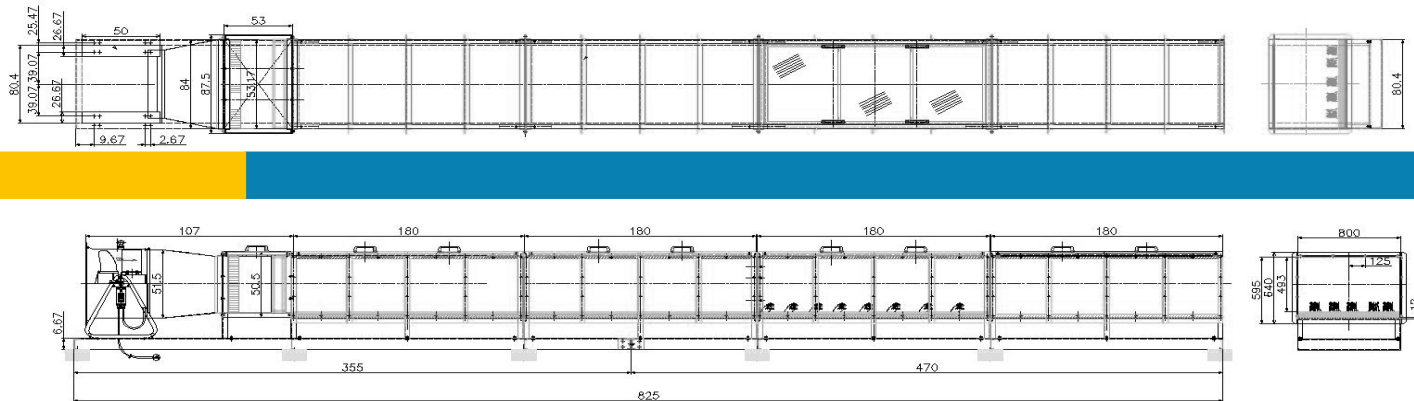


全方位飛砂量計測システムの開発



鳥取大学 乾燥地研究センター 環境保全部門
特命助教 劉 佳啓

2022年 3月8日

飛砂

飛砂とは、海岸の砂浜の砂が風によって運ばれ移動する現象である。

砂は風速がある値以上になると動き、粒径とも関係するが、0.3 mm前後では地上1 mの風速が5～6 ms^{-1} で移動を始める。高さ方向の飛砂量の分布は砂面上の近傍に集中し、30 cmの高さになると、非常に少なくなる。



図1 飛砂の様子(湘南海岸林)

<http://jscf.jp/knowledge/forest-work1.html>



図2 飛砂の様子(鳥取砂丘)(撮影:劉佳啓)

飛砂は乾燥地砂漠化や海岸に隣接する農地における塩害及び道路への堆砂の原因になるなど、様々な分野で深刻な問題となっている。



(砂漠化@中国内モンゴル)



(飛砂被害@鳥取砂丘)

