

論文の内容の要旨

論文題目 複数地域冷暖房プラントの
熱融通・デマンドレスポンス制御に関する研究
氏 名 木虎 久隆

本論文は、カーボンニュートラル化に向け、エネルギー供給側と需要家側の双方の性格を有する地域冷暖房プラントにおいて、その立場から社会的課題に貢献できる有効な方策を見出し、それを実際に実施するための知見を得ることを目的としており、以下の8章からなる。

第1章では、気候変動緩和が喫緊の課題となっている昨今、カーボンニュートラル化に向けて、省エネルギーと再生可能エネルギーの大量導入を支えるエネルギーの柔軟な利用が社会課題になっていることを述べた。

省エネルギーの観点から地域冷暖房システムで建物単位にとどまらずエリア内全体で面的にエネルギーを有効に活用することが有用であるとの多くの研究がなされており、その一例について示した。また、地域冷暖房システムはエリア拡大に応じプラントを増設することが多く、効率の高い新プラントから古いプラントに熱融通することや、分散型電源の排熱を熱融通することで地域冷暖房システム全体として高効率に運用するなどの報告もされている。しかしながら蓄熱槽を有するプラント間の熱融通の検討は少なく新たな検討の必要性を示した。

また、欧州においても地域冷暖房システムやそのプラント間の熱融通の研究はされている一例を示し、欧州では温熱主体であり冷熱主体の日本とは状況が異なること、日本のヒートポンプを利用する地域冷暖房システムでは温熱供給温度が既に低いレベルであること、システム研究では TRNSYS や IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) と呼ばれるプログラムが利用されることが多いことを述べた。

エネルギーの柔軟な利用の観点から、需要家側での調整力確保が必要となっている。蓄熱槽を有する地域冷暖房プラントは調整手法であるデマンドレスポンス(以下、DR)のリソースとして有効であるという研究の一例について示した。DR制度は近年制度設計がなされてきており、同時にその手法が研究・実証されているが、日本・欧州とも市場制度が固まっていないことから詳細シミュレーションを用いた実現可能性に関する検討

は少ない。

以上を踏まえ、本研究では実在の地域冷暖房システムを対象に、熱融通、DR等の高度な要求に対する実際に対応可能な方法とその効果を作成したシミュレーションにより明らかにし、今後拡大することが予想される熱融通やDRへ対応する知見を得ることが必要であると述べた。

第2章では、地区の拡大に伴って複数の地域冷暖房プラントが建設された、本研究で対象とする実在の地域冷暖房システムについて示した。

地域冷暖房システムの各プラントはそれぞれ複数の熱源機を有し、熱融通は熱供給の観点で双方向となるなど複雑なシステムとなる。プラント間の熱融通は距離のある熱搬送を伴うため、熱供給や熱融通のためのポンプの搬送動力が大きくなり、その挙動がプラント全体に及ぼす影響も無視できない可能性もある。そのため、プラントの高効率な運用を実現するためには、ポンプ揚程を考慮した動力計算や配管内の圧力分布の把握、熱源機や搬送機器の挙動などをシミュレーションにより詳細に検討する必要があるが市販のプログラムでは、本研究の目的への対応が難しいため、独自にシミュレーションプログラムを作成・改良した。本章では各熱源機、搬送機の挙動や各系統配管内の冷温水の圧力・流量・温度状態、蓄熱槽内の冷温水の温度状態を計算できる再現性の高いシミュレーションモデルの構築について述べ、実運転データと比較し再現性を有することも示した。

第3章では、地域冷暖房プラント間でその熱源機の効率に差がある場合と、熱負荷パターンが異なるプラント間で熱融通する場合において、熱融通のポテンシャルを示した。効率の高いプラントから効率の低いプラントに熱融通を行うと地域全体で効率が向上することが確認された。また、建物の用途（負荷パターン）が異なる場合は片側のプラントに負荷を適切に集約することで、熱回収ヒートポンプ機等の高効率熱源機の運転割合が増加し全体として効率が向上することが確認された。蓄熱槽を有するために効率が低い部分負荷運転が回避されるため、いずれの場合も熱融通を行い双方のプラントの中から効率の高い熱源機から順番に稼働させることが効率向上につながることを示した。

