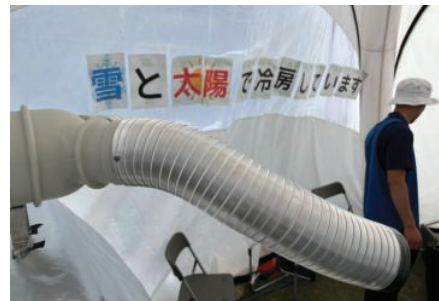


雪と太陽で冷房する 可搬型雪冷房システム

上村 靖司

長岡技術科学大学 機械系



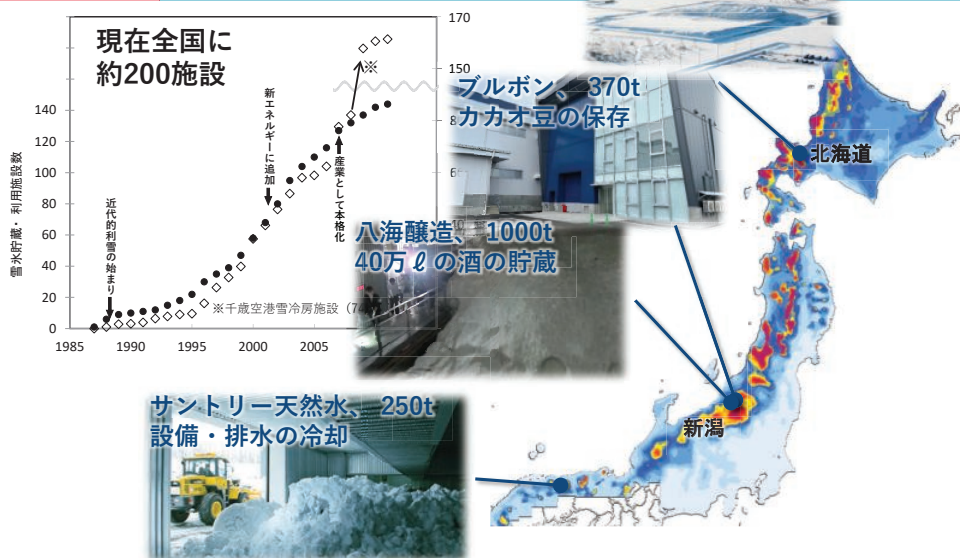
天然雪の保存と利用

魚沼の里（八海醸造）



❄️ 全国の雪利用施設

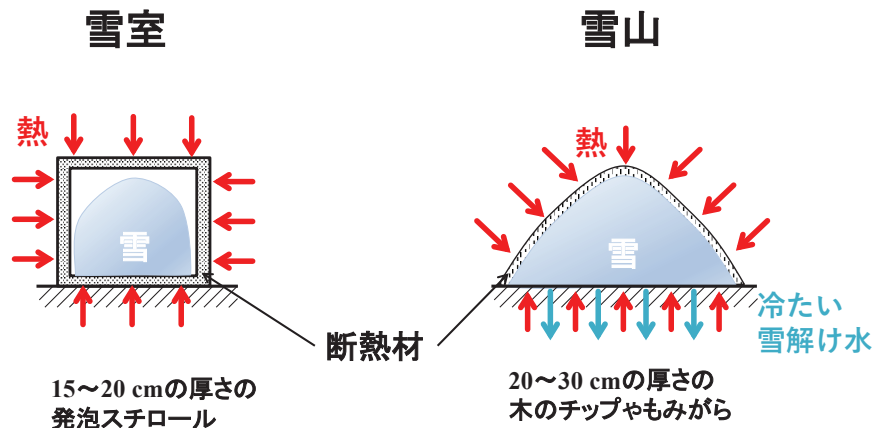
新千歳空港、74千t
空港設備の冷房



新潟県魚沼地域＝雪室産業の集積地に



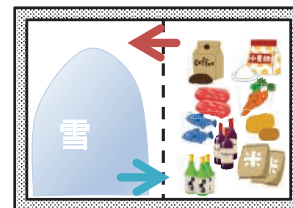
❄ どうやって雪を保存する？



外から入る熱をどう防ぐかがポイント！

❄ どうやって冷熱を取り出す？

自然対流方式



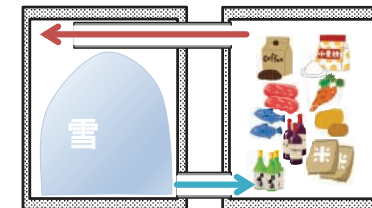
自然対流：単純、安価、無電源

冷風循環：調湿、脱臭、快適

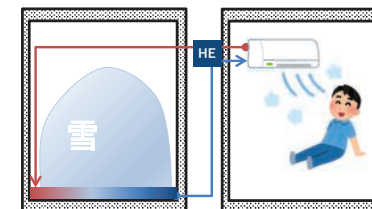
冷水循環：高出力、配管容易、遮音

解けると形が変わる雪
→どうやって性能を維持する？

冷風循環方式



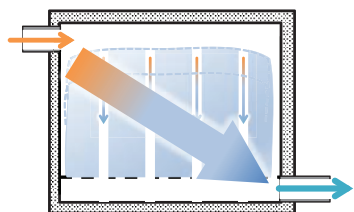
冷水循環方式



HE: 熱交換器

❄ どうやって冷熱を取り出す？

冷風循環（縦穴式）

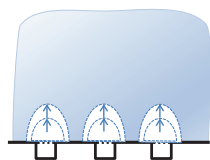


