

無人極限環境における極冠 オーロラ観測システムの開発

片岡龍峰、田中良昌、山岸久雄、ほか
国立極地研究所

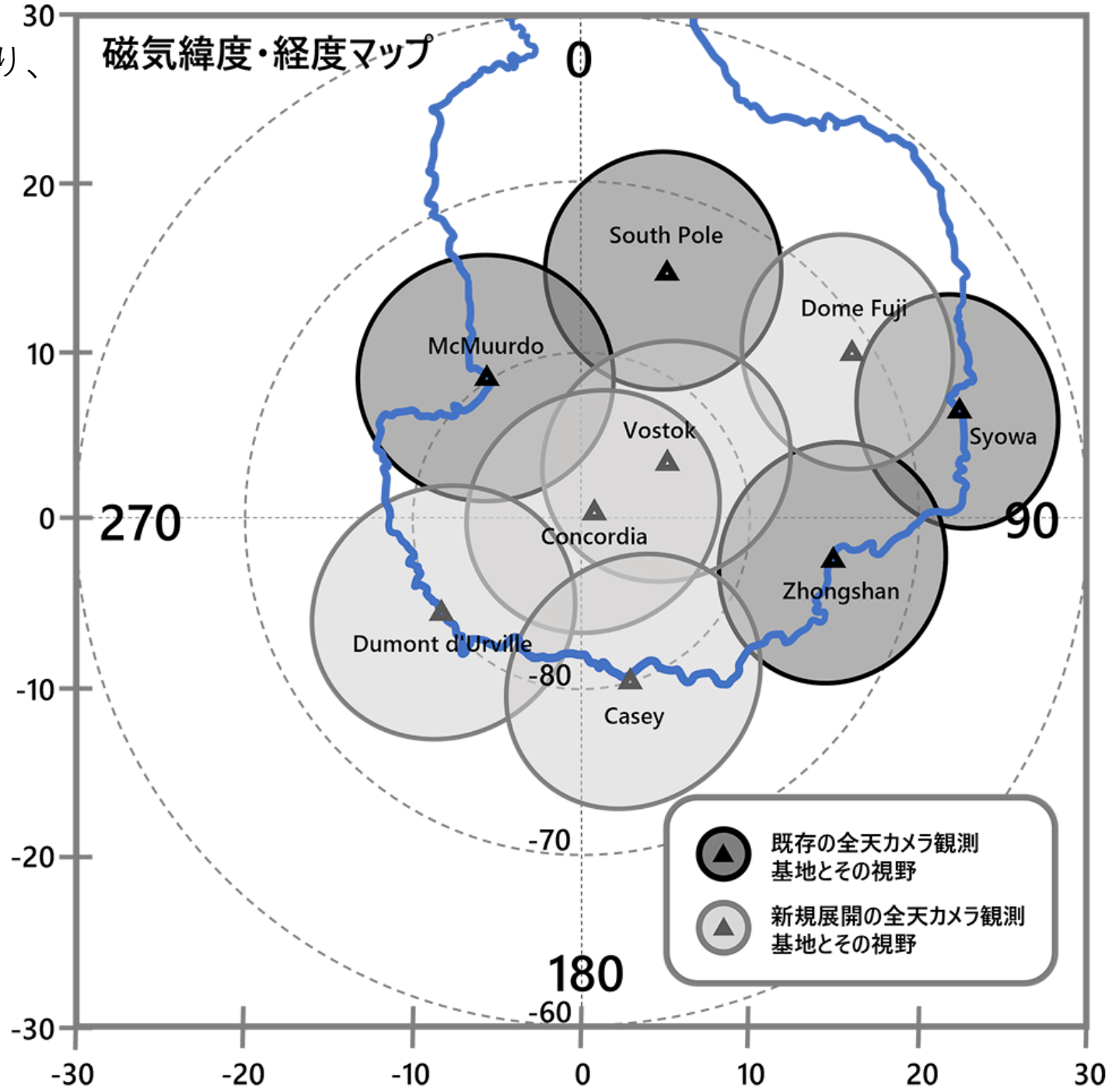
設営シンポジウム：2022年6月8日

本山さん、平沢さん、川村さんほかに、多くのアドバイスを頂いています。

概要

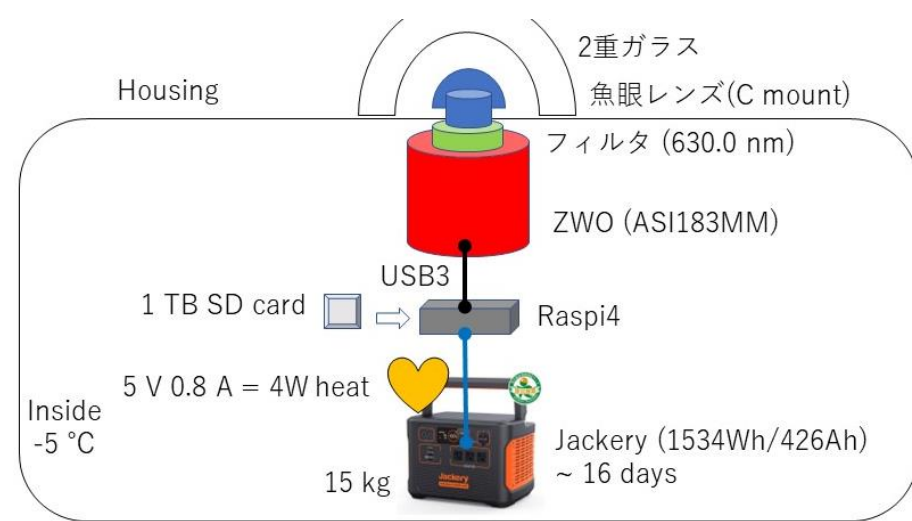
極夜における新ドームふじ基地周辺での極限的な環境において、数か月以上の無人自動観測を可能とする低電力のオーロラ観測システムを開発する。軽量ポータブルなデザインとするためには風力発電が必須となるが、新ドームふじ基地周辺の平均**2-3 m/s**という弱風かつ平均**-50°C**という低温で、風車が動作する改造が求められる。また、市販のカメラやバッテリーを用いるため、ハウジング内を**-10°C**以上に保つよう断熱性能を極端に向上させることも求められる。まずは、プロトタイプ一式を製作し、昭和基地屋外での耐久テストまでを目標とする。

