

エネルギー高効率活用技術に関する研究開発

－中低温排熱の熱利用シミュレータの開発に関する研究－

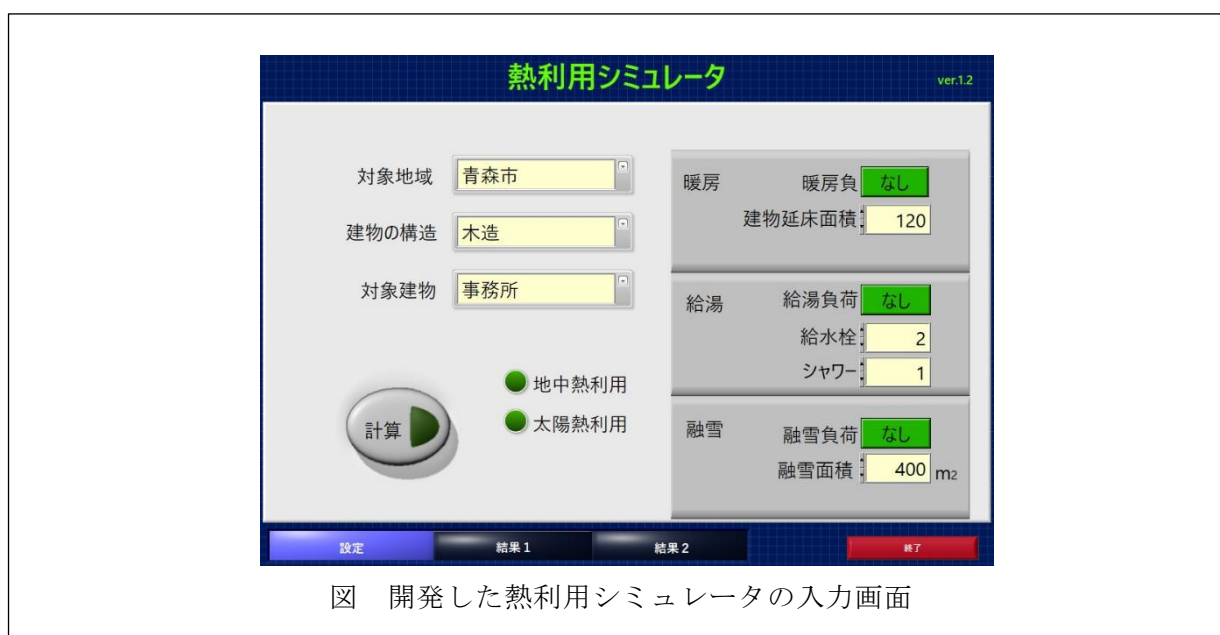
Research and development project of high-efficiency energy utilizing technique
－ Development of simulation software for utilization of medium to low temperature waste heat －

赤平 亮、岡山 透

青森県のエネルギー需要における熱需要の占める割合は、年間を通して5～6割、冬季になると8割以上である。この熱需要を賄うために多くの化石燃料が消費されており、エネルギー消費構造における化石燃料の占める割合は73%にも達している。そのような状況の中、2016年に策定された「青森県エネルギー産業振興戦略」では2030年におけるエネルギー構造としてエネルギー自給率50%、エネルギー利用効率50%、化石燃料依存率50%を目指す「トリプル50」というビジョンを掲げている。この目標を達成するためには、いかに熱エネルギーを有効に利用していくかが重要である。

本研究では、地中熱のような十分に利活用されていない熱源を活用することにより得られるコストメリットや二酸化炭素排出量などを算出し、有効性を容易に判定可能な熱利用シミュレータの開発を行った。本シミュレータを県内自治体に提供することで、熱利用に関する意識の向上や補助事業の実施などが期待される。

本シミュレータでは熱需要として暖房・給湯・融雪を選定し、気象条件や建物の構造、面積等からそれぞれに必要な熱量を算出できるようなプログラムを個別に作成した。その後、3つのプログラムを1つに統合し、各熱需要の「あり・なし」を選択することにより1つのプログラムで3つの熱需要を計算できるようにした。さらに熱需要の算出に必要な気象条件などのデータはデータベースにまとめ別ファイルとし、プログラムの変更や更新作業を効率的に行えるようにした。



