

2024年度 13)若手国際フィールド観測実験 目次詳細

2024 13)International travel support for field and laboratory experiments by students and early-career scientists List

4 件

*所属・職名あるいは学年は2025年3月現在

*Affiliation and Job title or year of graduate school displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名か学年* Job title or year of graduate school	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
CHEN Liwei	名古屋大学宇宙地球環境研究所	電磁気圏研究部	博士後期課程3年	カナダ・アサバスカにおけるカラー全天カメラによるサブオーロラ帯オーロラ発光の二地点同時観測	348	
菊池大希	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 電磁気圏研究部	博士前期課程2年	ノルウェー、シーボトンにおけるファブリ・ペロー干渉計を用いた窒素分子イオンの発する427.8nmの波長のドップラーシフトを利用したイオン上昇流の分光観測	350	
伊藤ゆり	総合研究大学院大学	先端学術院・極域科学コース	博士後期課程1年	ノルウェーにおける全天カメラ, EISCAT レーダー, あらせ衛星を用いた脈動オーロラ発生時の電離圏 - 磁気圏同時観測	352	
木下凌太	東北大学	理学研究科	博士前期課程2年	ハワイ・ハレアカラ東北大望遠鏡における木星赤外オーロラファーストライト観測	354	

カナダ・アサバスカにおけるカラー全天カメラによるサブオーロラ帯
オーロラ発光の二地点同時観測

Two-point simultaneous observation of subauroral optical emissions at Athabasca, Canada, using all-sky color cameras

CHEN Liwei、名古屋大学宇宙地球環境研究所・電磁気圏研究部

From August 28th to September 6th, 2024, our group went to Athabasca, Canada and made a campaign observation of aurora. Our members set up two ZWO all-sky camera with all-sky lens at Athabasca University Geophysical Observatory II (AUGO-II, 54.60°N, 246.36°E) and one camera at AUGO-I (54.71°N, 246.69°E) for the campaign observation during our stay. I set up a Sony a7s camera at AUGO-II to test the color aurora observation at a higher speed. We restored the ZWO cameras before we come back to Japan, and leaved the Sony a7s camera at AUGO-II to replace the Nikon camera for continuous two-point observation with another Nikon camera at AUGO-I. During our stay, we successfully observed an intense auroral substorm, and several small auroral activities.

We left for Athabasca from Tokyo on August 28th and arrived at AUGO-II, Athabasca in the afternoon of local time. I tested the Sony a7s camera outside of AUGO-II on the first night. Compared with the images with 30 s exposure time simultaneously taken by the Nikon camera inside of AUGO-II, Sony camera successfully took the all-sky images with 5 s exposure time at a frame rate of 4 frames per sec. With a shorter exposure time, we expect that the Sony camera will be able to perform better in identifying the fine structure and fast motion of the subauroral emissions. In the evening on August 31st, we were fortunate to observe a strong substorm event, during which the Sony camera was operated in the AUGO-II and captured a complete development of the substorm aurora. I leave the Sony camera at AUGO-II after we return to Japan, as we expect this camera will be able to work for a longer lifetime with electric shutter.

I would like to give my special thanks to the PBASE project and the traveling support program from ISEE for supporting us in making field observations. I want to give thanks to Graduate school of engineering, Nagoya University for financial support on instrumentation purchase. I sincerely appreciate my supervisor for his navigation and valuable introductions. I also want to thank the local faculties, Prof. Martin Connors and Dr. Raju Aryal, for giving us places to set up instruments and other help.