ポイント

- ① 必要な伝熱面積を確保するには
- ② 雪が収縮しても性能を維持するには
- ③ できるだけ最後まで使い切るには

※対角線の流れをつくるのがキホン

冷風循環（横断式）



雪山ではどうする？

- ・縦穴方式も横穴方式も検討
- ・大掛かりになりがち
- ・需要地と隣接する立地

❄ どうやって冷熱を利用する？

供給地 ----- 遠い場合には・・・ -----> 需要地



雪冷房のデリバリーはできないか？



愛・地球博2005＝雪冷房の実演

- ・100kgの雪をモリゾーに詰める
- ・口から冷風

その後

- ・ビーチバレーの国際大会などでも活用

従来技術の問題点

- ・100kgの雪でも1時間ほどで消費
- ・1時間毎に雪の充填が必要

引用：万博トピックス http://www.expo2005.or.jp/jp/E0/E1/head/0716_005.html

新技術の特徴、従来技術との比較 可搬型雪冷房ユニット「雪風君BIG」

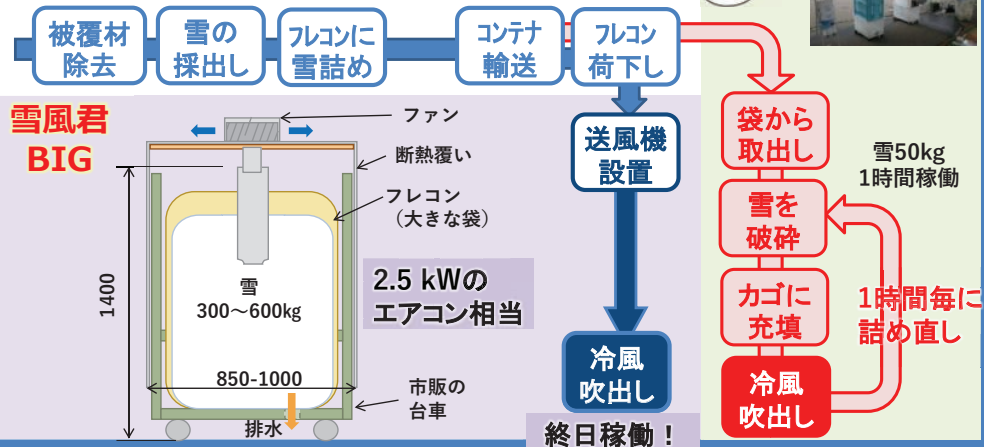
春先に雪を積み上げて木のチップやもみ殻をかけて保存します。

雪山

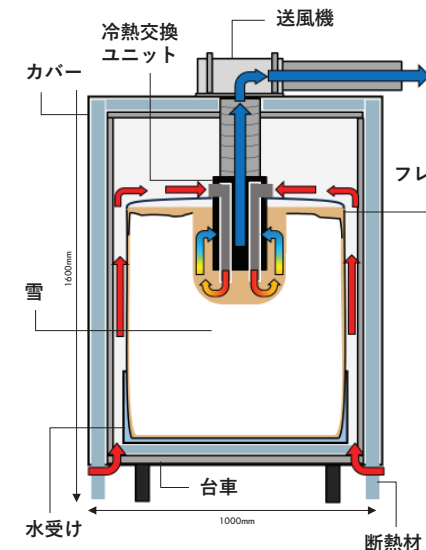
フレコンとは安価で丈夫な大型の袋です



元祖！
雪風君



ユニットの概要と想定される用途



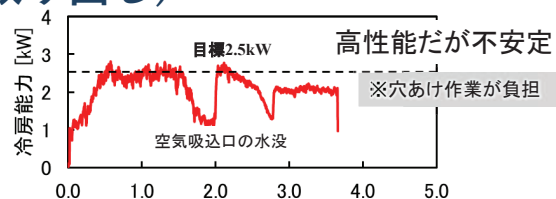
