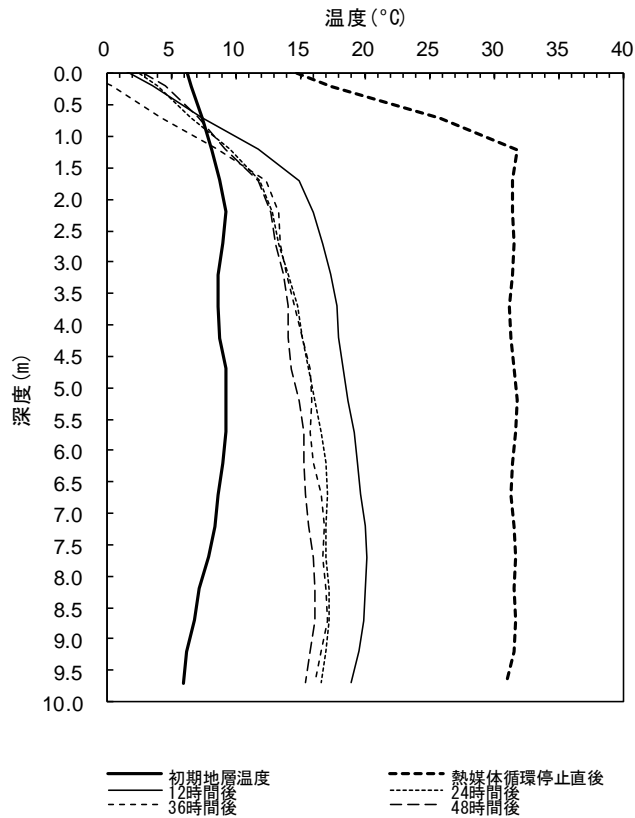


図 3.4.4.11.4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

12. 東公園

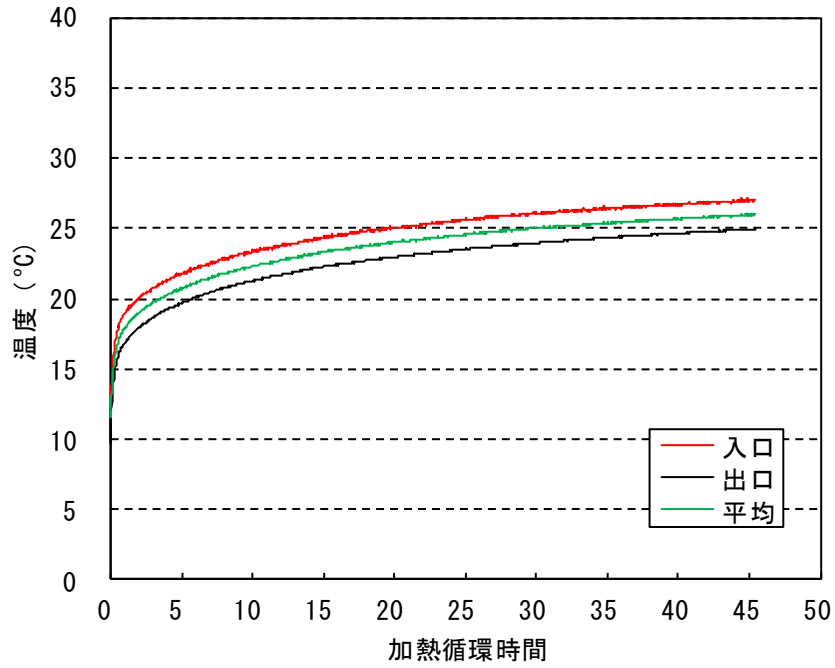


図 3. 4. 4. 12. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

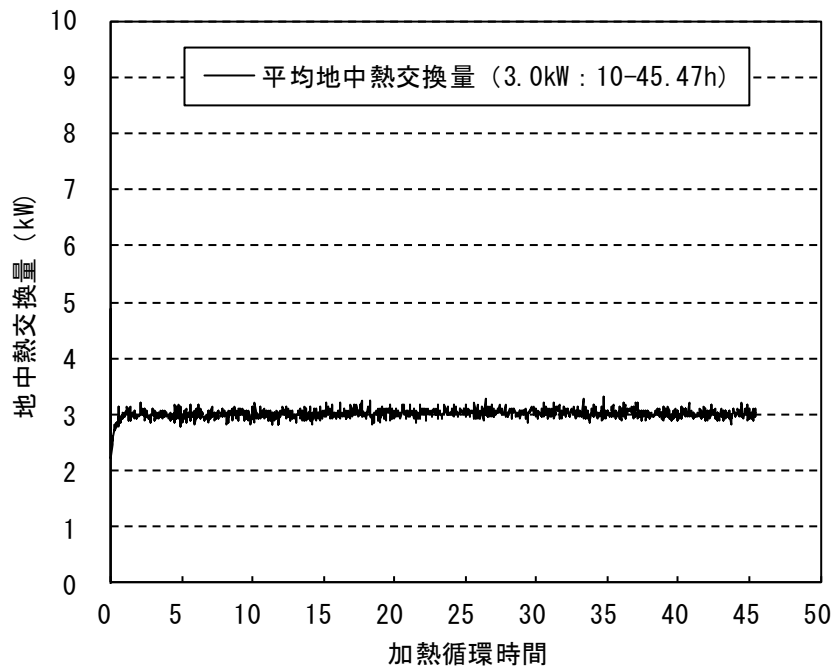


図 3. 4. 4. 12. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

12. 東公園

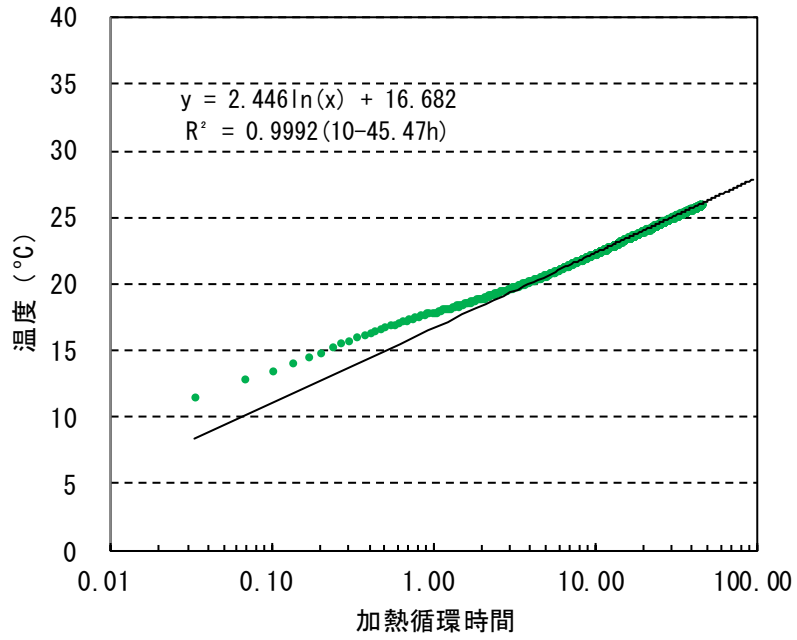


図 3. 4. 4. 12. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

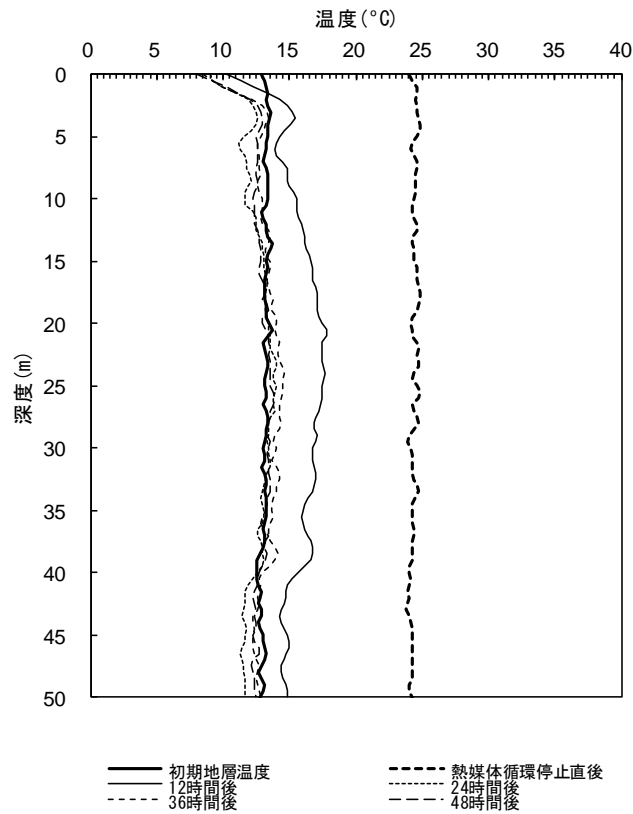


図 3. 4. 4. 12. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

13. 青森県産業技術センターりんご研究所

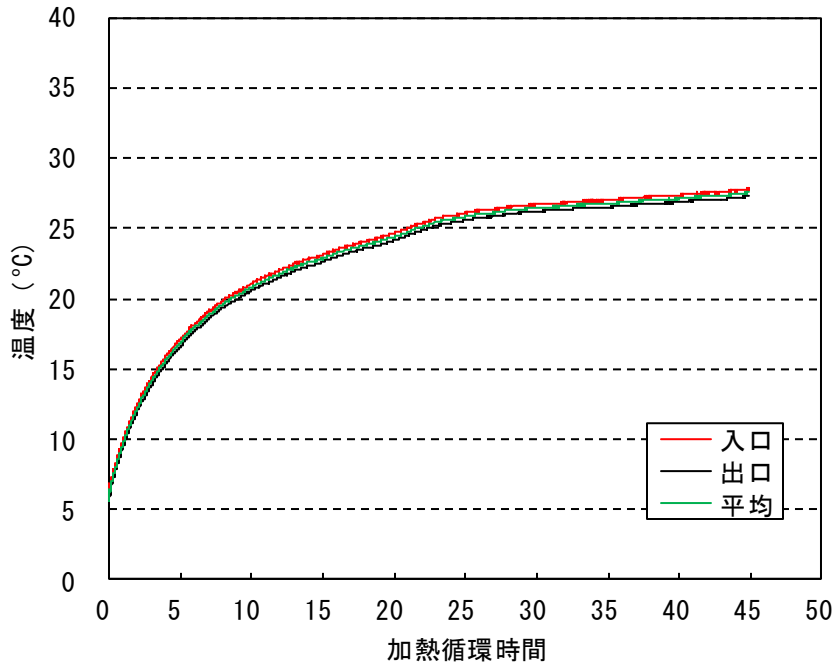


図 3.4.4.13.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

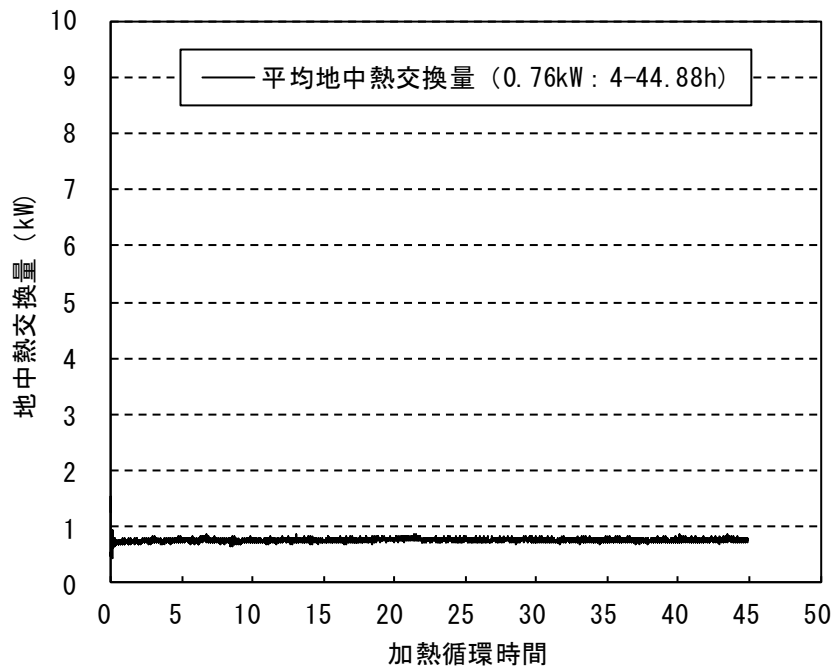


図 3.4.4.13.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

13. 青森県産業技術センターりんご研究所

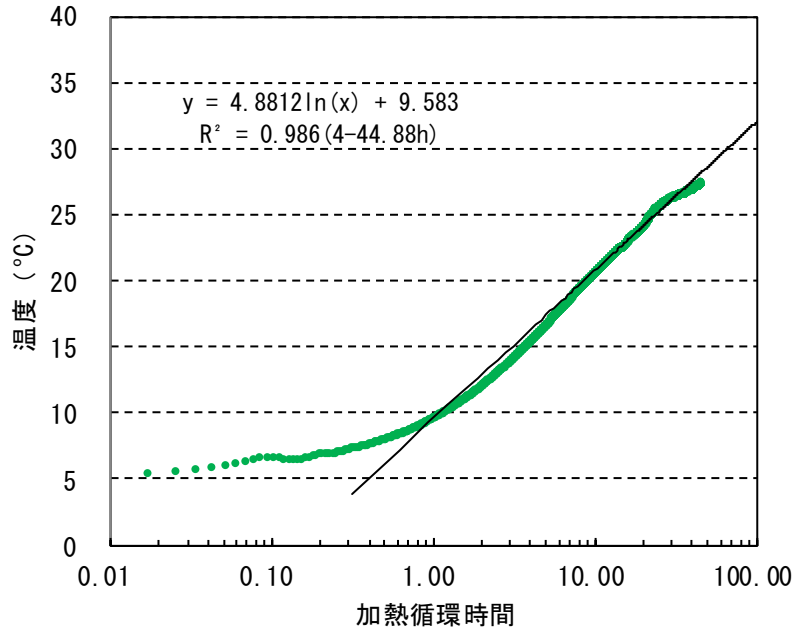


図 3. 4. 4. 13. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

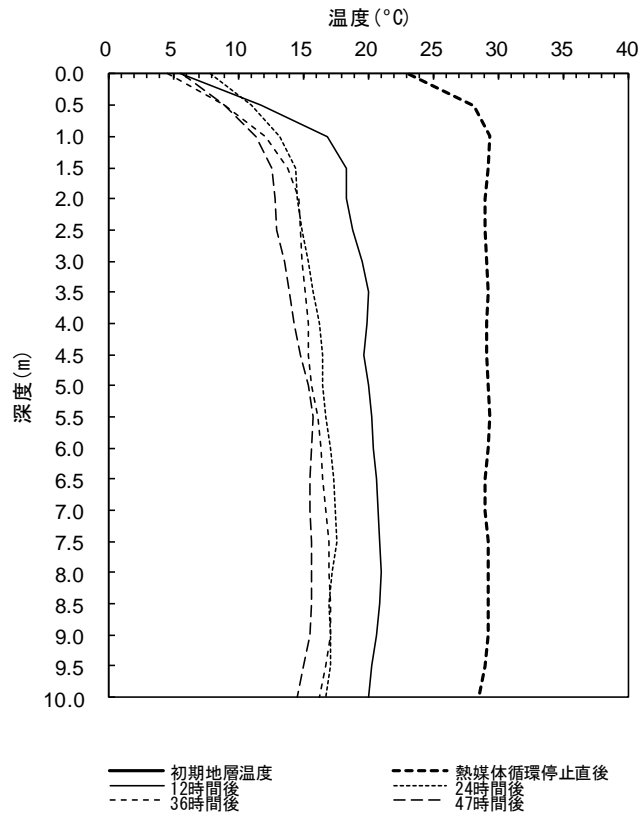


図 3. 4. 4. 13. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

14. 上十川公民館

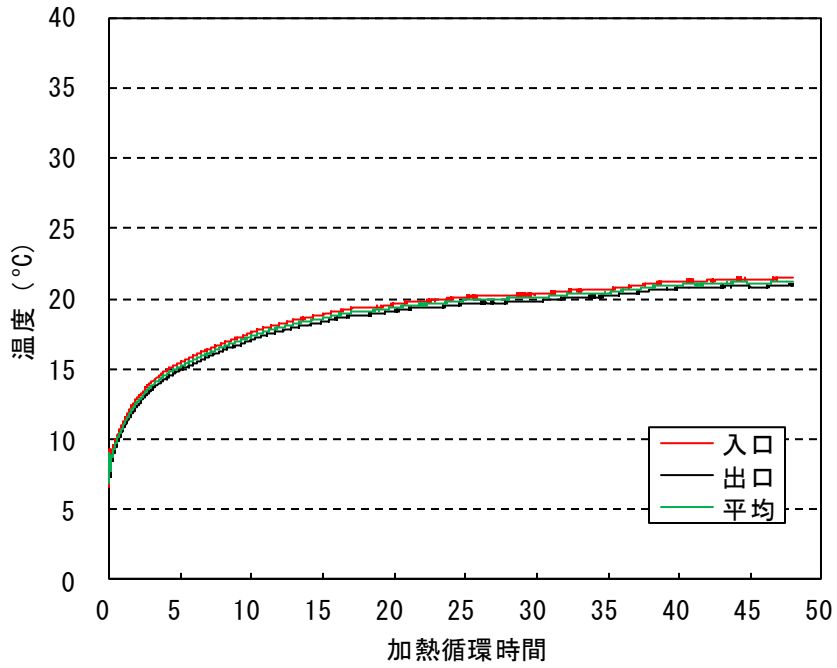


図 3. 4. 4. 14. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

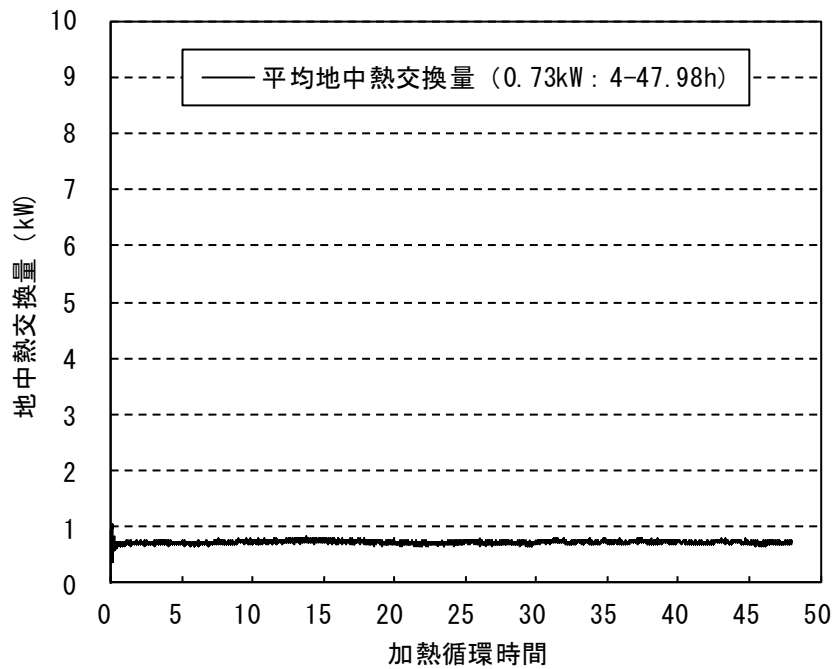


図 3. 4. 4. 14. 1 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

14. 上十川公民館

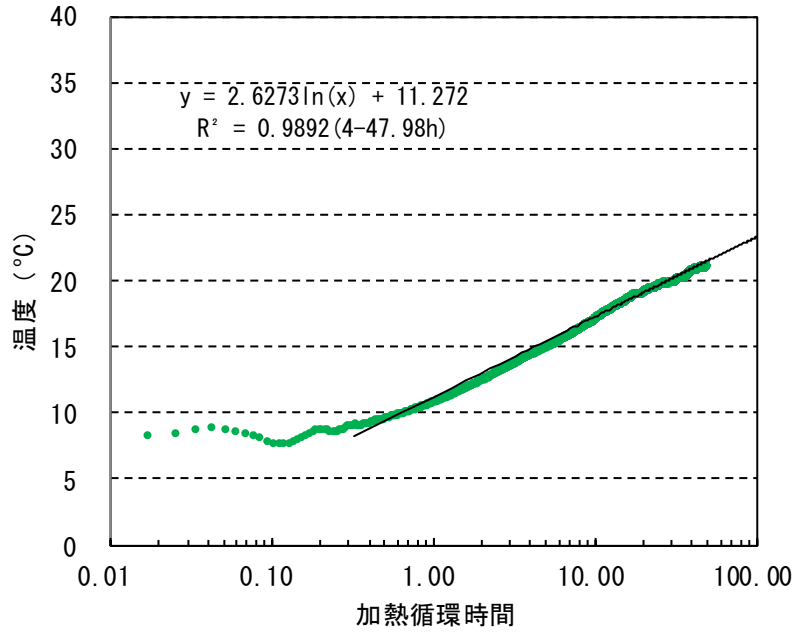


図 3. 4. 4. 14. 1 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

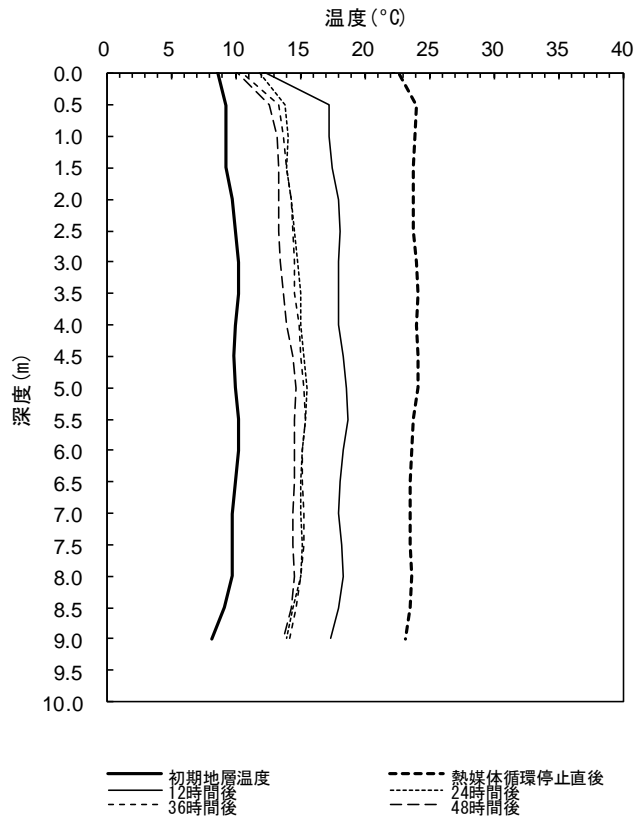


図 3. 4. 4. 14. 1 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

15. 農村環境改善センター（六宝館）

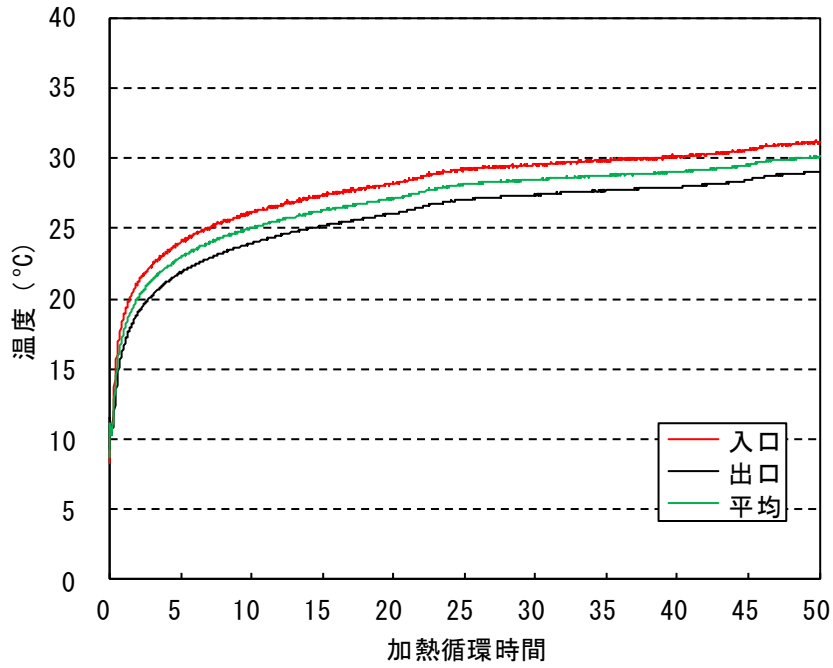


図 3. 4. 4. 15. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

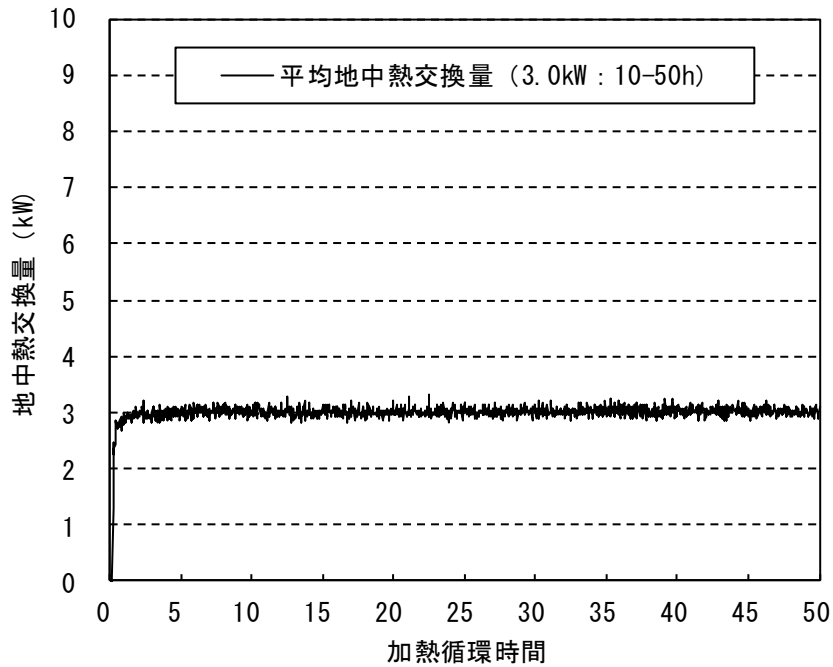


図 3. 4. 4. 15. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

15. 農村環境改善センター（六宝館）

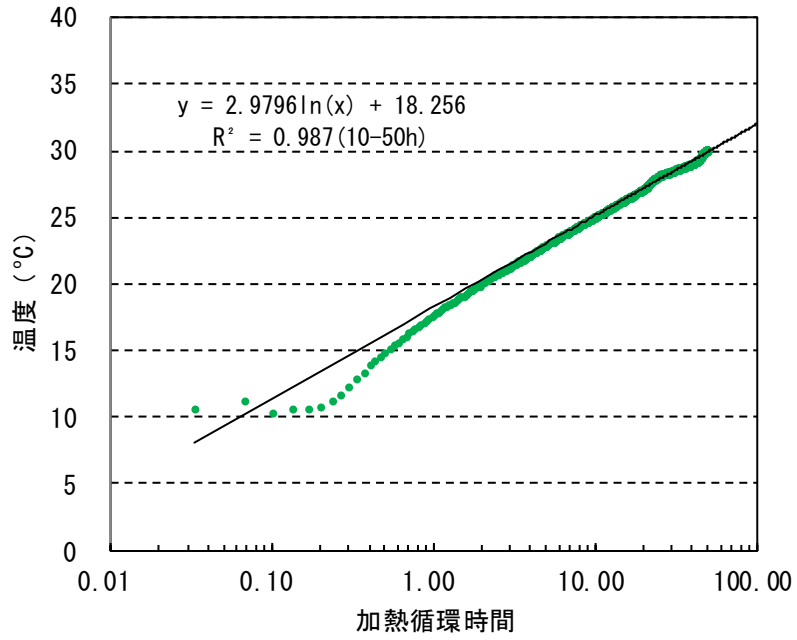


図 3. 4. 4. 15. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

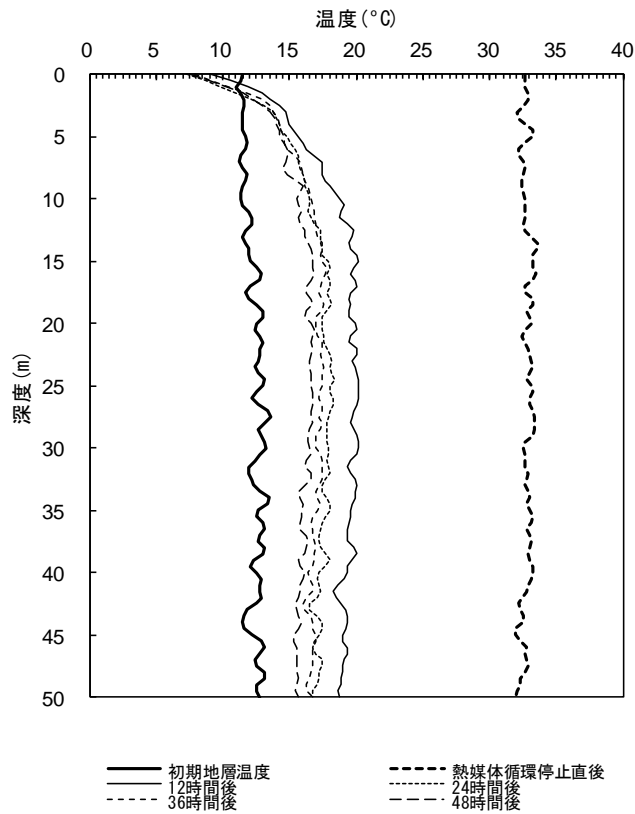


図 3. 4. 4. 15. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

16. 飛内集会所駐車場

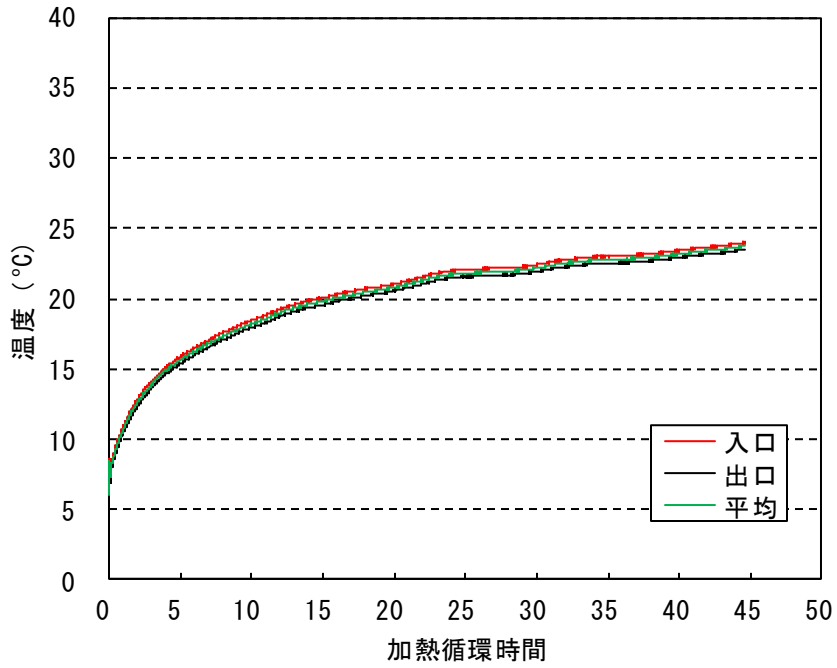


図 3.4.4.16.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

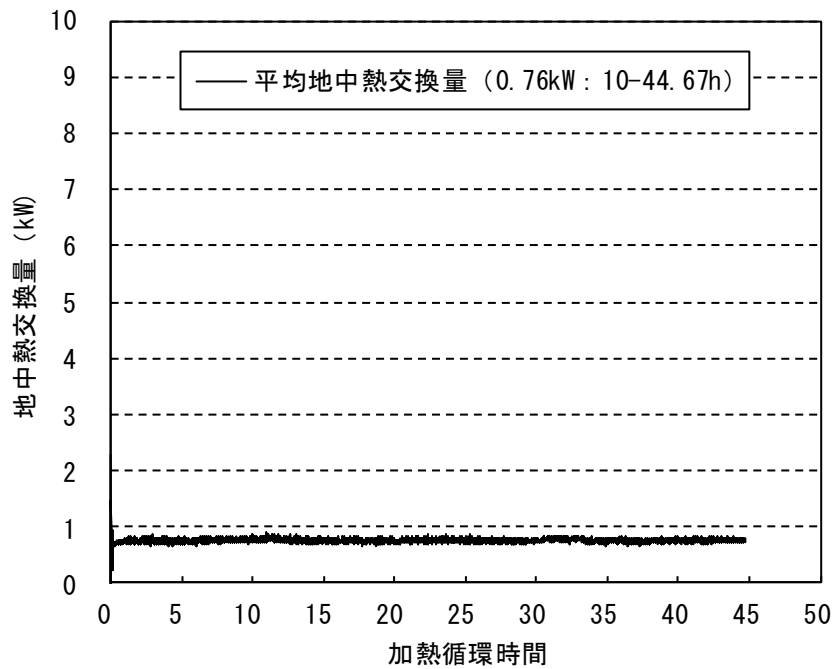


図 3.4.4.16.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

16. 飛内集会所駐車場

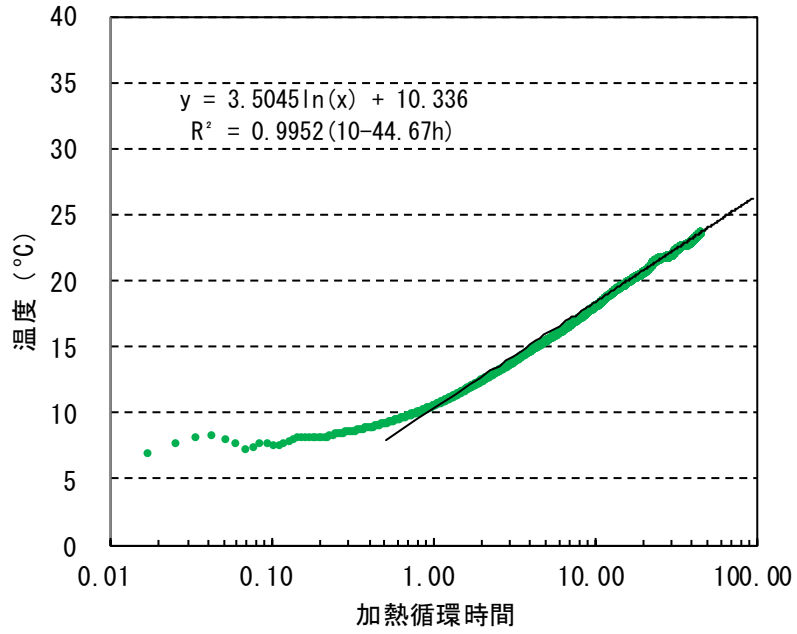


図 3. 4. 4. 16. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

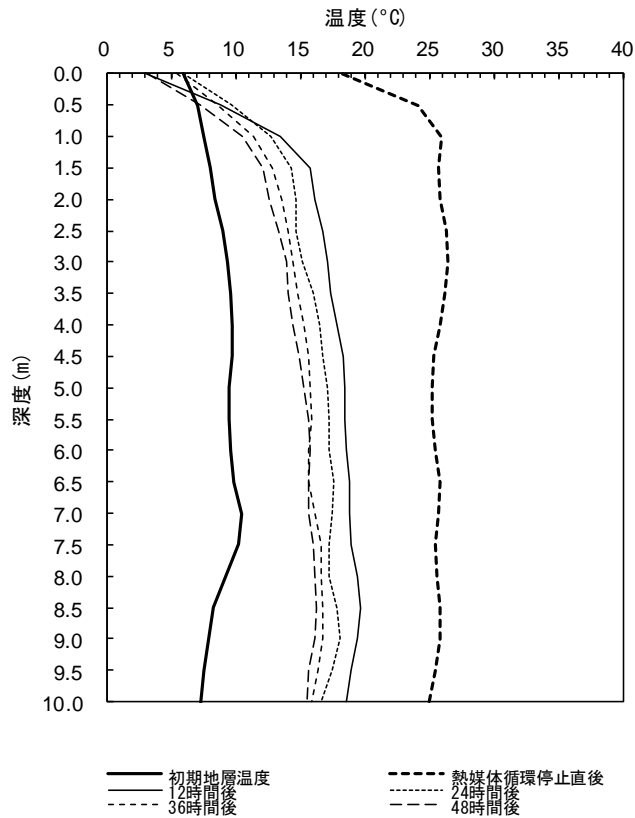


