

4. 調査結果に基づく地中熱利用について

長野市役所の周辺には、豊富な地下水が賦存するという状況をふまえ、この地下水を熱源とした地中熱利用についての可能性を探る目的で、本調査を実施した。

ここでは、今回の揚水試験から得られた現状における既設井戸性能（揚水量・水温等）に基づく地中熱利用の検討とそれらに関する課題の抽出についてまとめる。

4.1 現状（②号井揚水）における地中熱利用

②号井の揚水試験の結果、井戸設置当初の揚水試験では確認されていなかった限界揚水量は、現状で 1,200 ℓ/min 程度であることが判明した。周辺環境の変化（井戸数増等も含めた地下水状況）もふまえ様々な要因が考えられるが、井戸自体の性能が低下していることは事実である。

1,200 ℓ/min の限界揚水量に対して、恒常的に揚水を行うことを想定し、7割程度の揚水量を適正揚水量であるとして、連続揚水試験を実施している。適正揚水量としては、850 ℓ/min 程度が見込めるものと考えられるため、現状の②号井を利用することを想定した場合、約 1,200 m³/日の揚水量を得られることとなる。この値は、既存資料に示される目安（1,000～1,500 m³/日）に一致した値である。

(1) 利用可能エネルギー量

現状における②号井において、利用可能なエネルギー量を適正揚水量に基づき試算する。なお、試算は、単位時間におけるエネルギー量を基準としている。また、本調査で確認した地下水温度は概ね 16℃であったため、△10℃と△5℃の場合について検討した。

②号井の適正揚水量を 850 ℓ/min、水の密度 1.0g/cm³、水の比熱 1.0cal/g/℃とすると、熱量は下式で求めることが出来る。

$$\text{熱量} = \text{水量} \times \text{密度} \times \text{比熱} \times \text{温度差}$$

〔△10℃の場合〕

$$850 \times 60 \times 1.0 \times 1.0 \times \triangle 10 = 510,000 \text{ (kcal/h)}$$

〔△5℃の場合〕

$$850 \times 60 \times 1.0 \times 1.0 \times \triangle 5 = 255,000 \text{ (kcal/h)}$$

熱量と仕事量と電力量については、表 2-4-1 のような関係が成り立っている。

表 2-4-1 熱量・仕事量・電力量の関係

①	質量 1 kg の物体に 1 m/s ² の加速度を与える力を 1 ニュートン [N] $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 \approx 0.1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \approx 0.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 1 kg 重 \approx 約 9.8 N 地球の重力加速度は約 9.8 m/s ² (\approx 10 m/s ²), したがって、質量 100 g の物体をぶら下げている力が 1 N (\approx 0.1 kg \times 10 m/s ²)
②	1 N の力で物体を距離 1 m 移動させる仕事, すなわちニュートン・メートル [N \cdot m] \rightarrow 1 ジュール [J] $1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$ 質量 100 g の物体を重力に逆らって 1 m 上方に持ち上げる仕事が 1 J と想起
③	単位時間 1 秒 [s] 当りの仕事, すなわち 1 J/s を仕事率ワット [W] 1 ボルト [V] の電位差を有する 2 点間を 1 アンペア [A] の電流が流れる時の仕事率 \rightarrow ワット [W] $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$ $1 \text{ J/s} \times 3\,600 \text{ s} \times 1\,000 = 1\,000 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ $1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$, $1 \text{ kcal} = 1/860 \text{ kWh}$ $4.18 \text{ kJ} = (4.18 \times 1\,000) \text{ J} = (4.18 \times 1\,000) \text{ N} \cdot \text{m}$ $= (4.18 \times 1\,000) \cdot (1 \text{ kg 重} / \text{約} 9.8) \cdot \text{m}$ $= 427 \text{ kg 重} \cdot \text{m} = 1 \text{ kcal (熱の仕事等量)}$ $A = 1/427 \text{ [kcal/kg 重} \cdot \text{m]} \text{ (仕事の熱当量)}$