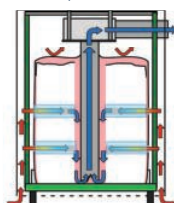
移動できる雪冷房＝熱中症対策に！



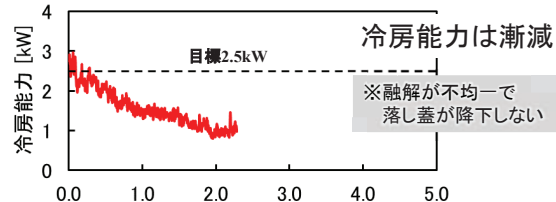
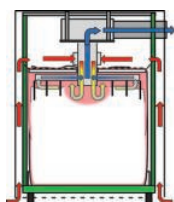
運動会、工事現場、鉄工所など

開発経緯 (熱の取り出し)

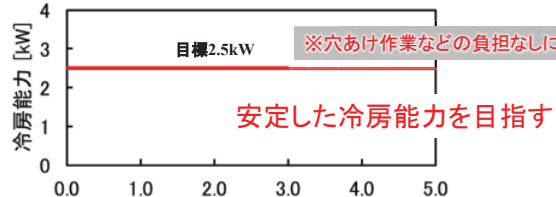
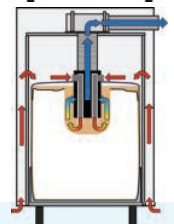
横穴方式



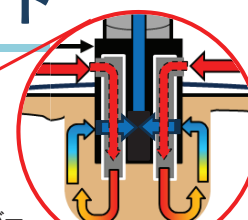
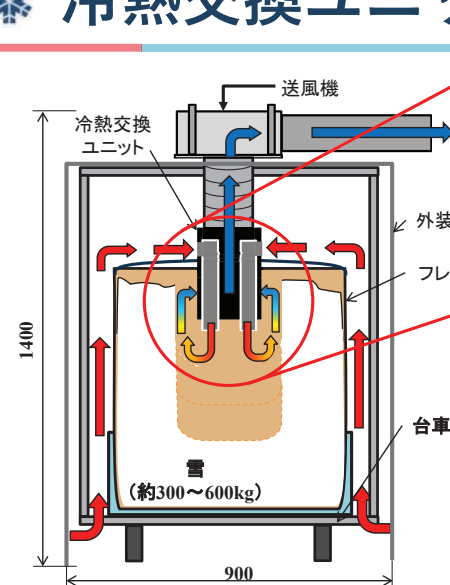
落とし蓋方式



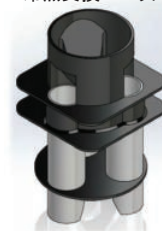
冷熱交換ユニット方式



冷熱交換ユニット



冷熱交換ユニット



※特願2023-173581

- 雪塊上に冷熱交換ユニットを搭載するだけ
- 吸込暖気を下向きに吹き出して縦穴を形成
- 伝熱面積の拡大により熱交換性能を維持

構成部品	仕様
送風機	浴室用ダクト換気扇 VD-23ZB12-IN：三菱電機製 風量:600m³/h、静圧:約350Pa
熱交換ユニット	1,200 g (ABS樹脂)
フレコン (雪)	D=900, H=900mm