図 3. 4. 4. 16. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

17. 北地区ゲートボール場

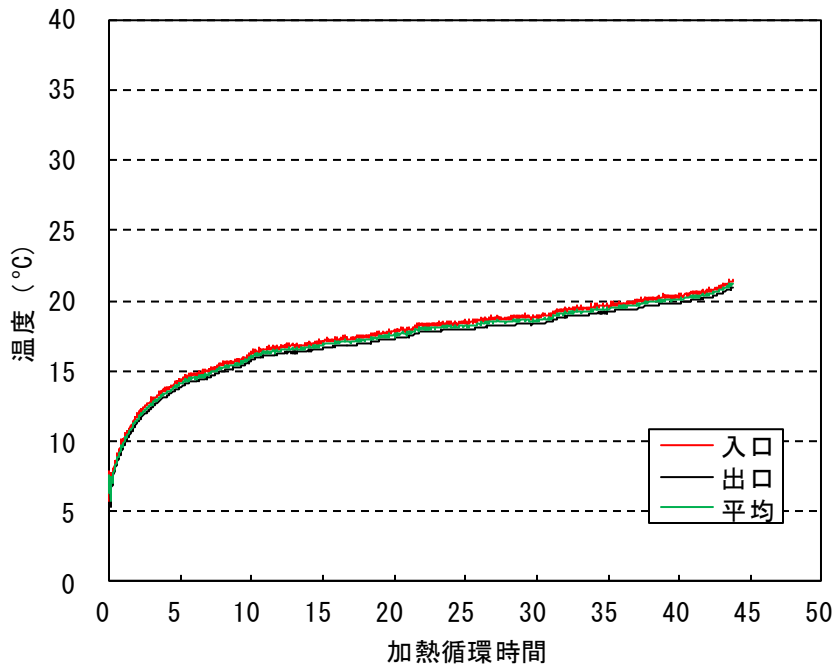


図 3. 4. 4. 17. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

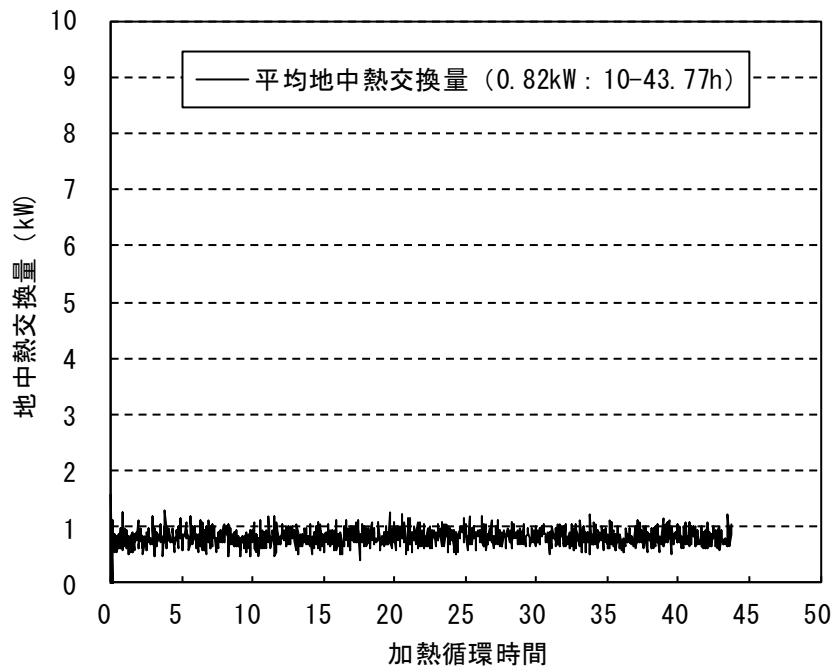


図 3. 4. 4. 17. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

17. 北地区ゲートボール場

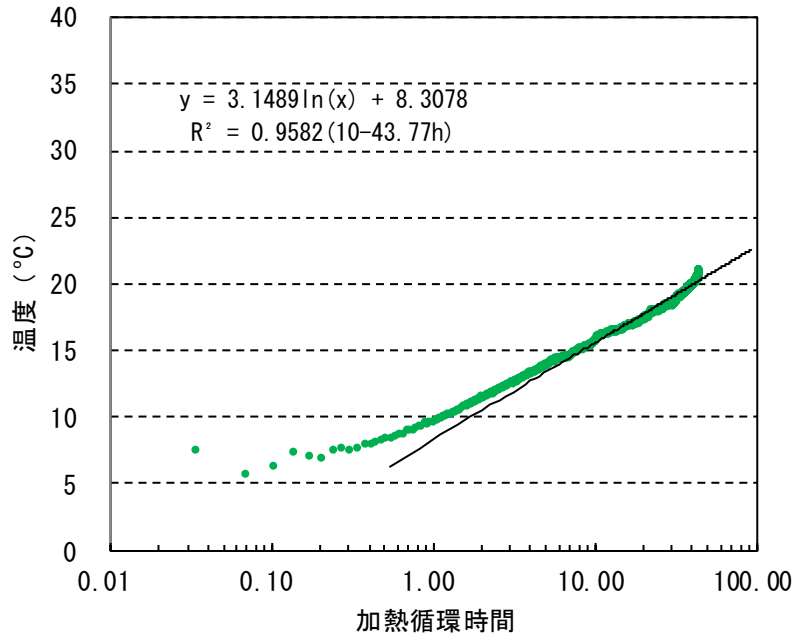


図 3. 4. 4. 17. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

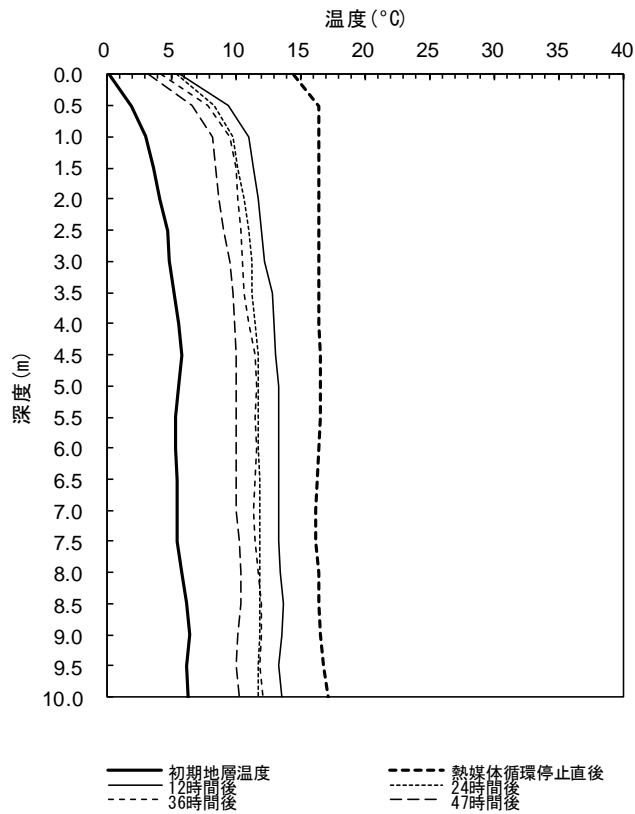


図 3. 4. 4. 17. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

18. 黒石運動公園

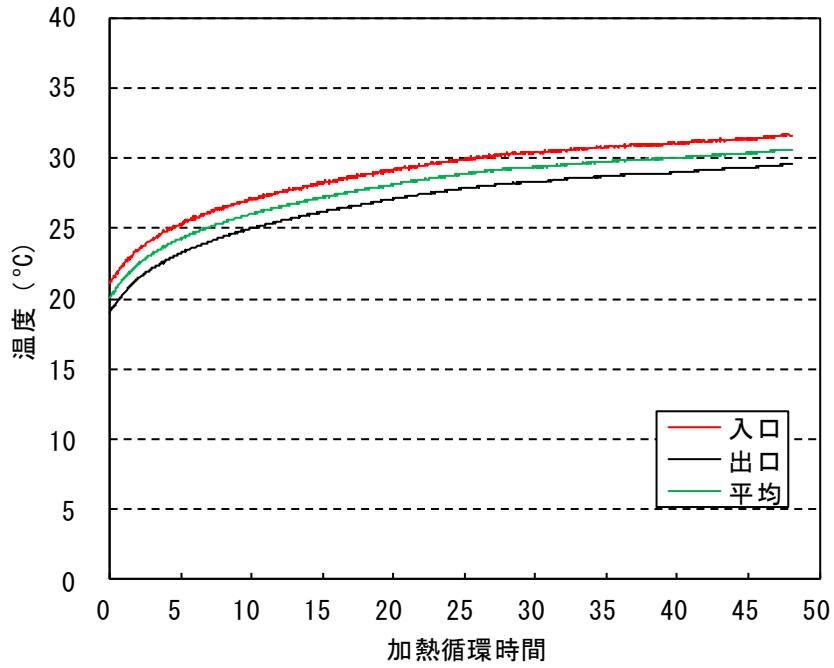


図 3.4.4.18.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

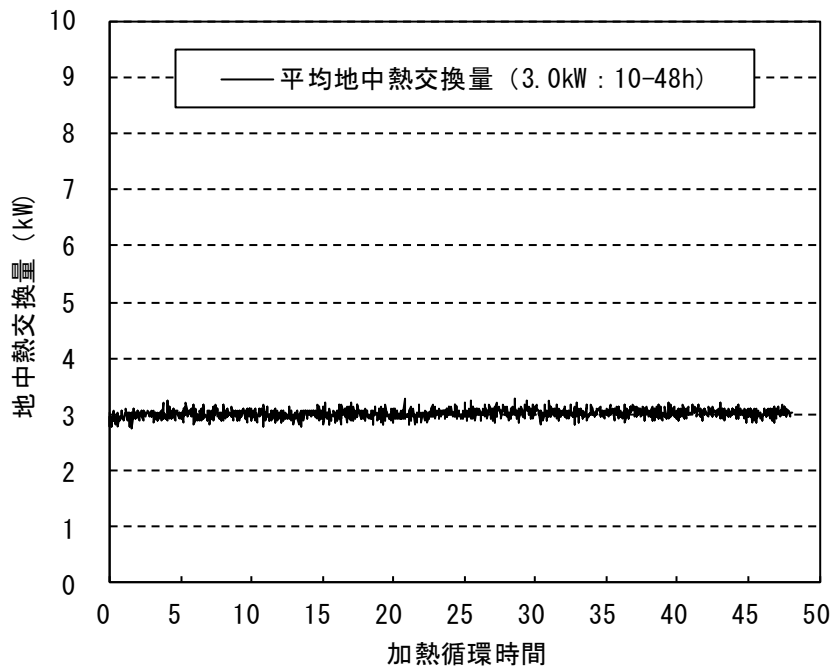


図 3.4.4.18.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

18. 黒石運動公園

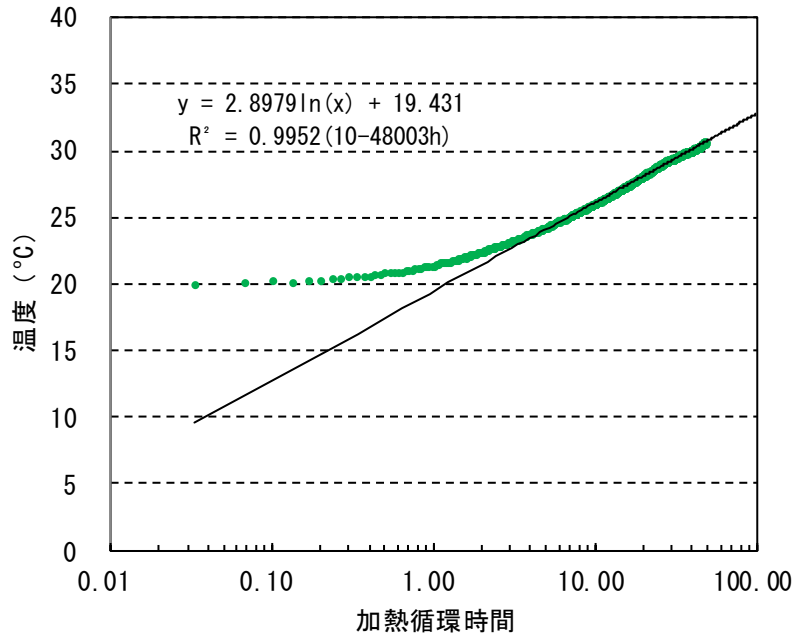


図 3. 4. 4. 18. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

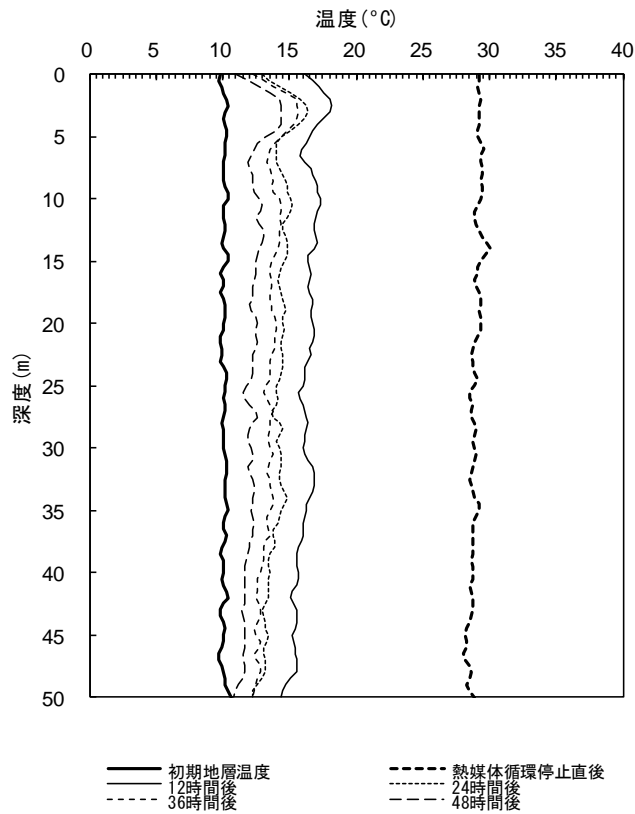


図 3. 4. 4. 18. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

19. 黒石市除雪センター

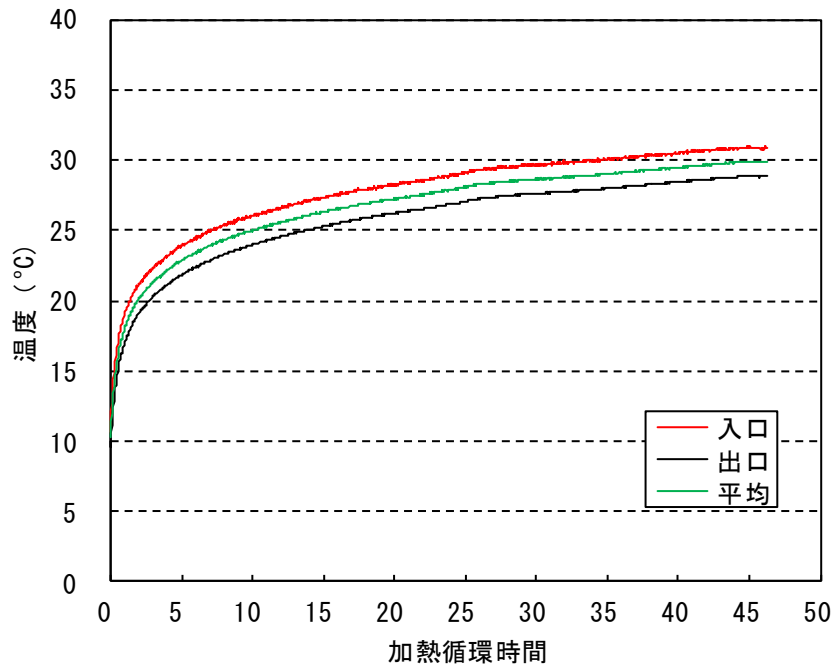


図 3. 4. 4. 19. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

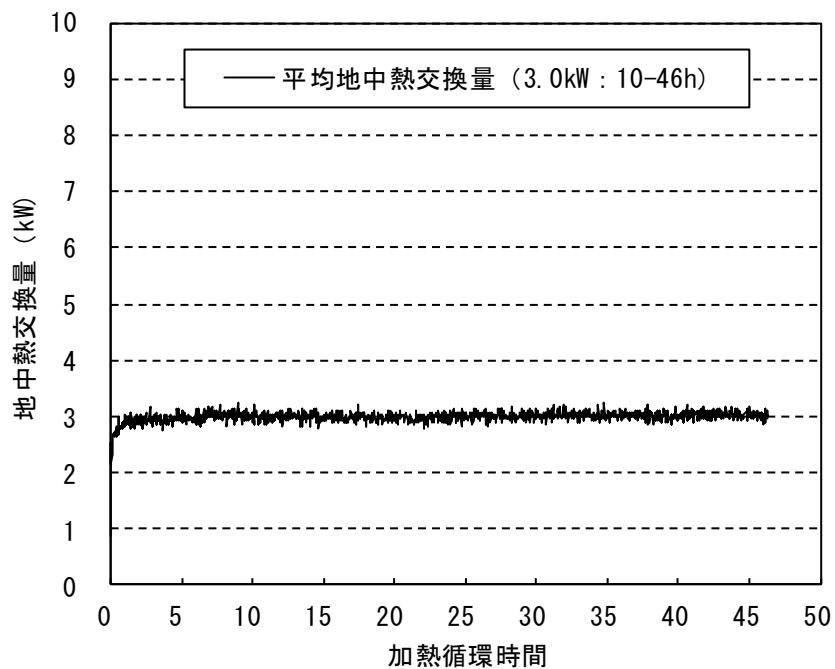


図 3. 4. 4. 19. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

19. 黒石市除雪センター

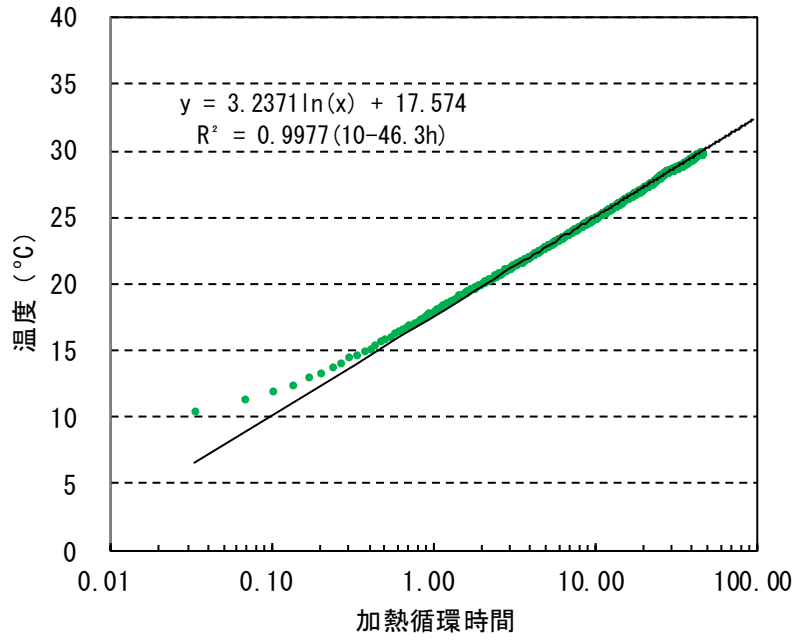


図 3. 4. 4. 19. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

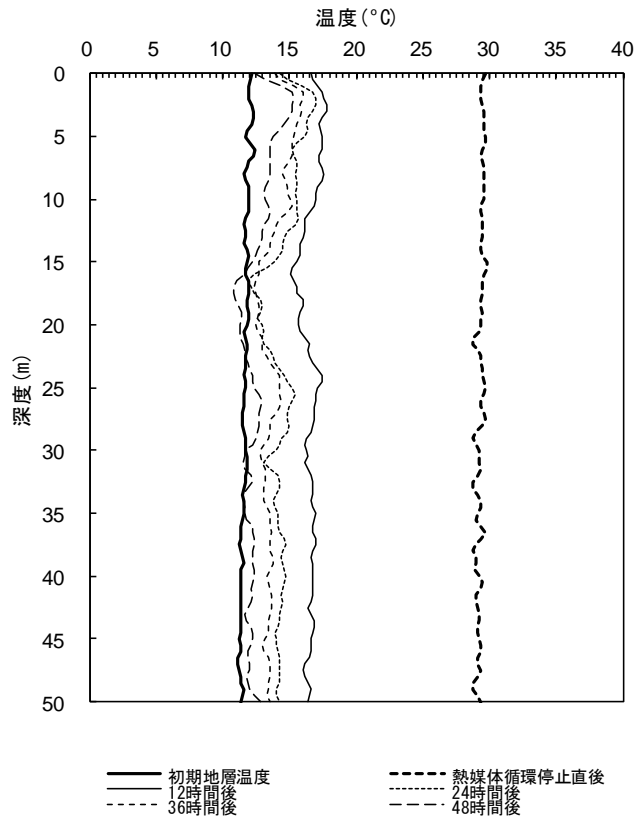


図 3. 4. 4. 19. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

20. スポカルイン黒石

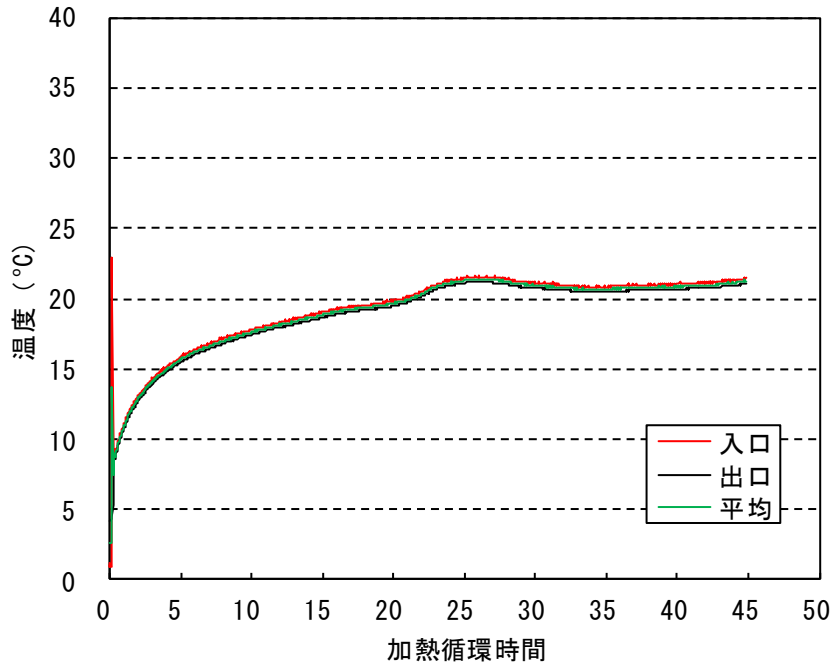


図 3. 4. 4. 20. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

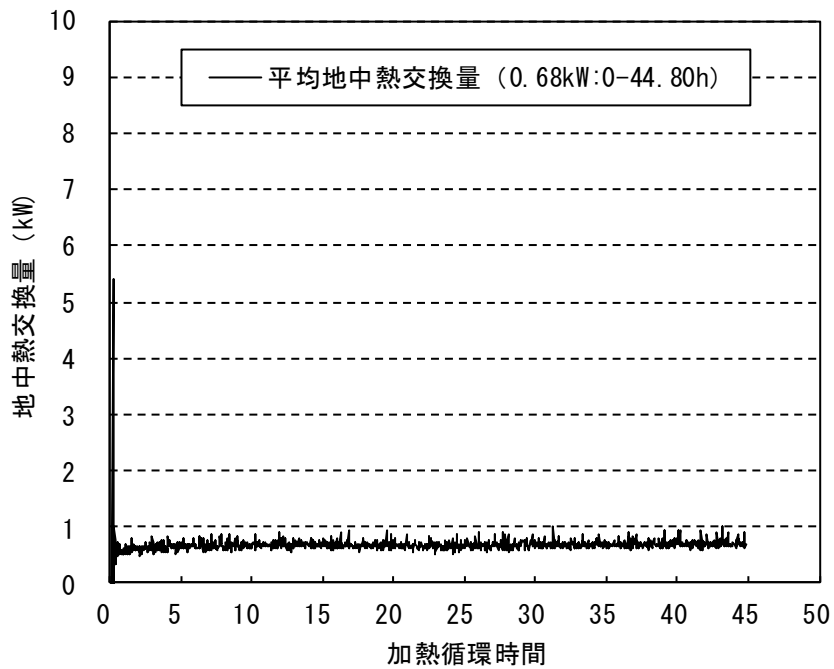


図 3. 4. 4. 20. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

20. スポカルイン黒石

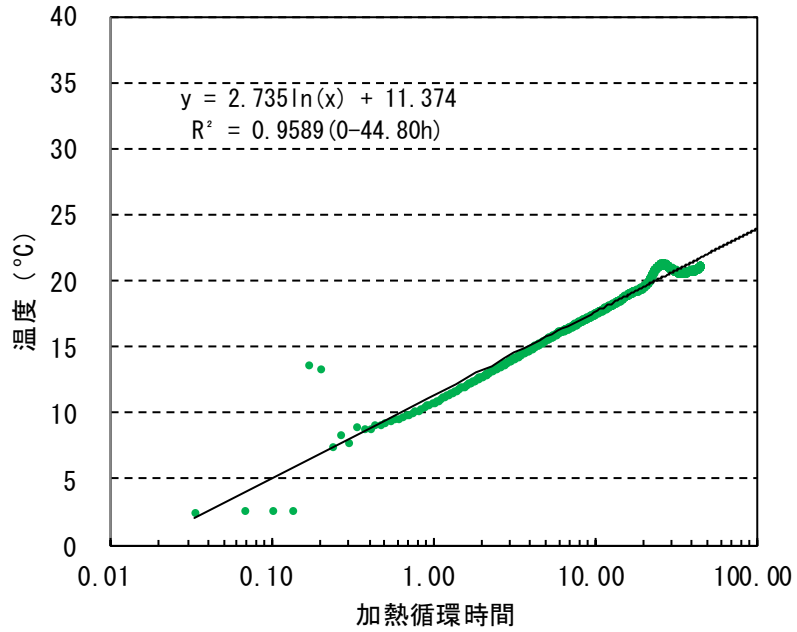


図 3. 4. 4. 20. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

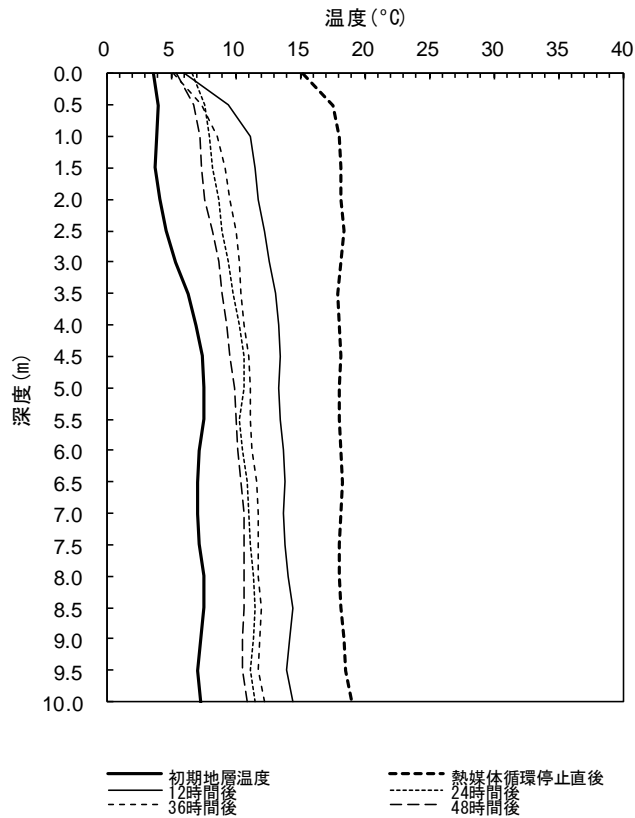


図 3. 4. 4. 20. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

3.4.5 光ファイバーケーブルを用いた不均質地層における有効熱伝導率の推定のための温度挙動解析

光ファイバーケーブルを用いた不均質地層における有効熱伝導率を推定するための U 字型地中熱交換井の温度挙動解析は、すでに実施されている (藤井ほか, 2006, Fujii *et al.*, 2009, 藤井ほか, 2010)。今回の黒石市における地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業では、既存の研究を参考にして全長 50m の U 字型地中熱交換井 (高密度ポリエチレン製) の流入口側に挿入した光ファイバーケーブル (エヌケーシステム株式会社製 NK-OPTIS システム) を用いて熱媒体循環終了後に 0.5m 毎に測定した温度, そして円筒型熱源関数 (Ingersoll *et al.*, 1954) を利用して有効熱伝導率を推定するための温度挙動解析を行った (Fujii *et al.*, 2009, 藤井ほか, 2010)。

