

青森県地中熱・温泉熱利用
ポテンシャル調査事業報告書

平成23年3月

青 森 県

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 青森県の地域特性	14
2.1 自然条件	14
2.2 人口と産業	16
2.3 観光	27
2.4 エネルギー消費	28
第3章 地中熱調査	31
3.1 サーマルレスポンス試験の概要	31
3.1.1 一般的に行われているサーマルレスポンス試験	31
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	33
3.2 サーマルレスポンス試験の地点と掘削方法の選定	36
3.2.1 地点の選定ならびに掘削方法の選定	36
3.2.2 サーマルレスポンス試験の実施スケジュール	38
3.3 サーマルレスポンス試験結果	41
3.3.1 地点の特徴	41
3.3.2 各地点の試験データ	43
3.4 地中熱調査結果	64
3.4.1 はじめに	64
3.4.2 平均有効熱伝導率の解析方法	66
3.4.3 青森県40市町村における平均有効熱伝導率の解析結果	67
3.4.4 各市町村におけるサーマルレスポンス試験結果	69
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	150
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	153
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—	169
3.4.8 参考文献	171

3.5 地中熱調査のまとめ	172
3.5.1 実施時期の課題.....	172
3.5.2 試験孔掘削に関する課題.....	172
3.5.3 試験装置の課題.....	172
3.5.4 解析上の課題.....	172
第4章 地熱ポテンシャルマップ	173
4.1 マップ製作概要.....	173
4.2 青森県の地形・地質	173
4.3 地下温度マップ.....	176
4.4 地下水位マップ.....	179
4.5 有効熱伝導率マップ	181
4.6 地熱ポテンシャルマップのまとめ.....	185
第5章 青森市実証試験.....	186
5.1 実証試験概要	186
5.1.1 ヒートポンプレス地中熱直接利用融雪	186
5.2 地中熱ロードヒーティング試験結果.....	186
5.2.1 青い森セントラルパークにおける融雪実証試験.....	186
5.2.2 個人住宅におけるヒートポンプレス・ボーリングレス融雪実証試験.....	192
5.3 地中熱ロードヒーティング試験評価.....	195
5.3.1 水温の深さ分布.....	195
5.3.2 採熱効率の評価.....	197
第6章 地熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会	200
6.1 ポテンシャル検討委員会構成、日程.....	200
6.2 事業推進体制	203
6.3 地域における今後の地熱利用事業展開方針.....	204
6.3.1 ヒートポンプレス・ボーリングレス融雪装事業の展開.....	204
6.3.2 低価格地中熱利用ヒートポンプによる産業化への展開.....	206
6.4 地域における今後の地熱利用事業の問題点.....	207
第7章 まとめ	209
7.1 本調査の結果を踏まえた地中熱利用の可能性	209
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	209
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	210
資料.....	211

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。

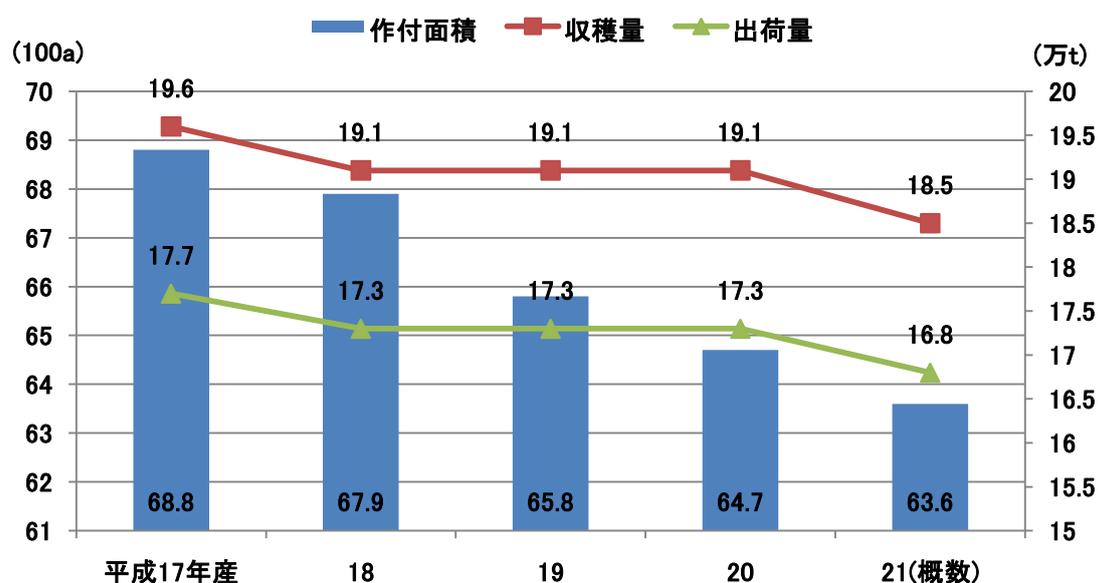
今後、より一層の地中熱・温泉熱の普及拡大を図るためには、地中熱等の導入に向けたきめ細かい地中熱のポテンシャル調査が必要である。

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。

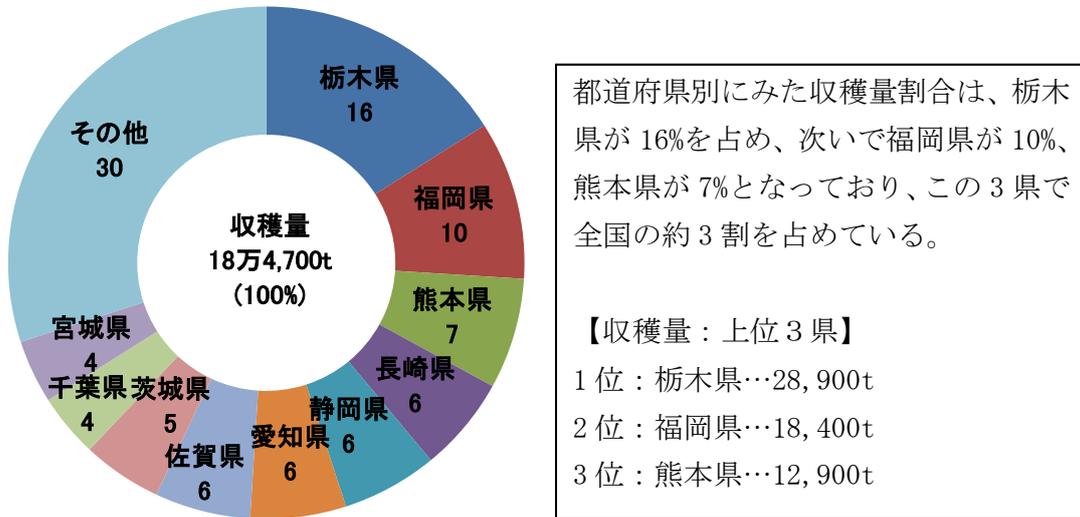
いちごの作付面積、収穫量及び出荷量の推移



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

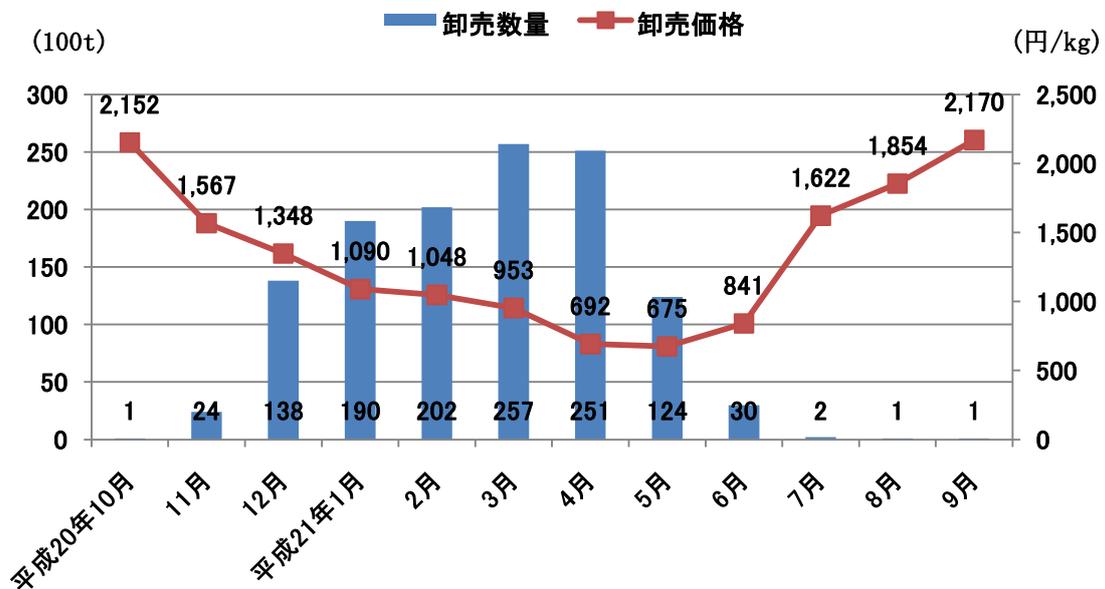
平成21年産いちごの都道府県別収穫量割合



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

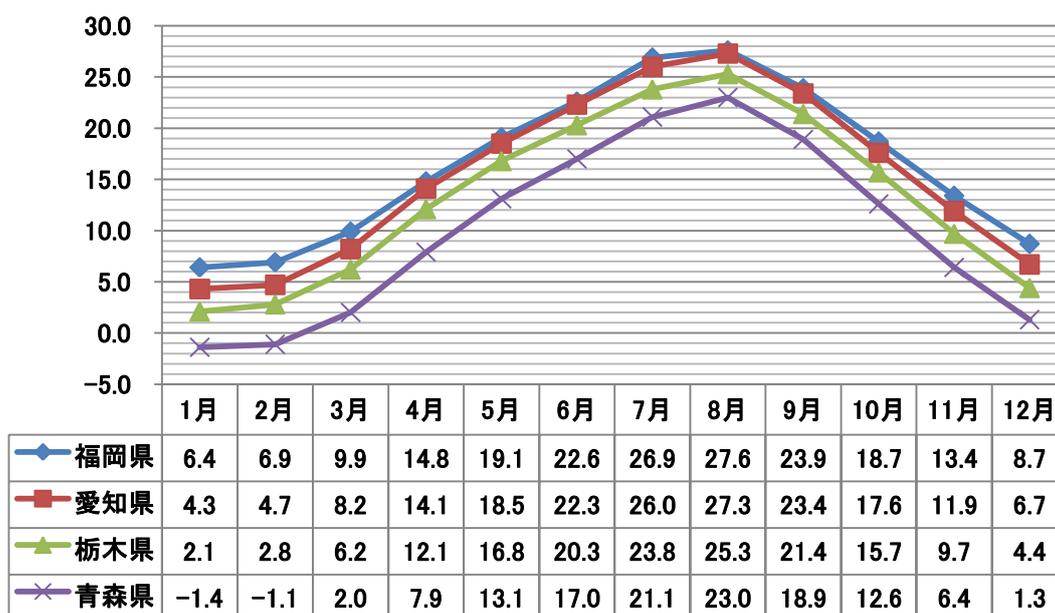
図1.3.3 平成21年産いちごの卸売数量と卸売価格の推移

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)

いちご産地と青森県の平均気温の推移



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

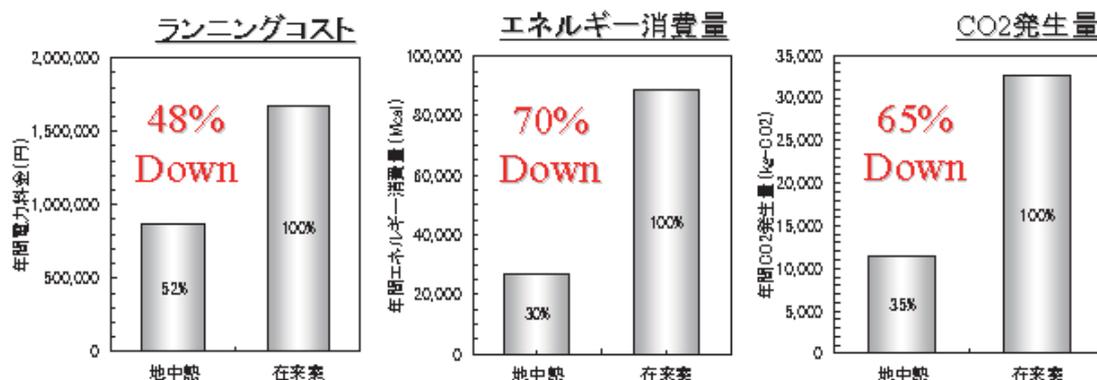


図 1.4.2.2 ランニングコスト・エネルギー諸費量・CO₂発生量比較

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。

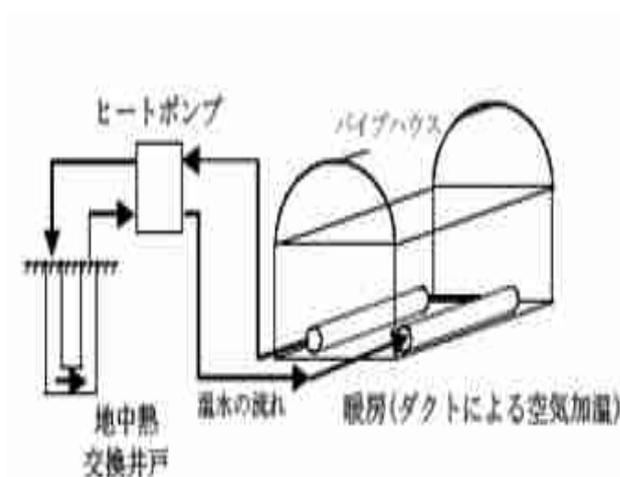


図 1.4.3.1 地中熱利用システムによるハウス栽培状況

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 青森県の地域特性

2.1 自然条件

- ◆ 冬季における津軽地方の大雪と、夏季における太平洋側を中心とした偏東風(ヤマセ)が代表的な違い。
- ◆ 青森県は、三方を海に囲まれ、県の中央部に位置する奥羽山脈が県内を二分しているなど海域や地形が複雑なことから、同じ県内でも地域によって気候が大きく異なる。
- ◆ 冬は、冷たく湿った空気が奥羽山脈にぶつかり津軽地方に雪を降らせる一方、太平洋側は、奥羽山脈が障壁となって乾燥した晴天の日が多いのが特徴。
- ◆ 夏は、冷たく湿った偏東風(ヤマセ)のため、太平洋側で低温・多湿の日が多くなる。
- ◆ 季節の移り変わりがはっきりしているので、季節毎の美しい自然を味わうことが出来る。

全国との差

青森県の気象は全国平均から比べ 気温、日照時間はかなり低く、また降雪量も多く、全国の中でも有数の積雪寒冷地であることが特徴であるといえる。

その意味でエネルギー的には 大量のエネルギー消費する地域として特徴付けられる。

表2.1.1 平成22年青森県内と主要都市の月別平均気象データ

平成22年	青森	深浦	むつ	八戸	札幌	東京	福岡
平均気温 (°C)	11.1 (10.1)	11.1 (10.6)	10.2 (9.4)	10.9 (10.0)	9.8 (8.5)	16.9 (15.9)	17.5 (16.6)
降水量 (mm)	1570.0 (1289.9)	1730.0 (1478.6)	1695.5 (1297.5)	1179.0 (999.7)	1325.0 (1127.6)	1679.5 (1466.7)	1729.0 (1632.3)
日照時間 (h)	1465.0 (1675.6)	1309.1 (1511.6)	1431.4 (1675.6)	1724.5 (1925.1)	1526.9 (1774.8)	1987.0 (1847.2)	1833.1 (1848.5)
最深積雪 (cm)	98 (114)	38 (44)	74 (70)	61 (33)	79 (101)	1 (7)	4 (3)

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。

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2.1.2 平成22年青森県内月別平均気温

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

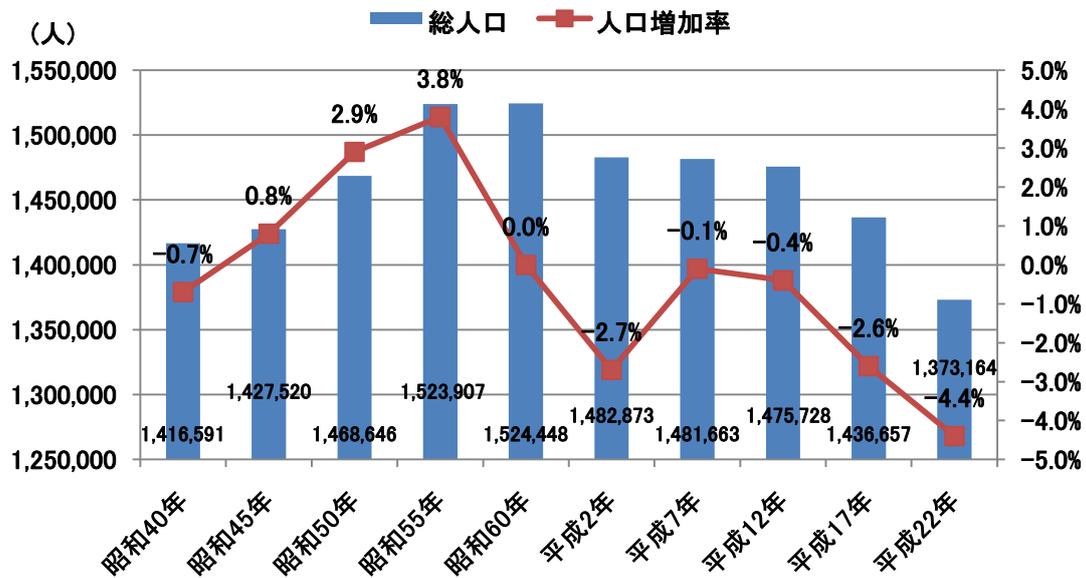
出典：気象庁。気象データの（ ）内は1971年～2000年までの平均値である。

2.2 人口と産業

青森県の人口

- ◆ 平成22年国勢調査によると、人口は1,373,200人、世帯数は513,353世帯で、1世帯当たり人口は2.67人となっている。
- ◆ 青森県の人口は、昭和60年をピークに減少傾向にあり、平成22年には-4.4%と大幅に減少した。
- ◆ 世帯数は年々増加している一方、1世帯当たりの人口は減少している。

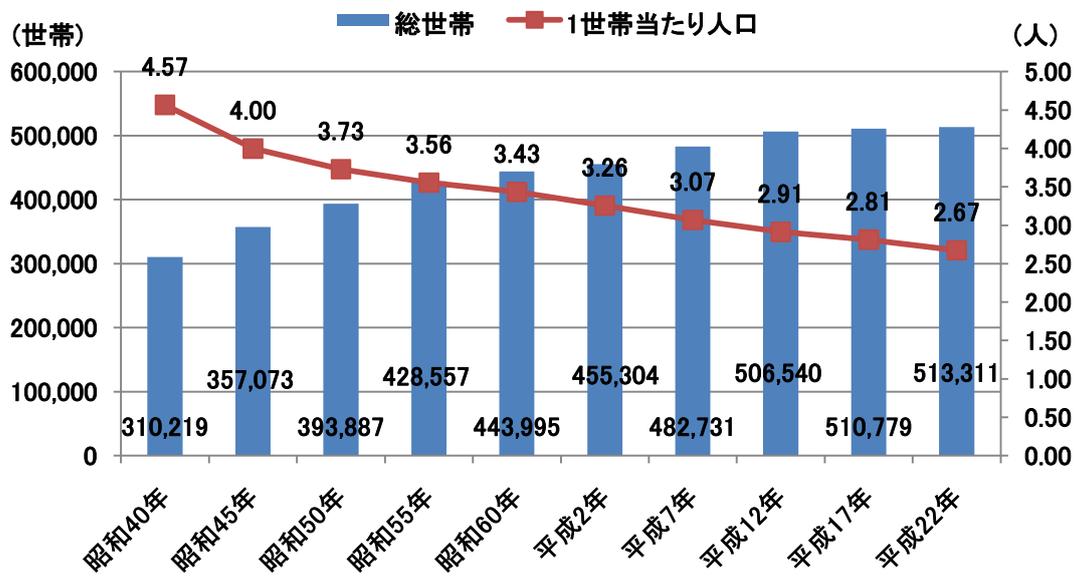
青森県 総人口と人口増加率の推移



出典：国勢調査各年版

図2.2.1 青森県 総人口と人口増加率の推移

青森県 世帯数と1世帯あたり人口の推移



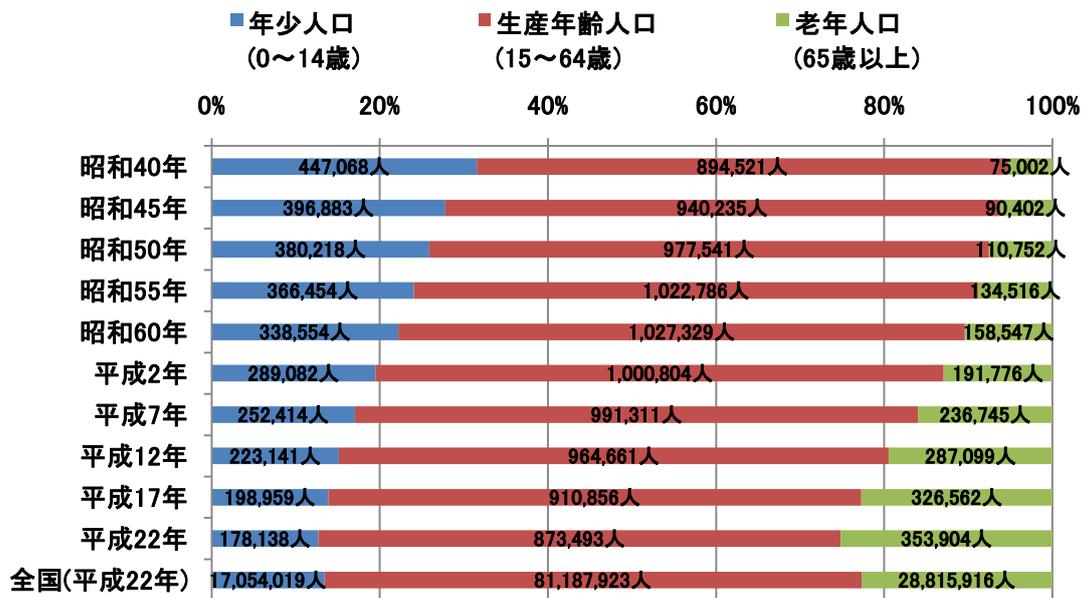
出典：国勢調査各年版

図2.2.2 青森県 世帯数と1世帯当たりの人口推移

青森県の人口構成

- ◆ 少子高齢化の傾向が顕著に表れている。
- ◆ 国全体と比較すると、老年人口の割合が上回っている。(平成22年)
- ◆ 青森県の年齢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、年少人口は半数以下、老年人口は5倍近い値となっている。

青森県 年齢3区分別人口比率の推移



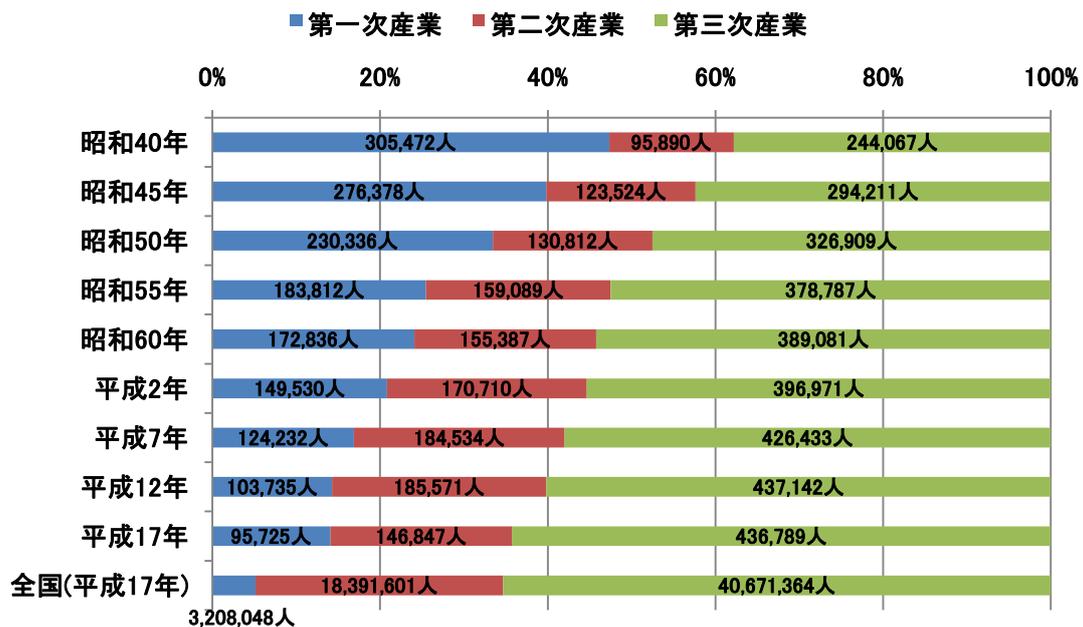
出典：国勢調査各年版より。平成22年のみ、平成22年3月31日現在住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数

図2.2.3 青森県 年齢3区分別人口比率の推移

青森県の産業構造

- ◆ 半数近くを占めていた第一次産業は減少し、第二次・第三次産業が増加。
- ◆ 産業別就業者数の推移を見ると、昭和40年には40%以上を占めていた第一次産業は年々減少し、平成17年には約14%となっている。第二次産業は、建設業と製造業の就業者数の増加により比率が高まっているが、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、昭和55年以降は比率が50%以上となっている。
- ◆ 国全体と比較すると、第一次産業の比率は青森県が上回っている。

青森県 産業別就業者比率の推移



出典：国勢調査各年版

図2.2.4 青森県 産業別就業者比率の推移

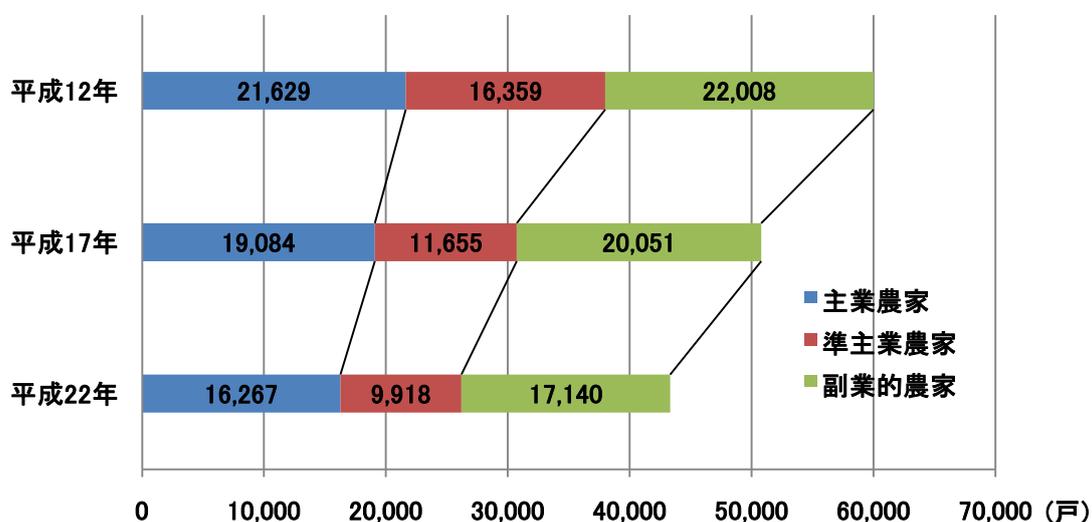
青森県の農業

主副業別農家数・専兼業別農家数

販売農家を主副業別にみると。主業農家は16,267戸(全体に市ベル割合37.5%)で、平成17年に比べ2,817戸(14.8%)、準主業農家は9,918戸(同22.9%)で、平成17年に比べ(14.5%)、それぞれ減少した。

また、販売農家を専兼業別にみると、専業農家は13,194戸(同30.5%)、で平成17年に比べ1,407戸(11.9%)増加した。一方、第1種兼業農家は10,279戸(同23.7%)で、平成17年に比べ4,152戸(同28.8%)、第2種兼業農家は、19,852戸(同45.8%)で、平成17年に比べ4,720戸(同19.2%)減少した。

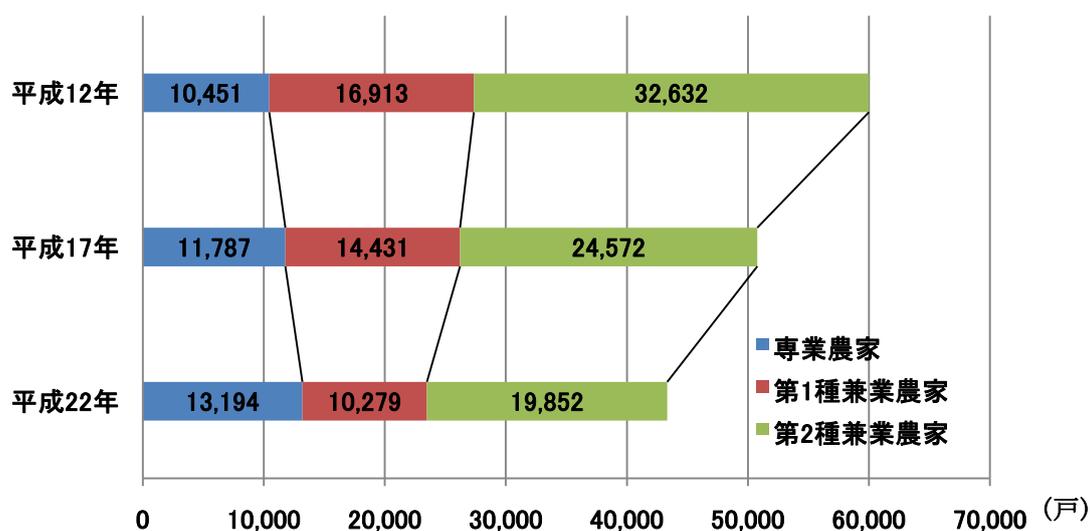
主副業別農家数の推移(販売農家)



出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

図2.2.5 主副業別農家数の推移(販売農家)

専兼業別農家の推移(販売農家)



出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

図2.2.6 専兼業別農家数の推移(販売農家)

農業就業人口

農業就業人口は80,496人で、平成17年に比べると15,670人(16.3%)減少した。

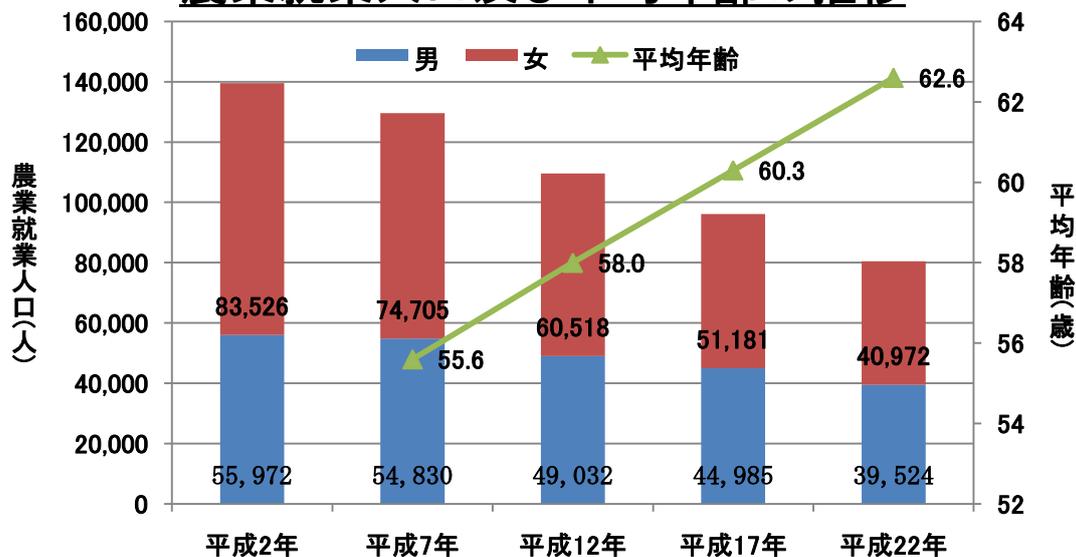
農業就業人口を男女別にみると、男性は39,524人で、平成17年に比べ5,461人(12.1%)、女性は40,972人で、平成17年に比べ10,209人(19.9%)、それぞれ減少した。

農業就業人口を年齢階層別にみると、75歳未満の全ての階層において平成17年に比べ減少し、中でも15～29歳層(前年比36.4%減)、40～44歳層(同37.3%減)、45～49歳層(同35.9%減)等の減少が目立つ。一方、75歳以上の各階層では平成17年に比べ増加し、中でも80～84歳層(同40.0%増)及び85歳以上層(同39.8%増)が大幅に増加した。

また、年齢階層別の構成割合をみると、75歳以上層が全体に占める割合は23.2%で、平成17年に比べ6.3ポイント増加した。

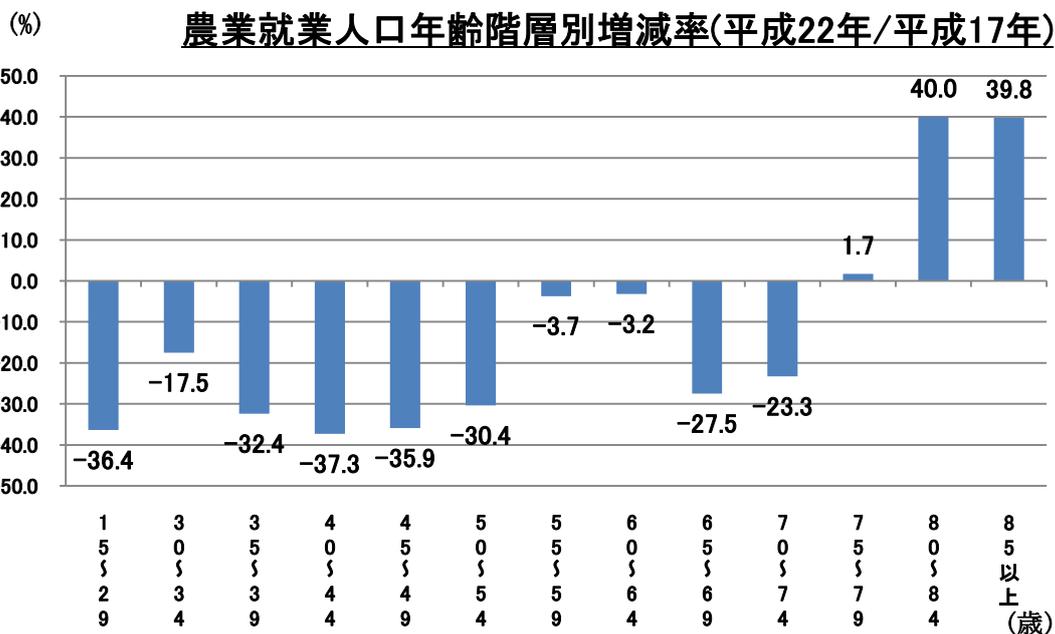
なお、農業就業人口の平均年齢は62.6歳で、平成17年に比べ2.3歳上昇した。

農業就業人口及び平均年齢の推移



出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

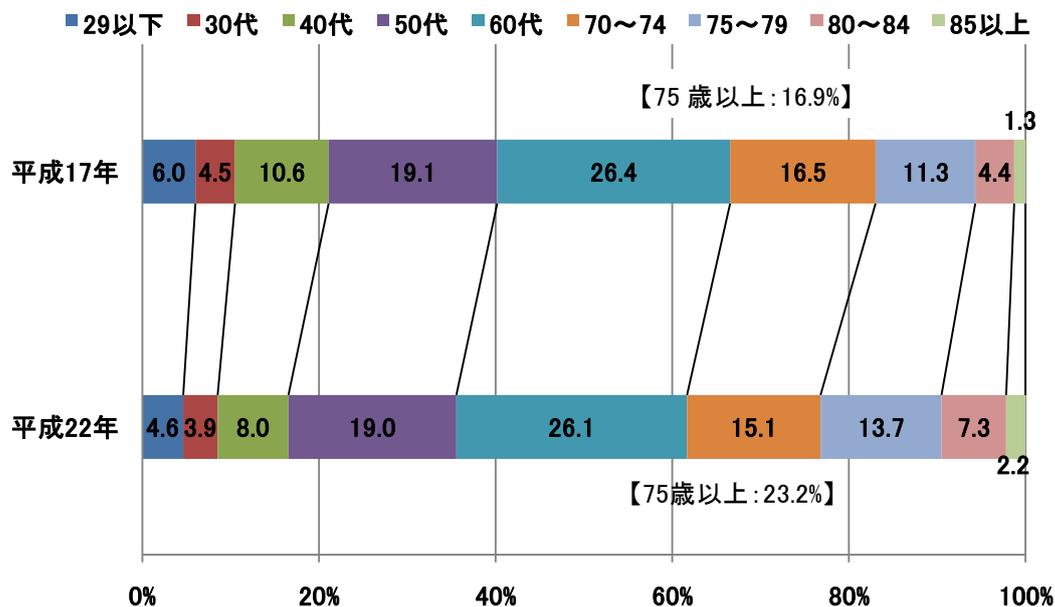
図2.2.7 農業就業人口及び平均年齢の推移



出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

図2.2.8 農業就業人口年齢別総減率(平成22年/平成17年)

農業就業人口年齢階層別構成割合



出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

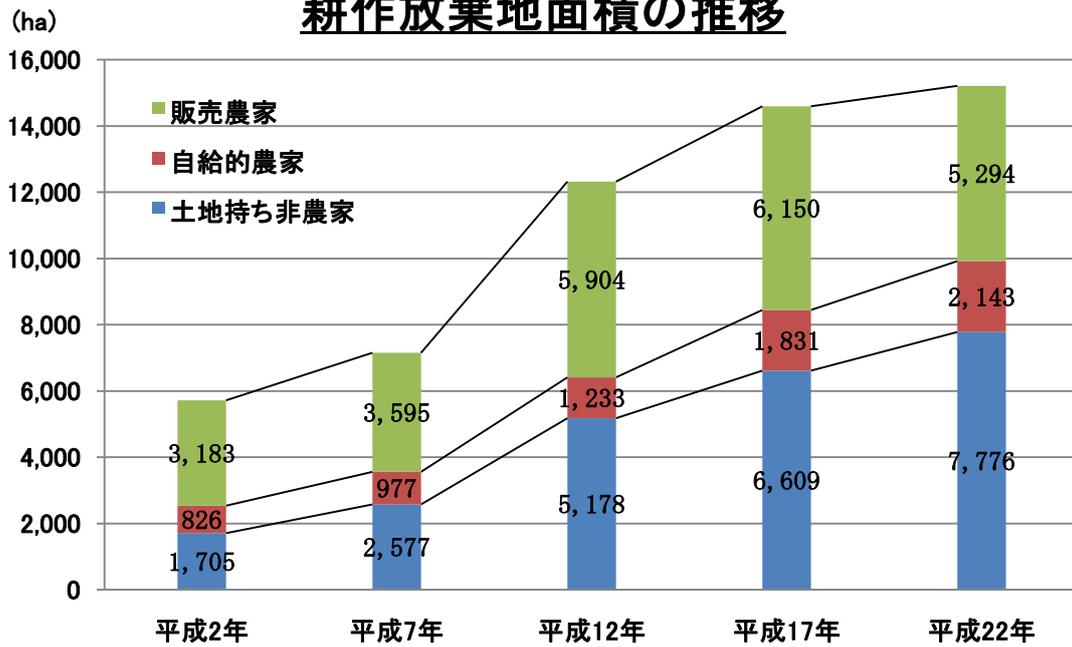
図2.2.9 農業就業人口年齢階層別構成割合

耕作放棄地面積

耕作放棄地面積は15,214haで、平成17年に比べ624ha(4.3%)増加したものの、増加幅は縮小した。

このうち、販売農家にかかる面積は5,294haで、平成17年に比べ856ha(13.9%)減少したが、自給的農家にかかる面積は2,143haで、平成17年に比べ312ha(17.0%)、土地持ち非農家にかかり面積は7,776haで、平成17年に比べ1,167ha(17.7%)、それぞれ増加した。

耕作放棄地面積の推移



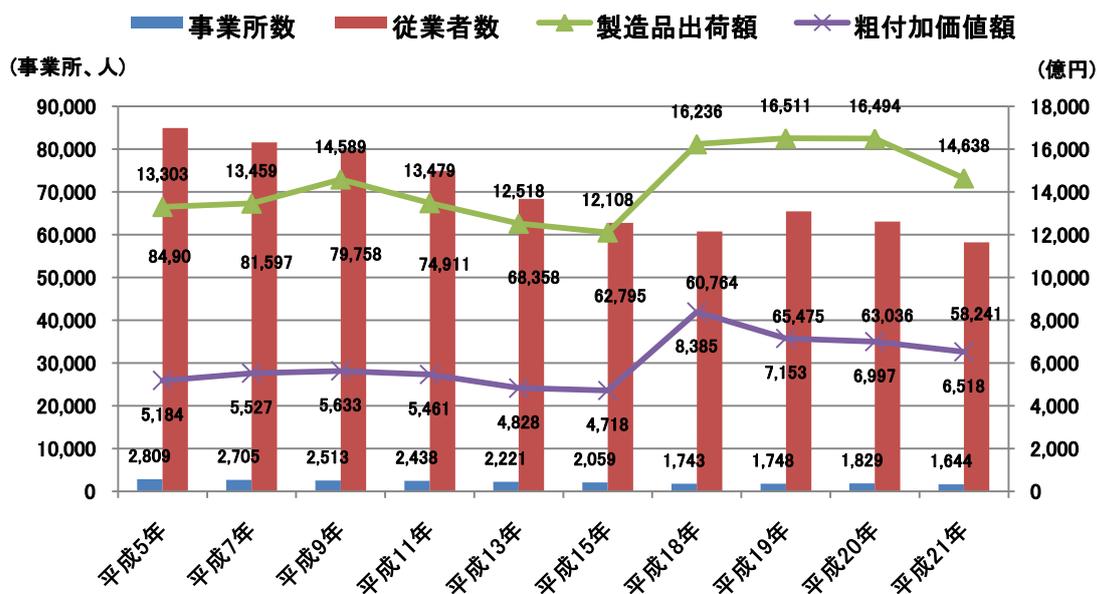
出典：2010年世界農林業センサス結果概要(概数値)

図2.2.10 耕作放棄地面積の推移

青森県の工業

- ◆ 事業所数などが減少するなか、平成18年には製造品出荷額等・粗付加価値額が上昇している。
- ◆ 平成21年は、事業所数は3年ぶりの減少。従業者数・製造品出荷額等・粗付加価値額は、2年連続の減少となった。

青森県 工業の推移



注：平成19年調査において、調査項目を追加したことにより、製造品出荷額等及び粗付加価値額は平成18年以前とは接続しない。

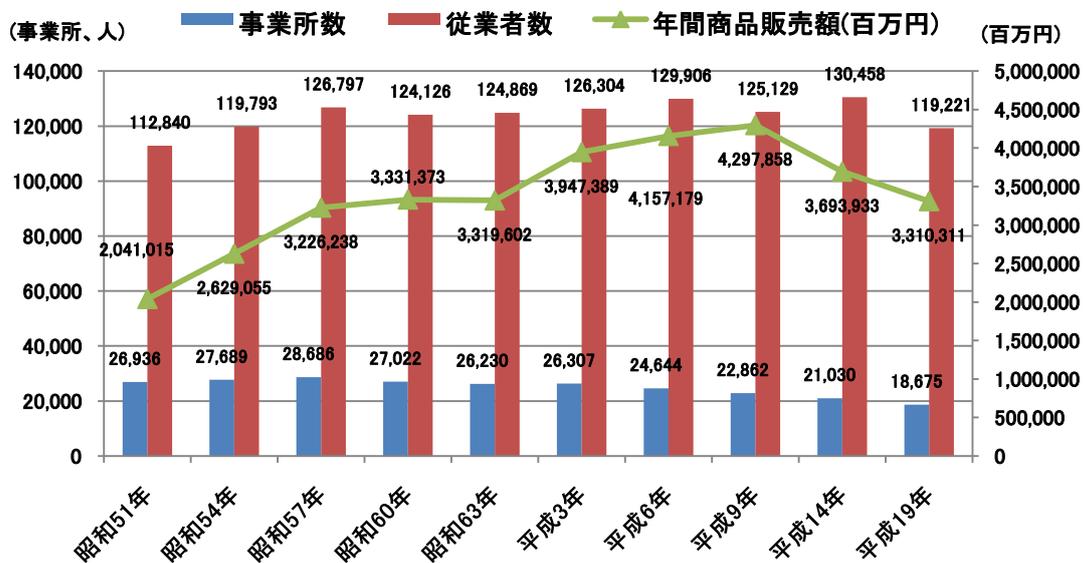
出典：平成21年青森県工業統計速報

図2.2.11 青森県 工業の推移

青森県の商業

- ◆ 事業所数については、平成3年に微増したものの昭和57をピークに減少傾向にある。
- ◆ 従業者数については、昭和57年から平成3年にかけてほぼ横ばい状態であり、平成6年調査で若干の伸びを示した。平成14年調査では増加したが、平成19年調査では減少した。
- ◆ 年間商品販売額については、昭和57年から63年にかけて停滞していたが、平成3年に大きく上昇した。平成9年調査では平成6年調査に続き増加したが、平成14年調査及び平成19年調査では大幅に減少した。

青森県 商業の推移



出典：平成19年青森県商業統計調査

図2.2.12 青森県 商業の推移

2.3 観光

- ◆ 地域に根ざした年中行事が数多く行われている。
- ◆ 津軽平野に代表される美しい田園風景や、岩木山・種差海岸などの美しい眺望景観。
- ◆ 三内丸山遺跡・黒石市中町の「こみせ」をはじめ伝統的なまち並や、歴史的・文化的資源に恵まれている。

名所・観光施設

- ◆ 世界遺産白神山地
- ◆ ねぶたの家 ワ・ラッセ
- ◆ 斜陽館
- ◆ 三内丸山遺跡
- ◆ 奥入瀬溪流・十和田湖
- ◆ 八甲田連峰・岩木山
- ◆ 弘前城と桜
- ◆ 十和田市の官庁街通り
- ◆ 黒石市中町の「こみせ」

年中行事

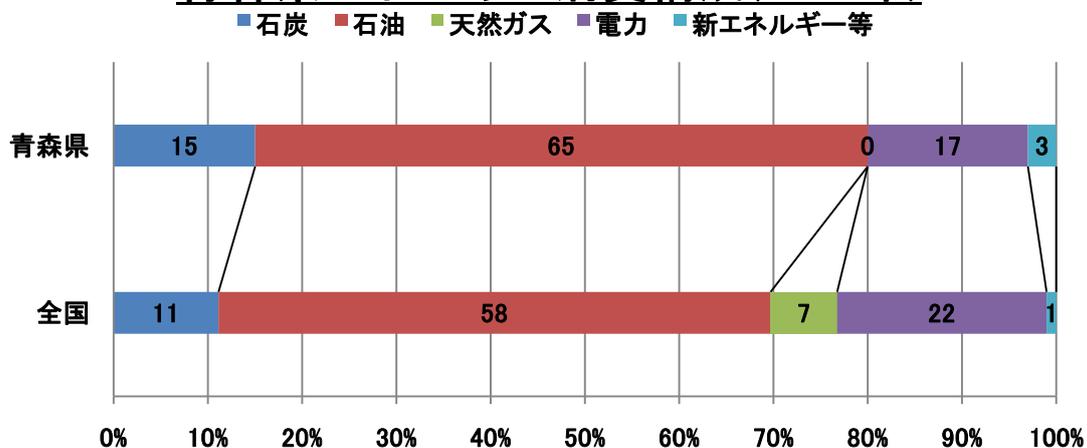
- ◆ 弘前さくらまつり（4月下旬～5月上旬）
- ◆ 弘前城菊と紅葉まつり（10月下旬～11月上旬）
- ◆ 弘前城雪燈籠祭り（2月上旬）
- ◆ 黒石よされ（8月中旬）
- ◆ 青森ねぶた祭り（8月2日～8月7日）
- ◆ 弘前ねぶた祭り（8月1日～8月7日）
- ◆ 五所川原立佞武多（8月4日～8月8日）
- ◆ 八戸三社大祭（7月31日～8月4日）
- ◆ 八戸えんぶり（2月中旬）

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。

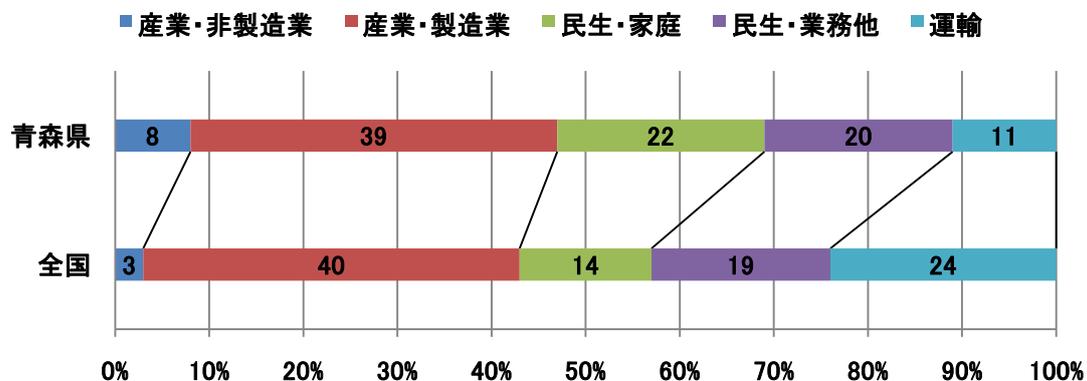
青森県エネルギー消費構成(2003年)



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2.4.1 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)

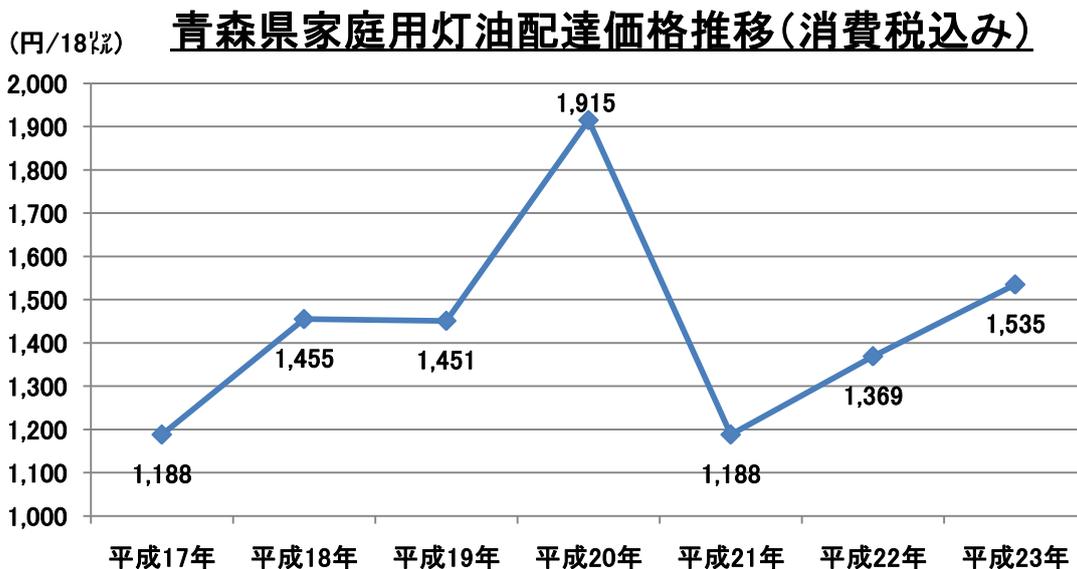
青森県の灯油について

- ◆ 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1,662.6㍓。
- ◆ 県庁所在都市の中で北海道1,788.9㍓の次に多く、全国581.6㍓と比べて約3倍、東北地方1,163.4㍓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

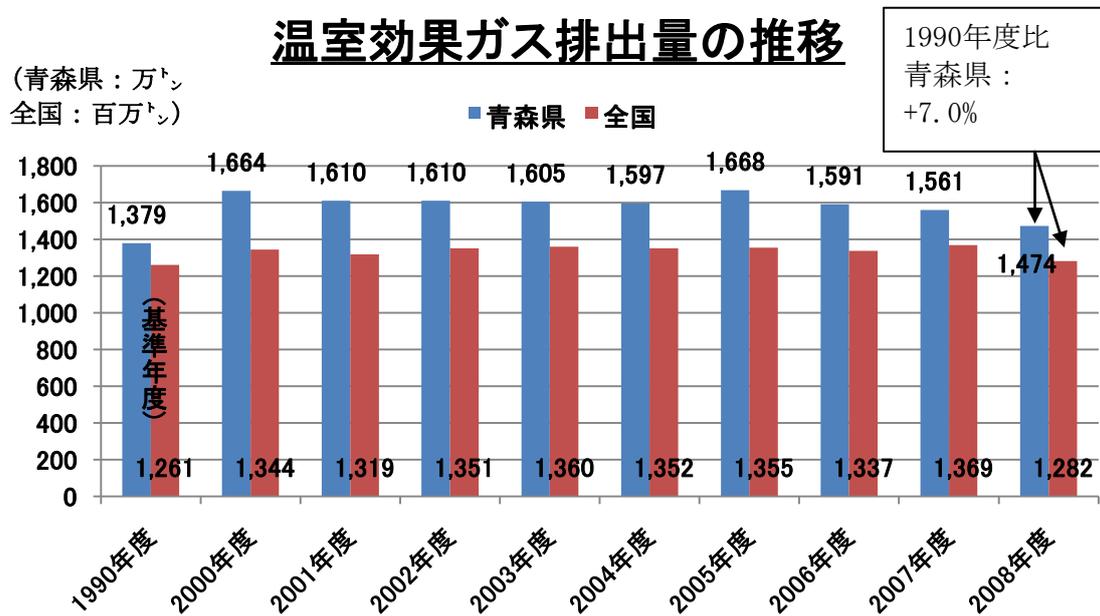


出典：石油情報センター 平成23年1月10日現在

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。

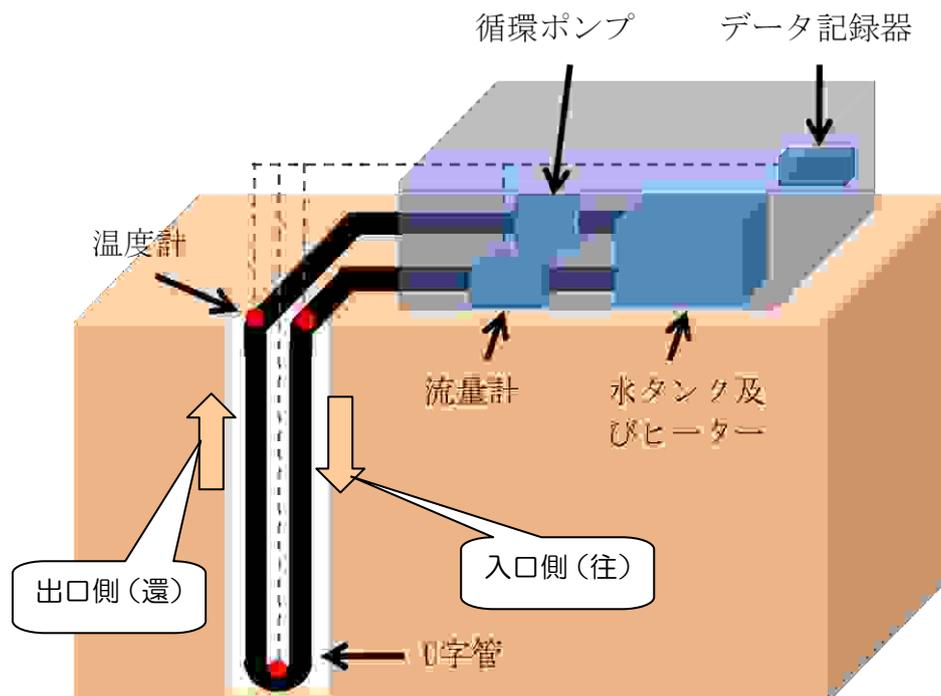


図 3.1.1.1 サーマルレスポンス試験装置概要

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。

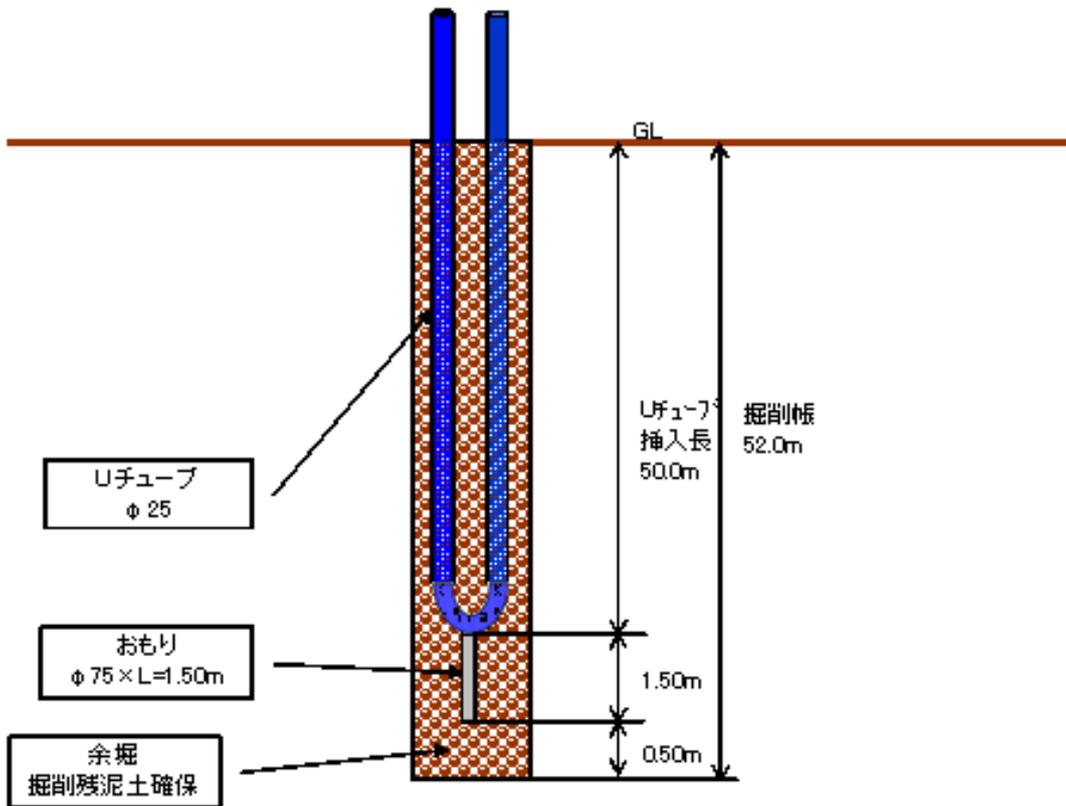


図 3.1.1.2 Uチューブの地下埋設の状況



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）を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。

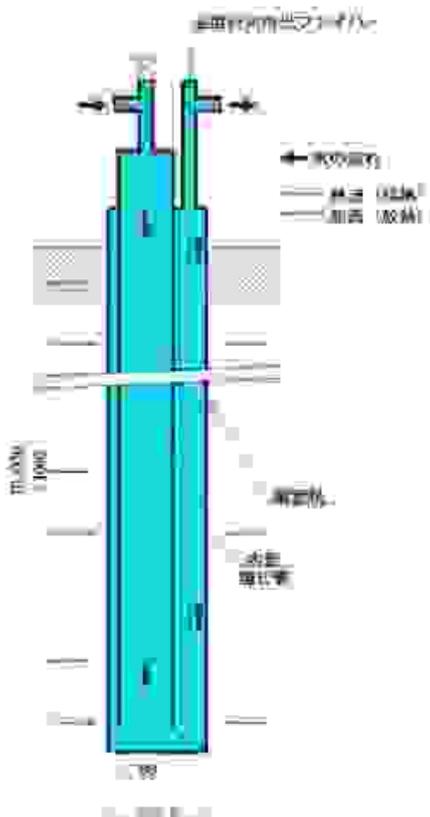


図 3.1.2.1 鋼管杭の構造

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。

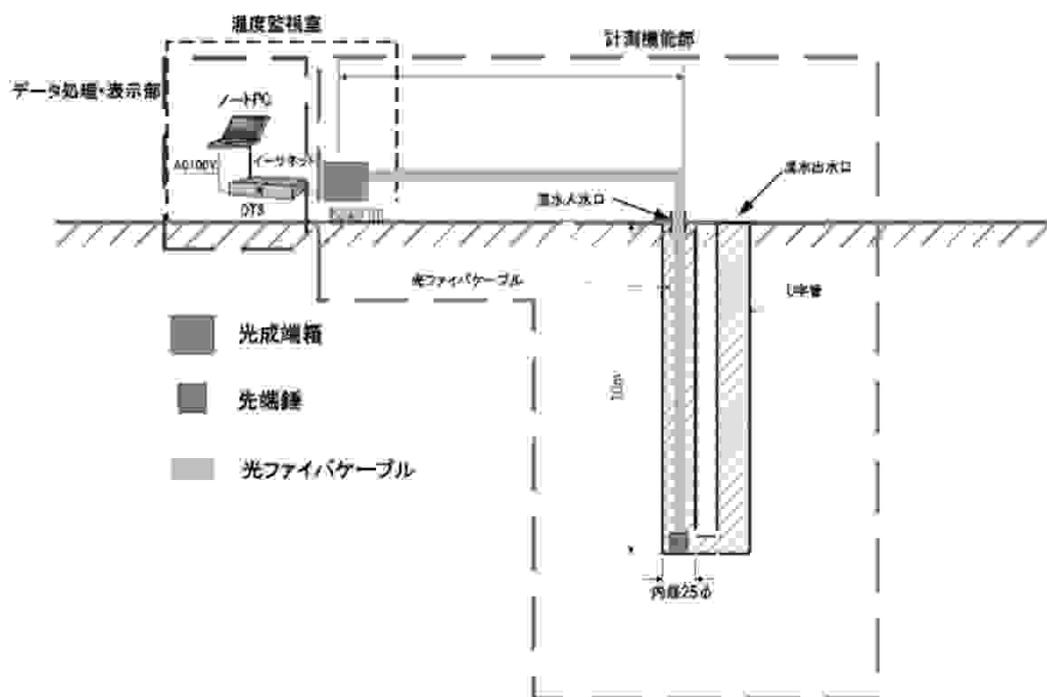


図 3.1.2.2 光ファイバー挿入状況

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、加熱の状況を見ることで、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、あるいは教育上で利用する可能性を持つ地点、さらには将来多くの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県内全域にわたってマッピングすることを目的に、青森県内40市町村において各1地点を選定することとした。

あらかじめ、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、それぞれの市町村における予備候補地点を数地点準備し、各市町村毎に、それらを参考にして、独自に地点を推薦いただくこととした。各地域でのサーマルレスポンス試験についての説明は、表3.2.1.1のスケジュールで実施し、本試験の目的、実施内容を説明の上、地点提案を要望した。また、教育機関には別途、青森県教育委員会を通じて要請し、提案のあった地域については、各市町村と調整の上、教育機関の施設を優先することとした。

表 3.2.1.1 各県民局への説明

	日 時	場 所
東青地域県民局	7月22日(木) 10:30～	県庁舎西棟 7階B会議室
中南地域県民局	7月21日(水) 14:00～	弘前合同庁舎別館 3階A, B会議室
三八地域県民局	7月16日(金) 14:00～	八戸合同庁舎 2階第3会議室
西北地域県民局	7月21日(水) 10:30～	五所川原合同庁舎 3階B会議室
上北地域県民局	7月16日(金) 10:30～	十和田合同庁舎 3階E, F会議室
下北地域県民局	7月23日(金) 13:00～	むつ合同庁舎 3階大会議室

2) 掘削方法の選定

今回の試験は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15地点とし、残りの25地点は10m鋼管杭方式にて実施することとした。それぞれの市町村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。

特に南部地域のように地下数mから花崗岩質の硬い岩盤が予想されることから、50mボーリング方式を優先的に採用することとした。一方、平野部の土や砂の層が多い地点は10

m鋼管杭方式を優先することとした。

3) 掘削地点の位置決定

青森県内各市町村および教育委員会の提案をもとに、具体的な試験箇所の選定を行った。各地点において掘削する場所の選定は、8月30日から9月3日にかけて、二班に別れて、以下に示すスケジュールにて実施した。掘削地点の決定には、各市町村および学校の立会の上、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。

表 3.2.1.2 各地点の掘削場所の選定スケジュール

月 日	調査班	対応市町村
8月30日	I 班	佐井村、大間町、風間浦村、むつ市
8月31日	I 班	東通村、六ヶ所村、横浜町、野辺地町、平内町
	II 班	蓬田村、外ヶ浜町、今別町、中泊町、五所川原市、つがる市
9月1日	I 班	七戸町、東北町、三沢市、おいらせ町、八戸市、階上町
	II 班	黒石市、平川市、大鰐町、西目屋村、弘前市、田舎館村
9月2日	I 班	南部町、三戸町、田子町、新郷村、五戸町、六戸町、十和田市
	II 班	藤崎町、板柳町、鶴田町、鱒ヶ沢町、深浦町
9月3日	I・II 班	青森市

以上の結果、以下の地点を青森県内 40 地点のサーマルレスポンス試験地点として決定した。図 3.2.1.1 に試験位置の地図を、表 3.2.1.3 に試験地点の詳細所在地を示す。

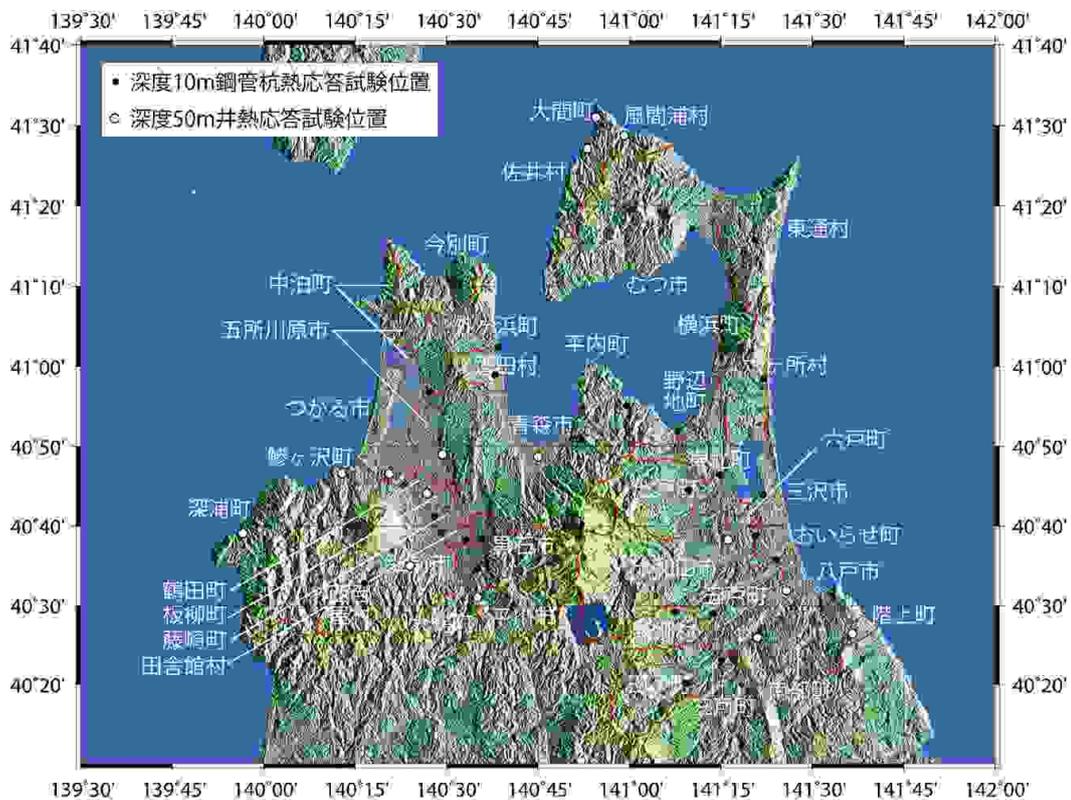


図 3.2.1.1 青森県内 40ヶ所のサーマルレスポンス試験地点位置

表 3.2.1.3 青森県内 40 市町村のサーマルレスポンス試験地点一覧

地点No	市町村	決定地点	施設の中心となる住所	試験方法
1	青森市	青い森セントラルパーク	青森市浦町橋本	50mUチューブ
2	弘前市	(仮)相馬地区住民ふれあいセンター予定地付近	弘前市大字五所字野沢39-15	50mUチューブ
3	八戸市	農業交流研修センター	八戸市尻内町字毛合清水29	50mUチューブ
4	黒石市	中央スポーツ館	黒石市内町24-1	10m鋼管杭
5	五所川原市	五所川原農林高校	五所川原市大字一野坪字朝日田12-37	50mUチューブ
6	十和田市	三本木農業高校	十和田市相坂字高清水78-92	50mUチューブ
7	三沢市	三沢市民の森	三沢市三沢淋代平116-2945	10m鋼管杭
8	むつ市	むつ工業高校	むつ市文京町22-7	10m鋼管杭
9	つがる市	つがる市森田歴史民俗資料館北側	つがる市森田町月見野340-12	50mUチューブ
10	平川市	平川市平賀総合運動施設第二期計画予定地	平川市新館後野周辺	10m鋼管杭
11	平内町	夜越山森林公園内	東津軽郡内町大字浜子字振替36-1	10m鋼管杭
12	今別町	荒馬の里体験農園	今別町大字大川平字関口6番地1	10m鋼管杭
13	蓬田村	農業者トレーニングセンター敷地	蓬田村大字蓬田字宮本地内	10m鋼管杭
14	外ヶ浜町	蟹田一本松地区公園	外ヶ浜町字蟹田字霧ヶ淵内	10m鋼管杭
15	鯉ヶ沢町	海の駅わんど	鯉ヶ沢町大字本町246-4	50mUチューブ
16	深浦町	旧深浦営林署跡地	深浦町大字深浦字苗代沢26-1	50mUチューブ
17	西日屋村	グリーンパークもりのいずみ	中津軽郡西日屋村大字村市字稲葉213-1	10m鋼管杭
18	藤崎町	藤崎町役場常磐支所除雪センター	藤崎町大字増館字若柳126	10m鋼管杭
19	大鰐町	町立大鰐病院兼福祉センター駐車場	大鰐町藤館字川原田40-4	50mUチューブ
20	田舎館村	田舎館村克雪トレーニングセンター	田舎館村八反田古館217-3	10m鋼管杭
21	板柳町	板柳町ふるさとセンター	板柳町福野田字本泉34-6	10m鋼管杭
22	鶴田町	道の駅つたるた敷地内	北津軽郡鶴田町大字境字里見176-1	50mUチューブ
23	中泊町	旧大沢内小学校跡地	中泊町大字深郷田字甘木120-2	10m鋼管杭
24	野辺地町	旧職業安定所跡地	野辺地町野辺地230-5	10m鋼管杭
25	七戸町	七戸町役場車庫隣駐車場	七戸町森ノ上131-2	10m鋼管杭
26	六戸町	六戸町総合運動公園	六戸町大字犬落瀬字下久保174-1	10m鋼管杭
27	横浜町	横浜町町民体育センター	横浜町字林ノ後32-1	10m鋼管杭
28	東北町	東北町総合運動公園東駐車場付近	上北郡東北町字外姥沢前平79-47	10m鋼管杭
29	六ヶ所村	尾駮レイクタウン北側	上北郡六ヶ所村大字尾駮字野附地内	10m鋼管杭
30	おいらせ町	おいらせ町役場本庁舎周辺	上北郡おいらせ町中下田135-2周辺	10m鋼管杭
31	大岡町	庁舎予定地	大岡町大同奥戸下道30-1	50mUチューブ
32	東通村	特産物等販売計画予定地	下北郡東通村大字砂子又地内	10m鋼管杭
33	風間浦村	海峡の里(村民憩いの森)スポーツ公園	下北郡風間浦村大字易国岡字古野17-4	50mUチューブ
34	佐井村	社会福祉法人「吉幸会」	下北郡佐井村大字佐井字原田55-2	50mUチューブ
35	三戸町	旧三戸北小学校グラウンド	三戸町大字川守田字西松原13-3	10m鋼管杭
36	五戸町	旧又重交流館	三戸郡五戸町大字倉石又重字上谷地2-1	10m鋼管杭
37	田子町	大福山公園	三戸郡田子町大字田子字七日市上ノ平86-1	10m鋼管杭
38	南部町	名久井農業高校	南部町下名久井字下諏訪平1	50mUチューブ
39	階上町	茨島浄化センター用地	階上町大字赤保内字茨島下21-180	50mUチューブ
40	新郷村	田茂代小跡地	新郷村戸来田茂代37	10m鋼管杭

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 3.2.1.1 に示す。

各市町村の地点決定とともに、行政財産の利用に係る手続きを行い、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を実施するための、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