❄️ 実証試験

●日時

2023年 6月21日①, 8月7, 8日②

① 1時間毎に経過観察

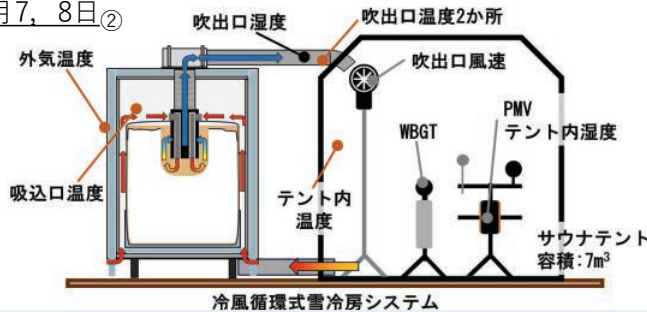
② 5時間連続運転

●場所

新潟県南魚沼市の屋外

●使用した雪

雪山の保存雪（南魚沼市）



冷房能力Pの評価 [kW]

吸込口と吹出口のエンタルピー差による全熱量

$$P = (h_{in} - h_{out}) \rho A_{fan} v_{out}$$

h_{in} : 吸込口エンタルピー [kJ/kg']

h_{out} : 吹出口エンタルピー [kJ/kg']

ρ : 空気の密度 [kg/m³]

A_{fan} : 吹出口ダクト断面積 [m²]

v_{out} : 吹出口平均風速 [m/s]

❄️ 評価指標

WBGT (暑さ指数) [°C]

熱中症の危険度を判断する指標

$$WBGT = 0.7T_w + 0.2T_G + 0.1T_{db} \quad (a)$$

$$WBGT = 0.7T_w + 0.3T_{db} \quad (b)$$

T_w : 湿球温度, T_G : 黒球温度, T_{db} : 乾球温度



WBGT	熱中症リスク
31°C以上	危険
28°C～31°C	嚴重警戒
25°C～28°C	警戒
25°C未満	注意

PMV (予想平均温冷感申告) [-]

人がどれくらい快適かを予測する主観的指標

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times L$$

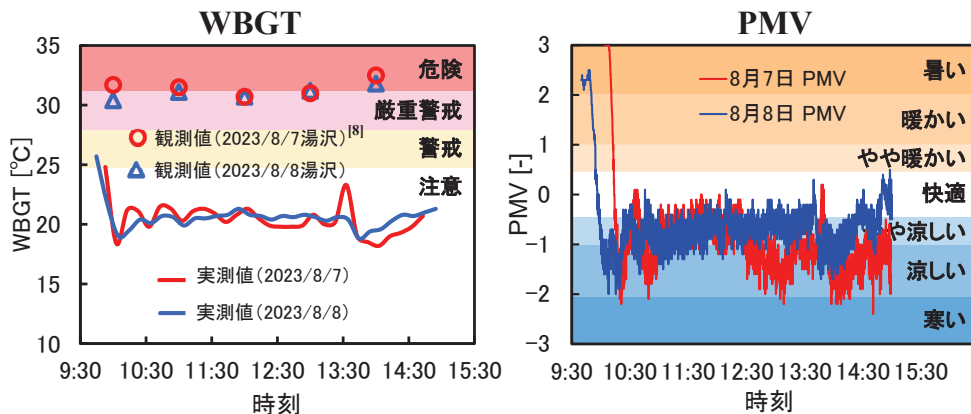
L : 熱負荷 (気温, 湿度, 放射温度, 風速, 着衣量)