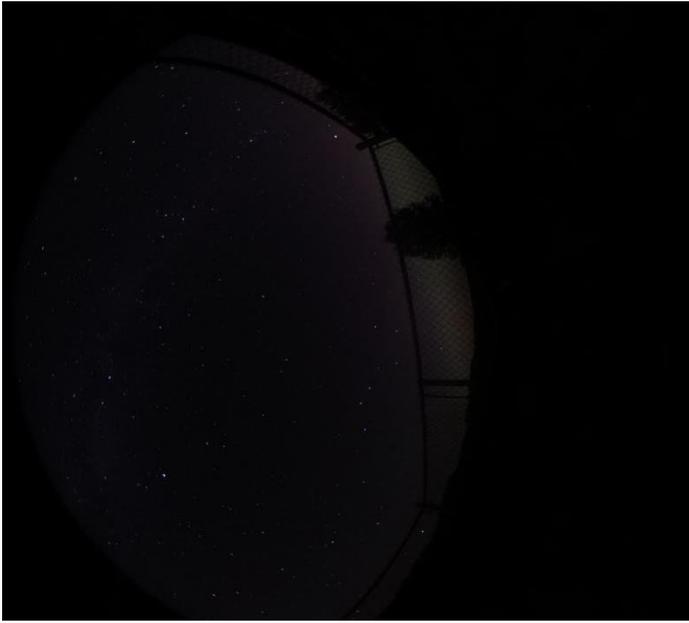


Figure 1. Test image taken by Sony A7S camera at 0711 UT on Aug 29, 2024 at AUGO-II



Figure 2. Image from Nikon camera at 0711 UT on Aug 29, 2024 at AUGO-II

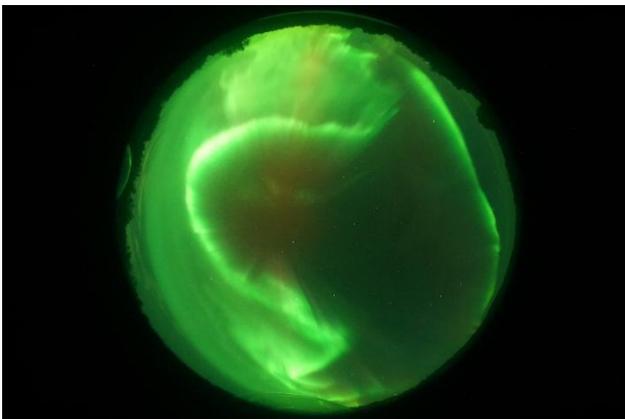


Figure 3. Image of the substorm auroral arc taken by the Sony A7S camera at 0630 UT on Aug 31, 2024 at AUGO-II

ノルウェー、シーボトンにおけるファブリ・ペロー干渉計を用いた窒素分子イオンの発する 427.8nm の波長のドップラーシフトを利用したイオン上昇流の分光観測

Spectroscopic measurement of ion upflow through Doppler shift of auroral

427.8-nm molecular nitrogen ion emission using a Fabry-Perot interferometer at Skibotn, Norway

研究代表者：菊池大希、名古屋大学 宇宙地球環境研究所

研究目的

極域において、窒素分子はオーロラ粒子の降り込みによってイオン化され、一部のイオンは加熱されて上向きの流れが生じ、地球大気の流出が発生している可能性がこれまでの人工衛星の観測などから指摘されている。しかし、重い窒素分子イオンがどのように高高度まで輸送されるかのメカニズムは完全には解明されていない。本研究では、世界で初めて、窒素分子イオンがオーロラ発光や太陽光の共鳴散乱光として発する波長 427.8nm 付近の $N_2^+(1NG)$ の発光を、ノルウェー・シーボトンに設置されているファブリ・ペロー干渉計を用いて計測し、その発光波長のドップラーシフトから、窒素分子イオンの上向き速度を計測に挑戦する。この計測により、窒素分子イオンの上昇流の発生過程の解明に貢献する。

SCOSTEP/PRESTO の Pillar 2 の Question 2.4 では、What is the chemical and dynamical response of the middle atmosphere to solar and magnetospheric forcing? という科学課題が設定されており、本研究はこの科学課題の解明に寄与する。

観測実験

カメラの焦点が合っていないため検出される干渉縞の数が少なくなっていることがモデル計算により示された。2023 年 10 月の渡航で焦点を合わせた観測を行った。焦点の調整の効果を確実に検証するためにオーロラの出やすい北の空の観測を 2 晩行い、実際にフリンジの数の大幅な増加を確認することができた。しかしながら、2023 年 10 月の観測では、通常のオーロラによる 427.8nm の発光を観測・解析しており、本研究の観測対象である共鳴散乱によるオーロラは観測されず、さらに 2 方向掃天観測による運動速度の計測もできなかった。本研究で利用するファブリ・ペロー干渉計は波長 557.7 nm、630.0nm の大気光およびオーロラの観測に主に使われているため、帰国時にカメラの焦点を波長 630.0 nm に合わせており、現在は波長 427.8 nm の観測では焦点が合っていない状態にある。そこで今回の訪問で、もう一度カメラの焦点を手動で波長 427.8 nm に合わせ、共鳴散乱による窒素分子イオンオーロラの 2 方向掃天観測を実施し、窒素分子イオンの運動速度の計測を狙った。

