

# とちぎにおける地産地消型エネルギーを活かした 環境先進地区形成に関する調査研究

事業代表者 工学研究科・准教授・横尾昇剛

構成員 工学研究科・博士前期課程1年・太田亮平

工学研究科・博士前期課程1年・久我亮介

工学部建設学科建築学コース4年・吉澤彰太郎

## 1. 事業の目的・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重要である。

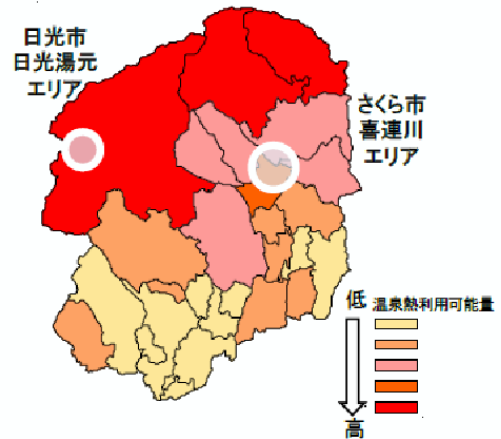
栃木県には温泉地が各地域に立地しており、温泉熱のエネルギーを活用することで、地区の省エネ化・省CO化が図れる可能性がある。

これまで日光湯元地区の温泉排湯利用ヒートポンプシステムの性能検証を行っており、こうしたシステムの有効性を確認しているところである。一方、温泉の排湯熱を回収し、エネルギー源として有効活用する仕組みは、ほとんど利用されていない。栃木県内において、日光湯元地区をはじめとした各地区において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、こうした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ができ、地域の特性を活かした環境先進地区形成の可能性が予想される。

本調査研究においては、昨年度に引き続き、実地調査およびモニタリングを通じて、日光湯元地区での地産地消型エネルギーシステム導入による、エネルギー面、環境面での効果を定量化するとともに、栃木県内の他の地区において、温泉熱利用システムを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、栃木県の各地区において環境への取り組みの促進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）

本研究では日光湯元地区における温泉排湯利用



(図加筆作成：出典、栃木県地球温暖化対策課、栃木県における 再生可能エネルギーの導入拡大に向けた取組について)

図1 調査対象エリアと温泉熱利用可能エリア

表1 日光湯元地区の概要

奥日光エリア概要						
対象施設	延床面積 規模分類)	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	~1,000㎡	10	691	1788.5L/分 55~78°C	夏季 18.1
	中規模	1,001~10,000㎡	12	3,748		冬季 -3.6
	大規模	10,000㎡~	1	12,000		年間 7.4

※夏季7~9月、冬季1~3月

表2 喜連川地区の概要

喜連川エリア概要						
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)	
日帰り温泉施設	2	693	126	655.0L/分 47~74°C	夏季	24.0
宿泊施設	3	6,488	126		冬季	3.0
温泉利用施設	1	1,693			年間	13.1

※夏季7~9月、冬季1~3月

ヒートポンプシステムを導入した施設の性能をモニタリングし、一次エネルギー消費量、CO2 排出量の削減効果を定量化するとともに、室内の温熱環境についても把握し、温泉熱利用の有用性として、一次エネルギー消費量・CO2 排出量の削減効果について建物レベル、地区レベルでの導入効果についてまとめた。

また、日光湯元地区と同様に、源泉温度が50~70°C程度である喜連川地域においても、温泉熱利用のポテンシャルを検討し、本システムの導入効果についての推計値を求めた。

### (1) 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。前年度と同様の実測を行ったが、暖房負荷に加えて、給湯負荷に対応したシステム導入効果と各機器の運転調整による効果の把握を行った。

## (2) 地域全体でのシステム導入効果の算出

日光湯元地区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。算出にあたっては、温泉熱利用ヒートポンプシステムの導入効果の最新の実績値に基づき、計算を行った。

## 3. 事業の進捗状況

### (1) 温泉熱利用ヒートポンプシステムの効果

実測に基づき、温泉熱利用ヒートポンプシステムの一次エネルギー消費量、CO2 排出量を求めた。本システムは、2012 年より導入され、その後、システムの追加、運転調整などを継続的に行っており、改修後、これまでの3ヶ年の期間の変化を結果としてまとめた。図1に温泉熱利用システム、図2に暖房利用時のシステムフロー図を示す。

図3に冬季における外気温の変化とヒートポンプの効率(COP)の変化の図を示す。外気温度が非常に低い状況の中で COP3.5~4.8 程度と高い効率で運転されていることが分かる。

