

赤外線天文衛星 「あかり」を育てた研究者たち

吉戸 智明

サイエンスライター

赤外線天文衛星「あかり」は、ほのかに光る“灯り”をとらえ、人間には見えない宇宙の姿を映し出す。「あかり」の開発・運用にかかわった研究者、技術者は100人を超える。中心となって活躍した若手研究者たちに話を聞いた。

打上げ成功!

カウントダウンゼロから2秒ほど経って、衛星管制室にロケット打上げの噴射音と振動が伝わる。それは約20秒間続いた。「21、22、23、…」、誰も口を開かず、打上げ後のカウントだけが管制室に流れる。

打上げ約3分後、ロケットの先端が開頭して衛星が宇宙空間に送り出されると、衛星管制室はあわただしくなる。ま

ず、衛星が所定の軌道を回っているかを確認する。打ち上げられた衛星はまっすぐ南に向かい、じきに衛星が発する電波を日本からはキャッチできなくなる。次に衛星をキャッチできるのは、オーストラリアのパス中継局だ。「どう、受かり(キャッチでき)そう?」「たぶん大丈夫」といった会話が交わされる。そして…。

「来た?」「OK?」と短いやり取り。それを受け、海外局との連絡を束ねる松原

英雄・宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究本部教授がマイクに向かう。「衛星、確認しました」。興奮を抑えた口調だったが、続いて「よしっ!」と喜びの声が口をついて出た。すると自然に拍手が沸き起こり、ようやく衛星管制室の中は歓喜と安堵に満たされた。打上げ15分後のことであった。

「あかり」と命名されたこの衛星は、2006年2月22日午前6時28分、日の出とと

表1 遠赤外線サーベイヤー (FIS) の性能
2つの検出器があり、それぞれ2つの波長帯をカバーする。

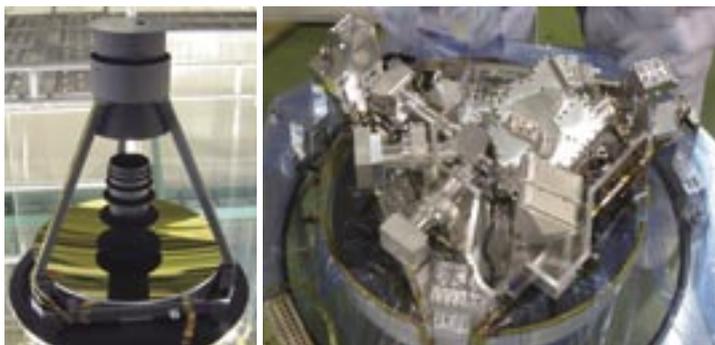
検出素子	Ge:Ga		圧縮型Ge:Ga	
	N60	WIDE-S	WIDE-L	N160
波長帯名	N60	WIDE-S	WIDE-L	N160
観測波長 (μm)	50~80	60~110	110~180	140~180
ピクセル数	20×2	20×3	15×3	15×2

表2 近・中間赤外線カメラ (IRC) の性能

カメラ名	NIR	MIR-S	MIR-L
観測波長 (μm)	2~5	5~12	12~26
ピクセル数	512×412	256×256	256×256

「あかり」衛星

観測を担うミッション部と衛星の維持を担うバス部からなる。ミッション部は、左下の口径68.5cmの冷却望遠鏡、下の観測装置(遠赤外線サーベイヤーと近・中間赤外線カメラ)、これらを冷却するクライオスタットなどからなる。クライオスタットは、容量170ℓの液体ヘリウムタンクと機械式の冷凍機で冷却される。2Kへの冷却が必須の「あかり」にとって、ある意味心臓ともいえる。開発は、住友重機械工業が行った。バス部は、姿勢制御やデータ送受信などを受け持つ。開発は、NEC東芝スペースシステムが行った。



