

名古屋大学
宇宙地球環境研究所
技術部報告



令和元年度
(2019 年度)

目次

令和元年度 ISEE 技術部報告会の開催報告	1
第2回 ISEE－JAXA ISAS 技術交流会の開催報告	2
ISEE 技術部報告会の報告要旨	3
ISEE－JAXA ISAS 技術交流会の報告要旨	23
平成 31 年／令和元年度 技術部の活動報告	37

表紙写真

ISEE 35GHz 帯偏波雲レーダ(琉球大学 瀬底実験施設)
を絵画風にアレンジ

撮影:民田晴也

令和元年度 ISEE 技術部報告集の発行にあたり

昨年度に引き続き、技術部報告集を発行することができました。ISEE 技術部職員は名古屋大学全学技術センターの計測・制御技術支援室に 12 名、分析・物質技術支援室に 1 名が所属しています。全学技術センターでも名古屋大学技術研修会と題して年度末に報告会を開催していますが、ISEE 研究者の皆様への情報発信としては不十分です。研究者の皆様と技術職員のパートナーシップ強化、技術支援の質の向上につなげることを目標に ISEE 技術部報告会を2月に開催しました。今年度は新型コロナウイルス感染症の影響を受け、全学技術センター主催の名古屋大学技術研修会をはじめ、全国の技術職員が参加する集会も軒並み中止となり、ISEE 技術報告会は日頃の活動を報告する貴重な機会となりました。

技術部報告会では、第 2 回 JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)との技術交流会を併催、ISAS 先端工作技術グループと全学技術センター装置開発技術支援室(工学部)の技術者から話題をご提供いただきました。ISEE-ISAS 共同技術開発、名古屋大学技術職員の技術協力の将来性を課題に、それぞれの専門性を紹介、議論する機会となりました。本報告集にも技術交流会の講演資料を収録しました。全学技術センターの技術職員キャリアパスでも学内技術交流、東海国立大学機構による岐阜大学技術職員との交流、他機関との人材交流など、多様な業務経験と技術力向上の実現方法が模索されていますが、業務提携や共同研究を結ばない限り、実務を伴った技術交流は困難です。今回の技術交流会では、人とのつながりから始め、規模の大きな研究プロジェクトに対応できる技術支援体制への発展を期待しています。ISEE 技術部の専門性の向上、業務体制の効率化、専門技術のエキスパートによるチームワーク、グループワークによる人材育成と組織力強化の取り組みが必要であり、技術部報告集の発行がその一助となることを期待します

名古屋大学 全学技術センター
計測・制御技術支援室
室長補佐 民田 晴也

令和元年度技術部報告会の開催報告

令和元年度 ISEE 技術部報告会を以下のとおり開催しました。昨年度に引き続き JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)との技術交流会を併催しました(前半 ISEE 技術部報告会、休憩後、技術交流会)。ISEE から 5 件の技術報告に加え、JAXA 宇宙科学研究所 (ISAS) 先端工作技術グループから 3 件、工学部技術部から 1 件の講演がありました。参加者は約 30 名でした。

日時: 2020 年 2 月 17 日(月) 13:20～16:30

場所: 研究所共同館 1 号館 3F 講義室 (301)

プログラム

- | | |
|-------------|---|
| 13:20-13:30 | 開会の辞
民田 晴也 (名大 ISEE 技術部) |
| 13:30-13:45 | 35GHz 偏波雲レーダのクライストロン交換
久島 萌人 (名大 ISEE 技術部) |
| 13:45-14:00 | 降雪粒子の立体形状、落下速度、粒径分布計測
民田 晴也 (名大 ISEE 技術部) |
| 14:00-14:15 | 技術支援におけるドローンの活用
岡本 渉 (名大 ISEE 技術部) |
| 14:15-14:30 | 5波長分光フォトメーターの開発 ～視野確認光学系について～
川端 哲也 (名大 ISEE 技術部) |
| 14:30-14:45 | 高真空用 2 軸ステージの製作 ～安価な真空用回転ステージ製作に向けて～
藤森 隆彰 (名大 ISEE 技術部) |
| 休憩 | |
| 14:55-15:10 | 宇宙科学研究所 先端工作技術グループ製作業務の紹介
加賀 亨 (JAXA ISAS 先端工作技術グループ) |
| 15:25-15:40 | 宇宙科学研究所での役割と仕事の紹介2
鈴木 和司 (JAXA ISAS 先端工作技術グループ) |
| 15:10-15:25 | 金沢大学技術支援センターの取組み
松井 大樹 (JAXA ISAS 先端工作技術グループ) |
| 15:40-15:55 | 低温域における熱膨張を利用したしまりばめ締結力の調査
後藤 伸太郎 (名大 工学研究科・工学部 技術部) |
| 15:55-16:30 | 討論・閉会 |

発表時間 15 分(発表 11 分+質疑 4 分)

第2回 ISEE－JAXA ISAS 技術交流会の報告

民田 晴也

宇宙地球環境研究所(ISEE)技術部報告会(2019年2月17日)に合わせ、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS) 先端工作技術グループの技術者3名、名古屋大学 工学部から1名を招き技術交流会を併催しました(p.1 プログラム参照)。交流会には ISEE 研究者、理学部・工学部の技術職員を含め約20名の皆様にご参加いただきました。機械加工は ISEE 技術部の弱点分野であり、交流会を通じての人脈強化、有用な情報収集・意見交換ができました。交流会では討論形式で約10分の質疑応答時間を確保、提供話題に関して深く議論することができました。専門技術での話題提供と意見交換・討論の機会は、技術職員の技術力・モチベーション向上に一定の効果があり、交流会の継続開催の有用性を改めて感じました。

プレゼンスタイルの交流会は ISEE 技術部報告会に組み込み、午前中に理学部と工学部装置開発、夕方に ISEE 技術部の見学会を企画、交流会に参加できない技術職員との交流機会を設けました。ISAS 技術者は機械加工が専門であり、理学部・工学部装置開発見学では活発な意見交換が行われました。ISEE 技術職員にとっても施設見学・作業見学では良い刺激を受けることができ有用な機会となりました。業務中のお忙しい中、見学にご対応いただきました全学技術センター装置開発技術支援室の皆様、この紙面を借りてお礼申し上げます。



【写真】 交流会の様子

左上：松井氏による金沢大学技術センターの紹介

右上：後藤氏による工学系装置開発の紹介

左下：施設見学（ガラス工房）



35GHz 偏波雲レーダのクライストロン交換

○久島萌人、民田晴也（宇宙地球環境研究所 技術部）

概要

35GHz 偏波雲レーダの送信管であるクライストロン交換作業を行った。クライストロンは消耗品であるため予備品との定期的な交換が必要であり、交換後は送信電波が既定の範囲であるかの検査も必要となる。今回はその作業内容について報告する。

1 35GHz 偏波雲レーダ

35GHz 偏波雲レーダ（以下 Ka レーダ）は 35GHz 帯の周波数を使用しているレーダであり、通常降水観測で使用する電波より波長が短いため、雨粒子より小さな雲粒子や氷晶粒子を観測することが可能となる。水平・垂直の二重偏波で送信しており、粒子の縦横比形状が観測可能である。また送信管にはクライストロンが使用されており、パルス圧縮形式のレーダである。Ka レーダの主な諸元を表 1 に、外観と観測例を図 1、2 に示す。

表 1. Ka レーダ諸元

項目	性能
レーダ形式	パルス圧縮レーダ
送信周波数	35GHz
送信管、尖頭電力	クライストロン(EIK)、3kW
観測範囲	半径30km
レンジピン	75m/150m
ビーム幅	0.4° 以下
短パルス	パルス幅 0.5 μ sec および、1.0 μ sec
長パルス	最大 55 μ sec
PRF(パルス繰り返し周波数)	最大 2500 Hz
占有周波数帯域幅	短パルス 8MHz 以下 長パルス 8MHz 以下
偏波面	垂直偏波および水平偏波
利得	52dB以上



図 1. Ka レーダ外観

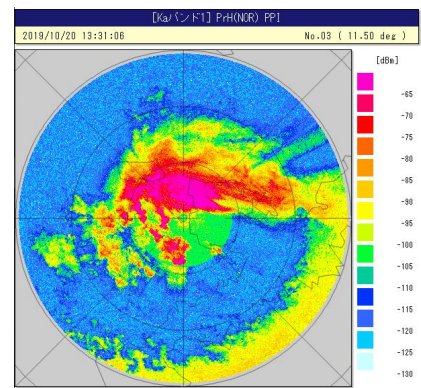


図 2. 観測例

2 パルス圧縮

レーダの距離分解能を向上するために、送信パルスを図 3 のように周波数変調し（チャープ変調）、スペクトル拡散した広帯域パルスを用いて、受信後データ処理の段階で復調（圧縮）することをパルス圧縮とよぶ。この圧縮技術により、ピーク電力を小さくしても、空間分解能を向上させることが可能となる。図 4 にパルス圧縮処理を行う前と後の信号を示す。

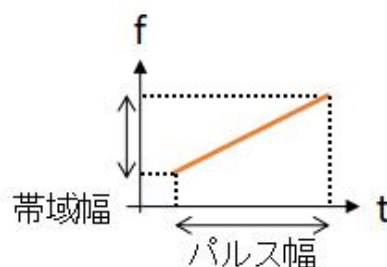


図 3. 送信パルス波形

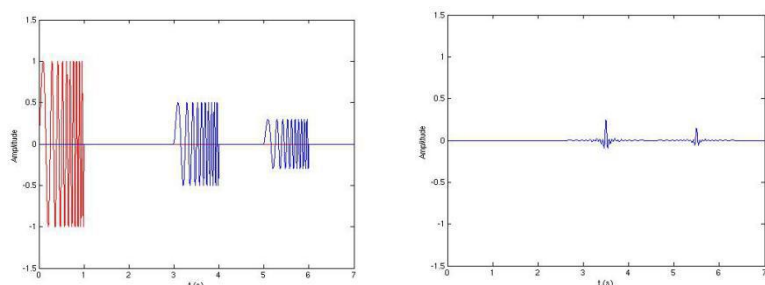


図 4. パルス圧縮前後の信号（赤:送信、青:受信）

3 クライストロン交換

Ka レーダはアンテナのある空中線装置内に送受信機が格納されている構造になっており、クライストロンの交換には空中線装置内から送信部を取り外す必要がある（図 5）。次に送信部内部の導波管、ケーブル類を取り外し、クライストロンを交換する。その際、クライストロンは強磁性体であるため、作業を行う際は身体から金属類を取り外し、ネジやワッシャの脱落に注意して作業を行う。図 6 に送信部内部の様子を、図 7 に取り外したクライストロンを示す。

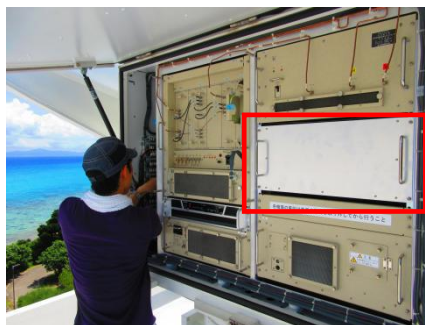


図 5. 送信部

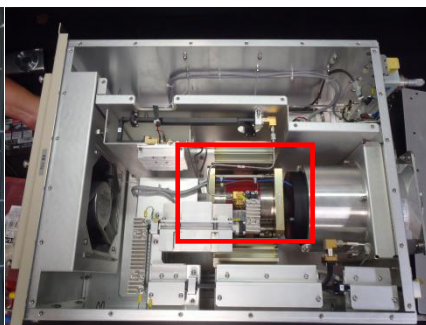


図 6. 送信部内のクライストロン

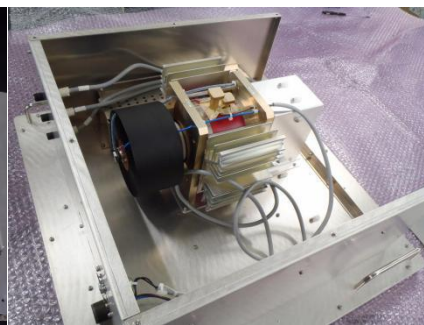


図 7. 取り外したクライストロン

4 送信電波検査

クライストロン交換後、送信電波が既定に沿っているか検査を行う。検査項目は送信電力、周波数、占有帯域幅、スプリアス、パルス幅と、クライストロンのカソード電圧、グリッド ON,OFF 電圧の検査を行った。検査の際は送信信号モニタ端子に 40GHz スペクトラムアナライザ（図 8）、40GHz パワーセンサ+パワーメータ（図 9,10）、オシロスコープ等の計測器を接続し、電波を空中に送信しないようダミー送信の状態で行う。

短パルス 0.5us、長パルス 55us のそれぞれで検査を行い、すべての項目が既定内であることを確認した。



図 8. スペクトラムアナライザ



図 9. パワーメータ



図 10. 40GHz パワーセンサ

参考文献

- [1] 日本航路標識協会 平成 15 年度 新マイクロ波標識の開発に関する調査研究中間報告書
<https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2003/00828/contents/0001.htm>
- [2] 技術情報 クライストロン | キヤノン電子管デバイス株式会社
<https://etd.canon/ja/tech/klystron.html>

降雪粒子の立体形状、落下速度、粒径分布計測 レーダ降雪強度推定高精度化を目指して

○ 民田晴也 久島萌人（名古屋大学 宇宙地球環境研究所 技術部）

1. はじめに

降水レーダは降水粒子集合体の後方散乱波から降水強度を推定する。レーダ反射因子 Z は降水粒子の後方散乱断面積 σ_b の粒径分布積算であり、降水強度 R は（粒子体積） $\times$ （粒子密度）の積算である。

$$Z = \int D^6 n(D) dD = C \int \sigma_b(D) n(D) dD \quad (1)$$

$$R = 6\pi \times 10^{-4} \int \rho D^3 v(D) n(D) dD \quad (2)$$

ここで、 D は粒子直径、 $n(D)$ は粒径分布、 $v(D)$ は落下速度、 ρ は粒子密度、 C はレーダ定数。降水毎に $Z-R$ 関係は分散するため（中井ほか, 2016）、高精度レーダ降雨強度推定では $Z-R$ 関係の最適化が課題となる。雨滴粒子は水滴（密度 100 %）、回転楕円体近似、落下速度を雨滴直径の関数で表現できるため、 $Z-R$ 関係の分散要因は粒径分布に絞られる。つまり、レーダ降雨観測は雨滴粒径分布の遠隔観測の技術開発がゴールである。

多種多様な粒子物性で特徴付けられる雪や霰など固体降水粒子は、密度・形状・落下速度が千差万別で、定量的なレーダ降雪観測のため未解決課題が山積する。降雨では雨滴直径による関数化が可能であるが（Eq.1,2）、降雪の場合は次式のように個々の粒子物性の積算が避けられず、 $Z-SR$ 関係の評価・検証を困難にする。

$$Z = C \sum \frac{\sigma_b}{v} \quad (3)$$

$$SR = \frac{6\pi}{ST} \sum \frac{\rho_s}{\rho_w} V \quad (4)$$

ここで、 SR は降雪強度、 v は落下速度、 S は降雪サンプリング面積、 T はサンプリング時間、 ρ_s, ρ_w は雪と水の密度、 V は粒子体積。また、降雪粒子は落下速度が遅く水平風に流され、地上の点観測から上空のレーダシグナル検証を困難にする。落下中の融解・分裂・併合など粒子物性の変化も考慮する必要がある（板戸ほか, 2015）。

高精度レーダ降雪強度推定を目指し、地上で降雪粒子の立体形状、落下速度を計測する Multi-angle Snowflake Imager (MSI) を開発、札幌および金沢で降水レーダとの同期観測実験を行ってきた（Minda et al., 2017、民田ほか, 2016）。

本報告では、MSI 概要と応用について簡単に紹介する。

2. MSI 概要

MSI 概要を図 1 に示す。MSI は水平面に 4 台のレー

ザラインスキャナを配置、4 方向（45 deg 間隔）から落下粒子の影画を取得、立体形状を合成する。4 影画合成は、2DVD(2D Video Disdrometer) (Schönhuber et al., 2008) など 2 画像楕円体近似に比べ、立体形状の再現性（粒子体積の代表性）を大きく改善できる。ラインスキャナの計測分解能は 0.1 mm、スライス当り 424 画素、スライスレート 20 kHz で粒子影画を取得する。影画立体合成は凹部を再現できない弱点があり、2 台のカメラで斜め上方（天頂角 55 deg）から、スキャナ粒子検出と同期してシャッター速度 1/4000 秒で粒子を撮影、スキャナ立体画像に合成することで再現性を向上している。図 2 にカメラ画像合成を組み込んだ立体形状再現例を示す。スキャナ配置には高さオフセットがあり、計測シート光間隔と粒子検出時間差から落下速度を計測できる。一定スライスレートのラインスキャナでは粒子落下速度（通過速度）により、鉛直分解能が変動する。落下速度計測は鉛直分解能補正でも欠かせない。

