

**再生可能エネルギー熱利用技術開発/  
その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの  
高効率化・規格化/  
温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネット  
ワーク構築技術の研究開発**

三毛 正仁  
(株)総合設備コンサルタント  
(公)大阪市立大学  
2019年10月17日

問い合わせ先  
株式会社総合設備コンサルタント  
エネルギーコンサルティング推進室  
E-mail:m.mike@socon.co.jp  
TEL:03-5453-3057

# ◆事業概要

## 1. 期間

開始:2014年7月

終了:2019年2月

## 2. 最終目標

温泉熱利用による集中型の熱供給システム(以降「集中型の熱供給システム」と呼ぶ)に対して、温泉熱と排湯熱のハイブリッド方式での熱回収による地域熱源水ネットワークシステム(以降「ハイブリッド熱源水ネットワークシステム」または「提案システム」と呼ぶ)の技術構築を行い、実証により10%以上の導入コスト低減を実現させること。

## 3.成果・進捗概要

- FSにより集中型の熱供給システムに比べ、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの方が約10%以上導入コスト削減が可能ことが確認された
- ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの要素技術となる熱交換器や配管などの個別機器について、小規模な試験装置を用いて個別の性能把握試験を実施し、試験により目標性能・価格に達することが確認された
- 小規模サイズの実証試験装置を構築し試験を行い、実環境下で熱融通及び運転制御システムが正常に動作することが確認された。また、当該試験結果を使って精度検証したシステムモデルによるシステム評価でも、集中型の熱供給システムより提案システムの方が約10%以上の導入コスト削減が可能ことが確認された

# ◆背景と目的

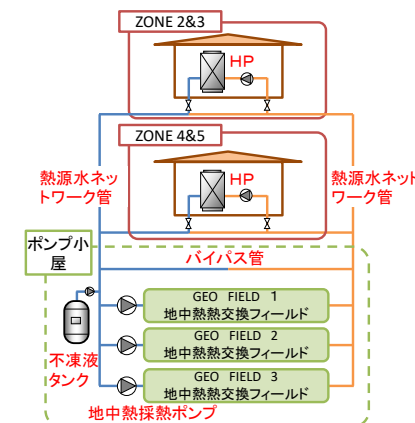
背 景	課 題
<p>① 源泉は、温度レベルに応じ低温泉から高温泉まで分かれており、国内では高温源泉からプレート式熱交換器で熱交換して温泉熱を利用した事例等がある。</p> <p>② 温泉大国である我が国は、<u>源泉数は23,500か所以上あり温泉熱の賦存量が多い。</u></p> <p>③ 日本では、建物単体での利用が多いが、地域面的な熱融通による温泉熱の利用メリットが大きい。地域面的な熱利用の方法として、集中型の熱供給システムと熱源水ネットワーク方式がある。</p>	<p>① 事例は存在するが、泉質ごとに熱交換器等に<u>スケール対策が必要</u>であり、システムの一般化が難しい。</p> <p>② <u>温泉旅館は全国に43,000軒以上あり、源泉数は多いが温泉を保有していない旅館も多い。⇒低温源泉を購入して加温、保温のために莫大なエネルギーを消費している。</u></p> <p>③ 集中型の熱供給システムと熱源水ネットワーク方式のどちらの方式においても、<u>配管敷設費などのインニシャルコストが高価</u>となる。特に、集中型の熱供給システムでは、高断熱性が求められるため高価である。</p>

## 開発内容

- 源泉を保有している施設と、保有していない施設で、温泉熱を共有することで地域面的に省エネを図る。
- 排湯は全ての施設から排出されるため、温泉熱と排湯熱からの熱回収を行うための、スケール対策やメンテナンスが容易な熱交換器を開発する。
- 温泉熱と排湯熱からの熱回収するハイブリッド方式の熱源水ネットワークシステムとすることで、ネットワーク内の温泉利用施設間で、地域面的に有効利用率を向上できる。