M : 代謝量



PMV	温冷感
+3	暑い
+2	暖かい
+1	やや暖かい
±0.5	快適
-1	やや涼しい
-2	涼しい
-3	寒い

❄️ 実証実験の結果

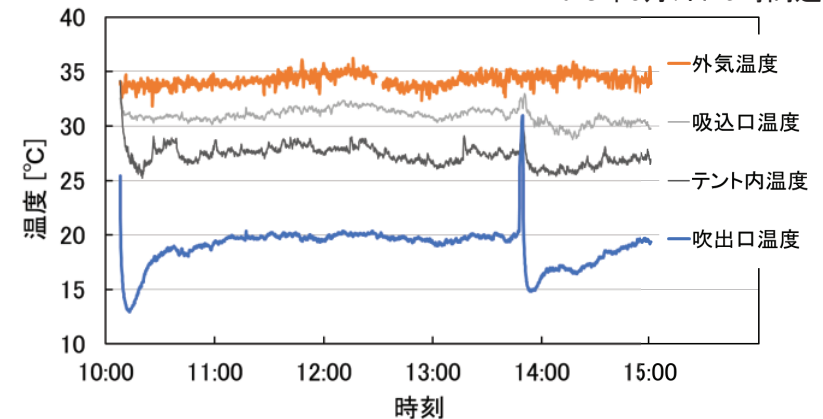


- ・ テント内は常に25°C未満を維持
- ・ 熱中症対策として有効

- ・ 快適(+0.5)～涼しい(-2)を維持
- ・ 夏季屋外での簡易的な冷房室として運用可能

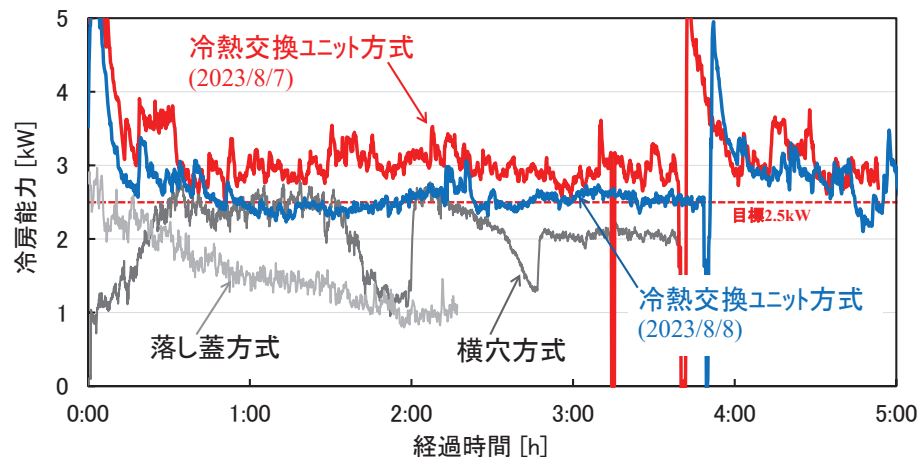
❄️ 実証実験の結果：冷風温度

2023年8月7日：5時間連続運転



- ・ 吹出口温度は5時間安定して20°C一定
- ・ 温度差は、外気-吹出口で15°C 外気-テント内で8°C

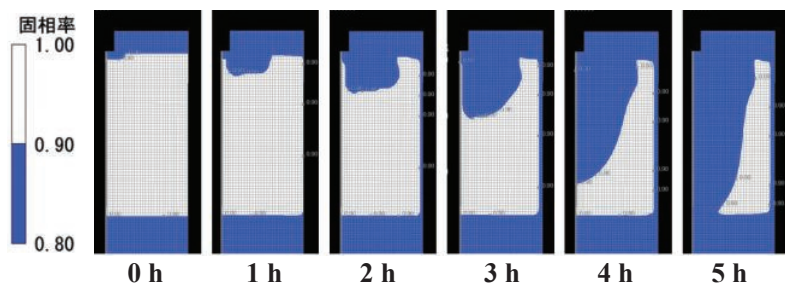
❄ 実験結果 ～冷房性能～



- 初期性能が高く、その後安定して 2.5～2.9 kW を維持 ⇒ 目標達成
- 雪の観察時など、雪の崩壊によって一時的に性能が上昇

❄ 解析結果：雪の形状変化

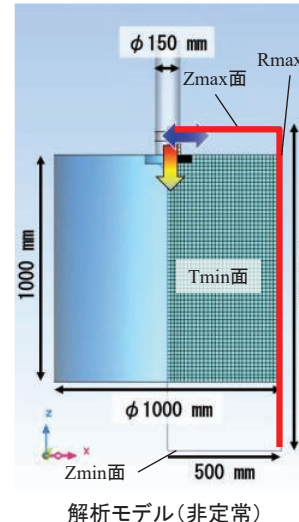
雪を 0°C の不動空気として仮定し、これが 30°C の流入空気と熱交換し、600 kg/m³ あたりの氷の潜熱分の熱量※1を受けたときに流動する空気として扱う。



- 雪塊に鉛直下向きに孔が形成される様子が再現できた
- 5時間後に鉛直孔が底部に到達し、側面の雪が融け残っていた

$$\text{※1} \quad \text{潜熱量} = \text{融解潜熱 [kJ/kg]} \times \text{雪密度 [kg/m}^3] \times \frac{1}{0^\circ\text{Cの空気密度 [kg/m}^3]} = 333.6 \times 600 \times \frac{1}{1.2} \quad [\text{kJ/kg}]$$

