

都市域の下水管路網を活用した下水熱利用システムの研究

—省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用システムの導入可能性検討手法の提案—

STUDY OF THE SEWAGE HEAT UTILIZATION SYSTEM

BY USING SEWAGE WATER PIPELINE NETWORK

—PROPOSAL OF A FEASIBILITY STUDY METHOD OF THE SYSTEM

IN TERMS OF ENERGY-SAVING AND ECONOMIC EFFICIENCY—

地域環境計画 中村賢司

既存下水管路網を活用した下水熱利用システムの普及に向け、導入検討に必要な情報の整備が重要である。そこで、本研究では省エネルギー性と経済性から見た簡易な下水熱利用システムの導入可能性検討手法を提案する。そのために、温暖地・寒冷地の外界条件下でシステムシミュレーションを行い、従来システムに対する下水熱利用システムの導入効果を算出した。得られた結果を用いて各システムの一次エネルギー消費量とランニングコストの原単位を作成し、初期設備投資・設備運用費まで含めた下水熱利用システムの導入可能性を検討する手法を提案した。

For promotion of the system by using sewage water pipeline network, more information should be offered the business operator in order to consider introduction of the system. Therefore, in this study we propose a simple feasibility study method in terms of energy-saving and economic efficiency. We have run the system simulations of hot water supply system including heat exchange between sewage water and heat source water for Osaka, Sendai and Sapporo. The basic units for primary energy consumption and running costs are offered by using the obtained results through the simulation and proposed a feasibility study method of the system considering the initial facility investment and operating costs.

1 研究背景・目的

下水熱利用システムの普及に向け、検討の基点となる地方公共団体や民間事業者などの主体が下水熱利用の基本的な検討を行えるように、下水熱利用導入時に役立つ検討資料を整理することが重要である。

しかし、課題として図1に示す通り温暖地よりも寒冷地の方が下水と外気の温度差が大きくなる月が多い事から、寒冷地の方が下水熱利用効果は大きくなると考えられているにも関わらず、導入検討対象地域が東京都や大阪市などの温暖地に限られている事や、三毛ら¹⁾によって提案された既往の手法では下水熱の熱供給量と建物側の熱需要量との熱需給バランスによる導入可能性評価にとどまっており、一般的なFS(実現可能性検討)の際に評価する省エネルギー性・経済性の観点まで考慮した手法ではない事などが挙げられる。

そこで、本研究では以上の課題を踏まえ、以下の二

項目を目的として研究を進める。

- 1) 温暖地(大阪市)と寒冷地(仙台市, 札幌市)それぞれの外界条件を用いてシステムシミュレーションを行い、下水熱利用システムの導入効果の地域性を把握する。
- 2) 下水熱の熱供給量と建物側の熱需要量との熱需給バランスのみならず、省エネルギー性・経済性まで含めた下水熱利用導入可能性の検討手法を提案する。

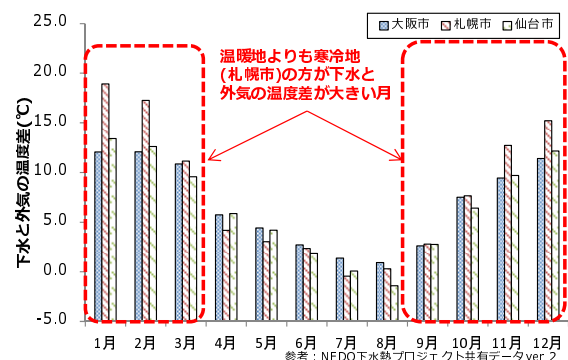


図1 地域別の下水と外気の温度差

2 下水熱利用システムシミュレーションの方法

2.1 下水熱利用システムの導入効果の評価方法

下水熱利用システムの導入効果の評価方法の概要を表 1 に示す。本研究では省エネルギー性・経済性の二つの観点から評価する。前者については下水熱利用システムと従来システムの一次エネルギー消費量を比較することで評価する。後者については各システムのランニングコスト(エネルギー・メンテナンスコスト)とイニシャルコストを求め、さらに式 1 によって単純投資回収年数を算出し、それらを比較することで従来システムと比べた下水熱利用システムの導入効果の評価する。

$$\text{単純投資回収年数(年)} = \frac{\text{下水熱利用Sのイニシャルコスト(円)}}{\text{従来Sと下水熱利用Sの年間ランニングコストの差分(円/年)}}$$

式 1

2.2 下水熱利用システムの導入効果算出の流れ

下水熱利用システムの導入効果算出の流れを図 2 に示す。まず下水熱利用システムおよび従来システムのシステムモデルを構築し、各システムにおいてシステムシミュレーションを行う事で、システム全体の消費電力やガス消費量を求める。次に、システム毎に求めた消費電力とガス消費量を、各換算係数^{*1}^{*2}^{*3}を用いて、一次エネルギー消費量とエネルギーコスト(電力料金やガス料金)に換算し、それらを比較することで下水熱利用システムの導入効果を算出する。

