

○ 全体の概要

実証対象技術	株式会社福島地下開発本社事務所における地中熱交換井
実証申請者	株式会社福島地下開発
実証単位	(C) 地中熱交換部
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証試験期間	平成 22 年 8 月 30 日～平成 22 年 9 月 11 日

1. 実証対象技術の概要

1.1 地中熱交換部と実証試験

地中熱交換部は、地中熱利用において地下から熱を採取し、地下に熱を放熱する重要な施設である。一般に地中熱交換部は地中熱交換井と、地中熱交換井の中に挿入した U 字管などの熱媒循環部、地中熱交換井を充填する砂などの充填材、及び熱媒循環部 (U 字管) を循環する熱媒からなる。熱媒は地中熱交換井と地上に設置されたヒートポンプとの間を循環する流体で、熱を運ぶ媒質である。

本実証試験では、地中熱交換部全体の性能をサーマルレスポンス試験によって実証するとともに、熱媒循環部である U 字管、熱媒である不凍液 (ブライン) の性能を資料により実証したものである。なお、サーマルレスポンス試験は、熱応答試験あるいは TRT (Thermal Response Test) とも呼ばれている。

1.2 地中熱交換井

地中熱交換井はボーリングによって掘削された孔井である。地中熱交換井の中には U 字管を入れて、U 字管を入れた孔井は充填砂で充填されている。地中熱交換井内の充填砂は、阿武隈川で採取された砂である。産地は福島県郡山市西田町大網。粒度分布は次のとおり。

ふるいの呼び寸法 (mm)	5.00	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
ふるい通過重量百分率 (%)	100	95	79	61	18	3

1.3 熱媒循環部

本実証対象技術の熱媒循環部 (U 字管) の仕様は次のとおり。

製品名及び型式	地中熱交換システム用パイプ「U-ポリパイ」GPU-25A110
製造・販売事業者	株式会社イノアック住環境
材質	高密度ポリエチレン材料 (PE-100)
寸法	パイプ外径 34.0mm±0.20mm、厚さ 3.5mm±0.30mm、近似内径 27mm
設置方式	シングル U 字管
設置深度	100m まで挿入

1.4 熱媒

本実証対象技術に使用した熱媒の仕様は次のとおりである。

製品名	KYK ロングライフクーラント（不凍液）
主成分	エチレングリコール 90%
製造・販売事業者	古河薬品工業株式会社
熱媒として使用時の形態	エチレングリコール 30%希釈液