1. はじめに

青森県のエネルギー消費構造における化石燃料の占める割合は 2013 年度で 73.2%と 7 割近い値となっている。2004 年度と比較し化石燃料から電力への移行が進んでいるものの、全国と比較して依然と高い割合となっている。これは冬期の暖房利用やガソリン等の使用が多いことが原因として考えられる。

そのような状況の中、青森県では 2017 年 3 月に「青森県エネルギー産業振興戦略」を策定した¹⁾。本戦略では 2030 年におけるエネルギー構造としてエネルギー自給率 50%、エネルギー利用効率 50%、化石燃料依存率 50%を目指す「トリプル 50」というビジョンを掲げている。この目標を達成するためには、エネルギー需要量の 5~6 割が熱需要を占めるという現状において、いかに熱エネルギーを有効に利用していくかということが重要である。

そこで本研究では地中熱のような十分に利活用されていない熱源を利用することで得られるコストメリットや二酸化炭素排出量の削減効果を明らかにし、より効果的な熱の利用方法を容易に判定することができる熱利用シミュレータの開発を行った。開発した本シミュレータを県内自治体に提供することで、熱利用に関する意識の向上や補助事業の実施などが期待される。

2. 熱利用シミュレータの基本部分の開発

本シミュレータは熱源機器を選択すると、機器に対応した熱の利用方法における燃料消費量やランニングコスト、二酸化炭素排出量を算出する。これらの値を活用して経済性や環境負荷を評価する。ここで燃料消費量（発熱量換算）を Q 、熱源機器の効率を η とすると、熱需要量 H は次式で表される。

$$H = \eta \times Q \quad (1)$$

つまり燃料消費量（発熱量換算） Q は

$$Q = H/\eta \quad (2)$$

で表される。燃料の発熱量は既知であることから熱需要量から燃料消費量を求めることができる。さらに燃料消費量に燃料単価や二酸化炭素排出係数を乗じてランニングコスト及び二酸化炭素排出量を算出した。表 1 に各燃料の発熱量及び二酸化炭素排出係数を示す。

表 1 各燃料の発熱量と二酸化炭素排出係数

	発熱量	二酸化炭素排出係数
灯油	36.7 [MJ/L]	2.49 [kg-CO ₂ /L]
LP ガス	99.0 [MJ/m ³]	5.84 [kg-CO ₂ /m ³]
都市ガス	46.0 [MJ/m ³]	2.30 [kg-CO ₂ /m ³]

本シミュレータは暖房、給湯、融雪の 3 つの熱需要に対応している。まずはそれぞれの熱需要に対して Microsoft 社の Excel を用いて個別に計算プログラムを作成した。

暖房モデルでは暖房用熱源器について出力や価格、消費電力等を調査しデータベースにまとめると共に、出力と通年エネルギー消費効率 APF や価格との相関関数を求めた。暖房用熱源機器としてエアコン、ガスボイラ、灯油ボイラ、エコキュートを対象とした。

また、暖房の熱需要量は外気温と室温との温度差、熱損失係数 Q 値、建物の床面積の関数とした。なお、外気温などの気象データは気象庁の過去の気象データ・ダウンロード²⁾から得られる平年値を用いた。気象データは給湯や融雪の熱需要量を算出する際にも必要となることからデータベースにまとめた。

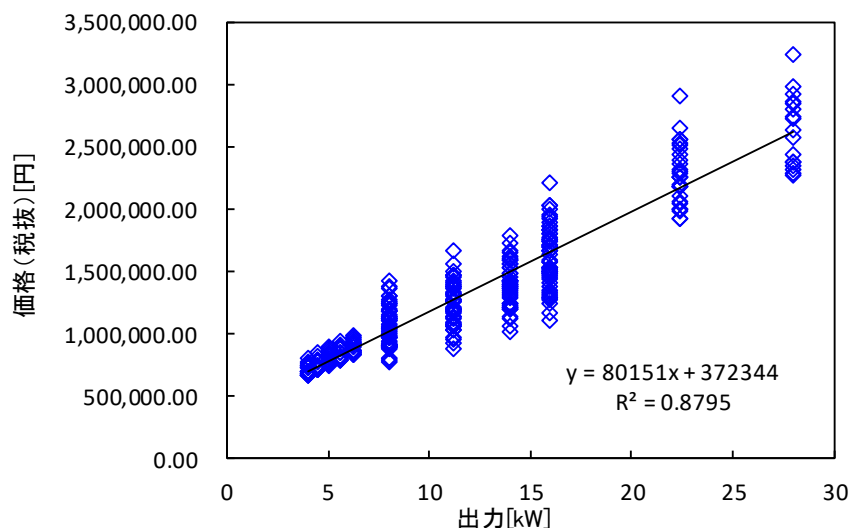


図1 出力と価格の関係 (エアコン)