2.3 計算手法

本研究で行うシステムシミュレーションの計算方法の流れを図 3 に示す。流体の流量、圧力、温度を入出力状態量として、連続の式、運動方程式、エネルギー方程式、機器特性式を立て、数式モデルを構築し、構築した数式モデル(モジュールと呼ぶ)を MS-Excel のソルバー機能を使用してモジュール全体の連立方程式を解く。

2.4 給湯システムモデル

本研究では、給湯利用のみについて検討する。下水熱を利用した給湯システム概念図を図 4 に示す。さらに、従来システムについてはガスボイラ方式と空冷 HP 方式を考えるが、例として空冷 HP を利用した給湯システム概念図を図 5 に示す。給湯方式は熱源機を用いた一次加温のみで補給水は一過式を考え、給湯水の循環による配管熱ロスや圧力損失は無視するものとする。また、貯湯槽の方式は開放型貯湯槽を想定し、貯湯槽の内部の水は完全混合しているものとする。

ポンプは、従来システムについては熱源機から貯湯槽の搬送用、貯湯槽から建物への搬送用、下水熱利用システムに関してはこれら 2 つに加えて、熱源水の循環用、熱交換器への下水取水用ポンプの計 4 つとする。

表 1 下水熱利用導入効果の評価方法概要

評価項目	評価指標	算出方法
省エネルギー性	一次エネルギー消費量	システムシミュレーションにより算出
経済性	ランニングコスト	エネルギーコスト メンテナンスコスト
	イニシャルコスト	システムシミュレーションにより算出 経年費として熱源機の30%に一律設定
	単純投資回収年数	各構成機器の価格を積み上げ Rコスト、Lコストを用いて算出

※試作機のイニシャルコストは現段階での想定価格を使用

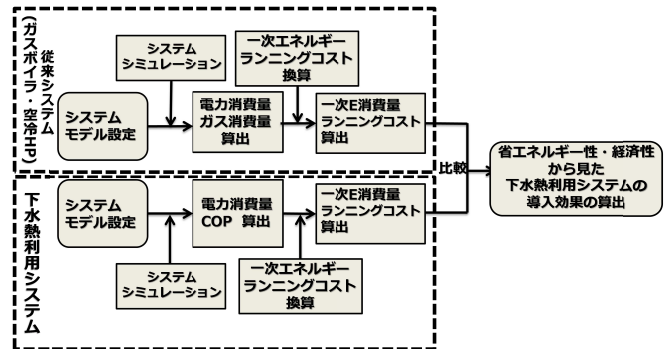


図 2 下水熱利用システムの導入効果算出の流れ

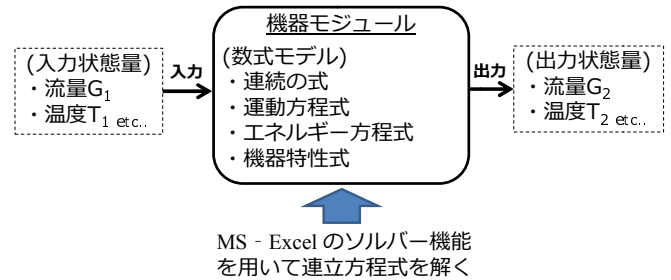


図 3 システムシミュレーションの計算方法

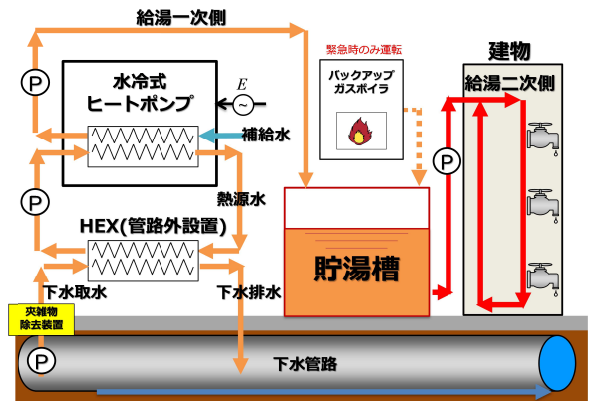


図 4 下水熱利用給湯システムモデル

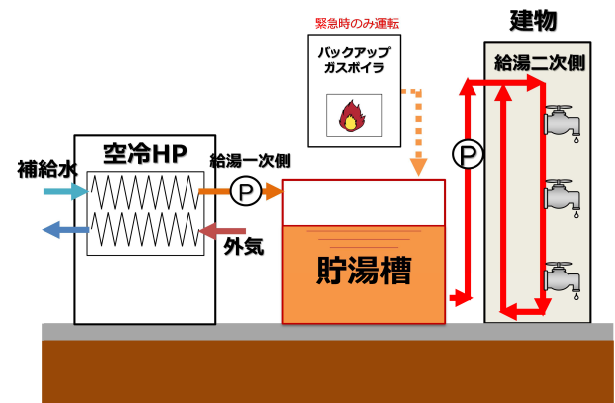


図 5 従来の給湯システムモデル(例: 空冷方式)