上表に基づき、単位を換算する (1 kW = 860 kcal/h)。

[Δ 10°C の場合]

$$510,000 \div 860 = 593 \text{ (kW)}$$

[Δ 5°C の場合]

$$255,000 \div 860 = 296 \text{ (kW)}$$

したがって、②号井から単位時間で揚水可能な水量で、 Δ 10°C の場合は約 600kW、 Δ 5°C の場合は約 300kW の熱量を負担できることとなる。

(2) 地中熱利用の検討

利用可能な、熱量が把握できたため、任意のヒートポンプ（規格）を選定し、②号井揚水による地中熱利用についての検討を行う。


ヒートポンプについては、ビル（市役所庁舎）での使用および地下水の熱を利用することを考慮して、ゼネラルヒートポンプ社製 ZP-WS840-T（表 2-4-2）を選定した。

ちなみに、ヒートポンプによる空調では、一般に 1.0m² 当たり 100W を必要とするものとされ、今回選定した 94.5kW の能力を有する ZP-WS840-T（30 馬力）の場合は、1 台でおよそ 950m² の床面積をカバーすることが可能である。

表 2-4-2 ヒートポンプ仕様一覧表

平成22年4月現在

●水冷式ビル用マルチ室外ユニット外観および仕様表				
型名 (相当馬力)		224型(8馬力)	280型(10馬力)	335型(12馬力)
型式		ZP-WS224-T	ZP-WS280-T	ZP-WS335-T
電源仕様		三相200V 50/60Hz		
能力	冷房 kW	22.4	28.0	33.5
	暖房 kW	25.0	31.5	37.5
消費電力	冷房 kW	3.43	4.54	5.58
	暖房 kW	5.32	6.85	8.87
外形寸法 W×D×H mm		W890×D890×H1,660		
圧縮機出力 kW		4.1×1	(3.0+3.75)×1	(4.5+4.5)×1
配管サイズ	ガス mm	φ19.05	φ22.22	φ25.4
	液 mm	φ9.52	φ9.52	φ12.7
室内ユニット 接続可能台数		最大13台	最大16台	最大19台
冷媒		R410A 12kg		
型名 (相当馬力)		448型(16馬力)	560型(20馬力)	670型(24馬力)
型式		ZP-WS448-T	ZP-WS560-T	ZP-WS670-T
電源仕様		三相200V 50/60Hz		
能力	冷房 kW	44.8	56.0	67.0
	暖房 kW	50.0	63.0	75.0
消費電力	冷房 kW	6.86	9.07	11.2
	暖房 kW	10.6	13.7	17.7
外形寸法 W×D×H mm		W1,880×D890×H1,660		
圧縮機出力 kW		4.1×2	(3.0+3.75)×2	(4.5+4.5)×2
配管サイズ	ガス mm	φ28.58	φ28.58	φ28.58
	液 mm	φ12.7	φ15.88	φ15.88
室内ユニット 接続可能台数		最大26台	最大33台	最大39台
冷媒		R410A 12×2kg		
型名 (相当馬力)		840型(30馬力)	1005型(36馬力)	
型式		ZP-WS840-T	ZP-WS1005-T	
電源仕様		三相200V 50/60Hz		
能力	冷房 kW	84.0	100.5	
	暖房 kW	94.5	112.5	
消費電力	冷房 kW	13.6	16.7	
	暖房 kW	20.6	26.6	
外形寸法 W×D×H mm		W2,870×D890×H1,660		
圧縮機出力 kW		(3.0+3.75)×3	(4.5+4.5)×3	
配管サイズ	ガス mm	φ31.75	φ38.1	
	液 mm	φ19.05	φ19.05	
室内ユニット 接続可能台数		最大40台	最大40台	
冷媒		R410A 2×3kg		



ZP-WS224(280,335)-T

1. 能力、消費電力は下記の条件における値です。
 冷房：室内空気吸込温度27°CDB・19°CWB、水入口温度15°C
 暖房：室内空気吸込温度20°CDB、水入口温度10°C

2. 塗装色はシルキーシェード(1Y8.5/0.5)。
 3. キャビネット寸法に外出し配管分は含みません。
 ※仕様は予告なしに変更することがあります。ご了承下さい。