給湯モデルでは給湯用熱源器について暖房モデルと同様に出力や価格、消費電力等を調査しデータベース化し、相関係数を求めた。給湯用熱源器としてガスボイラ、灯油ボイラ、エコキュートを対象とした。

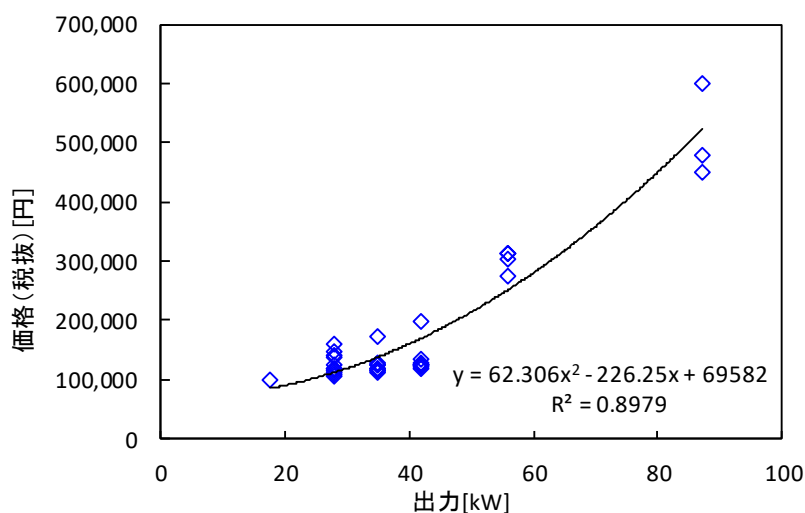


図2 出力と価格の関係 (ガス給湯器)

熱需要量は建物の単位面積あたり給湯負荷原単位と建物の床面積の関数としており、給湯負荷原単位は青森県省エネルギービジョン³⁾に記載されているデータをもとに表2に示す値を用いた。

表2 各建物における給湯負荷原単位

	平日			休日		
	冬期	中間期	夏期	冬期	中間期	夏期
事務所	380.5	50.4	22.9	55.0	9.2	4.6
ホテル	6226.6	4981.3	5603.9	6234.2	4987.4	5610.8
病院	3571.7	2678.8	2857.4	2727.5	2045.6	2182.0
戸建住宅	407.5	331.1	382.0	432.9	356.5	407.5

単位 [kJ/m²]

融雪モデルでは融雪用熱源器として灯油ボイラと地中熱ヒートポンプを選定して価格等の調査を行い、出力に対する相関関数を得た。需要量は気温と風速、降雪深の関数として与えた。