## 海外での熱源水ネットワークの事例

欧州やアメリカ、カナダ等では、再生可能エネルギーを活用した面的利用の事例が複数存在。



カナダ ギブソンの熱源水ネットワークシステムの事例

## 目 標

温泉熱利用による集中型の熱供給システムに対して、温泉熱と排湯熱のハイブリッド方式での熱回収による熱源水ネットワークシステム技術の構築を行い、実証により10%以上の導入コスト低減を実現させることを目標として研究開発を行う。

# ◆事業スケジュール

当該年度の成果を報告

テーマ	事業項目	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
[1]調査	①実現可能性調査	FS(調査等)				
	②温泉街における宿泊施設のエネルギー利用実態調査	実測調査・分析	実測調査・分析			
	③材料浸漬試験	テストピースの設置	スケール付着・腐食状況の確認			
	④国内外技術動向調査	国内外技術調査	国内技術調査			
[2]個別技術の開発	①熱交換器の低コスト化と高効率化	小型モデルの製作・低コスト化検討 熱交換器配管継ぎ手の検討	熱交換器の製作・試験 継ぎ手の試作・信頼性試験	改良・低コスト化検討		
	②上水予熱用熱交換器の開発	仕様検討	試作・試験	試験・改良検討	実証試験設備での性能試験、価格設定の検討	
	③低コストの保温性のある配管と継手の開発	材料調査 配管・継手の構想案検討	試作・ラボ評価 施工性の検討	断熱性能の確認試験	実証試験設備での性能試験、価格設定の検討	
	④個別技術の小規模性能把握試験装置の構築	小規模性能把握 試験設備の設計	小規模性能把握試験 試験設備の構築	維持管理 改良・撤去		
[3]実証試験	①実フィールドでの実証試験	設備システム調査			実証試験設備の構築	実証試験
[4]システム評価	①事業採算性を見極めるための実現可能性調査		既存システムとの比較・検討、 経済性、環境性検討	導入効果の検討	個別試験結果及び実証試験結果を フィードバックした検討結果の見直し	
	②システム導入適用可能条件の検討				システムの導入 適用条件の検討	システムの導入 適用条件の検討
	③事業スキームの検討			事業スキーム、 実施体制の検討	事業スキームに 関する再検討	事業スキームに 関する再検討
	③検討委員会の開催	検討会	検討会 検討会	検討会 検討会	検討会 検討会	検討会 検討会

# ◆事業実施体制

NEDO

(株)総合設備コンサルタント

- ・研究実施場所:  
大阪事務所(大阪)、本社事業部(東京)、某温泉施設
- ・研究開発項目:  
[調査]  
実現可能性調査、エネルギー利用実態調査、材料浸漬試験、国内外技術動向調査  
[個別技術開発]  
熱交換器の開発、上水予熱用熱交換器の開発、保温性のある配管の開発

再委託

大日本プラスチック(株)

- ・研究実施場所:  
松戸製造所、東京支社、大阪本社
- ・研究開発項目:  
保温性配管の開発

(公)大阪市立大学

- ・研究実施場所:  
工学研究科(大阪)、某温泉施設
- ・研究開発項目:  
[調査]  
実現可能性調査、エネルギー利用実態調査、材料浸漬試験、国内外技術動向調査  
[個別技術開発]  
熱交換器の開発、上水予熱用熱交換器の開発

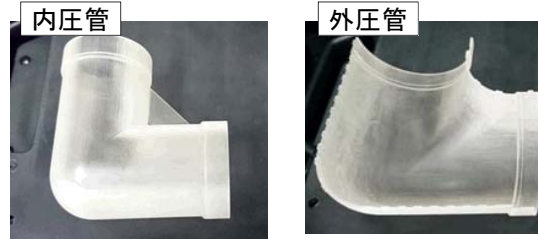
# ◆各個別テーマの成果と意義

## (1) 実現可能性調査

- ・シミュレーションにて、既存システムに対し、導入コストが約10%低減することを確認(4施設による構成を想定)。また、最適なシステムモデルとその他諸条件を明らかにし、**各技術開発項目のコスト見通し**を立てた