ZO ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

[$\Delta 10^{\circ}\text{C}$ の場合]

ZP-WS840-T の能力 (加温量) は、暖房で 94.5kW、冷房で 84.0kW である。また、その時の消費電力は、前者で 20.6kW、後者で 13.6kW である。この時、ヒートポンプの能力には、下式のような関係が成り立っている。

$$\text{加温能力 (暖房時)} = \text{消費電力} + \text{採熱量}$$

$$\text{冷却能力 (冷房時)} = \text{放熱量} - \text{消費電力}$$

したがって、ZP-WS840-T の採熱量 (X) および放熱量 (Y) を求めると。

◎暖房時

$$94.5 = 20.6 + X$$

$$X = 73.9 \text{ (kW)}$$

◎冷房時

$$84.0 = Y - 13.6$$

$$Y = 97.6 \text{ (kW)}$$

暖房・冷房時の採熱量が求められたことにより、②号井の揚水により $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ の温度差で利用可能な電力量 (593kW) から、設置可能なヒートポンプ (ZP-WS840-T : 30馬力) の台数が求められる。

$$593 \div 73.9 = 8.02 \Rightarrow \underline{8 \text{ 台 (暖房時)}}$$

$$593 \div 97.6 = 6.08 \Rightarrow \underline{6 \text{ 台 (冷房時)}}$$

したがって、ZP-XS840-T を選定した場合、6 台の設置が可能であるということとなるため、180馬力が利用可能となる。

なお、COP は、暖房時 $94.5 / 20.6 = 4.59$ であり、冷房時 $84.0 / 13.6 = 6.18$ となる。

このときのシステム概要図を図 2-4-1 として示した。

図に示されるとおり、②号井から揚水された毎分 850 l の地下水は、 16°C で熱交換器に取り込まれる。暖房時は $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ が採熱されることにより、 6°C の水が排水されることとなる。一方、冷房時は $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ が放出されることにより 26°C の水が排水されることになる。

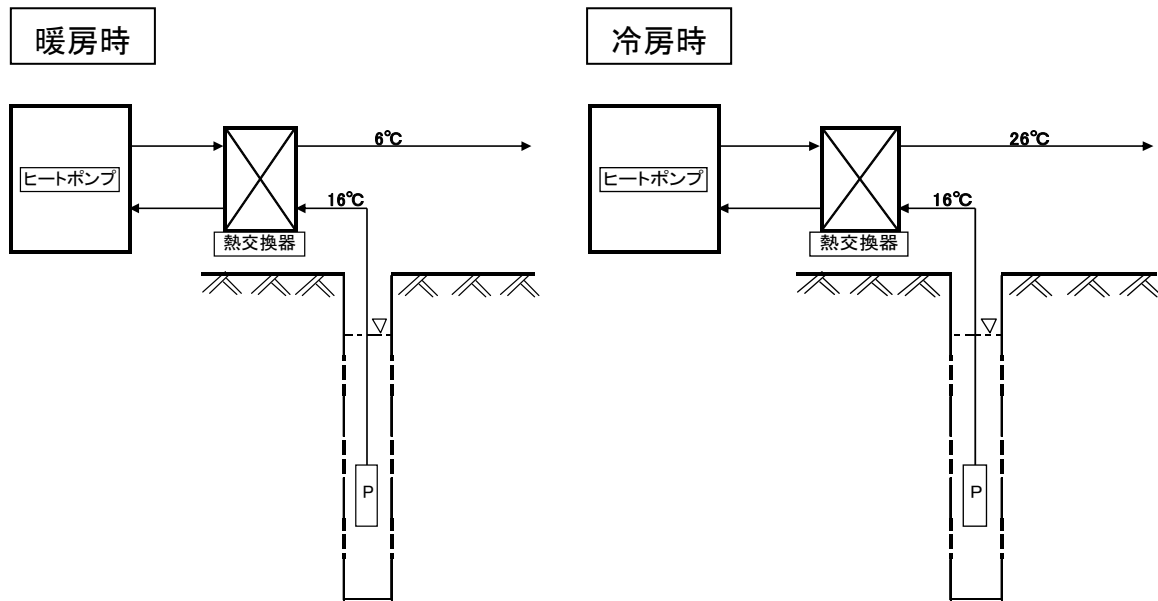


図 2-4-1 $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ におけるシステム概要図

[$\Delta 5^{\circ}\text{C}$ の場合]

