

S2-1

温室効果ガス削減のための次世代作動流体の熱力学性質の研究

Study on Thermophysical Properties for Next Generation Working Fluids to Reduce Green Effect Gases

○田中勝之¹*Katsuyuki Tanaka¹

Abstract: Organic Rankine cycle systems and high-temperature heat pump systems are expected to recovery energy from waste heat. Novel working fluids for these systems are proposed but their thermophysical properties to design their systems and estimate their performances are insufficient. In this presentation, working fluids for next generation and apparatuses for measuring thermophysical properties such as saturated liquid density, $p\rho T$ relationship, critical constants and isobaric specific heat capacity of gas and liquid are shown with their experimental data.

1. はじめに

エネルギーの消費と共に発生する二酸化炭素は、温室効果により地球温暖化の原因となる。そのため、燃料使用量に対して効率よくエネルギーを取り出す必要がある。そこで、現在は捨てられている工場や発電所、自動車からの廃熱や太陽熱、地熱などの利用価値の低い温度の低品位な熱エネルギーを利用することが解決策の一つとして挙げられる。

低品位な熱エネルギーの利用技術として、オーガニックランキンサイクルと高温出力型ヒートポンプがあげられる。オーガニックランキンサイクルとは、火力発電等で利用されている水を作動流体として熱源で高圧の蒸気に変換してタービンで膨張させる際の仕事で電力を得るランキンサイクルを、水ではなく沸点の低い有機物（オーガニック）を作動流体として用いる発電システムであり、比較的低い温度の熱源でも発電することができる。また、ヒートポンプとは、低品位な熱エネルギーを集めて出来た蒸気を、圧縮機によって圧縮し、高温の高品位な熱エネルギーを得ることができるシステムであり、圧縮機に必要な動力に対して得られるエネルギーは、ジュール熱を用いるヒーターと比べると5倍程度よく、省エネルギーである。

オーガニックランキンサイクルや高温出力型ヒートポンプの開発を進めるには、それらの作動流体の選定が重要である。次世代の作動流体に求められるのは、作動流体自身が温室効果ガスであってはならず、また安全に効率良く運転できる必要がある。したがって、様々な熱源に対応すべく、なおかつそれらの条件を満たす物質は、新たに探す必要があり、候補となる物質の熱力学性質を調べる必要があり、本研究の目的とするところである。

2. 作動流体の候補物質

オーガニックランキンサイクルは、製鉄所や地熱発電での使用を想定すると 200℃以下の熱源となる。また、高温出力型ヒートポンプでは、工業用で消毒用に 120~150℃程度の蒸気を生成することが期待されている。それらのサイクルで使用する作動流体は、沸点が室温付近の物質であり、水よりも低沸点であるが、冷凍サイクル用の冷媒よりも高沸点の物質が必要となる。作動流体自身が温室効果ガスであってはならないので、自然界に存在する物質が望ましく、炭化水素があげられるが、可燃性があるものが多い。そのため、冷媒で用いられているフッ素化合物が主に挙げられる。ただし、フッ素化合物にも可燃性や毒性があるものが多く、温室効果も高いものが多いが、冷媒のような低沸点の物質は、分子量も低く、原子数も少ないため、組み合わせに限界があるが、本研究のように比較的沸点が高いので、裾野は広い。フッ素化合物の中でも、温室効果を高く示すのは、大気寿命が長い物質であり、寿命が短い炭素間の二重結合を持つオレフィン系の物質が候補となっている。具体的な候補物質は、発表時に示す。

3. 作動流体の熱力学性質測定

3. 1 飽和液体密度測定

飽和液体密度は、気液 2 相における液体の密度であり、温度の上昇と共にその値は小さくなり臨界温度において臨界密度になる。容積が一定の容器に臨界密度以上になる質量の流体が充填されると臨界温度になる前に、ある温度で飽和密度に達し、圧縮液になることで温度の上昇に対して急激に容器内の圧力が上がる。したがって、飽和液体密度の温度依存性を把握しなければ危険である。飽和液体密度を測定するために、抽