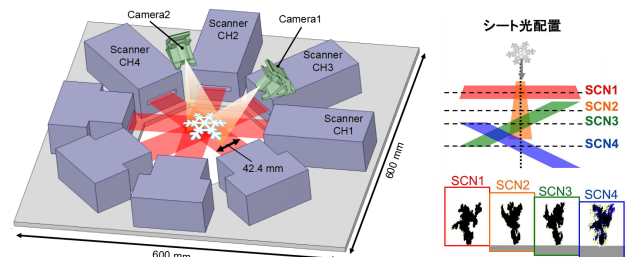


図 1: MSI 概要。光学モジュールと計測シート光配置。

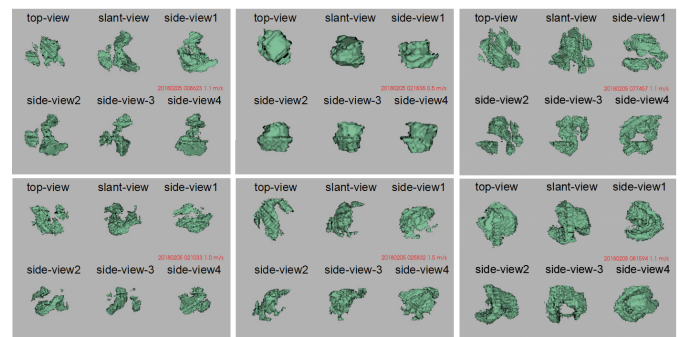


図 2: 2018 年 2 月 5 日に MSI が観測した立体形状の例（6 例；自動伸縮表示；各パネル内左上：上面図、中上：斜視図、右上と下：側面図 1～4）

図 3 にスキャナ部のブロック図を示す。光源に半導体

レーザ（波長 785 nm、25 mW）、球面レンズ（60 mm 径）を用い 42 mm 幅のシート光を生成する。受光部は 0.125 mm 分解能、640 素子の Linear Photo-Diode array 中央部の 384 素子を利用して、シート光を通過する物体の影画（モノクロ画像：2 値化）を取得する。レンズ収差によりシート光は中央部で僅かに拡散、端部で平行になる設定で、計測分解能を 0.1 mm とする補正により 424 画素となっている。計測条件は、上部 2 台のスキャナの影検出をトリガとして画像取得を開始、全スキャナで影がなくなると計測を終了する。1 画像の最大取得スライス数は 640 である。汚れなど常時影となるピクセルによる異常計測を回避するため、スキャナには常時影ピクセルのマスク機能を組み込んである。光学的に均一性能のスキャナ 4 台を制作するため大型 3D プリンタを利用した。4 台のスキャナを同時取得するため（粒子融解度の数値化のため 4 階調グレイスキャナを 1 台搭載するため 6 台並列取得相当）、Xilinx Zynq-7000 FPGA を採用した。20 kHz のスライスレートは光強度と受光素子の感光時間の妥協であり（光量を上げれば高速化できるが粒子影画が消失する）、FPGA 性能による制限ではない。Zynq は高速バスを備える CPU を組み込み、デジタル回路設計経験が浅いエンジニアにとって魅力的な FPGA である。計測データは UDP multicast で gigabit network に掃き出し、Linux OS で拾い上げる仕組みである。Linux でパケット送信待ち時間を最適化したため、マイクロソフト Windows OS では数%のパケットロスが生じ、Windows10 の現時点でも改善していない。粒子撮影カメラは UVC 規格の USB 赤外カメラを利用、スキャナ画像と同一プラットフォームで画像取得することでミリ秒での時刻同期をとっている。50 ms のタイムラグは落下速度 1 m s^{-1} の粒子が 50 mm 落下、カメラ画角から消えるほどの時間となる。MSI は 1 秒間に複数の影画を取得するため、カメラ画像を適切に利用するため時刻同期は重要である。

MSI の付加設備として電子天秤がある。2018 年度金沢観測では秤量 3000 g（分解能 0.1 g）、2019 年度札幌では秤量 300 g（分解能 0.01 g）の天秤で 100 ms 毎に重量を連続取得している（USB-CDC）。機器運用では、監視カメラに加え、融雪ヒータと電子天秤積雪排除ブローの遠隔制御（通電時間プログラム可能）を行い、メンテナンスフリー運用できる。UDP multicast は複数台のパソコンでデータ受信・冗長性強化のメリットがある。観測ではデータ取得サブネット（UDP multicast）と監視制御サブネット（名古屋から遠隔制御）を分け、データ同期などデータ取得サブネットへのログインは晴天時に行った。MSI スキャナ・USB 粒子カメラ・電子天秤は手のひらサイズパソコンに接続・屋外防水ボックスに収納、監視系パソコンは屋内に設置、監視系パソコンでも UDP パケットを受信、スキャナデータのみデータロガー故障へ

の冗長性を備えた。Linux OS は遠隔制御、安定性で利点がある。USB デバイスの遠隔オフライン・オンライン操作も安定しており、遠隔操作で堅牢なシステム構築ができる。遠隔地での安定運用のため、MSI 性能を 20% を落として設計、遠隔トラブル対応にも備えたが、1 シーズン 4 か月（12 月～3 月）、6 年間の観測期間、記録的豪雪（埋雪）でデータ取得できない時間帯はあったが、システムは安定稼働を達成している。

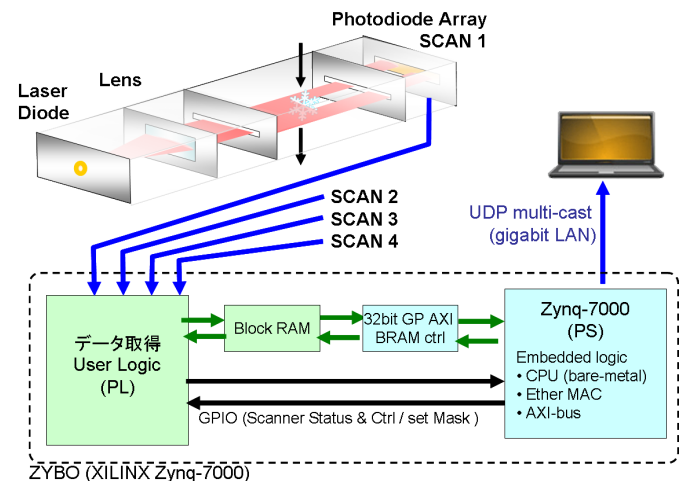


図 3: MSI スキャナのブロック図

3. 降雪観測

MSI 粒子観測例として、2018 年 2 月 5 日（北陸豪雪）の事例を図 4 に示す。立体形状から得た等価球径、粒子最大幅の粒径分布、粒子縦横比、落下速度、および粒子重量と体積の時系列を示す。MSI は単位体積の粒子存在密度に依存するが、1 分間に 5-10 サンプルの立体形状を計測する。立体形状を再現できない粒子数はその 10 倍程度の検出数を有す。平均粒子密度（時間・粒径平均）は MSI 内の電子天秤観測重量と観測体積の除算により得られ、05:50～07:00 の間に高密度粒子、07:30～10:30 に低密度粒子の存在を示唆する。MSI は 05:50～07:00 の間に落下速度 3 m s^{-1} の霰粒子の混在を観測、07:30～11:00 の間、落下速度 1 m s^{-1} の雪片を主に観測した。MSI カメラ画像も霰から雪片への変化を撮影している。また、監視カメラで観た積雪深は低密度粒子の時間帯に大きく増加した。このように MSI は粒子物性と粒径分布を観測できる。

4. レーダシグナル再現

MSI 観測物性を利用したレーダシグナル再現について、2019 年 1 月 11 日の札幌の事例で紹介する。MSI を北海道大学低温科学研究所（ILTS）で、35GHz 偏波雲レーダを ILTS の東 13 km の位置で運用した。この観測では

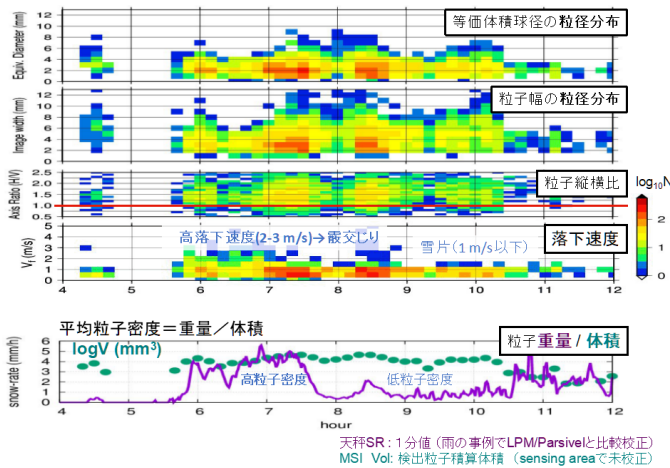


図 4: 2018 年 2 月 5 日の MSI 観測結果 (金沢)。等価体積球径、粒子幅、粒子縦横比、落下速度の出現頻度分布 (color は 10 分間粒子数の対数表示)。MSI 観測粒子体積 (10 分積算値; $\log_{10} V \text{ mm}^3$) と電子天秤観測降雪強度 (1 分間平均値) の時系列

9,24,35 GHz の 3 周波のレーダと同期降雪観測実験を行った。本報告では、35GHz 雲レーダ (波長 8mm) の Z_{dr} 偏波シグナルの再現と観測値の比較を紹介する。 Z_{dr} は水平と垂直偏波の Z 比であり、平均的な粒子縦横比を示唆するシグナルである。 $Z_{dr} = 0\text{dB}$ は球形 ($\sigma_{bh} = \sigma_{bv}$)、 $Z_{dr} > 0$ は横長、 $Z_{dr} < 0$ は縦長を表す。 Z_{dr} 再現のため、粒子毎に水平・垂直偏波の σ_b を求めた。MSI が観測した粒子立体形状を用い、レーダ波長 8mm、粒子密度 7% を仮定、FDTD 電磁界解析法を利用して σ_b を求めた。

図 5 に FDTD 解析ドメインを示す。3 次元空間中心に粒子を配置、散乱計算は 0.2 mm 格子 (粒子形状モデルは 0.1mm 格子)、平面波を入射 (y 軸方向に伝播)、30 層の吸収層を設定した。FDTD は近傍界計算であり、近傍界が定常状態になった後、図中の点線ボックスを境界条件に遠方界に換算、mueller matrix を得る (石元, 2006)。GPU 並列計算機で FDTD コードを作成した。図 6 に散乱計算の結果例 (粒子形状と phase function) を示す。横長で粒子幅 10mm と比較的大きな粒子であるが、乾雪の誘電率 (粒子密度) では、波長 30mm のマイクロ波散乱特性は水平・垂直偏波共にレイリー散乱に近い特徴を示し、 σ_b は両偏波でほぼ同値である。波長 8mm では σ_b が垂直に比べ水平が 10 倍 ($Z_{dr} = 10\text{dB}$) となる特徴的な事例である。波長がより短くなると σ_b は小さくなり、波長 3mm では水平と垂直偏波の σ_b が逆転する。図 7 に、水平・垂直偏波の後方散乱断面積比 (σ_{bh}/σ_{bv}) の出現分布と再現および観測 Z_{dr} の時系列を示す。 Z_{dr} 再現値は両偏波の再現 $Z(\sigma_b$ の 10 分間インターバル積算) の比であり○印で示す。レーダ観測値は ILTS 上空 300m の値を実線で示す。再現 Z_{dr} と観測値は良い一致を示し、

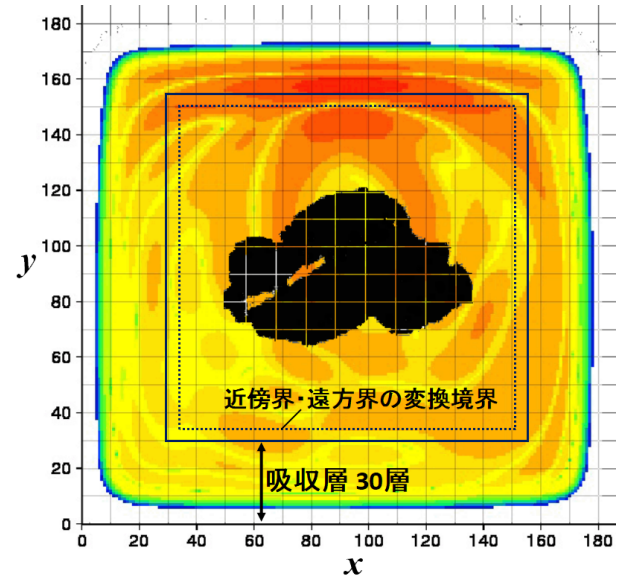


図 5: FDTD 計算空間

散乱計算の妥当性、MSI 立体形状の実証につながる結果である。

6. まとめ

レーダシグナルと個体降水粒子物性のデータベースは高精度レーダ降雪強度推定アルゴリズム開発に欠かせない。このデータベース開発のため、立体形状と落下速度を観測する MSI を開発、冬季の札幌で降水レーダとの同期観測実験を行ってきた。

降雪粒子の落下速度は遅く、地上観測から上空レーダ観測値を検証できるのは静穏な風速場で降る降雪現象を除けば困難である。MSI 観測粒子物性からレーダシグナルを数値再現してデータベースを開発、上空のレーダシグナルに適応する手法が解決策の一つと考える。レーダシグナルの数値再現には粒子散乱の知見深化が必須である。散乱計算には適切な粒子密度分布と形状で構成された粒子立体構造モデルが必要となる。MSI の粒子立体形状はマイクロ波・ミリ波散乱特性の粒子形状感度実験、粒子体積の観測精度向上による粒子密度の高精度化に貢献できる。個々の粒子重量と体積観測は難しく、一定時間の積算値から算出するが、観測値の絶対評価にも課題が残る。現在の観測技術では降雪量の真値を得ることも困難であり、MSI 開発が絶対降雪量観測技術開発につながることを期待する。粒子密度にはサイズ依存性 (小粒子ほど融解・凝結しやすい) も指摘されており、個々の粒子密度の高精度計測技術開発が待望されている。

レーダ工学・電波科学的には、個体降水粒子の散乱特性の知見が不十分であり、地上観測による検証、多周波レーダ観測から観測的に理解を深めると同時に、散乱計算技術の開発と確立を実現、理論的な理解深化が急務であり、MSI 観測粒子立体形状がブレークスルーをもたら

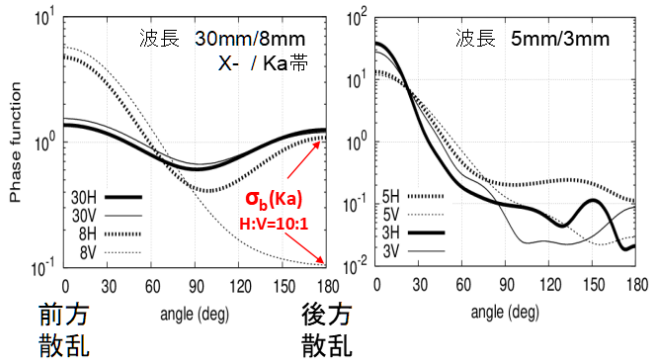
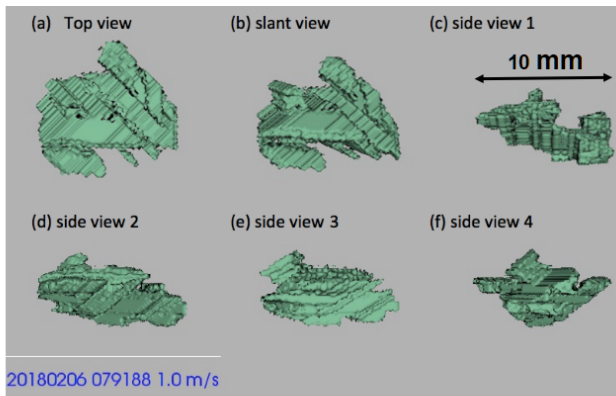


図 6: 上図: 立体形状再現例 (a)top view, (b)slant view, (c)-(f) 各スキャナの画角 side views。FDTD 計算では平面波は (c) の面に入射。下図: 水平・垂直偏波の散乱特性 Phase function (0/180?: 前方/後方散乱; 波長 30, 8, 5, 3 mm)

すこと期待する。

今後は機器開発とデータ取得のステージから、散乱計算技術開発とレーダシグナル評価、観測サイトの降雪強度と粒子密度の絶対量観測評価（サイト校正）へと移行、MSI の科学的実績を積み上げながら利点と弱点を整理、レーダ観測技術の高度化・降雪絶対量観測技術の発展を目指す。

参考文献

Minda et al., 2017, [doi:10.1175/JTECH-D-16-0221.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0221.1).

Schönhuber et al., 2008: The 2D-Video Disdrometer. Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction, S. Michaelides, Ed., Springer, 3731.

石元, 2006, 日本リモートセンシング学会誌, 26, 283-295.

板戸ほか, 2015, 『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡 (第 14 回)』(防災科研)

中井ほか, 2016, 『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡 (第 15 回)』(防災科研)

民田ほか, 2017, 『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡 (第 16 回)』(防災科研)

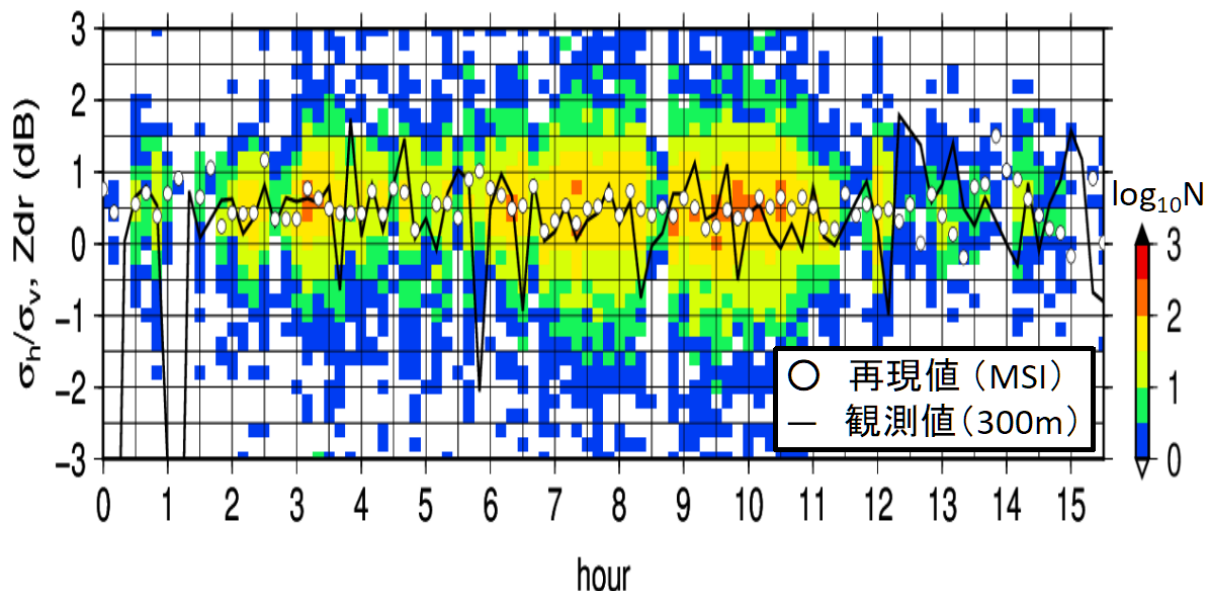


図 7: 2019 年 1 月 11 日のレーダ波長 8 mm の水平・垂直偏波の後方散乱断面積比 σ_{bh}/σ_{bv} の出現頻度分布 (color: 10 分間積算値の対数表示) と再現 $Z_{dr} = \sum \sigma_{bh} / \sum \sigma_{bv}$ (closed circle) の時系列

技術支援におけるドローンの活用

○岡本渉¹⁾ 山崎高幸¹⁾ 松見豊²⁾

¹⁾名古屋大学全学技術センター、²⁾名古屋大学宇宙地球環境研究所

Abstract

In recent years, drones have been used in various fields. The Matsumi Group uses drones for atmospheric observations. We also use drones for photogrammetry in agriculture and historical exploration. It operates not only optical cameras but also infrared cameras and laser lidars. Flight in ATTI mode in non-GPS environment has also begun. A drone training program has also begun to provide guidance for undergraduates.

