



デシカント空調システムにおける除湿性能の向上手法

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐々木, 仁, 村田, 遼太郎, 田島, 大輔, 林, 則行, Sasaki, Jin, Murata, Ryotaro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/5557

デシカント空調システムにおける 除湿性能の向上手法

佐々木 仁^{a)}・村田 遼太郎^{a)}・田島 大輔^{b)}・林 則行^{c)}

Improvement of the Dehumidification Performance in Desiccant Air Conditioning System

Jin SASAKI, Ryotaro MURATA, Daisuke TASHIMA, Noriyuki HAYASHI

Abstract

Co-generation system has become an effective method to solve the global warming and energy problem. The system can achieve high efficiency both by using electric generation and by exhaust heat recovery. On the other hand, the development of the environmental improvement technology in the greenhouse is demanded agricultural sector. It is thought that desiccant air conditioning system can solve these problems. Two experiments were conducted in this research. First, characteristic of the dehumidification quantity on different air volume and regenerating air temperature was requested by dehumidification examination. As the result, using a desiccant air conditioning system, it was confirmed that can be controlled relative humidity in a greenhouse. Second, dehumidified outside air in the desiccant air conditioning system, was blown into the greenhouse. The temperature and relative humidity of air were measured, therewith were compared the results of the circulation method. As the result, using the ventilation method, it could be dehumidified as compared to the circulation method. Through this study, it was clarified that using the ventilation system can be controlled temperature and relative humidity in to the greenhouse

Keywords: Co-generation, Desiccant air conditioning system

1. はじめに

現在、日本のエネルギー自給率は6%と深刻なエネルギー問題に直面している¹⁾。また、農林畜産廃棄物の適正処理技術が確立されておらず、土壌汚染や大気汚染などといった環境問題も深刻化している。そこで、注目されているのが農畜産廃棄物の乾燥処理やメタン発酵による適正処理である。全国各地では、メタン発酵プラントの導入が進んでおり、宮崎大学においても同プラントを導入し、暖地仕様メタン発酵プラントの開発を行っている。メタン発酵プラントから精製されたメタンガスや乾燥処理されたバイオマス燃料は、ガスエンジンなどのコージェネレーションシステムに燃料供給することで電気と熱が生成される。

しかし、バイオマス燃料の精製量は不安定であり、エネルギー密度が小さい、輸送コストが高いといった問題を抱えていることから、需要地近傍で発電可能であり、電気と排熱を利用した高効率なコージェネレーションシステムの開発が求められる。だが、年間を通じてコージェネレ

ーションシステムを使用する場合、生成される熱に対して需要が少ないという問題がある。

一方で、ビニールハウスで野菜や花を栽培する際、作物の葉や、灌水した土壌中の水が蒸発によってハウス内に出てくるのを、フィルムにより密封してしまう。そのため、ハウス内の相対湿度が、高いとき(特に夜間)には100%近くまで上昇し病原菌が繁殖しやすい環境となる。そのため、湿度を制御し生産性を向上するために温室内環境の改善技術の開発が強く求められている。

そこで現在、排熱の利用ができる空調システムとして開発が急速に進められているものがデシカント空調システムである²⁾。これまで、排熱の利用方法として、吸収式、吸着式のヒートポンプが開発されてきたが、大型・高価となるため普及は進んでいない。そこで、ガス管路を用いず、開放系で制御できることからシンプルな構成であるデシカント空調システムは比較的成本を抑えることができる。デシカント空調システムは吸着材を用いる除湿空調システムであり、過冷却再熱方式でないため、温度、湿度を独立して制御できるというメリットを有している^{2) 3)}。よって、人間の居住環境だけでなく、低コストで温湿度を制御する技術が求められている農畜産業分野において応用が可能であると考えられる。農畜産業分野においてコ

a) 電気電子工学専攻大学院生

b) IR 研究員

c) 工学教育研究部教授

ージェネレーションシステムとデシカント空調システムのハイブリッド利用ができれば、エネルギーの有効利用ができると共に、地域資源循環システムの構築が促進できるものと思われる。

本研究では、デシカント空調を用いた、排熱の有効利用と温室内環境の改善を同時に実現できる空調システムの開発を目的として研究を行っている。特に農業用デシカント空調システムの開発に向けた調査を行い、農業用温室に導入した際の基礎運転実験を行っている。本論文では、デシカント空調システムを温室に導入し、風量、再生空気温度を変化させた場合の除湿試験と、運転方式による除湿性能の調査を行った。