1.5 地中熱交換井の地質条件及び熱媒循環部(U字管)の設置状況

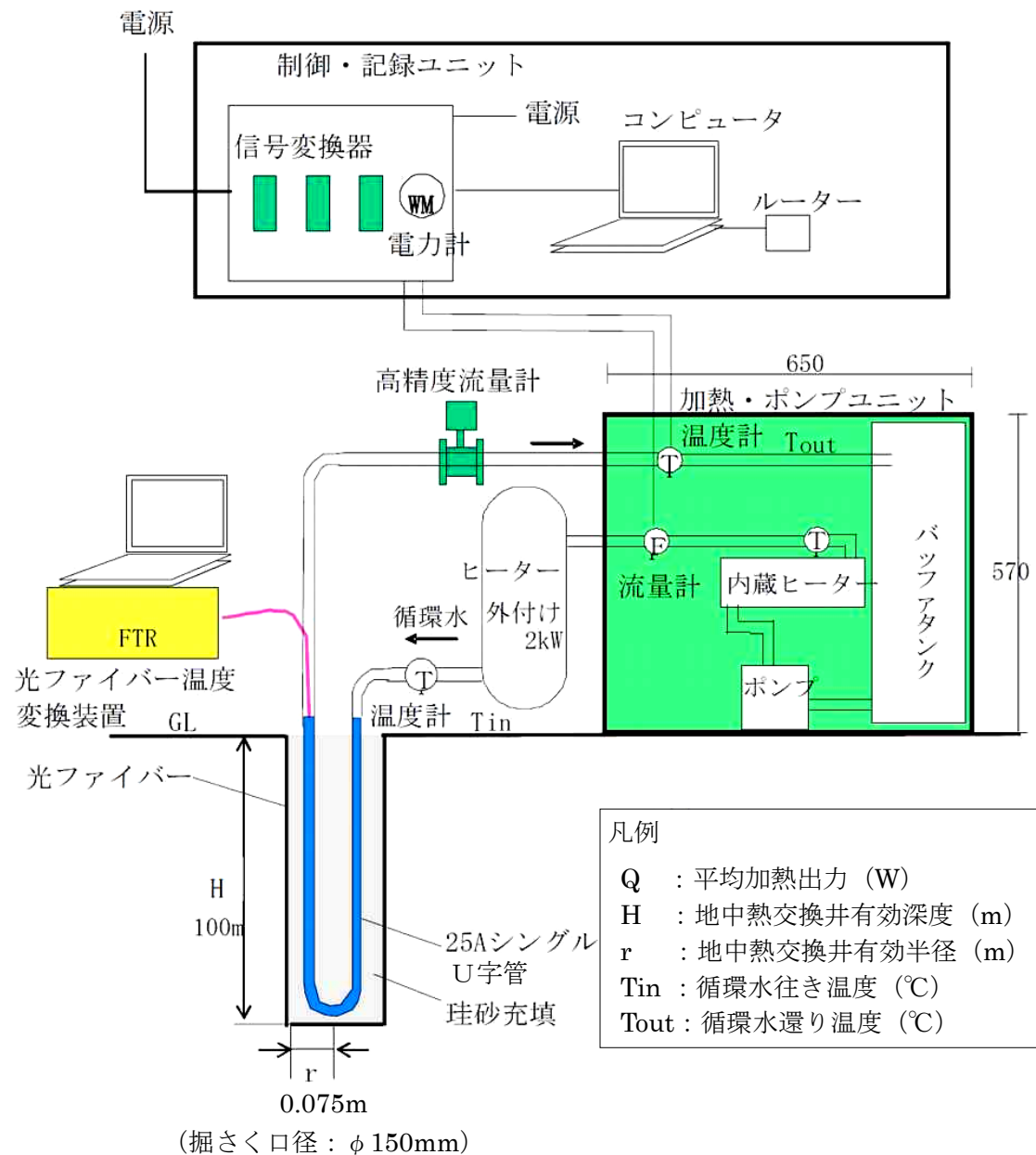
実証対象技術は、地中熱交換井とその中に挿入したU字管、充填砂などからなるが、その地質条件や孔のサイズ、掘削条件などを下図（実証申請者から提出）に示す。

掘さく機械名	ソニックドリル 型	担 当 者	
掘さく口径	φ150 mm	自然水位	36.30 m
熱交換井方式	シングルUチューブ	揚水量	
掘さく深度	100.00 m	揚水ポンプ位置	m
完成深度	100.00 m	水温	17.3 °C
揚水ポンプ型式	型	ポンプ運転方法	圧力式・受水槽・融雪感知

標尺	深度	断面図	地 質 名	色 調	ケーシング断面図	備 考
	6.00		盛土(アスファルト, 砕石, 粘土)	暗灰色		
10			14.0m 30~50L/min 湧水 19.0~20.0m 暗灰色のシルト	暗青灰色		
20	20.00		粘土混じり砂礫	青灰色		
	22.50		砂 礫	灰 色		
30			25.5m 湧水 100L/min 程度	淡青灰色		
	35.00		凝灰岩	茶褐色		
40	40.50		砂 礫 38.0m付近 玉石混じる	青灰色		
50			41.5mで湧水止まる 粘性あり 49.0m~徐々に粘性強まる 軟質	灰 色		
60			55.0~56.5m湧水あり 約 30L/min 黄褐色 60.0m付近湧水あり 約 50L/min 65.5m~灰色やや硬くなる	灰 色		
70			68.5~74.0m湧水あり やや軟らかい 200~300L/min に増える	灰 色		
80			80.0~95.0m やや軟質 石英粒多い	灰 色		
90			凝灰岩	灰 色		
100	100.00		95.0m~やや硬くなる 礫混じり凝灰岩	灰 色		

