

IIII Kikuchi-Kossel 実験－微小重力下でのコロイド結晶形成 IIIII
(解説)

Kikuchi-Kossel テーマの宇宙実験計画詳細化フェーズにおける課題

木暮 和美¹・曾根 武彦²・伊藤 裕一³

Space experiment definition and operation planning for "Kikuchi-Kossel"

Kazumi KOGURE¹, Takehiko SONE² and Yuichi ITO³

Abstract

This paper reports the space experiment definition and operation planning of the Japanese space colloid project "Kikuchi-Kossel". The project was selected as one of candidates of space experiment in KIBO in 2010. Since then, the researchers and project members have tackled with the various issues to realize the space experiment in ISS/KIBO module, where these issues must be treated under the operations constraints as well as restrictions of the onboard apparatus. To ensure the mission success, we are adopting a milestone review approach for the on-board projects, issues and missions design referring to the experiment operations are coordinated with it. The paper will provide basic information to the researchers who aspire for scientific space experiments.

Keyword(s): Kikuchi-Kossel, Definition phase, CCOF, WV

Received 18 Feb. 2015, accepted 14 Apr. 2015, published 31 Apr. 2015

1. はじめに

宇宙実験候補として選定された研究テーマは、その後、国内外ともに実験要求の詳細化、供試体概念設計・詳細設計・製作、運用計画作成等の多くの工程を経て軌道上実験に至る。2010年3月に宇宙実験テーマ候補として採択された Kikuchi-Kossel テーマ(代表研究者 曾我見郁夫・京都産業大学名誉教授)は、現在、「フライト実験の準備(Development phase)」に入った段階にある。

著者等は Kikuchi-Kossel テーマが採択された直後より、代表/共同研究者、JAXA と共に、科学的な実験要求を明確化し、実験計画を詰める作業に携わって来た。本稿は、Kikuchi-Kossel テーマに関するこれまでの実験計画作成作業における課題と対処状況について延べ、宇宙実験を目指す方々に「研究計画の詳細化(Definition phase)」段階における作業情報を提供、今後の研究計画作りに役立てて頂くことを目指す。なお、宇宙実験テーマの一般的なワークフローと作業内容は Fig. 1 に示すとおりである¹⁾。

2. 実験計画について

2.1 基本計画

他の宇宙実験テーマ同様、Kikuchi-Kossel テーマの宇宙実験計画も採択直後の2010年春から代表研究者(PI)・共同研究者(CI)の提案した研究内容、これまでに構築した実験条件、手順および装置が、制約条件の多い宇宙実験として成立するか否かを議論するところから開始した。実験計画を構築する際の基本条件は次の通りである。研究内容の詳細は本誌に掲載されているPI/CIによる報告を参照されたい。²⁻⁹⁾

- 水を溶媒とし、静電的に安定化したコロイド分散系の構造を精密に観測する。
- コロイド試料のコッセル線回折線観察だけでなく、グレイン、ボイドの観察も行う。
- 多目的ラック(MSPR) / ワークボリューム(WV) を利用し、宇宙飛行士による作業を極力減らした自動運転できる実験装置とする。

1 一般財団法人 日本宇宙フォーラム 宇宙利用事業部, 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 3-2-1
Department of Science and Applications, Japan Space Forum, 3-2-1 Kandasurugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062, Japan
2 有人宇宙システム株式会社 ISS 利用運用部, 〒305-0047 茨城県つくば市千現 2-1-6 つくば研究支援センターA 棟
ISS Utilization and Operations Department, Japan Manned Space Systems Corporation, Tsukuba Center Inc.(TCI), A,
2-1-6, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047, Japan
3 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙ミッション本部 宇宙環境利用センター, 〒305-0047 茨城県つくば市千現 2-1-1
Space Environment Utilization Center, Human Spaceflight Mission Directorate, JAA, Sengen 2-1-1, Tsukuba city, Ibaraki
305-850 Japan
(E-mail: kkgure@jsforum.or.jp)

