

名古屋大学  
宇宙地球環境研究所  
技術部報告



平成 30 年度  
(2018 年度)

## 表紙写真

パラオ共和国 (Babeldaob 島; Ngarchelong 州) で運用した  
X 帯 (9 GHz) マルチパラメータレーダ (撮影: 民田晴也)

## 目次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| はじめに .....                 | 1  |
| ISEE 技術部報告会の開催報告 .....     | 2  |
| ISEE-JAXA 技術交流会の開催報告 ..... | 23 |
| 平成 30 年度 技術部の活動報告 .....    | 24 |
| 付録（学会など講演要旨） .....         | 32 |

## ISEE 技術部報告集の発行にあたり

平成 27 年 10 月、太陽地球環境研究所(STEL)、地球水循環研究センター(HyARC)および年代測定総合研究センター(CCR)が統合、宇宙地球環境研究所(ISEE)が発足、技術部は STEL の技術職員 9 名、HyARC から 2 名、CCR から 1 名の計 12 名でスタートしました。現在は全学技術センター共通枠(特定部局に属さない職員)の 1 名が加わり 13 名で構成されています。全学技術センターの組織では、12 名の職員が計測・制御技術支援室に、CCR の 1 名が分析・物質技術支援室に所属、ISEE の研究課題に技術貢献できるよう日々研鑽に励んでいます。

ISEE 発足 3 年目ですが、これまで技術部報告はなく、技術部の専門性と技術力の情報発信は不十分でした。年代測定研究部からは報告集が定期発行され、その中に技術職員の報告機会があります。しかし、全学技術センター計測・制御支援室所属の 12 名の職員の情報発信は十分ではありませんでした。全学技術センターでも名古屋大学技術研修会を定期開催していますが、プレゼン研修と技術職員のつながり強化の場としては有効ですが、研究者の皆様への情報発信としては不十分です。STEL では 2002 年度まで計 14 回の技術研修報告集を発行してきました。この報告集の再開を目標に、今年度、ISEE 技術部報告会を企画しました。技術部は必要とされる技術力の自己評価(的確・迅速な技術支援のための業務最適化)、研究者の皆様には技術職員の専門性を知っていただく機会となり、パートナーシップの強化、技術支援の質の向上につながれば幸いです。第 1 回技術部報告集には、初回技術報告会のまとめ、平成 30 年度の技術部活動報告を収録しました。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も必要であり、技術報告集の発行がその一助となることを期待します。

技術報告会では、所長リーダーシップ経費の支援を受け、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)との技術交流会を併催しました。JAXA ISAS 先端工作技術グループから技術者を招き、ISEE-ISAS 共同技術開発の将来性について、研究者の皆様のご意見を拝聴できる機会となればと思います。全学技術センターの技術職員キャリアパスでも他機関との人材交流による多様な業務経験と技術力向上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。ISEE-ISAS 共同研究、人と人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。

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

## 平成 30 年度技術部報告会の開催報告

平成 30 年度 ISEE 技術部報告会を以下のとおり開催しました。今回の報告会は、ISEE 所長リーダーシップ経費の支援を受け JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)との技術交流会を併催しました。ISEE から4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2件の講演がありました。参加者は約 30 名でした。

---

日時: 2019 年 2 月 12 日(火) 13:30~15:30

場所: 研究所共同館 1 号館 3F 講義室 (301)

### プログラム

13:30-13:40 民田 晴也 (ISEE 技術部)

趣旨説明

13:40-13:55 山崎 高幸 (ISEE 技術部)

「小型・ローコストな地上計測器の多点展開による衛星データの検証  
ーエアロゾルおよび二酸化炭素の計測器の開発と実測ー」

13:55-14:10 岡本 渉 (ISEE 技術部)

「ドローン計測の活用:人工衛星による地球観測データの検証および地球外惑星衛星の探査へ」

14:10-14:25 足立 匠 (ISEE 技術部)

「C14 年代測定のためのグラフィット自動生成装置の開発」

14:25-14:40 久島 萌人 (ISEE 技術部)

「ソフトウェア無線(USRP)を用いた小型レーダの開発」

14:40-14:55 鈴木 和司 (JAXA ISAS)

「JAXA 宇宙科学研究所での役割と仕事紹介」

14:55-15:10 中坪 俊一 (JAXA ISAS)

「JAXA 宇宙研先端工作技術グループの紹介と他大学との連携について」

15:10-15:30 総合討論

発表時間 15 分(発表 12 分+質疑 3 分)

---

# 小型・ローコストな地上計測器の多点展開による衛星データの検証

## —エアロゾルおよび二酸化炭素の計測器の開発と実測—

○山崎高幸<sup>A)</sup>、岡本渉<sup>A)</sup>、笹子宏史<sup>B)</sup>、松見豊<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> 名古屋大学 全学技術センター、

<sup>B)</sup>株式会社ささご、<sup>C)</sup>名古屋大学 宇宙地球環境研究所

### 概要

我々は小型でローコストな環境計測装置を開発し、広範な応用試験を進めている。PM2.5などのエアロゾルを観測する小型観測機器及び地球温暖化物質の二酸化炭素を観測する機器を開発・製作しておりこれまで国内及びアジア一円に設置している。地球環境などを観測する衛星はGOSAT、GOSAT-2、ひまわりなど日本でも打ち上げられ地球環境に関するデータが得られている。我々の小型環境計測装置は衛星の地球環境データの検証に非常に有用である。小型環境計測器の開発の状況および衛星データの検証利用について報告する。

### 1 はじめに

気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子をエアロゾル(aerosol)という。その中でも特に粒子直径が $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質をPM2.5と呼ぶ。PM2.5は煤煙や硫化物や硝酸化合物、スス粒子など主に人間活動で排出した物質に起因するものが多い。粒径が小さいため人間の呼吸器官にも影響を与えるため、健康上の被害を引き起こす事が問題である。我々はパナソニック(株)との共同研究により、手のひらに載る大きさの小型でリアルタイム計測の可能なPM2.5計測器を開発した[1]。大型のベータ線吸収装置との同時計測比較により、このセンサの精度の検証試験を行っている[2]。このセンサを応用した計測器を多数製作して設置を行なってきたので、衛星データの検証のための展開と、合わせて新規プロジェクトの二酸化炭素カラム濃度計測装置についての進捗について報告する。

#### 1.1 PM2.5の小型・ローコストな計測器の開発

宇宙地球環境研究所の我々のグループはパナソニックと共同開発したPM2.5センサを使って小型計測器を製作、これまで国内及びアジア一円に設置し、現地の協力者と共に観測を実施してきた。光源としてLEDを使い、微粒子に当てた散乱光より識別する手法を取り入れた小型センサである。図1の左下か



図1. 小型PM2.5センサ

ら入った微粒子は、LEDに照射されるが、その散乱光強度は粒子のおおきさによって異なる。信号ピークの閾値で粒子径を分別し、PM2.5の体積濃度および重量濃度を計算で求める仕組みである。大きさは5cm角に収まる手のひらサイズでこの小型センサは、パナソニックの空気清浄機用に組み込まれ量産されている。

このPM2.5センサを使った固定型の小型PM2.5計測器は図2のようにセンサはガラリをつけた金属Boxに収めている。一人でも運搬・設置が可能な大きさで、データはUSBケーブルを使って、ノートPC上のソフトウェアで収集する。1個当たりのコストはパソコンを含めても4万円程度である。設置し

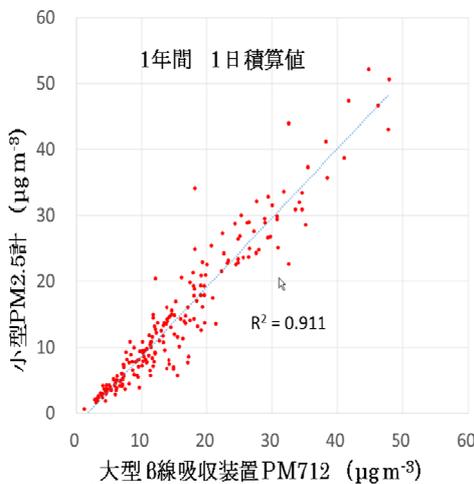
ている計測器は、数百万円～千万円の大型の装置と較べても十分な精度を持っている。図3はβ線の吸収の有無で微粒子の有無を計る大型装置と同時計測した時の写真である。センサの検証については大型のベータ線吸収装置と小型センサの比較を1年間観測し、同時に計った結果が図4のグラフである[3]。これらは東京都環境科学研究所の齊藤先生と名古屋大学の長田先生の協力を得て性能検証した。



図2. 固定型の小型PM2.5計測装置。PM2.5センサを格納したBoxとノートパソコンからなる。



図3. 大型β線吸収装置と小型PM2.5計の同時測定比較実験の様子



協力：斎藤伸治博士（都環境研）、長田和雄先生（名大）

図4. 大型β線吸収装置と小型PM2.5計の比較結果

## 1.2 設置

安価で小型なので国内・国外の様々な場所に設置することが可能である。図5にアジアでのこれまでの設置場所を示す[4]。著者の山崎も同行してベトナムやタイ、それにインドに設置作業を行い、現地の研究者とともに観測を行なっている。マレーシアやベトナムには岡本が設置して観測を行っている。これまで設置した場所は、図5に赤い点で示してある。今後青い点で示した、カンボジアやミャンマーメキシコへ、装置を設置して行く予定である。

我々のこの2年余のアジア各地への小型PM2.5計の設置の状況



図5. PM2.5計の設置状況

## 1.3 衛星データ検証

図6はベトナム理工科大学に設置した我々のPM2.5計測器のデータを赤線で示したものである。下の地図は、衛星データから計算で求めたAOD(Aerosol Optical Depth)という光学的厚みから大気エアロゾルの濃度を計算で求めたものである。こちらのハノイのエリアでとても高濃度な計算結果がでていますが、黄色の矢印で示した時間が衛星データマップの作成した時間であるがハノイのその場計測と比較して、実際に高濃度であることがわかる。このAOD地図はNASA(アメリカ航空宇宙局)が人工衛星で撮影した多波長の画像データから独自のアルゴリズムで算出したものである。それが正しいかどうかの検証にはその場計測装置を設置して測定しなくてはわからない。私達は計測器を多数展開して検証用のデータを提供する事が必要だと考えている。

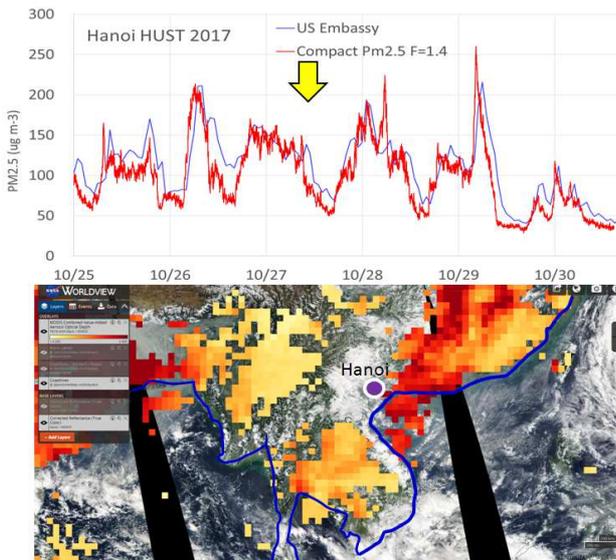


図 6. AOD で得られたマップと特定地点の計測結果

#### 1.4 PM2.5 のまとめ

高濃度な PM2.5 の健康影響が、発展途上国特にアジアで問題になっている。そして、衛星による全地球的に PM2.5 濃度の推定も行なっている。しかし、PM2.5 自体の特有の光吸収はないので、衛星から見た色々な波長の光散乱特性から PM2.5 の濃度を考案したアルゴリズムで推定している。我々は実測によりこのアルゴリズムの検証と改良が必要であると考えている。

## 2 二酸化炭素のカラム濃度の計測器の開発

二酸化炭素は大気中の温室効果ガスとして、最近の増加が問題視されている。そのため衛星での観測が各国で試みられている。大気中の二酸化炭素濃度は、衛星から太陽光の地球表面での反射・散乱光を見ることで、その往復に含まれる地球大気中の二酸化炭素のカラム量、すなわち光路中の積算量が計測できる。また、地球を周回するため、色々な場所の二酸化炭素量が計れるという利点がある。我々の装置は 400 万円程度と低コストであり、大気光路中の二酸化炭素カラム濃度の計測ができる。地上の我々が開発している装置は直接太陽を追尾して、地球の大気中の二酸化炭素スペクトルを観測しており精度も 1 ppm 程度と高精度である。図 7(A)のスペクトルは二酸化炭素の太陽光中の光吸収のシミュレーションによるものである。太陽からの放射中に水蒸

気や二酸化炭素スペクトルによる吸収線は多く存在する。太陽光自身も波長平坦な光ではなくて、地球の大気圏外でも太陽大気中の物質の光吸収のために構造を持つ。図 7(B)のスペクトルは、地球大気の外で得られる太陽光フラウンフォーファー線と呼ばれる太陽スペクトルである。実際地球の大気中には 0.04% (400 ppm) の二酸化炭素が存在するが、その吸収線があることでスペクトル形は図 7(C) のように変化する。計測値の導出はこのスペクトル中の二酸化炭素の光吸収の変化量をもて二酸化炭素の濃度を計算する。

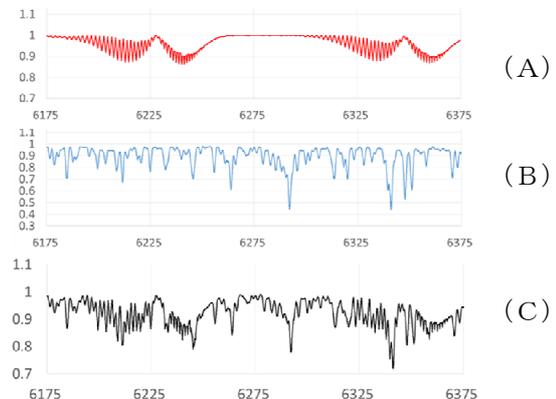


図 7. (A) シミュレーションによる二酸化炭素吸収、(B) 地球大気圏外のフラウンフォーファー線、(C) 二酸化炭素の吸収がある時の地上での太陽光スペクトル

### 2.1 製作

二酸化炭素 (気柱) 量を計測する地上設置の太陽光分光装置 を製作している。現在、研究所共同館屋上に設置して試験運用中である。図 8 に望遠鏡を内蔵した 1 辺の大きさ 50 cm の金属ケースとアクリルのドームを屋根に持つ全天型の太陽光導入装置を示す。小型望遠鏡は口径 40mm で横に視野カメラが付いておりこの視野カメラで太陽を自動追尾し太陽光を望遠鏡で 20m の長さの光ファイバに導入する。太陽光は階下の実験室の恒温槽内の小型の回折格子が入った分光器 (図 9) に入り、太陽スペクトル観測を PC で記録する。分光器は、Ocean Optics 社の 1 次元アレイ分光器を使っており、分解能は 1.0 cm<sup>-1</sup> で大きさは 18×11×5 cm でおおよそ 200 万円である。追尾用のカメラとステッピングモータ制御の経緯儀は、望遠鏡を朝東の方角を向けさせソフトにより常

に太陽を捉え太陽を捕獲し続ける。追尾ソフトウェア（図10）は太陽像を2値化し、太陽像を座標中心に保持し続けるように経緯儀を制御する。



図8. 太陽追尾装置

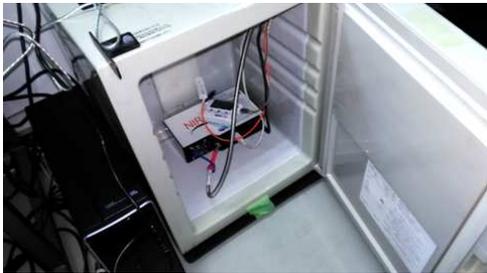


図9. 恒温槽に入れた分光器

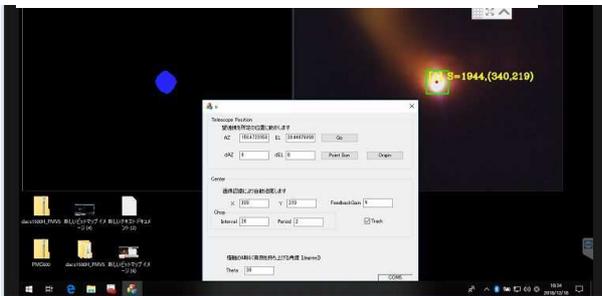


図10. 太陽追尾ソフトウェア

## 2.2 設置計画

3年掛けて、この太陽分光装置を多点展開します。今年度5台を用意する。設置場所は、名古屋、環境省、東京、及び南鳥島でありその後の計画が上手く行けば発展途上国や他の方法では観測困難な遠隔地に設置することを検討している。これにより衛星観測の検証や大都市の二酸化炭素排出状況のモニタリングまた地球温暖化対策の教育的な効果もある。二酸化炭素のその場計測器には非分散型赤外線分析計NDIRと呼ばれる装置が使われるが（精度は0.1~0.2 ppmと高精度）この測定装置は世界標準に合わせた二酸化炭素濃度既知の2-4本の標準ガスを試料

セルに流し、二酸化炭素濃度を較正するなど手間もコストもかかる。遠隔地では標準ガスの供給は難しい。我々の装置は低コストで、標準ガスなどは不要である。改めて我々の装置の特徴を以下に列挙する。

### ① 低コスト

大規模な望遠鏡や装置でなく予算が低く抑えられる事で今後多くのサイトへの展開が可能である。

### ② メンテナンスが殆ど不要

### ③ 二酸化炭素のその場計測器の測定よりも簡単 その場計測は標準ガスボンベが必要であるが、 遠隔地では供給が困難である。

## 3 まとめ

我々が作った小さくて、コストの安い利点のある装置を開発した。これらの装置を利用して、衛星データの検証に活かそうとしている。それが

- ・その場所の測定ができるPM2.5小型計測器
- ・自動追尾が可能な二酸化炭素のカラム濃度を計測するための太陽分光装置

である。これらは精度検証が終わりつつあるので、今後もこれらの装置を多数展開して衛星データの検証に役立てていく予定である。

## 4 参考文献

- [1] 川人圭子, 稲葉雄一, 細川満春, 渡部祥文, 中山智喜, 松見豊 (2015)「空気清浄機向け高精度PM2.5センサの開発とその評価」第56回大気環境学会年会
- [2] Nakayama, T., Matsumi, Y., Kawahito, K., Watabe, Y., 2018. Development and evaluation of a palm-sized optical PM2.5 sensor. *Aerosol Sci. Technol.* 52, 2-12.
- [3] 小型PM2.5センサの精度検証：ベータ線吸収計測器との同時計測：松見他 第34回JAAST
- [4] 小型PM2.5計測装置のアジアの8ヶ国への国際展開とその計測結果：松見他 第34回JAAST
- [5] 小型PM2.5センサーの製作：山崎他 第12回全学技術センター技術研修会 P3

# ドローン計測の活用：人工衛星による地球観測データの検証 および地球外惑星・衛星の探査へ

○岡本渉<sup>1)</sup> 山崎高幸<sup>1)</sup> 笹子宏史<sup>2)</sup> 松見豊<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学全学技術センター、<sup>2)</sup>株式会社ささご、<sup>3)</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所

## Abstract

In recent years, the progress of drones has been fierce, and it is used in many fields. Up to now, observation of the global environment was carried out by artificial satellites, aircraft and stationary stations on the ground. Drone exploration can complement these observations. It is also expected to lead to exploration outside the earth by survey of the underground cavities on the earth.