上記のような問題に対処していくためには、現地における飛砂現象を詳細に把握する必要がある。

しかし



現地における計測が容易でないことから飛砂量に関する連続的な長期実測データを得ることが困難であった。

1990年代半ば頃まではトラップを用いた飛砂量計測が行われており、時々刻々と変化する飛砂量の変化を捉えることが困難であった。



近年では様々な飛砂計測機器が開発され、風速変化に伴う飛砂状況の変化についてより詳細なデータの取得が可能になった。

飛砂量の鉛直分布を測定する方法

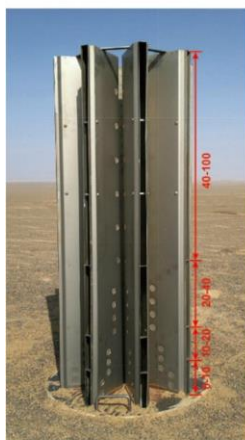
従来の測定方法

1. 飛砂粒子がトラップされる捕砂器
2. デジタルセンサーを使用した飛砂の高頻度計測機器

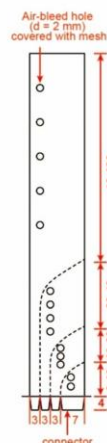
1. 飛砂粒子がトラップされる捕砂器

捕砂器は、砂面の近傍に入り口を設けることで砂面付近も測定可能であり、飛砂が跳躍している高さまで隙間なく捕砂口を設けることで全飛砂量も測定できる。

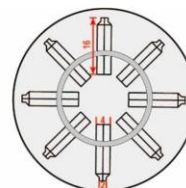
現場観測用捕砂器



A. General outline



B. Side view



C. Top view (Aboveground part)



D. Top view (Underground part)

風洞実験用捕砂器



利点

トラップされた砂粒子の粒径分布が測定できる。

欠点

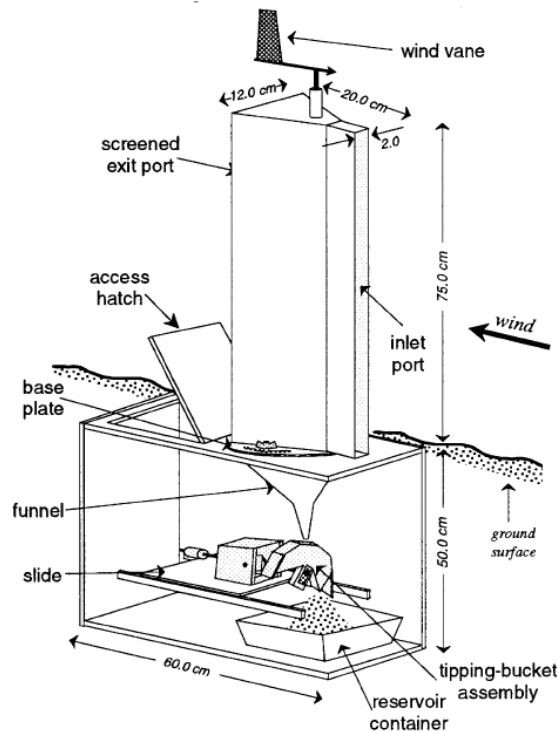
- ①個々の捕砂効率が異なっている。
- ②一定量の砂が捕捉されるまでに時間がかかる。
- ③飛砂量は時間積算データしか得られない。

飛砂の高頻度計測機器

飛砂の高頻度計測機器は大きく4種類に分けられる。

- ①電子トラップ Electronic traps
- ②音響センサー Acoustic impact sensors
- ③光学センサー Optical gate sensors
- ④圧電飛砂計 Piezoelectric impact sensors