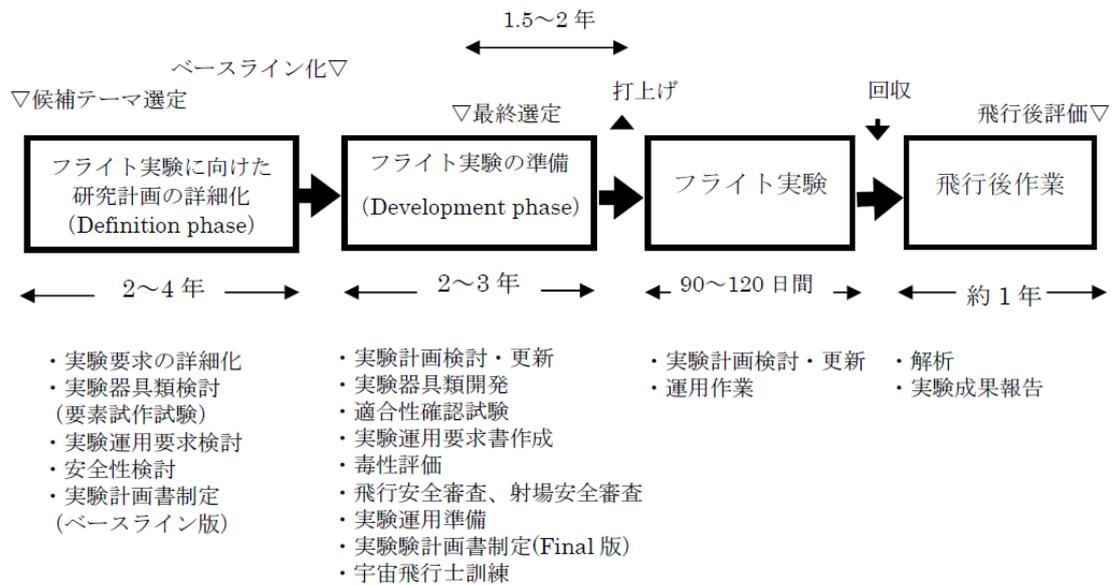


Fig. 1 Work flow from selected as a candidate to post-flight tasks.

2.2 実験計画の詳細化

(1)流れ

実験計画構築作業を開始してから約2年強、PI/CIによる地上実験、JAXAを含む関係者間の調整会を経て、2013年3月の基本設計審査(PDR)までに決定した実験の概要は次の通りである。なお、研究目的を達成するための実験条件/試料組成については、フライト試料調製・充填作業の直前までPI/CIによる地上研究が継続されると共に、PI/CIの報告に含まれる内容であるため、本報告では主に実験方法・実験運用に関する事項について述べる。

- ・PI/CIが開発したコッセル線回折装置ではCCDの細かいセンサを回転させて回折像を撮影しているが、Kikuchi-Kosselテーマの宇宙実験装置(CCOF: Colloid-crystallization Observation Facility)ではできるだけ面積の大きなエリアセンサを使用し、回転させない設計とする。
- ・コッセル線回折による結晶構造観察系の他、グレイン(コロイド結晶粒)・ボイド(コロイド粒子を含まない領域)観察系も備える。
- ・PI/CIが開発した菊池・コッセル線撮影用稼働ステージ、キュベットおよびキュベットホルダーを基本とする。
- ・実験は5個のキュベットを組み込んだ試料カセットを1単位として進め、試料カセットの交換は宇宙飛行士に依頼する。

これらの合意事項に基づき、実験装置開発および運用手順検討などの実験計画を詳細化する作業が行われている。⁹⁾

実験計画を詳細化する過程で解決すべき課題として、当

初より次の項目が挙げられた。これらは宇宙実験特有の制約から生じる課題である。

①フライト用コロイド試料の品質/密閉性保持期間

打上から実験開始、終了までの期間を考慮した場合、キュベットに充填したコロイド試料の質/密閉性を最短3カ月、できれば半年間は維持する必要がある。

②フライト用コロイド試料の攪拌

実験を開始する際、コロイド試料を攪拌し、一旦、結晶が存在しない状態を作る。そのために試料と共に封入できる形状で、且つ、試料の健全性を損なわない攪拌が必要になる。

③リソース(打上重量、宇宙飛行士による作業時間、通信量、実運用期間等)の節約

打上重量は主に装置開発側の要素であるが、宇宙飛行士による作業時間、通信量は実験運用側の要素が大きい。これらのリソースは常に極力節約するよう求められる。また、宇宙実験が始まった場合、取得されたデータをどのような体制およびスケジュールで解析するか、実りある結果を得るために効率的な運用手順を構築する必要がある。

(2)コロイド試料の品質保持

コロイド試料は気泡が混入しない限り、経時的な劣化を懸念する必要はない。したがって、試料を充填したキュベットの密閉性をいかに長期間維持し、気泡の混入を防ぐか、気泡が混入した場合にその影響をいかに抑えるかが問題となる。(キュベットは本誌JAXA報告参照⁹⁾) 試料の密閉性・品質管理については代表/共同研究者による検討が

続けられている。現状、スクリーキャップとテフロンテープ等による封入では密閉状態を1.5ヶ月程度維持できるのみであるが、かしめる形のアルミキャップ封入により、3カ月間は維持できる見通しが立っている。しかし、実験における試料の種類、データ取得計画および試料の品質管理の観点から、試料の打上は1回ではなく、2回に分ける運用を計画している。今後、輸送やロケット打ち上げを想定した温度環境試験などを含め、CDR（詳細設計審査会）までに総合的な品質管理手順を作成する予定である。

