

温泉活用水活用キャンパスにおける一次エネルギー消費削減効果に関する調査研究

Research on the Reduction Effect of Primary Energy Consumption in the Hot Spring Water Utilization Campus

垂水 弘夫* 新村 苑華** 小池 怜奈*** 塩谷 正樹**** 岩瀬 和夫*****
 Hiroo Tarumi Sonoka Shinmura Reina Koike Masaki Shioya Kazuo Iwase

Keywords : Hot Spring Water, Primary Energy Consumption, Campus
 温泉活用水、一次エネルギー消費、キャンパス

1. はじめに

再生可能エネルギー源の活用が、建築物の nZEB (net Zero Energy Building) 化を目指す上で重要な要素となっている。多くの地域・地点で活用できる再生可能エネルギーとしては、太陽光発電や太陽熱利用が挙げられ、既にも実施例も多いが、本研究では地域性のある再生可能エネルギー源として温泉を取り上げ、キャンパスの給湯の一部に利用した実施例について、建物群全体の一次エネルギー消費削減効果を通年取得データに基づき評価したので報告する。

温泉活用水の活用については、環境省が 2019 年に「温泉熱有効活用に関するガイドライン」¹⁾ をまとめている。温泉旅館・ホテルの関係者や農業関係者などに対し、温泉熱利用の導入決定に至るプロセスとステップを示す内容で、利用方法と特徴、導入事例、導入効果の試算、補助金の活用などを紹介している。ただし、一次エネルギー消費の削減には触れていない。また学会関係では、バイナリー発電の熱源に用いるシステム事例²⁾や、温泉排熱にヒートポンプを適用し高効率の熱源システムを構築した研究³⁾など、装置としてのハード開発を中心に研究報告が複数みられるものの建物側を主体に一次エネルギー消費削減効果を明示した研究としては、横尾昇剛らによる一連の研究^{4) 5)}など、報告例がまだ少ない状況にある。

本研究は、学生寮を有する(入浴のための給湯負荷が大きい)キャンパス条件や、北陸の山間部(冬季の太陽光利用が難しい)という立地条件の下、年間を通じて安定的な供給が可能な再生可能エネルギー源として温泉活用水に着目したものである。温泉活用水活用キャンパスのケーススタディであり、学校建築ゼロエネルギー化⁶⁾を目指す対策技術の1つに今後位置付けられて行くことを期待し、施設規模と利用する温泉活用水の温度・流量の双方のデータを明確にした上で、一次エネルギー消費削減効果を提示する。

2. 白山麓キャンパスと調査の概要

2.1 キャンパス内建物について

本研究で調査対象とする金沢工業大学の国際高等専門学校・白山麓キャンパスは、2018年4月に石川県白山市の山間部に開設された。表1に、キャンパス内建物等の概要を示す。6.7haの敷地内に、校舎、学生寮、体育館、温泉施設、I-HUB(イノベーション・ハブ)、コテージなどが配置されている。建築群の延床面積は、約 23,627 m²である。1学年の定員は 45 名で、1

表1 白山麓キャンパスと建物の概要

開設	2018年4月	
所在地	石川県白山市瀬戸辰3-1	
敷地面積	67,863 m ²	
建物	1) I-HUB	8,704 m ² RC造5階建
	2) 校舎	5,297 m ² S造3階建
	3) 学生寮	6,412 m ² S造3階建
	4) 体育館	1,777 m ² RC造3階建
	5) 温泉施設	893 m ² 木造2階建
	6) コテージ	544 m ² 木造2階建4棟

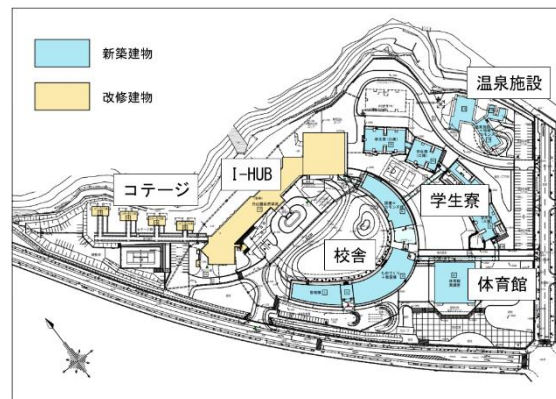


図1 白山麓キャンパス全体配置図



図2 白山麓キャンパス全景

* 金沢工業大学建築学部 教授・工博

** 金沢工業大学建築学部 学生

*** 金沢工業大学大学院建築学専攻 大学院生

**** 三建設備工業(株)技術統括本部 主任研究員・博士(工学)

***** 三建設備工業(株) 執行役員・工博

Prof., Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology.

