JAXA 宇宙科学研究所 先端工作技術グループの立ち上げ*

The First Four-Year Activity Report of the Advanced Machining Technology Group of Japan Aerospace Exploration Agency

月崎竜童**
松井大樹**

岡田則夫**
青山正樹***

中坪俊一**
武田洋一†

加賀 亨**
馬場満久**

Ryudo TSUKIZAKI, Norio OKADA, Shunichi NAKATSUBO, Toru KAGA, Oki MATSUI, Masaki AOYAMA, Youichi TAKEDA and Mitsuhsa BABA

Key words machining, ISAS, JAXA, aerospace engineering, spacecraft, rocket, activity report

1. はじめに

東京大学航空宇宙研究所に端を発する宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所は、1989年の相模原移転に至るまで、国内屈指の試作工場を有していた。1951年には国内の大学で最も早く各研究室に分散していた工作室を集約し、大学の規模を超える一大拠点に発展させた。その工作環境が、ペンシルロケットに始まり、ラムダ・ロケットによる人工衛星「おおすみ」の打ち上げ成功に貢献し、日本を世界で4番目の衛星打ち上げ国に導いた。その後、「さきがけ」、「ひてん」、人類史上初となる小惑星サンプルリターンを実現した「はやぶさ」など、大学の一研究所のレベルを超えた研究開発を下支えしたと言っても過言ではない。

相模原移転後は、2003年のJAXA誕生を契機に、ヒトとカネの効率化によって工作室の体制も縮小を続け、2014年には工作環境は大幅に悪化した。一方、東京大学生産技術研究所や各大学、国立天文台も例外なく2003年以降の予算縮小の影響を受けたものの、自動化による効率化によって生産能力は質・量共に向上していた。そこで2015年に宇宙科学研究所では、理工学のエデュケーション・一般職、若手からベテランまでさまざまな職員が集い、航空宇宙の研開発にふさわしい工作室の検討を行う改革チームを発足させた。ここでは、新たに発足した先端工作室の改革案、立ち上げ経緯、これまでの成果と3年間の運営で見てきた課題について報告する。

2. 先端工作室の立ち上げ

2.1 組織改革と予算獲得

上述の改革チームは東京大、名古屋大や分子科学研究所、国立天文台などの工作室の規模や装備、運営方法などを参考とし、JAXAの内のニーズを聞き取りしながら、約半年をかけてプランを練り、以下に示す三つのコンセプトにまとめた。

- ブレッドボードモデルからフライトモデルまで作ることができる高度な加工技術
- 高度な加工を可能にする設計支援機能
- 組織の枠を超えて「ノウハウ」を横断的に集約・蓄積するセンター

上記三つのコンセプトを実現することで、宇宙機開発において先行して行われる研究試作段階を充実させ、JAXAの技術競争力を高めることを狙った。新規設備投資のための数億円規模の設備投資や人材確保にあたっては、開発リスクの低減、コストの抑制、宇宙科学研究所のみならず図1左上に示すすべてのJAXA事業所に貢献することを条

図1 JAXAにおける先端工作室の位置付けと機能

*原稿受付 令和2年7月6日

**宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所（神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1）

***自然科学研究機構 分子科学研究所（愛知県岡崎市明大寺町西郷中38）

†岩手大学（岩手県盛岡市上田4-3-5）

表1 新規導入設備一覧

導入した機械	備考
マシニングセンタ	牧野フライス D500
NC 複合旋盤	オークマ MULTUS B200 II
NC フライス	静岡鉄鋼 R-3VN
操作フライス	牧野フライス AEV74
NC 旋盤	大日金属 DL75×150 型
ワイヤ放電加工機	三菱電機 NE-2400
接触式三次元測定機	ミットヨ LEGEX12128
マイクロスコープ	キーエンス VHX-5000

表2 各研究機関との人材技術交流の一覧

研究機関	内容
国立天文台先端技術センター	クロスアポイントメント制度による5年間の出向
分子科学研究所	招聘職員として1年間の出向
岩手大学高度試作加工センター	招聘職員2名(1.5年と1年)の出向, 大学連携協定も締結.
金沢大学技術支援センター	招聘職員として2年間, 大学と連携協定も締結
東京工業大学	人事交制度による招聘職員, 3年間