結果

2024 年 9 月 28-29 日の晩の結果を図 1 に示す。上のパネルから順に、同じ場所に設置されている 427.8 バンドパスフィルターを搭載した全天カメラのケオグラム（上が北、下が南）、各フリンジへガウシアンフィッティングしたときのフィッティングエラー、各フリンジピークのカウント値、各時刻における N_2^+ の磁力線方向の運動速度である。フィッティングエラーは、フィッティングカーブと観測値のカウント差をフリンジのピークカウントで割った割合のフリンジごとの平均値を示している。太線が 11 個のフリンジの測定結果の平均を示しており、細線のエラーバーは 11 個の測定結果から計算される 90%信頼区

間である。

この晩は概ね快晴で地磁気変動があり、min DST = -20 nT、AE 指数の最大値は約 350 nT であった。この晩の明け方に初めて、 N_2^+ の波長 427.8 nm の共鳴散乱光を FPI で直接観測することに成功し、 N_2^+ の運動速度を推定した。図 1(a) のケオグラムを見ると、02:00 UT から明け方にかけて空全体でカウントが上昇し、それに伴って図 1(c) のフリンジの高さも大きくなった。太陽高度の上昇に伴ってフリンジのカウントも上昇していることは、主に共鳴散乱によるオーロラが出現していたことを示唆する。この間、4 分の時間分解能でガウシアンフィッティングに十分なカウントが得られ、最大 560 m/s の磁力線下向きの運動速度が、標準偏差 80-360 m/s で得られている。この時間帯のフリンジの

ピークカウント値は最大で 1400 カウント程度であった。02:00-03:00 UT 頃は特に精度よく N_2^+ 運動速度を計測することができ、100-300 m/s 程のドップラー速度が、40-110 m/s の 90% 信頼区間で観測された。

下降流という結果は、 N_2^+ の共鳴散乱によるオーロラは N_2^+ の上昇流によって引き起こされるという IAGA Atlas (1963) の記述と逆行する結果となった。また、Yamazaki et al. (2017) はトロンソで EISCAT を使って磁力線方向のイオン速度の統計解析を行ったが、その結果は 02:00-03:00 UT は高度 300 キロまで最大 30m/s ほどの上昇流、高度 300 キロより上ではほぼ 0 であるという傾向が見られ、今回の FPI の観測は逆となった。一方で、Endo et al. (2000) では、1990 年 3 月にトロンソの EISCAT VHF レーダーで 69 時間の集中観測を行っており、期間中の下降流の最大値は高度 410 キロで 300 m/s、高度 300 キロで 260m/s、高度 180 キロで 200m/s ほどだった。今回 FPI で偶発的に、稀少な規模の下降流を観測できたという見方もできるが、今後、イオンの水平運動の影響を評価する必要もある。今回のような明け方の共鳴散乱光の観測例を増やしていくことで、このような下降流がどのくらいの頻度で観測されるか、明らかにできると考えられる。

成果発表

Kikuchi, T., Shiokawa, K., Oyama, S., Ogawa Y., Kurihara, J., Measurement of N_2^+ upflow through auroral 427.8-nm emission by a Fabry-Perot interferometer in Norway: Campaign observations and model calculations, AGU24 Annual Meeting, Washington D.C., Dec. 2024

Kikuchi, T., Shiokawa, K., Oyama, S., Ogawa Y., Kurihara, J., ファブリ・ペロー干渉計による波長 427.8nm のオーロラを通した N_2^+ アップフローの計測：測定誤差のモデル計算, SGEPS, 立川, 2024 年 11 月

謝辞

本研究は名古屋大学宇宙地球環境研究所の塩川和夫教授の指導の下に行われております。また、同研究所の大山伸一郎講師、国立極地研究所の小川泰信教授、北海道情報大学の栗原純一教授との共同研究です。また、トロンソ、シーボトンの観測では名古屋大学宇宙地球環境研究所の野澤悟徳准教授、名古屋大学全学技術センターの川端哲也様に大変お世話になりました。ここにお礼申し上げます。

