

ALMA用12mアンテナの 超高精度のひみつ

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA、アルマ）は、「12mアレイ」と呼ばれる50台の12mアンテナ群と「アタカマコンパクトアレイ（ACA、愛称「いざよい」）」と呼ばれる12台の7mアンテナと4台の12mアンテナの、合計66台のアンテナからなります。

これらのアンテナには非常に高い性能が要求されますが、特に難しいのが、(1) 電波を効率的に集めるために、主鏡面の理想的な放物面からの凹凸を $25\mu\text{m}$ 以下におさえること（高い鏡面精度）、(2) 狙った天体の方向に正確にアンテナを向けること（高い指向精度）、(3) 強度の補正などのために複数の天体を短時間で切り替えられること（高速駆動性能）などです。



左から、日・米・欧のアンテナ。それぞれ形が少しずつ異なりますが、直径はどれも12mで同じ仕様を満たしています。

このような超高精度のアンテナを限られた予算の中で実現するために、日本や欧米のアンテナメーカーが試作の段階からさまざまな工夫を凝らしました。

例えば日本のアンテナは、主鏡面の支持構造をASTE望遠鏡などで実績のあるカーボンファイバーチューブとインバージョイントの骨組構造とし、世界最高精度のアルミ鏡面パネルを開発しました。

一方アメリカのアンテナは、支持構造をカーボンファイバーとアルミハニカムの箱型構造とし、副鏡支持柱や受信機室の形にも工夫をこらしました。

またヨーロッパのアンテナは、主鏡面部構造のみならず、受信機室までカーボンファイバーで作るなどして、温度安定化と軽量化をはかりました。また、鏡面パネルはアルミハニカムコアにニッケルスキンを接着して製造し、表面には日射対策のためのロジウムコーティングを施しました。

これらの工夫により、厳しい性能要求を満たすアンテナが実現しました。そのためのアプローチは日米欧で異なっているものの、移動台車やアンテナ基礎とのインターフェースは共通化され、移動台車や基礎を共有できるようになっています。

ここでは、日本が製造を担当しているアタカマコンパクトアレイ用の12mアンテナを例にとって、電波望遠鏡の紙模型を作りつつ、電波天文観測用の高精度アンテナの構造を理解し、その超高精度のひみつについて探ってみましょう。

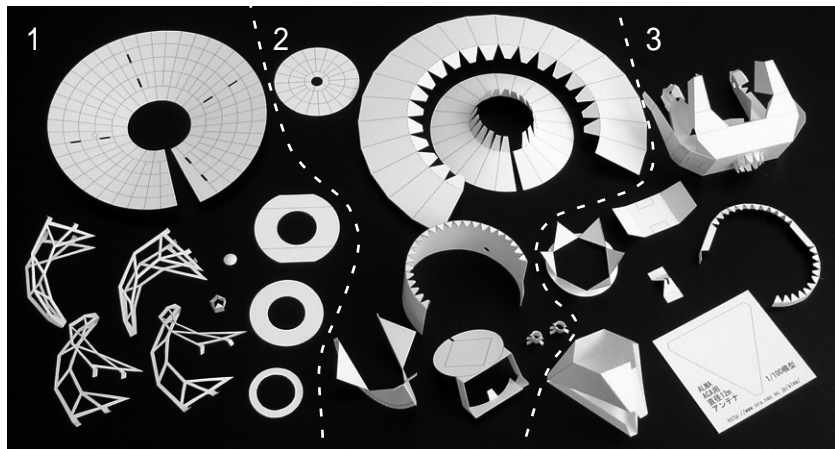
ALMA用12mアンテナの主要な性能緒元

主鏡直径：12m
重量：約100トン
鏡面精度： $25\mu\text{m}$ 以下（目標 $20\mu\text{m}$ 以下）
絶対指向精度：2秒角（1度の $1/1800$ ）以下
相対指向精度：0.6秒角（1度の $1/6000$ ）以下
観測可能波長：10mm～0.3mm
高速駆動：1.5度を1.5秒で移動し静定
架台方式：経緯台式、可搬型

親子で作るALMA-ACA12mアンテナ紙模型 熟練者コース(作り方-1)

材料と道具：はさみ、カッター、のり(木工用ボンドがよい)

1. 準備：ケント紙のような厚手の紙に3枚の型紙を、外枠が18cm×26.5cmとなるようにコピーし、太い線に沿って切り、25点の部品とする。太い線のところに切り込みや穴を開け、二点鎖線を山折り、破線を谷折りにする。

