

# 下水熱を活かした高品質わさびの循環栽培技術の開発

資源エネルギー循環研究室 17323185 飯塚 佳佑  
指導教員 姫野 修司 小松 俊哉

## 1. 研究背景

我々が日々、排水している下水は熱エネルギーを有しており下水処理場では安定かつ豊富に下水が流入することから近年、地域の熱供給地点として期待されている。しかし、下水熱の利用事例は都市部の空調利用が主であり地方では熱需要家が少ないことから多くが未利用となっている。そこで本研究では、地方の一次産業である農業の熱需要に着目し、下水熱を活かした植物栽培を実施した。栽培対象は冷涼な渓流水や湧水が必要なことから冷熱需要が高く産地が偏在するわさびとした。

## 2. 目的

実験フィールドとして新潟市西区の下水処理場に実験設備を設け下水熱回収からわさび栽培の環境構築を行った。本研究は下水熱回収実験として回収熱量における原単位の取得、その他の熱源や下水熱利用との比較による評価を行い、わさび栽培では省エネルギー栽培技術の確立、約2年間の生育を経たわさびの収穫量の把握、青果物としての品質評価、研究で得られた実測値による事業採算性の評価を目的とした。

## 3. 実験方法

図1に実験設備の概要を示した。下水処理水が集水する塩素混和池にコイル式熱交換器を25 [kW]を2台浸漬させ下水熱回収した。その後、回収した下水冷温熱より冷房能力62 [kW]、暖房能力65 [kW]のヒートポンプ（以下、HP）を用いて夏期は7 [°C]、冬期45 [°C]の冷温水を製造し、容積1.4 [m<sup>3</sup>]の冷温水タンクに貯留した。表1にわさび栽培の概要を示した。本研究のわさび栽培は2019年3月より2品種のわさびとして「正緑」222苗、「真妻」

318苗の計540苗を定植した。栽培水は塩素除去した水道水とヒートポンプより製造した冷温水をプレート式熱交換器50 [kW]に流入させ、年間を通して12~14 [°C]に維持し、1苗あたり0.15 [L/min]で供給した。わさびの栽培水は全量約8,600 [L]を循環させ供給後の栽培水は再利用することで栽培水を捨てない循環栽培とした。

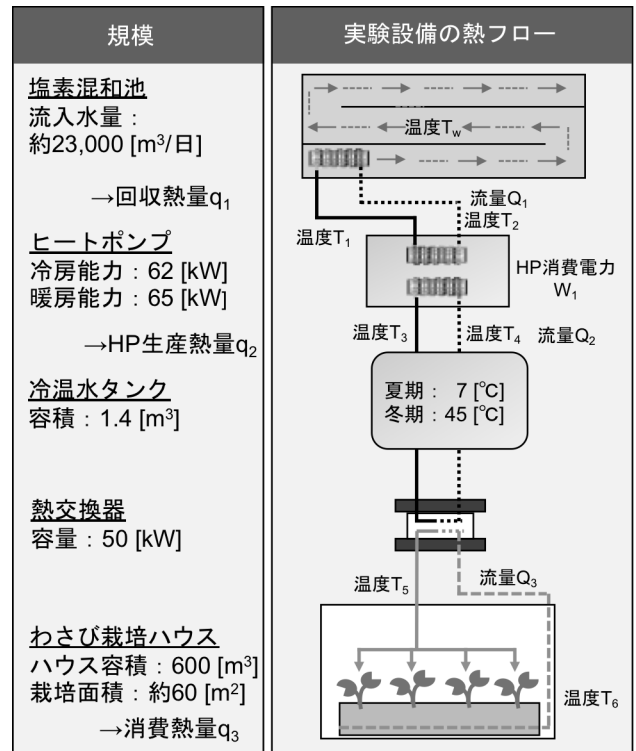


図1 実験設備の概要と熱フロー

表1 わさび栽培の概要

項目		値
栽培数 [苗]	正緑	222
	真妻	318
栽培面積 [m <sup>2</sup> ]		60
栽培水量 [L]		8,600
供給水量 [L/min・苗]		0.15
栽培水温度 [°C]		12~14
栽培水DO [mg/L]		10程度
栽培方法		循環利用
換水頻度 [回/月]		1 (全量)