コロイド試料を所定の条件に調製しキュベットに充填・封入する工程も標準化する作業を開始している。打上後、キュベット内部に気泡が混入した場合、コロイド試料との接触を防ぎ、悪影響を最小限とするような対策も検討されている。

(3) フライト用コロイド試料の攪拌

代表/共同研究者により、鉄芯にテフロン被覆した攪拌子の開発が行われている。今後、攪拌子の作製手順も標準化する予定である。

(4) リソースの節約：宇宙飛行士の作業時間

本実験は5個のキュベットを1単位（1試料カセット）とし、地上からのリモート操作による実験運用を基本とする。試料カセットの交換作業は宇宙飛行士に依頼せざるを得ないが、この作業は1~2週間に1回程度と想定される。また、試料カセットは装置の前面フロント側に設置すると共に、交換する試料カセットをWV内に保管する計画である。これにより試料カセット交換時に宇宙飛行士がWV前面から移動する必要が無く、作業時間を無駄にしない設計とした。保守的に見ても、1回の試料カセット交換は概ね10分以内に終了できると考えている。

(5) リソースの節約：観察時間

コロイド結晶の発生確率など、これまでの知見に基づき、

1個のキュベットを5行×4列に分割し、最大20点を自動的に観察するよう計画している。コッセル回折像は点光源（本実験装置ではレーザー光源）から発散する単色の球面波が結晶内のある格子面に対してブラッグ反射することにより得られる特徴的なパターンである。生成した結晶の方位によっては解析できる画像が得られない場合も考えられる。これはグレインやボイドを観察する場合も同様である。従って、結晶の成長状態やコッセル線強度などに応じ、キュベット毎に繰り返し詳細に観察する特定の位置を選ぶ予定である（スクリーニング）。そのために、取得した画像は適宜地上にダウンリンクし、詳細観察するスポットを選ぶことになる。現在、大量の画像データを地上で自動的に迅速にスクリーニングするための画像解析ソフトウェアを作成すべく、検討中である。

(6) リソースの節約：通信

軌道上LAPTOPの容量や通信制約のため、軌道上からのダウンリンクでは多くの時間が必要となる。小型記憶デバイスでの持ち帰りについてもJAXAと検討中である。

3. 実験運用計画について

3.1 全体の流れ

前項に述べた実験計画を詰めつつ、打上・実験運用のリソースを定量化するための運用計画を構築して行く必要がある。これは単純な宇宙実験フロー図から出発するが、実験計画のフェーズに合わせて精度を高め、打上重量や実験時間などのリソース評価および分刻みの運用手順計画を作成する基本になるものである。Kikuchi-Kossel テーマの基本的なフローを Fig. 2 に示す。

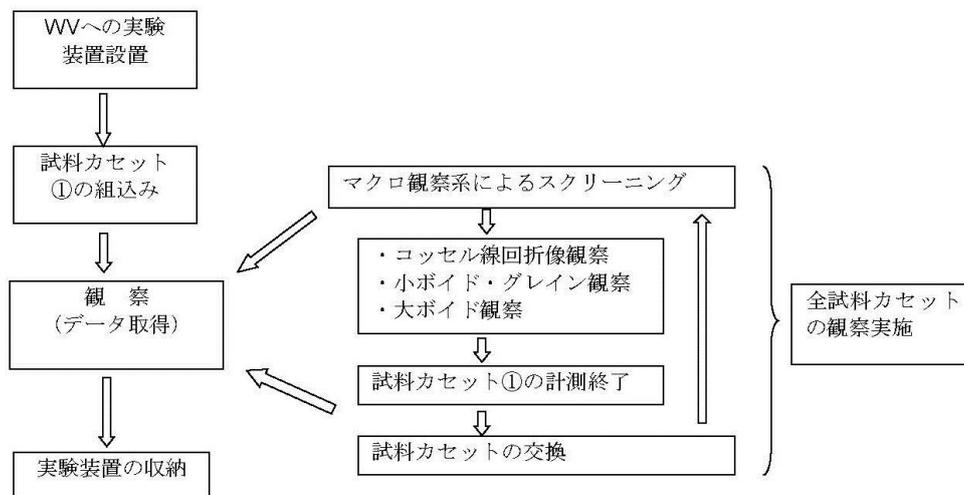


Fig.2 Operating procedure.

