

## 論文の内容の要旨

論文題目 地域冷暖房システムにおける  
地域導管の非定常熱流体モデルの開発と  
需給連携管理による省エネルギー効果

氏 名 堂山 俊貴

地域冷暖房は、地域熱供給とも呼ばれ、1か所または複数のプラントから特定区域内の建物群に対して冷温水・蒸気を供給することで各建物内の熱負荷を処理する熱供給システムのことである。この地域冷暖房に代表される熱供給事業においては、長年の懸案事項として冷温水往還温度差が熱供給約款通りにならない問題が指摘されてきた。これは、熱媒の送り温度が一定であるため戻り温度が原因となっている。熱供給約款とは、熱供給事業者と需要者との間で締結されるもので、温度や圧力に関する供給条件が明確に規定されている。2016年4月、電気事業法改正による電力自由化に伴い熱供給事業法(1972)が改正され、熱供給事業が大幅に緩和された。特に、従来は経済産業大臣の認可が必要であった供給条件や料金体系について、指定旧供給区域を除いてその認可が不要となり需要家への説明義務のみとなった。

本研究では、指定旧供給区域に該当しない地域冷暖房システムを対象として、省エネルギーおよび経済性を達成し得る方法の一つとして需給連携管理に注目する。需給連携管理とは、プラントを運用する熱供給事業者と熱を消費する熱需要者の双方が負荷情報や制御状況を共有することで、地域冷暖房システム全体の最適化を図る管理方法のことである。具体的には、地域導管を通して搬送された冷温水が需要家建物内の受入熱交換器で2次側冷温水と熱交換を行う際に、1次側出入口温度差が供給約款の利用温度差通りに確保されるように需要家側とプラント側が連携して1次側流量を最適化する管理方法を指す。これは、需要家建物内の2次側戻り温度を連携制御することで受入熱交換器1次側出口温度が供給約款に規定された温度となるように管理し、1次側流量が必要最小限となるように地域導管側の流量制御弁を制御するということである。つまり、1次側である地域導管側の流量を適切に制御することで利用温度差を確保し、地域冷暖房システム全体に流れる総流量を削減することで総エネルギー消費量を適切に管理すること

を指す。法改正により、需要家との合意があれば熱供給約款を変更可能となり、連携管理への障壁が軽減されたと言える。よって、将来の地域冷暖房システム運用管理方法としての需給連携を行った場合について、熱供給事業者であるプラント側と熱需要者である需要家側が双方に連携して冷温水の利用温度差および流量を最適化することによる省エネルギー効果について論じる。地域冷暖房システムに関する既往研究において多くの場合モデル化の対象外とされてきた設備である地域導管に着目し、搬送系システムの大部分を占める地域導管モデルを開発した。地域導管を流れる冷温水を熱流体と見なし非定常計算を導入することで、導管内冷温水の熱損失や、需要家が返却する冷温水の急激な温度変化およびプラント側送り温度の急激な温度変化について、搬送時間を考慮した伝達遅れを計算することができる。本研究の主眼は上述の需給連携にあるが、将来の需給連携管理においてはDRやBCPに対応可能な地域冷暖房システムが要求されるはずである。したがって、地域導管全域にわたり任意の解像度かつ任意の時間間隔で温度計算が可能な地域導管モデルは、今後のDRやBCPを検討する際に活用することができ、エネルギーシミュレーションの可能性が広がると言える。さらに地域導管モデルに加えて、需要家モデルおよびプラントモデルを開発した。需要家モデルは需給連携管理の有無を再現して利用温度差および要求流量を需要家特性に応じて計算することが可能である。それらの温度情報および流量情報を地域導管モデルに入力し、非定常計算後に出力された再度の温度情報をもとにプラントモデルにおいてエネルギー計算を行う。以上の3つのモデルを用いて各季節における需給連携管理による省エネルギー効果をシミュレーション計算した。本研究では18通りのケーススタディを用意し、需要家の利用温度差と要求流量の関係を示す熱需要特性による違いについて3通り、プラント側が供給温度条件を緩和するか否かについて2通り、供給圧力条件の設定値について3通りの総当たり検討とした。結果は、供給温度と供給圧力の両条件を緩和した上で需給連携により流量を適切に絞る場合が最も省エネルギー効果が高いことが分かった。プラント全体の省エネルギー効果としては、冷水供給は冷熱負荷の大きい夏期が1週間あたり原油換算43.7 kL削減(削減率20%)、温水供給は温熱負荷の大きい冬期が1週間あたり原油換算6.5 kL削減(削減率6%)となり削減できる絶対量が大きい。夏期、中間期、冬期の代表1週間における削減量をもとに年間試算を行うと、プラント全体で原油換算1,292 kL削減(削減率16%)となった。この省エネルギー効果を達成するためには需給連携管理に加えて供給温度と供給圧力を変更する手続きが必要であるが、プラントの省エネルギー化のためにはやはり需給連携が必須であると言える。