1.背景と経緯

我々は個人携行可能な小型大気観測装置を開発して、様々な人々に携帯していただいてリアルタイムな大気観測を行っている。これをドローンにも搭載し、北海道から沖縄まで 500m 上空まで計測している。また、森林の 3 次元モデルを作るために自動飛行も行っている。上空のみならず、樹間の非 GPS 環境での ATTI 飛行も始めた。そして、レーザーライダーや赤外線カメラを使ったカルスト台地の縦穴や地下 CAVE のドローン空中撮影を行ってきた。

ドローンは今までの航空機や人工衛星での観測手法の利点に加え、新たな領域での観測手段として有用である。領域によっては、それらに置き換わり低コスト化することが出来る。人類が地球外惑星・衛星に到達したとき、大気観測や地形探査は探査車・ドローンやそれに類するプラットフォームの移動手段を使用すると予測される。ドローンに加え、クローラーや水中ロボットを組み合わせた総合的な環境探査手法の開発も始めている。

ドローンの基本的な制御理論は、2012 年に完成したと言われており、現在はジャイロや近接センサの搭載により安定性が高まっている。自動車で言うところの運転免許は今のところ存在しない。世界シェアの 70% を占める中国メーカー DJI を一般ユーザーは使わざるを得ないのが現状である。しかし、DJI は開発の早さの代償としてトラブルも多く、一般ユーザーの手に余ることもある。今や高校や大学の授業にもドローンが取り上げられている。実技を伴うものなので、安全に十分な配慮が必要である。筆者はドローン検定協会の公認資格を取得し、後進を育てるべく講習会の開催を始めている。また、本田宗一郎氏が言うとおりの「レースは実験場」と言うことがドローンにも当てはまる。究極的には非 GPS 環境でも AI による自動飛行が行われるであろう。しかし、現状はほど遠く、樹間飛行はドローンレースで使われるようなスキルを必要とする。筆者はドローンリーグのレースにも参加し、一定の成績を収めた。



図1 2020年3月に行われる DRAGON_J-ALPS



図2 ドローンリーグ 2019 日本ランク 9 位

2. ドローン教育

3. ドローンによる大気観測

従来の牽引方式の大気計測器は風に弱かった。これに

著しく損なう為、現在はカーボンパイプに替えている。

替え、ドローンの筐体からカーボンロッドを延ばしてセンサを配置する方式を試している。大型の DJI Matrice600 には PM2.5+マルチガスセンサのボックスを取り付け運用する。そのみならず、クローラーにセンサを取り付ける、あるいはフィールドにボックスを置いてくることを検討中である。



図3 秋吉台山焼きでの上方センサドローン

上方センサドローンは、電子機器の搭載によるアンテナの緩衝問題に悩まされている。搭載方法を工夫して対処する。

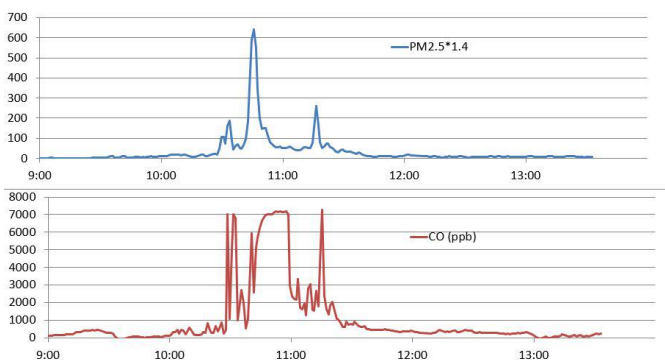


図4 秋吉台山焼き PM2.5+CO

秋吉台山焼きに持ち込んだ時点では、上方センサは塩ビパイプに取り付けていた。しかし、機体の運動性を



図5 塩ビからカーボンに材質変更した

今年の秋吉台山焼きでは機体トラブルにより、写真測量は MavicAir でのみ行った。

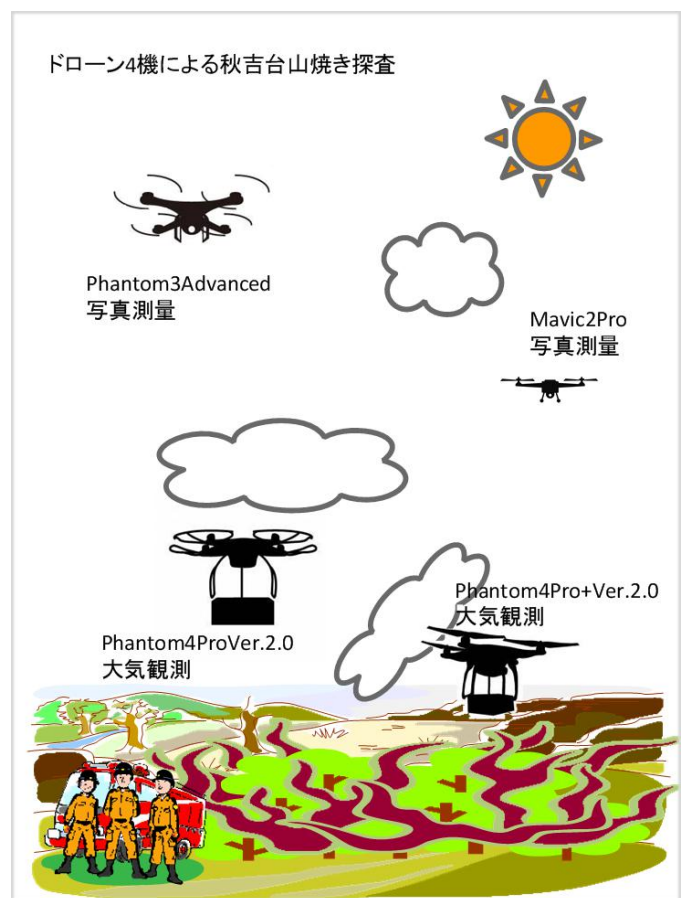


図6 秋吉台山焼きでのドローン配置

PM2.5 のみならず、電気化学センサー[3]による大気観

測も行っている。図7は、これからの標準となるボックスである。

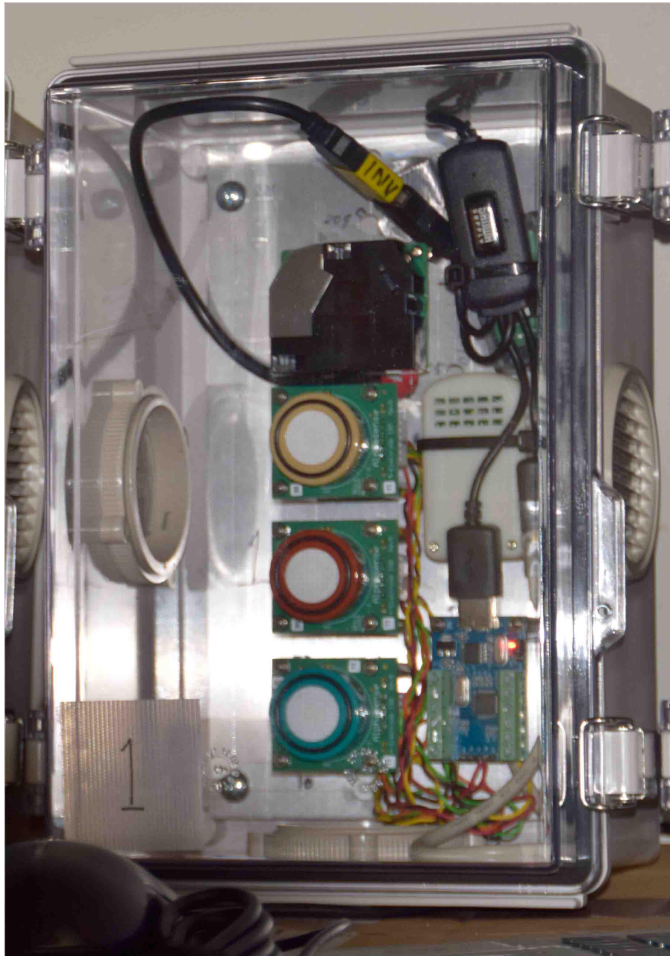


図7 PM2.5+マルチガスセンサのボックス

このボックスを大学や研究機関の固定局のみならず、太陽電池などと組み合わせてフィールドにも展開する予定である。



図8 ドローンにクローラーを搭載

単純にボックスを置くだけではなく、クローラーにセンサを組み込み、フィールドを移動しながら探査することも考えている。対地高度500mの大気観測を行っているが、今までにない知見を得られている。さらなる高高度での測定も始める予定である。

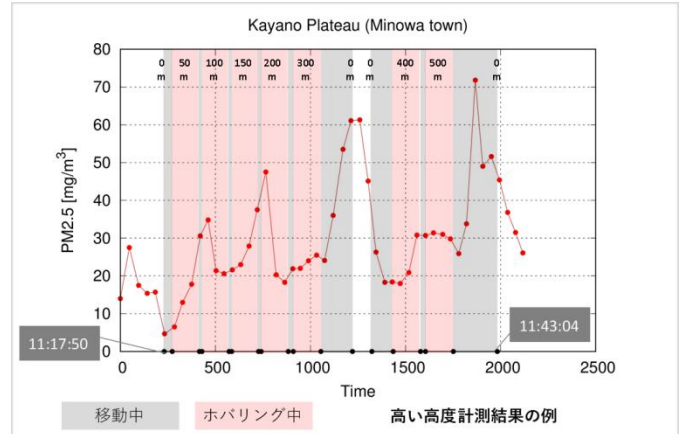


図9 萱野高原における対地高度500mのPM2.5測定

4 ドローンによる地形探査

ドローンは、写真測量の分野でも革命を起こしている。従来の SfM-MVS 測量を引き続き行い、現在は Ubuntu の3次元モデル生成用 PC を整備した。



図10 ドローンに赤外線カメラを搭載

可視光のみならず、赤外線カメラの運用も開始している。図11は、九州平尾台の地下 CAVE における赤外線画像である。非 GPS 環境での安定性が課題である。

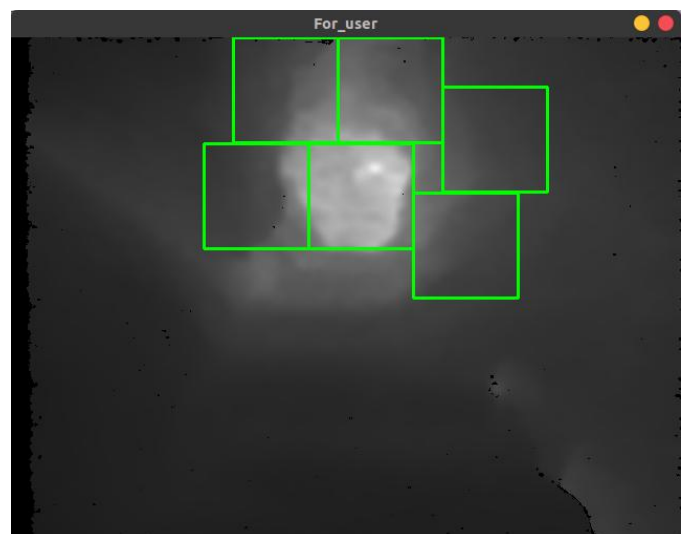


図11 地下 CAVE での赤外線画像
大型ドローン DJI Matrice600 によるレーザースキャナの運用は、現在3型まで完成している。山口県秋吉台

のカルスト地形で縦穴のスキャンに世界で初めて成功している。手持ちスタビライザーを逆にして装着していたが、これからは新しいジンバルで4型を運用する予定である。



図12 Matrice600 とレーザースキャナ3型

地形探査に置いて、現在GPS配置を確定するために必要不可欠なものとなっている。運用中のドローンは、高度の測定に気圧センサを用いている。これは非常に誤差が大きく、機体によって10m近くのずれを生じる。



図13 低空研でのRTKキット組み上げ

近年、準天頂衛星を利用したRTK技術が注目されている。大学。研究機関のドローンユーザーが集まる低空研に2019年夏参加し、安価なRTKキットの製作を行った。実際にSfM/MVS撮影に応用するにはいくつかの課題をクリアしなければならないが、測量精度を高めるために活用していく予定である。

5. 展望

今年度は東山キャンパスに於いて、図書館横運動場、豊田講堂前、宇宙地球環境研究所前自転車置き場横、野球場でドローンのテストを行っていた。しかし、1月に労災事故を起こし、運動場以外でのテストが禁止されることになった。他の研究所ドローンユーザーとも連携を始めていた矢先なので、ドローンの運用について最初から考え直さなければならなくなった。教育

2019年度 ISEE技術部報告会

用にはシミュレータの活用と共に、国土交通省の規制にかからない200g未満の機体を使用する予定である。



図14 講習用ミニドローン DJI Tello

そして、大型ドローンや新しい不安定な機器のテストには農学部設楽フィールドを利用する。超高高度や非GPSでのATTIモードでの飛行が出来るよう試作ドローンの製作も進めていく。

参考文献

・ UAVによる縦穴の探索・位置特定・形状測定の手法の検討

眞部広紀, 稲川直裕, 久間英樹, 岡本渉, 前田貴信, 坂田玲央

佐世保工業高等専門学校研究報告 (56) 2020年1月

・ ドローンによる縦穴の3Dレーザースキャナ測定とSfM/MVS写真測量～恵藤穴・こむそう穴・はる穴～

眞部広紀, 久間英樹, 梅木太嗣, 岡本渉, 村上崇史, 堤紀文, 堀江潔, 大浦龍二

佐世保工業高等専門学校研究報告 (56) 2020年1月

・ 月と火星の縦孔・地下空洞探査を目指すための地球における洞窟計測探査シミュレーション

眞部広紀, 久間英樹, 稲川直裕, 前田貴信, 堀江潔, 大浦龍二, 岡本渉, 春山純一

佐世保工業高等専門学校研究報告 (56) 2020年1月

・ 火星UAVを想定した縦孔探査と大気観測のミッション構想

岡本 渉, 眞部 広紀, 松見 豊, 中西 幸弘, 山崎 高幸, 久間 英樹, 村上 崇史, 前田 貴信, 春山 純一, 藤田 昂志

第63回宇宙科学技術連合講演会 OS43 火星の飛行探査
2019年11月8日

5 波長分光フォトメーターの開発 ―視野確認光学系について―

川端哲也

計測制御技術支援室 計測機器技術グループ

1 はじめに

オーロラ観測用に5波長分光フォトメーターを開発したので報告する[1]。フォトメーターとは、光の強さを計測する装置で、オーロラの発光輝線にあわせた狭帯域のバンドパスフィルターと組み合わせて、特定の波長の光量を高速で記録する装置である。今回は、脈動オーロラ研究プロジェクト[2]の観測装置の一つとして整備された。開発に際して、(1) 5波長(427.8nm, 557.7nm, 630nm, 777.4nm, 844.6nm)を同時に観測できること、(2) 観測している正確な方向が分かること、(3) 変化の早い現象(100Hz)を捉えることができること、などの要件を満たすように設計した。この装置は2017年1月に北緯69.6度のオーロラ帯に位置するトロムソ(ノルウェー)に設置され、現在まで毎年冬期の観測が継続されている。

ここでは、特に(2)の「視野確認光学系」について詳しく説明する。なお、装置の概要については、「第15回 名古屋大学 技術研修会 集録」[3]に詳しく解説しているので、そちらを参照されたい。

2 フォトメーターの装置としての特徴

全天カメラのようなCCDを用いた撮像装置は、バンドパスフィルターを通して、ある特定の波長の光に対してオーロラや大気光の全天にわたる分布や形状を調べることができる。ただし、異なる波長の光で観測する際には、フィルターを交換して再び撮像する必要があるため、同時に多波長の画像を取得することが一般的には難しい。これに対してフォトメーターは、空の特定の範囲から来る光をダイクロイックミラーで波長ごとに分岐したうえで、バンドパスフィルターで特定の波長の光を光電子増倍管(PMT)で計測する。多波長の光を同時に記録することができるため、ある瞬間のオーロラの発光輝線強度の比較や発光のタイミングなどを計測するには適している。

3 従来のフォトメーター

フォトメーターは、光量のみを計測し、撮像を行わないため光学系としては、比較的シンプルで、従来からオーロラの観測装置として使用されてきた[4]。これまで観測方向の位置決めは、装置を水準器により水平に調整した上で、方位角は方位磁石、高度方向は採光レンズの角度メモリを使って行ってきた。しかし、他の観測装置とデータを精密に比較するためには、さらに正確な位置決めが必要となるため、新たに高精度で位置決めができる仕組みを取り入れることになった。

4 視野確認光学系

図 1 に開発した 5 波長分光フォトメーターの 3D 図面を示す。構造が分かりやすいようにカバーを外した状態の図面となっている。基本的な構造は従来のフォトメーターと同じで、方位角は装置全体を移動させて調整し、高度角は採光レンズと本体の接続部にある角度メモリがついた回転機構で調整する（図 2）。