Graduate School, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology.

Research Engineer, Sanken Setsubi Kogyo Co.,Ltd., Dr.Eng.

Corporate Executive Officer, Sanken Setsubi Kogyo Co.,Ltd., Dr.Eng.

年次と2年次の学生が白山麓キャンパスに全寮制で就学する。このため学生寮や温泉施設を有しており、食堂はI-HUBの2階に設置されている。またI-HUBには、地方創生研究所の活動支援、外部来訪者への宿泊提供、施設管理などの機能がある。温泉施設は、学生が使用する他、一般にも有料で開放されている。当該キャンパスは、24時間英語で教育が行われることから、コテージ4棟にはネイティブの教員が生活している。図1に白山麓キャンパスの建物配置を示す。I-HUB及びコテージは、旧「かんぼの郷 白山尾口」の建物を改修して使用している。青色表示の校舎、学生寮、体育館及び温泉施設は新築建物であり、床面積でみると約60%を占めている。

図2は、白山麓キャンパスの南上空から撮影した全景写真である。周囲を山の緑に囲まれており、国道360号線を挟んだ向かいには「道の駅 瀬名」が立地している。金沢市内から車で1時間程度の距離にある。また、この国道を南東方向に進むと「白山白川郷ホワイトロード(旧白山スーパー林道)」となり、岐阜県白川郷に通じている。図3には、各建物の外観と、一部、校舎内・図書 commons の内観を示す。

2.2 エネルギー消費及び温泉水熱量の実測調査

図4は、電力・ガス(LPG)・石油(A重油)及び温泉水に関するデータ回収箇所の様子を示している。また表2には、エネルギー種別調査の概要を整理した。電力測定に関しては、電力中央監視システムを新設し、全分電盤内に設置したクランプメーターにより建物別消費用途別の使用量を把握可能としている。ガスと石油に関しては、キャンパス内4箇所(ガス3箇所、石油1箇所)のメーター前に定点観測カメラ(Bushnell、XLT30MP ログロウ DC)を置き、30分間隔で撮影した画像から使用量を把握している。石油については、施設管理の一環として使用量に関する日報が蓄積されており(ボイラー前への警備員巡回により1日1データの記録)、これも参照してデータの正確さを確認した。

一方、再生可能エネルギー源である温泉水については、温泉施設・機械室内の温泉水ポンプ制御盤から、流量と温度データの回収を行った。以上の現地調査を、1か月半に1回程度の頻度で実施したものである。

温泉はキャンパス開設に伴い新たに掘削・湧出したもので、源泉温度は約56℃である。温泉施設の浴槽の湯張りに使用されている。温泉水は温泉施設の稼働時間帯(12~21時)に合わせて汲み上げられ、貯湯槽を介して浴槽へと供給される。衛生保持の観点から、毎日、夜の排水と午前の湯張りが繰り返される。後に解析に用いる温泉水流量と温度は、貯湯槽から浴槽へ供給される際の数値である。

温泉施設内の水栓やシャワー等への給湯は、改修建物I-HUB内に設置されている既存の石油焚温水ボイラー(榊ヒラカワ、VEC-130YN、定格出力1510kW、熱効率0.88)による。この石油ボイラーは、冬季のI-HUBの暖房や、頻度としては低いがI-HUB宿泊室への給湯にも利用されている。後の解析で、温泉水活用が図られないケースの一次エネルギー算定では、当該ボイラーの効率等が使用される。

ガスの消費用途としては、1)学生寮シャワーへの給湯用、2)I-HUB食堂の調理・給湯用、3)コテージの調理・給湯用、となっている。以上を踏まえ、表3に各建物における消費用途別のエネルギー源を整理した。



(1) I-HUB (イノベーション・ハブ)

(2) 校舎



(3) 学生寮



(4) 体育館



(5) 温泉施設



(6) 校舎内・図書 commons

図3 白山麓キャンパス各建物



(1) 電気使用量計測モニター



(2) ガスメーター(学生寮)