オーロラ観測が目的であり、
太陽パネルが使えない！



基本的な計算

- 10W程度の低電力カメラを用いる。
- 風力発電が必須
 - バッテリー1個が1200 Wh程度、つまり10Wで120 hしかもたない。
 - 弱風（2-5 m/s）で10～100Wが理想
- 外気温との差 ΔT
 - 10Wで $\Delta T=30$ 度。断熱材15 cm + 真空パネルの場合。
 - 5Wプラスすると ΔT は10度上がる。（定常 ΔT は電力に比例）



ちなみに：究極の節電？

カメラASI183MM Pro (mono) = 410 g
レンズFujinon FE185C086HA-1 = 160 g
PC LIVAZ2-4/64-W10Pro(N4100) = 1460 g
PC ラズパイ4 ~ 100 g

- スイッチのオンオフで節電するための、余熱の計算
 - 断熱箱内の物体（観測機）の総質量を M [g]、物体の平均的比熱を ρ [cal/K] とすれば、この物体を50 K上昇させるのに必要な熱量は、 $50M\rho$ [cal]。Jに変換するには4.2 をかけて、 PT [J] = $210M\rho$
 - $M = 700$ [g], $\rho = 1$ [cal/K], $P = 20$ [W] とすると、加熱時間 $T \sim 2$ [h]
 - カメラ部の余熱には20 Wヒーターで2時間かかる
- 余熱1.5時間→**観測1時間**→次の日まで休み、というサイクル
 - 毎日、 $40 \text{ Wh} + 10 \text{ Wh} = 50 \text{ Wh}$
 - バッテリ1個1200 Whあたり24日観測

風力発電の購入を検討中

エアードラゴン 600W

Air Dragon AD-600は、これまで小型風力発電にみられた、「回りにくい」「騒音」「高コスト」等の課題をクリアし、音が静かで風速1m/秒で回り始め、風速2m/秒から発電し始めます。また、DIY感覚での組立てが可能な、コンパクトデザインです。



風力発電機	AD-600
定格出力	600W (風速14.0m/s)
回転開始風速	1.0m/s
発電開始風速	2.0m/s
耐風速	≤70m/s
発電機タイプ	コアレス永久磁石多極型 三相交流
駆動方式	ダイレクトドライブ
ローター直径	1300mm
全長	928mm
ブレード数	3枚
発電機ボディ材質	アルミ合金 (ADC-10)
尾翼材質	高密度ポリエチレン (LDPE)
ブレード材質	ポリプロピレン + グラスファイバー
本体重量	12.0kg
充電制御	付属MPPTコントローラー
充電バッテリー	12V/24V 鉛蓄電池 自動検知
制御ブレーキ	自動/手動
自動ブレーキ	≥1200rpm
取付ボールサイズ	外径48.6mm

エアードラゴン・プレミアム AD-600-170

52.9万円（税抜）

・もし買うなら600 W、400 Wのはコントローラーが風車に入っていて凍るため

・3 m/sは無理かも？5 m/sなら30 W出る。

・ゼファーと比べると台湾製で安いのが売り。ただ情報が少ないのと、品質・耐久性は未知

・鉛電池がセットになる。1200 Whを並列するときは3個が限度（ばらつきあるため）

・鉛電池はマイナス30度以上でないと利用NG

AD-600に、85W太陽電池モジュールAD-PV85×2枚と、蓄電容量2400Wh相当の蓄電ボックスで構成されたプレミアム・ハイブリッドシステム。

【システム構成】

風力発電機：AD-600×1

専用太陽電池パネル：AD-PV85×2

専用蓄電池：AD-BP24×1

専用タワーキット：HDT-350×1

全てにワンタッチコネクタ付き

商品名	エアードラゴン・プレミアム
型式	AD-600-170
風力発電機出力	AD-600 600W
太陽光発電出力	170W（85W×2枚）
蓄電容量	2400Wh相当
システム電圧	DC24V
AC電源出力	正弦波AC100V 350W
商用系統切替	あり（自動切替え）
取り付けタワー材質	銅管メッキ仕上げ
取り付けタワー高さ	3.5m
ボックス寸法（cm）	約W49.5×D27.5×H29/台×2
価格（税抜）	529,000円



鉛蓄電池（保温必須）

※アンカー基礎ベースは別売



JYC社GEL/AGMシリーズは、AGM型バッテリーの高い安全性と効率のよい電力供給という特性に、GEL型バッテリーの優れた熱安定性という特性を併せ持つ長寿命バッテリーです。

- AGM（吸収ガラスマット）セパレータにGEL電解液を浸し、充電時に発生したガスを水に再結合させて循環する密閉式、メンテナンスフリーバッテリー。内部調整安全バルブ（VRLA）を装備。排出されるガスが少なく液漏れしないので安全性が高く、左右前後を横にした状態での設置も可能。
- 非常に低い内部抵抗による効率の良い電力供給。
- 優れた熱安定性により放電深度30%で1,700回、50%で800回、80%で500回の繰り返し充放電が可能な長サイクル寿命回数。
- 自己放電率は3%/月（25℃）と低く、長期保存も安心。
- 液漏れないバッテリーとして危険物対象品目から除外認定を受けているので、海上輸送はもとより航空便による輸送も可能。（IATA/ICAO Specification）
- UL Recognition認証。CEマーキング適合。
- ISO9001、ISO14001、OHSAS18001認定工場で製造。



（仕様：-10℃まで）

Jackery (1534Wh/426Ah)は15 kg ← 軽量化のため、こちらに給電できる改造を施す？

GE100-12仕様 JYC社（中国）	
型名	GE100-12
形式	VRLA GEL/AGMディープサイクルバッテリー
定格電圧	12V
定格容量（10時間率）	100Ah
充電電圧 @25℃	
サイクルユース	14.40 - 14.70V
フロートユース	13.50 - 13.80V
最大充電電流	30A
内部抵抗値（約）@25℃	3.5mΩ
自己放電率 @25℃	3% /月
動作温度範囲	放電：-15℃～50℃ / 充電：-10℃～50℃
放電深度 / サイクル回数（約）	30%/1700回 50%/800回 80%/500回
寸法（mm）	L331×W173×H215（H218 端子を含む）
重量	29.7kg ±3% 重い！
端子形状	ボルト（M8）

極地研倉庫に現物あり（現場実績あり）

製品名 風力発電機FM910-4
品番 WTR-91012(12V仕様) WTR-91024(24V仕様)
メーカー MARLEC社
生産国 英国
主要仕様 ローター直径910mm、定格出力72W