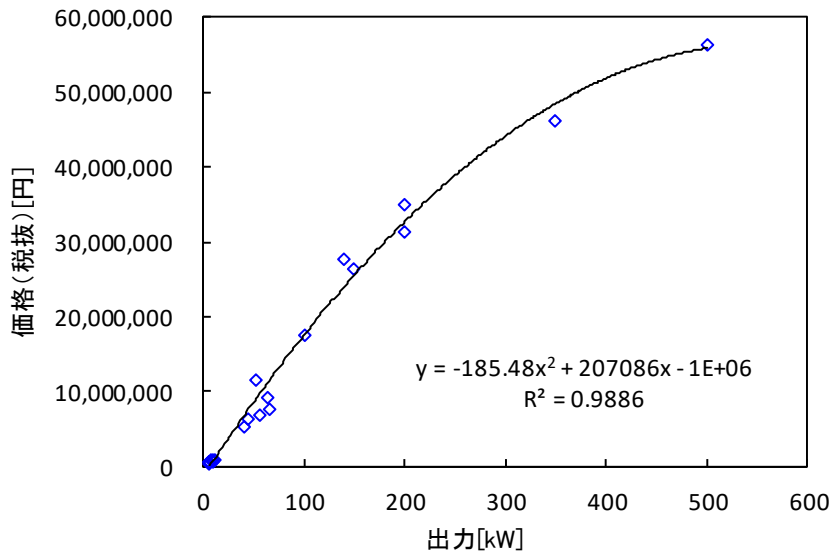
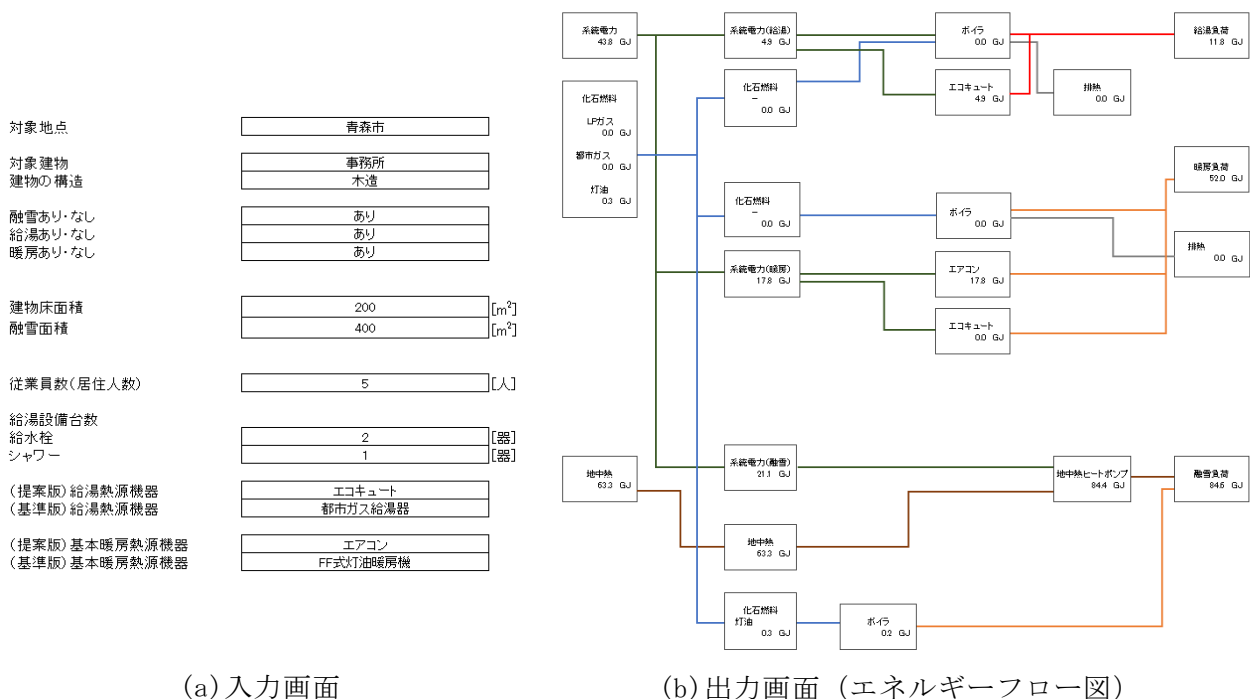


図3 出力と価格の関係（地中熱ヒートポンプ）

それぞれの熱需要に対するプログラムを作成した後、1つのプログラムで3需要に対応できるように統合作業を行った。統合した熱利用シミュレータではそれぞれの熱需要が存在するかどうかの入力パラメータを追加することで個別の熱需要にも対応可能とした。

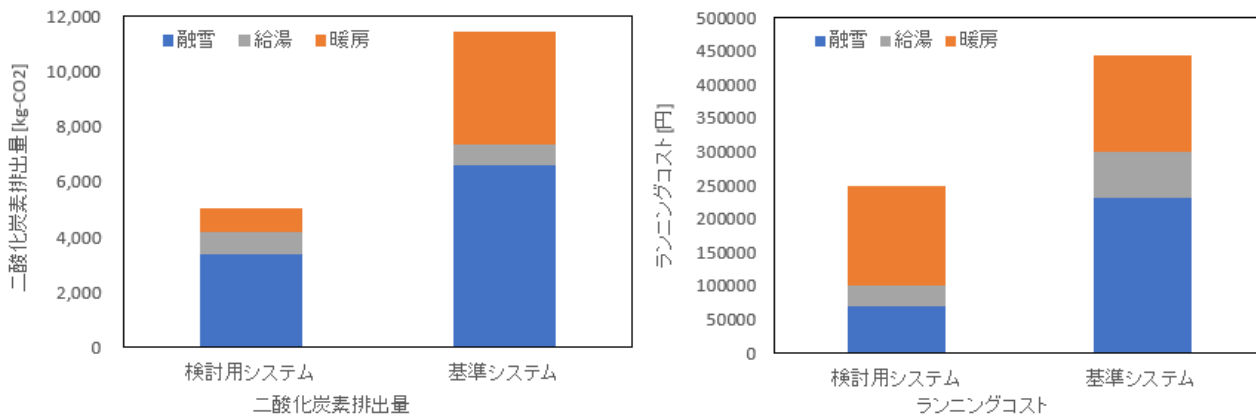
入力項目として、対象とする地点を県内40市町村から、建物の種別を事務所、ホテル、病院、戸建住宅から選択したのち、建物の床面積と融雪面積を入力する。さらに、基準システムと検討用システムにおける熱源機器を選択する。入力画面を図4(a)に、出力となるエネルギーフロー図を図4(b)に、二酸化炭素排出量とランニングコストのグラフを図4(c)に示す。