## 4. 実験結果

### 4.1. 下水放流水からの熱回収実験

図 1 に年間における下水からの回収熱量と HP 生産熱量の変動を示した。回収熱量、HP 生産熱量は式 1、式 2 よりそれぞれ算出した。冷熱における回収熱量は最大 6.5 [GJ/日]、HP 生産熱量は 4.1 [GJ/日]となり、温熱は最大 4.3 [GJ/日]を回収し、HP で 6.3 [GJ/日]を回収した。したがって、冷熱では回収した熱量の 63%、温熱で 146%の熱量を生産した。これは HP やそれに付帯する機械設備の電気エネルギーが熱エネルギーとして加わったことが要因である。

続いて、HP の熱生産効率を図るため、成績係数(Coefficient Of Performance : 以下、COP)を HP 本体の消費電力に対する HP 生産熱量の比である式 3 より算出した。図 2 に年間における外気温度、放流水温度、COP の変動を示した。冷熱 COP の平均値は 3.2、冬期では 4.6 となり、ヒートポンプ稼働に必要な電力以上のエネルギーを生産した。その他下水を熱源とした熱回収事例<sup>1)</sup>では、冷熱 COP は 3.0、温熱 COP は 4.4 と報告され、本研究では、冷熱、温熱ともに同様な結果が得られた。

$$q_1 = Q_1 C_w (T_1 - T_2) \quad \text{式 1}$$

$$q_2 = Q_2 C_w (T_3 - T_4) \quad \text{式 2}$$

$$\eta = \frac{q_2}{W_1} \quad \text{式 3}$$

### 4.2. その他下水熱利用事例との比較

ここでは本研究と同様に処理後の放流水から採熱し社内ビルへの空調利用における実証事例<sup>2)</sup>と比較した。本実証の採熱は熱源水を熱交換器へ引き込むことで行っている。また、その際の流量は 6 万 [m<sup>3</sup>/日]、夏期の熱源水温度は入口 28 [°C]、出口が 33 [°C]になるように設計されている。一方、冬期は、入口温度 16 [°C]、出口温度 11 [°C]である。表 2 に本事例の回収熱量をそれぞれ示した。流量、温度差から算出した結果、における 1 分あたり積算回収熱量は 870

[MJ/min]となった。1 日積算で換算すると 1253 [GJ/日]となった。また、COP は夏期で 1.9、冬期で 3.3 と報告されている。前述したように本研究における冷熱回収熱量 6.5 [GJ/日]であり、COP はそれぞれ、3.2、4.6 となった。したがって、熱生産効率では本事例より同等以上の結果が得られたと評価できる。しかし、水量の差を考慮しても回収熱量に大きな違いが確認された。これは採熱方法の違いによる影響だといえる。本研究は熱源水に浸漬させることで回収するため、片側の流路しか設計ができない。対して本事例は熱源水を引き込むことから 2 流路の設計が可能となる。熱源水温度は季節変動に若干の差があるため、時期に合った望ましい運転条件での採熱が可能となる。

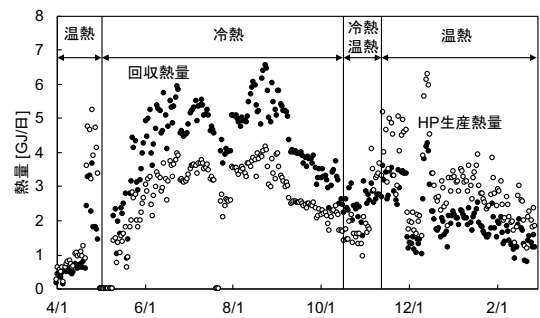


図 2 回収熱量と HP 生産熱量の変動 (2020 年度)

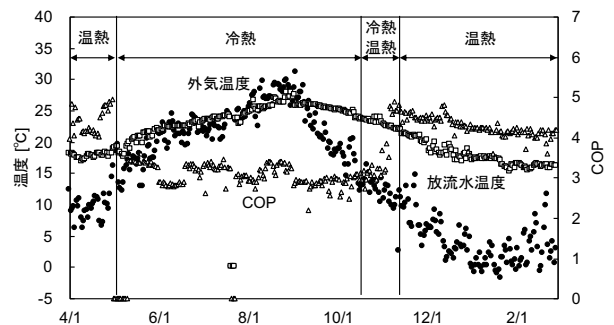


図 3 外気温度・放流水温度・COP の変動 (2020 年度)

表 2 処理水利用事例の熱回収結果の諸元

項目	値	算出方法
① 熱源水引き込み流量 [L/min]	41.7	-
② 熱源水入口温度 [°C]	28	-
③ 熱源水出口温度 [°C]	33	-
④ 温度差 [K]	5	③-②
⑤ 回収熱量 [MJ/min]	870	①×④×4.18÷1000

