

奥日光湯元地区における地産地消型エネルギーシステム導入による環境先進地区形成に関する調査研究

宇都宮大学大学院工学研究科 准教授 横尾昇剛

宇都宮大学大学院工学研究科 博士前期課程2年 増田圭太

宇都宮大学工学部建設学科建築学コース4年 太田亮平

1. 研究の目的・意義

エネルギーを地域で生産し地域で消費する「地産地消型エネルギー」の取り組みの推進は一次エネルギー消費量、CO₂排出量を削減できると考えられるため、環境面やコスト面において大変重要である。

奥日光湯元地区では、宿泊施設が多数立地しているが、温泉排湯熱を回収しエネルギー源とした有効活用はほとんどされていないのが現状である。奥日光湯元地区を環境先進観光地区にするための一環として、各施設における温泉熱を活用した地産地消型のエネルギーシステムに転換することで、この地区のエネルギー消費量およびCO₂排出量を大幅に削減することの可能性が予想される。

本研究においては、実地調査およびモニタリングを通じて、奥日光湯元地区での地産地消型エネルギーシステム導入の際の系統的課題、経済的課題および、導入した際のエネルギー消費削減量、CO₂排出削減量の推計値を求める。これらの結果を地産地消エネルギー利用のための基礎的資料として整理し、この地区の環境への取り組みの促進を図ることを支援することを目的としている。

2. 研究方法（又は事業内容）

本研究では奥日光湯元地域の温泉熱に着目し、温泉熱のポテンシャル量・利用可能量を明らかにする。また、温泉熱利用システムを導入している施設の実測を行い、温泉熱利用の有用性を見出し、一次エネルギー消費量・CO₂排出量の削減効果を定量化し、その結果をまとめた。

(1) 暖房・給湯システムの熱源と機器の実態調査

各宿泊施設へのヒアリング及びアンケート調査を行った。



写真 1.1 奥日光湯元地区全景



対象施設	施設数	延床面積 (平均)	収容人数 (平均)	源泉湧出量・源泉温度	平均気温(°C)
宿泊施設	小規模	10	691	1788.5L/分 55~78°C	夏季 18.1
	中規模	12	3,748		冬季 -3.6
	大規模	1	12,000		年間 7.4

※夏季7~9月、冬季1~3月

図 1.1 奥日光湯元地域の概要

(2) 温泉熱のポテンシャル量・利用可能量の算出

源泉湧出量・源泉温度、各宿泊施設の引湯量・引湯温度について、各宿泊施設へのヒアリング及びアンケート調査と文献調査を行った。既に温泉熱利用ポテンシャル調査が行われている地域の事例をもとに温泉熱のポテンシャル量・利用可能量の算出を行った。

(3) 温泉熱利用システム導入施設での実測

温泉熱利用システムを導入している施設を実測し、システムの導入効果の定量化を行った。

(4) 実測値に基づいた奥日光地域全体での温泉熱利用システム導入による効果の算出

奥日光地域の宿泊施設において、現状の暖房・給湯システムを温泉熱利用システムに更新すると想定した際に、温泉熱利用システム導入による効果を実測値をもとに試算し、地域全体での効果の算出を行った。

3. 事業の進捗状況

(1) 暖房・給湯の熱源と機器の実態調査結果

奥日光地域の宿泊施設（計 23 施設）を対象に、暖房・給湯システムの熱源と機器についてのヒアリング・アンケート調査を行った。アンケート調査によると灯油・重油を熱源としている施設が 87%（図 3.1）であり、暖房の機器については図 3.2 に示す結果となった。これらの結果から、奥日光湯元地域では化石燃料に依存したシステムが大半を占めていることが分かった。