クライオスタット

ミッション部

バス部

ソーラーパネル



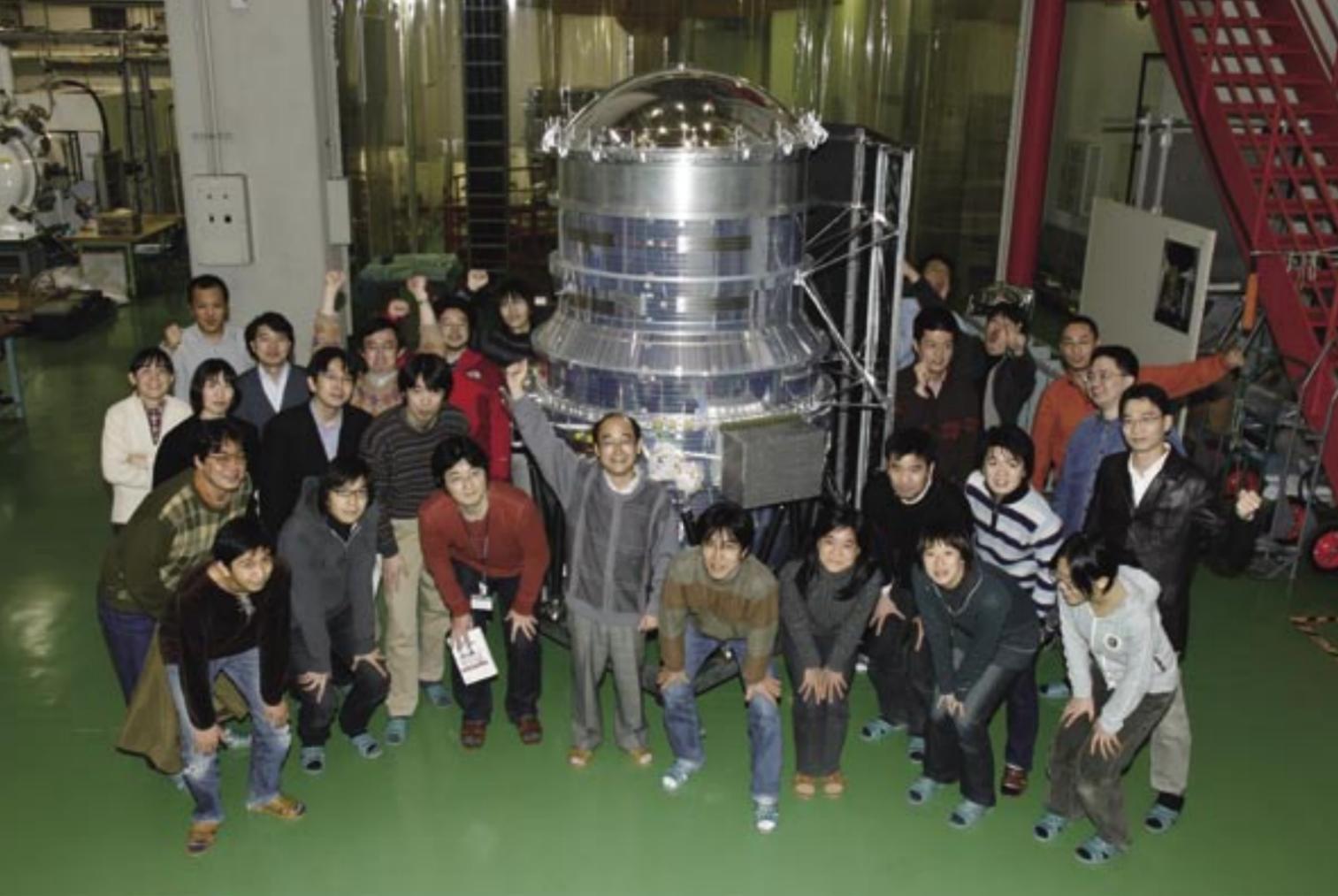


写真1 「あかり」のプロト試験モデルを囲んだチームの面々。プロジェクトリーダーの村上浩・JAXA宇宙科学研究本部教授を中心に一致団結。

もに鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所からM-Vロケット8号機によって打ち上げられた。