## 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が、装置の小型軽量性を活かしてドローンに搭載して上空の大気観測も行っている。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。また、火山の溶岩原やスコリア丘、カルスト台地や天然橋のドローン空中撮影を行ってきた。

現在では人工衛星及び航空機によるリモートセンシングによって上空からの精細な地表探査が可能であり、リアルタイムな情報が得られるので有益な情報を獲得できる。ドローンは今までの手法の利点に加え、今までにない新たな領域での観測手段として有用である。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。本発表では、日本国内及び海外で実施したドローンによる大気観測や地形探査の結果について報告する。

完成には程遠い。地形探査に関しても、単純に上空から平面的に2次元画像を撮影したり構造物の周囲を旋回するものは容易である。しかし、洞窟内や森林のような複雑な形状なものが対象の場合には、ドローンの開発を含め運用に多くの試行錯誤が必要である。

ドローンのプロペラが発生する気流は、周囲の空気をかく乱する。我々はドローンによる大気観測装置を5mほどの鎖で吊下げて行っている。このやり方はドローン自体が風に外乱に弱くなる問題もあるため、ドローンの上部からの空気取り込みも検討している。また、人間が行けない場所に観測装置を運搬する手法も開発中である。

地形探査に関しては森林におおわれた地形や構造物など検知するときに、いかに木々の影響を取り除くかが現在の課題である。



図1 ドローンによる衛星観測データ検証の利点 ①

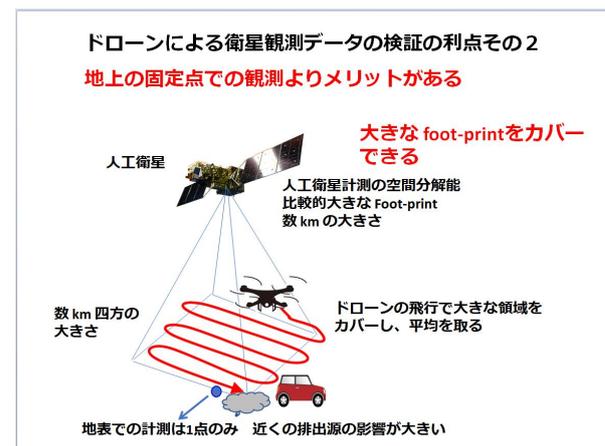


図2 ドローンによる衛星観測データ検証の利点 ②

## 2. ドローンの使用

ドローンは様々な分野で活用され始めている。ドローンによる大気観測も各国で行われているものの、まだまだ手法的にも

## 3. ドローンによる大気観測

ドローンには、何種類かの観測装置を吊り下げて使用している。大型のDJI Matrice600のペイロードは、最大約6kgである。

また、小型の DJI Phantom4ProV2.0 では最大 1kg 強のものが吊下げられる。



図3 焚き火の上を飛行する Matrice600

実際の大气観測を行う前にはテストが必要である。図3は、Matrice600でエアロゾル粒子径分布が計測可能な光学式パーティクルカウンタ OPC (重量 1.5 kg) を吊り下げて計測を行った。京都郊外でテストを行い、バイオマス燃焼を模擬した焚き火の上を飛行した。

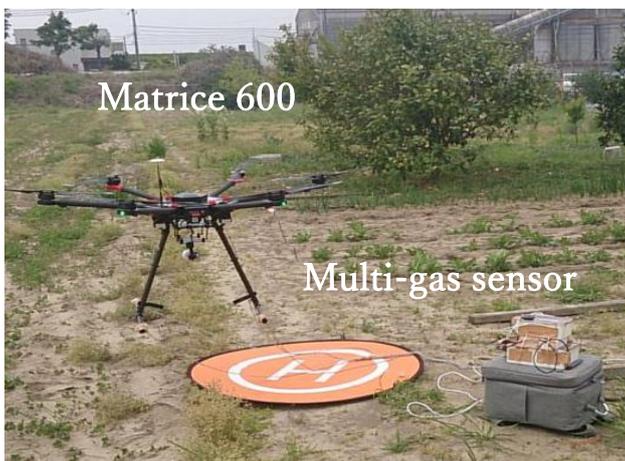


図4 Matrice600 と大气観測器

飛行を行うには、国土交通省、名古屋大学総長、各管理局の認可が必要である。練習のために名古屋大学東山キャンパスでも許可を得てドローンのテスト飛行を行っている。運動場トラックのほか、豊田講堂前も使用している。なお、2019年2月より農学部東郷フィールドでの使用も開始した。

2016年08月17日OPCゾンデ試験 名古屋港 高度別

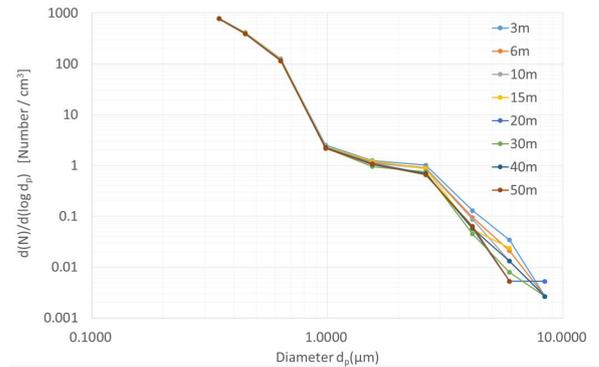


図5 ドローンに装着したエアロゾル計数機(OPC)による、エアロゾルの粒子径分布

名古屋港南5区で Matrice600 によって OPC を吊下げ、エアロゾルの粒子径分布の高度依存性を測った。大きな粒子が高度とともに減少していることが、図5より読み取ることが出来る。

この成果をもとに2016年8月に宇宙地球環境研究所の坪木和久教授とともに沖縄県多良間島でドローン観測を行い、海塩粒子と雲粒子生成の研究を行った。小型のドローンである DJI Phantom を用いて、我々とパナソニックで開発した小型の PM2.5 計測センサ[1,2]を搭載して、大气中の PM2.5 の大气中の高度分布を計測している。小型ドローンの場合は観測装置を軽量にするために様々な工夫を行っている。



図6 製作した多種類の大气成分を観測できるマルチガスセンサ CO<sub>2</sub>: NDIR, PM2.5: Optical Scattering CO, NO, NO<sub>2</sub>, Ox, SO<sub>2</sub>: Electro-Chemical Sensor

PM2.5 のみならず、電気化学センサー[3]による大气観測も行っている。使用している  $\alpha$ -sense の小型センサーは、通常の大气中での感度が実用に耐えられるものが CO 用のみである。しかし、火山ガスのような高濃度の場合は、NO, NO<sub>2</sub>, Ox, SO<sub>2</sub> 用も利用出来ると考えた。阿蘇火山の噴出口付近でドローン Matrice600 と図6に示すマルチガスセンサを用いて火山ガスの観測を行った。

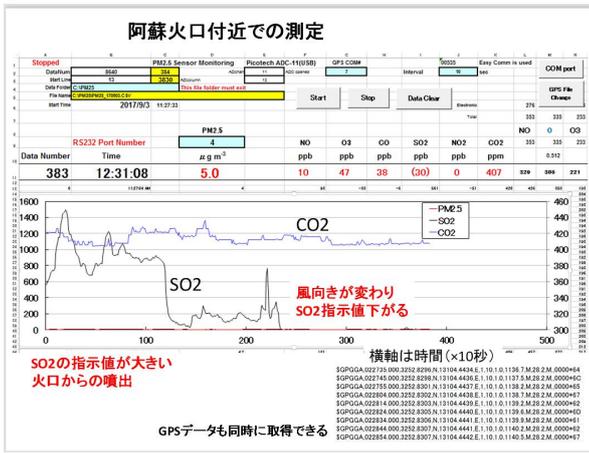


図7 阿蘇火口付近での測定。火口付近でSO<sub>2</sub>（亜硫酸ガス）が増大していることがわかる。

当日は火山口からの噴煙が風向きによって目まぐるしく変わる状況であった。SO<sub>2</sub>の測定値からも、噴煙の動く様子が観察できた。

#### 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。従来の枚数の少ないステレオペア画像を用いていた写真測量の発展形として SfM(Structure from Motion)がある。

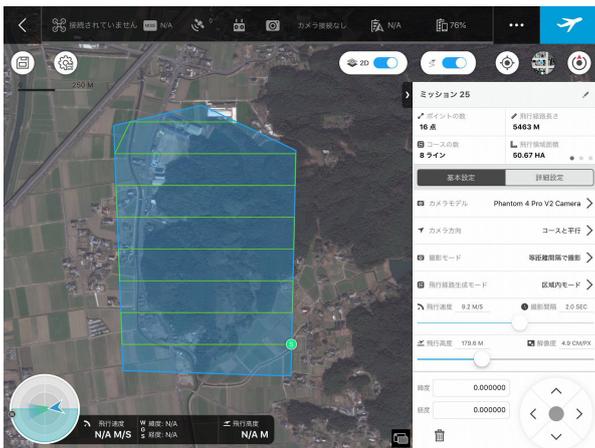


図8 ドローンによる自動飛行の設定

大量の撮影位置の異なるステレオペアを、写真の撮影位置と対象物の3次元形状を計算してデータを復元する技術である。さらに、写真測量の原理を応用し高密度な対応点を生成するMVS(Multi-View Stereo)と言う技術がある。

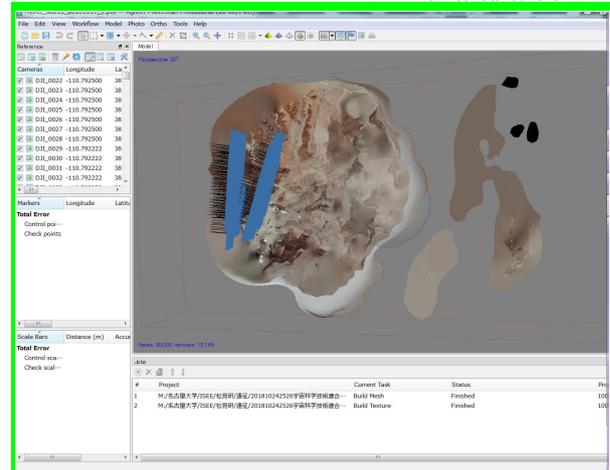


図9 ドローンによる3次元モデルの作製

現在は、このSfM-MVSを組み合わせ、作業が自動化されている。ドローンはGPSを利用し、マップ上であらかじめ決められたルートを自動的に飛行することが出来る。任意の地点で、決められた手順で撮影を行うことも可能である。これによって得られた大量の写真データを利用し、SfM-MVSにより地形の3次元モデルを生成出来る。



図10 秋吉台山焼きでの大気観測の様子

我々はインドネシアにおけるヘイズを探査する前段階として、山口県秋吉台の山焼きをドローン探査を行った。DJI Phantom4ProV2.0により、PM2.5測定器を牽引し噴煙の間を飛行した。



図11 秋吉台山焼きの3次元モデル

今回は大気観測と地形探査を同時に行った。現在は単機による観測なので、噴煙の流れなどを3次元情報で得ることが出来ない。製作した3次元モデルでも、噴煙は地表に張り付いてしまっている。複数機による連携などが今後の課題である。

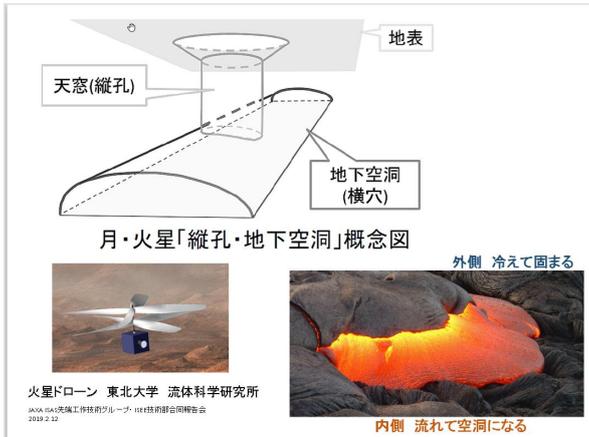


図12 縦穴、地下空洞の様子

地球外惑星・衛星において、近年相次いで縦穴、地下空洞が発見されている。非常に多くのものが存在すること予想される。



図13 秋吉台でのテストの様様

宇宙では放射線、隕石等が地表に降り注ぐ。人類が宇宙に進出した際、地下空洞を拠点とすることが欠かせないことになるであろう。もちろん地球上にも、縦穴、地下空洞は無数に存在する。ここで探査の手法を確立しておくことが、地球外での探査にも役立つと思われる。



図14 赤外線カメラの画像

ドローンによる探査のツールとして、赤外線カメラとレーザースキャナの運用を開始した。赤外線カメラは、2/3インチの素子に100mm, f1.6のレンズを装着している。Matrice600への搭載は手持ちジンバルを加工して行った。赤外線カメラは、地下空洞からの噴出物を観測するのに有効である。また、森林探査への応用も期待されている。

## 5. 展望

ドローンによる大気成分の観測は、衛星による地球環境観測データの検証に非常に有用であると考えられ、今後も衛星とともにドローン観測が発展すると考えられる。大気のある星ではドローンを使用することになるが、大気観測及び地形探査のシーケンスは地球上で行うものと大きく変わることがないと思われる。微小粒子やガス類の検出効率は、まだ地球上でも十分とは言えない。より高い検出効率、携行に適した小型化を地球上で進めていく。それに加え、地形探査はドローンのみならず、Roverとの連携、場合によっては水中ロボットとも連携していかなければならないと思われる。

## 参考文献

- 1) Tomoki Nakayama, Yutaka Matsumi, Keiko Kawahito & Yoshifumi Watabe (2017): Development and evaluation of a palm-sized optical PM2.5 sensor, Aerosol Science and Technology, DOI: 10.1080/02786826.2017.1375078
- 2) Ly Bich-Thuy, Matsumi Yutaka, Nakayama Tomoki, Sakamoto Yosuke, Kajii Yoshizumi, Nghiem Dung Trung, (2018) "Characterizing PM2.5 in Hanoi with New High Temporal Resolution Sensor", Aerosol and Air Quality Research,
- 3) Alastair C. Lewis et al. (2016), Evaluating the performance of low-cost chemical sensors for air pollution research, Faraday Discuss., 189, 85.

## C14 年代測定のためのグラファイト自動生成装置の開発

○足立 匠、児島康介、藤森 隆彰

ISEE 技術部（名古屋大学全学技術センター計測・制御技術支援室）

### 概要

タンデム加速質量分析計に用いる炭素試料の調整を自動化し、作業効率の向上と高純度な炭素試料の生成を目指す。化学洗浄済みの試料(主に年輪から抽出したセルロース)を燃焼させて二酸化炭素に変換し、キャリアガスと共に今回製作した C14 グラファイト生成装置へ導入する。入力された混合ガスは液体窒素トラップし、必要な二酸化炭素ガスのみを収集する。得られた二酸化炭素ガスとその 2 倍量の水素を反応管に充填、電気炉で加熱することによりグラファイトを生成する。

### 1 装置の主な動き

C14 グラファイト生成装置は、タンデム加速質量分析計で計測する炭素試料(グラファイト)を自動で調整する装置である。図 1 に装置の概要を示す。

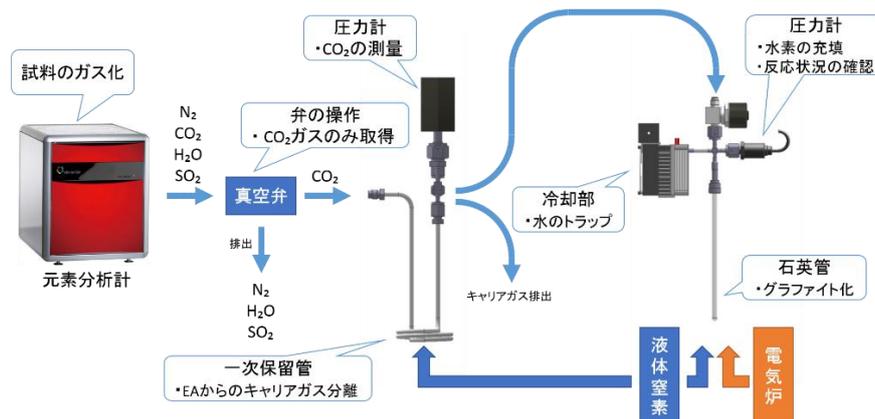


図 1. 装置概要

酸とアルカリで洗浄した試料を元素分析計で燃焼し、窒素、二酸化炭素、水、二酸化硫黄のガスに変化させる。それぞれのガスはキャリアガス(He)と共に時間差で排出される為、元素分析計の動きに合わせてガスの排出経路を変更、二酸化炭素ガスのみ装置内部へ取り込む。装置に入力された混合ガスは 1 次保留管(図 1 中央の渦巻き管)へ供給され、液体窒素トラップによって二酸化炭素のみを収集、キャリアガスはそのまま装置外へ排出する。

元素分析計からのガス排出が終了時点で、1 次保留管に取り付けられた圧力計で二酸化炭素量を計測する。その後、触媒(鉄粉)が入った反応管へ二酸化炭素を移動し、その 2 倍量の水素を充填する。

ガスの充填完了後、反応管を電気炉で加熱し二酸化炭素を水素で還元、グラファイトを生成する。グラファイト生成時に水が発生するが、その水分は反応管の冷却部で水をトラップする。

今回製作する装置(図 1)は、1つの 1 次保留管と 20 個の反応管で構成されており、最大 20 個のグラファイトを自動で同時生成を行うものを目標とする。

## 2 ハードウェア

### 2.1 C14 グラファイト生成装置の構造

C14 グラファイト生成装置は、配管、冷却ユニット、電気炉ユニット、液体窒素移動ユニット、ベースステージ、シーケンサ、各種電源で構成されている。ベースステージを装置全体の構造の基礎として、各ユニットを取り付けており、装置全体のサイズは縦 300[cm]、横 60[cm]、高さ 180[cm]である。

### 2.2 冷却ユニット

冷却ユニットはグラファイト生成時に発生する水をトラップするものである。図 2 にペルチェユニットを示す。

製作した冷却ユニットは、2つの異なる容量のペルチェ素子を使用しており、容量の小さいものを冷却側、容量の大きいものを放熱側に使用している。これは冷却側の排熱をすべて放熱側が吸熱できるように設計したためである。実際にペルチェ素子の組み合わせ、電源電圧など 8 パターンを試して、最も効率の良いモデルを採用した。冷却側のペルチェ素子にはアルミブロックと熱伝導グリスを介して反応管が取り付けられており、周りを断熱材で囲っている。放熱側のペルチェ素子は放熱板とファンが取り付けられており、吸熱した熱を外気へ排熱する。

冷却性能は室温 25[°C]の環境下で、1分で 0[°C]に到達し 8分で最低温度の-35[°C]まで冷却することができる。消費電力は 1台当たり約 54[W]で、20台同時稼働時は 1,080[W]程度である。