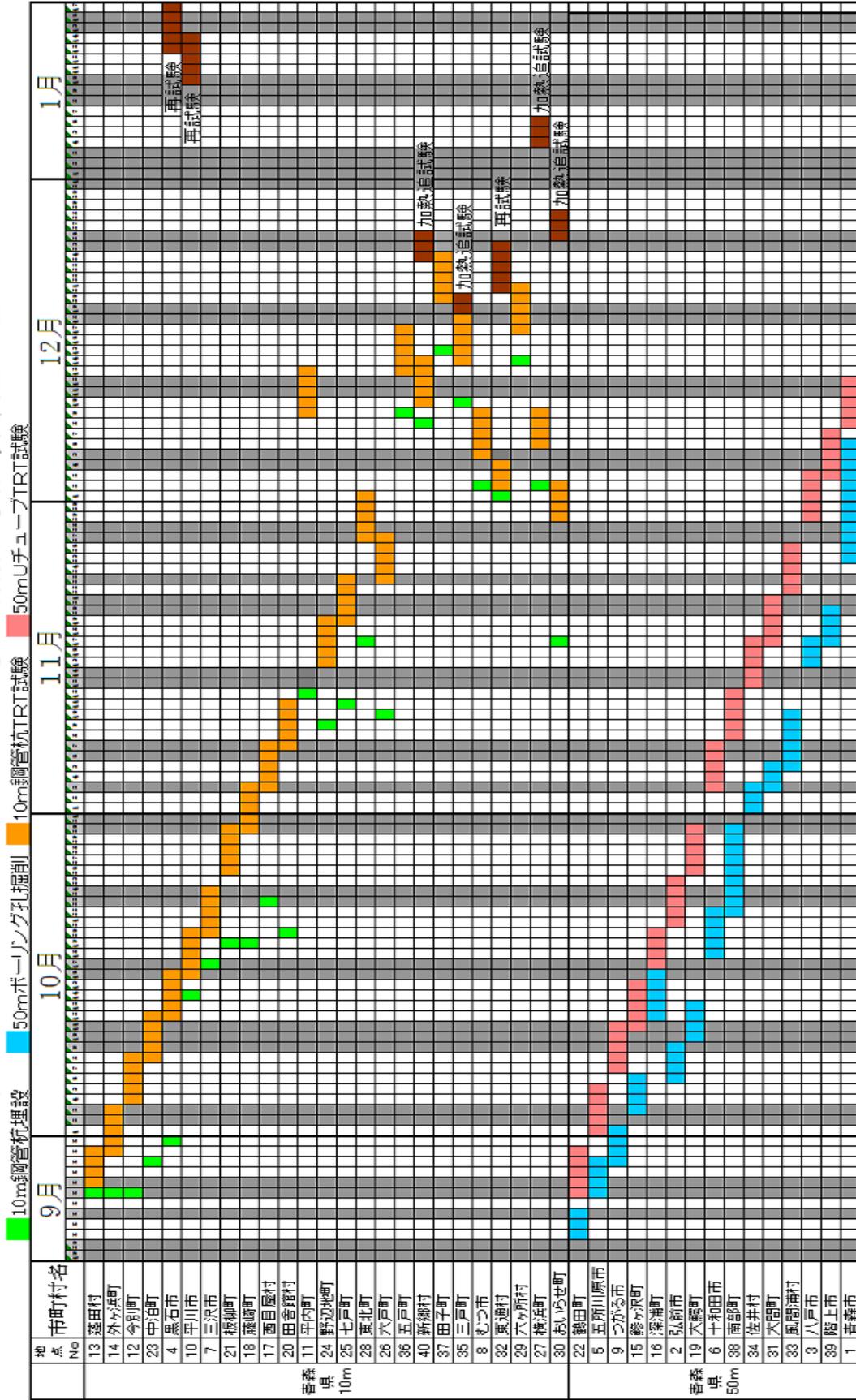
50mUチューブにおいても、10m鋼管杭においても、サーマルレスポンス試験は3.1章に示す同一の測定方法を採用し、掘削深度の違いにより、50mUチューブ方式では3kWのヒーター加熱を、また、10m鋼管杭方式では1kWのヒーター加熱とした。

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。

表3.2.2.1.1 サーマルレスポンス試験 青森県受託分調査工程



3.3 サーマルレスポンス試験結果

3.3.1 地点の特徴

一般的に青森県は奥羽山脈を境に、西側は岩木川周りの沖積層と出羽山地の延長の地形を有している。一方、東側は、洪積層の台地と湿地で構成されている。さらに県南部は丘陵地が多く、極めて硬い岩盤で成り立っている。また、八甲田山や恐山のような活火山もあり、多様な地盤で構成されている。

今回の試験は、地下 10m から 50m 程度での掘削でもあり、その地質については、すでに得られている情報をおおよそ地下の状況を想定することはできるが、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、深浦地点については、硬い流紋岩に掘削を阻まれ、深さ 43m までのボーリングとした。これ以上の掘削を行わなかった理由は、ベントナイト泥水の近隣の地下水への影響を避けることを第一としたことである。さらには実際に地中熱を利用する上で、多額の費用がかかる硬岩の掘削は合理的でなく、場合によっては容易に掘削できる浅い深度での複数のボーリング孔の方が価値があると判断したためである。

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、そのまま挿入できた地点は 3 地点に限られた。他の地点は、地中の石などに阻まれることが多く、ブレード部の少ない同一径での先行掘削を 4 地点について行い、ブレード部の少ない 190.7mm φ の大口径の先行掘削を 16 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 2 地点については、あらかじめ 200mm φ のボーリング孔をあけ、その上で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 50mUチューブ方式での掘削深度と掘削の特徴

地点No	市町村	ボーリング径	深度	m	土質区分	色調	16 深浦町	117.0mmφ	0.0 ~ 9.0 m	礫(透泥、玉石混入) 礫(粘土混入) 流紋岩	(暗灰) (茶) (緑)
1	青森市	120.0mmφ	0.0 ~ 3.5 m	礫	(黒)	19 大野町	117.0mmφ	0.0 ~ 41.0 m	41.0 ~ 43.0 m	礫(粘土混入) 流紋岩	(茶) (緑)
			3.5 ~ 8.0 m	砂礫(木片混入)	(暗灰)						
			8.0 ~ 19.0 m	砂礫	(暗灰)						
			19.0 ~ 27.0 m	砂礫(木片混入)	(暗灰)						
			27.0 ~ 39.0 m	粘土	(灰)						
			39.0 ~ 44.0 m	砂・礫・シルト混入	(灰)						
2	弘前市	117.0mmφ	44.0 ~ 52.0 m	砂礫・粘土	(暗灰)	22 橋田町	117.0mmφ	0.0 ~ 0.5 m	0.5 ~ 2.0 m	盛土 ローム シルト混り砂礫	(黒) (茶) (暗灰)
			0.0 ~ 1.5 m	盛土	(黒)						
			1.5 ~ 16.0 m	粘土混り砂礫	(灰)						
			16.0 ~ 38.0 m	砂礫(木片混入)	(灰)						
			38.0 ~ 52.0 m	砂礫(木片混入)	(青灰)						
			52.0 ~ 53.0 m	砂礫	(暗灰~灰)						
3	八戸市	120.0mmφ	0.0 ~ 2.0 m	黒土	(黒)	31 大間町	105.0mmφ	0.0 ~ 3.0 m	3.0 ~ 6.0 m	玉石混り粘土 粘土	(茶~黒) (茶)
			2.0 ~ 20.0 m	ローム・砂礫	(茶)						
			20.0 ~ 32.0 m	砂礫	(茶)						
			32.0 ~ 40.0 m	粘土	(茶)						
			40.0 ~ 52.0 m	泥岩	(暗灰)						
			52.0 ~ 53.0 m	泥岩	(暗灰)						
5	五所川原市	117.0mmφ	0.0 ~ 1.2 m	黒土	(黒)	33 風間村	105.0mmφ	0.0 ~ 3.0 m	3.0 ~ 29.0 m	粘土 凝灰岩 砂岩	(茶) (白灰) (暗灰)
			1.2 ~ 11.0 m	粘土	(茶)						
			11.0 ~ 24.0 m	砂礫土(凝石混り)	(茶)						
			24.0 ~ 31.0 m	粘土	(茶)						
			31.0 ~ 47.0 m	砂(中砂)	(灰)						
			47.0 ~ 53.0 m	シルト混り砂礫	(灰)						
6	和田市	117.0mmφ	0.0 ~ 1.5 m	黒土	(黒)	38 南部町	117.0mmφ	0.0 ~ 1.0 m	1.0 ~ 5.0 m	黒土 凝石・シルト 砂礫(木片混入)	(黒) (茶) (茶)
			1.5 ~ 9.0 m	粘土	(茶)						
			9.0 ~ 26.0 m	粘土・凝石	(茶)						
			26.0 ~ 34.0 m	砂礫	(茶)						
			34.0 ~ 52.0 m	シルト	(灰)						
			52.0 ~ 53.0 m	凝灰岩	(灰)						
9	つがる市	117.0mmφ	0.0 ~ 1.0 m	盛土	(黒)	39 陸上町	105.0mmφ	0.0 ~ 2.0 m	2.0 ~ 6.0 m	盛土 粘土 シルト	(黒) (茶) (白灰)
			1.0 ~ 18.0 m	砂礫土(凝石混り)	(暗灰)						
			18.0 ~ 36.0 m	砂礫(木片混入)	(青灰)						
			36.0 ~ 52.0 m	シルト	(灰)						
			52.0 ~ 53.0 m	盛土	(黒)						
			53.0 ~ 54.0 m	砂礫	(暗灰)						
15	碓ヶ沢町	117.0mmφ	0.0 ~ 2.5 m	盛土	(黒)	300 ~ 52.0 m	300 ~ 52.0 m	22.0 ~ 30.0 m	3.0 ~ 6.0 m	砂 砂礫 シルト混り砂礫 花崗岩	(黒) (灰) (茶) (緑灰)
			2.5 ~ 39.0 m	砂礫	(暗灰)						
			39.0 ~ 52.0 m	砂礫(木片混入)	(青灰)						

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	市町村	深度	鋼管径および備考
4	黒石市	10m	139.8φ 先掘り使用(139.8φ)
7	三沢市	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
8	むつ市	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
10	平川市	10m	139.8φ 先掘り使用(139.8φ)
11	平内町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
12	今別町	10m	139.8φ 特になし
13	蓬田村	10m	139.8φ 特になし
14	外ヶ浜町	10m	139.8φ 先掘り使用(139.8φ)
17	西目屋村	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
18	藤崎町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
20	田舎館村	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
21	板柳町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
23	中泊町	10m	139.8φ 先掘り使用(139.8φ)
24	野辺地町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
25	七戸町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
26	六戸町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
27	横浜町	9.2m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
28	東北町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
29	六ヶ所村	10m	139.8φ 先行ボーリング(200φ)
30	おいらせ町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
32	東通村	9.5m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
35	三戸町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
36	五戸町	10m	139.8φ 先掘り使用(190.7φ)
37	田子町	10m	139.8φ 先行ボーリング(200φ)
40	新郷村	10m	139.8φ 特になし

3.3.2 各地点の試験データ

以下に青森県内 40 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。

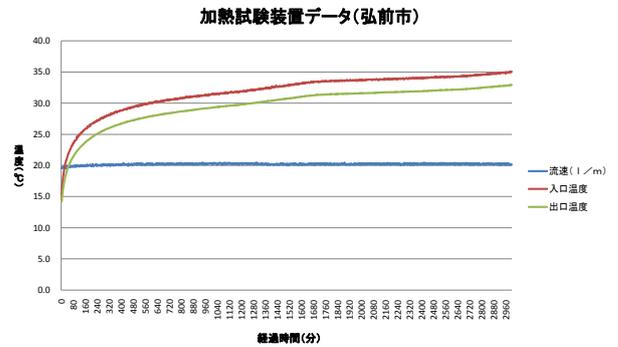
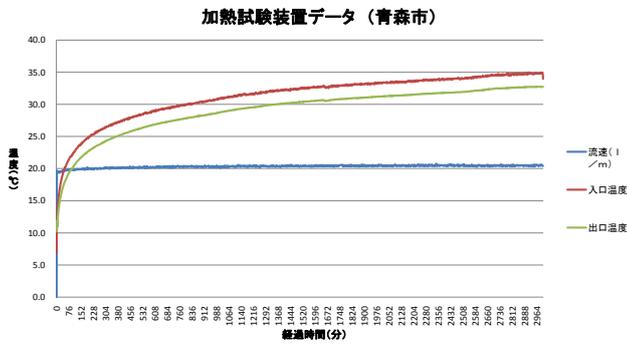
下段：加熱後の回復試験時の深さ毎の温度時間変化（10 分平均）を示す。なお、横軸はボーリング孔および鋼管杭の深度を表しており、0m が最深部を示している。図中の色の違いは、それぞれの回復時間毎のそれぞれの深度での温度を示している。

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。

なお、10m鋼管杭による試験を行った三戸町については、諸般の都合で、加熱時のみのデータとした。

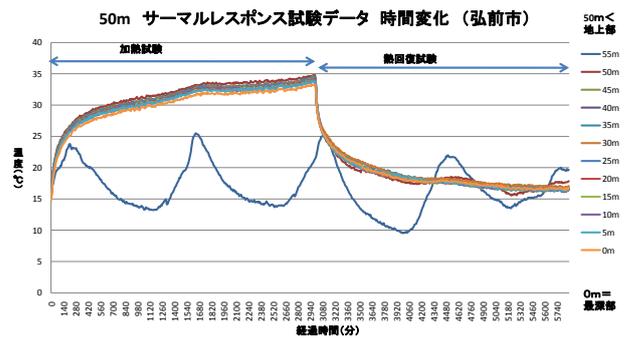
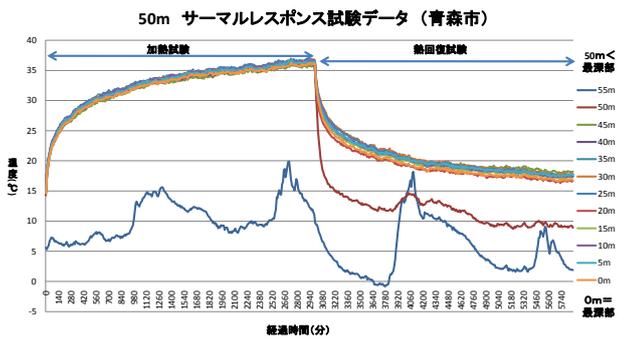
青森市

弘前市



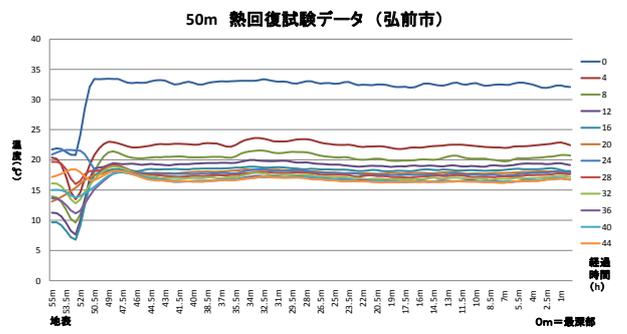
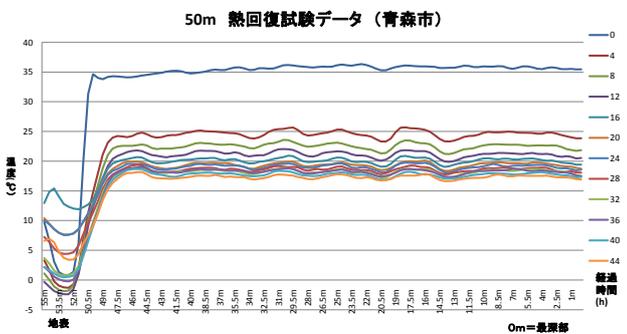
青森市

弘前市



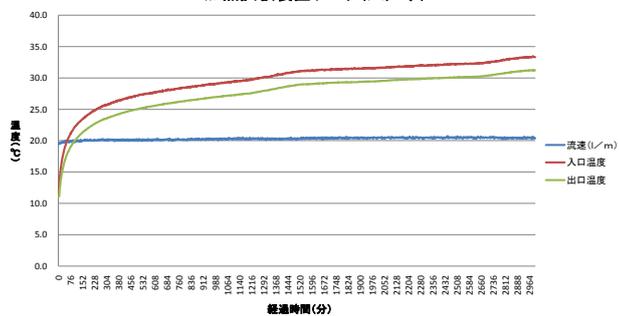
青森市

弘前市



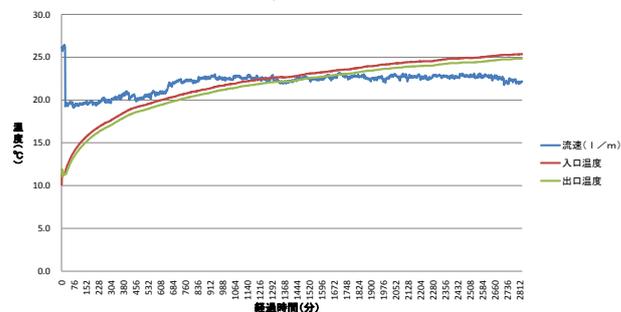
八戸市

加熱試験装置データ(八戸市)



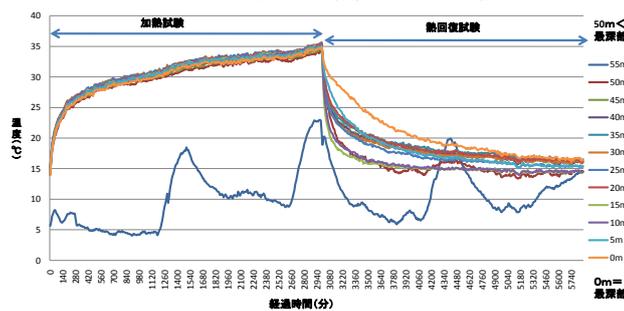
黒石市

加熱試験装置データ(黒石市)



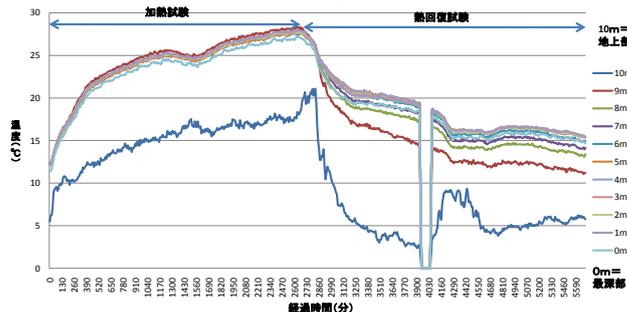
八戸市

50m サーマルレスポンス試験データ(八戸市)



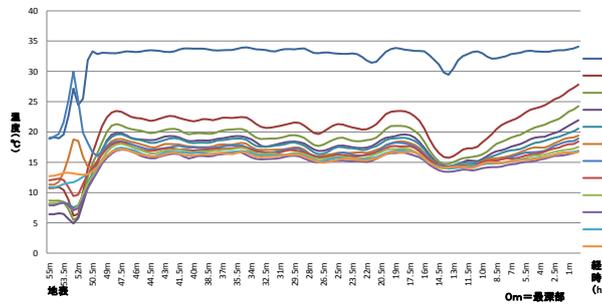
黒石市

10m サーマルレスポンス試験データ(黒石市)



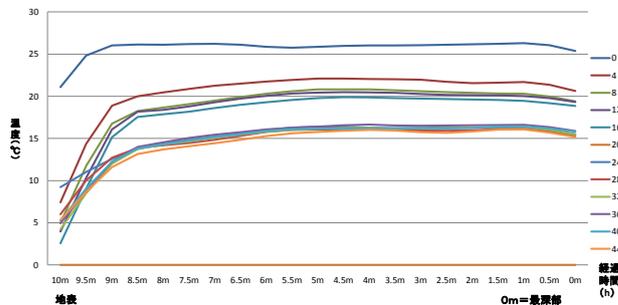
八戸市

50m 熱回復試験(八戸市)



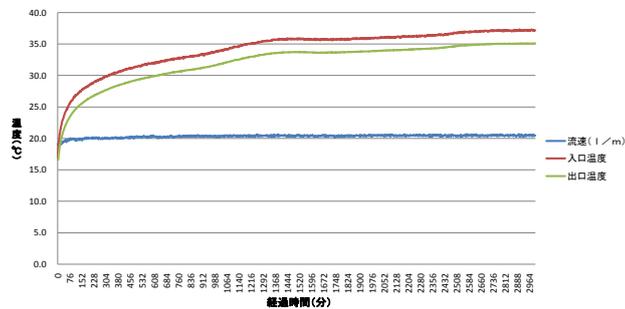
黒石市

10m 熱回復試験データ(黒石市)



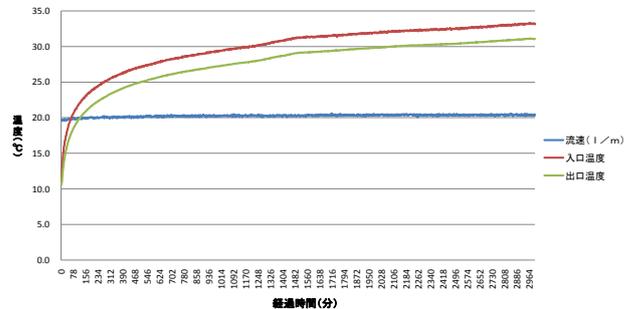
五所川原市

加熱試験装置データ (五所川原市)



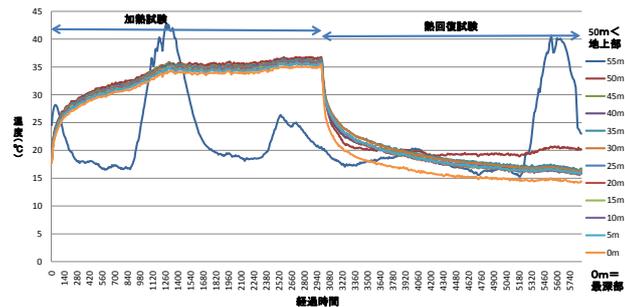
十和田市

加熱試験装置データ (十和田市)



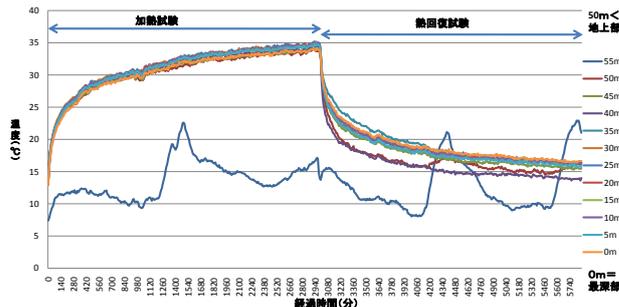
五所川原市

50m サーマレスポンス試験データ (五所川原市)



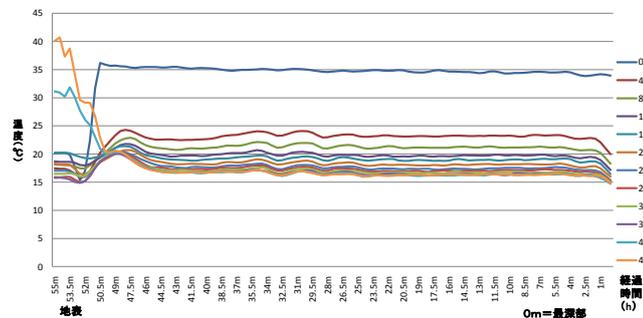
十和田市

50m サーマレスポンス試験データ (十和田市)



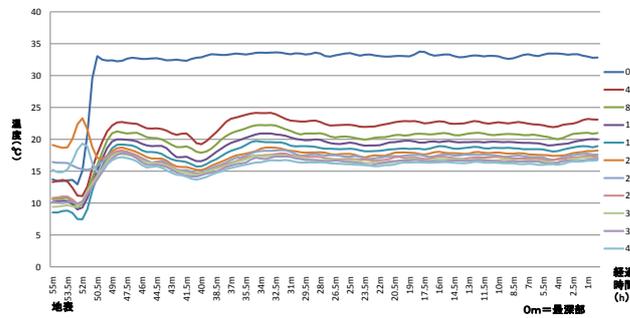
五所川原市

50m 熱回復試験データ (五所川原市)



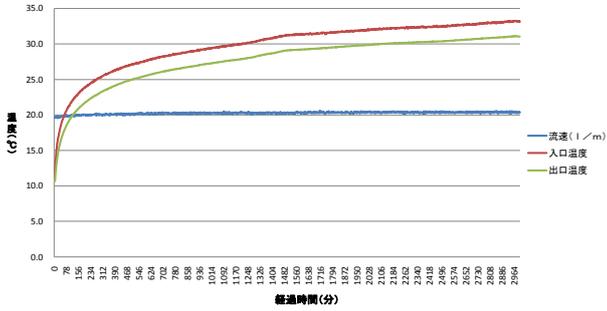
十和田市

50m 熱回復試験データ (十和田市)



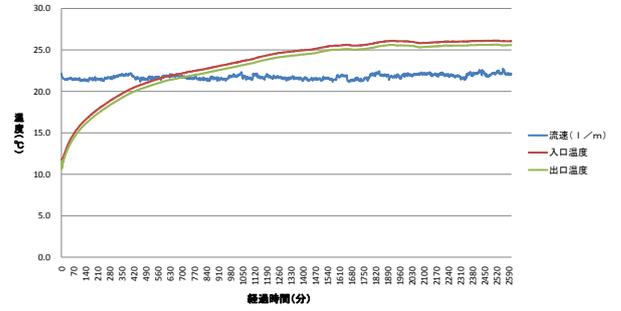
三沢市

加熱試験装置データ (三沢市)



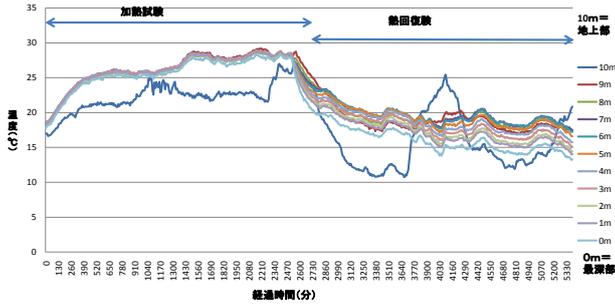
むつ市

加熱試験装置データ (むつ市)



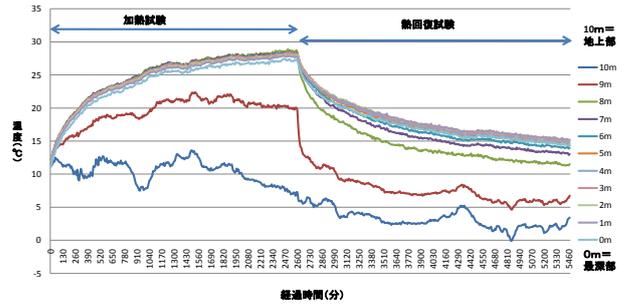
三沢市

10m サーマレスポンス試験データ (三沢市)



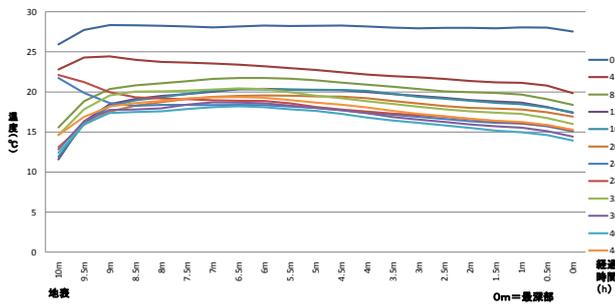
むつ市

10m サーマレスポンス試験データ (むつ市)



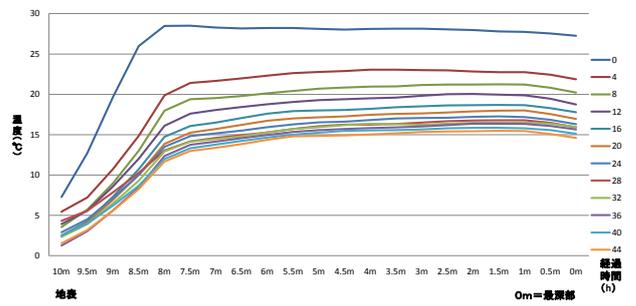
三沢市

10m 熱回復試験データ (三沢市)



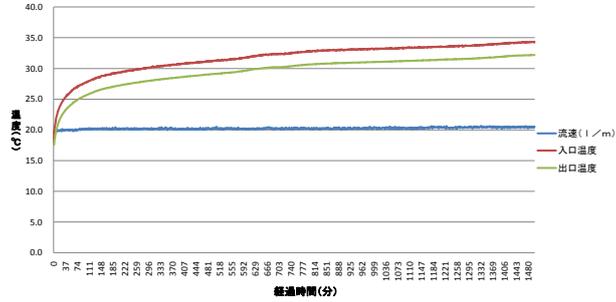
むつ市

10m 熱回復試験データ (むつ市)



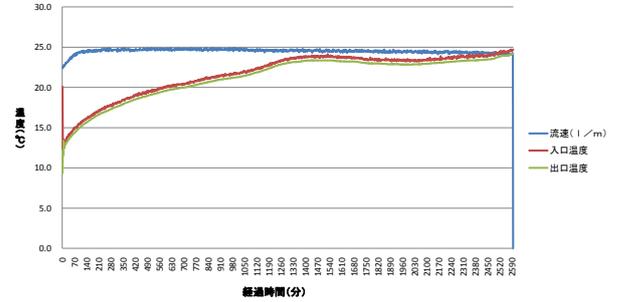
つがる市

加熱試験装置データ (つがる市)



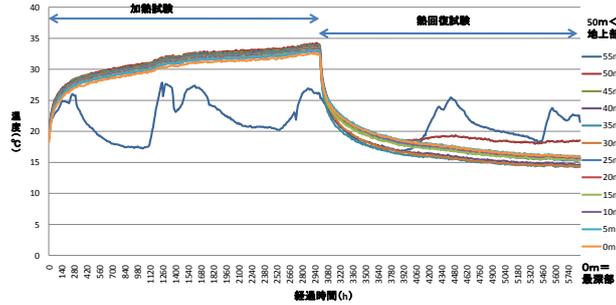
平川市

加熱試験装置データ (平川市)



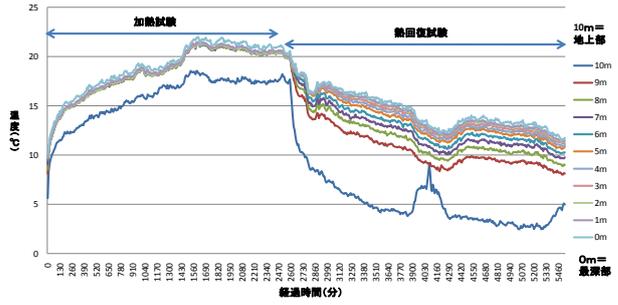
つがる市

50m サーマルレスポンス試験データ (つがる市)



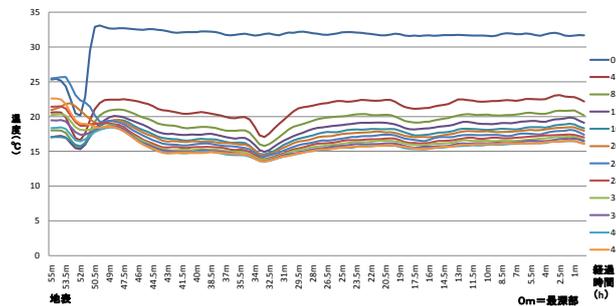
平川市

10m サーマルレスポンス試験データ (平川市)



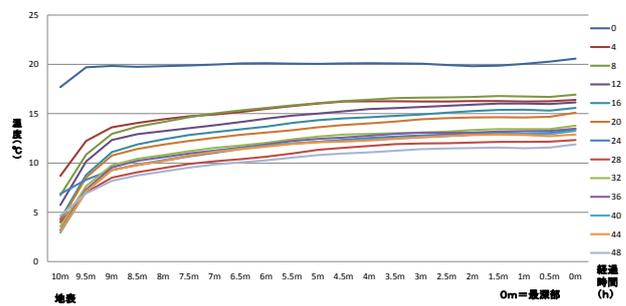
つがる市

50m 熱回復試験データ (つがる市)



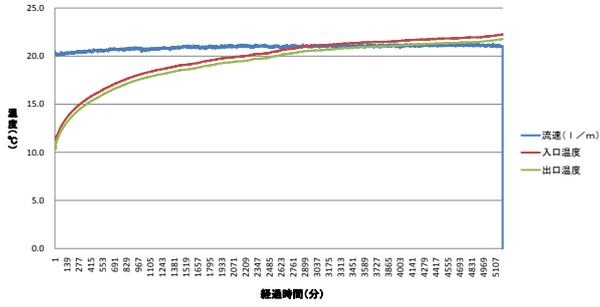
平川市

10m 熱回復試験データ (平川市)



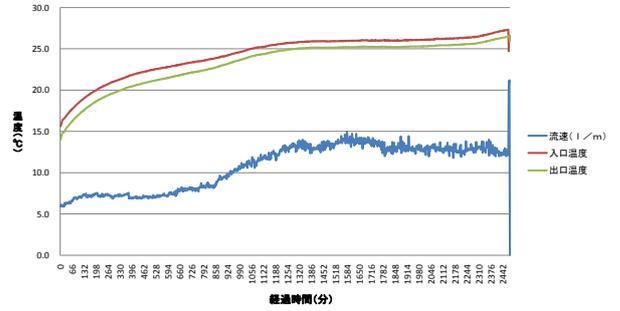
平内町

加熱試験装置データ(平内町)



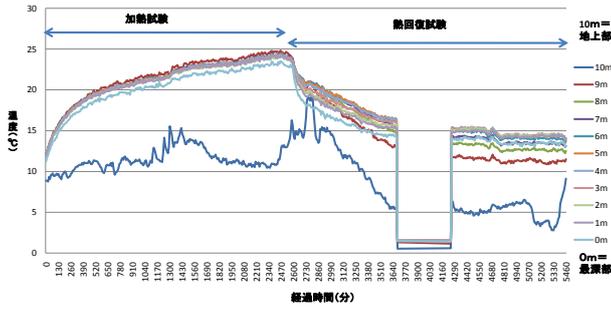
今別町

加熱試験装置データ(今別町)



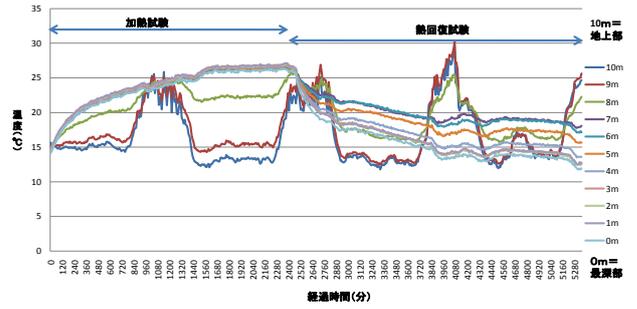
平内町

10m サーマルレスポンス試験データ(平内町)



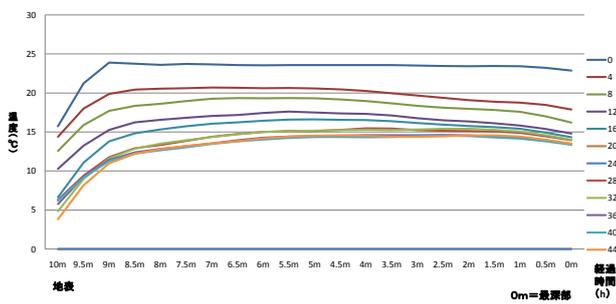
今別町

10m サーマルレスポンス試験データ(今別町)



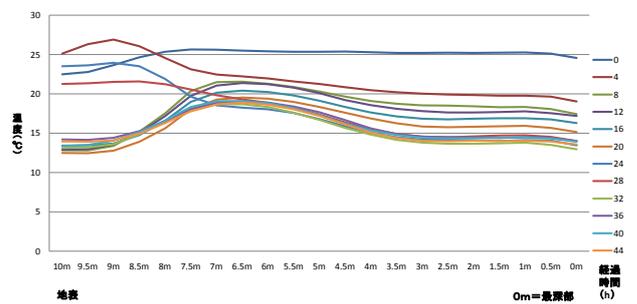
平内町

10m 熱回復試験データ(平内町)



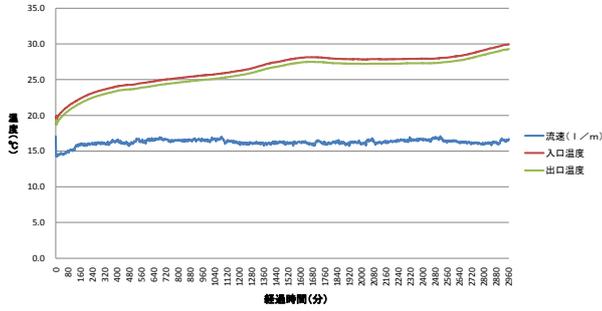
今別町

10m 熱回復試験データ(今別町)



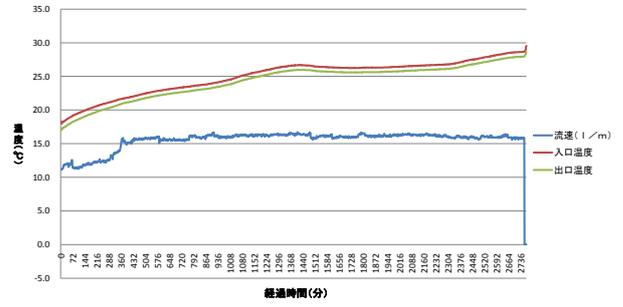
蓬田村

加熱試験装置データ(蓬田村)



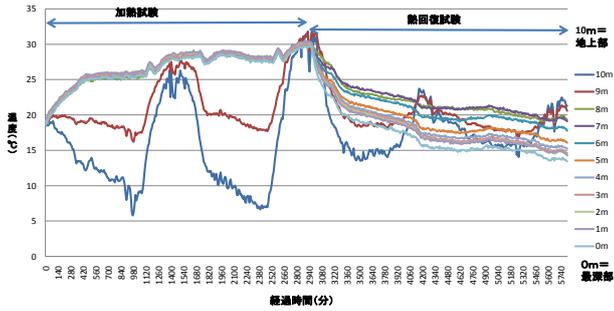
外ヶ浜町

加熱試験装置データ(外ヶ浜町)



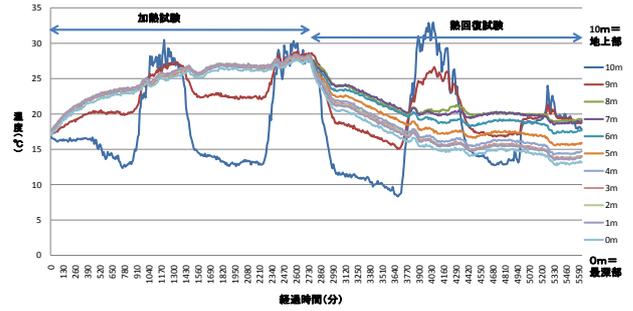
蓬田村

10m サーマレスポンス試験データ(蓬田村)



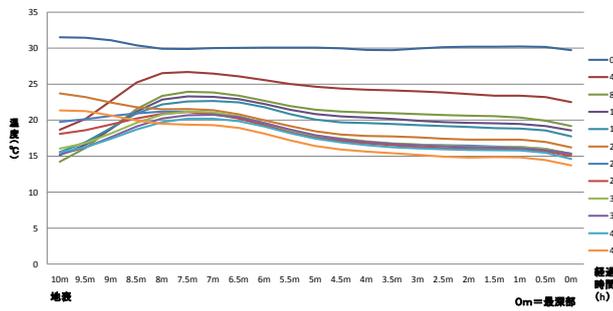
外ヶ浜町

10m サーマレスポンス試験データ(外ヶ浜町)



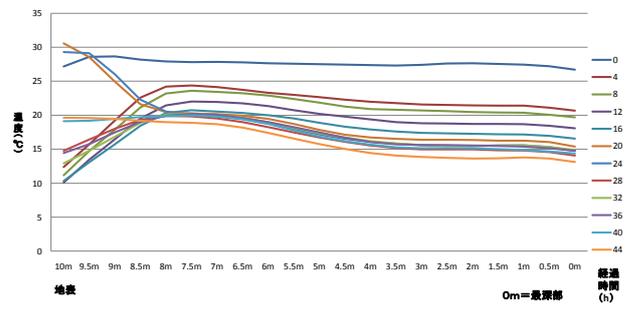
蓬田村

10m 熱回復試験データ(蓬田村)



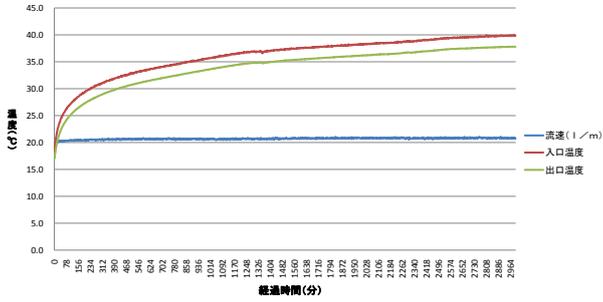
外ヶ浜町

10m 熱回復試験データ(外ヶ浜町)



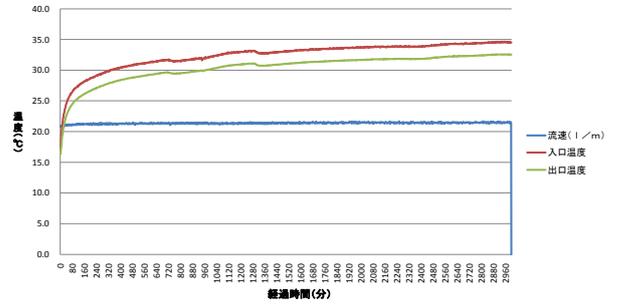
鯨ヶ沢町

加熱試験装置データ(鯨ヶ沢町)



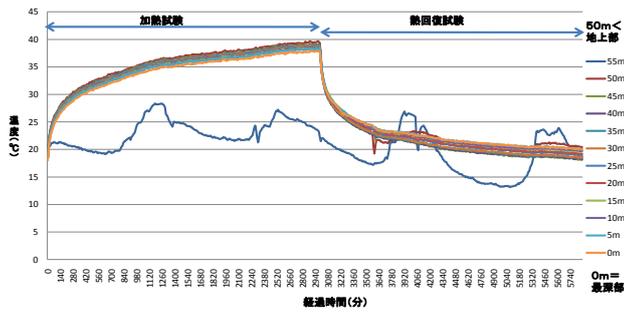
深浦町

加熱試験装置データ(深浦町)



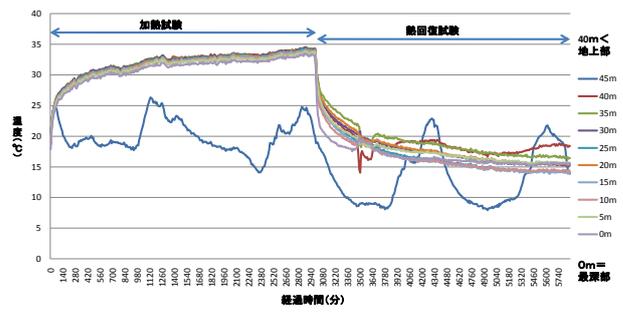
鯨ヶ沢町

50m サーマルレスポンス試験データ(鯨ヶ沢町)



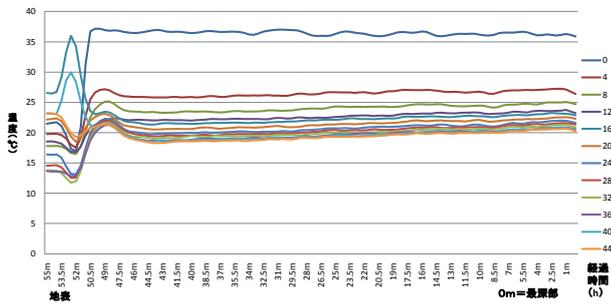
深浦町

40m 熱回復試験データ(深浦町)



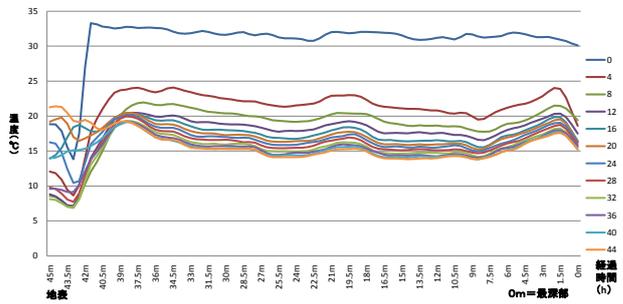
鯨ヶ沢町

50m 熱回復試験データ(鯨ヶ沢町)



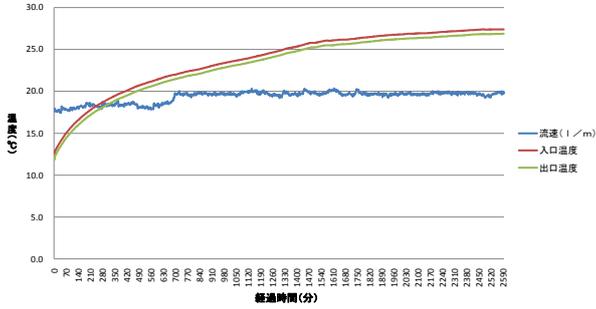
深浦町

40m 熱回復試験データ(深浦町)



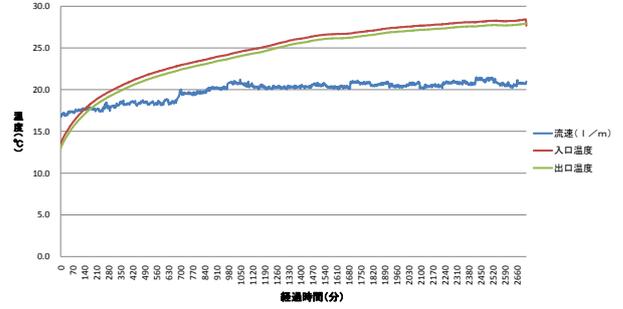
西目屋村

加熱試験装置データ (西目屋村)



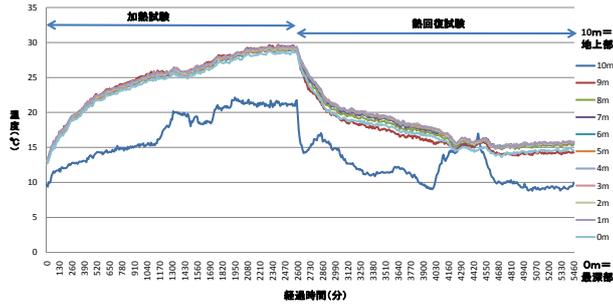
藤崎町

加熱試験装置データ (藤崎町)



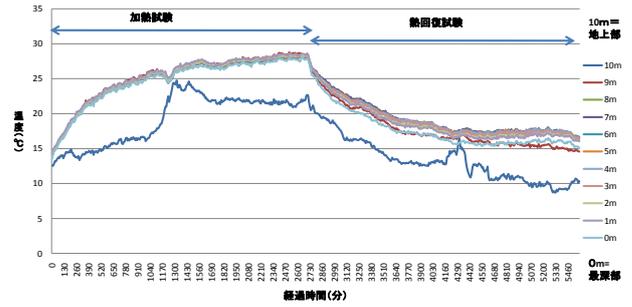
西目屋村

10m サーマルレスポンス試験データ (西目屋村)



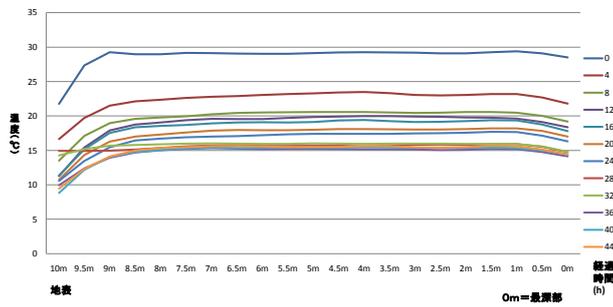
藤崎町

10m サーマルレスポンス試験データ (藤崎町)



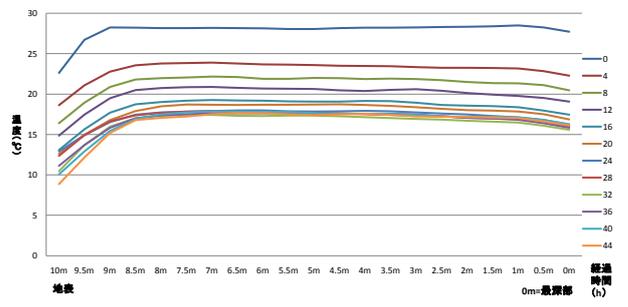
西目屋村

10m 熱回復試験データ (西目屋村)



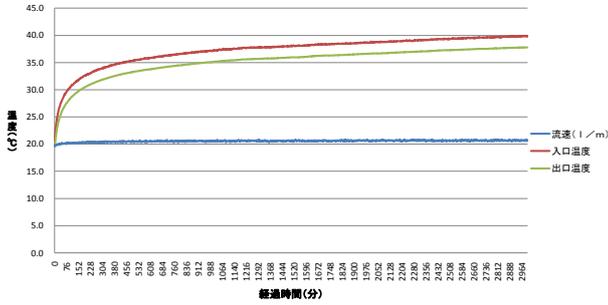
藤崎町

10m 熱回復試験データ (藤崎町)



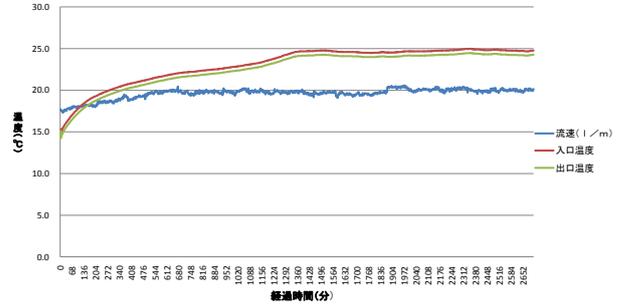
大鰐町

加熱試験装置データ (大鰐町)



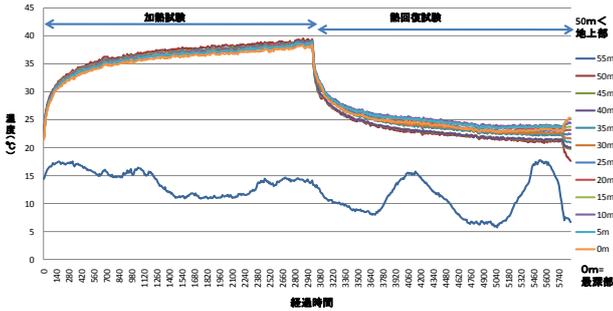
田舎館村

加熱試験装置データ (田舎館村)



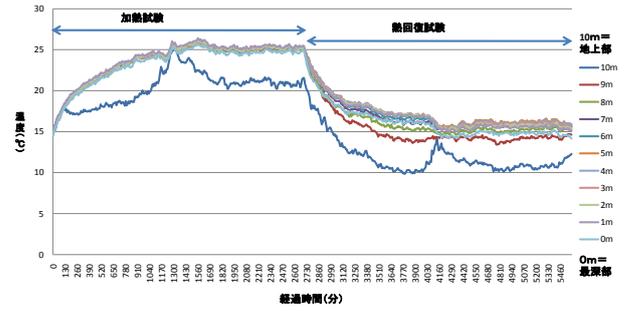
大鰐町

50m サーマルレスポンス試験データ(大鰐町)



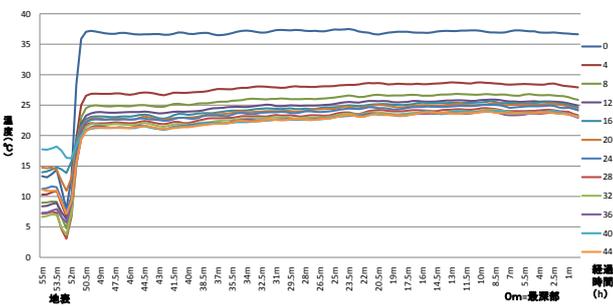
田舎館村

10m サーマルレスポンス試験データ (田舎館村)



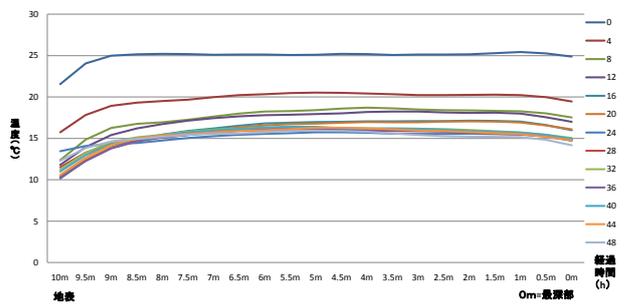
大鰐町

50m サーマルレスポンス試験データ (大鰐町)



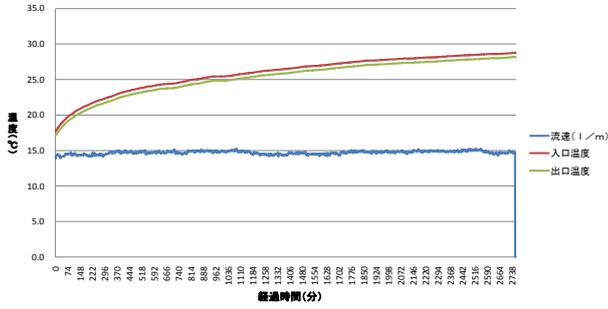
田舎館村

10m 熱回復試験データ (田舎館村)



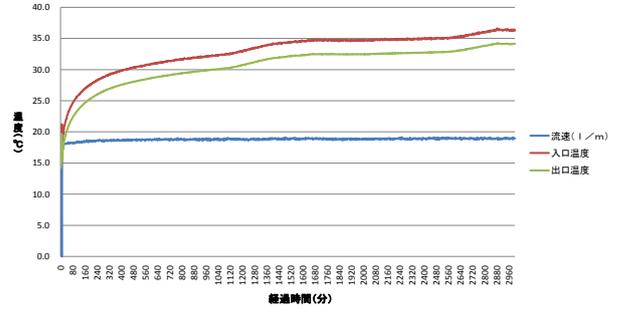
板柳町

加熱試験装置データ (板柳町)



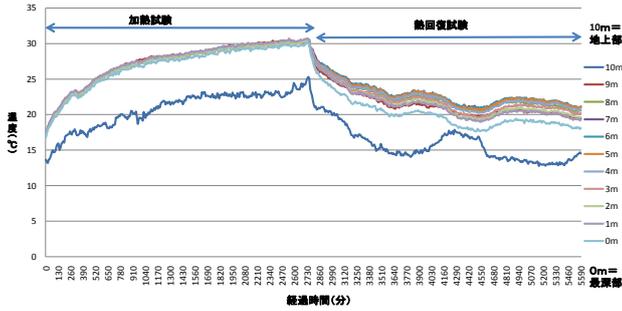
鶴田町

加熱試験装置データ (鶴田町)



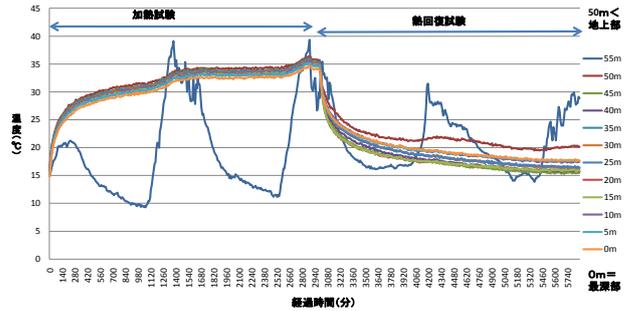
板柳町

10m サーマルレスポンス試験データ (板柳町)



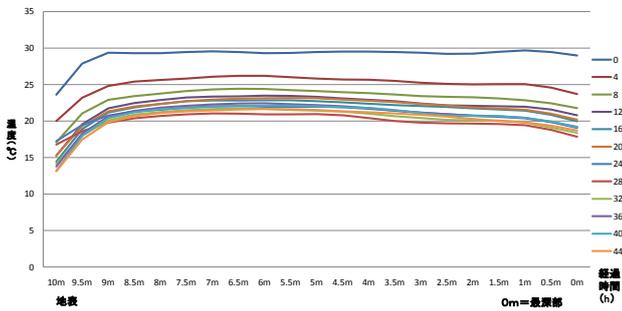
鶴田町

50m サーマルレスポンス試験データ (鶴田町)



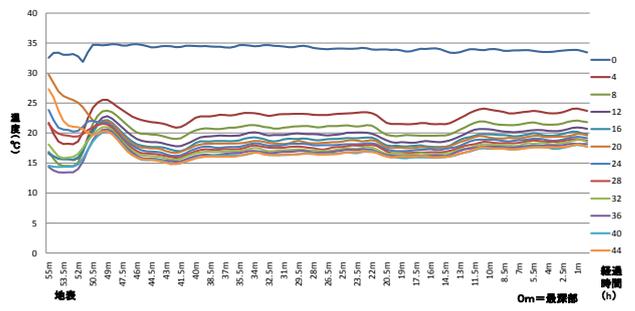
板柳町

10m 熱回復試験データ (板柳町)



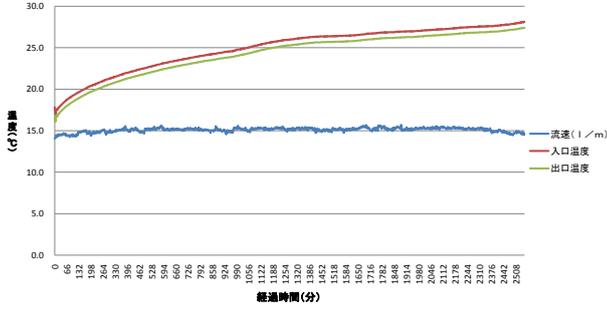
鶴田町

50m 熱回復試験データ (鶴田町)



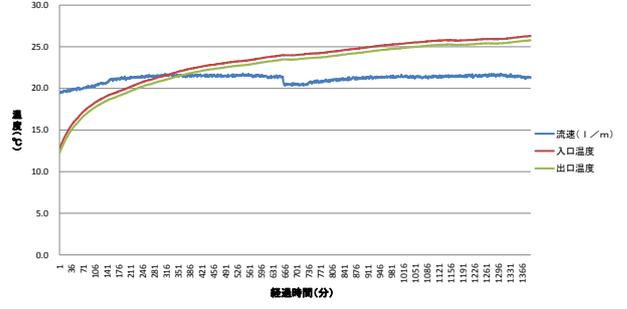
中泊町

加熱試験装置データ (中泊町)



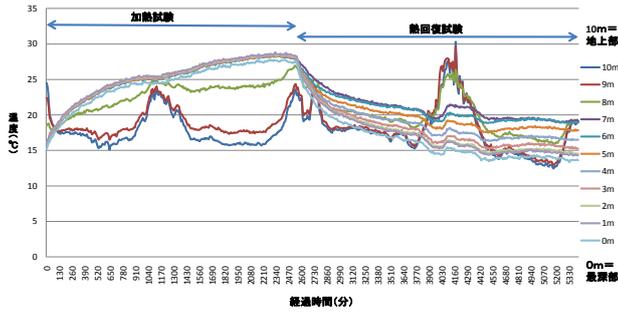
野辺地町

加熱試験装置データ (野辺地町)



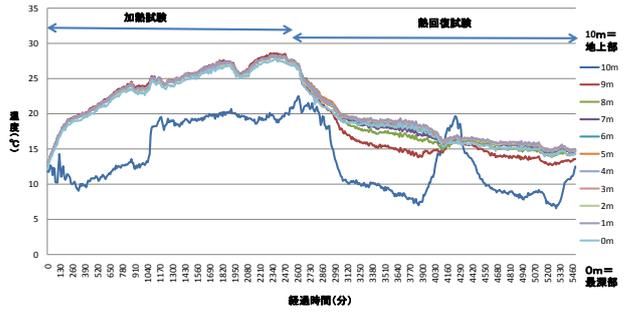
中泊町

10m サーマルレスポンス試験データ (中泊町)



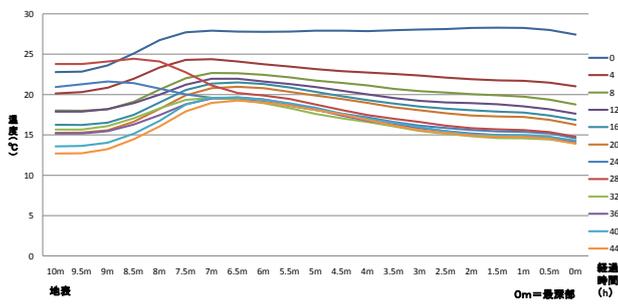
野辺地町

10m サーマルレスポンス試験データ (野辺地町)



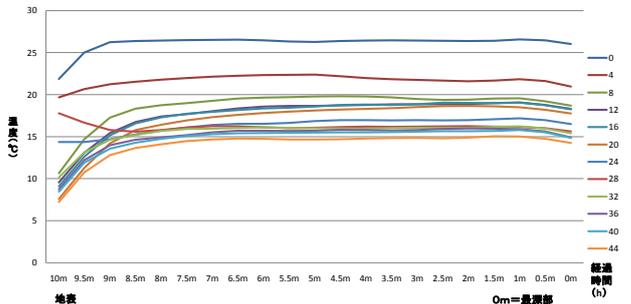
中泊町

10m サーマルレスポンス試験データ (中泊町)



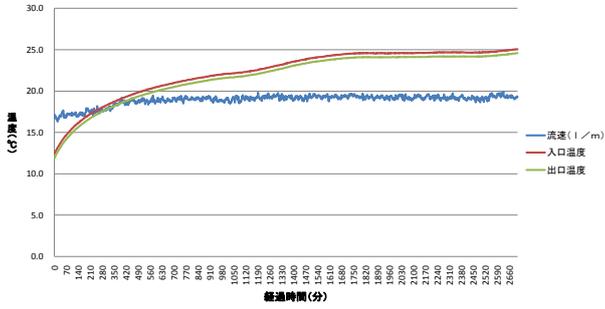
野辺地町

10m 熱回復試験 (野辺地町)



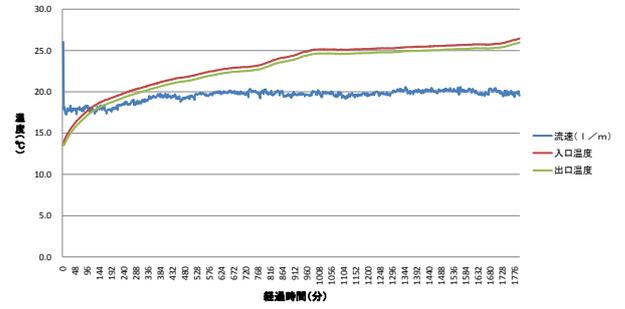
七戸町

加熱試験装置データ (七戸町)



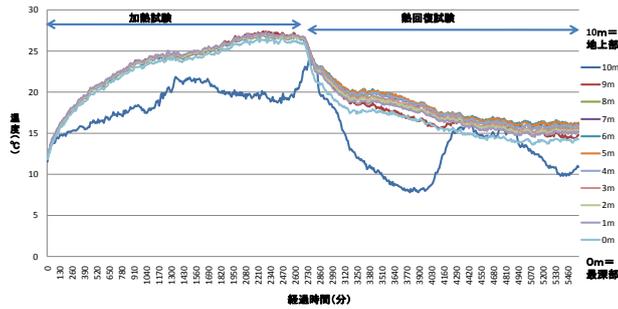
六戸町

加熱試験装置データ (六戸町)



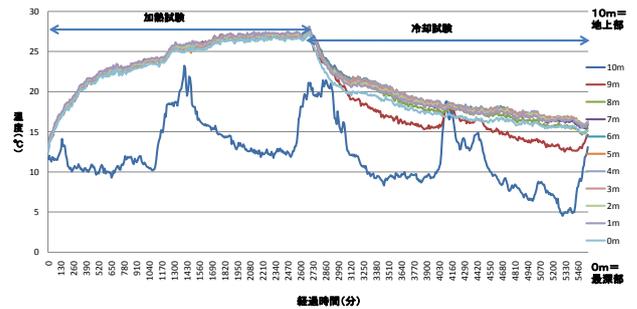
七戸町

10m サーマレスポンス試験データ(七戸町)



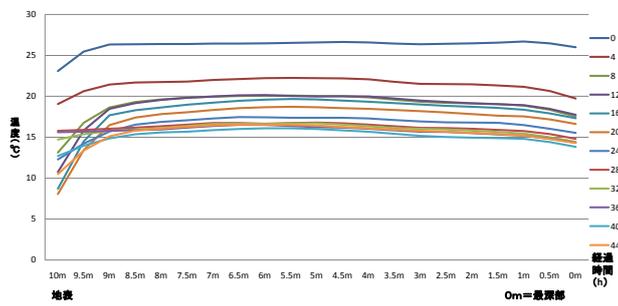
六戸町

10m サーマレスポンス試験データ(六戸町)



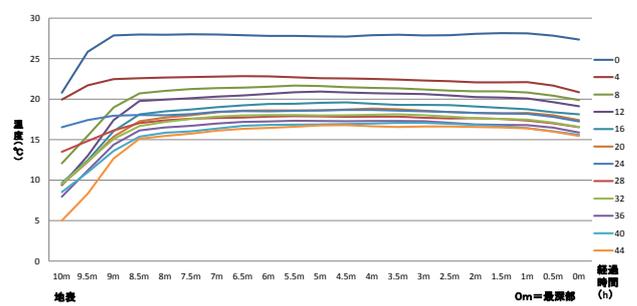
七戸町

10m 熱回復試験データ(七戸町)



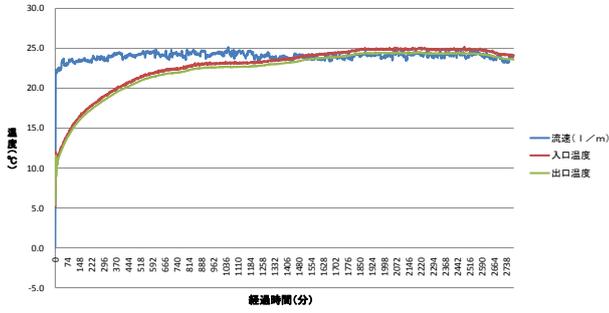
六戸町

10m 熱回復試験データ(六戸町)



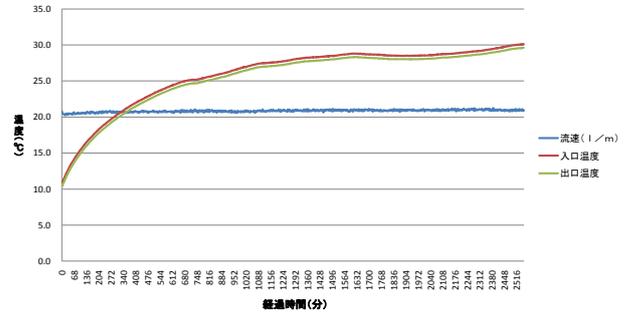
横浜町

加熱試験装置データ (横浜町)



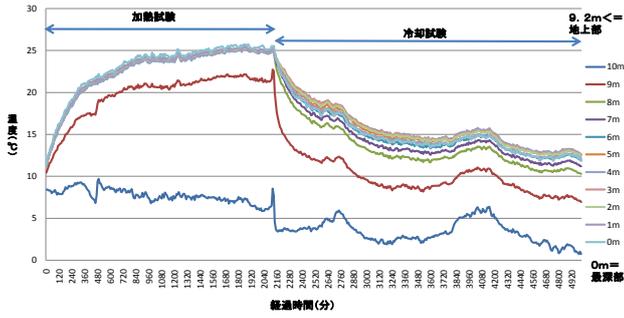
東北町

加熱試験装置データ (東北町)



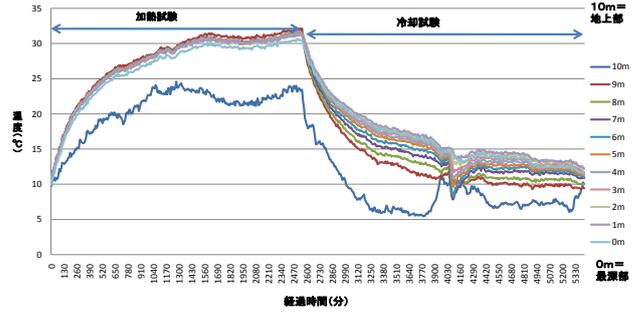
横浜町

10m サーマルレスポンス試験データ (横浜町)



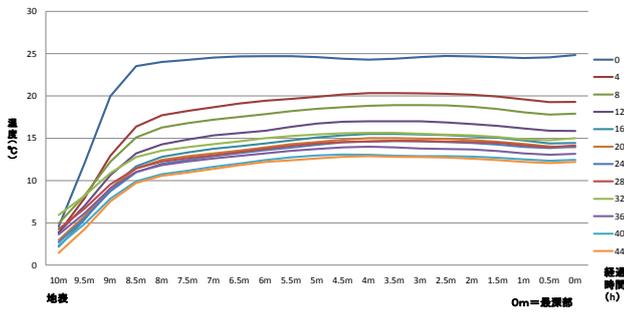
東北町

10m サーマルレスポンス試験データ (東北町)



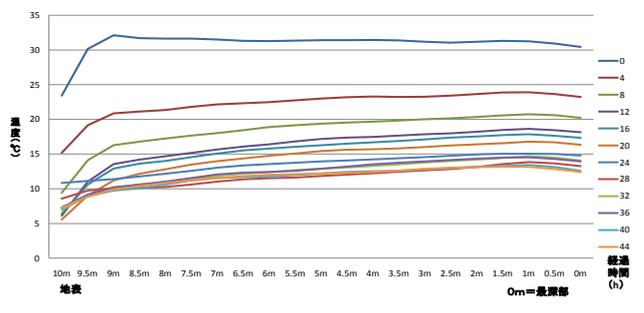
横浜町

10m 熱回復試験データ (横浜町)



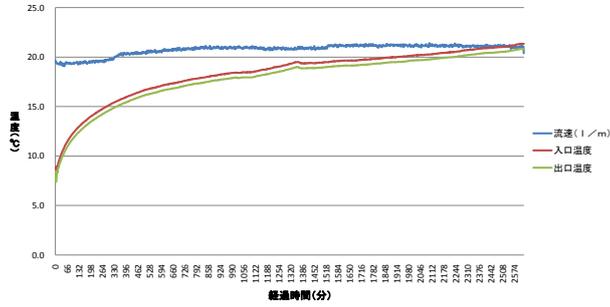
東北町

10m 熱回復試験データ (東北町)



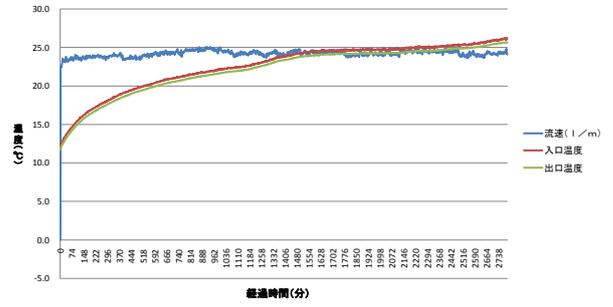
六ヶ所村

加熱試験装置データ (六ヶ所村)



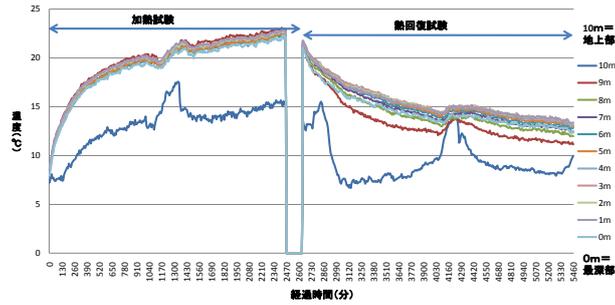
おいらせ町

加熱試験装置データ (おいらせ町)



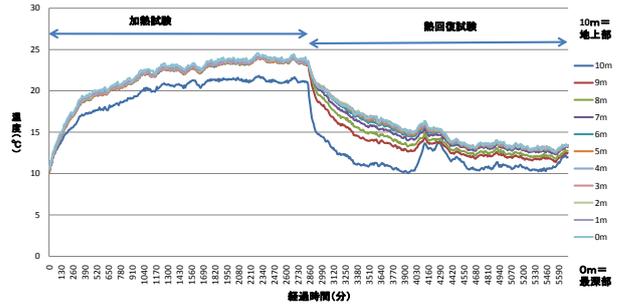
六ヶ所村

10m サーマルレスポンス試験データ (六ヶ所村)



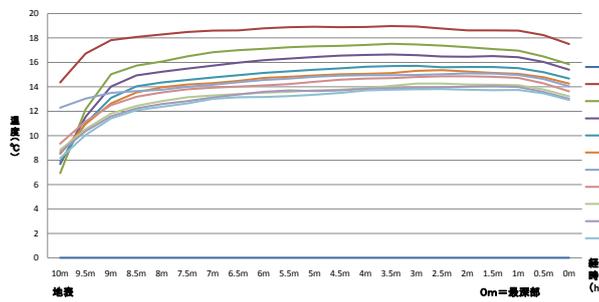
おいらせ町

10m サーマルレスポンス試験データ (おいらせ町)