図4に温泉熱利用ヒートポンプ導入による一次エネルギー消費量、CO2 排出量の結果について示す。2013年にシステム導入、2014年冬季に給湯用ヒートポンプ追加導入、2015年システム運転調整を実施。導入前に比べて、システム調整した結果、エネルギー消費量としては約30%削減、CO2 排出量としては約40%削減することが可能であることが確認できた。

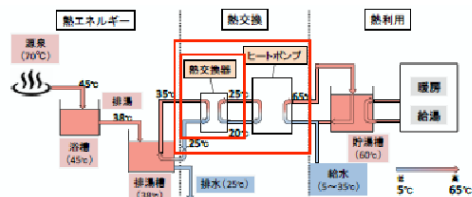


図1 温泉熱利用システム図

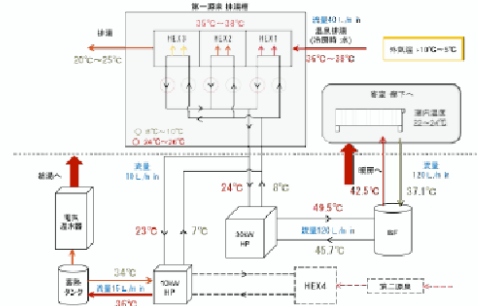


図2 暖房利用時のシステムフロー図

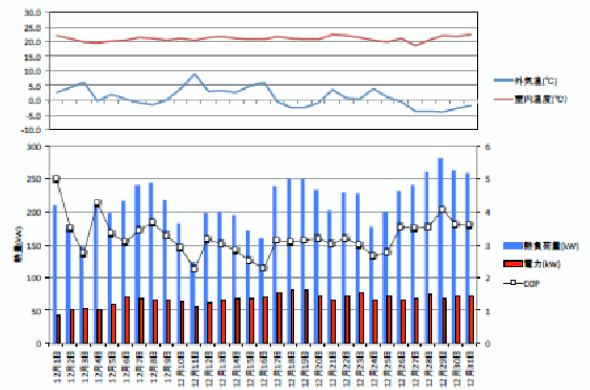


図3 冬季 外気温とヒートポンプ性能

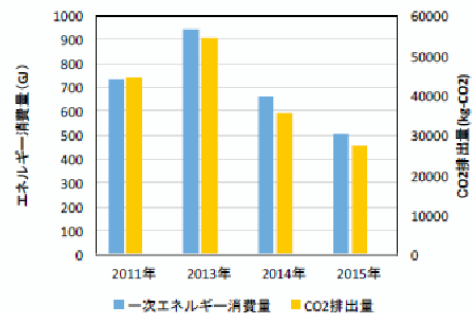


図4 システム導入及び機器運転調整による効果

### (2) 他施設での導入に向けたシステム設計想定

本年度の実測値と現地調査を踏まえ、他施設でのシステム導入効果を推定するための計算フローを設定し、計算を行い導入効果の推計値を求めた。

#### ・規模別利用人員設定

湯元地区の施設調査結果から、以下のように規模別の利用人員を設定した。

表3 規模別利用人員設定

規模	宿泊可能人数	建築面積	空調面積	部屋数	建物数
大	300人~	10000m <sup>2</sup>	8000m <sup>2</sup>	70	10
中	100人~300人	5000m <sup>2</sup>	4000m <sup>2</sup>	35	12
小	~100人	750m <sup>2</sup>	600m <sup>2</sup>	10	1

#### ・温泉熱利用方法(二次側)とシステムの設定

表4に各利用方法の稼働時間設定を示す。

給湯に関しては温泉施設の休業日30日を年間日

数から引き 330 日間稼働、空調は暖房利用のみを  
考えるため暖房期間の 190 日を設定した。

また流量は施設規模別の利用人員に関連して決  
定し、日光湯元地区の源泉量と施設数を考慮して  
各値を設定した。利用温度は安全側の設計とする  
ため、源泉(引湯)温度は 65℃に設定、浴槽利用温  
度は 45℃とし、排湯温度は 35℃とした。

表 4 暖房、給湯の熱利用量の設定

用途	内容
給湯稼働時間	8時間(330日)
空調稼働時間	12時間(190日)
加温器稼働時間 (給湯補助)	5時間
流量(L/min)	大規模 200L/min 中規模 100L/min 小規模 50L/min
温度	源泉 65℃ 浴槽使用 45℃ 排湯 35℃