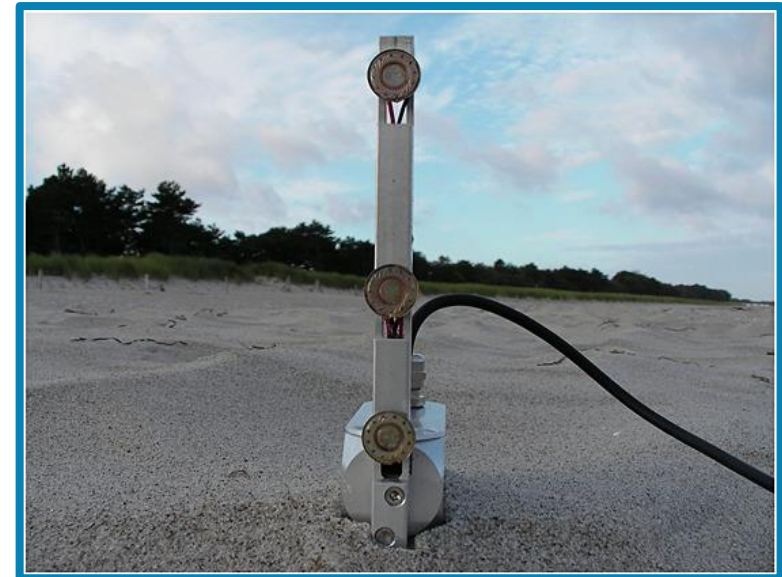
①電子トラップ Electronic traps



雨量計と同様の形状をしており、トラップされた飛砂の重さを高頻度で計測し、飛砂量の変化を把握することができる。

欠点：
一定高さのトータルな飛砂量しか測らない。

②音響センサー Acoustic impact sensors



砂粒子がセンサーにぶつかる時発生した音を計測し、砂粒子の数をカウントする。

欠点：
長期間の飛砂量を計測できない。

③光学センサー Optical gate sensors

飛砂粒子計 Sand Particle Counter

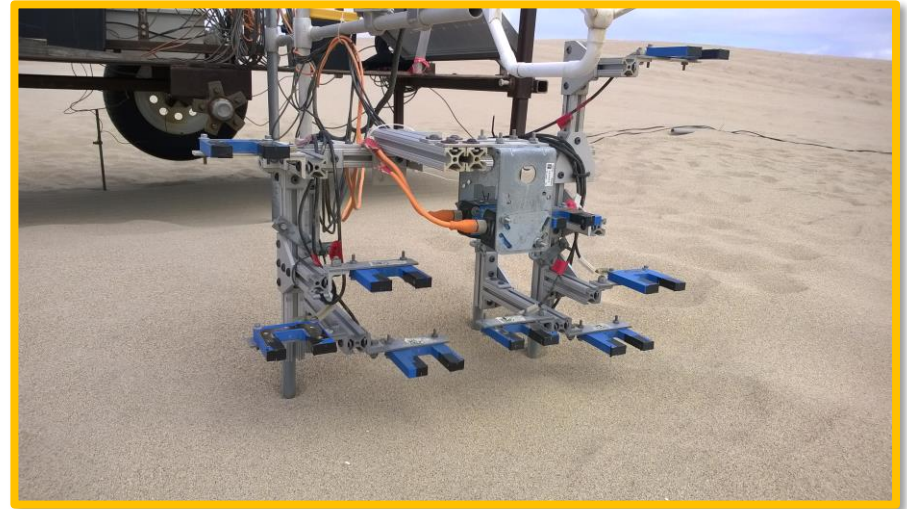


- 吹雪の粒子を測定するために開発した装置を飛砂用に改良した物であり、地面から風によって飛ばされる砂を粒径別にカウントする。
- 矢羽根が付いているので、常に風上方向からの飛砂をカウントすることができる。

欠点:

長期間に飛砂量を計測する場合、センサー表面に汚れがあると、精度が落ちる。

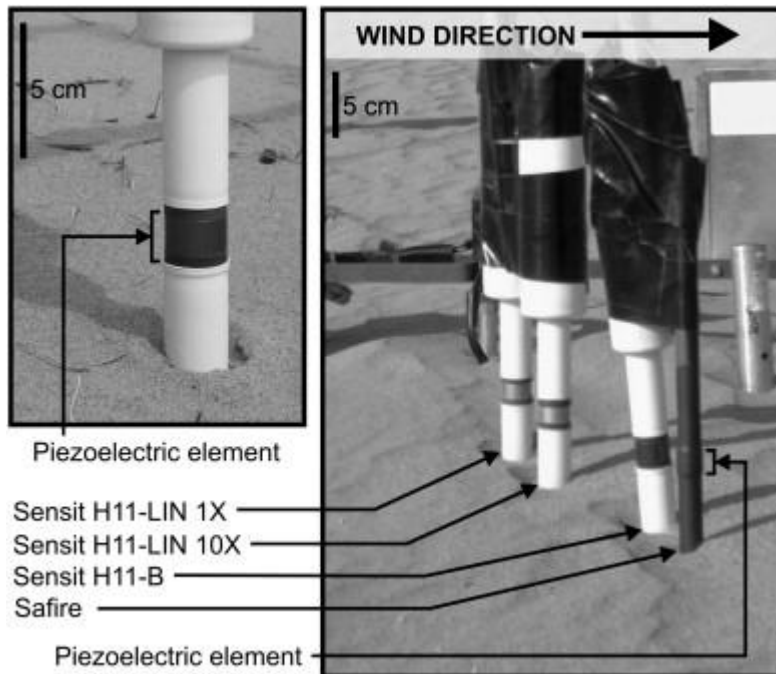
レーザー距離センサー Wenglor laser counter



Wenglorセンサーの片側にはレーザーからの光を記録するフォトセンサーがあり、砂粒子がレーザーの一部を遮ると、内部の電子機器がパルスを出し、外部のデータロガーで記録される。

④圧電センサー Piezoelectric impact sensors

Sensit



風による砂粒の跳躍(saltation)をセンサー先端部に衝突する衝撃の強さで計測する。マイクロフォンに当たる砂粒の音を計測するようなイメージである。砂の運動エネルギーはセンサーへの衝撃エネルギーに比例する。

利点:

- 砂粒衝撃によるエネルギーが一定量に達するとパルス出力する。
- 同時に砂粒子の数量もパルス出力する。

欠点:

機器のコストが高い。

従来の4種類の計測機器では達成できない課題(欠点)