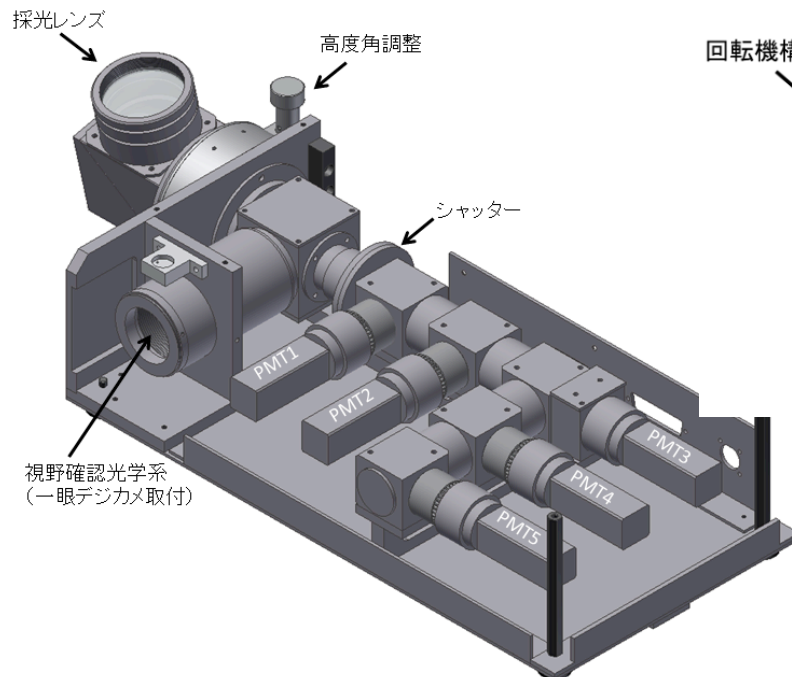


図 1. 5 波長分光フォトメーターの 3D 図面

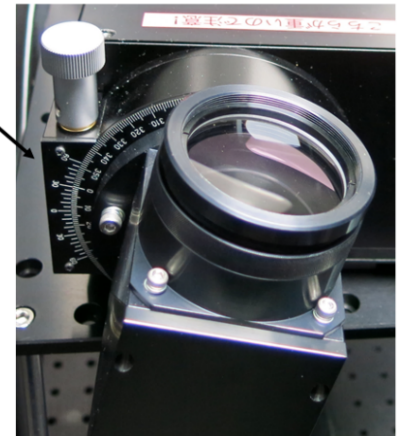


図 2. 採光レンズの高度角調整機構

次にフォトメーターの 2D 図面に光線を書き入れたものを図 3 に示す。採光レンズで集光された光は、ピンホールミラーを通り、ダイクロイックミラーにより 5 分岐された後、バンドパスフィルターを通して PMT で検出される。光の分岐と検出については、「第 15 回 名古屋大学 技術研修会 集録」[3]に詳しく記述しているので、そちらを参照されたい。

ここでは、採光レンズの後段にあるピンホールミラーと視野確認光学系について詳しく説明する。ピンホールミラーは、図 4 のような構造で、無電解ニッケルメッキをほどこした 45° 面を鏡面に研磨している。ピンホールミラーの中心には、光軸と垂直に直径 2mm のピンホールが開けられたコーン状の部品が裏面から取り付けられており、このピンホールを通る光のみ PMT で検出される。このピンホール面が採光レンズと第 2 レンズで作る焦点面となっている。

ピンホールミラーの斜面で反射された光は、 90° 曲げられて視野確認光学系におくられる。まず、2 枚の平凸レンズからなるフィールドレンズを通った後、焦点距離 100mm のコリメートレンズで平行光に変換される。フィールドレンズは、視野のケラレを軽減するためのレンズで、コリメートレンズは光を平行光へ変換し、デジタルカメラの入射レンズ付近に瞳像をつくる。デ

デジタルカメラは Nikon の一眼レフカメラに焦点距離 50mm のカメラレンズを取り付けている。
これによりピンホールミラーにできる焦点像を $1/2$ に縮小して撮影することができる。

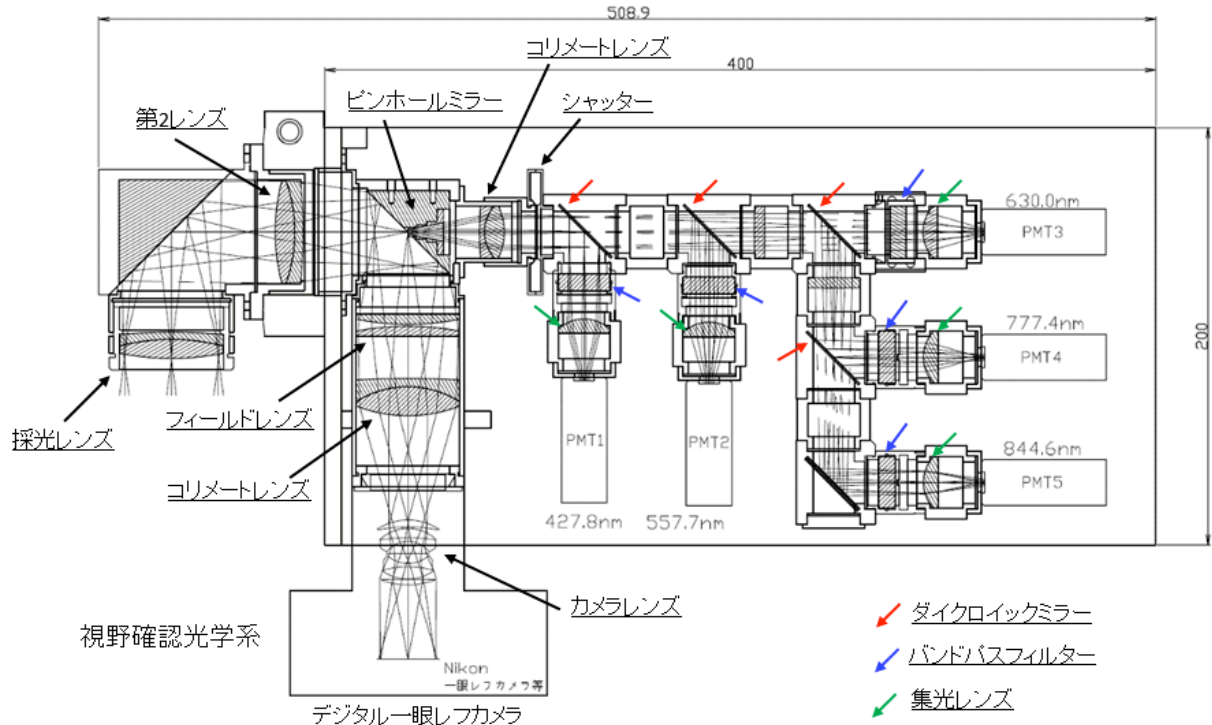


図 3.5 波長分光フォトメーターの図面

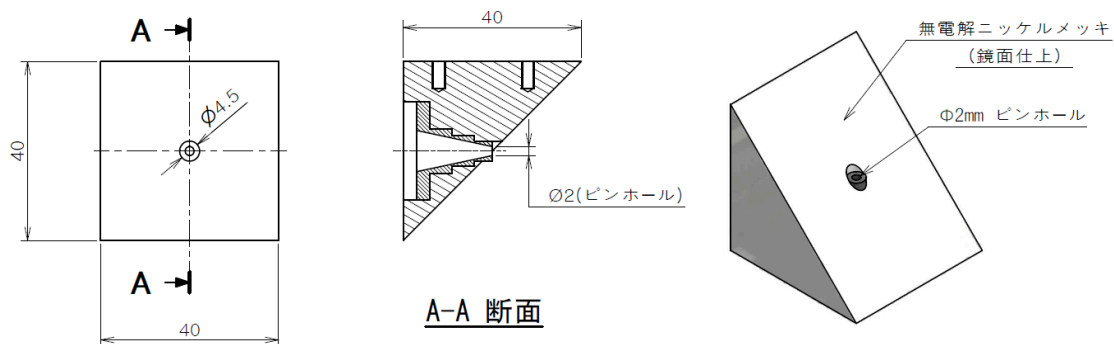


図 4. ピンホールミラー

図 5 左に視野確認光学系で撮影された星野画像を示す。この画像は、撮影されたフルサイズの画像の中心付近を抜き出したもので、およそ 8×6 度角の範囲が写っている。中心付近に黒く陰に見える部分がピンホール構造で、図 4 の左図に示した $\Phi 4.5$ mm の円形部分に相当し、この中心が観測視野の中心となる。ここで、同時刻の同じ天域の星図を図 5 右に示す。星図の中心に描かれた円の直径が 2 度角である。

撮影された画像に写る星の並び（図 5 左）と目的の方向の星図（図 5 右）を見比べながら、フォトメーターの方位と採光レンズの角度を調整して、画像が星図に合うように調整することにより、目的の方向に観測視野を向けることができる。

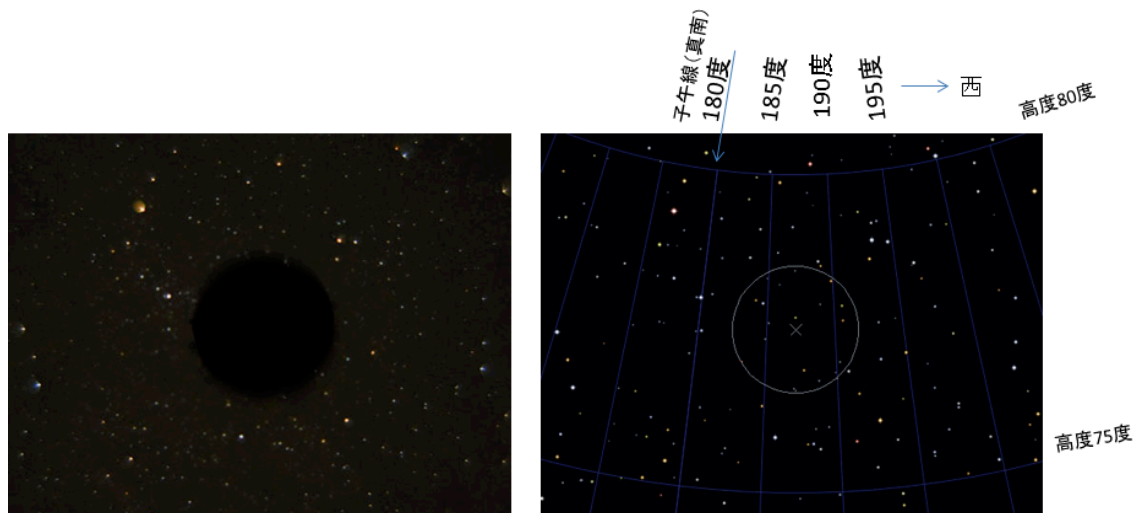


図 5. 撮影された画像（左）と同じ範囲の星図（右）

5 まとめと今後の課題

観測している方向の星野画像と星図を比較することにより、高い精度で目的の方向にフォトメーターを向けることができるようになった。ただし、星図と撮影される画像の星の並びを比較しながら調整するには、多少の慣れが必要であり、この点をより簡便にするには、フォトメーターの方向を定量的に動かせる電動ステージ等が必要であろう。今後も装置のさらなる改善に努めていきたい。

参考文献

- [1] Nozawa, S., T. Kawabata, K. Hosokawa, Y. Ogawa, T. T. Tsuda, A. Mizuno, R. Fujii, and C. M. Hall, A new five-wavelength photometer operated in Tromso (69.6oN, 19.2oE), Earth Planets Space, 70, 193, doi:10.1186/s40623-018-0962-x, 2018
- [2] 脈動オーロラ研究プロジェクト <http://www.psa-research.org/>
- [3] 第 15 回 名古屋大学 技術研修会 集録, P6, 2020.3.13
- [4] Adachi, K., S. Nozawa, Y. Ogawa, A. Brekke, C. M. Hall and R. Fujii, Evaluation of a method to derive ionospheric conductivities using two auroral emissions (428 and 630 nm) measured with a photometer at Tromso (69.6°N), Earth Planets Space, 69, 90, doi:10.1186/s40623-017-0677-4, 2017

高真空用 2 軸ステージの製作

藤森 隆彰 (ISEE 技術部)

概要

高真空用の 2 軸ステージを製作した。1 軸のステージを 4 台製作し、組み合わせて 2 軸ステージとして使用している。今回真空チャンバー内 (10^{-6} Pa 台) で正常に動作していることを確認した。

高真空用ステージ基本構造

一般的な可動ステージと高真空用のステージどちらも、構造や必要な部品は同じである。図 1 は、ステージの基本構造を示している。モーターの回転運動を、ボールねじ等を使用して直線運動に変更する。直線運動を正確に支えるためにリニアガイドを使用する。モーターとボールねじは、カップリングで連結し、ねじは軸受けで支える。部品点数が 5 点そろえば、ステージは完成する。上部のテーブル面を動かした時に停止するためのリミットスイッチ、また原点センサとしてフォトカプラを取り付ける場合がある。

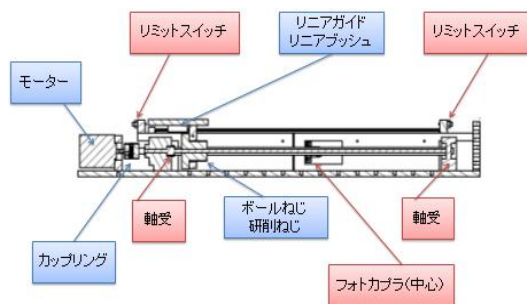


図 1. 必要部品

部品の選定

高真空用のステージは、真空チャンバー内を汚染しないようクリーンな環境で使用できる部品を選定する必要がある。アウトガス量を最小限に抑えられる素材等に注目して、選定をしなければならない。簡単に紹介すると素材は金属、表面はなるべく平坦性があるほうが良い。アウトガスの主成分は水で、アウトガス放出速度¹⁾は、ステンレスで $9 \times 10^{-7} \text{ Pam}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ (20 時間後)、アルミニウムで $7 \times 10^{-7} \text{ Pam}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ (20 時間後) である。かつこの中の時間は、真空引き開始後の時間である。樹脂素材では、PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)、PEP(フッ素樹脂)、ポリイミド(カプトン)、FEP(ポリテトラフルオロエチレン+ヘキサフルオロプロピレンのフッ素樹脂)、PEEK(ポリエーテルエーテルケトン)、一般使用されている PE(ポリエチレン)などがある。この中で真空部品などによく使用されている PEEK は、アウトガス測定結果が知られているなどの信頼性がある。また PTFE は、真空部品のリード線によく使用されている。FEP も真空部品によく使用されている。アウトガス放出速度を確認すると、PTFE で $7 \times 10^{-8} \text{ Pam}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ (5 時間後)、PE で $7 \times 10^{-5} \text{ Pam}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ (10 時間後) である。PE などの一般使用されている樹脂は、真空引きを続けてもアウトガス量が減ることはない。またアウトガス量は表面積に比例することから、樹

脂部品しかなければなるべく小さな部品で、表面がなるべく平坦である必要がある。

上記で紹介した基本構造に沿って、選定した部品を紹介する。

真空モーターは数社から販売されていたが、今回は真空ステージの既成品でも採用している真空5相モーター（オリエンタルモーター製 PK545V-NA- 保証真空度： 10^{-4} Pa）に決定した。モーターコントローラドライバは、モーター専用のものではなく研究室に以前からあったもの(Melec 製 CD-773)を使用した。

ボールねじ・リニアガイドについては、ステンレス製の既製品のものを選定した。通常品は樹脂を使用していてステンレスに変更できるものは、変更して納品してもらった。1台目・2台目は、NSK 製、3台目・4台目は THK 製にした。

カップリングは、金属製のスリットタイプを選定した。

軸受は、サポートユニット(NSK 製)を選定した1台目・2台目の場合、サポートユニットに付属しているアンギュラベアリング(通常品)を使用した。支持側の軸受は、SUS 製でシールド型のものを用意し、カバーを外して開放型でを使用した。3台目・4台目は、サポートユニットを使用せず、高価なアンギュラベアリングではなく安価な深溝玉軸受を使用した。駆動側には2個、支持側には1個の軸受でボールねじをサポートした。

可動部の真空対応には、低蒸気圧の基油を使用した真空グリースの使用、主に宇宙用として MoS₂・WS₂ 等の固体潤滑剤の使用、金・銀・鉛の軟質金属皮膜による固体潤滑剤の使用（NSK web サイト：2014 年当時）などがある。固体潤滑剤は、物理的総可動距離が短いこと、皮膜のはがれや再付着が繰り返され瞬時的なトルク上昇がある場合もあるそうだ。モーターのトルクにあまり余裕がないため、今回可動部分には真空グリースの使用を採用することにした。フォンブリンググリース、デムナムグリース、クライトックスグリースなどを候補に探した。この中で真空モーターにも採用されているフォンブリンググリースを使用することにした。その中でも基油は、蒸気圧が一番低いもの(HVAC140/13)にした（20 度： 6.4×10^{-11} Pa, 100 度： 5.6×10^{-6} Pa）。増ちょう剤には PTFE で一番柔らかいものを選定した(Y-VAC1)。モーターのトルクに限界があるため、なるべくグリースによる抵抗を加えないようにするためである。

リミットスイッチは、既製のステージでも採用されているメトロール社製の真空仕様のリミットスイッチ(GN-PT5M3B)がある。通常仕様のものは、一部樹脂(ポリアセタール)を使用しているが、使用している部品がとても小さいことから使用可能だと判断した。程度の問題ではあるが、真空中はアークを引きやすく接点の消耗が加速されるそうので 2014 年当時はオムロン社では真空中に使用できるものはないとの返答をもらった。通常品の保証している回数使用することができない場合があると考えられる。ただ使用頻度としては、非常に限定的なため現物を用意して、真空チャンバー内で実際に使用し、真空度悪化の有無や正常にスイッチとして機能するかを確認した。その結果、リミットスイッチは、大部分がステンレス仕様(PT5M3WB- 動作点の繰返し精度： $3 \mu\text{m}$)のものに決定した。

原点スイッチに使用するフォトカプラは、PEEK 製のものが既製品であるが非常に高価であるため、通常フォトカプラで使用するもの(オムロン製)を候補にした。ケースはPBT(ポリブチレンテレフタレート)、カバー投・受光部はPC(ポリカーボネート)で、大きさもある程度あるが、その他の部品に比べたら小さいと考え、まずはリミットスイッチと同様に真空チャンバー内に入れて実物で確認した。真空度の悪化などもなく、使用可能(オムロン製 EE-SX676)だと判断した。細かいことだが、原点センサには入光時 OFF で原点に来た時に金属板が遮った時センサは ON になり、通常は短い時間のみ表示灯を光らせるようにした。空気中での動作確認時に原点検出を行った場合、原点の場所で停止し、表示灯が点灯するので確認しやすい。

洗浄・組立・動作確認

真空度の良し悪しを決定するのは、洗浄である。この工程を丁寧にやることで製品の信頼度が格段に良くなる。基本的に洗浄には、アセトンを使用して超音波洗浄を行う(図 2. 左側)。同じ部品を 3 回(30 分)、洗浄液も交換しながら洗浄