### 4.3. 地中熱による熱回収特性との比較と評価

地下水は熱源が地下に存在することから採熱時の動力ポンプの規模が大きくなることが予想され、設備コストの増大が懸念される。一方、下水は温度が 20~27 [°C]と地下水より冷熱回収量が少なくなるが、熱源が地上にあることから動力ポンプの規模は比較的抑えることが可能となる。本節では、熱源から採熱する動力を含めた設備全体の消費電力と HP 生産熱量の比で算出される指標のシステム COP (以下、SCOP) を比較した。それぞれの熱源における SCOP を評価するため、下水は本研究の実測値、地下水は本研究と同様な浸漬型熱交換器による採熱、7[°C]の冷水を製造する HP 運転条件を採用している事例<sup>3)</sup>を用いた。

表 2 に各熱源による SCOP の算出諸元を示した。地中熱の条件として、地中(揚程) 50[m]、循環液流量 337 [L/min]であることから採熱に要する循環ポンプ動力を算出<sup>4)</sup>すると 5.3 [kW]となった。また、SCOP は下水熱で 2.6、地中熱は 5.2 となり、地中熱利用の熱生産効率が良い。

はじめに、下水熱の配管長と地中熱における揚程別で SCOP の変動を検証した。図 5 に下水熱源から HP までの管長と地中熱源の揚程における SCOP の変動を示した。結果、下水熱利用における配管長 1000 [m]以下、地中熱利用の揚程 250 [m]以上の条件で下水熱利用の SCOP が高くなった。

続いて、熱源水温度に若干の変動がある下水温度と地中熱利用の揚程における関係性の明確化を目的に SCOP の変動を検証した。下水熱利用の推算条件は配管長を 100 [m]一定とし、下水温度を可変させた。対して、地中熱利用は地下水温度を 13 [°C]で一定とし、揚程を可変させた。本研究では熱源水温度(放流水温度)と COP の散布図から式 7 を得た。ここで  $\eta$  を HP の成績係数を指す COP,  $T_w$  [°C]を熱源水温度とする。

$$\eta = -0.11 \times T_w + 5.8 \quad \text{式 7}$$

図 6 に下水温度と揚程(地中熱利用)を可変させた SCOP の変動を示した。これにより下水熱利用の熱源水温度、地中熱利用の揚程との SCOP が等しくなる各条件が明らかとなった。冷熱回収時の下水温度は 20~27 [°C]、地中熱利用は 50~100 [m]の掘削事例が多いことを考慮すると下水熱の SCOP は 2.5~3.0、地中熱は 4.5~5.0 程度と考えられることから熱源からの採熱量が多い地中熱利用の熱生産効率が良くなるケースが多い。しかし、各熱利用の効率は熱源水量や温度の持続性が重要である。地下水は地域による揚水規制、掘削深度や井戸面積の増大から水量を確保しにくく、採熱後の地下水温度変化から生じる循環液温度との均一化がデメリットである。一方、下水は安定に流入し熱源として尽きることがなく、豊富であることから安定性のある採熱は下水熱利用が優勢と評価できる。

表 2 熱源による SCOP の算出諸元

		本研究 (本稿4.1より)	地下水 <sup>3)</sup>	算出方法
①	冷熱生産量 [kWh/日]	1161	4848	-
②	循環ポンプ消費電力 [kWh]	98	127	-
③	COP	3.4	6.0	-
④	HP消費電力 [kWh/日]	341	808.0	①/③
⑤	総消費電力 [kWh/日]	439	935	②+④
⑥	SCOP	2.6	5.2	①/⑤