$\Delta 10^{\circ}\text{C}$ の時と同様に試算を行う。

②号井の揚水により $\Delta 5^{\circ}\text{C}$ の温度差で利用可能な電力量 (296kW) から、設置可能なヒートポンプ (ZP-WS840-T : 30 馬力) の台数が求められる。

$$296 \div 73.9 = 4.00 \Rightarrow \underline{4 \text{ 台 (暖房時)}}$$

$$296 \div 97.6 = 3.04 \Rightarrow \underline{3 \text{ 台 (冷房時)}}$$

したがって、ZP-WS840-T を選定した場合、3 台の設置が可能であるということとなるため、90 馬力が利用可能となる。

なお、COP は、 $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ の時と同様である。

このときのシステム概要図を図 2-4-2 として示した。

図に示されるとおり、②号井から揚水された毎分 850 l の地下水は、 16°C で熱交換器に取り込まれる。暖房時は $\Delta 5^{\circ}\text{C}$ が採熱されることにより、 11°C の水が排水されることとなる。一方、冷房時は $\Delta 5^{\circ}\text{C}$ が放出されることにより 21°C の水が排水されることになる。

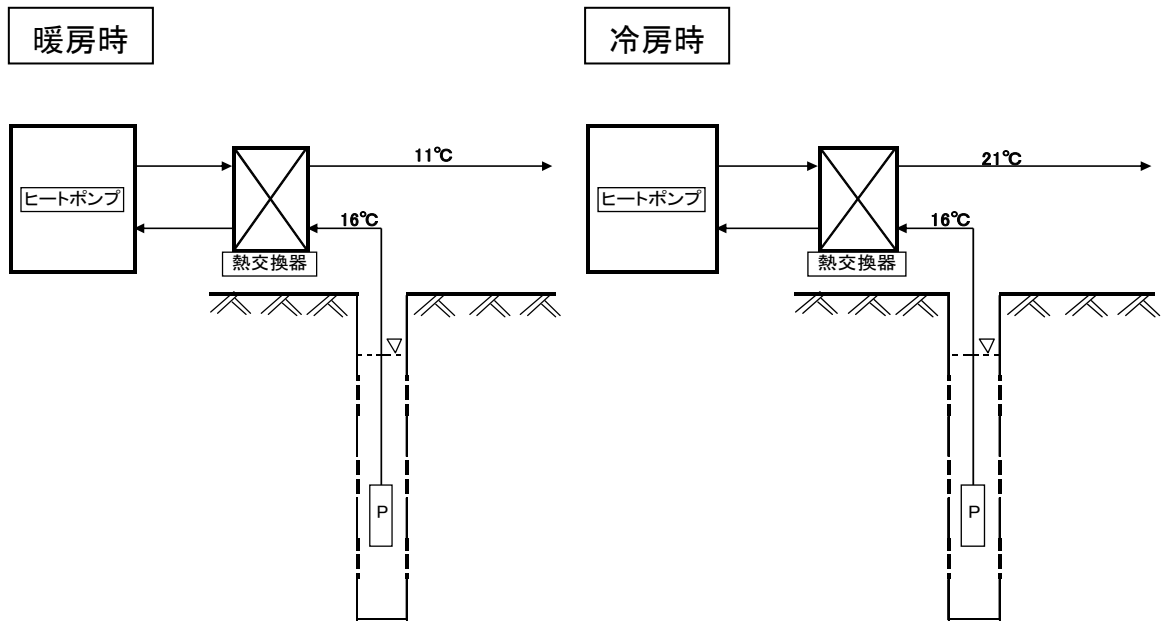


図 2-4-2 15°Cにおけるシステム概要図

(3) 期待される効果について

これまで検討してきた結果に基づき、先に選定したヒートポンプ (ZP-WS840-T) を単位時間動かした場合に発生する CO₂ 排出量や、地中熱ヒートポンプシステムから発生した熱量と等しい熱量をガス吸収式冷温水発生器または、灯油ボイラで発生させるものとした場合の比較を、従量単価もふまえ表 2-4-3 をもとに行った。なお、ガス吸収式冷温水発生器および灯油ボイラのボイラ効率を 0.85 とし、比較結果は、表 2-4-4 に示した。