3 温暖・寒冷地における下水熱利用導入効果の試算

3.1 計算条件

シミュレーションの計算条件を表2に示す。計算期間は、季節別(春期・夏期・秋期・冬期)の各1日の代表日において一時間毎の計算を行う。また、各季節代表日のシミュレーション計算結果に各季節の日数を乗じて積算する事で、季節別のエネルギー消費量・ランニングコストを求める。さらに、それらの結果を積算することで年間の一次エネルギー消費量・ランニングコストを求める。なお、システム運転方式は貯湯槽を利用した蓄熱給湯運転とする。熱源機の運転方法は熱源機の加熱能力を常に一定とし、季節間の負荷変動は熱源機の運転時間を変更する事により対応する。バックアップとしてガスボイラを設置するが、緊急時のみに運転するという位置づけのためイニシャルコストには反映するがエネルギー試算には反映しない。温水出口温度は常に65(degC)とし、温水流量は一次側(熱源機→貯湯槽)、二次側(貯湯槽→建物)共に負荷に応じて変更する。熱源水循環流量は機器の仕様を用いる。下水取水流量は、熱源機が定格運転を行う際に最低限必要な取水流量を算出している。外気温度は拡張アメダスデータ、上水温度は文献値を用いている。また、下水温度については札幌市および仙台市の場合は文献値を用い、大阪市の下水温度は2010年度の下水管路内での実測データを用いる。下水用熱交換器の熱通過率および熱交換面積は実環境試験で得られた流下液膜式熱交換器での実験結果を用いる。

3.2 試算結果

3.2.1 地域別・季節別システム COP

図6に地域別・季節別のシステムCOPの比較を示す。下水熱利用・空冷HP方式いずれも札幌市の場合にシステムCOPが最も低く、冬期のそれぞれのシステムCOPは3.20と2.05である。これは、札幌市の熱源温度(下水温度・外気温度)が他地域に比べて最も低く、機器の効率が低下したためである。

3.2.2 年間一次エネルギー削減量

図7に地域別・建物用途別の年間一次エネルギー削減量を示す。宿泊施設に着目すると、ガスボイラ方式に対しては大阪市が最も削減量が大きく約522GJ/年である。これは、温暖であるほど下水温度が高いためである。一方、空冷方式に対しては札幌市が最も削減量が大きく約538GJ/年である。これは、年間を通して札幌市が最も下水温度と外気の温度差が大きいためである。また、寒冷地の中でも札幌市のみが大阪市に比べて導入効果が増加していることから、札幌市と同程度の低温地域ならば、温暖地よりも省エネルギー効果が高くなる傾向がある事が把握できた。

表2 計算条件

項目		値・仕様	
負荷条件	建物用途	集合・業務・宿泊・医療	
	延床面積	58kW 規模相当	
システム運転方式		蓄熱給湯運転 (20時間連続運転)	
熱源機	メイン	水冷式 HP (下水熱利用)	58kW(Z社製) ²⁾
		ガスボイラ (従来方式)	58kW(LCEMより)
		空冷 HP (従来方式)	38kW(Z社製) ²⁾
	バックアップ	ガスボイラ	熱源機の1割の能力で緊急時のみ運転。エネルギー試算には反映しない
温水	温度	出口温度	65(degC)
	流量	一次側	負荷に応じて変化
		二次側	負荷に応じて変化
熱源水循環流量		132.6(L/min) ²⁾	
下水取水流量		183.7(L/min)	
外気温度		拡張アメダスデータ ³⁾	
上水温度(温水入口温度)		文献値 ⁴⁾	
下水温度		札幌市・仙台市：各都市の処理場計測データ ¹⁾ 大阪市：実測値 ¹⁾	
下水用熱交換器	熱通過率	1(kW/K) ⁵⁾	
	熱交換面積	19.3(m ²) ⁵⁾	

