

実用的な可搬型雪冷房装置の試作と性能試験

○青柳大輔¹・BAYANMUNKH TSATSRAL¹・辻野憲孝²・杉原幸信³・上村靖司³

(1:長岡技術科学大学大学院 工学研究科 2:長岡技術科学大学 工学部 3:長岡技術科学大学 機械創造工学専攻)

1. はじめに

国の雪冷熱エネルギーの活用促進¹⁾を受け、近年雪冷房への関心が高まっている。雪冷房は雪の融解熱を用いて冷房を行うもので、省エネルギーによるCO₂排出抑制効果が期待される。一般に雪冷房は利用可能な地域が豪雪地帯に限定され、システム全体が大型になるという制約があるが、システムを簡略することで小型化し、移動を可能とする簡易雪冷房装置も試験的に運用されてきた。しかし、輸送から運用までの工程でのハンドリングの手間が多かったり、1時間毎に雪の装填が必要であったりして、未だ広く普及するには至っていない。

本研究室において、雪の運搬時に使用されるフレキシブルコンテナ(以下、FCと呼ぶ)を直接搭載する冷房装置を開発している。これは豪雪地帯から雪を運搬する際のFCのまま直接冷房装置に装填することで、ハンドリングの工程を減らすと共に連続運転可能時間を長くすることを狙っている。用途としては、屋外イベントでのスポットクーラーや災害時の非常用冷房装置としての運用を目指しており、実現すれば豪雪地帯以外での雪利用が広がることが期待できる。ここでは、装置の概要と性能試験の結果について報告する。

2. 可搬型雪冷房装置

2.1 可搬型雪冷房装置の構成

本研究で製作した可搬型雪冷房装置の概略図を図1に示す。

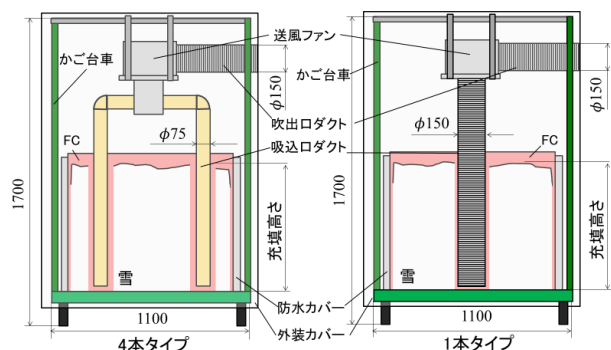


図1 可搬型雪冷房装置の概略図

装置はフレームとなるかご台車(積載量 500kg)と送風ファンユニット(吸込ロダクト、送風ファン、吹出口ダクト)、雪を充填したFC およびこれを覆う防水カバー、融解水を排出する

バスポンプ、そして外装断熱カバーから成る。吸込管は4本のタイプと1本のタイプの2種類を製作した。また、送風ファンは風量が異なる2種類を試した。使用手順は、かご台車下部に防水カバーを置き、雪を充填したFCを防水カバー内に収める。そして、充填した雪に通風用の穴をあけ、送風ファンユニットをかご台車上面に取り付けてダクトを雪孔に挿入する。そして、最後に外装カバーを被せる。なお、空気・雪間で熱交換が行われた際に発生する雪の融解水はバスポンプにて、適宜外部に排出する。

2.2 熱交換と空気の流れ

雪冷房ユニット内での熱交換と空気の流れを図2に示す。空気は送風ファンによって外装カバーの下部から装置内部に吸気され、装置に装填した雪と空気が直接接触することで熱交換が行われる。そして、吸込ロダクトより吸い込まれ、送風ファンを通して吐出口から吹き出される。

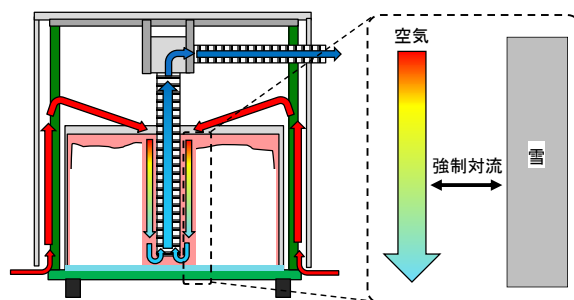


図2 装置での熱交換と空気の流れ

3. 性能試験

3.1 試験概要

2020年夏季から2021年冬季にかけて、試作した装置の性能を評価するため試験を行った。場所は屋外および屋内で行った。屋外実験はキュービットバレイスキー場雪室前および吉兆楽雪室前で行い、装置をテント内に収容して実験を行った。雪は雪室に保存されたものを用いた。屋内実験では、大学構内の鉄筋コンクリート造の2階の南向きの部屋で行い、室内暖房を26℃で設定し、実験を行った。雪は大学構内の自然積雪を使った。屋外屋内実験ともにスコップを用いて雪を踏み固めながらFCに充填した。