3.4.5.1 U 字管熱交換井のモデル構築

地層の不均質性を評価するために, 円筒を 0.5m 毎に合計 98 深度に分割した (図 3.4.1.2)。そして, それぞれの深度毎に熱交換井と地層との熱の授受について計算を実施した。また, U 字型熱交換井を束縛して設置する場合を想定して 1 本の管として扱い, (6) 式を用いて U 字型熱交換井の外径を等価外径に換算して熱伝達計算に用いた (Deerman and Kavanaugh, 1990; 藤井ほか, 2010)。

$$r_{oEQ} = \sqrt{2}r_o \quad (6)$$

記号は,

r_{oEQ} [m] : U 字型熱交換井外壁の等価半径,

r_o [m] : U 字型熱交換井外壁の半径,

を表している。

今回使用した U 字型地中熱交換井の外壁の半径 r_o は, 17mm である。その結果, U 字型熱交換井外壁の等価半径 r_{oEQ} は, 24mm になる。以下, U 字型熱交換井外壁の等価半径 r_{oEQ} を U 字型地中熱交換井の外壁の半径 r_o として用いた。

3.4.5.2 円筒型熱源関数

今回の黒石市における地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業では, 地層中の熱の移動は熱伝導のみとして, 有効熱伝導率を推定するための温度挙動解析に円筒型熱源関数 G (Ingersoll *et al.*, 1954) を用いた。

円筒型熱源関数は,

- (1) 熱交換量は時間とともに変化せず, また深度方向に関して一定,
- (2) 地層は均質,
- (3) 熱の移動は水平方向のみ

という条件が成立する地層において適用可能である (藤井ほか, 2006)。

(7)式に円筒型熱源関数 G を示す。

$$G(Z, P) = \frac{1}{\pi} \int \frac{e^{-\beta^2 z - 1}}{J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta)} [J_0(P\beta)Y_1(\beta) - J_1(\beta)Y_0(P\beta)] \frac{d\beta}{\beta^2} \quad (7)$$

$$z = \frac{\alpha_s t}{r_o^2} \quad (8)$$

$$P = \frac{r}{r_o} \quad (9)$$

$$\Delta T_g = T_i - T_{ro} = \frac{Q}{\lambda_s H} G(Z, P) \quad (10)$$

記号は、

$J[-]$: 第一種ベッセル関数,

$Y[-]$: 第二種ベッセル関数,

$\beta[-]$: 積分定数,

α [m²/s] : 熱拡散率,

t [s] : 時間

r_o [m] : U字型熱交換井外壁の半径,

r [m] : 坑井中心からの半径,

T_i [C°] : 初期地層温度,

T_{ro} [C°] : 熱交換井の外壁温度,

T_g [C°] : 熱交換器の外壁温度と初期地層温度の差,

λ_s [W/(m · K)] : 有効熱伝導率,

H [m] : 熱交換井の長さ,

Q [W] : 熱交換井の地中熱交換量,

を表している。

(10)式を分割したそれぞれの層について適用して温度挙動解析を行った (図 3. 4. 5. 2. 1)。

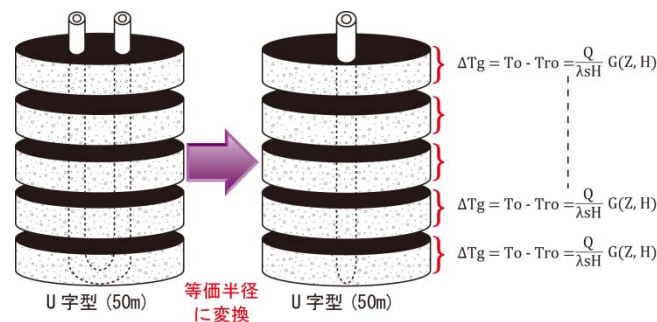


図 3. 4. 5. 2. 1 円筒型熱源関数を利用した U 字型地中熱交換井モデル

3.4.5.3 光ファイバーケーブルを用いた熱媒体循環終了後の熱交換井内温度測定結果

光ファイバーケーブルは、U字型熱交換井の流入口側に挿入して測定を実施した。測定時間間隔は1分で、測定深度間隔は0.5mである。有効熱伝導率を推定するための温度挙動解析では、熱媒体循環終了後、12時間、24時間、36時間後に測定した熱交換井内の媒体温度を熱交換井の外壁温度 T_{ro} と等しい仮定して利用した。

3.4.5.4 温度挙動解析方法

温度挙動解析には、Microsoft Excel 上において Premium Solver Platform (Frontline Systems Inc.)の Standard GRG Nonlinear Engine を使用した。

$$F = \sum (T_{ro(obs)} - T_{ro(cal)})^2 \quad (11)$$

(11)式に示したF (全98深度の合計) が最少になるように解析を実施した。

本解析では、有効熱伝導率と地中熱交換量の2つが変数である。解析に含まれる熱拡散率は、有効熱伝導率を標準的な湿潤土壌の熱容量 $3.0 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{K})$ で除することにより設定した(藤井ほか, 2006)。初期地層温度は、熱媒体循環終了直後の値を使用した。解析開始時の有効熱伝導率の値は、線源理論を用いて推定されたそれぞれの地点における平均有効熱伝導率を全層に当てはめた。また、解析時の条件として熱媒体循環時における熱交換井の単位深度当たりの地中熱交換量の全層積分値の設定や有効熱伝導率値の範囲(0.7~5.0)の制約について、六宝館では解析初期から与え、東公園を除くその他の地点では解析の最後に与えた。東公園では、解析初期に有効熱伝導率値の範囲の制約を与え最後に熱媒体循環時における熱交換井の単位深度当たりの地中熱交換量の全層積分値を与えた。

3.4.5.5 線源理論および円筒型熱源関数から推定された平均有効熱伝導率の比較

線源理論および円筒型熱源関数から推定された平均有効熱伝導率の値を図3.4.5.5.1に示す。円筒型熱源関数の平均有効熱伝導率は、全層の有効熱伝導率の算術平均である。

値の顕著な違いが、浅瀬石児童公園、東公園、除雪センターで認められた。解析時に与えた地中熱交換量の全層積分値に問題があったと考えられ、解析方法の今後の課題である。

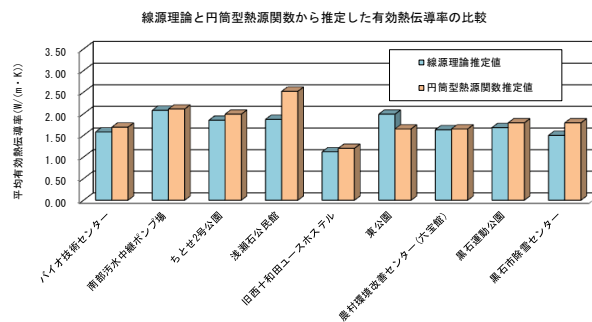


図 3.4.5.5.1 線源理論および円筒型熱源関数から推定された平均有効熱伝導率の比較

3.4.6 U字型熱交換井における不均質地層の有効熱伝導率の解析結果

有効熱伝導率を推定するための温度挙動解析を行った黒石市の9地点の解析結果を1地点ごとに2枚図示した。第1図は地点の地質概略図と熱交換井の外壁温度 T_{ro} の測定値（12時間，24時間，36時間後）および計算値のフィッティング結果，第2図は，有効熱伝導率の鉛直分布の解析結果である。