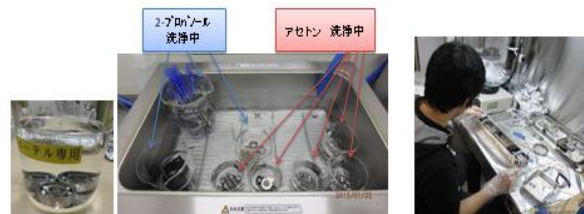


図 2. 洗浄・組立

作業を行う。樹脂部品などについては、2-プロパノールで洗浄を行う。試しにアセトンにつけて洗浄すると変色等をするものもあった。軸受については通常品を使用するため、元々グリースがついている。アセトンや2-プロパノール等では除去しにくい。灯油系のものが必要になり、なるべく低分子で取扱いがしやすい石油エーテルの使用を採用した。ビーカー内に入れて、軽くゆするだけでボロボロときれいに取れていく様子を確認することができた。その後、アセトンで通常の洗浄を繰り返した。

軸受とボールねじやリニアガイドは、フッ素グリースを塗布しては、前後や回転させて薄い油膜層を形成させた。ボールねじやリニアガイドについて、1 台目・2 台目の NSK 製では、グリース塗布された状態での納品にしたため、逆に余ったグリースを除去する作業が大変だった。3 台目・4 台目(リニアガイドのみ)の THK 製は、脱脂・洗浄された状態で納品にしたので、アセトンで洗浄後にフッ素グリースを塗布した。

組立作業(図 2. 右側)は、基本的に上から風が流れるクリーンブース内に部品を置いて、手袋をした状態で組み立てを行った。リニアガイドを固定するためのねじが M2 と小さいことや、軸部分を回しながら徐々にねじを締めていく作業が大変である。焦ってねじを締めてしまうと、リニアガイドとボールねじの平行度がずれてしまい、一部スムーズに動かなくなってしまう。そのような箇所では片当たりなどが起こり、ステッピングモーターの脱調の原因や、リニアガイドなどの寿命が極端に短くなる場合もある。

動作確認(図 3 a)は、既存のコントローラに、制御用の PC(USB)と、製作したステージ(Dsub 15pin ケーブル :モーター駆動用 5 本、リミットスイッチ用 2 本、原点センサ用 3 本)を接続して行った。CCW(モーター側)、CW(逆側)に複数回動かし、最終調整を行った。

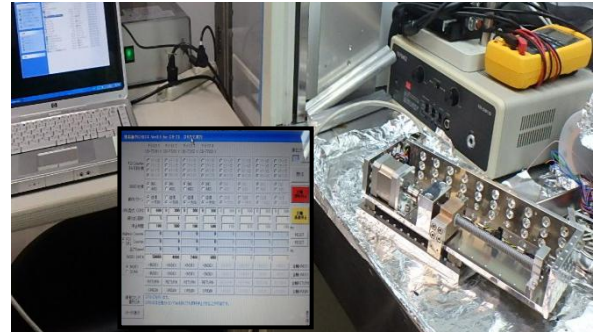


図 3 a. 動作確認

また原点検出を行い、目的のテーブル面がステージ全体の中心位置に停止するように、フォトセンサの位置を調整した。原点検出方法自体は、コントローラ側(PC ソフト)で数種類の中から設定できる。毎度同じ方向から検出(フォトセンサに板通過)を行うため、遮光板の幅(軸方向)

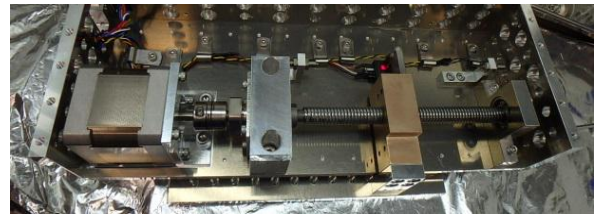


図 3 b. 原点検出

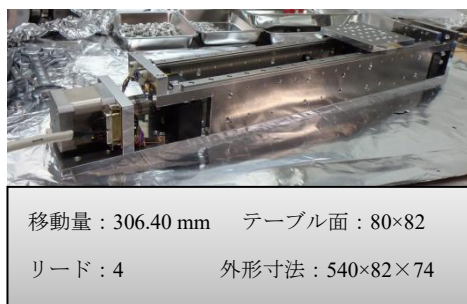
は少し幅があってもよい。板が光を遮った後再度光検出した場所まで戻り、もう一度ゆっくり進む。板の幅の部分は、特にゆっくりモーターが動くため検出までに時間がかかる場合もある。また特別な理由がなければ、リミットスイッチから近い場所に原点を設定した方が、原点検出にかかる時間を短縮することができる。

テーブル面を一方のリミットスイッチから、もう片方のリミットスイッチまで往復運動させた時(5~10 回)、1~2 パルス程度のずれを生じた。5 相ステッピングモーターの基本ステップ角は、 $0.72^\circ / \text{step}$ (1 回転 : 500 step)、ボールねじのリード(1 回転で進む距離)は、2 mm の場合、1 パルスのずれで $4 \mu\text{m}$ 進む。リミットスイッチの繰り返し精度自体は、 $3 \mu\text{m}$ である。今回製作したステージのリードは、2~5 mm なので、ステージの繰り返し精度は $20 \mu\text{m}$ 以内であることが分かった。

製作ステージと特徴

製作したステージを図 4 に示す。2014 年に 2 台のステージを、2016 年に 1 台、2018 年に 1 台製作した。それぞれ製作時のコンセプトがある。最初に製作したステージ(1 号機)は、テーブル面の移動量が長いステージになるよう設計した。2 番目のステージ(2 号機)は、テーブル面の大きさがなるべく大きなステージ(200×100)である。制約としては、高さを 1 号機と揃えて 74 mm にした。また 2 号機では、モーター側にも板を用意して、垂直に立てて使用できるように改良した。3 番目に製作したステージでは、ステージの高さをなるべく低くできるように設計した。1, 2 号機で使ったボールねじを支えるサポートユニットの使用をやめ、サポートユニット自体も設計した。モーターの架台部分を沈めたり、リニアガイド自体の高さが低いものに変更したりすることで、重心を下げて、高さを 60 mm にすることができた。また 3 号機の写真の様に横に倒しても

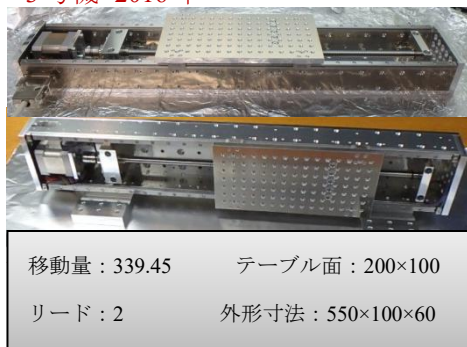
1 号機- 2014 年



2 号機- 2014 年



3 号機- 2016 年



4 号機- 2018 年

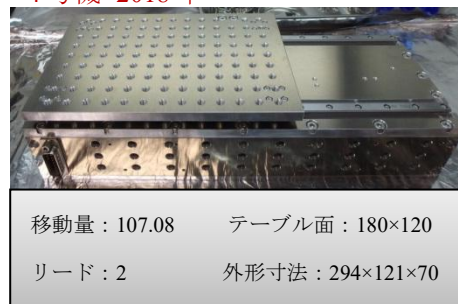


図 4. 製作ステージと特徴

使用できるようにし、テーブル面に用意した格子状のねじ穴の位置が切りのいい高さになるように設計した。今までのステージでは、テーブル面側を確認するとテーブルから外れた部分は、モーターなど他の部分が見えている。4 番目のステージでは、電場の影響がなるべくないように、ステージの上面(テーブル面側)部分がアルミ板のみになるように設計した。また Z 軸でも積極的に使用可能なように、ボールねじから研削ねじ(ねじ山形状 : 台形)仕様に変更した。ボールねじの場合、回転をスムーズに直線運動に変換することができる。その反面直線運動も回転に容易に変わってしまう。Z 軸に使用した場合は、モーターの励磁が弱い時や励磁が切れた時には回転してしまい、ゆっくり下に下がってしまうことがある。研削ねじの場合は回転運動を直線運動に変換する時に摩擦が発生しやすく、ねじを回すにはボールねじよりモーターのトルクが必要になる。だが良い面もあり、直線運動が容易に回転運動に変換することではなくテーブル面を機械的に停止位置で固定することができる。モーターのトルクには限界があるので、研削ねじのはめあい精度(5 μm)が良いものを特注した。通常研削ねじのナットは、ねじより柔らかい真鍮を使用するが、摩擦で高温になって真空チャンバーを汚す可能性があるため、入手性の良い無酸素銅を今回選定した。

ステージの使用例

図 5 a は、ジオスペース探査衛星(ERG)の検証実験の時に使用した。2 号機の上に 1 号機を設置し、XZ 平面上を重水素ランプが動くようにした。紫外光を検出器に照射した状態でふりまいを検査し、疑似太陽光での耐宇宙環境性能を評価した。また 1, 2 号機は JAXA での実験でも使用されている。図 5 b は、3 号機を上から逆さ吊りにし、その下に 4 号機を取り付け、ビームパターンの計測に使用した。新検出器の測定時には、ビームの外側まで移動できる位置に設置している。

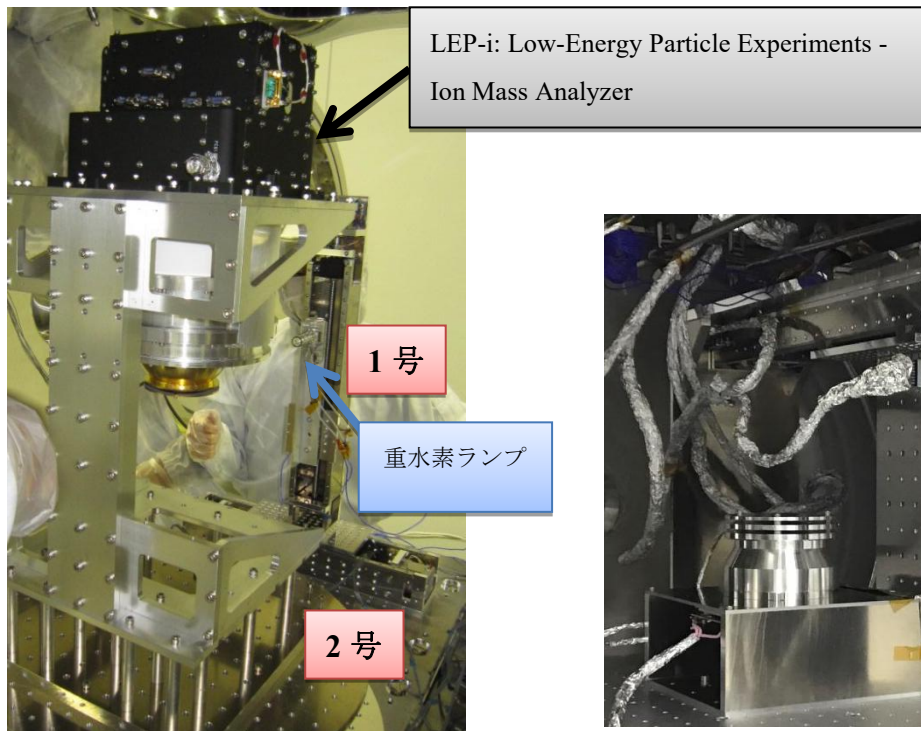


図 5 a. 活用事例①

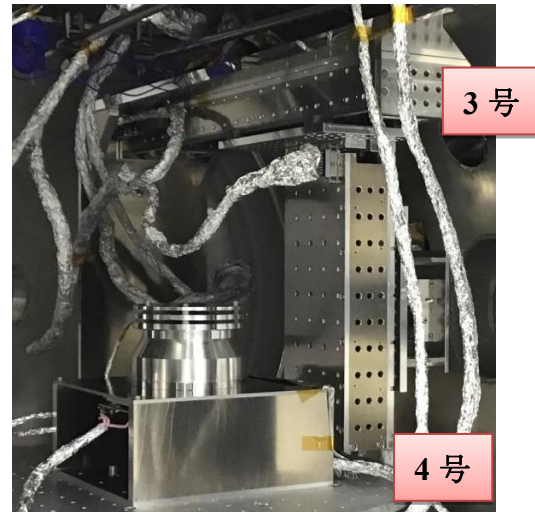


図 5 b. 活用事例②

まとめと今後

高真空用のステージを4個製作した。1号機の特徴は、テーブル面の移動量が300 mm以上である。2号機の特徴は、テーブル面の大きさを大きくし、大きなものを搭載できるようにした。3号機の特徴は、ステージ寸法の高さを低くした。4号機の特徴は、Z軸仕様で研削ねじを使用し、ステージ上面はアルミ板のみが見えるように設計した。

現在回転ステージの製作について検討している。平面上を回転するだけであれば、直動で回転テーブルを回すことができる。エンコーダ内蔵タイプもあるので、右・左回転と指定した角度分精度よく回すことも可能である。ただ回転テーブルを傾けて使用する場合は、トルクが必要になり市販品と同様にウォームギア方式にする必要がある。その場合バックラッシュの問題から、右回転か左回転どちらか一方しか正確に回すことができない。精度を追求する場合は、ギア同士の当て方を右・左回転で微調整する機構を別途設けるか、エンコーダをステージ自体に取りつける必要がある。今後高真空用の回転ステージを製作した際は、改めて報告したい。

参考文献

- 1) Engineering technical memorandum, A compilation of outgassing data on vacuum materials, Princeton University Plasma physics Laboratory, 15 Feb 1982.

宇宙科学研究所 先端工作技術グループ 製作業務の紹介

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 加賀亨

1 はじめに

宇宙科学研究所（以下、宇宙研）先端工作技術グループは、2016年に発足した組織である。当グループが担う役割りはJAXA全体から生み出される挑戦的な宇宙科学ミッションの検討段階において技術的な課題を早期に解決するための1つのツールである。検討段階における研究や実験をものづくりという立場から支援し、そのリードタイムを短縮することはプロジェクトなどが抱える問題を解決する近道となる。筆者は当グループに、昨年の2019年4月に着任した。本報告では、これまでに関わった主な製作事例を紹介する。

2 製作業務の紹介

2.1 薄板の穴加工

図1の製作物は衛星探査機に取り付いているイオンエンジンの一部を模擬した部品である。エンジンの機能強化を目的に現在も研究が進められおり、そのための供試体である。純チタンの薄板に対して約 $\Phi 3\text{mm}$ の穴が500個程度、正確な位置に並んでいる形状を持つ。穴の大きさやその位置などをパラメータとして実験を行いたいというのが研究者の要望であるため、少量多品種の試作を前提としている。製作のポイントは平面度を0.1mm以内に求めている

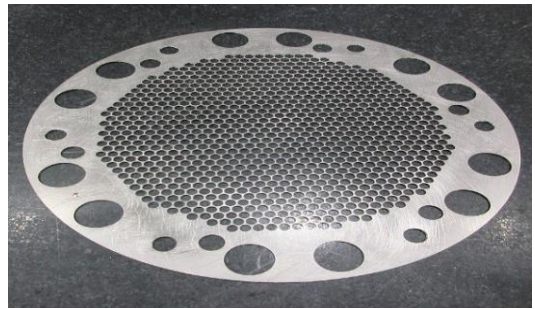


図1 純チタンの薄板加工品

ことである。ミーリングマシンを用いた切削加工では多数の穴を密にして加工すると切削熱の影響により歪みが生じ平面を变形させてしまう。このことが製作側にとって技術的に悩ましいところである。図1は、以前（2018年）に製作したもので厚さ0.8mmであった。数回のテスト加工によって工具と切削条件を導き出しマシニングセンタを用いた切削加工で完成させたものである。しかし、今回の依頼は板厚0.3mmでの製作要求である。研究者から依頼された時には既に外部業者のエッチング加工によって一枚は完成していた。この加工は薬品で不要な部分を溶かし必要な形状を得る技術であるため加工熱による歪みの心配はない。しかし、異なった形状をたくさん製作する場合、コストの面で高くなってしまいうことがある。将来的な研究コストの問題を解消しつつ進めたいという目的も含め、内作で製作を進めたいというのが研究者の望むところでもある。製作に取り組める期間は他の製作依頼の兼ね合いもあり2週間とした。

テスト加工では厚さ $\Phi 0.8\text{mm}$ の加工条件を参考に進めたが、もみつけ工程のセンタードリル加工をただけでも平面度が悪くなってしまった。工具の再選定と治具の変更を行い、切削条件を調整し何度か試みたが2週間のテスト加工の結果とし

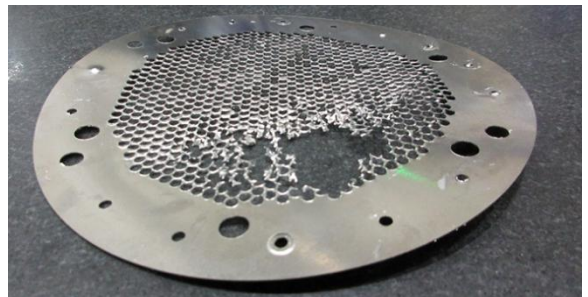


図2 0.3mmの加工結果

ては、適切な加工方法を確立することができず現在は保留状態にある。図2に加工後の様子を示す。

2.2 ニオブ合金の加工

図3に製造図面のイメージを示す。この部品は微小重力下における結晶育成の実験に使用される部品である。高温化での実験に耐えるため、高温強度に優れるニオブ合金が加工母材である。通常このようなシリンダー形状の加工は、例えばステンレス鋼の場合190mm程度の深穴加工に注意する程度であるが、筆者は母材のニオブ合金の加工の経験がなく難易度の見当もつかない状態から始まった。

依頼を受ける前にニオブ合金へのテスト加工を行った。加工をした感触はステンレス鋼と比べると柔らかい感じであるが、切り屑が流れるようには排出せず、工具刃先が欠け易く加工面がむしれるという印象を得た。加工母材の金属が柔らかいことは切削加工では工具寿命を考えた時に耐摩耗性の観点から有利に働くことが多いので刃先角度を鋭利にすることで解決できると思い依頼を引き受けた。製作数量は10本のためNC旋盤を用いて加工を進めることにしたが、宇宙研工作室にあるNC旋盤は200mm以上の工具長さを複数本取り付けることができないため、深穴の荒加工工程は宇宙研工作室と技術連携協定を結んでいる岩手大学高度試作加工センターのNC旋盤を借りて行った。具体的な加工状況の説明は省略するが全体的に共通することは、工具刃先が欠けやすく短時間での工具交換を繰り返した。特に深穴の荒加工は切り屑の排出が不安定なため自動運転中でも無人運転とすることはできなかった。しかし、加工が進むにつれ工具の選定に見当が着くようになり、むしれの少ない加工面（図4）に仕上げることができた。