2. 原理と特徴

図1に一般的な2ロータ式デシカント空調システムの原理図、図2に空気線図上における状態変化を示す。まず、処理空気(除湿される空気)はデシカントロータの処理側(図1では下部)を通過する際に吸着除湿される。その際に発生した吸着熱は、顕熱交換器で回収され、その後外部冷熱源とつながった冷却器で温度が制御される。また、再生空気は顕熱交換器にて熱供給され、さらに外部熱源により追加熱され、デシカントロータの脱着部(図1では上部)を通過する際に湿分を脱着して吸着材を再生する。

特徴として、冷却式(ルームエアコン、除湿機)では、空気を露点温度以下まで過冷却し、湿分が取り除かれた後で温度制御(再熱操作)が行われている。一方、デシカント式では過度に冷却して再加熱する必要がないため、冷却に要するエネルギーを抑えることができる。また、ロータ中の湿分を脱着させる際の温度は高々80℃程度であり、図3に示すように熱駆動ヒートポンプよりも高温を必要とせず、コージェネレーションシステムの排熱や太陽熱を利用する事ができる。さらに、温度と湿度を独立して制御できることから導入効果は、空調システムの省エネルギーだけでなく、一般に病原菌などの繁殖抑制及び冷却しすぎない適切な空調にも期待できる。

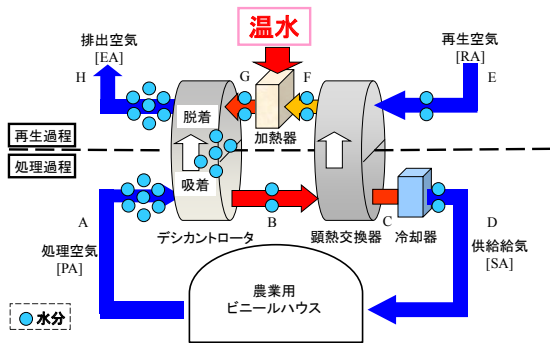
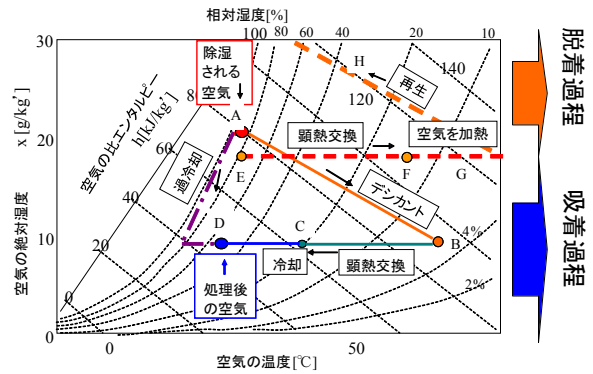


図1 デシカント空調システム³⁾



A: 湿潤空気 B: 低湿度高温空気 C: 低湿度空気 D: 供給空気 E: 外気 F: 余熱された空気 G: 加熱された空気 H: 排気

図2 空気線図上における状態変化³⁾

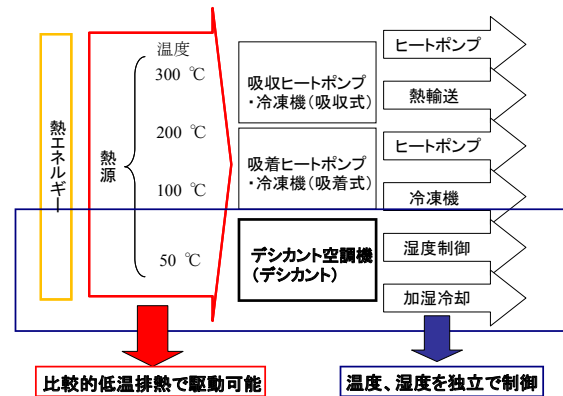


図3 吸収脱着デシカントによるエネルギー変換と熱輸送技術のイメージ³⁾

3. 除湿試験

3.1 全体システム

図4にシステムの全体図を示す。デシカント空調機を農業用温室に導入し除湿試験を行った。処理空気、供給空気の温湿度の測定には、それぞれ熱電対(型式:DW01-DT301)及び湿度センサー(型式:B-530)を用いた。計測範囲は温度-30~+150℃(精度:JIS2)、湿度0~+100%RHである。また、熱電対によってデシカントロータを通過する空気温度を測定している。再生用熱源には温水の条件を容易にコントロールするため、日立製のエコキュート(型式:BHP-Z37FU)を用いた。定格加熱能力/消費電力の比は4.5kW/0.92kW、沸き上げ温度は約65~90℃であり、給湯温度は約30~90℃である。