2. バイオ技術センター

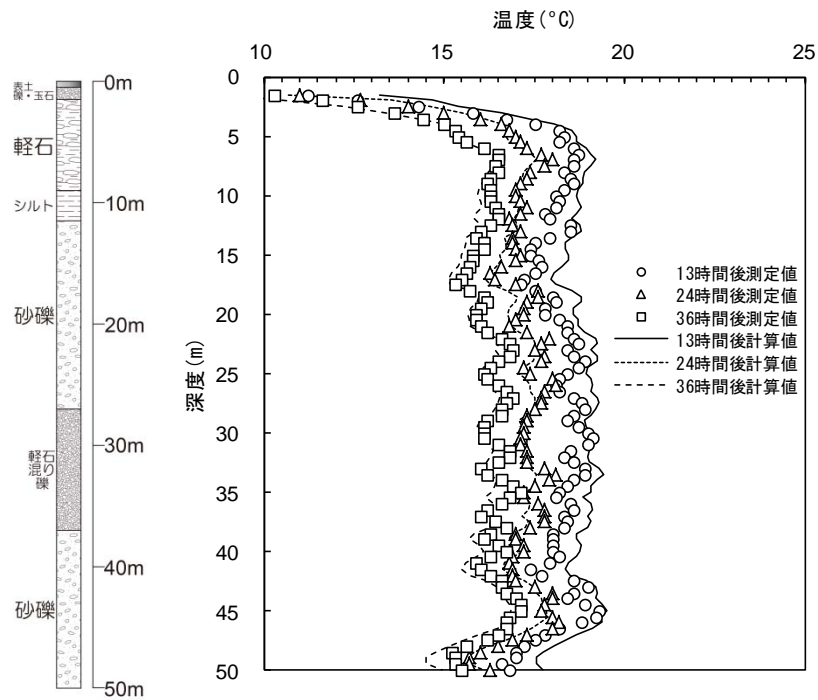


図 3.4.6.1 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

2. バイオ技術センター

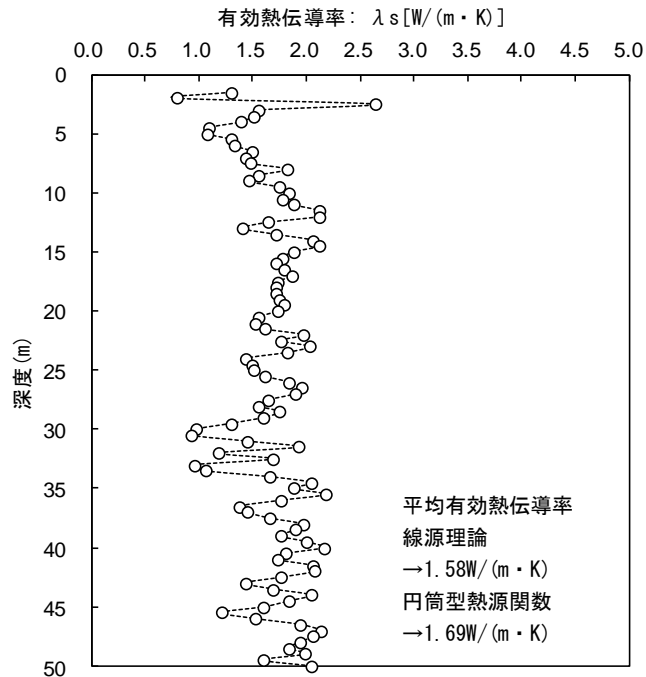


図 3.4.6.2 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

3. 南部汚水中継ポンプ場

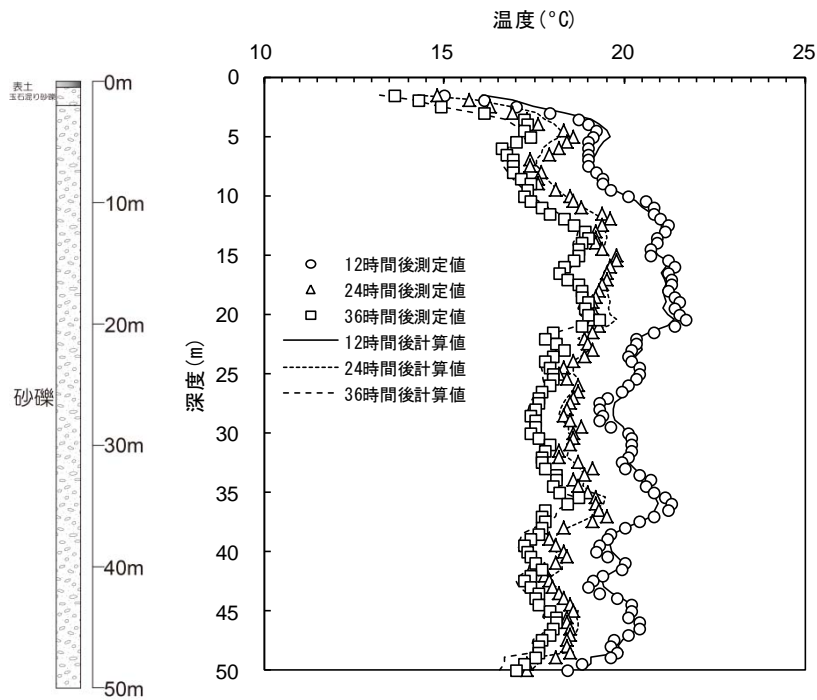


図 3. 4. 6. 3 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

3. 南部汚水中継ポンプ場

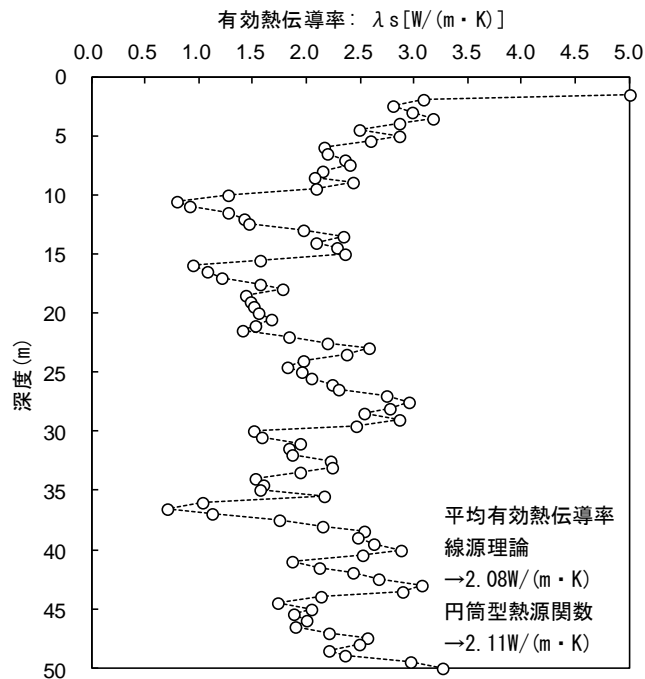


図 3. 4. 6. 4 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

4. ちとせ2号公園

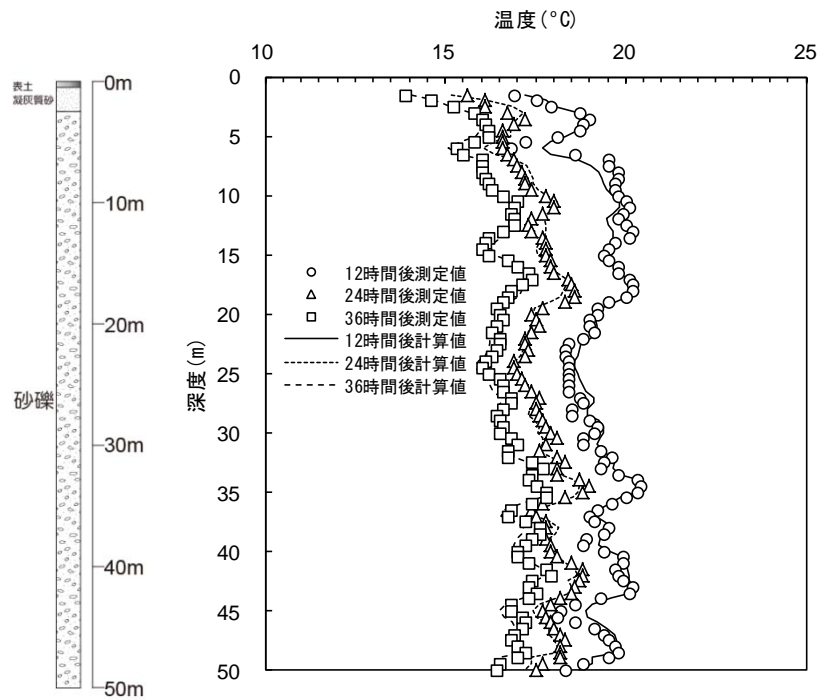


図 3.4.6.5 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

4. ちとせ2号公園

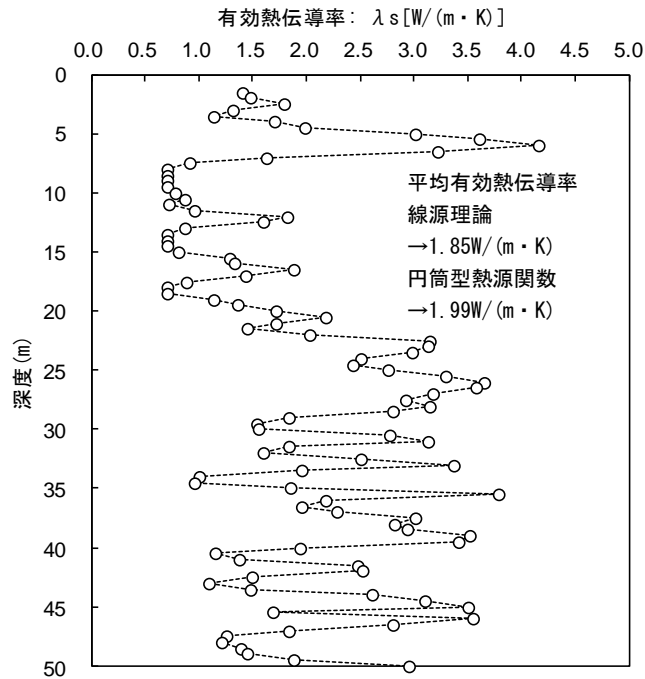


図 3.4.6.6 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

5. 浅瀬石公民館

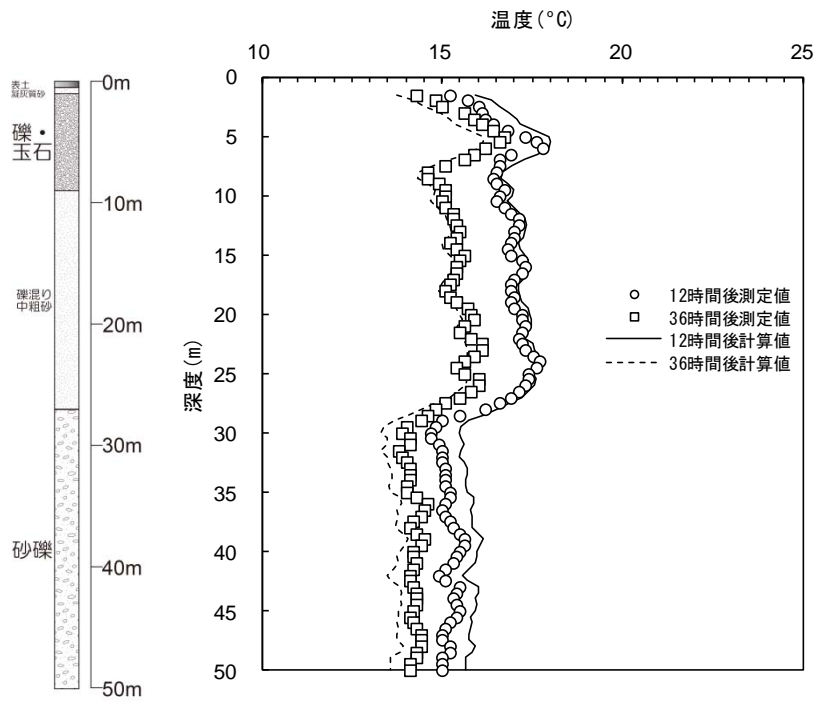


図 3.4.6.7 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

5. 浅瀬石公民館

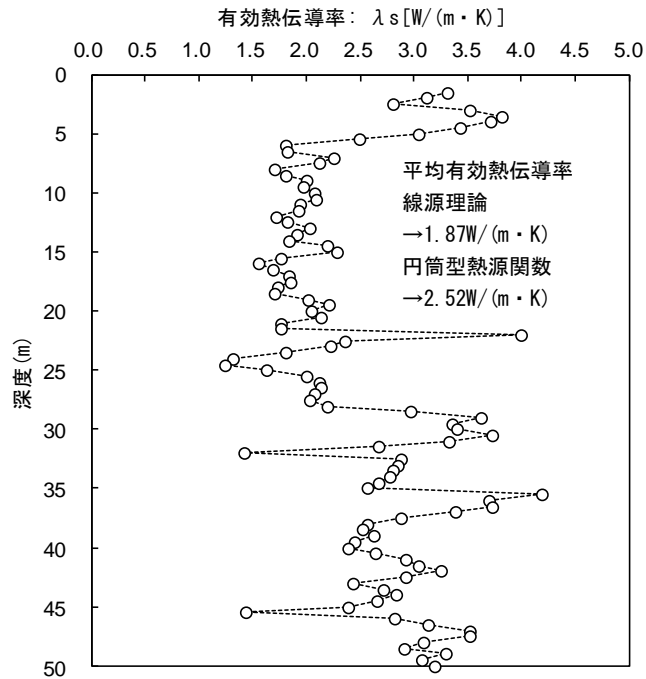


図 3.4.6.8 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

7. 旧西十和田ユースホテル

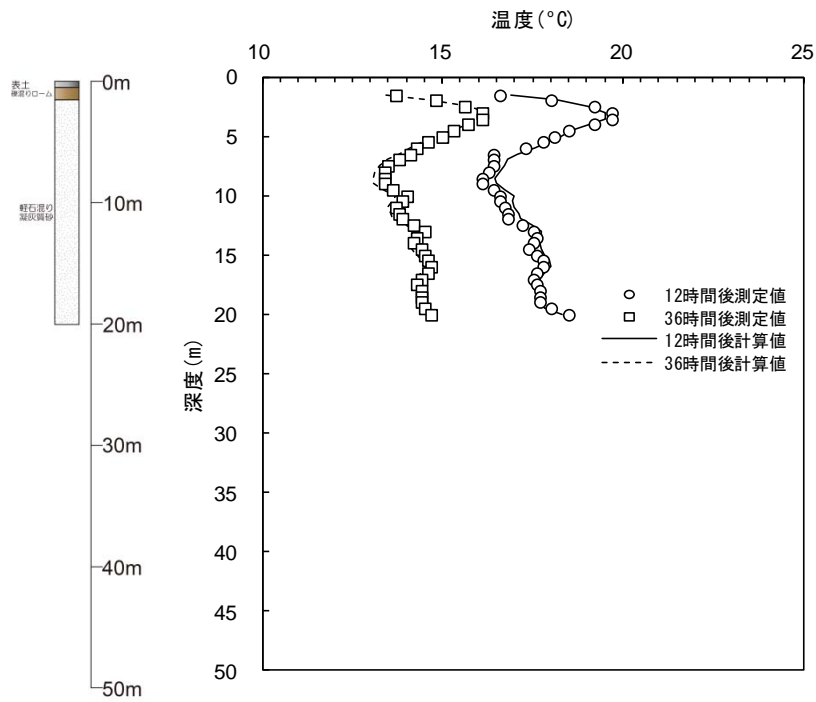


図 3. 4. 6. 9 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

7. 旧西十和田ユースホテル

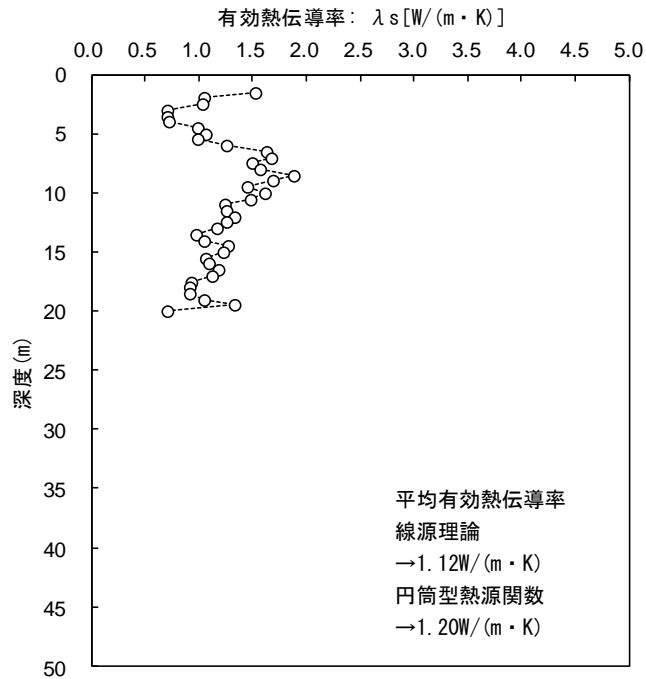


図 3. 4. 6. 10 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

12. 東公園

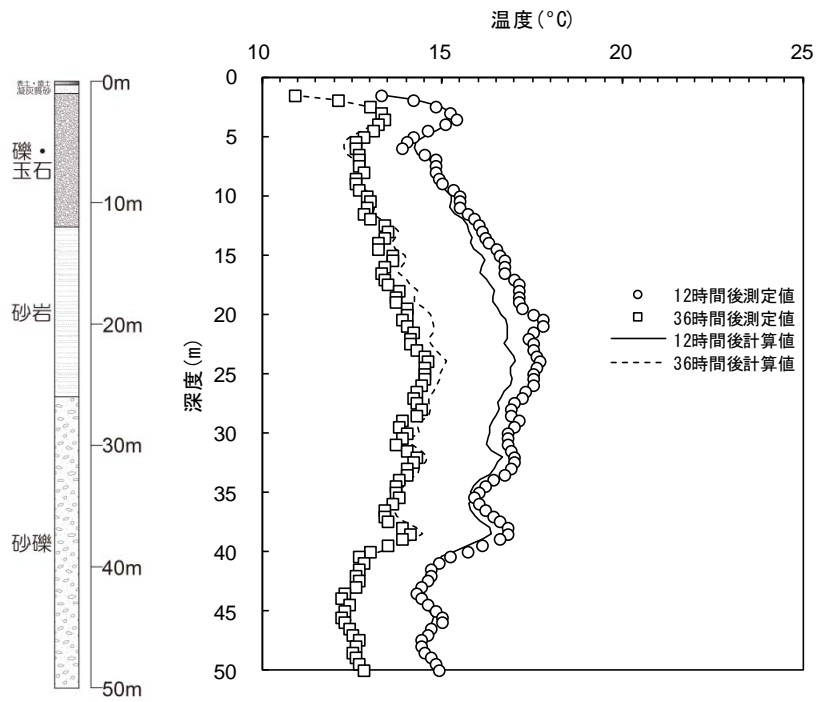


図 3.4.6.11 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

12. 東公園

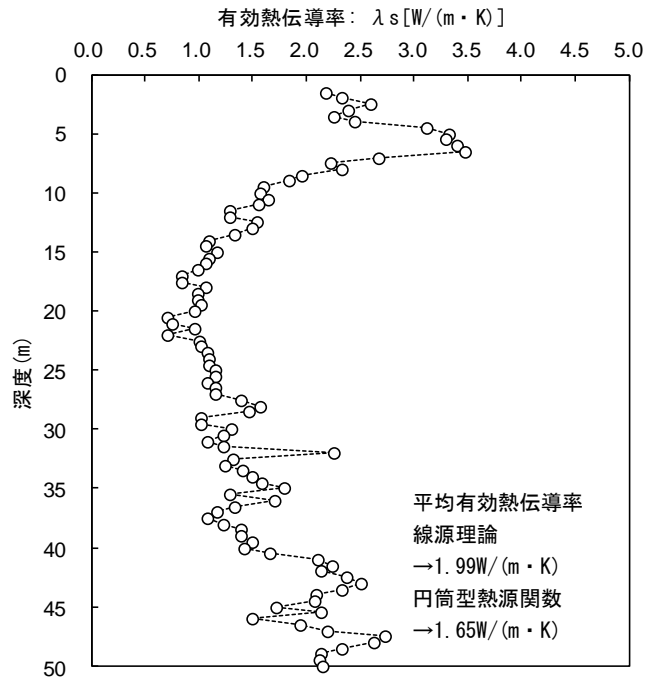


図 3.4.6.12 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

15. 農村環境改善センター（六宝館）

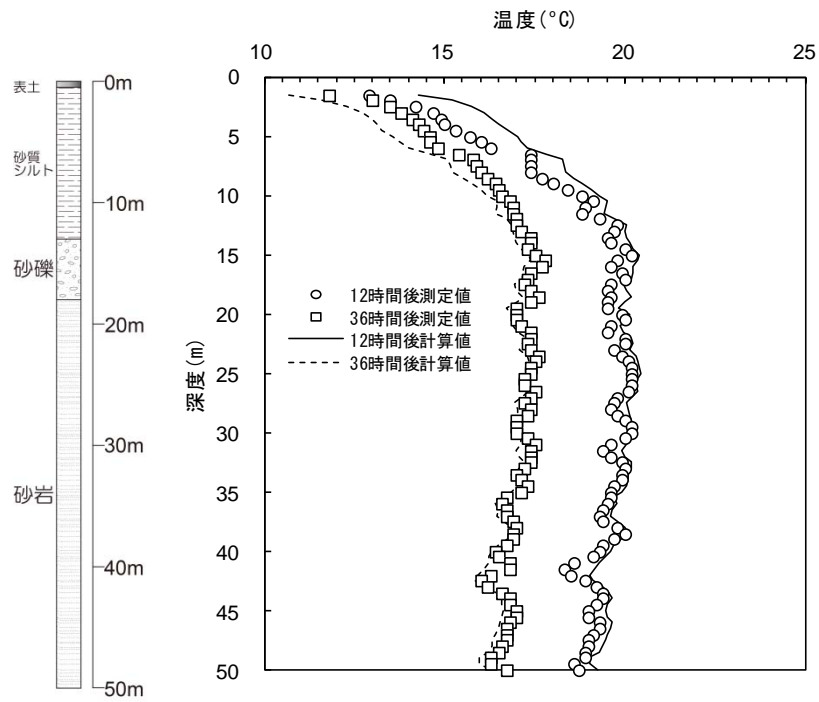


図 3.4.6.13 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

15. 農村環境改善センター（六宝館）

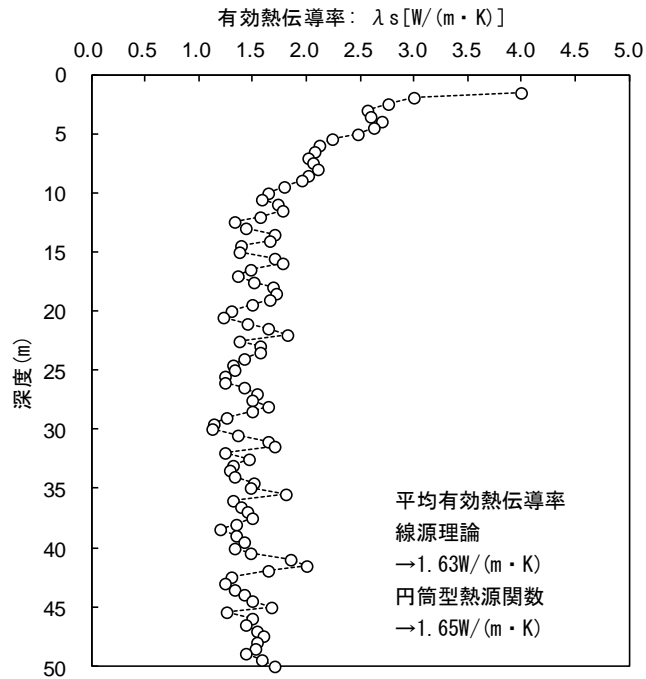


図 3.4.6.14 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

18. 黒石市運動公園

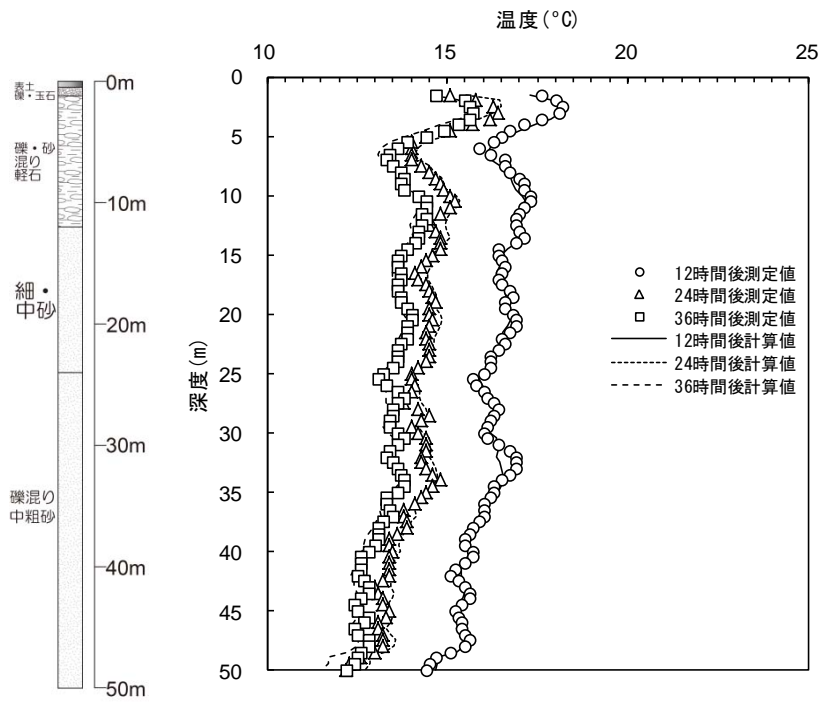


図 3.4.6.15 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

18. 黒石市運動公園

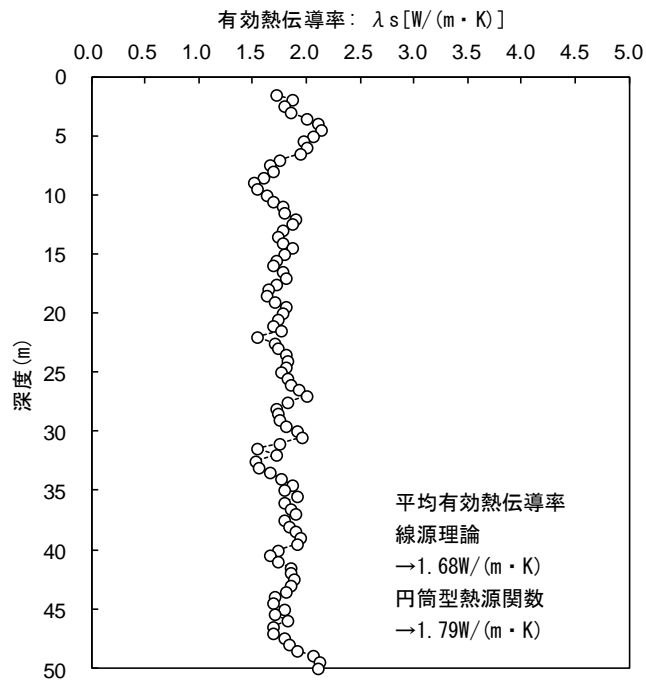


図 3.4.6.16 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

19. 黒石市除雪センター

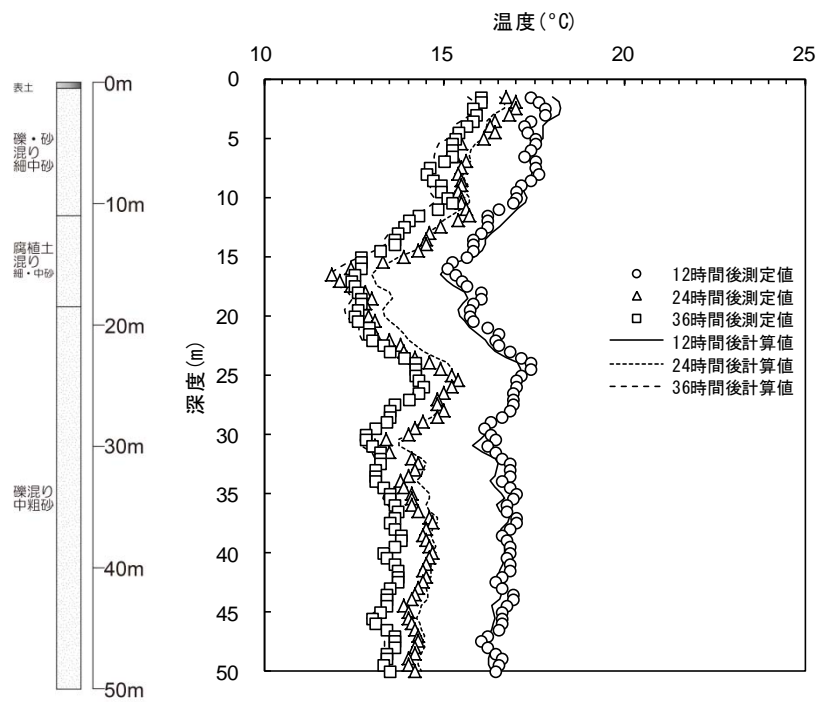


図 3.4.6.17 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

19. 黒石市除雪センター

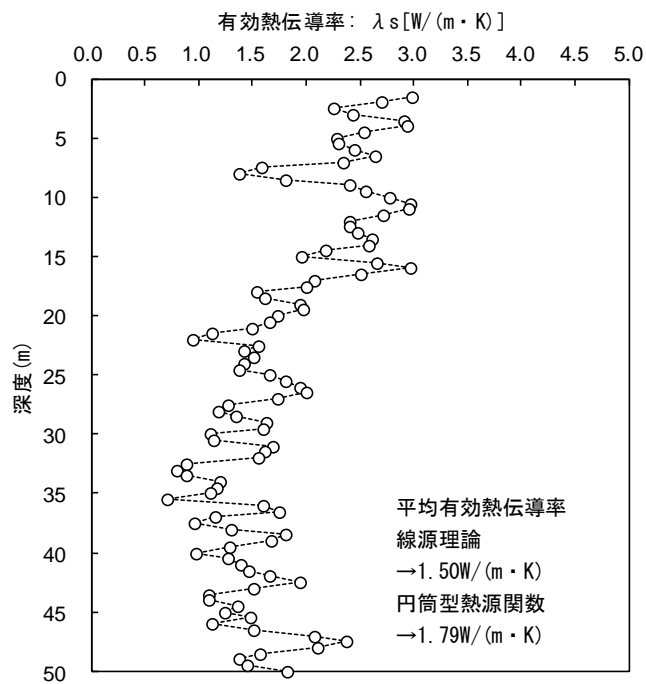


図 3.4.6.18 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

3.4.7 地中熱交換井の単位深度当たりの採放熱量の推定—融雪暖房時を例として—

地中熱ヒートポンプの性能は，地中から地中熱交換井の単位深度当たりどれだけ採放熱できるかによって大きく影響される。すなわち，単位深度当たりにおける地中からの採放熱特性（単位深度当たりの地中熱交換量）を把握できれば深さ何 m の地中熱交換井を設置すればよいかを知ることができる（北海道大学地中熱利用システム工学講座，2007）。

単位深度当たりの地中熱交換量は，放熱あるいは採熱時で異なってくる。積雪寒冷地域である青森県では採熱が重要になってくると考えられる。また，道路および歩道への地中熱利用融雪システムが，豪雪地帯である青森県には必要なモデルと位置づけられると指摘されている（青森県，2008）。したがって，本報告では，融雪暖房時の地中熱の利用を想定し，地点ごとの単位深度当たりの地中熱交換量を推定する。推定には，以下の式を利用した（藤井ほか，2010）。

$$T_w = T_i - \frac{Q}{\lambda_s H} G(Z, P) \quad (12)$$

$$T_w = T_{ave} + \frac{Q}{H} R_b \quad (13)$$

記号は，

- G：円筒型熱源関数，
- T_i [C°]：初期地層温度，
- T_w [C°]：坑壁温度，
- T_{ave} [C°]：熱媒体平均温度，
- Q[W]：熱交換井の地中熱交換量，
- λ_s [W/(m・K)]：有効熱伝導率，
- H[m]：熱交換井の長さ，
- Q[W]：熱交換井の地中熱交換量，
- R_b [K/(W/m)]：熱抵抗

を表している。

融雪暖房時の地中熱の利用を想定し，式(12)，(13)を解くために設定した値を表 3.4.7.1 に示す。単位深度当たりの地中熱交換量推定は，U字型地中熱交換井と同軸型地中熱交換井をそれぞれ別に分けて地点ごとに実施した。有効熱伝導率は，平均有効熱伝導率を用いた。また，単位深度当たりの地中熱交換量推定値は 10 日間の平均値である。

表 3.4.7.1 融雪暖房時の単位深度当たりの地中熱交換量を推定するための設定値

	高密度ポリエチレン製 U字型地中熱交換井 (50m)	鋼管製 同軸型地中熱交換井 (10m)
H [m]	49	9
T_i [°C]	14	11
T_{ave} [°C]	5 (in:2, out:8)	3.5 (in:2, out:5)
R_b	0.09	0.02

3.4.7.1 地中熱交換井の単位深度当たりの採熱量の推定結果

採熱時の単位深度当たりの地中熱交換量の推定結果を図 3.4.7.1.1 に示す。なお、本推定結果には虹の湖公園における推定結果は含まれていない。図 3.4.3.1.1 に示されているように他の地点とは異なり深度 50m で温度約 100℃で、地温勾配が大きいことから単位深度当たりの地中熱交換量の評価が困難であるからである。

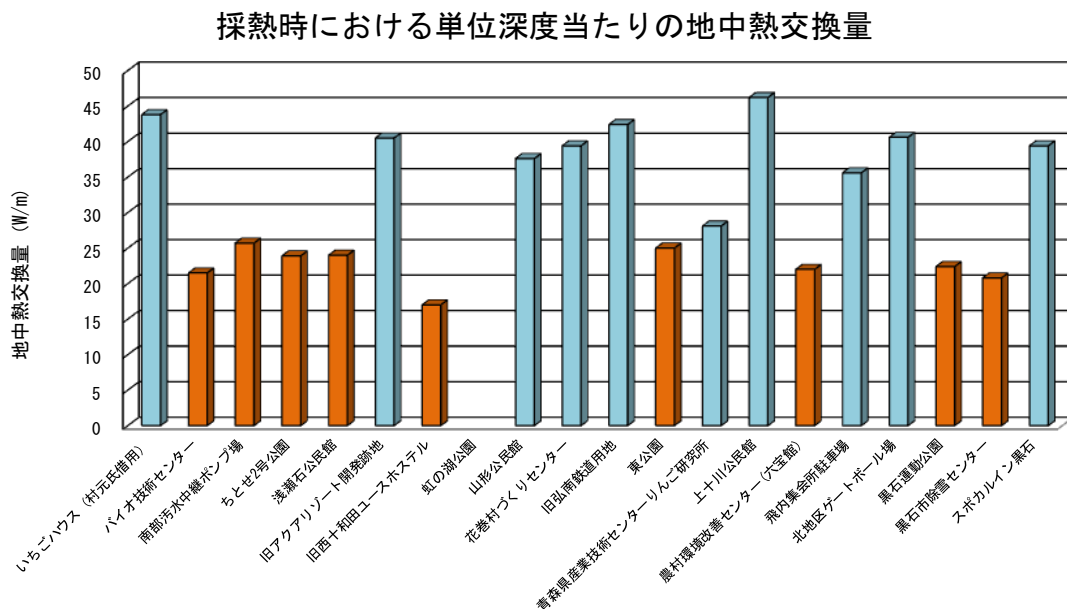


図 3.4.7.1.1 黒石市 19 地点の採熱時における単位深度当たりの地中熱交換量推定結果 (青色:同軸型地中熱交換井(鋼管製), 赤色:U字型地中熱交換井(高密度ポリエチレン製))

推定された採熱時における単位深度当たりの地中熱交換量の値は、約 15~50W/m の範囲に入っている。また、U字型地中熱交換井における推定結果は、同軸型地中熱交換井と比較して低い値を示した。これは、熱交換井の材質等が影響しているものと考えられる。日本では、これまでの実績から 40W/m 前後の地中から連続して採熱できることが経験的にわかっており、実際の設計には 30~40W/m 程度の概算値が簡便法として用いられていることが報告されている(北海道大学地中熱利用システム工学講座, 2007)。さらに、地中温度が約 10℃, 送水温度 2℃の条件下で実施した試験では、採熱時の地中熱交換量が約 15~35W/m であったことも報告されている(北海道大学地中熱利用システム工学講座, 2007)。したがって、さまざまな設定条件を仮定したうえで推定された今回の地中熱交換量の値は真値ではないけれども、極端におかしい値でもない想定される。なお、これらの推定した値をもとにそれぞれの地点における融雪時に必要な地中熱交換井の深度について簡易評価結果を資料に添付する。

3.4.8 参考文献

- 青森県 (2008) : 「青森県地中熱利用推進ビジョン」. 青森県, 142p.
- 日本熱物性学会編 (2008) : 「新編熱物性ハンドブック」. 養賢堂, 776p.
- 藤井光 (2006) : 講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」. 日本地熱学会誌, **28**, 245-257.
- 藤井光・秋林智 (2002) : 大地結合ヒートポンプシステム熱交換井における温度応答試験解析. 資源と素材, **118**, 75-80.
- 藤井光・大久保博晃・糸井龍一・小助川洋幸 (2006) : 不均質地層におけるU字管型地中熱交換井の温度挙動解析. 日本地熱学会誌, **28**, 199-210.
- 藤井光・駒庭義人・山口雅登・長直勝 (2010) : 非充填U字管型熱交換井におけるサーマルレスポンス試験解析. 日本地熱学会誌, **32**, 31-40.
- 北海道大学地中熱利用システム工学講座 (2007) : 「地中熱ヒートポンプシステム」. オーム社, 167p.
- 森谷祐一・関川絵美子・池上真紀・浅沼宏・新妻弘明 (2010) : 線源理論による地中熱伝導率推定値に与える地温勾配の影響. 日本地熱学会誌, **32**, 87-96.
- Deeman, J.D. and Kavanaugh, S.P. (1990): Simulation of vertical of U-tube ground-coupled heat pump systems using the cylindrical heat source solution. *ASHRAE Transactions*, **97**, 287-295.
- Fujii, H., Okubo, H., Nishi, K., Itoi, R., Ohyama, K. and Shibata, K. (2009): An improved thermal response test for U-tube ground heat exchange based on optical fiber thermometers. *Geothermics*, **38**, 399-406.
- Ingersoll, L.R., Zobel, O.J. and Ingersoll, A.C. (1954): Heat conduction with engineering, geological, and other applications. McGraw-Hill, New York, 325p.

3.5 地中熱調査のまとめ

3.5.1 実施時期の課題

過去の様々な文献によると、地域によっては季節によって地下水レベルが大きく変化し、熱伝達係数が大きく変わることもあると指摘している。この度の試験が実質半年の期間に40地点の評価を行わなければならない、季節的には秋から真冬にかけての試験になってしまった。

このため、今回のデータが年間通じて適用できる有効熱伝導率とは断定し難いが、各地域一点の計測結果であり、その地域のおおむねの係数の把握には有益と考えられる。なお、今回の試験の反省として、回復試験を実施する場合は、青森県の冬季においては氷点下になる頻度が高く、配管の凍結が心配された。このため地表近くの水を抜き取るなどの操作を行ったが、今後同様の試験を行う場合は、この時期は避けたい。

3.5.2 試験孔掘削に関する課題

この度のサーマルレスポンス試験では、実用化の観点から10m鋼管杭での試験を実施することとした。

鋼管はバックホウにて容易に埋設できることから、安価であり短時間で作業が完成するメリットはあるが、地下に礫層を含む地形などでは、作業困難となり、やむを得ず大口径のブレードパイプによる掘削やボーリングでの先行掘りを余儀なくされた。実用化に向けて、さらに改良を加えたブレードパイプの開発も有益と考えられる。

3.5.3 試験装置の課題

サーマルレスポンス試験に光ファイバー温度計を活用した例は、過去にもいくつかあるが、測定場所が比較的恒温の場所での結果であり、この度のような気温が30℃を超える日々やマイナスになるような条件下での試験経験は報告されていない。光ファイバー温度計による試験を開始後すぐに、通常の温度計では安定した温度を示しているにも関わらず、地下の温度計測に異常な変化が検知された。

この原因は光ファイバー温度計が恒温の中での測定用に設計されており、データ処理装置の微細な温度変化を補正しているために発生しているものと判断された。以降、極力データ処理装置を断熱し、測定データへの影響を抑えたが、計測データは昼間と夜間の温度差の影響を避けることができなかった。

3.5.4 解析上の課題

本報告で実施した光ファイバーケーブルを用いた不均質地層における有効熱伝導率の推定のための温度挙動解析では、それぞれの深度における地中熱交換量および有効熱伝導率を推定している。今後は温度挙動解析の精度向上のためにそれぞれの深度における地中熱交換量は測定し、有効熱伝導率だけを推定する方向に行く必要があると考える。

第4章 地熱ポテンシャルマップ

4.1 マップ製作概要

本調査では黒石市において、それぞれ、20 地点の熱応答試験を実施した。本調査は青森県全域の調査と同時並行して進められており、これまでになく、組織的な地中熱ポテンシャル調査となっている。しかしながら、黒石市について、20 地点の点データのみで、全域の地中熱ポテンシャルを論じ得る訳ではない。この点を補完するため、本調査では併せて、黒石市の地熱・温泉・地下水データ等の既存データも収集することとした。本章ではこれらのデータをマップ化し、熱応答試験の結果を総合的に評価することとする。

4.2 黒石市の地形・地質

黒石市の地形を図 4.2.1 に、黒石市の地質を図 4.2.2 に示す。黒石地域の地熱地質に関して、特筆すべきことは、その東部に沖浦カルデラが存在することである（村岡・長谷，1990）。沖浦カルデラの形成年代はその火砕流堆積物（青荷凝灰岩）から約 150 万年前頃と推定される。つまり、一応、第四紀の陥没カルデラとみなされる。実際に、沖浦カルデラの環状谷に沿っては、比較的高温の温泉が多数分布しており、このカルデラの地下の貫入岩体は地熱の熱源として、ある程度、熱を保存している可能性がある。沖浦カルデラは半月状・半環状の不完全なカルデラであり、東半分は陥没しておらず、南八甲田山に至る。その直径は主要環状谷に関して、約 15km である。中野川沿いの北側の環状断層は、南側の環状断層である浅瀬石川に対して、北西部で 2~3km 外側を通過する。つまり、両断層は北西において、食い違っている。そのため、この両者間にも多数の環状断層が認められる。このカルデラは我が国に一般的なクレーターレーク型カルデラではなく、環状断層の明瞭なバイアス型カルデラとみなされる。村岡・長谷（1990）が沖浦環状正断層系と名付けたこの環状断層群が熱水の湧出を規制している。

なお、熱応答試験の 20 坑のうちの、大部分は扇状地堆積物の分布域に配置されている。すなわち、板留温泉付近から黒石市市街地にかけては、板留温泉付近を扇頂とし、西北西に向かって徐々に開く扇状地を構成している（図 4.2.1）。そのため、ここを構成する地層は礫層や砂層など、淘汰不良の粗粒の堆積物から構成されている。

4.3 地下温度マップ

地下温度マップを作成するために、4 種類のデータを収集した。これらのデータについて、高温から低温の順に述べる。まず、1 つ目の収集データは、青森県下でこれまでに掘削された地熱調査井である。これについては 36 個のデータをまとめた（表 4.3.1）。最新のものとして、黒石市が本事業の一環として虹の湖公園に掘削した深度 50m 井は、坑底で 97℃に達した。これは地中熱井というよりも、もはや地熱井と呼ぶべきである。よって、これを最新の地熱井として表 4.3.1 に含めた。

2 つ目の収集データは、青森県の自然湧出泉である。自然湧出泉の存在は地下熱水対流系

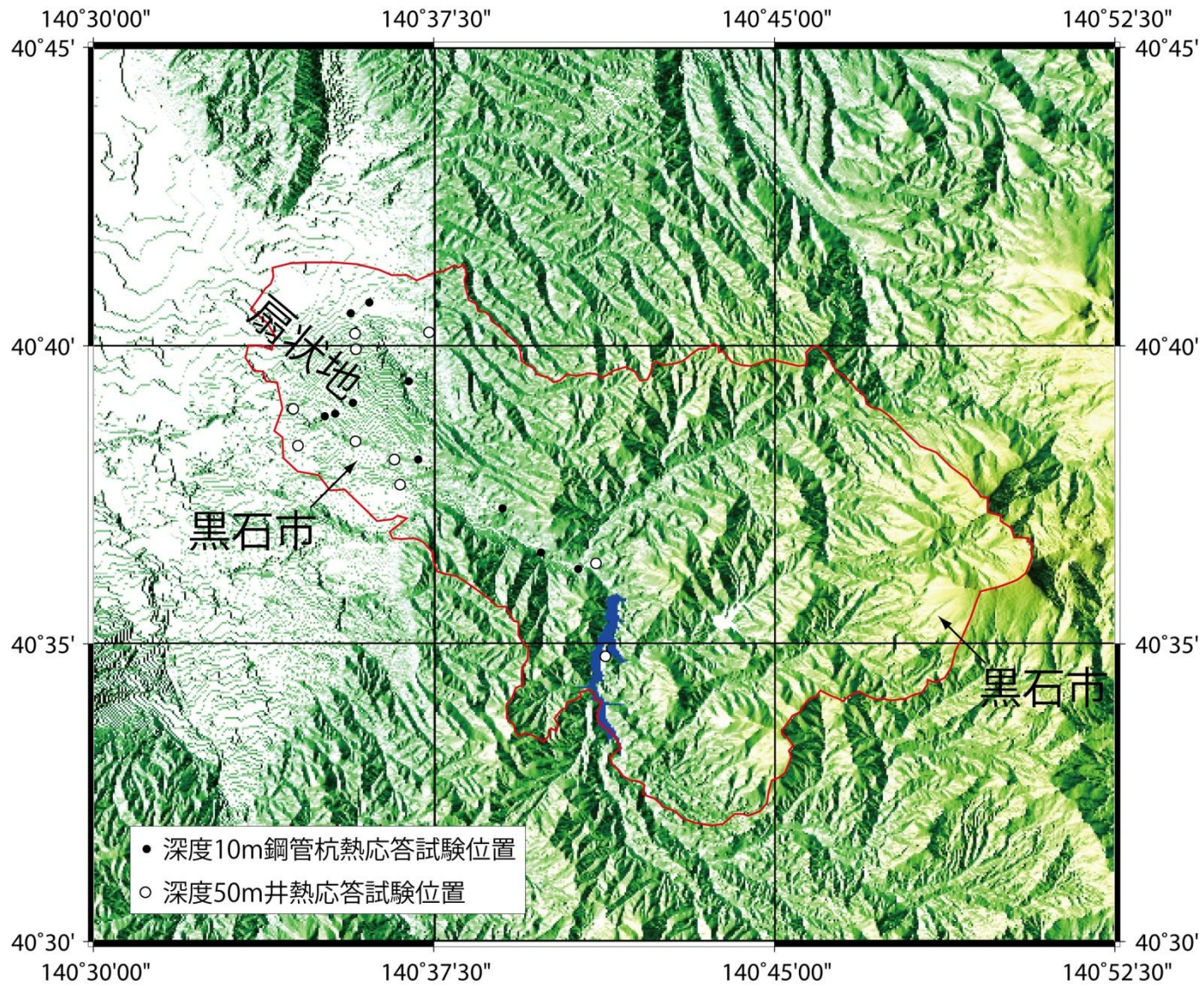


図 4.2.1 黒石市の地形および本調査の 20 坑井位置図. 地形データには国土地理院の数値地図 50m メッシュを使用し、作図にはカシミール 3D および GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した.