2.1 サーマルレスポンス試験の試験設備構成

本実証試験におけるサーマルレスポンス試験設備は、下図に示すように高温熱媒をU字管に循環させる加熱ポンプユニット、制御と記録をする制御記録ユニットから構成される。今回は、さらにU字管内の温度を詳しく計るための光ファイバー温度計も任意で併用した。



2.2 実証試験の条件

本実証対象技術でのサーマルレスポンス試験（TRT）の方法は、基本的には実証試験要領の規定に従い実施した。なお、本実証対象技術のある場所は地下水の流速が早いとの情報があり、サーマルレスポンス試験に際して地下水流動が地下の温度に与える影響が大きいのと予想がなされた。そこで、多段階の加熱を計画したが、結果的には通常の加熱で TRT の試験データを得ることができた。また実証試験の範囲外であるが、参考として光ファイバー温度計による温度測定も併用することとした。試験設備の写真を下に示す。



制御・記録ユニットの写真



加熱・ポンプユニットの写真



加熱・ポンプユニットと地中熱交換井の写真



地中熱交換井と光ファイバーの写真

TRT の加熱時間

地中熱交換井坑名	測定日時	イベント	加熱時間 [h]	温度回復時間 [h]	平均加熱出力 [W]	単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]
No.1	9 月 3 日 9 : 40	加熱循環開始	72.0		4,346	43.5
	9 月 6 日 9 : 40	加熱循環停止		95.0		
	9 月 10 日 8 : 40	測定終了				

3. 実証試験結果

3.1 地中熱交換部全体の実証項目(熱的性能)

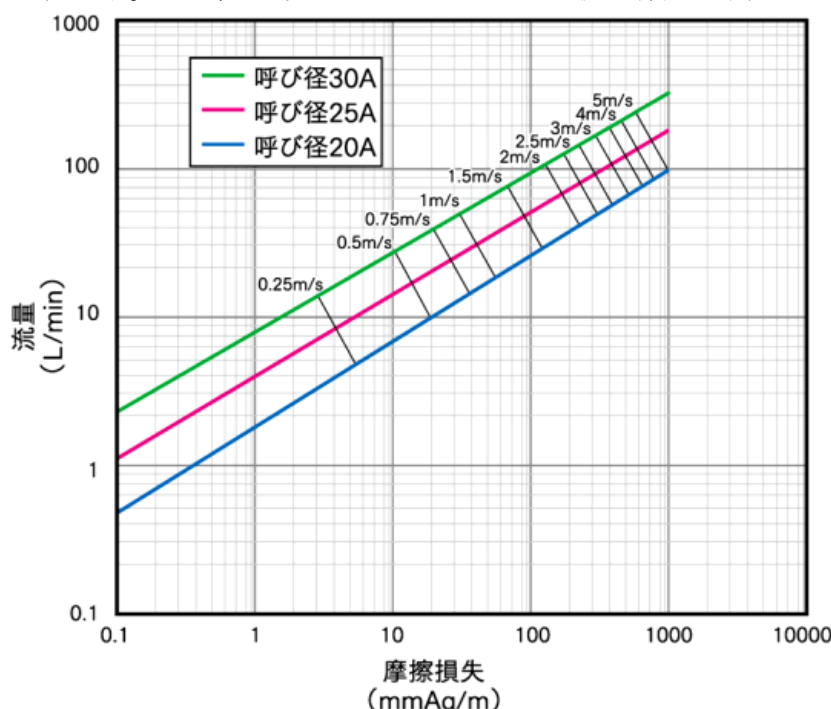
サーマルレスポンス試験結果

実証項目	試験結果	条件・備考
a. 熱交換井の熱抵抗 [K/(W/m)]	0.112	サーマルレスポンス試験から算出
b. 土壌部分の熱伝導率*1 [W/(m・K)]	2.73	サーマルレスポンス試験から算出