- ①決まった方向の飛砂量しか測定できない。
- ②機材の単価が高く、多点測定が実現しにくい。
- ③風洞実験と野外観測を併用できない。



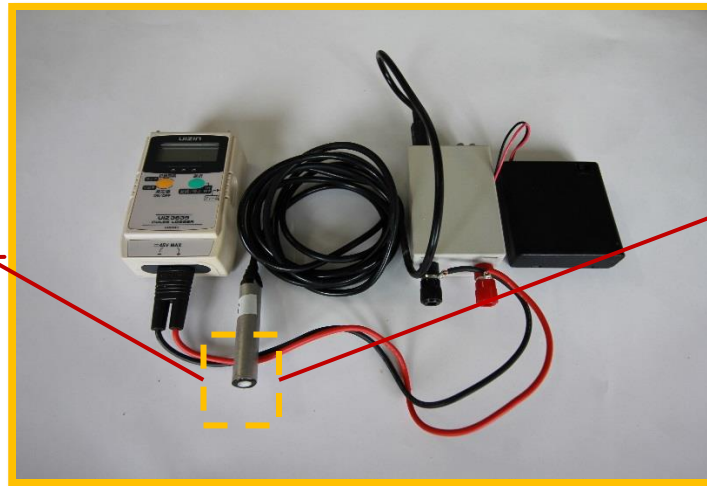
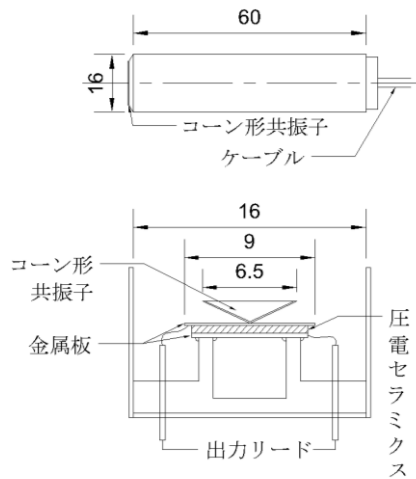
これらの問題点を同時に解決できる観測装置が期待されている。

新技術の特徴

本発明の目的

- ①圧電飛砂計は高精度の超音波センサーを使用し、任意の風速条件下でも飛砂粒子数を高精度に測定できる。
- ②ポテンシオメータとスリップリングの連動装置を整備することで、外部から多点飛砂計に電力供給を実現するとともに、風向の同時計測を可能になる。
- ③野外観測及び風洞実験の併用が可能な小型・軽量化の飛砂測定システムを実現する。

圧電飛砂計



圧電飛砂計とデータロガー



圧電飛砂計と現場の写真

測定原理

圧電飛砂計は高精度の超音波センサーに使用されている圧電振動子を用いたもので、砂粒子が圧電振動子に衝突した際に発生する電圧信号から衝突する砂粒子の数を測定する。

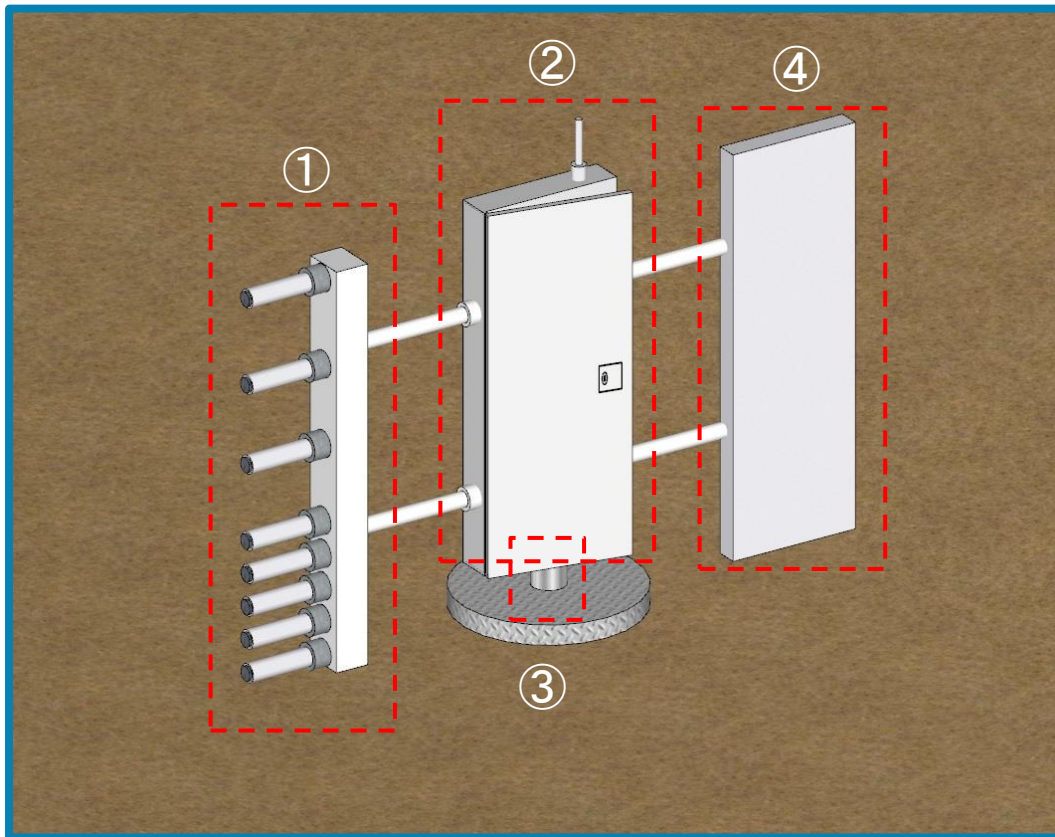
有働(2008)により圧電飛砂計で計測される飛砂粒子数 n を飛砂フラックス q_{Sensor} に換算する際には

$$q_{Sensor} = \frac{\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 \rho_s}{\pi \left(\frac{d_{PS}}{2} \right)^2 t_0} n = \frac{2 \rho_s d^3 n}{3 d_{PS}^2 t_0}$$

d : 砂の中央粒径, P_s : 砂の密度($=2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$),
 d_{PS} : 飛砂計センサ部の直径($=0.012 \text{ m}$), t_0 : 計測時間($=1\text{s}$)