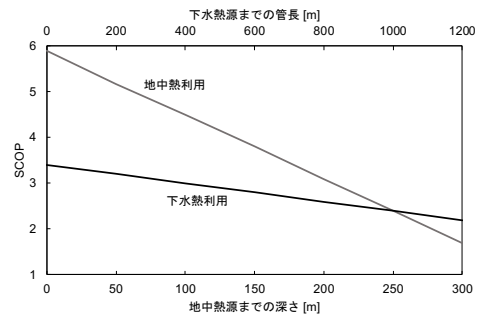


図 5 下水管長・地中熱源深さによる SCOP

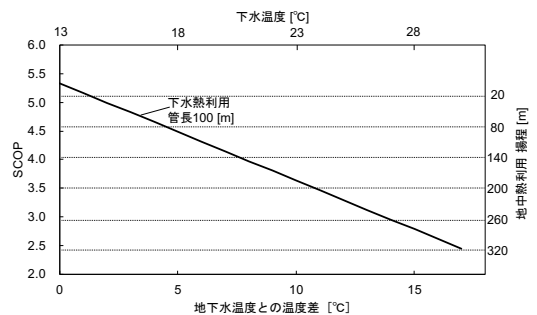


図 6 揚程と下水温度を可変させた SCOP

#### 4.4. 回収熱量における原単位の算出

本節では、処理水量による下水冷温熱回収量を推算した。推算手法として西川浄化センターの処理水量である23,000 [m<sup>3</sup>/日]を想定して行った。図7に実験設備の塩素混和池形状と浸漬型熱交換器を無駄なく設置した概略図を示した。最終列は放流前のための付帯設備や流路形状が複雑であることから設置しないすると熱交換器は合計81個の設置が可能となり、各熱交換器を通過した回収熱量は式4より算出した。ここでq [kW]を回収熱量、U [kW/m<sup>2</sup>・K]を総括伝熱係数、A [m<sup>2</sup>]を熱交換面積、ΔT<sub>m</sub>[K]を対数平均温度差とした。また、対数平均温度差は、式5より算出した。ここでT<sub>wi</sub> [K]を初期放流水温度、T<sub>inlet</sub> [K]を冷媒入口温度、T<sub>outlet</sub>を冷媒出口温度とした。2つ目の熱交換器以降は放流水温度が変化することを考慮すると式6より算出した。ここでΔT [K]を放流水温度の変化量とし、C<sub>p</sub> [kJ/kg・K]を水の比熱、Q<sub>w</sub> [kg/s]を放流水の流量とする。

$$q = UA\Delta T_m \quad \text{式4}$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{wi} - T_{inlet}) - (T_{wi} - T_{outlet})}{\ln\left(\frac{T_{wi} - T_{inlet}}{T_{wi} - T_{outlet}}\right)} \quad \text{式5}$$

$$\Delta T = \frac{q}{C_p Q_w} \quad \text{式6}$$

処理水量における回収熱量の推算は放流水の流量266 [kg/s]、熱交換面積を20 [m<sup>2</sup>/個]、総括伝熱係数は0.50 [kW/m<sup>2</sup>・K]とし、放流水温度、冷媒温度は本研究の実測値を用いた。図8に年間における冷温熱回収量の推算値と放流水温度、対数平均温度差を示した。冷熱回収量は、1日平均放流水温度が22.3 [°C]で最大429 [GJ/日]となり、温熱では、1日平均放流水温度が17.6 [°C]で最大201 [GJ/日]となった。夏期の冷熱回収量が多い要因は対数平均温度差（ΔT<sub>m</sub>）の違いが挙げられる。図9に塩素混和池上流から下流にかけての回収熱量の変動を示した。冷熱では1844 [kW]、温熱では1700 [kW]

となりそれぞれ水温差1.6 [°C]、1.5 [°C]の熱量を回収した。塩素混和池の役割は、放流水の大腸菌群数を消毒することである。そのため沈殿物が沈殿しないよく混ざる構造を持った迂回水路となっている。一般的に滞留時間は最低15 [min]となるように下水道施設設計指針に定められている<sup>5)</sup>。滞留時間を設けるため、断面積（容積）が処理場によって異なる。設計指針には幅2m、高さ3m以上は規定されているため本推算条件の熱交換器（幅1m、高さ2m）は広範囲に適用可能といえる。原単位には水量、熱交換面積から冷熱で0.049 [W/m<sup>3</sup>・m<sup>2</sup>]、温熱で0.048 [W/m<sup>3</sup>・m<sup>2</sup>]となった（水量23,000 [m<sup>3</sup>/日、熱交換面積20m<sup>2</sup>/個×81個）。