### システム 1 : 既存モデル

現在各施設に用いられているシステムであり、  
基本的には重油や灯油などの化石燃料を用いたシ  
ステムとする。

### システム 2 : 源泉利用熱交換器導入

熱交換器を源泉側に導入し、高い熱量を得るシ  
ステムとする。排湯槽を設けずに直接熱交換器に  
温泉水を通すタイプの熱交換器を想定。源泉温度  
から適切な熱利用を考え給湯利用のみと設定。

### システム 3 : 排湯利用熱交換器導入

熱交換器を排湯側に設け、低い熱量を利用する  
システムである。排湯槽を設けることで時間をか  
けて採熱を行なうシステムとする。排湯温度は源  
泉温度に比べて低いため、暖房利用のみを設定。

### システム 4 : 排湯利用 HP 導入 (給湯利用)

排湯のみの利用だと熱量が限られているため、  
HP を導入することで必要な熱量を製造する。HP  
を導入する場合は給湯利用する場合と暖房利用す  
る場合とで利用可能量が変化するため、各用途の  
ケースは別々で考える。

### システム 5 : 排湯利用 HP 導入 (暖房利用)

システム 4 の利用方法を暖房に変えたシステム  
である。給湯利用よりも利用温度帯が低いため、  
効率の向上が期待できる。

### システム 6 : 排湯利用 HP 導入 (給湯・暖房利用)

システム 4、システム 5 の組み合わせ。

### システム 7、8 : HP のみ導入 (温泉熱利用なし)

温泉熱を利用しない場合でも HP の導入は可能  
であり、HP 導入のみで暖房利用、給湯利用設定。

#### ・機器の仕様設定

表のとおり、規模別に機器の仕様を想定し計算  
を行った。

表 5 暖房、給湯用機器の仕様の設定

システム	規模	用途	定格燃料消費量	定格出力	消費電力	設計流量	配管往復 基準温度	コスト(千円)
既存システム	大規模	給湯	233kW(25.9L/h)	233kW	0.45kW	55.5L/min	15℃→65℃	16713
		暖房	-	-	-	166.67L/min	60℃→80℃	
		電気温水器	-	6.4kW	6.4kW	-	-	
	中規模	給湯	130kW(16.8L/h)	130kW	0.24kW	36L/min	15℃→65℃	3990
		暖房	-	-	-	108.3L/min	60℃→80℃	
		電気温水器	-	6.4kW	6.4kW	-	-	
小規模	給湯	48.4kW(4.7L/h)	46.5kW	0.085kW	15L/min	15℃→65℃	1784	
	暖房	5.65kW(0.55L/h)	3.325kW	0.027kW	-	22℃		
	電気温水器	-	6.4kW	6.407kW	-	-		
熱交換器	-	源泉利用	効率 0.8	-	-	-	-	2500
		排湯利用	効率 0.8	-	-	-	-	1000
システム	規模	用途	定格出力	消費電力	定格COP	採熱側	温湯側	コスト(千円)
	大規模	給湯	231kW	63.6kW	3.6	12℃→7℃	60℃→65℃	82077
温泉熱利用 システム	大規模	暖房	390kW	100.8kW	3.9	12℃→7℃	40℃→45℃	42510
		給湯	130kW	25.4kW	3.6	12℃→7℃	60℃→65℃	
		暖房	221.2kW	54.8kW	4.1	12℃→7℃	40℃→45℃	
	中規模	給湯	45.6kW	12.7kW	3.6	12℃→7℃	60℃→65℃	12256
		暖房	30kW	6.5kW	4.3	0℃→5℃	30℃→35℃	

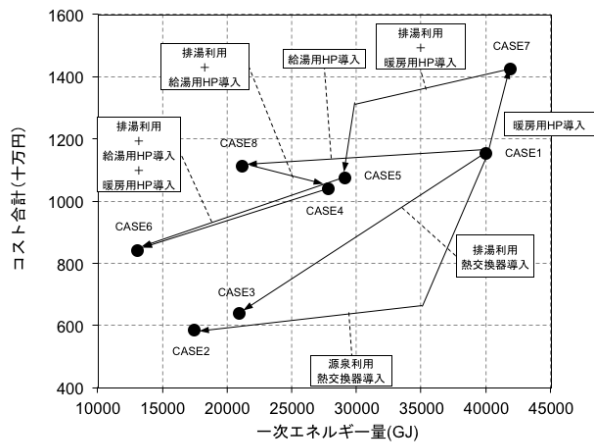


図 5 システム導入効果 (コストとエネルギーの関係)

