1.現在までの進捗状況および達成度（文中に6の公表の番号を書いて、証拠を示す）

極域成層圏からの惑星観測を目指した気球搭載望遠鏡(FUJIN-2)のフライトモデルの製作を進めた。2014年度は、姿勢制御系のコントロールモーメントジャイロを試作し、熱真空試験を実施した。望遠鏡の地上試験のためのモーター制御装置とソフトウェアを製作した。電源系の発電能力試験を実施した。リチウムイオン電池と充放電制御回路を収納する気密容器を設計し、製作中である。望遠鏡フードについては、概念検討を行った。望遠鏡の光学性能試験のために、ハルトマン板を準備した。2016年にスウェーデン・キルナのESRANGEでの極周回実験を目指して、JAXAの公募「小規模プロジェクト」に応募した。

2015年度は、引き続きFUJIN-2の各サブシステムの製作及び試験を進めた。特に気密容器に収めたリチウムイオン電池の温度環境を調べるために、実機を用いた熱真空試験と熱モデルによる熱解析を実施した。その結果必要なヒーター容量と断熱材の厚みを決定した。JAXA「小規模プロジェクト」の審査結果は非採択であった。CFRP製特注望遠鏡フード及びナスミス鏡駆動用ピエゾアクチュエータを購入した。

2016年度は、CCDカメラの動作とI/F確認、光軸調整機器の設計・製作、ナスミス鏡動作特性試験、スターセンサー、フードの取り付けを行った。JAXAから「小規模計画」の公募が出されたので、2018年夏季にESRANGEで金星を観測対象とした実験を応募した。

研究の進捗は気球実験実施の具体的な目処が立たないため、計画よりやや遅れている。その主な原因は気球実験の財源は本研究費では賄えないため、JAXAの公募をあてにしていたが、2014年度の応募は非採択で、2015年度には公募そのものがなかったためである。非採択の理由は我々にとっては納得のいかないものであったが、2016年度の応募ではその部分を修正して提出している。

一方で、金星大気の研究に関しては、金星探査機「あかつき」が2015年12月に金星周回軌道に投入され、「あかつき」が送ってくるデータを使って研究が進展している[1, 3, 4]。中間赤外カメラ画像からはこれまでに知られていなかった雲頂高度での地形にとどまる温度分布が発見され、論文として発表された。大学からプレスリリースされ、新聞などのメディアにも取り上げられた[5]。

研究成果としてISTS 2015の後刷りが査読論文として発表されている[2]。学会発表15件。

惑星水素コロナのD/H比を測定する水素重水素吸収セル開発に関しては、2014年度は吸収セル製作システムを整備した。真空排気装置の試運転、ベーキングヒーターの動作試験、パラジウムフィルターの性能確認、構造モデルを使った排気試験、簡易的な吸収率を測定する光源と光電子増倍管の設置を行った。

2015年度は水素吸収セル用ガラスボディーの製作方法について、浜松ホトニクス株式会社と相談し、新しい製作方法で光路長60 mmタイプと100 mmタイプの水素吸収セルを試作した。水素吸収セルの内部ガス温度分布を見積もるために、熱モデルを作成しCFDシミュレーションを実施した。

2016年は7月にフランス・パリのSOLEIL放射光施設で水素吸収セルの吸収プロファイル測定実験を行った。実験結果を解析したところ、「のぞみ」搭載紫外撮像分光計に搭載した吸収セルと比較して、新型吸収セルは格段に吸収効率が向上していることが確認された。また、実験結果から、さらに性能の向上が見込まれるフィラメントを設計し入手した。その成果を地球電磁気・地球惑星圏学会等で発表した。

吸収セル開発に関しては当初計画通りに進んでいる。学会発表2件。

超小型深宇宙探査機PROCYON搭載用の水素ライマンα線用望遠鏡LAICAの開発を2014年に完了し、同年12月に打ち上げた。2015年1月に地球水素コロナの観測に成功し、2015年9月にチュリュモフゲラシメンコ彗星周辺の水素の観測に成功した。