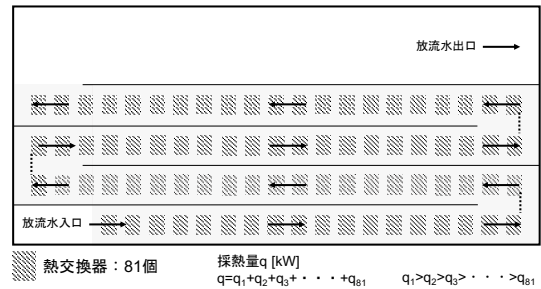


図7 塩素混和池に親戚させる熱交換器の設置イメージ

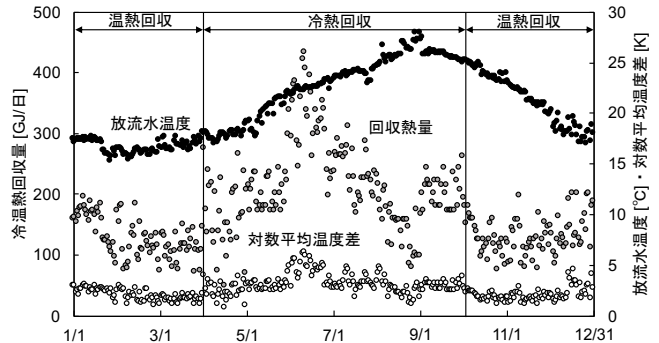


図8 年間における冷温熱回収量の推算値

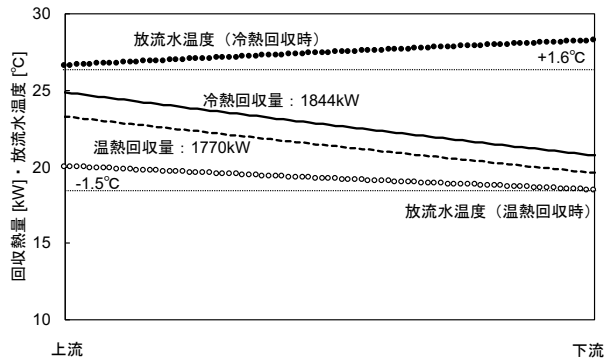


図9 下水放流水を熱源とした回収熱量の変動

#### 4.5. わさび栽培プラントの断熱効果

2020年3月より、わさび消費熱量の削減とした省エネルギー栽培技術を目的にプラント土壌表面に断熱材を敷設した。ハウス内温度が栽培水温度より異なる場合、栽培水温度を変化させることでエネルギーを要する。しかし、断熱材を敷設することでハウス内外気の影響を緩和させ、わさび消費熱量の削減が可能であると予想した。断熱の効果は断熱材を敷設していない2019年度の消費熱量と比較することで評価し、わさび消費熱量は式5より算出した。

$$q_3 = Q_3 C_w (T_6 - T_5) \quad \text{式 5}$$

図10、図11に冷熱利用、温熱利用における1日積算わさび消費熱量を断熱なしの2019年度、断熱ありの2020年度で1日ハウス内平均温度ごとにそれぞれ示した。2020年度は全体的消費熱量を下げていることが分かる。また、わさび消費熱量はハウス内温度に相関があることから各年度のプロットを線形近似し、直線式の傾きを比較した。結果、2019年度は28 [MJ/°C]、2020年度で26 [MJ/°C]となりハウス内温度の上昇に伴うわさび消費熱量の上昇率を緩和しているといえる。温熱利用も同様な結果が得られ、同一ハウス内温度で比較しても熱量を緩和した。冬期は、栽培水温度とハウス内温度の差が夏期より開かないため消費熱量は少ない。

続いて、下水熱利用におけるわさび栽培に要した消費電力量を評価した。消費電力量は式6より算出した。ここで  $U_n$  [kWh/m<sup>2</sup>・日] を栽培面積 1m<sup>2</sup> あたりの1日積算消費電力、 $q_n$  [MJ/m<sup>2</sup>・日] を栽培面積 1m<sup>2</sup> あたりの1日積算消費熱量、 $\eta_n$  をヒートポンプ COP とする。n は4月1日～3月31日の365日分の消費熱量、COPを算出式にそれぞれ代入する。また、1 [MJ] = 0.28 [kWh] であることから単位換算のため  $q_n$  と 0.28 の積とし、各パラメータには本研究の実測値を使用した。

$$U_{n(n=1,2,3,\dots,365)} = \frac{0.28q_n}{\eta_n} \quad \text{式 6}$$

図12に年間における消費電力量を示しめた。2020年度で実測した消費熱量、COPから算出し、3月1日～3月31日は2019年度の実測値を使用した。各プロット(365日分)を積算した結果電力量は190 [kWh/m<sup>2</sup>・年]となった。2019年度は232 [kWh/m<sup>2</sup>・年]であり、22%の削減が確認されたことで断熱材による省エネルギー栽培が可能であった。

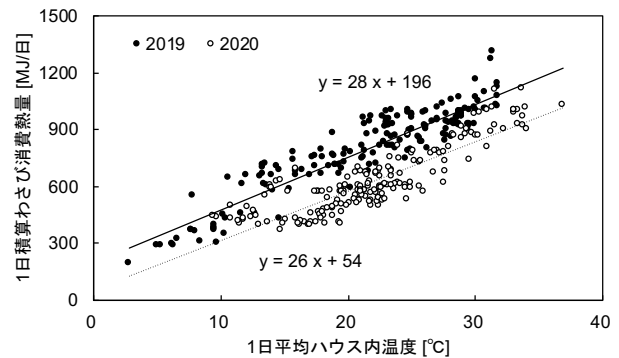


図10 ハウス内温度とわさび消費熱量の関係 (夏期)