図2 上:基礎工事中の先端工作室 下:現在の様子

件に、経営層や人事部の理解をとりつけた。また、図1に示すように宇宙ナノエレクトロクスや従来の汎用機械の工作室などの組織を統合し、従来は基盤技術グループの下部組織だった工作室を、独立した「先端工作室工作技術グループ」として2016年に発足させた¹⁾。

2.2 新規導入設備

表1に新たに導入した設備一覧を示す。これらの設備の具体的なメーカー・型番の選定にあたっては、JAXA各所のニーズを調査し、将来試作検討され得る加工物の寸法から、ワークサイズと加工・測定精度を決めた。また、実際の使い勝手も重要であるため、既に稼働している全国の大学等の工作室の職員の意見も参考にした。これらの設備は、宇宙科学研究所の先端宇宙科学実験棟1階に新たに部屋を確保して設置された。

図2に工事中の先端工作室と完了後の現在の様子を示す。1階に新たに部屋を確保したものの、地下に配管設備がある関係上床の耐荷重が工作機械の重さに耐えられなかったため、独立基礎を新たに作る必要があった。基礎は工作精度に直結する最重要項目である。図2上の右上に穴が開いているように、相模原の堅固な地盤の上に地下1階分の約3m³のコンクリートを流し込んだ。左下には既に固

まったコンクリートの基礎が見える。このように各工作機械の上に堅固な独立基礎を作り、図2下に示すように現在の工作室が完成した。ここでは示されていないが、写真の下側の先に空調管理された独立した空調室内に置かれたミットヨの3次元接触測定器、天井には操作クレーン、TIG溶接などの設備も設置されている。本来、工作室は作業効率もあり、工作機械はすべて同じエリアに置かれているのが好ましいが、面積が不足しているため、旋盤・フライス・ボール盤などの汎用機械の多くは、従来どおり3階工作室に置かれ、大学院生や研究者が自ら工作できる環境として活用している。経験の浅い者も訪れるので、ここでは安全配慮と技術指導のため専任スタッフを2名配置し、毎年約150件前後の利用がある。

2.3 人材確保と技術交流

2.2節で導入した設備も加工技術者がいなければ、宝の持ち腐れである。これら最新の設備を意のままに操作できる人材を確保することが非常に重要であり、また、難航を極めた。表2に全国各地の大学・研究機関との協力関係を示す。このように全国各地と協力関係を構築し、各工作室の第一線で活躍している人“財”に期間限定で出向していただいた。送り出す組織としては、人手不足になるなどのデメリットしかないが、①出向する本人の希望、②各機関長の方々の深いご理解、③現場に残された工作室の職員の方のフォロー、④当時の宇宙研所長の常田氏の粘り強い交渉、によりなんとか実現した。JAXAからできることはあまりないが、連携協定を結び各機関の研究活動の助けとなるように尽力した。

これら任期付き職員が、先端工作室の立ち上げに応援にきている間に、将来の工作室を背負う人材を恒久的に確保する必要もあった。JAXAにおいて現場から声を出し、恒久的な人材を確保するのはハードルが高く、図1上に示すJAXA本社の経営層・人事部にその必要性を理解してもらう必要がある。また、従来の人事制度では数年おきに人事異動があるが、この枠組みにとらわれず腰を据えて工作室にいたる必要があった。各プロジェクト・各事業所の人材要求の中で、これまでに2名を経験者採用することができた。現在は、表2に示した招聘職員2名がおり、先端工作室は4名体制で運営している。今後は任期が切れないうちに、次代を担う20代、30代の若手職員を確保することが必要不可欠である。現在も継続して人材確保に取り組ん

図3 本グループ集合写真。上左から月崎、青山（現在は分子研）・加賀、下段左より正光・徳永・鈴木・山口・松井・中坪・武田（現在は岩手大）・西野・稲部・岡田

表3 受注依頼件数

年度	件数（作業時間）
2017	106 件（2045 時間）
2018	87 件（2174 時間）
2019	92 件（2908 時間）

表4 主要受注案件の一例

製品名	事業所・プロジェクト名
H3 ロケット試験用タンク・ノズルスケールモデル	宇宙輸送技術部門・H3 プロジェクト ²⁾
ロケットのインデューサレーザーリフレクタ	研究開発部門角田宇宙センター 追跡技術ネットワークセンター
再使用ロケット RV-X 部品	研究開発部門 ³⁾
光学ミラーのモデル	宇宙研・LiteBIRD ⁴⁾
搭載機器の設計・製作	宇宙研・小規模計画 Dust ⁵⁾
地球帰還カプセルのマニピュレータ	宇宙研・はやぶさ2 プロジェクト