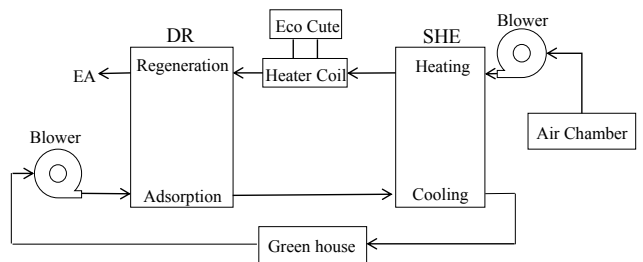


図4 全体システム

3. 2 実験方法

実験回路は図4を用いた。実験条件を表1に示す。温室内の空気を送風機によりデシカント空調システムに送り、除湿処理を行った。その際、送風機の風量は60~180 m³/hの範囲で30 m³/hずつ変化させた。さらに、再生空気の温度をそれぞれ変化させ、その際の温室内相対湿度特性をデータロガーにて測定し、結果を検討した。目標相対湿度は80%以下とした。また、処理空気と供給空気の絶対湿度を算出し除湿量を求め、処理空気温度—除湿量特性について検討した。

除湿量は以下の式から算出した。まず、式(3.1)より、処理前後の空気の水蒸気圧 E_p を算出した。 E_0 は 0 °C のときの飽和水蒸気圧で 6.11 hPa、 t は温度 [°C]、 RH は相対湿度 [%] を表している。

$$E_p = E_0 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times t}{237.3 + t}\right)} \times \frac{RH}{100} \quad \dots (3.1)$$

次に、式(3.1)の結果を用いて、式(3.2)より、処理空気、再生空気の重量絶対湿度 H [g/kg(DA)] を算出した。このとき、大気圧 $P = 1013$ hPa、 M_{water} は水の分子量、 M_{air} は空気の分子量を表している。算出した重量絶対湿度から差を求め、除湿量を算出した。

$$H = \frac{M_{water} \times E_p}{M_{air} \times (P - E_p)} \approx \frac{18}{29} \times \frac{E_p}{P - E_p} \times 1000 \quad \dots (3.2)$$

表1 実験条件

Rotor	Length	[m]	0.2
	Diameter	[m]	0.3
	Rotational speed	[rph]	36
Amount of air	Adsorption	[m ³ /h]	60~180
	Regeneration	[m ³ /h]	60~180
Hot water	Temperature	[°C]	40~80
	Flow	[L/min]	2~4
Time		[min]	120

3. 3 実験結果

図5に農業用温室に導入した場合の除湿試験の実験結果を示す。図5を見ると、デシカント空調システムを用いることで、風量と再生空気温度のほとんどの範囲で温室内を80%以下に制御可能であることが確認できた。また、風量が高くなるにつれて、低い再生空気温度で温室内を制御可能となることが分かった。これは、風量が高くなると、処理される空気の流れが早くなり、吸着過程でより多くの空気を処理することができるためと考えられる。また、180 m³/hの値を見ると、同じ風量でも再生空気温度が

高い点で相対湿度がより低く制御できていることが分かる。これは、再生空気の温度が高くなることによって、吸着材であるシリカゲルの細孔に吸着された水分子の吸着力が断ち切れ、脱着がより十分に行われたことによって除湿量が増加したからである。

次に風量60, 90, 120 m³/hの制御できなかった点について考察すると、風量又は再生空気温度が除湿処理に十分な値でなかったことが分かる。しかし、風量120 m³/hの再生空気40 °Cの結果を見ると、本来制御可能である範囲において制御できない結果となった。これは、処理空気温度—除湿量特性の結果から考察を行った。図6に処理空気温度—除湿量特性の実験結果を示す。図6を見ると、除湿量は処理空気温度に大きく影響を受け、処理空気温度が高いと除湿量が減少することが分かる。この結果から、風量120 m³/hの再生空気40 °Cの場合、温室空気温度が極めて高かったため、除湿量が影響を受け制御できない結果になったと考えられる。

