

寒冷都市の未利用エネルギーと地域熱供給への活用に関する研究

学位論文内容の要旨

増加を続ける民生用エネルギー消費を抑制するため、都市レベルでの省エネルギーを図る必要がある。そのため、現在わが国では、未利用エネルギー活用による地域熱供給と熱電併給システムの建設が推進されている。未利用エネルギーは熱量の多寡で評価されることが多いが、温度レベルの違いにより活用の効果は一律ではない。高温系の場合利用量は省エネルギー量に直結するが、低温系の価値は環境温度によっても異なる。そして、ヒートポンプを使用すると新たなエネルギー消費が発生し、熱搬送が半なえば省エネルギー効果はさらに低減する。このように、低温未利用エネルギーに対する理論的な評価指標の確立が急務であると考えられる。一方、熱電併給も未利用エネルギー活用の一形態である。わが国の場合小規模分散型が主流であるが、必ずしも全てのケースにおいてエネルギー利用の効率化が達せられてはいない。欧州のような広域熱電併給の実現が今後の課題であり、長距離熱搬送を伴う熱電併給システムについての理論的研究が必要である。さらに、都市のエネルギー需給システムについては、地域性を考慮した個別の検討が求められている。

本研究では、わが国の寒冷都市の代表である札幌を例に取り上げ、未利用エネルギーの汎用的評価指標を導出する方法を示し、それを活用した地域熱供給のあり方を求めると共にその導入効果を定量的に明らかにすることを目的とした。まず、エネルギー需要原単位を求め、寒冷地の特性、市全体の民生用需要量とその分布を詳細に調査し、地域熱供給可能エリアを抽出した。次いで、未利用エネルギー熱賦存量とその分布を推定し、需要との比較検討を行なった。低温系については、熱力学第2法則に基づく評価指標を導出し、熱量のみとは異なった観点から札幌における利用可能性の高い熱源を明らかにした。熱電併給については、熱供給温度レベルに対する特性を熱搬送を考慮に入れて検討した。さらに、低温未利用エネルギーと熱電併給それぞれについて、導入した場合の市全体に及ぼす省エネルギー効果を推定した。高温未利用エネルギーについては、従来の熱量評価のもとで、その活用による省エネルギー効果を簡易に推計できる手法を提案した。

本論文は8章より構成されている。第1章は序論であり、地域熱供給、未利用エネルギー活用および広域熱電併給の有効性と寒冷都市札幌を研究対象とすることの意義を述べた。

第2章では、未利用エネルギーの種別や利用形態を分類し、活用の現況を述べた。また、従来の研究を要約し、本研究の目的と位置付けおよび方向性を示した。

第3章では、札幌市の民生用エネルギー需要の原単位と需要密度分布を詳細に調査し、地域熱供給が可能なエリアを抽出した。札幌市の年間の民生用エネルギー需要は、温熱が約27PJ、冷熱が約2PJ、電力が約10PJ、総エネルギーで約39PJであった。住宅部門は総エネルギー需要の約70%を占めることより、エネルギーシステムの計画において住宅を除外することができないことを指摘した。さらに、札幌を1kmメッシュに分割し需要マップを作成した。1km²当たりの年間熱需要が200TJ以上であれば地域熱供給可能であるとする、都心を中心とした29メッシュがこれに相当することを知った。

第4章では、札幌市における未利用エネルギーの熱賦存量を求め、その特性を明らかにした。低温系の温熱は年間で約10PJ、冷熱は約3PJ、高温系で既利用量等を除いた正味の利用可能分は約3PJであった。これは温熱需要の約50%、冷熱需要の全てを賅える量に相当する。また、温度レベルを考慮せずに量のみで比較すると、低温系は高温系の約3倍の熱賦存量があることがわかった。さらに、未利用エネルギーマップを作成し、現状では利用可能性の高い大規模熱源は郊外に分散していることを示した。

第5章では、低温未利用エネルギーについて、評価の方法とその活用の可能性および効果を検討した。まず、質的評価指標として、エクセルギー賦存量にあたる仕事の削減量、活用のメリットの割合を表わす仕事の削減率、熱搬送を考慮した仕事の削減率（低温熱源利用ポテンシャル）なる考え方を導出し、札幌の低温熱源にこれらを適用した。仕事の削減量は熱量の1%前後なので、活用の効果は熱賦存量の規模に較べて極めて小さく、したがって低温未利用エネルギーは第一に融雪などの熱量利用を検討すべきであること、そして熱源のなかで最も利用可能性が高いのは下水排熱であることを示した。また、熱搬送手段となる可能性を持つ上下水道のエネルギーフローの現状を示し、民生用熱需要の20%以上が下水によって回収されていること、下水中の有機物が酸化分解されて下水水温を1℃上昇させていることを明らかにした。さらに、下水排熱について低温熱源利用ポテンシャルマップを作成し、熱源から1~15kmの範囲で利用が可能であることを理論的に初めて明らかにした。札幌市に低温未利用エネルギーを活用した地域熱供給を行った場合のシミュレーションでは、搬送距離の制約から未利用エネルギーの利用率は低く、総エネルギー需要に対する一次エネルギー削減率は0.5%に留まることを示した。