圧電飛砂計による計測値 q_{Sensor} はトラップによる計測値 q_{Trap} より小さくなるものの、これらの間には次式で表される比例関係(相関係数 $r=0.95$)が認められた。

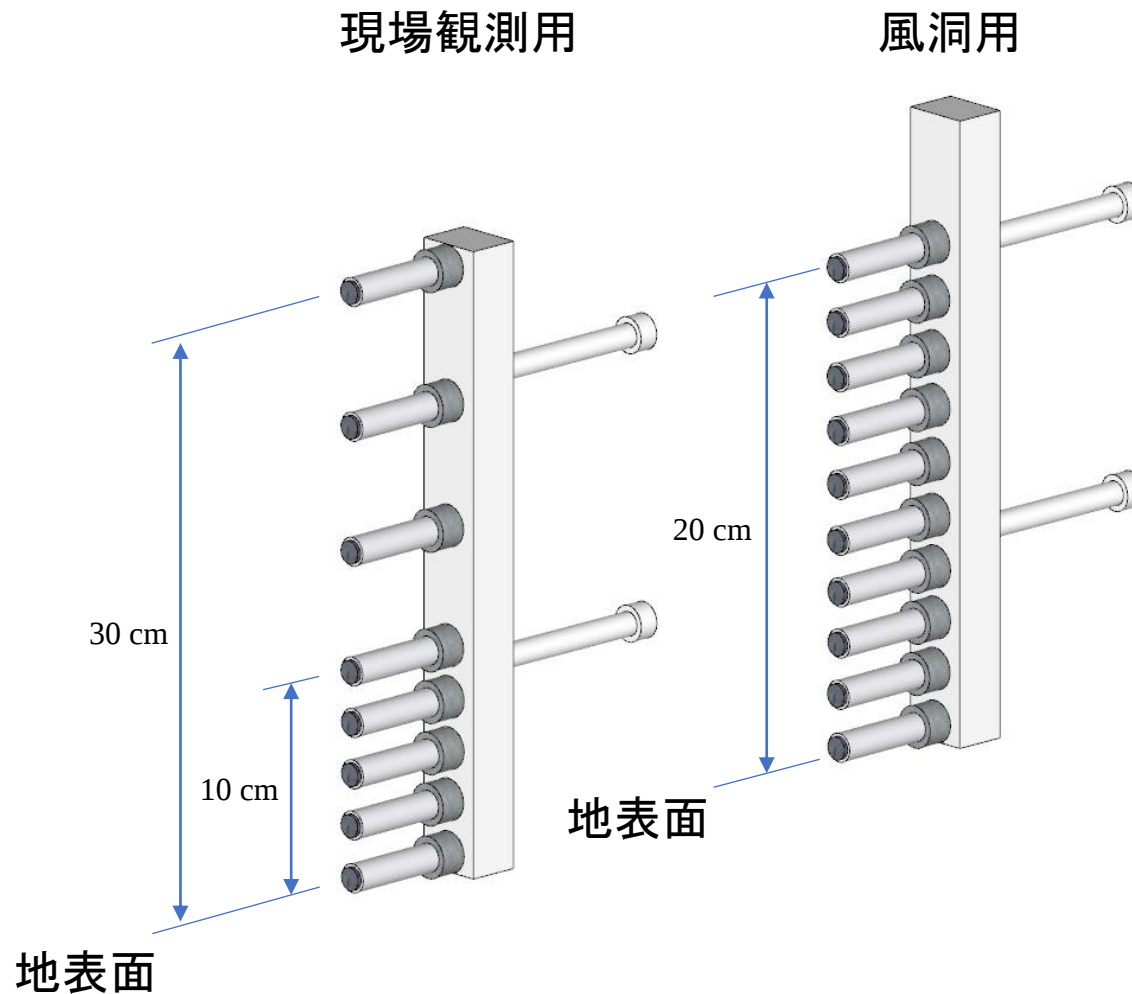
$$q_{Trap} = 10.571 q_{Sensor}$$



- ①センサーの着装する部分
- ②データロガーとAMD変換器
- ③回転軸（ポテンションメータとスリップリング）
- ④垂直尾翼

- ① 圧電振動子のセンサー部分には直径6.5 mmのコーン型共振子が装着されているため、風速6～13 m/sの条件で飛砂粒子数を高精度に測定できる。
- ② 8本の圧電飛砂計を1本の支柱に取り付けて設置し、砂表面から高さ0.3 mまで8ヶ所の飛砂量を計測する。
- ③ 尾翼を着装する軽量化ケースを開発し、任意な方向の飛砂量と風向データを観測できるように水平無指向性の測定システムを開発する。