(3) オイルメーター



(4) 温泉水ポンプ制御盤

図4 各実測機器一覧

表2 エネルギー種別調査の概要

	時別消費データの取得方法
電力	電力中央監視システムを新設(各建物の全分電盤内にクランプメーターを設置)し、建物別消費用途別記録データを回収
ガス(LPG)	I-HUB屋外2箇所、学生寮屋外1箇所のガスメーター前に定点観測カメラを設置し、30分間隔の撮影画像より読み取り
石油(A重油)	I-HUB機械室内のボイラ流量メーター前に定点観測カメラ及び投光器を設置し、30分間隔の撮影画像より読み取り
温泉水	温泉施設の機械室内制御盤より、流量及び温度記録データを回収
備考	1ヶ月半に1回程度の現地調査に基づき、通年データを取得

3. エネルギー消費及び温泉水に関する2019年通年調査結果

3.1 電力・ガス・石油について

表4に、白山麓キャンパスにおける電力、ガス、石油の2019年の月別及び年積算の消費量を整理した。まず、電力についてみると、年間消費量は182万7596kWh/年であった。単位床面積当たりでは、77.3kWh/(㎡・年)となる。ここで、文部科学省・国土交通省の資料⁶⁾には、大学及び専門学校263件をサンプルとする統計値が示されており、単位床面積当たり一次エネルギー消費量は1,023MJ/(㎡・年)で、そのうち「7割以上が電力由来」と記されている。上述の白山麓キャンパスの電力消費量77.3kWh/(㎡・年)を一次エネルギー換算すると約754MJ/(㎡・年)となることから、国の統計に近い数値が得られていると理解される。

電力消費量を月別にみると、1月の197,663kWh/月が最大で、これに2月の175,901kWh/月、7月の170,754kWh/月が続く。校舎及び学生寮等におけるヒートポンプの暖冷房運転の影響と思われる。電力消費量が少ない月は、5月、6月及び10月などの中間期であった。

次にガス(LPG)についてみると、年間の消費量は5,659m³/年となった。月別では7月及び5月が1,000m³/月を超える大きな数値となっており、高専・研究所関係の集中的なイベント開催の影響が現れている。8月の値が小さいのは夏期休暇によるものと考えられる。

石油(A重油)の年間消費量は、127,063ℓ/年である。月別値では、12月～2月の消費量が20,000ℓ/月を超える大きな数値を示す一方、7月～9月は1,000ℓ/月あるいは2,000ℓ/月となっており、夏冬の季節による差が顕著にみられる。

3.2 温泉水熱量について

図5は、温泉水流量の2019年・年間日変動パターンを示している。時刻ごとに平均値と標準偏差を提示する。11時台の流量が最も大きく8.827m³/時、これに次いで12時台が8.426m³/時となっている。13時台以降20時台までと午前10時台で流量が4m³/時を超える。夜間から明け方までは、ほぼ停止状態である。標準偏差に注目すると、ポンプがフル稼働に近い11時台と12時台では小さいものの、夜間を除くこれ以外の時間帯では、変動係数が28%に達する13時台なども認められる。

温泉水の給湯温度は年平均で48.0℃であり、その標準偏差は1.1℃であった。流量の変化に比べると安定している。年間を通じた時別の流量と温度に基づき積算した2019年の温泉水活用熱量を、図6左欄に示す。

温泉水活用熱量 Q_T [MJ] の算定は次式による。

$$Q_T = \sum (T_i \times Q_i \times C_p \times \rho) / 1000$$

ここに、

T_i : 毎時温泉水温度 [℃]

Q_i : 毎時温泉水流量 [ℓ/h]

C_p : 温度に応じた水の比熱 [kJ/(kg・K)]

ρ : 温度に応じた水の密度 [kg/ℓ]

年間の合計熱量は、5810.4GJ/年となる。2019年3月から浴槽への午後時間帯の給湯量を増やした関係で、冬季でも1、2月と11、12月には差がみられるが、変更後の2019年夏の7、8月と、冬の11、12月を比較すると、夏季よりも冬季において温泉水活用熱量が多いことが分かる。冬季は浴槽温度が低下し易いため、自然な結果と考えられる。

表3 各建物における消費用途別エネルギー源

		消費用途別エネルギー源				
		冷房	暖房	給湯	照明・動力	調理
建物	1) I-HUB	電力	石油	石油・ガス	電力	ガス
	2) 校舎	電力	電力	—	電力	—
	3) 学生寮	電力	電力	ガス	電力	電力
	4) 体育館	電力	電力	—	電力	—
	5) 温泉施設	電力	電力	温泉水・石油	電力	電力
	6) コテージ	電力	電力	ガス	電力	ガス