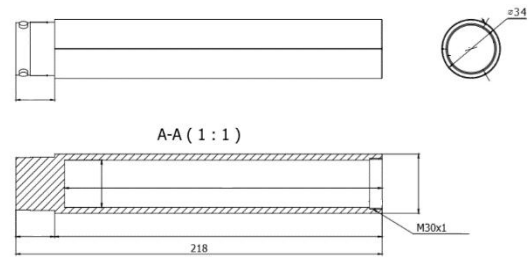


図3 ニオブ合金製カートリッジ

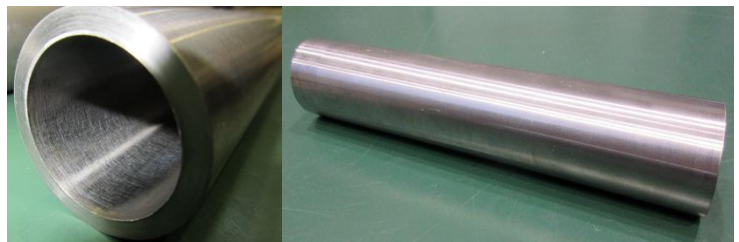


図4 ニオブ合金の加工面

3 おわりに

一件目の製作事例はエッチング加工で製作が完了している現実があるので研究資金の問題とも捉えることができる。一方で切削加工を専門にしている自分としては自身の専門範囲で製作を成し遂げたいとも考える。二件目の事例は当初、外注での製作を検討したが製作費が見合わないことや製作自体を断られたため内作に踏み切った経緯がある。製作者（筆者）にとって加工技術を高める良い経験と思うが、製作期間に半年以上を要している。加工方法を探りながら他の製作物と並行的に行ったことを含めて考えても長期的になったことは問題があるように感じる。今後も製作を受けるという業務は続いていくが時間と人員のリソースが限られることから内作で請け負う意味をよく考え、今後の製作依頼に対応していきたいと思う。最後に、2020年2月17日に行われたISEE-JAXA ISAS技術交流会では製作事例3件を報告したが諸般の事情で1件は割愛させて頂いた。

宇宙科学研究所での役割および仕事の紹介 2

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
先端工作グループ 鈴木和司

1. はじめに

本年度は「はやぶさ2」の「りゅうぐう」への接近およびサンプル回収など多くの注目や話題がニュースとなっている。また、2020年12月にはそのサンプル入りカプセルが地球に戻る予定である。筆者は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所（JAXA/ISAS）先端工作技術グループ（AMTG）に2018年4月から勤務し、宇宙開発の一端を担っている。

本報告では昨年度に引き続きJAXAでの仕事内容の概略を述べる。

2. 先端工作技術グループ

現在、先端工作技術グループはグループ長1名、正職員2名、招聘職員2名、派遣職員6名の11名で構成されている。工作機械は、先端宇宙科学実験棟1階にNC制御工作機械が設置され、3階では汎用工作機械が置かれており、筆者は3階において主に機械加工を担当している。この3階は学生および研究者が自由に加工できる作業スペースである。そのため、工作室利用者に対し、年に3回ほど安全教育講習を行っている。未受講の場合は原則として工作機械を使用しての作業は行えない。安全講習受講者の多くは工作機械使用の初心者であり、その都度安全な機械操作および作業方法を指導している。

また、他にも使用用途に応じた材質、形状などの選択や工夫のアドバイスは、効率の良いものづくりや実験実施への一助となっている。時には寸法間違い、部品追加など緊急性の高い加工にも対応するため、工作機械の使用状況を常に把握する必要がある。学生および研究者との加工方法の相談では、設計・製図を必要とする場合や、材質および形状の変更に発展する場合も多々ある。

他に3階では、ネジ類および各種材料の在庫管理も行っている。

また、電子パーツについては同階にあるエレクトロニクスショップで在庫管理しており、登録されたカードキーにより24時間の利用が可能となっている。

3. 依頼され担当した仕事例

a) 落下塔試験装置力覚センサー部品製作

衛星の推進時に必要な燃料を無重量状態での燃料タンク内の液体の挙動および保持力の変化を模擬して落下時の映像およびセンサーによる力測定する装置の部品製作である。

図1はドイツのZARMにある高さ146mの落下塔を使用し、図2のような試験装置を釣り上げ数秒間の微小重力実験を行う。

図3はX Yテーブルを設置したラジアルボール盤を用い長尺材端面への穴あけおよびネジ切作業状態である。位置精度が必要なピン穴およびネジ穴作業のためX Yテーブルにより位置決めを行った。

その後、牧野フライスのヘッドを回すことにより固定方法を工夫することにより加工が可能であることが分かった。



図1 ZARM落下塔

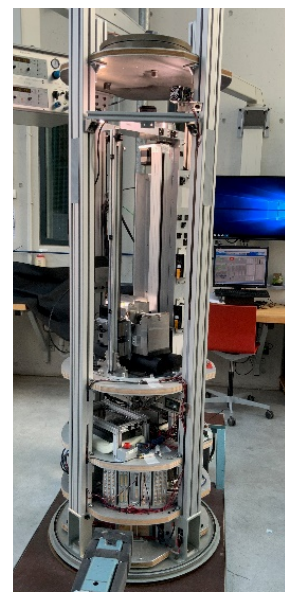


図2 ZARM落下塔
試験装置

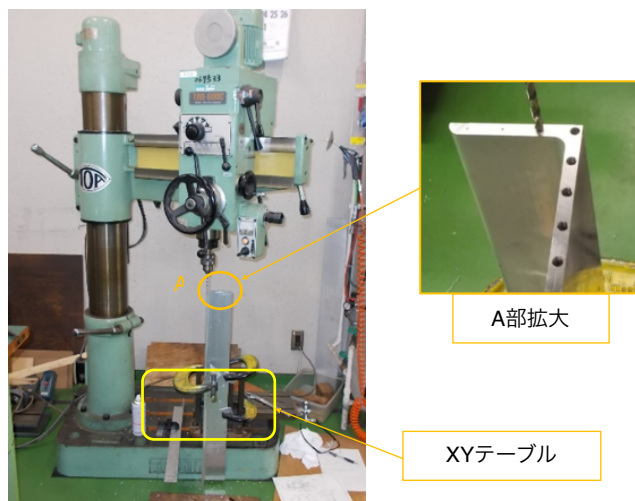


図3 ラジアルボール盤による
長尺材端面への穴あけおよびネジ穴加工



図4 3Dプリンタ製イオンエンジン用
ノズルの旋盤加工例

b) 金属3Dプリンタ造形品の追加加工

図4は金属3Dプリンタにより材質インコネルで製作した化学推進およびイオンエンジン用ノズルの旋盤加工例である。内部構造は5層になっており燃焼気体を中心の細い穴部に導く機能を有する。加工は生爪チャックを使用し部品のシール面である平面を切削した。この場合のシールには1000℃でも使用できるグラファイトのリングを使用する。

c) 飛翔体搭載レーザー測距用反射器 (Mt.FUJI) の開発

図5はコーナーキューブの保持器を3DCADにより設計し、外径112mm高さ32mmの円錐状に7カ所配置したレーザー測距用反射器の写真で重量は約260gである。コーナーキューブの間に平面を設け文字を印字できるようにしてある。発案した研究者がこの反射器を「Mt.FUJI」と命名し、今後ロケット、衛星などで使用される計画を準備中である。

図6はMt.FUJIを小型化した「Mt.FUJI mini」である。直径12.7mmのコーナーキューブを使用する。この反射器は外径50mm、高さ18mm、重量約70gと小型軽量であるため小さな衛星の構造体への設置が考えられている。



図5 レーザー測距用反射器
(Mt.FUJI)

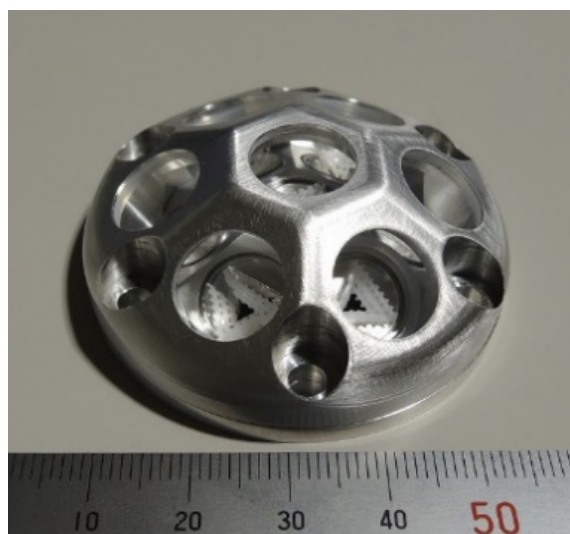


図6 小型反射器
(Mt.FUJI mini)

d) 国際観測ロケット打ち上げ実験の支援

北海道大学低温研究所の木村准教授が参加している国際観測ロケット実験に撤収作業を含めた技術支援として参加した。木村准教授は「ケイ酸塩宇宙ダストの核生成過程の解明」として、ホワイトサンズミサイル実験場のNASA観測ロケット打ち上げ場から2019年10月7日午前9時に打ち上げられ実験は成功した。高度は340kmに到達し、微小重力環境時間は約460秒であった。

図7は微小重力実験の観測メンバーであり、図8は射場に設置された観測ロケットである。



図7 観測メンバー
(Blum教授(欧州), 木村准教授(北大低温研), 筆者, 中坪(ISAS/JAXA), Nuth博士(NASA))



図8 Black Brant IX 343号機
(赤丸は観測装置部)

e) レーザー加工機による日時計文字盤の製作

図9は当工作室に設置してあるレーザー加工機を示す。図10はレーザー加工機により製作した日時計文字盤である。文字盤中心の12のところに35度の傾きを持った板を設置し、日時計として使用する。図10の文字盤はテスト加工として製作したものであり、実際にはA4サイズにする予定である。



図9 レーザー加工機
(HS-Z4030)
HSG-LASER製

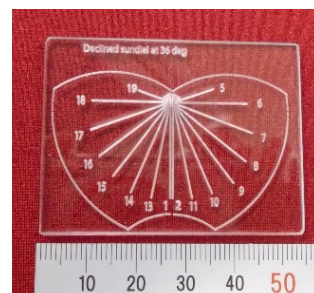


図10 日時計文字盤
材質：アクリル
厚さ：2mm

f) 3Dプリンタを用いたスライドガラス洗浄用スタンドの製作

微量分析用サンプルに使用するスライドガラスの大きさが2種類のガラス板があり同時に取付け洗浄可能なスタンドを製作した。当初、図11のスライドガラススタンドを超音波洗浄機使用した場合、ガラス板の出し入れはピンセットなどで直接できるがスタンドに設置した状態では取り扱いが出来なかった。今回の依頼はスタンドにガラ

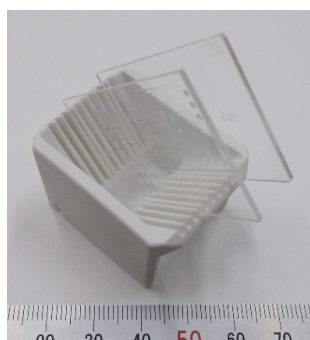


図11 現状スタンド形状

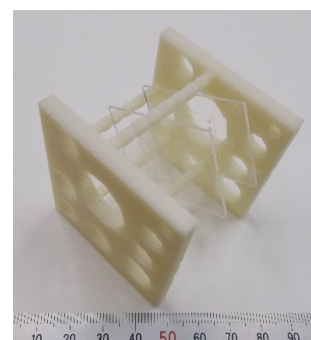


図12 2種類取付可能
形状(3Dプリンタ)

スを設置したまま使用できるスタンドの製作であった。いくつかのモデルを3DCADで発案し、3Dプリンタで試作した。図12は大きさの違う2種類のガラス板を同時に取付けられる形状であり、図13は2段に重ね合わせられる形状である。

最終的に図14のような分解洗浄可能なテフロン製スタンドを完成させた。

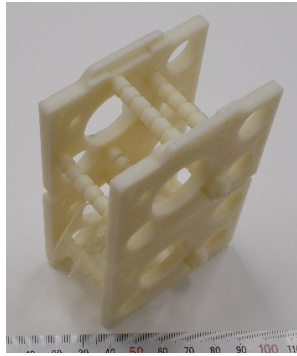


図13 積み重ね可能形状
(3Dプリンタ)



図14 分解洗浄可能な
テフロン製スタンド形状

g) 小径パイプベンダーの製作

衛星等ではヒートパイプとして小径パイプを使用している。配管の設計上、直線は少なく微妙な曲率半径を持った曲げが必要となり、小径パイプベンダーを製作した。図15は直径1/4インチのパイプを曲げられるベンダーで、曲り半径は10mmと15mmである。

他にもベンダーの製作依頼があり、パイプ径1/16インチ、曲り半径7.5mmのベンダーを製作した。

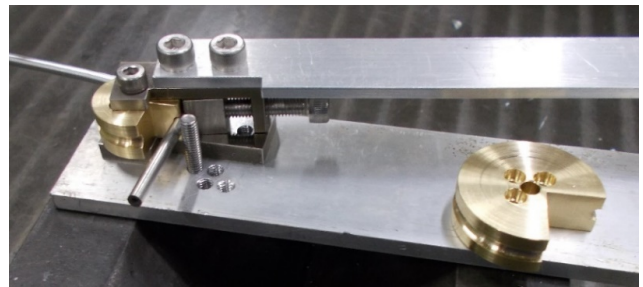


図15 直径1/4インチ用パイプベンダー
(曲率半径は左側が10mm、右側が15mm)

4. おわりに

現在の宇宙科学研究所には将来につながる多くのプロジェクトを成功に導く開発が多くある。工作室の周辺でも「はやぶさ2」の回収予定のサンプルを分析するための部品や装置の開発が急がれている。また月、火星などの探査計画も進んでいるため、研究所の技術支援はとても重要であり先端工作技術グループの必要性を確信している。

個人的なことではあるが、11年前に宇宙赤外線背景放射観測「CIBER」の観測装置を設計し、当初ホワイトサンズにおいて観測ロケットの打上げに参加を予定した。この時は諸般の事情で打上げが延期となり、実際の打上げに参加することができず悔しい思いでした。しかし昨年10月の観測ロケット打ち上げにホワイトサンズへ行けたことは夢のようであった。

今年度は、3Dプリンタによる試作、レーザー加工機による印字と切断加工など、自身の経験の薄い機械の操作と製作が経験できた。年齢と関係なく始めて使用する機械操作は、緊張感があり、初心を思い出す良い機会でもあった。

この一年間には随分留学生の対応をする機会があり、設計・製作に関して意思疎通のために勢いだけの英語を使用してきた。適切な設計、安全な機械操作を指導するには如何に英語能力がないかを痛感している。

ISAS/JAXAの巨大組織は、様々な規則規律を遵守しなければならず、例え派遣社員でも幾種類ものeラーニングが用意され、その実施により意識を共有する仕組みがある。

最後に、宇宙研で約2年間仕事をしてきて感じたことは、「宇宙関係の仕事はやはり面白い」ということである。どんな技術職員も機会があれば宇宙研またはJAXAの仕事をするのも刺激的である。

金沢大学技術支援センターの取組み

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
先端工作技術グループ
松井大樹

1. はじめに

私は平成 31 年 4 月より、金沢大学技術支援センターから宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所(宇宙研)先端工作技術グループに招聘職員として出向しています。先端工作技術グループの活動については鈴木さん及び加賀さんが報告されていますので、私は所属元の金沢大学技術支援センターの業務内容について報告いたします。

2. 立地

角間キャンパスは石川県金沢市街の南東部、医王山の麓に位置し、約 200 万平方メートル(兼六園の 17.5 倍)の緑あふれるキャンパスです。技術支援センターはその角間キャンパスの南西部に位置しています。

3. 歴史

1921 年：金沢高等工業学校(金沢大学工学部の前身)の工作実習を行うための施設として小立野キャンパスに設置されました。

1951 年：金沢大学が発足し、工学部共通の施設となり、中央工場に名称変更。

1969 年：工作センターに名称変更、工作実習に加え依頼加工を行う。

2000 年：技術支援センターに名称変更し、全学共通施設になる。

2006 年：角間キャンパスに移転。

2008 年：ISO14001(環境)取得

2013 年：5 号館工作室と合併運用。

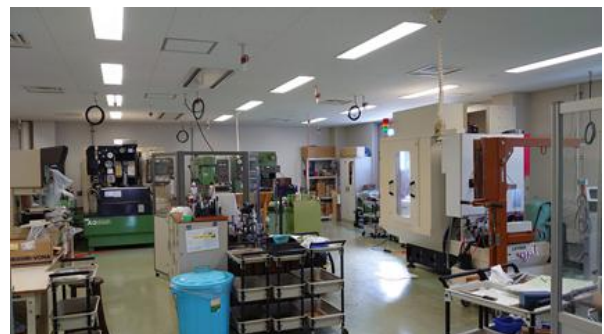
4. 組織

- ・センター長
- ・常勤職員：7 名(50 代：2 名、40 代：1 名、30 代：3 名、20 代：1 名)
- ・再雇用職員：3 名

5. 設備



1 階



2 階

第2回 ISEE-JAXA ISAS技術交流会

NC 制御機械：マシニングセンター、NC フライス盤、複合加工機、NC 旋盤、ワイヤー放電加工機、炭酸ガスレーザー加工機など

汎用機械：直立ボール盤(3 台)、卓上ボール盤(2 台)、旋盤(8 台)、フライス盤(6 台)、平面研削盤(2 台)、弓鋸盤、高速切断機、コンターマシン、シャーリングマシン、プラスチックパネルソーなど

6. 業務

技術支援センターでは主に以下の 4 つの業務を行っています。

- ・教育支援：工作実習
- ・研究支援：依頼加工
- ・活動支援：工作機械講習
- ・地域貢献：ものづくり教室
- ・その他

6-1. 教育支援

工作実習：機械系の 3 年生の授業での実習を行っている。

1 学年 70～80 名×2 コース)を 6～7 名×12 班に分ける。班ごとに毎週『ボール盤』、『旋盤①・②』、『フライス盤①・②』、『溶接』の実習を順番に計 6 回実習する。

工作実習全体を通して『ミニハンマー』を製作する。

6-2. 研究支援

研究室などから依頼を受けて実験装置や実験試料などの製作を行っている。

加工時間によって依頼を以下の 3 種類に分けている。A 加工(3 日以上)、B 加工(3 日以内)、S 加工(3 日以内で急ぎのもの)。また、依頼を受ける際には納期と見積金額を提示し、納期厳守で加工を行っている。