19万6千円（ノースパワー、FM910-4）
電池、支柱などは自分で用意する必要あり。
出力は22W@5m/s, 72W@11m/s, 138W@15m/sで、
回転翼の直径が91cm（エアドラゴンより、かなり小さい）

最大の特徴は、強風（15m/s以上）になると、自動的に風車が横向きになり、過剰回転、過剰発電を防止し、こわれにくいこと。ブリザードのある昭和基地周辺で長年、生き抜いてこられたのは、この特徴があるから。



極夜中は大気中の水蒸気は無いはずですが、なぜか積もります。

38次に越冬中の写真をつけますが、このようになります。

南極天文グループも同じ課題を持っていますので・・・（本山さんからのアドバイス）



Automatic Weather Station

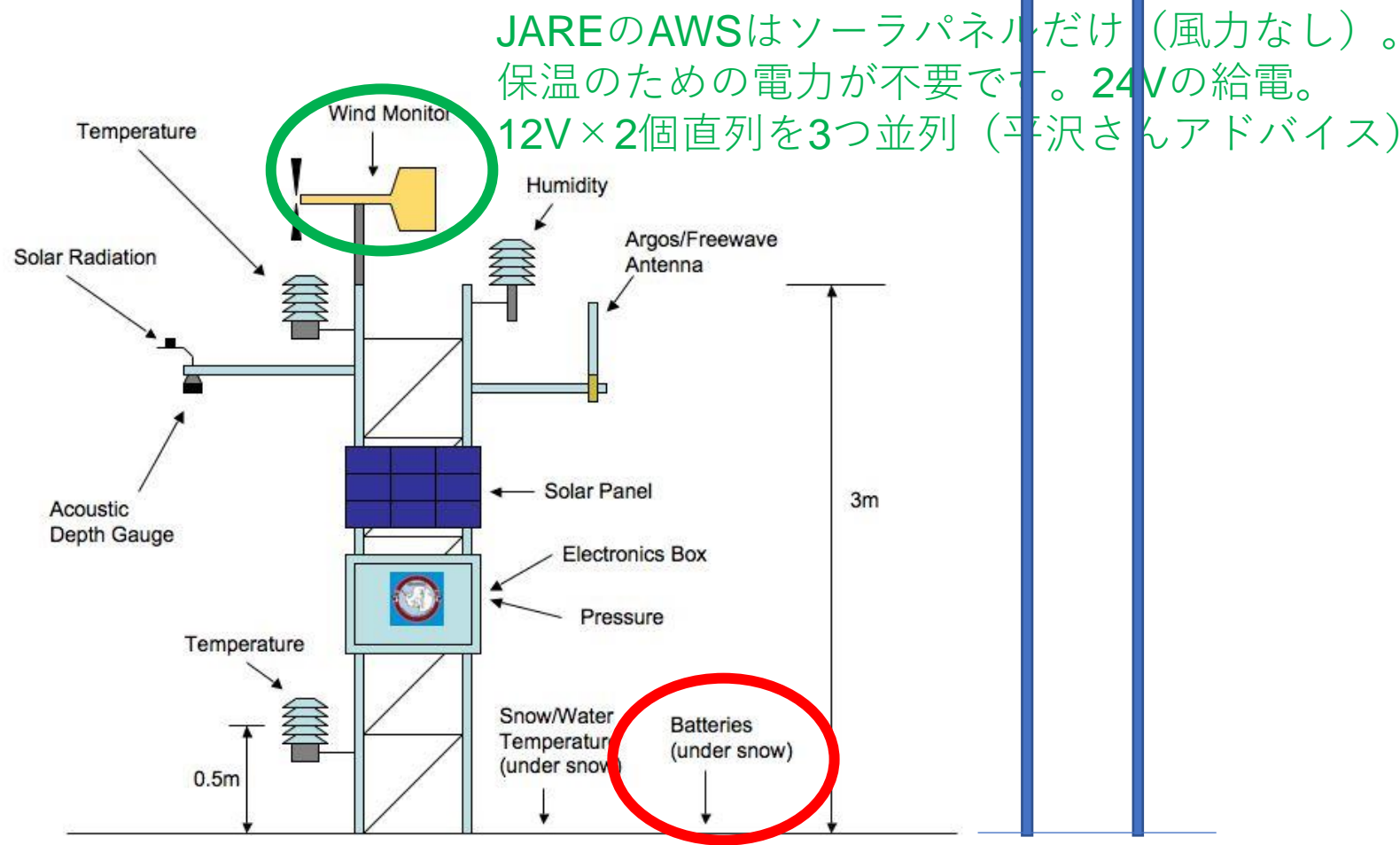
そこでもAWSは動いている

ドームふじだと外の温度は雪面近くで -80°C を覚悟する必要があります。

測器内を -10°C にするなら温度差は 70°C です。積雪深10mの深さで -55°C くらい。