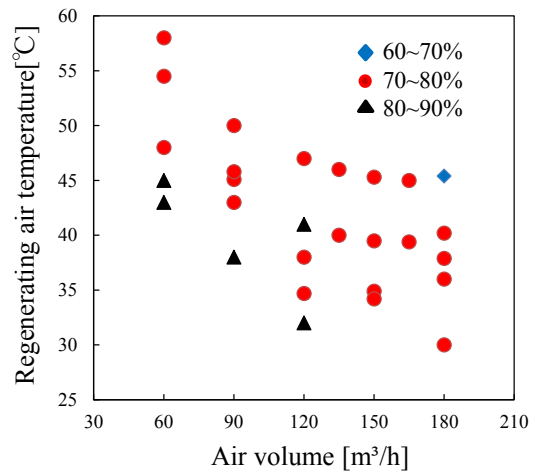


図5 達成可能な相対湿度をパラメータとした風量—再生空気温度特性

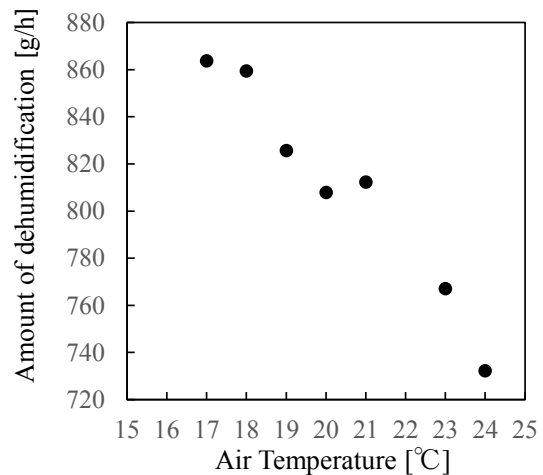


図6 処理空気温度—除湿量特性

4. 除湿性能向上を目的とした運転方式の検討

4.1 検討理由

除湿試験の結果から、風量と再生空気温度を変化させた際、広範囲で農業用温室内を 80 %以下に制御可能であることが確認できた。しかし、除湿量は処理空気温度から影響を受け、処理空気温度が上昇すると除湿量は減少し、温室内の相対湿度を制御できない場合があることが分かった。そこで、さらに除湿性能を向上させることを目的とした運転方式の検討を行った。

4.2 運転方式

図7にデシカント空調システムの運転方式を示す。同図(a)の循環方式は、これまで用いてきた運転方式であり、農業用温室内の空気をデシカントロータを通すことで除湿処理し、温室内に給気する。同図(b)の換気方式は、本研究で提案した運転方式であり、外気を除湿して温室内に給気する。温室内より温度の低い外気を除湿することで、デシカント空調システムの除湿量を向上させ、農業用温室に導入した際の除湿性能向上を図った。