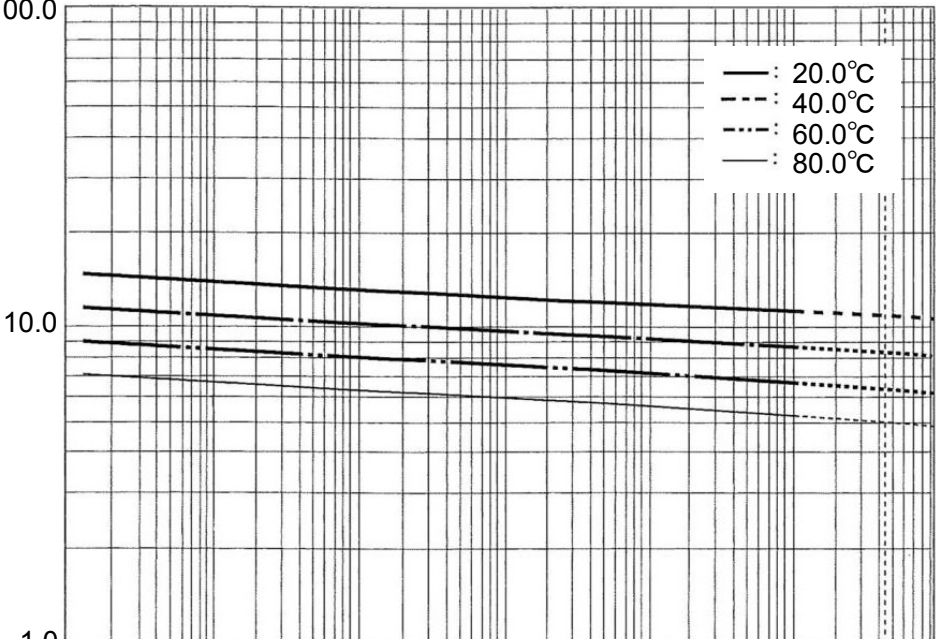
*1：実証項目の「土壌部分の熱伝導率」は、一般的には「有効熱伝導率」と言われている。

3.2 熱媒循環部(U字管)の実証項目 (性能を証明する書類の写しからの転用)

本実証項目は、熱媒循環部 (U字管) の性能を証明する書類を確認することで実証を代用する項目である。各実証項目の実証内容は、熱媒循環部の製造・販売事業者の株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイのカタログ等の関係資料を確認し、引用した。引用した資料は、詳細版付録 50～53 ページ参照。

実証項目	結 果																								
c. 流量範囲	本実証対象技術では呼び径 25A を使用しており、不凍液（エチレングリコール 30%希釈液）を流した場合の適正流量は、下限は 10L/min、上限は 68L/min である。適正流量の上限値及び下限値の考え方については、表 6-2（詳細版本編 38 ページ）参照。また、参考として U-ポリパイの流量線図を下記に示す。  The diagram is a log-log plot of flow rate (L/min) on the y-axis (0.1 to 1000) versus friction loss (mmAq/m) on the x-axis (0.1 to 10000). Three lines represent different pipe diameters: 30A (green), 25A (pink), and 20A (blue). Diagonal lines indicate flow velocities from 0.25m/s to 5m/s.																								
d. 熱伝導性	熱伝導率： 0.38W/(m・K)																								
e. 耐熱性	『U-ポリパイ』の温度別最大使用圧力は下表の通りである。 <table><tr><th>呼び径 25A</th><th colspan="5">連続安全使用温度範囲</th><th colspan="2">年間 1,500 時間以内</th></tr><tr><th>使用温度</th><th>20℃</th><th>25℃</th><th>30℃</th><th>35℃</th><th>40℃</th><th>45℃</th><th>50℃</th></tr><tr><td>最大使用圧力 (MPa)</td><td>1.51</td><td>1.41</td><td>1.32</td><td>1.21</td><td>1.12</td><td>1.01</td><td>0.92</td></tr></table> ※この製品の連続安全使用温度範囲は-20～40℃である。ただし、50℃迄の温度での運転が上記圧力以下で、且つ年間 1,500 時間以内であれば、50℃迄の使用が可能である。	呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内		使用温度	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃	最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92
呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内																			
使用温度	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃																		
最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92																		