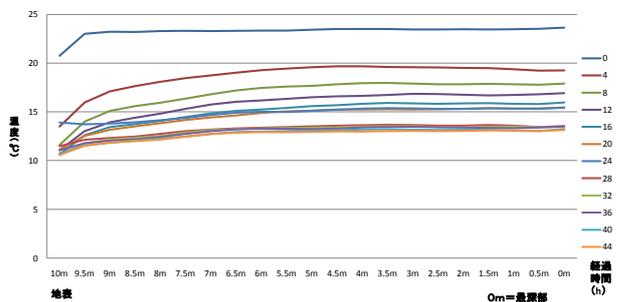
六ヶ所村

10m 熱回復試験データ (六ヶ所村)



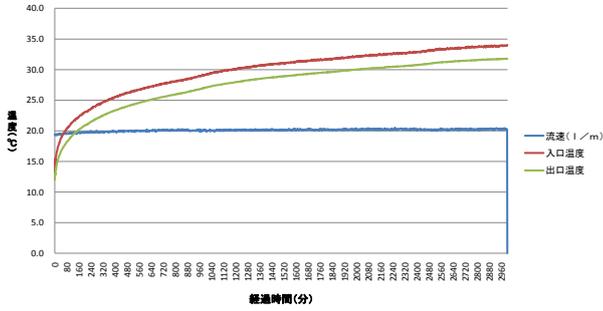
おいらせ町

10m 熱回復試験データ (おいらせ町)



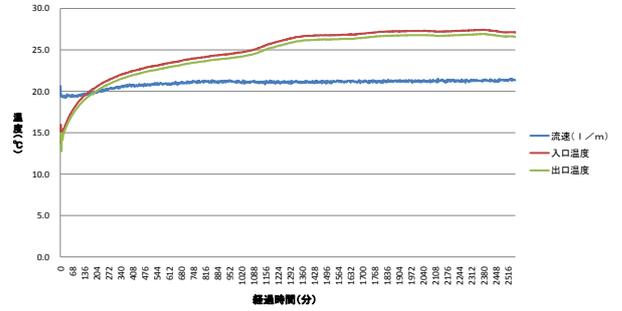
大間町

加熱試験装置データ (大間町)



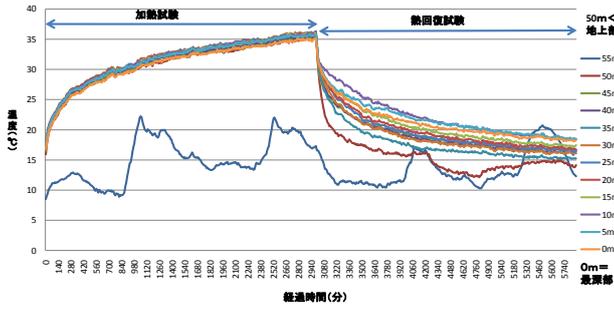
東通村

加熱試験装置データ (東通村)



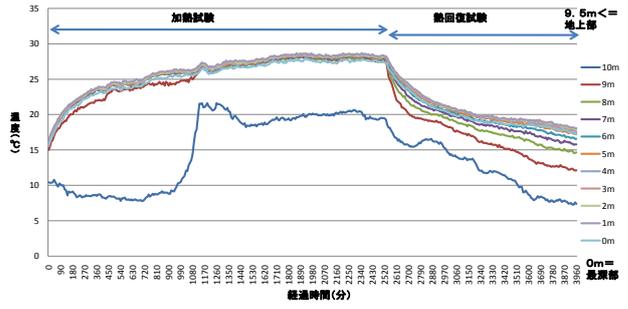
大間町

50m サーマルレスポンス試験データ (大間町)



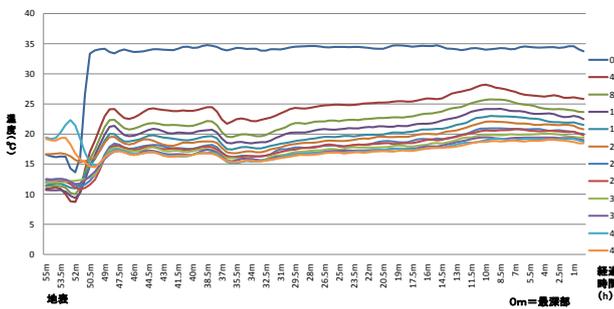
東通村

10m サーマルレスポンス試験データ (東通村)



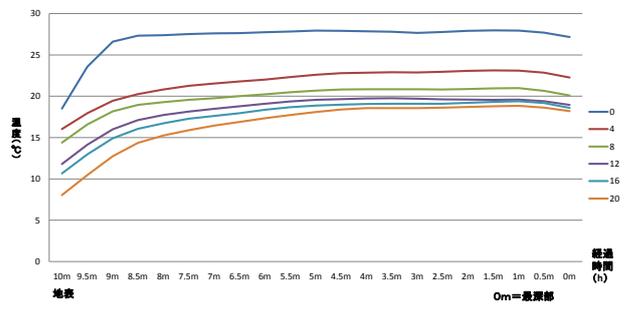
大間町

50m 熱回復試験データ (大間町)



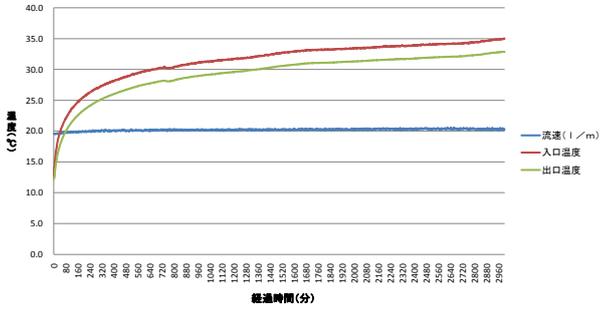
東通村

10m 熱回復試験データ (東通村)



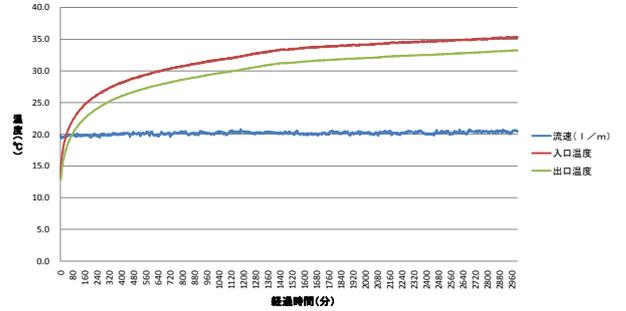
風間浦村

加熱試験装置データ (風間浦村)



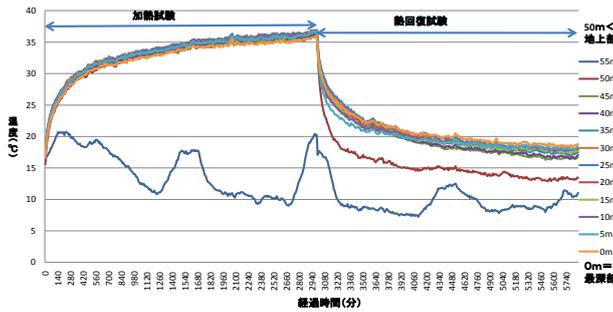
佐井村

加熱試験装置データ (佐井村)



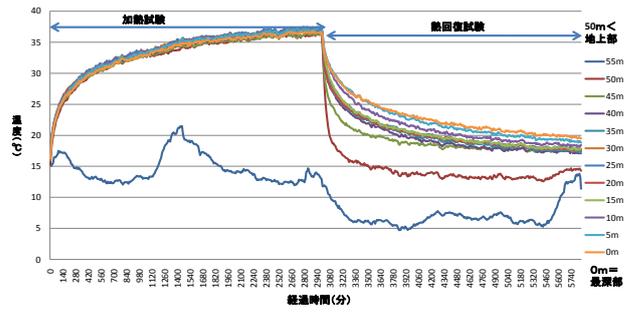
風間浦村

50m サーマルレスポンス試験データ(風間浦村)



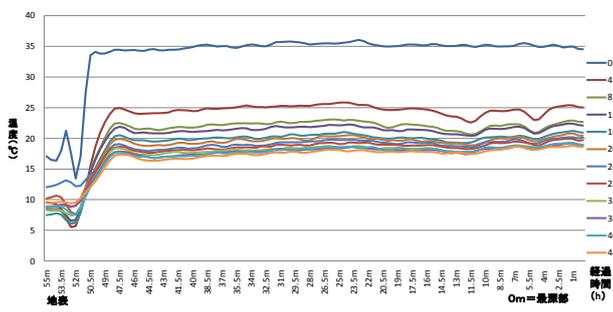
佐井村

50m サーマルレスポンス試験データ (佐井村)



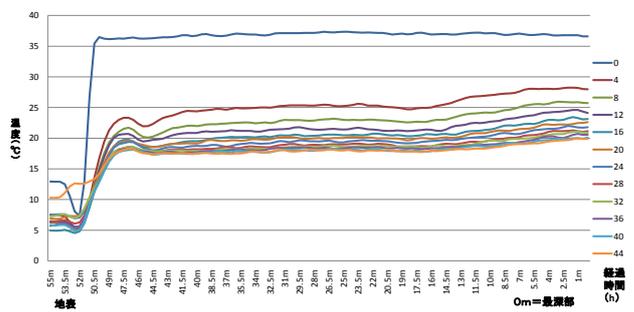
風間浦村

50m 熱回復試験データ (風間浦村)



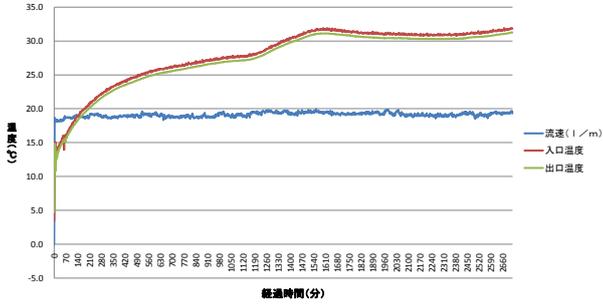
佐井村

50m 熱回復試験データ (佐井村)



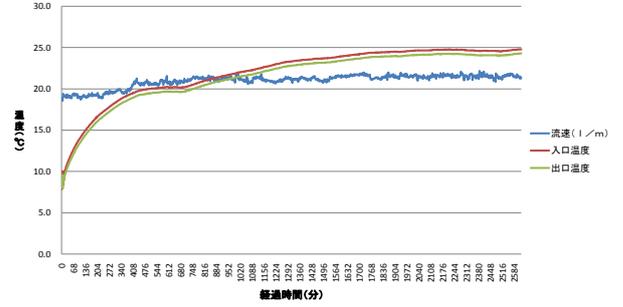
三戸町

加熱試験装置データ (三戸町)



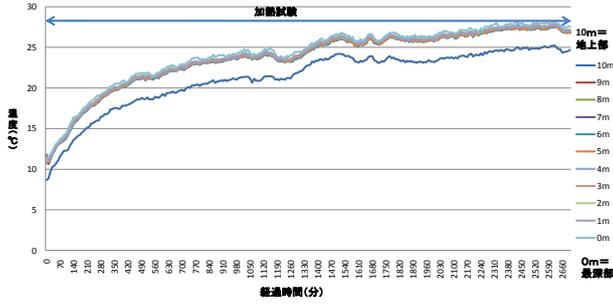
五戸町

加熱試験装置データ (五戸町)



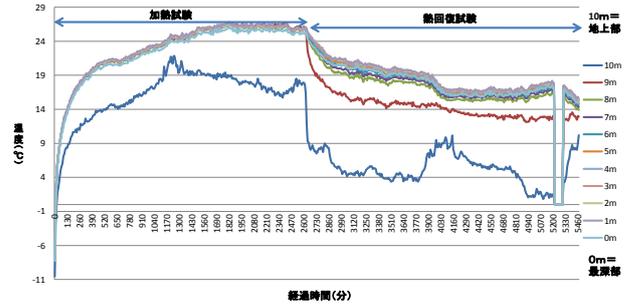
三戸町

10m サーマルレスポンス試験データ (三戸町)



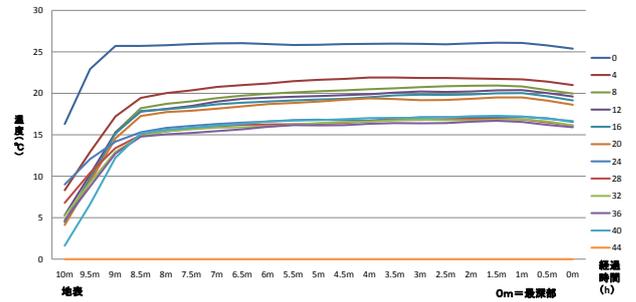
五戸町

10m サーマルレスポンス試験データ (五戸町)



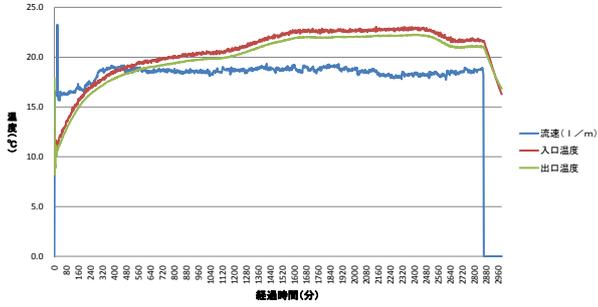
五戸町

10m 熱回復試験データ (五戸町)



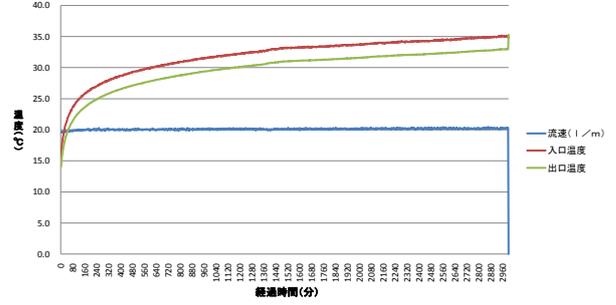
田子町

加熱試験装置データ (田子町)



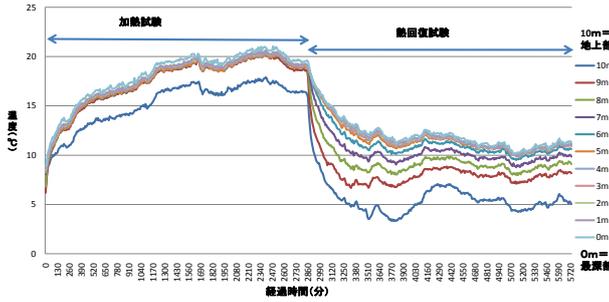
南部町

加熱試験装置データ (南部町)



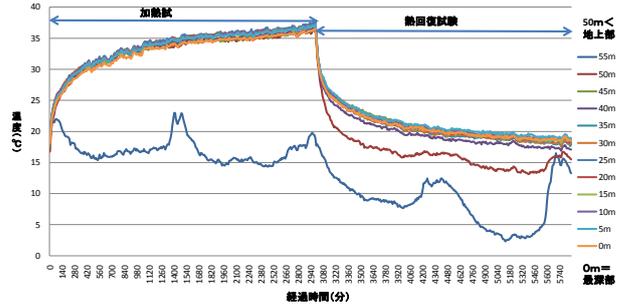
田子町

10m サーマルレスポンス試験データ (田子町)



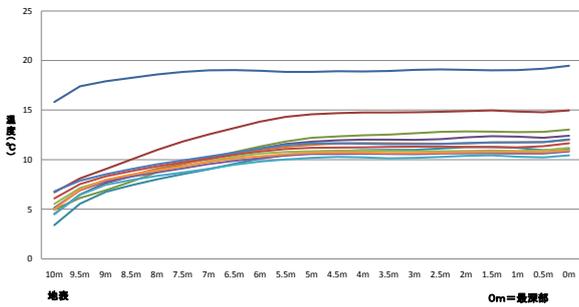
南部町

50m サーマルレスポンス試験データ (南部町)



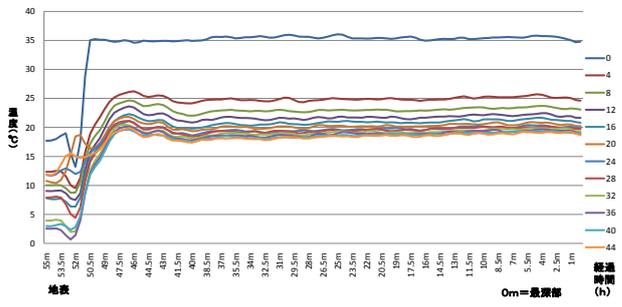
田子町

10m 熱回復試験データ (田子町)



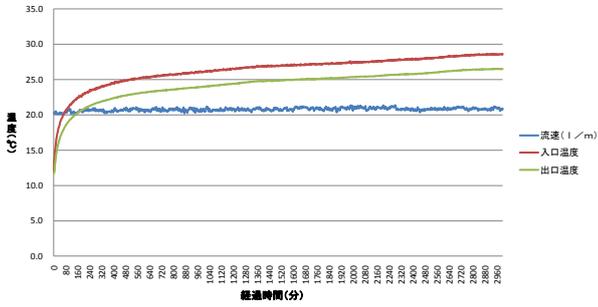
南部町

50m 熱回復試験データ (南部町)



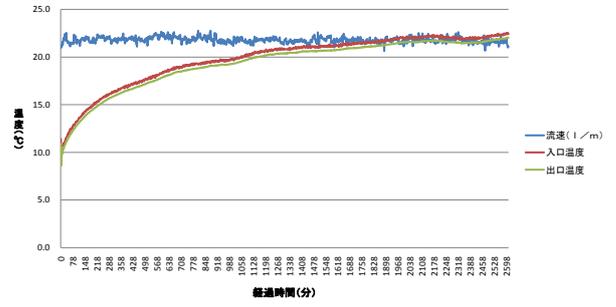
階上町

加熱試験装置データ (階上町)



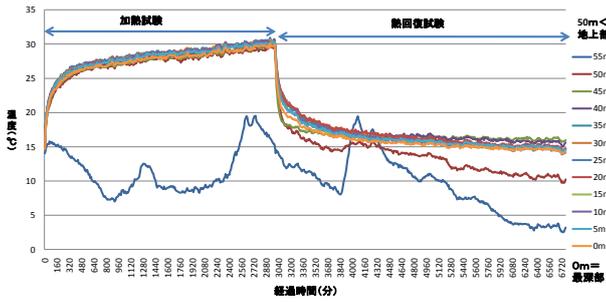
新郷村

加熱試験装置データ (新郷村)



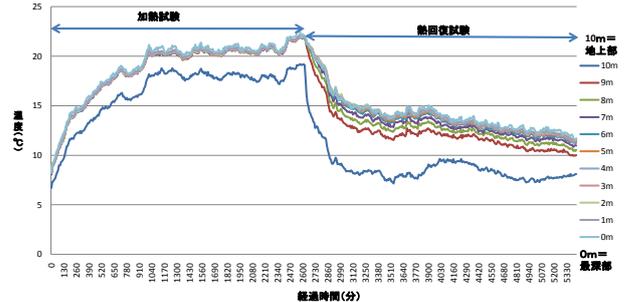
階上町

50m サーマルレスポンス試験データ (階上町)



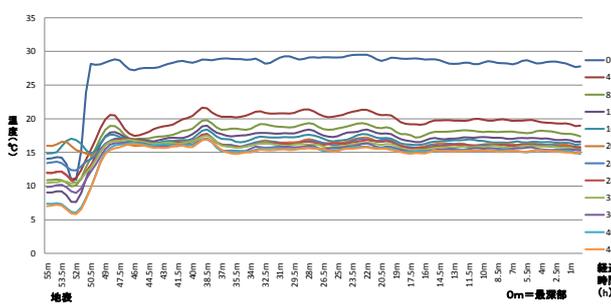
新郷村

10m サーマルレスポンス試験データ (新郷村)



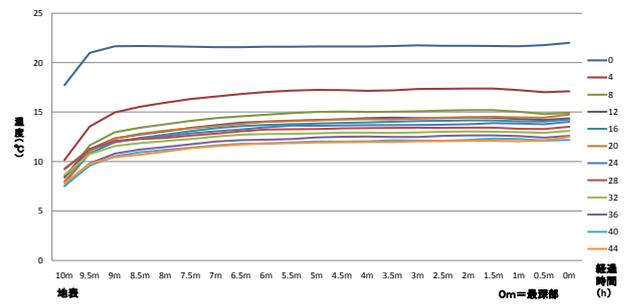
階上町

50m 熱回復試験データ (階上町)



新郷村

10m 熱回復試験データ (新郷村)



3.4 地中熱調査結果

3.4.1 はじめに

青森県における地中熱・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。

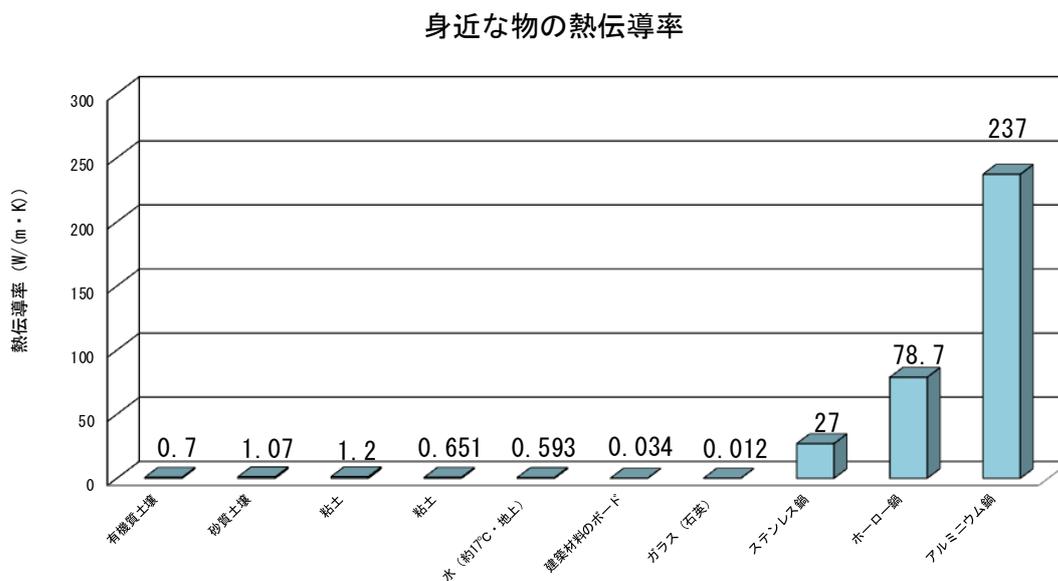


図 3. 4. 1. 1 身近な物の熱伝導率（新編熱物性ハンドブック，2008）

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）。

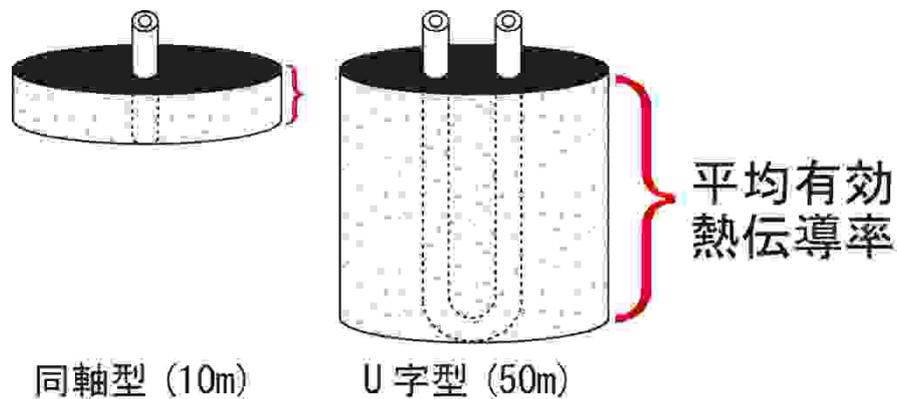


図 3.4.1.2 平均有効熱伝導率

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）。

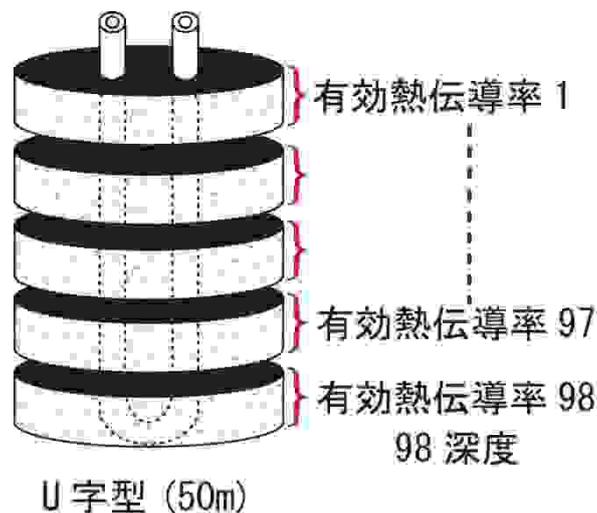


図 3.4.1.3 各層の有効熱伝導率

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 青森県 40 市町村における平均有効熱伝導率の解析結果

表 3.4.3.1 に青森県 40 市町村における平均有効熱伝導率の解析結果を示す。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 青森県 40 市町村における平均有効熱伝導率の解析結果

No.	地点	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 平均地中熱交換量 (W/m)	平均有効熱伝導率 (W/(m・K))
1	青森市	3.6255	8.3495	3.0	50	1	61.2	1.34
2	弘前市	3.0506	7.0255	3.0	50	1	61.2	1.59
3	八戸市	3.4275	7.8936	3.0	50	1	61.2	1.42
4	黒石市	3.5286	8.1264	0.82	10	1	91.1	2.05
5	五所川原市	3.1326	7.2144	3.0	50	1	61.2	1.55
6	十和田市	3.4473	7.9392	3.0	50	1	61.2	1.41
7	三沢市	2.6216	6.0375	0.76	10	1	84.4	2.56
8	むつ市	3.2309	7.4408	0.75	10	1	83.3	2.05
9	つがる市	2.5945	5.9751	3.0	50	1	61.2	1.88
10	平川市	2.6294	6.0555	0.82	10	1	91.1	2.75
11	平内町	2.5147	5.7914	0.71	10	1	78.9	2.49
12	今別町	2.9211	6.7273	0.71	10	1	78.9	2.15
13	蓬田村	2.8343	6.5274	0.72	10	1	80.0	2.24
14	外ヶ浜町	3.2611	7.5103	0.77	10	1	85.6	2.08
15	鯉ヶ沢町	3.9508	9.0987	3.0	50	1	61.2	1.23
16	深浦町	2.0783	4.7863	3.0	40	1	76.9	2.94
17	西目屋村	4.4394	10.2239	0.75	10	1	83.3	1.49
18	藤崎町	4.2783	9.8529	0.73	10	1	81.1	1.51
19	大鱈町	2.4160	5.5640	3.0	50	1	61.2	2.01
20	田舎館村	2.1903	5.0443	0.71	10	1	78.9	2.86
21	板柳町	3.2259	7.4292	0.63	10	1	70.0	1.72
22	鶴田町	3.2567	7.5002	2.9	50	1	59.2	1.44
23	中泊町	3.2891	7.5748	0.73	10	1	81.1	1.96
24	野辺地町	3.1354	7.2208	0.78	10	1	86.7	2.20
25	七戸町	3.1398	7.2310	0.65	10	1	72.2	1.83
26	六戸町	3.3318	7.6731	0.68	10	1	75.6	1.80
27	横浜町	4.1140	9.4745	0.81	9.2	1	98.8	1.91
28	東北町	4.9622	11.4279	0.72	10	1	80.0	1.28
29	六ヶ所村	2.7195	6.2630	0.74	10	1	82.2	2.40
30	おいらせ町	3.5576	8.1932	0.81	10	1	90.0	2.01
31	大間町	4.3297	9.9713	3.0	50	1	61.2	1.12
32	東通村	3.0624	7.0527	0.76	9.5	1	89.4	2.32
33	風間浦村	3.1887	7.3436	3.0	50	1	61.2	1.53
34	佐井村	3.4726	7.9974	3.0	50	1	61.2	1.40
35	三戸町	4.2785	9.8534	0.80	10	1	88.9	1.65
36	五戸町	3.5144	8.0937	0.78	10	1	86.7	1.96
37	田子町	2.8703	6.6103	0.81	10	1	90.0	2.49
38	南部町	3.1456	7.2443	3.0	50	1	61.2	1.55
39	階上町	2.0937	4.8218	3.0	50	1	61.2	2.32
40	新郷村	2.6796	6.1711	0.70	10	1	77.8	2.31

図 3.4.3.1 に青森県 40 市町村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青森県における地中熱・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。また、各地点における平均有効熱伝導率の算術平均値は $1.92\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ で、最大値は深浦町の $2.94\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、最小値は大間町の $1.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。

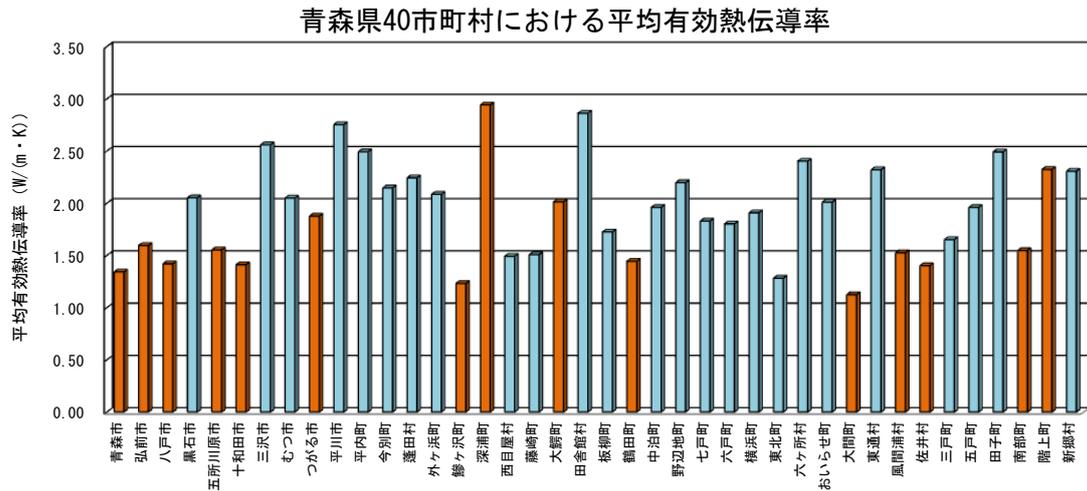


図 3.4.3.1 青森県 40 市町村の平均有効熱伝導率値の分布

(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))

3.4.4 各市町村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青森県の40市町村ごとのサーマルレスポンス試験結果を1市町村ごとに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図，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. 青森市