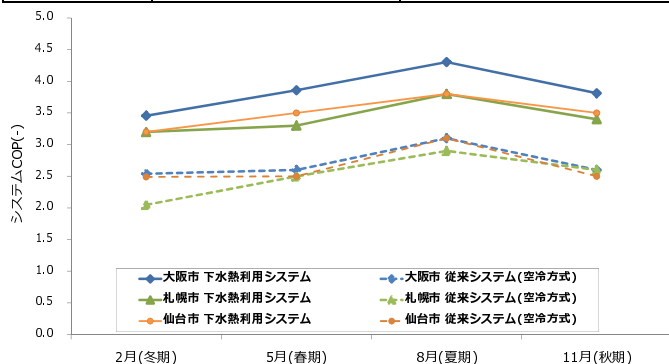


図6 地域別・季節別のシステムCOPの比較

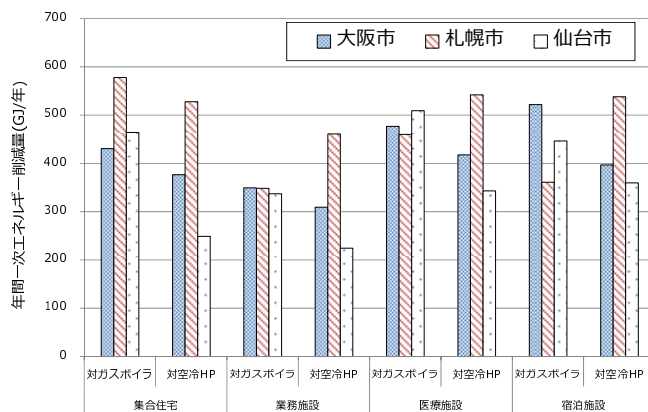


図7 地域別・建物用途別年間一次エネルギー削減量

3.2.3 年間エネルギーコスト削減量

図8に地域別・建物用途別年間エネルギーコスト削減量を示す。宿泊施設に着目すると、ガスボイラ方式に対しては大阪市が最も削減量が大きく約220万円/年である。これは、温暖であるほど下水温度が高いためである。一方、空冷方式に対しては札幌市が最も削減量が大きく約92万円/年である。これは、年間を通して札幌市が最も下水温度と外気の温度差が大きいためである。また、寒冷地の中でも札幌市のみが大阪市に比べて導入効果が増加していることから、一次エネルギー削減量の場合と同様に、札幌市と同程度の低温地域ならば、温暖地よりも省エネルギー効果が高くなる事が把握できた。

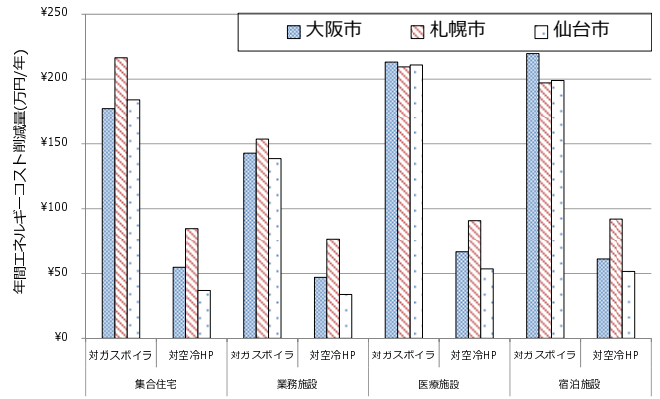


図8 地域別・建物用途別年間エネルギーコスト削減量

3.2.4 従来システムに対する単純投資回収年数

図9に従来システムに対する下水熱利用システムの単純投資回収年数を示す。宿泊施設や医療施設の場合に回収年数が短くなり、最短で大阪市内の宿泊施設の場合の11.9年である(対ガスボイラ方式)。このように、宿泊施設や医療施設に導入する場合に他の用途に比べて回収年数が短くなるのは、イニシャルコストが安価になるためである。これは、蓄熱槽の容量は最大負荷日のピークに合わせて設計するため、給湯負荷が全時間に分散する宿泊施設や医療施設の蓄熱槽の容量が小さく済んだ事と、宿泊施設や医療施設は検討した延床面積の値が他の用途よりも小さいため、給湯配管設置にかかるイニシャルコストが小さく済んだためである。

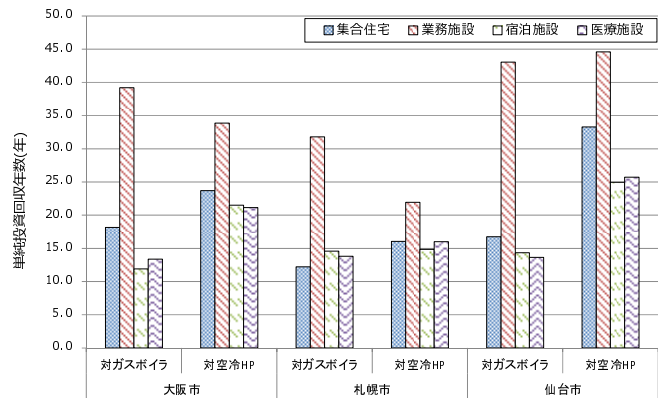


図9 従来Sに対する下水熱利用Sの単純投資回収年数

4 下水熱利用導入可能性検討手法の提案

本研究で提案する下水熱利用導入可能性検討方法を図10に示す。なお、図10より下水熱利用導入可能性評価は手順1の「熱需給比率から見た下水熱利用有望建物の抽出」と手順2、3の「省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用可能建物の抽出」の3段階に大別される。以下に各段階の評価方法の概要を示す。