ちなみに、ΔT=10℃とした場合、今回の試算では、30 馬力の能力を有する ZP-WS840-T ヒートポンプ 6 台が設置可能ということであり、床面積にして概ね 5,700 m²をカバーすることが可能である。

表 2-4-3 換算係数一覧

	一次エネルギー消費量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	従量単価 ^{※1}
電気 (ヒートポンプ用) (1 kWh 当り)	3.59	0.56	11.65 円/kWh
都市ガス (13A) (1 m ³ 当り)	41.1	2.1	83.5 円/m ³
灯油 (1 ℓ 当り)	36.7	2.5	84.0 円/ℓ

※1 従量単価は、長野市役所の契約単価である。

表 2-4-4 燃料および CO₂ 排出量の比較一覧

	熱交換できる仕事等量 (MJ)	1 時間で必要な燃料量	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	使用料金 ^{※2} (円)
電気 (ヒートポンプ 6 台)	2,035.53	123.6 (kWh)	69.2	1,439.94
都市ガス (13A)		49.5 (m ³)	103.95	4,133.25
灯油		55.45 (ℓ)	138.63	4,657.80

※2 長野市役所の契約単価をもとに算出。

ZP-WS840-T ヒートポンプ 6 台を定格で運転させた場合、仕事等量 (MJ) としては 2,035.53 MJ を単位時間で発生することが可能である。この時にヒートポンプを動かす電力は 123.6 kW を必要として、これと同等の仕事等量をさせようとした場合、都市ガスならば 49.5 m³、灯油であれば 55.45 ℓが必要となる。言い換えれば、都市ガス 49.5 m³もしくは、灯油 55.45 ℓの仕事等量を地中熱利用に切替え可能であるということである。また、CO₂ 排出量についても、ヒートポンプを利用することにより、ガス利用時の排出量の 66%程度、灯油利用時の排出量 50%程度に抑えることが出来る。さらにコスト的にも、都市ガス利用時の 35%程度、灯油利用時の 31%程度に抑えることができ、ヒートポンプの方が優っている。

4.2 今後の課題の抽出

今回の調査では、既設井戸の適正揚水量を再設定することにより、地中熱利用の可能性について検討している。ただし、これはあくまでも揚水量から試算しただけの目安でしかなく、今後具体的な設計をしていくに際しては、様々な項目について検討を重ねていく必要がある。以下に、今後の課題を抽出する。

- ・本調査は、11月上旬に実施しているが、②号井周辺の地下水状況が年間を通じて安定しているとはいえないため、再設定した適正揚水量で確実に地下水供給が可能になるかという点において不安が残る。また、今回の調査では、②号井設置当初との比較において明らかな井戸能力の低下が確認されている。経年劣化等により今後も能力の低下が進むことも懸念されることから、実際に揚水による地中熱利用を進める場合には、新規に揚水井戸を掘削することも検討することが適当である。
- ・水質検査の結果、基準を超過する有害物質等は認められていないことから、採熱後の排水の成分的には大きな問題はないものと思われるが、排水量という点においてはきわめて大量の地下水を排水することとなるため、十分な検討が必要である。場合によっては、地下への還元も検討の課題として挙げられるが、その手法等についても十分な検討が必要である。
- ・揚水に際しては、周辺環境に与える影響が少なからずあるものとみられるため、周辺地域一帯を対象とした地下水シミュレーションなどをする必要があると同時に、井戸調査などを含めた近隣地域の基礎資料を収集しておく必要がある。