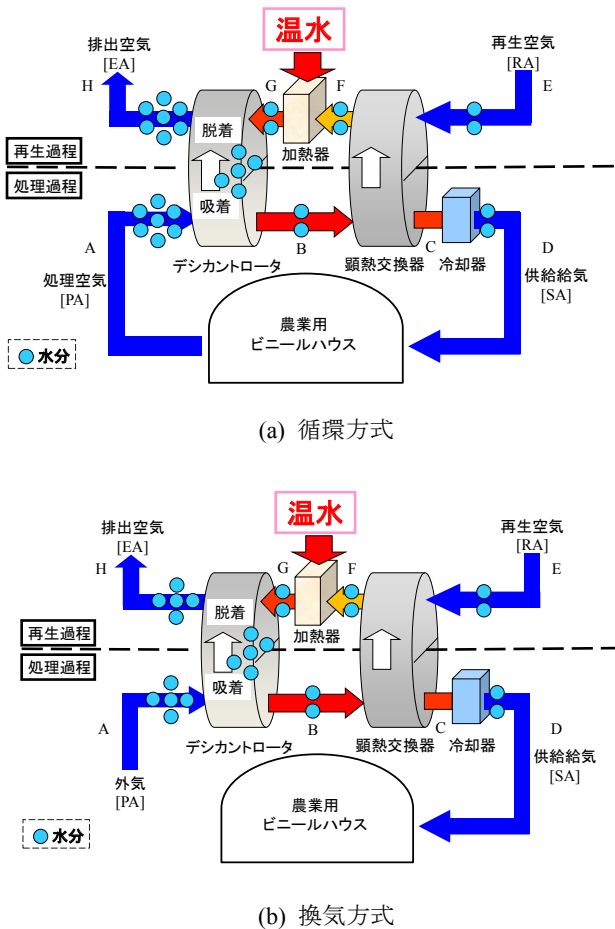


図7 デシカント空調システムの運転方式

4.3 実験方法

実験回路を図8に示す。実験条件を表2に示す。まず、温室内の空気をデシカントロータに通して除湿処理し、温室内に給気する循環方式で温室の除湿処理を行った。また、外気を除湿処理し、温室内に給気する換気方式で同様の試験を行った。そして、温室内の温度、相対湿度を測定し比較検討した。その際、風量は 180 m³/h に設定した。温水の温度は、再生空気の温度が 40℃一定となるように調整し、120 分間除湿処理を行った。それぞれの除湿試験において外気条件は同様であった⁴⁾。

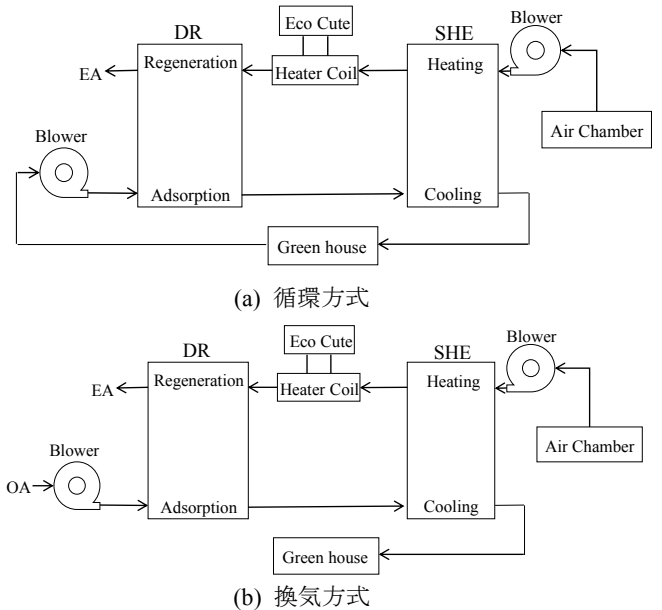


図8 実験回路

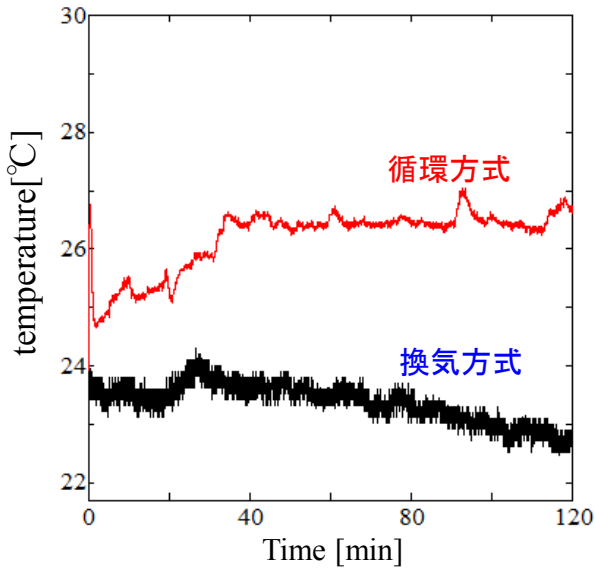
表2 実験条件

Rotor	Length	[m]	0.2
	Diameter	[m]	0.3
	Rotational speed	[rph]	36
Amount of air	Adsorption	[m ³ /h]	180
	Regeneration	[m ³ /h]	180
Hot water	Temperature	[°C]	60~80
	Flow	[L/min]	2.0~3.0
Time		[min]	120