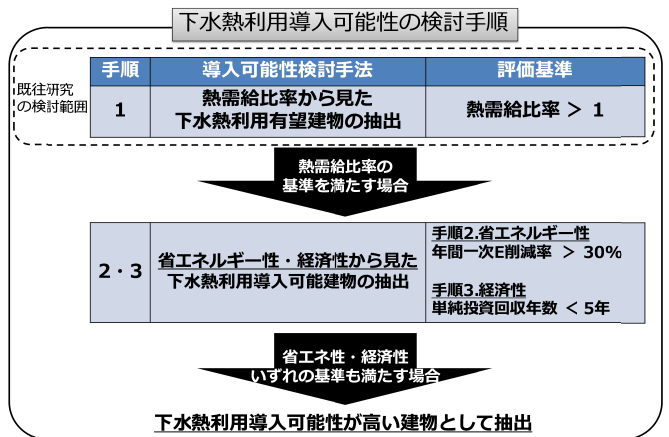


図10 下水熱利用導入可能性の検討手順

4.1 熱需給比率から見た下水熱利用有望建物の抽出

下水熱ポテンシャルと熱需要量との熱需給比率の整合検討を行うことで、下水熱利用システムの導入可能性検討が行える。以下に、熱需給比率の概要および下水熱ポテンシャルと熱需要量の推定方法を示す。

4.1.1 熱需給比率について

本研究では熱需給比率は、式2にて定義し、熱需給比率が1.0以上となる建物では、下水熱を用いて熱需要の全量を賄うことが可能であると考え、これらの建物を下水熱利用有望建物とする。

4.1.2 熱需要量と下水熱ポテンシャルの推定方法

建物の熱需要量は、建物延床面積に熱負荷原単位⁶⁾を乗じることで求められる。下水熱ポテンシャルは、式3により、各マンホールの年平均推定流量に、比熱と下水熱利用温度差を乗じることで求める。

$$\text{熱需給比率} = \frac{\text{近傍管路の下水熱ポテンシャル}}{\text{建物熱需要量}} \quad \text{式 2}$$

$$Q_N = C_w \times G_N \times \Delta T \quad \text{式 3}$$

Q_N	: 年平均推定下水熱ポテンシャル[MJ/年]
C_w	: 容積比熱[MJ/m ³ K] (4.164[MJ/m ³ K])
G_N	: 年平均推定下水流量[m ³ /年]
ΔT	: 下水熱利用温度差[K](5Kとする)

4.2 省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用導入可能建物の抽出

表 3 に下水熱利用導入可能性検討評価の概要を示す。省エネルギー性については、「従来システムに対して年間一次エネルギー削減率が 30%以上」、経済性については「単純投資回収年数が 5 年未満」を下水熱利用導入可能の基準とする。なお、従来システムに対する下水熱利用システムの年間一次エネルギー削減率は式 4 より作成した地域別・建物用途別・方式別年間一次エネルギー消費量原単位(表 4)に建物の延床面積を乗ずる事で算出する。また、単純投資回収年数については、式 5 より作成した年間ランニングコスト原単位(表 5)と建物の延床面積を乗じて算出したランニングコスト削減量および 3 で求めた各方式のイニシャルコストを用いて算出する。各種原単位の作成手順を図 11 に示す。

$$\text{年間一次エネルギー消費量原単位}(GJ/\text{年}\cdot\text{m}^2) = \frac{\text{年間一次エネルギー消費量}(GJ/\text{年})}{\text{基準の建物延床面積}(\text{m}^2)} \quad \text{式 4}$$

$$\text{年間ランニングコスト原単位}(\text{円}/\text{年}\cdot\text{m}^2) = \frac{\text{年間ランニングコスト}(\text{円}/\text{年})}{\text{基準の建物延床面積}(\text{m}^2)} \quad \text{式 5}$$

※「基準の建物延床面積」は 3 でのシステムシミュレーションに用いた建物用途別の延床面積の値である。

4.3 下水熱利用導入可能性検討ケーススタディ

以上に示した手法を用いて大阪市内の 10 建物および仙台駅周辺の 12 建物を対象に、下水熱利用システムの導入可能性検討ケーススタディを行った。表 6、表 7 に大阪市、仙台市それぞれの検討結果を示す。なお、表内の“可”、“不可”、“○”、“△”等の記号は表 3 に準拠する。