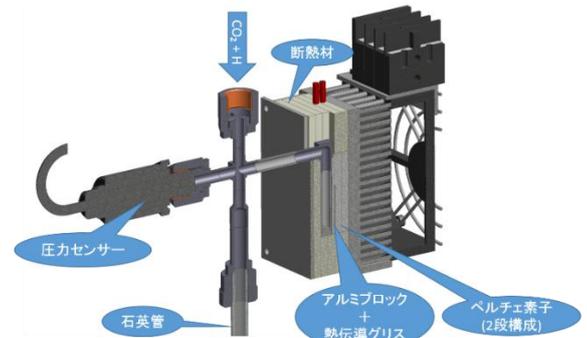


図 2.ペルチェ式冷却ユニット

### 2.3 電気炉ユニット

電気炉ユニットは、4つの電気炉と1つの電動スライダーで構成されている。図 3 に電気炉ユニットを示す。

電気炉ユニットは 1列タイプ(図 3 左)と 2列タイプ(図 3 右)があり、これらを組み合わせて 20 個の反応管の同時加熱を実現している。

電気炉は従来使用していた炭素試料調整器と同型の電気炉を使用しており、グラファイト化の加熱温度 650[°C]まで約 30[分]で昇温できる能力を持つ。

各電気炉に制御用温度センサ、電気炉を固定するアルミフレームに異常検知用の温度センサを取り付けている。このフレームの温度センサは、何らかの原因で電気炉が暴走した際に異常を検知する。一定以上の温度を検知した場合は、そのフレームに固定されている電気炉を緊急停止させるように設計している。

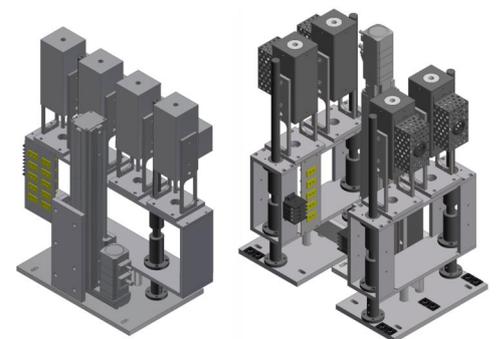


図 3.電気炉ユニット

### 2.4 液体窒素移動ユニット

液体窒素移動ユニットは、2つの電動スライダーの先端に液体窒素用のデュワー瓶を取り付けたユニットである。図 4 に全体図を示す。

デュワー瓶上部には、液体窒素の液面検出用温度センサ(K 対)を取り付けている。この温度センサと市販品の液体窒素供給装置の液面計の情報を元に、液体窒素供給装置のポンプを制御、液体窒素の自動供給を実現している。

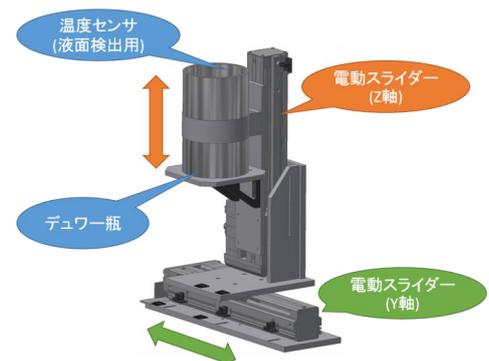


図 4.液体窒素移動ユニット

### 2.5 ベースステージ

ベースステージは全長 3[m]の電動スライダーである。図 5 に全体図を示す。

ベースステージのステージ上には、液体窒素移動ユニット 1 台と電気炉ユニット 4 台を取り付けており、1.5[m]の移動長を持つ。

このベースステージと各ユニットの電動スライダーを移動させることで、1 次保留管及び 20 個の反応管の冷却と、20 個の反応管の同時加熱を実現している。

ベースステージ下部には液体窒素、電気炉各電動スライダーに関するシーケンサモジュールや制御回路を納めている。

また、このベースステージは C14 グラファイト生成装置の基礎部分としての役割も担っており、図 6 のようにベースステージ上部に配管や、装置全体を管理するシーケンサ本体、各種電源を取り付けている。

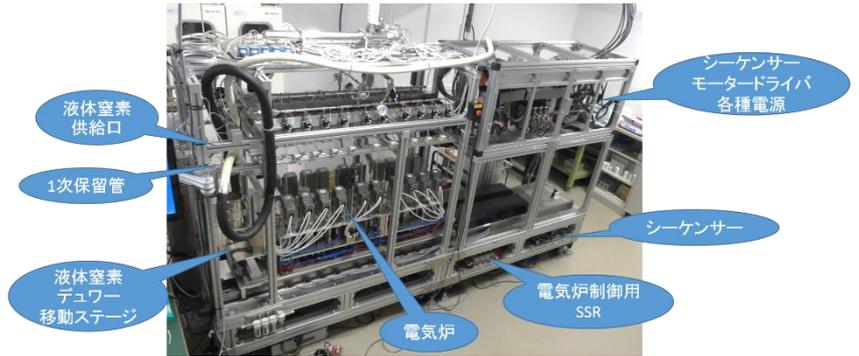
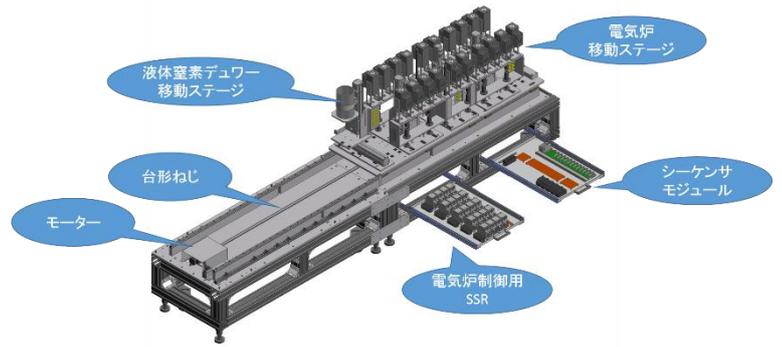


図 6.C14 グラファイト生成装置

### 3 制御部

C14 グラファイト生成装置には、シーケンサと制御用 PC の 2 つの制御部が存在する。図 7 に概要図を示す。シーケンサは主に制御対象と制御用 PC の間を取り持つインターフェースの役割と、制御対象の安全管理を担当している。制御用 PC はグラファイト化のプロセス管理やユーザーとのやり取りを担っている。

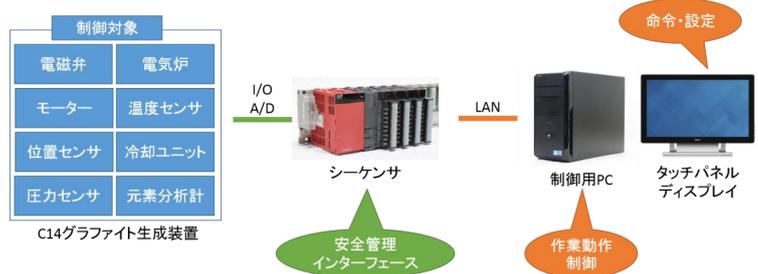


図 7.制御部概要

#### 3.1 制御用 PC

制御用 PC には Visual C#で製作した制御アプリケーションがインストールされており、ユーザーはタッチパネルディスプレイを介してこのソフトウェアを操作する。図 8 に制御アプリケーションを示す。

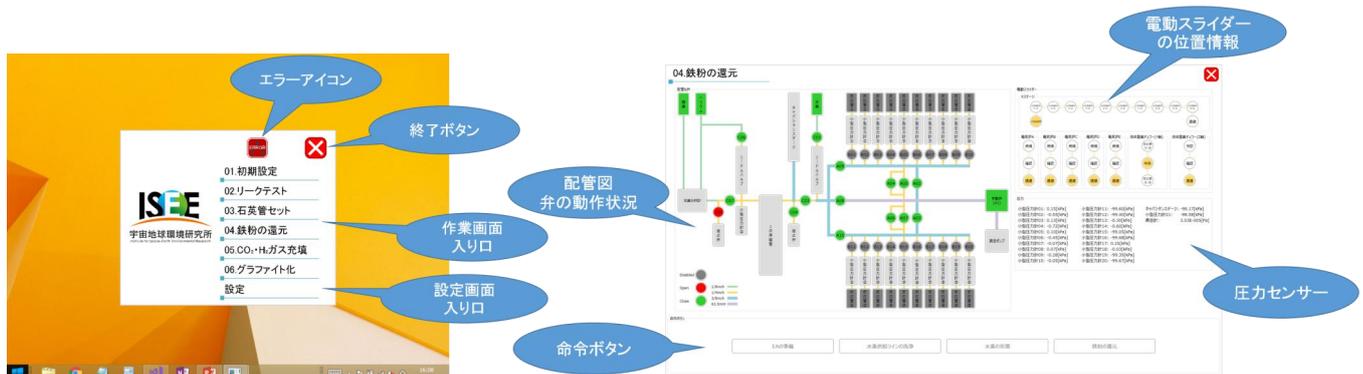


図 8.制御ソフトウェア

制御アプリケーションは、スタート画面(図8左)、作業画面(図8右)、設定画面の3つの画面で構成している。ユーザーはスタート画面から必要な作業画面を呼び出し、命令ボタンを操作してC14 グラファイト生成装置を操作する(図9)。

作業中は、現在行っている作業内容を表示する画面が新たに表示され、ユーザーにより詳しい動作状況を知らせる。また、右下には緊急停止スイッチが表示され、この部分をタッチすることで装置を安全に停止させることができる。

制御アプリケーションにはログ機能が備わっており、自動でシーケンサの入出力、A/D、レジスタ、エラーの全情報を記録する。これにより、後からでもグラファイト生成の過程やエラーの原因調査などを調べることができる。

#### 4 シーケンサ

シーケンサには I/O や AD、温度調節などのインターフェースモジュールが取り付けられており、全ての制御対象はそれらのモジュールを介してシーケンサ本体に接続されている。また、制御用 PC とシーケンサ本体は LAN ケーブルで接続しており、MC プロトコル(三菱電機製の PLC 専用通信方式)で通信している。MC プロトコル通信は、外部から I/O や A/D、内部レジスタにアクセスできる通信であり、外部からシーケンサに命令を送信して、シーケンサが応答する形で通信を行う。

作成したシーケンサ用プログラムは、命令受信用レジスタを設けており、このレジスタにパソコンから値を書き込むことにより、命令を受信し制御対象を操作する。しかし、レジスタの内容が設定可能範囲外の値や、危険を伴う内容の場合はその命令を実行しない。

また、シーケンサには緊急停止ボタンが接続されており、このボタンを押した場合は、緊急停止処理が実行される。この緊急停止処理は、他のグラファイト生成の作業プログラムとは異なり、シーケンサ用プログラムに記述されている。この意図は、何らかの原因で制御用 PC が使用不可能になった場合でも、安全に装置を停止させる為である。

#### 5 まとめ

タンデトロン加速器質量分析計に用いる炭素試料を自動で生成する装置を組み上げ、制御用プログラムを作成した。現在、シーケンサ及び制御アプリケーションの動作確認を行っており、不具合の修正や必要な機能の追加を行っている。

今後の予定は、実際の使用者を交えてグラファイト化を行い、使用者の希望する機能強化及びハードウェア・ソフトウェアの調整を行っていく予定である。

#### 謝辞

本プロジェクトを進めるにあたり、リーダーシップ経費(2014~2017)、年代測定センター科研費分担金、授業料から多大な支援を頂きました。また、増田先生、三宅先生をはじめ、多くのご指導して頂きました方々にも厚くお礼申し上げます。



図9.作業中の様子

## ソフトウェア無線（USRP）を用いた小型レーダの開発

○久島萌人（ISEE 技術部）、高橋暢宏（ISEE 飛翔体観測推進センター）、民田晴也（ISEE 技術部）

### 概要

小型衛星搭載を目指したレーダの開発を目指し、ソフトウェア無線（USRP）を活用して基礎実験、技術情報の収集を行うプロトタイプの開発を行っている。今回は USRP の紹介と、USRP とオープンソースのソフトウェア無線ツールキットである GNU Radio を用いて FM ラジオ受信機、スペクトルアナライザを製作したのでその内容を報告する。

### 1 ソフトウェア無線

ソフトウェア無線（SDR : Software Defined Radio）とは、無線通信システムの機能をハードウェアは変更せず、ソフトウェアあるいはプログラマブルなハードウェアを使用して、様々な方式に対応できる無線通信システムやその通信技術のことである。一般的にソフトウェア無線機は、AD コンバータ、もしくは、DA コンバータを実装した RF フロントエンド部分と、一般的な PC もしくは DSP/FPGA など、再構成可能なハードウェアからなるベースバンド信号処理部分で構成される。

メリットとして、従来の電波送受信装置においてハードウェアで行われていた信号処理のほとんどをソフトウェアで行うため、動作するソフトウェアを切り替えるだけで自由に無線機的设计が変更可能であることが挙げられる。

### 2 USRP

USRP は Universal Software Radio Periferal の略であり、ソフトウェア無線のハードウェア部分を担当する無線信号入出力モジュールである。Ettus Research 社その他より販売されている[1]。オープンソースハードウェアとして回路図や FPGA プログラムが公開されており、主に無線の送信、受信に関する AD、DA、間引き等の定型的な処理を行う。内部基盤はマザーボードとドーターボードから構成され、全ての周波数帯の送受信で共通のマザーボードを使用する。ドーターボードはアンテナから入ってきた電波を中間周波数に落としたり、マザーボードから送られてきた信号を送信周波数に上げたりする。ドーターボードを交換すると送受信の対応周波数を変更することができる。今回使用した USRP N210 は使用するドーターボードにより異なるが、DC-6[GHz]の周波数に対応可能である。AD,DA の性能は AD は 100[MHz],14[bit]、DA は 400[MHz],16[bit]であり、送信出力は 15[dBm]である。また、FPGA には Spartan 3A-DSP 3400 が搭載されており、PC との通信は Gigabit Ethernet Interface を使用している。USRP N210 のフロントパネルと内部基盤を図 1,2 に示す。



図 1. USRP N210 フロントパネル

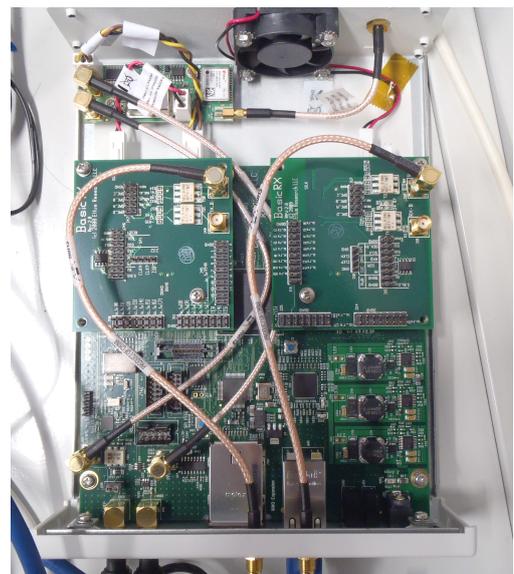


図 2. USRP N210 内部基盤

### 3 GNU Radio

GNU Radio はソフトウェア無線のソフト部分を担当し、USRP の制御、無線機能を実装するためのツールキットである。GUI による開発が可能で、はじめから C++ で記述された基本的な信号処理ブロックが用意されており、このブロックを組み合わせて Python で接続することで様々な無線機が構築できる。また、自分で必要なブロックを開発することも可能である。GNU Radio は Windows, Mac, Linux の OS を問わず使用可能である。

### 4 FM 受信機の製作

前述の GNU Radio を使用し、USRP にスペクトルアナライザと FM ラジオ受信機を実装した。処理の流れは図 3 に示すブロック図の通りで、USRP の受信から 10[MHz] のサンプリング周波数で AD 変換を行いスペクトルを表示する。それと平行して、75[kHz] のローパスフィルタを通してから FM 復調を行い、最終的には 48[kHz] の音声信号として PC のスピーカーに出力する。また、各ブロック間でサンプリング周波数のマッチングが必要になるため、適宜データの間引き・補間処理を行っている。

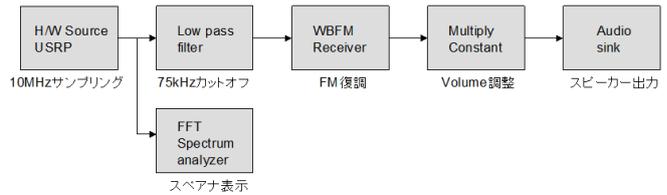


図 3. スペアナ、FM ラジオ受信機ブロック図

この FM 受信機を実装した際の GNU Radio の開発画面と受信したスペクトルを図 4 に示す。これにより FM ラジオ 4 局が確認でき、各々のピークに中心周波数を合わせると実際にラジオ放送が聞こえることを確認した。また、ラジオ放送局の占有帯域幅が 200[kHz] であることもスペクトルから確認できた。

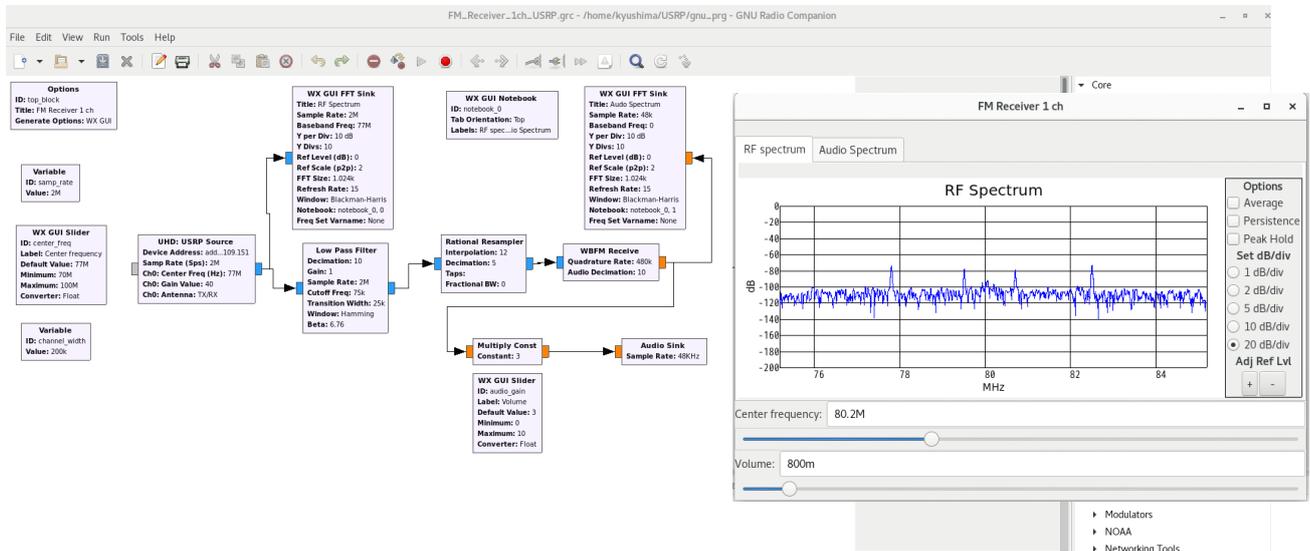


図 4. GNURadio 開発画面と受信波のスペクトル

### 5 まとめ

USRP と GNU Radio を用いて FM ラジオ受信機を製作しソフトウェア無線の動作確認を行った。今後はアクティブレダの開発を目指し、送信部とデータ処理部の開発を進めるとともに、高周波 (40[GHz] 程度) に対する性能試験も行っていく予定である。

### 参考文献

[1] Ettus Research <https://www.ettus.com>

## 宇宙科学研究所での役割および仕事の紹介

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

近年、様々な観測衛星および観測ロケットの打ち上げ運用が社会的なニュースとなっている。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月より勤務し、宇宙開発の一端を担っている。