日本が単独で開発した赤外線天文衛星「あかり」。その主な目的は、望遠鏡で空を掃くように行うサーベイ観測によって、赤外線を放射している天体の全天マップを作成することである。また、特定の天体に望遠鏡を向けるポインティング観測も行う。これらの観測により、銀河の起源と進化の解明、星の誕生と死のメカニズムの解明、太陽系外惑星系の発見などを目指す。

天体からやってくる赤外線は地球大気に吸収されてしまうため、地上からの観測は難しい。衛星や気球といった手段を用いて、望遠鏡を大気の薄いところに持っていき観測する。そのため、赤外線天文学者は、観測装置や運搬装置の開発から実験を始めることになる。

装置開発は熱雑音との戦い

赤外線を観測するとき、最もやっかいなのは「熱雑音」の存在だ。すべての物質は温度に応じた波長域の電磁波を放射しており、常温(数十℃)の物質は赤外線を強く放射している。どれだけ高感度の観測装置であっても、常温では装置自身の放射する赤外線、つまり熱雑音によって、宇宙からやってくる微弱な赤外線が埋もれてしまう。

そこで、観測装置が赤外線を極力放射しないよう、2~6Kまで温度を下げる。「あかり」は機械式冷凍機とともに、冷却剤として液体ヘリウムを用いている。ところが、冷却剤は時間が経つにつれ蒸発してしまう。「あかり」の液体ヘリウムは、およそ1年半で蒸発すると計算されている。冷却剤がなくなれば装置の温度が上昇し、熱雑音を放つ。だから、こ

の1年半が寿命となる。この短期間にどれだけ効率よく天体を観測するか、それを支える観測システム、観測装置の開発が重要なポイントとなる。

装置開発は、熱雑音との戦いである。「観測装置を2Kという極低温で、いかに動作させるかが重要です」とJAXA宇宙科学研究本部研究員の白旗麻衣さんは言う。問題は、そのような極低温でも動作するようにと新たに開発した半導体や電子回路などが正確に動作するか、どういう挙動を示すかである。

31ページの写真にあるように、「あかり」はさまざまな装置を搭載している。白旗さんは、「遠赤外線サーベイヤー(FIS: Far-Infrared Surveyor)*1」(表1)の赤外線を感知する検出器の1つ、2次元Ge:Gaモノリシックアレイ検出器の低温動作試験を主に担当した。

「検出器の性能試験は大きく3つありま

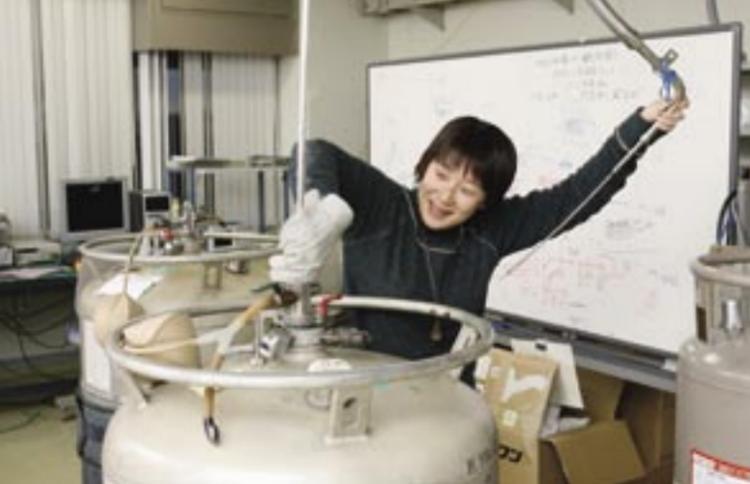


写真2 白旗麻衣さんは遠赤外線検出器の低温動作試験を担当した。



写真3 石原大助さんは近・中間赤外線カメラの低温動作試験を担当した。

す。まず、極低温で動くかどうかの動作試験。どれだけ弱い赤外線をとらえられるかという感度試験。そして半導体素子や回路のくせを正確に把握する特性試験です」と白旗さん。ほかにも試験項目は山ほどあり、また、すべての試験を実際の使用温度2Kで行わなければならない。冷却用の液体ヘリウムは扱いが容易ではなく、また数時間で蒸発してしまうので1回の試験時間も限られる。「その辺りが大変でした」と白旗さん(写真2)。2年近くかけて実験を積み重ね、信頼に足る検出器のデータをそろえた。