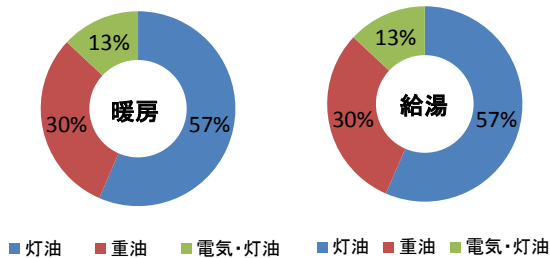


図 3.1 暖房・給湯システムの熱源

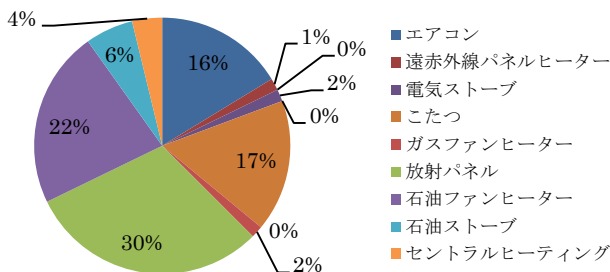


図 3.2 使用暖房機器

(2) ポテンシャル量・利用可能量の算出結果

源泉湧出量・源泉温度、各宿泊施設の引湯量・引湯温度について、各宿泊施設へのヒアリング及びアンケート調査と文献調査を行った。温泉熱のポテンシャル量・利用可能量は各施設ごとに算出し、最終的に表 3.1 に示す施設規模別に合計したもので表すものとする。温泉熱のポテンシャル量・利用可能量は以下の式で算出した。

$$\begin{aligned} \text{ポテンシャル量算出式} & \quad Q_1 = \rho c V (t_1 - t_2) \\ \text{利用可能量} \dots \text{源泉利用} & \quad Q_2 = \rho c V (t_1 - t_3) \\ & \quad \text{排湯利用} \quad Q_3 = \rho c V (t_4 - t_5) \end{aligned}$$

Q : エネルギー量 (kJ) ρ : 密度 (g/cm³)
 c : 比熱 (J/g·K) V : 流量 (L/分)
 t₁ : 源泉温度 (°C) t₂ : 平均気温 (°C)
 t₃ : 浴槽温度 (°C) t₄ : 排湯温度 (°C)
 t₅ : 排水温度 (°C)

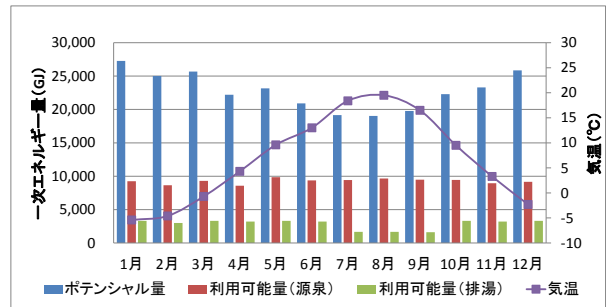


図 3.3 月別ポテンシャル量・利用可能量

月別のポテンシャル量・利用可能量を図 3.3 に示す。ポテンシャル量は夏季に低くなっていることが分かる。

アンケート調査では現状の光熱費データも調査しており、年間の一次エネルギー消費量・CO₂排出量も算出している。上記の式で算出した利用可能量と現状の一次エネルギー消費量を比較したものを図 3.4 に示す。

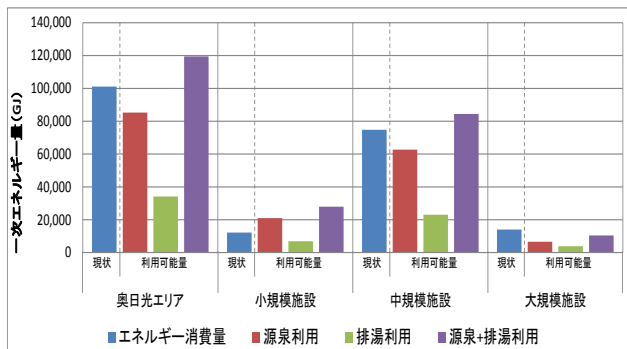


図 3.4 現状のエネルギー消費量と利用可能量の比較

奥日光地域全体の温泉熱利用可能量の合計値は、現状のエネルギー消費量の 125.9%に相当すると考えられる。ただし、ここでの一次エネルギー消費量には電気などのエネルギー消費も入っており、それらも熱エネルギーとして換算した際の比較である。