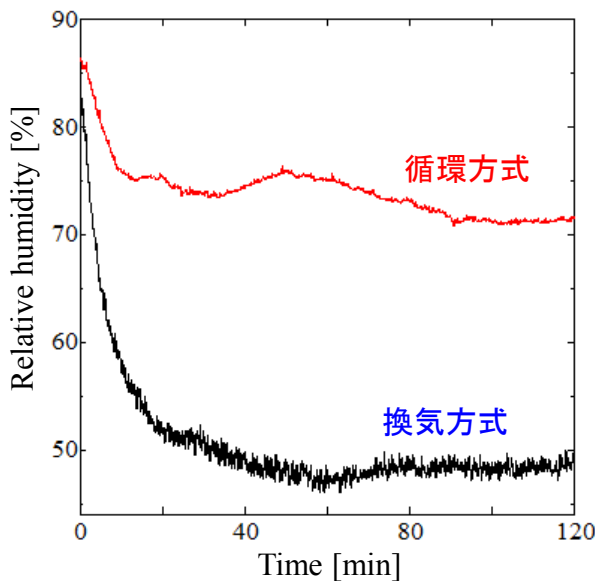
4.4 実験結果

循環方式と換気方式の実験結果を図9に示す。まず図9(a)の温室内空気温度について比較する。結果として、循環方式は換気方式に比べ温室内空気温度が大きく上昇した。デシカント空調システムでは、吸着材によって処理空気中の水分を除湿する際に吸着熱が発生し、温室に給気する空気の温度は上昇する。そのため温室とデシカント空調システム間で空気を循環させた循環方式では、温度が次第に上昇したと考えられる。次に、同図(b)の温室内相対湿度を比較すると循環方式、換気方式ともに除湿前の相対湿度は同じであったが、循環方式に比べ換気方式の方が大きく相対湿度を減少させる結果となった。これは、

温室内の空気より外気の方が空気温度が低いため、除湿量が向上したためと考えられる。また、外気の方が温室内外空気より相対湿度も低いため、デシカントロータに通すことでより低い相対湿度に制御できたためと考えられる。よって、新たに提案した換気方式を用いることで、温度制御が容易になると同時に、除湿性能の向上を図れることが確認できた。



(a) 時間-温室内外温度特性



(b) 時間-温室内外相対湿度特性

図9 循環方式と換気方式の比較結果

5. まとめ

本研究ではデシカント空調を用いた、排熱の有効利用と温室内外環境の改善を同時に実現できる空調システムの開発を目的としている。本論文では、デシカント空調システムを温室に導入し、風量、再生温度を変化させた場合の除湿試験と、運転方式による除湿性能の調査を行った。

(1) 除湿試験

デシカント空調システムを農業用温室に導入し、風量と再生空気温度を変化させた際の除湿試験の結果、風量が増加すると、低い再生空気温度で温室内外相対湿度を制御できることが分かった。また、同じ風量において、再生空気温度が上昇すると温室内外を低い相対湿度に制御できることを確認した。さらに、除湿量は処理空気温度によって影響を受け、処理空気温度が上昇すると除湿量は減少することが分かった。

本実験では、デシカント空調システムを用いて、温室内外相対湿度を 80 %以下に制御可能であることを確認した。しかし、制御が不可能な範囲や、処理空気温度の影響から制御できない点もあり、さらなる除湿性能の向上手法が求められることが分かった。

(2) 除湿性能向上を目的とした運転方式の検討

除湿性能を向上させることを目的として、デシカント空調システムの運転方式の検討を行った結果、温室内外の温度制御において換気方式の方が容易であることを確認した。また、温室内外の相対湿度制御において換気方式の方がより低い相対湿度に制御できることがわかった。これにより、温室内外の温湿度制御において換気方式の方が優れていることが確認できた。

本実験では、デシカント空調システムを温室に導入し除湿処理を行う場合、循環方式より換気方式の方が、温湿度制御において優れていることが確認できた。従って、本研究提案の換気方式を導入することで温度制御が容易になると同時に、除湿性能の向上が期待できる。

謝辞

本研究の実験に際して多大なる御協力と有益なご指導・助言を頂きました金沢大学の児玉 昭雄教授に深く御礼を申し上げます。また、実験をサポートして頂きました電気電子工学科学部 4 年生の京牟禮 龍太君に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 「エネルギー白書 2014」, 経済産業省・資源エネルギー庁, p. 144, 2014 年
- 2) 「初歩と実用シリーズ デシカント空調システム 究極の空調システムを目指して」, 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター低温排熱利用機器調査研究会, 日本工業出版株式会社, 2006 年 12 月
- 3) 濱本芳徳: 「エネルギーの貯蔵・輸送 第 4 章 吸収・吸着デシカント材による熱輸送技術」, 株式会社エヌティーエス, 2008 年 6 月
- 4) 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>