本報告では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

先端工作技術グループはグループ長1名、正職員1名、招聘職員1名、任期付招聘職員1名、派遣職員6名で構成されている。工作機械は、先端科学実験棟の1階にはNC制御の工作機械が設置され、3階では汎用工作機械が置かれている。筆者は3階において主に機械加工をしている。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、学生および研究者が自由に加工作業をできるような作業スペースとなっている。そのため、工作室使用者に対し、年に4回ほど安全教育講習を行っている。この講習を未受講の場合は工作機械を使用する作業は行えない。安全講習の受講者でも工作機械の初心者であり、その都度安全な機械操作および作業方法を教えている。他にも使用用途を聞いた上で、材質、形状などの変更をアドバイスすることもあり、より確実性の高い実験方向への手助けとなっている。

時には寸法間違い、部品追加などの緊急性の高い加工も必要となるため、工作機械の使用状況も把握する必要がある。

学生および研究者からの製作加工の依頼だけでなく、設計、製図を必要とする場合があった以上に多いと感じた。

また、同階にあるエレクトロニクスショップにも電気電子関係のパーツも在庫管理しており、実験試作用部品等を用意している。この部屋はカードキーにより24時間入室が可能となっている。

## 3. 依頼された仕事例

## a) 振動試験用治具

ロケットおよび衛星搭載機器は振動試験が必須であり、部品、装置、組上げ後には必ず行われる。そのため振動試験機に対するの取付治具の製作が頻りに依頼される。治具は垂直と水平の2方向が必要となる。図1は垂直振動を与えるための治具の一例である。図の下側の座グリは試験機に取付けるボルトの締付けが容易なように大きくなり抜き加工を施した。

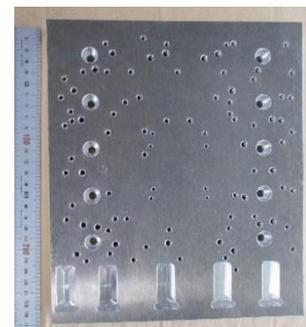


図1 垂直振動試験用治具

b) ICF152配管への計測器取付台

図2は依頼者のスケッチから設計変更し製作した例である。

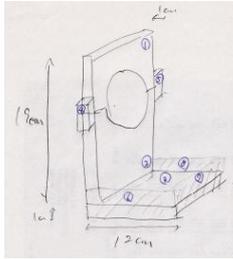


図2-1 当初依頼スケッチ

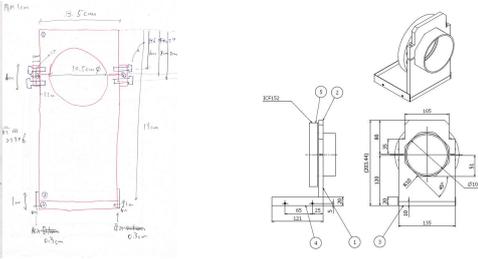


図2-2 設計変更図



図2-3 配管取付状態

図2 依頼から設計変更し製作した例

c) パイプへの小径穴あけ加工

ステンレス製パイプ（外径3mm肉厚1.3mm長さ1m、39本）に100mm間隔で図3のように直径0.5mmの穴加工をNCフライス盤AEV-74（牧野フライス製）を使用し穴あけサイクルにより加工した。工具はATOM ADR-SUS-0.5（サイトウ製作所製）を使用した。1本のドリルを使用し、100個の穴あけ加工が可能であった。

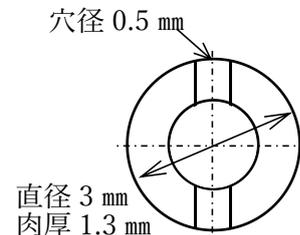


図3 ステンレスパイプの小径穴あけ加工概要

d) タングステン板の穴あけ加工

破損タッブ除去装置（ジグテック F1000（東放電株式会社製））を利用し、板厚0.05mmタングステン板の四隅に直径2mmの穴を開け、ワイヤ放電加工機により直径3mmにする。

タングステン板をアルミ製の板で挟み、アルミ板に精度よく2mmの穴を加工した。アルミ板の穴に電極を合わせ放電加工より穴あけを行った。



図4 タングステン板の穴あけ加工

e) X線反射鏡用ミラーテスト治具

図5にX線反射鏡テスト治具を示す。断面形状は図5-1である。スリット部の材質はテフロンでありスリット幅は1.5mmである。

スリット形状は幅1.5mmのメタルソーを使用し、立てフライス盤により加工した。

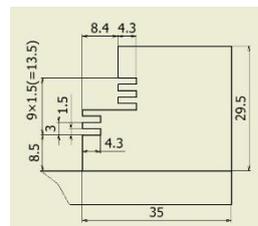


図5-1 スリット断面形状

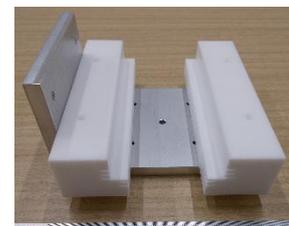


図5-2 X線反射鏡テスト治具組立状態

図5 X線反射鏡テスト治具

f) 熱輻射測定モデル用アルミパイプ加工 (図6)

外径 150 mm 肉厚 10 mm のアルミ製パイプを肉厚 2 mm まで薄くし、両端に直径 1 mm の穴を 4 個ずつあける加工である。パイプ加工は 6 尺旋盤を使用しパイプ両端の中子をチャックと心押し台にてパイプを保持し肉厚を切削した。穴あけはフライス盤上の割り出し盤に取付け 4 分割の穴を加工した。



図 6-1 アルミパイプの旋削加工



図 6-2 アルミパイプの穴あけ加工 (右側が割り出し盤)

図 6 熱輻射測定モデル加工

g) コーナーキューブの保持器

コーナーキューブを装置に組み込むための保持器を図7に示す。コーナーキューブは直径 25.4 mm でエドモンドから購入したものを使用する。三角錐を保持する部分の形状は少々複雑で、3DCADにより寸法を算出した。保持部分の形状はNCフライス盤で加工した。

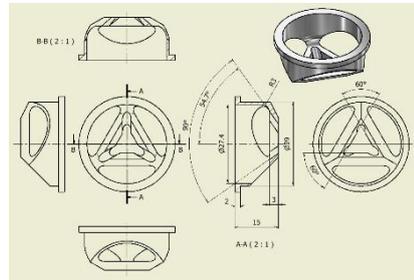


図 7 コーナーキューブ保持器

h) 極低温熱絶縁用部品

極低温における熱絶縁用の支柱 (図8-1) の右側ネジ部が締付け時に破損したため PEEK 材料で同形状のもの製作依頼があった。しかし締付け方法などの使用状況を確認し同じ形状ではなく図8-2のような両端ともメネジの形状とし、円筒途中に六角形状にすることとした。

図8-3は製作した PEEK 材料と右端がベスペルのもので破損した部品を再加工したものである。

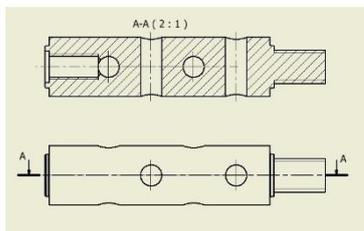


図 8-1 依頼時の熱絶縁用支柱

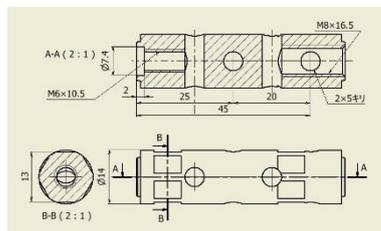


図 8-2 設計変更後の支柱



図 8-3 製作後の支柱 (右端がベスペル)

図 8 極低温熱絶縁用部品

4、おわりに

筆者は宇宙科学研究所には25年以上前に赤外線天文観測ロケット関係(S-520)で、実際にこの工作室で加工を行っていた。もちろん機械の配置は大きく変化しているので雰囲気としては新鮮な感じである。また個人的な驚きは、この工作室以外に宇宙研の赤外天文部門が所持している小さな工作室に行った時、設置してある旋盤、フライス盤およびボール盤を見て、使用したことがあることを思い出したことである。

宇宙研での作業は名古屋大学において経験してきた内容が非常に役に立っている。それは実験の使用条件に合った装置設計(使用温度および圧力条件など)への対応だけでなく、加工形状および加工方法にまで関係している。

しかしながら、同じ機能の機械でも使用したことのない工作機械は操作に慣れるまで少し慎重になりすぎてしまう傾向がある。

ISAS/JAXAは組織的に巨大であり、当たり前ではあるがさまざまな規則規律を遵守しなければならぬため、例え派遣社員でもeラーニングにより意識の共有を得ている。

最後に、宇宙研で約1年間仕事をしてきて感じたことは、「宇宙関係の仕事は面白い」ということである。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。

## JAXA 宇宙研先端工作技術グループの紹介と他大学との連携

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 中坪俊一

## 1. はじめに

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は2003年に宇宙開発事業団（NASDA）、航空宇宙技術研究所（NAL）、宇宙科学研究所（ISAS）の3機関が統合し発足した。

統合後、予算・人員の削減が進み国立大学同様に宇宙科学研究所と航空宇宙技術研究所にあった工作室も職員が削減され縮小方向であった。しかし、宇宙科学ミッションへの即応性、基礎研究への支援、限られた予算の中で試行錯誤をする機会を増やす、いわゆるフロントローディングを進めるべく2016年に宇宙科学研究所内に先端工作技術グループが発足した。

## 2. 先端工作技術グループ

グループは宇宙科学実験棟（D棟）の1、3、4階に居を構えている（写真1）。建物の3階にある工作室は、文部省宇宙科学研究所が駒場から現在の相模原に移転した時からあり、主に利用者自らが加工をおこなう工作室（3F工作室）である。この他、最新鋭のNC工作機械により試作開発に重点を置く工作室（1F工作室、写真2）、電気・電子部品を供給し技術支援を行うエレクトロニクスショップ、デバイス開発を主とするクリーンルームの管理を行う宇宙ナノエレクトロニクスルーム（ナノエレ室）からなる。



宇宙科学研究所の建物全体（写真1）

グループ発足以前、3F工作室は他部署である基盤技術グループに属し、ナノエレ室は複数の研究室での共同管理であったが、“先進的なものづくり、宇宙機器開発への貢献”をテーマに掲げ研究所内の工作部門を統合しグループを発足させた。

発足時の構成員は、国立天文台からクロスアポイントメントで招聘されたグループ長1名と、デバイス開発を担う任期付招聘職員1名、3F工作室・エレキショップの維持管理を行う派遣社員（当社ではパートナとよぶ）3名と派遣事務職員1名の計6名であった。現在は、グループ長1名、正規職員2名、国立大学からの招聘職員2名、任期付き招聘職員1

名、技術支援パートナ5名、事務支援パートナ1名の12名（2019年4月1日現在、未補充者分含む）で活動をおこなっている。

### 3. グループの運営および設備

グループは、その管理・運営・予算の点から、工作室とナノエレ室それぞれに運営委員会を設置している。筆者は工作室の所属であるため、本報告書では工作室について紹介する。

工作室運営委員会委員は研究所内の教員3名と外部委員1名、グループ長および正規職員で構成され、管理・運営の改善や方向性の確認など我が社がグループへ求めるもの素早く取り入れている。また、工作室には当研究所と技術連携協定を結んでいる大学から技術職員を招聘している関係から、運営委員会以外に技術連携協定に関する委員会の場においても当グループの運営に関する報告を行い技術交流・人事交流への理解を得ている。

なお、日常的な業務においては管理職であるグループ長のもと、正規職員・パートナが一丸になってグループ活動・運営にあたっている。

工作室の設備はグループ設置前に準備検討委員会を立ち上げ、そこでの調査をもとに社内ニーズを網羅する精密NC工作機械・測定機を選定した。1F工作室は5軸マシニングセンタ、5軸複合旋盤、ワイヤー放電加工機、NCフライス盤、大型NC旋盤そして接触型3次元測定機を備えた。また、これらの多くの工作機械を設置した床基礎は建物建設時の実



1F 工作室（写真2）

験室仕様になったままであったことから、工作室準備段階から床工事とクレーン設置などインフラの重点化を先行しておこなった。結果的にこれらの策が功を奏し、ミクロン単位の高精度仕上げ加工が実現できるようになった。

### 4. あとがき

筆者は、2年前まで北海道大学低温科学研究所において約30年間、いわゆる教室系技術職員（工作系）として勤務していた。

JAXAに転職し、これまで培ってきた経験を生かしながら宇宙関係の機器開発というキーワードをもとに、ISEEをはじめ機器開発を担っている技術者や工作室を保有している全国の国立大学と連携しながら人事交流・技術交流を推進してゆきたい。

最後に名古屋大学宇宙地球環境研究所技術部報告会において当グループの紹介をさせていただいたことに感謝し、この場を借りてお礼申し上げます。

## 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12日)に合わせ、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS) 先端工作技術グループ(AMTG)の技術者2名を招き技術交流会を併催しました(旅費はJAXA負担)。交流会はISEEとJAXA ISASでの共同機器開発を探る意見交換が目的であり、年度末のお忙しい中、約10名のISEE研究者の皆様にご参加いただくことができました。JAXA ISASは全学技術センターの交流先としても期待でき、装置開発および計測・制御技術支援室に開催を周知、約10名の参加がありました。

交流会では、名古屋大学理学部装置開発を定年退職、ISEE技術部で技術補佐員として活躍された鈴木氏が、平成30年度より、活躍の場をJAXA ISAS AMTGに移し、名古屋大学で培った技術力をISASで発揮、重宝されている話を聞くことができ名古屋大学技術職員として励みとなりました。また、AMTGの責任者である中坪氏から、AMTGの創設目的と組織・設備紹介に加え、これまでの教育機関との技術(人材)交流、共同研究・共同プロジェクトの実例をご紹介いただきました。中坪氏の質疑応答の時間を総合討論に充て、実務を伴う技術交流の実現方法の議論を目論んだのですが、進行役の時間配分が不十分で討論の時間が短くなり、ISEE研究者の皆様と十分な意見交換をすることが叶いませんでしたが、今後、ISEE-ISASの技術交流の可能性やあり方を考える機会につながれば幸いです。

交流会当日の午前中に、飛翔体観測推進センター長からお時間をいただき、ISEE-ISAS技術交流に関するISAS側の趣旨説明、技術協力が可能な分野と手法について個別の意見交換を行いました。



【写真】 交流会の様子

左上：鈴木氏による AMTG での業務紹介

右上：中坪氏による AMTG 構成の紹介

下：会場の様子



**ISEE 技術部**  
**平成 30 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。平成30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    |
|--|-------------------------|-------------------|-------|
| Verilog-HDLによるLSI(FPGA)開発技術            | 中部職業能力開発促進センター（一宮）      | H30.07.04 - 07.06 | 足立 匠  |
| 東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修(電気・電子コース)       | 豊橋技術科学大学(豊橋)            | H30.08.29 - 08.31 | 児島 康介 |
| 電気・機械技術者のための計測・制御実践技術-プログラム開発編(VB2015) | 中部職業能力開発促進センター（一宮）      | H30.09.26 - 09.28 | 藤森 隆彰 |
| 電気・機械技術者のための計測・制御実践技術-GUI 開発編(VB2015)  | 中部職業能力開発促進センター（一宮）      | H30.10.10 - 10.12 | 藤森 隆彰 |
| CKD 空気圧システム技術セミナー                      | 金沢勤労者プラザ(金沢)            | H30.11.07 - 11.09 | 児島 康介 |
| 放射線安全管理講習会(法定講習)                       | 大阪科学技術センター(大阪)          | H30.11.14         | 池田 晃子 |
| アーク溶接特別教育                              | 住友建機教習所<br>愛知教習センター（刈谷） | H30.12.05 - 12.07 | 藤森 隆彰 |
| 低圧電気取扱特別教育                             | 住友建機教習所<br>愛知教習センター（刈谷） | H31.02.11 - 02.12 | 川端 哲也 |

## 実習講師・指導

| 実習・講演題目  | 開催場所                          | 期間                        | 氏名                      |
|--|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 名古屋大学博士課程リーディングプログラム・フロンティア宇宙開拓リーダー養成プログラム・ものづくり講習会”実装技術実習”      | 宇宙地球環境研究所<br>209号室,工作室(101号室) | H30.05.23 - 24            | 児島 康介<br>丸山 益史<br>山崎 高幸 |
| 名古屋大学博士課程リーディングプログラム・フロンティア宇宙開拓リーダー養成プログラム・ものづくり講習会”プリント基板加工機実習” | 宇宙地球環境研究所<br>209号室,工作室(101号室) | H30.06.12 - 15<br>(2日間選択) | 川端 哲也<br>藤森 隆彰<br>足立 匠  |

## 学会・研究会などでの技術報告（筆頭発表のみ；講演要旨を付録に収録）

| 名称  | 開催場所                           | 期間                | 氏名          |
|---|--------------------------------|-------------------|-------------|
| 日本地球惑星科学連合(JpGU) 2018 年大会                           | 幕張メッセ(千葉)                      | H30.05.20 - 05.24 | Okamoto, W. |
| 日本地球惑星科学連合(JpGU) 2018 年大会                           | 幕張メッセ(千葉)                      | H30.05.20 - 05.24 | Okamoto, W. |
| <i>Changing Environment and healthy generations</i> | 台湾大学 (台北)                      | H30.06.21 - 06.25 | Okamoto, W. |
| 第 35 回エアロゾル科学・技術研究討論会                               | 名古屋大学(名古屋)                     | H30.07.31 - 08.02 | 山崎 高幸       |
| 第 62 回宇宙科学技術連合講演会                                   | 久留米シティプラザ(久留米)                 | H30.10.24 - 10.26 | 岡本 渉        |
| 日本気象学会 秋季大会   | 仙台国際センター(仙台)                   | H30.10.29 - 11.01 | 民田 晴也       |
| <i>International SETI conference</i>                | Univ. Santa Dharma (Indonesia) | H30.11.10 - 10.15 | Okamoto, W. |
| 日本気象学会中部支部 支部研究会                                    | 三重大学 (津)                       | H30.11.29 - 11.30 | 民田 晴也       |
| 第 14 回名古屋大学技術研修会                                    | 名古屋大学 (名古屋)                    | H31.03.01         | 川端 哲也       |

## 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 18G051）<br>”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   |
| ISEE 所長リーダーシップ経費<br>” JAXA 宇宙科学研究所先端工作技術グループとの技術交流”   | PI: 民田晴也   |
| JAXA 降水観測ミッション(PMM)第 8 回研究公募<br>”衛星降水アルゴリズム改良に資する全球降水データプロダクトの相互比較研究”<br>(H28-H30)                | PI: 増永浩彦 (ISEE)<br>CI: 民田晴也                            |
| 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 『レジリエントな防災・減災機能の強化』<br>”レーダ等の開発・活用による豪雨・竜巻予測情報の高度化と利活用に関する研究”<br>(H26-H30) | PI: 高橋暢宏 (ISEE)<br>CI: 民田晴也<br>(CI 多数;技術部から 1 名)       |
| ISEE 所長リーダーシップ経費<br>”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)<br>CI: 久島萌人、民田晴也                       |
| 国立天文台先端技術センター・共同開発研究<br>”ミリ波・サブミリ波帯直列接合型 SIS 素子の開発” (H26-H30)                                     | PI: 中島 拓 (ISEE)<br>CI: 藤森隆彰<br>(CI 多数;技術部から 1 名)       |
| 国立研究開発法人 情報通信研究機構 共同研究契約<br>”次世代テラヘルツ帯導波管回路素子の基礎開発”(H29-H31)                                      | PI: 水野 亮 (ISEE)<br>CI: 児島康介、藤森隆彰<br>(CI 多数; 技術部から 2 名) |