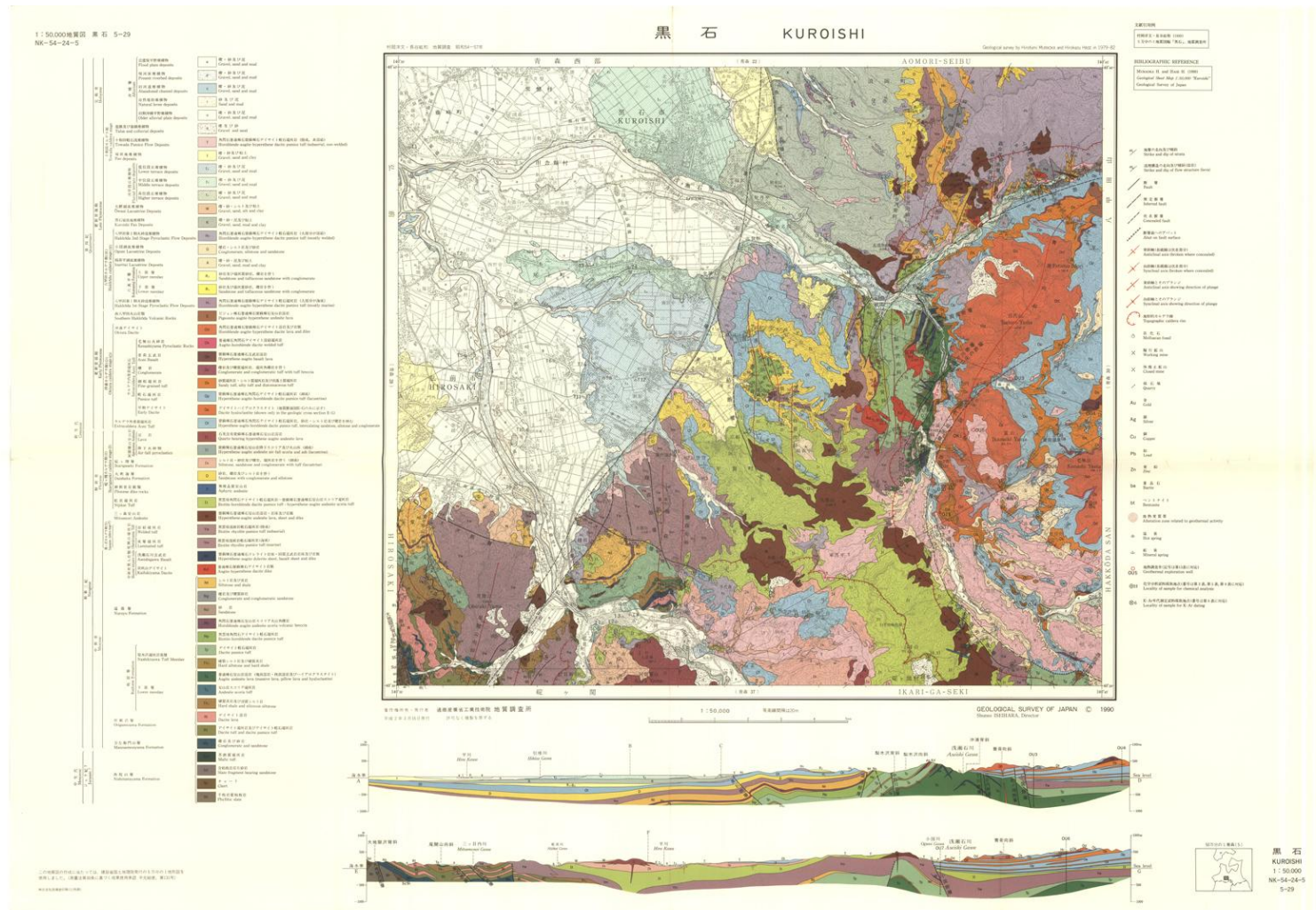


図 4.2.2 黒石地域の地質 (村岡・長谷、1990)。

表 4.3.1 青森県の地熱調査井

No	坑井名	掘削年度	位置	東経	北緯	標高	掘削深度	坑底温度	活動度指数	掘削機関名
1	N50-HK-1	1975	青森市駒込	140.874556	40.709536	690	503.0	65.5	21.1	日本地熱調査会
2	N50-HK-2	1975	青森市下湯	140.791667	40.676160	432	502.0	88.2	30.6	日本地熱調査会
3	N53-OU-1	1979	黒石市雷山	140.697667	40.570220	385	702.0	97.0	30.3	日本地熱資源開発促進センター
4	N56-OU-1	1981	黒石市大川原	140.724389	40.637173	250	502.0	57.1	17.6	新エネルギー総合開発機構
5	N56-OU-2	1981	黒石市大川原	140.708111	40.635105	245	503.0	51.9	15.4	新エネルギー総合開発機構
6	N56-OU-3	1981	黒石市二庄内	140.713889	40.584979	280	1202.0	140.9	39.0	新エネルギー総合開発機構
7	N56-OU-4	1981	黒石市青荷沢	140.744278	40.577284	550	702.0	148.7	50.9	新エネルギー総合開発機構
8	N56-OU-5	1981	黒石市雷山	140.700167	40.571616	430	1503.0	165.7	43.8	新エネルギー総合開発機構
9	N56-OU-6	1981	黒石市青荷沢	140.726278	40.561929	465	1202.0	97.7	22.9	新エネルギー総合開発機構
10	N56-OU-7	1981	平川市小国	140.687056	40.545516	230	1002.0	91.1	23.1	新エネルギー総合開発機構
11	N57-OU-8	1982	黒石市青荷沢	140.755389	40.582022	605	1502.0	167.1	44.3	新エネルギー総合開発機構
12	N57-OU-9	1982	黒石市青荷沢	140.767444	40.583122	640	1000.0	143.5	43.0	新エネルギー総合開発機構
13	N57-H-1	1982	青森市下湯東	140.805333	40.675738	595	202.0	13.8	3.9	石油資源開発株式会社
14	N57-H-2	1982	青森市下湯東	140.801944	40.692405	645	201.0	17.7	5.8	石油資源開発株式会社
15	N57-H-3	1982	青森市下湯	140.774722	40.685063	335	201.0	31.1	12.5	石油資源開発株式会社
16	N57-H-4	1982	青森市沖揚平	140.789000	40.639620	680	201.0	5.7	-0.2	石油資源開発株式会社
17	N57-H-5	1982	青森市下湯北	140.777333	40.705485	378	201.0	14.2	4.1	石油資源開発株式会社
18	N58-SK-1	1983	風間浦村大赤川	141.097229	41.451389	179	1500.0	205.0	58.1	新エネルギー総合開発機構
19	N58-SK-2	1983	むつ市ゴネ沢	141.067505	41.418056	500	1490.0	112.0	24.4	新エネルギー総合開発機構
20	N58-SK-3	1983	むつ市薬研東部	141.093048	41.387779	35	1000.0	89.0	22.4	新エネルギー総合開発機構
21	N58-SK-4	1983	むつ市正津川	141.122498	41.351387	99	1500.0	149.0	37.8	新エネルギー総合開発機構
22	N59-SK-5	1984	風間浦村矢管山	141.065002	41.459721	450	1200.0	121.0	31.6	新エネルギー総合開発機構
23	N59-SK-6	1984	風間浦村大赤村	141.090561	41.447498	160	1700.0	229.0	64.3	新エネルギー総合開発機構
24	N59-SK-7	1984	風間浦村大赤村	141.090561	41.447498	160	400.0	121.0	47.4	新エネルギー総合開発機構
25	N61-HK-1	1986	青森市南股山	140.824056	40.663460	690	1001.8	169.8	52.9	新エネルギー総合開発機構
26	N1-HD-1	1989	青森氏萱野茶屋	140.839278	40.705485	670	1000.0	106.0	28.8	新エネルギー・産業技術総合開発機構
27	N1-HD-2	1989	青森市下湯東	140.787722	40.681646	390	1000.0	111.0	30.7	新エネルギー・産業技術総合開発機構
28	N1-HD-3	1989	青森市逆川岳	140.817944	40.646835	730	1001.6	124.6	35.8	新エネルギー・産業技術総合開発機構
29	N2-HD-4	1990	青森市荒川	140.784389	40.668523	308	1003.2	122.0	34.8	新エネルギー・産業技術総合開発機構
30	N2-HD-5	1990	青森市荒川北	140.809500	40.665781	654	1501.4	175.6	47.4	新エネルギー・産業技術総合開発機構
31	N2-HD-6	1990	青森市城ヶ倉	140.827667	40.653671	760	1564.0	236.0	68.5	新エネルギー・産業技術総合開発機構
32	N2-KR-1	1990	黒石市青荷	140.743556	40.705485	545	700.0	125.0	41.5	黒石市
33	N3-HD-7	1991	青森市南股山	140.822056	40.673713	690	1500.0	192.4	53.5	新エネルギー・産業技術総合開発機構
34	N3-HD-8	1991	青森市城ヶ倉	140.822389	40.653671	625	1503.0	219.5	63.3	新エネルギー・産業技術総合開発機構
35	N20-SY-1	2008	青森市下湯	140.807389	40.671224	310	1807.0	184.0	46.7	新エネルギー・産業技術総合開発機構
36	N22-KR-8	2010	黒石市二庄内	140.688276	40.579992	208	50.0	97.0	62.8	青森県(弘前大学)

の上昇流域を直接的に示す、きわめて有用なデータである。しかし、我が国では温泉の過剰採取によって、かつての自然湧出泉（自然水位が地表面よりも高い温泉）が、次第に水位を低下させ、やがては浅部掘削に頼るようになる場合が少なくない。そのために、自然状態では自然湧出泉であったことが、歴史とともに忘れ去られて行くことが少なくない。よって、この機会に、青森県の自然湧出泉のデータ 26 個をまとめた（表 4.3.2）。これについては、青森県環境保健部自然保護課（1997）の「青森県温泉地質誌」から抽出した。ただし、この著作の趣旨は温泉井データをまとめることにあるため、自然湧出泉に関する記述は比較的乏しく、主に自然湧出泉の存在と位置のみを参考にし、他のデータについては村岡・高倉（1988）などにより補完した。また、青森県環境保健部自然保護課（1997）の自然湧出泉のうち、25℃未満のものは、熱水対流というよりも、動水勾配等によって湧出している可能性が高いため、表 4.2 から除外した。

3 つ目の収集データは青森県の温泉データである。青森県環境保健部自然保護課（1997）から 408 個のデータを収集した。これには前述の自然湧出泉は含めていない。

4 つ目の収集データは青森県の地下水データである。このデータは定期的に青森県地下水台帳として国土庁に報告され、公表されているものである。この地下水 632 個のデータの

表 4.3.2 青森県の自然湧出泉

No	地質誌No	源泉名	温泉名	東経	北緯	標高	泉温	活動度指数
1	青森-61	竜の湯	田代元湯	140.900099	40.708366	508	54.1	54.1
2	青森-88	玉の湯	酸ヶ湯	140.851425	40.650292	902	69.7	69.7
3	青森-91	ふかし湯	八甲田ロッジ	140.850651	40.646313	888	90.8	90.8
4	青森-118	浅虫36号泉	浅虫温泉事業協会	140.862630	40.887435	12	78.6	78.6
5	青森-	下湯	下湯	140.785020	40.676915	295	98.8	98.8
6	岩木-43	嶽5号泉	嶽温泉旅館組合	140.270986	40.639665	608	40.5	40.5
7	岩木-50	湯段1号泉		140.252425	40.625390	412	40.0	40.0
8	黒石-37	要目源泉	要目温泉	140.725187	40.584170	306	45.0	45.0
9	黒石-38	要目国有林源泉	要目温泉	140.720174	40.582145	304	51.0	51.0
10	黒石-45	青荷3号泉	青荷温泉	140.729223	40.571219	403	44.0	44.0
11	平賀-35	温川1号泉	南貨物自動車	140.791019	40.513339	434	65.0	65.0
12	平賀-36	温川2号泉	温川コミュニティ温泉	140.791562	40.513281	435	60.0	60.0
13	平賀-42	津根川森1号泉	黒石営林署	140.782826	40.515875	412	46.0	46.0
14	鱒ヶ沢-1	熊の湯温泉	大然温泉	140.148959	40.658382	102	37.0	37.0
15	深浦-8	六角沢1号泉		139.923444	40.628017	56	26.5	26.5
16	深浦-10	南股温泉	猿の湯	140.007500	40.602574	303	31.0	31.0
17	野辺地-2	馬門温泉	馬門温泉	141.061278	40.874453	129	37.0	37.0
18	十和田湖-3	蔦温泉1号泉	蔦温泉	140.952722	40.597426	478	48.0	48.0
19	十和田湖-11	猿倉源泉	猿倉温泉	140.908556	40.626709	873	92.0	92.0
20	むつ-1	古滝の湯	恐山温泉	141.087444	41.326692	218	71.6	71.6
21	川内-3	松の湯	湯の川3号泉	140.960167	41.316416	111	55.0	55.0
22	大畑-3	湯の股2号泉	湯の股温泉	141.046333	41.385673	105	78.0	78.0
23	大畑-6	赤滝1号泉	赤滝温泉	141.046000	41.387343	87	69.0	69.0
24	大畑-11	滝2号泉	滝温泉	141.064278	41.380660	82	54.0	54.0
25	大畑-13	薬研1号泉	薬研温泉	141.069167	41.383459	69	47.0	47.0
26	大畑-17	湯坂温泉群	湯坂温泉	141.100500	41.324144	219	36.0	36.0

中から、水温データのある 615 個のデータについて収集し、使用した。

このようにして、熱水、温泉水、地下水など種類は異なるものの、青森県下から 1,085 個の地下温度データが収集された。ただし、これらの地下温度は深度が様々であるため、等価に比べることができない。ここでは、これら地下温度を深度の違いを越えて、等価に比較するために、林 (1982) の提案した活動度指数という概念を用いることとする。

いま、1,085 個のデータを、温度と深度の関係として表したものが図 4.3.1 である。活動度指数とは、この中の 6 本の曲線で代表される指数である。ここで、活動度指数 (AI) が 100 の曲線とは、地下において静水圧を仮定したときの純水の沸騰曲線である。活動度指数 (AI) が 0 の曲線とは、地球の平均的な地温勾配である深度 1km 増えるごとに 30°C 温度が上昇する状態 (これのみ直線) を表している。活動度指数とは、この平均地温勾配と地下沸騰曲線という両極端の場合を百等分した曲線であり、指数である。たとえば、活動度指数 (AI) 100 の曲線から類推されるように、地上に 100°C の温泉があるということは、地下深度 1088m 付近に、温度 300 に達する熱水が賦存する可能性があることを示している。

さて、我が国には現在、18 個の大小地熱発電所が存在するが、それらの大部分は活動度指数 (AI) が 80 以上の地域に建設されている。自然湧出泉についてみると、青森県の下湯、ふかし湯、猿倉温泉といった 3 個の自然湧出泉は温度 90°C 以上であるため、活動度指数 (AI)

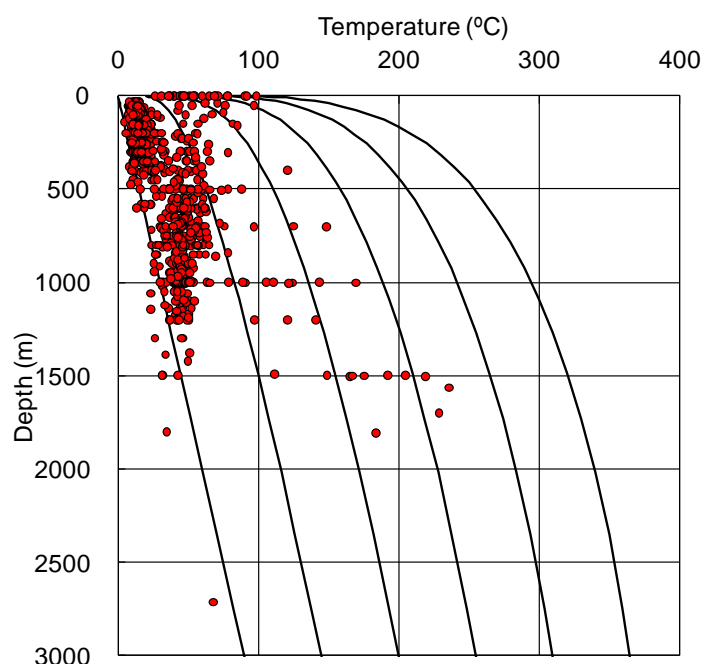


図 4.3.1 1,085 個のデータの温度深度分布と活動度指数 (AI).

が 90 以上であり、その地下においても活動度指数が高い可能性を秘めている。しかし、ある程度、深いところまで掘削した地熱調査井のデータを見ると、八甲田火山群で最高温度の 236°C を記録した青森市城ヶ倉の N2-HD-6 号井でさえ、活動度指数 (AI) が 68.5 に過ぎず、恐山火山群で最高温度の 229°C を記録した風間浦村大赤村の N59-SK-6 号井でさえ、活動度指数 (AI) が 64.3 に過ぎない。したがって、これらの火山群は、栗駒山火山群や八幡平火山群といった第一級の地熱地帯に比べると、高温熱水系資源の広がりやや限定されているように見える。しかしながら、すでに地下に 200°C を超える温度域が確認されていることから、蒸気フラッシュ発電の開発の可能性は十分に残されている。他方、図 4.3 からみて、青森県の特徴は広範な中低温地熱資源の存在にあり、バイナリーサイクル発電や温泉発電に適した地熱資源は膨大であるように見える。

これら 1,085 個の活動度指数データを用いて、黒石市付近の活動度指数マップを作成したものが、図 4.3.2 である。この図においても、すでに述べたように、広範な中低温地熱資源の存在が特徴的である。この図について、注目すべきことがある。それは活動度指数が 25 を超えるような中高温地熱資源の分布域が、自然湧出泉の位置と正確に一致していることである。

4.4 地下水位マップ

前述の青森県地下水台帳として国土庁に報告されている 632 個の地下水データであるが、これには地下水位のデータが記述されている。その地下水位は自然水位と揚湯水位とに分けて記述されている。ここでは自然水位に注目する。地下水位は地中熱利用の熱交換効率

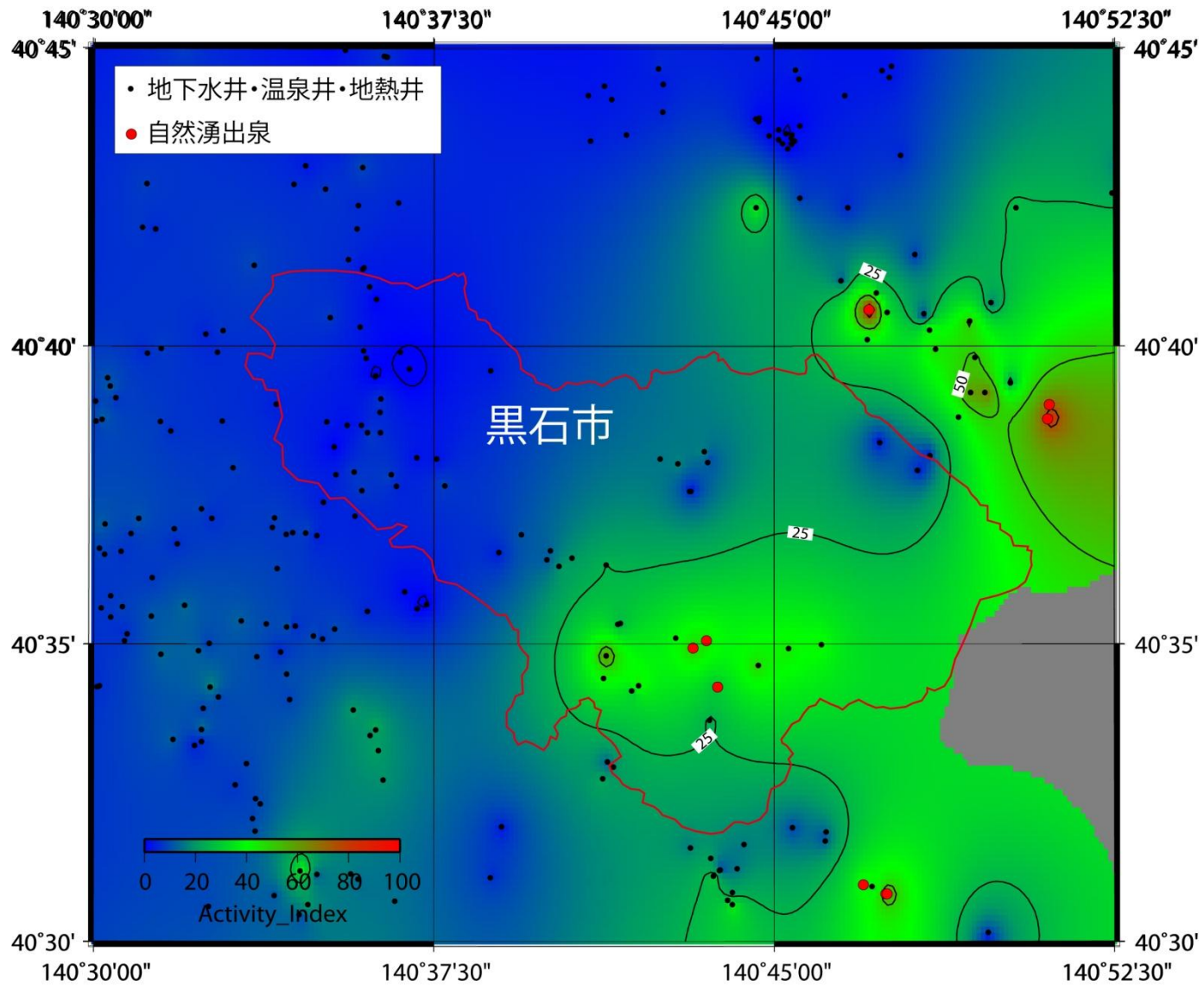


図 4.3.2 黒石市付近の活動度
 指数マップ。作図には 1,085
 個の地下温度データと GMT
 (Wessel and Smith, 1991) を
 使用した。

に大きな影響を与えるからである。すなわち、もし、地下水位が深く、不飽和帯が坑井の浅い部分の多くを占めることになるならば、熱交換には圧倒的に不利となる。そして、より深い坑井掘削を必要とすることになるだろう。他方、地下水位が浅いか、または自噴するような場合には、熱交換に有利となるだろう。この点から、自然水位の分布を把握することはきわめて重要である。図 4.4.1 に、県内 632 個の地下水の自然水位データから作成した黒石市付近の地下水位マップを示す。合わせて、この図には、自噴井の位置も示した。

このように、その結果は特徴的な傾向を示すものであった。すなわち、北八甲田山の西縁を画す下湯撓曲帯に沿って、地下水位が -25m を超えるような地下水位の深い地帯が南北にわたって広く発達していることが判明した。その成因は東北脊梁山脈から流下した地下水が、地層の傾斜帯に沿って、下降流域をつくっているものと考えられる。

4.5 有効熱伝導率マップ

本調査の 20 地点の坑井位置については、すでに図 4.1 に示した。そこで本調査の 20 地点の熱応答試験の有効熱伝導率の結果を図 4.6 に示す。なお、虹の湖公園の坑井は高温過ぎるため、有効熱伝導率のコンター図には用いていない。また、図 4.5.1 の緯度経度の範囲に入る場合には、青森県の地中熱井のデータも用いた。これは具体的には黒石市、田舎館村、平川市、大鱒町の 4 坑井である。これを加えることによって、全体の傾向がより明瞭となった。

一つの傾向として、深度 10m 鋼管杭の方が、深度 50m 井よりも、全般に高い有効熱伝導率を示すこと。その理由として、鋼管自体を通じた垂直方向の熱伝導の可能性などが考えられる。もし、この解釈が正しい場合には、それも現実の熱伝導効果であるため、必ずしも、熱応答試験の結果を否定する材料にはならない。いずれにせよ、そのような手法上の違いがあるとすれば、重要であるため、今後、同一地点で、両者の比較試験を行うなど、さらなる検討が必要である。

なお、黒石市の熱応答試験の 20 坑の大部分は扇状地堆積物の位置に配置されている。そのため、有効熱伝導率は比較的变化の乏しい状況になっている。しかしながら、青森県の 4 坑井を加えたことによって、有効熱伝導率は扇状地の下流側に向かって、また、東北脊梁山脈から津軽平野に向かって、高くなる傾向が明瞭となった。これは下流の扇状地堆積物ほど、淘汰が良好になるため、透水性が増すことや、脊梁のやや古い時代の地層よりも、津軽平野の沖積層の方が、透水性が増すためであろう。

4.6 深度 50m で 100°C に達した N22-KR-8 号井の考察

今回、虹の湖公園に掘削された深度 50m 井は坑底温度が 100°C に達した。よって、これを N22-KR-8 号井と呼んで、地熱調査井に加えたい。その高温の原因は、図 4.6.1 に示すように、沖浦断層の北東延長に接近したものと考えられる。これは今後の地熱発電開発に向けて、貴重な開発のターゲットのデータをもたらしたものだといえよう。

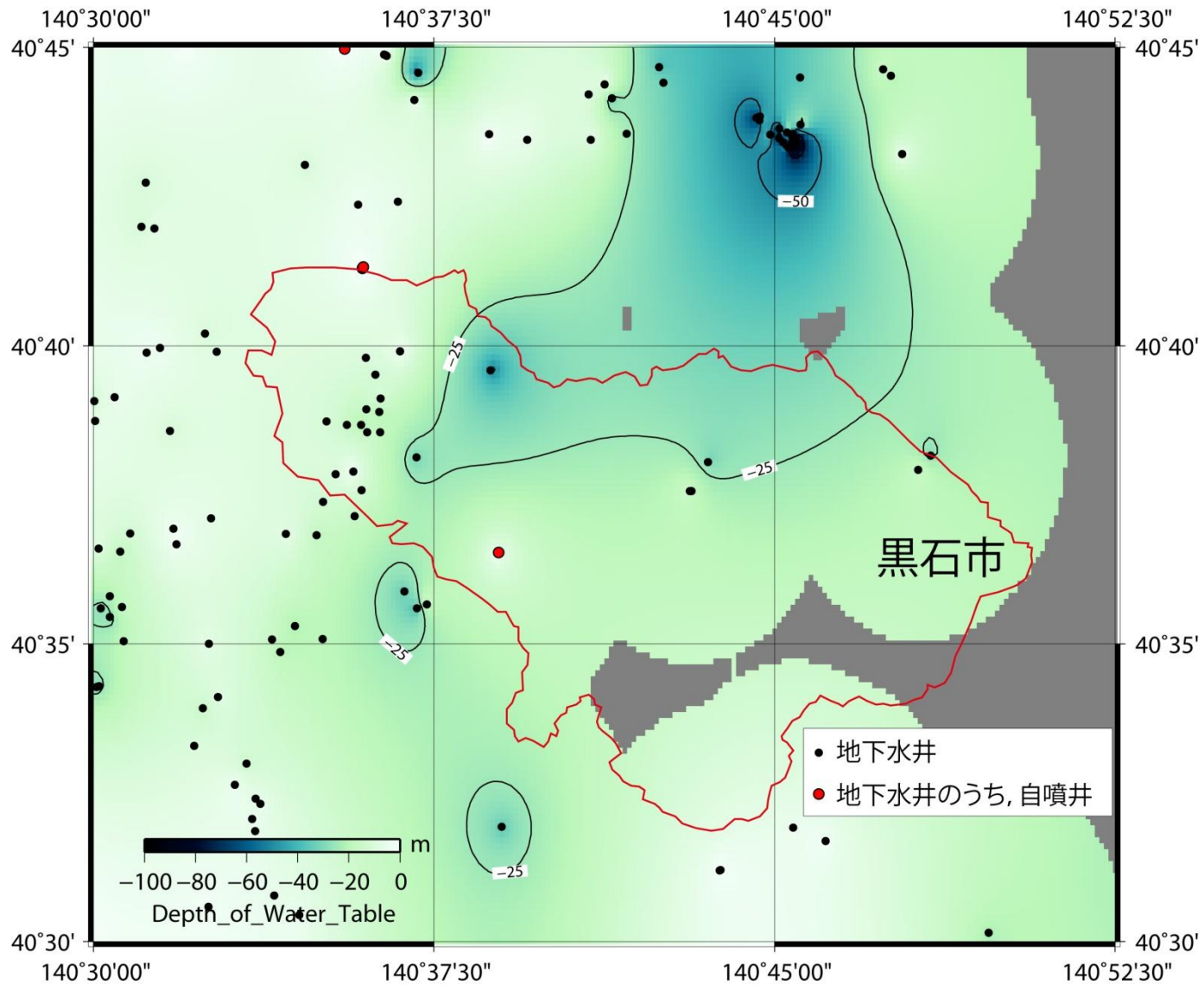


図 4.4.1 黒石市付近の地下水の自然水位マップ。作図には 632 個の地下水データと GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

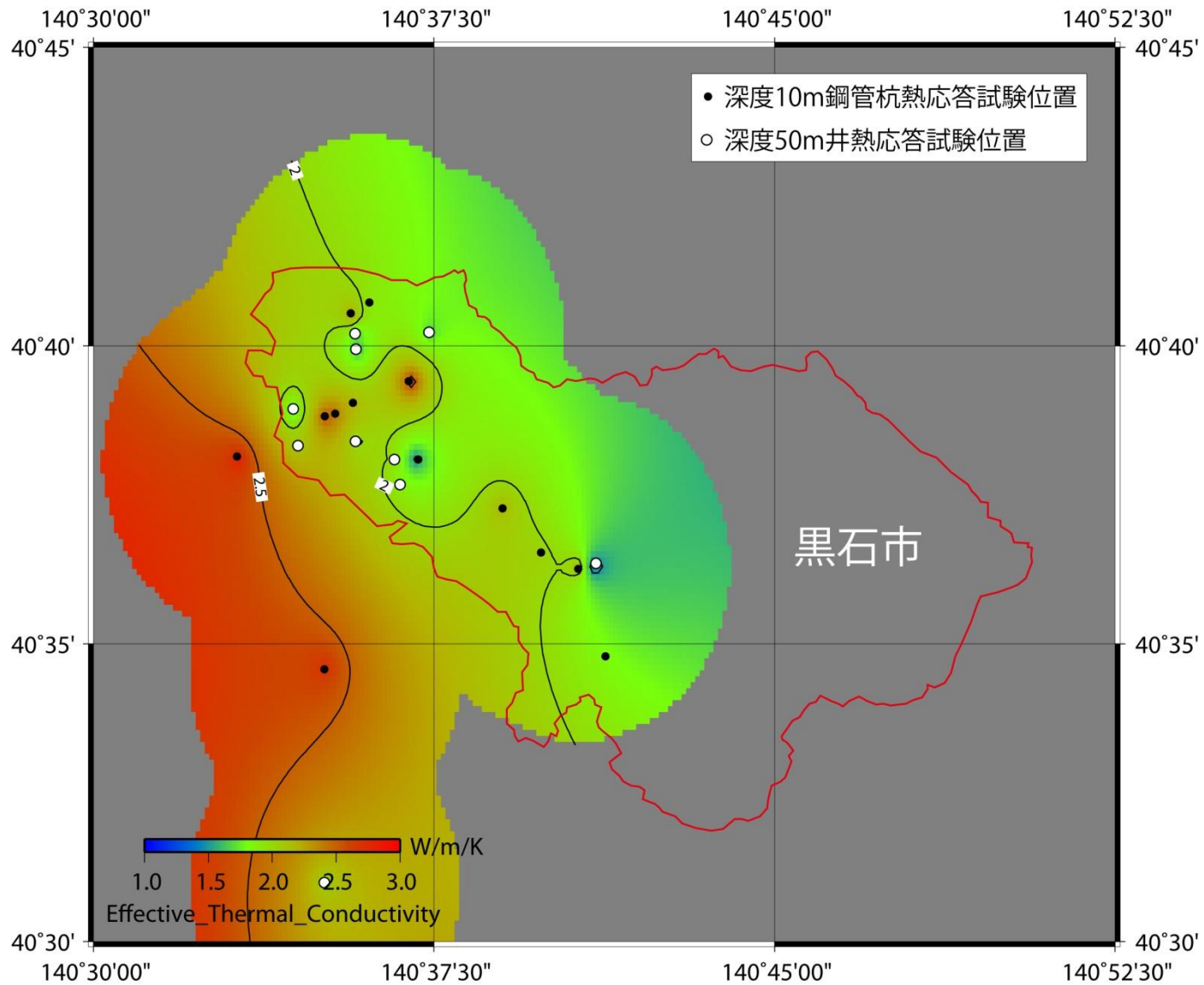


図 4.5.1 本調査の代表的結果である黒石市付近の有効熱伝導率マップ。作図には GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