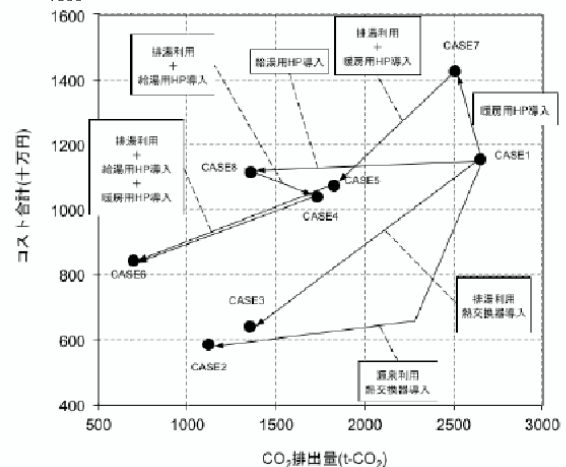


図 6 システム導入効果 (コストと CO2 の関係)

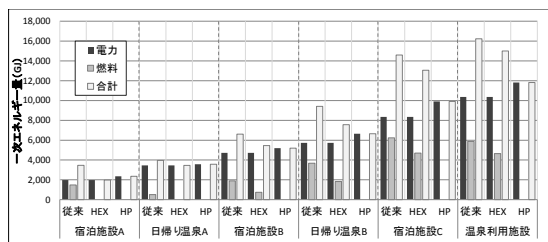
年間一次エネルギー量と年間コスト総計の相関  
ベクトル図を示す (図 5)。熱交換器導入のみでも  
コスト的には高い効果を得られると推定されるが、

一次エネルギー量が最も削減されるのはケース6の排湯利用HPシステムという結果になった。またHPのみを導入しても効果はあまり得られず、温泉熱を有効利用する手法を取り入れることでエネルギー量、コスト両面で大きな効果が得られる。

年間CO2排出量と年間コストの相関ベクトル図を示す(図6)。基本的に排湯利用HPを用いたシステムを用いることでCO2排出量の減少は可能であることがわかるが、熱交換器を用いるだけでも十分な効果が見込め、環境に配慮したシステムとなることがわかる。しかし、源泉の熱利用の際には源泉温度、源泉供給量の制約などの点を十分考慮することが必要である。

### (3) 他地区での導入効果の推計

喜連川地区においてシステムを導入した際の効果を推計した。結果を図7に示す。



従来：従来システム、HEX：熱交換器導入、HP：温泉熱利用HP導入

図7 システム導入効果の推計(一次エネルギー量)

### (4) 温泉熱利用意向に関する調査

日光湯元地区、喜連川地区の各施設へのアンケート調査を行った。図8に結果を示す。

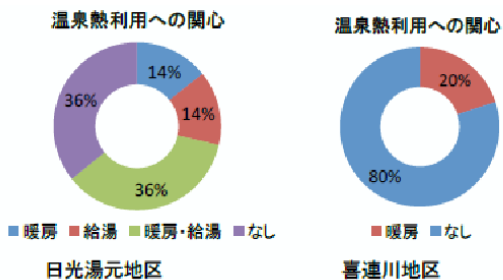


図8 各地区における温泉熱利用の関心度

## 4. 事業の成果

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エネルギー消費量、CO2排出量が約30~40%程度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。また温泉熱利用システム導入に

際して、想定されたシステムごとの導入効果の推計を求め、他施設、他地区での導入のための基礎的データを整備することができた。

## 5. 今後の展望

### (1) 地区全体での検討

栃木県内の他の地区における熱的エネルギー利用の活用可能性の検討を引き続き行い、本研究成果を栃木県における地域のエネルギー利用を見出すきっかけとしてのツールとして活用する。

特に、日光湯元地区においては、本研究で検証したシステムの導入はエネルギー面、環境面、経済面において効果的であり、将来的なビジョンとして日光湯元地区を環境先進地区として形成していくための基礎的資料として活用する。

### (2) 温泉熱エネルギー利用推進の支援

日光湯元地区では、温泉熱利用を検討するための協議会が発足し活動している。こうした協議会の活動に関して研究面から支援を行なうとともに、他の地区に向けた、温泉熱エネルギー利用の効果に関して情報を提供していく予定である。

### (3) 地産地消エネルギー利用方法の教材化

宇都宮大学に新しく設置される地域デザイン科学部建築都市デザイン学科において、新しい科目として「地域環境エネルギー計画」や、また実習、実験として「建築地域設計製図」、「建築環境実験」などが用意されており、こうした授業において本研究成果を活用する予定である。

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、建物レベル、地区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を計画する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、日光湯元地区の関係各位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)の方々には各種の協力をいただきました。感謝の意を表します。