プラズマ圏に存在する陽子と低温の中性水素原子の衝突で電荷交換が起きるため、地球水素コロナは自転軸方向に応じた非球対称の形状を成していると考えられていた。しかし、我々の観測結果はそれとは異なり、球対称に近い形状を示しており、更にこの分布は電荷交換反応を考慮せず、古典的な無衝突大気モデルによって再現できることが分かった（池澤学会発表）。我々はこの結果を受けて議論を進め、金星の水素コロナは地球に比べてずっと小さいことに着目し、この差が、磁場の有無ではなく、高層大気の温度の差にあると考えている。高層大気中の二酸化炭素は放射によって大気を冷却する性質を持ち、二酸化炭素を主とする大気を持つ金星では、外圏の温度が低く、二酸化炭素混合比の低い地球大気では外圏温度が高くなる。地球の二酸化炭素は海洋と地殻活動によって固体部に閉じ込められていることが原因であり、すなわち、地球と金星の水素コロナの性質の違いは、表面状態の差（海洋の有無）を示している、と考えている。現在論文をNature Geoscience誌に投稿中である。

チュリュモフゲラシメンコ彗星は欧州宇宙機関のROSETTA探査機の観測対象であり、水分子を放出し続けていることが分かっている。周期彗星であり、これまでの回帰ではSOHO衛星の観測器SWANによって水素の量が計測されていた。しかし、ROSETTAが滞在している間は、地球近傍から見ると、近傍に恒星が複数存在するため、水素の定量ができていなかった。PROCYON/LAICAは空間分解能が1桁高く、恒星と彗星を分離することができ、ROSETTAの観測によって提案された複数の水放出モデルを制約する結果が得られた[6]。

LAICAの開発は海外からも注目を受け、ロシアから機器提供依頼を受けた。ロシアは口径1.7mの紫外線宇宙望遠鏡を2021年に打ち上げる予定であり、そこに系外惑星大気の散逸現象を捉える紫外線分光器UVSETI (UV Spectrograph for Exoplanet Transit Investigations)の検討を進めている。2016年末にJAXAの機器開発を主目的としたWGを申請し、また、2017年初にJAXAの小規模計画公募に応募した。現在どちらも審査中である。

レーザープラズマ真空紫外光源を用いて，低温凝縮面を標的とした光励起脱離実験を行っている。2014年度は，純希ガス固体上に異種希ガス原子を吸着させ，その脱離過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする実験を行った。Ne固体表面上にAr原子を吸着させたところ，Ar原子を100原子相以上吸着させても下地であるNe原子が脱離することを見いだした。脱離収率，脱離粒子のエネルギー分布，励起状態生成エネルギーの膜厚依存性を系統的に測定することにより、Ar原子の吸着熱によりNe固体表面温度が局所的に上昇し、ArとNeの混合層が生成されることが明らかとなった [6]。また、Ne - Ar間のファン・デル・ワールス力を考慮に入れた簡単な計算を行い、実験結果を定量的に再現することに成功した [7]。

現在は、同様の吸着系固体表面を標的として、真空紫外光励起によるイオンの脱離過程の観測を開始している。予備的な測定では、固体内におけるエネルギー移動を示す結果が得られていて、現在より詳細な測定と解析を行っている。

2.問題点とその克服方法

FUJIN-2実験を実施するための実験経費を獲得できるかはJAXA「小規模計画」の採否にかかっている。不採択の場合、早ければ2017年5月には通知がくる。採択が決定するのはもう数ヶ月先である。不採択の場合には、JAXAの気球実験の枠内で実施するように、計画を根本的に変える必要がある。

ロシア宇宙望遠鏡用観測装置についても、JAXA「小規模計画」の採否にかかっている。装置の実現性は確認されており、ロシア側の状況が不安要素となる。ロシアの状況次第では小規模計画としてすぐには認められない可能性があるため、その場合は、2017年度はロシア側の機器に接続する部分の設計検討を進め、計画の遅延を防ぐ。

現在行っているイオン脱離実験は信号強度が弱いため、測定には長時間が必要である。レーザープラズマ光源に用いている標的金属として適切なものを選択することにより、より高強度の真空紫外光の発生が可能になるので、現在、数種類の金属を標的として用いて光源から発生する光強度分布を測定中であり、その結果を元に光源の高強度化を目指す。