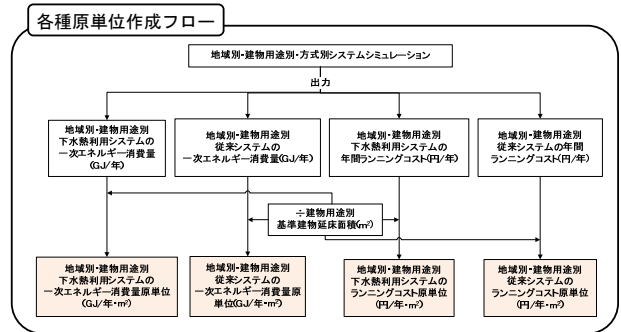


図 11 各種原単位の作成フロー

表 3 下水熱利用導入可能性検討評価の概要

手順	評価内容	評価指標	基準	評価	意味
1	熱供給パランスによる評価	熱供給比率	1以上	“可”	下水熱利用有望建物として手順2へ
			1未満	“不可”	下水熱利用不可能建物として検討終了
2	省エネ性評価	年間一次エネルギー削減率	30%以上	“可”	下水熱利用可能建物として手順3へ
			30%未満	“不可”	下水熱利用不可能建物として検討終了
			5年未満	“○”	下水熱利用可能建物として決定
3	経済性評価	単純投資回収年数	5年以上10年未満	“△”	事業者の判断によって導入の可否を判断
			10年以上	“不可”	下水熱利用不可能建物として検討終了
			5年未満	“可”	下水熱利用可能建物として決定

※評価が“不可”であった時点で検討は終了する

表 4 地域別・建物用途別・方式別年間一次エネルギー消費量原単位

年間一次エネルギー消費量原単位(GJ/年・m²)	集合住宅			業務施設			宿泊施設			医療施設		
	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市
下水熱利用方式	0.086	0.119	0.105	0.007	0.010	0.009	0.246	0.329	0.296	0.233	0.308	0.274
空冷方式	0.134	0.185	0.137	0.011	0.016	0.011	0.362	0.486	0.401	0.345	0.453	0.366
ガスボイラ方式	0.141	0.191	0.164	0.012	0.015	0.013	0.397	0.433	0.425	0.361	0.431	0.410

表 5 地域別・建物用途別・方式別年間ランニングコスト原単位

年間ランニングコスト原単位(円/年・m²)	集合住宅			業務施設			宿泊施設			医療施設		
	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市	大阪市	札幌市	仙台市
下水熱利用方式	168.9	216.3	194.2	14.9	19.2	17.1	747.6	875.9	823.1	695.6	820.2	768.4
空冷方式	237.9	322.5	240.6	20.8	28.9	21.4	918.1	1134.8	966.0	868.9	1057.7	906.3
ガスボイラ方式	391.6	488.4	425.5	33.0	38.7	34.7	1105.0	1167.8	1120.4	1010.6	1125.3	1077.1

表 6 熱供給比率・省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用導入可能性の検討結果(大阪市内)

建物 No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
処理区		海老江	海老江	海老江	海老江	海老江	津守	津守	津守	住之江	住之江
建物用途		宿泊施設	業務施設	業務施設	宿泊施設	業務施設	医療施設	住宅施設	宿泊施設	住宅施設	商業施設
延べ床面積(m²)		85,338	105,588	75,710	45,706	78,174	6,846	75,015	19,973	19,001	15,619
給湯熱需要(GJ/年)		28,578	972	697	15,306	720	2,293	9,420	6,689	2,386	1,504
年平均下水熱ポテンシャル(GJ/年)		345,189	68,083	13,504	139,474	135,088	83,845	15,869	60,705	218,403	6,564
熱供給比率による導入可能性評価		12.08	70.02	19.37	9.11	187.64	36.57	1.68	9.08	91.53	4.36
熱供給比率から見た評価		可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
省エネルギー性・経済性から見た導入可能性評価	対ガスボイラ方式	年間一次エネルギー消費量削減率(%)	32	17	17	32	17	31	57	32	57
		従来システムと比べた単純投資回収年数(年)	3.3	27.9	39.8	4.3	39.3	10.5	3.4	5.9	5.9
		省エネ性・経済性から見た評価	○	不可	不可	○	不可	不可	○	△	△
	対空冷方式	年間一次エネルギー消費量削減率(%)	32	36	36	32	36	32	35	32	35
		従来システムと比べた単純投資回収年数(年)	6.9	29.4	41.9	8.9	41.3	19.1	11.0	12	19
		省エネ性・経済性から見た評価	△	不可	不可	△	不可	不可	不可	不可	不可

表 7 熱供給比率・省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用導入可能性の検討結果(仙台市内)

建物No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
処理区		南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生	南蒲生
建物用途		宿泊施設	宿泊施設	宿泊施設	宿泊施設	宿泊施設	宿泊施設	宿泊施設	病院	商業施設	商業施設	商業施設	商業施設
延べ床面積(m²)		113,605	75,163	42,030	38,894	23,793	15,087	13,028	39,338	52,798	32,748	47,490	22,392
給湯熱需要(GJ/年)		38,044	25,171	14,075	13,025	7,968	5,052	4,363	13,174	5,083	3,153	4,572	7,499
年平均下水熱ポテンシャル(GJ/年)		4,993	19,475	9,754	40,462	1,275	2,115	8,483	1,730	12,642	1,118	21,270	1,492
熱供給比率による導入可能性評価		0.13	0.77	0.69	3.11	0.16	0.42	1.94	0.13	2.49	0.35	4.65	0.20
熱供給比率から見た評価		不可	不可	不可	可	不可	不可	可	不可	可	不可	可	不可
省エネルギー性・経済性から見た導入可能性評価	対ガスボイラ方式	年間一次エネルギー消費量削減率(%)				30		30					
		従来システムと比べた単純投資回収年数(年)				4.8		8.4					
		省エネ性・経済性から見た評価				○		△					
	対空冷方式	年間一次エネルギー消費量削減率(%)				26		26					
		従来システムと比べた単純投資回収年数(年)				10.0		17.6					
		省エネ性・経済性から見た評価				不可		不可					