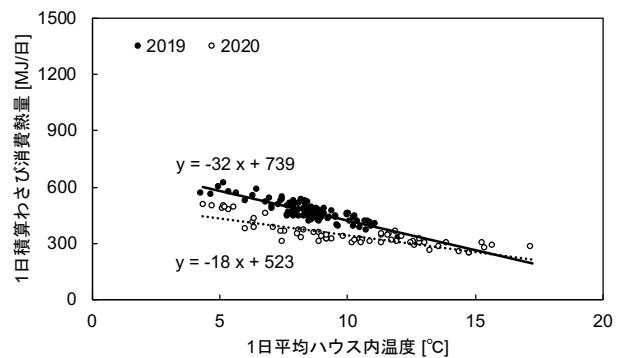


図11 ハウス内温度とわさび消費熱量の関係 (冬期)

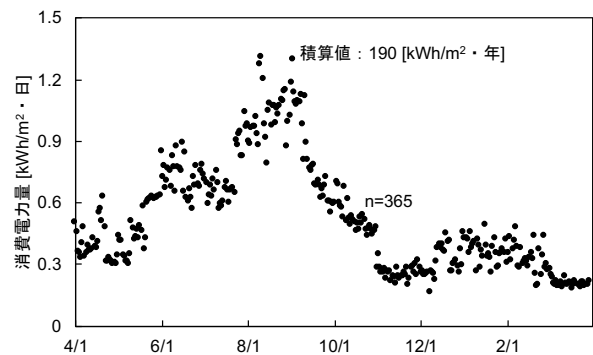


図12 年間における消費電力量

#### 4.6. 収穫したわさびの品質評価

生育が18ヶ月の正緑は、2020年9月中旬より収穫時期を迎えた。図13に収穫前の正緑の丈長と根茎と呼ばれる可食部の様子を示した。丈長は約60[cm]程度となり、根茎は約15[cm]と培地土壌表面からもはっきり見えるまで生育した。正緑は、9月の中旬から収穫を開始し、現在、222苗中168苗を収穫した。わさびの根茎は親株と呼ばれる大きい根茎に枝分かれするように子株と呼ばれる根茎になる。したがって、定植時の1苗から大小問わず複数の根茎を得ることができる。これら複数の根茎を1株ごとにばらし図14の状態へと処理し、親株、子株の根茎重量と長さをそれぞれ計測した。また、根茎は計測するだけでなくわさび農家よりサイズ分類とその基準値の目安をヒアリングし、収穫結果をサイズ分類ごとに反映した。サイズは4つに分類され、SS（重量5g以上30g未満、長さ1cm以上3cm未満）、S（重量30g以上60g未満、長さ3cm以上6cm未満）、M（重量60g以上100g未満、長さ6cm以上10cm未満）、L（重量100g以上、長さ10cm以上）とした。

表3に正緑の収穫結果と各サイズに対して占める株数の集計を示した。親株は、168株中、「大サイズ」が36.9%、「中サイズ」が47.6%、「小サイズ」が14.3%、「小小サイズ」が1.2%となった。親株では、80%以上が中サイズ以上であったことから市場の中でも比較的大きいサイズであり、生育状況は良好であるといえる。子株は「大サイズ」が0.3%、「中サイズ」が1.4%、「小サイズ」が28.6%、「小小サイズ」が66.9%となった。また、小小サイズ以下をその他とし、親株はなし、子株では2.7%が該当した。2021年1月5日現在で収穫した栽培面積は約18[m<sup>2</sup>]、収穫総重量は32.8[kg]であったことから収率は1.8[kg/m<sup>2</sup>]となった。



図13 収穫前における正緑の根茎



図14 計測した根茎の状態

表3 正緑の収穫結果

	親株		子株	
	収穫数[株]	割合%	収穫数[株]	割合%
L	62	36.9	3	0.3
M	80	47.6	14	1.4
S	24	14.3	277	28.6
SS	2	1.2	647	66.9
SS以下	0	0.0	26	2.7
計	168	100.0	967	100.0