①センサーの着装する部分



鉛直方向の飛砂量分布は、過去の研究による90%が地表面からの高さで、30 cm以下に集中している。特に、80%が10 cm以下に集中していることから、現場観測用の飛砂計のセンサーを取り付ける高さを決めた。

② データロガーとAMD変換器

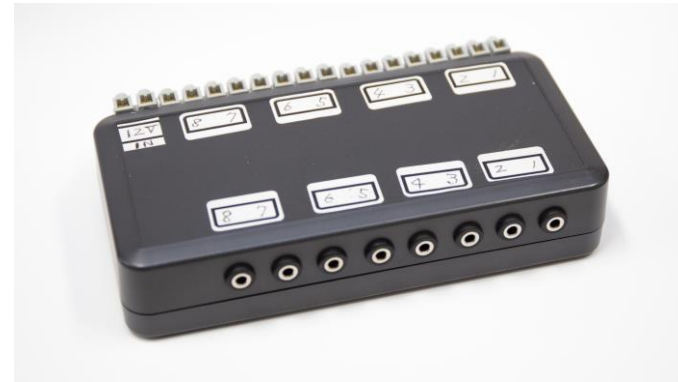
飛砂ロガー CAMPBELL C-CR300



<http://www.weather.co.jp/csi/CR300.htm>

パルス出力: 8ch
WIFI通信オプション付き
動作温度: -40~+70℃

パルスAMP



パルス入力: 8ch
応答周波数: 1000Hz
許容入力電圧: 12V

ポテンションメータ(風向測定用)



接触回転型
有効電気角: 340°
単独直線性: $\pm 1\%$
回転寿命: 1000万以上回
使用温度: -40~+100℃

<https://www.midori.co.jp/products/cp-2fxj>

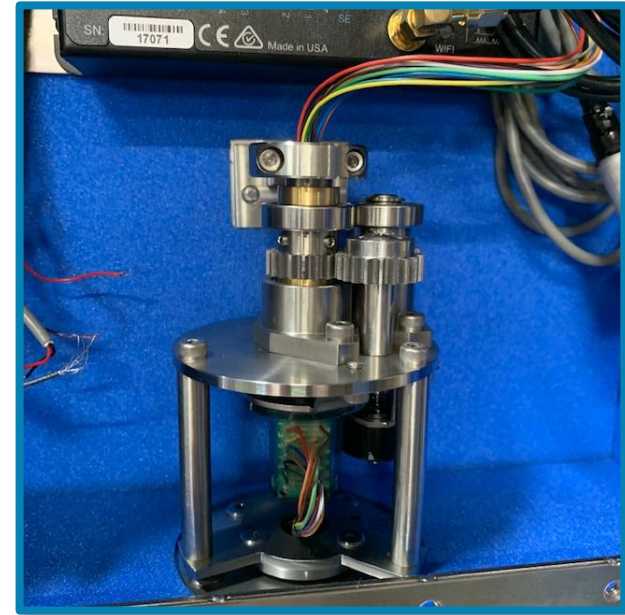
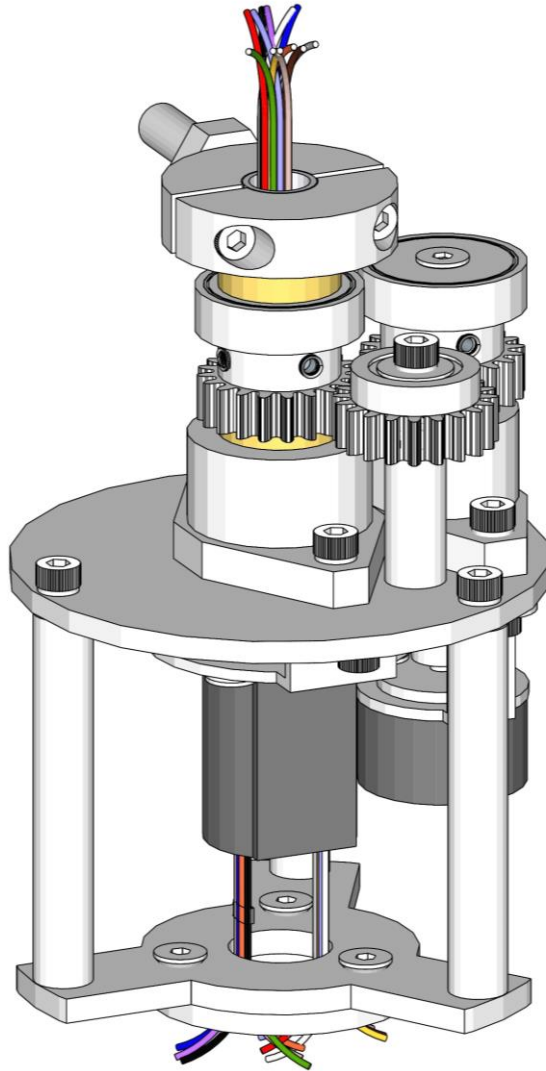
スリプリング