3.今後の研究方針

FUJIN-2の開発に関しては2018年の実験を目指して開発及び試験を粛々と進める。「小規模計画」の採否によっては、JAXA気球グループが実験を実施しているオーストラリアでの実験に変更する可能性もある。

吸収セル開発に関しては、フィラメントの耐久性を確認する実験を行う。また、実際に水素ガスを封入したセルを製作し、その吸収性能評価を2018年度にSOLEILにおいて実施する。当初の計画通り、本研究期間において、実際に搭載可能な吸収セルの製作方法を確立する。また、将来の地球周回衛星または惑星探査機に搭載する具体的な計画を立案する。

ロシア宇宙望遠鏡への搭載を想定したUVSETIの開発に注力する。他の機会も見据え、ブレーズ型回折格子を使用することによる回折効率の向上と、検出器光電物質の変更による量子効率の向上を図る。

異種原子の吸着系固体だけでなく、混合系固体表面を標的とした脱離実験を行う予定である。この結果により、固体内でのエネルギー移動が脱離に及ぼす影響を直接観測し、励起状態生成から脱離にいたる動的過程を明らかにすることを目指す。

4.特に優れた研究成果（表彰、新聞記事、プレス発表等）

* 「金星に弓状の模様」読売新聞、2017年1月17日、「金星覆う雲に1万キロ弓模様「あかつき」観測」毎日新聞、2017年1月18日　など
* 池澤君の学生発表賞　ジオコロナ

5.研究成果の副次的効果（特許出願や、計画に無かった良い結果）

* 特開2016-150967 光学機器に使用するための鏡をプレートに接着させる方法　発明者　亀田真吾、佐藤允基、池澤祥太

6.成果の公表(2014, 2015, 2016年度の物)

【雑誌】

1. 査読有、Masato Nakamura, Tetsuya Fukuhara（22名中11番目）, Makoto Taguchi（22名中18番目）, Return to Venus of the Japanese Venus Climate Orbiter AKATSUKI, *Acta Astronautica*, **93**, 384–389, 2014.
2. 査読有、Masato Nakamura, Tetsuya Fukuhara（22名中11番目）, Makoto Taguchi（22名中18番目）, Return to Venus of the Japanese Venus Climate Orbiter AKATSUKI, *Acta Astronautica*, **93**, 384–389, 2014.
3. 査読有、Yasuhiro Shoji, Makoto Taguchi, Toshihiko Nakano, Atsunori Maeda, Masataka Imai, Yuya Goda, Makoto Watanabe, Yukihiro Takahashi, Yuji Sakamoto, and Kazuya Yoshida, FUJIN-2: Balloon Borne Telescope for Optical Observation of Planets, ISTS, 2015.
4. 査読有、岩上直幹、佐藤毅彦、田口真、今村剛、中村正人、金星探査機「あかつき」搭載赤外カメラ、日本赤外線学会誌、26、ページ、2016.
5. 査読有、Masato Nakamura, Makoto Taguchi（52名中13番目）, Tetsuya Fukuhara（52名中14番目）, AKATSUKI returns to Venus, *Earth Planets Space*, **68**:75, doi:10.1186/s40623-016-0457-6, 2016.
6. 査読有、Tetsuya Fukuhara, Makoto Taguchi（19名中14番目）, Large stationary gravity wave in the atmosphere of Venus, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGEO2873, 2017.
7. 査読有、Yoshiharu Shinnaka, Shingo Kameda（11名中4番目）, Makoto Taguchi（11名中10番目）, Imaging observations of the hydrogen coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in September 2015 by the PROCYON/LAICA, The Astronomical Journal, Volume 153, Issue 2, Article number 76 (6pp), 2017
8. 査読有、岩渕あづさ，立花隆行，平山孝人, Journal of Vacuum Society of Japan, Vol 58, 165-167 (2015).
9. 査読有、A. Iwabuchi, T. Tachibana, and T. Hirayama, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, accepted for publication.