気温の方は表面が -80°C の時1.5m高で -70°C 、10m高で $-65\sim-60^{\circ}\text{C}$ （平沢さんアドバイス）

カメラ部（PCは特別に保温？）
～10 m高が風速も気温も安定

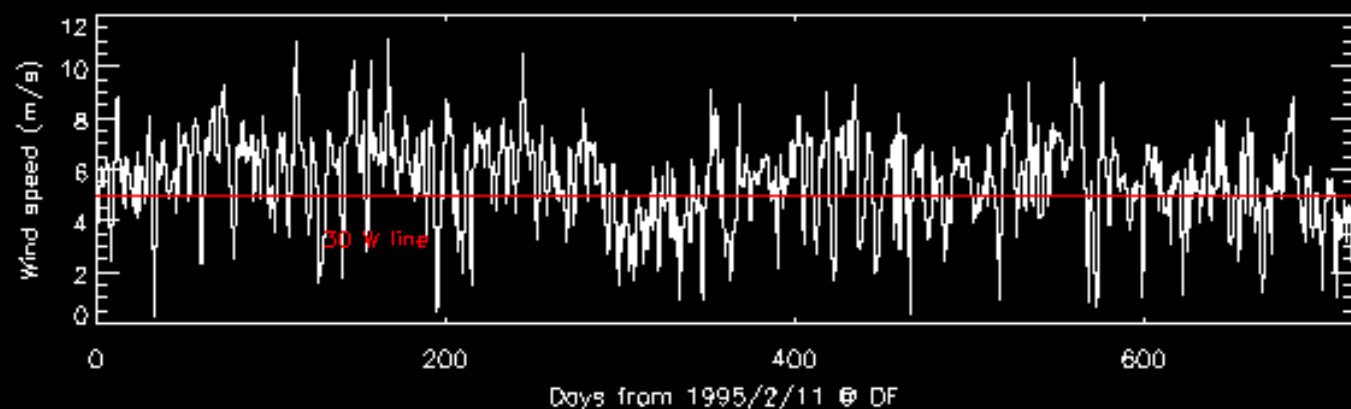
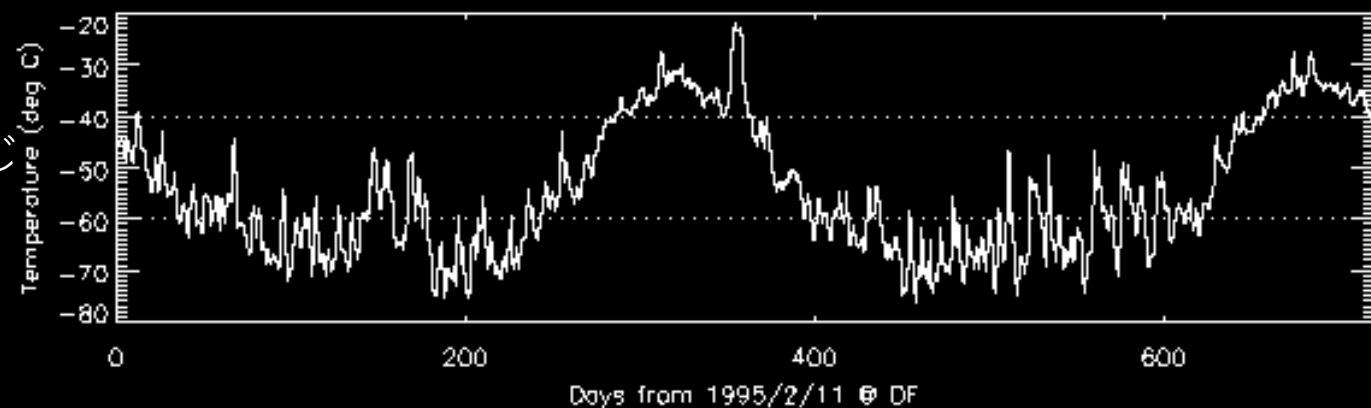


バッテリーに関しては十分すぎるくらいの容量を並列につないでいます。以前は車用の鉛蓄電池を並列に12個つないでいましたが、極夜でもほぼ満充電状態に近いので、60度以下の低温に下がってもバッテリーは割れることはありませんでした。（本山さんアドバイス）

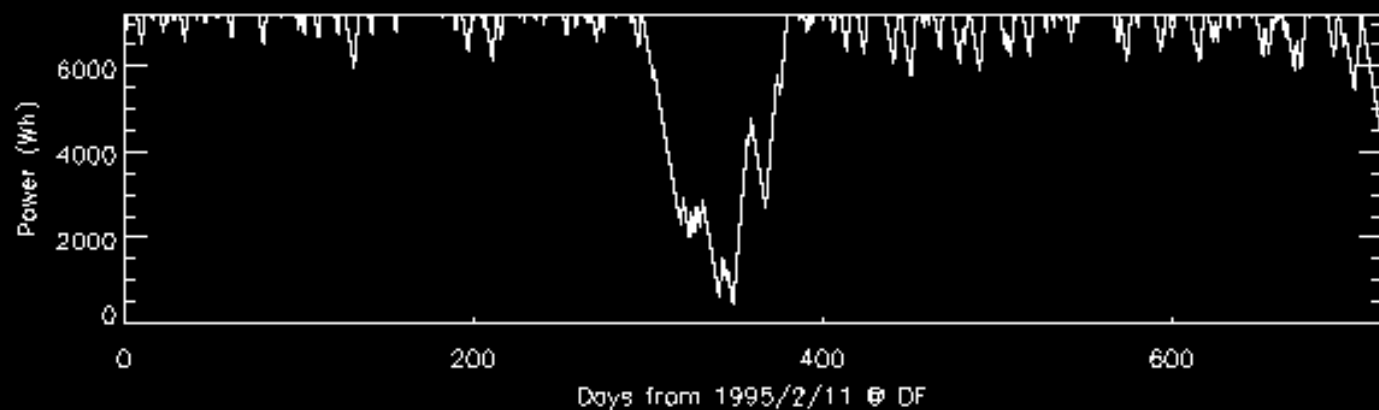
54次隊では南極天文チーム用に高さ8mの架台を建てました。現在は東北大学の40cm赤外望遠鏡などがまだ設置されています。風速状況ですが、36-38次と44次の越冬観測では10m高で風向風速を定常気象として観測していましたので、このデータが使えると思います。（本山さんアドバイス）