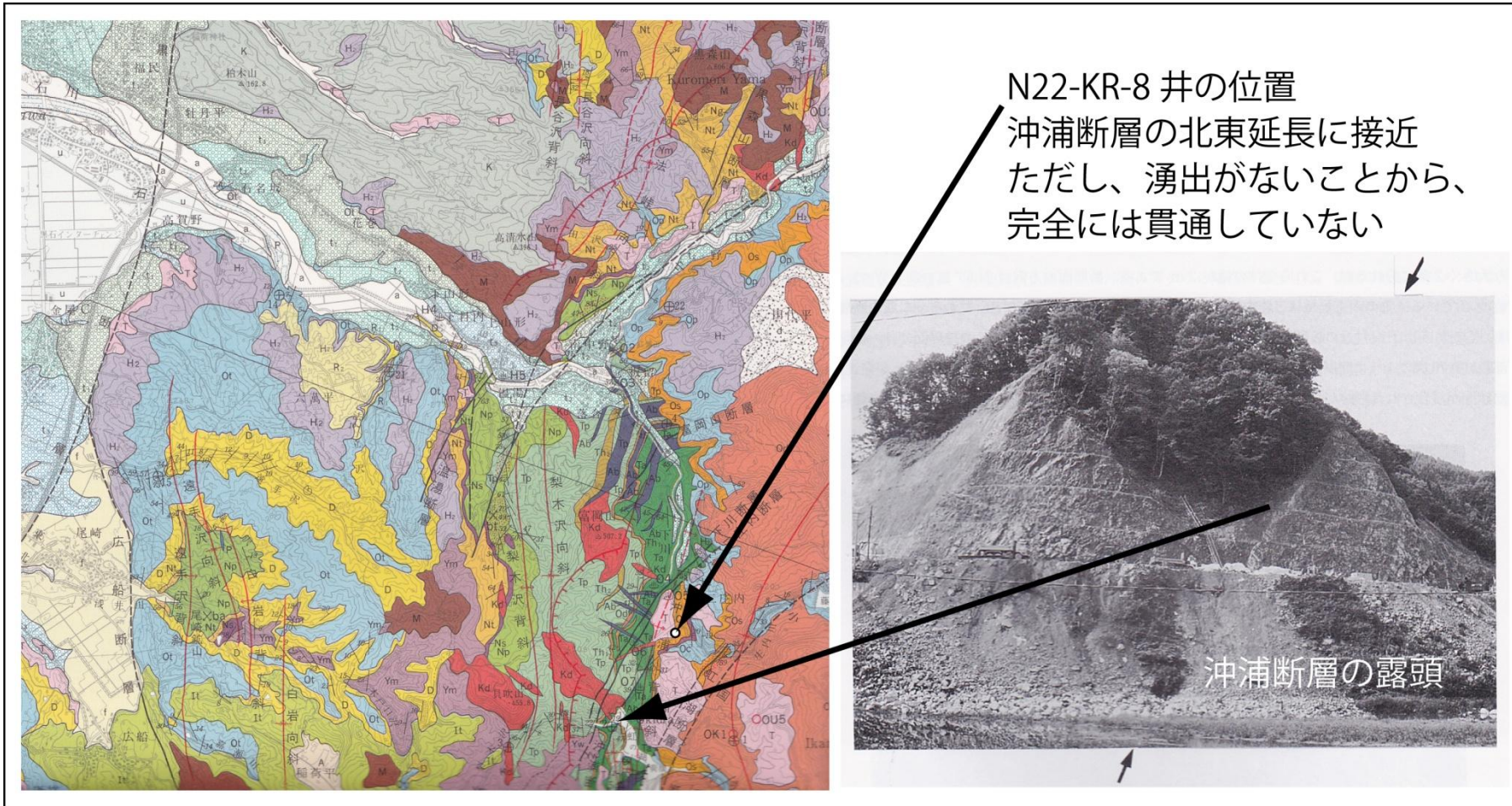


図 4. 6. 1 N22-KR-8 号井が 100°C に達した理由 (地質図および写真は、村岡・長谷、1990 による)

4.7 地熱ポテンシャルマップのまとめ

青森県の 1,085 個の自然湧出温度や地下温度データを収集し、黒石市付近の活動度指数を検討した。その結果、自然湧出泉はまだ活動度指数 80 以上の可能性を示唆しているものの、地熱調査井は 70 を超えるものがないことが判明した。これは青森県の地熱資源の特徴が、高温地熱資源よりもむしろ、バイナリーサイクル発電や温泉発電等の中低温地熱資源にあることを示している。また、地下水データを収集し、地下水の自然水位を検討した。その結果、北八甲田山の西縁を画す下湯撓曲帯に沿って、地下水位が -25m を超えるような地下水位の深い地帯が南北にわたって広く発達していることが判明した。これはこの地域で地中熱利用を進める際に十分に考慮すべき制約要因である。本調査において実施した 20 地点の熱応答試験の結果を有効熱伝導率マップに表すと、有効熱伝導率が扇状地の下流側に向かって、また、東北脊梁山脈から津軽平野に向かって、明瞭に上昇している。これは今後の地中熱開発に 1 つの指針を与えている。

虹の湖公園に掘削された深度わずか 50m の N22-KR-8 号井は坑底温度が 97°C に達した。もし、時間の制約がなく、温度回復にもっと時間を掛ければ、おそらく、100°C 近い温度に達すると思われる。これは今後の地熱発電開発に向けて、貴重な開発ターゲットを提供するものである。

黒石市の西側には、地中熱利用に適した扇状地や沖積平野が広がっている。黒石市の東側には沖浦カルデラの地熱地帯が広がっている。よって、黒石市は青森県内でも屈指の地熱資源に恵まれた市町村であるといえよう。

引用文献

- 青森県環境保健部自然保護課 (1997) : 青森県温泉地質誌. 青森県, 535p.
- 林 正雄 (1982) : 深部高温地熱貯留層のターゲット. 日本地熱学会誌, 4, 81-90.
- 村岡洋文・高倉伸一 (1988) : 「10 万分の 1 八甲田地熱地域地質図説明書」. 特殊地質図 (21-4), 地質調査所, 27 p.
- 村岡洋文・長谷紘和 (1990) : 黒石地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 124p.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991): Free software helps map and display data. EOS Trans. AGU, 72, 441.

第5章 黒石市地中熱利用実証試験

5.1 実証試験概要

5.1.1 ヒートポンプレス地中熱直接利用融雪

地中熱利用のひとつとして、融雪への利用が挙げられる。しかし今までの地中熱利用融雪ではランニングコストは安い（電気ヒーターの十分の一）が、

1. 最低 60 万円はかかるヒートポンプを使う。
2. 熱交換井戸の掘削にはキャタピラー付き重機によるドリル掘削方式を使い、個人住宅対応の小面積での掘削では、掘削費より重機輸送の方が高くつく。

ため設置コストが高く、普及が困難であった。弘前大学北日本新エネルギー研究所ではこの2点を克服する

1. 地下の帯水層利用によるヒートポンプを使わない融雪方式
2. ボーリングマシンを使わないで済む 10m 深の鋼管杭埋め込み方式

の採用により、駐車場 1 台分 10 m²に面積融雪システム設置代、185 万円から 80 万円へ下げることになった。

またこの方式では

- ◆ 工事ではパワーシャベル面積のみで済むので場所をとらない
- ◆ ボーリングに比べて騒音がない。
- ◆ 狭い路地でも工事車両が入れる。

など一般家庭での工事にも大きなメリットがあることも分かった。

この結果歩道融雪など公共施設における融雪だけでなく、個人住宅での駐車場融雪においても本格的普及が期待され、地域における新しい産業創設が期待される。

しかしこの新方式においては、井戸の深さが 10m と浅いため、採熱効率を高めることが今後の普及にとって重要である。この採熱効率を高めるための実証試験を行った。

5.1.2 コンバートヒートポンプによる高効率地中熱利用冷暖房野菜栽培

ヒートポンプは CO₂ を排出することがなく、消費電力は必要な熱エネルギーよりも少なくて済み、地球温暖化対策として今後の発展が見込まれる。一般に普及しているエアコンは、空気を熱源としたヒートポンプであるが、寒冷地では熱交換効率(COP)が悪く、またマイナスの温度になるとデフロスト(霜取り)の発生で極端に効率が落ちてしまう。一方地中の温度は年間を通じて 13℃程度の一定温度であり、冷暖房で保持する温度 20℃との差は夏冬ともに外気温より小さく、冷暖房での効率はアップする。したがって寒冷地においては地中熱利用のヒートポンプが極めて有効であると言える。しかしヒートポンプそのものの価格が最低でも 60 万円と高い上、地中熱利用のための熱交換井掘削の費用が 75 万円以上と高く付き、一般家庭や農家での普及は望めない状況である。

そこで安価で市販されている汎用のヒートポンプをベースにして、一般家庭・農家に普及可能な低価格で且つ高効率の地中熱利用ヒートポンプを弘前大学新エネルギー研究所で開発している。このヒートポンプシステムは農業だけでなく、住宅の暖房、融雪にも有

効で新たな産業を創出することが期待される。そこで住宅利用、農業利用などの利用目的に応じて、ヒートポンプの利用効率を高める利用方式とそのシステムの確立を目的として、試作機開発とその試作機を使っての実証試験を行った

5.2 地中熱ロードヒーティング試験結果

5.2.1 ヒートポンプレス地中熱利用駐車場実証試験概要

- ◆ 試験テーマ：駐車場融雪
- ◆ 場所：スポカルイン黒石駐車場 黒石市ぐみの木三丁目 65 番地
- ◆ 時期：2011 年 2 月 14 日～21 日
- ◆ 試験融雪システム：
採熱管 138 φ 10m 長鋼管杭 1 本
190 φ 10m 長鋼管杭 1 本
融雪パイプ配管 5 m²分× 2



図5.2.1.1 実証実験

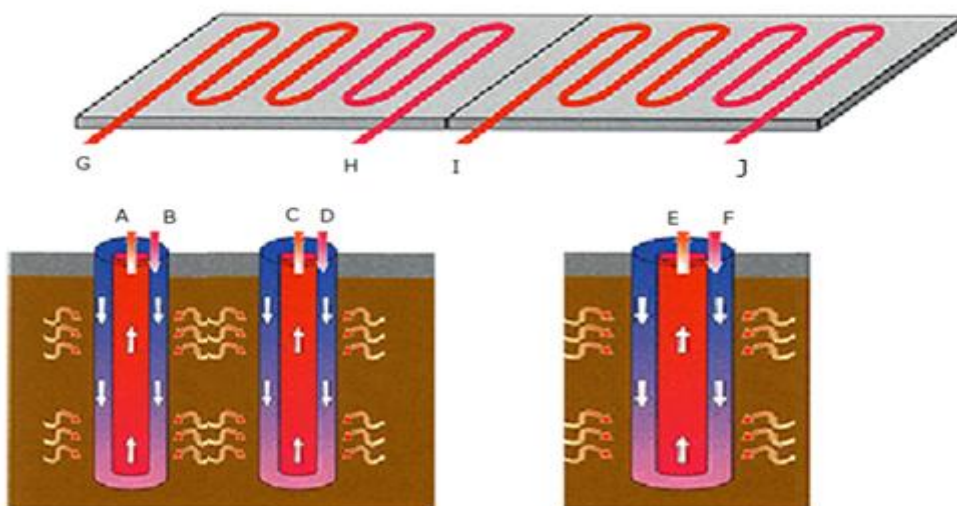


図 5.2.1.2 試験融雪システム

- ◆ 実証試験項目：図 5.2.1.2 において
鋼管太さによる違い、循環方向による違い、直列・並列接続の違いの実験を行った。

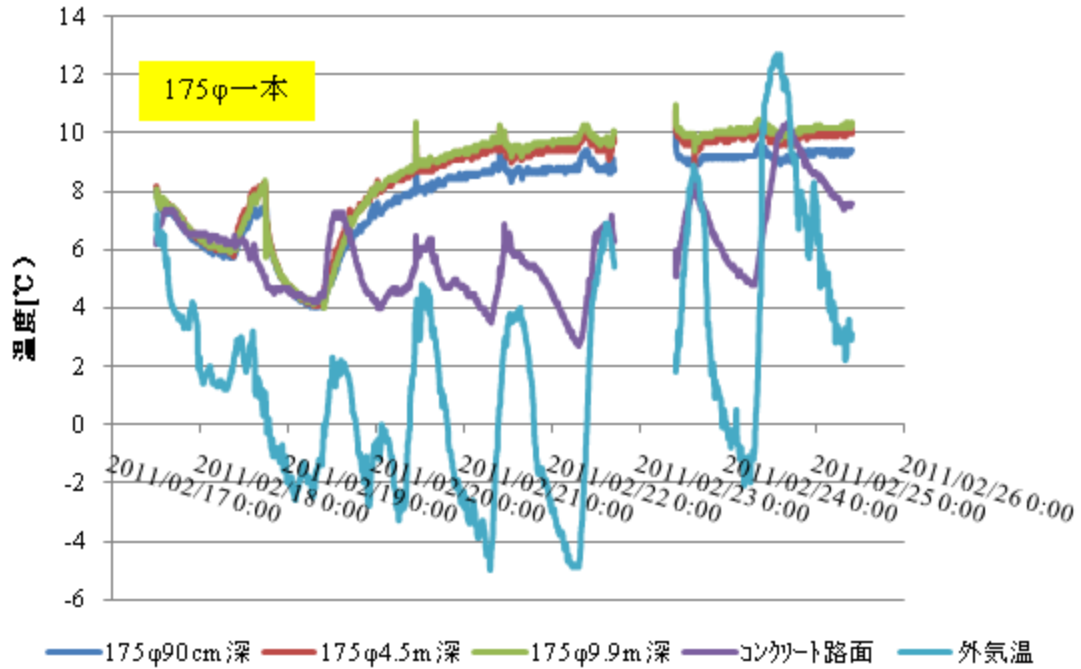


図 5.2.1.3 175φ1本についての実験結果

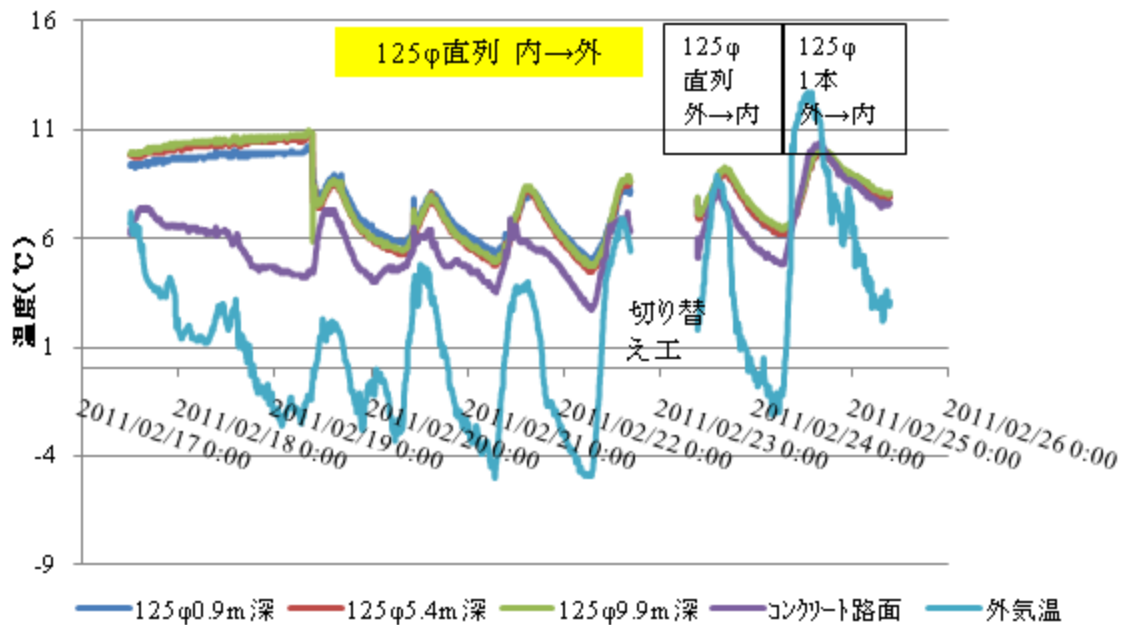


図 5.2.1.3 125φ直列についての実験結果

今回の実験では、鋼管太さによる違い、循環方向による違い、直列・並列接続の違いに

ついて行ったが、いずれも大きな差は見られなかった。この点については鋼管の熱伝導が大きく、地上付近の断熱性能による影響と考えられる。今後鋼管場合には縦方向の熱移動を考慮して断熱性を高めることがきわめて重要であることが分かった。

5.3 コンバートヒートポンプ概要

5.3.1 温冷風用コンバートヒートポンプ概要

市販の空気熱交換エアコン（三菱ルームエアコン MSZ 226B×2）を購入しての、室外機部分の改造

改造はまず室外機部分について図 5.3.1.1 に示すように、

1. フロン（代替フロン R22）の回収
2. 空冷のラジエータユニット部とコンプレッサー・膨張弁部の分離
3. ラジエータユニット部とコンプレッサー・膨張弁部を長い銅パイプで接続

により試作機を作成した。コンバートヒートポンプの開発及び試作機製作は県内企業であるビットテック KK の協力によって9月8日に行われた。



図 5.3.1.1

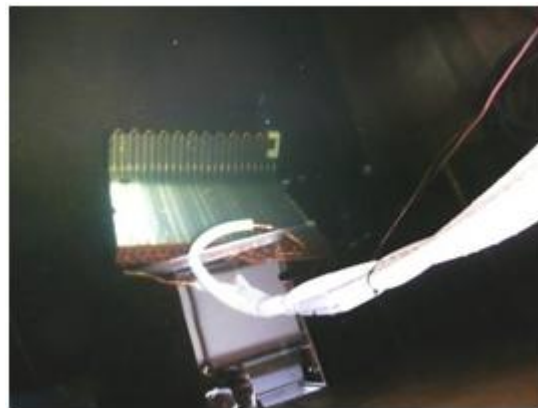


図 5.3.1.2

図 5.3.1.1 はレイラジエータユニット部分を取り去ったヒートポンプコンプレッサー、膨張弁及びコントロールユニット、図 5.3.1.2 はラジエータ部分を水槽に浸した写真

5.3.2 温冷水用コンバートヒートポンプ概要

5.3.1 章では市販のエアコンの室外機部分を地中熱利用にするための改造を行い、地中熱を利用して温冷風作るヒートポンプを作製したが、さらに地中熱利用に加えて温冷水を作り出すヒートポンプを作製した。原理としては温冷風を吹き出す室内機部分を水槽につけて、温冷水を作り出すものである。なお、5.3.1 章での室外機改造では、フロンを回収したが、回収には手間代がかかるし、回収したフロンの破棄は環境保全からいっても好ましいことではないので、この改造では、フロンを回収しないで済むような方式を開発し、製作した。



図 5.3.2.1 試作機



図 5.3.2.2 試作機

図 5.3.2.1 と図 5.3.2.2 は、地中熱利用により温冷水を作り出すヒートポンプ試作機。図 5.3.2.1 は、地中熱交換井戸から循環水を出し入れするタンクで中にエアコン室外機ラジエーター部分が入っている。図 5.3.2.2 は温水を作り出すタンクである。

5.4 コンバートヒートポンプ性能

5.4.1 温冷風用改造エアコン性能実験

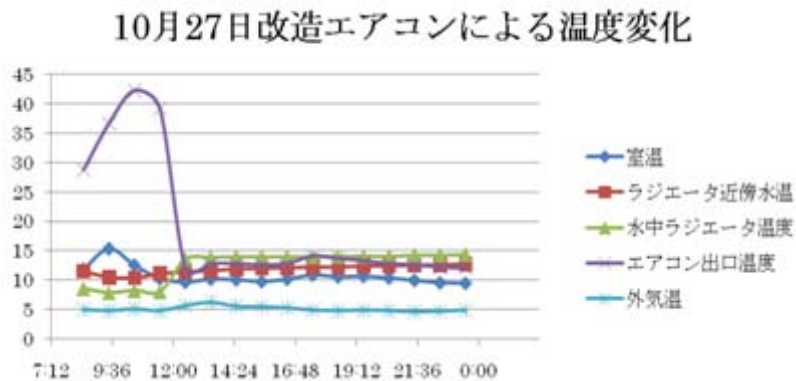


図 5.4.1.1 10月27日改造エアコンによる温度変化

改造エアコン実験を9月27日から、南條宅ガレージの融雪用水槽に銅配管巻を入れラジエータ部をそのまま、水槽底の部分に銅配管を接続して設置、水冷実験をスタート行う。実験の結果、図 5.4.1.1 に示すように、水中ラジエータ 6°C の温度差でエアコン出口 30°C の温度差確保可能されていることが確かめられ、冷房、暖房ともに問題なく動作することを確認した。

5.4.2 水冷式コンバートヒートポンプと空冷エアコンの比較実験

エアコン(ヒートポンプ)の性能は COP で示される。しかし、COP の測定は大掛かりな装置が必要であり、また運転条件で大きく変わる。そこで同じエアコン 2 つを使い、一つは改造した水熱交換と、もう一つは改造しない空気熱交換エアコンを使い、同じ室内(ガレージ)において交互運転で12月16日～12月31日に直接比較を行った。最初の実験では室内が大きく負荷が大きすぎ、空気熱交換方式では条件を変えてもフル運転で消費電力は変わらないので、12月16日より室内を隔離し 9.9 m³ と狭い空間の中での実験を行った。結果は以下に示す。

空気熱交換

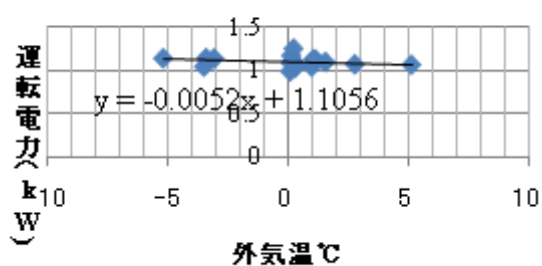


図 5.4.2.1 空気熱交換

水熱交換

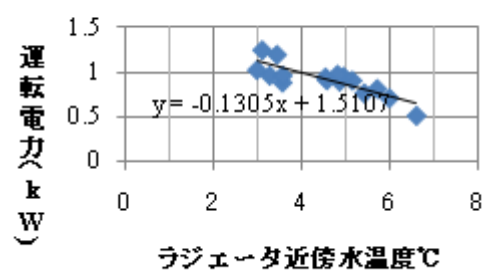


図 5.4.2.2 水熱交換

空気熱交換では暖房体積を縮小したのにまだ能力不足か、外気温及びデフロストに関係なくエアコンの最大消費電力(1.07KW 仕様書)で推移しているのに対して、水熱交換では水槽に雪を投入して水温を変化させたのに対応して運転電力の変化が見られた。実験水槽では融雪と兼用しているので、融雪用に雪を投入したことにより水温変化による性能を調べることができた。この結果水温 6-7℃では 30%から 50%くらいの電力節約できることが示されている。

5.4.3 温冷水用コンバートヒートポンプの性能

この性能については次の 5. 5 章を参照。

5.5 地中熱利用温室栽培試験結果

5.5.1 実験概要イチゴ栽培ハウスでのコンバートヒートポンプによる地中熱利用暖房栽培 実験概要



図 5.5.1.1 栽培実験

◆ 場所：青森県黒石市大字黒石字砂森 78-1

黒石いちご研究会 会長 村元 清光 所有イチゴハウス(面積 100 坪)

で、5.3.2 章で示した温冷水用コンバートヒートポンプを図 5.5.1.1 に示すイチゴ栽培用の培地の中に埋め込んである水循環装置のパイプに接続して行った。図 5.5.1.2 の右側のイチゴ栽培用ベンチから温水を送り出し、左のベンチから出てくる冷えた水を温水タンクに戻し方式で実験を行った。水がベンチを通過する距離は 85m である。

ヒートポンプの地中熱交換タンクは、ハウス屋外に設置した、125mmφの 10m 深さの鋼管 2 本を並列につないで循環水を地中熱交換タンクに接続して、熱交換を行った。また送り水温の温度は 25℃設定で実験を行った。実験の概念図を、図 5.5.1.2 に示す。

苗床温水循環

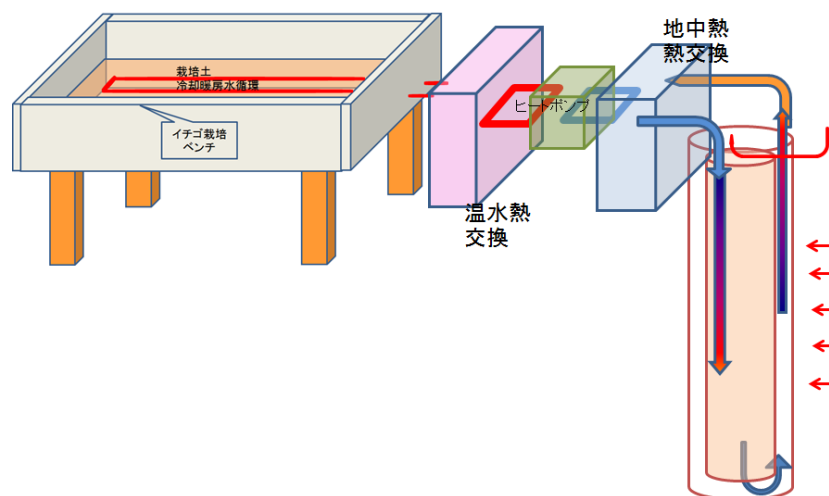


図 5.5.1.2 実験概念図

5.5.2 実験結果

ハウス栽培実験は、ビニール温室内の環境によって大きく左右される。図 5.5.2.1 にハウス室内の温度変化と日照時間、外気温変化を示した。

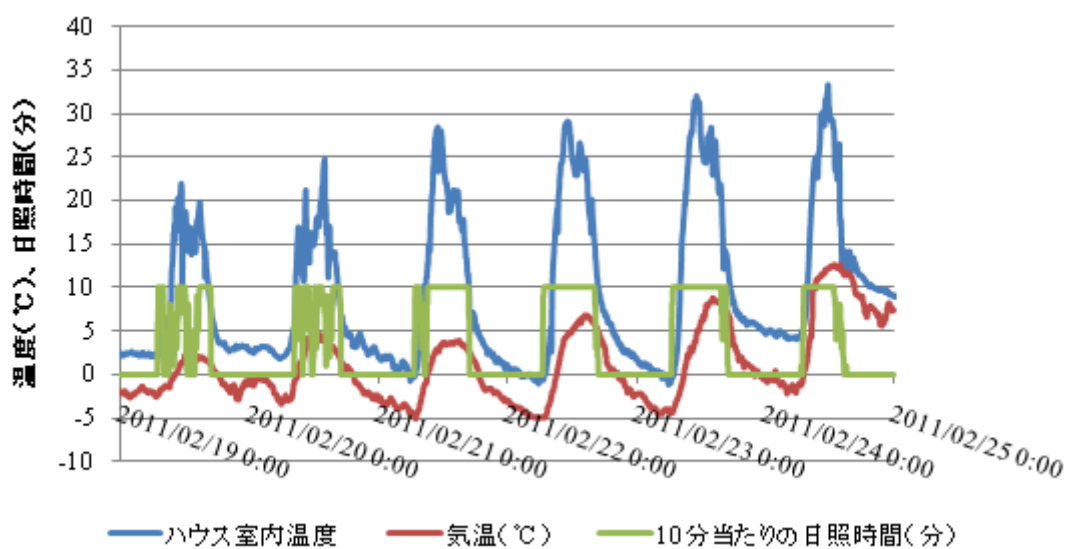


図 5.5.2.1 ハウス室内温度・外気温・日照時間

図 5.5.2.1 からハウス室内の温度は外気温より日照時間によって大きく変わり、外気温が 5°C の程度でも 30°C 近くになることが分かる。図 5.2.2.2 に培地循環水温と培地の地温変化を示した。

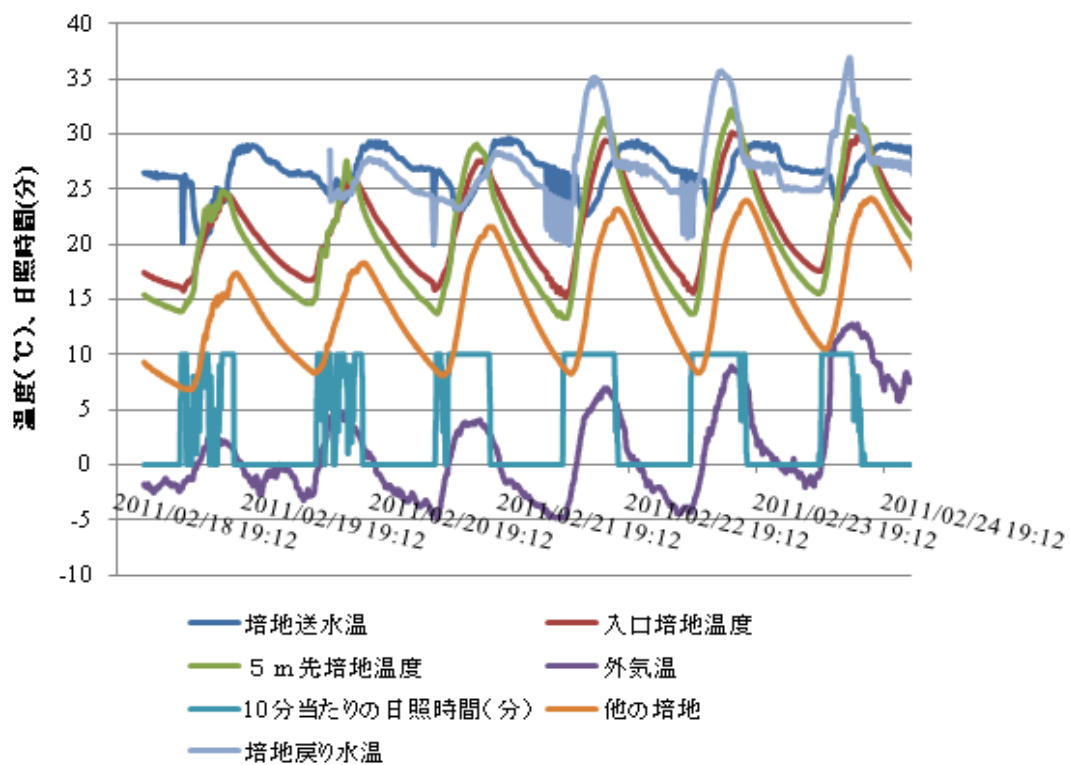


図 5.5.2.2 栽培循環水温・培地の地温

図 5.5.2.2 から、送り水温と戻り水温（19 日以前は無測定）の差は、夜間では-5°Cの外気温でも、85m 通過によって 4°C 程度の低下で済んでいることが分かる。一方昼間の日照の強いときには、戻り水温が送り温度より高くなっている。これは日射によって培地が暖められていることによるものと考えられる。また温水送らない培地では夜間 10°C 以下になるが、温水循環では 15°C 程度で抑えられていることが示されている。図中の送り水温の上下動については次に述べる

図 5.5.2.3 に地熱交換用タンクへのフロン送り温度と戻り温度、及び地熱交換井戸内の温度変化を示す。熱交換井戸は 2/21 17:23 までは 2 本の井戸の並列で、それ以降は 1 本のみ使用に切り替えた。図中地熱交換用タンクへのフロン送り温度と戻り温度の激しい上下動は、1 本井戸の場合の外気温が低い時に起きていることから、タンク内でデフロスト(霜取り)が働いていることによるものと考えられる。