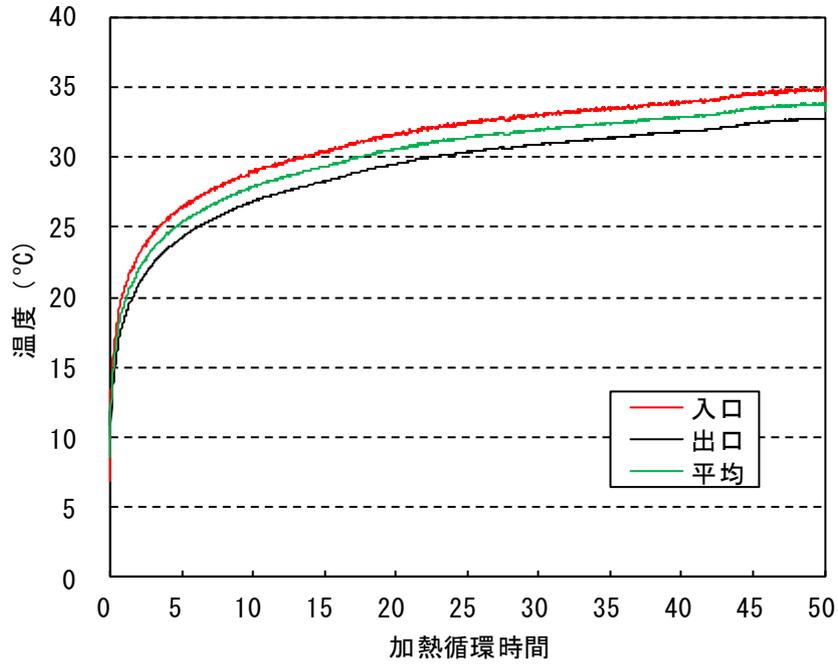


図 3.4.4.1.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

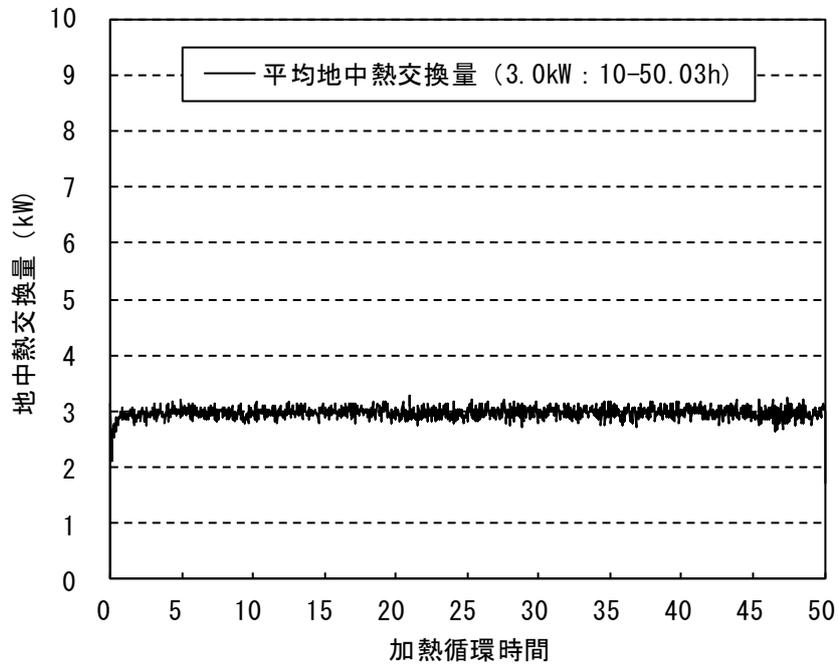


図 3.4.4.1.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

1. 青森市

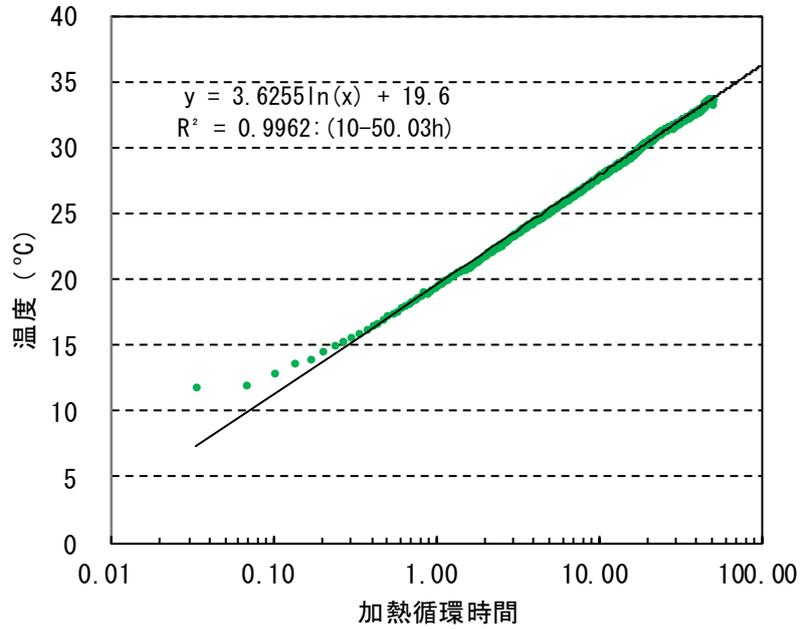


図 3. 4. 4. 1. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

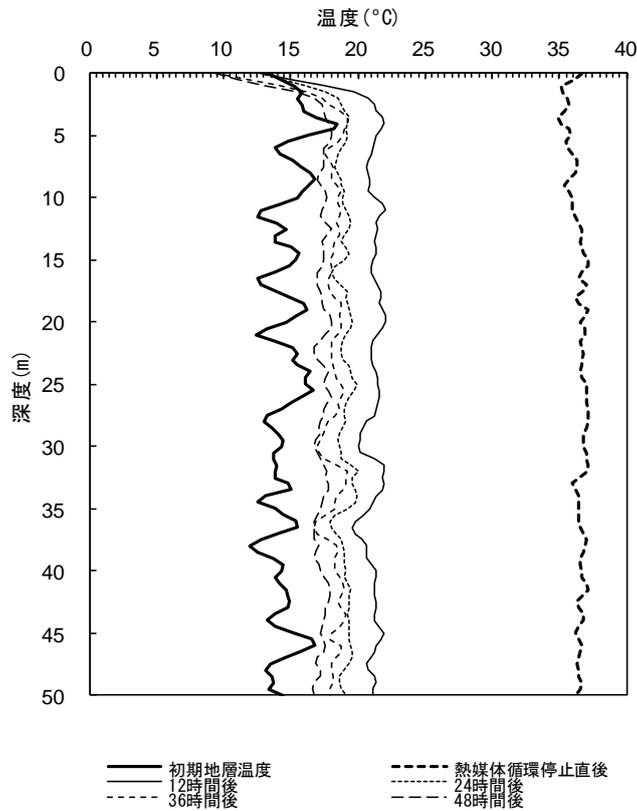


図 3. 4. 4. 1. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

2. 弘前市

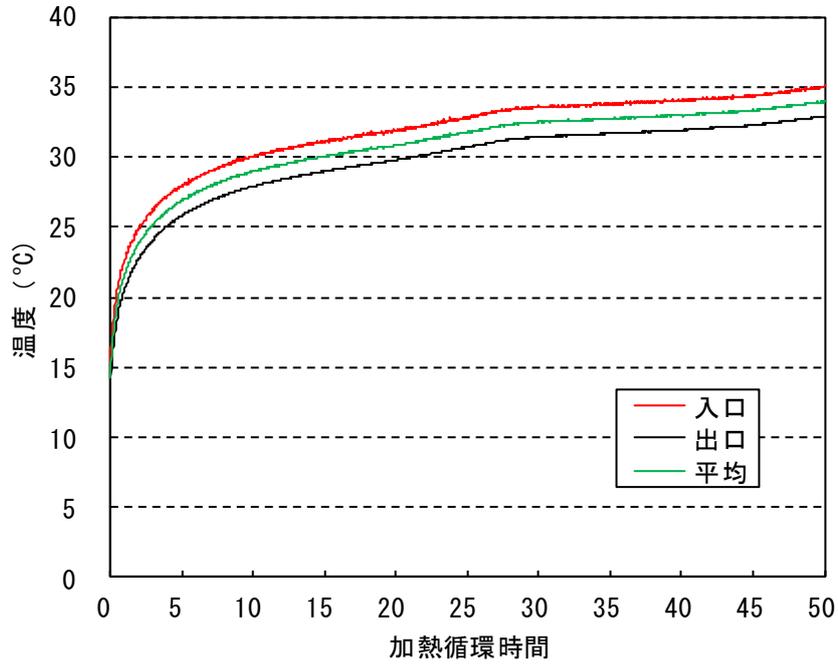


図 3.4.4.2.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

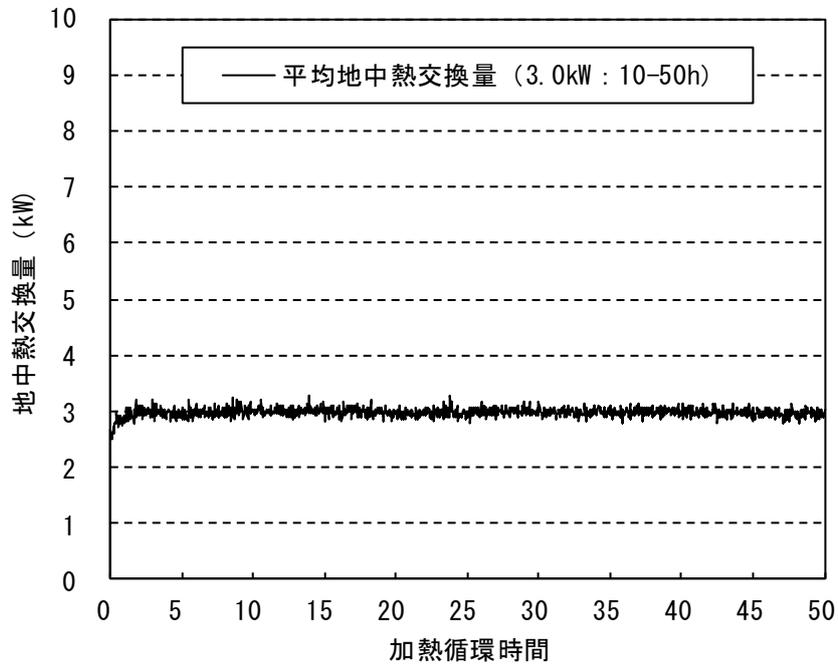


図 3.4.4.2.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

2. 弘前市

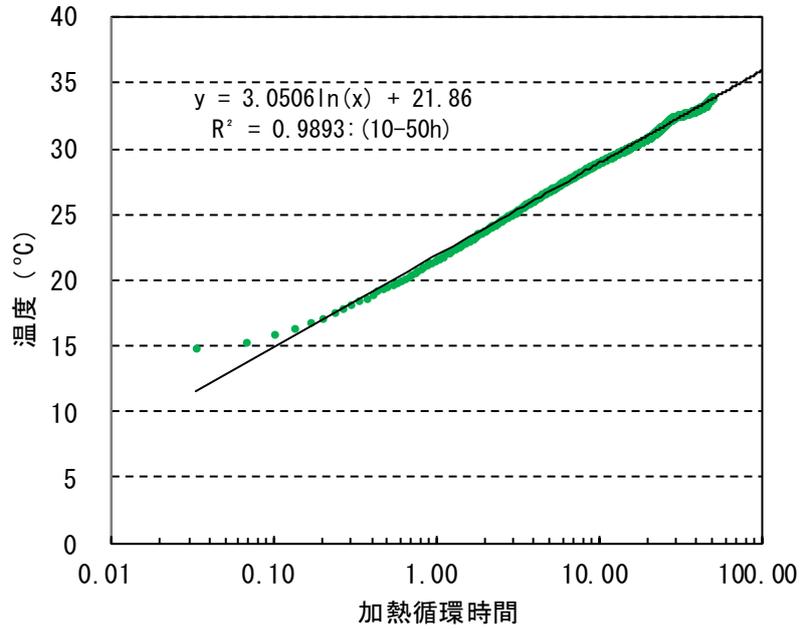


図 3. 4. 4. 2. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

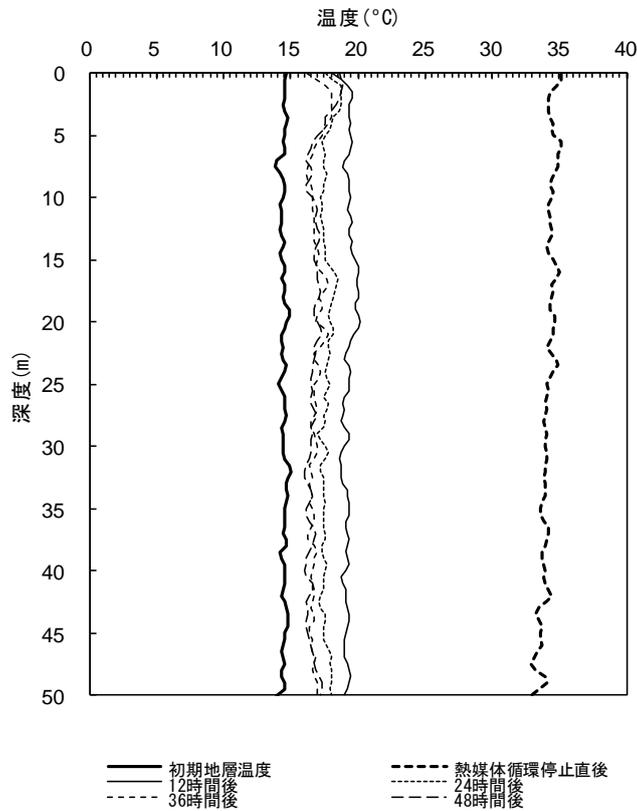


図 3. 4. 4. 2. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

3. 八戸市

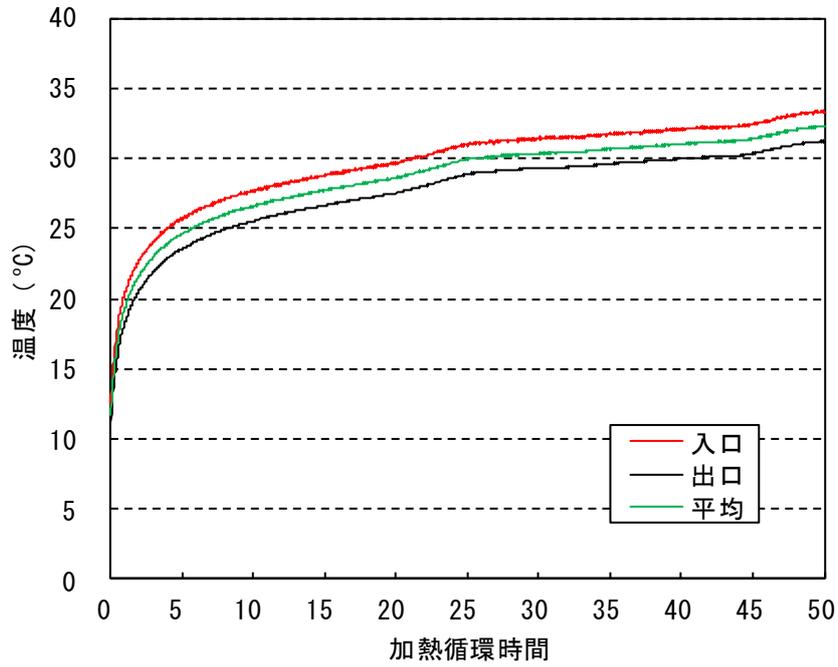


図 3.4.4.3.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

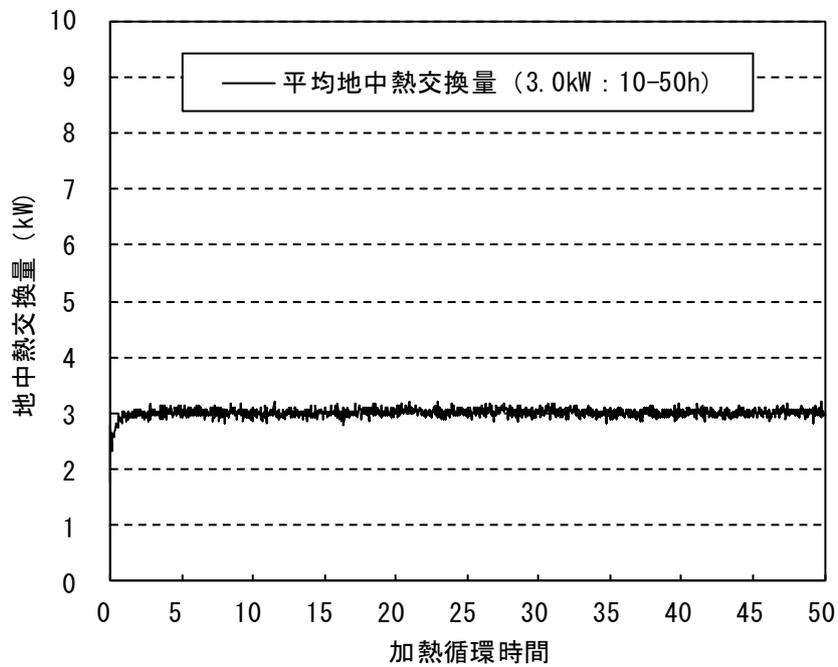


図 3.4.4.3.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

3. 八戸市

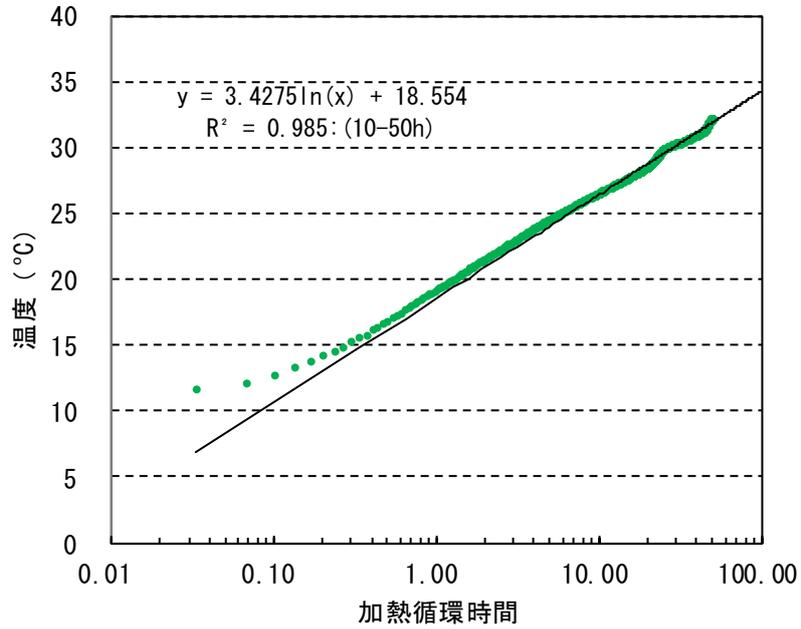


図 3. 4. 4. 3. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

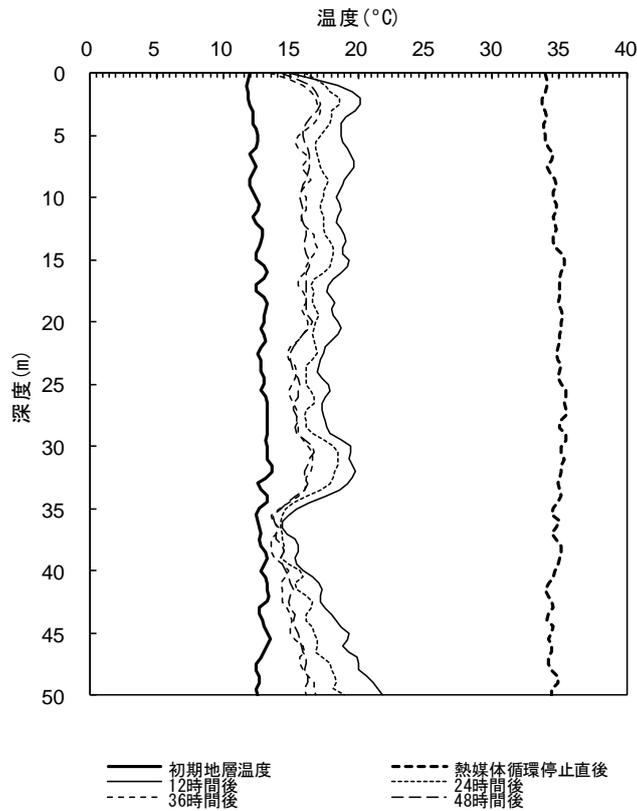


図 3. 4. 4. 3. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

4. 黒石市

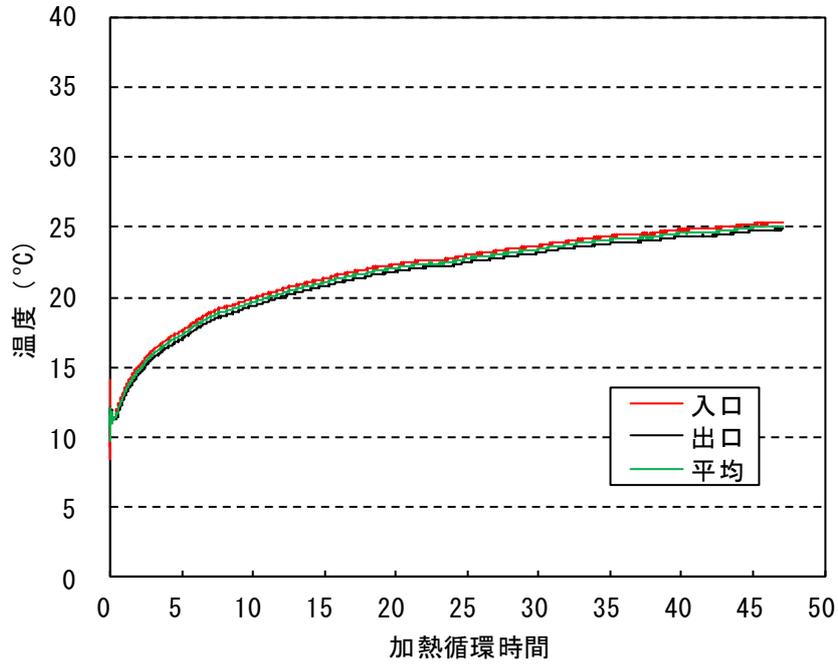


図 3.4.4.4.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

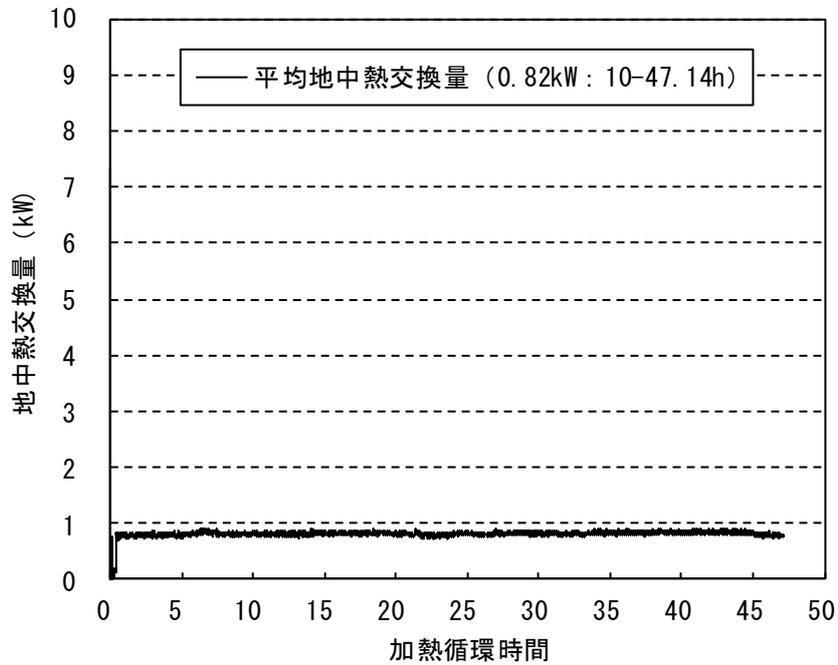


図 3.4.4.4.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

4. 黒石市

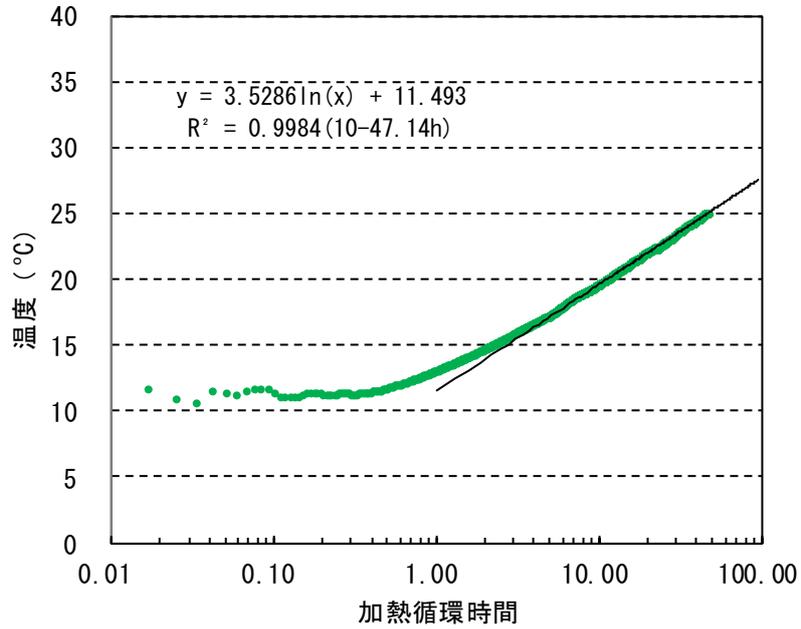


図 3. 4. 4. 4. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

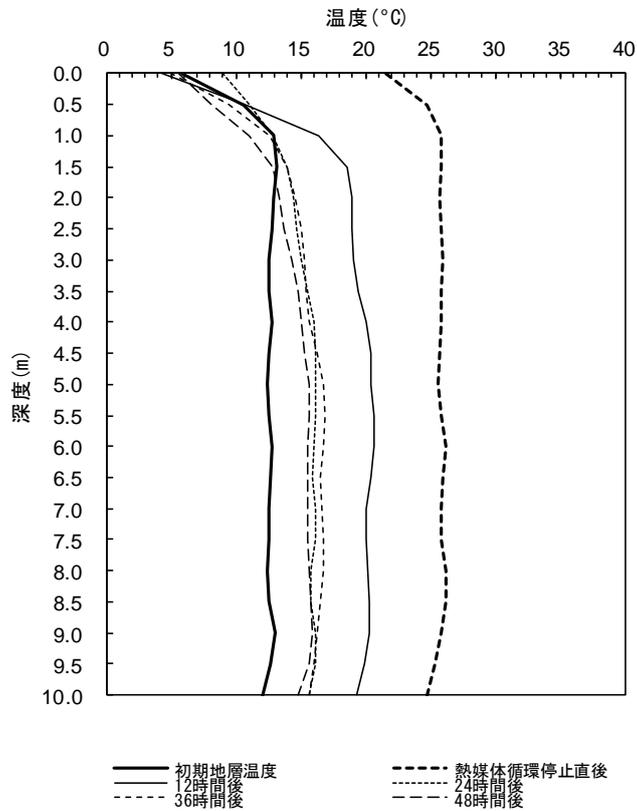


図 3. 4. 4. 4. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

5. 五所川原市

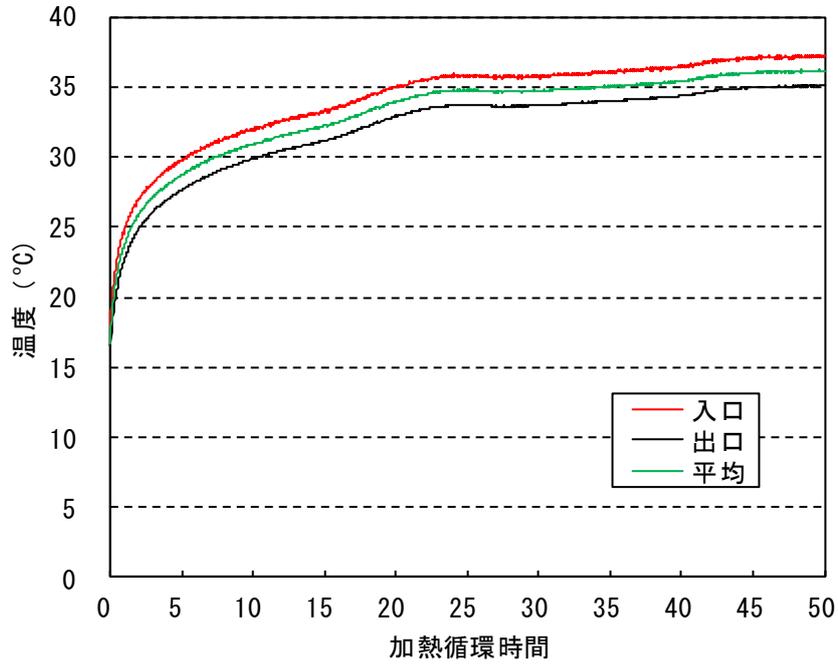


図 3.4.4.5.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

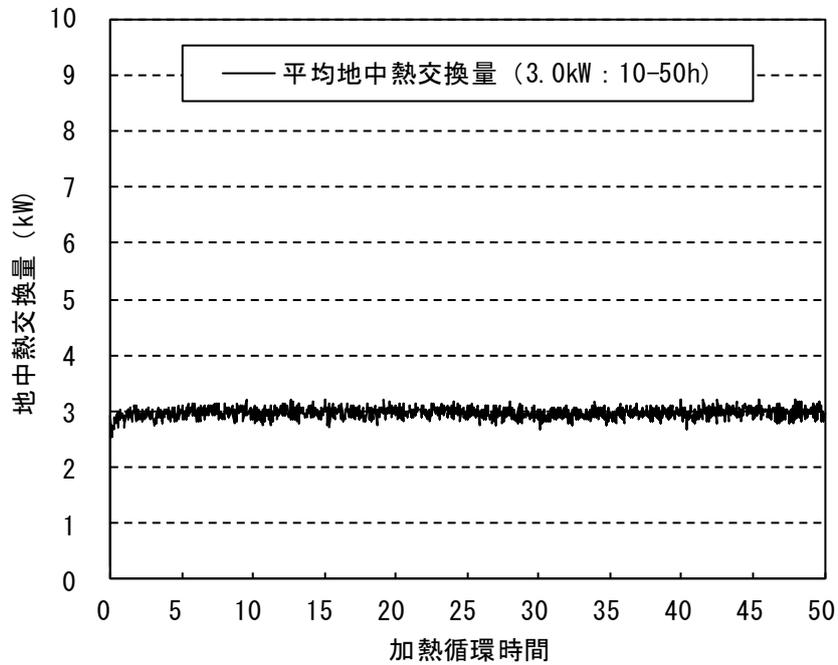


図 3.4.4.5.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

5. 五所川原市

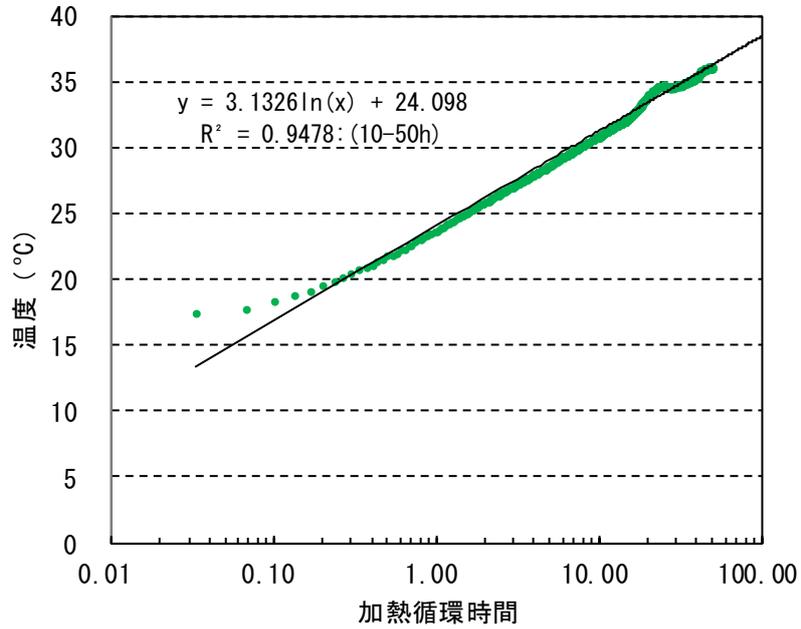


図 3. 4. 4. 5. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

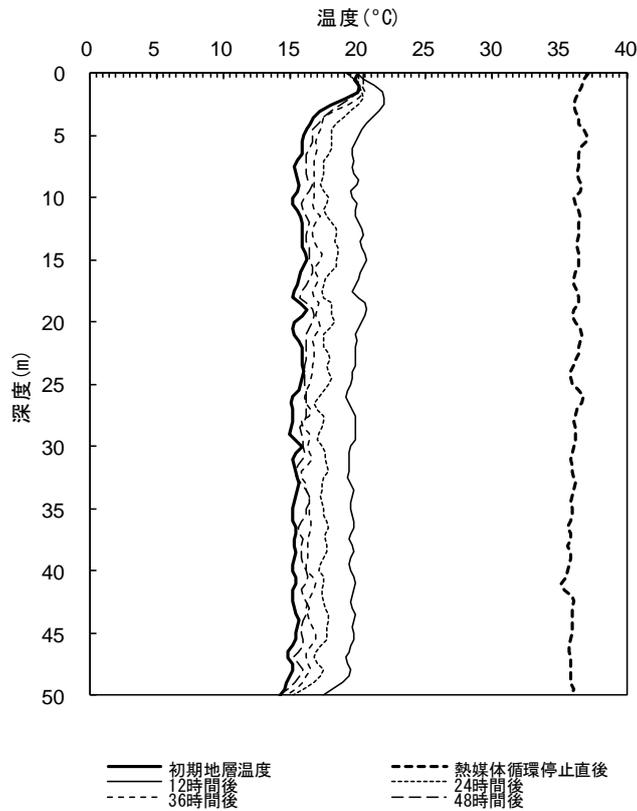


図 3. 4. 4. 5. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

6. 十和田市

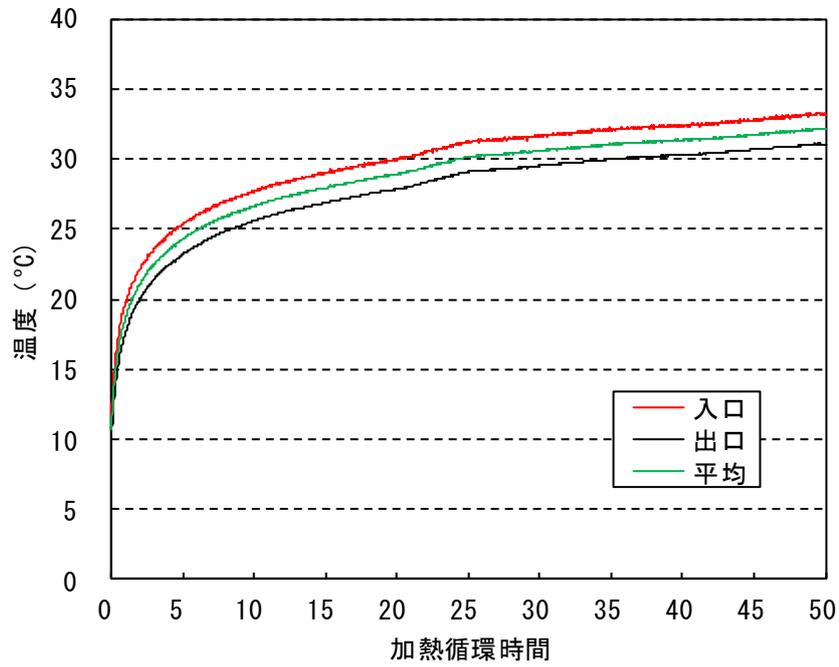


図 3.4.4.6.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

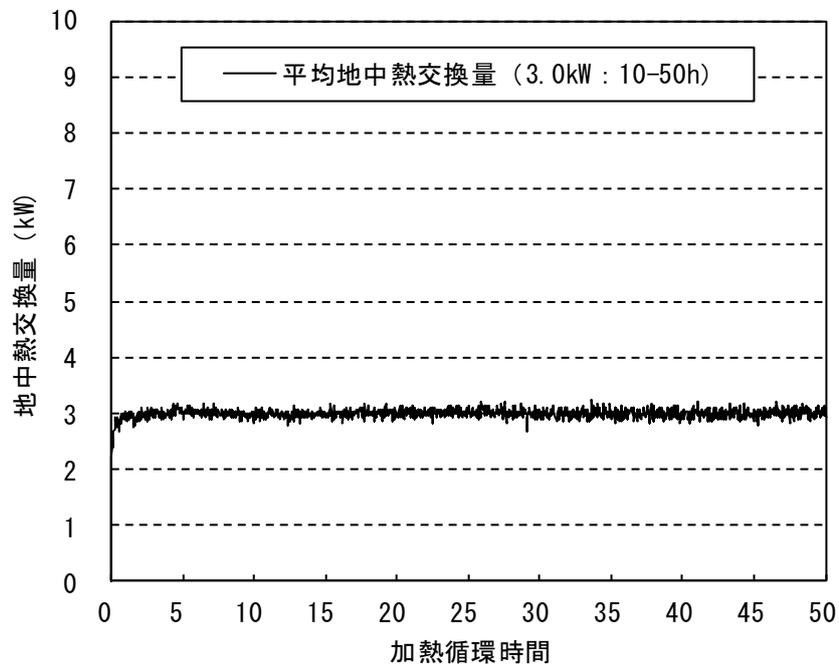


図 3.4.4.6.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

6. 十和田市

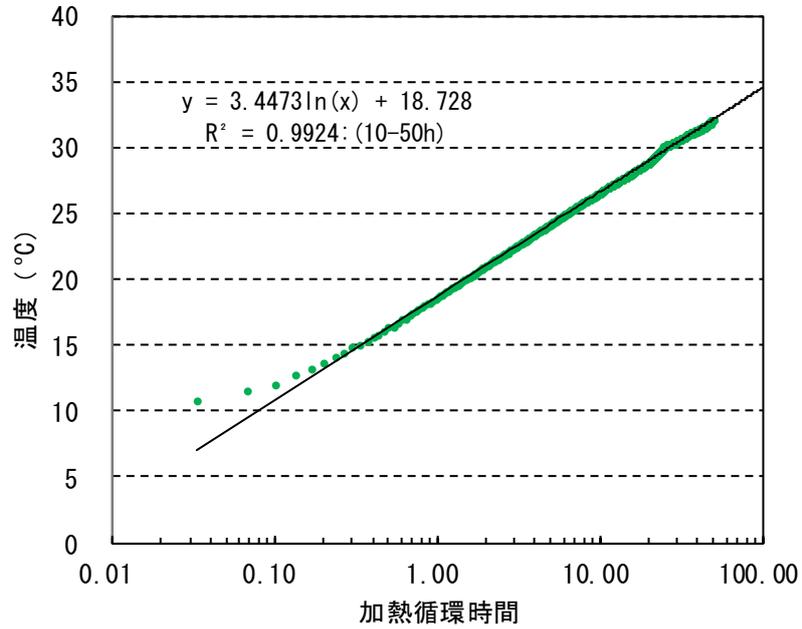


図 3. 4. 4. 6. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

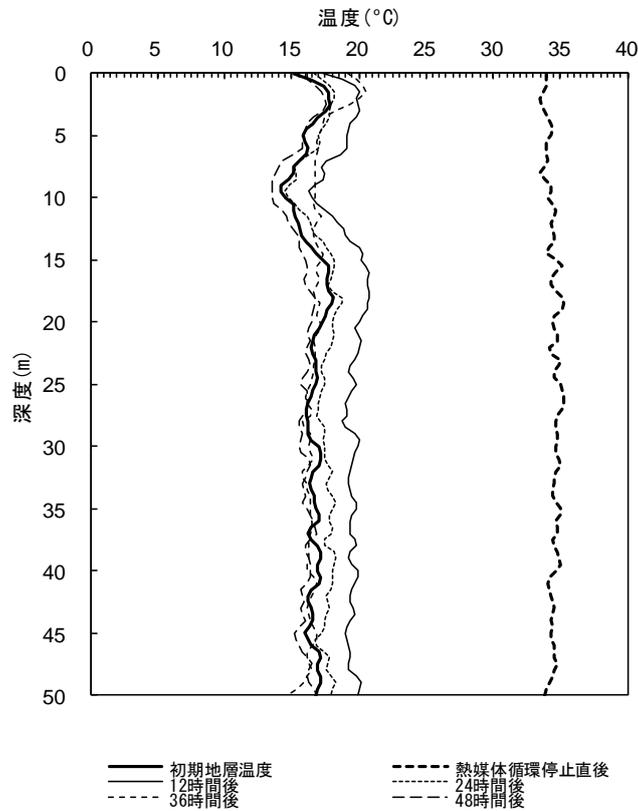


図 3. 4. 4. 6. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

7. 三沢市

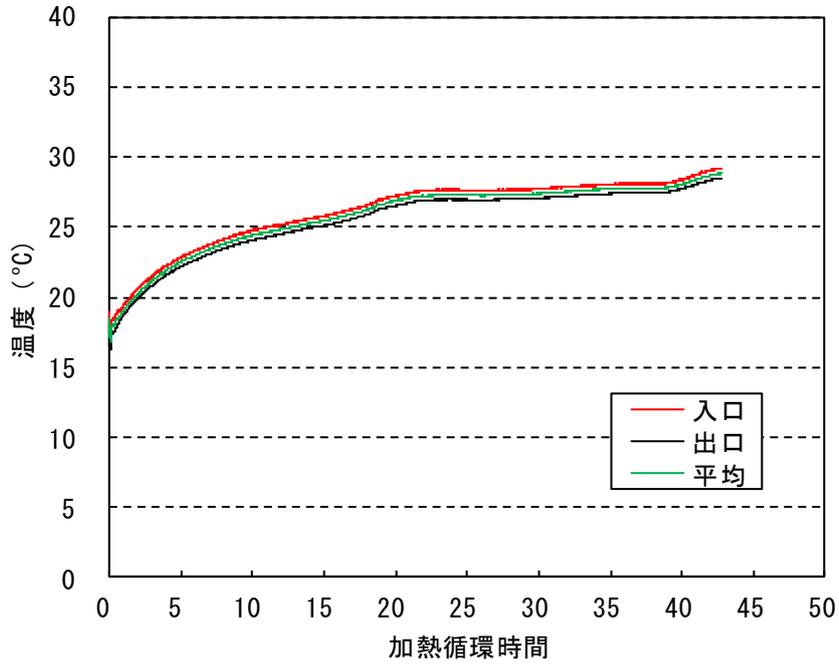


図 3.4.4.7.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

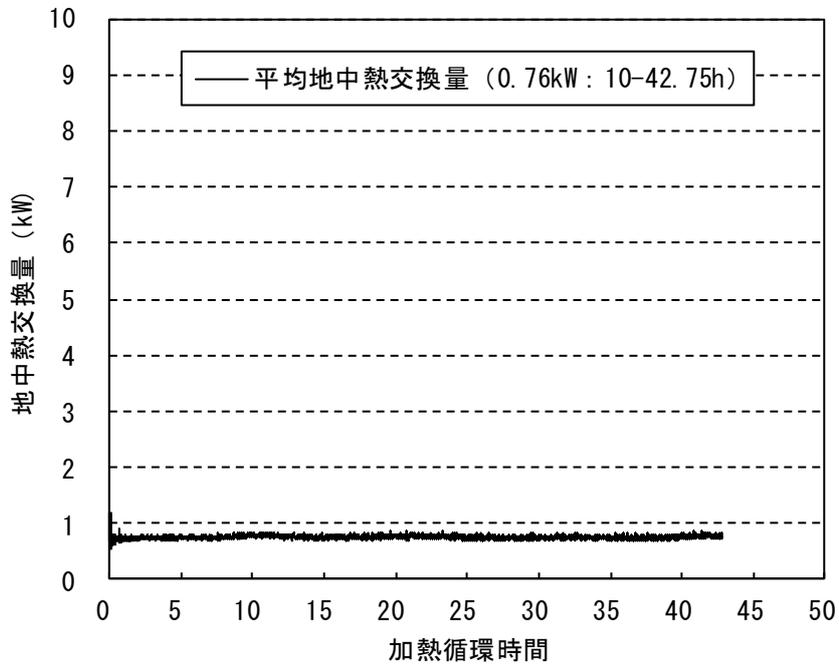


図 3.4.4.7.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

7. 三沢市

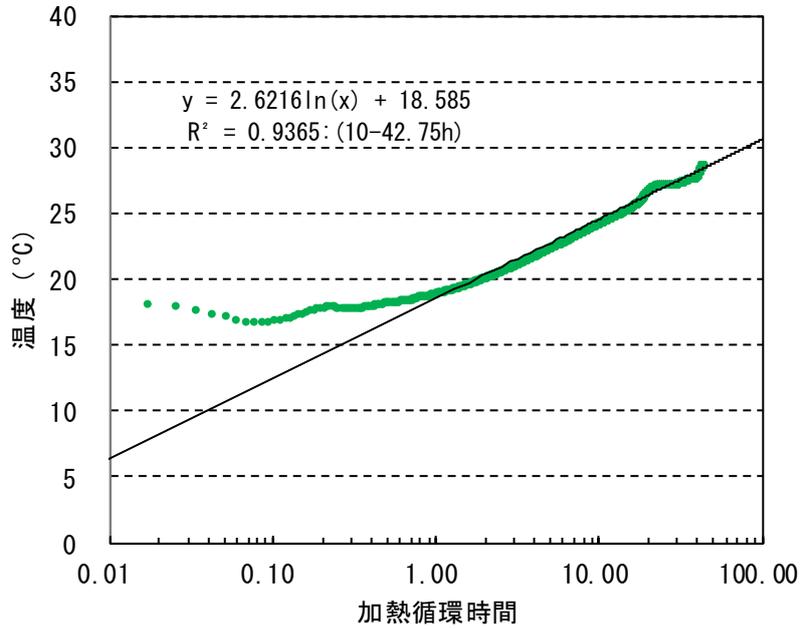


図 3. 4. 4. 7. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

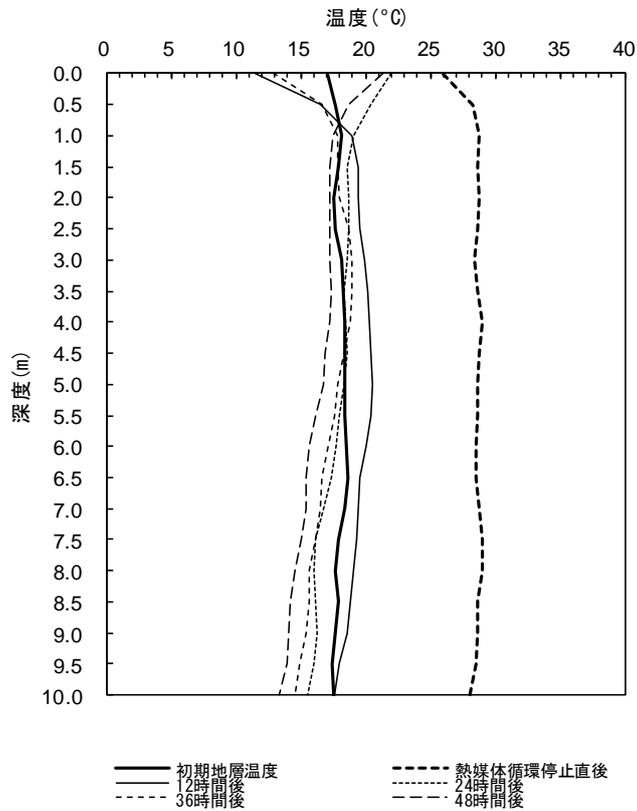


図 3. 4. 4. 7. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

8. むつ市

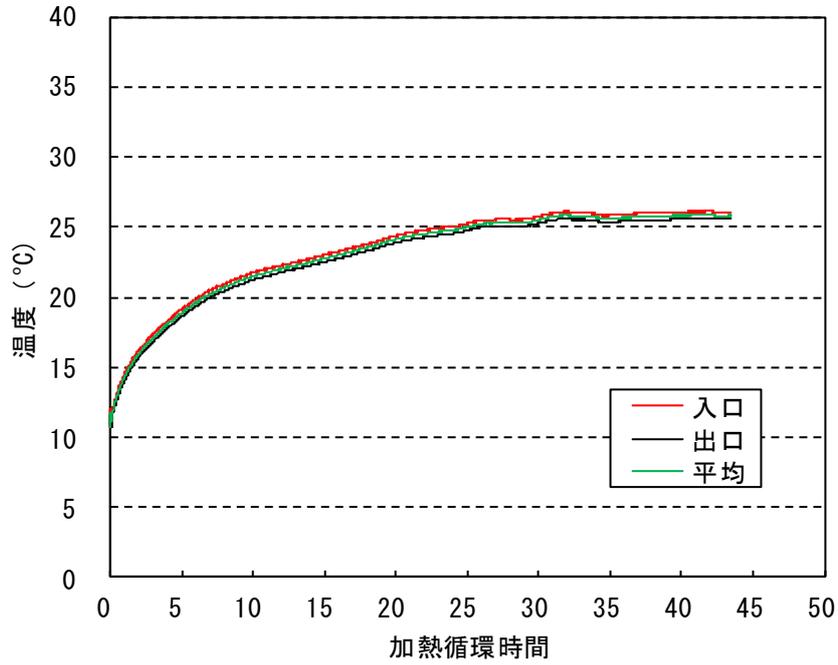


図 3.4.4.8.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

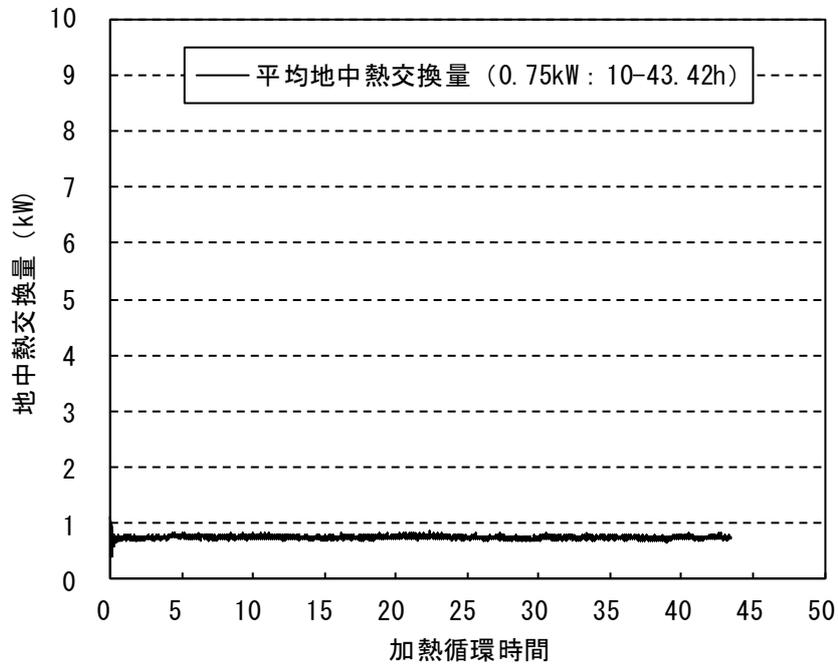


図 3.4.4.8.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

8. むつ市

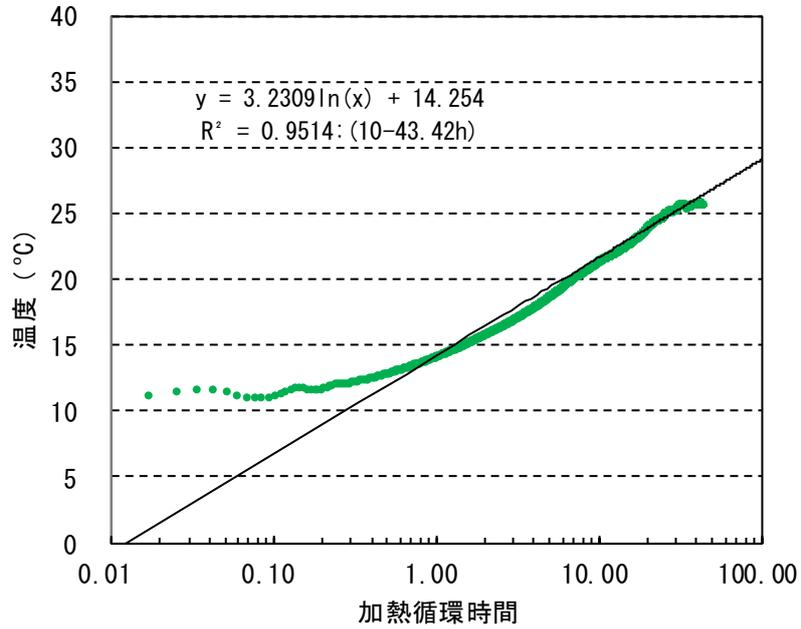


図 3. 4. 4. 8. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

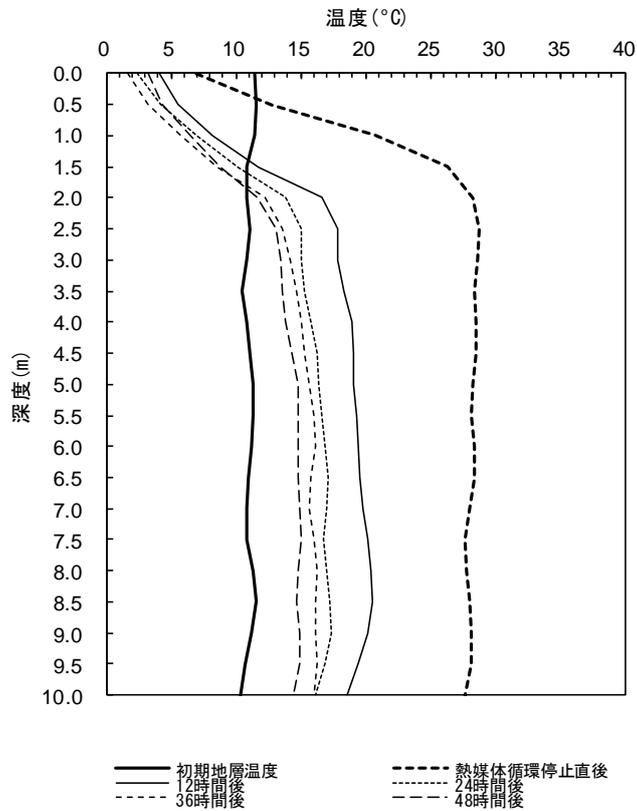


図 3. 4. 4. 8. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

9. つがる市

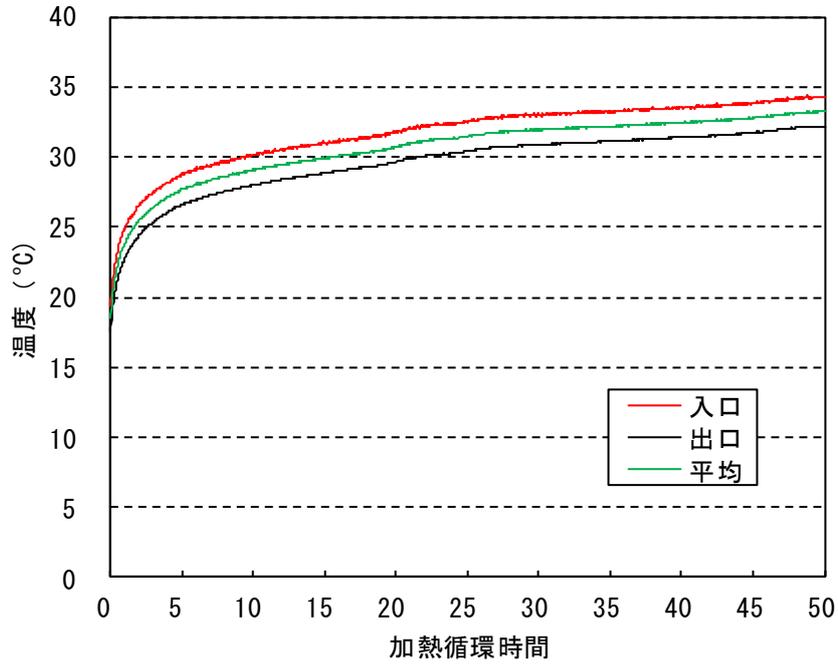


図 3. 4. 4. 9. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

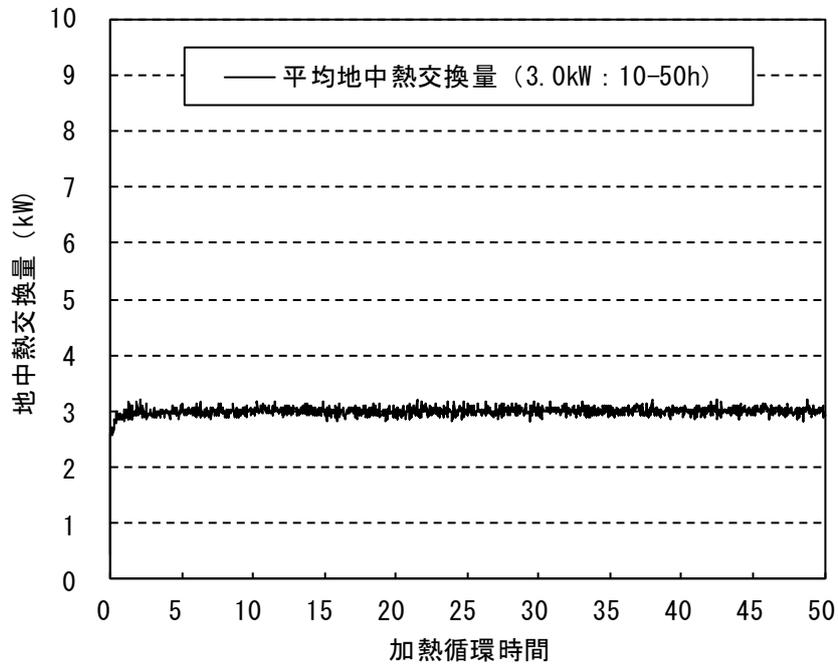


図 3. 4. 4. 9. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

9. つがる市

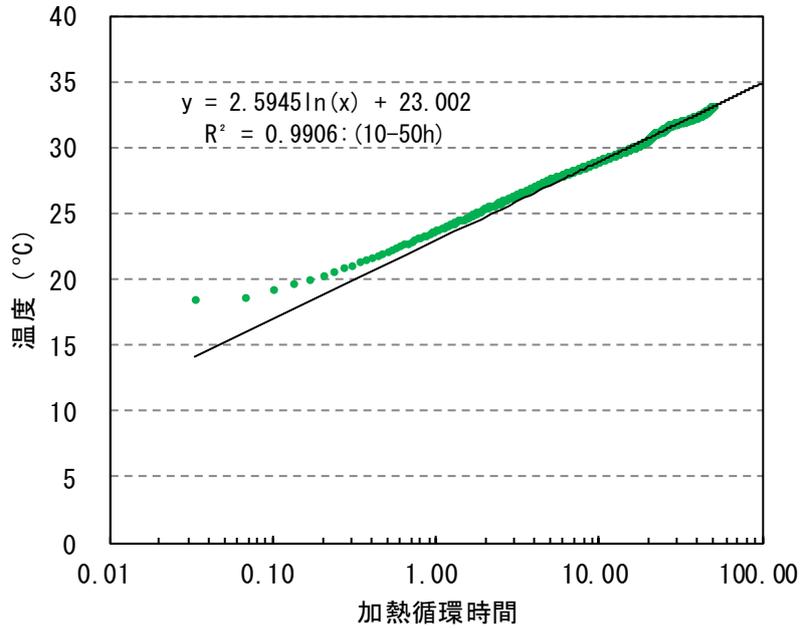


図 3. 4. 4. 9. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

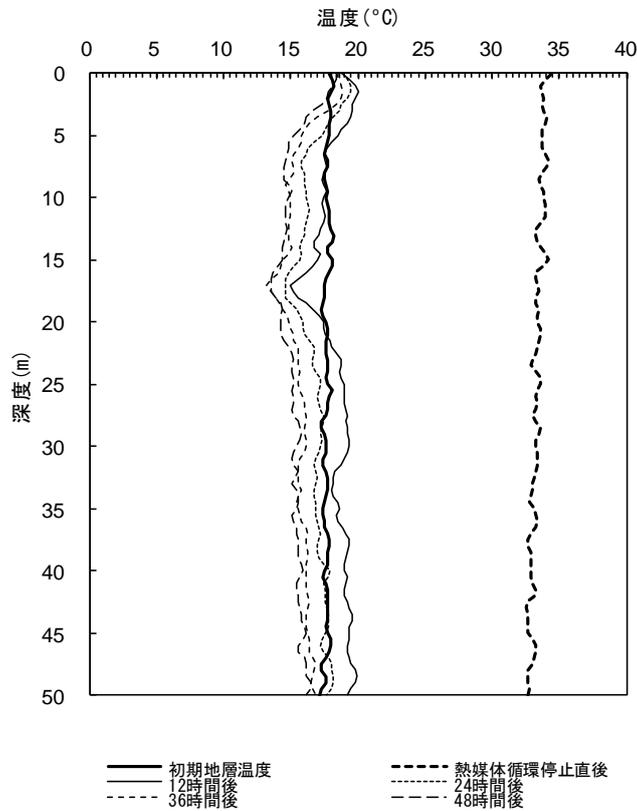


図 3. 4. 4. 9. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

10. 平川市

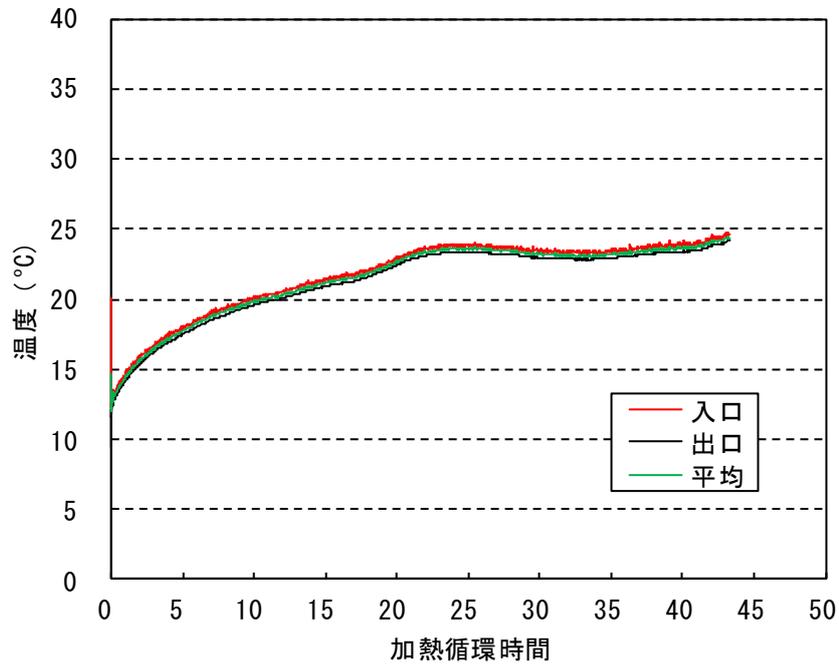


図 3. 4. 4. 10. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

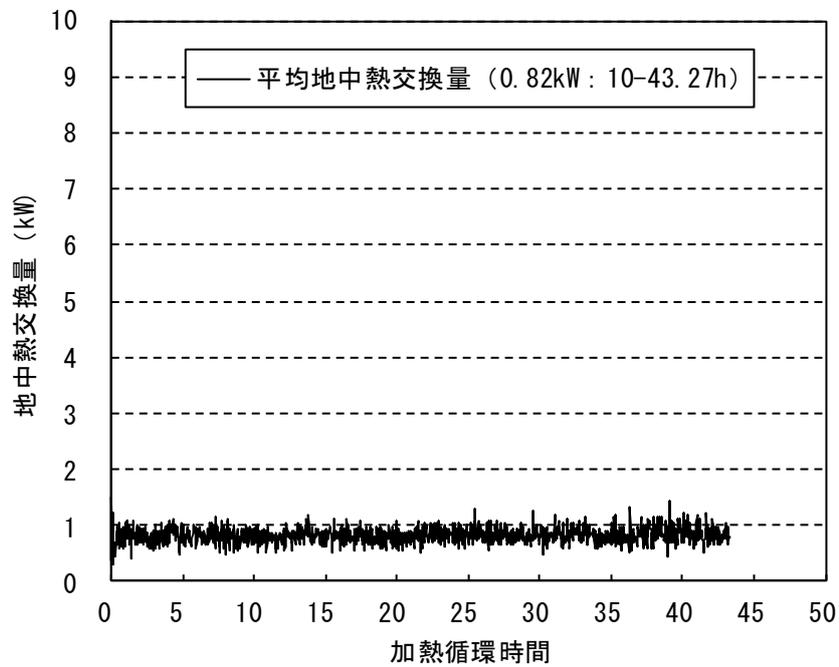


図 3. 4. 4. 10. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

10. 平川市

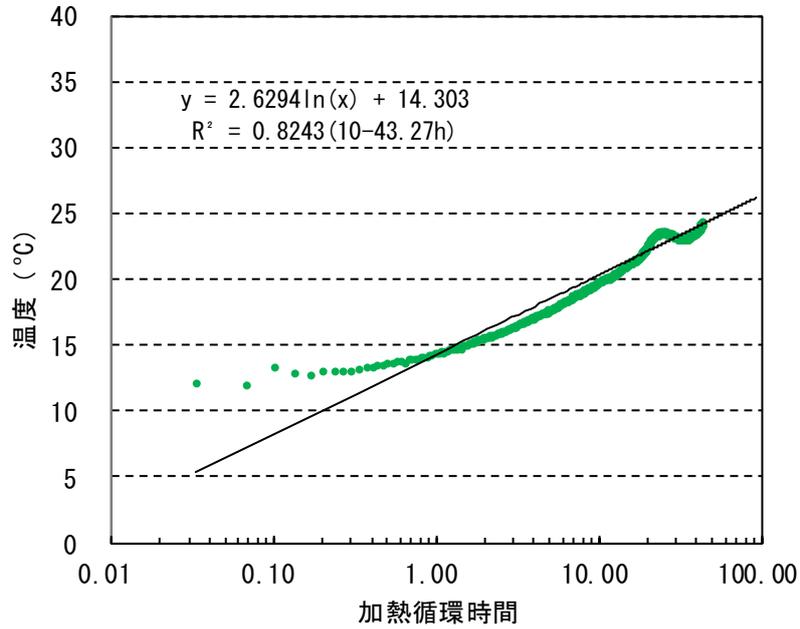


図 3. 4. 4. 10. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

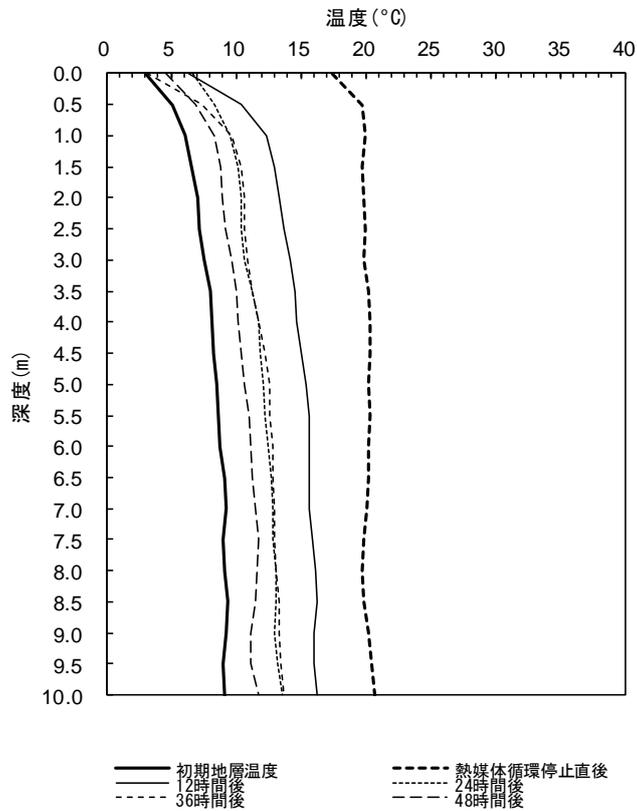


図 3. 4. 4. 10. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

11. 平内町

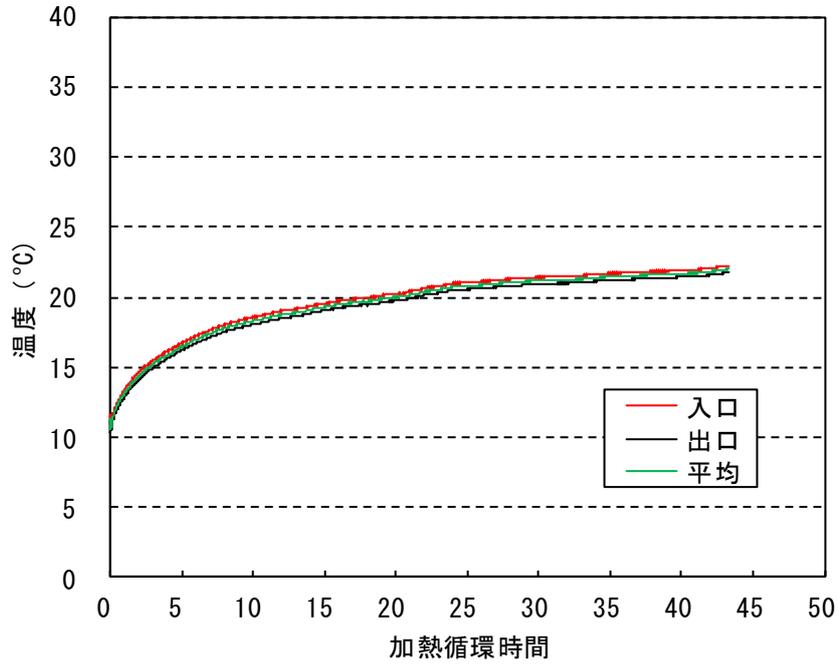


図 3. 4. 4. 11. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

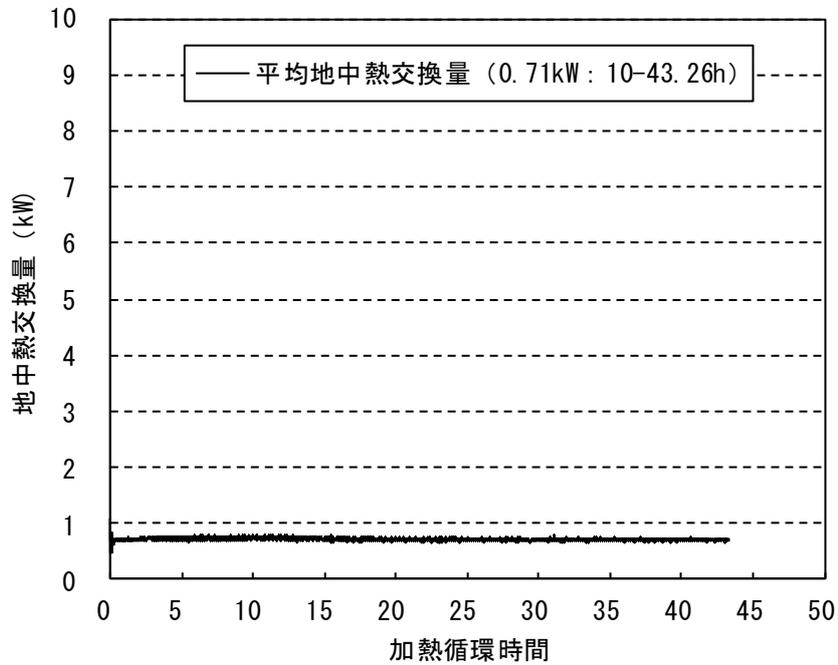


図 3. 4. 4. 11. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

11. 平内町

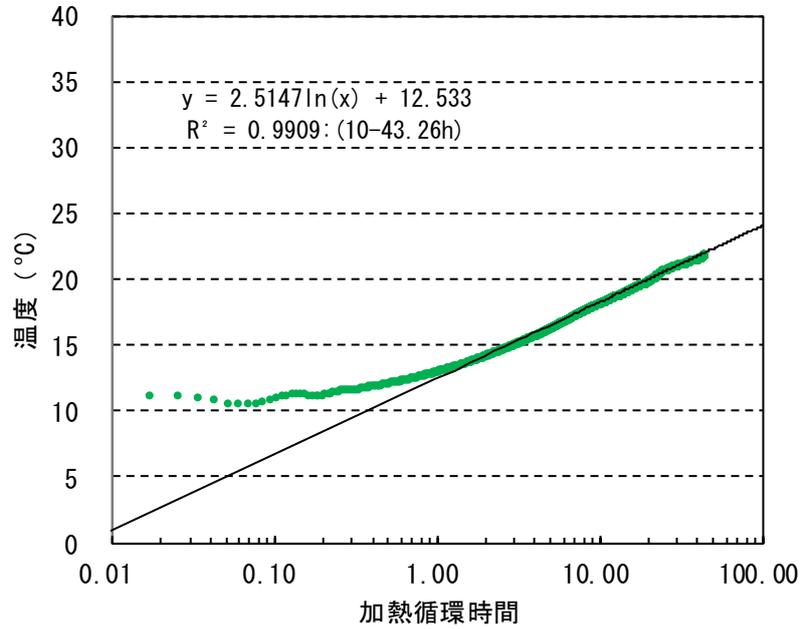


図 3. 4. 4. 11. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

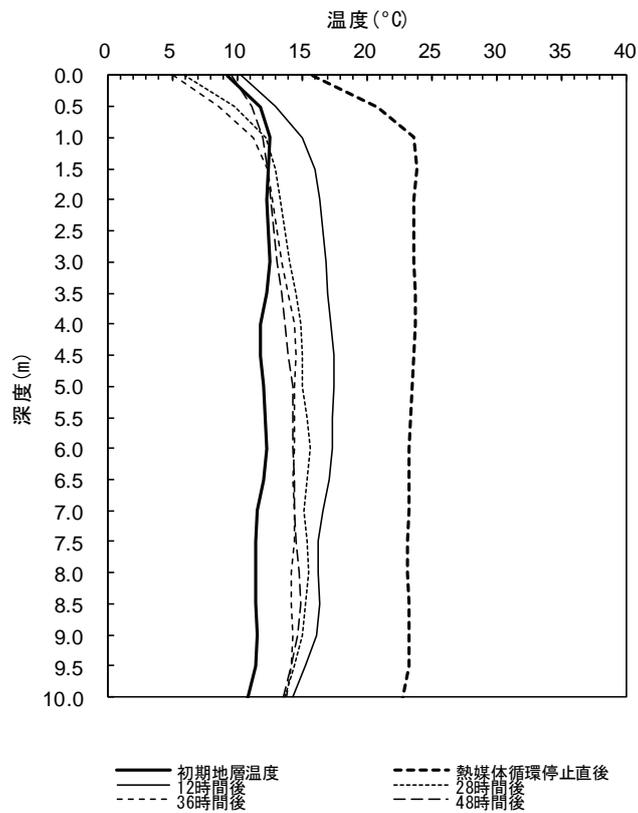


図 3. 4. 4. 11. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

12. 今別町

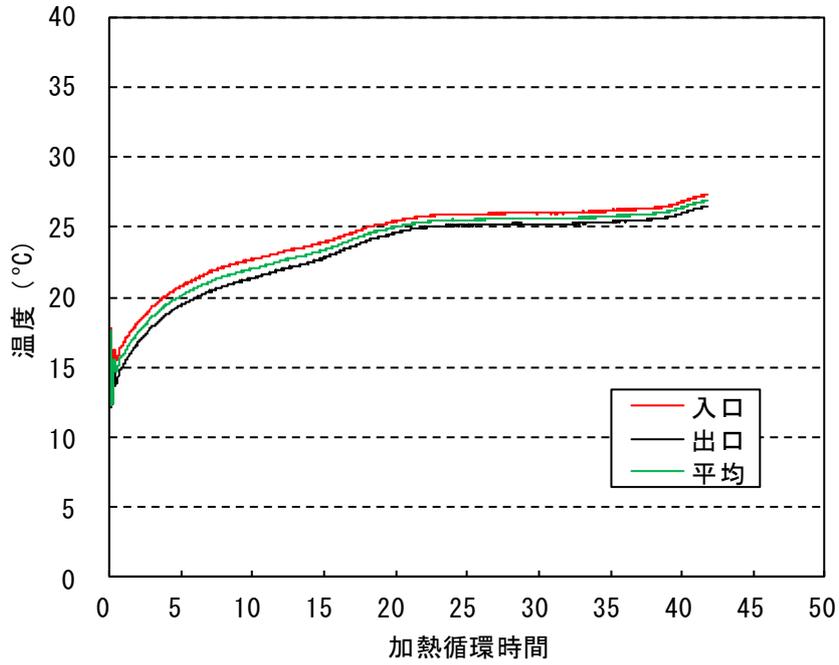


図 3.4.4.12.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

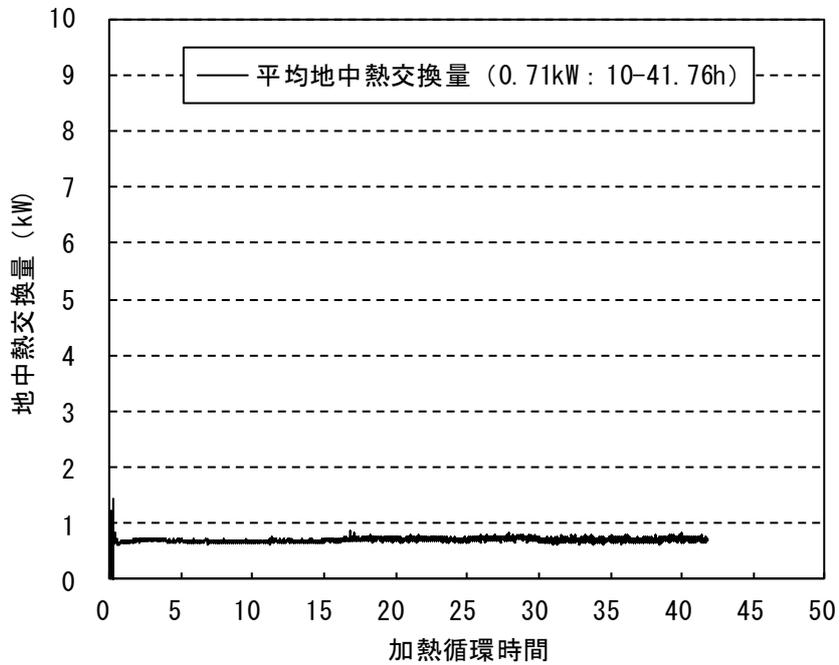


図 3.4.4.12.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

12. 今別町

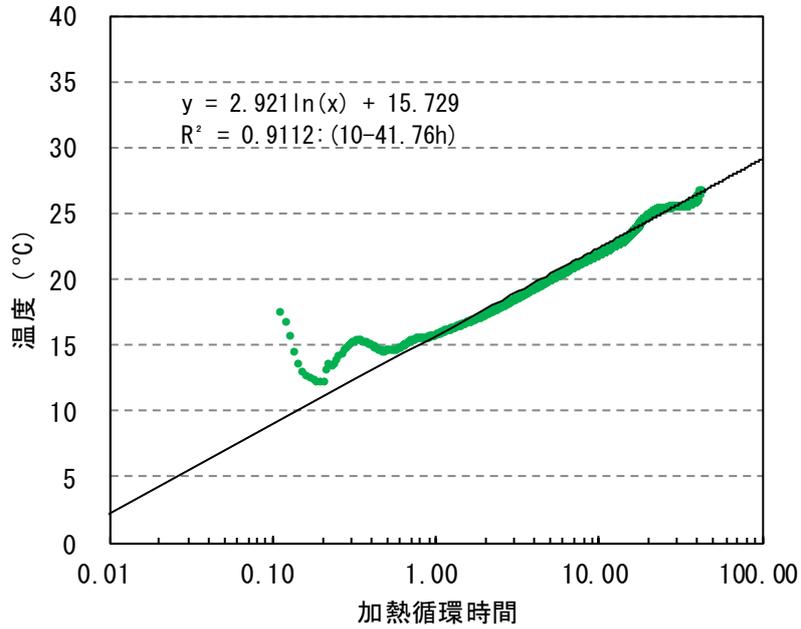


図 3. 4. 4. 12. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

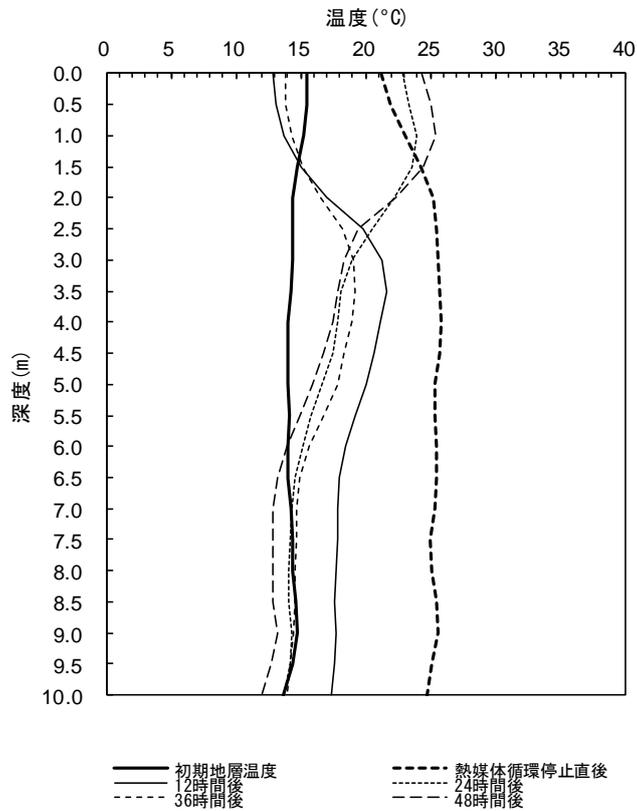


図 3. 4. 4. 12. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

13. 蓬田町

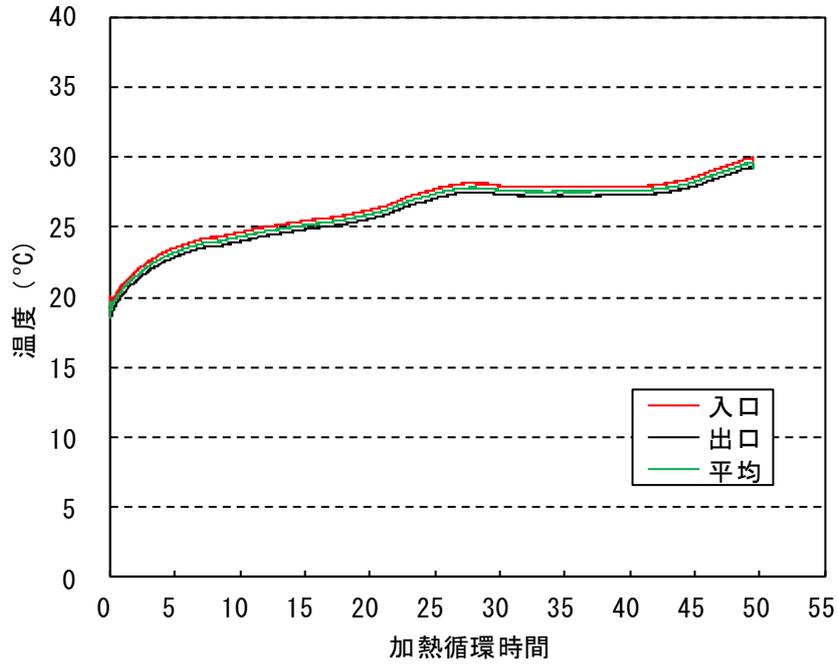


図 3.4.4.13.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

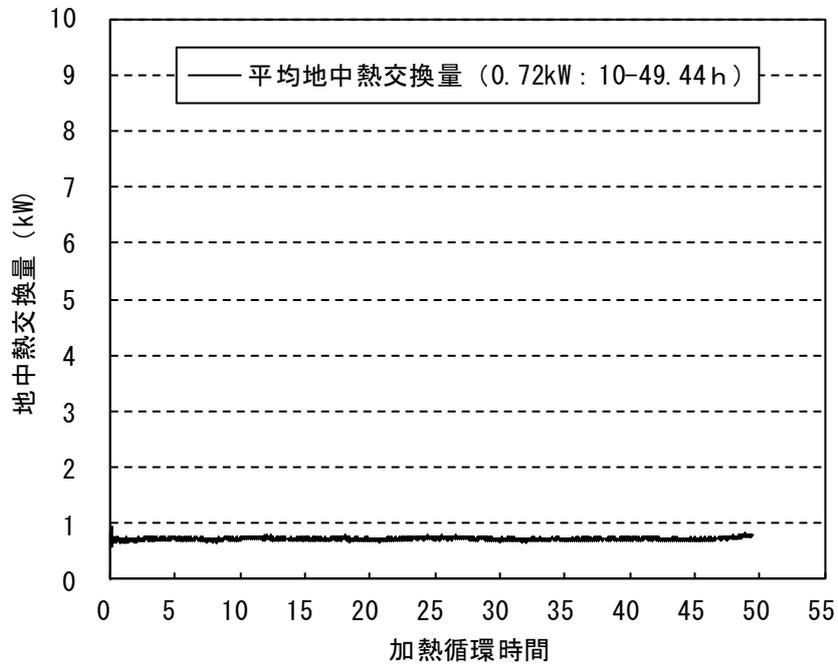


図 3.4.4.13.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

13. 蓬田町

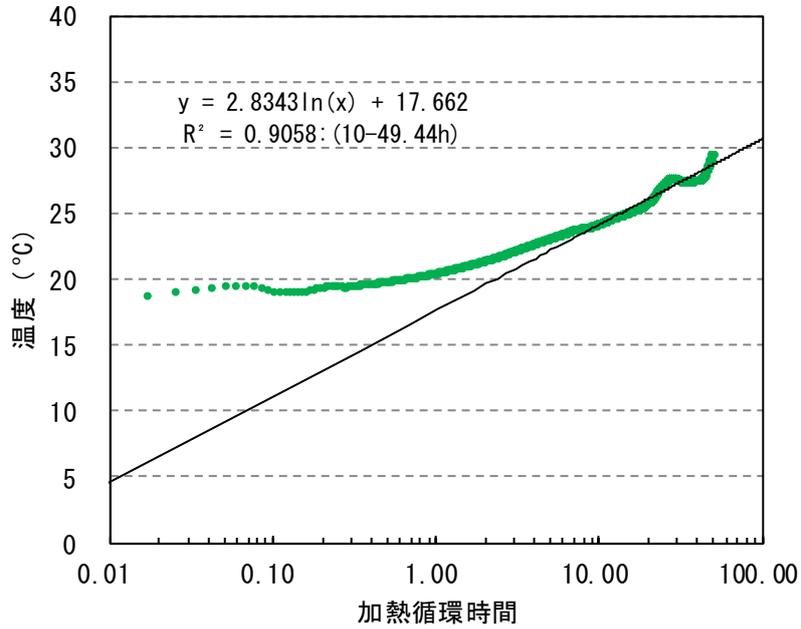


図 3. 4. 4. 13. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

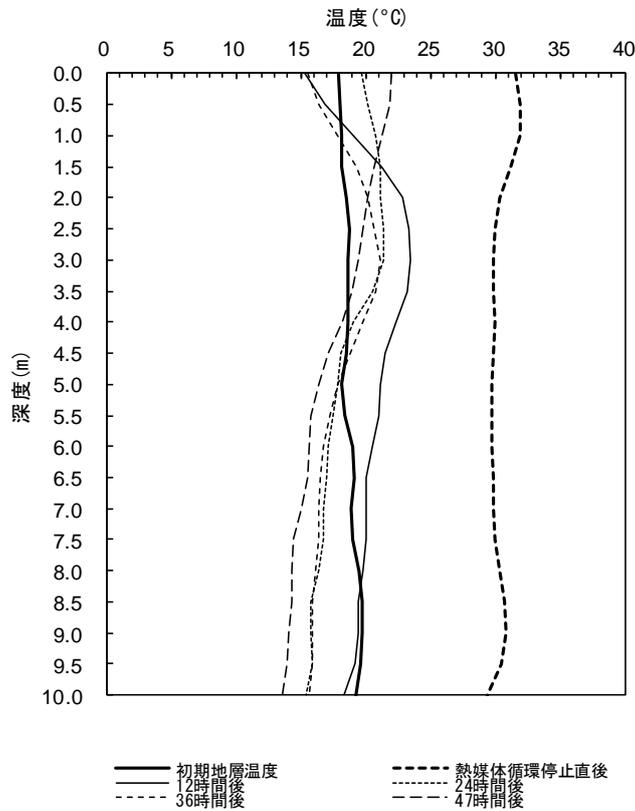


図 3. 4. 4. 13. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

14. 外ヶ浜町

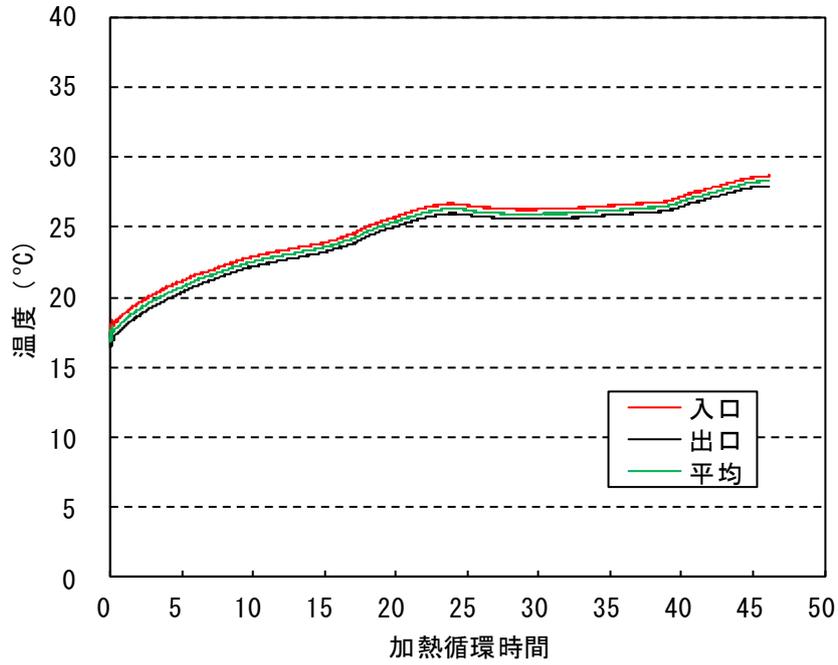


図 3. 4. 4. 14. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

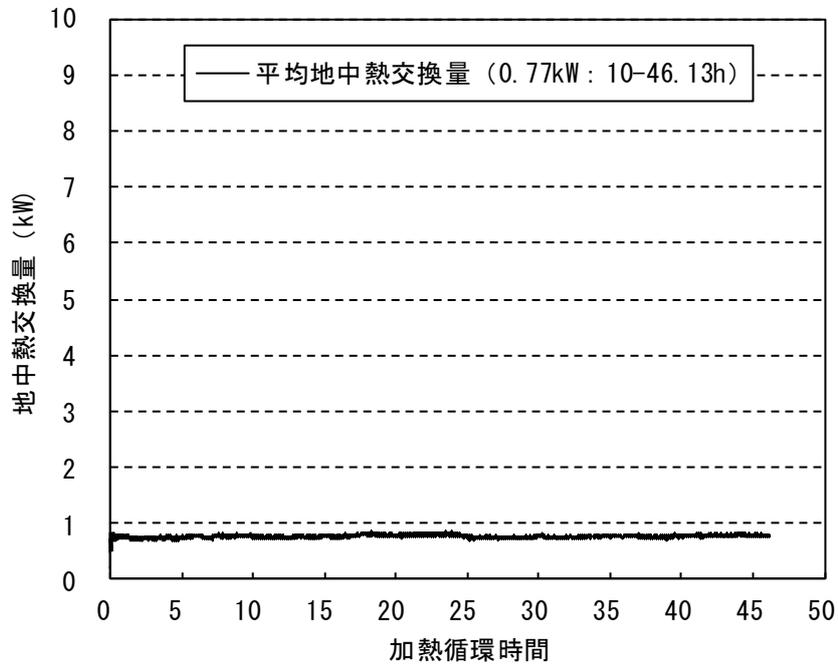


図 3. 4. 4. 14. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

14. 外ヶ浜町

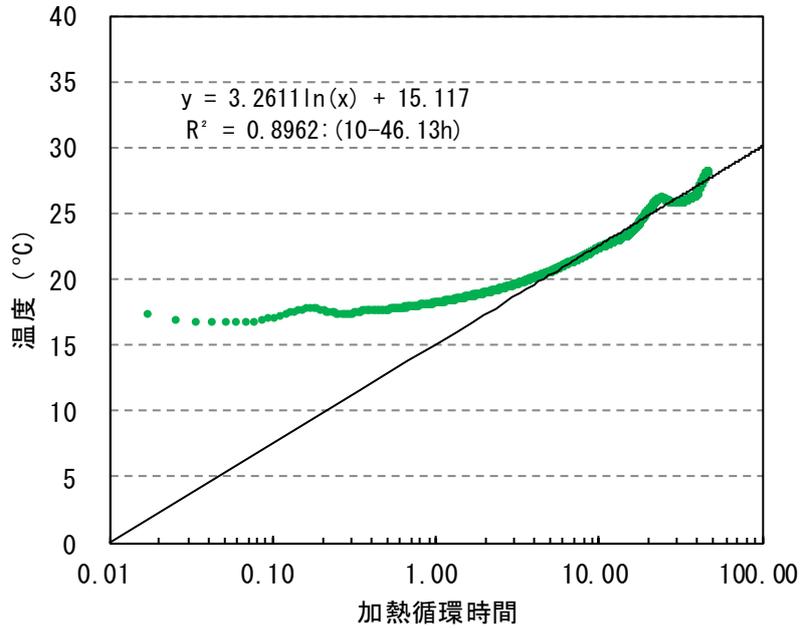


図 3. 4. 4. 14. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

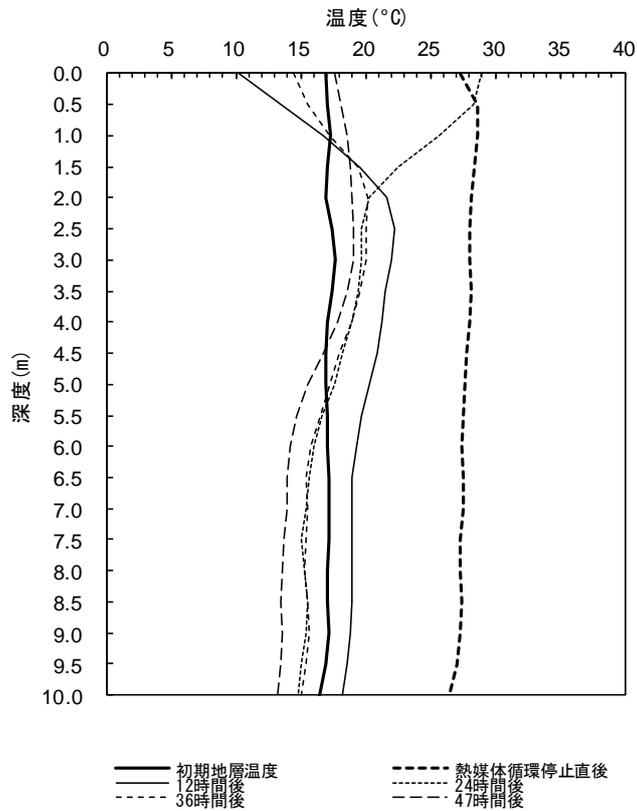