10 mやぐら@ドームふじ

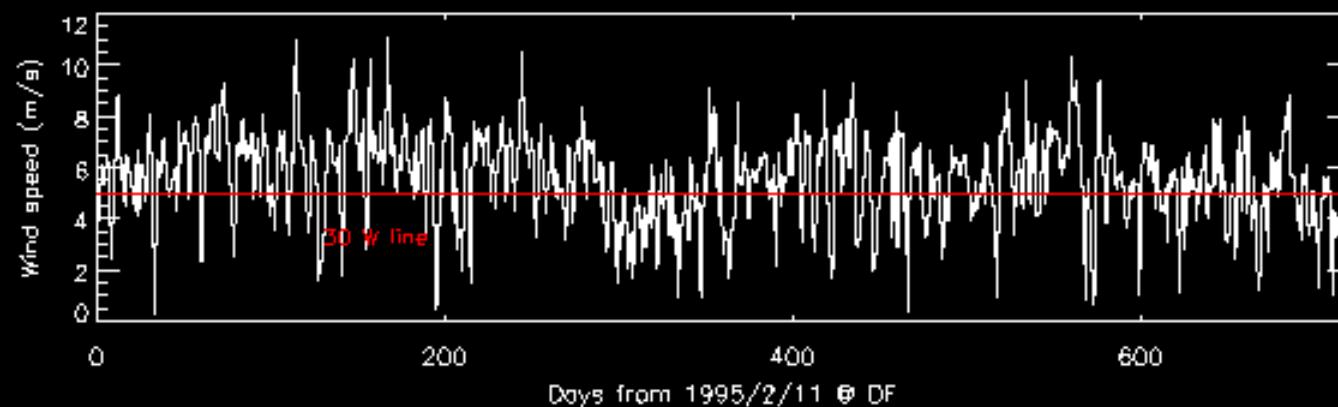
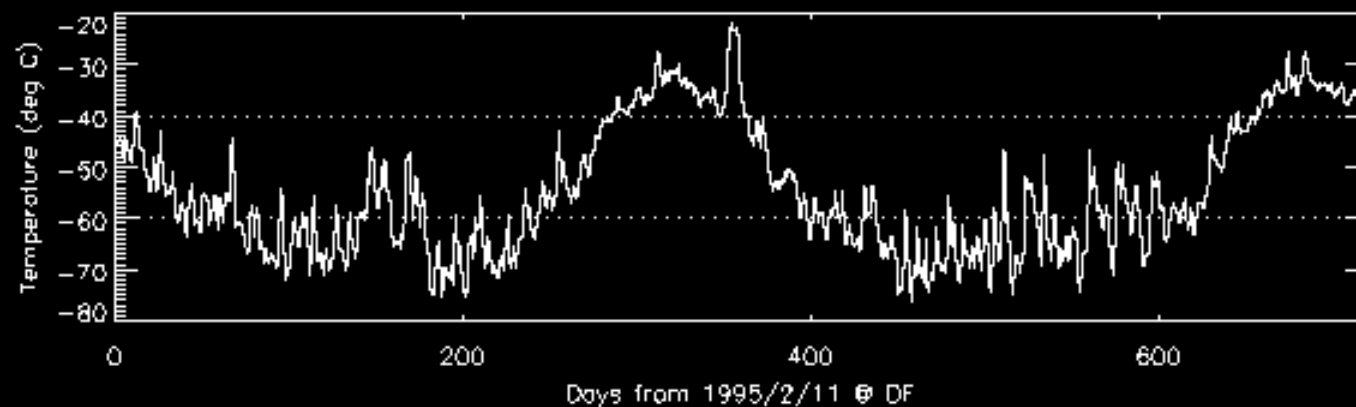


バッテリー6個並列
(1200 Wh x 6)

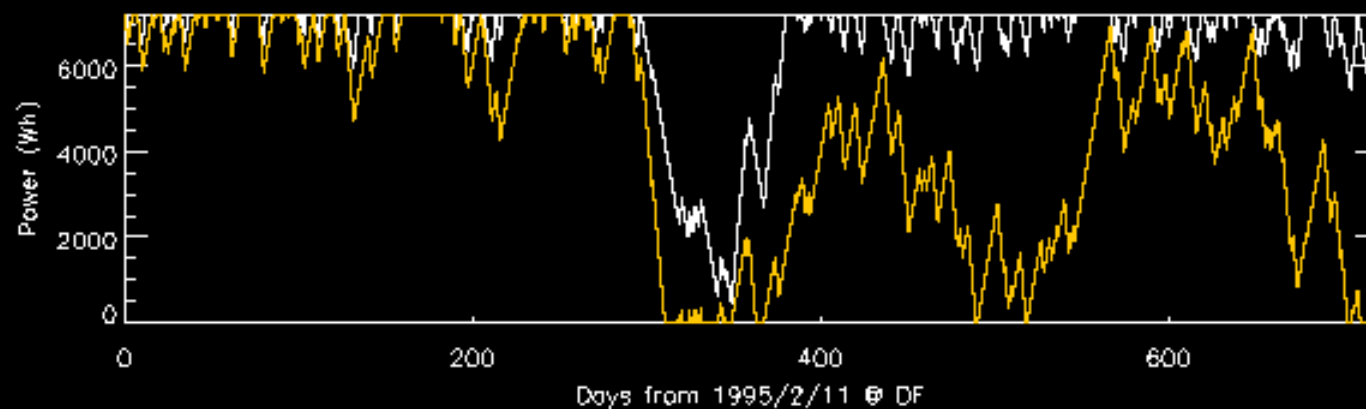


10 mやぐら@ドームふ

青は常時20 W使用
(白は常時10 W使用)