収穫したわさびの品質評価としてわさびに含有する辛味・香料成分を分析した。表3に示したように分析対象はイソチオシアネート化合物の計7成分とした。分析方法は前処理としてわさび可食部をすりおろした状態で5[g]とり、質量比は1:1となるよう蒸留水と混合させ、懸濁液を作成した。続いて、懸濁液へn-ヘキサンを10[g]加え、200rpmで2時間縦振とうした。その後12000rpmで遠心分離し、上澄み部分のヘキサン溶液をサンプルとしGC-MSで分析した。分析したわさびは本研究で栽培した正緑5株、

新潟県柏崎産正緑2株，長野県安曇野産正緑2株，市販されているチューブわさびとした。

図15に各わさびにおける辛味・香料成分の含有量をわさびの乾燥重量1[g]あたりで示した。また，表示データは分析株数に応じた平均値とした。いずれのわさびも辛味の代表成分であるAllylが最も含有しており，本研究の正緑は1.4[mg/g-dry]であり，静岡県農業試験場から報告されている1.1~1.6[mg/g-dry]<sup>6)</sup>と同様な値であった。また，他わさびと比較した結果，欠乏成分や7成分の中，検出されない成分は確認されなかった。

続いて，わさびの色味や形状，味の評価を行った。これらの評価項目は，収穫量や含有成分と異なり，定量的な評価が難しく，個人の主観に左右される面も大きいことからわさびに精通した人物からの評価を得たいと考えた。長野県安曇野市のわさび農家の方2名から評価をいただき色味に関しては，根茎，すりおろした状態ともに良いとされ，食味をした感想からも味は良好と評価を受けた。

#### 4.5. 下水熱によるわさび栽培の事業採算性

下水熱利用におけるわさび栽培の事業採算性を評価した。評価方法は下水熱回収を行う機械設備，栽培設備に要するイニシャルコスト，栽培管理を行う上で生じるランニングコストを支出とわさびを取引する際の収益と比較することで行った。各コストの試算には，本研究で取得した実測値やヒアリング等で得た値を使用した。

必要コストの中，イニシャルコストはヒートポンプ，熱交換器から機械設備，ビニールハウスや栽培プラントからなる栽培設備とし，ランニングコストは栽培管理に要する光熱費や人件費，土地代からなるその他とした。

栽培規模は地下水を栽培水とした糸魚川わさび園と同様とし，ハウス1棟あたりの栽培面積は270[m<sup>2</sup>/棟]，1棟あたり栽培数を2,550苗，全栽培数を30,000苗であることからビニールハウ

表4 分析成分と特徴

分析成分	特徴
① Allyl	辛味
② Sec-Butyl	
③ 3-Buten	
④ 4-Penten	爽やかさ+甘味
⑤ Berterion	
⑥ β-Phenetyl	
⑦ Propyl	青臭さ

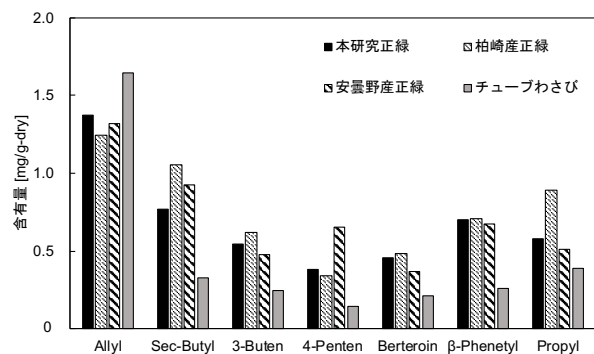


図15 辛味・香料成分における含有量の比較

スを12棟，全栽培面積は3,240[m<sup>2</sup>]とした。

続いて，HP出力を選定するため，本研究で実測した栽培面積1m<sup>2</sup>あたりの消費熱量を1分値より必要なHP出力200kW，300kW，400kW，500kWのいずれかであった。各出力を設置しても年間時間の98%以上は冷温熱を供給可能だといえることから，HP出力は，4事例でコストを算出し，支出に及ぼす影響を調査することとした。また，表5に本研究の実測値から明らかとなったエネルギー量，わさびの収穫量等を示し，各コストの支出や収益を決定した。

事業採算性を評価するにあたり各コストの計上方法として，本事業を下水道事業と位置づけし，施設整備に要するイニシャルコストの50%を国庫補助金として受けるとした。また，支出と収益は1年間で発生する金額を固定し計上することから機械設備の耐用年数を20年とし，イニシャルコスト5%+ランニングコストを支出とした。図16にHP出力別の支出とわさび3万苗の栽培品種による収益を示した。HPの出力別による支出の比較では，イニシャル5%，維持管