図 3. 4. 4. 14. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

15. 鱒ヶ沢町

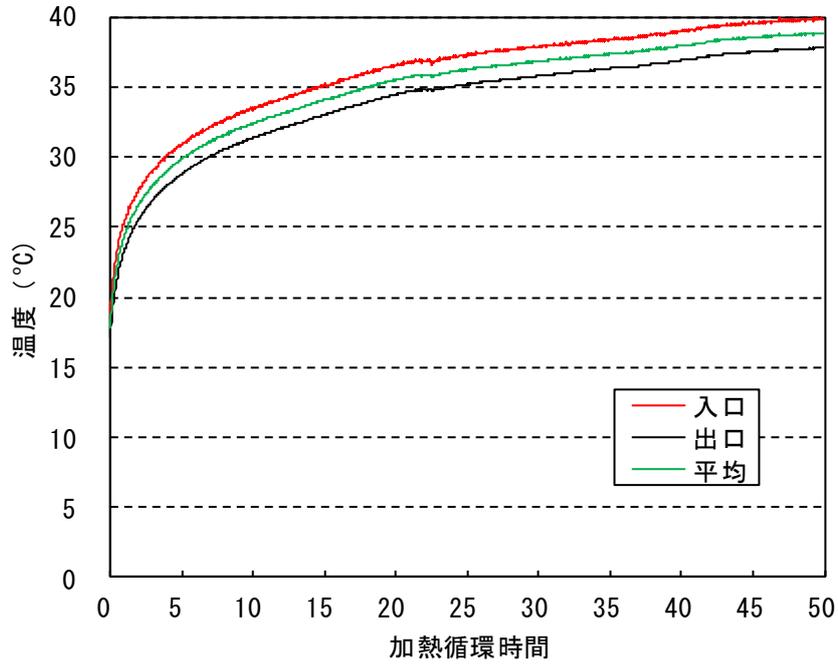


図 3. 4. 4. 15. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

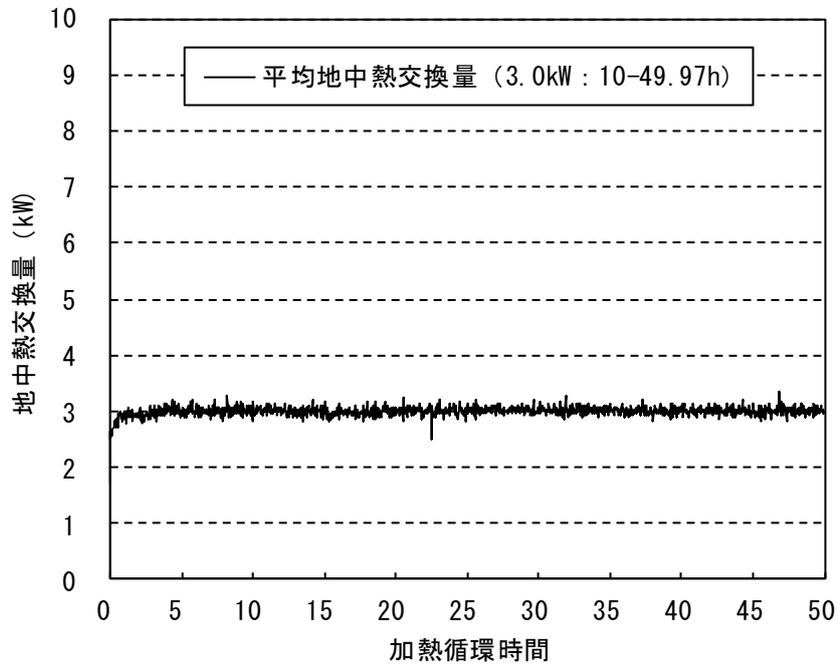


図 3. 4. 4. 15. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

15. 鱒ヶ沢町

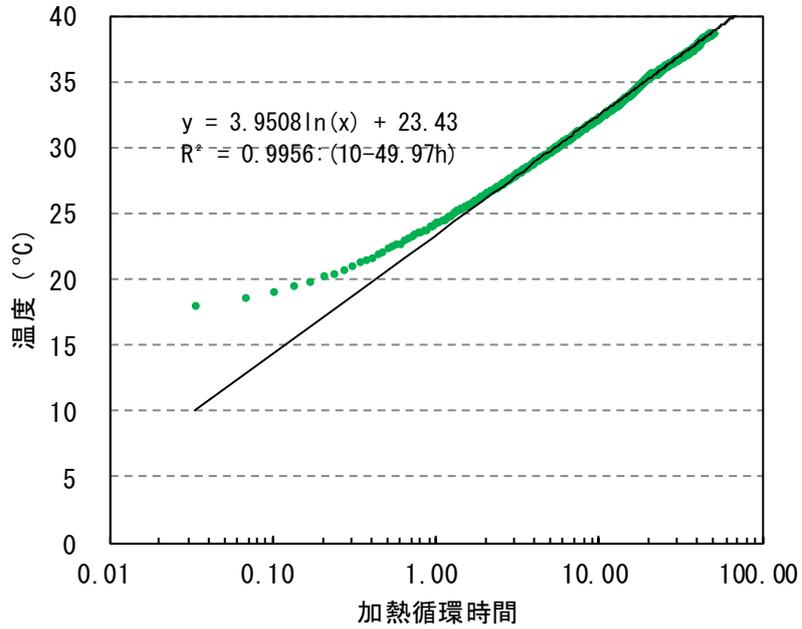


図 3. 4. 4. 15. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

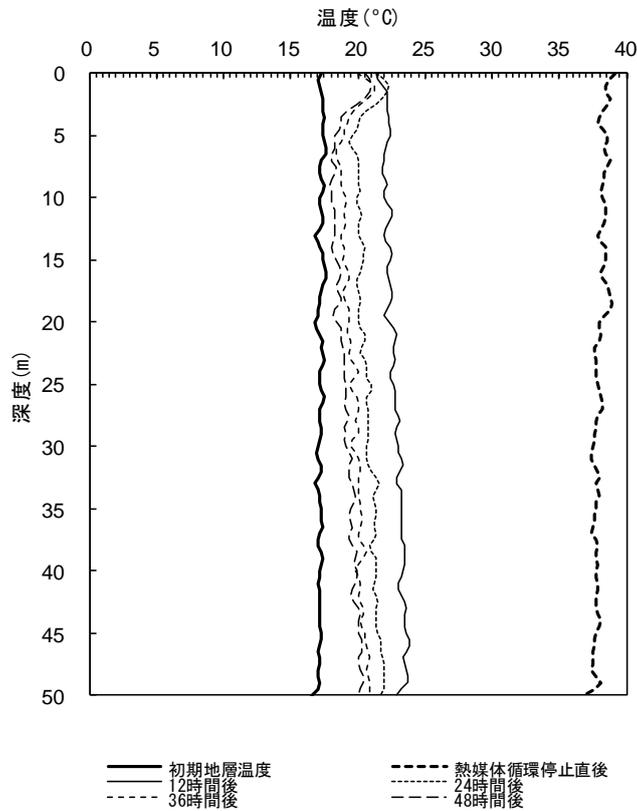


図 3. 4. 4. 15. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

16. 深浦町

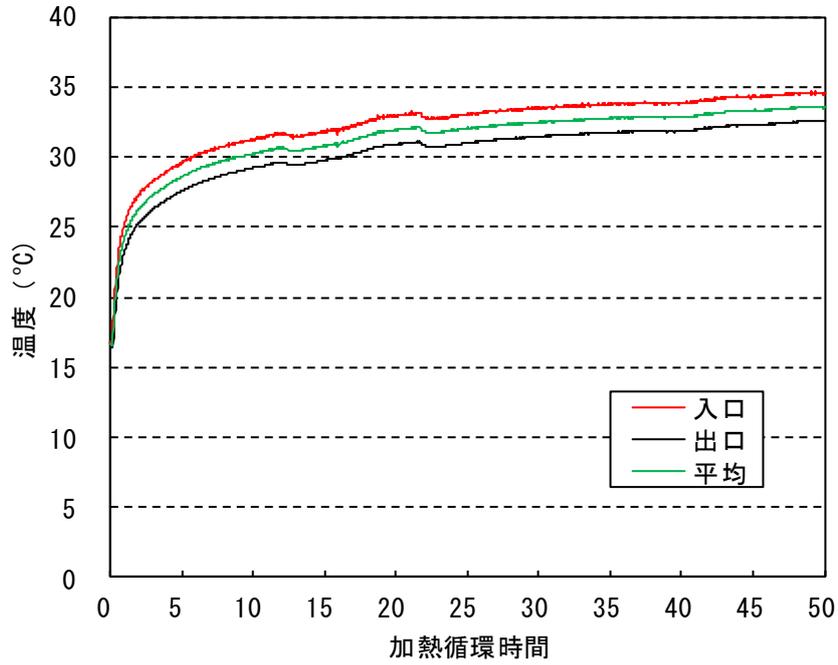


図 3. 4. 4. 16. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

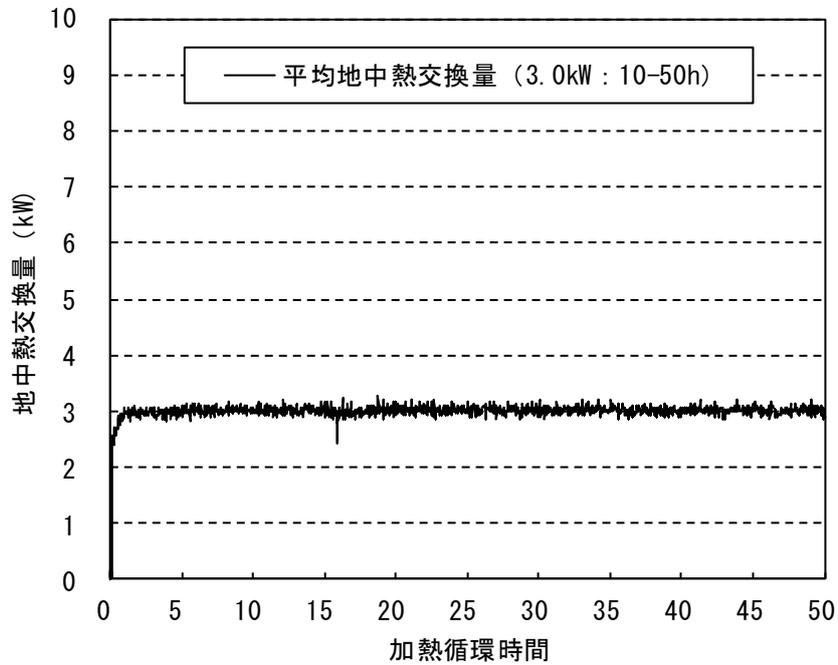


図 3. 4. 4. 16. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

16. 深浦町

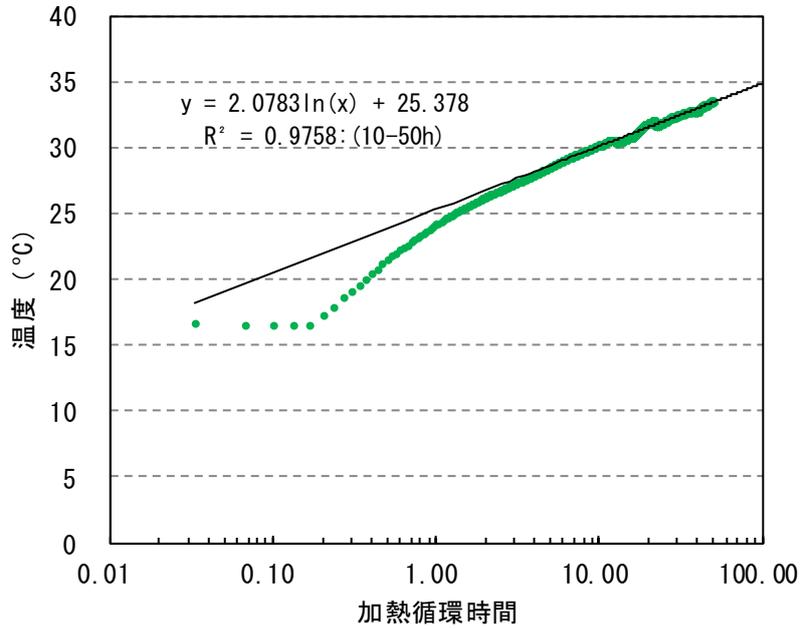


図 3. 4. 4. 16. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

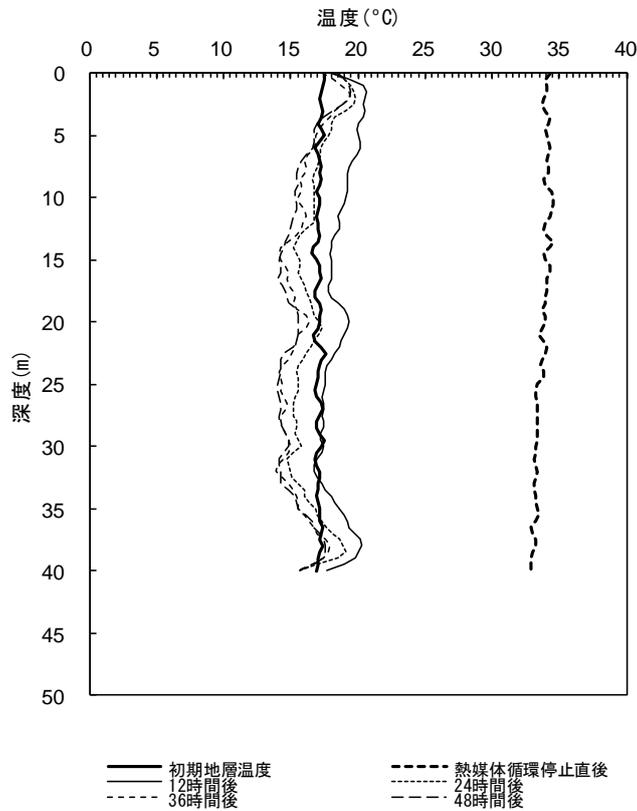


図 3. 4. 4. 16. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

17. 西目屋村

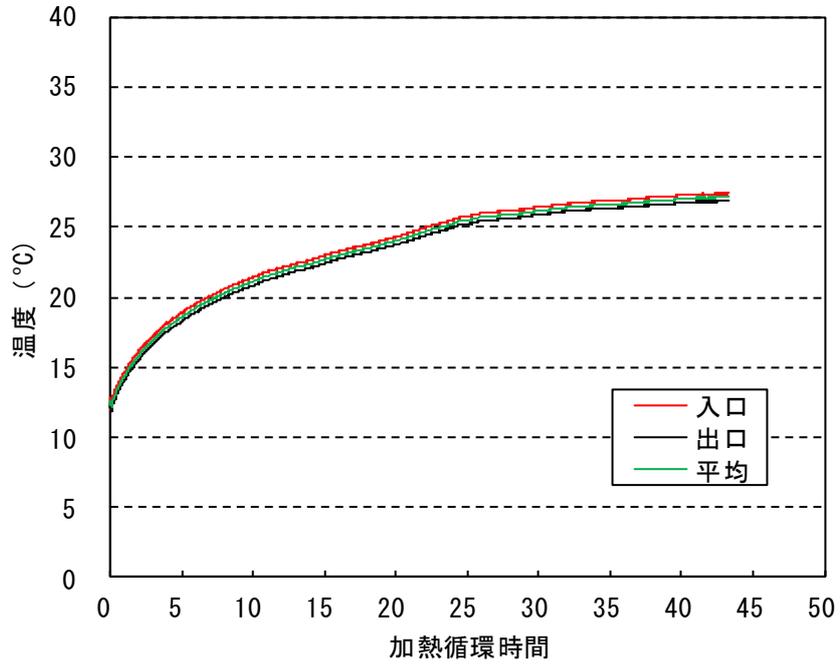


図 3.4.4.17.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

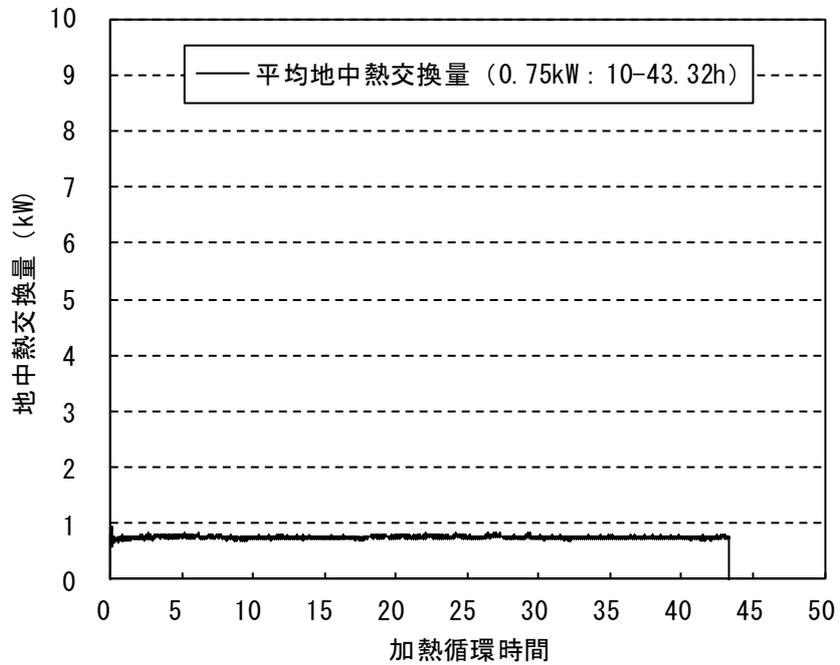


図 3.4.4.17.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

17. 西目屋村

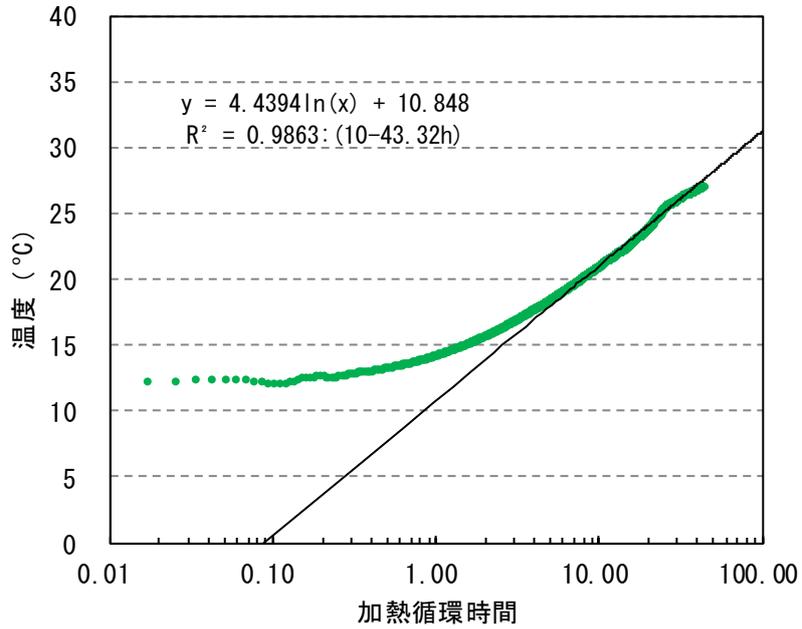


図 3. 4. 4. 17. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

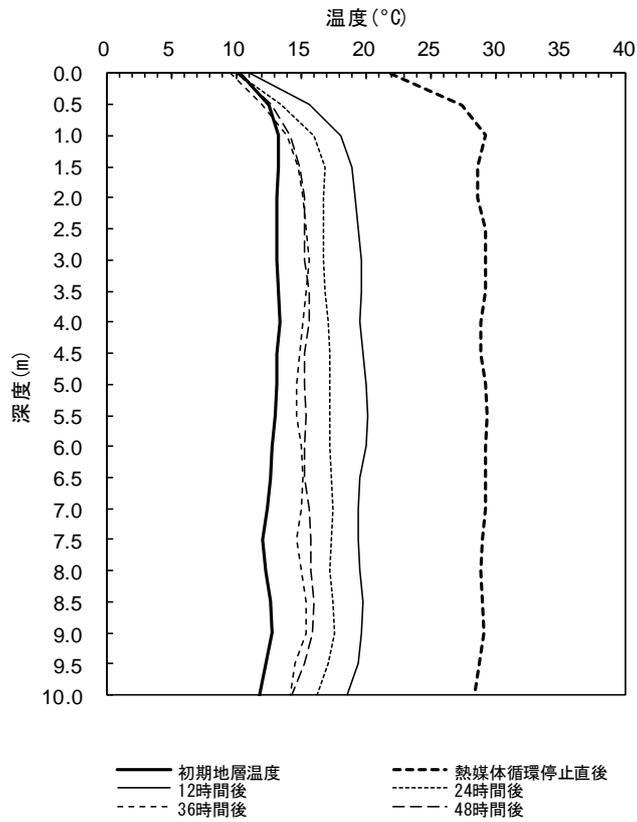


図 3. 4. 4. 17. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

18. 藤崎町

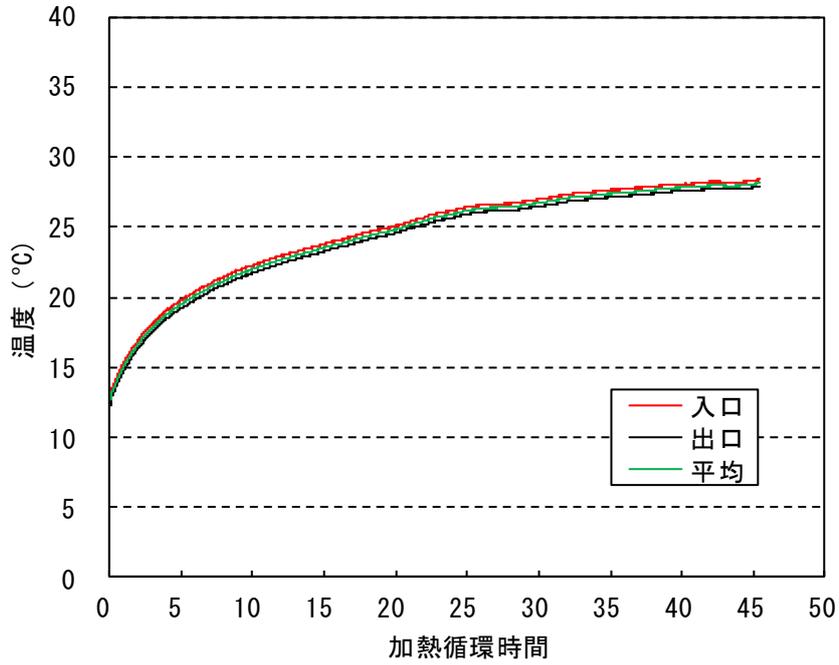


図 3.4.4.18.1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

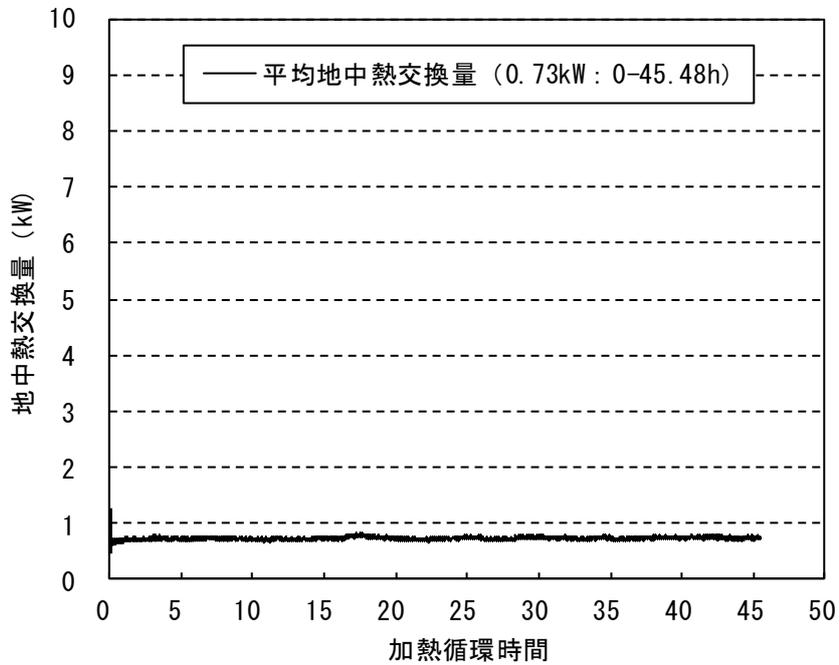


図 3.4.4.18.2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

18. 藤崎町

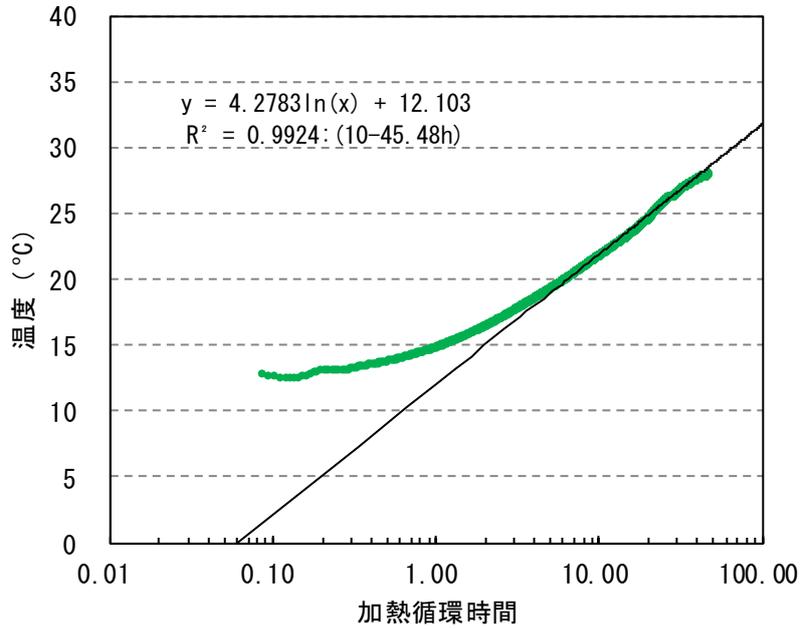


図 3. 4. 4. 18. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

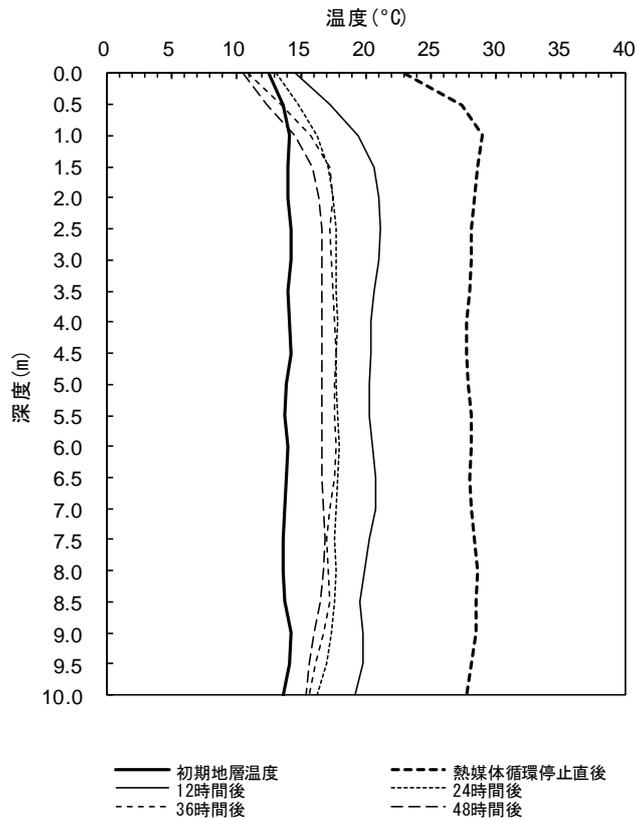


図 3. 4. 4. 18. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

19. 大鰐町

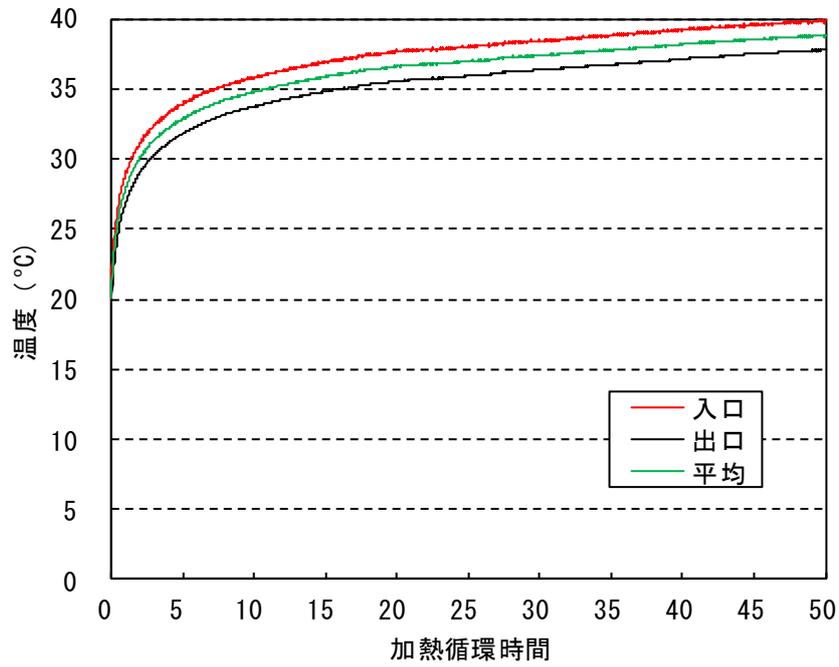


図 3. 4. 4. 19. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

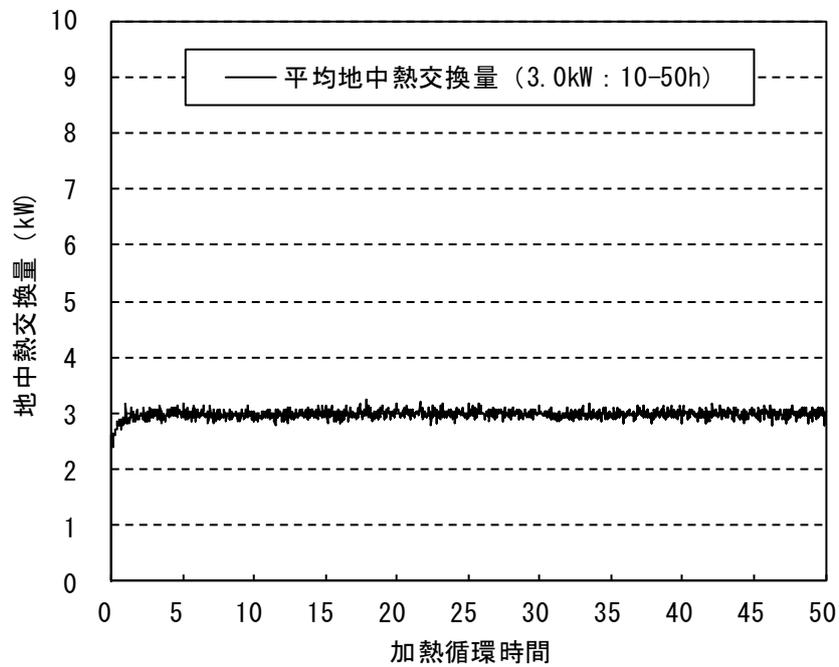


図 3. 4. 4. 19. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

19. 大鰐町

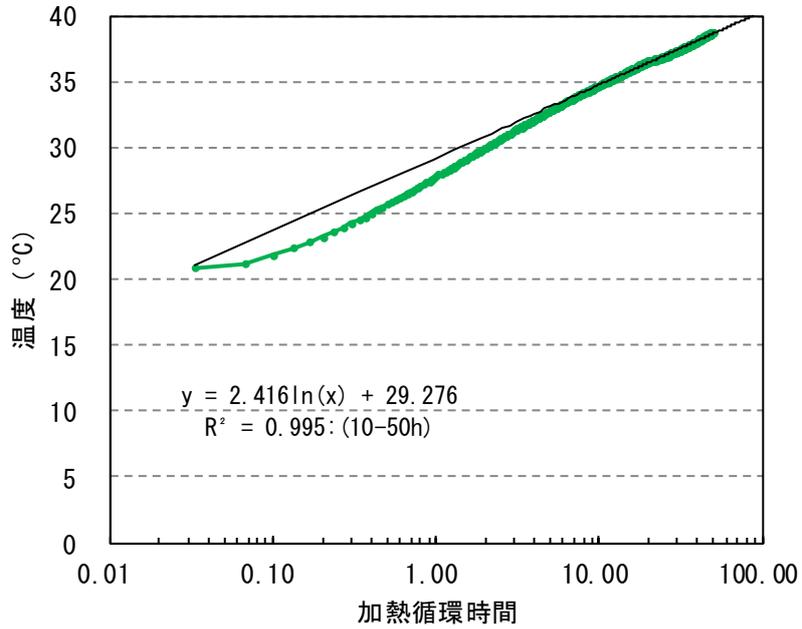


図 3. 4. 4. 19. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

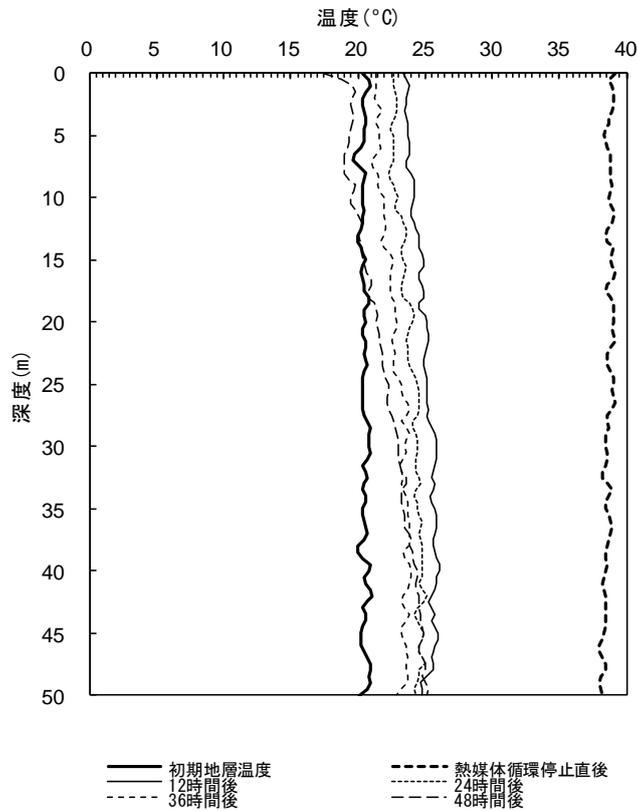


図 3. 4. 4. 19. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

20. 田舎館村

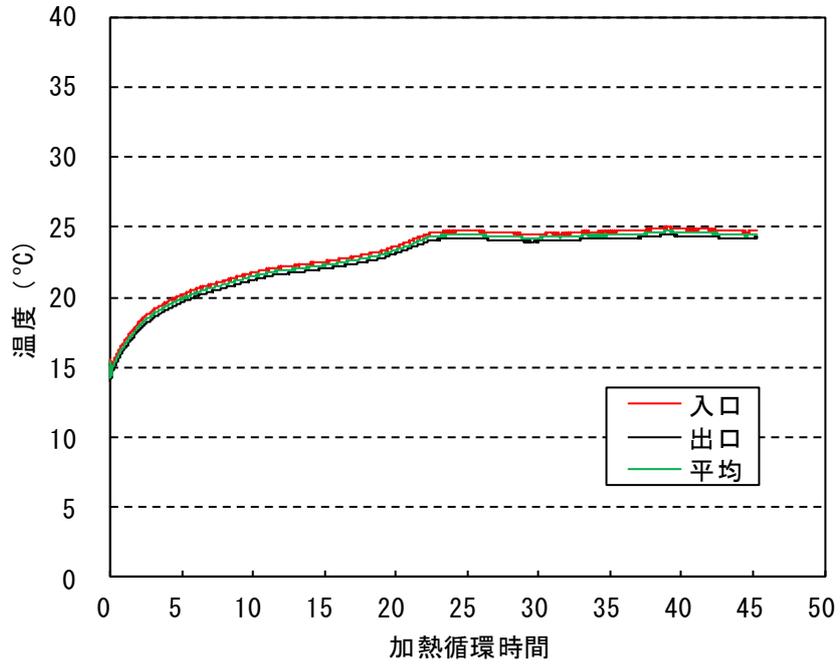


図 3. 4. 4. 20. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

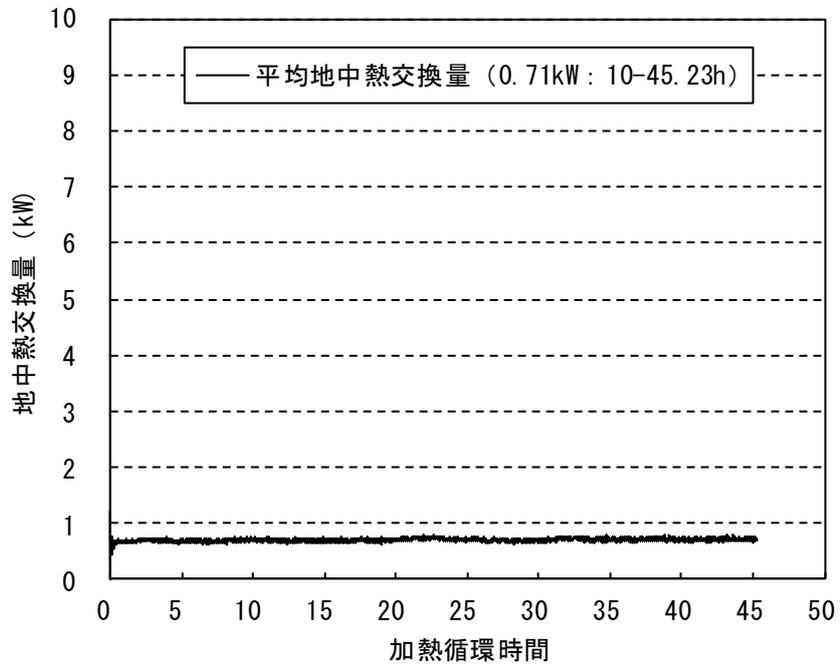


図 3. 4. 4. 20. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

20. 田舎館村

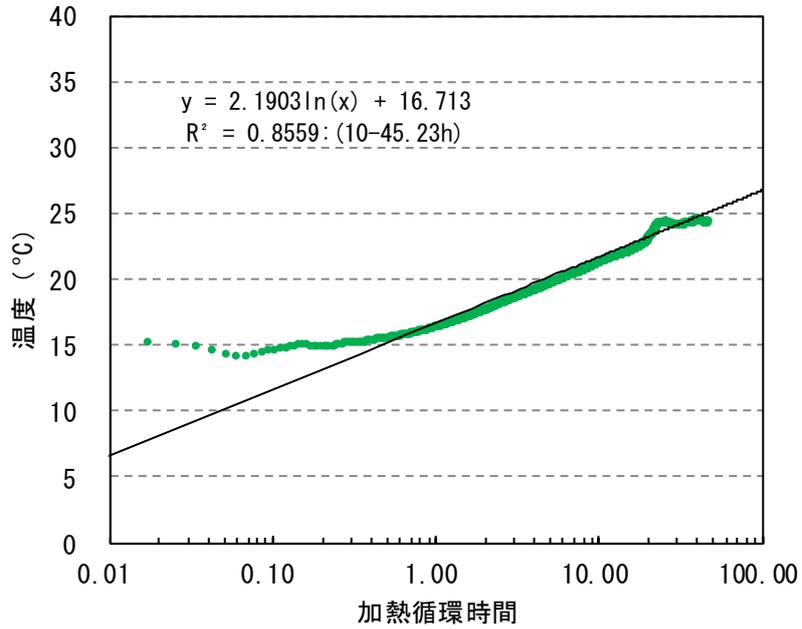


図 3. 4. 4. 20. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

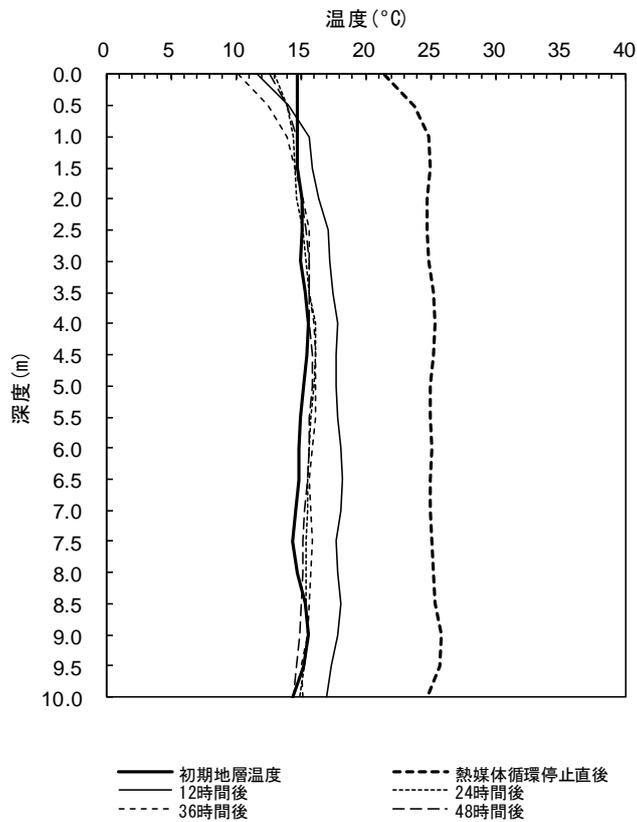


図 3. 4. 4. 20. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

21. 板柳町

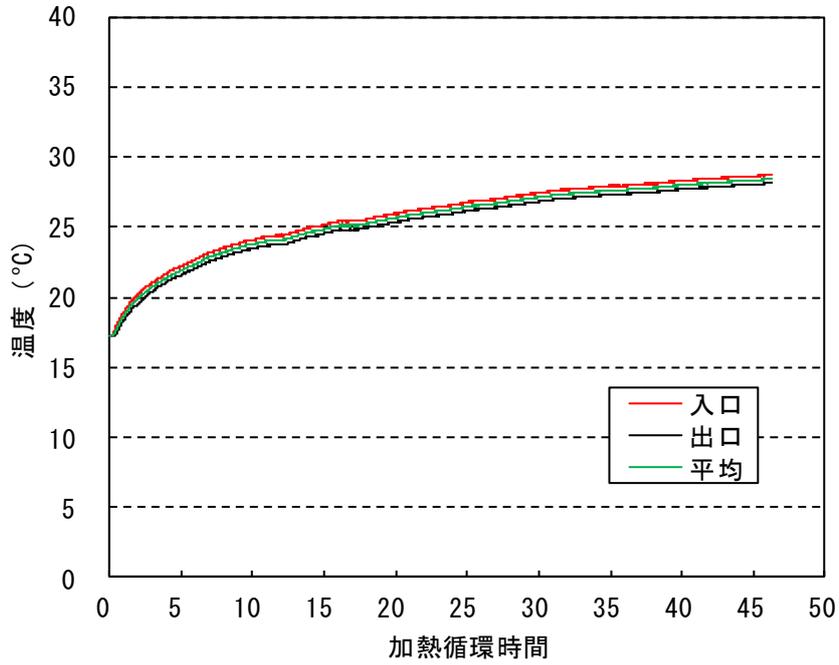


図 3. 4. 4. 21. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

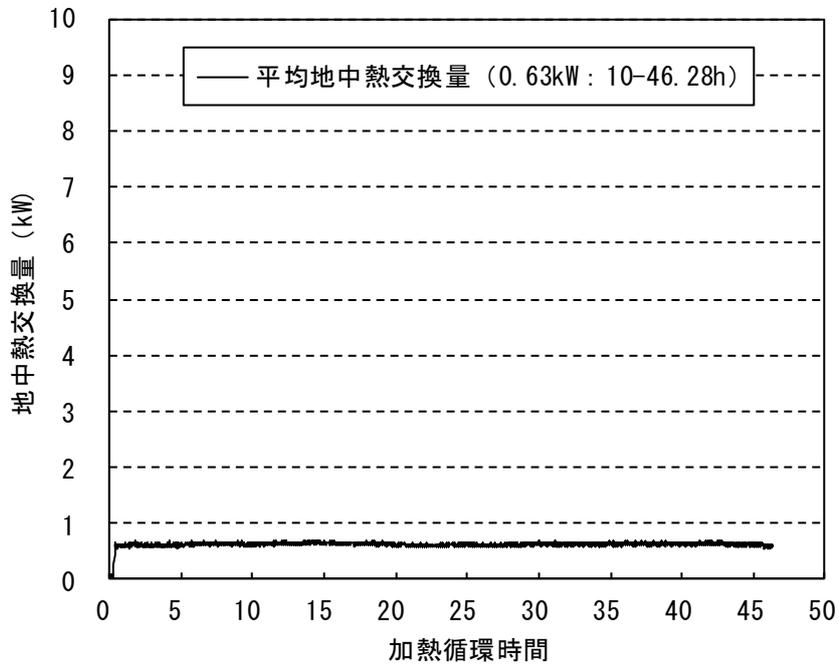


図 3. 4. 4. 21. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

21. 板柳町

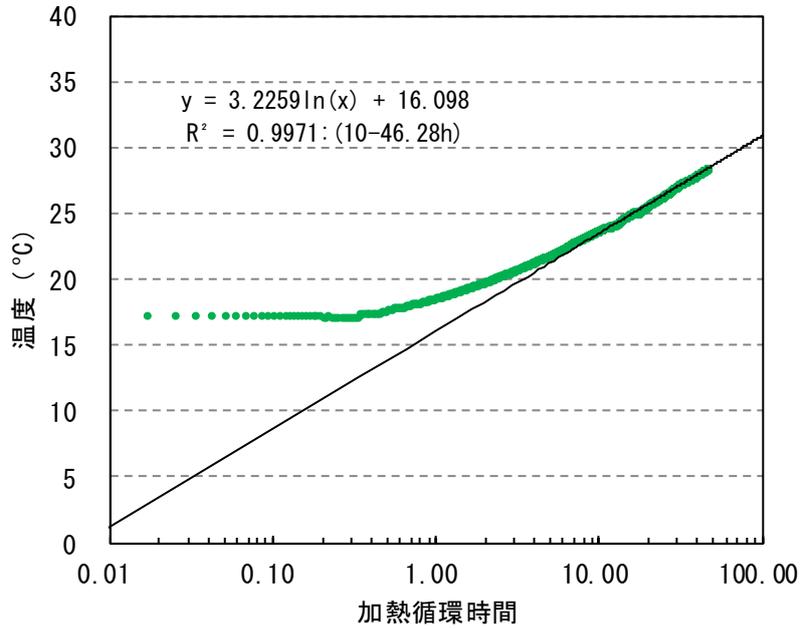


図 3. 4. 4. 21. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

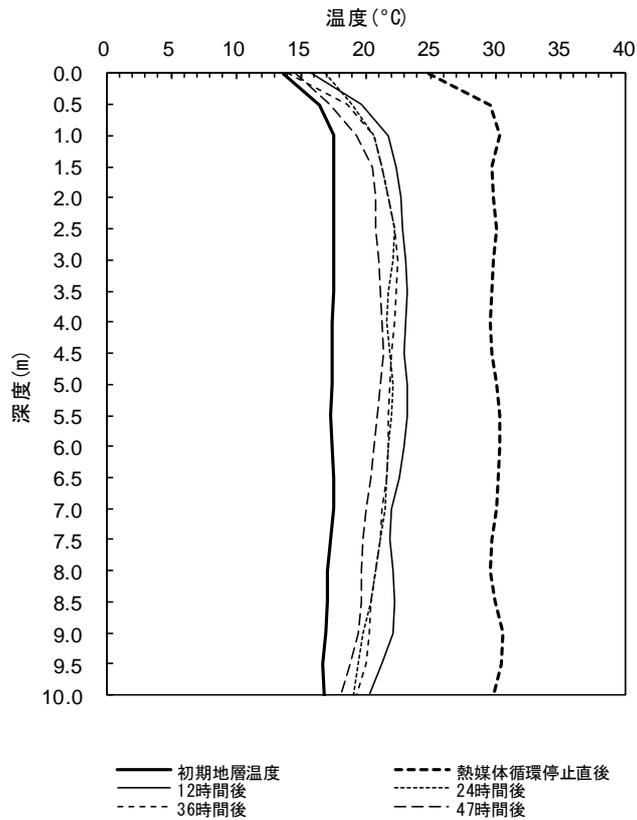


図 3. 4. 4. 21. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

22. 鶴田町

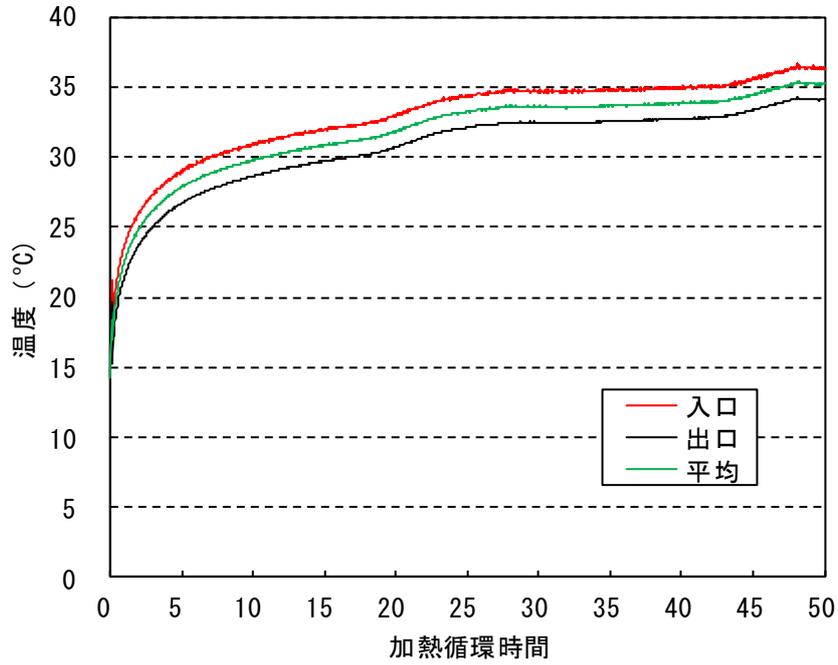


図 3. 4. 4. 22. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

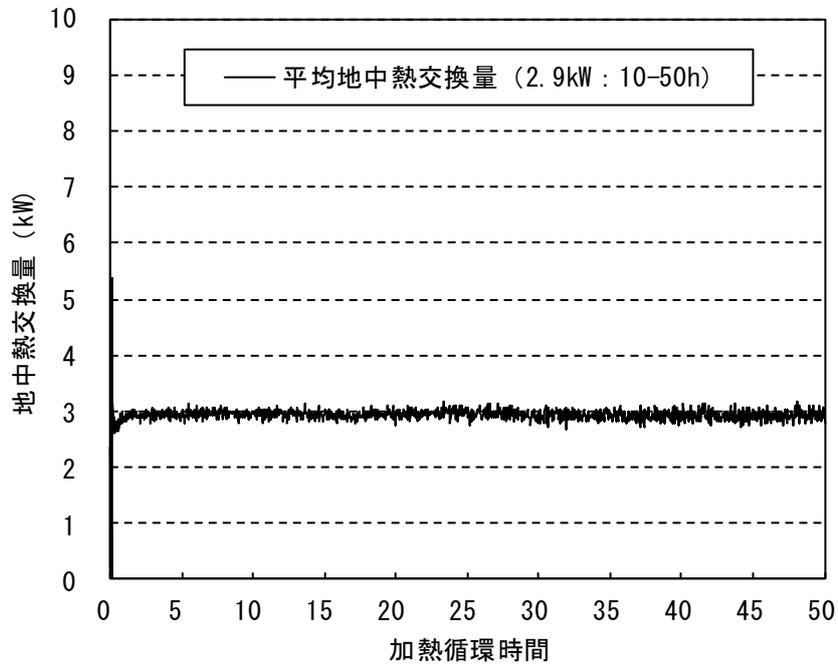


図 3. 4. 4. 22. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

22. 鶴田町

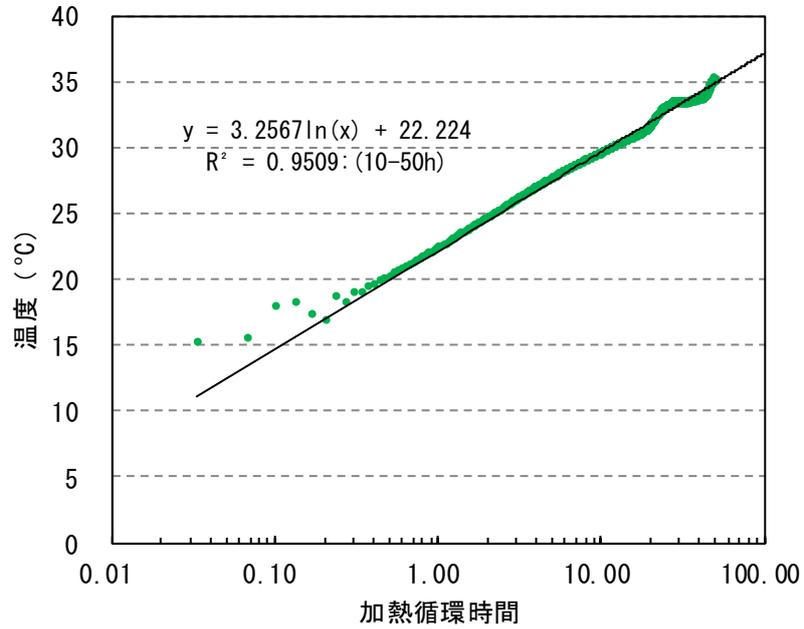


図 3. 4. 4. 22. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

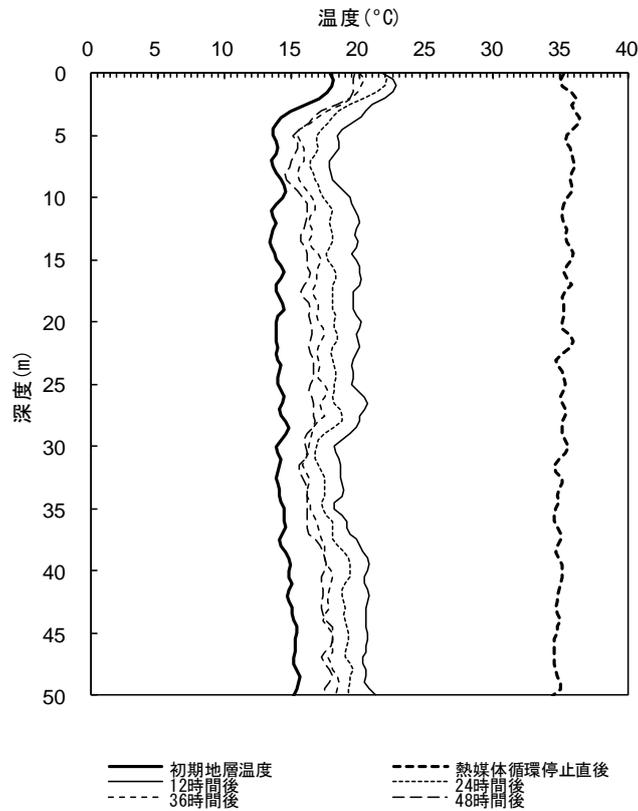


図 3. 4. 4. 22. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

23. 中泊町

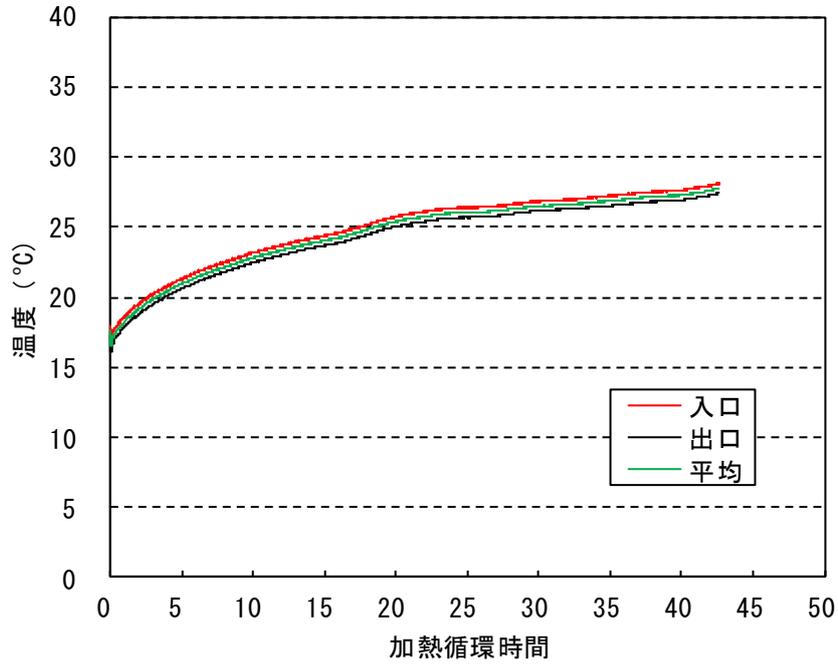


図 3. 4. 4. 23. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

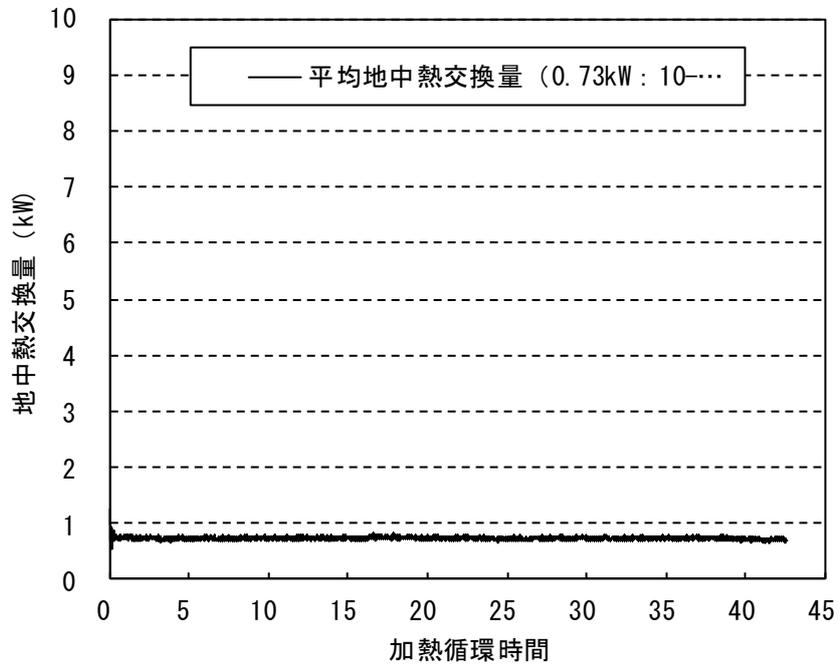


図 3. 4. 4. 23. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

23. 中泊町

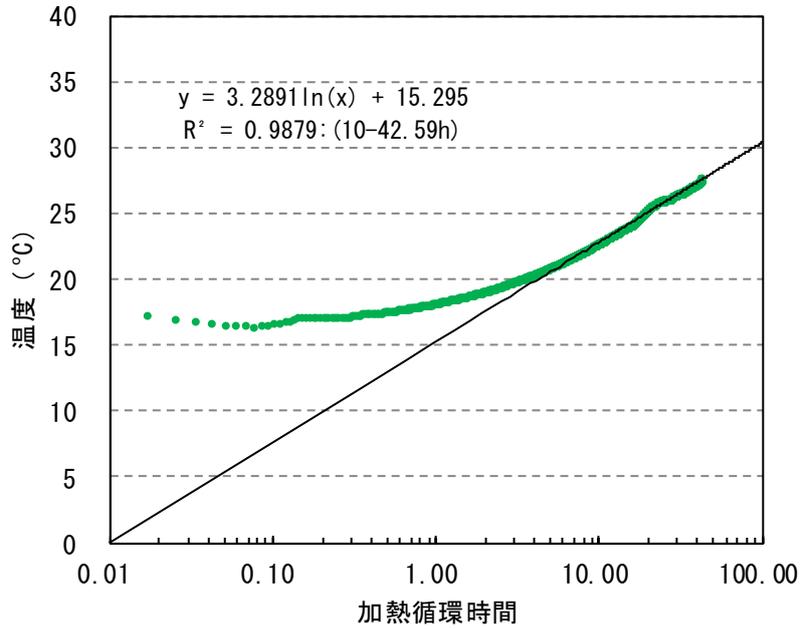


図 3. 4. 4. 23. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

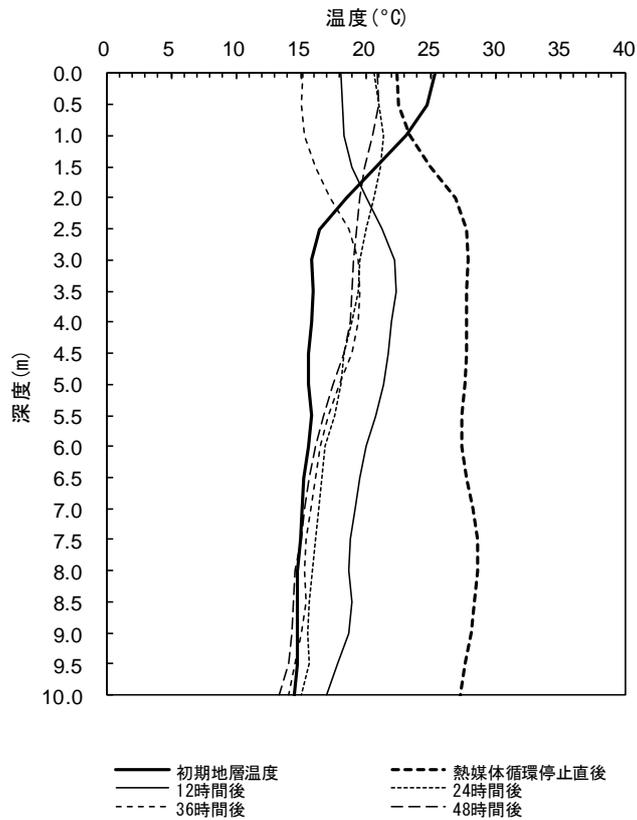


図 3. 4. 4. 23. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

24. 野辺地町

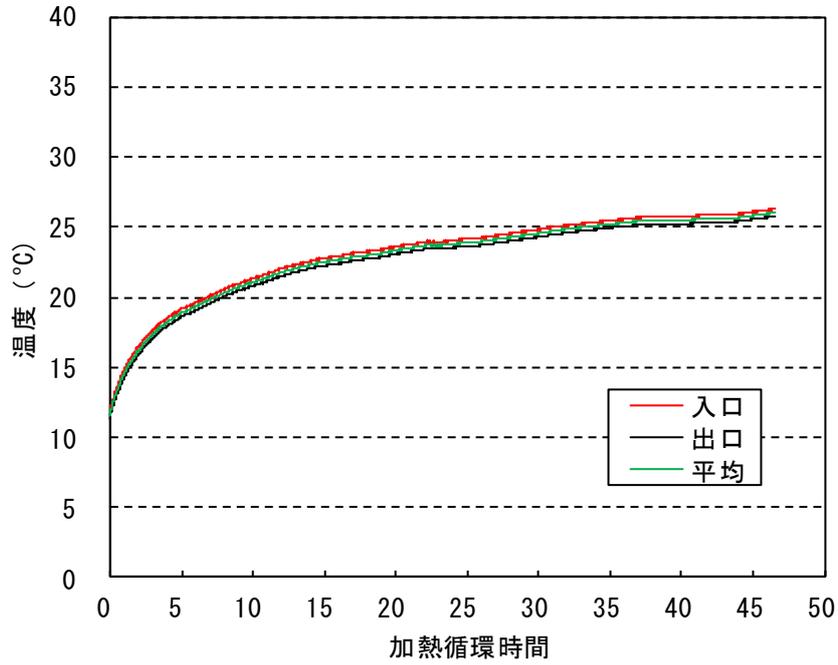


図 3. 4. 4. 24. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

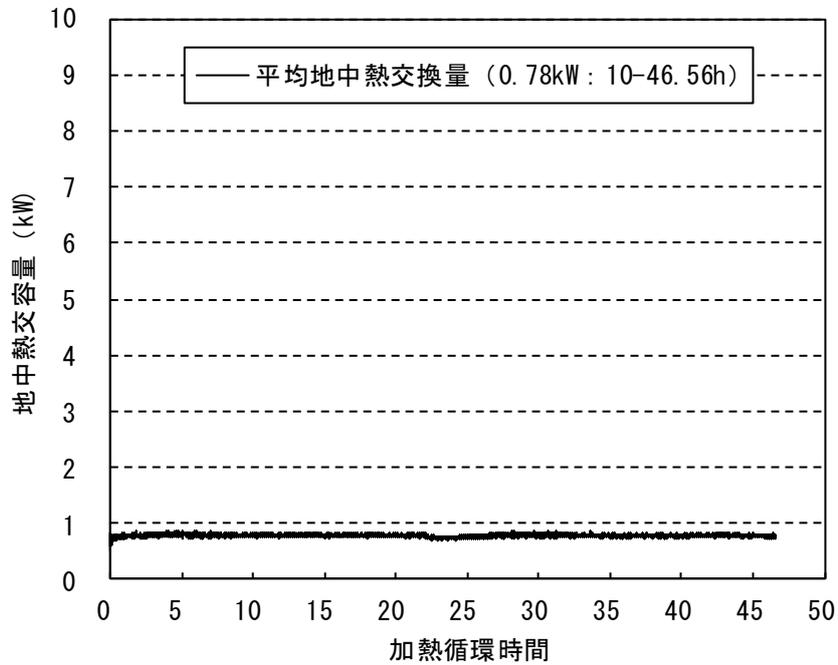


図 3. 4. 4. 24. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

24. 野辺地町

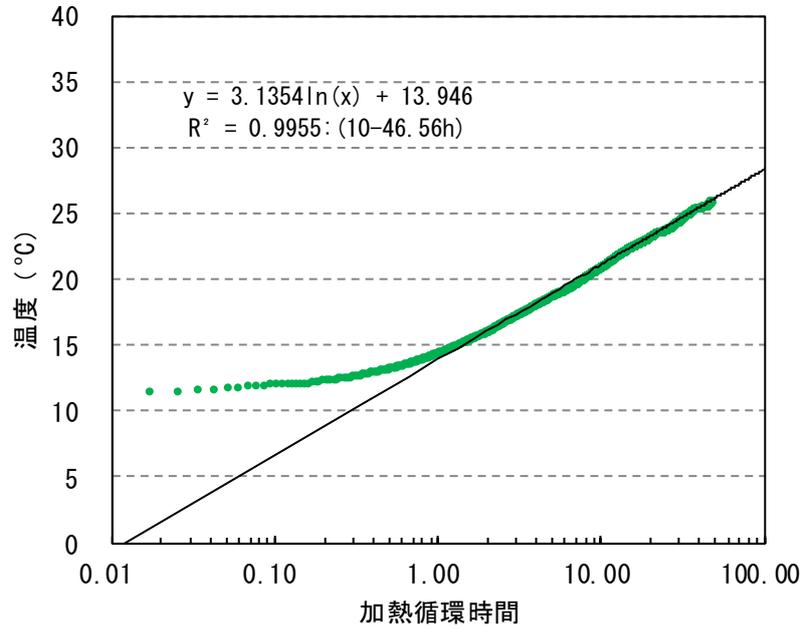


図 3. 4. 4. 24. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

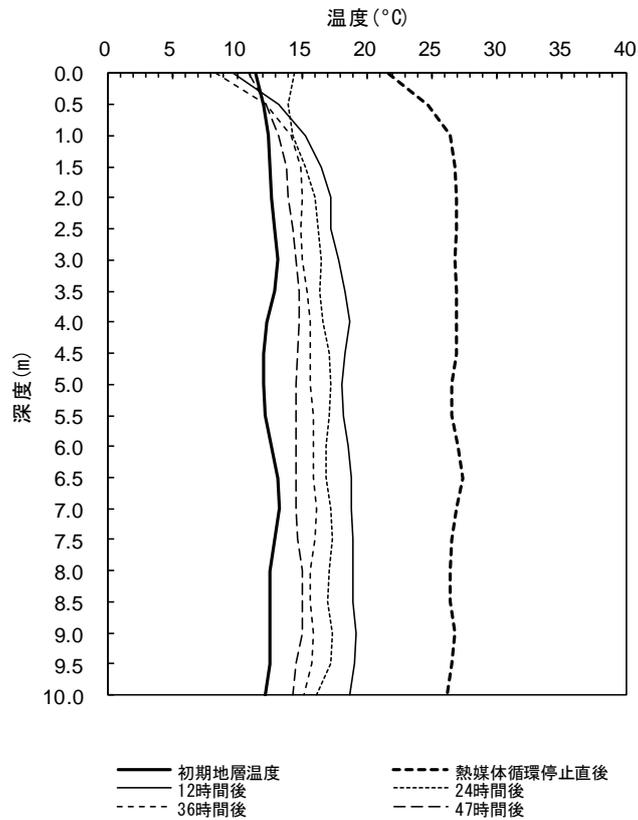


図 3. 4. 4. 24. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

25. 七戸町

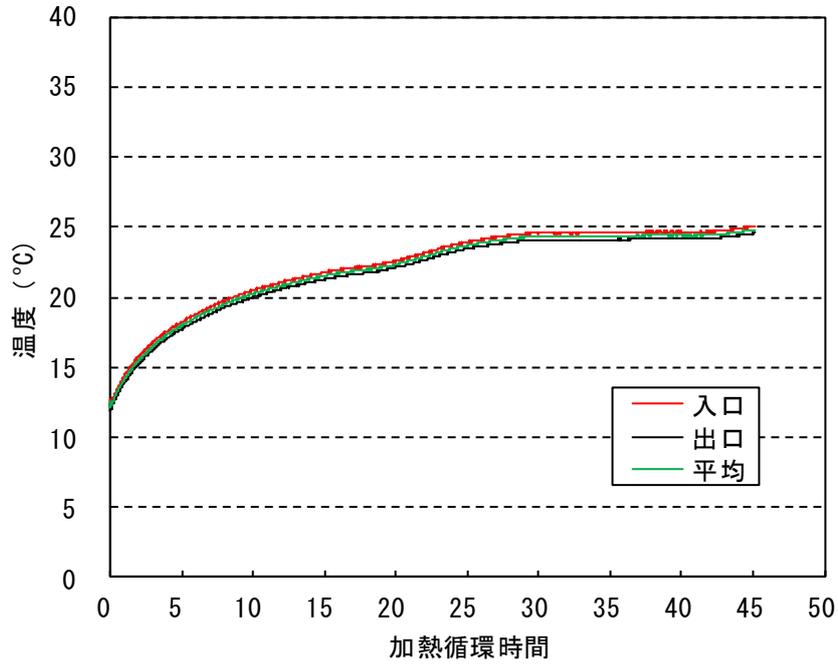


図 3. 4. 4. 25. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

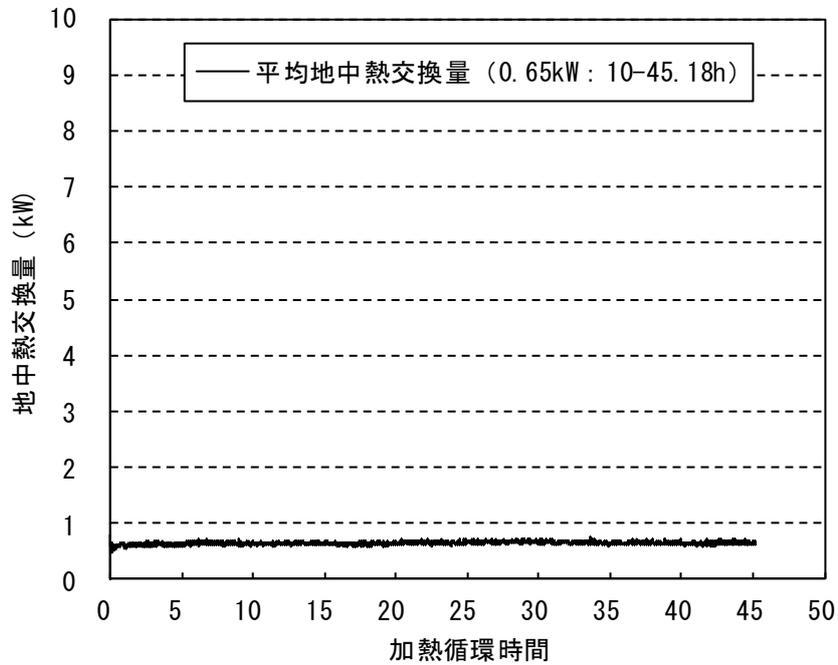


図 3. 4. 4. 25. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

25. 七戸町

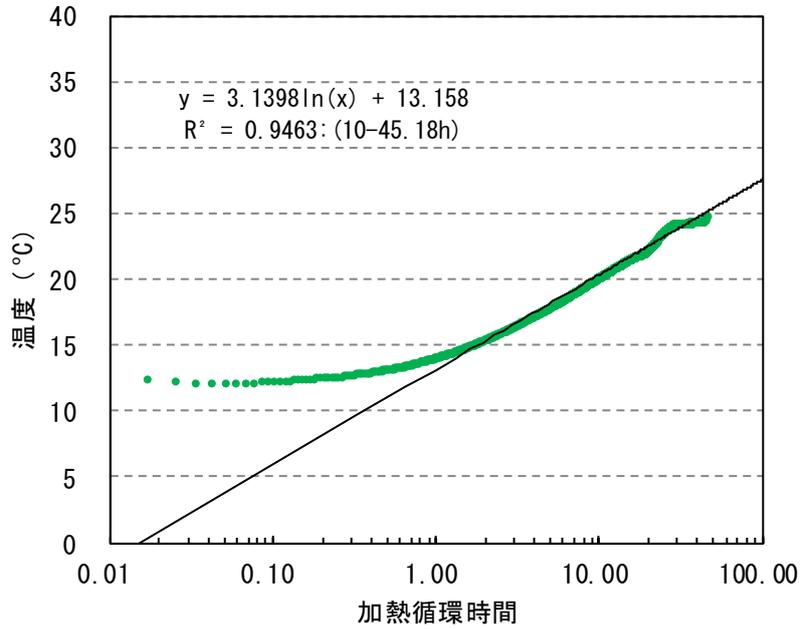


図 3. 4. 4. 25. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

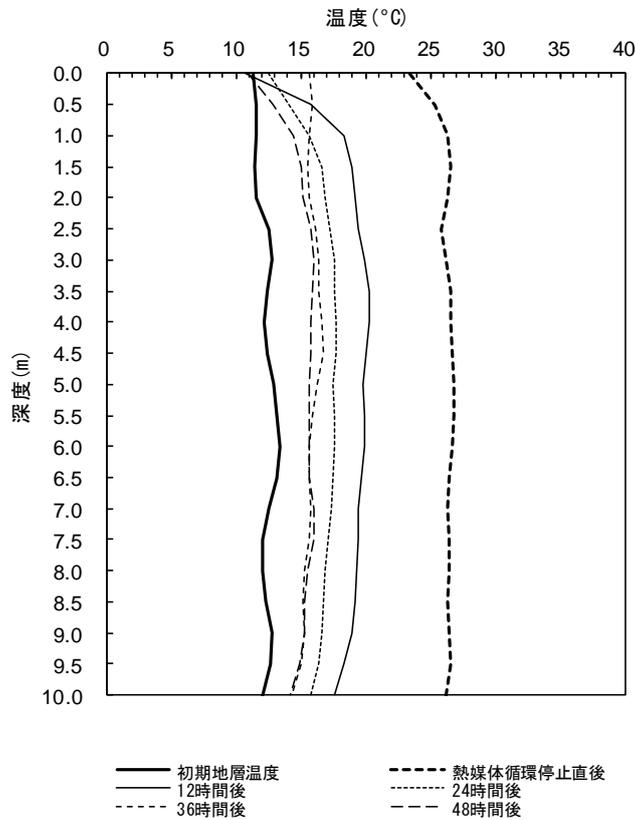


図 3. 4. 4. 25. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

26. 六戸町

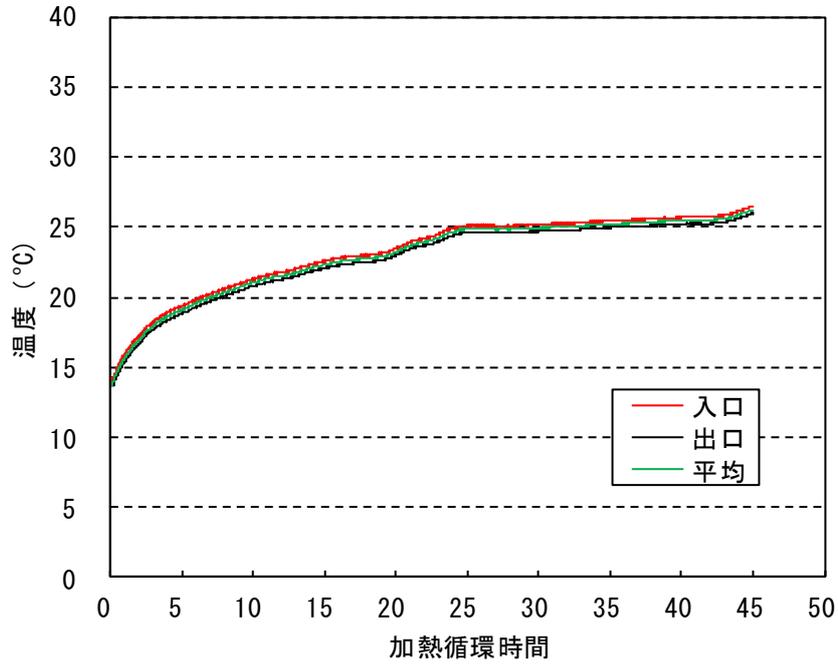


図 3. 4. 4. 26. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

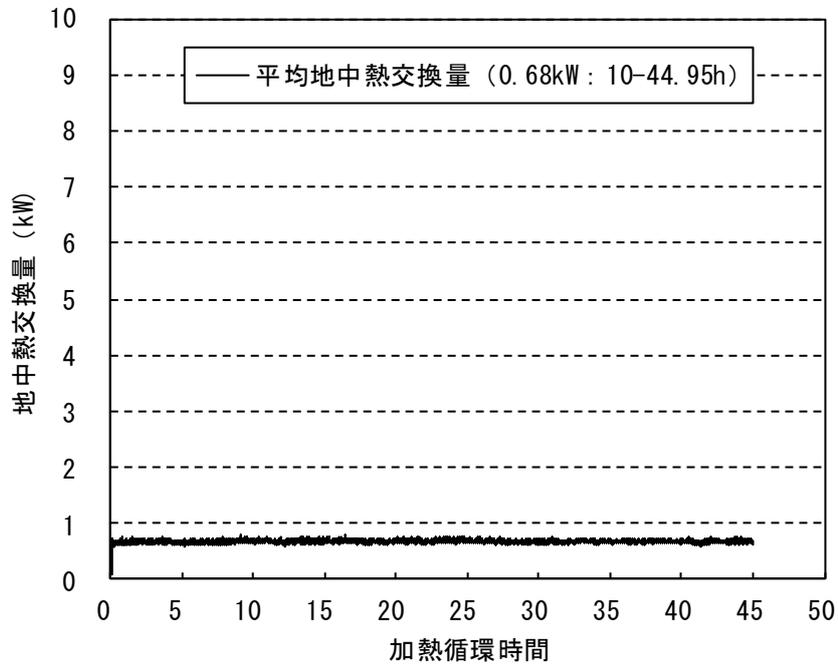


図 3. 4. 4. 26. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

26. 六戸町

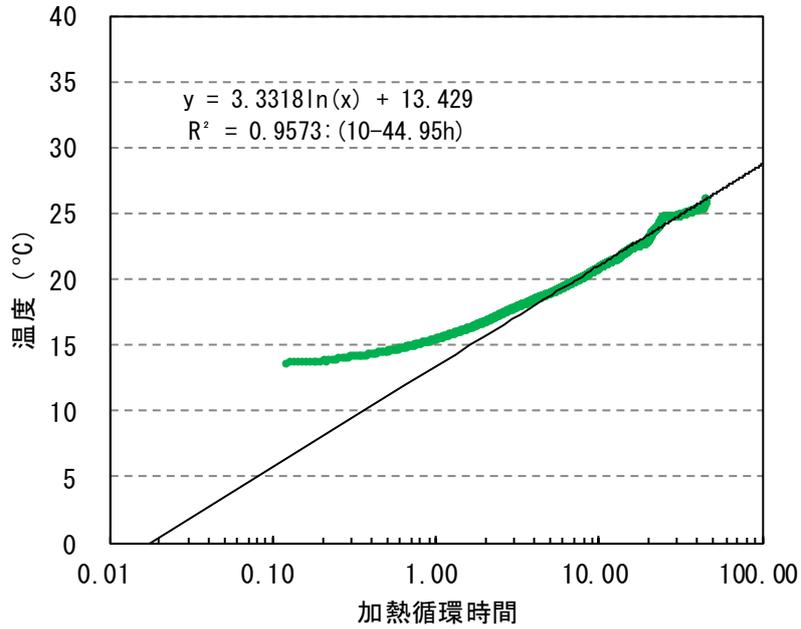


図 3. 4. 4. 26. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

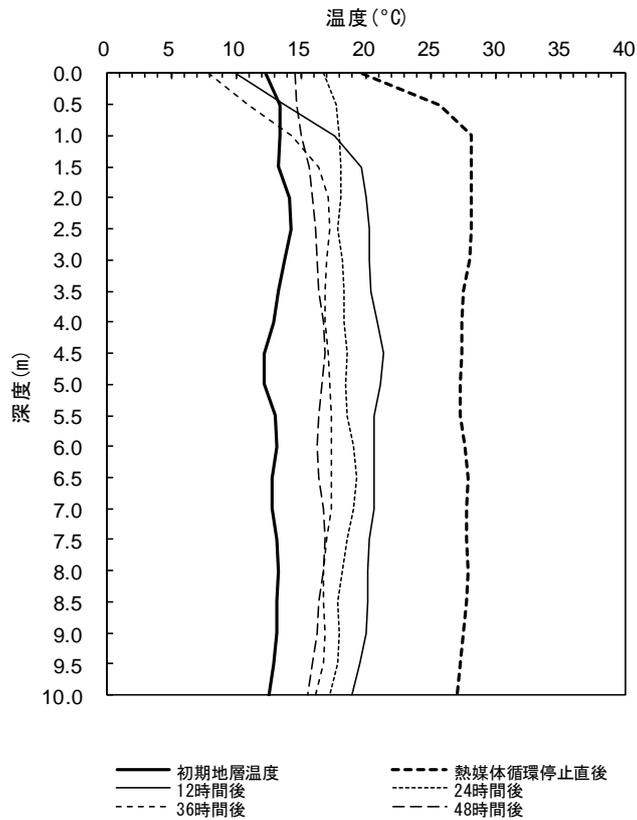


図 3. 4. 4. 26. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

27. 横浜町

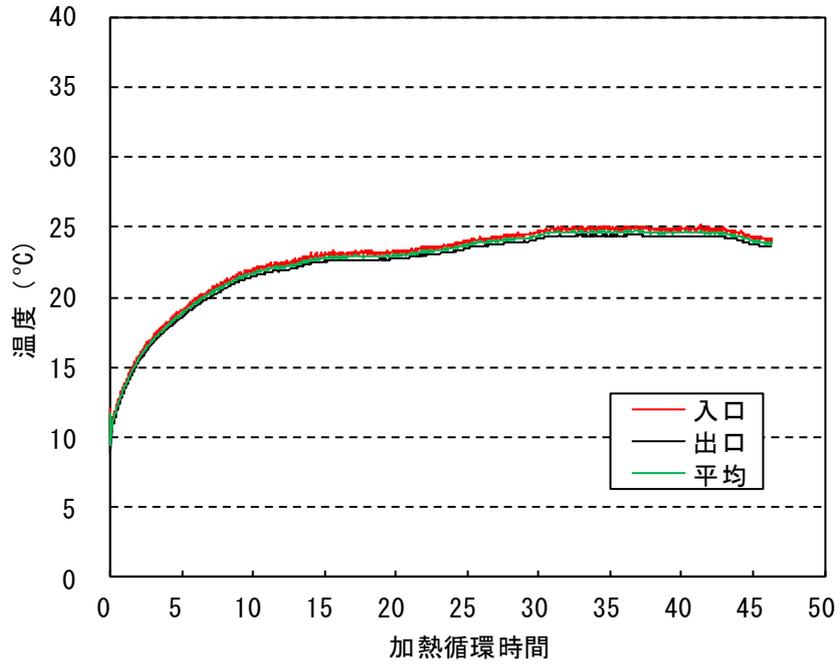


図 3. 4. 4. 27. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

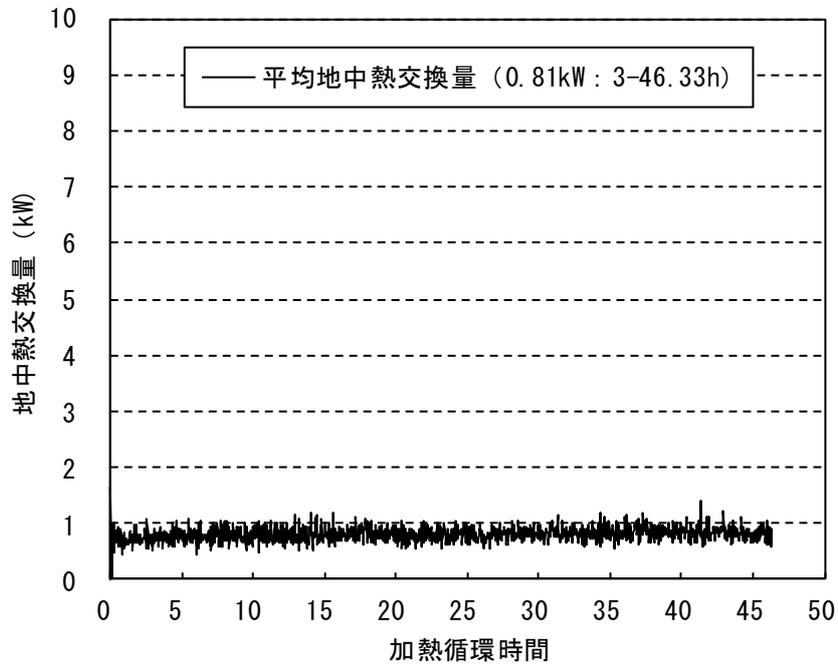


図 3. 4. 4. 27. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

27. 横浜町

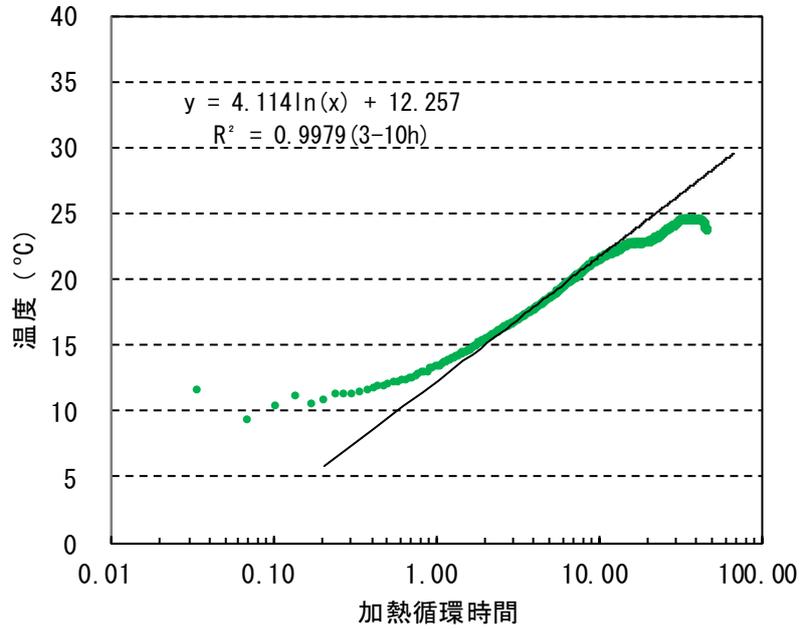


図 3. 4. 4. 27. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

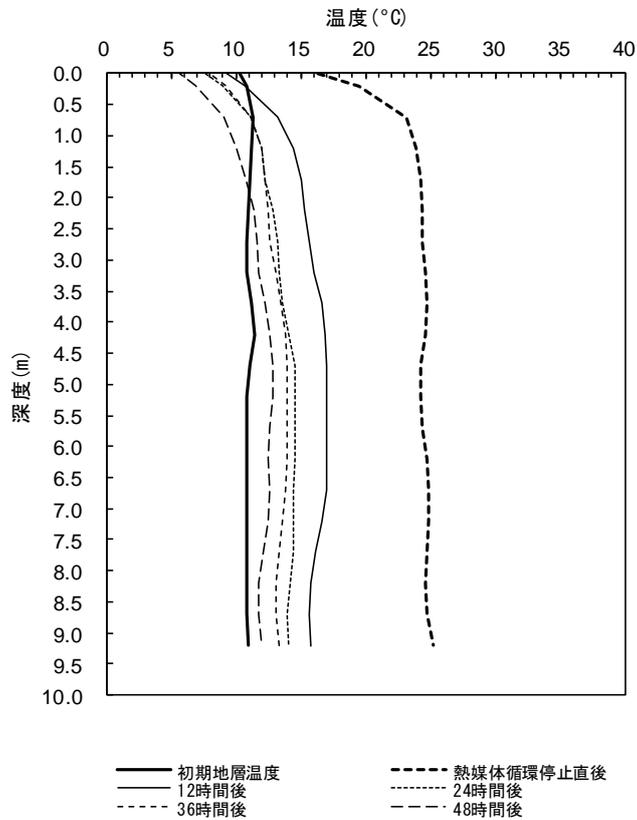


図 3. 4. 4. 27. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

28. 東北町

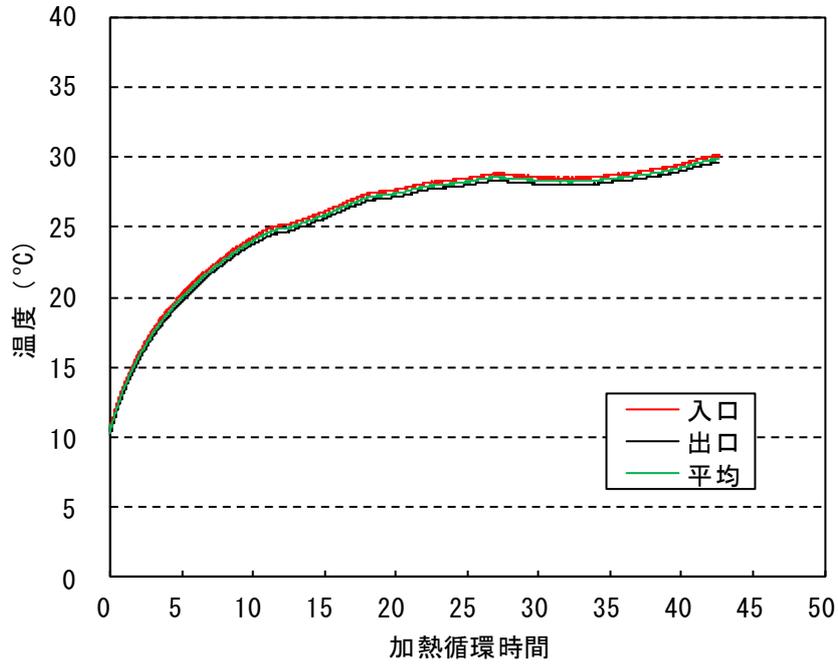


図 3. 4. 4. 28. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

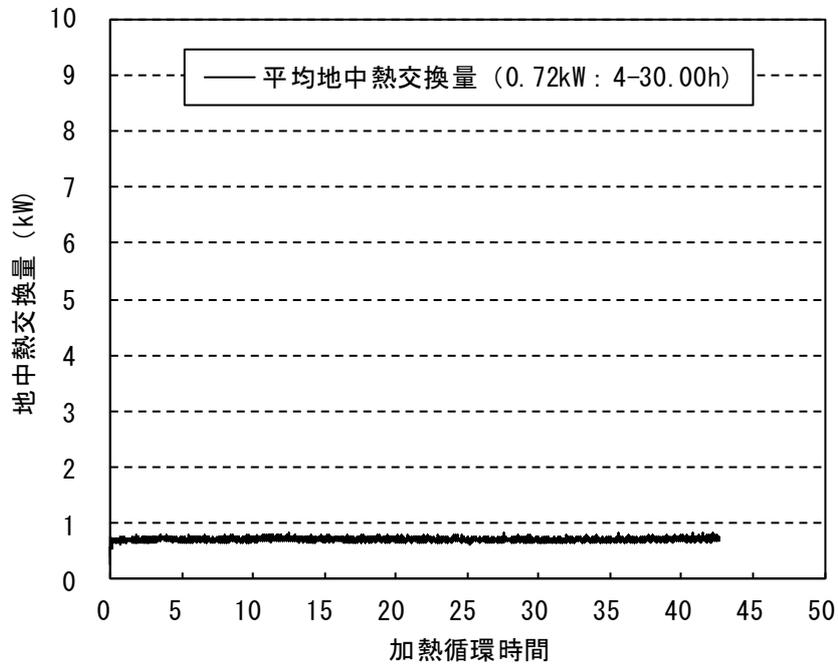