蓄熱槽を有する複数の地域冷暖房プラントで熱融通を行うことにより、効率の悪い部分負荷運転を回避し、熱回収ヒートポンプ機やインバータターボ冷凍機といったより高効率な熱源機の運転割合を簡単に増加することが可能であり、全体の地域冷暖房プラントのCOP向上が実現可能であることを示した。

第4章では、実際の地域冷暖房プラントにおいてはシミュレーションとは負荷条件が異なる運転をするため、実際に運転管理者がプラントを適切に運転するための熱融通の設定値を提案した。運用管理者が熱融通の有無や関連する制御設定値を判断、決定し、

手動で入力してプラントを運転するために、構築したシミュレーションを用いて熱融通設定値に関するケーススタディを事前に行い、運用管理者が実運用において適切な制御入力値の選択ができるようなツール：熱融通マトリクスを作成した。蓄熱槽を有する地域冷暖房プラントを対象としているため、各地区の日熱負荷をパラメータとし熱融通設定値のマトリクスを各月別、平日・休日別に作成し、実運転時の指標を示した。

第5章では、熱融通を実施した実際の運転状況を分析した。竣工2年目の運転データでは運転と負荷が安定し往還温度差も取れていることから、各熱源機は定格に近い負荷率で運転しており、高効率運転が達成できている。熱融通については運転管理者が熱融通マトリクスを参考に入力値を設定しており、夏期の温水、冬期の冷水の大部分を高効率な熱回収ヒートポンプ機で賄う運転ができている。また、東地区の効率は熱融通により西地区竣工前の単独運転時より向上しているのが確認できた。また熱融通ポンプの消費電力量は少なく全体の0.04%と僅かであった。それらの結果、地域冷暖房プラントのCOPは1.49と高効率で、ほぼ設計目標通りの運転実績であることを示した。

第6章では、日本及び海外におけるDR市場の現状について示した。海外では間接的DR（ダイナミックプライシング）と直接的DR（容量市場等）の2つのタイプのDRが存在するが、各国・地域によって様々であること。日本においては電力がひっ迫している場合等に需要を減らす（抑制する）「下げDR」については直接的DR市場が始まっているが、制度は年々変化していること、再生可能エネルギー由来の電力が余剰になった場合等に需要を増やす（創出する）「上げDR」については現在制度設計がされている途上であることを示し、引き続き欧米各国の制度設計や国内動向を把握する必要があることを述べた。

第7章では、蓄熱槽を有する地域冷暖房システムを対象に、詳細なシステムシミュレーションを用いて、実際のDR制度を参照した下げDR・上げDRの実行可能性を検討した結果を示した。

制度が運用されている下げDRの場合、蓄熱槽からの放熱で熱源機を停止することによって対応可能であり、消費電力量もほぼ同じであることを述べた。DR-kW量を増大させるために、電力需給ひっ迫注意報などの情報により判断し、蓄熱槽内の熱を温存するため朝の蓄熱開始時から熱源機を運転する準備運転の効果があることが確認された。また経済面から見ると準備運転する間に年間最大電力を発生させない運用をすることが重要であることも確認された。

上げDRに関しては、現時点では系統電力の負荷が少ない中間期に連日の発令が予想されるが、上げDRに利用できる蓄熱槽の空き容量は当日に使用する熱量に依存するため、効果はあるものの大きくはなかった。今後、再生可能エネルギーの導入が更に進み夏期

や冬期にも上げDRが発令され日数が増加するようになれば、蓄熱槽の運用によって対応できるDR-kWh量の総量も大きくなりコストメリットも大きくなることを述べた。

第8章では、本論文の総括を行った。また、今後の課題として、蓄熱槽を有するプラントと有さないプラントの熱融通ポテンシャル、需給調整市場など周波数調整機能を有する高度なDRへの対応検討、変動するであろうDR制度に対する対応、熱融通とDRの併用の可能性を挙げた。

また、カーボンニュートラル化を進めるための熱供給制度、DR制度に対する提言を述べた。