表4 エネルギー種別の2019年消費量

	電力 [kWh/月]	ガス [m ³ /月]	石油 [ℓ/月]
2019年1月	197663	133	22658
2019年2月	175901	390	20361
2019年3月	153145	224	11581
2019年4月	135580	335	11248
2019年5月	121582	1399	11298
2019年6月	123546	277	4460
2019年7月	170754	1644	2838
2019年8月	153028	87	1771
2019年9月	155045	163	2583
2019年10月	126419	232	4355
2019年11月	147292	388	11248
2019年12月	167635	386	22658
2019年合計	1827596	5659	127063

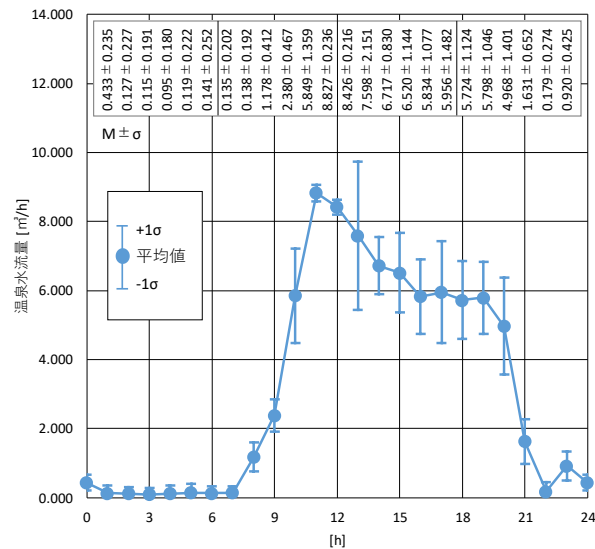


図5 温泉水流量の年間日変動パターン

4. 温泉水活用によるキャンパス一次エネルギー消費削減効果に関する解析

4.1 月別一次エネルギー消費

図6の右欄には、電力・ガス・石油の一次エネルギー消費量を建物ごとの月別値として提示した。

建物群の中では、I-HUB・温泉施設におけるエネルギー消費

(薄ピンク表示) が、何れの月においても3分の2程度を占める様子が確認される。また、電力・ガス・石油による一次エネルギー消費では、7月に1934.5GJ/月、1月に2645.4GJ/月などの夏冬のピークが出現し、中間期との大小の差が認められるが、温泉水活用熱量については、そこまでの月による差がないことがグラフから読み取れる。

4.2 年間一次エネルギー消費

図7は、白山麓キャンパス全体の2019年通年について、温泉水活用による一次エネルギー消費削減効果を提示している。グラフ上段が図6に示した月別の値を年間合計した「温泉水活用あり」ケース、下段が「温泉水活用なし」ケースである。温泉水活用が図られない場合には、I-HUBに設置しているボイラーでの追い炊きが必要になることから、その分のA重油消費量を算定し、現在のエネルギー消費量に加えることで、「温泉水活用なし」ケースのキャンパス一次エネルギー消費量を求めた。算定式を注釈^{注1)}に示す。

この結果、キャンパスの年間一次エネルギー消費量が「温泉水活用なし」ケースでは27,836.4GJ/年と推定されるのに対し、現状の「温泉水活用あり」ケースでは22,391.5GJ/年となっている。両者の比較により、白山麓キャンパスにおける温泉水活用による一次エネルギー消費削減効果は、18.2%と評価された。

5. まとめ

本研究は、種々ある再生可能エネルギー源のうち温泉水を活用しているキャンパスの事例を取り上げ、その一次エネルギー消費削減効果を、年間を通じた実測に基づき明らかとしたものである。以下に、研究成果をまとめる。

- (1) 金沢工業大学・白山麓キャンパスにおける電力・ガス・石油類の2019年の年間エネルギー消費量は、一次エネルギー消費ベースで22,391.5GJ/年であった。単位床面積当たり換算すると、947.7MJ/(m²・年)となり、これは文部科学省・国土交通省作成の資料⁶⁾に記載されている大学及び専門学校263件の平均値1,023MJ/(m²・年)の約93%に相当することが確認された。