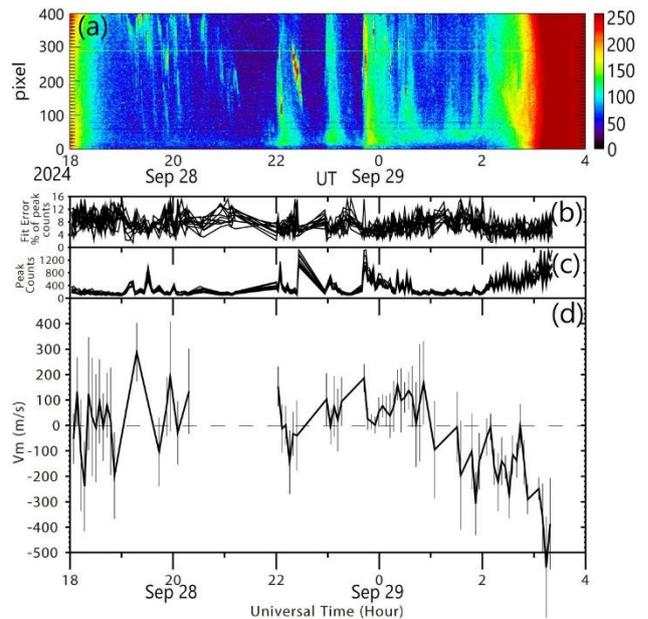


図 1 N_2^+ 運動速度

(別紙様式13-2)

ノルウェーにおける全天カメラ, EISCAT レーダー, あらせ衛星
を用いた脈動オーロラ発生時の電離圏 - 磁気圏同時観測
Simultaneous ionospheric - magnetospheric observations
during pulsating aurora in Norway
using the all-sky camera, EISCAT radar, and Arase satellite

伊藤ゆり、総合研究大学院大学先端学術院 極域科学コース

【研究目的】

数秒から数十秒の輝度変調を伴う脈動オーロラは、真夜中から朝側にかけて頻繁に発生する普遍的なオーロラである。脈動オーロラの発生時には、発光に寄与する 10 keV 程度のエネルギー電子に伴って数十 keV から数 MeV の準相対論的/相対論的電子が同時に降下していること、それらが中間圏および上部成層圏においてオゾン減少を誘発していることが示されている [Miyoshi et al., 2021]. そのため、脈動オーロラに関連した電離圏・磁気圏の物理プロセスを理解することが重要である。これまで行ってきた研究では、「磁気圏における“ダクト”と呼ばれる電子密度の管状構造がコーラス波動を管内に閉じ込めて高磁気緯度まで伝搬させ、その結果、脈動オーロラの斑（パッチ）状構造化と相対論的電子の降下を引き起こす」という物理モデルを提唱した [Ito et al., 2024]. しかし、このモデル（脈動オーロラの形状、降下電子のエネルギー、波動の伝搬の関係）の観点における統計的な調査は行われていない。そこで、脈動オーロラとダクト伝搬するコーラス波動の同時観測を目指した実験を複数回行い、それらのデータを含む統計解析を行うことによって、上記モデルの定量的な評価やより詳細な物理プロセスの理解を目指す。

【観測実験の実施状況と結果】

2024 年 11 月 28 日から 12 月 14 日にかけて、EISCAT トロムソ観測所（ノルウェー）に滞在し、自身が実験代表者である EISCAT レーダー特別実験を実施してきた。この実験は、地上と衛星の連携観測によるオーロラ、高エネルギー粒子降下、およびコーラス波動の同時観測を目的としており、名古屋大学 ISEE の三好教授が実験代表である特別実験との共同運用であった。また、電気通信大学の細川教授が中心となって同時に運用される、あらせ衛星との共役観測を目的とした EISCAT 科学協会全加盟国による特別実験(AA 実験)のオペレーションも実施した。