## 論文 (Article, Letter, Technical report など)

1. Nozawa, S., **T. Kawabata**, K. Hosokawa, Y. Ogawa, T. T. Tsuda, A. Mizuno, R. Fujii, and C. M. Hall, 2018: A new five-wavelength photometer operated in Tromso (69.60N, 19.20E), *Earth Planets Space*, **70**, 193, [doi:10.1186/s40623-018-0962-x](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0962-x). (査読有)
2. Oyama, S., T. T. Tsuda, K. Hosokawa, Y. Ogawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, A. E. Kero, R. Fujii, Y. Tanaka, A. Mizuno, **T. Kawabata**, B. Gustavsson, and T. Leyser, 2018: Auroral molecular-emission effects on the atomic oxygen line at 777.4 nm, *Earth Planets Space*, **70**, 166, [doi:10.1186/s40623-018-0936-z](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0936-z). (査読有)
3. Tsuda, T. T., M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, Y. Ogawa, K. Hosokawa, S. Nozawa, **T. Kawabata**, and, A. Mizuno, 2018: Survey of conditions for artificial aurora experiments by the second electron gyro-harmonic at EISCAT Tromso using dynasonde data, *Earth Planets Space*, **70**, 94, [doi:10.1186/s40623-018-0864-y](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0864-y). (査読有)
4. Tsuda, T. T., M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, **T. Kawabata**, A. Mizuno, and Y. Ogawa, 2018: Survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromso using dynasonde data, *Earth Planets Space*, **70**, 40, [doi:10.1186/s40623-018-0805-9](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0805-9). (査読有)
5. 中村俊夫, 南 雅代, 増田公明, 小田寛貴, 三宅芙紗, **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 <sup>14</sup>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.
6. 南 雅代, 榎並正樹, 林 誠司, 北川浩之, 加藤文典, 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. 篠田太郎, 大東忠保, 鈴木賢士, **民田晴也**, **久島萌人**, 久保 守, 皆巳幸也, 高橋暢宏, 坪木和久, 2018: 北陸地方における走査型 Ka 帯偏波レーダを用いた降雪雲の観測と固体降水粒子判別への適用可能性, 日本気象学会 2018 年度春季大会, つくば国際会議場, 2018.5.16-19.
2. Tsuda, T.T., M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, **T. Kawabata**, A. Mizuno, and Y. Ogawa, A survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromso site using dynasonde data, *JpGU2018*, Chiba, 2018.05.20-24, PEM13-P07.
3. Kawahara, T., S. Nozawa, T. Takahashi, N. Saito, T. T. Tsuda, **T. Kawabata**, and S. Wada, Faraday dispersive filter: optimum transmission profile for a sodium lidar temperature and wind observation, *JpGU2018*, Chiba, 2018.05.20-24, PEM18-P06.

4. **Okamoto, W.**, Y. Matsumi, T. Nakayama, **T. Yamasaki**, 2018: Drone-borne 3-dimensional measurement instrument for PM2.5 and harmful gases in the atmospheres such as polluted areas and volcano craters, *JpGU2018*, Chiba, 2018.05.20-24, STT49-P05.
5. **Okamoto, W.**, Y. Matsumi, K. Sekiguchi, T. Fujino, K. Sankoda, K. Kumagai, Y. Fujitani, L. B. Thuy', N. T. Dung, N. T. T. Thuy, P. C. Thuy, Y. Kajii, Y. Sakamoto, 2018: Using small compact PM2.5 sensors, long term and multipoint measurements in Hanoi, Vietnam, *JpGU2018*, Chiba, 2018.05.20-24, AAS06-P07.
6. 松見豊, 林田佐智子, ダッカ スレンドラ, **山崎高幸**, 中山智喜, 日引聡, 高橋和志, 浅田晴久, 2018: インド・ニューデリー市内および近郊における広域・高濃度のPM2.5の実態解明とその解決への挑戦, 日本地球惑星科学連合 2018年大会 (*JpGU2018*), 幕張メッセ(千葉), H30.5.20-24, AAS06-P08.
7. Shinoda, T., T. Ohigashi, K. Suzuki, M. Kubo, Y. Minami, **H. Minda**, **M. Kyushima**, N. Takahashi, K. Tsuboki, 2018: Possibility of particle identification for solid hydrometeors using a Ka-band polarimetric radar, *AOGS 15<sup>th</sup> Annual Meeting*, Honolulu, Hawaii, 2018.6.3-8.
8. Matsumi, Y., T. Nakayama, **T. Yamasaki**, **W. Okamoto**, K. Ueda, T. Hioki, 2018: Development of accurate compact PM2.5 sensor and personal exposure instrument, *Changing Environment and healthy generations -How to secure human health in the dramatic changing environments (ISEE/ES AC2018)*, Taipei, Taiwan, 2018.6.21-25, P2-22.
9. **Okamoto, W.**, **T. Yamasaki**, T. Nakayama, Y. Matsumi, 2018: Development of accurate low-cost PM2.5 instruments and measurements in Asian countries, *Changing Environment and healthy generations -How to secure human health in the dramatic changing environments (ISEE/ES AC2018)*, Taipei, Taiwan, 2018.6.21-25, P1-22.
10. **山崎高幸**, **岡本渉**, 松見豊, 中山智喜, 2018: 小型ローコストPM2.5センサを応用した多機能な小型計測器の開発, 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会, 名古屋大学, 2018.07.31-08.01, P01.
11. 李成宇, 津田卓雄, 濱田汐梨, 細川敬祐, **川端哲也**, 野澤悟徳, 水野亮, トロムソにおける脈動オーロラのスペクトル観測, MTI研究集会, 東京, 2018年9月.
12. 野澤悟徳, **川端哲也**, 細川敬祐, 小川泰信, 藤井良一, トロムソに設置した5波長フォトメータを用いた北極域変動研究, MTI研究集会, 東京, 2018年9月.
13. 松見豊, 加藤俊吾, 中山智喜, **山崎高幸**, **岡本渉**, 2018: ビッグデータ時代の超小型大気環境計測器の開発と活用: PM2.5, NOx, O3などの計測器と1人1個の計測の展開の可能, 大気環境学会 第59回, 九州大学, H30.9.12-14, 3D1015.
14. 板野泰之, 中坪良平, **山崎高幸**, **岡本渉**, 松見豊, 2018: PM2.5センサーを用いた局所的高濃度場の実態把握, 大気環境学会 第59回, 九州大学, H30.9.12-14, 3B930.
15. 松原豊, 佐々井義矩, 伊藤好孝, **川端哲也**, 森俊文, 埜隆志, 宗像一起, 加藤千尋, 中村佳昭, 内田悟, 海見走, 柴田祥一, 高丸尚教, 大嶋晃敏, 小島浩司, 土屋晴文,

- 渡邊恭子, 小財正義, 小井辰巳, SciCRT による太陽中性子観測 XIV—観測報告—, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 信州大学, 2018.9.14-9.17.
16. 山口倫, 中島拓, **藤森隆彰**, 水野亮, 宮地晃平, 藤井泰範, 江崎翔平, 小嶋崇文, Shan Wenlei, 上月雄人, 2018: 200 GHz 帯直列接合型 SIS 素子の平面型伝送線路によるインピーダンス整合回路の設計, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 2018.09.18-21.
  17. **岡本渉**, 宮嶋宏行, 眞部広紀, 松見豊, **山崎高幸**, 2018: 火星におけるドローンによる大気観測及び地形探査への道, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 久留米シティプラザ, 2018.10.24-26, 1K-12.
  18. 野澤悟徳, **川端哲也**, 細川敬祐, 小川泰信, 藤井良一, トロムソに設置した 5 波長フォトメータを用いた北極域変動研究, 平成 30 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「脈動オーロラ研究集会」, 名古屋大学, 2018.10.30-10.31
  19. **民田晴也**, **久島萌人**, 篠田太郎, 久保守, 川島正行, 藤吉康志, 2018: 降雪粒子の立体形状とマイクロ波散乱特性, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 仙台国際センター, 2018.10.29-11.1, C462.
  20. **Okamoto, W.**, 2018: Three-dimensional haze observation using UAV, *International SETI conference*, Universitas Santa Dharma, 2018.11.10-15.
  21. **民田晴也**, **久島萌人**, 篠田太郎, 久保守, 川島正行, 藤吉康志, 2018: レーダ降雪観測の高度化を目指して—降雪粒子のミリ波散乱特性の特徴—, 日本気象学会 中部支部研究会, 三重大学, 2018.11.29-30.
  22. Nozawa, S., Y. Ogawa, H. Fujiwara, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, **T. Kawabata**, T. Takahashi, M. Tsutsumi, C. M. Hall, and A. Brekke, Horizontal temperature gradients in the polar MLT region above Tromsø using sodium LIDAR data, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 144 回講演会, 愛知, 2018 年 11 月.
  23. Tsuda, T. T., M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, **T. Kawabata**, A. Mizuno, and Y. Ogawa, Feasibility study for artificial aurora experiments at the EISACT Tromsø site, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 144 回講演会, 愛知, 2018 年 11 月.
  24. 川原琢也, 野澤悟徳, 斎藤徳人, 津田卓雄, 和田智之, 高橋透, **川端哲也**, 北欧ライダー拠点を狙って: AO 高速周波数切替システムと磁気光学狭帯域フィルタ開発, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 144 回講演会, 愛知, 2018 年 11 月.
  25. 湯本正樹, 津野克彦, 安井一, 中村卓司, 江尻省, 西山尚典, 野澤悟徳, 川原琢也, **川端哲也**, 津田卓雄, 高橋透, 小川貴代, 斎藤徳人, 和田智之, 全固体及び半導体レーザーを基礎としたレーザーセンシング, 理研シンポジウム 第 6 回「光量子工学研究—サブ波長フォトニクス研究と新たな光量子工学の展開—」, 埼玉, 2018 年 11 月.
  26. 山口倫史, 中島拓, **藤森隆彰**, 水野亮, 宮地晃平, 藤井泰範, 江崎翔平, 小嶋崇文, Shan Wenlei, 上月雄人, 2018: Development of superconducting Mixer based on series

- junction array in the 200 GHz band, 19<sup>th</sup> EA Sub-millimeter-wave Receiver Technology Workshop, 関西学院会館(兵庫), 2018.12.11-13.
27. 藤吉康志, 越田智喜, **民田晴也**, 2018: マイクロインレーダ(MRR)を用いた降雪強度測定, 日本気象学会 北海道支部研究会, 札幌管区气象台, 2018.12.17-18.
  28. Kawahara, T.D., S. Nozawa, N. Saito, T. T. Tsuda, **T. Kawabata**, T. Takahashi, and S. Wada, System upgrade of the Na Lidar at Tromso for the thermospheric Na observation, *9<sup>th</sup> Symposium on Polar Science*, Tokyo, December 2018.
  29. Tsuda, T.T., M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, Y. Ogawa, K. Hosokawa, S. Nozawa, **T. Kawabata**, and, A. Mizuno, Survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromso using dynasonde data, *9<sup>th</sup> Symposium on Polar Science*, Tokyo, December 2018.
  30. Nozawa, S., Y. Ogawa, H. Fujiwara, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, N. Saito, S. Wada, **T. Kawabata**, T. Takahashi, M. Tsutsumi, C. Hall, and A. Brekke, Horizontal temperature gradients in the polar MLT region (83-105 km) above Tromso, *9<sup>th</sup> Symposium on Polar Science*, Tokyo, December 2018.
  31. Ohigashi, T., K. Tsuboki, T. Shinoda, **H. Minda**, **M. Kyushima**, H. Yamada, and H. Iwai, 2019: Structures of upper-tropospheric outflow-layer clouds of typhoons observed by a Ka-band cloud radar, *ICMCS-XIII*, Okinawa, Japan, 2019.3.6-8.
  32. Takikawa, T., A. Morimoto, **M. Kyushima**, K. Ichikawa, K. Yufu, 2019: Vertical current structure of diurnal internal tides at the continental shelf edge in the southwestern Japan Sea, *20<sup>th</sup> Pacific Asian Marginal Seas (PAMS 2019)*, Kaohsiung, Taiwan, 2019.3.19-22



## 付録

技術職員による出版物

(筆頭著者のみ)

学会・研究集会予稿

## Drone-borne 3-dimensional measurement instrument for PM2.5 and harmful gases in the atmospheres such as polluted areas and volcano craters

\*岡本 渉<sup>1</sup>、松見 豊<sup>1</sup>、中山 智喜<sup>1</sup>

\*OKAMOTO WATARU<sup>1</sup>, Yutaka Matsumi<sup>1</sup>, Tomoki Nakayama<sup>1</sup>

1. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

1. ISEE Nagoya University

### Drone-borne 3-dimensional measurement instrument for PM2.5 and harmful gases in the atmospheres such as polluted areas and volcano craters

\*Wataru OKAMOTO<sup>3</sup>, Yutaka MATSUMI<sup>1</sup>, Hiroki MANABE<sup>2</sup>,  
Takayuki YAMASAKI<sup>3</sup>, Hiroshi SASAGO<sup>1</sup>, Tomoki NAKAYAMA<sup>1</sup>

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Aichi, 464-8601, Japan

2. Sasebo National College of Technology, 857-1193, Japan

3. Technical Center of Nagoya University, Aichi, 464-8601, Japan

#### 1. Outline of drone terrain survey and atmospheric component observation

Conventional field survey and topography surveying have constraints "Human enters the site by carrying equipment, measures and moves", and it was difficult to achieve both high efficiency survey work and high accuracy survey at the same time, but in recent years The drone made it possible to achieve this compatibility. It is very difficult to fly by low-speed airplane with fixed wing aircraft or helicopter, and easy stopping in the air is advantageous for fine aerial photography. It is possible to perform close observation and measurement survey of the steep cliff, the caved landform, the vertical hole, and the side hole with crack, landslide, vertical wall surface, overhang. Also, by installing a small gas measurement device in the drone, atmospheric observation in the no-entry area becomes possible. Only fixed point observation can be done for measuring instruments installed on the ground. With drone, it is possible to measure the three-dimensional distribution of atmospheric constituents.

#### 2. Actual observation by drone in Aso

Three-dimensional measurements of particulate matter and gas components in the atmosphere using a drone flying object are performed.

##### 2-1. Aso volcano west lava field investigation

1. Atmospheric observation of lava field: Detection and measurement of volcanic gas with a drone mounted gas sensor

2. Photogrammetry of lava field by drone: Three-dimensional data measurement of terrain

3. Installation of volcanic gas measuring instruments on lava field by drone

## 2-2. Operation of Drone

Drone model

DJI Matrice 600

DJI Phantom 3 Advanced

DJI Phantom 4 Pro

1) Measurement with compact PM 2.5 meter (0.3 kg)

Space measurement using small drone (Phantom 3,4)

2) Measurement by particle size distribution measuring device (1.5 kg)

Spatial measurement using a relatively large drone (Matrice 600)

3) Measurement of various kinds of particle / gas components with sensors (1.7 kg)

Measurement using a relatively large drone (Matrice 600)

## 2-3. Many types of sensors to be mounted

PM 2.5: Small size sensor of Panasonic

CO<sub>2</sub>: NDIR infrared sensor (Sense Air company)

NO, O<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>: electrochemical sensor (Alphasense)

Test of Alphasense B type sensor

Actually, the electrochemical sensor has no selectivity depending on the type of gas. The CO sensor is referred to as a CO sensor since it leaves only about CO when an activated carbon filter is attached to the head of the sensor. Because SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> are gases of similar nature, there is no filter to distinguish.

[Future]

Measurement of fine particles and chemical components in the atmosphere is also measured in Mars exploration.

I would like to consider the method of performing 3D measurement with Martian drone.

キーワード：ドローン、火山、PM2.5、電気化学センサー、大気汚染

Keywords: drone, volcanoes, PM2.5, electrochemical sensor, Air pollution

## ベトナム・ハノイにおける小型計測器によるPM<sub>2.5</sub>の長期・多点測定 Using small compact PM<sub>2.5</sub> sensors, long term and multipoint measurements in Hanoi, Vietnam

\*岡本 渉<sup>1</sup>、松見 豊<sup>1</sup>、関口 和彦<sup>2</sup>、藤野 毅<sup>2</sup>、三小田 憲史<sup>2</sup>、熊谷 貴美代<sup>3</sup>、藤谷 雄二<sup>4</sup>、Thuy Ly Bich<sup>5</sup>、Dung Nghiem Trung<sup>5</sup>、Thuy Nguyen Thi Thu<sup>6</sup>、Thuy Pham Chau<sup>7</sup>、梶井 克純<sup>8</sup>、坂本 陽介<sup>8</sup>  
\*OKAMOTO WATARU<sup>1</sup>, Yutaka Matsumi<sup>1</sup>, Kazuhiko Sekiguchi<sup>2</sup>, Takeshi Fujino<sup>2</sup>, Kenshi Sankoda<sup>2</sup>, Kimiyo Kumagai<sup>3</sup>, Yuji Fujitani<sup>4</sup>, Ly Bich Thuy<sup>5</sup>, Nghiem Trung Dung<sup>5</sup>, Nguyen Thi Thu Thuy<sup>6</sup>, Pham Chau Thuy<sup>7</sup>, Yoshizumi Kajii<sup>8</sup>, Yousuke Sakamoto<sup>8</sup>

1. 宇宙地球環境研究所 名古屋大学、2. 埼玉大学、3. 群馬県衛生環境研究所、4. 国立環境研究所、5. ハノイ工科大学、6. タイグエン工科大学、7. ベトナム国立農業大学、8. 京都大学

1. ISEE Nagoya University, 2. Saitama University, 3. Gunma Prefecture Sanitary Environment Laboratory, 4. National Institute for Environmental Studies, 5. Hanoi University of Science and Technology, 6. Thai Nguyen University of Technology, 7. Vietnam National University of Agriculture, 8. Kyoto University

A year round observation of PM<sub>2.5</sub> mass concentrations was conducted in Hanoi University of Science and Technology (HUST) from July 2016 to now using newly developed highly sensitive sensors. And also from October 2017 to now, we have installed the PM<sub>2.5</sub> sensors in Thai Nguyen University of Technology (TNUT) and Vietnam National University of Agriculture (VNUA). Hourly PM<sub>2.5</sub> concentration data in HUST agreed well with corresponding data obtained with a beta attenuation monitor, located 3 km away. The monthly variation showed that PM<sub>2.5</sub> levels were high in the dry season, particularly in December (median = 62 mg m<sup>-3</sup>) and low in the rainy season, particularly in June and July (medians = 19 mg m<sup>-3</sup>). PM<sub>2.5</sub> haze episodes with levels higher than 100 mg m<sup>-3</sup> were observed 13 times during the dry season (October 2016–March 2017). These episodes may link to meteorological conditions, because the daily PM<sub>2.5</sub> and CO levels increased several days after a cold surge for most of the PM<sub>2.5</sub> haze episodes. Two episode events were investigated further in higher temporal resolution. For both events, PM<sub>2.5</sub> peaks appeared at midnight for some days after a cold surge, while CO levels often increased at rush hours. For first event, short peaks of PM<sub>2.5</sub> (duration of about 1 h) with fast rates of increase of ~5 mg m<sup>-3</sup> min<sup>-1</sup> were observed. This highlights the importance of high temporal resolution of PM<sub>2.5</sub> sensors in assessing of health effect. For second event, a broad peak (duration of one and half days) of PM<sub>2.5</sub> with gradual increase was observed together with high CO levels. This research reveals for first time characteristics of PM<sub>2.5</sub> haze episode in Hanoi that should be studied further to develop an effective air pollution management in this city. This study is supported by JSPS Kakenhi (17H04483).