理費が可変するが、その他コストの影響が大きく全体の支出の差はほとんど出ないと考えられる。また、品種別の収益では正緑が 23,580 [千円/年], 真妻が 29,025 [千円/年]となり、真妻の収益が 19%高い結果となった。正緑は生育期間が 1.5 年と真妻の 2 年より短いことから収穫周期が早くなり収益の増加が期待されたが、取引単価の影響が大きいことがわかる。HP 出力 500kW の支出を基準とし、わさび各品種における収益は正緑で 54%減、真妻で 43%減となり、30,000 苗の栽培では 20 年間での投資回収が困難であるといえる。

## 5. 結論

下水放流水からの熱回収実験では、塩素混和池や熱交換器の設置条件から回収熱量の原単位を取得した。また、本研究の実測値と地下水利用の事例を用いた SCOP を比較し下水、地下水の特徴を整理し、各熱源の優位性が確認される条件を明らかとした。断熱材を施したわさび栽培では、消費電力を削減したことから省エネルギー栽培が可能であった。また、正緑に含有する辛味・香料成分の含有量を分析した結果、市場に出るわさびと同様であり、色味や形状、味等はわさび農家の方から直接評価をいただき一般的なわさびの品質を確保した。事業採算性の評価として、わさびの品種別による収益は大きな差が生じなかったことから生育期間による収穫頻度の差はほぼ影響しない。加えて HP の出力別で支出を比較した場合、金額に大きな差が出ず、支出を構成する要素は人件費や土地代が多くを占めた。また、同量のエネルギーを生産するとし空冷チラーと比較した結果、3 万株の栽培は正緑で収益が支出の 54%、真妻で 43%となり投資回収が困難であると示唆された。空冷チラーとの比較では、下水を熱源としたヒートポンプによる利用は消費する電力量が大幅に削減されていることから下水熱利用における省エネ効果が明らかとなった。

表 5 事業採算性の算出諸元

項目		値	金額 [千円/年]	備考	
栽培規模	栽培数 [苗]	30,000	-	糸魚川わさび園	
	ビニールハウス [棟]	12	-		
	栽培面積 [m <sup>2</sup> ]	3,240	-		
電気代	消費電力量 [kWh/m <sup>2</sup> ・年]	190	1,1204(18.2円/kWh)	本研究実測値	
収益	根茎	正緑 [kg/m <sup>2</sup> ]	1.8		19,440(5千円/kg)
	真妻 [kg/m <sup>2</sup> ]	1.6	25,920(10千円/kg)		
葉・茎	正緑 [kg/苗]	0.46	4,140(0.45千円/kg)		
	真妻 [kg/苗]	0.46	3,105(0.45千円/kg)		

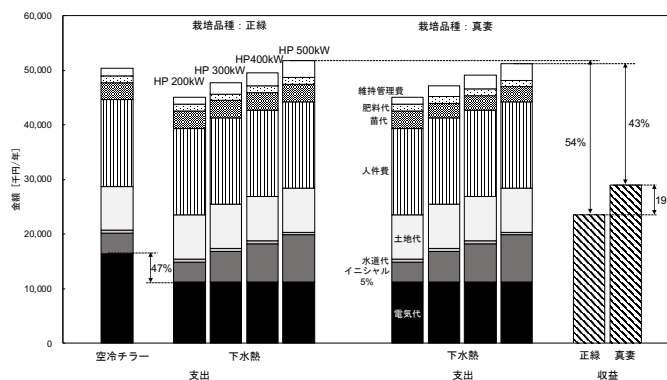


図 16 供給熱源による事業採算性とわさびの収益

## 参考文献

- 1) 東京都環境局・三菱地所株式会社, 地域エネルギーマネジメントシステム構築に係る実現可能性調査事業, 2018. URL: [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi\\_energy\\_suishin/smart\\_energy\\_city/kekka.files/kekkaaiyou.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/tochi_energy_suishin/smart_energy_city/kekka.files/kekkaaiyou.pdf)
- 2) 経済産業省 再生可能エネルギー熱利用の導入 [https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/H29FY/000626.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000626.pdf)
- 3) 池内研, 他, 藤のさとセンターへの地下水利用型 GeoHP システムの導入, 日本冷凍空調学会学術会議演説文集, p33-36
- 4) アイアール技術者教育研究所, ポンプの効率と省エネ化, URL: [https://engineer-education.com/pump-5\\_energy-saving/](https://engineer-education.com/pump-5_energy-saving/)
- 5) 公益財団法人日本下水道協会, 下水道施設設計指針と解説 (1972)
- 6) 荒川博, ワサビ品種・系統における辛味成分含有量とその部位別分布 静岡県農業試験場研究報告書 46 巻, p.35-43