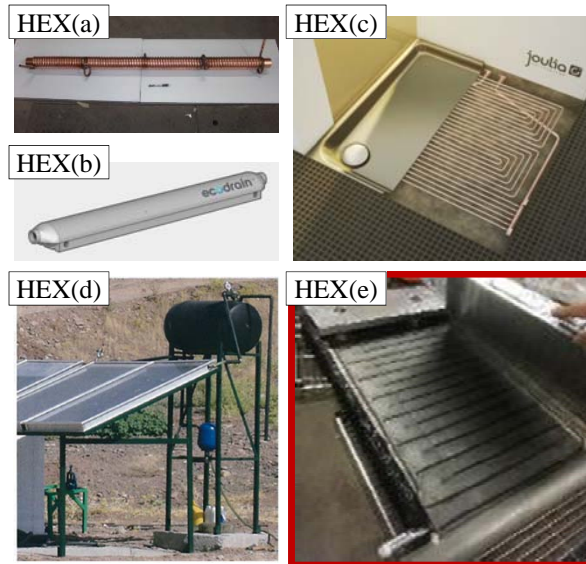
## (3) 保温性のある低コスト配管の開発とその接続継手の開発

- ・試作品(直管)によるラボサイズ試験とシミュレーションにより保温性能を確認
- ・その際のコスト検討を行い、配管継手を射出成型品とすることで目標価格を達成する見通しを確認
- ・継手の試作品を作成(含水率の高い土壌での使用を考慮し、内圧管と内圧管・外圧管による2パターンを検討)

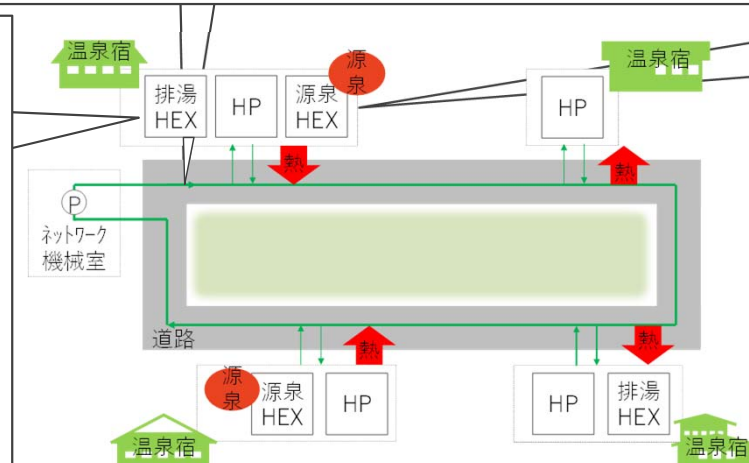


## (4) 浴場における排湯熱回収用熱交換器の開発

- ・小型熱交換器**5種類**(HEX(a)～(e))の仕様検討(形状、熱交換性能)を行い、**2種類の実規模熱交換器を試作**

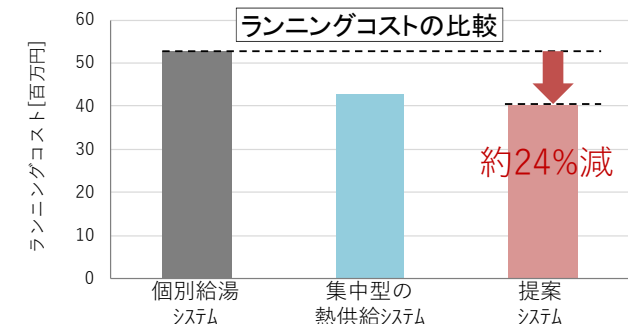
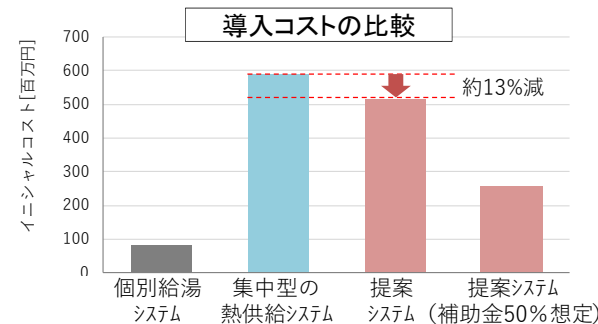