討議

討議[西岡真稔]

省エネルギー性・経済性の評価において、省エネルギー性の基準である一次エネルギー削減率と経済性の基準である単純投資回収年数は単純な関係になるのではないか？また、今回の試算ケースの中で、どちらかの一方の基準は満たしているがもう一方は満たしていないというケースはあるのか？

回答

経済性についてはエネルギーコストだけではなく、イニシャルコストも考慮しているため単純な関係にはならない。省エネルギー性の基準は満たすが、経済性の基準を満たさないケースも存在する。例えば、業務施設の場合である。理由は、他の用途に比べて業務施設はイニシャルコストが高くなってしまったためである。

討議[水谷聡]

なぜ、業務施設は他の用途に比べてイニシャルコストが高いのか？

回答

理由は二つある。まず一つ目は、業務施設は1日の中で限られた時間に給湯負荷が集中している一方、宿泊施設や医療施設は給湯負荷が発生する時間帯が分散している。本検討では、日最大給湯負荷に合わせて蓄熱槽の容量を決めたため、その分1日を通して最大給湯負荷が大きくなる業務施設は蓄熱槽の値段が上がりイニシャルコストが高くなった。二つ目は、業務施設は給湯負荷原単位の大きさが他の用途に比べて小さいため、今回想定した58kWの熱源機一台の能力で賄う事ができる延床面積の値も他の用途に比べて大きくなる。よって、想定する延床面積の値が他の用途に比べて大きいため、給湯配管設置にかかるイニシャルコストも大きくなったためである。

討議[瀧澤重志]

MS-Excel のソルバーで複雑な計算を行っているようだが計算精度はどうか？初期値によって結果が左右されることはなかったか？

回答

実環境試験と同様の熱源機・システムでシステムシミュレーションを行い、実験によって得られた熱源機自体のCOPとシステムCOPが、試算によって得られた値とが概ね一致したため、ある程度精度が良い手法として判断し、計算精度に問題はないと判断した。実

験データを元にして初期値の設定をおこなっており、今回は解が求まらないという状況はなかったが、今後さらにモジュールを追加しシステムを複雑にしていくと、解が求まらないという状況は発生する可能性がある。

討議[鍋島美奈子]

他メーカーの熱源機で検討すれば原単位の値が変わるのか？

回答

熱源機の性能が変われば原単位も変わる。ただし、下水熱利用システム用に開発された熱源機のラインナップはそこまで多くないため、今回試算した結果はある程度一般的な値として適用可能であると考えている。

討議[鍋島美奈子]

今回の検討で考慮できていない点はどこか？

回答

イニシャルコスト算出の際、熱交換器やスクリーンなどの試作段階の機器については参考価格を用いた。そのため、今後は省エネ効果から逆算して、投資回収年数を目標年数に収めるには実際の販売価格をどの程度まで下げる必要があるかを試算する必要がある。

討議[鍋島美奈子]

今回提案した原単位を使って予め試算しておけば、建物の規模やシステムの加熱能力が決まれば、ある程度は導入可能性の評価は出来るのではないかと？

回答

評価できる。修士論文の中では地域別・建物用途別の導入メリットが見込める設備規模を算出している。

4.4 導入可能性の検討結果

以下に各地域における導入可能性検討の結果を示す。なお、商業施設は年間一次エネルギー消費量・ランニングコスト原単位を作成していないため、手順1以降の検討は行わない。

4.4.1 大阪市でのケーススタディの結果

前項の表6によれば、大阪市では、対ガス方式の場合は建物No.1,4,7が○、No.8,9が△、その他は不可評価である。このうち、○評価であるのは宿泊施設および集合住宅であり、さらに業務施設であるNo.2については検討した建物の中で最も延床面積が大きいにも関わらず不可評価であることから、業務施設への下水熱利用システムの導入可能性は非常に低い事がわかる。対空冷方式の場合は○評価は無く、No.1,4施設が△評価であるのみである。これより大阪市の場合、ガスボイラ方式に対してのみに限られるが、下水熱利用導入可能な建物を3箇所見つけることができた。