1つの検出器だけでもこれだけの手間がかかる。FISにはこれ以外にも、圧縮型Ge:Ga素子を用いた検出器、望遠鏡で受けた赤外線を検出器まで導く光学系、赤外線の波長ごとの強度を測定できる「フーリエ分光器」などがあり、それぞれの開発と極低温での性能試験が並行して行われた。そして個々の開発が終了すると、それらを組み合わせてFIS全体の性能試験が始まる。これにも1年以上を費やし万全を期した。

近・中間赤外線カメラ(IRC: Infrared Camera)*2は、3台のCCDカメラから構成されている(表2)。宇宙に出て観測する利点を最大限生かすべく、極低温でカメラの動作試験を行い、低い消費電力で最高の感度を達成する動作方法を開発したのは、東京大学大学院理学系研究科学術研究支援員の石原大助さん(写真3)。

「検出器を使用するとき、それぞれの素子をON/OFFすると電流が流れ発熱

します。それによって素子や回路の温度が変動して、熱雑音や出力不安定の原因になります。地球大気の放射・吸収の影響を受けない宇宙における観測では、これらの克服がそのまま検出感度の向上につながるので、データの読み出し方やリセット方法の工夫でこれらをコントロールするのが鍵になります」といった非常にきめ細かな評価を行った。

ほかにも、「IRCはもともとポインティング観測を主目的に設計されましたが、FISとともにサーベイ観測も行い、中間赤外線の全天マップも作ることができれば、科学的に大変有効です」。「サーベイ観測では天体が次々とカメラの視野を横切っていくので、検出器の256×256画素すべてのデータを読み出していたのでは間に合いません。横1行(256素子)だけを使うことにして、速い読み出しを実現しました。また、このような特殊な動作をさせているときでも、最高感度を達成できるような工夫を取り入れました」。石原さんは、観測のニーズと装置の性能限界のはざままで、最良の答えを出した。

打ち上げ延期をプラスに転じる

部品個々の性能を正確に把握し、さまざまな試験データを積み上げ、そのうえで「あかり」にとって最適な装置に作り上げていく。一步一步、細心の注意を払いながら装置開発を行っているが、それでも予想外の事態は起こる。

「すべての装置を組み合わせた総合試験のとき、望遠鏡の主鏡が破損するとい

うアクシデントが起こり、それが主な原因で打ち上げが1年半も延びてしまいました」と語るのは、望遠鏡部分の開発を担当した金田英宏・JAXA宇宙科学研究本部助手(写真5)。「あかり」の主鏡は軽量が丈夫なシリコンカーバイド(SiC)製の31ページの写真)。この大きさと約11kgという軽量化を実現している*3。

金田さんは「SiCはセラミックスに似て、わずかなひびも致命的です。ですから、鏡を固定するためにねじ穴を開けることができず、鏡は接着剤で固定台に貼り付けます。その台の材料選定に、結果的には失敗したことになります」と振り返る。望遠鏡は極低温に置かれると縮む。2つの異なる材料を貼り合わせると縮み方に差が生じ、破損してしまう。

固定台の候補としては、「スーパーインバー」と「インバー」という2つの合金が最後に残った。「単体としてはスーパーインバーのデータのほうが良かったのですが、-70℃以下で相変態を起こして縮み方が変わり、そのためにSiCが破損しました」。鏡の予備はあったが、表面は研磨していない。研磨には半年かかる。打ち上げ延期が決まった。

その後、インバーを用いてより慎重に試験を行い、完成にこぎつけた。1年半もの延期であったが、マイナス面ばかりではなかった。他の開発チームが、その間にさらなる性能向上を図ることができたからだ。そして、「SiCを宇宙用望遠鏡として実用化したのは世界初です。これは各方面から評価を受け、有名雑誌の表

紙も飾りました。2008年に打ち上げが予定されているハーシェル*4の主鏡もSiC製で、今後、望遠鏡の材質はSiCが主流となるでしょう」と金田さん。技術を切り拓いたパイオニアになったわけだ。