下表に記載の内容は、株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプ U・ポリパイの関係資料を確認し、引用した。引用した資料は、詳細版付録 54～58 ページ参照。

実証項目		結 果				
f. 脆化温度		脆化温度：＜－70℃				
g. 耐腐食性 (耐薬品性)	耐薬品性の一例（温度 20℃）					
	酸		アルカリ	ガス		
	塩酸 35%	◎	アンモニア水溶液	◎	亜硫酸ガス	◎
	硫酸 65%	◎	苛性ソーダ	◎	炭酸ガス	◎
	硝酸 25%	◎	水酸化カルシウム	◎	一酸化炭素	◎
	塩類					
	重クロム酸カリウム 10%	◎	過マンガン酸カリウム	◎	硫安	◎
	塩化第二鉄 60%	◎	塩化バリウム	◎		
	過酸化水素 30% 90%	◎	炭酸カリウム	◎		
	備考：1. この表は ISO/TR10358* ¹ に基づいたものである。 2. ◎印は耐薬品性があることを示している。					
h. 寿命	ISO 9080 に規定される、材料の長期耐久性の試験方法により、管が 20℃で 50 年間の使用に耐えうる周方向応力（フープストレス：管の断面にかかる円周方向の応力）が 10MPa 以上である材料である。					
	100.0  10.0 1.0 10⁰10¹10²10³10⁴10⁵10⁶ 第三世代高密度ポリエチレンのクリープ曲線 50 年					

* 1 : Plastics pipes and fittings-Combined chemical-resistance classification table.

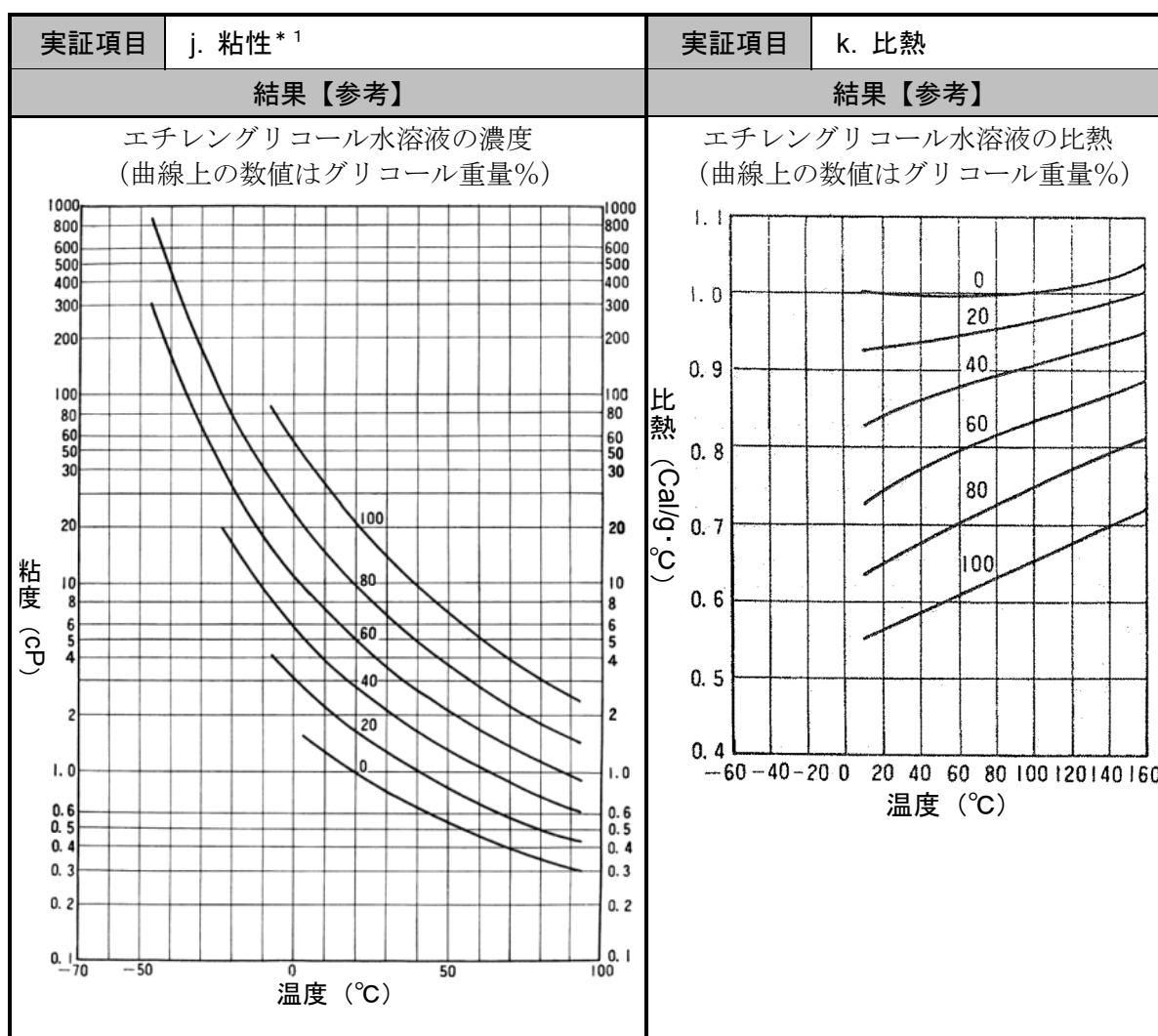
なお、本熱媒循環部の実証項目の実証内容の性能の証明の担保として、その製品の製造事業者の品質管理システムを確認した。熱媒循環部の製造企業である株式会社イノアック住環境は、ISO9001:2008 及び ISO14001:2004 を取得していることを確認した。