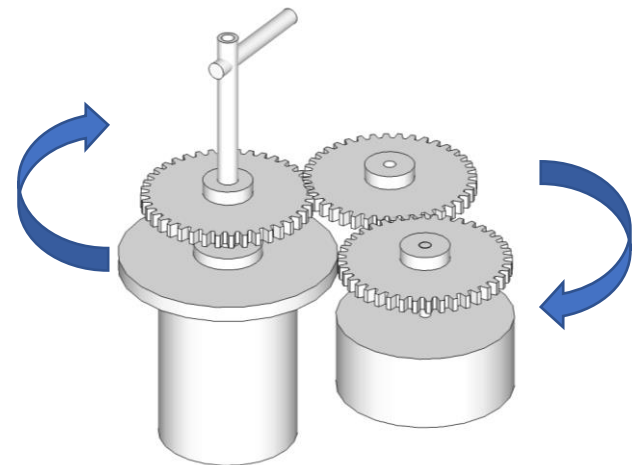
極数: 12極
絶縁抵抗: DC250V—
100MΩ以上
回転寿命: 300万回転
使用温度: -10℃~80℃

<https://www.totukizai.co.jp/product/slipring/tsr4251.html>

③回転軸の設計



連動機構



スリップリング ポテンションメータ

従来技術との比較

本発明により提案する多点飛砂計は、従来の提案技術に比べて、

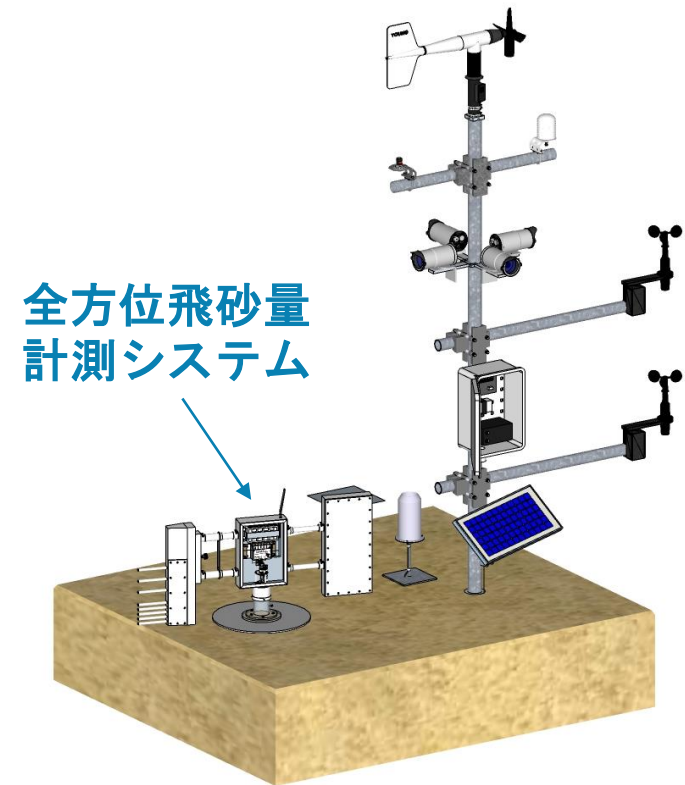
- 野外観測における飛砂の発生方位と高さ毎の飛砂量の鉛直分布が同時に測定でき、
- 小型・軽量化を実現できることに新規性がある。

また、高精度の超音波センサーに使用されている圧電振動子を用いた圧電飛砂計に改良を加え、砂粒子が圧電振動子に衝突した際に発生する電圧信号を利用し、砂粒子の数を記録すると同時に砂粒子の粒径を計測できる飛砂観測システムの新技术開発にも繋がると考えられる。