衛星の開発はハードウェアだけではない。ソフトウェア面の開発も欠かせない。観測データに含まれるいろいろな情報を整理整頓し、扱いやすくする必要がある。JAXA宇宙科学研究本部招聘職員の今井弘二さん(写真4)は、「IRCの画像処理ソフトウェアを構築するために、シミュレーションによる画像を作成しました。IRCがどのような画像を得るのかあらかじめ準備し評価することは、実際に得られたデータを迅速に処理するためのシステム作りに必要です」。ソフトウェア作りはIRCに限らない。ほかの観測装置にもこのようなソフトウェア作りは必須となる。

休みなく交代で衛星を監視する

「あかり」チームは現在、観測計画の遂行、衛星の運用、装置の動作確認などに追われている。観測できるのは2007年中頃まで。1秒も無駄にたくない。正月休みも返上し、交代で当番を置き、緊急事態が起こったときには即応できる体制をとっている。

「あかり」は上空約700kmを、昼と夜

の境目を常に太陽を横目に地球の周りを南北方向に飛んでいる。衛星との交信は、主に日本上空を通過するとき之内浦観測所のアンテナを使って行う。主な作業は、コマンド作り、データの送受信、データチェックである。コマンドとは、望遠鏡をどちらに向けてとか、データの取得をしろといった衛星への指示のことだ。

白旗さんはコマンド作りを担当している。「コマンドは、地上のアンテナにトラブルが起きたときに備えて常に3日分作ります。コマンドを作る当番や運用を行う時間リストの作成を週に1、2回行っています。そのほか、FISの状態の確認や、観測データの中身のチェックもします」と日々忙しい。

今井さんは、「運用当番として、運用の手順に沿って衛星へコマンド送信の指示を出したり、「あかり」の状態が適正であるかの確認をしたりしています。また、IRCの状態監視、受信データの確認などの担当もしています」(写真4)。「当番は週に1日以上頻度でまわってきます。月に7日のときもありました」と今井さん。これまで大きなアクシデントはなかったものの、神経の休まる暇はない。

石原さんは、「取得した衛星・観測データの管理、チェックをしています」。データ量は1日約4ギガバイトと大量である。例えば観測データは、「全天で約100

万個の星の位置データと対比させて、望遠鏡がどこを見ているか常にチェックします。また、明るさが正確に予想できる星を事前に約800個選んであり、その観測結果で装置の感度変化をチェックしたり、解析方法を最適化したりしています」。ほとんどのチェックは基本的にコンピューターが行うが、人の手による確認は怠れない。