- ・実証試験により確認した性能で**目標価格を達成**することを確認(目標1万円/kWに対し、0.9万円/kW)



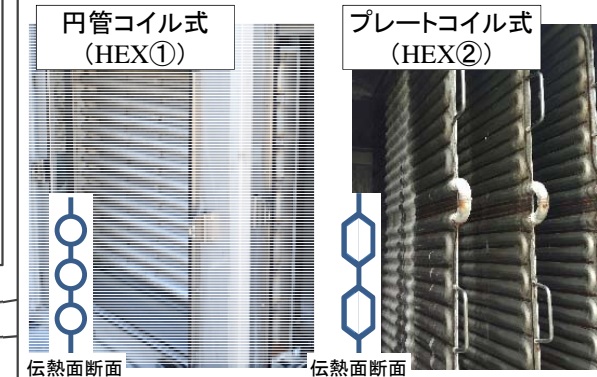
## (5) システム評価

- ・実証試験により、実環境下でハイブリッド熱源水ネットワークシステムの動作を確認。
- ・実証試験結果で精度を検証したシステムモデルを用いたシステム評価により、提案システムが集中型の熱供給システムに比べ、導入コスト10%以上低減することを確認



## (2) 流下液膜式熱交換器

- ・2パターンの熱交換器を試作し、温泉下での試験を実施



- ・実証試験により確認した性能で**目標価格を達成**することを確認(目標3万円/kWに対し、2.9万円/kW)
- ・試作したプレート式熱交換器のコンパクト化に向けた検討を行い、さらなる低コスト化の見通しを立てた