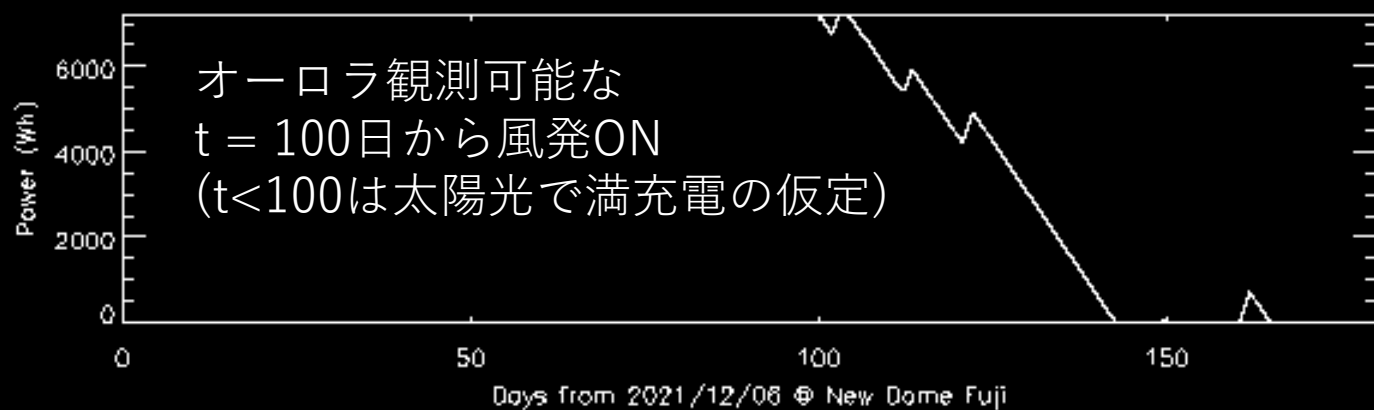
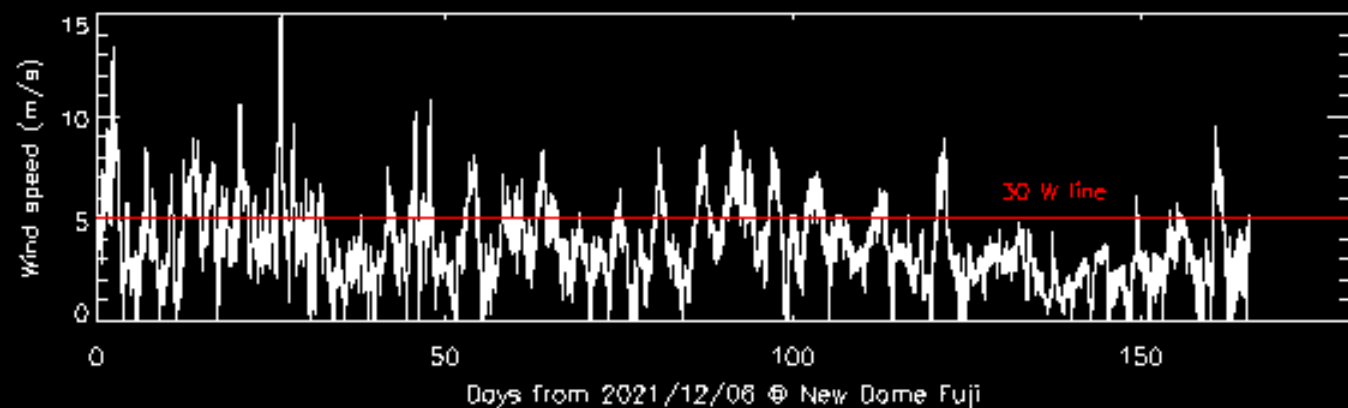
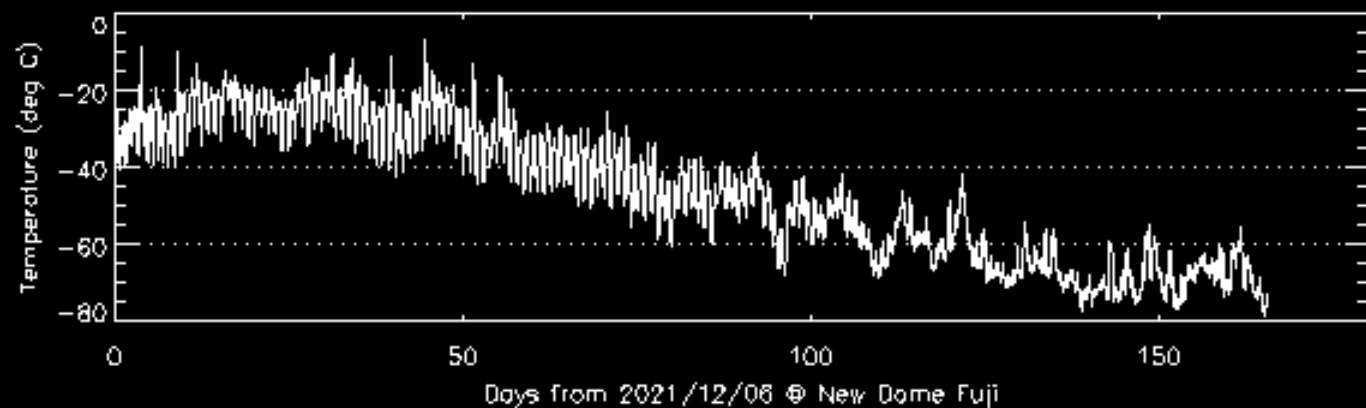