(3) 温泉排湯熱利用システム導入施設での実測

温泉排湯熱利用システムを導入している施設(図 3.5)を実測し、温泉熱利用システムの導入効果の定量化を行った。温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量を図 3.5、図 3.6 に示す。

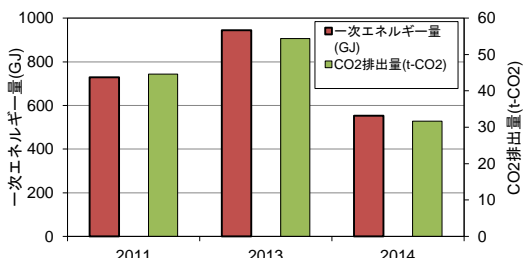


図 3.6 各エネルギー量の年度比較

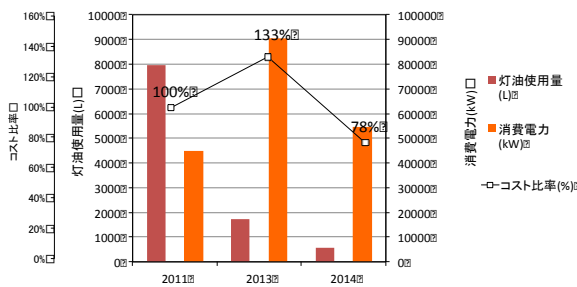
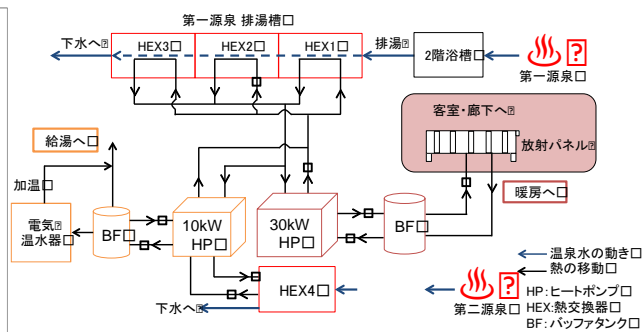


図 3.7 灯油使用量・消費電力とコスト比



3.5 温泉排湯熱利用システム図



写真 3.1 温泉排湯熱利用システム各設備

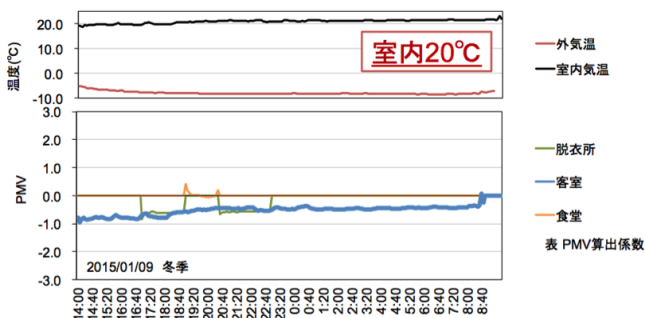


図 3.8 冬期室内温度と PMV (快適性)

2013 年度に温泉熱利用システムに変更したが、温泉排湯から得られた熱は暖房用 HP に送られ、給湯用 HP での排熱利用が不十分であったため電力量が上がり、エネルギー量・コストともに高い値となった。2014 年度は第二源泉熱交換器設置により各 HP に均等に熱が送られ、高効率の運転をしたことで一次エネルギー量が 30%程度減少している。HP 導入によって年間消費電力が増えたものの、灯

油の使用量が9割近く減り、ランニングコストを抑えると同時に良好な室内環境を確保している。

(4) 実測値に基づいた奥日光地域全体での温泉熱利用システム導入による効果の算出

・ケース設定

現状調査の結果を踏まえて既設システムを設定し、既設システムを基準として空調・給湯システムを温泉熱利用システムに変更するというケース6パターンを設定した。温泉熱利用法は直接利用(源泉利用)と間接利用(排湯利用)とした(表3.2)。想定したケースを基に給湯、空調稼働時間等の設定し、一次エネルギー量、CO₂排出量を求めた。