【図書】

【学会発表】

（集計中）

1. 前田惇徳、田口　真、吉田和哉、坂本祐二、中野壽彦、莊司泰弘、高橋幸弘、仲本純平、今井正尭、渡辺　誠、合田雄哉、極周回成層圏望遠鏡による惑星観測-FUJINプロジェクト-、日本地球惑星科学連合2014年大会、パシフィコ横浜、横浜、2014年4月28日5月～2日．
2. Makoto Taguchi, Atsunori Maeda, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Toshihiko Nakano, Yasuhiro Shoji, Yukihiro Takahashi, Jumpei Nakamoto, Masataka Imai, Makoto Watanabe, Yuki Goda, and Takeshi Kawahara, Observation of planets by a circumpolar stratospheric telescope system FUJIN, SGEPSS, Kissei Bunka Hall, Matsumoto, Oct. 31-Nov. 3, 2014.
3. 前田惇徳、田口　真、吉田和哉、坂本祐二、中野壽彦、莊司泰弘、高橋幸弘、仲本純平、今井正尭、渡辺　誠、合田雄哉、惑星観測を目指した極周回成層圏望遠鏡FUJIN、地球電磁気・地球惑星圏学会、第137回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、キッセイ文化ホール、松本、2014年10月31日～11月3日．
4. 前田惇徳、田口　真、莊司泰弘、中野壽彦、高橋幸弘、今井正尭、合田雄哉、吉田和哉、坂本祐二、惑星観測を目指した極周回成層圏望遠鏡FUJIN、日本地球惑星科学連合2015年大会、幕張メッセ、幕張、2015年5月24日～28日．
5. 田口　真、他、「あかつき」搭載中間赤外カメラが目指すサイエンス、日本気象学会2015年度秋季大会、京都テルサ、京都、2015年10月28日～30日．
6. 前田惇徳、田口　真、莊司泰弘、中野壽彦、今井正尭、合田雄哉、高橋幸弘、渡辺　誠、吉田和哉、坂本祐二、惑星観測を目指した極周回成層圏テレスコープFUJINの開発、地球電磁気・地球惑星圏学会、第138回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、東京大学、東京、2015年10月31日～11月3日．
7. 田口　真、前田惇徳、高村真央、吉田和哉、坂本祐二、中野壽彦、莊司泰弘、高橋幸弘、渡辺　誠、今井正尭、合田雄哉、極周回成層圏テレスコープ(FUJIN)による惑星大気観測計画、平成25年度大気球シンポジウム、相模原、2015年11月5日～6日．
8. 田口　真、福原哲哉、神山　徹、今村　剛、中村正人、鈴木　睦、佐藤隆雄、上野宗孝、岩上直幹、はしもとじょーじ、佐藤光輝、高木聖子、「あかつき」中間赤外カメラによる金星雲頂温度観測、第29回大気圏シンポジウム、相模原、2016年3月7日～8日．
9. Taguchi, M. et al., Initial results of the Venusian cloud-top temperature observations by Akatsuki/LIR, International Venus Conference 2016, Oxford, UK, Apr. 4-8, 2016.
10. 田口　真、福原哲哉、今村　剛、中村正人、鈴木　睦、佐藤　隆雄、神山　徹、岩上直幹、はしもとじょーじ、佐藤光輝、高木聖子、上野宗孝、あかつき搭載中間赤外カメラによる金星雲頂温度観測の初期結果、日本地球惑星科学連合2016年大会、幕張メッセ、幕張、2016年5月22日～26日．
11. Makoto Taguchi, Testuya Fukuhara, Takeshi Imamura, Masato Nakamura, Takao M. Sato, Naomoto Iwagami, George Hashimoto, Toru Kouyama, Munetaka Ueno, Mitsuteru Sato, Seiko Takagi, Makoto Suzuki, Venusian Cloud-Top Temperature Observed by Akatsuki/LIR, 13th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society, Beijing, Jul. 31-Aug. 5, 2016.