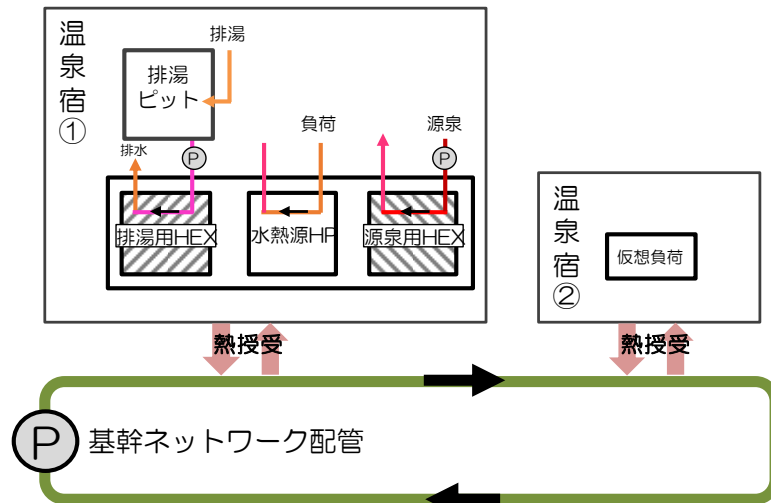


# ◆各個別テーマの成果と意義

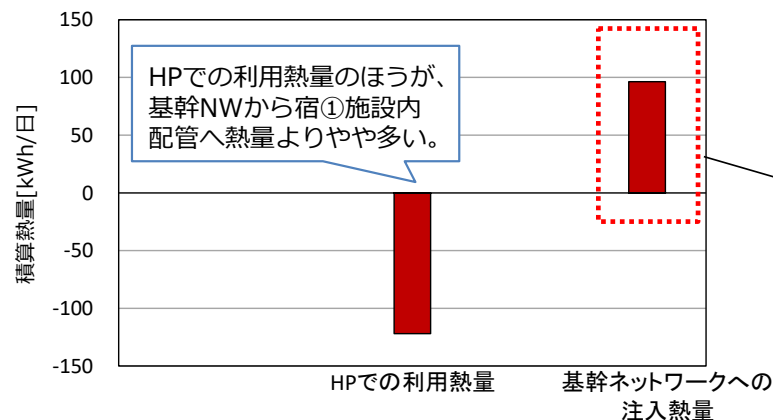
## 研究開発成果：(5)システム評価

### システムの挙動確認及びシミュレーションモデルの精度検証

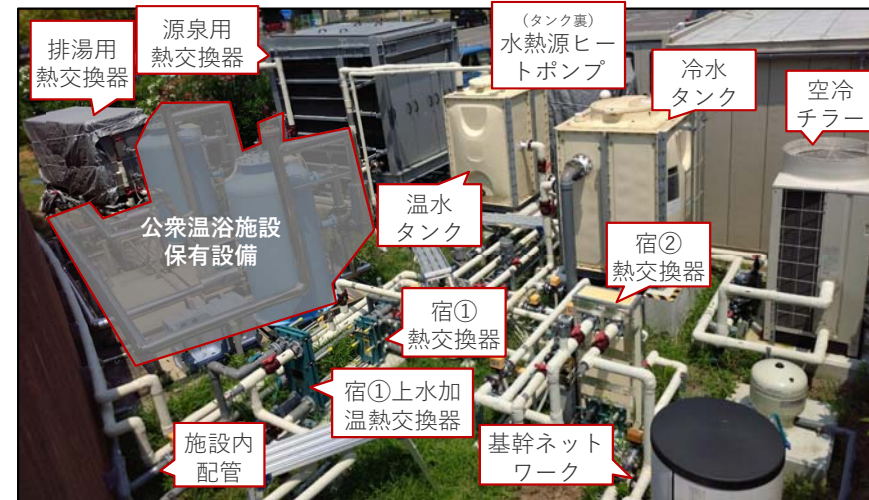
- 小規模な実証試験装置を構築し、構築した試験装置でハイブリッド熱源水ネットワークシステムによる熱融通が可能であるか確認を行うとともに、運転制御システムの動作確認及び課題抽出を行った
- 実環境下の試験で得られた運転データを用いて、作成したシミュレーションモデルの精度確認を行った