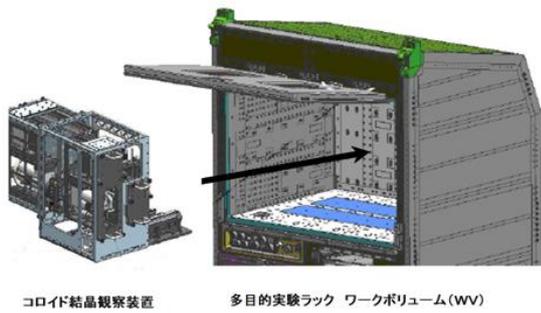


Fig. 3 Mounting "Colloid-crystallization Observation Facility" to the MSPR/WV (adapted from JAXA)

3.2 実験装置の搭載概要

コロイド結晶観察装置は、搭載場所、電力、通信、及び画像等の各種インタフェースに対して自由度を持たせた多目的実験ラックに搭載する予定である。具体的には、多目的実験ラックのワークボリューム(Work Volume; WV)に設置し、WV内部に設置されている電力、通信、及び画像信号等のインタフェースを用いて実験を行う計画である。実験装置の搭載概要を Fig. 3 に示す。

3.3 実験装置の通信概要

コロイド結晶観察装置は、多目的実験ラックの通信インタフェースとして準備されている一般的な Ethernet, USB, NTSC 信号等を介して地上との通信を行う。実験装置の制御は、地上からのコマンド制御及び実験パラメータファイルによる自動実験シーケンス制御を予定している。コッセル線回折像観察・ポイド観察系の画像データは、軌道上のラップトップコンピュータに保存され画像ファイルを地上に転送する予定である。実験装置の通信概要を Fig. 4 に示す。

4. まとめ

「研究計画の詳細化」フェーズは、対象とする宇宙実験を、限られたリソースと微小重力環境の下で成り立たせる系とするだけでなく、研究者自ら実験操作ができないという制約を理解し、地上で蓄積して来た科学的・技術的知見を宇宙実験用に焼き直す段階である。本稿に述べた Kikuchi-Kossel テーマに関する調整事項を通じ、実験条件などの科学的な検討事項とは別に、実験試料の品質保持期間や運用リソースの節約など、実験を実現する上では重要ではあっても科学論文に書き難い検討事項が多々あることをご理解頂ければ幸いです。今後、本テーマのフライト試料調製および実験運用手順の具体化、標準化が我々の重要な業務である。

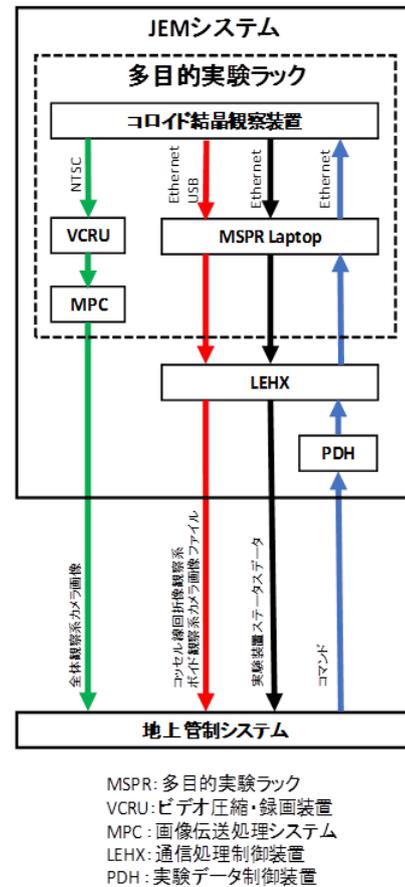


Fig.4 Communication path from JEM to the ground operation system.

参考文献

- 1) 財団法人日本宇宙フォーラム：宇宙実験を計画するために、2007.
- 2) I.S. Sogami: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320201. (in Japanese)
- 3) M. Tanigawa, T. Shinohara, J. Yamanaka, K. Ito and I.S. Sogami Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320204. (in Japanese)
- 4) K. Ito and M. Ishikawa Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320206. (in Japanese)
- 5) C. Kakihara, A. toyotama, T. okuzono, J. yamanaka, K. Ito, T. Shinohara, M. Tanigawa and I.S. Sogami: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320205.
- 6) Y. kataoka: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320208. (in Japanese)
- 7) B.V.R. Tata, R.G. joshi and I.S. Sogami: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320209.
- 8) M. Ishikawa, S. Ito, S. Miyoshi and J. Habasaki: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320207.
- 9) Y. Ito, H. Tamaru, Y. Nakamura, S. Adachi, T. Oka, T. Tomobe, T. Naide and H. Haba: Int. J. Microgravity Sci. Appl., **32** (2015) 320203. (in Japanese)