3.2 測定項目

装置の性能を評価するため、外気温度および吹出口温度と吹出口の風速を測定した。温度測定には、T型熱電対を

用いてデータロガー(GL220)で記録した。吹出口温度の測定では、屋外実験では1か所、屋内実験では2か所熱電対を設置し、屋内実験では、この2か所の熱電対の平均値を用いて測定する。外気温は、屋外実験ではテント内に設置した熱電対で測定を行い、屋内実験では装置の上部と下部に設置した熱電対の平均値を用いる。吹出口の風速はベーン式風速計(GA06)を用いて測定した。

3.3 測定データの整理

装置の性能を評価するため、測定データより吹出口-外気温度差および冷房能力を求める。吹出口-外気温度差は次式で求める。

$$\Delta t = t_{in} - t_{out} \quad (1)$$

ここで Δt は吹出口-外気温度差[°C]であり、 t_{in} は外気温[°C]、 t_{out} は吹出口温度[°C]である。また、冷房能力 P は次式で求める。

$$P = \Delta t \rho Q C_p \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

ここで ρ は空気の密度[kg m⁻³]、 Q は風量[m³ s⁻¹] (= $v_{out} A_{fan}$ 、 v_{out} は吹出口平均風速[m s⁻¹]、 A_{fan} はファン吐出口断面積[m²]、 C_p は空気の比熱[kJ/kg・°C]である。

3.4 試験条件

各試験条件を表1と表2に示す。各条件の主な違いは、装置の吸込口の本数および直径が異なる点と使用しているファンが省電力型(風量小)か大風量型を使用しているかが異なる。また、表1が雪上面に整流板を置かない条件、表2が置いた条件である。

表1 試験条件(整流板無し)

装置の条件	省電力型4本	省電力型1本	大風量型4本
実験日時	9月30日	10月28日	1月29日
吸込口の本数	4	1	4
吸込口ダクト直径	75	150	75
吸込口ダクトの種類	自己消火性樹脂製ダクトパイプ	アルミフレキシブルダクト	自己消火性樹脂製ダクトパイプ
送風ファンの種類	省電力	省電力	大風量
実験場所	屋外	屋外	屋内
使用した雪	雪室	雪室	天然雪
平均(設定)温度	24°C	18°C	26°C

表2 試験条件(整流板有の場合)

装置の条件	大風量型4本	大風量型4本整流板有	大風量型1本整流板a	大風量型1本整流板b	大風量型1本整流板c
実験日時	1月29日	2月4日	2月11日	3月3日	3月3日
吸込口の本数	4	4	1	1	1
吸込口ダクト直径	75	75	150	150	150
吸込口ダクトの種類	自己消火性樹脂製ダクトパイプ	自己消火性樹脂製ダクトパイプ	アルミフレキシブルダクト	アルミフレキシブルダクト	アルミフレキシブルダクト
ファンの種類	大風量	大風量	大風量	大風量	大風量
実験場所	屋内	屋内	屋内	屋内	屋内
使用した雪	天然雪	天然雪	天然雪	天然雪	天然雪
屋内の設定温度	26°C	26°C	26°C	26°C	26°C

4. 試験結果

性能試験より得られた吹出口-外気温度差(整流板なし)を図3、冷房能力(整流板なし)を図4、吹出口-外気温度差

(整流板有)を図5、冷房能力(整流板有)を図6に示す。

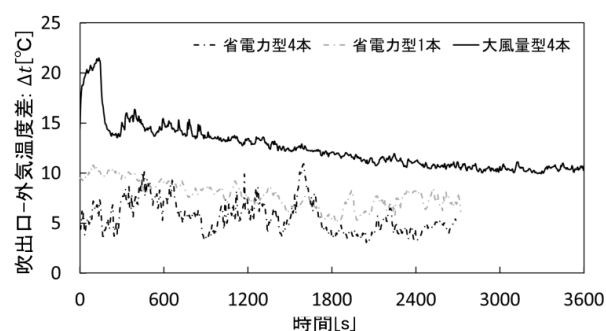


図3 吐出口-外気温度差(整流板なし)