キーワード：PM<sub>2.5</sub>測定、小型測定器、空気の良さ、大都市、東南アジア

Keywords: PM<sub>2.5</sub> measurement, compact sensor, air quality, Mega city, Southeast Asia

## Development of accurate low-cost PM2.5 instruments and measurements in Asian countries

**Wataru Okamoto, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan**  
**Takayuki Yamasaki, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan**  
**Tomoki Nakayama, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan**  
**Yutaka Matsumi\*, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan**

The new compact, low-cost PM2.5 sensor has been developed with Panasonic Corporation. We are developing and planning many applications of the compact, low-cost and simple PM2.5 instruments. In urban areas, many instruments can be installed with high densities. Local PM2.5 sources in the urban areas can be detected with the PM2.5 instruments. Especially, the new PM2.5 instruments are suitable for the measurements in developing countries. Many developing countries suffer from serious environmental problems of extremely high PM2.5 concentrations and their health effects. The PM2.5 observations in the developing countries have difficulty to install valuable and delicate PM2.5 instruments because of many serious difficulties about space, electric supply, dust, temperature, roof leaks, insects, safety, transportation, maintenance access, standard-gas supply and so on. The new PM2.5 instruments can be installed and operated in those conditions. The PM2.5 instruments widely distributed in high PM2.5 concentration area are suitable for epidemiological studies. In this presentation, we will present the features of the compact PM2.5 instrument, and also present the new applications such as measurements in the developing countries.

### **Reference:**

Tomoki Nakayama, Yutaka Matsumi, Keiko Kawahito & Yoshifumi Watabe (2017): Development and evaluation of a palm-sized optical PM2.5 sensor, *Aerosol Science and Technology*, DOI: 10.1080/02786826.2017.1375078

# 小型ローコストPM<sub>2.5</sub>センサを応用した多機能な小型計測器の開発 : 固定点測定型および携帯個人曝露測定型

## Development of small multi-function instruments applying small low-cost PM<sub>2.5</sub> sensors : Fixed point types and mobile personal exposure types

(名古屋大学 全学技術センター) ○山崎 高幸\*, 岡本 渉\*,  
(名古屋大学) 松見 豊\*\*, (長崎大学) 中山 智喜\*\*\*

### Abstract

Fixed-type and mobile-type instruments to measure PM<sub>2.5</sub> and trace gaseous have been developed. These instruments have been applied to a variety of fields, including air pollution studies in developing countries, personal exposure studies, and measurements using multi-copter.

### はじめに

浮遊粒子状物質の中で粒径2.5 $\mu\text{m}$ 以下の粒子はPM<sub>2.5</sub>と呼ばれ、比較的効率よく肺胞に到達するためその健康影響が懸念されている。PM<sub>2.5</sub>の濃度を測定する連続大気粒子モニターとしてはベータ線吸収法などがあるが、これらの装置は非常に大型であり高額である。我々は名古屋大学とパナソニック株式会社で共同開発した小型センサを利用してPM<sub>2.5</sub>の個人曝露量の測定が可能な計測器を製作して、国内外の研究者に提供し共同研究を進めてきた。本発表では計測器の概要と計測例を紹介する。用いたPM<sub>2.5</sub>センサは大型測定装置と比較して非常に精度が高いものであり、その詳細は我々の参考文献[1], [2]を参照されたい。

### 携帯個人曝露測定型計測器の概要

Fig. 1 に開発した携帯個人曝露計測器を朝から夜までの1日中首から下げて、個人曝露量を測定しているときの、通勤途中の地下鉄駅でのスナップショットを示す。この個人曝露計測器ではセンサからの信号をWiFi無線でスマートフォンに送って、Android OSを搭載したスマートフォン上で独自に開発したアプリを動作させ、データの表示(Fig. 3)および内部メモリへの記録を行っている。また、スマートフォンに搭載されたGPSを用いて得た位置情報をGPS Loggerを利用して記録している。電源は一般に市販されている携帯電話の充電電池を使用することにより1日以上連続計測が可能であり、就寝中に充電すれば、連続して長期間使用できる。携帯電話回線によりDrop Box(クラウドサーバ)にリアルタイムでPM<sub>2.5</sub>データ及びGPS情報を自動的にアップロードすることができる。1万円程度のスマートフォンを使えばこの計測器1セットの原価は2万5千円程度である。また空気を取り込みにポンプを用いてないので無音であり、装着に違和感がない。スマートフォンで通信できるため、走っている最中の計測も可能である。(Fig. 2)



Fig.1. Snapshot at a subway station during a one-day personal exposure measurement using our PM<sub>2.5</sub> instrument.



Fig.2. Snapshot of Jogging test on the track.

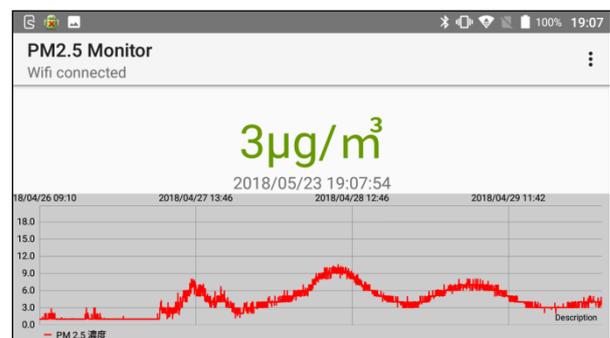


Fig.3. PM<sub>2.5</sub> mass concentrations displayed on a smart phone.

\* Takayuki Yamasaki, Wataru Okamoto, Technical Center, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan.

\*\* Yutaka Matsumi, Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan.

\*\*\* Tomoki Nakayama, Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, Japan.

**個人曝露計での計測結果の例**

Fig. 4 は携帯型の個人曝露計測器を身に着け、最寄り駅まで歩いた結果である。GPSを利用し歩いた地点の計測値をプロットしている。この日(2017年7月23日)は比較的PM2.5濃度が高かった日であるが、平均を橙色で示し、それよりPM2.5濃度が高い所を赤色、低い所が青色になるように色別に示している。このように地図上にプロットすることで計測者の経路地点毎のPM2.5質量濃度を把握することができる。

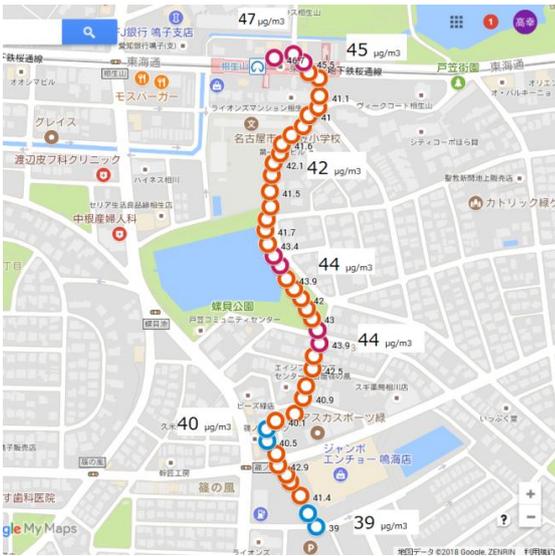


Fig.4. An example of measurements of commuting route and PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in Nagoya city.

**複合ガス計測器の概要**

個人曝露計の基板には温湿度計や種々のセンサを付けることが可能である。Fig. 5 にPM2.5の小型センサに、市販のCO<sub>2</sub>, NO, O<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>の小型電気化学センサ(Alphasense社)を搭載した計測器を示す。このコンパクトでローコストな計測器を、インドネシアのサラワクの泥炭火災のそばに設置したり、ドローンに搭載して阿蘇山の火口付近を飛ばして種々の大気成分の同時計測を行っている。Fig. 6 にはPM2.5, CO, CO<sub>2</sub>の同時測定の結果を示す。野焼きや焼き畑での発生状況の観測を模擬して、焚き火のそばでの計測結果である。焚き火からのPM2.5, CO, CO<sub>2</sub>の放出の様子をとらえている。



Fig.5 An instrument for the measurement of PM<sub>2.5</sub> and trace gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO., NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub>)

**今後の展望**

通勤時の地下鉄で計測した時には、60µg/m<sup>3</sup>のPM2.5値を観測したこともあった。日本でも室内外に局所的排出源があり、かつ個人個人の生活環境により正確な曝露量は変わり、大気観測局の測定値からの計算とは大きく異なる結果を得ている。個人曝露計を健康疫学研究に応用するとともに、人々の曝露量を最小限に減らすべくPM2.5計を小中学校や地下鉄車内などに設置し、さらには1家庭1個人に1個まで広く使われるようになればと考えている。日本だけでなくアジアの国々の高いPM2.5に対しても、ローコストな計測装置は非常に有効で、計測を進めている。

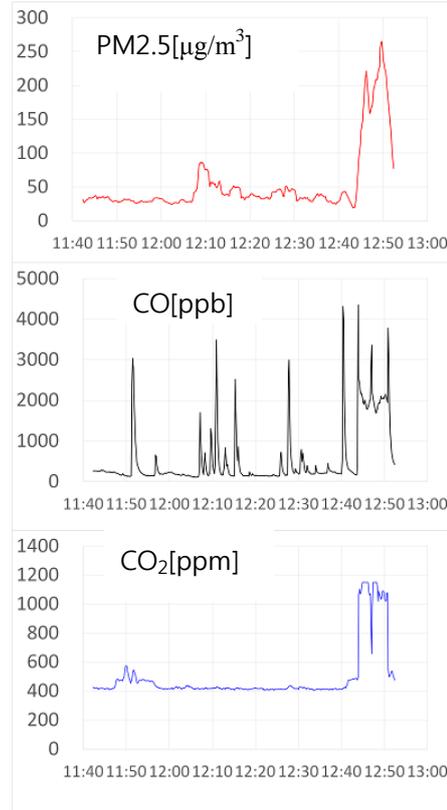


Fig.6. An example of measurement of PM<sub>2.5</sub>, CO, and CO<sub>2</sub> over a bonfire using an instrument on board a multi-copter.

**謝辞**

PM2.5センサを提供頂いたパナソニック株式会社・エコソリューションズ社および個人曝露測定計測器を使用した試験に協力して頂いた研究者の方々にお礼申し上げます。スマートフォンのアプリケーションの開発は名古屋大学の笹子宏史氏(現・株式会社ささご、代表)によるものである。

**References**

[1] T. Nakayama, Y. Matsumi, K. Kawahito, and Y. Watabe (2018) Development and evaluation of a palm-sized optical PM<sub>2.5</sub> sensor, *Aerosol Sci. Technol.*, 52, 1-12.  
 [2] B. -T. Ly, Y. Matsumi, T. Nakayama, Y. Sakamoto, Y. Kajii, D. T. Nghiem, Characterizing PM<sub>2.5</sub> in Hanoi with New High Temporal Resolution Sensor, *Aerosol Air Qual. Res.* (in press), doi: 10.4209/aaqr.2017.10.0435

## 火星におけるドローンによる大気観測及び地形探査への道

岡本渉, 宮嶋宏行, 眞部広紀, 松見豊, 山崎高幸

### **abstract**

Knowing the atmospheric constituent around the living environment on Mars leads to a life and death problem. Also, in order to expand the new living space it is essential to explore the topography skillfully. Utilization of drone is considered promising for this exploration. Before actually conducting exploration on Mars, fundamental research on the earth is indispensable. These series of processes will be reported.

International SETI conference

## **Three-dimensional haze observation using UAV**

Wataru Okamoto

### **abstract**

In the world, 9 million people are annually dead due to air pollution. Knowing the atmospheric constituents around the earth's living environment leads to life and death problems. In addition, burning and burning the mountain are the cause of large air pollution. Indonesian haze is famous. Simply not only measuring the atmosphere but also getting involved with topographical information is an important way to obtain new knowledge.

## 降雪粒子の立体形状とマイクロ波散乱特性

民田晴也 久島萌人 篠田太郎 (名大宇地研) 久保守 (金沢大) 川島正行 (北大低温研) 藤吉康志 (北大)

## はじめに

レーダ気象学の革新的技術開発として、降水粒子の種類とその粒径分布のリモートセンシングがある。雪や霰など固体降水粒子の存在分布が観測できればレーダ降雪強度の観測精度が格段に向上し、雲内の降水粒子の生成・成長過程を観測的に調べることが可能となる。マルチパラメータレーダの偏波シグナルは降水タイプにより差が現れ、これまで偏波シグナルを利用した降水粒子の種類識別が提案されているが、融解層や湿雪を除けば偏波シグナルの値は少差であり、実用化には課題が多い。

レーダ降雪強度推定、偏波シグナルによる粒子判別の高度化には、降雪粒子のマイクロ波散乱特性の理解深化が必要である。粒子物性とレーダシグナルの関係を調べるため、降雪粒子の立体形状と粒径分布を計測する multi-angle snowflake imager (MSI) を開発<sup>(1)</sup>、北海道大学と金沢大学で降水レーダとの同期観測を行った。現在、観測立体形状に対して DDA や FDTD を利用した散乱特性の評価、理解を深めている。今回、散乱体の縦横比を代表する、散乱体の縦横比を代表する偏波シグナル  $Z_{dr}$  (水平・垂直偏波のレーダ反射因子比) の振舞いについて報告する。

## 降雪粒子の立体形状計測

MSI は水平面に 4 台のレーザラインスキャナを 45 度間隔に配置、4 方向から落下粒子の影画を取得、立体形状を合成する。また、斜め上方 (天頂角  $55^\circ$ ) から 2 台のカメラで落下粒子を撮影、形状再現性を高めている。スキャナは配置高さオフセットがあり粒子通過時間差から落下速度を得る。図 1 に粒子立体形状の再現例を示す。粒子は  $9\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 4\text{ mm}$  のボックスに内接する ( $0.1\text{ mm}$  格子)、体積  $39\text{ mm}^3$ 、等価球形直径  $4\text{ mm}$  の大きさで、落下速度は  $1\text{ m s}^{-1}$  である。

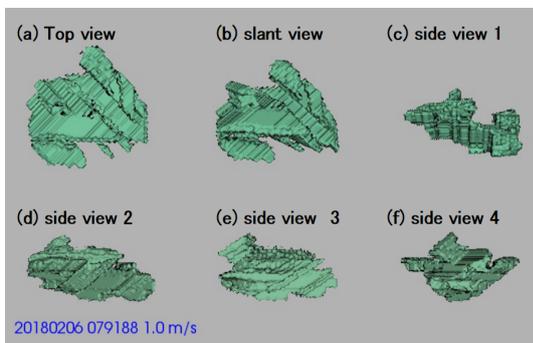


図 1: 立体形状の再現例 (a)top view, (b)slant view, (c)-(f) 各スキャナの画角 side views

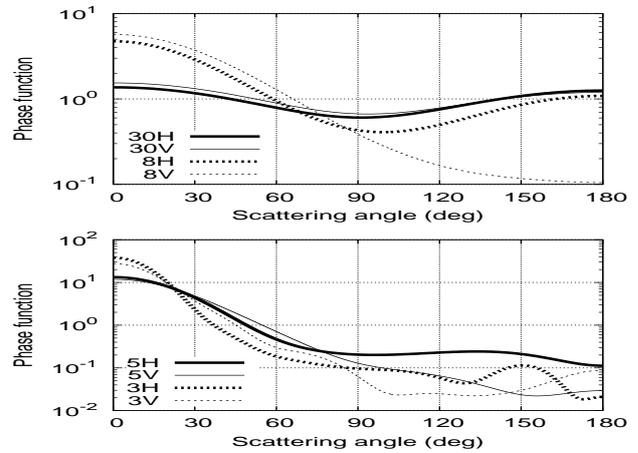


図 2: 水平 (H)・垂直 (V) 偏波の散乱特性 Phase function (0/180°: 前方/後方散乱; 波長 30, 8, 5, 3 mm)

## マイクロ波散乱特性

散乱特性は図 1 に示した粒子モデルに対し FDTD 法を用いて算出した。粒子屈折率は  $1.5 + i 0.1$  を与えた。屈折率は観測から得た粒子密度で定義する予定であり、現在、評価中である。図 2 に、波長  $30\text{ mm}$  から  $1\text{ mm}$  の平面波が粒子側面 (図 1 c) に入射した時の水平 (H) および垂直 (V) 偏波の散乱特性 (phase function) を示す。波長  $30\text{ mm}$  では Rayleigh 散乱特性が確認でき、Mie 散乱領域に入る波長  $8\text{ mm}$  では H の後方散乱成分は V に比べ顕著に大きくなり (正の  $Z_{dr}$ )、 $5\text{ mm}$  でも H が V より大きい散乱特性を示すが、 $3\text{ mm}$  では V が H を逆転する特性 (負の  $Z_{dr}$ ) が現れる。このように、Mie 散乱の偏波特性は複雑になり、ミリ波帯では波長と粒子の大きさの比 (サイズパラメータ) により  $Z_{dr}$  は正負に分散する可能性がある。但し、サイズパラメータが大きくなるにつれ後方散乱成分は弱くなる傾向があり、巨大粒子の存在確率は低く、レーダシグナルへの影響は限定的である可能性は高い。MSI は数分間の積算平均で粒径分布を代表できる粒子検出性能を有するため、降雪粒子の形状や大きさの存在分布、個々の粒子の散乱特性を調べ、降雪粒子の集合体としてのレーダシグナルの振舞いを調査する予定である。

## 謝辞

本研究は科研費 (26400464) および北海道大学低温科学研究所共同研究の助成を受けた。

## 参考文献

1. Minda et al., 2017, doi:10.1175/JTECH-D-16-0221.1.

# レーダ降雪観測の高度化を目指して —降雪粒子のミリ波散乱の特徴—

○ 民田晴也<sup>1</sup> 久島萌人<sup>1</sup> 篠田太郎<sup>1</sup> 久保守<sup>2</sup> 川島正行<sup>3</sup> 藤吉康志<sup>4</sup>

( 1:名大宇地研, 2:金沢大, 3:北大低温研, 4:北大名誉教授 )

## 1. はじめに

レーダ気象学の革新的技術開発として、降水粒子の種類とその粒径分布のリモートセンシングがある。レーダ反射因子 ( $Z$ ) は降水粒子の後方散乱断面積 ( $\sigma_b$ ) の粒径分布 (PSD: Particle Size Distribution) 積算で求められ、降水強度 ( $R$ ) は (粒子体積)  $\times$  (密度; 含水率) の PSD 積算で定義できる。雨滴粒子の  $\sigma_b$  がレイリー散乱の場合、 $Z$  は雨滴直径  $D$  の 6 乗に比例、 $R$  は  $D$  の 3 乗に比例し、雨滴粒径分布 (DSD: rainDrop Size Distribution; 雨滴の PSD) により  $Z-R$  関係は変動する。雨滴は含水率が 100%、形状を回転楕円体で近似でき、マイクロ波・ミリ波散乱特性の厳密解が得られる。粒子散乱特性が既知であれば DSD がレーダ降雨強度を決めるため、DSD 遠隔観測技術開発がレーダ降雨強度観測のゴールとなる。