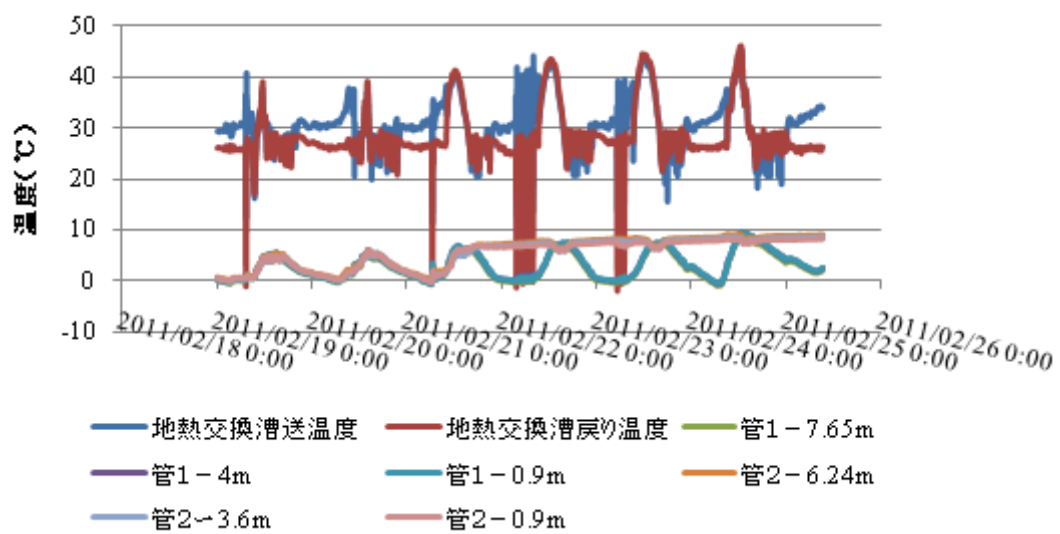


図 5.5.2.3 フロン送り温度と戻り温度 地熱交換井戸内の温度

5.6 地中熱利用温室栽培経済性評価

今回のヒートポンプ利用イチゴ栽培の実験においては朝9時前後と午後3時前後の2回積算電力を測定し消費電力の測定を行った。その消費電力量（平均）の結果を図5.6.1.に示した。

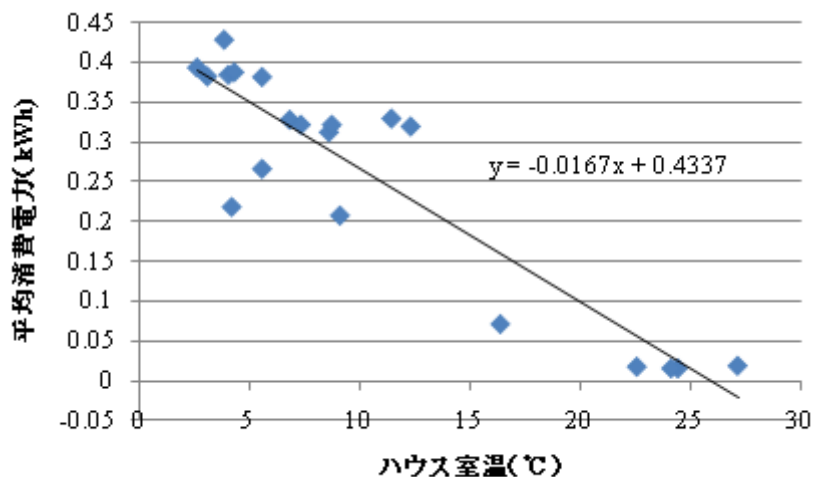


図 5.6.1 平均消費電力

図5.6.1からはハウス室温が15以下ではほとんど電力は使われていないことが分かる。

今回の測定は2月14日から24日までの10日であり、その間の平均1日の消費電力は7.5kWhであった。

一方灯油による暖房では、今回のヒートポンプの実験に対応する培地の暖房では、真冬における20日から25日の間でおよそ40リットルの灯油を使っている。これを単純に比較すると灯油では、40リットル/22.5日*80円=142円。ヒートポンプ電気代は普通料金で、7.5kWh*20円=150円。

今回の実験では、加温は夜間のみで済むので、夜間料金を使えば半分で済むので、75円で済み、現在の灯油価格と比較しても十分採算が取れることが分かった。

地中熱利用のヒートポンプ導入には、今までは、ヒートポンプ自体のコストは本体だけで60万円、井戸掘削で75万円計135万円かかる。しかし今回の実証実験で、地中熱利用のための井戸掘削では20万円程度で済む鋼管杭埋め込み方式が確立され、また今回の開発したコンパクトヒートポンプは40万円程度で売り出すことが可能であるので、今までのインシヤルコストを半分以下に抑えることが見込まれる。

さらに地中熱利用の農業としては、夏秋イチゴの栽培での冷房を最大の射程に入れている。冷房はヒートポンプによってしかできないので、現在、イチゴの冷房栽培はおこなっていない。南の地方に比べて、北の涼しい地域でのイチゴ栽培を、ヒートポンプを使って行うことができれば地域の産業創生そして農業再生に大いに貢献できる。昨年のような猛

暑では外気温は30℃以上になり今後地球温暖化の影響で猛暑は増加することが予想される。空気熱交換のヒートポンプでは電力料金がかかりすぎるが、13℃の地中熱利用では電気量は大幅に少なくできることが可能である。

またはイチゴ栽培ではイチゴの一部だけを冷やせば、ハウス全体を冷やす必要はないとされているので、冷却の仕方によってはコストを劇的に減らすことも可能である。

現在この方向に向けて、ヒートポンプを改造でなく、地元企業で製作する方向で弘前大学のファンドに新鋭するなど体制を整えている。またイチゴ栽培に向けての野菜研究所と農家、NPOなどを加えた研究会を立ち上げることになっている。

第6章 地熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会

6.1 ポテンシャル検討委員会構成・日程

表 6.1. 1 「地中熱利用ポテンシャル検討委員会」委員名簿

	氏名	所属
委員長	南條 宏肇	北日本新エネルギー研究所*1 弘星テクノ株式会社ヒートポンプレス融雪装置研究所
委員	坂本 和記	大泉開発株式会社
委員	唐澤 英年	地方独立行政法人青森県産業技術センター
委員	小川 清四郎	弘星テクノ株式会社
委員	原 和彦	弘星テクノ株式会社ヒートポンプレス融雪装置研究所
委員	佐藤 秀明	弘星テクノ株式会社ヒートポンプレス融雪装置研究所
委員	鈴木 志功	津軽みらい農業協同組合 営農経済本部営農部長
委員	村元 清光	津軽みらい農業協同組合 黒石いちご研究会会長
委員	小野 均	株式会社タケナカ 代表取締役社長
委員	村上 靖	黒石市 企画課
委員	村岡 洋文	北日本新エネルギー研究所*1 弘星テクノ株式会社ヒートポンプレス融雪装置研究所
委員	井岡 聖一郎*2	北日本新エネルギー研究所*1
委員	中岡 章	北日本新エネルギー研究所*1

*1：「北日本新エネルギー研究センター」から「北日本新エネルギー研究所」と名称変更
(2010/10/1～)

*2：第2回より委員就任

第1回「黒石市地中熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会」

1. 開催日：2010年9月21日 10:00-11:30
2. 会場：黒石市役所 3階 庁議室
3. 議事：
 - (1) 委員会について審議
 - (ア)委員会設置要項(案)の審議
 - (イ)委員長選出
 - (ウ)その他
 - (2) 実施内容について審議
 - (ア)受託調査内容の概要について
 - (イ)サーマルレスポンス調査箇所(20地点案)の提案および承認について
 - (ウ)実証試験箇所(2地点案)の提案および承認について
 - (エ)今後のスケジュールについて
 - (オ)その他

(3) 今後の展開について

(4) その他

1. 出席委員：

坂本（大泉開発株式会社）、唐澤（地方独立行政法人青森県産業技術センター）、小川（弘星テクノ株式会社）、原（弘星テクノ株式会社）、佐藤（弘星テクノ株式会社）、鈴木（津軽みらい農業協同組合）、村元（津軽みらい農業協同組合）、小野（株式会社タケナカ）、村上（黒石市）、南條（北日本新エネルギー研究所）

第2回「黒石市地中熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会」

（青森県「地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業」第2回検討委員会と合同開催）

(1) 開催日：2010年12月10日 13:30-16:30

(2) 会場：北日本新エネルギー研究所 2階 会議室

(3) 議事：

(1) 県および市からの報告

(2) 青森県受託、黒石市受託 両者に関連する事項

(ア) 試験実施概要

(イ) 今後のスケジュール

(ウ) 質疑

(3) 黒石市受託に関する事項

(ア) 各地点の特徴並びにデータ報告

(イ) 実証試験2地点の計画紹介（審議事項）

(ウ) 質疑

(4) 青森県受託に関する事項

(ア) 各地点の特徴並びにデータ報告

(イ) 実証試験2地点の計画紹介（審議事項）

(ウ) 質疑

(4) 出席委員：

坂本（大泉開発株式会社）、西澤（NPO青森県太陽光熱利用研究会）、原（芝管工株式会社）、三上（NPOグリーンエネルギー青森）、太田（青森県エネルギー総合対策局）、南條・村岡・井岡・中岡（北日本新エネルギー研究所）

(5) 当日の様子





第3回「黒石市地中熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会」

1. 開催日：2011年2月22日 13:10-14:10
2. 会場：北日本新エネルギー研究所 2階会議室

3. 議事：

- (1) 調査事業現状報告
- (2) 報告書について
- (3) 地熱利用の今後について
- (4) その他

4. 出席委員：

坂本（大泉開発）、唐澤（青森県産業技術センター）、小川（弘星テクノ）、原（弘星テクノ）、村元（津軽みらい農業協同組合）、南條・村岡・井岡・中岡（北日本新エネルギー研究所）

6.2 事業推進体制

① 事業推進代表組織

- ◆ 国立大学法人弘前大学北日本新エネルギー研究所

② 事業推進支援組織

- ◆ 地方独立行政法人青森県産業技術センター
- ◆ 弘星テクノ株式会社
（弘前大学認定ベンチャー会社、ヒートポンプレス融雪装置研究所）
- ◆ 大泉開発株式会社

6.3 地域における今後の地熱利用事業展開方針

低価格地中熱利用ヒートポンプによる農業の6次産業化への展開

ヒートポンプはCO₂を排出することがなく、消費電力は必要な熱エネルギーよりも少なく、地球温暖化対策として今後の発展が見込まれる。一般に普及しているエアコンは、空気を熱源としたヒートポンプであるが、寒冷地では熱交換効率（COP）が悪く、またマイナスの温度になるとデフロスト（霜取り）の発生で極端に効率が落ちてしまう。一方地中の温度は年間を通じて13℃程度の一定温度であり、冷暖房で保持する温度20℃との差は夏冬ともに外気温より小さく、冷暖房での効率はアップする。したがって寒冷地においては地中熱利用のヒートポンプが極めて有効であると言える。しかしヒートポンプそのものの価格が最低でも60万円と高い上、地熱利用のための熱交換井掘削の費用がまた高く付き、一般家庭や農家での普及は望めない状況である。

熱交換井掘削については、国立大学法人弘前大学で10mの鋼管杭埋め込み方式を開発し、30万円ほどの費用でできる方式を確立している。この方式と性能については青森県地中熱調査事業報告書で実証実験を行っている。

ヒートポンプについては、安価で市販されている汎用のヒートポンプをベースにして、一般家庭・農家に普及可能な低価格で且つ高効率の地中熱利用ヒートポンプの開発を国立大学法人弘前大学が青森県地元企業と共同で進めてきており、その試作機によるイチゴ栽培への適用の実証実験を本調査事業で行った。その結果は本報告の5章に述べてあるが、

試作機の段階ですでに灯油代と同じランニングコストで済むことを示し、夜間電力を使えば半額になることを実証した。ランニングコスト面からは、石油値上がり、カーボントレジットの動きなどを考えれば、普及はきわめて有望であるといえる。

ヒートポンプのインシヤルコストについては、既成のエアコン改造により地中熱交換施設を含めて60万円程度で抑えることが可能である。さらに大手による農業用ヒートポンプの低価格化は、販路の限界から見込まれないので、県内企業によるヒートポンプ製作会社設立に向けて動き出している。

欧米では、日本に比べて寒冷な地域が多い為、早くから地中熱に注目し、ボイラー暖房に変えて地中熱ヒートポンプが使用されてきた。スウェーデンでは、1980年代から政府の助成が行われ現在40万台（うち70%が地中熱利用）が稼働している。しかし日本では寒冷地への配慮が遅れており、開発が遅れている。

駐車場、道路融雪ではヒートポンプ使わないでも済むが、冷暖房や屋根雪融雪ではヒートポンプの補助が必要である。また農業への冬の温室栽培、夏の冷涼栽培への応用ではヒートポンプが不可欠である。

ここでインシヤルコストとランニングコストが低く抑えられたヒートポンプは、第一次産業や第2次産業に対して新たな産業の展開が大いに期待される。

6.4 地域における今後の地熱利用事業の問題点

地中熱を初め一般的に再生可能エネルギーは、石油と比べて密度が小さいため、石油と同じ延長線上で地域産業創生を考えることは無理である。たとえばハウス栽培において、今までのようなビニールハウス全体を冷暖房するなどの力任せの方式はいくら地中熱交換を使ったとしても、ランニングコストとしては、限界がある。農業利用では、その栽培する野菜などの対象に見合った利用形態によってランニングコストは大きく変わる。熱を供給する機器だけの技術の問題だけでなく、利用側の問題も考えて行かなければならない。

イチゴの例でいくと、夏秋イチゴの栽培は津軽地方、特に黒石地区での栽培が熱心であるが、本年度のような猛暑においては発育不順になり農業収入に大きく影響を与えた。イチゴは安定した温度を好み、真夏の時期は年中25℃を下回らない場合は特に発育に支障をきたす。その為、夏の暑い時期は北国の栽培が優位になる。しかし、近年の地球温暖化により本県での栽培も影響が出始めている。そのためヒートポンプによるイチゴの冷涼栽培はきわめて有効なものとして位置づけられるが、ハウス全体を冷やすようなことはランニングコストからいって無理であるが、必ずしも全体を冷やす必要はない。イチゴの特性からはイチゴのクラウン部の及び根元の冷却で十分効果を発揮するとされている。したがってヒートポンプの利用を栽培プロセスと連携させて最適な利用方式の確立は飛躍的イチゴ栽培の質と量の増大が期待される。

これら新産業創出においては、単なる技術革新のみならず、図幅広い視点からの、石油の延長線上にとられない発想の転換が必要である。

これら農業生産者、ヒートポンプ製作者、研究者が一体となった開発・普及事業が不可

欠であるが、これらは新しい地域における産業形態を創出し、地域の活性化に繋がる。またこれらのきめ細かい事業は、大手グローバル産業が算入できない領域でもあり、地元企業による産業創出では、地域の雇用の場が大きく生み出されることも期待できる。地域産業創生は、地域企業が参加して初めて実現する。

また今後これらの産業創出を進めていくためには

0. パイロットプラン創出

8, 9名のやる気のある生産者の賛同者による協同体の結成

1. 生産者支援体制

支援ネットワークの結成

設備導入のあり方 暖房機器の購入に対する資金援助

リース、分割払い、低金利融資など

リスク（不作など）マネージメント

販売促進ネットワーク（地域出身者の活用）

地域市民出資によるファンド結成

2. 採算性の追求

需要予測 : 消費者趣向、季節、地域差

生産コスト削減 機器の低価格化、多目的利用化、

3. 生産技術者の育成

第1, 2, 3次産業参加による情報交換、意見交換

講師による研究会

4. 戦略検討

戦略的農産物の選定

のこれらの課題を産官学金が協力して克服していくことが、資金力の弱い本件の企業にとって、きわめて重要であると考えられる。

今回の地中熱調査事業では、青森県内の産官学が主体なって行った。地域産業創出に取っては、外からの支援ではなく、地域が主体となった「地域の、地域による、地域のための」展開がきわめて重要である。その点では今回の「弘前大学北日本新エネルギー研究所」が中心となって事業が展開されたことは、画期的なことであり、きわめて有効な役割が果たせたと考えられる。今回の調査事業はここで終わりとするのではなく、等ポテンシャル検討委員会を発展的に組み替え、上記課題を検討・実施していくことを提案したい。

第7章 まとめ

7.1 本調査の結果を踏まえた地中熱利用の可能性

- ・青森県内では、概ね5m程度の深度で10°C程度の地温があること。
- ・融雪利用であれば、10m程度の地中熱交換井を1-2本掘ることで、ヒートポンプレスで10㎡程度は融雪可能であること。
- ・農業への利用であれば、10mの地中熱交換井3本で一日300円夜間料金であれば150円の電気料（灯油代142円284円）で100坪（330㎡）のイチゴハウス内の培地を15°C以上に保つ暖房が可能であること。

7.2 地中熱利用に向けた課題及び今後の事業展開の方向

県では、県内に豊富に賦存するとされる地熱エネルギーを、住宅・事業所・ハウス農業の暖冷房・給湯、駐車場・歩道の融雪などに活用することで、脱化石燃料を進めるとともに、産業振興・地域振興を図っていくため、平成19年度に「青森県地中熱利用推進ビジョン」を策定した。

平成20年度以降、地中熱利用に係る普及啓発事業や住宅用地中熱利用システム実証導入事業等を実施し、上記ビジョンに盛り込んだ活用事業モデルの具体化に取り組んできたところである。

地中熱利用に当たっては、地中から熱を取り出すための地中熱交換井を掘削する必要があるが、その掘削に係る費用はエアコン等の空気熱利用ヒートポンプシステムと比較すると純増となることから、その初期費用負担が、地中熱利用システム導入を妨げていると言われてきた。

そこで、総務省から緑の分権改革推進事業の委託を受け、平成22年度に地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査を実施することとし、地中熱交換井掘削に当たって、通常のボーリング方式に加え、より簡易なボーリング方式である鋼管ねじ込み方式を実施し、両者の環境性・経済性を検証するとともに、実際に交換井における地中熱をサーマルレスポンステストや光ファイバー温度計により計測することで、地中熱交換井の最適深度、最適本数等を検証することとした。

この調査で得られた知見により、よりその地域の地質に適した工法で、より効率的に地中熱交換井を掘削できるようになることから、地中熱交換井掘削経費の節減を図ることが可能となった。

今後は、以下の取組を進めていくことで、地中熱利用をより一層加速させ、本県の産業振興・地域振興を図っていくことができると考えられる。

1. これまで取り組んできた事業の成果、特に、地中熱利用システムの環境性・経済性・効率性等を県民にわかりやすく情報発信し、地中熱利用システムに係る認知度を向上させていくこと。
2. 住宅、事業所、ハウス農業の暖冷房・給湯や駐車場、歩道の融雪など様々な分野における地中熱利用システムの施工事例を蓄積し、情報発信していくことで、事業者

のスキルアップを図っていくこと。

3. 地中熱交換井以外の地中熱利用システム部分、すなわち地中熱ヒートポンプ部分及び配管部分等についても、本県の最適スペックを検討し、初期費用のさらなる低廉化を図っていくこと。
4. 本県の地質・地熱・気候・風土等を踏まえ、地中熱利用システムを本県向けに最適化し、そのスペック等を提示していくことで、地元ヒートポンプメーカーの創出等新たな産業クラスターの創出を図っていくこと。

7.3 地熱利用による地域産業創出の可能性及び将来展望

地中熱利用に当たっては、地中から熱を取り出す地中熱交換井を掘削するとともに、ヒートポンプ・熱交換器・配管等を設置・敷設する必要があるが、地中熱交換井掘削はボーリング業者が担うこととなり、ヒートポンプ・熱交換器・配管等の設置・敷設は、工務店、管工事業者、各種設備設置業者等が担うこととなるため、地中熱利用の普及拡大は、上記業種に係る産業の振興（産業基盤の強化、事業者のスキルアップ、雇用創出等）が図られることとなる。

また、7.2のとおり、本県には地元の地中熱ヒートポンプメーカーが存在しないが、今後、本県の気候・風土等を踏まえた地中熱ヒートポンプシステムを研究・開発し、その知見を本県産業界にフィードバックしていくことで、新たな産業クラスターを創出できる可能性がある。

特に、現在、国立大学法人弘前大学北日本新エネルギー研究所を中心に、産学が連携し、地中熱利用システムについて研究されているところであるが、その研究対象を一般住宅・工場等における冷暖房利用、農業分野等の産業利用、ロードヒーティング等の融雪利用等に細分化し、広く県内産業界・関連事業者を巻き込むことで、商品化・製品化の視点からより深化させ、青森型地中熱利用システムの最適スペックをその経済性ととも提示することで、本県地中熱関連産業を後押ししていくことができると考えられる。

また、今後は、これまでの取組を踏まえ、地中熱利用システムの環境面・経済面の優位性を県民に広く情報発信し、地中熱利用システムの普及拡大を図ることで、同システムに係る潜在需要を顕在化させ、その市場の拡大を図るとともに、産学連携により新たな本県産業クラスターを創出し、また、産業の裾野を広げ産業基盤を拡大することで本県の産業振興を図り、地域振興を図っていくことが可能であると考えられる。

資料

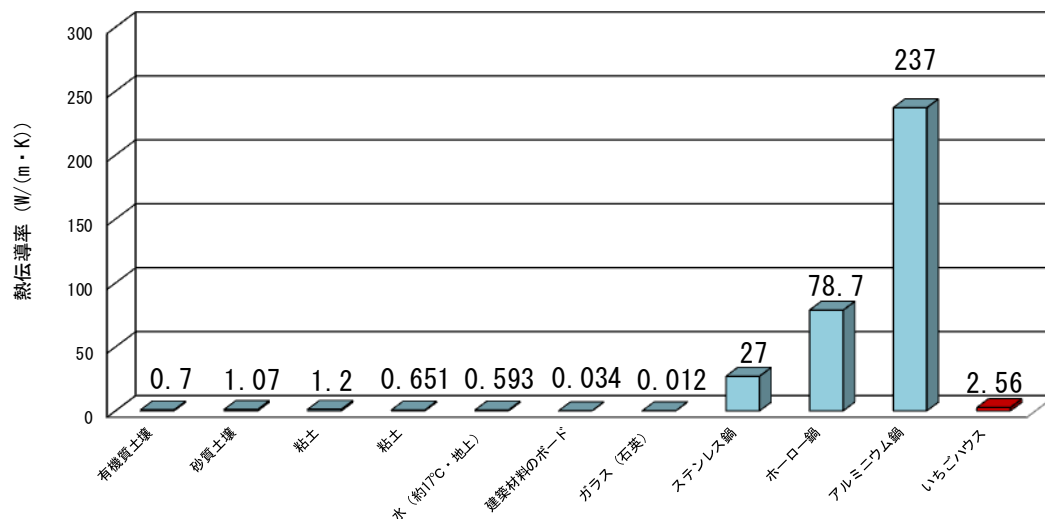
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

1. いちごハウス団地（村本氏借用）（深度 7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

1. いちごハウス団地（村本氏借用）（深度 7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m²（普通乗用車 2 台分と歩行者用通路）に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m²で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 103m 分、成績係数が 3 の場合、深度 91m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 7m	43.8	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	43.8	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	103	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	43.8	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	91	

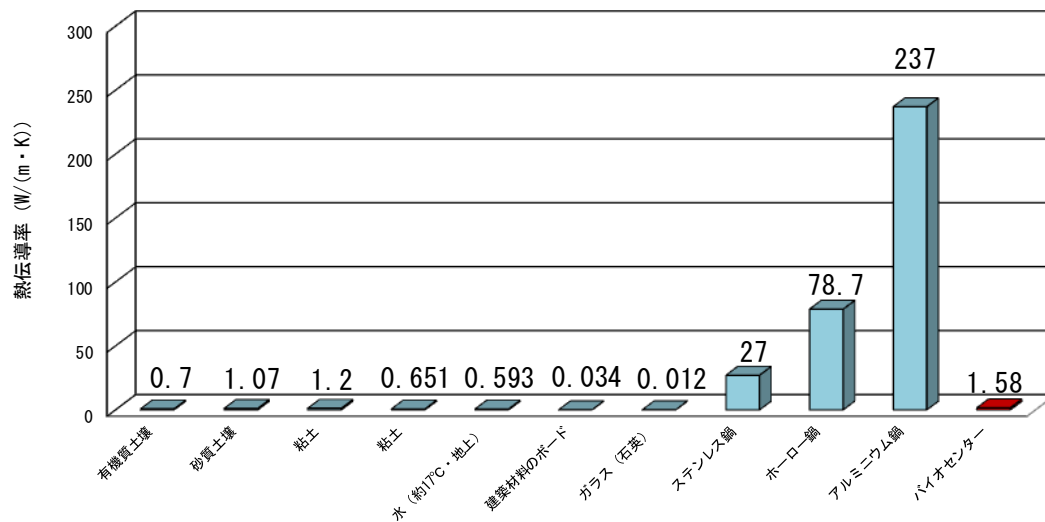
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

2. バイオ技術センター (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

2. バイオ技術センター (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 209m 分、成績係数が 3 の場合、深度 186m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	21.5
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000
熱源機器消費電力 [W]	1500
成績係数: COP	4
融雪面積 [m ²]	39.5
必要地中熱交換量 [W]	4500
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	21.5
必要地中熱交換井有効長さ [m]	209
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85 青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000
熱源機器消費電力 [W]	2000
成績係数: COP	3
融雪面積 [m ²]	39.5
必要地中熱交換量 [W]	4000
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	21.5
必要地中熱交換井有効長さ [m]	186

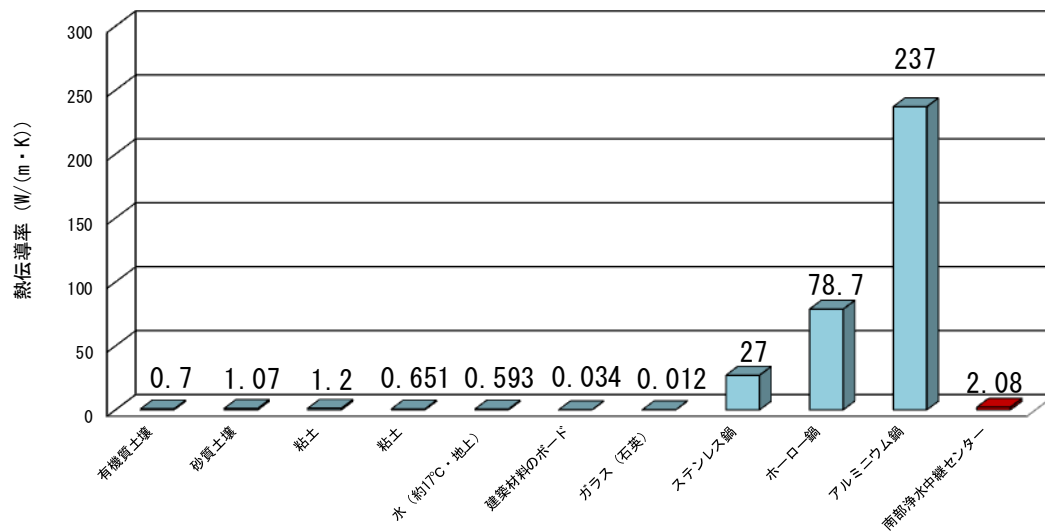
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

3. 南部汚水中継ポンプ場 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

3. 南部汚水中継ポンプ場 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 175m 分、成績係数が 3 の場合、深度 156m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	25.7	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	25.7	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	175	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	25.7	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	156	

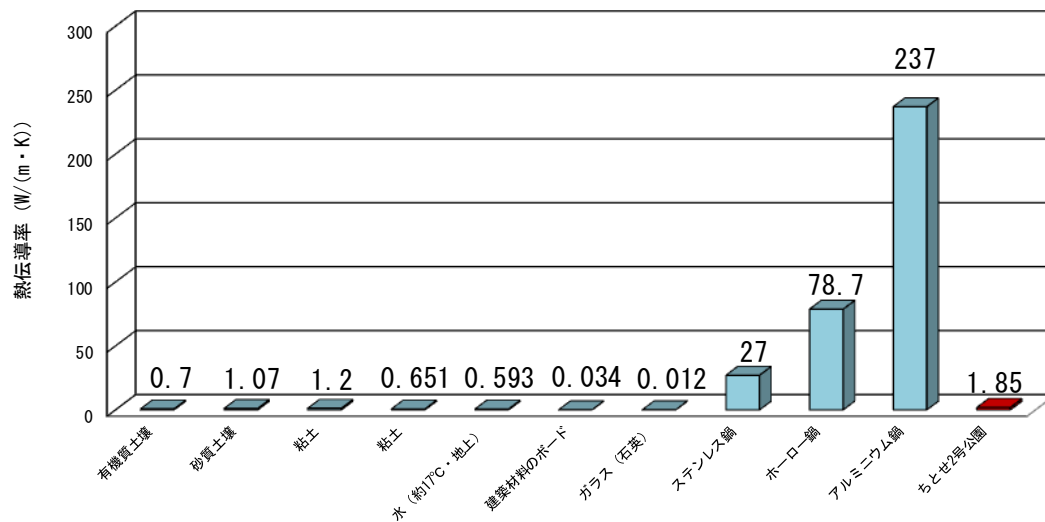
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

4. ちとせ2号公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

4. ちとせ2号公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 188m 分、成績係数が 3 の場合、深度 167m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	23.9	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	23.9	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	188	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	23.9	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	167	

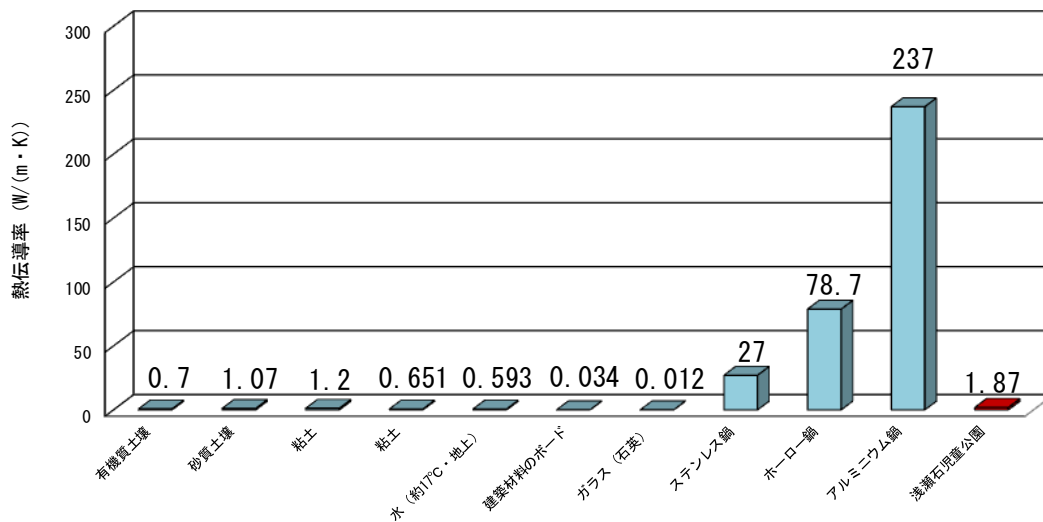
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