でいる。一般工作室・ナノエレクトロニクスなど含め当グループの集合写真を図3に示す。

3. これまでの成果

2016 年の立ち上げ以降、2017～2019 年度の3 年間の受注件数を表3に示す。年間 100 件前後の依頼がある。機械加工の作業時間は、2017 年度は 2045 時間だったが、年を経るごとに増加し 2019 年度は 50% 増の 2908 時間となった。1 件当たりの工数は増え、より複雑で時間のかかる加工を引き受けている傾向にある。受注件数は 2017 年度の 106 件から減少しているように見えるが、これは簡便なものは外部のオススの機械加工業者を紹介しているためである。これらを含めるとすべての依頼は表3に示すよりも多く、毎年増加傾向にある。人的・時間的リソースは限られるので、今後も先端工作室で引き受ける案件かどうかを見極め、いかにタイムリーに現場の研究者らに加工物を納品するかが、今後の運営面での課題である。

図4 上：ロケットエンジンのインデューサ 中：次期補給機 HTV-X のレーザーリフレクタホルダ 下：国際観測ロケットによる DUST 計画搭載装置

表4にこれまでの主要な製作加工品の一例を示す。宇宙科学研究所にとどまらず、JAXA の他部門からの依頼も幅広く受けていることが分かる。JAXA の次期基幹ロケット H3 の地上試験用のタンク・ノズルスケールモデルをはじめ、2020 年に地球帰還を果たす「はやぶさ2」のカプセルの開封作業で使用するマニピュレータなどもある。

これら成果物のなかでも加工が難しかった例を図4に示す。図4上は角田宇宙センターの研究開発部門に納品したロケットエンジンの実験用インデューサである。ハブ面から羽根が 60 mm 程度突き出ておりその先端は 0.1 mm まで薄くなっていることで、荒削りの加工ひずみにより羽根形状が変形するため加工は困難を極めた。変形を考慮して仕上げ代を多く設定すると切削抵抗が大きくなり先端部でビビりが生じる一方、仕上げ代を少なく設定すると羽根自身の剛性が下がり加工が成立しなくなる。これらをクリ

アできる適切な加工工具と条件をトライ＆エラーで選定し、加工を進める必要があった。このような複雑な部品を材料の原価のみで完成できたのは、インハウスならではの強みといえる。

図4中は、次期国際宇宙ステーション補給機HTV-Xのレーザーリフレクタホルダである。地上観測地点からレーザー光を当てて、帰ってきたレーザー光との差を計測して姿勢や位置を正確に把握するものである。JAXA 筑波宇宙センターの追跡技術ネットワークセンターと独自のレーザーリフレクターを開発してきた。写真は直径110 mm程度の大型リフレクターのエンジニアモデルである。現在製作中のフライトモデルでは、さらに40%の軽量化を図り、2021年度打ち上げ予定である。

図4下は、製作加工のみならず設計から支援した国際観測ロケットによって打ち上げられたDUST計画の搭載装置である。ロケットは、2019年6月24日スウェーデン・キルナにあるエスレンジ宇宙センターから、10月7日にはアメリカ合衆国・ニューメキシコ州ホワイトサンズ実験場から、それぞれ行われた。射場近くには湖があり、ロケット搭載機器を防水スキで覆う必要があり、構造解析をしつつ光学系の剛性は保ちながら軽量化する必要があった。開発を進めながら、要求性能に合わせた仕様変更が度々あり難航を極めた。国際プロジェクトで時間的制約が厳しい中、契約事務作業などを伴わず、迅速に対応できたのもインハウスで先端工作室を整備した成果である。