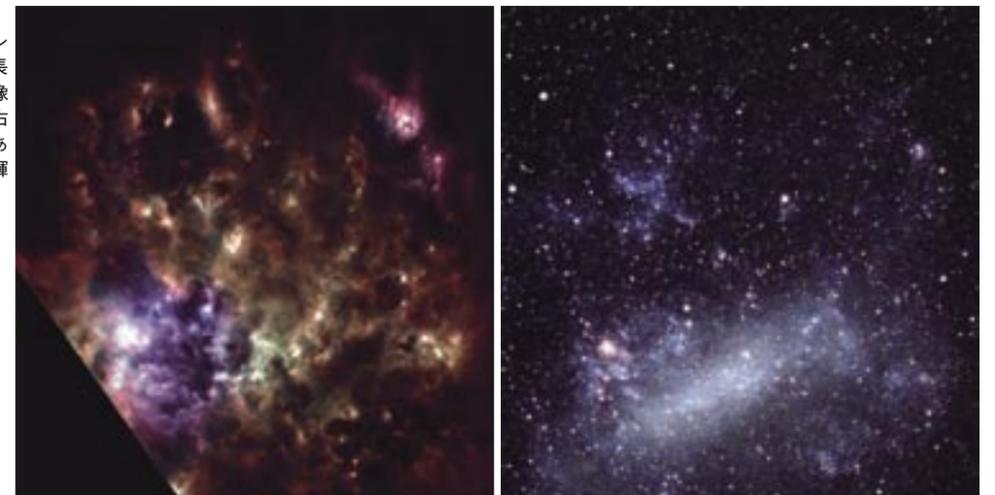
「あかり」で解明する宇宙への期待

多岐にわたる作業を何年も続けてきたが、天文学者が本領を発揮するのはこれから。「あかり」という最新鋭の観測装置を使い、彼らは何を追究しようというのだろうか。

今井さんは「銀河形成シナリオを解明しようとしています。宇宙の歴史の中で銀河がどのように形成され進化してきたかは未解決の問題です。宇宙の各時代におけるある特定の種類の銀河の個数密度を調べることによって、小さなかたまりが集まって大きくなっていくボトムアップか、大きなかたまりから小さく分かれていくトップダウンかがわかります」。地上からは観測できない中間から遠赤外線を観測できる「あかり」は貴重です」と「あかり」の役割を強調する。

「赤外線ですべて明るく輝く特殊な銀河の正体を解明したいと思っています」と

大マゼラン星雲
左は「あかり」による大マゼラン星雲の遠赤外線画像。観測波長65 μ m、90 μ m、140 μ mの画像から擬似カラー合成したもの。右は対応する領域の可視光画像。「あかり」の画像には赤外線では見えない天体が見える。



語るのは白旗さん。「そのような銀河の中心領域には、莫大なエネルギー源があると考えられています。でも、そのエネルギー源が大量の塵に隠されてしまっているため、正体が何であるか、まだよくわかっていないのです。たくさんの星が爆発的に生まれているのか、それとも巨大なブラックホールがあるのか。それを観測的に直接、明らかにしたいんです。『あかり』の高感度、高解像度に期待しています」

恒星系の成り立ちをテーマとするのは石原さん。星が誕生してから惑星ができ

ていく過程はまだよくわかっていない。「全天に散らばる1000個以上のVEGA型星*5候補を観測し、それを統計的に扱い、惑星形成過程を明らかにしていきます」

「宇宙は巨大な実験場」と語る金田さんは、違った視点で宇宙を見る。「宇宙に漂う星間物質には、PAHとよばれる有機物が含まれています。これがどのようにして作られたのかを知りたいのです。PAHをはじめとする有機物が宇宙に普遍的に存在し、その生成過程がわかれば、生命の起源にもつながるかもしれません」。宇宙化学、宇宙生物学ともい

えるこのアプローチはまだ始まったばかりだ。

世界中の天文学者の期待は、「あかり」最大のミッション、赤外線の全天マップおよび天体カタログである。これにより、今まで見えていなかった天体が見えてくる。系外惑星や銀河などの新たな発見があるかもしれない。恒星系や特殊な銀河の内部構造もわかるだろう。「銀河の生成シナリオもそうですが、得体の知れない何かを解明していく、その試行錯誤する過程が楽しいです」と今井さんが語ったように、研究者たちは自然を探求する楽しみを今味わっているのだ。

「あかり」の観測はまだ続く。観測終了後、開発に携わった研究者には1年間のデータ使用優先権が与えられ、その後一般に公開される。ここで紹介した4人をはじめとする日本の研究者たちの価値ある成果に期待したい。

- *1 遠赤外線サーバイザーは、名古屋大学、JAXA、東京大学、国立天文台などにより開発された。検出器部分は情報通信研究機構の協力を受けた。
- *2 近・中間赤外線カメラは、米国Raytheon社製の赤外線アレイセンサーを用い、東京大学、JAXAなどにより開発された。
- *3 鏡の製作はイビデン社、表面の研磨はニコン社が行った。
- *4 Herschel。ESA(欧州宇宙機関)の開発する赤外線望遠鏡搭載の天文衛星。
- *5 恒星を中心にもった円盤状の天体。惑星が形成される前の恒星系の姿。



写真4 今井弘二さんは「あかり」との交信データ全般の指揮をとっている。



写真5 金田英宏さんは新素材の主鏡の開発に取り組んだ。



「あかり」から日々送られてくるデータを元に、週1回のミーティングを目的や装置別に行う。現状の確認と、問題点があれば対策を話し合う。