5. 浅瀬石公民館（深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施）

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

5. 浅瀬石公民館 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 188m 分、成績係数が 3 の場合、深度 167m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m		24.0
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	24.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	188	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	24.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	167	

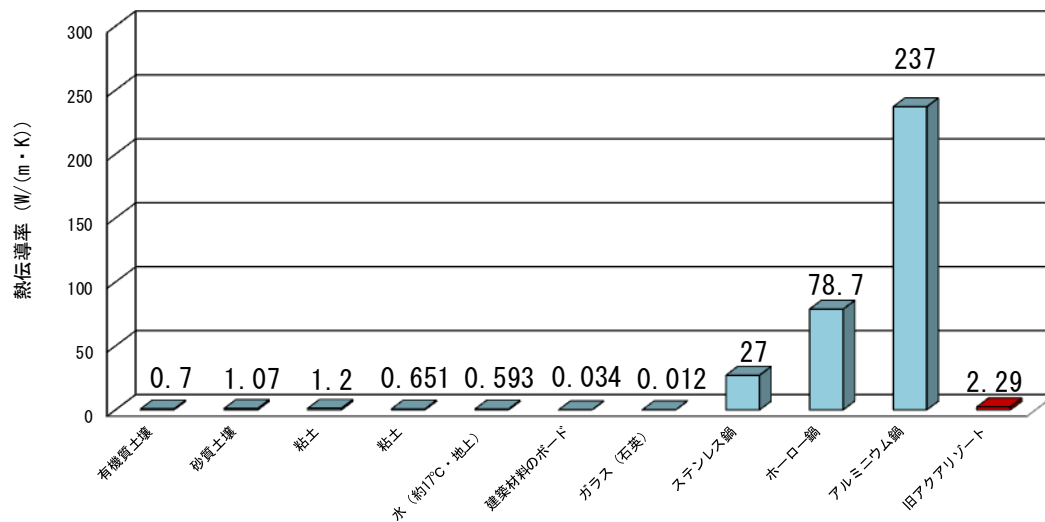
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

6. 旧アクアリゾート開発跡地（深度 9.7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

6. 旧アクアリゾート開発跡地 (深度 9.7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 111m 分、成績係数が 3 の場合、深度 99m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 9.7m	40.5	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	40.5	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	111	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	40.5	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	99	

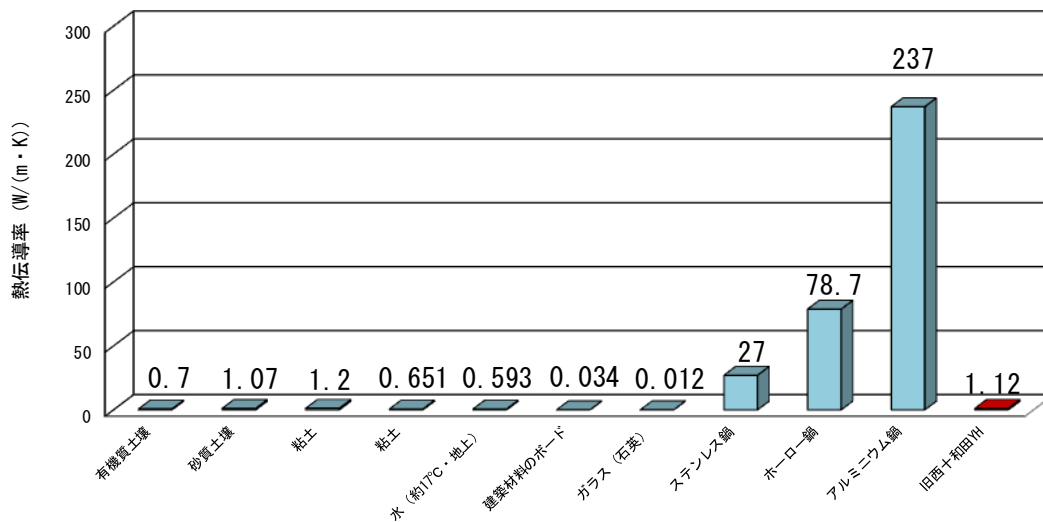
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

7. 旧西十和田ユースホステル（深度 20m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施）

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

7. 旧西十和田ユースホテル (深度 20m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 265m 分、成績係数が 3 の場合、深度 235m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 20m	17.0	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	17.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	265	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	17.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	235	

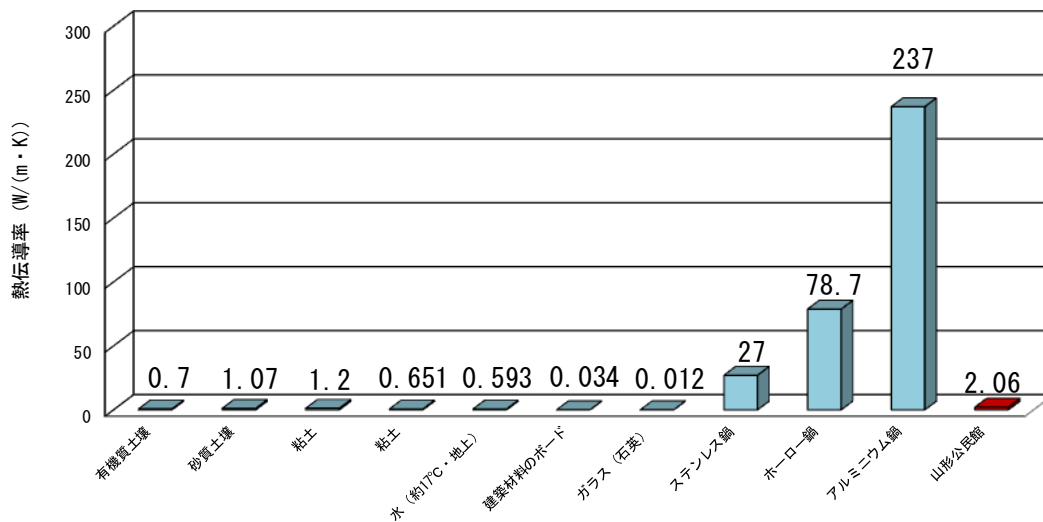
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

9. 山形公民館（深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

9. 山形公民館 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 120m 分、成績係数が 3 の場合、深度 106m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m

37.6

設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	37.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	120	

設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	37.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	106	

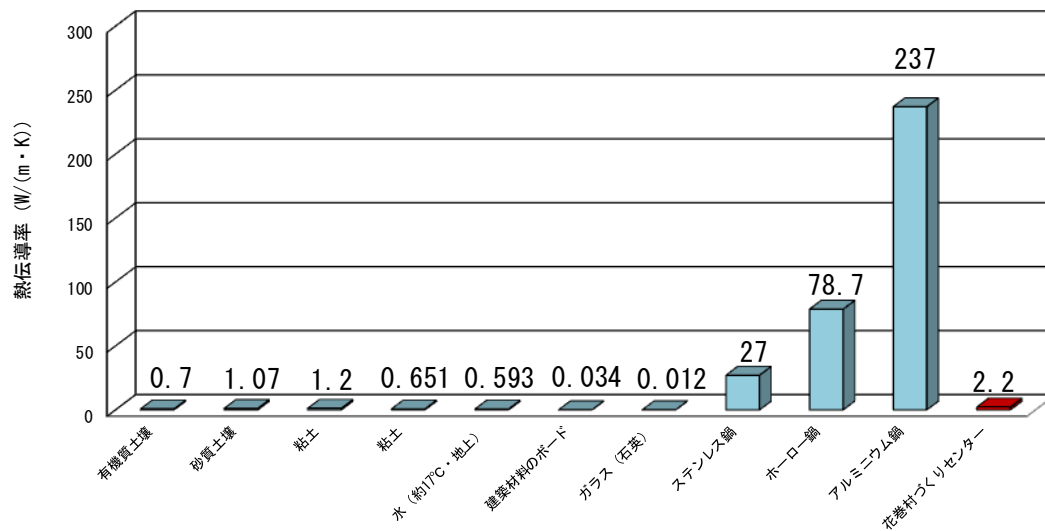
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

10. 花巻村づくりセンター (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

10. 花巻村づくりセンター（深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m²（普通乗用車 2 台分と歩行者用通路）に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m²で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 114m 分、成績係数が 3 の場合、深度 102m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m	39.4	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	39.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	114	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	39.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	102	

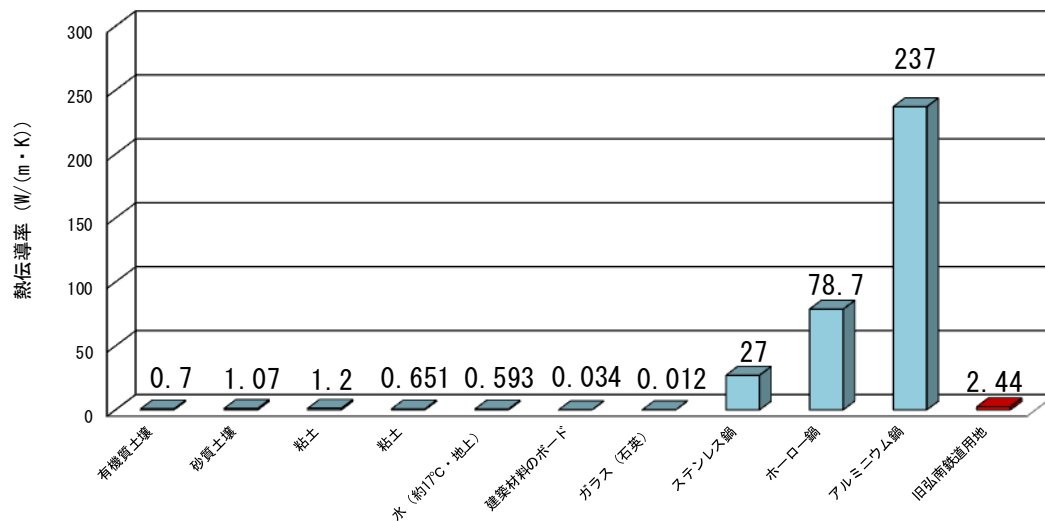
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

11. 旧弘南鉄道用地 (深度 9.7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

11. 旧弘南鉄道用地 (深度 9.7m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 106m 分、成績係数が 3 の場合、深度 94m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 9.7m	42.4	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	42.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	106	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	42.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	94	

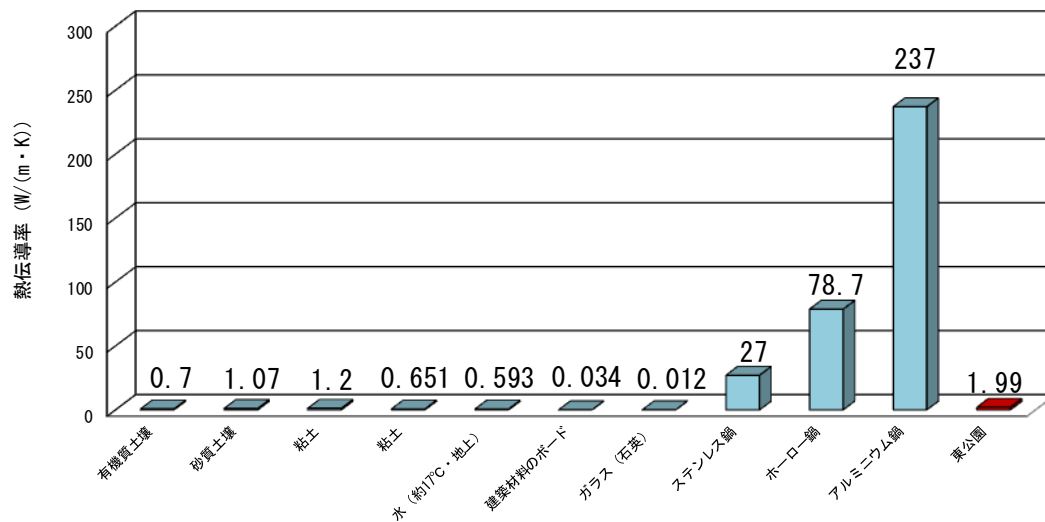
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

12. 東公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

12. 東公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 180m 分、成績係数が 3 の場合、深度 160m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m		25.0
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	25.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	180	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	25.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	160	

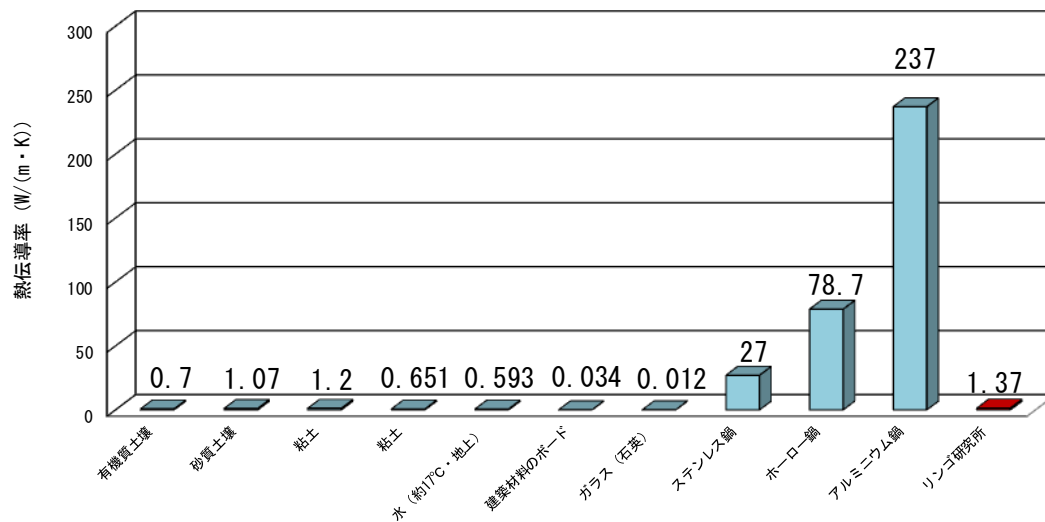
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

13. 青森県産業技術センターりんご研究所 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

13. 青森県産業技術センターりんご研究所 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 160m 分、成績係数が 3 の場合、深度 142m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m	28.1	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	28.1	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	160	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	28.1	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	142	

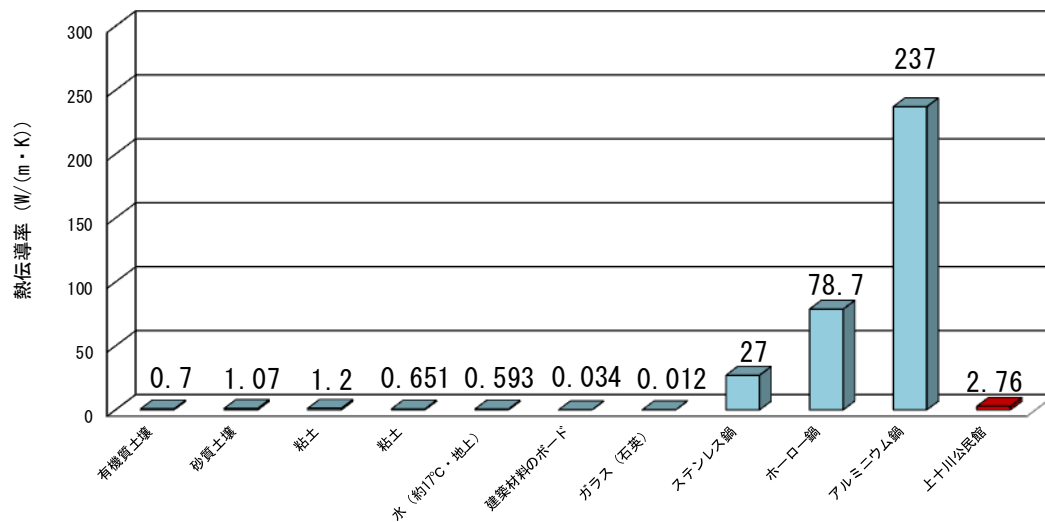
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

14. 上十川公民館 (深度 9m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

14. 上十川公民館（深度 9m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施）

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m²（普通乗用車 2 台分と歩行者用通路）に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m²で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 97m 分、成績係数が 3 の場合、深度 87m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 9m	46.2	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	46.2	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	97	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	46.2	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	87	

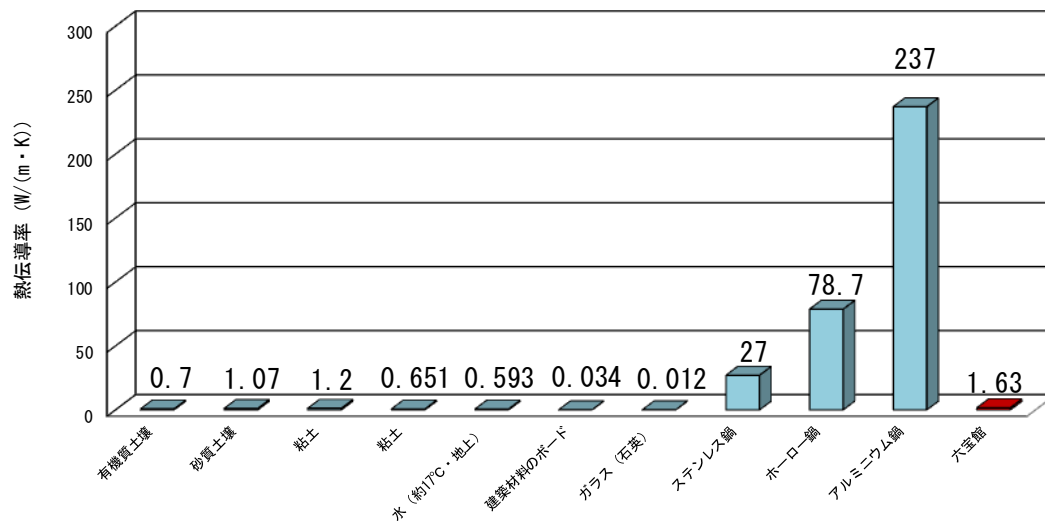
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

15. 農村環境改善センター(六宝館) (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

15. 農村環境改善センター(六宝館) (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 205m 分、成績係数が 3 の場合、深度 182m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	22.0	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	22.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	205	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	22.0	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	182	

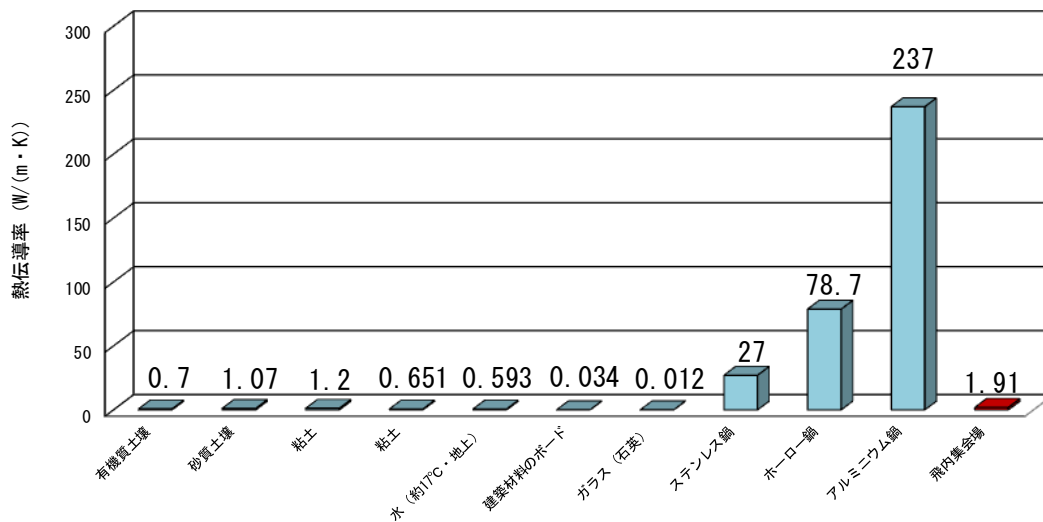
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

16. 飛内集会所駐車場 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

16. 飛内集会所駐車場 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 126m 分、成績係数が 3 の場合、深度 112m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m	35.6	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	35.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	126	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	35.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	112	

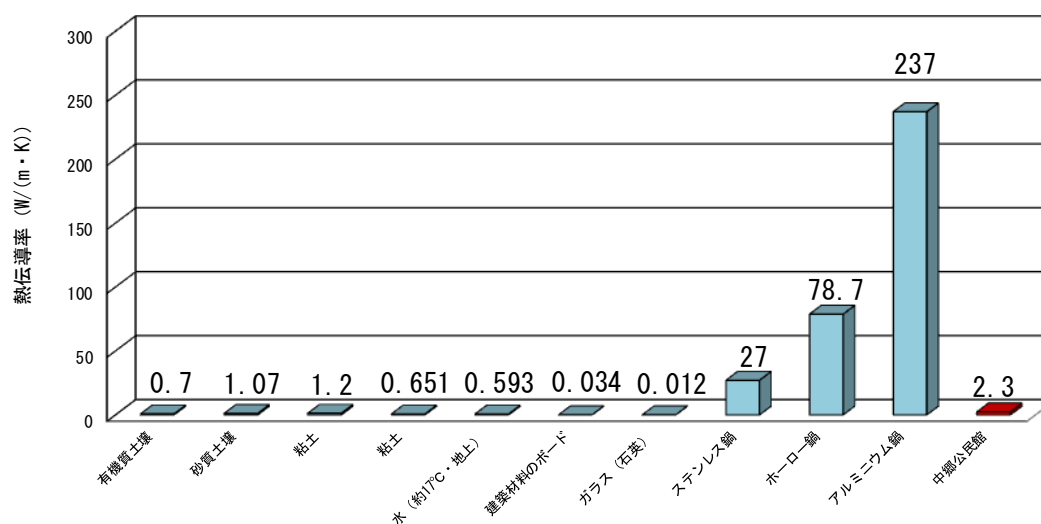
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

17. 北地区ゲートボール場 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

17. 北地区ゲートボール場 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 111m 分、成績係数が 3 の場合、深度 99m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m

40.6

設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	40.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	111	

設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	40.6	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	99	

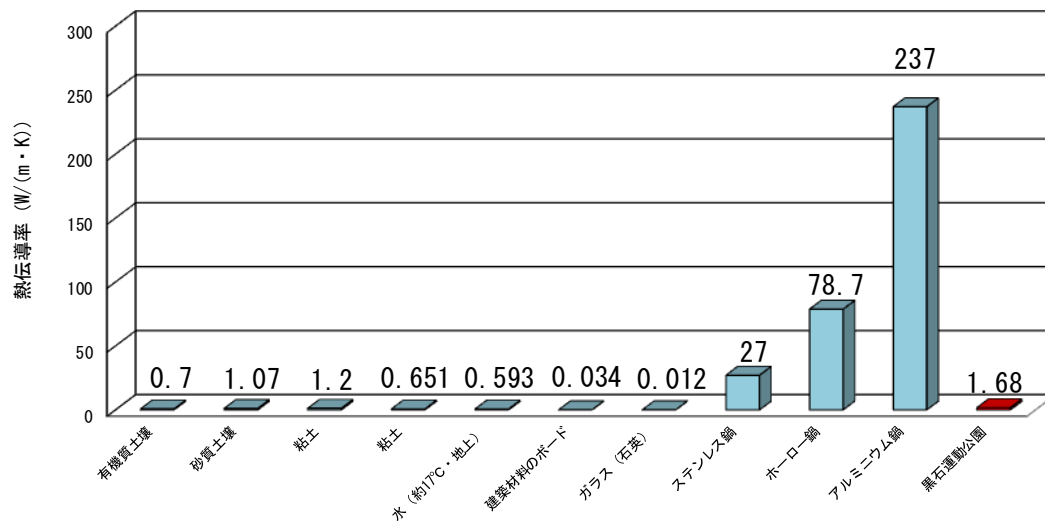
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

18. 黒石運動公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

18. 黒石運動公園 (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 201m 分、成績係数が 3 の場合、深度 179m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	22.4	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	22.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	201	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	22.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	179	

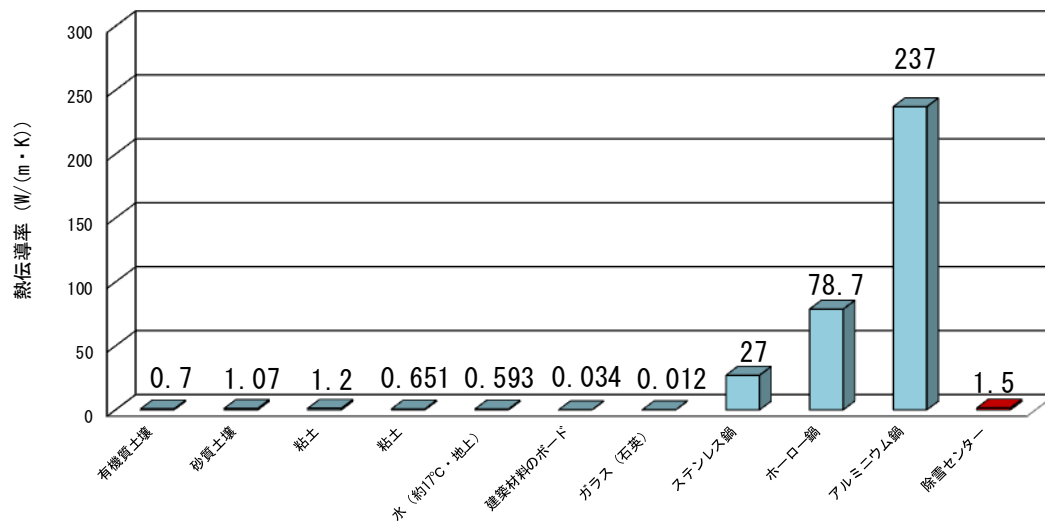
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

19. 黒石市除雪センター (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

19. 黒石市除雪センター (深度 50m の高密度ポリエチレン製 U 字型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 216m 分、成績係数が 3 の場合、深度 192m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 50m	20.8	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	20.8	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	216	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	20.8	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	192	

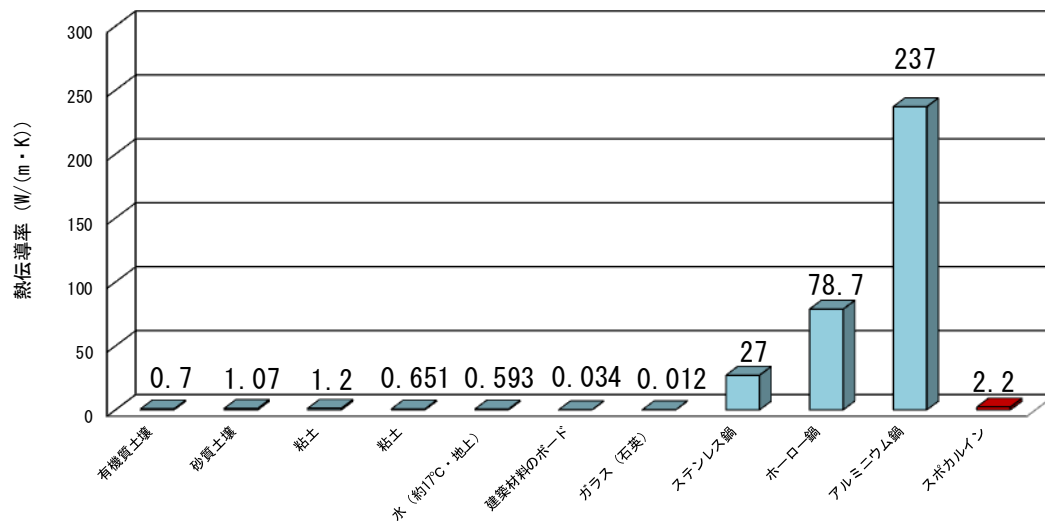
資料—身近な物の熱伝導率と本地点の地層の平均有効熱伝導率との比較

20. スポカルイン黒石 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

今回実施したサーマルレスポン試験から得られる結果は、熱伝導率である。熱伝導率は、ある一つの物質内での熱の伝わり易さを表している。下図に生活に身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）と本地点の地層の平均有効熱伝導率を示す。

地層の平均有効熱伝導率の“平均”とは、熱交換井が設置されている地層の全深度における熱伝導率の平均を表していることを意味している。また、“有効”とは、地層を構成している砂や粘土だけの熱伝導率ではなく、地層の空隙中に存在している水の流れによる熱伝導率への影響も含んでいることを表している。

身近な物の熱伝導率(青)と地層の平均有効熱伝導率(赤)との比較



資料—融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定—

20. スポカルイン黒石 (深度 10m の鋼管製同軸型地中熱交換井で調査実施)

融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定の設定数値には、青森県地中熱利用推進ビジョンにおいて示された融雪モデル事業を参考にした。なお、融雪面積も青森県地中熱利用推進ビジョンを参考に約 40m² (普通乗用車 2 台分と歩行者用通路) に設定した。成績係数以外の□に囲まれた数値が、それぞれの地点において異なってくる。成績係数(COP)とは、熱源機の放熱量を熱源機の消費電力で割った値、例えば 4kW の放熱量があり、消費電力が 1kW の場合、COP は 4 になる。地中熱交換量は、3.4.7.1 で推定した値である。下に、融雪面積約 40m²、熱源機の成績係数が 4 と 3 の場合を想定して、融雪暖房時における熱交換井の必要深度の推定結果を示す。

結果、本地点では融雪面積約 40m² で熱源機の成績係数が 4 の場合、深度 114m 分、成績係数が 3 の場合、深度 102m 分の地中熱交換井が必要であることが推定された。

地中熱交換量 [W/m]: 10m	39.4	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	1500	
成績係数: COP	4	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4500	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	39.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	114	
<hr/>		
設計融雪熱負荷原単位 [W/m ²]	152	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計日降雪深度 [cm/day]	10.8	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計時間降雪深度 [cm/hour]	1.7	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計外気温 [°C]	-4.5	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
設計風速 [m/s]	2	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
降雪の密度 [g/cm ³]	0.08	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱効率	0.85	青森県地中熱利用推進ビジョンから引用
熱源機器加熱能力 [W]	6000	
熱源機器消費電力 [W]	2000	
成績係数: COP	3	
融雪面積 [m ²]	39.5	
必要地中熱交換量 [W]	4000	
設計単位深度当たりの地中熱交換量 [W/m]	39.4	
必要地中熱交換井有効長さ [m]	102	