○ 2024 年 12 月 4 日

特別実験として VHF レーダーを 22:00-30:00 UT (計 8 時間)、AA 実験として UHF レーダーを 22:00-28:00 UT (計 6 時間) 運用した。EISCAT レーダーでは、25:30 UT 以降に 80-90 km 高度での強い電離が観測された (図 1)。この時、あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上に位置していたが、コーラス波動は観測されなかった。また、トロムソは曇ってしまったが、その他の光学観測を行っている地点では晴れてパッチ状脈動オーロラが観測されていた。

○ 2024 年 12 月 6 日

特別実験として VHF レーダーを 24:00-26:00 UT (計 2 時間) 運用した。EISCAT レーダーでは、100 km 高度における強い電離が観測された。あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上の高緯度に位置していたが、コーラス波動は観測されなかった。また、トロムソ上空は曇っていたが、トロムソに近いシーボトン (ノルウェー) において、少し雲がかかるものの、脈動オーロラが観測されていた。

○ 2024 年 12 月 11 日

UHF レーダーがパネル故障により使用不可となったため、AA 実験を VHF レーダーで運用するように実験内容を一部変更した。しかし、レーダー立ち上げ中に電力供給の不具合が生じたため実験全体が中止となった。

○ 2024 年 12 月 13 日

UHF レーダーのパネル故障の影響で、AA 実験として VHF レーダーを運用した。22:00–29:00 UT (計 7 時間) の運用のうち、22:00–27:00 UT において、80–100 km 高度での強い電離が観測された。あらせ衛星は磁気緯度 30 度以上の高緯度域に位置していたが、コーラス波動は観測されなかった。また、この日は月が出てしまっていたが、ディフューズオーロラをトロムソ上空で観測できていた。

今回実施された計 3 回の EISCAT 実験では、トロムソ上空でのオーロラの様子が分かる事例が一例のみであったが、他の光学観測拠点では脈動オーロラを含むディフューズオーロラが観測された。一方、あらせ衛星はコーラス波を観測していなかった。これは磁気緯度 30 度以上の非常に高い緯度に位置していたことも原因ではないかと推測している。しかし、今回得られたデータは、自身が現在取り組んでいる「地上-あらせ衛星の同時観測に基づく脈動オーロラとコーラス波高緯度伝搬に関する統計研究」に組み込むのに十分なものが取得できており、本課題の目的のうち観測の部分は概ね達成できたと考えている。

また、本研究の目的とは異なるが、実施した 3 回の実験において高度 90–100 km でスポラディック E と思われる電子密度が増大している層が観測された。今回のフィールド観測では、本研究とは別の観点においても興味深いデータが取得できたとと言える。

【関連成果発表】

Ito, Y., Y. Ogawa, Y. Tanaka, A. Kadokura, M. Fukizawa, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, T. Hori, Y. Kasahara, S. Matsuda, I. Shinohara, Statistical analysis of pulsating auroras and ducted chorus waves, The 15th Symposium on Polar Science, December 4, 2024

Ito, Y., Y. Ogawa, Y. Tanaka, A. Kadokura, M. Fukizawa, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, T. Hori, Y. Kasahara, S. Matsuda, I. Shinohara, Statistical Analysis of Relationship between Pulsating Auroras and Ducted Chorus Waves, AGU Chapman Conference on Particle Precipitation, February 19, 2025

【引用文献】

Miyoshi, Y., Hosokawa, K., Kurita, S. et al. Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae. *Sci Rep* 11, 13724 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92611-3>

Ito, Y., Hosokawa, K., Ogawa, Y., Miyoshi, Y., Tsuchiya, F., Fukizawa, M., et al. (2024). On the factors controlling the relationship between type of pulsating aurora and energy of pulsating auroral electrons: Simultaneous observations by Arase satellite, ground-based all-sky imagers and EISCAT radar. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 129, e2024JA032617. <https://doi.org/10.1029/2024JA032617>