図 3. 4. 4. 28. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

28. 東北町

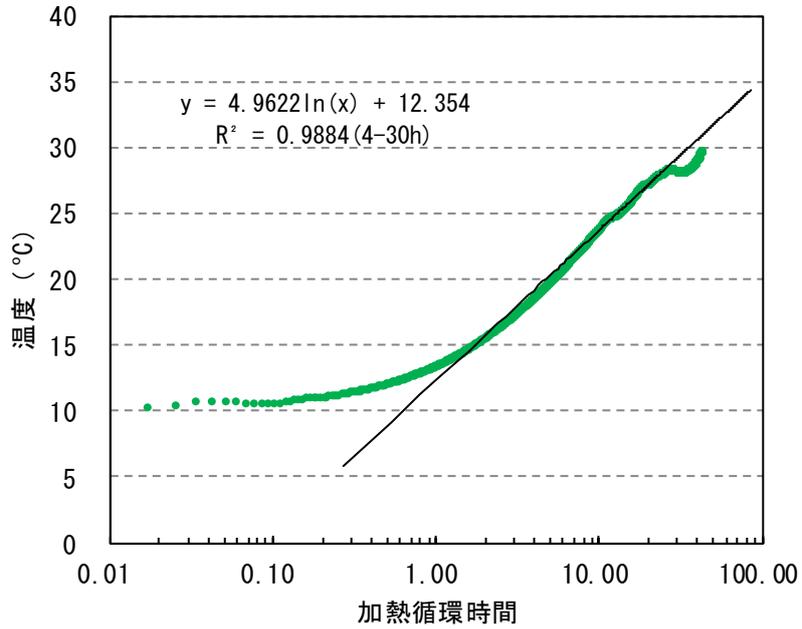


図 3. 4. 4. 28. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

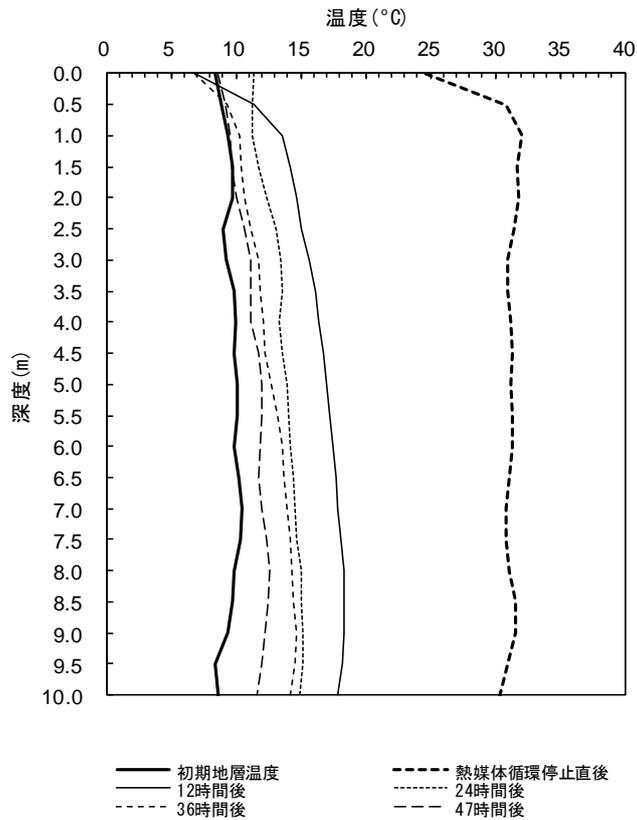


図 3. 4. 4. 28. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

29. 六ヶ所村

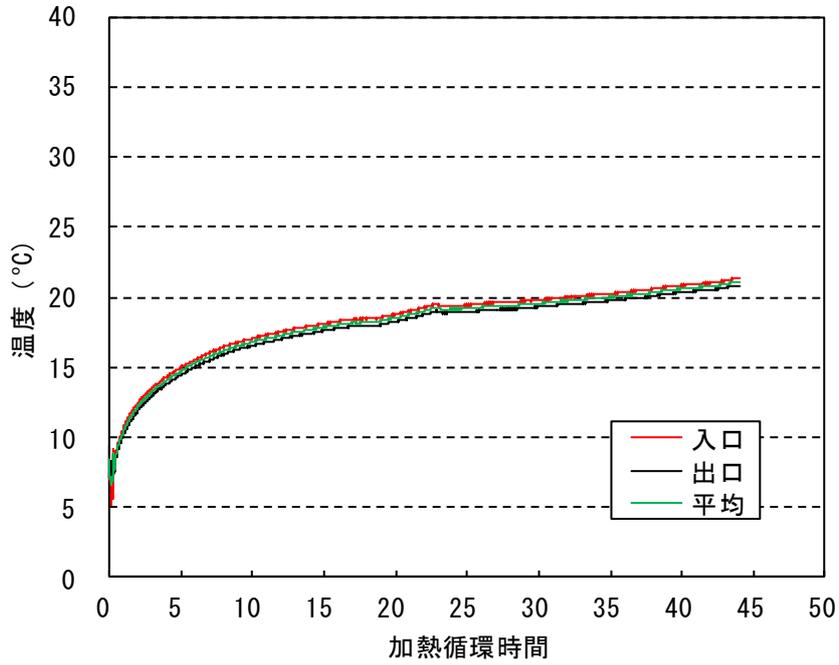


図 3. 4. 4. 29. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

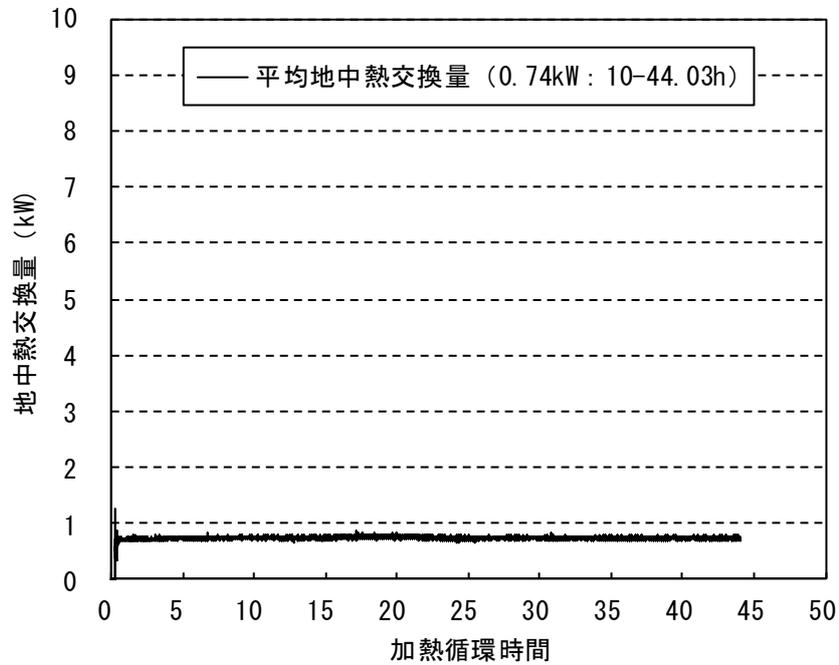


図 3. 4. 4. 29. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

29. 六ヶ所村

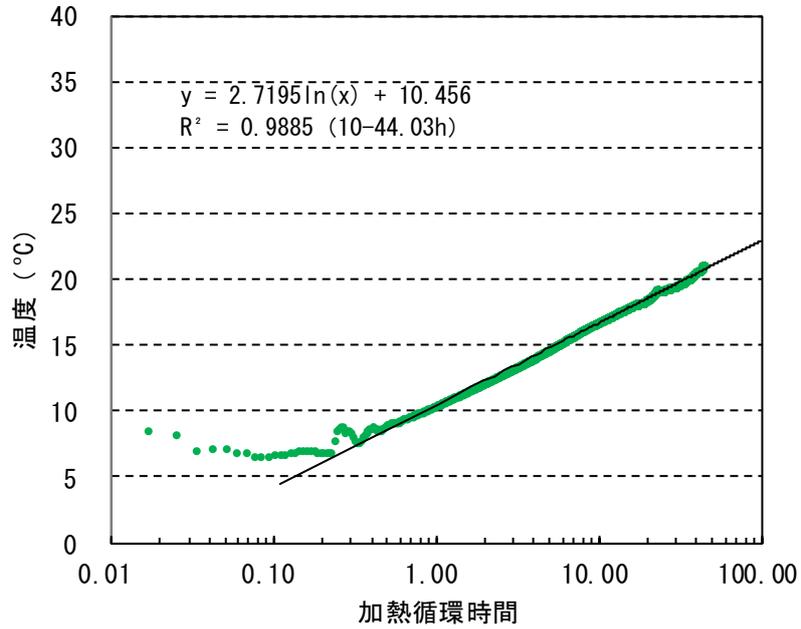


図 3. 4. 4. 29. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

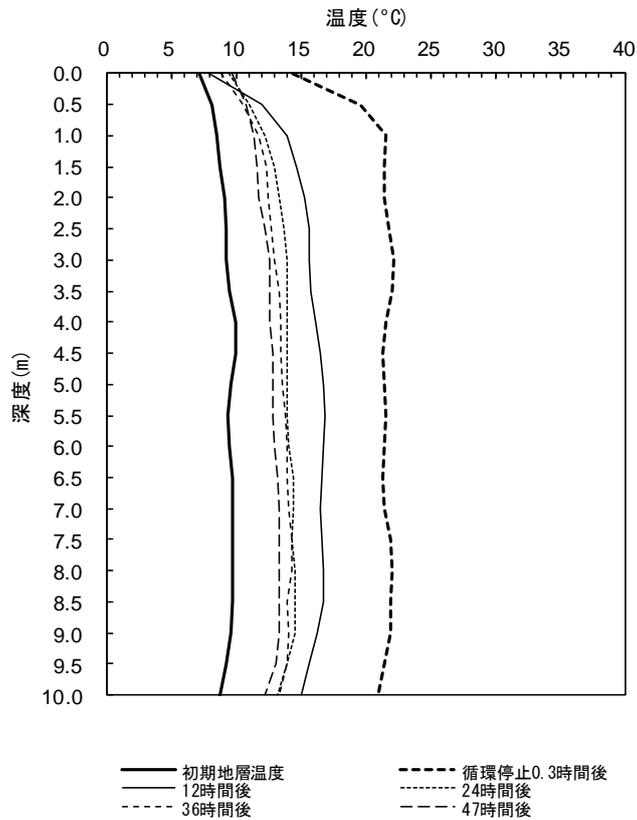


図 3. 4. 4. 29. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

30. おいらせ町

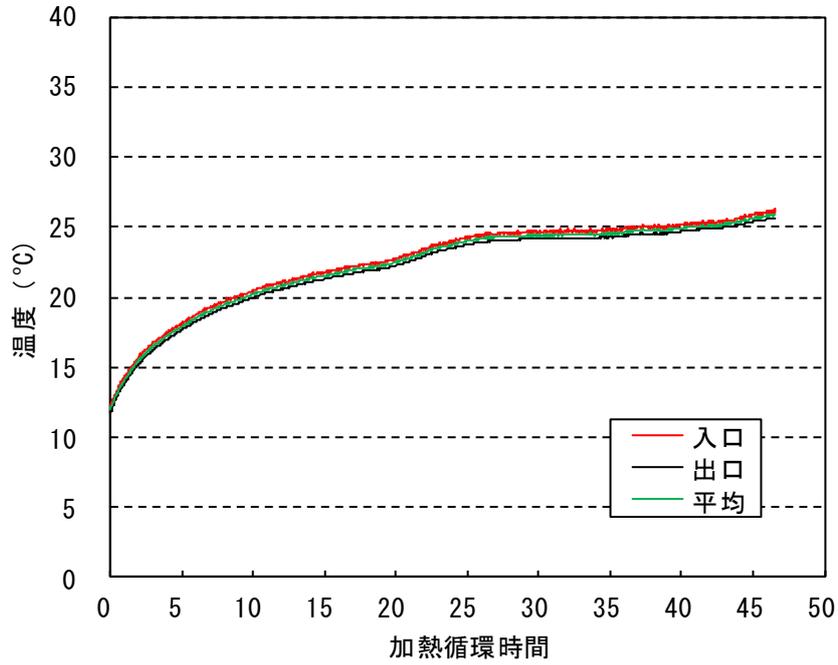


図 3. 4. 4. 30. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

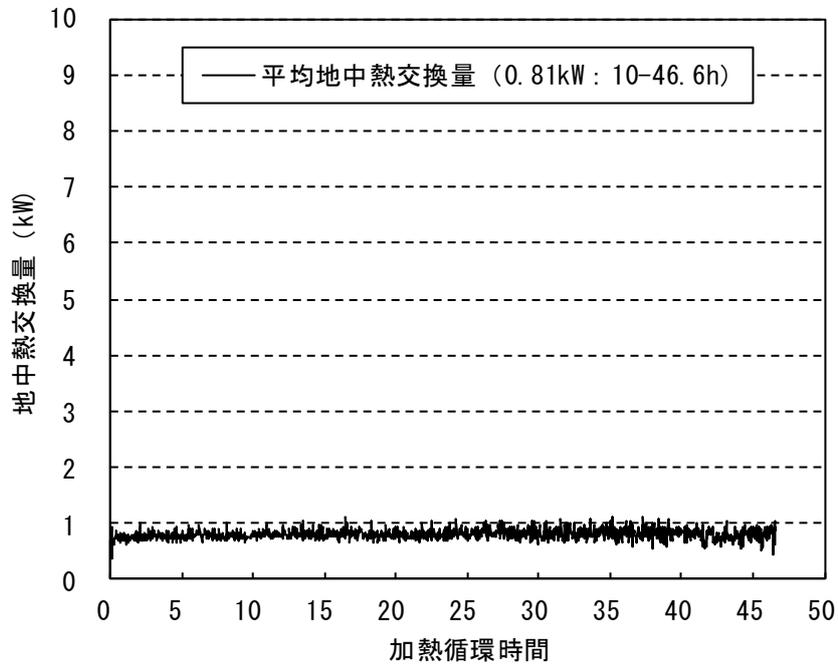


図 3. 4. 4. 30. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

30. おいらせ町

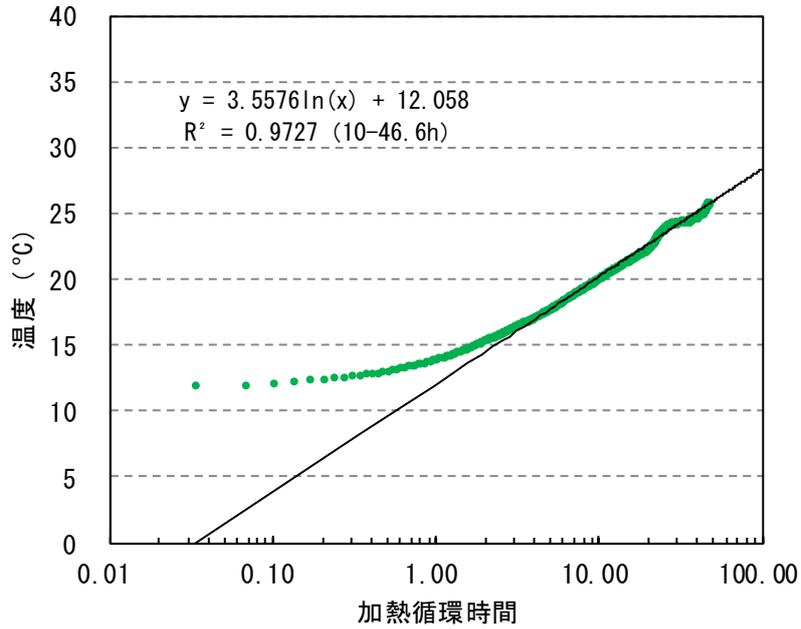


図 3. 4. 4. 30. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

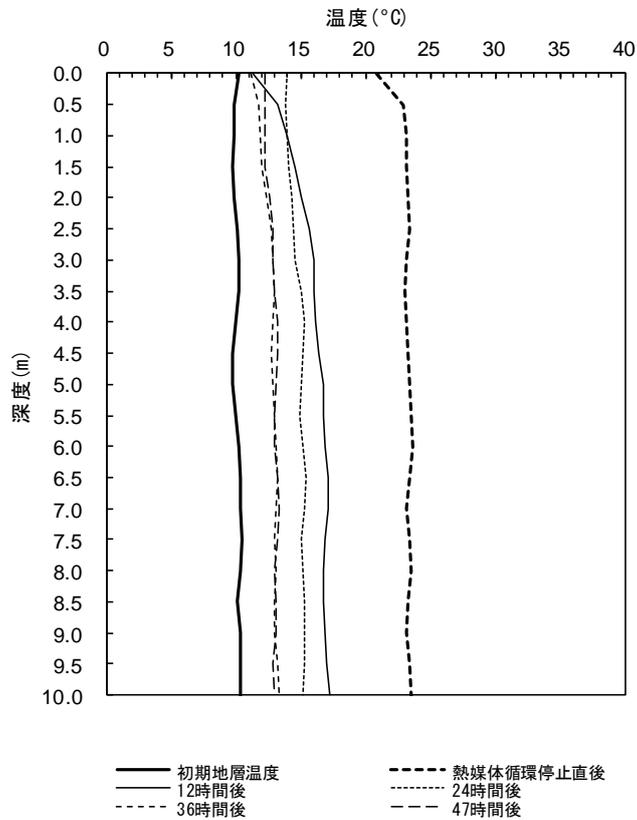


図 3. 4. 4. 30. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

31. 大間町

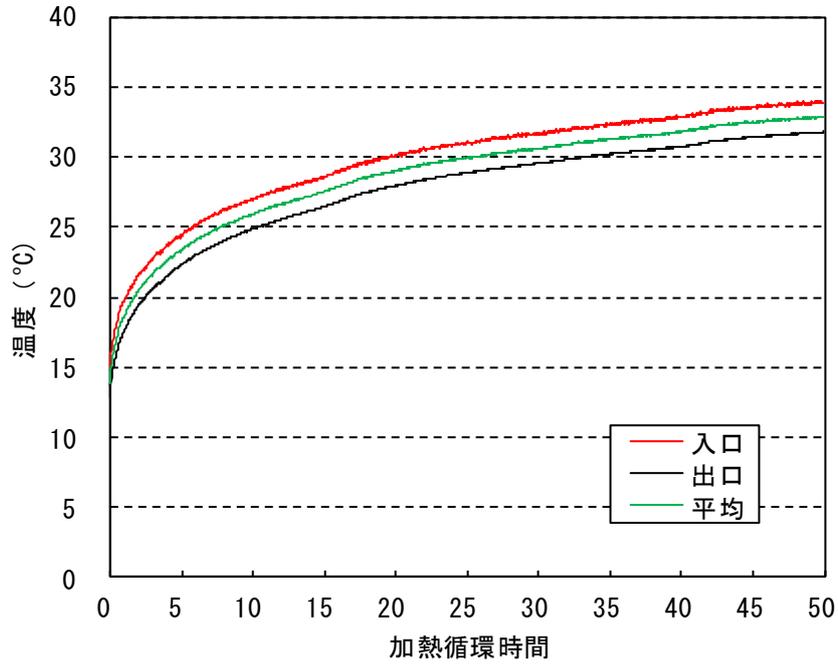


図 3. 4. 4. 31. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

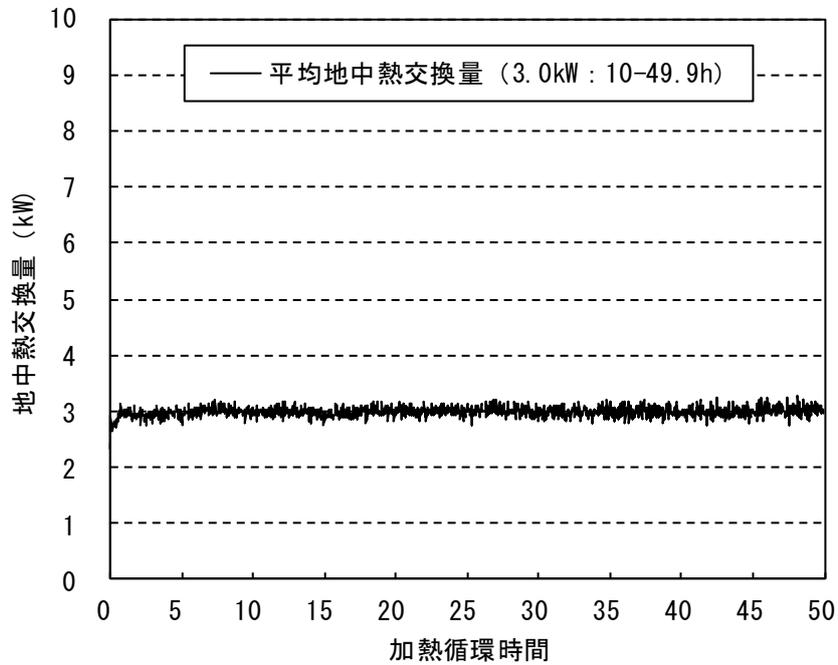


図 3. 4. 4. 31. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

31. 大間町

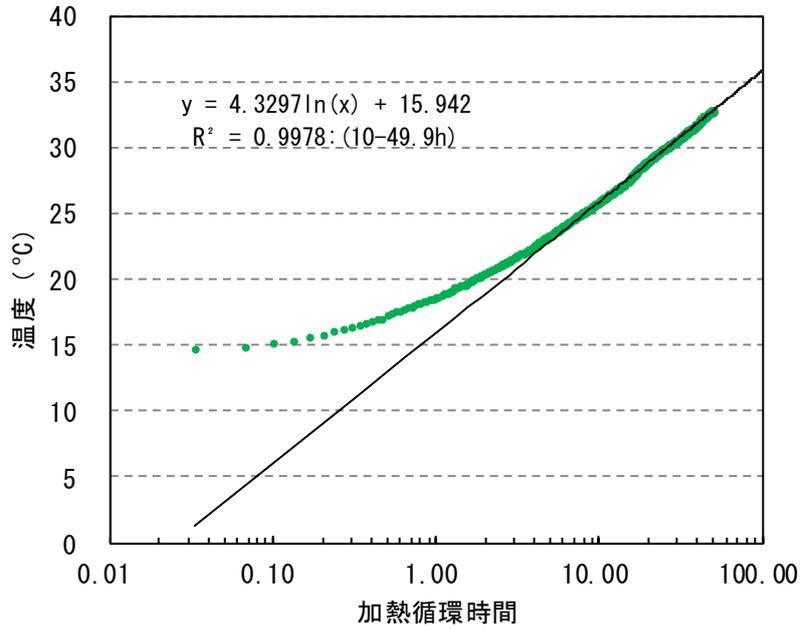


図 3. 4. 4. 31. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

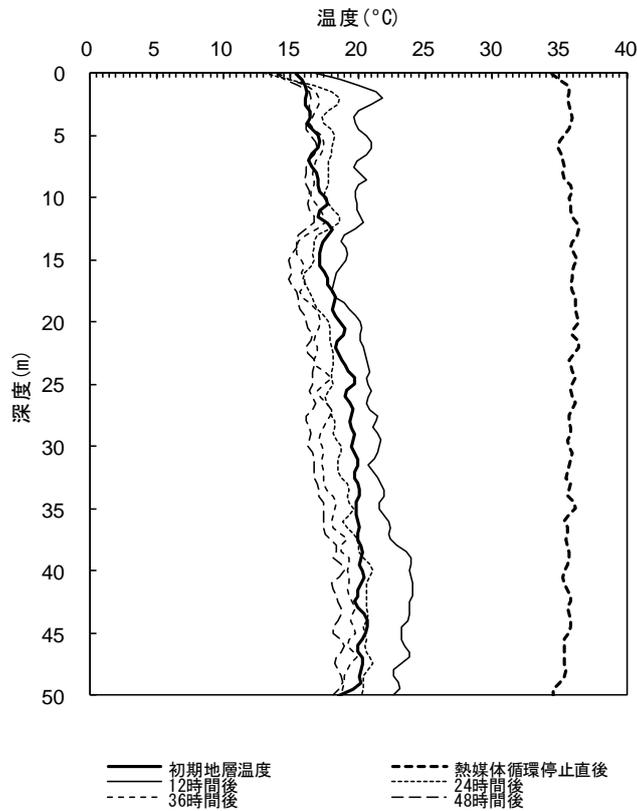


図 3. 4. 4. 31. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

32. 東通村

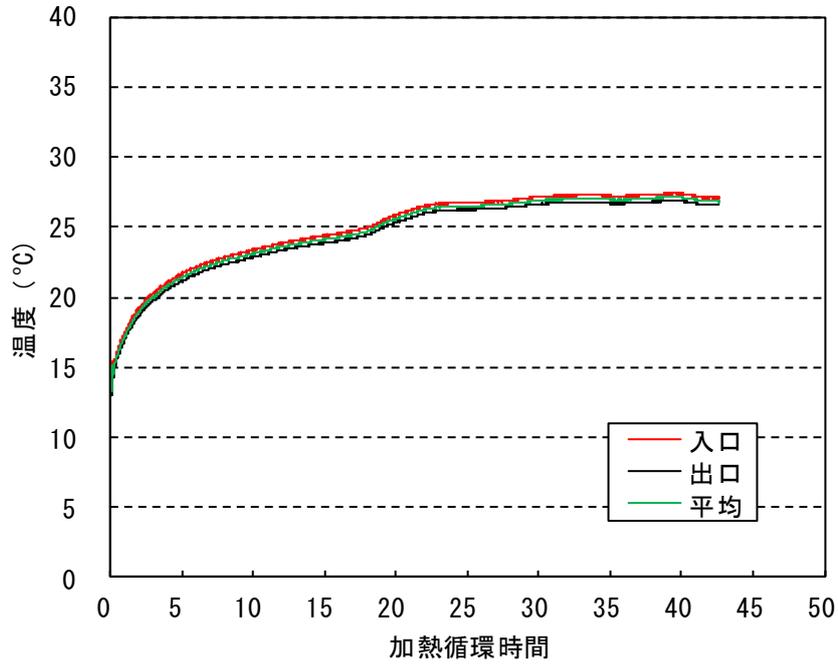


図 3. 4. 4. 32. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

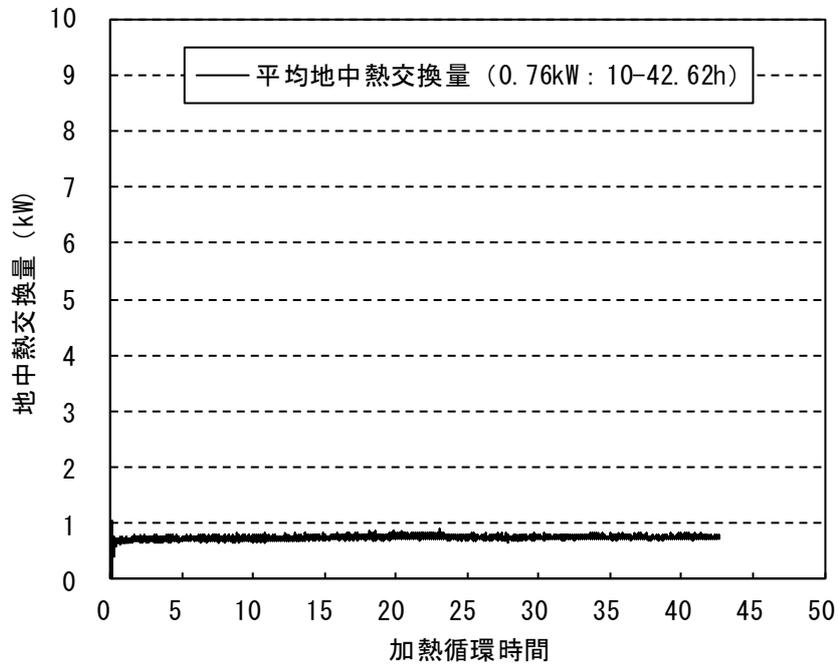


図 3. 4. 4. 32. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

32. 東通村

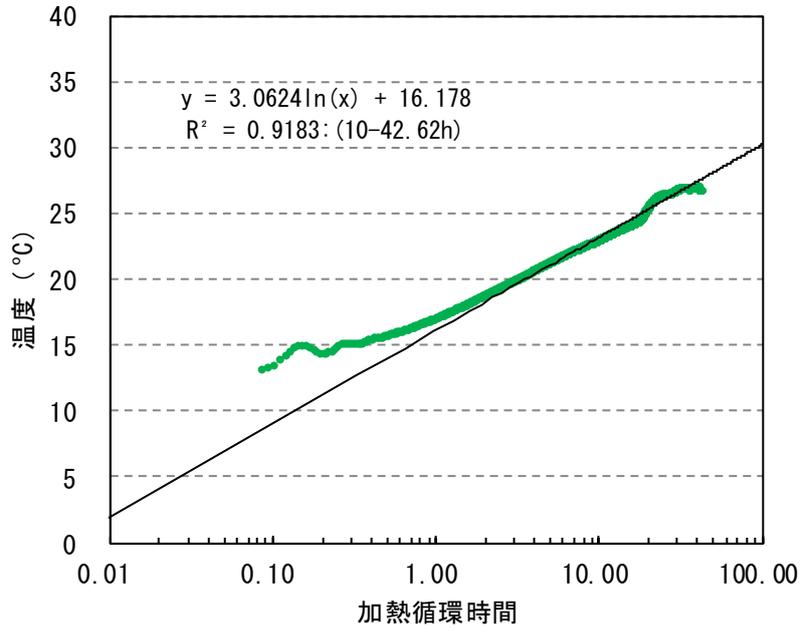


図 3. 4. 4. 32. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

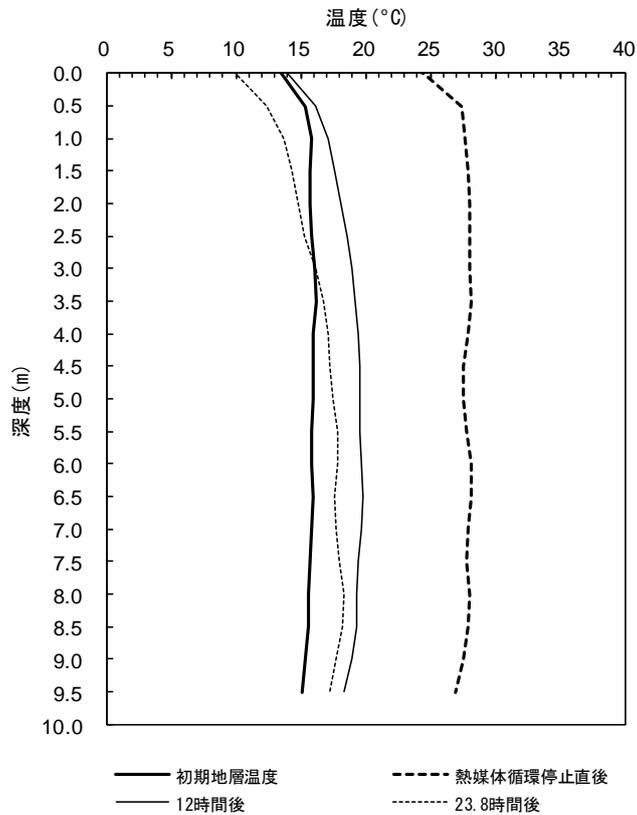


図 3. 4. 4. 32. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

33. 風間浦村

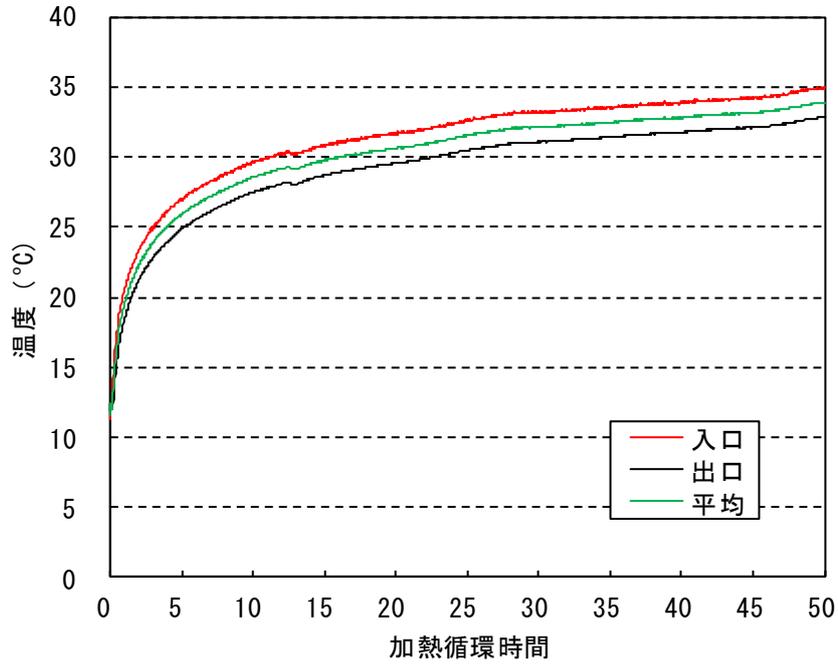


図 3. 4. 4. 33. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

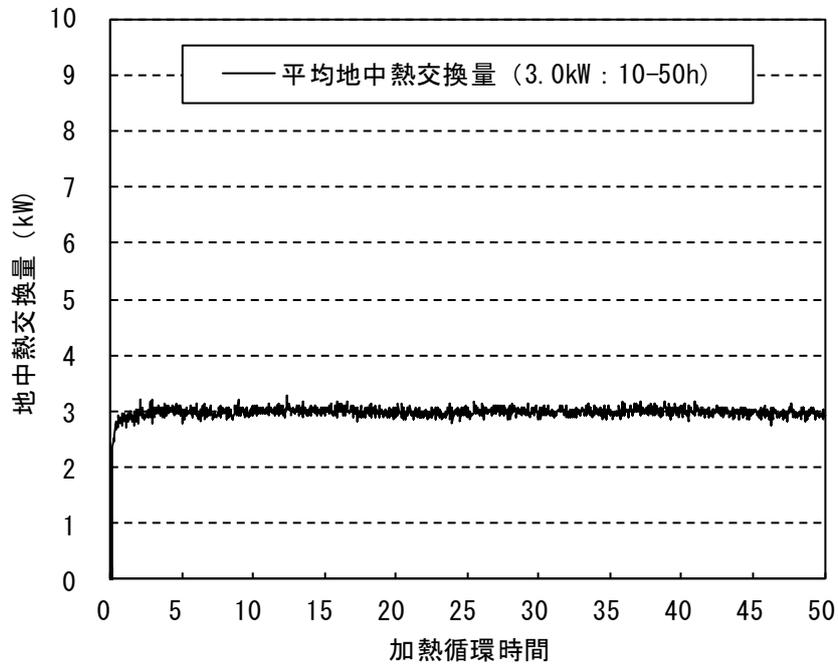


図 3. 4. 4. 33. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

33. 風間浦村

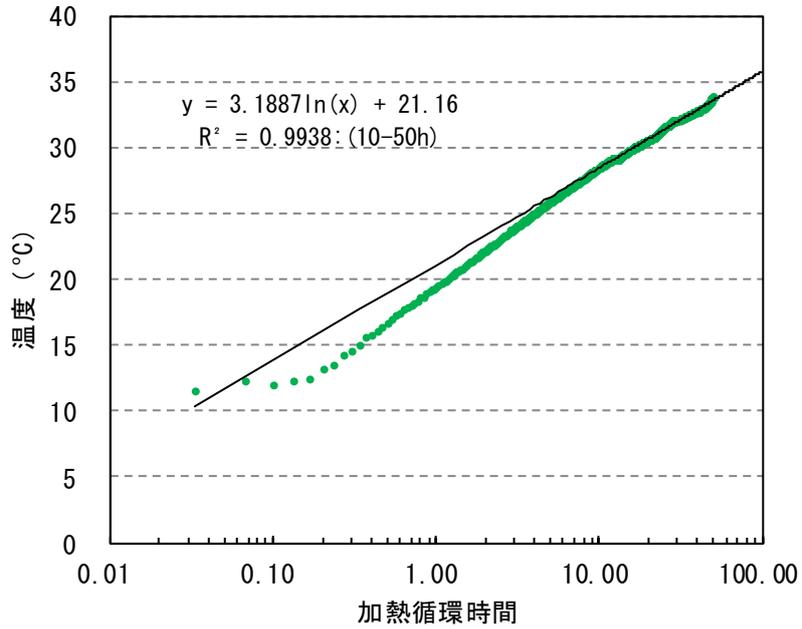


図 3. 4. 4. 33. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

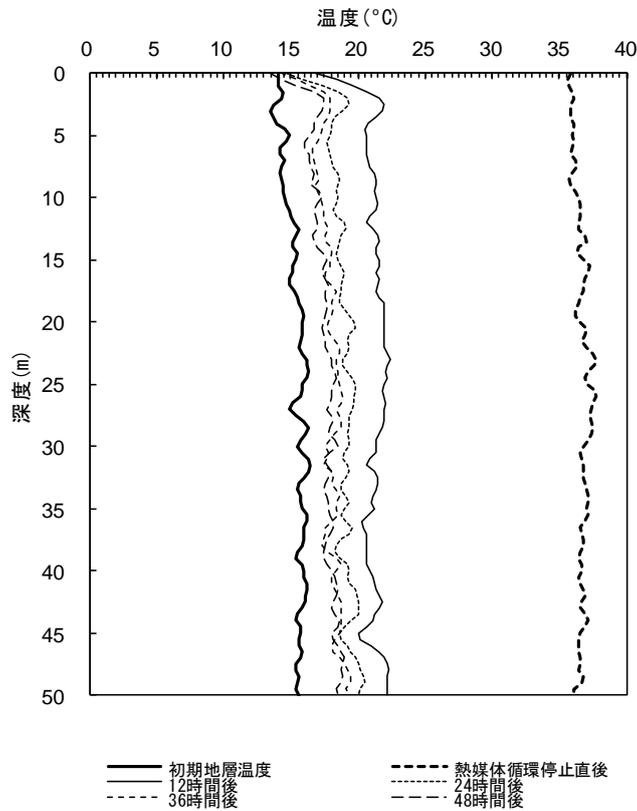


図 3. 4. 4. 33. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

34. 佐井村

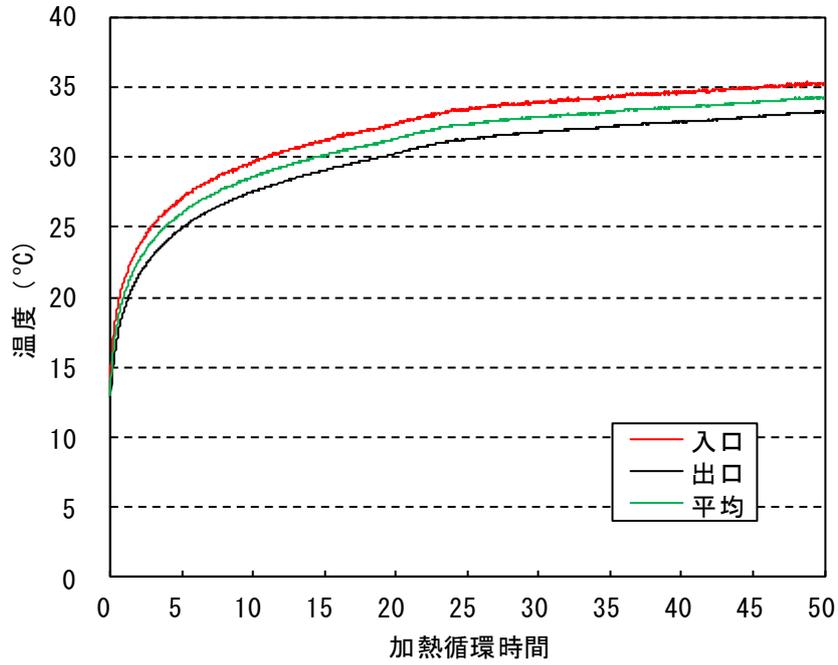


図 3. 4. 4. 34. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

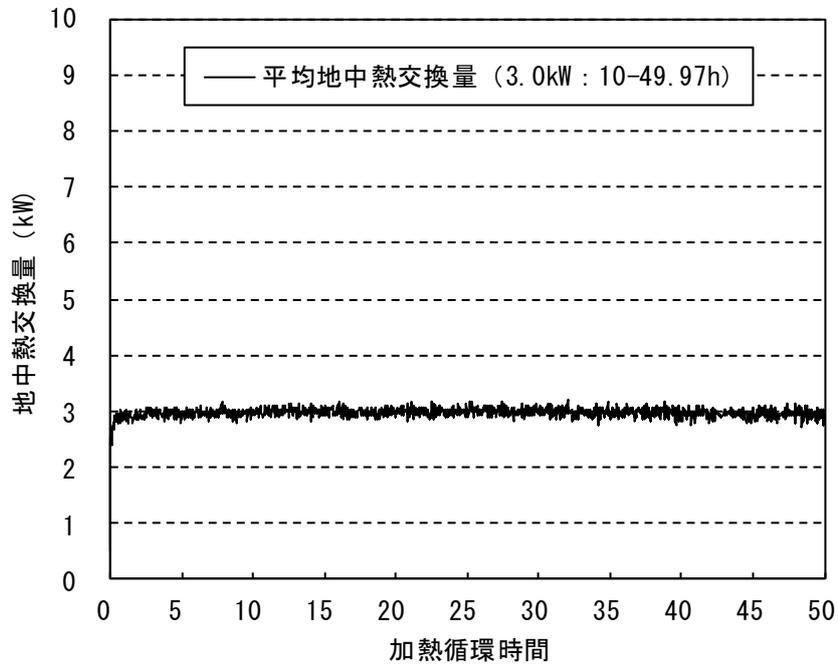


図 3. 4. 4. 34. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

34. 佐井村

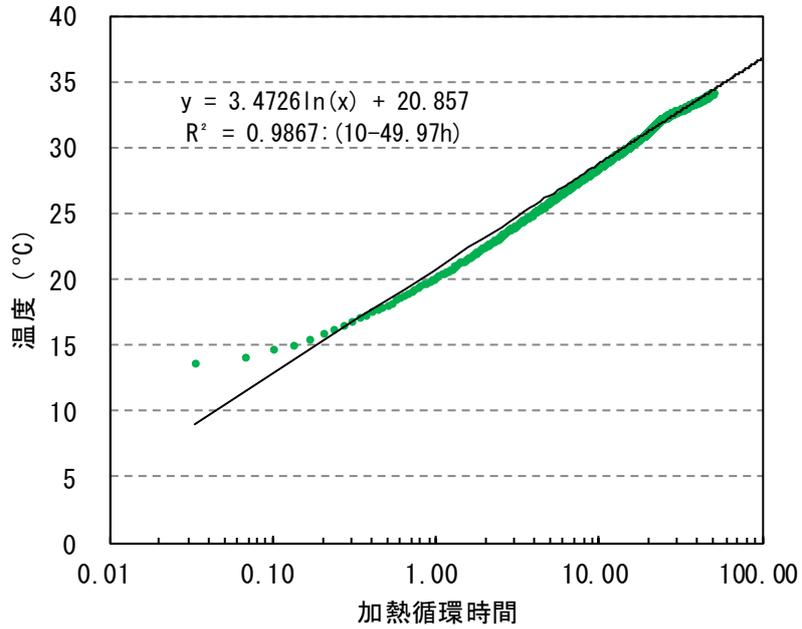


図 3. 4. 4. 34. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

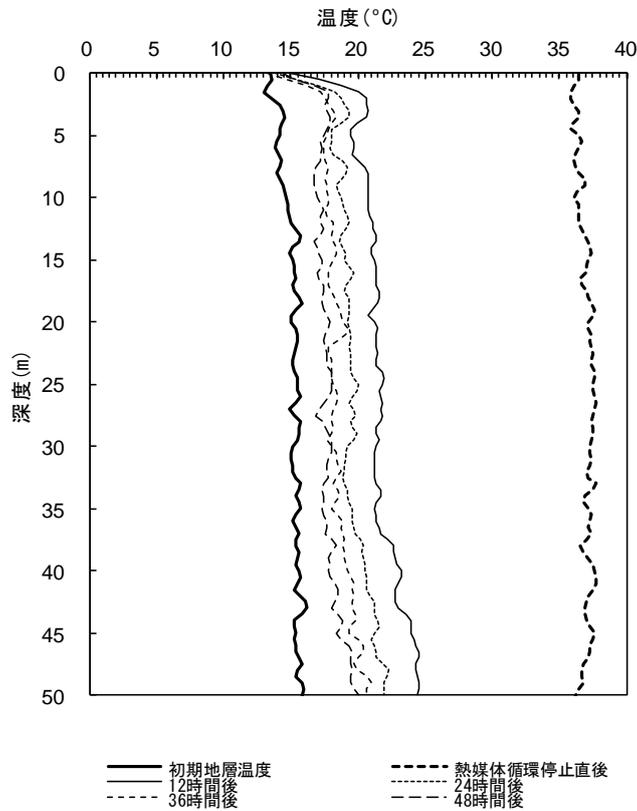


図 3. 4. 4. 34. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

35. 三戸町

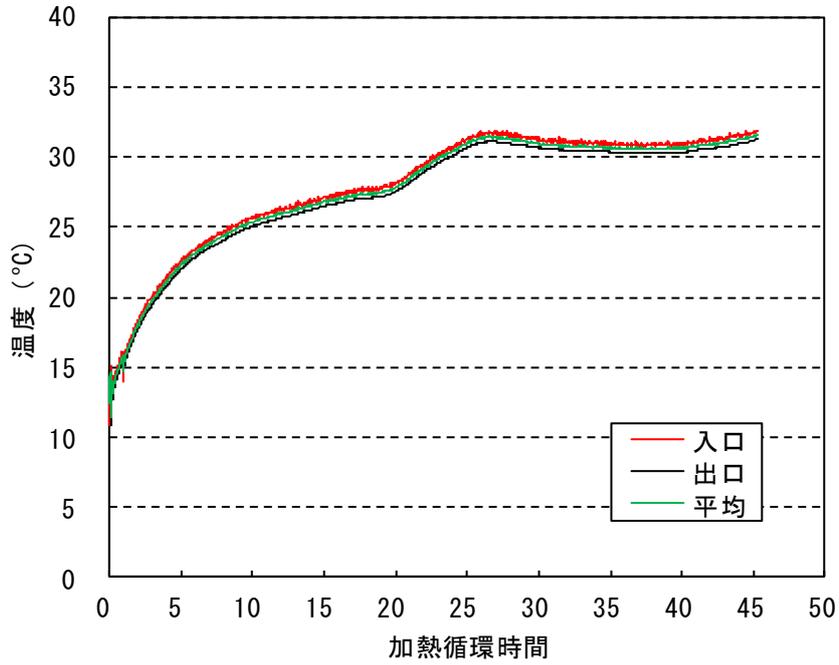


図 3. 4. 4. 35. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

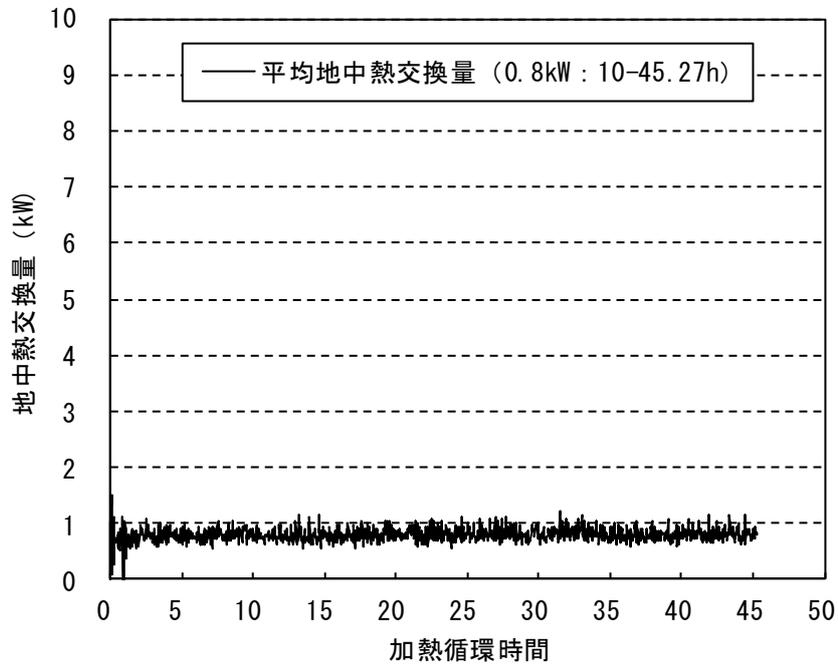


図 3. 4. 4. 35. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

35. 三戸町

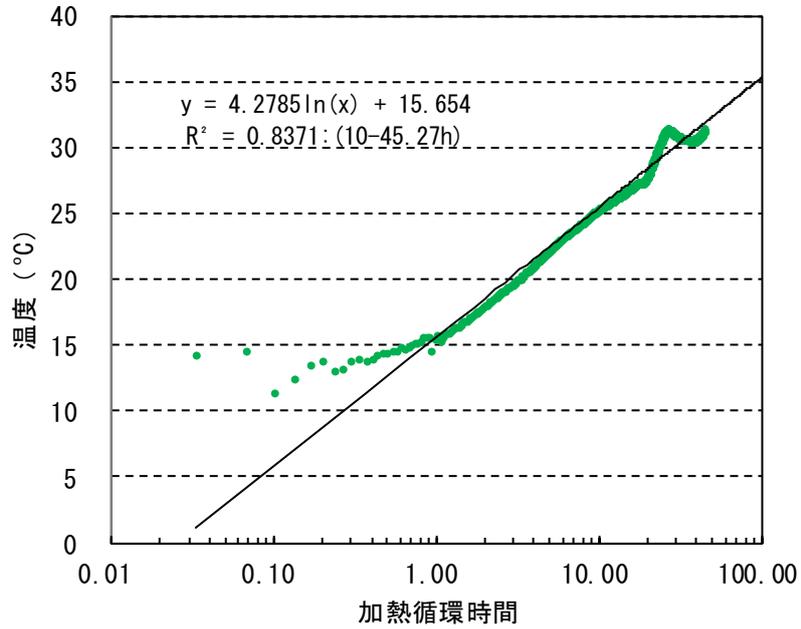


図 3. 4. 4. 35. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

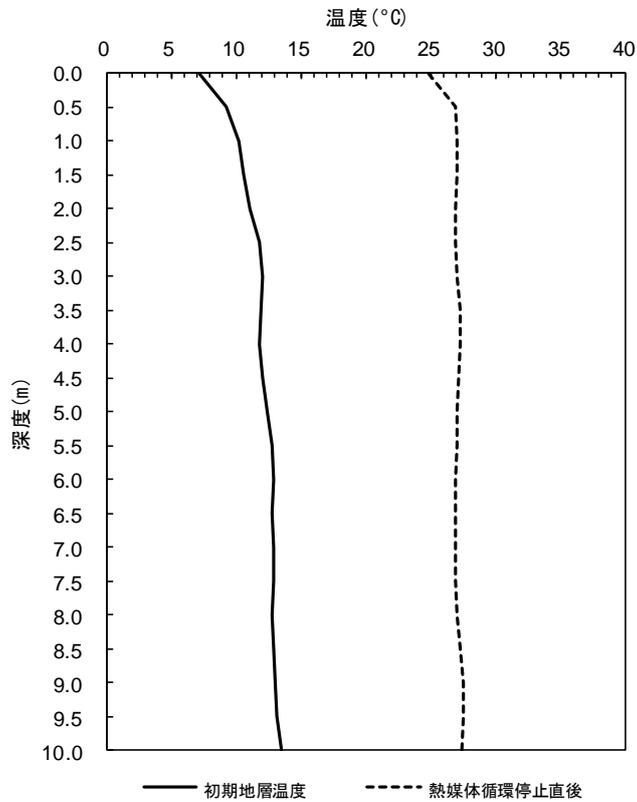


図 3. 4. 4. 35. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

36. 五戸町

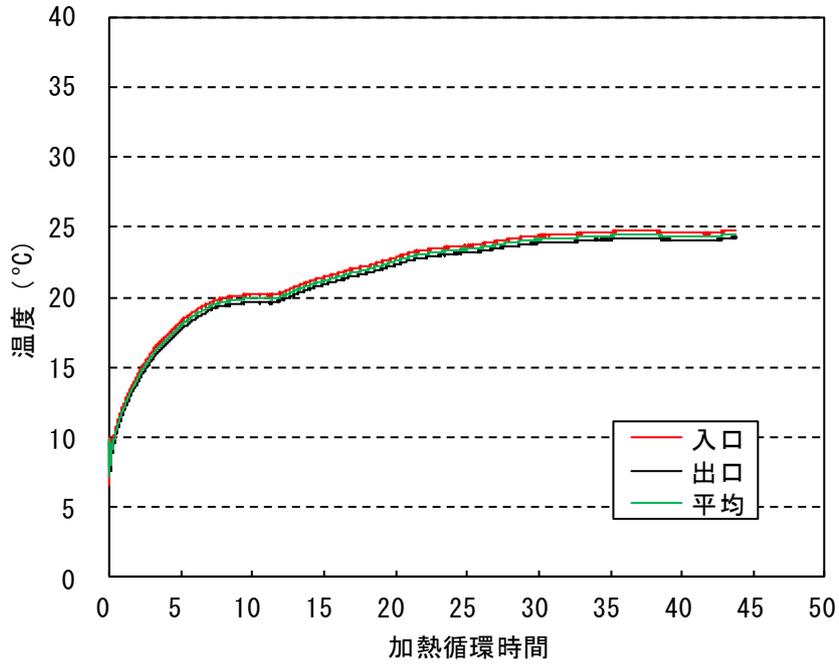


図 3. 4. 4. 36. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

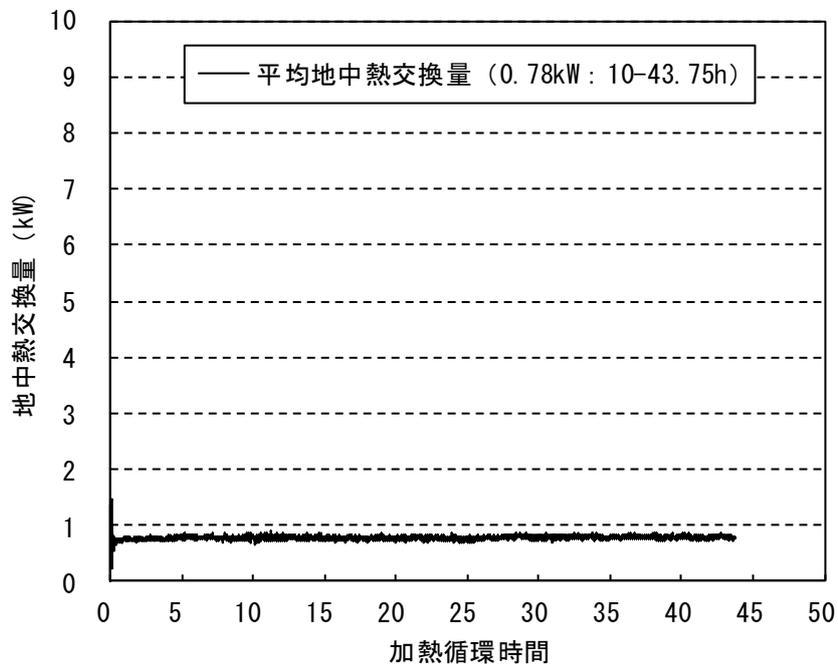


図 3. 4. 4. 36. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

36. 五戸町

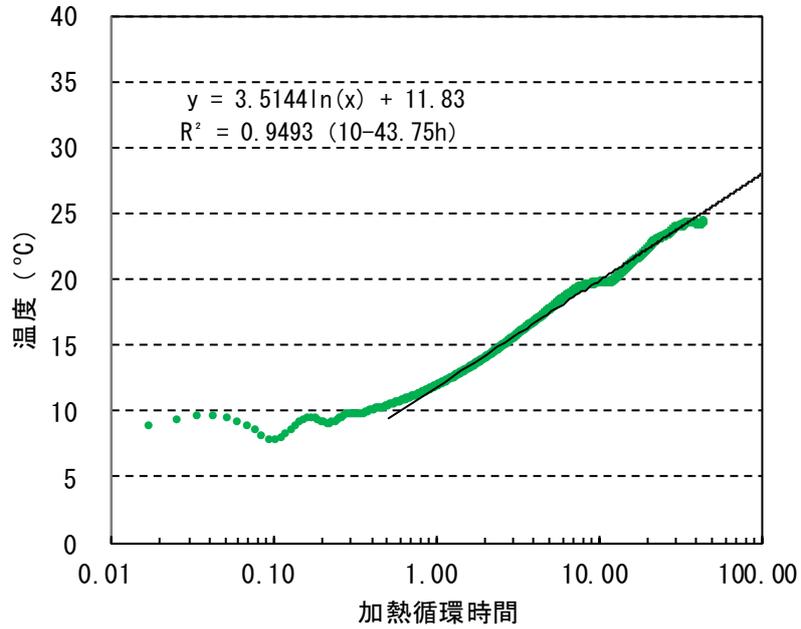


図 3. 4. 4. 36. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

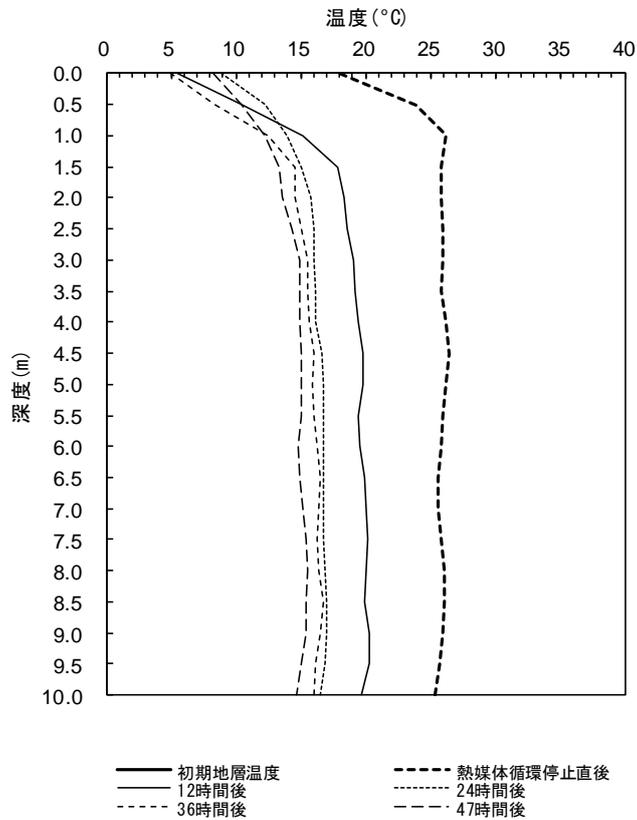


図 3. 4. 4. 36. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

37. 田子町

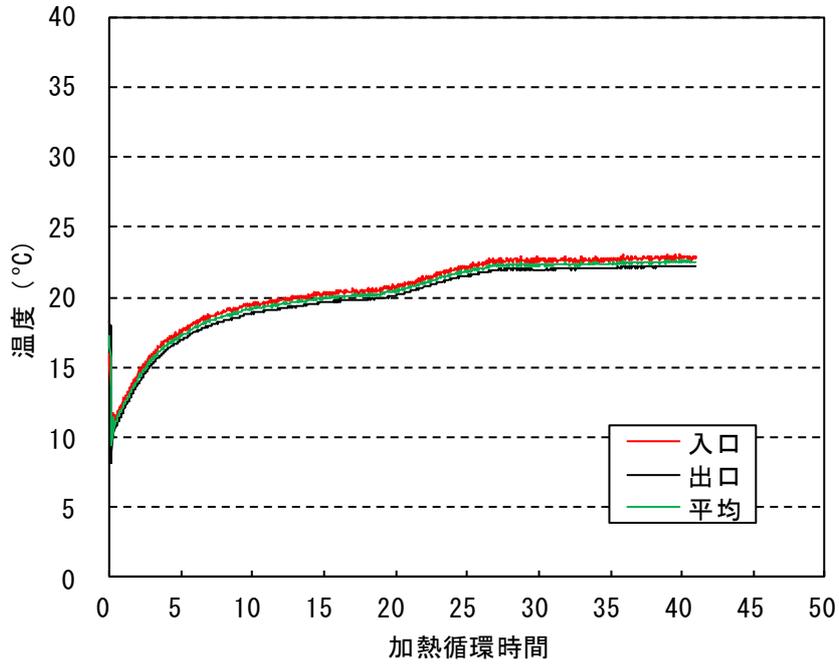


図 3. 4. 4. 37. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

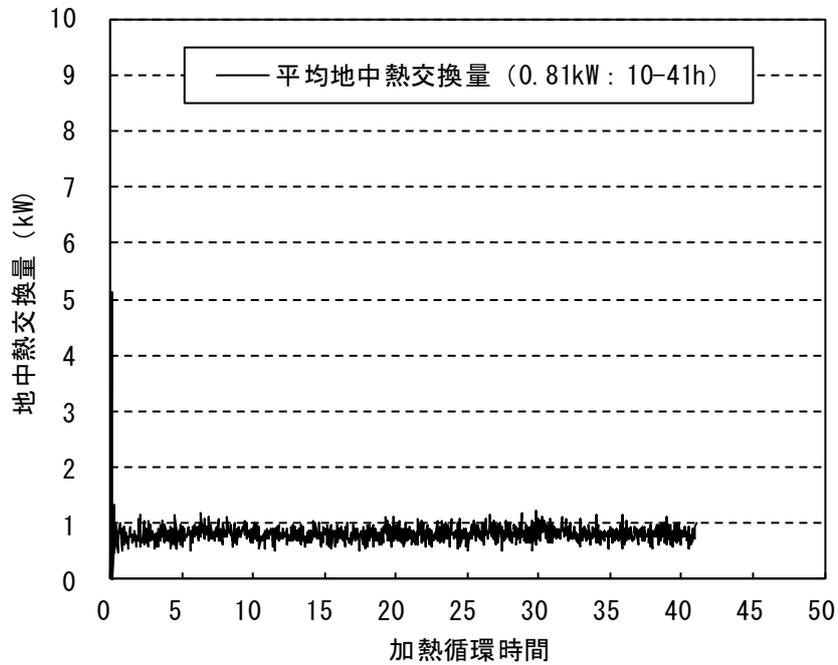


図 3. 4. 4. 37. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

37. 田子町

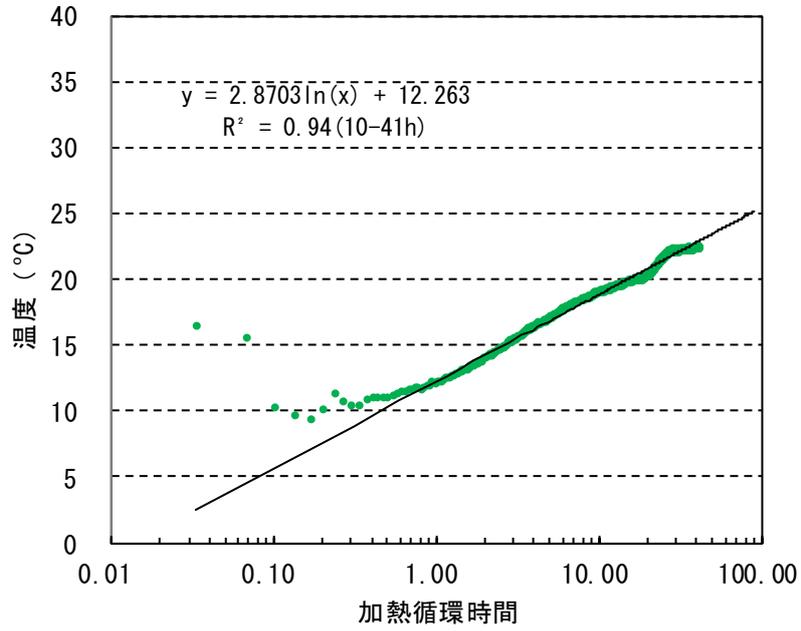


図 3. 4. 4. 37. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

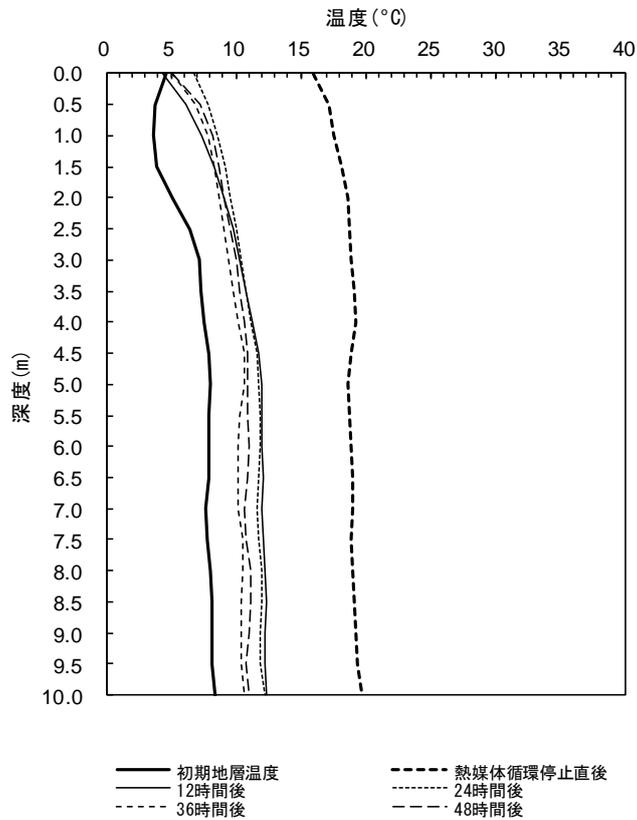


図 3. 4. 4. 37. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

38. 南部町

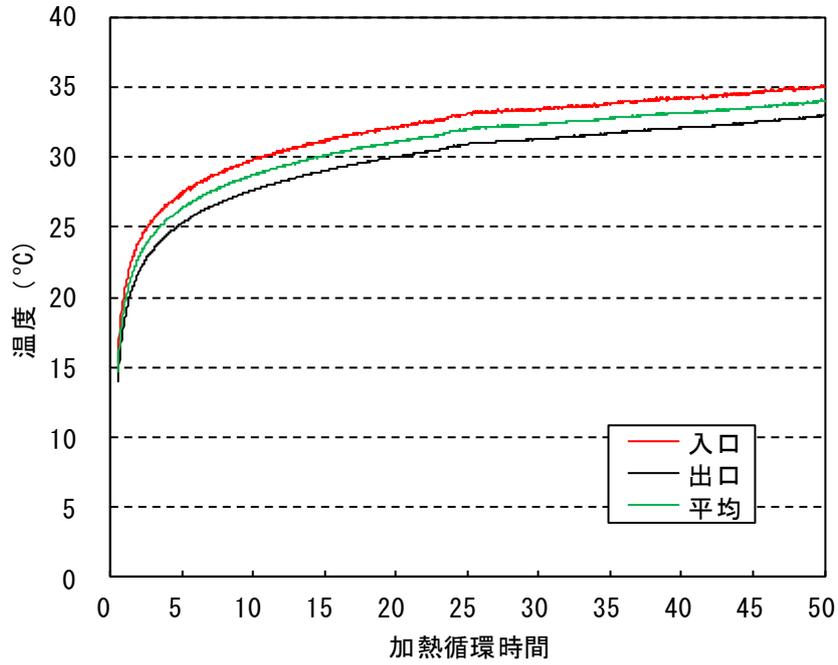


図 3. 4. 4. 38. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

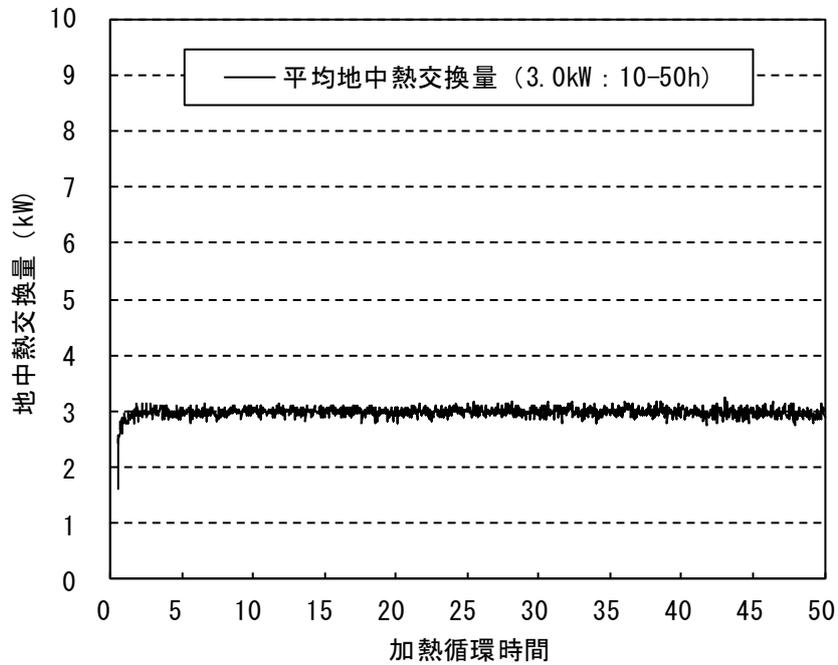


図 3. 4. 4. 38. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

38. 南部町

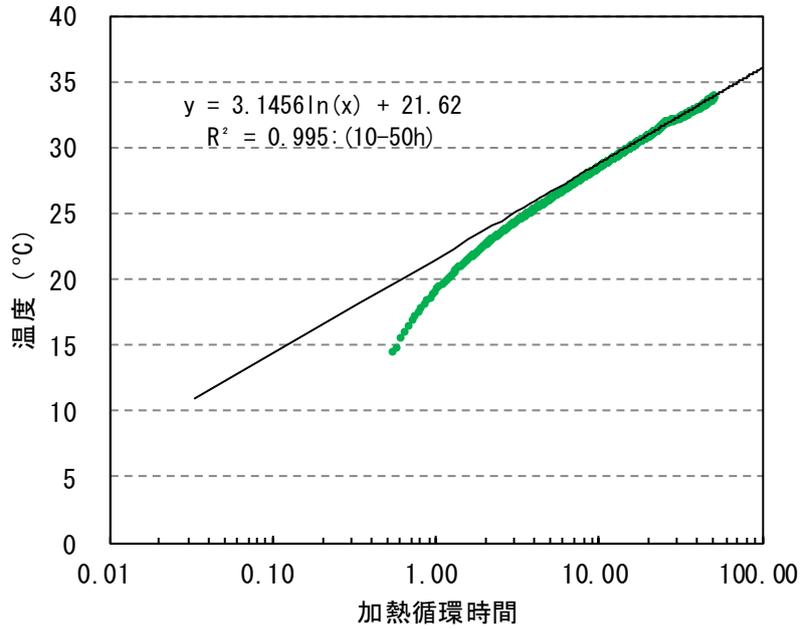


図 3. 4. 4. 38. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

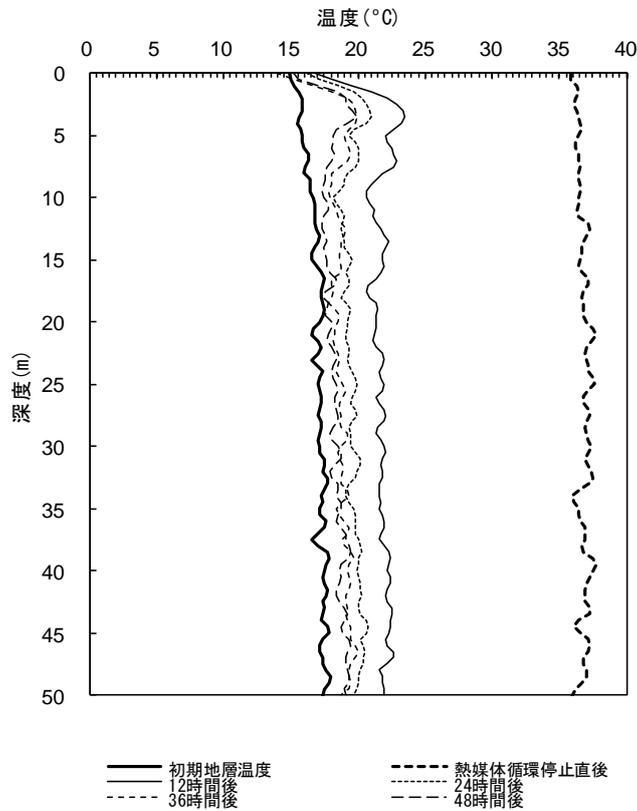


図 3. 4. 4. 38. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

39. 階上町

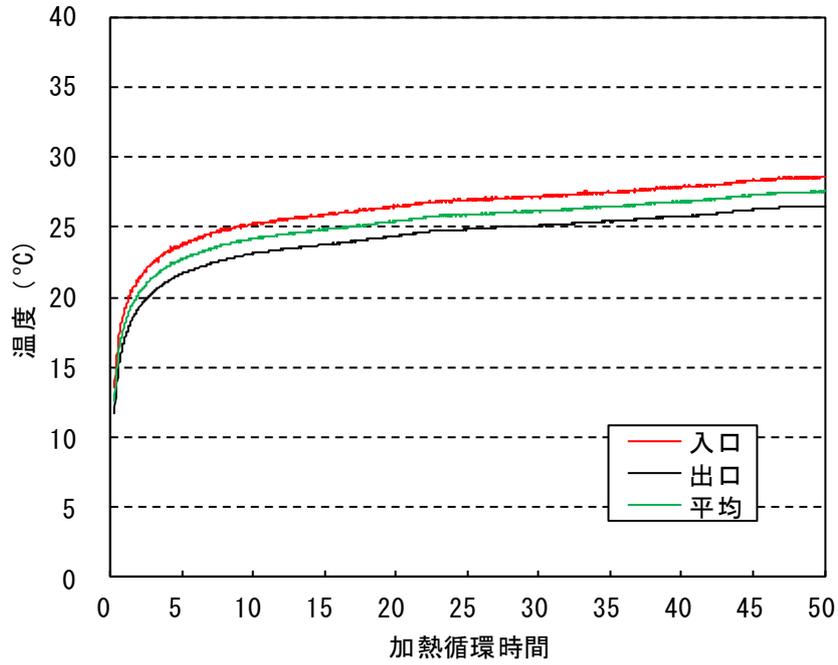


図 3. 4. 4. 39. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

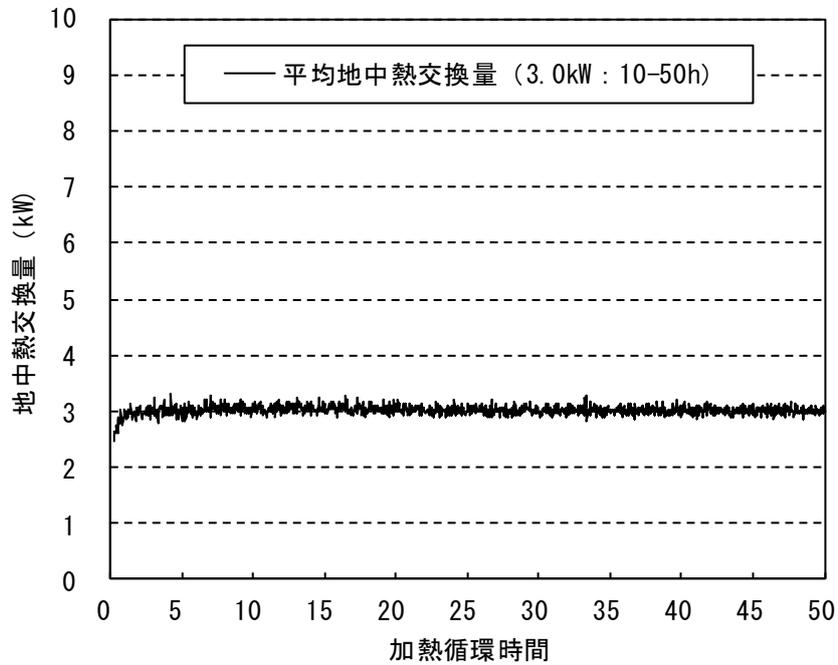


図 3. 4. 4. 39. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

39. 階上町

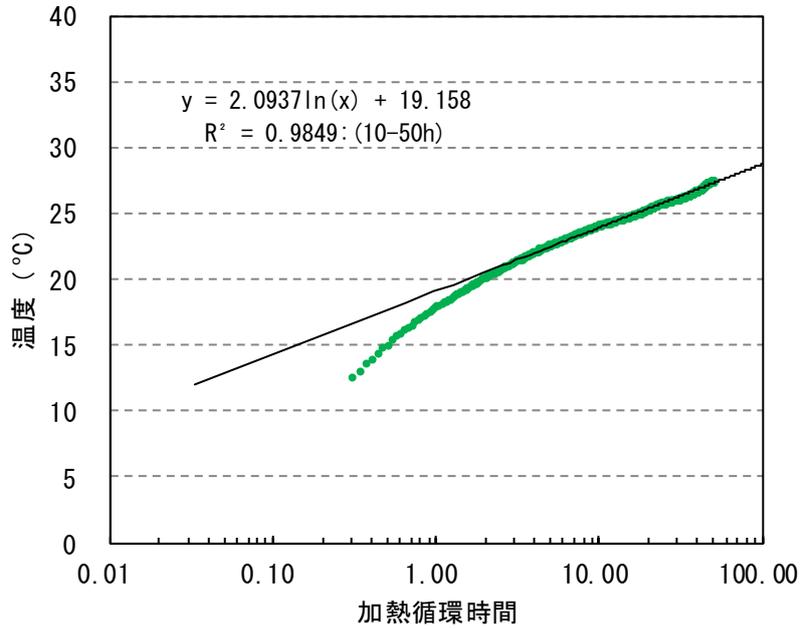


図 3. 4. 4. 39. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

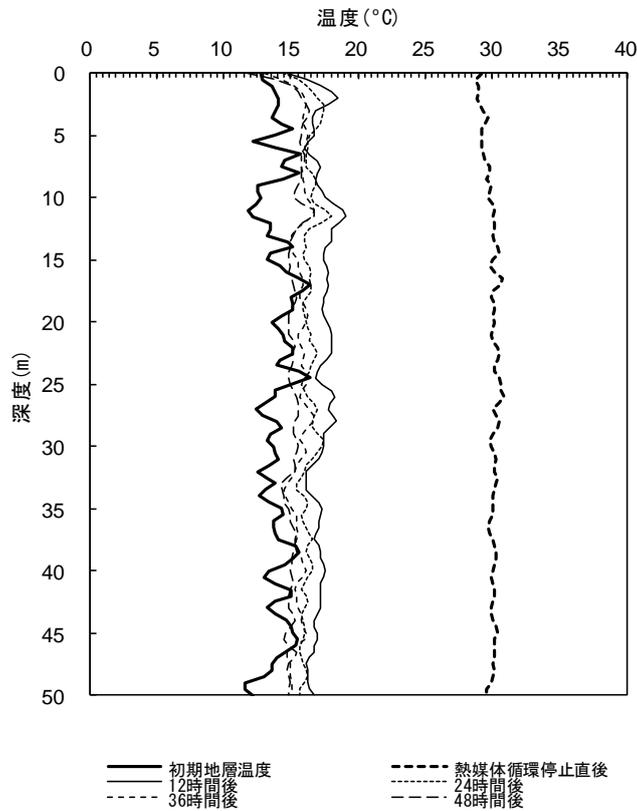


図 3. 4. 4. 39. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

40. 新郷村

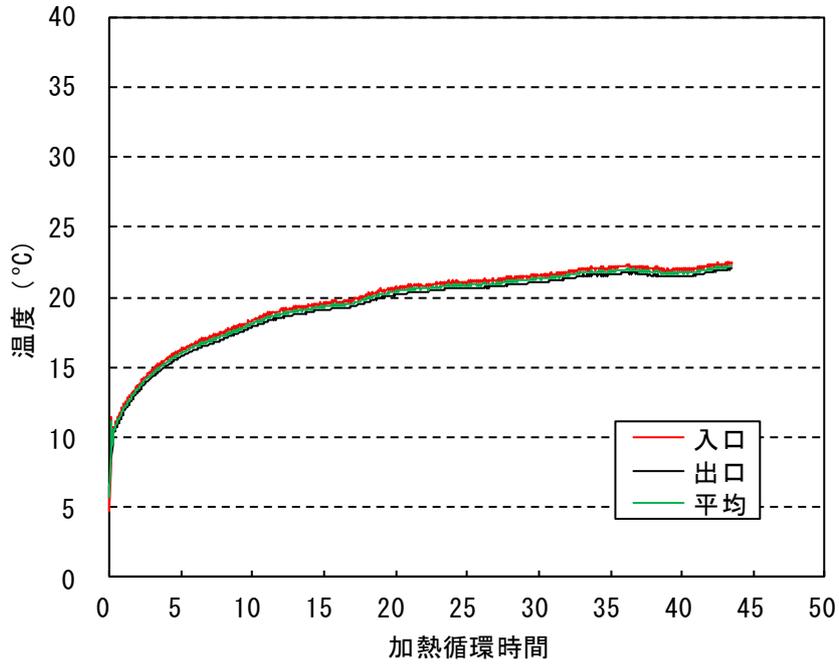


図 3. 4. 4. 40. 1 熱交換井入口出口における熱循環媒体温度の経時変化

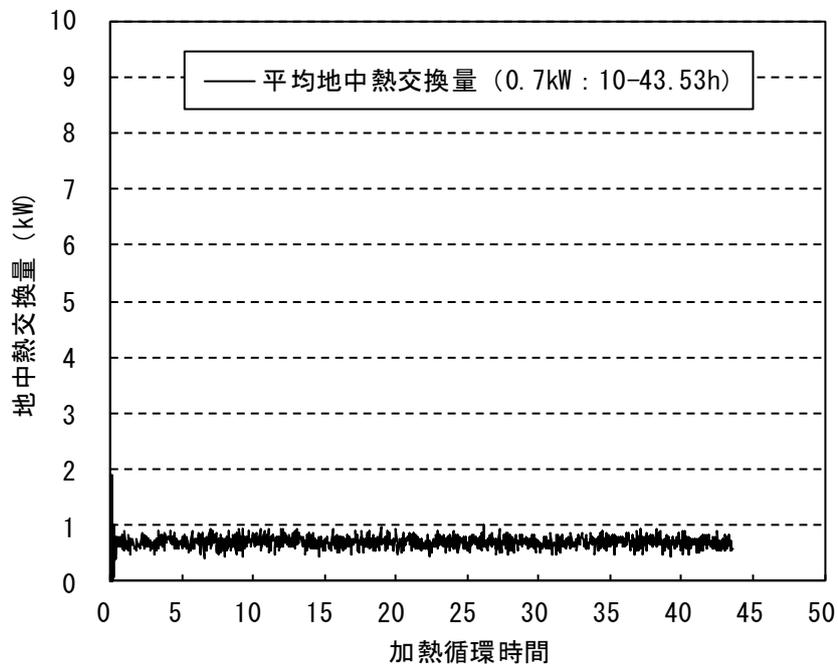


図 3. 4. 4. 40. 2 熱交換井における地中熱交換量の経時変化

40. 新郷村

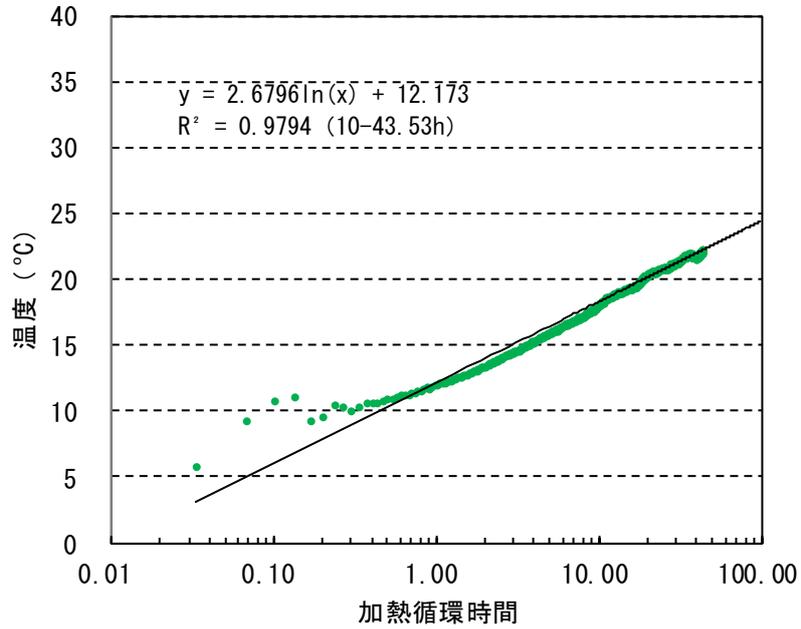


図 3. 4. 4. 40. 3 熱交換井における熱循環媒体平均温度と加熱循環時間の片対数プロット

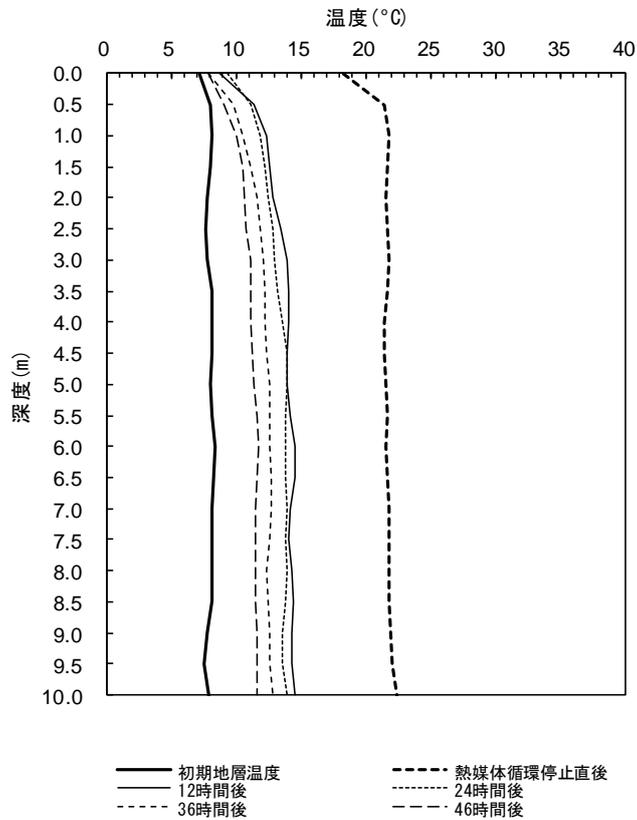


図 3. 4. 4. 40. 4 加熱循環終了後の熱交換井内における循環媒体温度の深度分布の経時変化

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)。今回の青森県における地中熱・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 3.4.2)。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、(5)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)。

$$r_{oEQ} = \sqrt{2}r_o \quad (5)$$

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

今回の青森県における地中熱・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)。

(6)式に円筒型熱源関数 G を示す。

$$G(Z, P) = \frac{1}{\pi} \int \frac{e^{-\beta^2 z - 1}}{J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta)} [J_0(P\beta)Y_1(\beta) - J_1(\beta)Y_0(P\beta)] \frac{d\beta}{\beta^2} \quad (6)$$