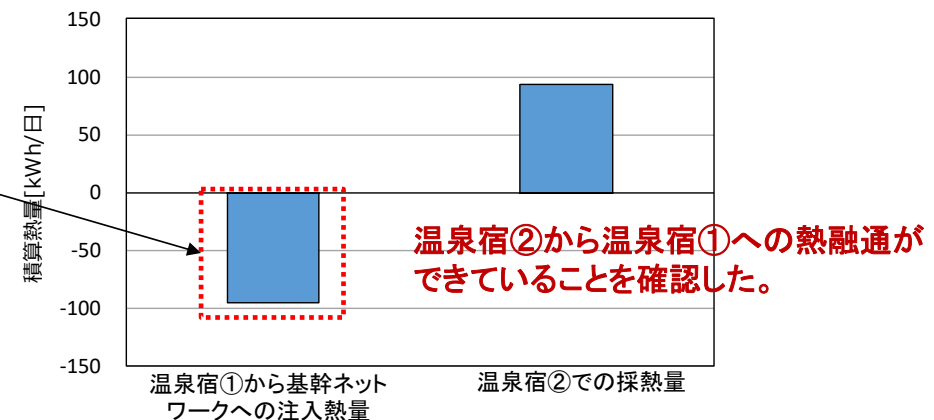
実証試験装置 構成概要



温泉宿①における熱収支の比較



実証試験装置 概要写真



施設間熱収支の比較

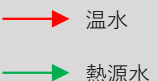
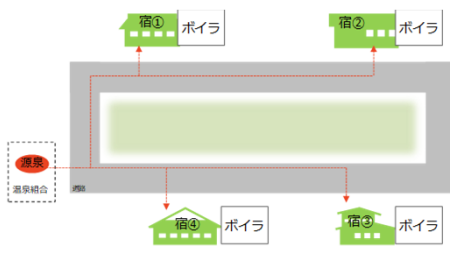
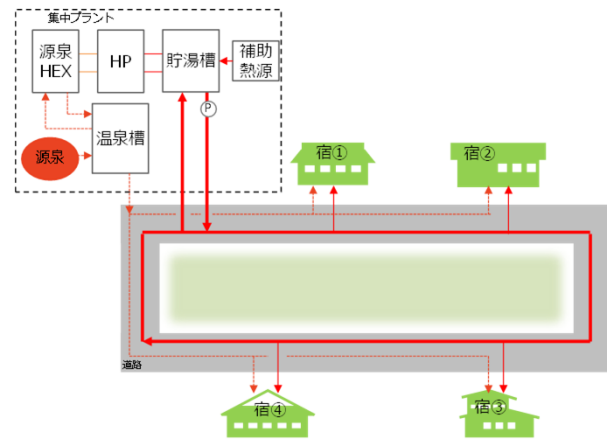
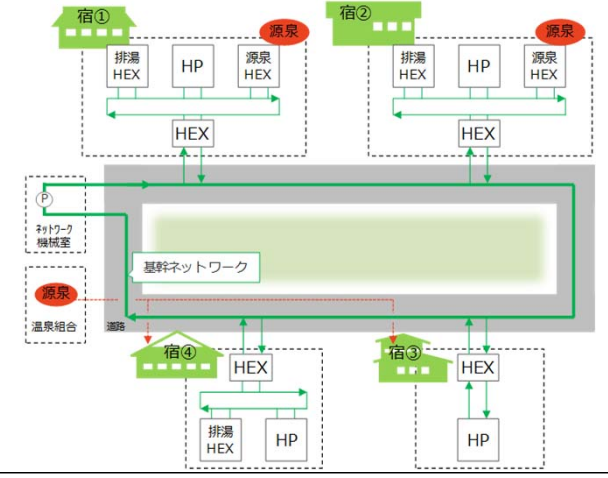
【成果】正常に熱融通及び運転制御システムが動作していることが確認された。また、実証試験結果よりシステムモデルの精度が確認された。

# ◆各個別テーマの成果と意義

## 研究開発成果：(5)システム評価

### システム評価

- システム導入による効果を確認することを目的に、集中型の熱供給システムとハイブリッド熱源水ネットワークシステムのモデルを構築し、これらのモデルを基に導入コストの試算・比較を行った。システム評価用のモデルは、小規模な実証試験装置による実環境下での運転データによって精度確認を行ったモデルを使用した
- 同モデルを使って、エネルギー消費量、COP等を確認し、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムと個別給湯システムとの比較による投資回収年数の確認を行った

名称	個別給湯システム	集中型の熱供給システム (源泉集中型温泉給湯ネットワークシステム+温泉集中配湯)	ハイブリッド熱源水ネットワークシステム (源泉分散型温泉・排湯熱源水ネットワークシステム)
<b>イメージ</b> 凡例 	 <ul style="list-style-type: none"> <li>旅館単独でのボイラによる給湯システム</li> </ul>		
<b>特徴</b> ●: メリット ■: デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 導入が容易</li> <li>● インitialコストが安価</li> <li>■ 化石燃料を消費する</li> <li>■ エネルギーコストが高価となる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 未利用熱回収システムを各施設で保有する必要がないため、設備管理が容易</li> <li>■ 高温の給湯を配るため、高い断熱性能が必要であり、導入コストが高い</li> <li>■ 未利用熱が集中的に存在する必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ネットワーク配管が単一であり接続口も少ないため、敷設費がさがることから<b>導入コストが低減</b>できる</li> <li>● ネットワーク配管径の管径が小さい</li> <li>● 温度レベルの異なる2種類の熱源(源泉、排湯)をハイブリッドに利用する</li> <li>■ 配管内の熱源水温度が平均化されるため最大効率が集中型の熱供給システムより低下する</li> </ul>
導入事例	-	草津温泉、湯野浜温泉	なし