4. まとめと今後の課題

2016年に発足した先端工作室は発足してから約4年が経過した。最新の設備を導入し、全国各地からの応援により無事に立ち上げに成功した。航空宇宙特有の軽量・真空・断熱などが特徴の機械加工が多く、これまでに300件近く、延べ7000時間の機械加工を行ってきた。かかる成果は、宇宙科学研究所のみにとどまらずH3ロケットや国際宇宙ステーションの次期補給船HTV-XなどのJAXA全体のさまざまな活動に貢献してきた。依頼件数は年々増加傾向にある一方で、現状の人員体制は4名（プロパー2名と任期付き2名）と少なく、恒久的な人材確保が急務となっている。他機関からの出向制度は、キャリアパスが描きにくい加工技術者にとっては、自身の専門性を活かして、他組織・他分野の機械加工にチャレンジできる絶好の機会である。外に出ることで今一度、自身が働いてきた職場環境や自身の加工技術者としての腕を客観的に見つめ直すことにもなる。インハウスで質の高いモノ作りを通じ、JAXA全体としてノウハウと知識を蓄積していくことで、宇宙航空分野の研究開発に貢献できれば幸甚である。

謝 辞

JAXA 先端工作室の立ち上げにあたっては、国立天文台先端技術センター、分子科学研研究所、岩手大学高度試作加工センター、金沢大学技術支援センター、東京工業大

学をはじめ、多くの関係機関の協力を頂いた。ここに謝意を記す。

参 考 文 献

- 1) 山崎典子ほか：宇宙ナノエレクトロニクススクリーンルームを用いた研究開発，月刊クリーンテクノロジー，**30**，9（2020）。
- 2) H3 ロケット，https://www.jaxa.jp/projects/rockets/h3/index_j.html 2020.7.28 アクセス。
- 3) JAXA 研究開発部門 研究紹介 基幹ロケットの再使用化による打ち上げコストの低減，<http://www.kenkai.jaxa.jp/research/rvx/rvx.html> 2020.7.28 アクセス。
- 4) LiteBIRD，<http://litebird.jp/> 2020.7.28 アクセス。
- 5) 宇宙科学最前線 小規模計画 DUST プロジェクトが目指す宇宙ダスト研究の最前線，<http://www.isas.jaxa.jp/feature/forefront/180521.html> 2020.7.28 アクセス。

山崎竜童

2013年東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻修士。博士（工学）。同年よりJAXA 宇宙科学研究所助教。専門は電気推進工学。今年、地球帰還を果たす「はやぶさ2」のプロジェクトメンバーとしてイオンエンジンを担当。先端工作室の立ち上げに携わる。

岡田則夫

1978年愛知工業大学工学部電気工学科卒業。名古屋大学理学部低温研究室、分子科学研究所装置開発室を経て、1994年より国立天文台先端技術センターに勤務。2016年よりクロスアポイントメントにてJAXAに出向し、先端工作技術グループ長を務める。

中坪俊一

北海道情報大学経営情報学部システム情報学科卒業。北海道大学低温科学研究所技術装置開発室を経て、2017年より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に勤務。

加賀 亨

1999年岩手県立産業技術短期大学校メカトロニクス技術科卒業。岩手大学の技術職員として理工学部高度試作加工センターに10年在籍。2019年よりJAXA 先端工作技術グループに勤務。

松井大樹

2014年より金沢大学技術支援センターに勤務。工作機械を使ったものづくりと学生指導を行う。2019年よりJAXAに出向。先端工作技術グループのスタッフとして5軸加工機を担当する。

青山正樹

1985 年名古屋大学技術職員として入職。2004 年から分子科学研究所技術職員。実験機器の機械設計・機械工作業務に従事。2016～2017 年 JAXA 宇宙科学研究所先端工作技術グループ（出向）2020 年 4 月～名城大学非常勤講師（兼務）。

馬場満久

2014 年早稲田大学大学院基幹理工学研究科機械科学専攻修了。同年より JAXA にて勤務。現在、研究開発部門第二研究ユニット所属し、宇宙科学・探査プロジェクトに従事。先端工作技術グループ発足に関わる。

.....

武田洋一

2006 年岩手大学大学院工学研究科機械工学専攻修了。技術士（機械部門・金属部門）、特級技能士（機械加工）。2010 年より岩手大学高度試作加工センターにて装置設計・機械加工・実習指導などに携わる。2018 年 10 月から 1 年間 JAXA 先端工作技術グループに招聘出向。