3.3 熱媒の実証項目 (性能を証明する書類の写しからの転用)

本実証項目は、熱媒の性能を証明する書類を確認することで実証を代用する項目である。それら実証項目のうち、腐食性、粘性、比熱の実証項目を示す資料がない。そこで、粘性と比熱については、主成分であるエチレングリコールの製造・販売事業者 (丸善石油化学株式会社) 作成の技術資料を確認し、その引用を参考として示す。また、引火性、毒性、生分解性/残留性の実証項目については、製造・販売事業者の古河薬品工業株式会社による製品安全データシートを確認し、引用した。

引用した資料は、詳細版付録 59~60 ページ参照。

実証項目	結 果
i. 腐食性	腐食性に関する資料はない。



また、実証項目の引火性、毒性、生分解性／残留性については、熱媒の製品安全データシートから引用して示す。引用した資料は、詳細版付録 61～62 ページ参照。

実証項目	結果																
l. 引火性	引火点：129℃																
m. 毒性	毒性については、GHS 分類^{*1}で示す。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>GHS 分類の危険有害性</th><th>区分</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>急性毒性^{*2}（経口） 経口：ラット LD₅₀^{*3}：4,000～10,200 mg/kg</td><td>区分 5</td></tr> <tr> <td>皮膚腐食性/刺激性</td><td>区分 3</td></tr> <tr> <td>眼に対する重篤な損傷/眼刺激性</td><td>区分 2B</td></tr> <tr> <td>生殖毒性</td><td>区分 1B</td></tr> <tr> <td>特定標的臓器・全身毒性（単回暴露）</td><td>区分 1</td></tr> <tr> <td>特定標的臓器・全身毒性（反復暴露）</td><td>区分 1</td></tr> <tr> <td>水生毒性（急性）</td><td>区分 3</td></tr> </tbody> </table>	GHS 分類の危険有害性	区分	急性毒性 ^{*2} （経口） 経口：ラット LD ₅₀ ^{*3} ：4,000～10,200 mg/kg	区分 5	皮膚腐食性/刺激性	区分 3	眼に対する重篤な損傷/眼刺激性	区分 2B	生殖毒性	区分 1B	特定標的臓器・全身毒性（単回暴露）	区分 1	特定標的臓器・全身毒性（反復暴露）	区分 1	水生毒性（急性）	区分 3
GHS 分類の危険有害性	区分																
急性毒性 ^{*2} （経口） 経口：ラット LD ₅₀ ^{*3} ：4,000～10,200 mg/kg	区分 5																
皮膚腐食性/刺激性	区分 3																
眼に対する重篤な損傷/眼刺激性	区分 2B																
生殖毒性	区分 1B																
特定標的臓器・全身毒性（単回暴露）	区分 1																
特定標的臓器・全身毒性（反復暴露）	区分 1																
水生毒性（急性）	区分 3																
n. 生分解性／残留性	水生環境では、急速分解性があり、かつ生物蓄積性が低いと推定される。（製品安全データシートには、環境影響情報の水生環境慢性有害性として記載。）																