レーダ降雨強度は地上雨量補正により実用化されている (e.g. レーダアメダス合成図)。また、落下速度の速い雨滴粒子は地上観測 DSD からレーダが観測する上空の DSD を見積もることができ、レーダ降雨強度の検証が容易である。対して、多種多様な形状と粒子密度で特徴付けられる固体降水粒子の散乱特性は変化に富み、レーダ反射因子と降雪強度の関係 ( $Z-SR$ ) は降雪現象により大きく分散する (中井ほか, 2016)。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は困難であり、更に、降雪粒子は落下中の融解・分裂・併合など粒子物性変化を考慮する必要があり (板戸ほか, 2015)、地上観測との比較には氷点下の気温・無風など条件に限られる。降雪粒子の  $\sigma_b$  は粒子向き (形状) 依存性が強く、特にミリ波帯では同一粒子であっても風の強弱で  $\sigma_b$  は大きく変動し得る。粒子物性に高感度なミリ波帯を活用、雪や霰など粒子種別毎の存在分布を遠隔観測できれば、レーダ降雪強度の観測精度が格段に向上し、雲内の降水粒子の生成・成長過程を観測的に調べることが可能となる。

マルチパラメータ (水平・垂直二重偏波) 降水レーダは、従来のレーダ反射強度に加え、偏波間の反射強度比 ( $Z_{dr}$ : 降水粒子の平均縦横比に対応)、散乱断面積の均一性 ( $\rho_{hv}$ : 雪片など非等方性粒子の存在指標)、偏波間位相差の空間微分 ( $K_{dp}$ : 伝播減衰量に対応) などの偏波シグナルを観測できる。偏波シグナルは降水タイプにより差が現れ、これまで偏波シグナルを利用した降水粒子の種別識別が提案されているが、融解層や湿雪を除けば偏波シグナルの値は少差であり、識別手法の実用化

には課題が残っている (Koketsu et al., 2015, 篠田ほか, 2017)。固体降水のレーダシグナルは定量的な検証ができていない。その理由として、ビデオゾンデ気球観測では単位体積当たりの検出粒子数が少なくレーダシグナル検証が困難、落下速度の遅い降雪粒子は地上観測と上空のレーダシグナルの同期性が低いことにある。本研究では、地上観測粒子から偏波シグナルを数値再現することで、間接的なレーダシグナル検証と粒子識別精度の評価手法を開発、レーダ観測への応用を目標としている。

名古屋大学 (名大) ではマイクロ波帯 (9.4 GHz) およびミリ波帯 (35 GHz) のマルチパラメータ降水レーダを運用している。本報告では、固体降水粒子の観測立体形状と FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 電磁場解析法を用いた散乱計算を実施、マイクロ波 (波長 30 mm) およびミリ波 (波長 8 mm) 散乱特性の初期解析結果を紹介する。筆者らは、粒子立体形状、落下速度、粒径分布を観測する Multi-angle Snowflake Imager (MSI) を開発 (Minda et al., 2017, 民田ほか, 2017)、その開発過程で電子天秤型降雪強度計、2D Video Disdrometer (2DVD)、降水レーダなどと同期降雪観測実験を実施してきた。散乱計算には立体形状と粒子屈折率が必要となる。屈折率は粒子密度と温度から近似できるが、今回の散乱計算では一定の複素屈折率を与え、粒子形状の感度実験を行い、散乱体の縦横比を代表する偏波シグナル  $Z_{dr}$  のマイクロ波帯とミリ波帯での振舞いの違いを紹介する。

## 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 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。

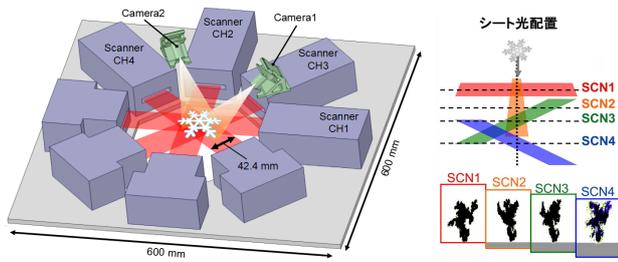


図 1: MSI 概要。光学モジュールと計測シート光配置。

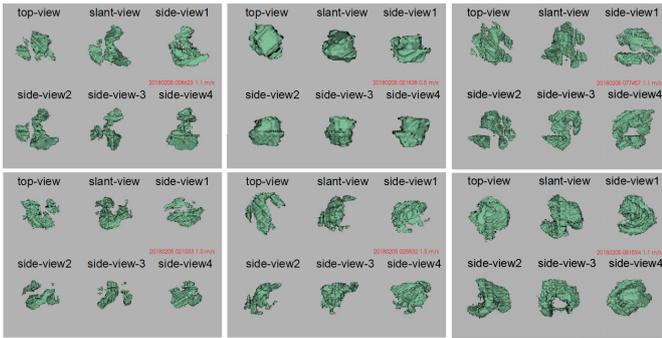


図 2: 2018 年 2 月 5 日に MSI が観測した立体形状の例  
(6 例; 自動伸縮表示; 各パネル内左上: 上面図、中上: 斜視図、右上と下: 側面図 1~4)

### 3. 降雪観測

2017 年度冬季 (2017 年 12 月~2018 年 3 月)、北海道大学低温科学研究所 (北大) および金沢大学角間キャンパス (金大) において降雪粒子観測実験を行った。北大サイトには MSI と 24 GHz マイクロレインレーダを持ち込み、北大の 2DVD、電子天秤型降雪強度計、地上気象観測、X 帯レーダとの同期観測を実施した。北大では低温研の中庭に機器を設営、建物が防風フェンスの役割を果たしている。金大サイトには MSI と 2DVD を持ち込み、金大の LPM、Parsivel disdrometer、地上気象観測機器との同期観測を実施した。金大サイトでは建屋屋上 (7F 建て) で高さ 3 m の防風フェンスの中で機器を運用した。金大サイトには降雪強度計が存在せず、MSI 内部に電子天秤 (秤量 3kg、分解能 0.1 g) を増設した。金大の西方約 11km にある石川県立大学に名大ミリ波帯マルチパラメータ雲レーダを移設、MSI との同期観測のため、金大方向の RHI 観測と金大上空の PPI 観測 (仰角 1.5, 1.8, 2.1, 2.4 deg) を行った。同期性は落ちるが国交省の XRAIN のデータが利用可能である。

本報告では、2018 年 2 月 5 日 (北陸豪雪) の金大サイトの MSI 観測データを紹介する。図 3 に立体形状合成できた粒子の最大影画幅、影画縦横比、立体形状のフラクタル次元、落下速度の出現頻度分布を示す。影画幅は観測画像の最大横幅で、粒子傾きを考慮していない。この降雪事例では、多くの立体形状合成に成功しており、

MSI は 10 mm 幅を超え、縦横比 1~2 倍の横長の雪片を観測している。MSI 立体合成は 3 台以上のスキャナで 1 mm 幅以上の影画を観測した粒子データに適応され、立体合成に成功する粒子は画像最大幅が 2 mm 以上が多い (図 3a)。MSI は 0.4 mm 幅以上の影画をデータ保存しており、立体形状合成できない粒子画像は楕円体近似での利用が可能である。フラクタル次元は box counting 法で算出、雨滴は 2.8、雪片は 2.5 程度の値を示し、この事例ではフラクタル次元 2.6 に集中している。現在の MSI 立体形状は実在粒子に比べ厚く、フラクタル次元は実際より少し大きな値を示すと考えている。雪片の立体形状再現性の向上は、粒子密度の推定精度向上につながるため今後の課題である。

図 4 に電子天秤観測重量から換算した降雪強度と MSI 観測粒子の積算体積の時系列を示す。降雪強度は降雨事例を利用して、LPM と Parsivel の観測降水強度と比較・校正した。図から 07:30~10:30 に低密度粒子の降雪があったことがわかる。05:50~07:00 には  $3 \text{ m s}^{-1}$  の落下速度を記録、霰粒子の存在が示唆される。MSI のカメラは 05:50~07:30 に霰を、10:30~11:30 は落下速度は  $1 \text{ m s}^{-1}$  と遅いが丸みを帯びた粒子画像を撮影している。カメラ画像から積雪深は低密度粒子の時間帯で増加が大きい。

平均粒子密度 (時間と粒径分布平均) は電子天秤の観測質量を MSI 観測体積で除算することで得られるが、密度はサイズ依存性 (小粒子は融けやすく、凍りやすい) もあり、現在、密度推定の高精度化のため、MSI の粒子形状再現性と観測粒径分布の評価中である。

### 4. FDTD 散乱計算

FDTD 電磁場解析法は、maxwell 方程式を空間差分化、時間領域で解く手法であり、気象数値モデルと似ている。FDTD は近傍界の電磁場解析であり、レーダが観測する散乱特性 (scattering amplitude matrix) を得るためには遠方界換算が必要となり、散乱体を囲む立方体での表面積分法を用い解を得た (Zhang et al., 2004)。図 5 に FDTD 散乱計算ドメインを示す。計算領域は粒子サイズにより可変、格子サイズは粒子立体形状と同じ 0.1 mm、ドメイン端での反射波を抑えるため 30 層の吸収層を設けた (FDTD は計算コストが高いため 10 層未満が多い)。また、近傍界・遠方界変換面は 35 層目に位置している。計算領域中心に散乱体の複素屈折率布を配置、時間軸でガウス分布の電界強度を持つパルス入射波を境界条件に与え ( $y = 30$ )、定常状態になるまで時間進行する。図中では入射波は  $y = 155$  に位置している。屈折率は粒子密度と温度から近似ができるが、現在、密度検証中であり、一定値 ( $n = 1.5 + 0.05i$ ) を与え粒子形状の感度実験を行った。FDTD は膨大な計算コストを必要とす

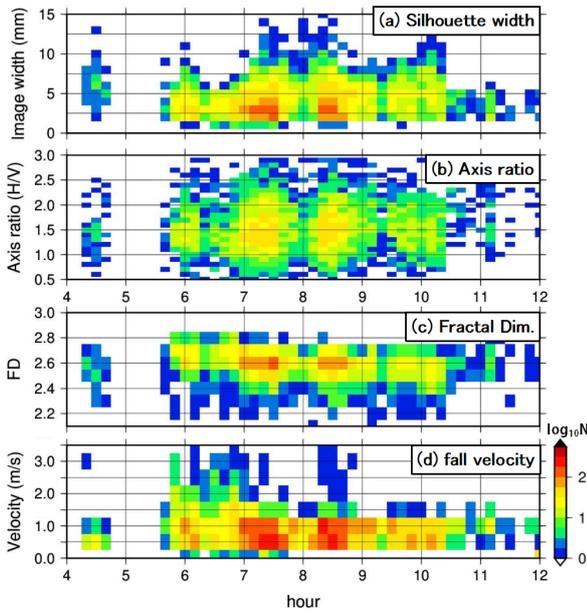


図 3: 2018 年 2 月 5 日の金大サイト MSI 観測結果。(a) 影画最大幅、(b) 影画縦横比、(c) フラクタル次元、(d) 落下速度の出現頻度分布 (color は 10 分間積算値の対数表示)。

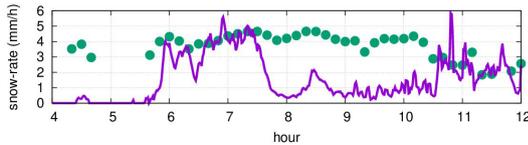


図 4: 2018 年 2 月 5 日の MSI 観測粒子体積 (10 分積算値;  $\log_{10} V \text{ mm}^3$ ) と電子天秤観測降雪強度 (1 分間平均値) の時系列

る。今回は 11GB メモリ搭載 GPU を利用して計算している。現在の計算コードでは、 $250 \times 250 \times 250$  (最大計算空間) の計算に約 30 分必要とする。

### 5. $Z_{dr}$ 偏波シグナル検証

2018 年 2 月 5 日に MSI が観測した立体形状粒子に対し、レーダ波長 30 mm と 8 mm を仮定して、FDTD 法を用い散乱特性を算出した。偏波シグナル再現のため、個々の観測粒子に対し水平・垂直偏波の入射波を与え、偏波毎に散乱計算を行った。粒子散乱特性は、波長 30 mm (マイクロ波) では粒子幅 10 mm 程度の雪片であればレイリー散乱に近い特性を示すが、波長 8 mm (ミリ波) になると形状により複雑な散乱特性を示す (民田ほか, 2018)。ここでは粒子縦横比と相関がある  $Z_{dr}$  シグナルの振舞いを調べた。図 6 に、水平・垂直偏波の後方散乱断面積比 ( $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$ ) の出現分布と再現  $Z_{dr}$  の時系列を示す (10 分間積算)。 $Z_{dr}$  は 0 dB が等方性 ( $\sigma_{bh} = \sigma_{bv}$ )、

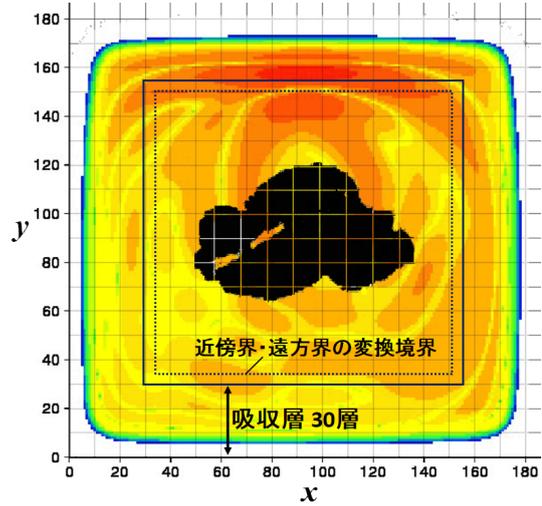


図 5: FDTD 電磁場解析ドメインと計算途中の電界の様子 ( $z = N_z/2 = 94$ )。入射波は  $y$  軸に沿って伝播、 $y = 160$  に位置する。

正の値が横長の散乱体、負の値が縦長のシグナルに対応する。図から波長 30 mm の  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  は 0 dB を中心に正負に振れ、波長 8 mm では正の領域で分散、その出現傾向は図 3b の粒子縦横比に近く、ミリ波は粒子形状との対応性が優れていると言える。レーダシグナルは粒子集合体からの後方散乱特性であり、集合体での振舞いの理解を深める必要がある。水平・垂直偏波の  $\sigma_b$  積算値の比で表した再現  $Z_{dr}$  は、波長 30 mm の場合、個々の  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  の出現頻度と対応が良いが、波長 8 mm の  $Z_{dr}$  は出現頻度の高いクラス (1~2 dB) より大きな 4~6 dB を示している。ここで、MSI 立体合成は粒子幅 2 mm 未満の粒子が顕著に少ない、微小粒子が排除された計算結果であることに注意が必要である。小さな粒子はレイリー散乱特性に近づき (等方性散乱に近く)  $Z_{dr}$  を小さくする作用があり、レーダ反射強度や  $Z_{dr}$  への影響度を評価する必要がある。今後、立体合成できなかった粒子に対し、回転楕円体近似で散乱計算を行い、より現実に近い  $Z_{dr}$  再現で評価を行う予定である。

石川県立大学から金大サイト上空を同期観測した名大ミリ波レーダの  $Z_{dr}$  観測値 (10 分間平均値) を図 7 に示す。ミリ波、マイクロ波と違いがあるが、レーダ観測値と波長 30 mm の再現  $Z_{dr}$  は 0~1 dB の間で変動、トレンドも一致していることから、波長 8 mm の再現  $Z_{dr}$  の乖離は微小粒子が少ない PSD によるバイアスが主因と考えられる。

### 6. まとめ

ミリ波降水マルチパラメータレーダの活用、レーダ降雪強度推定の高精度化と偏波シグナルを利用した粒子種別識別の高度化のためには、降雪粒子のミリ波散乱特

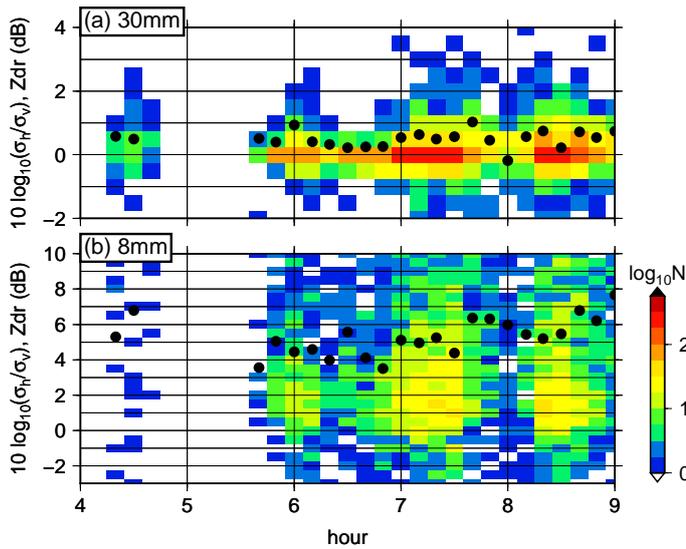


図 6: 2018 年 2 月 5 日のレーダ波長 30 mm と 8 mm の水平・垂直偏波の後方散乱断面積比  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  の出現頻度分布 (color:10 分間積算値の対数表示) と再現  $Z_{dr} = \sum \sigma_{bh} / \sum \sigma_{bv}$  (closed circle) の時系列

性について理解を深める必要がある。本報告では、MSI 観測立体形状のミリ波偏波シグナル解析への適応性を評価するため、観測粒子形状に一定の複素屈折率を与えた FDTD 散乱計算を行い、マイクロ波帯とミリ波帯での粒子形状と散乱特性の感度実験を行った。

個々の粒子の  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  の出現頻度分布は、縦横比で 1~2 倍の横長降雪粒子でも、マイクロ波帯では 0 dB を中心に正負に振れる (横長と縦長のシグナルが混在する) 結果を示した。ミリ波帯では横長のシグナル ( $\sigma_{bh}/\sigma_{bv} > 0$  dB) を生成、粒子縦横比の出現頻度分布と似た分布を示すことから、MSI 立体形状のサイズレンジでは  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  は粒子縦横比をより良く表現することが確認できた。但し、MSI 立体粒子はミリ波帯ではサイズパラメータの見地から大きな粒子になり、等方性散乱になりやすい小粒子 (粒子幅 2 mm 未満) が少ない PSD での評価である。波長 30 mm の  $Z_{dr}$  は  $\sigma_{bh}/\sigma_{bv}$  の高出現頻度のクラス周辺に現れ、マイクロ波帯では幅 2 mm 以上の粒子散乱特性を用いて  $Z_{dr}$  が評価可能と考える。ミリ波帯での評価は、波長 30 mm と 8 mm はサイズパラメータで 4 倍の差があり、0.5 mm 幅より大きな粒子の散乱特性を組み込むことが好ましい。今後、MSI 立体形状の高分解能化や微小粒子の立体形状再現手法開発を行い、立体合成できなかった粒子画像から楕円体近似で粒子形状を再現、散乱計算を行い、粒子集合体であるレーダシグナルの振舞いとして理解を深める予定である。

謝辞

本研究は科研費 (26400464) および北海道大学低温科学研究所共同研究 (15-43,16-40,17-37,18G051) の助成を受けた。

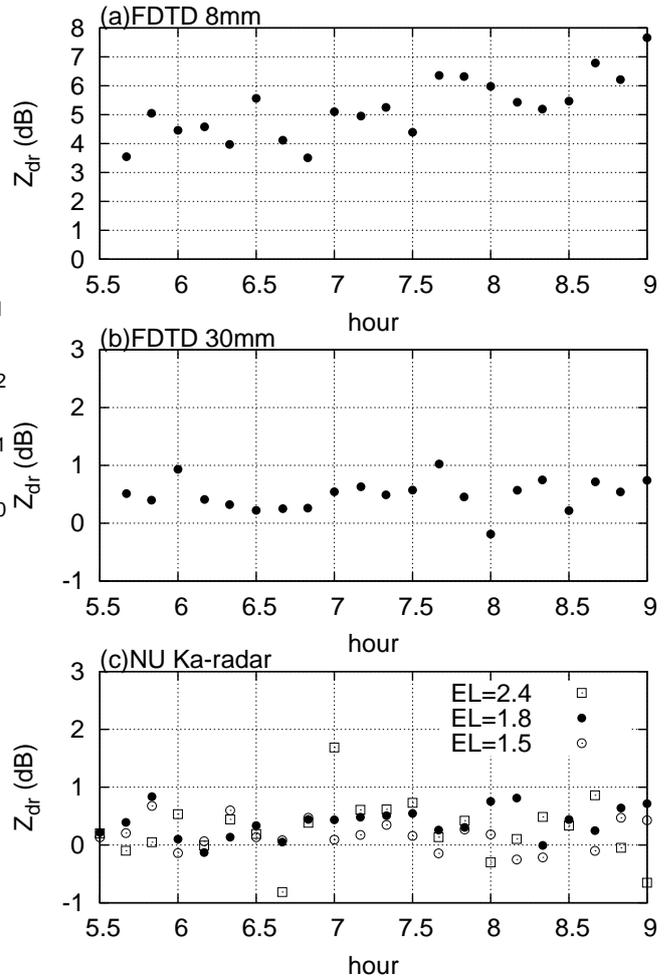


図 7: 2018 年 2 月 5 日の 10 分間平均  $Z_{dr}$  の時系列。(a) レーダ波長 8 mm の数値再現値、(b) レーダ波長 30 mm の数値再現値、(c) 名大ミリ波帯レーダ観測値 (仰角 1.5, 1.8, 2.4 deg ; Sector-scan PPI から MSI 上空を抽出)。

参考文献

Koketsu et al., 2015, doi:10.1175/JTECH-D-14-00124.1.  
 Minda et al., 2017, doi:10.1175/JTECH-D-16-0221.1.  
 Zhang et al., 2004, 10.1364/AO.43.003738.  
 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)  
 篠田ほか, 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)  
 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)  
 民田ほか, 2018, 日本気象学会秋季大会, C462.