バッテリー6個並列
(1200 Wh x 6)とすると、
(夏は太陽光パネルも付
けることで) 放置が可能。

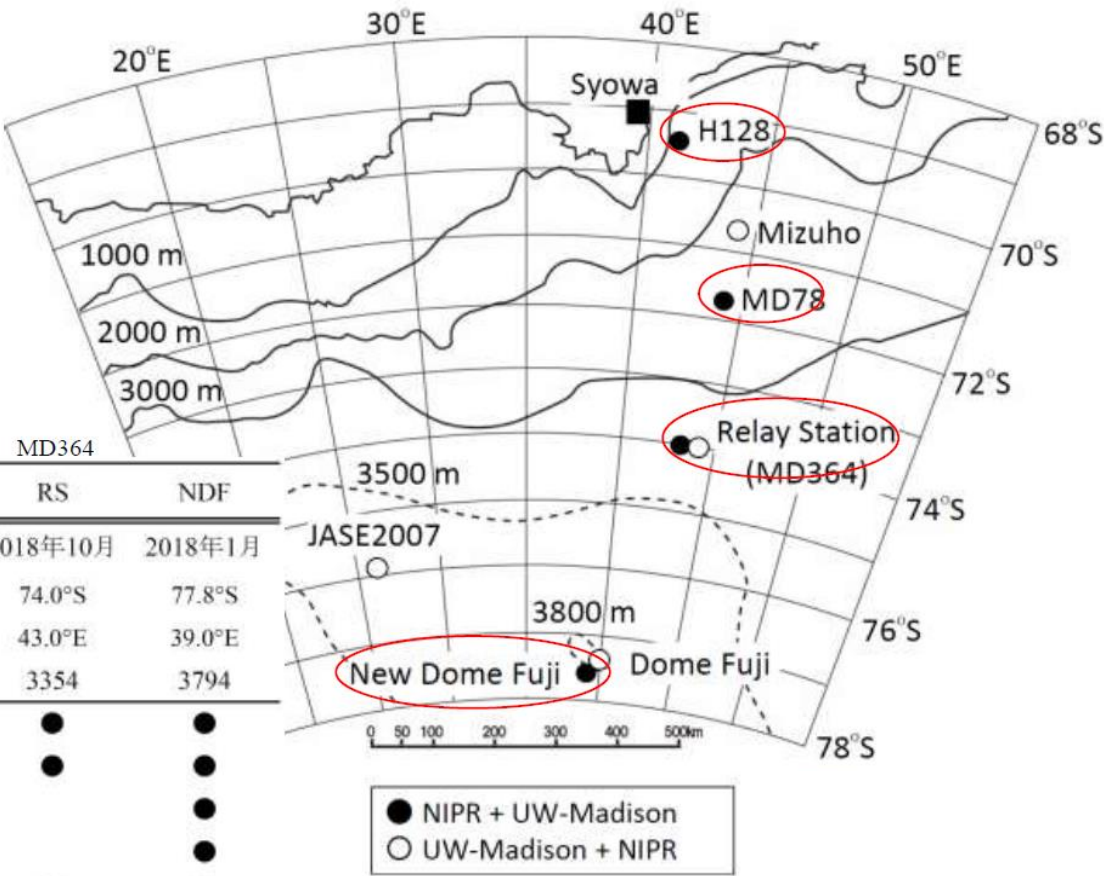


地上@新ドームふじ

風が弱くてダメ



平沢さん提供のAWS設置マップ

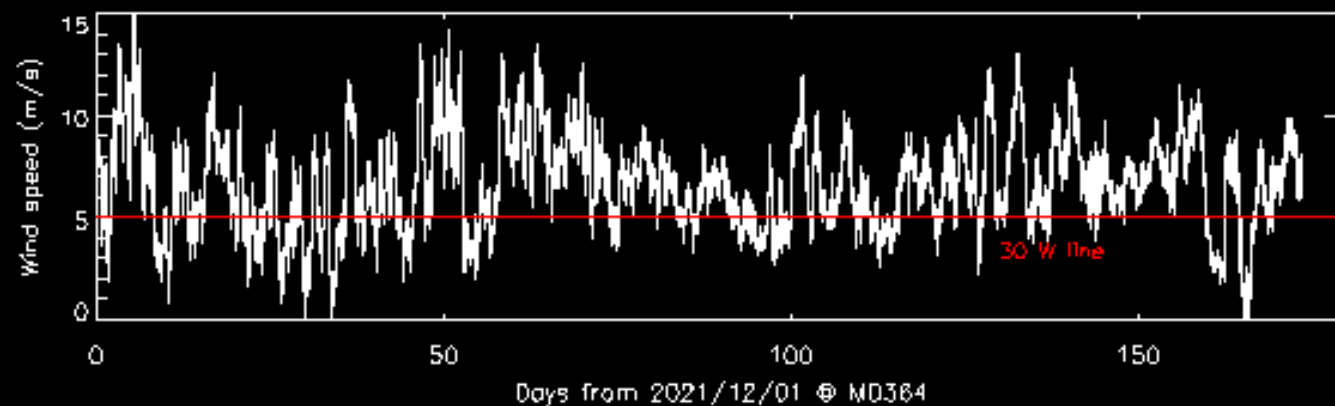
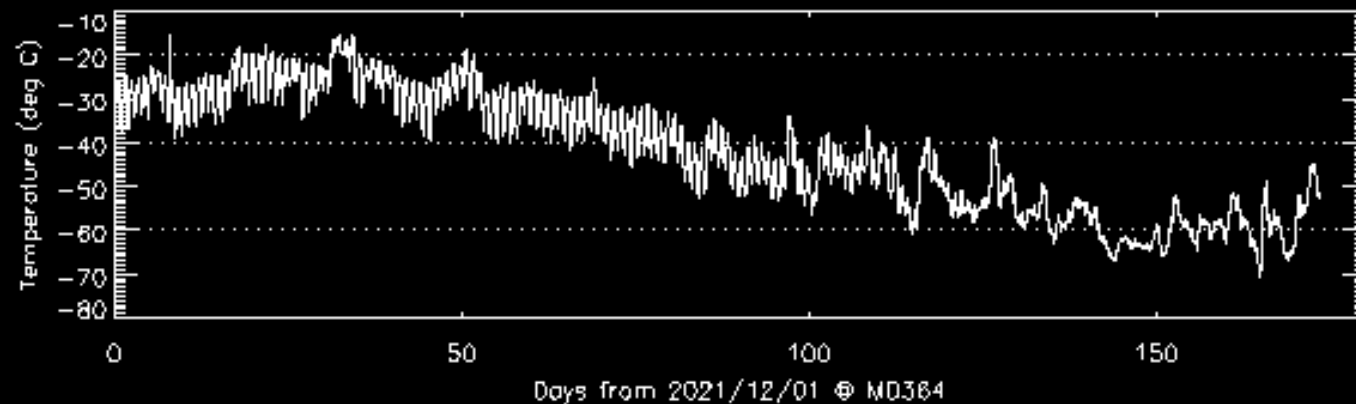


	H128	MD78	RS	NDF
開始	2016年1月	2019年10月	2018年10月	2018年1月
緯度 (度)	69.4°S	71.5°S	74.0°S	77.8°S
経度 (度)	41.5°E	44.0°E	43.0°E	39.0°E
標高 (m)	1377	2428	3354	3794
気圧計	●	●	●	●
強制通風式温湿度計	●	●	●	●
自然通風式温湿度計	●			●
自然通風式温湿度計※	●			●
風向風速計	●	●	●	●
風向風速計※	●			●
超音波積雪深計	●	●	●	●
放射計 (4成分)	●	●	●	●
雪温計 (5～10点)	●	●	●	●

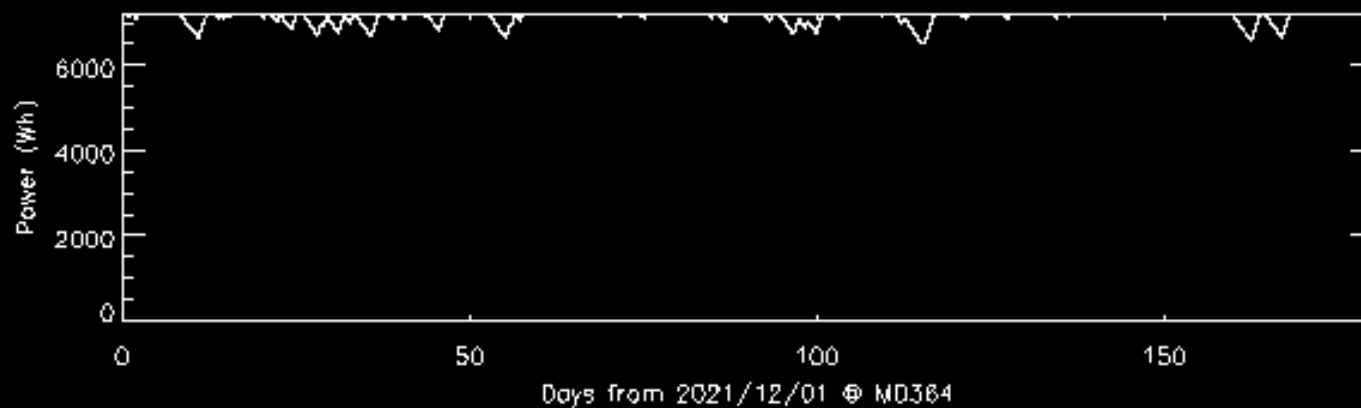
※ 第2層目の測器として設置

リレー地点 (MD364) は、燃料デポや訓練などでも訪れる機会があり、最も過酷なドームふじ周辺の前に実験するのに現実的？
（といっても、昭和基地で試験することに比べれば、格段に大変なオペレーションのはず）