$$z = \frac{\alpha_s t}{r_o^2} \quad (7)$$

$$P = \frac{r}{r_o} \quad (8)$$

$$\Delta T_g = T_0 - T_{ro} = \frac{Q}{\lambda_s H} G(Z, P) \quad (9)$$

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。

(9)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)。

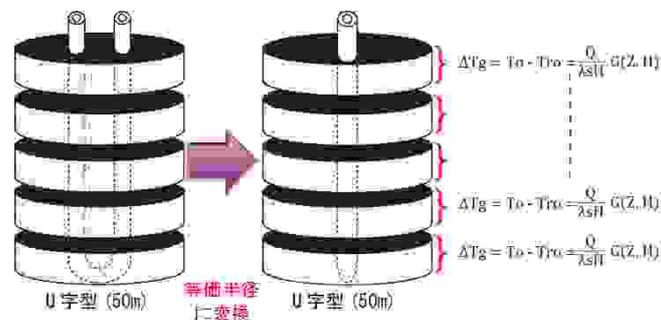


図 3. 4. 5. 2. 1 円筒型熱源関数を利用した U 字型地中熱交換井モデル

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。

$$F = \sum (T_{ro(obs)} - T_{ro(cal)})^2 \quad (10)$$

(10)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。ただし、青森市、鱈ヶ沢町 1.0、八戸市 5.0 の初期有効熱伝導率を全層に与えた。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、大間町では解析初期から与え、つがる市を除くその他の市町村では解析の最後に与えた。つがる市では、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、つがる市、鱈ヶ沢、深浦、大鰐、階上町で認められた。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。

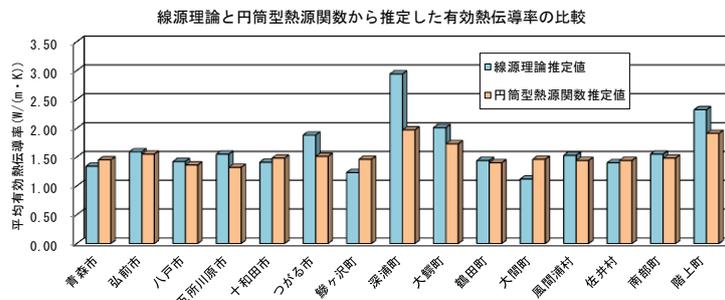


図 3.4.5.5.1 線源理論および円筒型熱源関数から推定された平均有効熱伝導率の比較

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青森県の15市町村ごとの解析結果の図を1市町村ごとに2枚示す。第1図は地点の地質概略図と熱交換井の外壁温度 T_{r0} 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。

1. 青森市

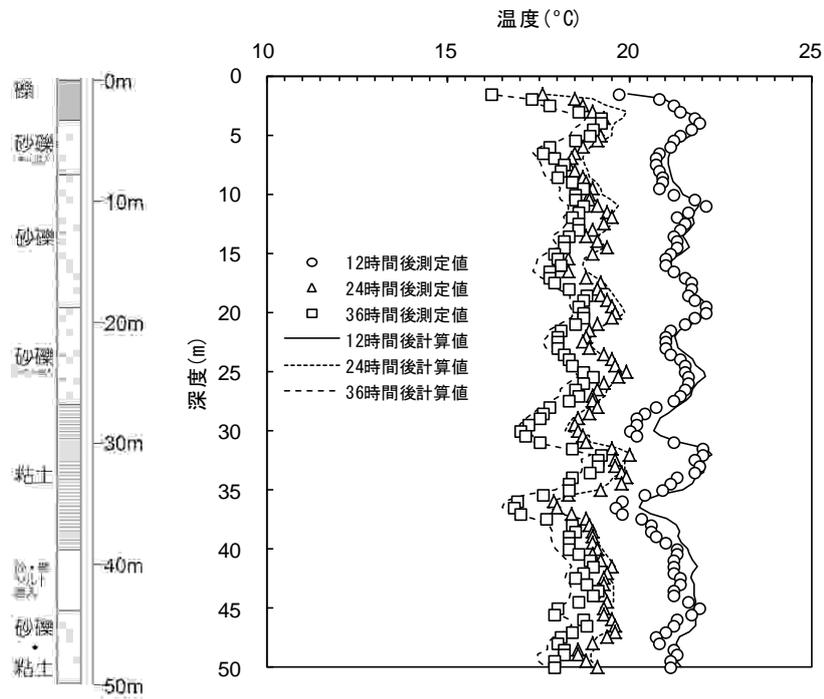


図 3.4.6.1 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

1. 青森市

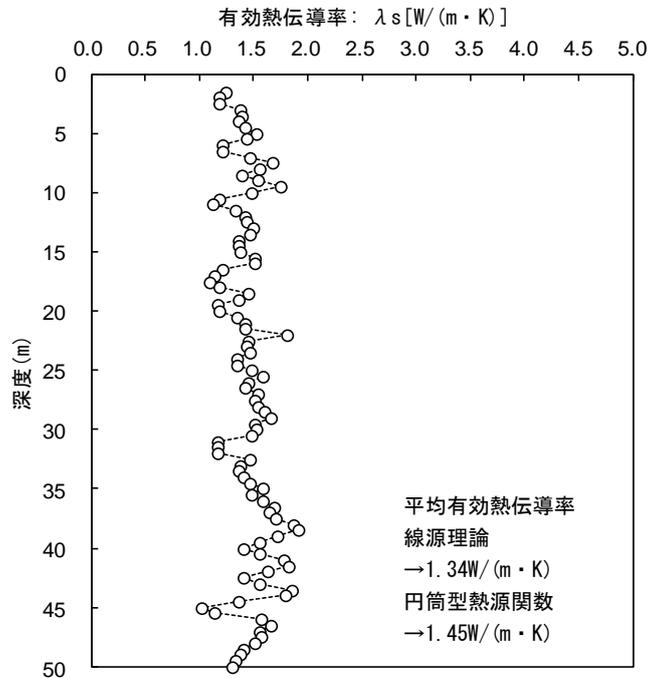


図 3.4.6.2 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

2. 弘前市

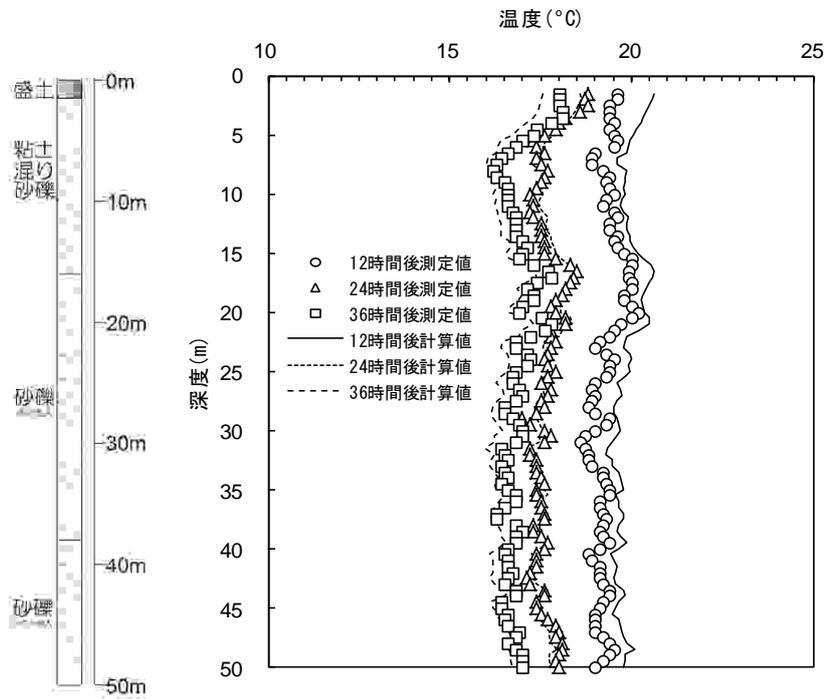


図 3.4.6.3 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

2. 弘前市

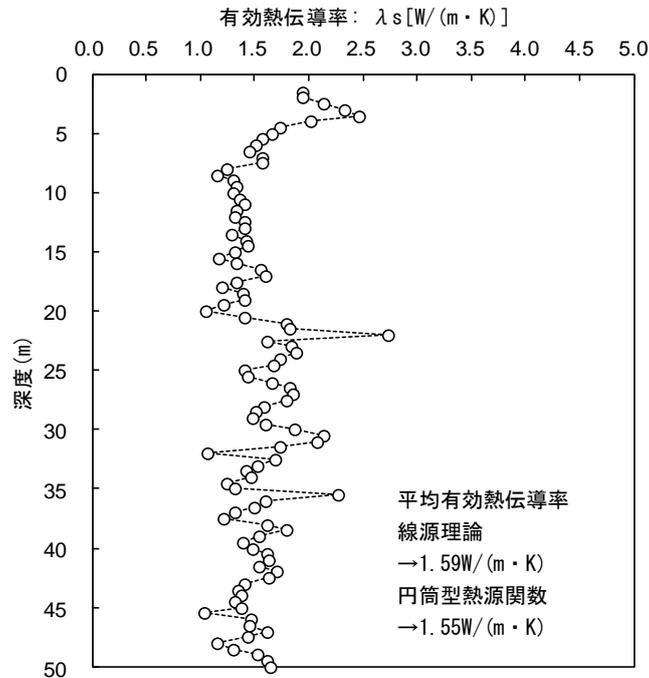


図 3.4.6.4 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

3. 八戸市

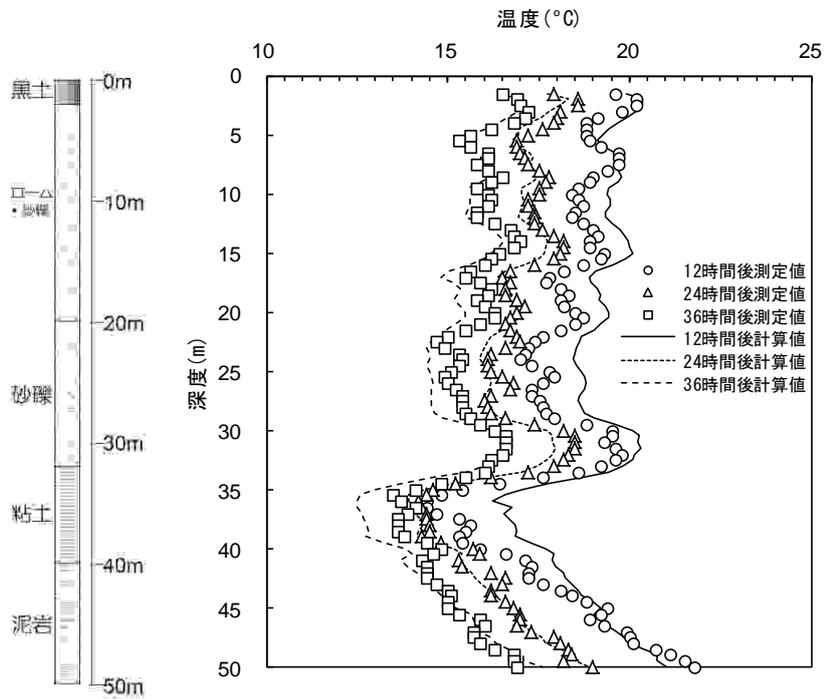


図 3. 4. 6. 5 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

3. 八戸市

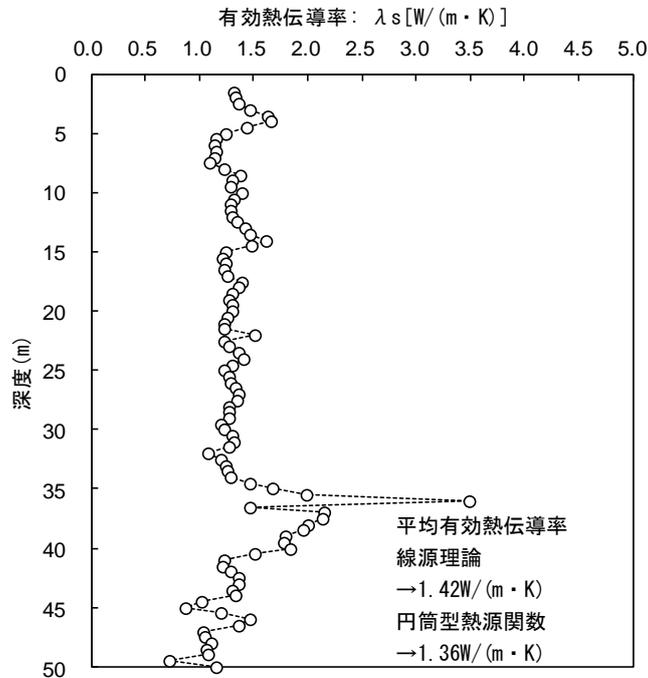


図 3. 4. 6. 6 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

5. 五所川原市

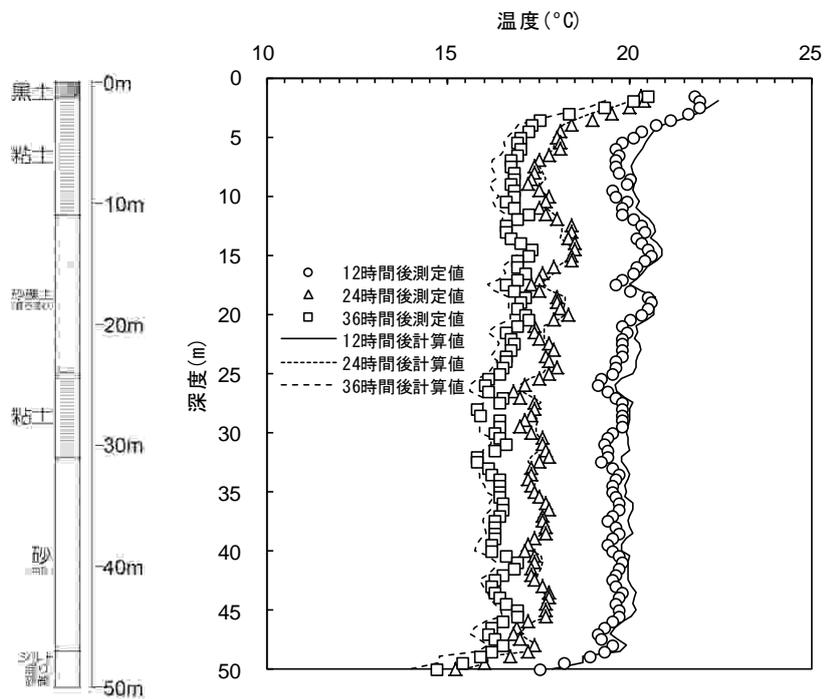


図 3.4.6.7 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

5. 五所川原市

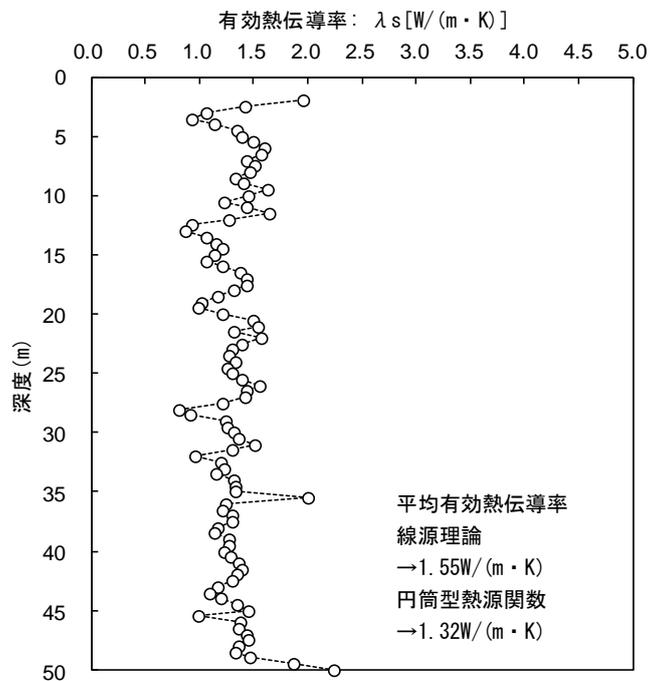


図 3.4.6.8 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

6. 十和田市

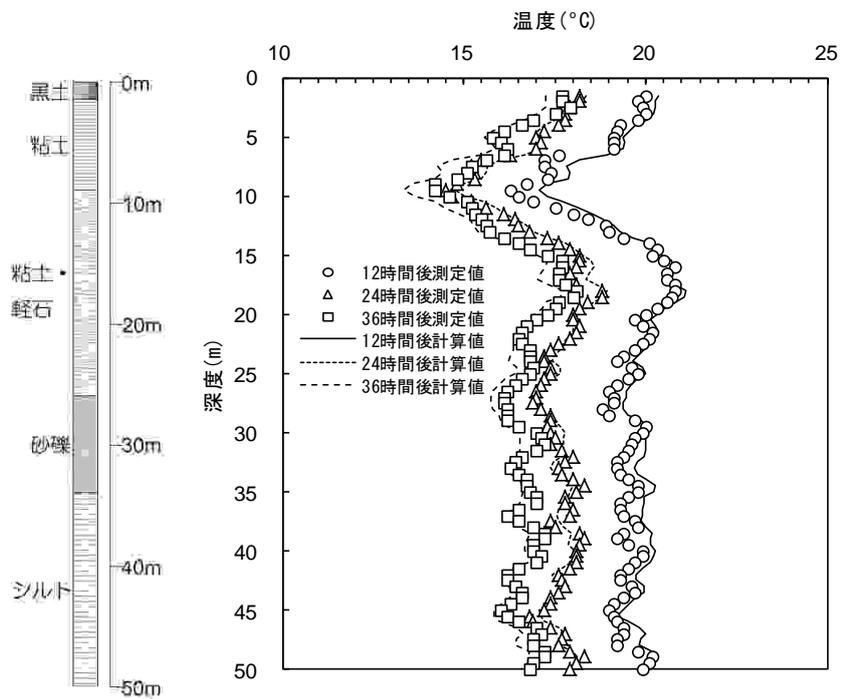


図 3. 4. 6. 9 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

6. 十和田市

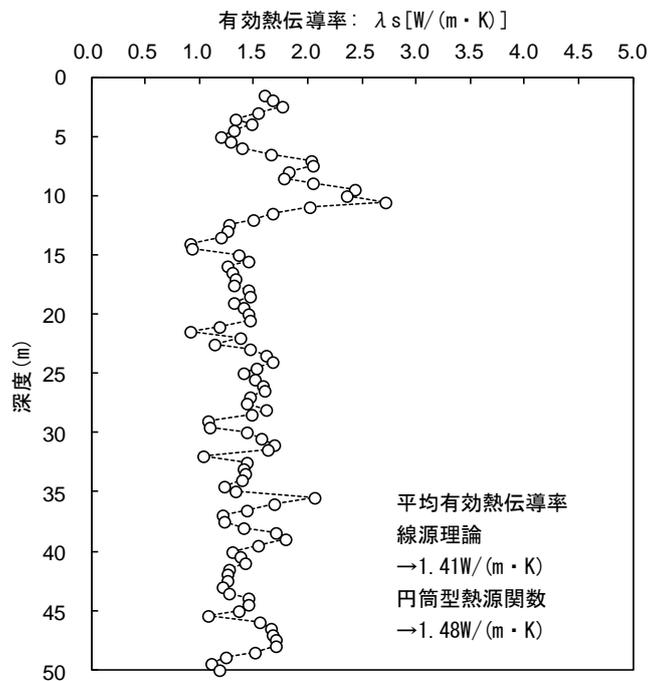


図 3. 4. 6. 10 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

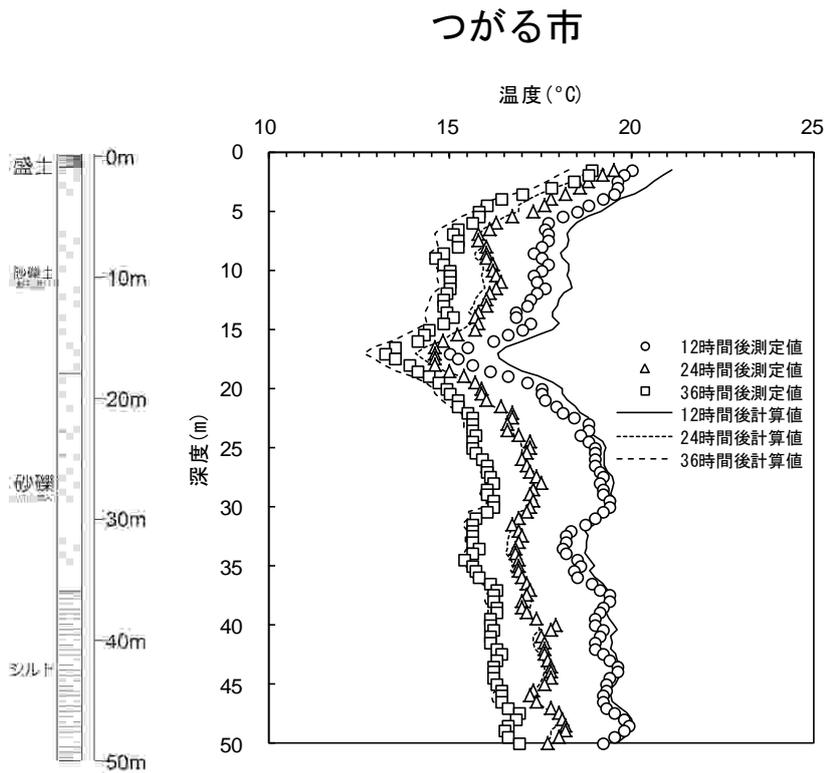


図 3. 4. 6. 11 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

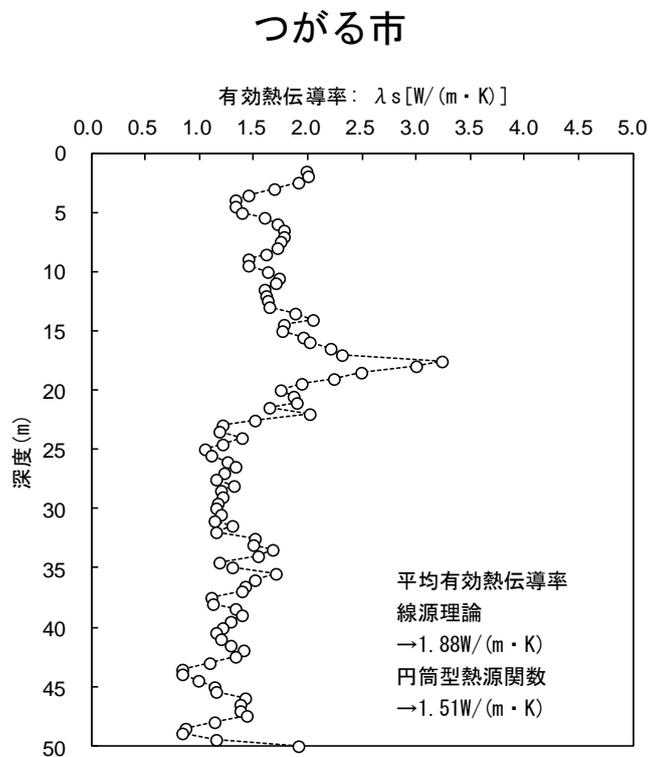


図 3. 4. 6. 12 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

15. 鱒ヶ沢町

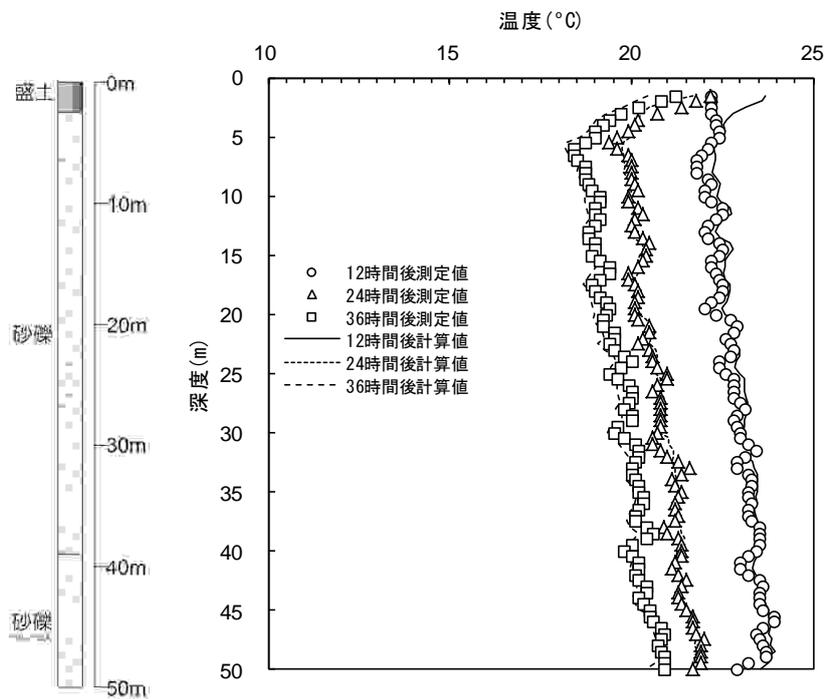


図 3.4.6.13 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

15. 鱒ヶ沢町

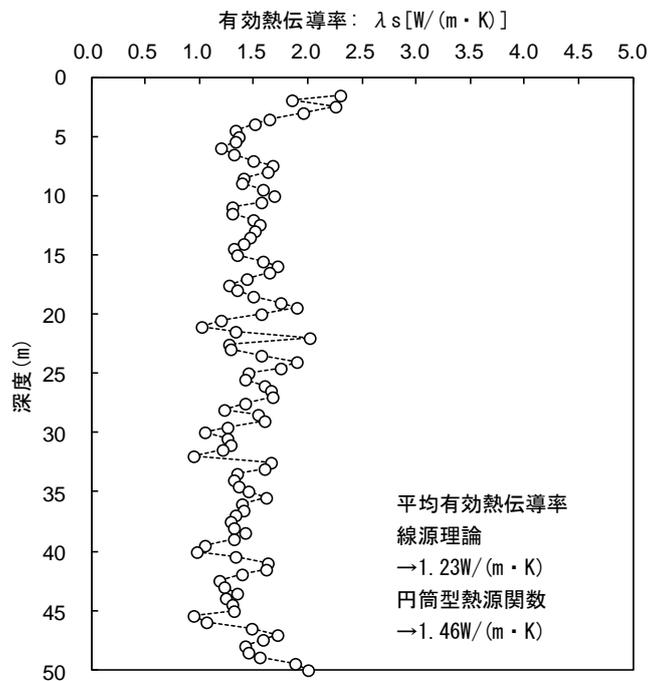


図 3.4.6.14 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

16. 深浦町

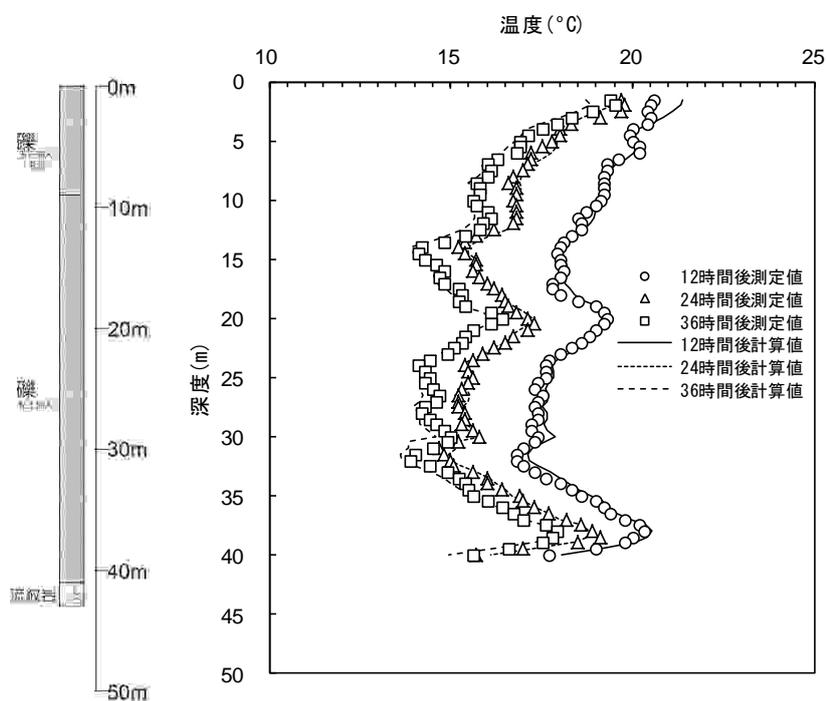


図 3.4.6.15 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

16. 深浦町

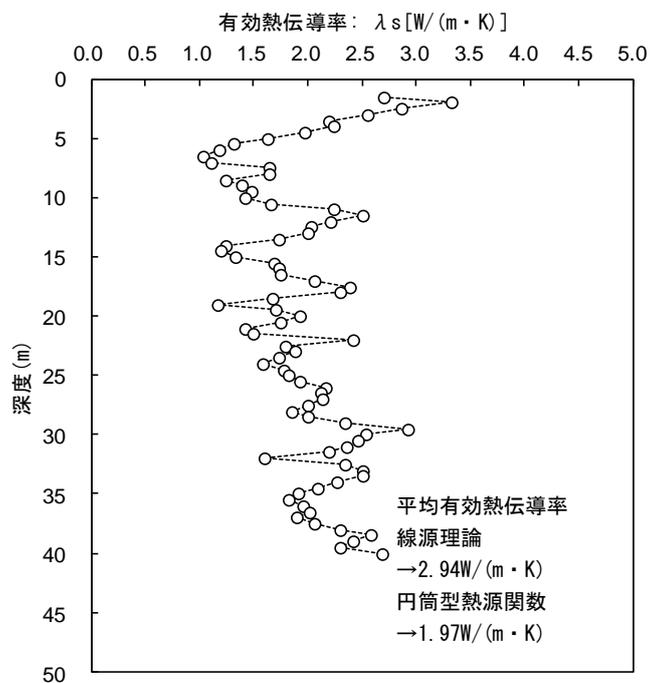


図 3.4.6.16 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

19. 大鰐町

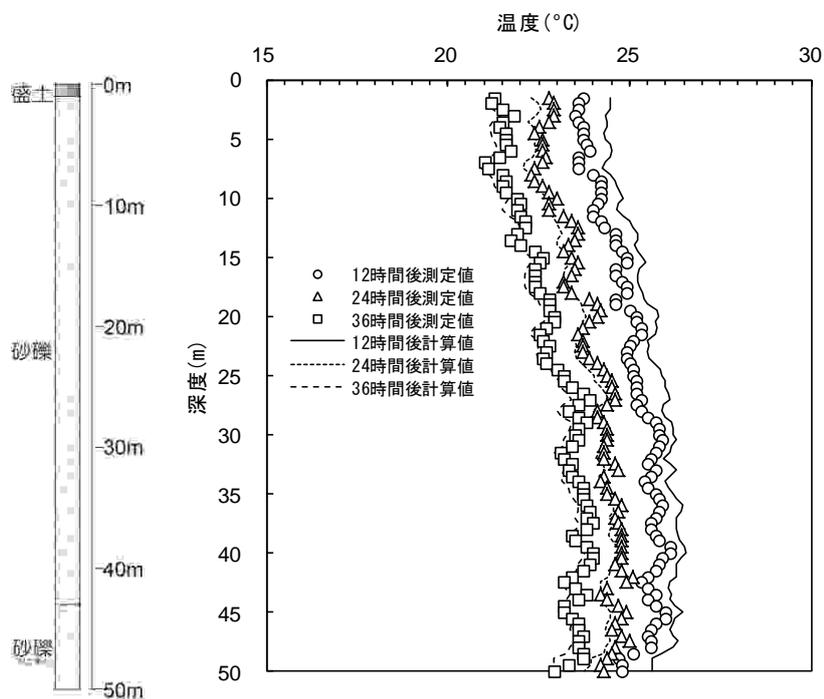


図 3.4.6.17 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

19. 大鰐町

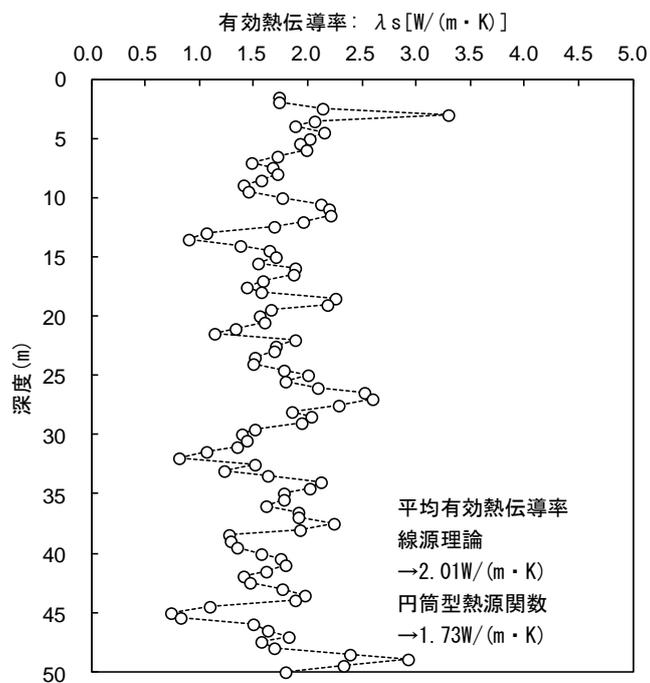


図 3.4.6.18 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

22. 鶴田町

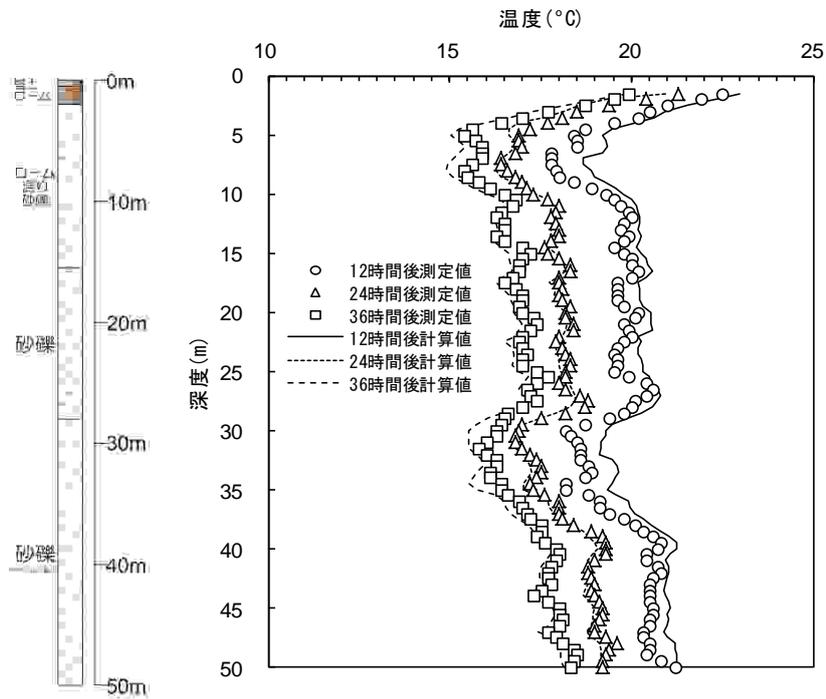


図 3.4.6.19 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

22. 鶴田町

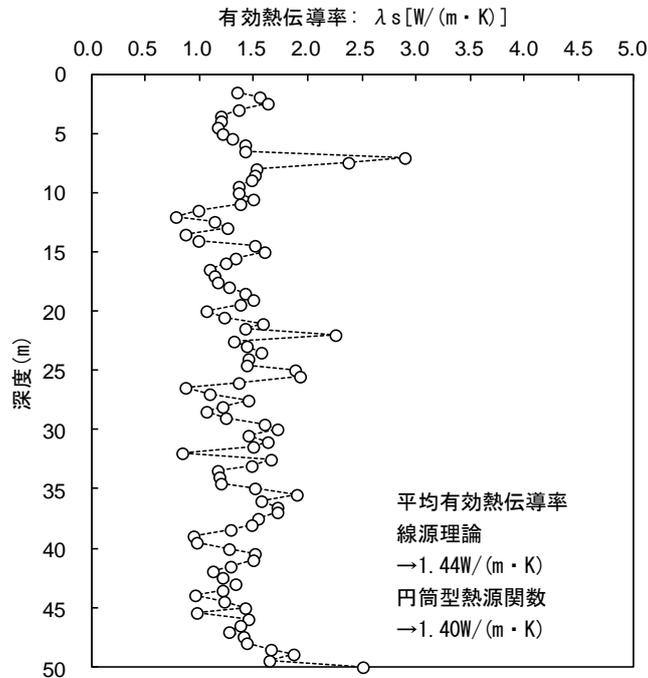


図 3.4.6.20 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

31. 大間町

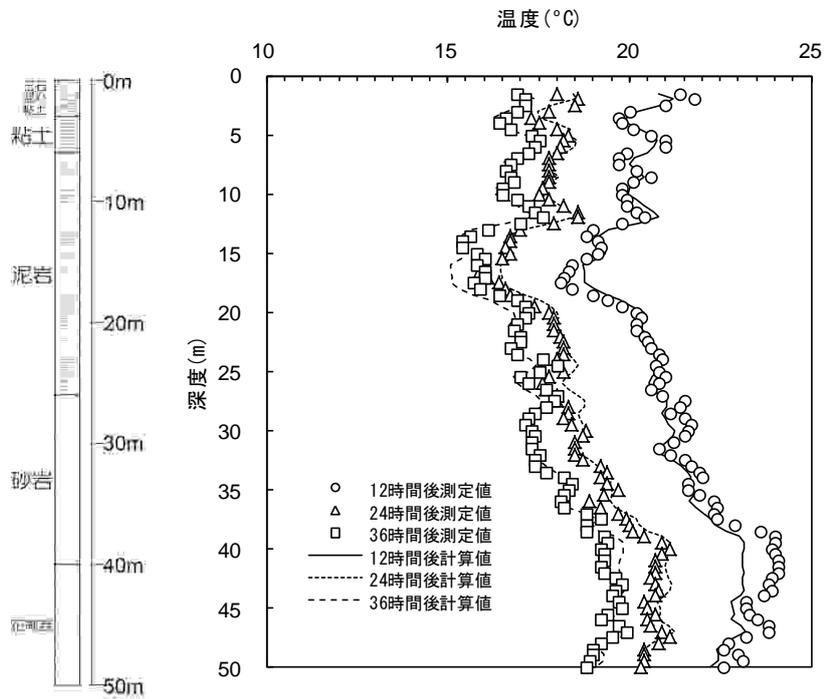


図 3. 4. 6. 21 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

31. 大間町

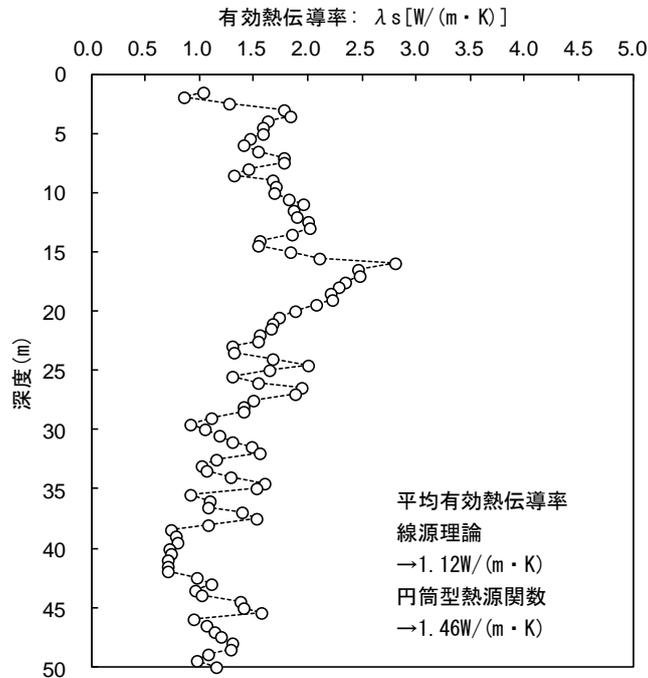


図 3. 4. 6. 22 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

33. 風間浦村

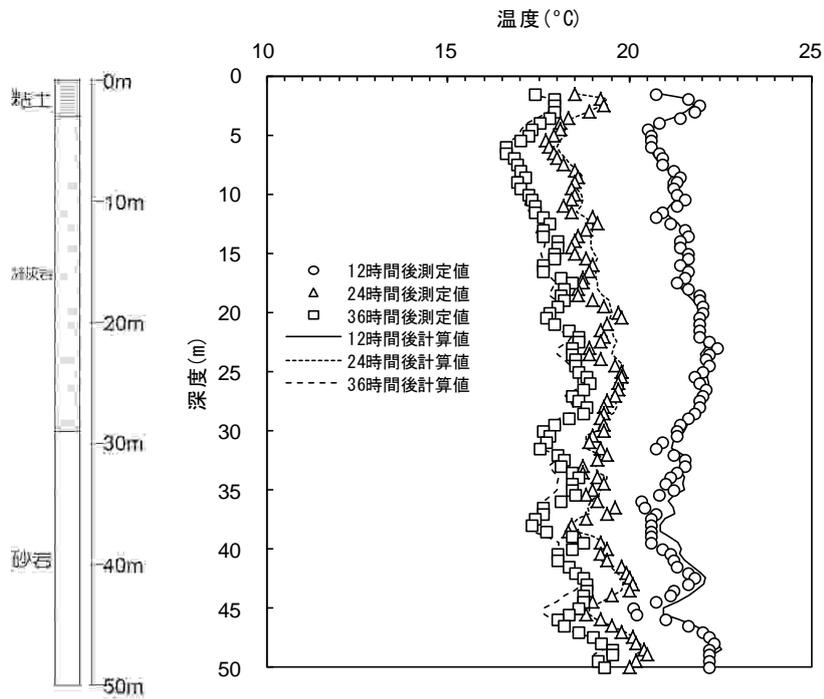


図 3. 4. 6. 23 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

33. 風間浦村

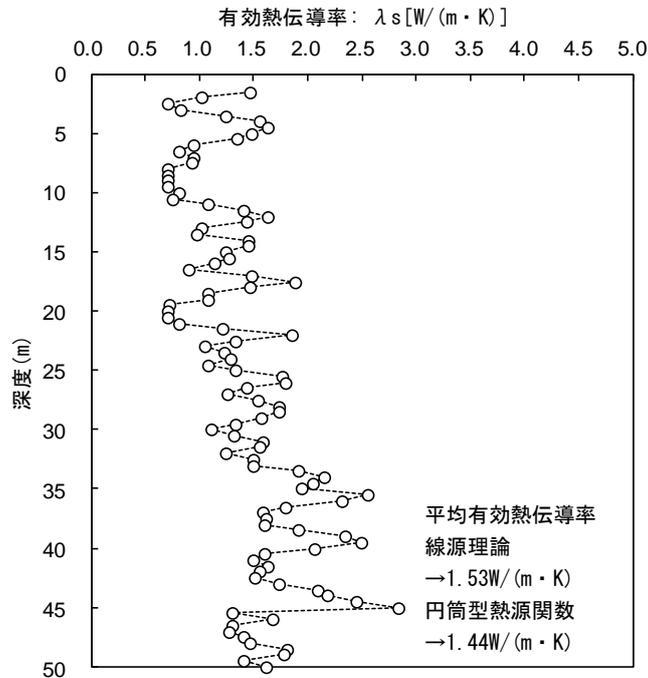


図 3. 4. 6. 24 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

34. 佐井村

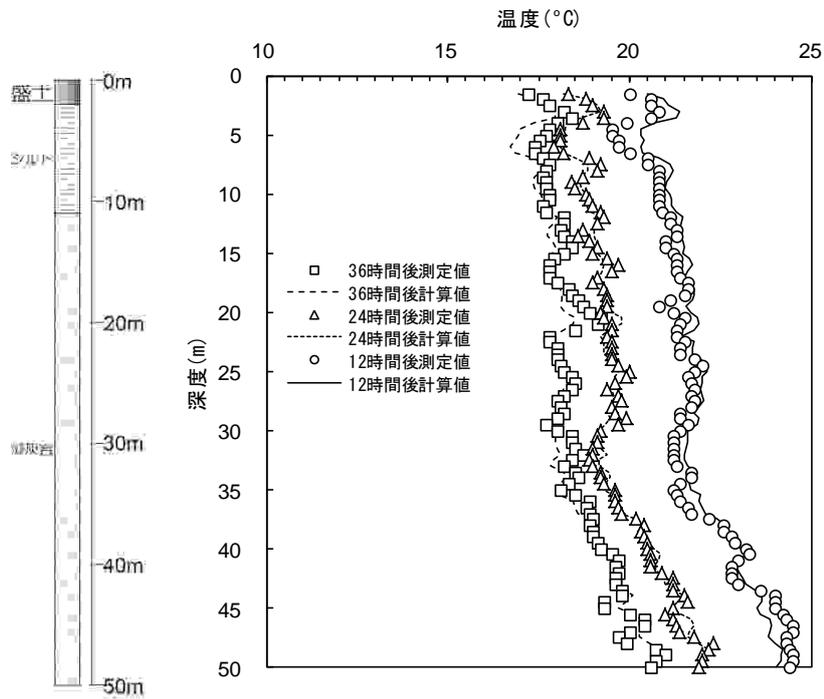


図 3. 4. 6. 25 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

34. 佐井村

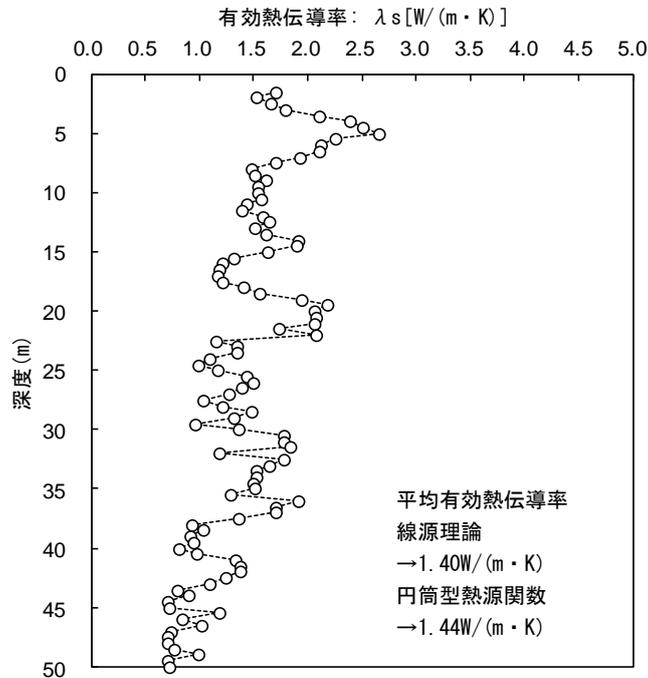


図 3. 4. 6. 26 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

38. 南部町

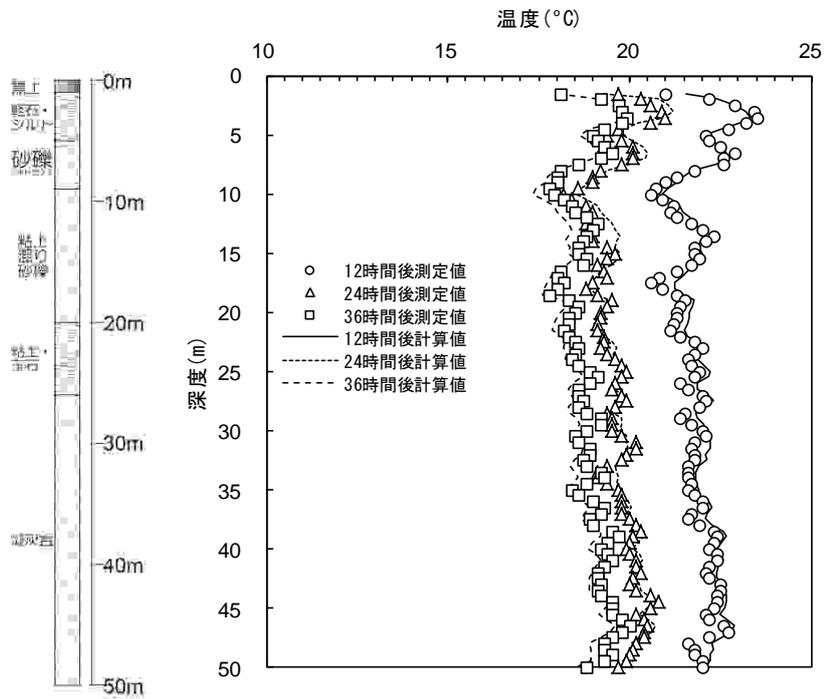


図 3. 4. 6. 27 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

38. 南部町

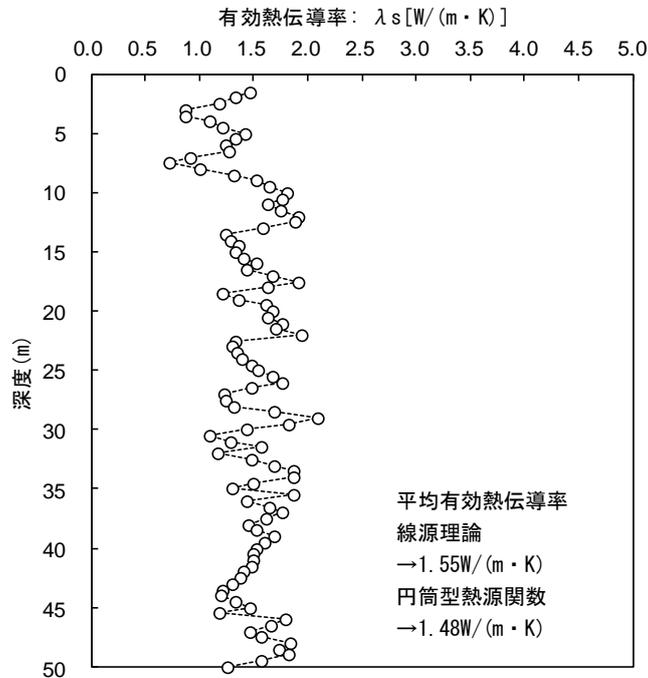


図 3. 4. 6. 28 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

39. 階上町

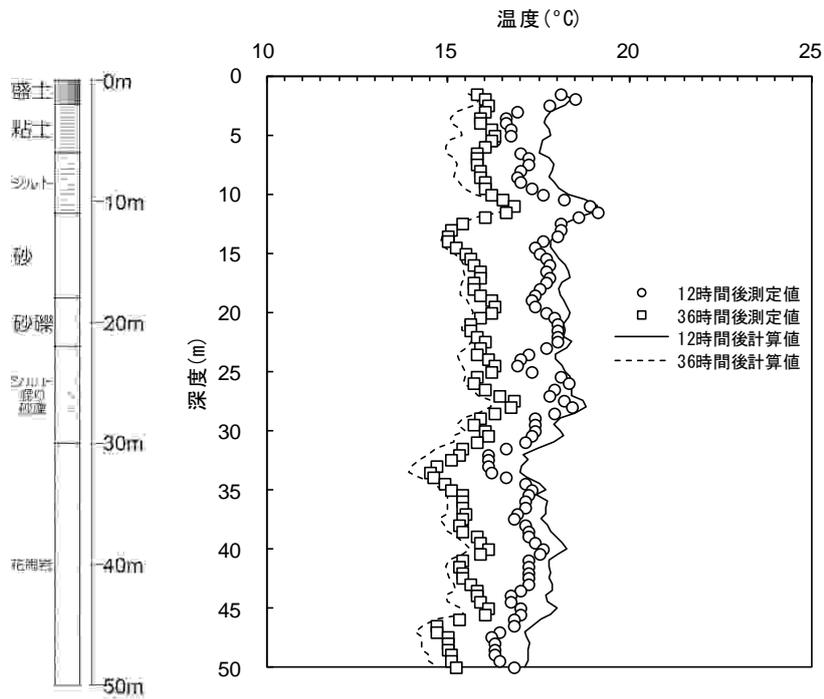


図 3. 4. 6. 29 地質概略図と温度の測定結果と解析結果

39. 階上町

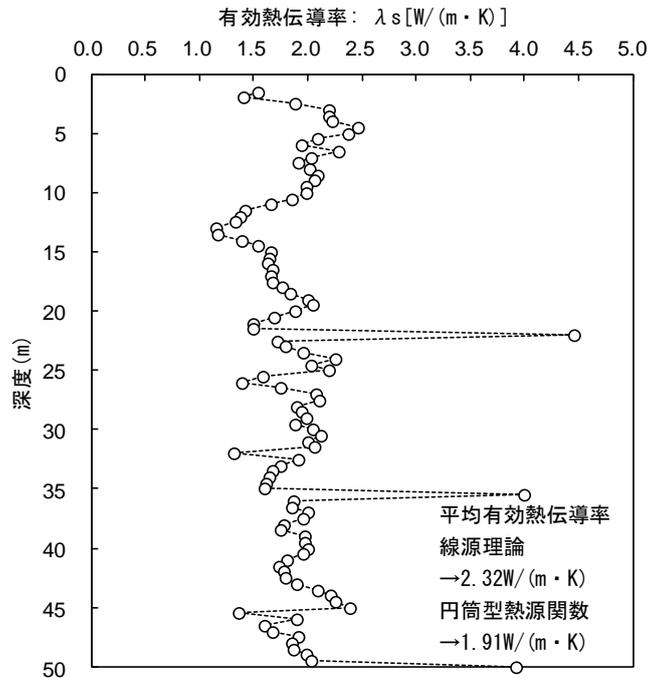


図 3. 4. 6. 28 有効熱伝導率の深度分布の解析結果

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。

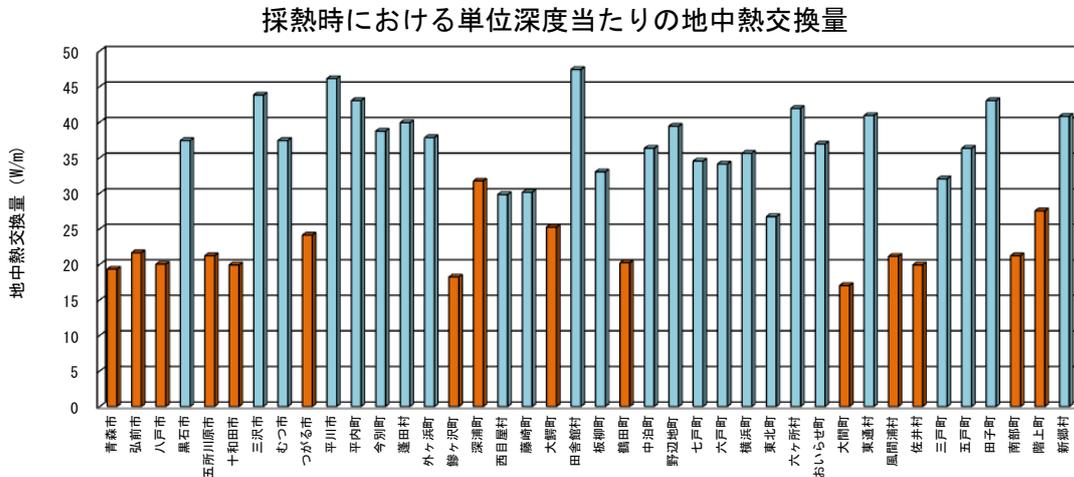


図 3.4.7.1.1 青森県 40 地点の採熱時における単位深度当たりの地中熱交換量推定結果 (青色:同軸型地中熱交換井(鋼管製), 赤色:U字型地中熱交換井(高密度ポリエチレン製))

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の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

本調査では青森県下の40市町村において、それぞれ、各1地点の熱応答試験を実施した。これまでに、本調査ほど組織的に、熱応答試験を実施した事例は少ない。しかしながら、広大な青森県について、40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、青森県下の地熱・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 青森県の地形・地質

青森県の地形を図4.2.1に、青森県の地質を図4.2.2に示す。青森県は東北日本弧の一般的な地形と同様に、南北5列の帯状地形構造帯に区分することができる。これは古くからの地形区分であるが、後述のように地下水理学的にも意味のある区分であるように思われる。

最近のプレートテクトニクスの議論では、西南日本弧の中央構造線やスマトラ島のスマトラ断層のような島弧を縦断する巨大横ずれ断層を境として、その前弧側プレートをスリバープレート (Sliver Plate) と呼ぶことが多い。このスリバープレートは背弧側の島弧本体プレートに対して、かなり独立の動きをもつことが論じられるようになって来ている (たとえば、Muraoka et al., 2010)。東北日本弧では、北上山地が典型的な前弧側のスリバープレートに当たっており、古くは古生層と考えられて来た。しかし、最近では別の場所で形成された古生層を含むものの、これらが島弧に付加した時期はジュラ紀であって、ジュラ紀の付加体であると考えられるようになっている。

北上山地の西縁を画す北上低地帯の意味は、次のように考えられる。現時点では、東北脊梁山脈の前縁を画す逆断層帯である。したがって、島弧中央の東北脊梁山脈と、北上山地帯との境界にあって、比較的標高の低い地帯をつくっている。この関係は典型的には北上山地帯が明瞭な青森県南部に認められる。そして、青森県の中部や北部では、北上山地帯が海面下に没しているため、標高の低い丘陵が北上低地帯から、東部の太平洋海岸に至っている地帯が多い。このような地帯は十和田カルデラの陥没に伴って噴出した2つの主要な火砕流堆積物、すなわち、約2万5千年前の大不動軽石流堆積物、および約1万3千年前の八戸軽石流堆積物が厚く堆積しており、火砕流台地をつくっている。現在の太平洋プレートの沈み込み方向が比較的東北日本弧の島弧の伸長方向に対して直交に近いため、北上低地帯は中央構造線やスマトラ断層のように、大きな横ずれ成分を伴わず、十分に巨大な横ずれ断層として発達していない。しかし、直交沈み込み帯はいずれ、斜め沈み込み帯に転化して行く宿命にあるため、北上低地帯もいずれ、中央構造線のような巨大な横ずれ断層に進化する可能性が強い。この北上低地帯が前弧側のスリバープレートと背弧側の島弧本体とを分けている。

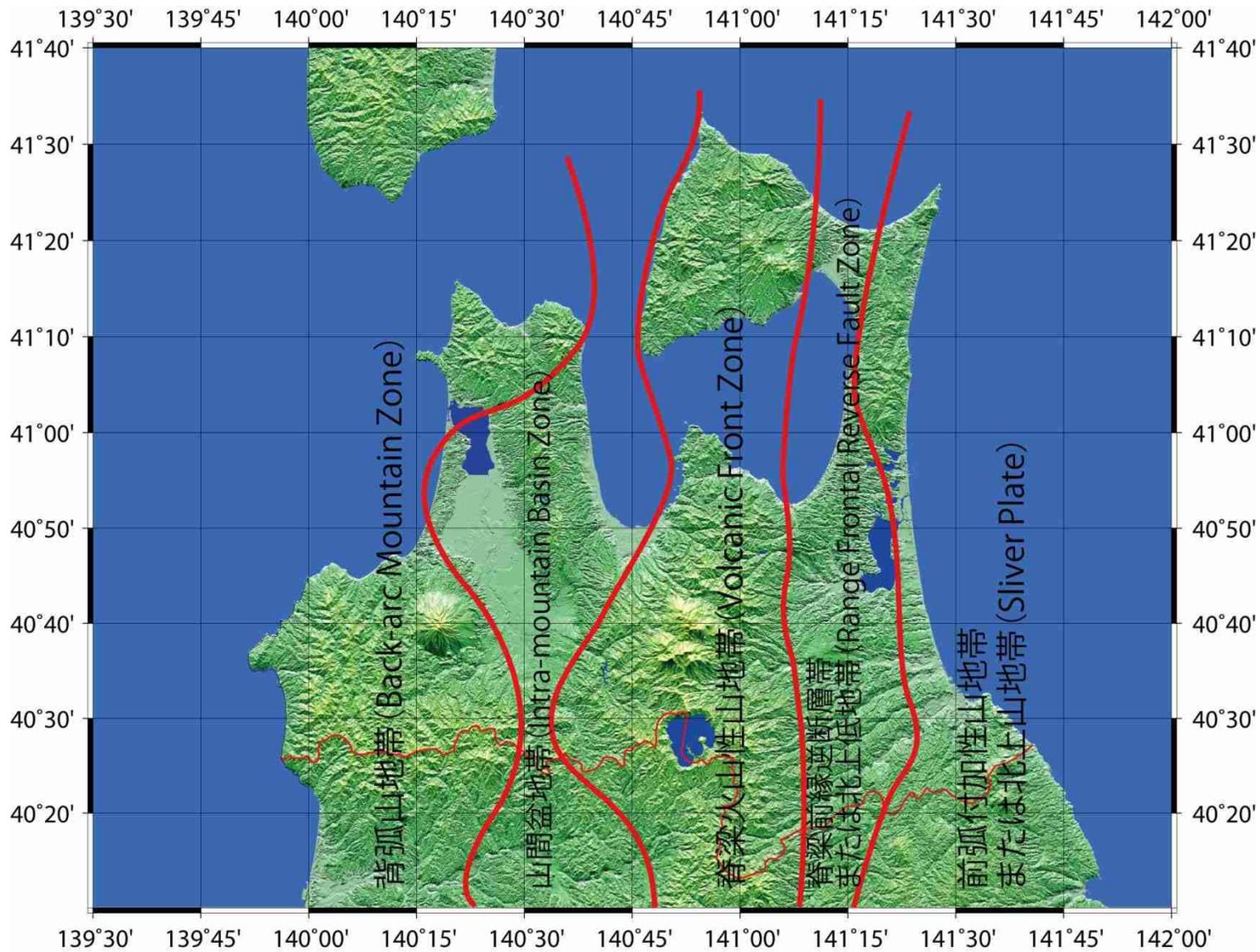


図 4.2.1 青森県の地形構造区分. 地形データには国土地理院の数値地図 50m メッシュを使用し、作図にはカシミール 3D および GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した.