・計算結果

図3.7に規模別の年間一次エネルギー量、CO₂排出量を示す。エリア全体でのエネルギー削減量はシステム6の排湯利用+HPの給湯・暖房使用の場合に7割程度削減されており、HP導入に加え排湯利用することで高い効果が得られる。

4. 事業の成果

(1) 暖房・給湯システムの熱源と機器の実態調査

奥日光地域での暖房・給湯システムの熱源は87%が灯油・重油を使用していることが分かった。暖房機器は、石油ストーブ・石油ファンヒーターなど石油を使用する機器をしている施設が多いことが分かった。

表3.1 熱利用ケース設定

No	システム	変更点	温泉利用		熱源	
			源泉	排湯	給湯	暖房
1	既設システム	既存システム	無	無	灯油	重油
2	直接利用	熱交換器導入 源泉利用	有	無	灯油	重油
3	間接利用	熱交換器導入 排湯利用	無	有	灯油	重油
4	間接利用	HP導入+排湯利用 給湯利用のみ	無	有	電気	灯油 重油
5	間接利用	HP導入+排湯利用 暖房利用のみ	無	有	灯油	電気
6	間接利用	HP導入+排湯利用 給湯暖房利用	無	有	電気	電気

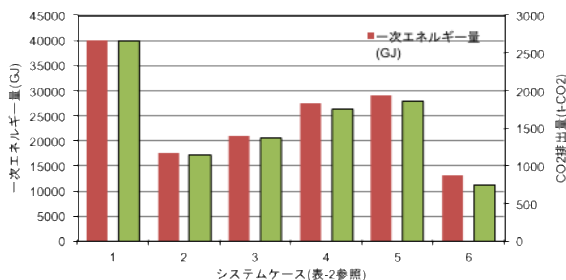


図3.7 年間一次エネルギー消費量、CO₂排出量

(2) 温泉熱のポテンシャル量・利用可能量の算出

温泉熱利用可能量と現状の一次エネルギー消費量を比較すると、温泉熱利用可能量の方が大きいことが分かった。

(3) 温泉熱利用システム導入施設での実測

温泉熱利用システムを導入した施設を実測した結果、システム導入前後で一次エネルギー消費量が約30%削減できることが分かった。このことから、温泉熱利用の有用性を見出すことができた。

5. 今後の展望

(1) 施設レベルおよび地区レベルでの検討

宿泊施設ごとに導入可能なエネルギーシステムおよび予想されるエネルギー削減量、CO₂削減量を地区の関係者に提示するとともに、奥日光湯元地区の環境先進地区としてのビジョン形成のための基礎的資料として活用する。

(2) 推進組織への支援

奥日光湯元地域では、温泉熱利用を検討するための協議会が発足したところである。こうした協議会の活動に関して、技術面、研究面から支援を行なう予定である。本研究の成果発表および外部からの講師を招いてのセミナーを開催したり、先進事例についての情報を提供するなどし、対象地区の環境向上への取組みを支援する。

(3) 地産地消エネルギー計画の教材化

地域のエネルギー資源活用への関心を高めるための教材事例として活用するとともに、地産地消型のエネルギーシステムの一つとして、温泉熱利用のエネルギーシステムを具体的な事例としてとりあげ、システムの簡易設計方法、エネルギー量、CO₂排出量の計算方法を身につけるための教材としてまとめ、地域レベルでの取組みを支援するとともに学生にとっての地産地消エネルギー利用計画のためのスキルを身につける機会を提供する。

【謝辞】本研究を進めるにあたり、奥日光湯元地区の関係各位にアンケート調査にご協力いただきました。また、ゆ宿・美や川、クラフトワーク(株)の関係者には多大なる協力をいただきました。謝意を表します。