出法による装置を開発し、測定をおこなった^[1-6]。装置や測定結果の詳細は、発表時に示す。

3. 2 ppT 性質測定

ppT (圧力・密度・温度) 性質は、1 相域における圧力と密度、温度の関係であり、圧縮液域、過熱蒸気域、超臨界域の広い温度圧力範囲での情報が必要である。 ppT 性質は、飽和液体密度と同じく、作動流体を安全に扱うために設計上必要不可欠な情報である。 ppT 性質を測定するために、等容法による装置を開発し、測定をおこなった^[7-10]。装置や測定結果の詳細は、発表時に示す。

3. 3 臨界定数測定

臨界定数は、臨界温度・臨界密度・臨界圧力からなり、物質によって異なる。熱力学性質は、臨界定数で無次元化した対応状態原理で一般化されることが多く、臨界定数さえ分かれば、おおよその熱力学性質を得ることができる。また、ランキンサイクルやヒートポンプサイクルは気液相変化を利用しているので、気液の区別がなくなる臨界域との境界情報である臨界定数は、その物質によるサイクルの使用限界を示している。臨界定数を測定するために、光学セルを持つ等容法による装置を開発し、測定をおこなった^[11-13]。装置や測定結果の詳細は、発表時に示す。

3. 4 定圧比熱測定

定圧比熱は、熱量性質を示し、その温度による積分値はエンタルピーをもたらす。したがって、ランキンサイクルやヒートポンプサイクルのエネルギー変換量を算出可能とし、サイクルの性能評価に必要不可欠である。定圧比熱を測定するために、液相は密度が大きく試料を少量で測定可能とするためにバッチ式の金属ベローズ型カロリメータを、気相は密度が小さく熱容量も小さくなるためフロー式のカロリメータを開発し、現在、測定をおこなっている。装置の詳細は、発表時に示す。

4. おわりに

東日本大震災による原子力発電所の事故もあり、化石燃料に大きく依存せざるを得ない現状では、エネルギーを有効利用することで二酸化炭素の排出を抑える必要がある。本研究は、その手段としてオーガニックランキンサイクルとヒートポンプサイクルに着目し、それらの開発の基盤となる作動流体の熱力学性質を実

験的に明らかにすることを目的とし、おこなっている。現時点では、純物質を測定対象としているが、異なる物質間の相互作用を期待して混合物の利用も考えている。したがって、混合物の相互作用が現れる気液平衡性質などの測定も計画しており、物質応用化学科の研究室をはじめとした多学科による研究体制で研究を加速し、日本大学独自の作動流体を提案したいと考えているので、多くの皆様にご協力いただけることを期待している。

参考文献

- [1] 田中勝之, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.31, pp.11-17, (2014).
- [2] 田中勝之, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.31, pp.305-310, (2014).
- [3] 田中勝之, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.32, pp.285-291, (2015).
- [4] Katsuyuki Tanaka, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.61, pp.1645-1648, (2016).
- [5] 田中勝之, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.33, pp.105-111, (2016).
- [6] 田中勝之, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.34, pp.139-145, (2017).
- [7] Katsuyuki Tanaka, Ryo Akasaka, Eiichi Sakaue, Junichi Ishikawa, Konstantinos Kontomaris, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.61, pp.2467-2473, (2016).
- [8] Katsuyuki Tanaka, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.61, pp.3570-3572, (2016).
- [9] Katsuyuki Tanaka, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.61, pp.3958-3961, (2016).
- [10] Katsuyuki Tanaka, Junichi Ishikawa, Konstantinos Kontomaris, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.62, pp.2450-2453, (2017).
- [11] Katsuyuki Tanaka, Ryo Akasaka, Eiichi Sakaue, Junichi Ishikawa, Konstantinos Kontomaris, Journal of Chemical & Engineering Data, Vol.62, pp.1135-1138, (2017).
- [12] 田中勝之, 熱物性, Vol.31, pp.66-71, (2017).
- [13] Katsuyuki Tanaka, Junichi Ishikawa, Konstantinos Kontomaris, International Journal of Refrigeration, Vol.82, pp.283-287, (2017).