(a) 入力画面

(b) 出力画面（エネルギーフロー図）

図4 熱利用シミュレーション（Excel ファイル版）



(c) 出力画面（二酸化炭素排出量とランニングコスト）

図4 熱利用シミュレーション（Excel ファイル版）

3. 熱利用シミュレータの機能向上

Excel を用いたプログラム作成は Excel 特有の関数を利用することで容易に行うことが可能であった。しかし、将来、複数の建物を対象とした地域熱供給モデルなどを再現しようとした場合、数式が複雑化しプログラム作成が困難になることが予想された。そこで NATIONAL INSTRUMENTS 社のシステム開発ソフトウェアである LabVIEW を利用し、Excel 上で作成したプログラムを再構築する作業を行った。LabVIEW 上では需要量の計算や機器効率の算出などのプログラムをサブモジュールというブロック単位で個別に管理することが可能となり、プログラムの複雑化にも容易に対応できるためである。

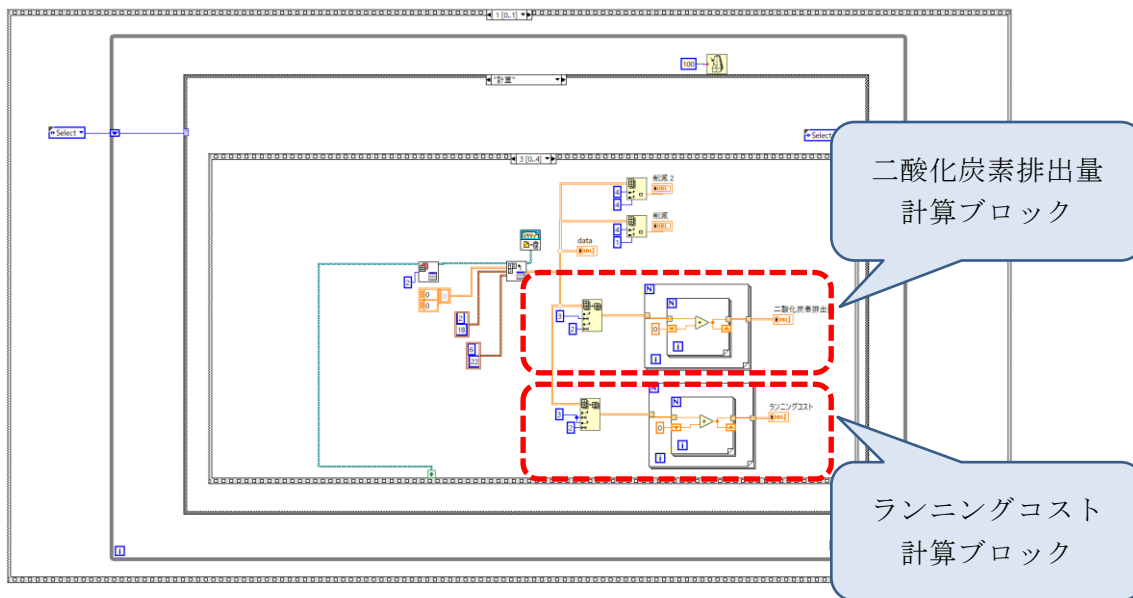


図5 LabVIEW のプログラム画面（ブロックダイアグラム画面）

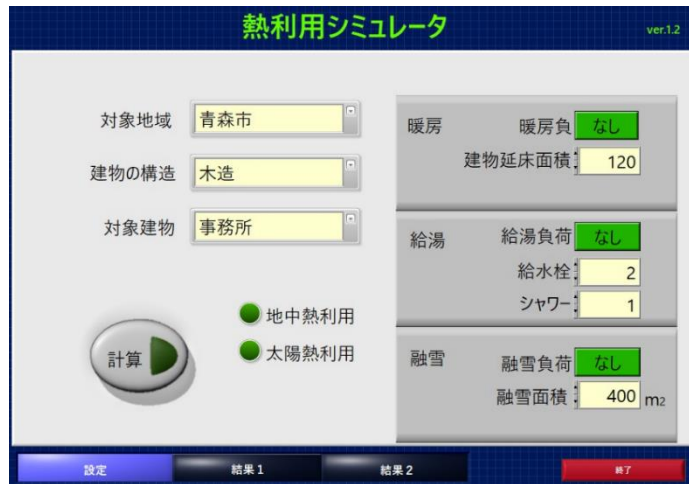


図 6 熱利用シミュレータ (LabVIEW 版)

また、LabVIEW のオプションとしてウェブサーバ機能が備えられている。この機能を活用し、Web ブラウザ上で操作できるプログラムファイルを作成し、ネットワーク経由で利用可能な状態とした。

プログラム内で用いた県内 40 市町村の気象データや各種機器データは図 7 に示すような csv 形式の外部ファイルとし、プログラム本体のファイルサイズを小さくして計算速度を向上させるようにした。LabVIEW では外部のデータファイルを読み込むモジュールが用意されていることから、プログラム本体の変更作業がデータベースに影響を与えることもなく効率的に作業を行えるようになった。

	A	B	C	D	E	F	G
1					[cm/day]	[cm/hour]	[°C]
2		場所	緯度	経度	設計日降雪	設計時間降	設計外気温
3	1	青森市	40.81435	140.7447	9.5	2.06	-4.3
4	2	弘前市	40.58495	140.3962	6.8	1.62	-4.8
5	3	八戸市	40.534	141.4257	4.2	1.16	-4.3
6	4	黒石市	40.64258	140.5927	6.8	1.62	-5.6
7	5	五所川原市	40.81908	140.485	6	1.48	-4.5