※前提として地域として源泉が多量にあり、熱賦存量が膨大にあっても、熱が偏在しているため融通が必要となる地域を想定

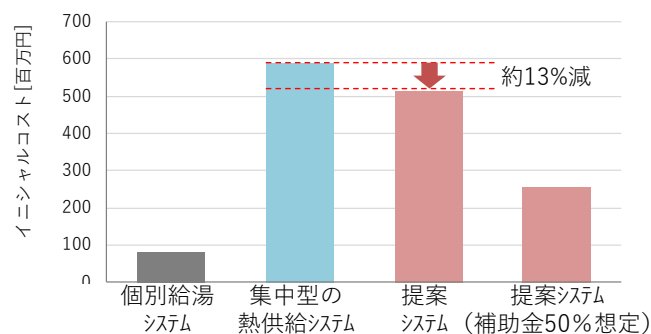


# ◆各個別テーマの成果と意義

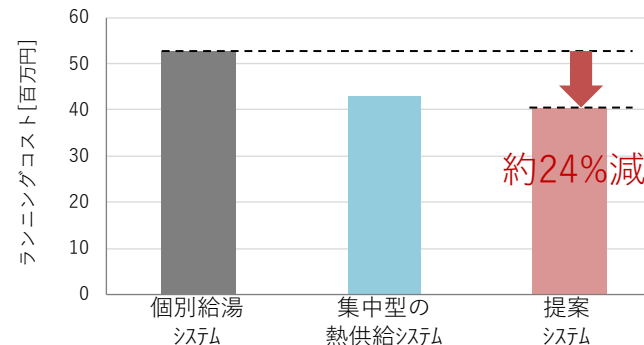
## 研究開発成果：(5)システム評価

### システム評価結果

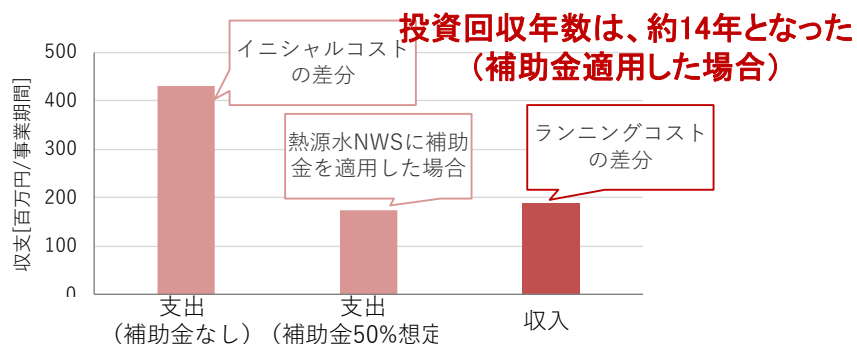
- 比較対象である集中型の熱供給システムとハイブリッド熱源水ネットワークシステム、個別給湯システムの導入コスト、ランニングコスト、想定事業期間内におけるキャッシュバランスを算出して投資回収年数を確認した。
- 環境効果を確認するため、CO<sub>2</sub>排出量の算出・比較も行った