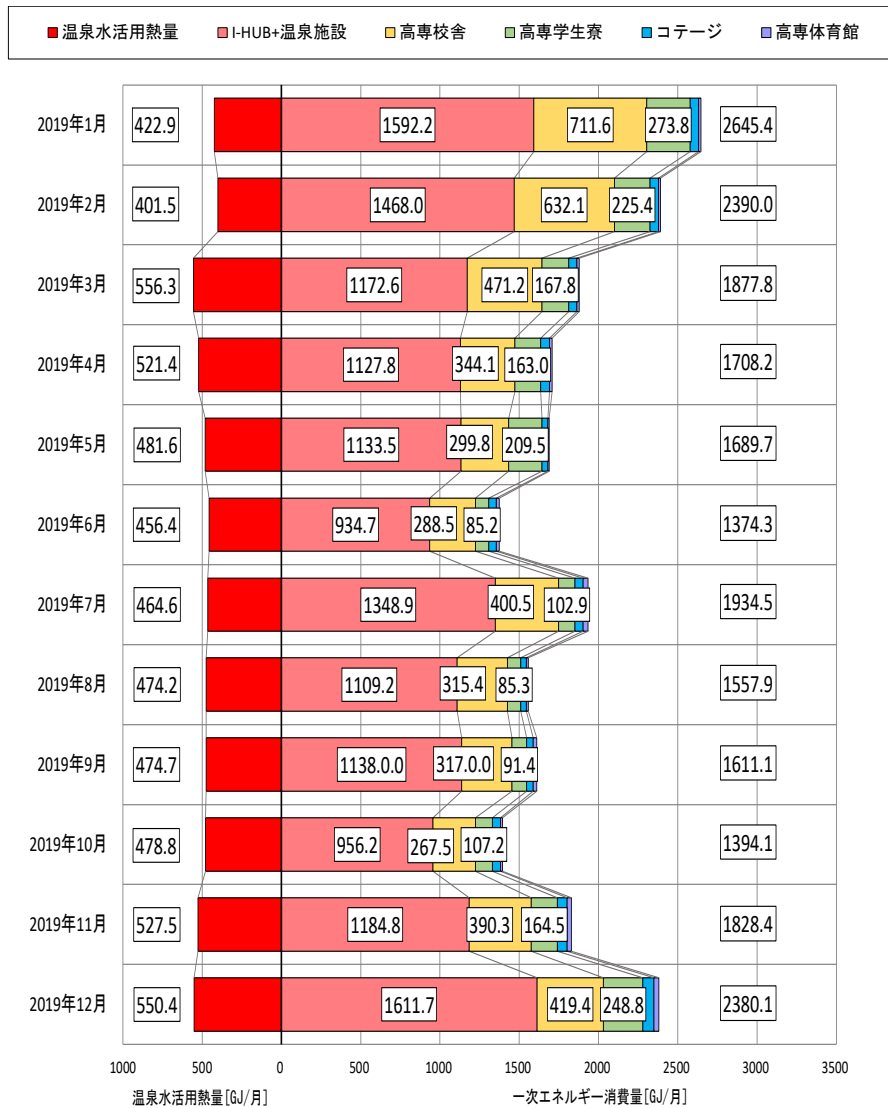


図6 白山麓キャンパスにおける月別の一次エネルギー消費量と温泉水活用熱量 (2019年)