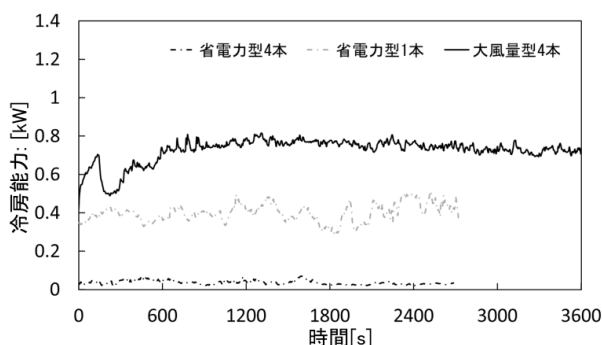


図4 冷房能力(整流板なし)

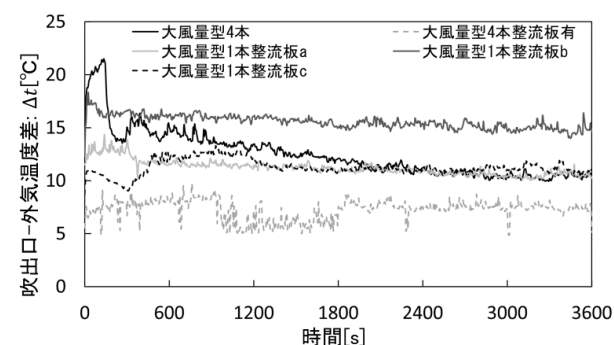


図5 吐出口-外気温度差(整流板有)

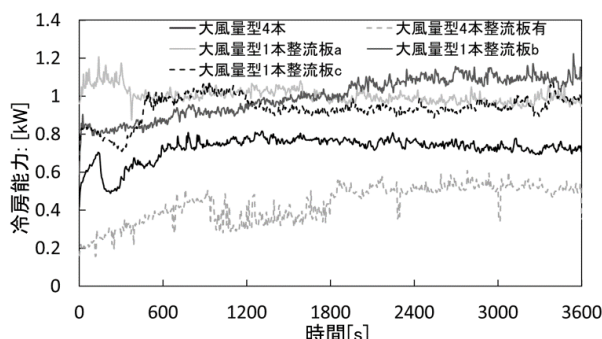


図6 冷房能力(整流板有)

試験結果より、整流板を置かない場合では大風量型4本での性能が最も高く、 Δt は約10°C、冷房能力は約0.7kWで

安定していた。しかし、冷房能力について一般家庭用冷房機器と比較すると低く(一般的な冷房機器(6 畳用)では 2.2kW), 更なる性能向上が必要である。

整流板を置いた場合、整流板を用いない場合と比較して Δt および冷房能力の向上が確認できた。中でも大風量型 1 本整流板 b での性能が最も高く、 Δt が約 15°C, 冷房能力が約 1kW の安定した冷房性能を得ることができた。これは整流板により FC に装填された雪の上面でも熱交換が積極的に行われたためだと考える。

次に COP(成績係数)による評価を行った。COP は冷房機器の性能を表す一つの指標であり、ここでは冷房能力を消費電力で除することで求める。この値が高いほど性能が良いとされる。本研究にて最も性能が良い大風量型 1 本整流板 b の場合の COP は 7.35 となった。これは一般に普及しているエアコンの値が 3~5 であるため、COP については今回製作した雪冷房装置の方が良いことが確認できた。

6. まとめ

雪の運搬時に使用される FC を直接搭載できる可搬型雪冷房装置を試作し、性能試験を行った。

性能試験の結果より、冷房装置は外気温と吹出口の温度差: Δt が約 10°C, 冷房能力は約 0.7kW 以上で安定した性能が示された。また、装填した雪上面に整流板を置いた場合、 Δt および冷房能力が向上する結果が性能試験により示され、本研究で試作した大風量型 1 本整流板 b においては Δt が 15°C, 冷房能力が約 1kW で安定した冷気を発生する性能を確認することができた。また、COP についても 7.35 と一般的なエアコンよりも高い値を得ることができた。

文献

- 1)国土交通省国土審議会第 13 回豪雪地帯対策分科会 資料 1
豪雪地帯対策における施策の実施状況等