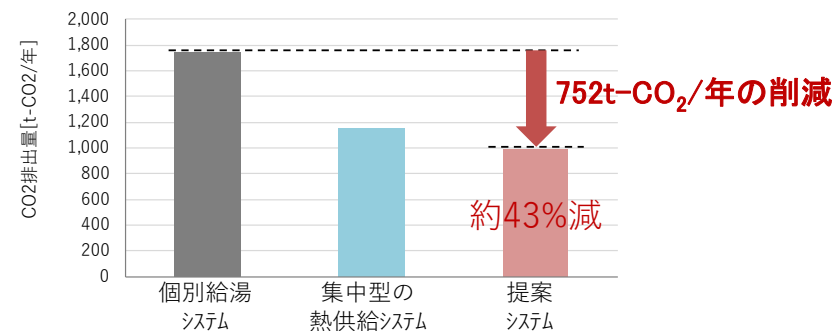
導入コストの比較



ランニングコストの比較



事業期間におけるキャッシュバランスの比較



CO<sub>2</sub>排出量の比較

【成果】小規模な実証試験結果を基に精度を検証した実規模シミュレーションモデルによるコスト比較にて、集中型の熱供給システムに対して、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの導入コストが約13%安価となることが確認された。また、個別給湯システムに対し、ランニングコストが約24%、CO<sub>2</sub>排出量が約43%削減されることを確認し、補助金を適用した場合15年以内に回収できることを確認した。

# ◆目標達成状況

※達成状況 ◎:大きく上回って達成、○:達成、△:一部達成、×:未達成

開発項目	目標	成果	達成状況
事業全体	<ul style="list-style-type: none"> <li>温泉熱利用による集中型の熱供給システムに対して、温泉熱と排湯の熱回収による熱源水ネットワークシステム技術の構築を行い、実証による10%以上の導入コスト低減を実現させることを目標とし研究開発を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FS及び実証試験結果を反映したシミュレーションによるシステム評価にて、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト10%以上低減することを確認した</li> </ul>	○
(1)実現可能性調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>実現可能性調査によりハイブリッド熱源水ネットワークシステムと集中型の熱供給システムの比較検討を行い、導入コスト10%低減が見通せることを示す</li> <li>最適な実用化システムと実証装置の規模及びその前提条件、運用条件を明確にすると共に、システム各構成要素の目標コスト、技術課題を整理して実用システムとして採算が取れるコストの見通しを立てる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4施設を想定したシミュレーションによるFSにて、既存システムと比較して導入コストが約10%低減することを確認した</li> <li>最適なシステムモデルとその他諸条件を明らかにするとともに、各技術開発項目のコスト見通しを立て、当該見通し達成に向けた個別技術開発を実施した</li> </ul>	○
(2)流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>流下液膜式熱交換器を1パターン以上試作する</li> <li>温泉熱利用に適した流下液膜式熱交換器を開発し、実証試験により、コスト3万円/kW以下を達成する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2パターンの熱交換器を試作し、温泉下での試験を行った</li> <li>実証試験により確認した性能※1で約2.5万円/kWとなることを確認した</li> </ul>	○
(3)保温性のある低コスト配管の開発とその接続継手の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手を各2パターン以上試作する</li> <li>実証試験により、空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手のコストが合わせて5万円/m以下を達成する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥土壌条件と含水率が高い土壌条件を想定した、2種類の管路と縮小サイズの継手を試作した。</li> <li>試作品によるラボサイズ試験とシミュレーションにより保温性能を確認した。また、その際のコスト検討を行い、配管継手を射出成型品とすることで目標価格を達成する見通しを確認した</li> </ul>	○
(4)浴場における排湯熱直接回収用熱交換器の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>上水予熱熱交換器の小型試作器の仕様を3パターン以上検討し、1パターン以上試作する</li> <li>実証試験により、①実現可能性調査により明らかにした目標コスト(1万円/kW以下)を達成する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型熱交換器5種類の仕様検討(形状、熱交換性能)を行い、2種類の実規模熱交換器を試作した</li> <li>実証試験により確認した性能※2で約0.9万円/kWとなることを確認した</li> </ul>	○
(5)システム評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験により、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト10%低減を達成する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験結果により精度検証を行ったシステムモデルを用いたシステム評価により、提案システムが比較システムである集中型の熱供給システムに比べ、導入コスト10%低減することを確認した</li> </ul>	○

※1: 源泉入口温度63℃、熱源水入口温度17℃、源泉流量約96L/min、熱源水流量約93L/min、

※2: 想定排湯温度40℃、排湯流量約0.4L/s、熱源水温度19℃、熱源水流量約0.2L/s