九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

低GWPフロン系冷媒を用いた吸着式蓄熱・ヒートポンプ・AHTサイクルの実験

郡, 光春
九州大学大学院総合理工学府総合理工学専攻機械・システム理工学メジャー

https://hdl.handle.net/2324/6788215

出版情報：九州大学, 2022, 修士, 修士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

低 GWP フロン系冷媒を用いた吸着式蓄熱・ヒートポンプ・AHT サイクルの実験

熱エネルギー変換システム学研究室　郡　光春

1.　緒言

近代の人類の急速な技術発展により，我々の生活は豊かになり続けているが，その反面，様々な環境問題や化石燃料の枯渇を引き起こしている．これらの問題の解決方法のひとつとして，工場，焼却場や発電所などの排熱や太陽熱などの未利用エネルギーや再生可能エネルギーを利用することで，化石燃料の消費量を少なくし，温室効果ガスの排出を抑えることが挙げられる．

このような低温排熱を利用する技術として，吸着現象の活用があげられる．吸着現象の圧力や温度変化を，排熱を蓄積し別の時間や場所で利用できる蓄熱システムや，排熱を熱源として利用して空調・給湯などを行えるヒートポンプシステムに利用することができる．　また，低温排熱の温度レベルを上げるサイクルである AHT サイクル(Adsorption Heat Transformer cycle)も注目されている

我々の研究グループは，活性炭の吸脱着現象を吸着システムに応用することに注目し，かねてから実験を行ってきた．活性炭は比表面積が大きく，それだけ多くの吸着量を見込めるためだ．先行研究では，フロン系冷媒である R134a を吸着質に使用し，さまざまな条件下で吸着実験を行い，蓄熱システムの性能を評価してきた．今回の研究では，我々は吸着質に同じフロン系冷媒である R1234yf を使用した．温室効果の高い R134a と比べ，R1234yf は蒸発潜熱こそ劣るが，二酸化炭素と同程度の温室効果しかない冷媒である．フロン系冷媒は基本的に高圧で蒸気密度が大きく，装置の小型化や，吸着速度の増加により短時間で多くの熱を取り出すことが期待される．

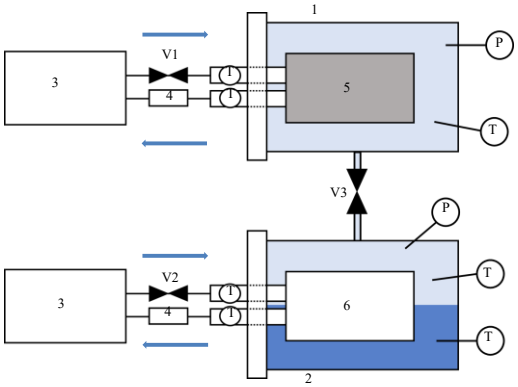
以上のことから，本研究の目的は，R1234yf と活性炭を利用した，①吸着式蓄熱システム，②吸着式ヒートポンプシステム，および③AHT サイクルの性能を，実験により予測することである．

2.　吸着システムの原理

今回用いた吸着システムは大きく分けて，吸着器と蒸発/凝縮器のふたつからなる．排熱が発生した際に吸着器内の活性炭から吸着質を脱着させる．その後両容器の接続を断ち，吸着温度条件にする．両容器を接続することで，吸着質を吸着させ，そのときに発生する吸着熱や，蒸発器側の蒸発熱を利用する．

3.　実験装置および実験条件

実験装置の概要図を図 1 に示す．ここでは，吸着質を R1234yf として解説する．蒸発/凝縮器内は液体および蒸気の R1234yf，吸着器内は蒸気の R1234yf で満たされている．両容器内にはそれぞれ熱交換器が設置されており，その中を恒温槽によって温度制御された不凍液が流れることで温度が一定に保たれる．吸着器内の熱交換器の周囲には活性炭が塗布されており，R1234yf が吸着することで吸着熱が発生する．その吸着熱は熱交換器内を流れる不凍液によって回収され，熱交換器出口の不凍液の温度は入り口の温度よりも大きくなる．この温度差から吸着熱を算出する．



1 吸着器　2 蒸発/凝縮器　3 恒温槽　4 流量計
5 吸着熱交換機　6 熱交換器　V バルブ　T 熱電対
P 圧力計　太い矢印は不凍液の流れ
図 1 実験装置の概要図

蓄熱システムの実験において，両冷媒を比較した温度条件における R134a および R1234yf と MSC-30 の有効吸着量を表 1 に示す．

表 1　蓄熱システムの各温度条件における R134a および R1234yf と MSC-30 の有効吸着量

脱着過程	吸着器温度[°C]	60	80
	凝縮器温度[°C]	5	
吸着過程	吸着器温度[°C]	5	
	蒸発器温度[°C]		
不凍液流量[L/min]		1.25	
有効吸着量[g]	R134a	66.58	88.63
	R1234yf	41.43	59.84