中央の最も標高の高い地形構造帯は奥羽山脈とも呼ばれている東北脊梁山脈である。東北日本弧には、中央の奥羽火山帯と、より背弧側の鳥海火山帯の 2 列の火山列が認められる。そして、一般に、背弧側の鳥海火山帯よりも、火山フロントに当たる奥羽火山帯の方が火山活動も地熱活動も圧倒的に活発である。奥羽火山帯は東北脊梁山脈に沿って分布しており、火山体の存在が脊梁山脈の最も標高の高い部分をつくっているところも多い。しかし、第四紀火山群は奥羽火山帯に沿って、南から栗駒山火山群、八幡平火山群、八甲田火山群、恐山火山群といったように、約 70~80km の間隔で不連続的に分布している。つまり、東北脊梁山脈においては火山基盤の地層自体が一つの大きな背斜構造として高まりをつくっており、基本的にはそれが山脈を形づくっているのである。その火山基盤隆起の範囲は、地震波トモグラフィで捉えられる上部マントルから上昇するマグマの分布とよく対応するとされている（長谷川ほか、2008）。

東北脊梁山脈の西側には、山間盆地帯がある。この地帯は約 70~80km の間隔で不連続的に分布する火山群の発達するところで狭く、火山群の欠如したところで広がっている。広大な津軽平野や青森平野も、巨視的にはこの地帯に含めることができる。また、比較的標高の低い津軽山地も、巨視的にはこの地帯に含めることができる。この地帯は火山フロントより背弧側に位置するため、北上低地帯と異なり、比較的地温勾配も高く、若い地層が厚く堆積しているため、地層の透水性も高い。そのため、温泉の貯留層としても、地中熱利用のための見かけ熱伝導率の高い地層としても、重要な地熱資源の賦存場を提供している。

最も東側には背弧山地帯が分布する。白神山地などもこの地帯に含めることができる。この地帯には中新世の地層が広く地表に露出しており、地温勾配が高く、岩石自体の熱伝導率が高い。そのため、断層が発達すれば、温泉も形成され易い。加えて、この地帯には、鳥海火山帯の岩木火山があり、これも八甲田火山群や恐山火山群ほどではないが、温泉の熱源として貢献している。

青森県は奥羽火山帯沿いには八甲田火山群および恐山火山群という 2 つの火山群を有し、加えて鳥海火山帯沿いには岩木火山を有している。このことから、青森県は稀に見る地熱資源に恵まれた県であると言えよう。

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 2010 年度地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査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°C 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り、これを最新の地熱井として本データに含めた。

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

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	風間浦村矢筈山	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)

剩採取によって、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、これらは除外した。

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。

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	温川コミュニティー温泉	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

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℃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℃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℃以上であるため、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

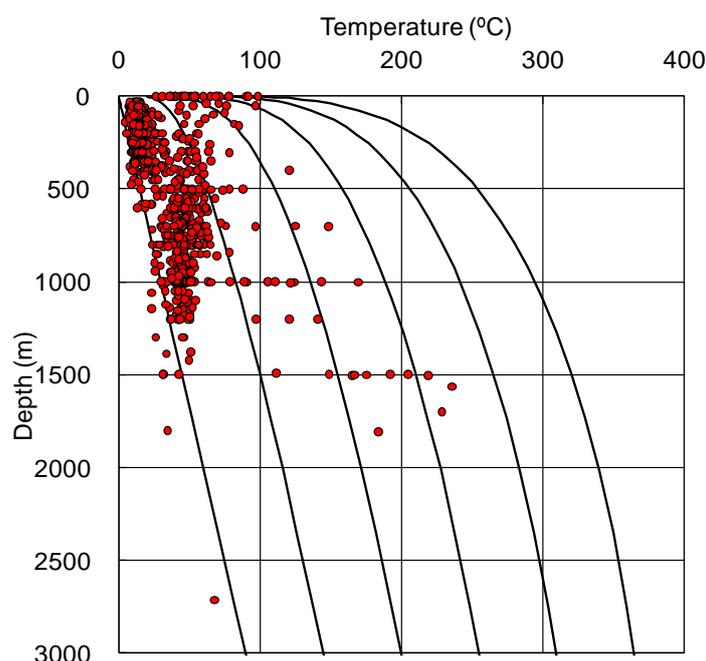


図 4.3.1 1,085 個のデータの温度深度分布と活動度指数 (AI).

る程度、深いところまで掘削した地熱調査井のデータをみると、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みえる。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 4.1.3 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みえる。

これら 1,085 個の活動度指数データを用いて、活動度指数マップを作成したものが、図 4.4 である。この図においても、すでに述べたように、青森県の特徴は広範な中低温地熱資源の存在にあることがわかる。この図について、注目すべきことが 3 点ほどある。1 つ目は活動度指数が 25 を超えるような中高温地熱資源の分布域が、26 個の自然湧出泉の位置と正確に一致していることである。2 つ目は恐山火山群の中高温地熱資源の分布域が八甲田火山群に匹敵するほどの広がりを持っていることである。3 つ目はこれまであまり熱源として注目されていなかった岩木山であるが、嶽温泉付近は自然湧出泉の存在と合わせて、わずかながら探査価値があるようにみえる。

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、

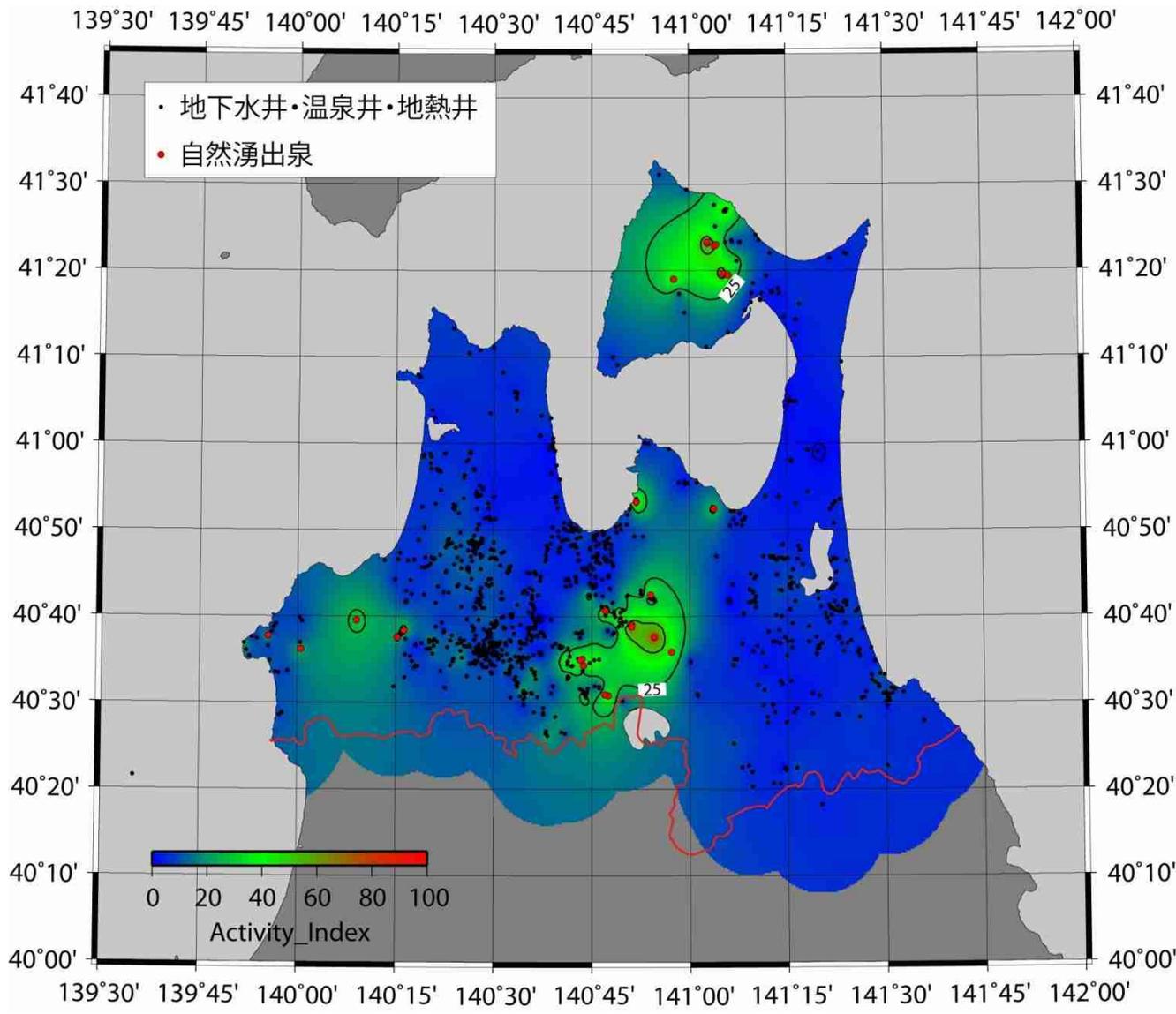


図 4.4.1 青森県の活動度指数マップ。作図には 1,085 個の地下温度データと GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

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 4.4.2 に、632 個の地下水の自然水位データから作成したマップを示す。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、北上低地帯に、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。その成因は次のように考えられる。

一般に、中央に脊梁山脈があり、その両側に低地帯がある場合、脊梁山脈の麓が天水流入帯となり、その流体が地下で暖められて、海岸付近が地下水湧水帯となるだろう。この意味では、天水流入帯が地下水位の深い帯となって、東北脊梁山脈の両麓に発達しても不思議ではない。図 4.4.2 には、若干、その傾向が認められる。しかし、図 4.4.2 によれば、地下水位の深い帯は、より前弧側の北上低地帯に発達している。これは前弧側の北上低地帯の方が、より前縁逆断層が顕著に発達し、しかも、地温勾配が前弧側の方が低いためであろう。

4.5 有効熱伝導率マップ

本調査の 40 地点の坑井位置図を図 4.5.1 に示す。また、本調査の 40 地点の熱応答試験の有効熱伝導率の結果を図 4.5.2 にまとめる。

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が多い。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。

有効熱伝導率の分布を一言で表現すれば、地形との相関が高く、堅く古い地質単元のところで高く、沖積平野のような未固結で若い地質単元のところで低い傾向が認められる。これは透水性の高い地層において、有効熱伝導率が高いという予想をやや覆す感がある。おそらく、透水性とは言っても、空隙率の高さによる透水性よりも、断裂のような脆性破壊による透水性の方が、現実には効いているということを示すものであろう。

有効熱伝導率は主に、大間地域、北上低地帯、津軽平野で低い傾向を示している。この中で、北上低地帯については、最も原因が明瞭であって、前述の地下水位の深さが影響している可能性が強い。津軽平野でも、黒石市、田舎館村、平川市などは有効熱伝導率が高いことから、より供給源に近い粗粒堆積物の多い扇状地では高く、より供給源から遠い細

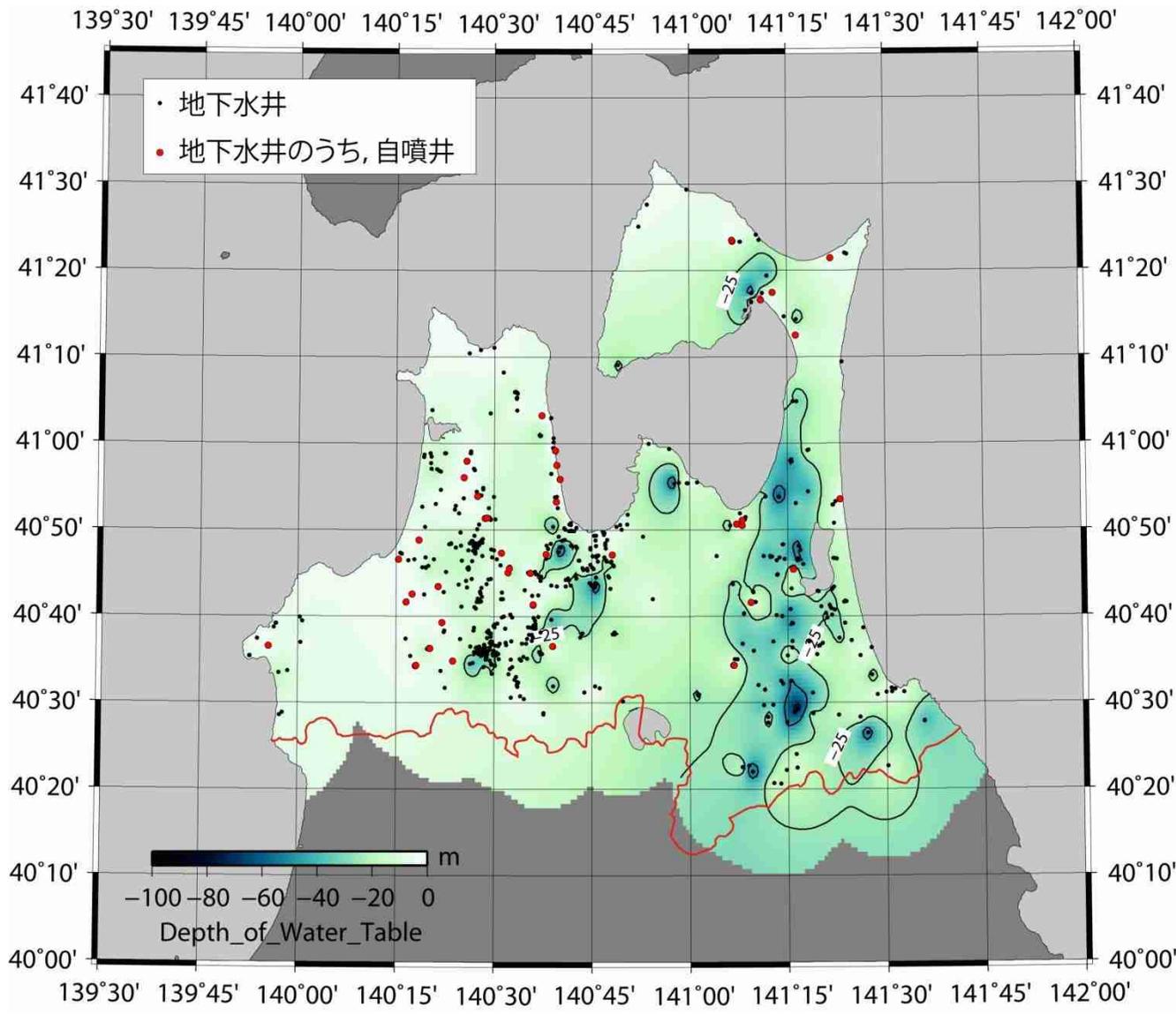


図 4.4.2 青森県の地下水の自然水位マップ。作図には 632 個の地下水データと GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

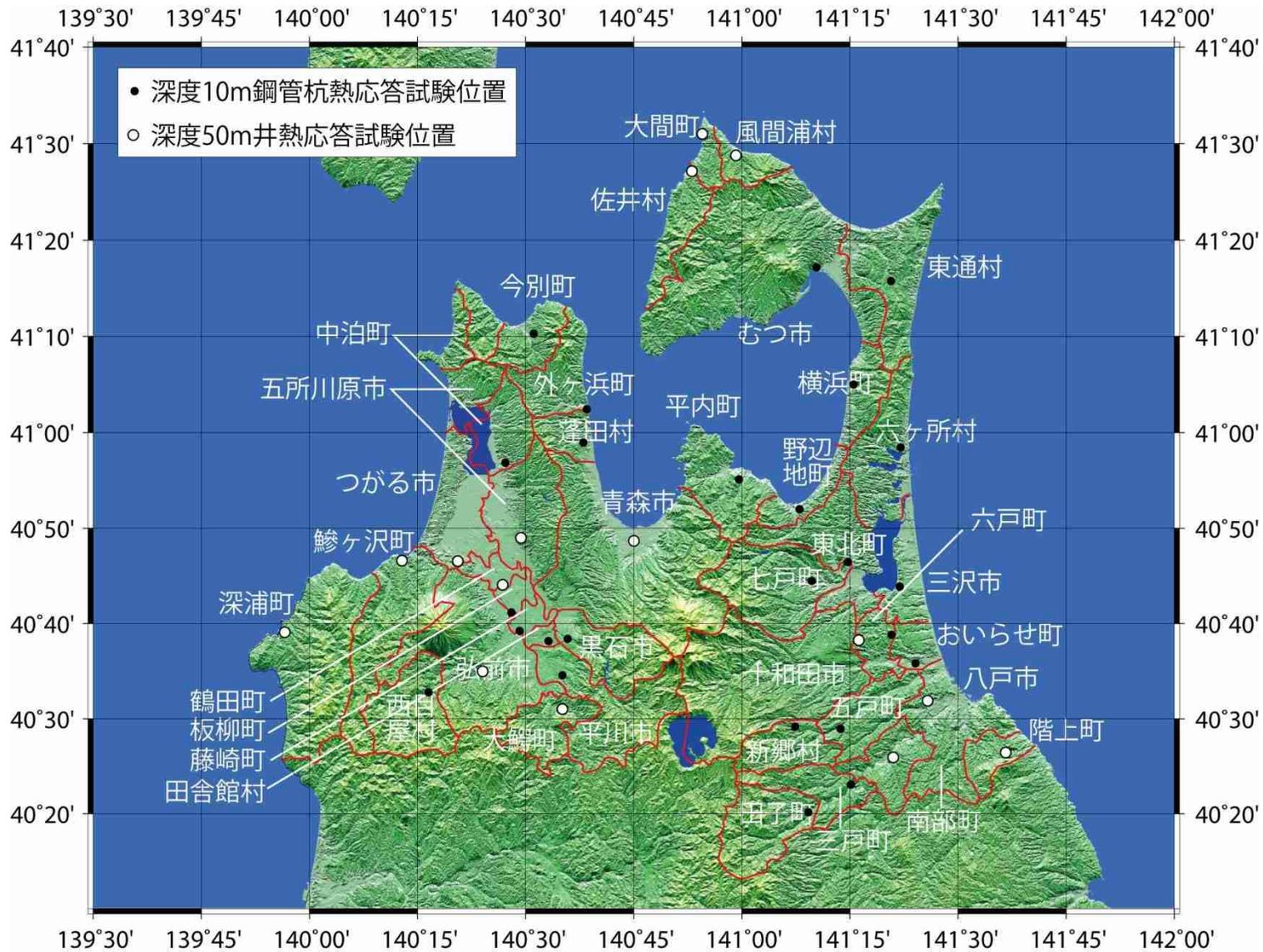


図 4.5.1 本調査の各市町村における熱応答試験位置図. 作図には GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した.

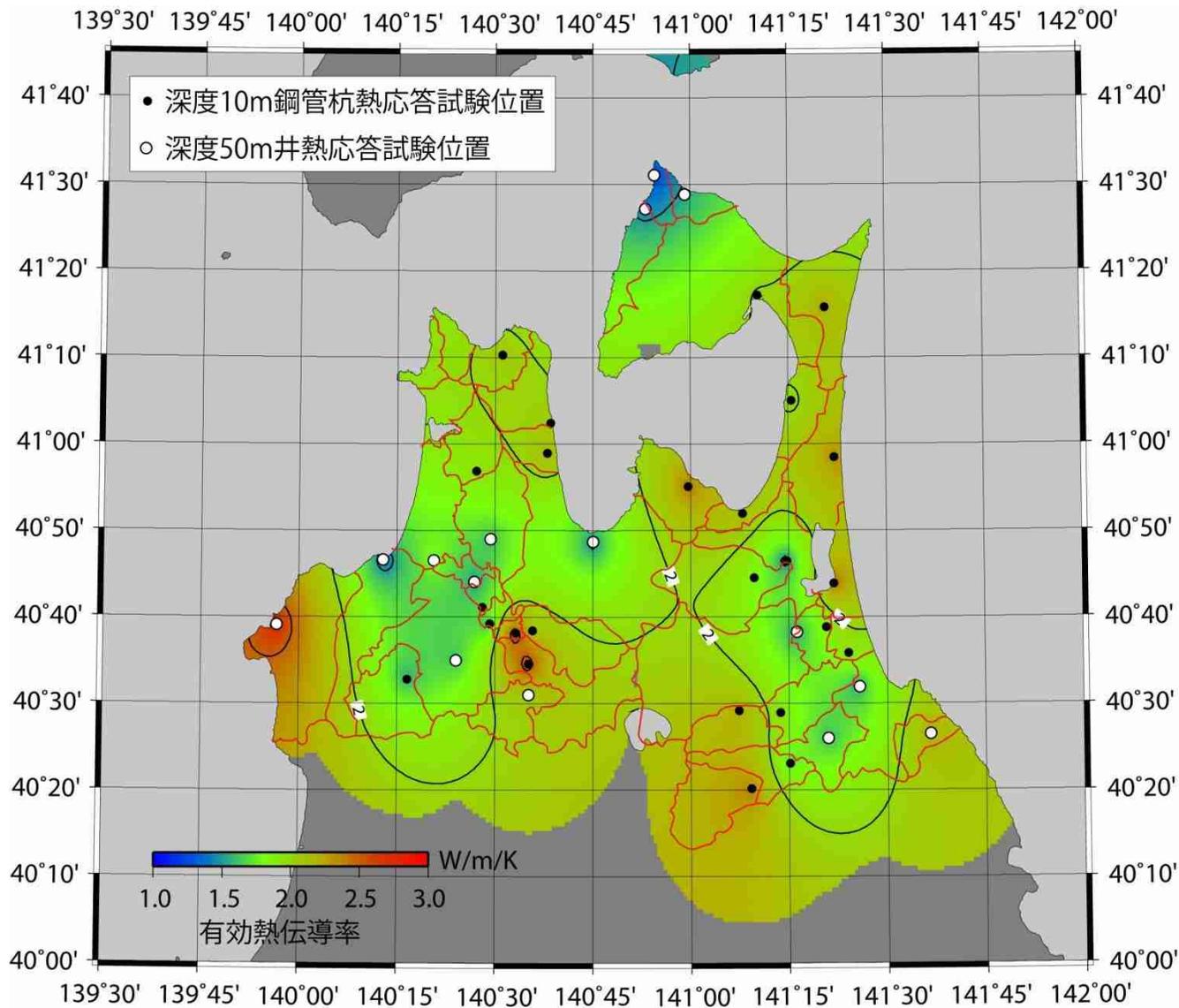


図 4.5.2 青森県の本調査の代表的結果である有効熱伝導率マップ。作図には GMT (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

粒堆積物の多い沖積平野では低くなっているものと推定される。大間地域（大間町、風間浦村、佐井村、）で有効熱伝導率が低い理由は単純ではないが、坑井地質の記載によれば（表 3.3.1.1）、粘土、泥岩、シルト岩、凝灰岩といった不透水層となりそうな地層が多く、これが有効熱伝導率を低下させたものであろう。

4.6 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、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。青森県の 632 個の地下水の自然水位を検討した。その結果、北上低地帯に地下水位が -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 40 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、地形との相関が高く、堅く古い地質単元のところで高く、沖積平野のような未固結で若い地質単元のところで低い傾向が認められる。これは空隙率の高さによる透水性よりも、断裂のような脆性破壊による透水性の方が、現実には効いているということを示すものであろう。

青森県は奥羽火山帯沿いには八甲田火山群および恐山火山群という 2 つの火山群を有し、加えて鳥海火山帯沿いには岩木火山を有している。このことから、青森県は稀に見る地熱資源に恵まれた県であると言えよう。

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.
- 地質調査総合センター（2009）：20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版について。数値地質図 G-16，産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 長谷川昭・中島淳一・北佐枝子・辻優介・新居恭平・岡田知己・松澤暢・趙大鵬（2008）：地震波でみた東北日本沈み込み帯の水の循環—スラブから島弧地殻への水の供給—。地学雑誌，**117**，59—75。
- 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.
- Muraoka, H., Takahashi, M., Sundhoro, H., Dwipa, S., Soeda, Y., Momita, M. and Shimada, K. (2010): Geothermal systems constrained by the Sumatran fault and its pull-apart basins in Sumatra, western Indonesia. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010 (CD-ROM), Bali, Indonesia, 9p.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991): Free software helps map and display data. EOS Trans. AGU, **72**, 441.

第5章 青森市実証試験

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うが、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装置
2. ボーリングマシンを使わないで済む 10m 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関発を行った。

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、井戸の長さが短いため、採熱の量には問題がある。また 50m 井戸では、過去の実績がありその方式も確立されているが、新方式における装置では、未知数の部分がある。新方式の採熱効率の最適解及び安定性について調べるため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 青い森セントラルパークにおける融雪実証試験

現在、青森県と青森市が協力して、旧穀国鉄操車場跡地の青い森セントラルパークに「青い森セントラルパーク低炭素型モデルタウン」が実施段階に入った。このタウン構想において低炭素の地中熱利用歩道、駐車場設置の計画をしている。この設置は地中熱利用普及拡大、融雪産業促進の大きな基盤となり得る。そこでこの予定地内での実証試験を行った。

具体的には、ドリル掘削方式による 50m 熱交換井戸による路面融雪と、鋼管杭ねじ込み方式による 10m 熱交換井戸による路面融雪による実験装置を、同じ場所に並べて(図 5.1.1)比較実証実験を行った。10m 鋼管井戸は 2 本使い、利用方式による違いを調べ、最適採熱効率の条件を調べた。この 2 種類の融雪システムについて水温、地温、流量などをデータロガーによりデータ収集を行った。

また、サーマルレスポンス試験では、ドリル掘削方式による 50m 熱交換井戸と 10m 鋼管杭ねじ込み方式による 10m 熱交換井戸による 2 種類の方式によって行ったので、その比較

検討、データの校正にも重要なデータとなる。

- ◆ 試験テーマ：歩道融雪実験
- ◆ 場所：青い森セントラルパーク
- ◆ 時期：2011年2月14日～21日
- ◆ 試験融雪システム
 - ・ 採熱管 138 mmφ10m 長 鋼管杭 1本
 - ・ 190 mmφ10m 長鋼管杭1本
 - ・ 50mU字管 一本
 - ・ 融雪パイプ配管 5 m²分×2



図5.2.1.1 50m深熱交換井戸と10m深交換井戸実証実験

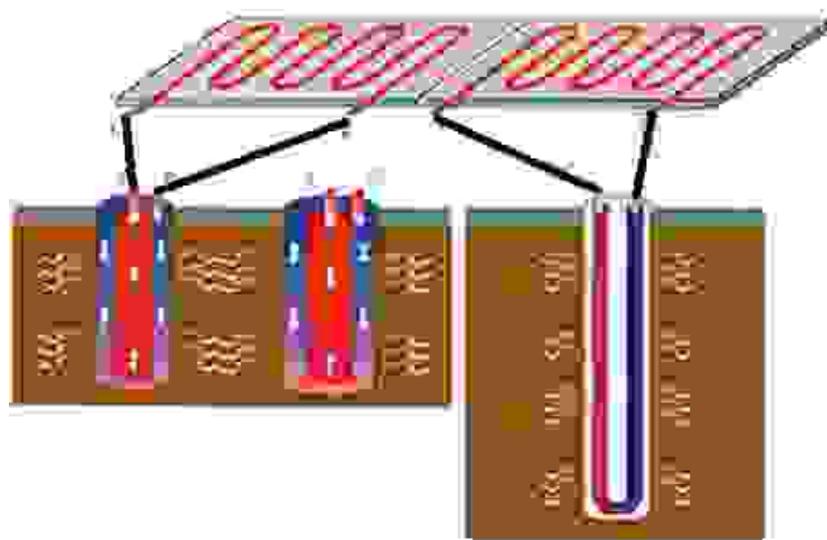


図5.2.1.2 実証実験融雪システム

実証試験項目

1. 10m 鋼管における実験結果

10m鋼管井戸では

- ◆ 2011/2/15 18:38 から 2011/2/17 17:44 まで
 - ・ 175φの太さの二重管の内管から外管への循環流（流量 5.680/m）
- ◆ 2011/2/17 17:44 から 2011/2/18 10:36 まで
 - ・ 125φの太さの二重管の内管から外管への循環流（流量 5.540/m）
- ◆ 2011/2/18 10:36 から
 - ・ 125φの太さの二重管の外管から内管への循環流（流量 3.2980/m）

その結果を図 5.2.1.3 に示す。

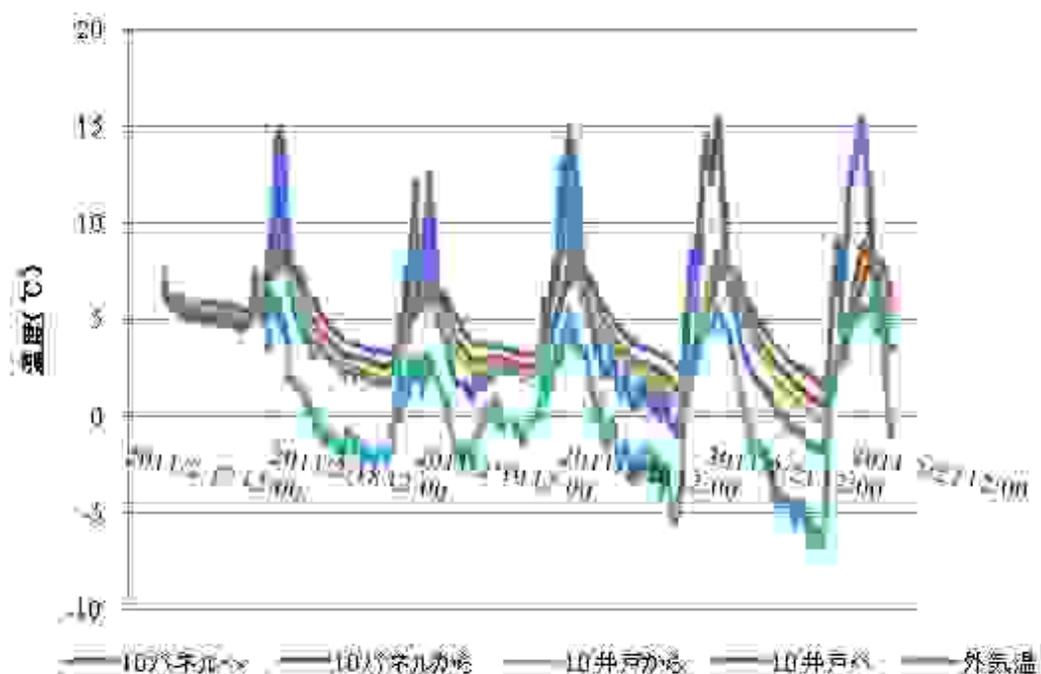


図 5.2.1.3 10m 鋼管における実験結果

図 5.2.1.3 の昼の部分で温度が外気温より高いのは、日射によりコンクリートが熱せられることによるものである。2月18日以降は流れが逆方向になっているので、図 5.2.1.3 の“パネルへ”は、“パネルから”のようにから→へ、へ→からに変わる。

この実験においては融雪面には雪は載っていない。すなわち昼は日射を受けてパネルから（18日以降は逆流にしてあるので“パネルへ”に相当）の出口では温度が高いが、井戸に入るまでに外気および浅い地下での配管で冷やされている。一方夜になると融雪面は外気に冷やされて、パネルから出る水は低くなり、外気が-5度くらいになると水温も零度以下になっている。いずれにしてもパネルと井戸を結ぶパイプでの温度変化が大きい。これは断熱性が悪いことによるものと考えられる。

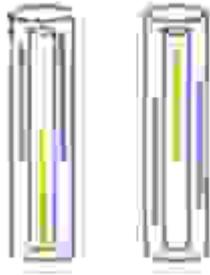


図 5.2.1.4 水の循環方向の違い

図 5.2.1.4 に示すように、二重管では、融雪後冷えた水を管の中央の管を通して最下部から外側に行き管の外側で地中熱を吸収し、その水を融雪部に送り込む場合と、逆に冷えた水を外側から入れ、断熱性の高い内管(塩ビ)を通す場合の二通りの方法が考えられる。どちらが、採熱効率が良いかの比較実験を行った。

今回の実証実験では、地下に埋めた採熱管の中に直接光ファイバー温度計を入れて水温の計測を行った。光ファイバーは鋼管の内側の管と外側の管の間に挿入してある。

図 5.2.1.4 の左側のように、内側の管から冷たい水を入れ、外側で熱を吸収して上部から雪パネルに送る場合の、10m 鋼管杭熱交換井戸内の水温分布を図 5.2.1.5 に示した。深さがマイナスの部分では地上部の気温を示している。

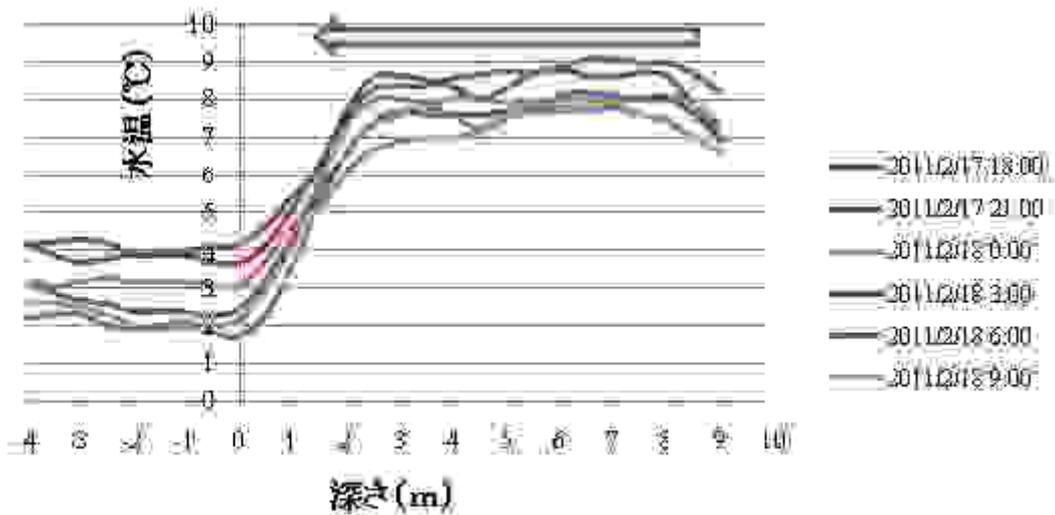


図 5.2.1.5 鋼管内外側を、下から上へ流れる時の水温分布

図 5.2.1.5 からは深さ 2m あたりから水温が低下していることが示されている。これは使用した鋼管の熱伝導が大きく、地上部での低温で熱が奪われていることを意味している。このことによって、上部での断熱をかなりしっかりと行わなければならないことが分かった。今までに確立されている 50m 井戸でのポリエチレン製の U 字パイプによる熱交換では、管

の熱伝導は大きくなく、また細いので放熱の影響は少ないが、鋼管では熱伝導が大きい分地上部での放熱を厳しく抑える必要がある。

図 5.2.1.6 には、図 5.2.1.4 の右側のように、循環水を逆流させ、外側の管から冷たい水を入れ、内側の下部から上に送り出す場合についての、鋼管内外側の水温分布を示した。

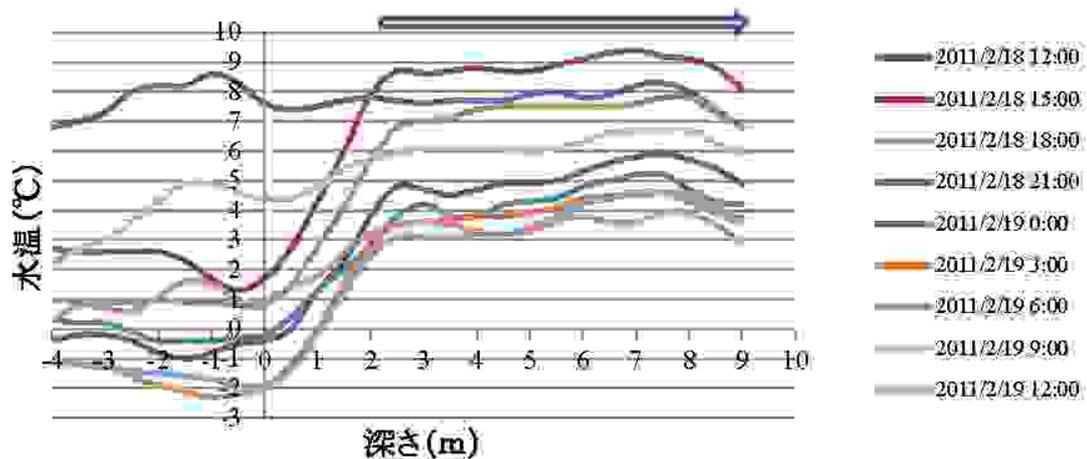


図 5.2.1.6 管の外側を流れる時の水温分布

この場合は深さ 2m くらいまで急激に上昇し、それからゆっくり上昇している。これも上部での断熱性が悪いことにより、上部が冷やされることによって管の中で上部冷水層と下部の温水層の 2 層の分離が起こっているものと考えられる。

図 5.2.1.5 では管内での水の進行方向(上)に対する温度上昇は見られない。むしろ低下傾向が見られるが、これは上部冷水層と下部の温水層の 2 層の分離による影響と考えられる。一方、図 5.2.1.6 では進行方向(下)に対して温度上昇が見られるので、二重管では外から内への循環の方が、効率が良いということが分かった。いずれにしても二重管では熱伝導の問題と、管が太いことによる水の滞留による影響を考慮しなければならないことが明らかとなった。

2. 50m井戸による実験結果

50mU字管井戸では

- ◆ 2011/2/15 1 から 2011/2/21 まで
 - ・ 10m井戸と同じく、融雪パネルには雪を載せてない状況で実験を行った。

図5.2.1.7に50m井戸による井戸から融雪パネルへの移動に伴う温度変化を示した。

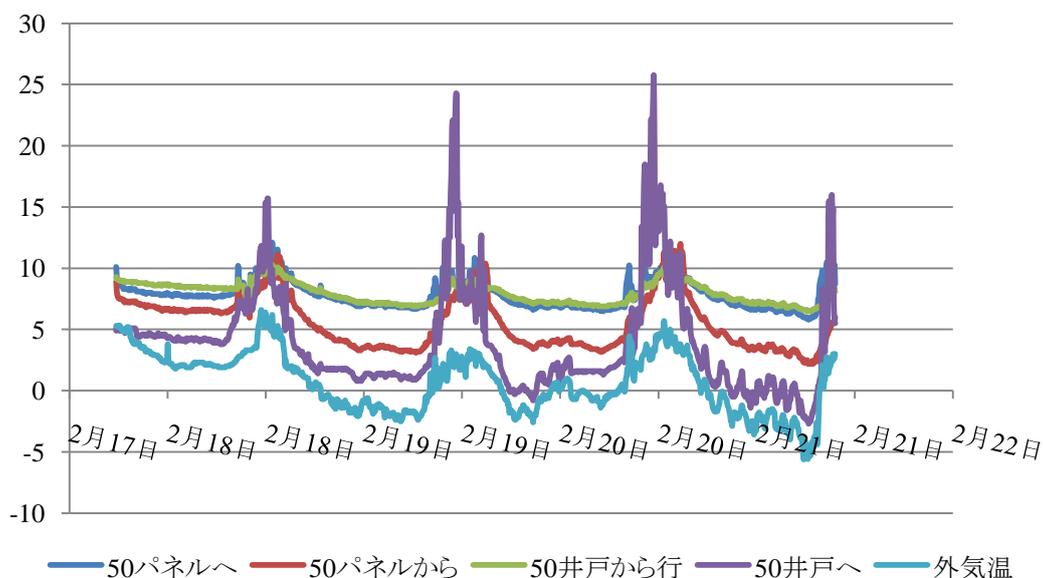


図5. 2. 1. 7 50m井戸における水温の時間変化

温度変化の傾向は基本的には図5.2.1.3の10m井戸での変化と同じであるが、やはり採熱部分が長いこと及び採熱管が細く断熱性が鉄に比べて熱伝導率が低いことため地上付近での熱のロスが少ない影響で4℃程度高い。

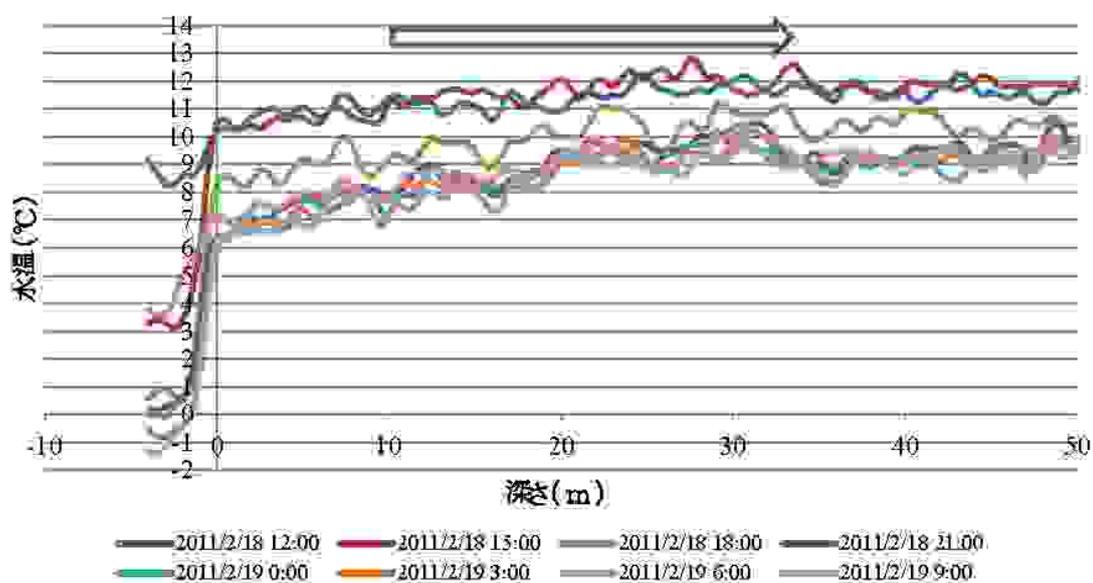


図5. 2. 1. 8 50m井戸における下降するときの水温分布

図 5. 2. 1. 8 に 2 月 18 日の地中深度に水温を時間別に示した。この場合はパイプの熱伝導率が大きくなく、またパイプも細いので上部に貯留することがなく、0m 付近ではそれほど低い水温になっていない。

5.2.2 個人住宅におけるヒートポンプレス・ボーリングレス融雪実証試験

個人住宅の小面積での地中熱利用融雪において、上記に述べたようにキャタピラー付き重機によるドリル掘削方式の熱交換井戸敷設では、掘削費より重機輸送の方が高つく。そこで普及に向けた、低コストで済む鋼管杭ねじ込み方式は普及に向けては効果的であるが熱吸収量が低いので、熱吸収の効率を高めることが必要である。そこで地熱吸収効率についての実証試験を行った。この実験では、すでに実験用として設置してある山本建築プランニング所有の融雪装置をリースして、熱吸収効率の調査を行った。

実験は図 5.2.2.1. に示すように

1. 内管の太さ (40 mm 及び 80 mm) による違い
2. 循環水の流の方向の違いによる

管内温度変化を調べた。この実験においても温度変化を大きくさせるために融雪面の上には雪を載せないで行った。

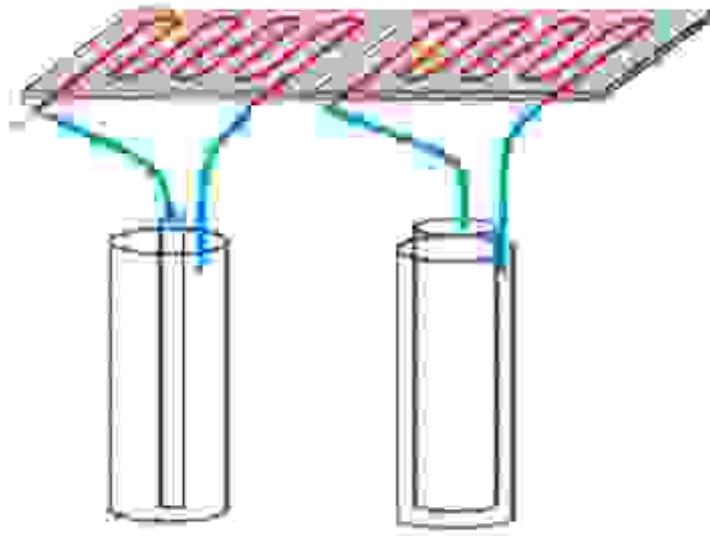


図 5.2.2.1 実験概要

図 5.2.2.2 に太い内管の場合、図 5.2.2.3 に細い内管の場合についての結果を示す。図には鋼管の管壁から 30 cm 離れた地中 2m での地温も示した。水温の時間的变化は、昼は日射による循環水の温度上昇、夜は外気への放熱によるものである。

この実験ではセントラルパークでの実験より深さによる温度勾配が小さい。これは管の上部での断熱性が悪いことによるものと思われる。また鋼管から 30 cm 離れた深さ 2m の地点では、管内の温度変化に対して 4 時間程度の遅れがあることが示されている。23 日 15:33 に流れの方向を切り替えた。

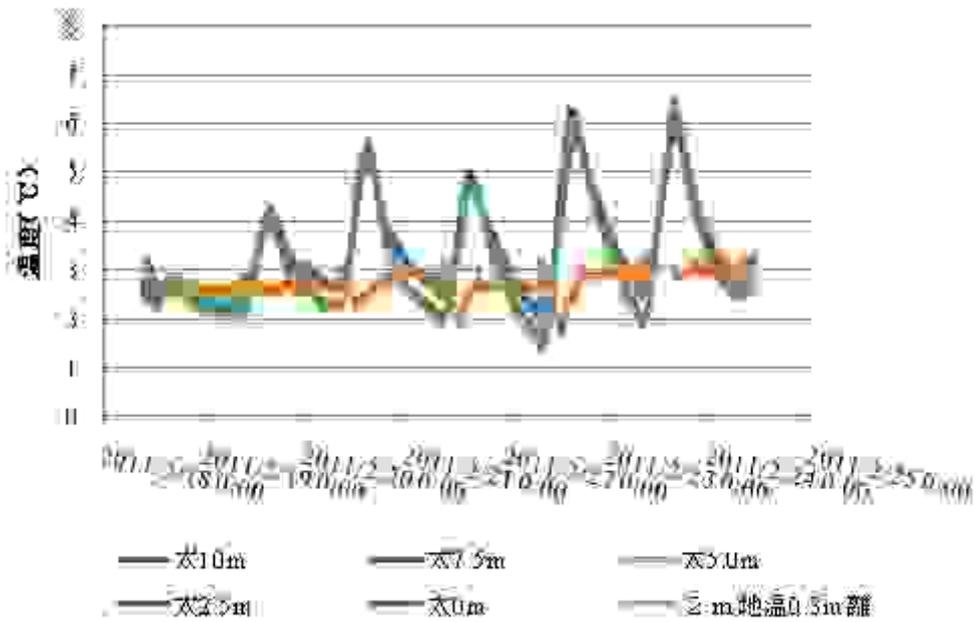


図 5. 2. 2. 2 太い内管の場合の水温変化

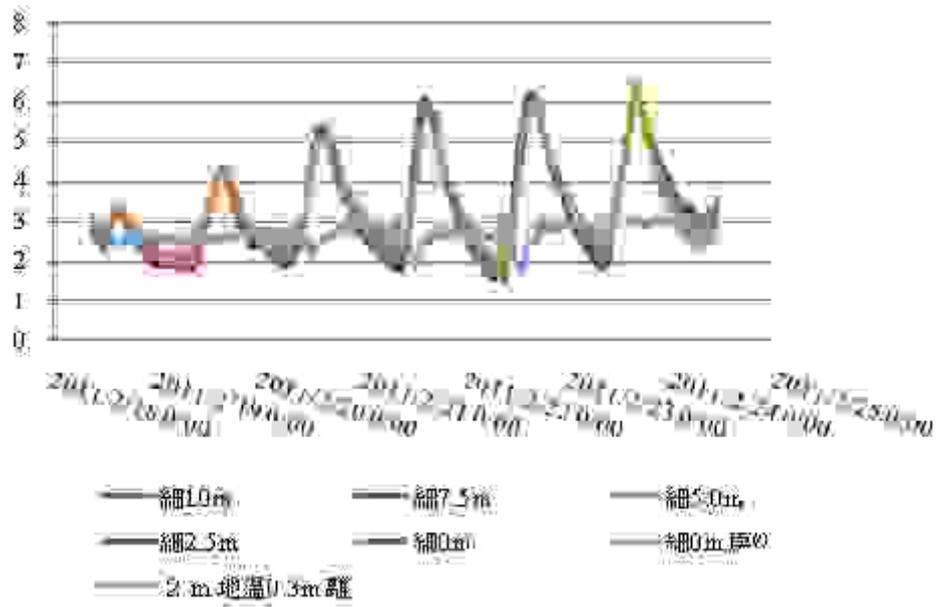


図 5. 2. 2. 3 細い内管の場合の水温変化

5.3 地中熱ロードヒーティング試験評価

今回の実証試験では、地下に埋めた採熱管の中に直接光ファイバー温度計を入れて水温の計測を行ったもので有り、今までにない新しい知見が得られた。ここでは5.2章で得られたデータに基づいてヒートポンプ融雪について評価を試みる。

5.3.1 水温の深さ分布

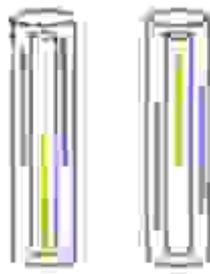


図 5.3.1.1 鋼管杭の構造

図 5.3.1.2 に 10m鋼管杭熱交換井戸における鋼管内の水温分布を示した。鋼管杭は図 5.3.1.1 に示すように二重管になっている。

この実験では図 5.3.1.1 の左側のように、内側の管から冷たい水を入れ、外側で熱を吸収して上部から雪パネルに送る方式で行った。光ファイバーは鋼管の内側の管と外側の管の間に挿入してあり、水温は鋼管の中の外側を下から上へ流れる時のものである。また深さがマイナスの部分は地上部の気温を示している。図 5.3.1.2 からは深さ 2m 当たりから水温が低下していることが示されている。これは使用した鋼管の熱伝導が良すぎて、地上部での低温で熱が奪われていることを意味している。このことによって、上部での断熱をかなりしっかりと行わなければならないことが分かった。50m井戸では鋼管でなく、ポリエチレン製の U 字パイプを使っているため、熱伝導はさほど大きくなく、影響は少ないが、それでも 5.2 章で見られたように、上部での熱損失が大きい。

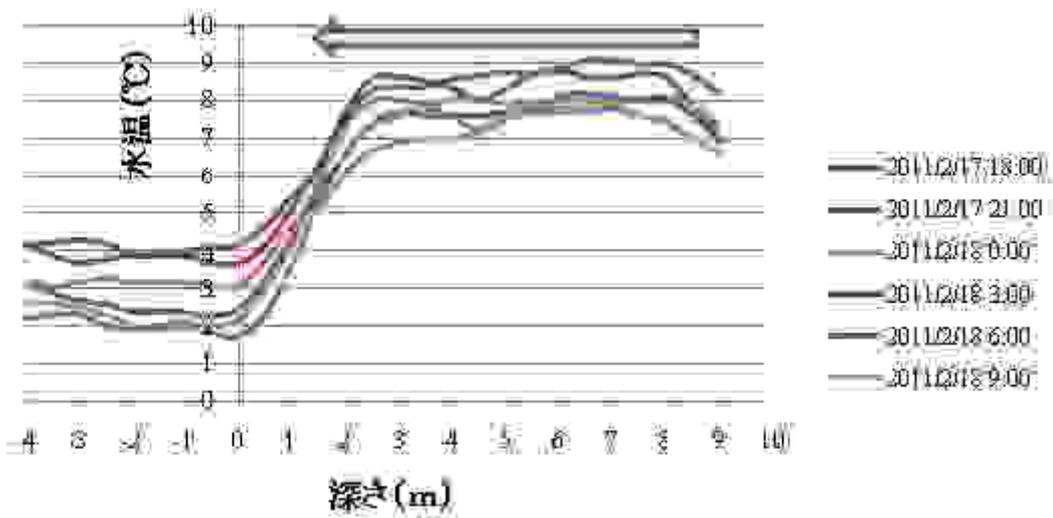


図 5.3.1.2 10m 鋼管杭熱鋼管井戸における鋼管内の水温分布

図 5.3.1.3 には、鋼管の中の流れを、図 5.3.1.1 の右側のような、“外から内へ”に変えて行った結果を示した。この場合は深さ 2 m くらいまで急激に上昇し、それからゆっくり上昇している。これも上部での断熱性が悪いことにより、上が冷やされることによって管の中で上部と下部の 2 層の分離が起こっているものと考えられる。

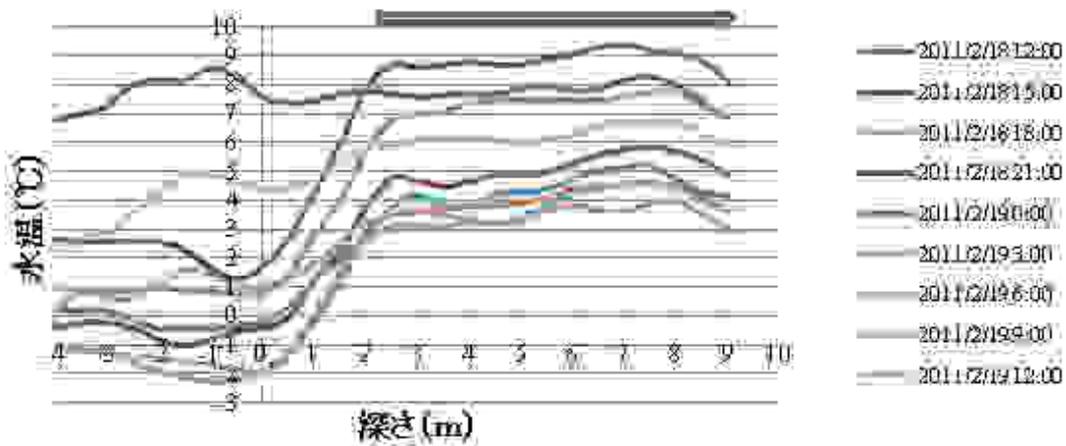


図 5.3.1.2 10m 鋼管杭熱鋼管井戸における鋼管内の水温分布(外から内へ)

図 5.3.1.4 に 50m 井戸の冷えた水を送り込む側の U 字パイプ内の水温分布を示した。

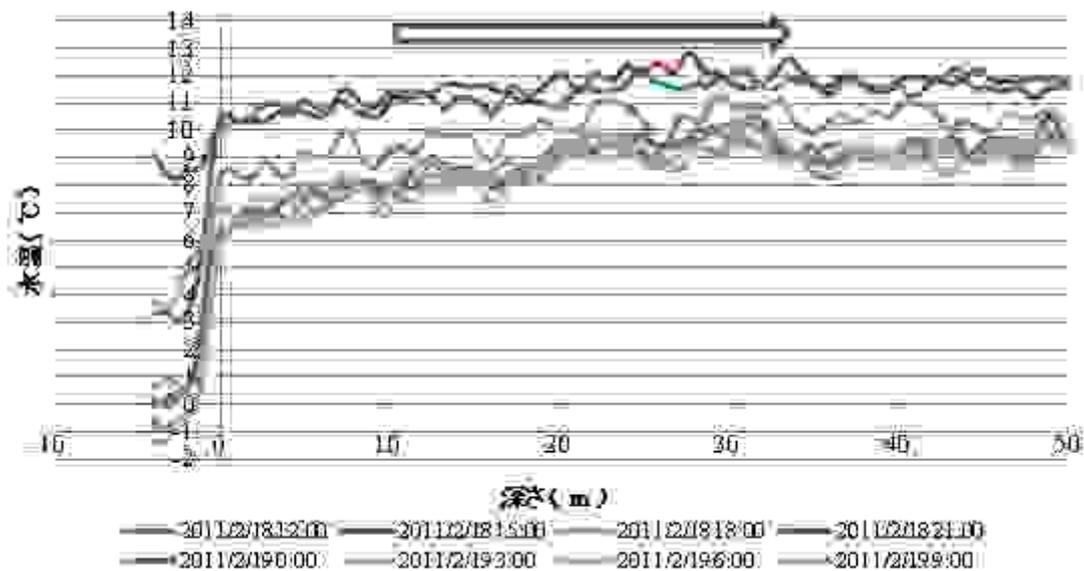


図 5.3.1.4 50m 井戸の冷えた水を送り込む側の U 字パイプ内の水温分布

この場合はパイプの熱伝導率が大きくなく、またパイプも細いので上部で貯留することがなく 0m 付近ではそれほど低い水温になっていない。

5.3.2 採熱効率の評価

ここでは 50m 井戸及び 10m 鋼管杭方式による地中熱の採熱効率について評価を行う。図 5.3.2.1 に図 5.3.1.2 の昼と夜半の部分について、10m 鋼管杭内の水温上昇の割合を示した。

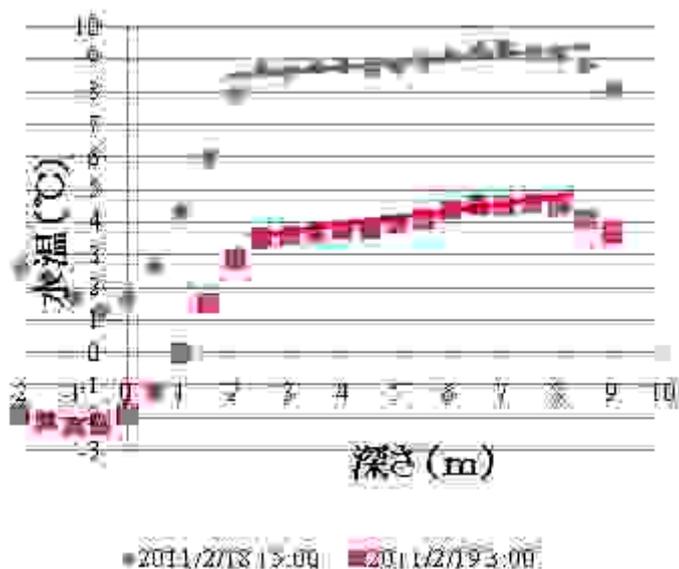


図 5.3.2.1 10m 井戸における循環水の温度上昇率

断熱性の悪い上部と、これも内管を通ってくる上部からの冷たい水の混ざり合う下部を除いた部分での温度上昇率は、昼で1m当たり0.15°C/m。低い温度で入ってくる夜で0.21°C/mと求められる。融雪能力は、温度差×流量で決まり、このときの流量は5.54ℓ/minであるので、上部でのしっかりと断熱を施したと仮定すれば、能力として

$$\text{昼で } 0.15 \times 10 \times 5.54 \times 1000 / 60 \times 4.18 = 574\text{W}$$

$$\text{夜で } 0.21 \times 10 \times 5.54 \times 1000 / 60 \times 4.18 = 802\text{W}$$

と求められる。

図5.3.2.2に50m井戸の図5.3.1.2の昼と夜半の部分について、水温上昇の割合を示した。この場合はまず20mより上と、下では温度勾配が異なることが分かる。熱の吸収は温度差によることによるものである。図5.3.2.2より、温度上昇率は10m深さまでは、

$$\text{昼で } 1\text{m 当たり } 0.68^\circ\text{C/m}$$

$$\text{低い温度で入ってくる夜で、 } 0.115^\circ\text{C/m}$$

と求められる。また、10mより深いところでは、

$$\text{昼は } 0.01^\circ\text{C/m}$$

$$\text{夜は } 0.02^\circ\text{C/m}$$

と求められる。

温度勾配は、鋼管杭の方が大きいのは、鋼管の熱伝導率が高く、且つ表面積が大きいことによるものである。このときの流量は4.3ℓ/minであったので、50m井戸の能力として

$$\text{昼で } 2.05 \times 4.3 \times 1000 / 60 \times 4.18 = 614\text{W}$$

$$\text{夜で } 2.8 \times 4.3 \times 1000 / 60 \times 4.18 = 838\text{W}$$

と求められる。

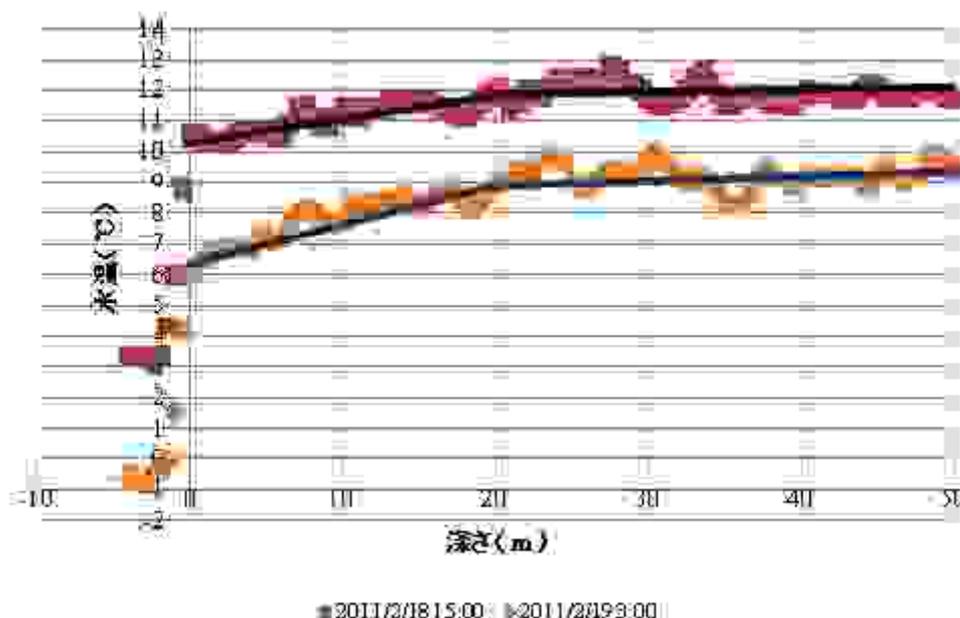


図 5. 3. 2. 2 50m 井戸における循環水の温度上昇率

結論としては、10m井戸と 50m井戸の能力はさほど変わらないという結果が出た。これは上に述べたように、管の熱伝導率の違いと太さの違いによるもの、および図 5.3.2.2 に見られるように深いところでは、採熱効果が低く長さの効果が薄れることによるものである。ただし、鋼管杭での能力は、上部での熱の放出を抑える断熱性にかかっていることを強調しておく。

採熱効率は入ってくる水温に左右され、低い温度ほど効率は高くなる。実際の融雪時には、パネルは低い 0°C に保たれるので融雪の能力は上記値より高くなることが想定される。今回は融雪時に適正な実験を行う余裕がなかった。さらなる検証が必要であると考える。

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 「地熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会」 委員名簿

	氏名	所属
委員長	村岡 洋文	北日本新エネルギー研究所*1
委員	唐澤 英年	青森県産業技術センター理事長
委員	赤平 亮	青森県産業技術センター
委員	坂本 和記	大泉開発株式会社
委員	佐藤 秀明	株式会社タケナカ
委員	高島 勲	秋田大学名誉教授
委員	西澤 肇	NPO青森県太陽光熱利用研究会
委員	原 和彦	芝管工株式会社
委員	三上 亨	NPOグリーンエネルギー青森
委員	山本 潤児	山本プランニング
委員	小川 清四郎	弘星テクノ(日本大学)
委員	太田 均	青森県エネルギー総合対策局
委員	南條 宏肇	北日本新エネルギー研究所*1
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「地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7月7日 13:30-15:30
2. 会場：北日本新エネルギー研究所 2階会議室
3. 議事：
 - (1) 委員会設置要項(案)の審議
 - (2) 委員長選出
 - (3) その他
 - (4) 調査内容の概要説明
 - (ア) 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(40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
4. 出席委員：

赤平(青森県産業技術センター)、坂本(大泉開発株式会社)、佐藤(株式会社タケナカ)、

西澤（NPO青森県太陽光熱利用研究会）、三上（NPOグリーンエネルギー青森）、山本（山本プランニング）、小川（弘星テクノ）、太田（青森県エネルギー総合対策局）、南條・村岡・中岡（北日本新エネルギー研究センター）

5. 当日の様子



第2回「地熱エネルギー利用ポテンシャル検討委員会」

（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. 審議：
 - (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「地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 14:30-15:30
2. 会場：北日本新エネルギー研究所 2階会議室
3. 議事：
 - (1) 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：
唐澤（青森県産業技術センター）、坂本（大泉開発）、西澤（NPO青森県太陽光熱利用研究会）、小川（弘星テクノ）、原（芝管工）、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

6.3.1 ヒートポンプレス・ボーリングレス融雪装事業の展開

積雪豪雪地帯としての除排雪は

- ◆ 高齢化による労力不足
- ◆ 財政を圧迫する膨大な除排雪費用

の問題を抱え、また

灯油による融雪では

- ◆ 近年の原油高騰
- ◆ 地球温暖化→脱炭素社会
- ◆ 96%をも海外からの輸入に頼っている安全保障

の問題から今後の普及は望めない。

一方地熱は天候に左右されず冬期間でも地下から安定したエネルギーを取り出すことができるため、融雪に用いるには最も適している熱源といえる。ただし地熱は密度が薄く

- ◆ 低い融雪能力
- ◆ 高い設置コスト

の問題を抱えている。

特に設置コストを高めているものとして、ヒートポンプの費用と熱鋼管井戸の掘削費が挙げられる。掘削費は条件により異なるが、個人住宅の場合は掘削費用より掘削機運搬費用の方が高つく。

表 6.3.1.1 に一般的に地中熱融雪装置にかかる費用と、ヒートポンプを使わない場合及びボーリングをしないで鋼管杭埋め込み方式を採用した場合のコスト比較を示した。

項目	現状コスト	改善コスト	差額
融雪配管工事	50 万円	50 万円	0 万円
熱交換井掘削	75 万円	30 万円	45 万円
ヒートポンプ	60~100 万円	0 万円	60~100 万円
計	185 万円 ~225 万円	80 万円	105~155 万円

表 6.3.1.1 地中熱利用融雪装置コスト比較

この表によれば、ヒートポンプを使用しないことで60-100万円の削減、鋼管杭埋め込みにより45万円の削減ができ、個人住宅では80万円で駐車場融雪ができることを示している。ランニングコストにおいては、利用方法にもよるが、単に不凍液の循環ポンプの電気代だけで済むので、石油、電気ヒータ利用に比べて、一桁程度少ない費用で済む。

融雪能力については、今回の調査による実証試験から、第5章の5.3 地中熱利用温室栽培経済性評価で述べたように、10m鋼管杭埋め込み方式では、夜で802Wと求められた。ただしこれは上部での断熱性を高めることでの条件付きである。一方50mのボーリング方式の井戸によるものとしては、夜間838Wと求められた。

浅い井戸にもかかわらず10m井戸での採熱量が50m井戸と余り変わらないのは鋼管の熱伝導率が高く、且つ表面積が大きいことによるものである。

融雪能力は、地中における帯水層の存在が大きな意味をもっている。また鋼管杭埋め込みでは、井戸の掘削において地層によっては別の対策が必要な場合もあり、費用が異なる。一般的に、地中熱交換のための井戸は掘ってみなければ分からないという問題点を抱えている。

今回の青森県40か所、での地中熱ポテンシャルのサーマルレスポンステストの結果は、この問題を解決し普及を促進する大きな役割を果たす。

イニシャル、ランニング両方において低コストである融雪システムは、積雪寒冷地にとって除排雪問題を解決し、地域における新しい形の土木・建築の事業を興し、併せて低炭素化社会の実現に貢献することが期待される。またこのシステムはアジアなどの積雪地域への輸出も可能である。

またこのシステムの適用範囲は広い。

融雪としての利用としてはロードヒーティング方式による個人使用の

- ◆ 個人住宅 での駐車場、玄関から道路までの通路
- ◆ コンビニ等の営業用駐車場

にとどまらず公共事業としての

- ◆ 冬に屋外でもボール遊び、テニスができる学校校庭・スポーツ施設
- ◆ 歩道（特に交差点、バス停）
- ◆ ヒートポンプを組み込んだ低コスト暖房

また、公園などの地下に貯留槽を設置し、貯めた水を地熱で熱交換して雪を溶かす

- ◆ 雪捨て場（貯留式）

等の利用が可能である。

また重量車両向け対加重構造を開発することによって

- ◆ 低コスト車道融雪

が可能になれば、公共事業としての地域活性化に大きな役割を果たすことが期待される。

6.3.2. 低価格地中熱利用ヒートポンプによる産業化への展開

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) 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 度程度の一定温度であり、冷暖房で保持する温度 20°C 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、本報告での第 5 章の実証試験で低価コストの地中熱利用の方式について実証実験を行い、その低価格化での展開の可能性を示した。

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、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、「黒石市地中熱・温泉熱ポテンシャル調査事業で」で行った。(黒石報告参照)

その結果、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、カーボンクレジットの動きなどを考えれば、今後の普及はきわめて有望である。

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り、その利用範囲は広く、大きな産業創出に繋がる。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り、第一次産業へ応用範囲も大きい。

そこでイニシャルコストとランニングコストが低く抑えた低価格ヒートポンプによって、第一次産業や第 2 次産業に対して新たな産業が展開されることが大いに期待される。

ヒートポンプのイニシャルコストの低価格化に向けては、現在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で、開発を進めている。さらに大手による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つつある。ヒートポンプは、基本的には、熱鋼管ラジエータ、圧縮ポンプ (コンプレッサー) 膨張弁のアセンブルで製作可能であり、地中熱利用では、デフロスト (霜取り) などの複雑な機能はいらないので、県内企業による製作も十分可能であると考えられる。

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。たとえば地中熱利用では、温度の限界、採熱量の限界に合わせた利用が必要であると同時に、井戸を掘るときに地層の違いや、地中における帯水層の有無などの条件に合わせたきめ細かい対応が必要である。今までのような灯油による融雪・冷暖房などの力任せの方式では、ランニングコスト的に無理である。

このような観点からいえば、地中熱などの再生可能エネルギーによる新産業創出においては、単なる技術革新のみならず、幅広い視点からの、石油の延長線上にとらわれない発想の転換が必要である。

また今までのように、事業者が個々に独立して事業を行い、その事業を足し合わせればできあがるというようなことでは展開できない。産学官が一体となった開発・普及事業が不可欠である。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、その点からいっても、地元企業による産業創出と、地域の雇用の場が大きく生み出されることが期待できる。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

等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になって行った。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℃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℃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。