12. Makoto Taguchi, Tetsuya Fukuhara, Takeshi Imamura, Toru Kouyama, Masato Nakamura, Takao M. Sato, Munetaka Ueno, Makoto Suzuki, Naomoto Iwagami, Mitsuteru Sato, George L. Hashimoto, and Seiko Takagi, A bow-shaped thermal structure traveling upstream of the zonal wind flow of Venus atmosphere, DPS 48/EPSC 11, Pasadena Convention Center, Pasadena, U.S.A., Oct. 16-21, 2016.
13. 田口　真、他、金星雲頂高度に発見された巨大重力波、日本気象学会2016年度秋季大会、名古屋大学、名古屋、2016年10月26日～28日．
14. 田口　真、高村真央、砂口大樹、吉田和哉、坂本祐二、中野壽彦、莊司泰弘、高橋幸弘、今井正尭、渡辺　誠、極周回成層圏テレスコープ(FUJIN)による惑星大気観測計画、平成26年度大気球シンポジウム、相模原、2016年11月1日～2日．
15. 田口　真、神山　徹、今村　剛、堀之内武、福原哲哉、二口将彦、はしもとじょーじ、岩上直幹、村上真也、小郷原一智、佐藤光輝、佐藤隆雄、鈴木　睦、高木聖子、上野宗孝、渡部重十、山田　学、山崎　敦、中村正人、金星大気中に発見された巨大定在重力波、地球電磁気・地球惑星圏学会、第140回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、九州大学、福岡、2016年11月19日～23日．
16. Masaki Kuwabara, Makoto Taguchi, Kazuo Yoshioka, Tokio Ishida, Shingo Kameda, Ichiro Yoshikawa, Evaluation of hydrogen absorption cells for observation of the planetary coronas、地球電磁気・地球惑星圏学会、第140回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、九州大学、福岡、2016年11月19日～23日．（学生発表賞受賞）
17. 田口　真、水素吸収セル法による惑星コロナ観測、「プラズマ科学における分光計測の高度化と原子分子過程研究の新展開」「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会、核融合科学研究所、土岐、2016年12月20日～22日．
18. 亀田真吾，他，"PROCYON/LAICAによるチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星が放出した水素ガスの観測"，第16回宇宙科学シンポジウム，相模原，January 2016
19. 池澤祥太, 亀田真吾, 佐藤允基, 桑原正輝, 吉川一朗, 田口真, “ジオコロナ撮像装置LAICAの開発と撮像結果”, 地球電磁気・地球惑星圏学会2015年秋学会, 千葉, October 2015（口頭発表）
20. 池澤祥太, 亀田真吾, 佐藤允基, 桑原正輝, 吉川一朗, 田口真, “ジオコロナ撮像装置LAICAの開発と撮像結果”, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 千葉, May 2015（口頭発表）
21. 佐藤允基，亀田真吾，桑原正輝，池澤祥太，田口真，吉川一朗，船瀬龍，川勝康弘，"PROCYON搭載LAICAによるジオコロナの撮像"，第15回宇宙科学シンポジウム，相模原，January 2015
22. 亀田真吾、佐藤允基、吉川一朗、田口真、船瀬龍、川勝康弘，"超小型宇宙機搭載用ジオコロナ撮像装置LAICAの開発"，第14回宇宙科学シンポジウム，相模原，January 2014
23. A. Iwabuchi, T. Tachibana and T. Hirayama, Photon-stimulated desorption of Ne metastable atoms from Ar adsorbed on solid Ne, 39th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX-39) (Zurich, Switzerland, July 2016).
24. 岩渕あづさ，立花隆行，平山孝人、レーザープラズマ光源を用いた希ガス固体における光励起脱離実験 III，日本物理学会第７０回年次大会，2015年3月，早稲田大学早稲田キャンパス，22pBG-5．
25. 岩渕あづさ，立花隆行，平山孝人、レーザープラズマ光源を用いた希ガス凝縮層からの光励起脱離の観測，第55回真空に関する連合講演会，2014年11月，大阪府立大学「I-site なんば」，18P-14V．
26. 岩渕あづさ，立花隆行，平山孝人、レーザープラズマ光源を用いた希ガス固体における光励起脱離実験 II，日本物理学会2014年秋季大会，2014年9月，中部大学春日井キャンパス，9aAT-6．

7.その他研究成果等(6で書いたもの以外で、研究成果や企業との連携実施等)