不凍液の流量はすべての条件で 1.25L/min である．また有効吸着量は，脱着時の吸着量と吸着時の吸着量の差である．それぞれの吸着量は Dubinin-Astakhov の式を用いて算出した．

エタノールおよび R134a の代表的な物性値を表 2 に示す．それぞれ 5˚C のときの物性値である．

表 2　R134a および R1234yf の代表的な物性値(5˚C)

	R134a	R1234yf
飽和蒸気圧[MPa]	0.34966	0.37292
蒸気密度[kg/m^3]	17.131	20.744
蒸発潜熱[kJ/kg]	194.74	160.02

また，R1234yf を利用したヒートポンプシステムの実験条件を表 3 に示す．

表 3　ヒートポンプシステムの各温度条件における R1234yf と MSC-30 の有効吸着量

脱着過程	吸着器温度[˚C]	60	70	80
	凝縮器温度[˚C]	30		
吸着過程	吸着器温度[˚C]	30		
	蒸発器温度[˚C]	15		
不凍液流量[L/min]		2.0		
有効吸着量[g]		9.842	17.75	26.13

4.　実験結果および考察

図 2 に，蓄熱システムの実験における，R134a と R1234yf の吸着発熱量の経時変化の比較を示す．

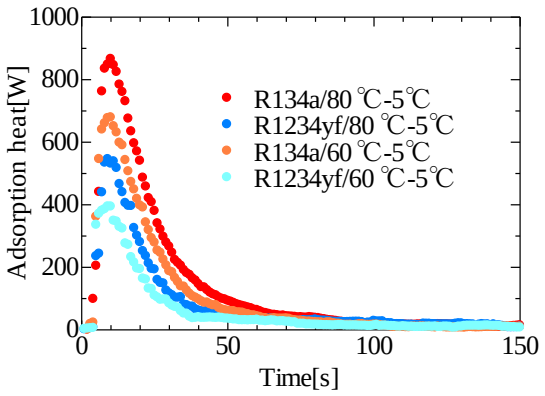


図 2　蓄熱システムの吸着発熱量の経時変化の比較

横軸は吸着開始から経過した時間，縦軸は 1 秒当たりの吸着発熱量を表す．この図より，脱着温度が高くなるほど，発熱量のピーク値が大きくなることがわかる．これは，有効吸着量の差に起因すると考えられる．また，同じ温度条件で見たとき，R1234yf より R134a を使用したときのほうが，ピーク値および総熱量において，大きい発熱量を得られることがわかる．5˚C において，蒸気密度は R1234yf のほうが高いが，蒸発潜熱および有効吸着量は R134a が上回っている．したがって，この 2 種のフロン系冷媒の吸着発熱の大小において，蒸気密度より有効吸着量と蒸発潜熱の影響が大きいと考えられる．

続いて，R1234yf を使用した吸着ヒートポンプシステムの実験条件の違いによる比較を図 3 に示す．蓄熱システムと異なり，蒸発器の熱量変化を測定した．なお，蒸発熱量は吸熱反応であるため，負の値をとっている．

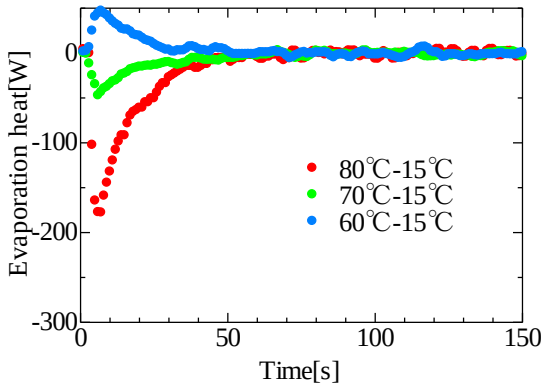


図 3　ヒートポンプシステムの蒸発熱量の経時変化の比較

この図より，脱着温度が高くなるほど，吸熱量のピーク値が大きくなることがわかる．これは，有効吸着量の差に起因すると考えられる．

また，脱着温度 60 ˚C のときのみ，発熱が起こっているため，この条件のみ蒸発器側で凝縮が起こっていると考えられる．この原因は，脱着時に吸着器側の死容積に残った R1234yf が，バルブを閉め，吸着器温度条件まで温度を下げた際に吸着材に有効吸着量以上に吸着してしまったことと考えられる．吸着直前の吸着器圧力から D-A 式を用いて算出した，脱着完了後に吸着した吸着量①を以下に示す．

表 4　死容積冷媒の吸着量

温度条件	①　[g]	有効吸着量と①の差[g]
60-15	11.626	-1.784
80-15	16.5837	9.5463

5.　結言

蓄熱システムにおいて，R134a 使用のほうが R1234yf 使用より大きな熱量を得られ，熱量のピーク値および合計値は有効吸着量に依存する．また，R1234yf 使用のヒートポンプにおいて，蒸発熱のピーク値および合計値は有効吸着量に依存するが，死容積の影響で一部条件の運転が不可能になる．