過去 5 年間の依頼件数

2018 年	2017 年	2016 年	2015 年	2014 年
326 件	344 件	431 件	385 件	318 件

6-3. 活動支援

技術支援センターではセンター職員以外にも学生および教職員が工作機械を使って加工を行うことができ、自分たちの手で実験に必要な機器などの製作することができる。また、安全に加工が行えるように『ボール盤』、『旋盤』、『フライス盤』、『パネルソー』については講習会を実施しており、受講者だけが機械を使用できる。講習会は『ボール盤』、『パネルソー』については毎月、『旋盤』、『フライス盤』については二か月毎に行っている。

また、学生のサークル活動の支援も行っており、学生フォーミュラコンテストや鳥人間コンテストの機体製作などの支援を行っている。

6-4. 地域貢献

夏休みのオープンキャンパスの時期に技術支援センターでは小中学生を対象とした『ものづくり教室』を開催しています。小中学生が実際に『ボール盤』、『旋盤』、『フライス盤』などの機械を操作して金属を削り加工を行います。

テーマは2～3年毎に変更しており、近年は『ミニハンマー』、『手回しゴマ』、『スターリングエンジン』などの製作を行った。



ものづくり教室で旋盤加工



手回しゴマ

6-5. その他

・ミャンマー工学教育拡充プロジェクトへの参加

“発展が期待されるミャンマーでは、国内の大学教員の絶対数不足と教育体制の整備、および教育研究を担う人材育成が国家的急務となっています。それらの課題解決を支援するため、国際協力機構（JICA）において「ミャンマー工学教育拡充プロジェクト」が2013年10月に発足しました。これは、京都大学をはじめとする日本の7大学が、土木、電力、電子、IT、メカトロニクス、機械の6工学分野について、ミャンマーの2工科大学（ヤンゴン工科大学（YTU）、マンダレー工科大学（MTU））の教育支援を行うものです。”

京都大学工学部・大学院工学研究科のwebサイトより引用

上記のプロジェクトにおいてミャンマーの大学教員を博士課程の学生として日本の大学に迎え指導するという活動を金沢大学でも行っており、次の段階として、技術職員を大学に迎え指導を行うことになり、その受け入れ先として技術支援センターが選ばれた。

2016年10月から2017年3月：ヤンゴン工科大学から2名、マンダレー工科大学から1名。

2017年10月から2017年12月：ヤンゴン工科大学から1名、マンダレー工科大学から2名。

また、ミャンマーの技術職員が日本で学んだ成果を確認し、現地の工作機械を使って指導を行うために2017年9月に2週間の日程で、技術支援センターから2名の職員をミャンマーに派遣した。



ミャンマーからの技術職員



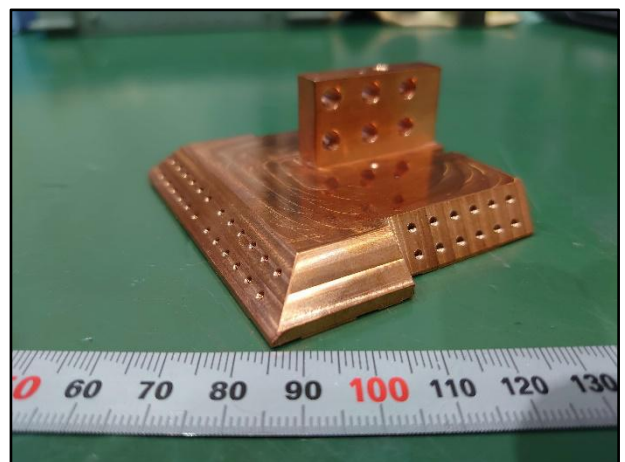
ヤンゴン工科大学での指導

・ JAXA との連携協定

平成 28 年に JAXA 宇宙科学研究所に先端工作技術グループ設立されたのを契機として、宇宙科学研究所と金沢大学理工研究域との間で、先端工作技術と人材の交流を目的として連携協定が締結されました。その人材交流の一環として技術支援センターから先端工作技術グループに技術職員を派遣しています。先端工作技術グループでは最新の加工機械を使い先端加工を行っています。



先端工作技術グループ



5 軸加工機で加工

7. これからの技術支援センター

多くの大学で技術職員のなり手不足が課題になっています。技術支援センターも例外ではなく、退職していくベテラン職員の代わりをいかに確保し、ベテラン職員の技術をいかに伝えていくかが大きな課題です。また、従来の技術だけでなく新しい技術も柔軟に取り入れていく必要があります。また、JAXA 以外の機関との交流も行っていければよいと思います。

低温域における熱膨張を利用した しまりばめ締結力の調査

名古屋大学全学技術センター
装置開発技術支援室
○後藤 伸太郎、
山本遼、足立勇太、長谷川達郎、中西幸弘

1

この調査の意義

しまりばめは装置の構造を**シンプルにでき、設計・製作の効率化**につながるメリットがある一方、どの程度の荷重に耐えられるかの知識がない



300℃以下の低温域で簡易的にしまりばめ締結力を調査

→部品に与える負担が少ない

→溶接グローブなどを介して手作業ではめあわせ可能

・大がかりな治具が不要

・はめ込む感覚が分かりやすい

この発表における「低温域」、「高温域」について

低温域 →200～300℃ ホットプレートで加熱

高温域 →800℃以上 ガスバーナーで加熱

設計に役立てられる、大まかな勘どころをつかむ

4

必要な締結力から
しまりばめ寸法がわかる

この調査の背景

- ・しまりばめについての知見を広めることは、日常業務において設計製作する装置の小型化・簡素化に役立つと考えた

しまりばめの勘どころをつかみたい

- ・本交流会の場で調査結果を報告する

2

しまりばめ作業

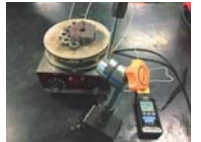
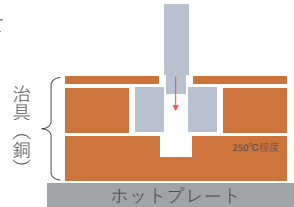
- ・卓上ホットプレートを使用して250℃程度に加熱
- ・溶接用手袋を使用してフリーハンドではめこむ
- ・軸先端部8mmはマイナス交差の導入部を設けた(8mm突出ところまではめこむ)
- ・温度を一定に保ち、また熱源から外さずに作業が行える治具を用意

しまりばめを用いて
製作した試験片



しまりばめ部の寸法
直径12mm長さ10mm

5



しまりばめについて

しまりばめ

しめしろが発生する軸と穴のはめ合わせ

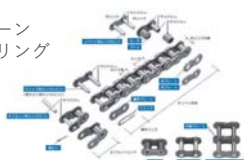
しめしろ

軸の直径が穴の直径よりも大きい場合の、はめ合う前の寸法差



利用例

- ・チェーン
- ・ベアリング
- など



※出典：株式会社橋本チエインHP より



※出典：NTN株式会社HP より

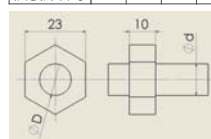
3

調査条件

しまりばめの条件 (250℃で実施)

※「×」はしまりばめ作業を失敗

しまりしろ [μ]	5	10	15	20	25	30	35	40
試験片番号	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 ×	× ×



φd - φD = しめしろ

19℃ → φ11.92mm
245℃ → φ11.97mm) 50μ拡大

他の締結方法 (参考までに)

高温域※1 50	高温域※1 60	ネジ※2
1	1	1 2

※1 穴部品が赤熱するまで加熱

※2 ネジはM4セットビス 90° おき2方向



6

使用した設備

卓上型精密万能試験機

島津製作所 オートグラフAG-Xdplus

設置場所：理学部装置開発室

仕様

最大試験荷重：50KN

精度補償範囲：50N-500N

精度：表示値の0.5%以内

引張試験最大ストローク：1060mm

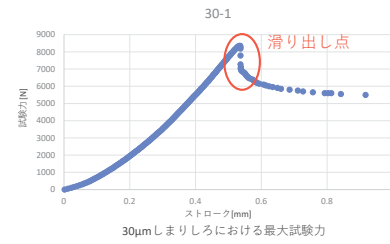
設置試料最大横幅：500mm



試験時間、変位置、試験力（引っ張り力）をCSVファイルで記録可能

7

調査データの紹介（しまりしろ30μ）



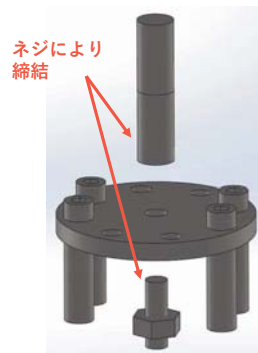
・各調査データにおいて、明確な滑り出し点が確認できた

10

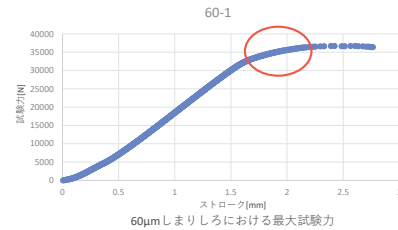
引っ張り試験治具



8



調査データの紹介（しまりしろ60μ）



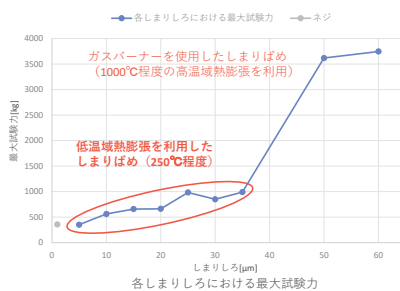
- ・調査結果において、明確な滑り出し点が確認できなかった
- ・滑りが生じた後も一定の高い締結力を保った



部品同士に焼結に似た現象が発生したのではないかと

11

調査結果



- ・低温域熱膨張を利用したしまりばめでは1t程度の締結力が得られた
- ・高温域しまりばめに対して1/3程度の締結力であった
- ・セットビスによる締結（357kg）に対して同等以上の締結力であった

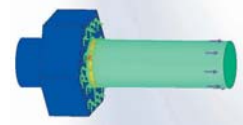
9

今後の装置設計に活かすために

今回の調査と同条件でシミュレーションを行い、その結果との比較を行う



ほぼ一致すれば



必要な締結力

シミュレーション

必要なしまりしろ

しまりばめを用いた装置設計が可能

しかし

12

今後の装置設計に活かすために

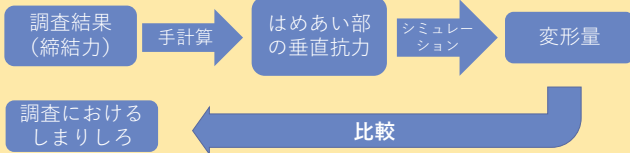
~~我々が業務で使用できるSolidWorksSimulationでは、軸と穴の寸法を条件とした締結力のシミュレーションはできない。~~



(と思われる)

別のシミュレーションソフトなどがあればご教授ください

シミュレーションにおける変形量としまりしろを比較



13

まとめ

- Φ12mm長さ10mmの寸法において温度250℃程度の低温度域の熱膨張を利用したしまりばめ締結力の調査を行った
- 調査結果として500kg～1000kgの締結力が得られることが分かった
- SolidWorksSimulationではしまりばめ締結力のシミュレーションができない



しまりばめの勘どころはつかめなかった

16

シミュレーションを用いた調査結果の検証

締結力（最大試験力）と静止摩擦係数から、各しまりしろにおいて発生する単位面積あたりの垂直抗力を手計算する

- はめあい部 $\phi 12 \times 10 \rightarrow$ はめあい接触面積 377mm^2
- SUS304静止摩擦係数 0.667

表面粗さや汚れ付着の有無により大きく変化するはず
文献では見つけれなかった

計算

各条件における最大試験力

$$\begin{aligned} &\div 377 \\ &\div 0.667 \\ &= \end{aligned}$$

各条件における垂直抗力

しまりしろ [μ]	最大試験力 [N]	垂直抗力 [N/mm ²]
5	3449.6	13.718
10	5502.7	21.883
15	6448.4	25.645
20	6502.3	25.859
25	9628.5	38.291
30	8325.1	33.108
35	9702	38.583
50	35446.6	140.967
60	36701	145.955

14

今後の課題

- 静止摩擦係数が不明であるとしまりばめ設計はできない
→ はめあわせの直前に脱脂するなど、条件を統一する。
(表面粗さや汚れ付着の有無などにより大きく変動すると思われる)
- 得られた調査結果には大きなバラツキがみられた
→ 試験片の数を増やす、寸法種類を増やす等必要
→ 任意のしまりばめ条件における締結力を予測するには、しまりばめ寸法（直径等）・しまりしろ・締結力のデータから3次元グラフを作成する必要がある

17

シミュレーションを用いた検証結果

調査結果から求めた垂直抗力をを用いて、穴と軸のそれぞれの変形量をシミュレーションにより求める
その合計の値と調査条件のしまりしろとを比較する

シミュレーションによる変形量は、実験条件のしまりしろの半分以下

大きな食い違い

静止摩擦係数が実際のものより大きすぎた可能性
試験片の表面粗さの違いや汚れの付着などの影響（実験条件25,30,35μmなどから）

調査条件	しまりしろ[μm]	
	シミュレーション	
5	2.41	
10	3.84	
15	4.5	
20	4.54	
25	6.72	
30	5.82	
35	6.77	
50	24.77	
60	25.65	

15

発表時においてはSolidWorksSimulationを用いたしめしろ設計ができず、勘どころをつかむことができなかった

しかし、連名者とディスカッションする中で追加調査すべきことや課題が見えてきたことから、今後他の手法も含めて勘どころをつかむ方法を模索していく

18

ISEE 技術部
令和元年度 活動報告

技術部では、技術講習や研修に参加して技術支援に必要な技術力の習得に努め、所内・学内の実習や講習を担当しています。学会や研究会に参加して技術力報告にも努めています。令和元年度は下表のとおり、講習会・研修会、実習、技術報告を行いました。

技術講習・研修

講習・研修名	開催場所	期間	氏名
電気工事士技能講習会受講	ダイキン 名古屋研修所	R1.06.25 - 27	藤森 隆彰
第 8 回低空空撮技術活用研究会	長野県王滝村 松原スポーツ公園	R1.08.26 - 28	岡本 渉 山崎 高幸
小型移動式クレーン運転技能講習	住友建機教習所 愛知教習センター	R1.09.13 - 16	藤森 隆彰
主任無線従事者講習(法定)	中産連ビル	R1.10.18	久島 萌人
放射線安全管理講習会	名古屋商工会議所ビル	R1.11.25	池田 晃子
第 15 回名古屋大学技術研修会	新型コロナウイルス感染症の影響で開催中止 名古屋大学全学技術センターで要旨を web 公開		児島 康介 川端 哲也

実習講師・指導

実習名	開催場所	期間	氏名
宇宙地球環境研究所 工作室 安全教育講習会	宇宙地球環境研究所 工作室 (101 号室)	随時 (4回開催) 受講者 計11名	川端 哲也

学会・研究会など報告 (講演者)

名称	開催場所	期間	氏名
SuperDARN workshop 2019	Highland Resort Hotel & Spa (Japan)	R1.06.02 - 07	濱口 佳之
日本気象学会 2019 年度秋季大会	福岡国際センター (福岡)	R1.10.28 - 31	民田 晴也
第 63 回 宇宙科学技術連合講演会	アスティとくしま (徳島)	R1.11.06 - 08	岡本 渉

自主企画・共同研究など

課題名	代表(PI)/分担者(CI)
北海道大学低温科学研究 一般共同研究 (課題番号 19G045) ”多周波・偏波レーダを利用した固体降水観測技術の高精度化”	PI: 民田 晴也
JAXA 第2回地球観測研究公募 ”衛星降水アルゴリズム改良に資する全球降水データセットの相互比較研究”	PI: 増永 浩彦 (ISEE) CI: 民田 晴也
ISEE 所長リーダーシップ経費 ”小型衛星搭載を目指したレーダの基本技術開発”	PI: 高橋 暢宏 (ISEE) CI: 久島 萌人、民田 晴也

研修報告書—電気工事士技能講習会受講

受講期間：2019 年 6 月 25 日～27 日（3 日間）

場所：ダイキン 名古屋研修所（名古屋市港区）

受講者：藤森 隆彰

目的

電気工事士技能講習を受講し、第二種電気工事士の実技試験に合格する。免状をもらうことで第二種電気工事士として、作業することができるようになる。各地にある観測点などでの電気工事を行うことが可能になることを目的とする。

受講内容

第二種電気工事士は、低圧（交流 600 V 以下）で受電する一般用電気工作物（小出力発電設備含む）の電気工事に従事できるようになる。小出力発電設備とは、太陽電池発電設備（50 kW 未満）、内燃力発電設備（10 kW 未満）、複数施設される場合は、合計が 50 kW 未満であることと電気事業法で定められている。それ以上の高圧や施設を扱う場合は、第一種電気工事士の免許が必要になる。想定される業務を行う上では、第二種電気工事士の免許があれば十分である。

講習では、実際に実技試験で出される問題を使用して、まず基本作業のやり方を習った。実技試験は、候補問題として事前に公開されている 13 問から一つ出題される。判定基準が最近厳しくなり、施工上の軽微な欠陥について一ヶ所でもあれば不合格になる（H29 年度試験より）。そのため、起こりうる欠陥について教えてもらうと共に、自分で作成した作品を講師の方に見てもらいアドバイスをもらった。

今後の業務

電気工事士でなければならない作業が色々ある。今年度 3 月の母子里観測所出張中には、壊れていた蛍光灯本体を取り外し、新たに LED 電灯の取り付けを行った。今後想定する作業としては、配電盤を造営材に取り付け（取り外し）を行う作業がある。真空ポンプを追加する際に、配電盤内に子ブレーカーの余りがない時などである。また電線相互を接続する作業や、電線を直接造営材に取り付ける作業や、電線管などに電線を収める作業などもある。

事前に必要な作業が分かっているれば、業者に電気工事を依頼できる。また事前に電気工事など基礎工事が完了していれば、観測地に到着してからすぐに設置などの作業に取り掛かれる。作業に熟知していることで、より適切な工事依頼をすることができると考えている。また急遽必要になった配線の変更なども現地で行えるようになる。

宇宙地球環境研究所の技術職員として研究者と共に、より高感度な観測装置を開発し、観測地に設置・運用まで一連を行う必要があると考えている。現地での設置業務では、各観測地に短期間で測定装置を設置する必要がある。その時には少ない人員で設置作業をするため、一人何役もこなす必要がある。そのためのツールを一つ準備できた。

