

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	需給連携制御を導入した地域冷暖房システムにおける搬送動力低減に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	國友理
Author(English)	Osamu Kunitomo
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4178号, 授与年月日:2020年10月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:齊藤 卓志,井上 剛良,伊原 学,佐藤 勲,末包 哲也,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4178号, Conferred date:2020/10/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)  
(Dissertation Doctorate)

論 文 要 旨 (和文2000字程度)

Dissertation Summary (approx. 2000 characters in Japanese)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	國 友 理
<p>(要 旨) (Summary)</p> <p>本研究は、熱供給側と熱需要家の情報ネットワーク構築により実現できる需給連携制御を導入した地域冷暖房システム（以下、地冷）が、理想的な搬送動力低減を実現するためにはどのような制約があり、その制約は搬送動力への程度影響を及ぼすのかを可能な限り一般的に検証することを目的とし、設計業務における搬送システム構築および運用業務におけるサステナブル運用により最適な結果を導くプロセス標準化に資する知見を得た。</p> <p>第1章では、背景や目的等を説明した。</p> <p>第2章では、各章の検証で使用するモデルの説明とその妥当性を説明した。</p> <p>第3章では、熱供給側と熱需要家が対一のモデルにおいて、熱負荷を正弦波と仮定し新たに定義した「熱負荷変動速度に対する熱源機の負荷追従速度の相対値(以下、相対値)」と供給安定性および搬送動力の関係を、領域Ⅰ（安定領域）、領域Ⅱ（供給安定性は保たれるが搬送動力は相対値が大きい程微増）、領域Ⅲ（供給安定性が維持できず搬送動力が大きく増加）の3つに分類して検証した。一般的な熱負荷および熱源機を有する地冷では、大半の時間帯で理想値に近い搬送動力となるため、需給連携制御の評価は領域Ⅰでの分析のみとなることを明らかにした。また、朝の立ち上がりなど熱負荷変動速度が大きい場合は、少なくとも相対値が1.6程度より小さくなるような熱源機を選択することで、安定供給が実現できることを示した。</p> <p>第4章では、前章と同じモデルにおいて、熱供給側に熱媒体の温度乱れが生じてても、熱導管長が長い場合にはミキシングによる温度乱れの減衰により、供給安定性を確保できる範囲が広がるため、一般的な熱源機の場合、熱導管長が600m程度以上になると相対値によらず供給安定性を保てる可能性があることを明らかにした。一方、搬送動力はミキシングにより供給安定性が確保されても低減されないため、搬送動力低減に関し、熱導管長は長さに応じた配管圧力損失のみが制約となることを指摘した。</p> <p>第5章では、熱供給側と熱需要家を対多に発展させた場合の基礎（最小値）となる搬送動力の算出手法を説明した。ここでは理想的な制御の在り方として、熱需要家数が複数</p>			

になってもポンプ揚程は熱供給側の抵抗と最遠端の熱需要家の抵抗のみで決定されるが、最遠端の熱需要家は二次側流量の大きさ等により切り替わることを明らかにした。また、理想条件での搬送動力は、各熱需要家の流量のみを変数とする関数で表すことができるものとした。以上より、理想的な制御の在り方と理想条件での搬送動力に関する理論式を組合せた基礎概念では、熱需要家毎の流量を入力値として、任意の瞬時ポンプ揚程と搬送動力を計算でき、実物件にも適用できる。加えて熱需要家数を $N$ に増やす場合は、既知である特定の条件が $N$ 個になり、既知とする条件を極力出現頻度の高い熱負荷とすることで実負荷の再現精度を高めることができる。

第6章では、相対値が十分小さく、かつ熱供給側と熱需要家が一对二となるモデルにおいて、搬送動力に影響を及ぼす制約について、理想条件における搬送動力との比較により検証した。制御上の制約は「制御起因」「インバータ周波数下限」であり、特にインバータ周波数下限については、サステナブル運用により搬送動力への影響を小さくできるためほぼ理想的な搬送動力となるが、サステナブル運用をしないと搬送動力が32%増加することを示した。設備構成上の制約は「ポンプの各種効率」「熱交換器能力の低下」「熱導管長の延長」であり、特に熱交換器能力の低下は搬送動力への影響が大きいことを明らかにした。また、運用上の知見として、最遠端の熱需要家は最も流量の大きい熱需要家で決定できること、ポンプ揚程や各熱需要家の流量バランスが適切であるかの判断は最遠端の熱需要家の流量調整弁開度が指標となること、熱交換器の更新や増減段閾値変更の判断材料となる熱交換器能力の低下は搬送動力の観点では熱交換器の出入口温度差の基準値からの逸脱が指標となること、を指摘した。その他、一般的な搬送システム制御と需給連携制御の比較検証により、一般的な搬送システム制御は需給連携制御と比べて、制御起因による供給差圧の無駄等によって、83%も搬送動力が大きくなること等を示した。

第7章では、計算時間の短縮や不足するデータの補完を目的に、熱需要家毎の積算流量を入力として、任意の平均ポンプ揚程と搬送動力を推定できる推定手法を提案した。この推定手法は、熱需要家数を $N$ に増やす場合は既知である特定の条件が $N+1$ 個にするだけで適用でき、最遠端の熱需要家の切替回数が少ない、もしくは切替回数が多い場合でも積算流量の分割数を増やすことで、推定値の精度を高めることができる特長を有している。また、推定手法を実負荷に適用する場合、実負荷を正弦波形状の熱負荷に変換することで対応でき、変換誤差は正弦波形状の熱負荷の波高値や位相差を適切に決定することで小さくできることを示した。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.

(論文博士)  
(Dissertation Doctorate)

論 文 要 旨 ( 英 文 ) (300語程度)

Dissertation Summary (approx. 300 words in English)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	Osamu Kunitomo
<p>( 要 旨 ) (Summary)</p> <p><b>This study aims to identify what restricts a district heating and cooling system introducing demand-supply coordinated (DSC) control from realizing ideal conveyance power reduction, and to verify, as generally as possible, the extent to which such restrictions affect the conveyance power. From this study, design findings related to the building of conveyance systems as well as findings that contribute to the standardization of a process leading to optimum results through sustainable operation can be obtained.</b></p> <p><b>Chapter 1 explained the background and purpose.</b></p> <p><b>Chapter 2 explained the simulation model and its validity.</b></p> <p><b>Chapter 3 verified to classify the relationship between the newly defined relative value of the load follow-up speed of a heat source machine to the heat load changing speed, the supply stability, and the conveyance power into three regions. The evaluation of DSC control can be made by only using a stable region of three regions.</b></p> <p><b>Chapter 4 verified the effect of increasing the pipe length on the supply stability and the conveyance power considering temperature mixing of fluid. The conduit-length-related restriction against ideal conveyance power reduction is only a pressure loss in the piping according to the heat conduit length.</b></p> <p><b>Chapter 5 proposed the basic concept combining ideal control and theoretical formulas for fluids.</b></p> <p><b>Chapter 6 verified nine restrictions that affect conveyance power compared to the ideal conveyance power. In particular, the effect of the lower limit of the inverter frequency on the conveyance power can be reduced by optimal parameter setting, so almost ideal conveyance power can be achieved. However, attention needs to be paid to the fact that the conveyance power will increase by as much as 32% without optimal parameter setting.</b></p> <p><b>Chapter 7 proposed a method that can estimate any average pump head and average conveyance power when the heat load of each heat consumer, which is an integrated value, is input.</b></p>			

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.