*1：GHS 分類の詳細及び区分についての説明は、環境省ウェブサイト「化学品の分類および表示に関する世界調和システムについて」（<http://www.env.go.jp/chemi/ghs/pdf/all.pdf>）参照。

*2：急性毒性（経皮）については、ラット LD₅₀：10,600 mg/kg で、GHS 分類は区分外である。

*3：半数の動物が死ぬ体重 1kg 当たりの経口摂取量。

なお、本熱媒の実証項目の実証内容の性能の証明の担保として、その製品の製造事業者の品質管理システムを確認した。熱媒の製造・販売事業者である古河薬品工業株式会社は、ISO9001:2008 を取得していることを確認した。た、熱媒の主成分であるエチレングリコールの製造事業者（丸善石油化学株式会社）については、本社（機能化学品本部）、研究所、四日市工場及び千葉工場が、ISO9001:2008 を取得し、四日市工場及び千葉工場が、ISO14001:2004 を取得していることを確認した。

4. 参考情報

本ページに示された情報は、全て実証申請者が自らの責任において申請したものであり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

○実証対象技術の概要（参考情報）

項 目		実証申請者 記入欄
製品名		株式会社福島地下開発本社事務所における地中熱交換井
製造（販売）企業名		株式会社 福島地下開発
連絡先	TEL/FAX	TEL024-943-2298 / FAX024-943-3453
	Web アドレス	http://www.ftk-44.jp
	E-mail	akinori@ftk-44.jp
設置条件		ある程度の地下水が確保できかつ地下水の流向・流速が活発な地形および地質賦存状況下にあるとより効率がよくなります。例（河川付近の河床および岩盤内に発達した亀裂を有し地下水をある程度確保できるボーリング孔であること）また、地下水がなくても地中熱の利用は可能です。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		・メンテナンス：ヒートポンプ・ファンコイルユニット点検および配管の漏水・破損点検、不凍液の補充等。 ・耐候性・製品寿命等：現在、追跡調査中だが、概ね稼動状況に、環境要因も含めて無理が生じない運転使用状況なら、50 年程度は持続して稼動が可能と思われる。（定期的な点検必須）
施工性		熱交換器設置の為のボーリング工事を実施する為、ボーリングマシンが設置できる作業スペースが必要不可欠。
技術上の特徴		当社は、地中熱の利用に適した最新鋭の掘削機（ソニックドリル）、特殊振動工法から極硬岩用掘削機（ダウンザホールハンマー工法）を多数所有しており、熱交換井掘削を実施する箇所の地質状況に応じた機械の選定・掘削・施工管理・コストパフォーマンス等の熱交換井を 1 社でまかなうことができます。
コスト概算		掘削のコストは、熱交換器（シングル U チューブ・WUチューブ等）に応じて掘削の口径・仕上げ深度・施工条件・施工本数・地質条件・掘削工法等と幅広い諸事情がありますが、今回の実証試験の地中熱交換井のコストは下記のとおりとなります。 100m の地中熱交換井一本の掘削費 概ね 1.0m あたり @12,000 円×深度（L）100m＝1,200,000 円 U字管設置費 1 孔あたり 115,000 円（材料費別途） よってセットにして約 1,315,000 円程度のコストとなります。 （仮設費・旅費滞在費別途）

○その他実証申請者からの情報（参考情報）

当社は地中熱交換井の掘削においては、大手ゼネコンおよび地元建設会社・同業者の下請工事等で受注していますが、稼動エリアは主に北は青森県、南は岐阜県・静岡県くらいまで実績があります。