

油と冷媒の混合における熱伝達特性に対する基礎実験

ガスクロマトグラフィを用いた冷媒と油の質量分率測定および熱伝達率測定装置の製作

福田 翔（九州産業大学 理工学部 機械工学科）

Sho FUKUDA, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kyushu Sangyo University

1 はじめに

近年、世界的に地球温暖化が問題となっておりエネルギーを無駄なく使用することが求められている。その中で空調機や冷凍機に用いられているヒートポンプ技術は投入エネルギーよりも多くのエネルギーを投入または排除できる点で省エネルギー技術として注目されている。このヒートポンプ技術は一般的な家庭用空調機やビル用マルチエアコンに用いられており、その中で冷媒の圧力・温度をコントロールする役割を持つ圧縮機という機械がある。圧縮機とは流体や気体を圧縮して送り出すもののことをいい、一般的に金属接触を避けるために潤滑油を使用する。しかしながら圧縮機では冷媒中への潤滑油の混入は不可避なため、沸騰熱伝達率に対する油の影響の把握は重要である。その中で油が混入した冷媒の熱伝達特性を測定した研究は多くある。しかし、測定された冷媒と圧縮機油の種類や測定条件範囲のみに有益なデータに留まっており、新たな冷媒、圧縮機油および熱交換器形状には適用できず、実験を行うことでしか特性把握が困難となっている。この一つの要因としてこれまでの油の溶け込み量測定方法が考えられる。これまでの測定方法では冷媒と油を完全に分離した後にそれぞれの質量を測定することによって実施されているが、実際の油の現象としては冷媒に溶け込んでいるものもあれば分離しているものもある。

そこで本研究では油が溶け込んだ冷媒の熱伝達率を測定するとともに、油が溶け込んでいる状態の冷媒をサンプリングし油と冷媒の質量分率を測定し、溶け込んでいる油が熱伝達率に与える影響を把握する。本報ではその前段階としてガスクロマトグラフィを用いた油と冷媒の質量分率の測定方法と製作した熱伝達測定装置について報告する。

2 油と冷媒の質量分率の測定

2.1 測定原理

本研究では油が溶け込んだ冷媒における油と冷媒の質量分率の測定にはガスクロマトグラフィを用いる。ガスクロマトグラフィはガス状態の多成分を迅速かつ同時に定性・定量が可能で分析値の再現性にも優れており、数十～数百 ppm の不確かさで測定

可能である。他の測定方法としては油と冷媒の混合物の粘度変化を利用する方法もあるが、測定不確かさが1%程度ある。実際のヒートポンプにおける熱交換器での油の溶け込み量は5%以下であるため、ガスクロマトグラフィにおける高精度での測定が必要である。そこで本研究では油が溶け込んだ冷媒を液状態で少量サンプリングし、その後油と冷媒を全て気化させガスクロマトグラフィで分離、質量比を測定する。しかしながら、ガスクロマトグラフィを用いる場合にはあらかじめ測定する物質に対する検量線を作成する必要がある。

2.2 検量線の作成

通常、検量線の作成は各物質に対して規定量をガスクロマトグラフィに投入し、規定量あたりどれくらいの出力を得られるかで行うが、本研究で対象にしている圧縮機油はそれ単体で混合物であるため各物質に対しての規定量をサンプリングすることはできない。そこで本研究ではあらかじめ電子天秤を用いて任意の組成比にした油と冷媒の混合物を作成し、ガスクロマトグラフに投入し油と冷媒の出力比を得て、組成比と出力比の関係で検量線を作成する。測定した組成比と出力比の結果を図1に示す。縦軸および横軸は作成した油と冷媒の質量比およびガスクロマトグラフィの出力比である。また、図中の計算式が作成した検量線であり、実線が検量線より計算した値である。測定は油の質量比が10%以下で行った。作成した検量線の95%包括不確かさは0.01%以下であり、実験に必要な精度を満たしている。

3 熱伝達測定装置の製作

3.1 装置ループ

図2に本研究で製作した装置全体の概要図を示す。ポンプ(1)により吐出された液体状態冷媒は、ヒータ(2)によって所定の条件まで加熱されテストセクション(3)に流入する。テストセクションに流入した冷媒はヒータによって沸騰し、一部が液体から気体に相変化し、過冷却器(4)を流れる水によって冷却され完全に液体となりポンプに戻る。

3.2 テストセクション

図3に本研究で製作したテストセクションの側面概要図を示す。テストセクションは、冷媒は冷媒

流路内のフィン内部を図中の左から右に水平に流れながらヒータにて加熱されている。冷媒流路幅および流路長さは 100 mm および 400 mm である。熱流束測定用の熱流束センサーと加熱用ヒータを冷媒流路およびステンレス製の板の間に挟み、冷媒流路外壁面温度測定用の熱電対を冷媒流路部に設けた溝に挿入している。テストセクションは 8 セクションに分かれており、測定毎に冷媒流れ方向に 8 か所の壁面温度と熱流束を測定する。また、熱流束センサーは冷媒流れ方向に 50 mm の幅を持っており、測定される熱流束は 50 mm の平均熱流束である。なお、冷却面側の逆面には、冷媒圧力測定用の圧力タップおよび冷媒流動観察用のガラス窓を設けている。