❄ 数値解析（非定常）

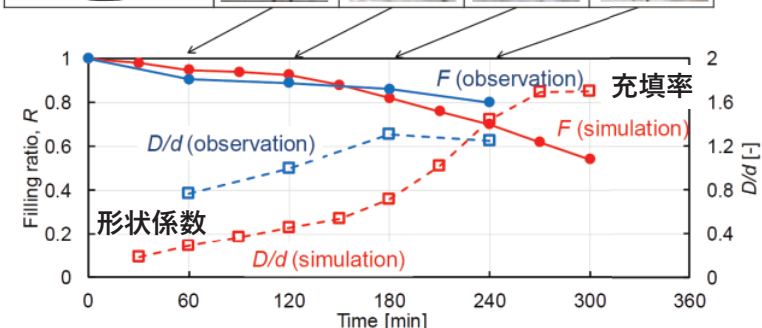


Cradle CFD V2023.1 (STREAM)

解析領域 (雪モデル)	R: 500 mm θ : 90° Z: 1350 mm r: 500 mm z: 1000 mm
メッシュ分割数	119,850 (= 30 × 47 × 85)
乱流モデル	線形低レイノルズ数モデル
流れ境界条件	吸込口側面 表面圧力境界 (30°C) 吹出口ダクト 150 m³/h 流出 (30°C)
壁・熱境界条件	Tmax面, Tmin面 (対称面) Rmax, Zmax面 (ノースリップ面・熱伝達条件: $K=4.938 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$) Zmin面 (ノースリップ面・断熱壁面)
初期条件	雪 (0°C), 解析領域 (30°C)
凝固・融解物性	流動限界固相率: 0.9 潜熱量: 166,800 kJ/kg (不動空気が相変化に必要なとする総熱量)

❄ 解析結果：残雪率と形状係数

elapsed time	1	2	3	4
Hole Diameter, d	280	300	320	400
Hole depth, D	215	300	420	500
Filling ratio, F	0.90	0.88	0.86	0.80



2023年8月10日山古志

雪山



2023年8月11日海老名

5:00AM



雪でアソビナ@海老名市
2023年8月11日



長岡市から50トンの雪を運ぶ
雪の滑り台、雪の砂場、雪冷房体験

テントの中を雪冷房
「雪風君BIG」を実演



雪風君の中には600kgの袋入りの雪
一日中15~18℃の冷風を出し続けてくれます。

福井県大野市／名水マラソン大会 2024年5月27日

'24



新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

❄️ 2024年度雪風君BIGの稼働状況

- **雪でアソビナ** (7/27、神奈川県海老名市)
 - テント内冷房に雪風君BIG2台。雪は山古志から輸送。
<https://woman.mynavi.jp/kosodate/articles/35578>
- **芽吹きフェア** (7/27、長岡市川崎)
 - スポット冷房として雪風君BIG1台。雪は山古志から輸送。
<https://www.takada-arc.com/events/event/15011>
- **防災フェア** (8/31、小千谷市防災公園)
 - ~~スポット冷房として雪風君BIG1台。雪は小千谷市内から輸送。
<https://www.takada-arc.com/events/event/15011>~~
- **技大祭** (9/14-15、長岡市)
 - 模擬店でのスポット冷房。2～3台雪は南魚沼から輸送。
 - 建設中のGX棟の見学会に併せての実演。
- **雪氷楽会** (9/16、長岡市、アオーレ長岡)
 - 雪氷学会全国大会の一環で開催される一般向け科学展示
 - スポット冷房として雪風君BIG2台。雪は南魚沼から輸送。

台風のため
中止

❄️ 2025年度雪風君BIGの稼働予定

- **大阪・関西万博** (7/13-17、大阪市)
 - カマクーラー入口に雪風君BIG。雪は南魚沼市から輸送。
- **長岡祭** (8/1-3、長岡市)
 - スポット冷房として雪風君BIG。雪は山古志から輸送。
- **しゃっこいまつり** (8/23、小千谷市ひと・まち・文化共創拠点ホントカ)
 - スポット冷房として雪風君BIG3台。雪は小千谷市内から持込済。
- **ぼうさいこくたい** (9/6-7、新潟市朱鷺メッセ)
 - スポット冷房として雪風君BIG2台。雪は山古志から輸送。
- **技大祭** (9/13-14、長岡市)
 - 模擬店でのスポット冷房。雪風君BIG2台。雪は山古志から輸送。

消費電力100Wほどの送風機だけで2.5kW相当の冷房出力が出ます。
市販の（ソーラー充電可能な）蓄電池があれば、無電源で稼働します。