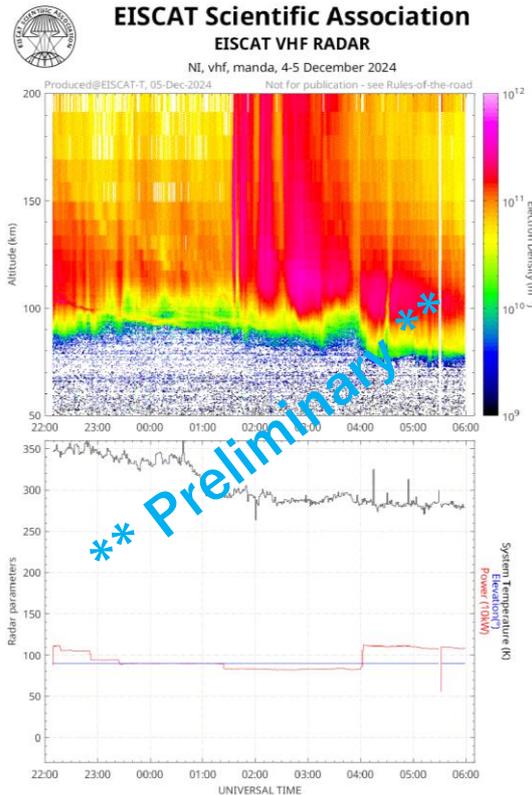


図 1: 2024 年 12 月 4 日に EISCAT VHF レーダー実験において観測された電子密度の高度分布。

(別紙様式13-2)

ハワイ・ハレアカラ東北大望遠鏡における木星赤外オーロラのファーストライト観測

First light of Jupiter's infrared aurora with the Tohoku University telescope at Haleakala, Hawaii

木下凌太、東北大学、理学研究科

[研究目的]

大気の発光の小さいハレアカラからの連続観測により、イオ火山ガスと木星オーロラの相関を明らかにすることは木星磁気圏の理解に有意義である。東北大学で現在開発中の高分散近赤外分光撮像装置ESPRITを完成させたのち、ハレアカラ山頂観測所に東北大学が持つ惑星専有望遠鏡T60に取り付け長期連続観測を行うことが本研究の目的である。

[実施状況]

2025/3/5～3/9の5日間、東北大学のハワイ・ハレアカラ観測所に滞在し、ドーム内の寸法を計測することで、ESPRIT及びESPRITに外付けされる校正用光源光学系と黒体炉がT60のクーで焦点に取り付け可能かどうかを検証した。また、取り付け方法についても検討した。

[結果]

ドーム内の寸法を計測し、設計図と相違ないことを確認した。また、設計図に基づいた3D CADデータ上において、真空冷却用ホース以外のESPRIT及び周囲のユニットが設置可能なことから、実際のドームにおいても設置可能であると判断した。ホースに関しては、ESPRITからホースを取り出す向きを変更することで対応可能である。

設置方法に関しては、ドーム入り口からT60のクーデ焦点までの導線が悪いため人力でESPRITを運ぶことは困難だが、ドーム開口部にクレーンを取り付けた鉄材を渡し、上から吊るすことで設置可能であると判断した。この方法については今滞在中に、過去東北大学が使用していた40cm望遠鏡を同様の手順で取り外すことで確認済みである。



図 1. ESPRIT 設置において最も懸念されていたドーム内の梁。この梁の間に ESPRIT のコールドヘッド (図 2) が収まる配置設計となっている。メジャーで計測した梁間のスペースの床からの高さは 2670~2830mm で、設計図に基づいて設定した CAD 上の梁間のスペース (2655~2855mm) より若干狭いが、実測に基づいて再設計した CAD データにおいてコールドヘッドが入るには十分であることが確認された。

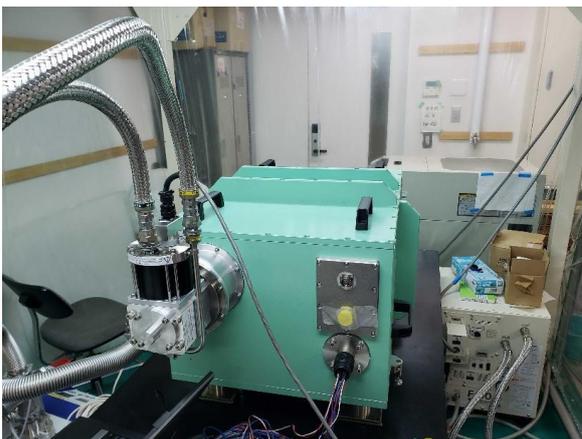


図 2. ESPRIT。写真左下の銀色のコールドヘッド先端がドーム内の梁の間に収まる。現在ホースは上向きに取り付けられているが、ドームが回転した際の干渉を考慮し、下向きに取り付ける必要がある。