研修報告書—小型移動式クレーン運転技能講習受講

受講期間：2019 年 9 月 13 日、14 日、16 日（3 日間）

場所：住友建機教習所 愛知教習センター（愛知県刈谷市）

受講者：藤森 隆彰

目的

小型移動式クレーン運転技能講習を受講し、移動式クレーンの操作を行えるようにすることである。今年度 FT-IR 分光器の移設が予定され、自分たちで引っ越し作業をする必要があった。そのためどうしても自分たちでクレーンの操作も必要になることから、今回技能講習の受講を決めた。

受講内容

まず小型移動式クレーンとは、労働局登録番号 第 1213 号に、『荷を動力を用いてつり上げ、これを水平に運搬することを目的とする機械装置で、原動機を内蔵し、かつ、不特定の場所に移動させることができるものの内、つり上げ荷重（定格層荷重の最大値 - フック等に値が記載）が 5 トン未満のもの』とある。ユニック車と言え、多くの方が想像できるかもしれない。そもそもユニックは、商品名で一般名ではない。主に積載形トラッククレーン（3 t 未満が多い）と呼ばれ、通常のトラックにクレーン装置を搭載したものである。クレーン作業と走行両方行えることから、移設作業には非常に便利である。

今回私は、3 日間のコースを受講した。受講時すでに玉掛け技能講習（クレーン運転業務特別教育含む）を終了していたため、少しだけ受講料が安くなる。2 日間の座学では、資格区分の説明から構造・性能や作業の留意点などを学んだ。特に天井クレーンと違うところは、ジブ（アーム）部の構造上性質から、ジブの長さや作業半径によって吊れる荷の重さは変わってくる。様々な法令についても学んだ。実技では、時間の許す限り決められたコースを何度も鉄の塊を動かし練習した（実技テストあり）。

FT-IR 分光器の移設作業

2020 年 3 月 11 日、12 日（予備日）で FT-IR 分光器の移設作業を行った。分光器（3 分割）の重心位置が偏っているのもあり、より安定につれるように、ベルトスリング（長さ 6 m- 少し長め）を選定した（2 本 4 点吊り）。フックヘスリングを掛ける角度を小さくすることができ、より安全に荷滑りも起こりにくくすることができる。作業としては、分光器自体は 1 日で学内の移設を完了することができた。また予備日を使用して冷凍機のコンプレッサーや重たいラックなども移動することができた。今後は装置の移設等に関してもより協力できると考えている。



第8回低空空撮技術活用研究会報告

岡本渉、山崎高幸

- 開催日程：2019年 8/26(月)～28(水)
- 開催場所：長野県王滝村 松原スポーツ公園
- プログラム概要

8/26(月)	8/27(火)	8/28(水)
13:10- 講演会	9:00- GCP 測量・処理実習： (木谷先生)	9:00- ドローン空撮・ジオタグ 実習 (杉田先生)
16:00- GNSS 講義 (木谷先生)	13:00- ドローンデモ (機体持参者)	13:00- オルソ・DSM 作成、精 度検証 (杉田先生)
17:00- 低価格2周波 GNSS 組立 (木谷先生) 宿で	15:00- Phantom/Mavic への 取付け・飛行テスト (木谷先生、 杉田先生・井上先生)	

- 本研究会の案内 LOC：國友孝洋先生

低空研は、2011年東北地方太平洋沖地震の後に防災科学技術研究所の井上公先生（名古屋大学理学部旧地震学講座の先輩）を中心に、中部大学や広島大学などのメンバーにより開催されている研究会です。ドローンなどを用いて地表を撮影・計測する技術研究を行っています。これまでは、恵那市の中部大学研修センターで開催されてきましたが、今年は王滝村で開催されることになりました。御嶽山火山研究施設が現地事務局を務めています。

ドローンを用いた防災、GNSS-RTK 測量、空撮、精密地形図作成などにご興味のある方はぜひご参加ください。ドローンをお持ちでない方は、講演会参加や見学だけでも大丈夫です。また、本研究会以外にも、御嶽登山や御嶽地域の現地見学・研修についてお考えの方も随時相談に乗ります。

講演は以下の11講演、講義はトランジスタ技術の執筆もある静岡大学の木谷友哉先生による実習を受けた。主催者側の希望により我々はポスターを持参して参加した。

・**講演** 講演者名省略

「御嶽山二ノ池で発生したスラッシュ雪崩について」

「活断層の地下構造をターゲットとした重力測定と測量」

「空撮を用いた山岳氷河の研究」

「UAV 航空写真測量を用いた火山地形変化の効率的な把握に向けて」

「Pole camera を活用した森林の炭素ストック推計」

「昨年までの研究紹介と海外製の屋内専用ドローンについて」

「固定翼機による長距離・大高度差飛行、垂直離着陸、完全自動運用」

「中部大 VTOL の取組み概況～飛行ロボコンを通じて各種実験機試作運用に挑む～」

「格安 RTK-GNSS 機材の作成と精度テスト」

「市販機への F9P 搭載と、GCP フリー写真地図の高精度化の試み」

「ZED-F9P を使用したアプリケーションの紹介」

- ・講義 木谷友哉先生 静岡大

”前半”「高精度衛星測位を用いたモビリティセンシング環境」

”後半”「GNSS による測位の基礎」

●実習プログラム：2019 年 8 月 26 日

機材：7 月 9 日 [teiku 1832] の木谷友哉先生（静岡大学）の資料参照

「2019 年低空空撮技術研究会向け ドローン搭載 RTK-GNSS 向けモジュール選定資料」

安価 1 周波機材は [teiku 1864] の濱 侃先生（横浜国立大学）の資料も参照

「GNSS ロガーの作り方」

●実習の感想

ドローンユーザーはまだまだ少なく、それを研究や探査に使用するとなるとさらに数が限られてくる。低空研には全国からドローンを使う研究者・技術者が集う貴重な情報交換の場である。ラジコン時代から固定翼、無人ヘリコプターを使用している古参のユーザーもいる。

RTK はメーカーからリリースされているものもあるが、中身はブラックボックスである。低空研では一昨年ドローンの製作をテーマとしていた。今回の RTK も、15 万円ほどの低価格でキットを集め、それを実際に参加者が製作した。原理的なことも理解しつつ、完成した RTK キットを実際にドローンに搭載して飛行させた。それぞれが作った RTK キットは、ユーザーそれぞれの研究に役立たれる。(岡本)

RTK-GNSS 実習に参加した。通常の GPS では数メートル程誤差が発生するが、今回の研修者側が用意した基準親局を使用する事で RTK 子機局の精度が 1cm まで位置精度が向上した。また、アンテナの精度良い受信の為にグラウンドプレーンの使用や、RTK 実機の接続を実習で学び、屋外で歩行した際の軌跡を得る解析を行い、GPS 衛星の選定や、基準局の選び方等、講師のノウハウを学ぶことができた。またリアルタイムにスマホに軌跡をプロットして行く実機も見学した。

研修の後半では、実際にドローンに実機を搭載したものでデータを解析しているグループもあり、ドローンによる撮影写真への修正位置情報の付加の講義を聞いた。研修参加者にはドローンやグライダーを使った研究者も多く、研究の進展が知れただけでなくドローンを使った協力関係も築く事ができ大変有用な研究会であった。(山崎)

主任無線従事者講習 受講報告

宇宙地球環境研究所技術部 久島萌人

●概要

令和元年10月18日に中産連ビル本館にて実施された、主任無線従事者講習を受講したのでその内容を報告する。主任無線従事者講習は主任無線従事者として選任される際に必要な法定講習である。

主任無線従事者については下記を参照。

(総務省電波利用ホームページより抜粋)

主任無線従事者制度は、本来、電波法上、無線従事者でなければ出来ないこととなっている無線設備の操作を、その無線局の主任無線従事者として選任を受けた者の監督の下であれば、だれでも行うことができる制度です。

主任無線従事者に選任できる者は、次の4つの条件を満たしている必要があります。

1. 選任を受けようとする無線局の操作・監督を行うために必要な無線従事者資格を持っていること
2. 選任を受ける無線局等に、選任日より前5年間に於いて3ヶ月以上の従事経歴を持っていること
3. 電波法令に違反したことにより、罰金以上の刑に処せられ、その刑の執行後またはその刑の執行を受けることが無くなった日から、2年を経過していること
4. 無線局に従事することを停止されていないこと。また、その停止期間終了日から3ヶ月を経過していること

また、主任無線従事者を選任した無線局の免許人は、選任の日から6ヶ月以内に、主任無線従事者として選任した者に、主任無線従事者講習を受けさせなければなりません。

●講習内容

時刻	科目	講師
9:00~9:10	オリエンテーション	(公財)日本無線協会 東海支部
9:10~10:40	無線設備の操作の監督	(公財)日本無線協会 若曾根 敏春
10:55~12:25	無線設備の操作の監督	(公財)日本無線協会 若曾根 敏春
13:25~14:55	最新の無線工学	(公財)日本無線協会 山田 道行
15:10~16:40	最新の無線工学	(公財)日本無線協会 山田 道行
16:45~	修了証交付	(公財)日本無線協会 東海支部

主な講義内容として、「無線設備の操作の監督」では主任無線従事者制度の説明とそれに関連する法令の解説、電波法の改定があった部分をピックアップして解説する講義が行われた。

「最新の無線工学」では多様化する電波利用に対応するための周波数再編とその割り当てに関する解説と、無線を利用した最新の技術（自動運転、ドローン、5G通信、グローバルフライトトラッキング、デジタル船上通信、合成開口レーダ、60GHz帯無線センサ等）についての講義が行われた。

講義終了後、修了証を授与され講習を修了した。

●業務への反映

講習受講後、ISEE 所有の X バンドレーダ 2 台と、Ka バンドレーダ 1 台の無線局で主任無線従事者として選任された。今後は主任無線従事者としてレーダ運用業務に携わっていく予定である。

「令和元年度 放射線安全管理講習会」受講報告

宇宙地球環境研究所技術部（年代測定研究部・放射線安全管理室）

池田 晃子

令和元年11月25日に名古屋商工会議所ビルにて開催された、公益財団法人原子力安全技術センターならびに放射線障害防止中央協議会主催の「令和元年度 放射線安全管理講習会」を、技術部経費にて受講させていただいたので報告する。

【講習会プログラムの概要】

講演内容	講師
新法の要点を熟知するために	国立研究開発法人 理化学研究所
新法令に向けた立入検査への対応	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所
事故とエラーのモデルに基づく リスク管理について	環境安全学研究所
放射性同位元素等の輸送について	ポニー工業株式会社

この講習会は、放射線安全管理における国内外の動向や、関連する法令の改正等に関する最新情報を提供している大変有益な講習会である。今年度は、令和元年9月1日より「放射性同位元素等の規制に関する法律」（旧法令名「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」）が施行されたため、新法令に対応するためのノウハウに関する講演が約半分を占める内容となった。毎年内容が変わるため、放射線安全管理に必要な最新の知見を得るために、今後も毎年の受講を希望するものである。

ISEE 技術部
論文・学会報告リスト

論文 (Article, Letter, Technical report など)

1. 中村俊夫, 南雅代, 増田公明, 小田寛貴, 三宅美紗, 池田晃子, 栗田直幸, 山根雅子, 西田真砂美, 佐藤里名, 酢屋徳啓, 北川浩之, 2019: 名古屋大学タンデトロシ AMS ^{14}C システムの現状と利用(2018), 名古屋大学 年代測定研究, 3, 73-81.
2. 南雅代, 榎並正樹, 林誠司, 北川浩之, 加藤丈典, 栗田直幸, 池田晃子, 奈良郁子, 山根雅子, 西田真砂美, 中村俊夫, 2019: 平成 30 年度 ISEE 地域貢献事業「東濃地方の地層について学ぼう」活動報告, 名古屋大学 年代測定研究, 3, 87-92.

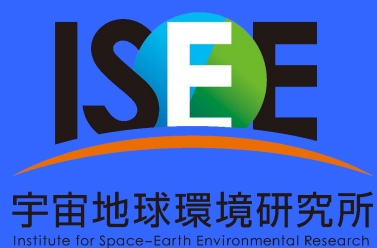
学会・研究集会・国際会議(proceedings)

1. Kawahara, T. D., S. Nozawa, N. Saito, T. T. Tsuda, T. Takahashi, T. Kawabata, M. Nishimura, and Y. Kobayashi, 2019: Lidar data analysis of the sodium atoms in the thermosphere observed at Tromsø, Norway, *JpGU Meeting 2019*, 幕張メッセ(千葉), 2019.5.26-30.
2. 中山智喜, 山崎高幸, 岡本渉, 松見豊, 2019: 長崎県雲仙岳周辺での小型センサを用いた PM2.5 の高度依存性の観測, *JpGU Meeting 2019*, 幕張メッセ(千葉), 2019.5.26-30, AAS04-P09.
3. 鐘ヶ江健太, 山崎高幸, 岡本渉, 松見豊, 中山智喜, 2019: PM2.5 モバイル計測器の性能評価と国道 1 号線および長崎大学周辺での測定, *JpGU Meeting 2019*, 幕張メッセ(千葉), 2019.5.26-30, AAS04-P17.
4. Hamaguti, Y., N. Nishitani, and T. Hori, 2019: Receiving the Super DARN Hokkaido East HF radar signal at a remote station using the USRP, *Super DARN workshop 2019*, Fuji (Japan), 2019.06.02-07.
5. 前田咲穂, 野澤悟徳, 津田卓雄, 川原琢也, 斎藤徳人, 和田智之, 高橋透, 川端哲也, 2019: トロムソナトリウムライダー 5 方向同時観測データを用いた北極域下部熱圏・中間圏大気安定度の研究, MTI 研究集会, 京都大学(宇治), 2019.9.9-13.
6. 松見豊, 中山智喜, 山崎高幸, 岡本渉, 関口和彦, 林田佐智子, 川崎昌博, 内藤大輔, 甲山 治, 2019: 開発した小型 PM2.5 計測器のアジア各国での観測結果: ベトナム、インド、インドネシア、モンゴル、マレーシアなど, 第 60 回 大気環境学会年会, 東京農工大学 府中キャンパス(東京都府中市), 2019.09.18-20, 1F0915.
7. Matsumi Y., T. Nakayama, T. Yamasaki, W. Okamoto, S. Hayashida, K. Ueda, M. Othman, M. T. Latif, L. Bich-Thuy, N. D. Trung, S. Ch, S. K Dhaka, 2019: Measurements of PM2.5 in Asian countries using accurate compact PM2.5 sensors originally developed, *2019 Conference of the International Society for Environmental Epidemiology and International Society of Exposure Science- Asia Chapter*, Daegu (Korea), 2019.10.17-19, P1-27.
8. 川原琢也, 野澤悟徳, 斎藤徳人, 津田卓雄, 和田智之, 川端哲也, 2019: Na ライダーで観測される鉛直風オフセットに関するライダーシステムからの考察, 地球電磁気・地球惑星圏

- 学会第 146 回講演会, 熊本市国際交流会館(熊本), 2019.10.23-27.
9. 李成宇, 津田卓雄, 細川敬祐, 野澤悟徳, 川端哲也, 水野亮, 大山伸一郎, 栗原純一, 2019: ノルウェーのトロムソで観測された脈動オーロラ発光の波長特性, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 146 回講演会, 熊本市国際交流会館(熊本), 2019.10.23-27.
 10. 川村 勇貴, 細川 敬祐, 野澤 悟徳, 小川 泰信, 川端哲也, 藤井 良一, 2019: Estimation of the altitude of pulsating aurora emission by using five-wavelength photometer, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 146 回講演会, 熊本市国際交流会館(熊本), 2019.10.23-27.
 11. 民田晴也, 久島萌人, 篠田太郎, 川島正行, 藤吉康志, 2019: 降雪粒子立体形状とミリ波偏波レーダシグナル, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 福岡国際会議場, 2019.10.28-31, C308.
 12. 眞部広紀, 松見豊, 岡本渉, 中西幸弘, 山崎高幸, 久間英樹, 村上崇史, 前田貴信, 春山純一, 藤田昂志, 2019: 火星 UAV を想定した大気観測と縦孔探査のミッション構想, 第 63 回宇宙科学技術連合講演会, アスティとくしま, 2019.11.6-8, 3B09.
 13. 眞部広紀, 久間英樹, 岡本渉, 村上崇史, 松見豊, 前田貴信, 長尾星空, 春山純一, 2019: UAV と UGV を使用した洞窟計測探査と環境地図成, 第 63 回宇宙科学技術連合講演会, アスティとくしま, 2019.11.6-8, 3C14.
 14. Li, C., T. T. Tsuda, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S. Oyama, and J. Kurihara, 2019: Spectra of pulsating aurora emissions observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, *The 10th Symposium on Polar Science*, NIPR (Tokyo), 2019.12.3-5.
 15. Kobayashi, Y., T. D. Kawahara, N. Satonori, T. T. Tsuda, T. Kawabata, N. Saito, and S. Wada, 2019: Study of laser frequency stability from the observed vertical wind velocity by the Na lidar at Tromsø, *The 10th Symposium on Polar Science*, NIPR (Tokyo), 2019.12.3-5.
 16. Nozawa, S., T. T. Tsuda, N. Saito, T. Takahashi, T. D. Kawahara, Y. Ogawa, H. Fujiwara, S. Wada, T. Kawabata, C. Hall, and A. Brekke, 2019: Statistical study of Sporadic Sodium Layer (SSL) observed at the high latitude station at Tromsø, *The 10th Symposium on Polar Science*, NIPR (Tokyo), 2019.12.3-5.
 17. Maeda, S., S. Nozawa, T. D. Kawahara, N. Saito, T. T. Tsuda, S. Wada, T. Takahashi, T. Kawabata, and C. Hall, 2019: Study of atmospheric stability in the polar lower thermosphere and upper mesosphere by using simultaneous 5-directional observations at Tromsø13., *The 10th Symposium on Polar Science*, NIPR (Tokyo), 2019.12.3-5.
 18. Tsuda, T. T., C. Li, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, S. Oyama, and J. Kurihara, 2019: A pulsating aurora event observed by an optical spectrograph at Tromsø, Norway, *AGU Fall Meeting 2019*, San Francisco (USA), 2019.12.9-13.

発行日：2020 年 3 月 31 日

編集者：民田 晴也，久島 萌人



名古屋大学 宇宙地球環境研究所 技術部

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

<http://tech.isee.nagoya-u.ac.jp/>