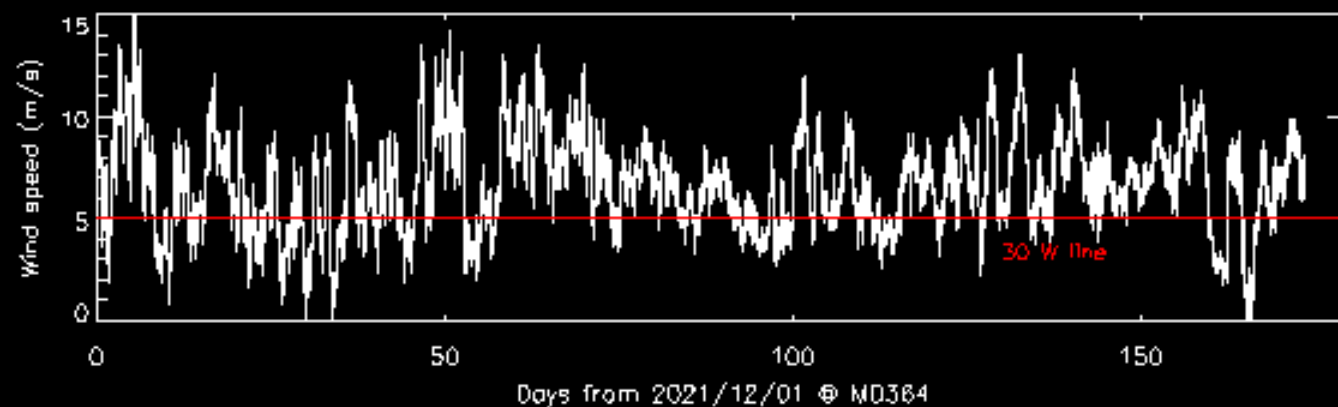
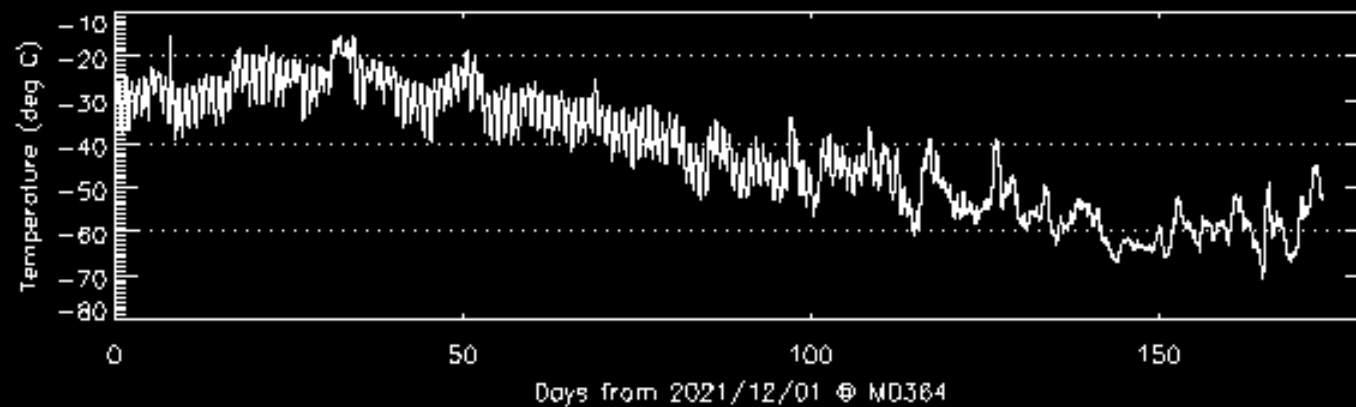
地上@MD364
(ドームふじよりも
風が強く、暖かい)



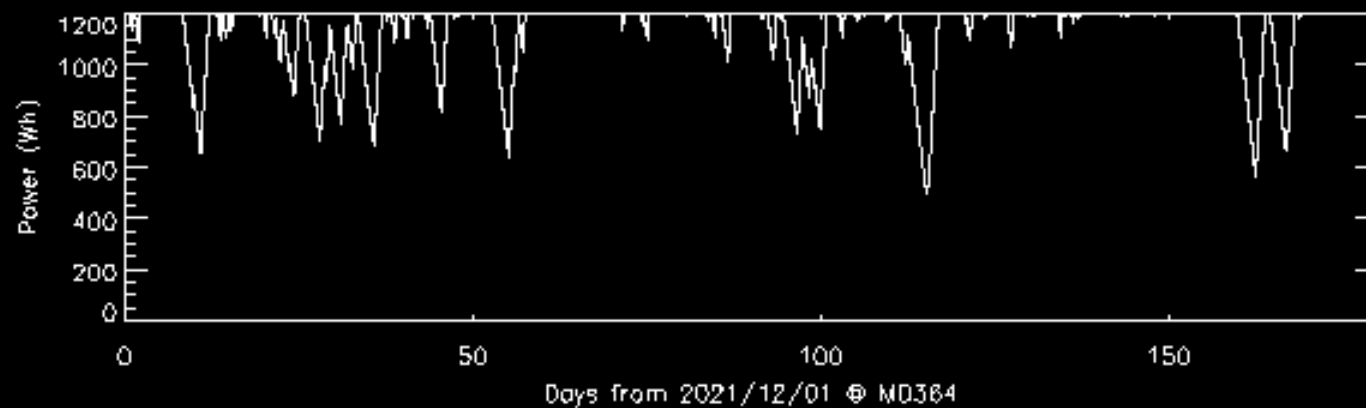
バッテリー6個並列
(1200 Wh x 6)



地上@MD364
(ドームふじよりも
風が強く、暖かい)



バッテリー1個でも可



今後の課題

- どの風車を買って実験をはじめるか？
 - 実績のあるFM910-4？新しいエアードラゴン？ほかの可能性？
- 12 V 100 Ah ~ 1200 Wh (30 kg) x 6個が現地の低温で動作中
 - 同じ鉛バッテリーを用意する？リチウムで軽量化？ほかの可能性？
- 究極的には10 Wで $\Delta T = 50$ Kを維持できる断熱箱を開発？
 - リレー地点MD364、 $\Delta T = 40$ Kから挑戦すべき？