3.3 測定条件および結果

製作した装置において R1234zd(E) を用い飽和温度 60 °C、質量流量 30kg/h で沸騰実験を行った。

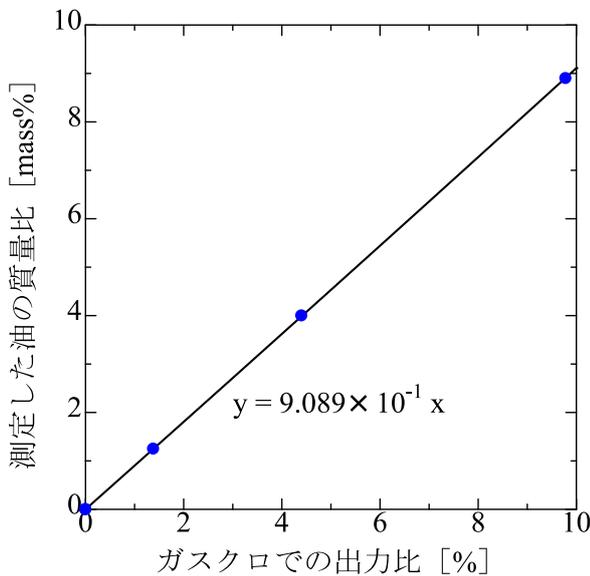


図 1 検量線測定結果

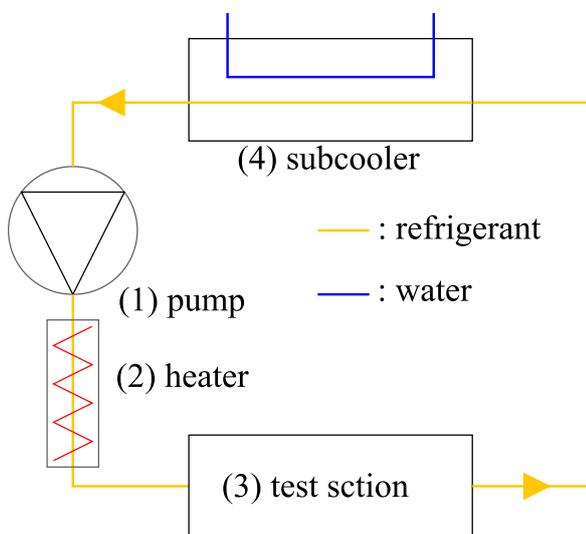


図 2 実験装置概略図

図 4 に測定結果を示す。縦軸および横軸はそれぞれ熱伝達率および乾き度である。本テストセクションでは一度の測定で 8 か所のデータを収集することが可能である。図中の結果より 7 点のデータを取得できていることが分かる。これはテストセクション前に配置したヒータによって冷媒を沸騰する直前まで加熱したことによりテストセクション流入後すぐに沸騰を開始したためである。また、熱伝達率の値に関しても想定内の数値を得ることが出来ており、試験装置の製作は完了したといえる。

4 おわりに

本研究では油が溶け込んだ冷媒の熱伝達率把握を目的として、ガスクロマトグラフィを用いた油と冷媒の質量分率測定のための検量線の作成および沸騰熱伝達率測定装置の製作を行い、以下の結論を得た。

- 油の質量分率 10% 以下における検量線を作成した
- 作成した検量線の不確かさは 0.01% 以下である。
- 任意の状態でも冷媒の沸騰熱伝達率を測定できる装置が完成した。

(P) Pressure transducer

(T) Thermocouple

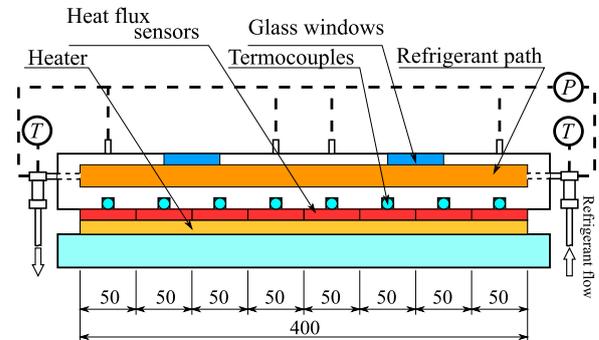


図 3 テストセクション概略図

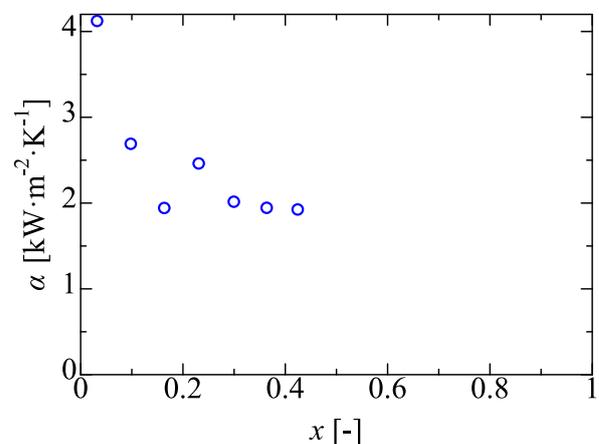


図 4 測定結果