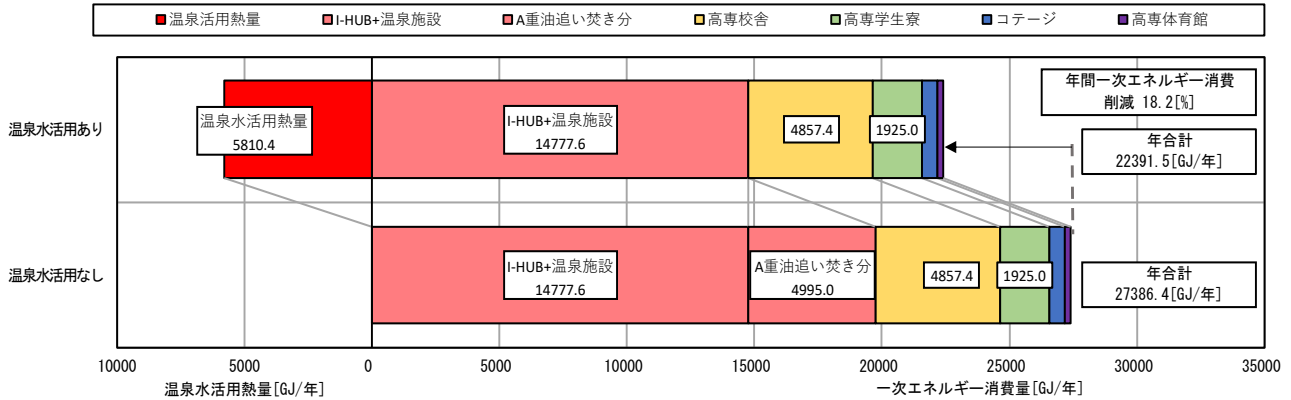


図7 温泉水活用による白山麓キャンパスの年間一次エネルギー消費削減効果（2019年）

- (2) キャンパス内温泉施設の浴槽に給湯している温泉水活用熱量は、温泉水温度と流量の毎時計測値に基づき 2019 年 1 年間につき積算したところ、5,810.4GJ/年であった。
- (3) 温泉水を活用しない場合のキャンパス一次エネルギー消費量は、既設ボイラーにおける A 重油追い炊き量を算定し加算することで、27,386.4GJ/年と推計された。以上の検討により、金沢工業大学・白山麓キャンパスの温泉水活用による一次エネルギー消費削減効果は、18.2%であると評価された。

今後の課題としては、温泉施設内の水栓やシャワー等への給湯について、熱交換器の導入による温泉水活用を進めることが挙げられる。また、キャンパス全体の nZEB 化の推進に関しては、まず 1 台が設置され試運転中のバイオマス発電ボイラー（スターリングエンジン）の利用や、太陽光発電の屋根面への適用などについて、調査・解析を進めて行く予定である。

注釈

注 1) まず、年間のボイラー追い炊き熱量 M は、次式により求める。時刻ごとの温泉水供給温度及び流量をもとに積算する。

$$M = \sum ((T_i - 14) \times Q_i \times C_p \times \rho) / 1000 \quad (1)$$

ここに、

M : ボイラー追い炊き熱量 [MJ/年]

T_i : 毎時温泉水温度 [°C] (14°Cはボイラー投入の現地地下水温度)

Q_i : 毎時温泉水流量 [l/h]

C_p : 温度に応じた水の比熱 [kJ/(kg・K)]

ρ : 温度に応じた水の密度 [kg/l]

これに相当する A 重油消費量 S は、次式による。

$$S = M / L / \eta \quad (2)$$

ここに、

S : A 重油消費量 [l/年]

L : A 重油の低位発熱量 [36.6MJ/l]

η : ボイラー効率 0.88 [-] (本文記載の該当機の数値)

さらに、これに相当する A 重油追い炊き分としての一次エネルギー消費量 E は、次式で算定される。

$$E = S \times f / 1000 \quad (3)$$

ここに、

E : A 重油追い炊き分の一次エネルギー消費量 [GJ/年]

f : A 重油の一次エネルギー消費換算係数 [39.1MJ/l]

文献

- 1) 環境省自然環境局：温泉熱有効活用に関するガイドライン pp.1-95、2019.3
- 2) 齋藤章、佐々木裕太、金原和秀、須藤雅夫：温泉熱バイナリー発電システムの発電効率の評価、化学工学会、化学工学論文集、第 42 巻第 2 号、pp.76-82、2016
- 3) 二宮達：排熱回収ヒートポンプによる温泉排熱を利用した高効率熱源供給システム、日本冷凍空調学会、冷凍、第 90 巻第 1047 号、pp.28-33、2015.1
- 4) 増田圭太、川口誠也、横尾昇剛、益子暁式：奥日光エリアにおける地産地消型エネルギーシステム導入効果に関する研究、その 1 地産地消エネルギー利用の可能性に関する調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1475-1476、2014.9
- 5) 太田亮平、益子暁式、横尾昇剛：奥日光エリアにおける地産地消型エネルギーシステム導入効果に関する研究、その 7 温泉排湯利用システムの面的利用のケーススタディ、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1005-1006、2017.8
- 6) 文部科学省・国土交通省：学校ゼロエネルギー化に向けて、文部科学省大臣官房文教施設企画部施設企画課、pp.1-2、2012.5
- 7) 垂水弘夫、兼子拓巳、塩谷正樹、岩瀬和夫：金沢工業大学白山麓キャンパスにおける温泉水活用効果に関する研究、地域防災環境科学研究所における環境建築研究 その 34、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.935-936、2019.9
- 8) 垂水弘夫、小池怜奈、新村苑華、塩谷正樹、岩瀬和夫：金沢工業大学白山麓キャンパスにおける温泉水活用効果に関する研究 II、地域防災環境科学研究所における環境建築研究 その 36、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.2377-2378、2020.9