4.4.2 仙台市でのケーススタディの結果

前項の表7によれば、仙台市では対ガス方式の場合は施設No.4が○、No.7は△である。一方、対空冷方式の場合はいずれの建物も不可評価である。これより仙台市の場合、ガスボイラ方式に対してのみだが、下水熱利用導入可能な建物を1箇所見つける事ができた。

以上のように、本研究で提案した下水熱利用システムの導入可能性検討手法を用いる事で、省エネルギー性・経済性の観点まで考慮した下水熱利用システムの導入可能性を簡易に評価する事が可能である。

5 総括

5.1 まとめ

1) 温暖・寒冷地の各外界条件を用いてシステムシミュレーションを行い、従来システムに対する下水熱利用システム(58kWの水冷式HP)の導入効果を試算した。その結果、対ガスボイラ方式では温暖な地域で導入効果が大きく、宿泊施設の場合、初期投資分を最短11.8年で回収できる事がわかった。また対空冷HP方式の場合、札幌市と同程度以上の低温地域であれば、温暖地よりも大きな導入効果が得られることを示した。

2) システムシミュレーションによって得られた試算結果を用いて、省エネルギー性・経済性から見た下水熱利用システムの導入可能性検討のための、地域別・建物用途別・方式別の年間一次エネルギー消費量原単位、ランニングコスト原単位を作成した。

3) 既往研究では考慮していなかった省エネルギー性・経済性の観点まで考慮した下水熱利用システムの導入可能性の検討手法を提案した。また、提案した手法を用いて、大阪市と仙台市それぞれの地域において下水熱利用導入可能性検討ケーススタディを行った。なお、年間一次エネルギー消費量・ランニングコストの原単位

を用いた下水熱利用導入可能性検討を行い、下水熱利用システムの導入効果の試算の際のいくつかの手間が省け、より簡便に省エネルギー性・経済性の観点から導入可能性評価ができることを示した。

5.2 今後の課題

1) 本研究で作成した年間一次エネルギー消費量・ランニングコスト原単位は本研究での試算条件から得られた結果を基に作成した値であるため、本研究で想定したシステムと大きく異なる場合の下水熱利用システムの導入効果の概算を行う際は、別途異なるシステムでの原単位を作成する必要がある。

2) 一次エネルギー消費量やランニングコストを原単位化する事で簡便な試算が可能だが、詳細に試算を行う方法に比べて結果の精度が低下する可能性がある。そのため、詳細な試算結果と簡便な方法での試算結果を比較し、試算結果の妥当性を確認する必要がある。

3) イニシャルコスト算出の際、熱交換器やスクリーンなどの試作段階の機器については参考価格を用いた。そのため、省エネ効果から逆算して、投資回収年数を目標年数に収めるには試作機器の販売価格をどの程度まで下げる必要があるかを試算する必要がある。

[あとがき]

この成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。

- 1) 三毛 正仁「下水管路網を活用した下水熱利用システムの省エネルギー効果及び熱需給からみた導入可能性に関する研究」大阪市立大学工学部 学位論文 平成26年9月
- 2) ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 ゼネラルヒートポンプ工業電子カタログ ver. 1.27
- 3) 拡張アメダスデータ(各地域標準年データ)2013年10月3日閲覧
- 4) (財)ソーラーシステム振興協会「太陽熱給湯冷房システムの計画入門」
- 5) 脇田 翔平ら：下水熱利用における熱交換器性能の実験的検討、第2報 流下液膜式熱交換器の熱通過率と汚れ、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集2014年3月 pp201~204
- 6) 「地域冷暖房技術手引書<改訂新版>」社団法人日本地域冷暖房協会発行、2002年11月改訂新版発行

※1 一次エネルギー換算係数一覧			
・電力一次エネルギー換算係数	9970(kJ/kWh)		
・ガス一次エネルギー換算係数	44.8(MJ/m ³)		
*経済産業省、「算定・報告・公表制度における算定方法一覧」(H22年3月改定後)			
※2 電力料金表(プラン：高圧電力AS-TOU)			
基本料金	1,773		(円/kW)
重負荷時間	20.61		(円/kWh)
昼間時間	15.39		(円/kWh)
夜間時間	11.11		(円/kWh)
・関西電力ホームページ：電力料金単価(高圧電力AS-TOU) http://www.kepco.co.jp/business/yakkan/high/500kw_less.html 2014年9月			
※3 ガス料金表(業務用季節別第一種契約)			
適用期間	料金区分	ガス料金	
夏季 5月~12月	定額基本料金	23,379	(円/月)
	流量基本料金	1,108	(円/m ³)
	単位料金	105.47	(円/m ³)
冬季 1月~4月	定額基本料金	23,379	(円/月)
	流量基本料金	1,108	(円/m ³)
	単位料金	118.12	(円/m ³)
・大阪ガスホームページ：ガス料金単価表 (業務用季節別第一種契約) https://www5.osakagas.co.jp/custserv/ryokinhyo0014.html 2014年10月			