# プリント基板の製作方法の紹介

川端哲也

計測・制御技術支援室 計測機器技術グループ

## 概要

計測機器の開発では、信号処理や制御回路にプリント基板を多用する。ここでは、プリント基板の製作方法として、銅箔を張ったガラスエポキシ基板の表面を切削することで配線パターンを形成する、基板加工機を用いた方法。設計した回路図を専門の基板設計製作会社に提供し、配線パターンの設計からプリント基板の製造まで依頼する方法。自分で設計した配線パターンデータをインターネットで基板製造会社に送り、通販で基板を製作する方法。以上、筆者が経験した3つの方法について紹介する。

## 1 はじめに

計測機器に限らず、プリント基板は身の回りにある電子機器のほぼ全てに使用されている。ここでいうプリント基板とは、「プリント回路板 (Printed Circuit Board / PCB)」のことで、部品が基板に実装され電子回路として機能するものを指す。一方、部品が実装されていないプリント基板のことを「プリント配線板 (Printed Wiring Board / PWB)」と呼び、製造段階が異なるこの二つは、発注する際に明確に区別されることが多い。本稿では、それぞれを区別する必要がない場合、単に「プリント基板」と呼ぶことにする。

### 1.1 プリント基板の構造と用語

プリント基板の製作方法を紹介する前に、プリント基板の基本構造と製作に関わる主な用語について説明しておく。

#### ● 基板材料

プリント基板のベースとなる基板に用いられる絶縁体には、様々な種類が存在する (表1)。宇宙地球環境研究所では、厚さ1.6mmのガラスエポキシ基板 (FR-4) を使用している。

#### ● 片面基板、両面基板

絶縁基板の片面に銅箔を張ったものを「片面基板」と呼び、両面に張ったものを「両面基板」と呼ぶ。両面基板は、配線パターンが表と裏に存在するため、これらを電氣的に繋げる必要がある。筆者の場合は、スループイン KIT (サンハヤト) やリード線をはんだ付けして接続することが多い。

#### ● 多層基板

基板の内層に配線パターンを持つものを多層基板と呼ぶ。例として4層基板の断面図を図1に示す。多層基板は配線パターンを絶縁層で挟み込んで積層化したもので、各層のパターンはスルーホールによって電氣的に接続される。学内で製作するのは困難なため、多層基板は、外部の業者に依頼して製作する。

表1. 主な基板材

| 呼称        | 規格名   |
|-----------|-------|
| 紙フェノール    | FR-1  |
| 紙エポキシ     | FR-3  |
| ガラスコンポジット | CEM-3 |
| ガラスエポキシ   | FR-4  |

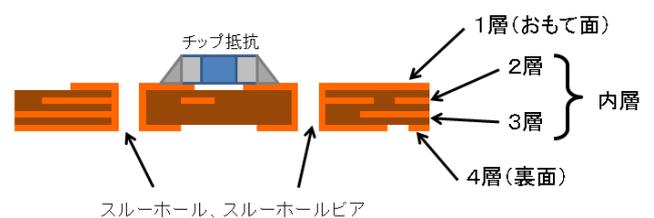


図1. 4層基板の断面図

- スルーホール

基板に穴が開けられた穴の側面を銅メッキしたもので、これにより各層のパターンを電気的に接続する (図 1)。リード線や IC の足などの接続端子を通すための穴をスルーホール (図 2) と呼び、各層を接続するためにだけ設けた小径の穴はスルーホールビア (図 3) と呼ばれる。

- レジスト

基板の表面を保護する絶縁層で、はんだ付けする以外の部分を覆うことで銅箔の酸化を防ぐことができる。緑色が多いが (図 2, 図 3)、最近の基板では、赤、黒、白、など、様々な色のレジストが存在する。

- シルク

レジストの上に部品の外形や部品番号などの情報を印刷したもので、色は白色が多い (図 2)。

- パッケージ

パッケージとは、電子部品の外形のことである。IC の多くは、挿入型の接続端子をもつ DIP パッケージが主流であったが、時代が進むにつれ、端子数の増加、IC の小型化、プリント基板の多層化が進み、現在では、表面実装型の IC が主流となっている (図 4)。表面実装型 IC の中でも端子が外部に露出し、手作業によるはんだ付けが可能なパッケージと電極が IC の裏面に配置され、リフローというはんだ付け技術を用いなければ基板に固定できないパッケージが存在する。

- リフロー

プリント基板上にペースト状のはんだを印刷し、その上に部品を配置してから全体に熱を加えて部品を固定する方法。表面実装型の部品に用いる。

- ガーバーデータ

プリント基板のパターンを表すデータフォーマットで、いくつかの基本形状とその位置情報でパターンを表現したアスキーファイルである。プリント基板の製造を外部に依頼する場合に提供するデータとなる。ファイル形式は規格化 (拡張ガーバーフォーマット RS-274X) されているが、CAD から出力する際の設定が適切でないと、製造側で正確にパターンを再現できないことがあるので注意が必要である。

- ホールデータ

基板に加工される穴の情報を納めたデータファイルである。穴径のリストと座標を羅列したアスキーファイルとなっている。

## 1.2 プリント基板の製作過程

プリント基板の製作過程には、(1) 回路設計、(2) パターン設計、(3) プリント配線板の製造、(4) 部品実装 (はんだ付け)、(5) 検査・性能評価がある。紹介する 3 つの事例の違いは、どの部分を学内でを行い、どの部分を外注するかの違いである。当然、外注した方が製作費は高くなるが、学内では製作できない多層基板やリフローによる部品実装が可能である。

最初に紹介する事例「基板加工機を使用して製作する方法」は、(1) ~ (5) の全てを学内でおこなう製作方法である。次に紹介する「専門の基板製作会社に配線パターン設計から製造まで依頼する方法」は、(2) ~ (4) を外部に依頼する方法である。最後に紹介する「ネット通販で基板を製作する方法」は、(3) と、場合によっては (4) を外注して製作する方法である。

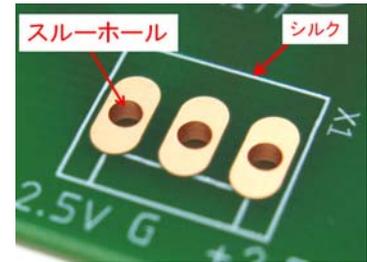


図 2. スルーホールとシルク

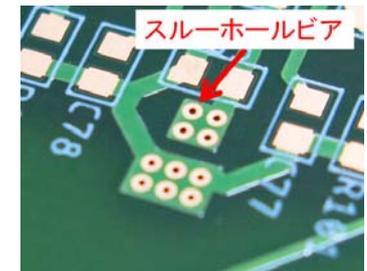


図 3. スルーホールビア



図 4. DIP (左) と表面実装型 SOP (右) パッケージ

## 2 プリント基板の製作方法の紹介

プリント基板の製作方法は、研究の目的、基板の用途、開発の段階、予算によって使い分けられる。ここでは、筆者が経験した3つの製作方法を紹介する。

### 2.1 基板加工機を使用して製作する方法

宇宙地球環境研究所では、ほとんどの基板をミッツ株式会社のプリント基板加工機 FPZ-31AT で製作している。依頼の多くは、「回路規模が比較的小さい」、「基板サイズの制約が少ない」、「製作枚数が少ない」、「試作基板である」、などの理由からこの方法を取ることが多い。この製作方法であれば、数時間で基板が完成できるし、何より安価で手軽である。

基板加工機は、未加工の基板表面をミーリングカッターで削ることで、銅箔面にパターンを形成する。基板加工機に付属するソフト (Design Pro, ミッツ株式会社) は、様々な CAD から出力されるガーバーデータを読み込み、加工プログラムに変換することができる。筆者の場合、小規模な回路が多いので、回路図を BSch3V [1] で作成し、回路図を見ながらパターン図を PCBE [2] で設計することが多い。

この製作方法のデメリットは、ミーリングカッターで溝を掘ってパターンを形成するため、そのままでは不要な銅箔が残ってしまう点である。例えば、導線が基板表面に落ちた場合、回路が短絡する危険性がある。こうした事態が起きないように、必要に応じて「不要な銅箔を取り除く」、「レジスト剤を塗って表面を保護する」、「基板を納めるケースや配置方法に注意する」などの配慮が必要である。

### 2.2 専門の基板製作会社に配線パターン設計から製造まで依頼する方法

2011年に太陽地球環境研究所(当時)宇宙線グループからの依頼で、メキシコのシュラネグラ山頂(標高4,600m)に設置されている太陽中性子望遠鏡 SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope) [3]のデータ取得を高速化するためにプリント基板を製作することになった。開発は、名古屋大学の佐々井義矩氏によって進められ、2014年に基板が完成し、従来の10倍のデータ取得速度が得られることが確認された[4]。筆者は主にプリント基板やそれらを納めるラックなどハードウェアの準備を担当した。

SciCRTは、もともと加速器ニュートリノ実験(K2K実験)のために開発されたSciBar検出器[5]を宇宙線観測に転用したもので、データ取得速度が宇宙線観測には適していなかった。そこで、FPGAにTCP/IPプロトコルを実装しLANによる高速データ転送を可能にした技術SiTCP[6]を採用した高速データ取得ボード(バックエンドボード)を新たに開発することになった。

このプロジェクトはOpen-It(オープンソースコンソーシアム)[7]の技術支援を受けて進められた。Open-Itは、高エネルギー物理学者が中心となり、物理計測に関わる技術をオープンソースとして共有するコンソーシアムである。そこで、回路図はOpen-Itで標準的に使用されているOrCAD(Cadence)を使い、Open-Itで定められた表記法に従って記述した。

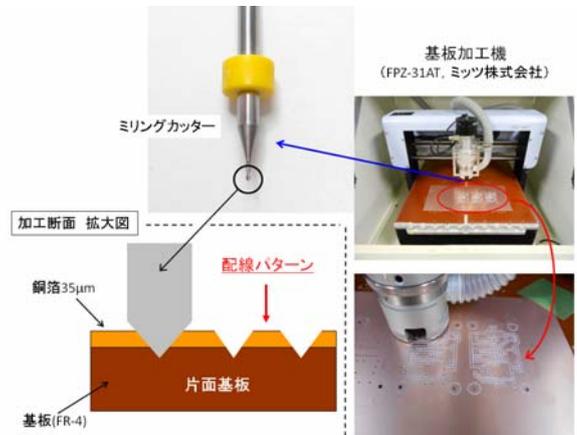


図5. 基板加工機による加工

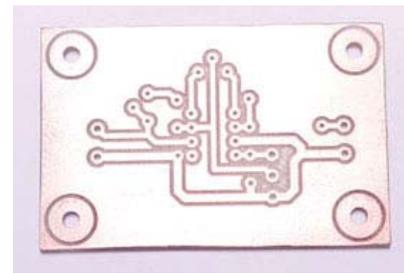


図6. 基板加工機で製作したプリント配線板の例

この時は、部品点数が 1000 点をこえるような基板製作が初めてだったこともあり、物理実験用のプリント基板の製作に慣れた会社に OrCAD で作った回路図データをそのまま提供して、パターン設計からプリント配線板の製作、部品実装まで全てを依頼した。ただし、パターン設計では、基板製作会社からの設計案に対して、高エネルギー加速器研究機構のベテラン技術職員である池野正弘氏に細かな修正点を指摘していただき、それにならって修正指示図を作って会社に送り、修正が反映されたパターン図を再び検図する、といったやりとりを計 4 回繰り返して最終版に至った。この間のやりとりから、パターン設計では、こういった点を注意すべきか、プリント基板製作の根幹に関わるノウハウを教えていただき、たいへん勉強になった。

回路シミュレーターが発達した現在であっても、回路図はいうなれば理論式であり、回路図をパターンにおこし部品を実装した時に、期待どおりの性能が得られるかどうかは、パターン設計にかかっている。特に高速で安定なプリント基板を製作するためには、パターン設計こそ技術の中心であり、最もノウハウが詰まった部分といっても過言ではない。

### 2.3 ネット通販で基板を製作する方法

宇宙地球環境研究所宇宙線研究部からの依頼で、SciCRT 用の新型フロントエンドボードの開発支援をすることになった。2016 年に基板加工機で製作した 1ch の試作回路の評価[8]を経て、次の段階として 2018 年 8 月にチャンネル数を 16ch に増やしたプリント基板を製作した。このプロジェクトでは、回路設計をメキシコ国立自治大学の共同研究グループが行い、その回路図をもとにメキシコ側と共同で配線パターンを設計した。この際、CAD は EAGLE (Autodesk) を使用した (図 9)。このプロジェクトは、部品点数が 200 点を超えており、基板サイズにも制限があったため 4 層基板をネット通販で製作することになった。

ネット通販でのプリント配線板の製作は、15 年以上前からスタートしており、現在では複数の業者がサービスを行っている。ネット上での自動見積精度も高く、納期も 1 週間～2 週間と比較的短い。注意点としては、製造業者それぞれに穴径、線幅、パターン間隔などに基準があるので、その基準に従って注意深くパターンを設計する必要があること。また、部品実装も依頼する場合は、基板上にシルクで印刷した部品番号と取付部品の型番を正確に対応づけた部品表や実装指示書を準備する必要があることである。こうした一連の作業は緻密で慣れが必要であるが、慣れさえすれば、より高度で複雑なプリント基板を安価に製作することが可能である。

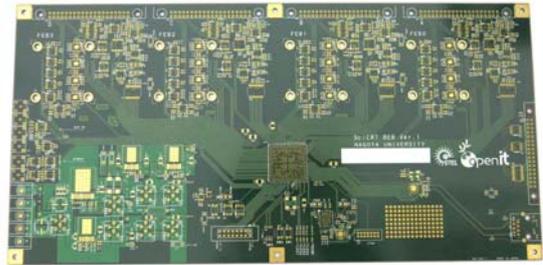


図 7. SciCRT バックエンドボード  
プリント配線板



図 8. SciCRT バックエンドボード[4]  
プリント回路板

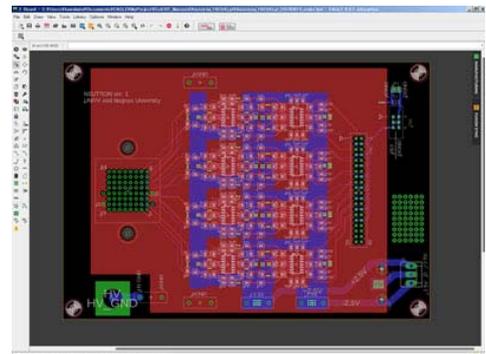


図 9. EAGLE で設計した基板

### 3 まとめと今後

ここでは、プリント基板の製作方法について、筆者がこれまで経験した3つの方法を紹介した。実際には、製作方法には様々な手段があり、様々なツールも存在するので、本稿は筆者の個人的な事例紹介と受け止めてほしい。

近年、半導体部品の発展はめざましく、最新デバイスのパッケージは、ほとんどが表面実装型で、かつ小型で電極が裏面に隠れているものが多くなってきた。これまで試作基板では、部品を手はんだで取り付けてきたが、いよいよ対応が難しくなってきた。今後は、こうした最新のデバイスに対応するために、ペーストはんだをのせるマスクの製作や、リフローを使ったはんだ付けを職場で手軽に実現できる手法を確立する必要があると考えている。

最後にプリント基板製作の貴重な機会を与えてくださいました宇宙地球環研究所宇宙線研究部の皆様、東京大学宇宙線研究所の埜隆志先生、丁寧なご指導をいただきました高エネルギー加速器研究機構の池野正弘様、内田智久先生、田中真伸先生に感謝を申し上げます。

### 参考文献

- [1] 回路エディタ BSch3V, フリーソフト, 水魚堂 岡田仁史
- [2] プリント基板エディタ PCBE, フリーソフト, 高戸谷隆
- [3] Y. Nagai et al., First cosmic-ray measurements by SciCART solar neutron experiment in Mexico, *Astropart. Phys.*, 59, 39-46, 2014
- [4] Y. Sasai et al., A faster and more reliable data acquisition system for the full performance of the SciCART, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A*, 857, 50-57, 2017
- [5] K. Nitta et al., The K2K SciBar detector, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A*, 535, 147-151, 2004
- [6] T. Uchida, Hardware-based tcp processor for gigabit ethernet, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 55, 1631-1637, 2008
- [7] Open-It (Open Source Consortium of Instrumentation), <http://openit.kek.jp/>
- [8] M. Anzorena et al., Development of faster front end electronics for the SciCART detector at Sierra Negra, Mexico, *ICRC 2017*, 53

発行日：2019年3月29日

編集者：民田 晴也 <http://tech.isee.nagoya-u.ac.jp/~minda/>

久島 萌人 <http://tech.isee.nagoya-u.ac.jp/~kyushima/>



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/>