想定される用途

以下に**飛砂量計測システム**の用途を示す。

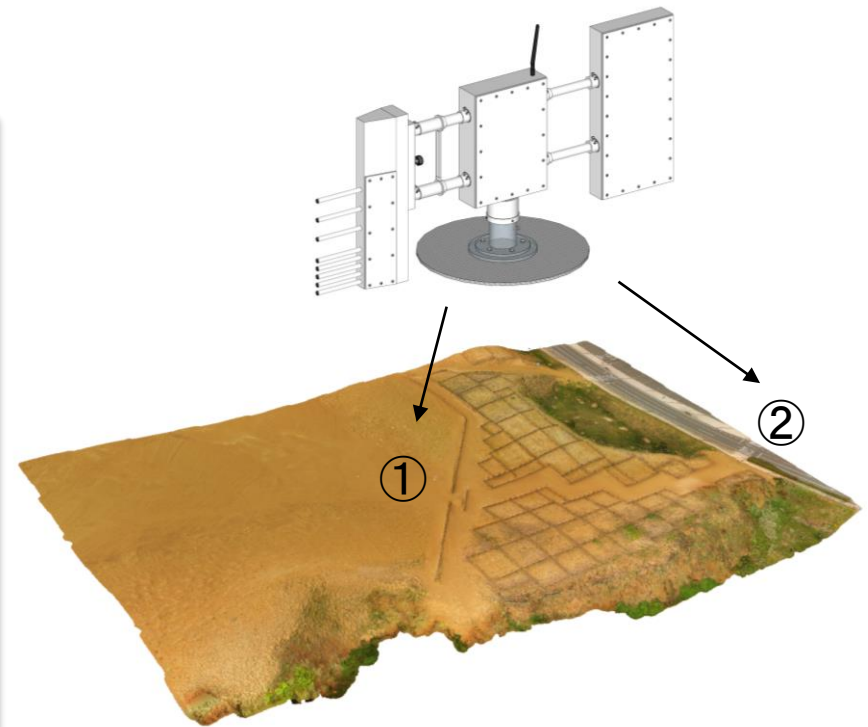
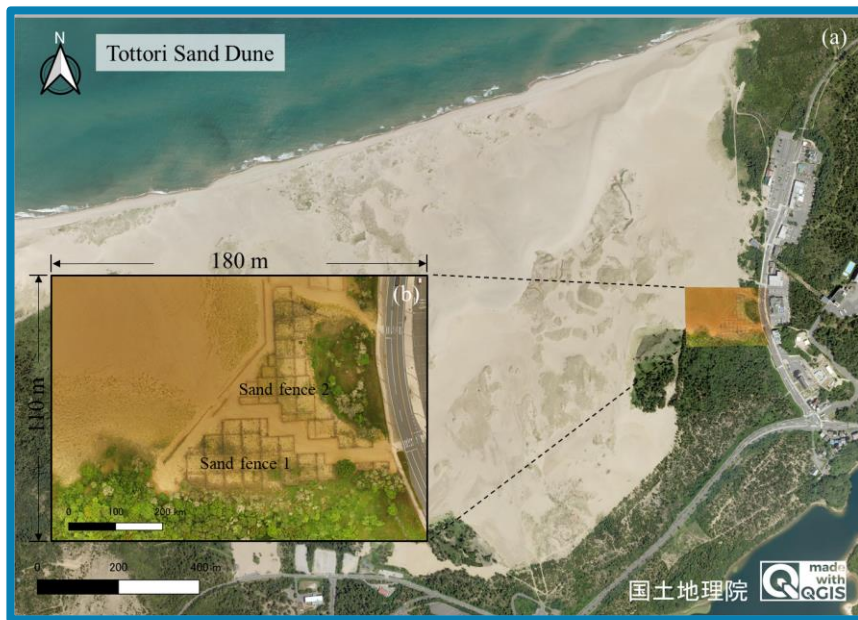
- ・ 砂漠化の要因となる植生と土壌の劣化が引き起こす「土地の受食性」という新たな視点から、現地における土地劣化の監視に特化した砂漠化計測システムとしての利用。
- ・ 風食の状況を予測し、適切な飛砂防止対策等を図る資料を得るために、様々な地表面状態における飛砂の舞い上がり過程についてのデータ収集システムとしての利用。



砂漠化計測システムの概略図

想定される用途

- ・ 日本各地の砂丘において、道路などへの飛砂侵入による問題を解決するための砂防構造物（堆砂垣・防砂林）の有効性を検出する装置としての利用。
- ・ 人工海浜において飛砂による砂の損失を予測できる検測設備としての利用。



本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 無指向飛砂量計測装置
出願番号 : 特願2020-192786
出願人 : 国立大学法人鳥取大学
発明者 : 劉佳啓、木村玲二

お問い合わせ先

**国立大学法人鳥取大学
研究推進機構**

T E L 0857 - 31 - 5546

F A X 0857 - 31 - 5571

e-mail sangakucd@ml.cjrd.tottori-u.ac.jp