8	6	十和田市	40.64016	141.2655	5.2	1.34	-6.5
9	7	三沢市	40.73504	141.3638	5.2	1.34	-4.7
10	8	むつ市	41.28913	141.1674	6.2	1.52	-5.5
11	9	つがる市	40.77788	140.3394	6	1.48	-4.5
12	10	平川市	40.58012	140.5818	6.8	1.62	-5.6
13	11	平内町	40.92343	140.9875	6.9	1.65	-4.5
14	12	今別町	41.17341	140.5069	5.5	1.41	-5.2
15	13	蓬田村	40.985	140.6487	5.5	1.41	-5.2
16	14	外ヶ浦町	41.04459	140.6245	5.5	1.41	-5.2

(a) 気象データ

	A	B	C	D	E	F
1	地中熱ヒートポンプ			灯油ボイラ		
2		[円/kW]	[-]	[円/kW]	[kW]	
3	出力	機器単価	COP	機器単価	消費電力	機器効率
4	10	126000	3.5	27000	0.03	88
5	20	135000	4	15000	0.04	88
6	30	144000	4	11000	0.06	87
7	40	151000	4	8000	0.08	87
8	50	158000	4	7000	0.09	87
9	60	165000	4	6000	0.11	87
10	70	170000	4	5000	0.13	87
11	80	175000	4	5000	0.14	87
12	90	179000	4.3	4000	0.16	87
13	100	182000	4.3	4000	0.18	86
14	100~	190000	4.3	6000	0.2	86
15						

(b) 機器データ

図 7 外部参照用データベースファイル

4. まとめ

青森県において熱の有効利用を促進することを目的として地中熱のような十分に利活用されていない熱源の活用方法を評価する熱利用シミュレータの開発を行った。現状では一つの建物を対象として省エネ性を評価している。今後は、熱輸送という熱利用方法も組み込んで複数の建物を対象とした計算が可能な状態とした後に公開しながら改良していく予定である。

5. 参考文献

- 1) 青森県エネルギー産業振興戦略、青森県エネルギー総合対策局、2016
- 2) 気象庁：過去の気象データ・ダウンロード、2016
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 3) 青森県、青森県省エネルギービジョン、2003