第6章では、未利用エネルギー活用の一形態である熱電併給システムの省エネルギー性の評価とその導入効果について究明した。まず、熱供給温度レベルに対する特性の検討を行なった結果、プラント総合効率は背圧運転時ではほぼ一定であるが、抽気運転時では熱供給温度を上昇させると大きく低下すること、しかしエクセルギー効率はあまり変わらないことを明らかにした。一次エネルギー削減率は熱供給温度を上昇させると低下するが、熱搬送を考慮すると搬送距離によって削減率が最大となる温度が存在することがわかった。また、蒸気タービンサイクル熱電併給の場合、熱搬送の限界は片道40km程度で、熱供給温度は中温域が適しているのに対し、コンバインドサイクルの場合は、低熱電比で熱供給温度の影響は少なく、より高い一次エネルギー削減率が達成できることがわかった。最後に、札幌市に広域熱電併給システムを導入した場合のシミュレーションを行い、コンバインド型で余剰電力を発生させない運転のときに市全体の一次エネルギー削減率が最も高くなり、片道30kmの熱搬送の場合では75%程度になることを示した。

第7章では、高温未利用エネルギーの評価とその活用効果について述べた。高温系のエクセルギー賦存量は低温系の4倍以上に相当し、熱賦存量は少ないが熱力学的な価値は大きいことがわかった。次に、未利用エネルギーの利用率については活用の効果を、熱賦存量と需要との比から簡易に推計することができる評価チャートを作成した。これを札幌の高温未利用エネルギーに適用し、総エネルギー需要に対する一次エネルギー削減率は低温熱源活用の場合の約10倍に当たる約5%が期待できることを示した。このことから、清掃工場排熱の利用が比較的進んでいるといわれる札幌においても、低温未利用エネルギーに先立ち高温未利用エネルギーのさらなる活用を検討すべきであることを指摘した。

第8章は総括であり、本研究で得られた結果を要約して述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 落 藤 澄
副 査 教 授 荒 谷 登
副 査 教 授 持 田 徹
副 査 教 授 工 藤 一 彦

学位論文題名

寒冷都市の未利用エネルギーと地域熱供給への活用に関する研究

民生用のエネルギーの消費を抑制し、都市レベルでの省エネルギーを図るためには、下水や都市ごみなどが有する未利用エネルギーを活用した地域熱供給および熱電併給方式を普及、発展させる必要がある。そのためには、各種未利用エネルギーの省エネルギー性を正しく評価し、地域熱供給への活用方法とその効果について明らかにしなければならない。

本論文は、わが国の寒冷都市の代表である札幌市を取り上げ、未利用エネルギーの汎用的評価指標を導出する方法を示し、それを活用した地域熱供給のあり方を提示するとともに、その導入効果を定量的に明らかにしたものである。得られた成果は次の点に要約される。

- ① 札幌市の民生用需要量の原単位と密度分布を詳細に調査し、温熱需要が全エネルギー需要の約70%に達し、しかも住宅部門が大きな比重を占めることを示した。また、地域熱供給が可能なエリアが1平方キロメートルを対象にして29箇所であることを明らかにした。
- ② 未利用エネルギーの賦存量とその分布を求め、賦存量の総数が需要熱量の約45%にも相当し、低温系の未利用エネルギーは高温系の約3倍の賦存量になることを示した。未利用エネルギーの発生源が郊外に分散しているため、需要先への熱輸送の方法が課題であることを指摘した。
- ③ 未利用エネルギーの質的評価として、熱輸送を考慮したエクセルギーの概念に基づく指標を初めて導入し、低温熱源ポテンシャルあるいは仕事の削減率といった低温エネルギーの具体的な評価法を提案した。それらの指標を用いて下水排熱の利用ポテンシャルマップを作成し、熱源と需要間の利用可能な限界距離は、およそ1~1.5kmの範囲であることを明らかにした。また、札幌市における未利用エネルギーの活用効果は1次エネルギー削減率で約0.5%に留まることを示した。
- ④ 電力と熱を同時に発生させる熱電併給方式については、供給温度が省エネルギー性に大きく影響することを示し、その関係を各種方式について求めるとともに、エネルギーの質的評価に基づいた搬送動力を考慮すれば、最適な供給温度が得られることを初めて明らかにした。また、札幌市に適用した場合、コンバインドサイクル方式が最も有効であり、1次エネルギー削減率は約7.5%に達するという結果が得られた。
- ⑤ ごみ焼却所などからの高温排熱の活用効果を熱需要量と排熱量の比から簡易的に推定する評価方法を導き、札幌市の住宅地域と業務地域に適用し、1次エネルギー削減率はおよそ5%に達することを示し、その有効性を明らかにした。

これを要するに、著者は、各種未利用エネルギーの特性とその活用の可能性を明らかにし、熱搬送を考慮した汎用的な評価法を確立し、未利用エネルギーの地域熱供給への適用に関する有益な新知見を得ており、暖冷房工学、熱エネルギー工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。