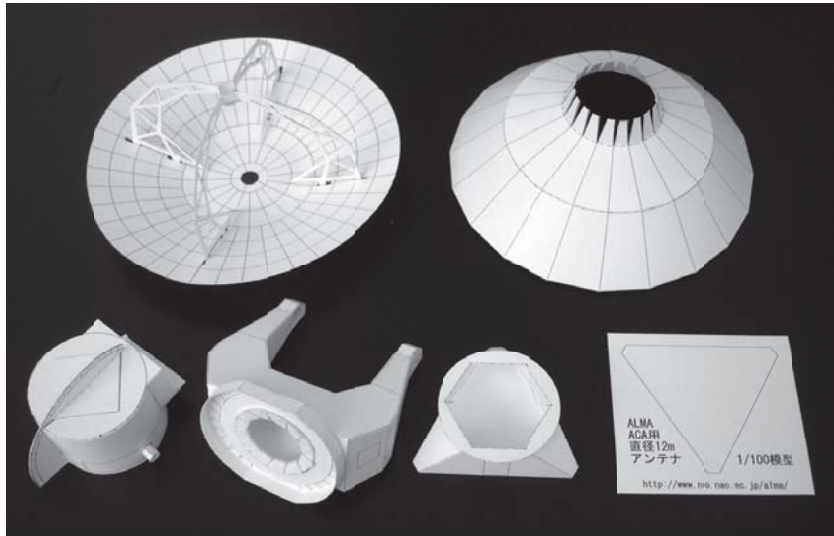


切り取りと折り曲げが完了した部品のようす。

2. 副鏡部の組立：副鏡[1-]にボールペンのキャップなどの先の丸いものを押し当ててくぼみをつくり、おわん型にする。副鏡駆動機構[1-]を箱型に組み立てて、ふたのある方に副鏡をとりつける。副鏡駆動機構を四方から包み込むように副鏡ステー[1-]を貼り合せて、やぐら状にする。やぐらを立てたときに副鏡は下向きになることに注意する。また、副鏡ステーのトラス(ジグザグ構造)は2枚貼り合わせたときに完成するようになっているため、この部分にはのりをつけず、外側だけをのりづけること。

3. 主鏡面部の組立：主鏡(外周)[1-]を印刷面が凹になるように組み立て、主鏡(外周)の内側の穴に主鏡(内周)[2-]を押し付けるようにしてのりづけする。8つの細い穴に副鏡ステーの足を差し込み、裏側からのりづけする。
4. 日除けパネルの組立：日除けパネルの内周[2-]と外周[2-]を、それぞれ印刷面を上にしておわん型にする。外周の内側の切れ込み部分にのりづけして、内周を上から貼りあわせる。
5. 受信機室の組立：仰角ギア[2-]を半分に折って、折ったときにできる四角部と三角部以外のところをのりづけする。これを、受信機室(床)[2-]の切り込み差し込みながらのりづけする。受信機室(側面)[2-]を丸めて作り、下部に床とギアを、側面部にあるつなぎ目にギアがはまり、裏面に受信機室入口のひさしがはまるように取り付ける。つなぎ目は前面部にもってくる。次いで仰角軸[2-]を丸めて作り、受信機室の側面の穴に入れ外側に軸が突き出すように取り付ける。
6. 架台部の組立：架台[3-]の一番大きな三角形の部分を下にし、ふちに沿って周りの部分をのりづけする。上の口の部分に架台部方位角軸受[3-]をのりづけする。このとき、切り込みは口の中に入れる。
7. ヨーク部の組立：ヨーク[3-]をU字型になるように組み立てる。ヨーク内壁[3-]の真ん中に立体的な三角形をつくるように仰角駆動部[3-]を取り付ける。ヨーク内壁をU字型のヨークの真ん中に取り付ける。方位角軸受カバー[3-]を丸め、ヨーク部方位各軸受1[1-]にのりづけし、これらをヨーク下面の穴に一致するようにのりづけする。この穴の部分から、方位角の軸となる部分を起こしてヨークがY字型になるようにし、この軸を軸受2[1-]の穴に通す。さらに軸受3[1-]の穴にも通し、軸受3のみのりづけする。このとき、軸受2は自由に回転できる必要がある。

親子で作るALMA-ACA12mアンテナ紙模型 熟練者コース (作り方-2)



↑ 部位ごとにほぼ組み立てが完了した状態。

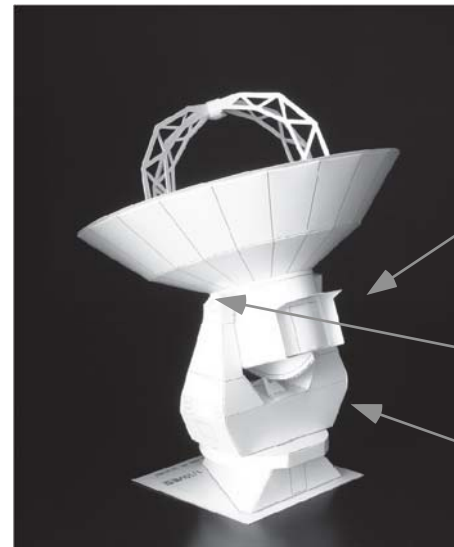
9. 全体の組立：受信機室の仰角軸をヨーク部に差し込む。このとき、切り欠きのある正面方向に開いている部分がくるように注意する。仰角ギアを仰角駆動部の切り込みにはめ込む。ヨーク部は平らな方向が正面で、仰角ギアも正面側になるように注意する。架台部の方位各軸受にのりをつけ、軸受3にのりにつかないように注意しながら軸受2と貼り合わせる。この際、架台部とヨーク部がなめらかに回転することを確認する。次に日除けパネルを、パネルの境目が真下になるように受信機室に取り付ける。最後に、日除けパネルの外周にのりをつけ、正面から見て副鏡ステーが十字型で、ポインティング用望遠鏡の穴(主鏡面上部にある小さな円)が向かって左側になるよう、また、主鏡面部と日除けパネルの境目が一致するように注意しながらのりづけし、一体の主鏡構造とする。できあがったアンテナを基礎[3-①]の上へのせれば完成。

副鏡ステーは正面から見たときに十字型となる。光学ポインティング用望遠鏡の穴は向かって左。

仰角ギアは正面側につく。



ヨーク部は平らな方が正面。



受信機室入口は背面。

ヨーク上端に切り欠きのある方が正面。

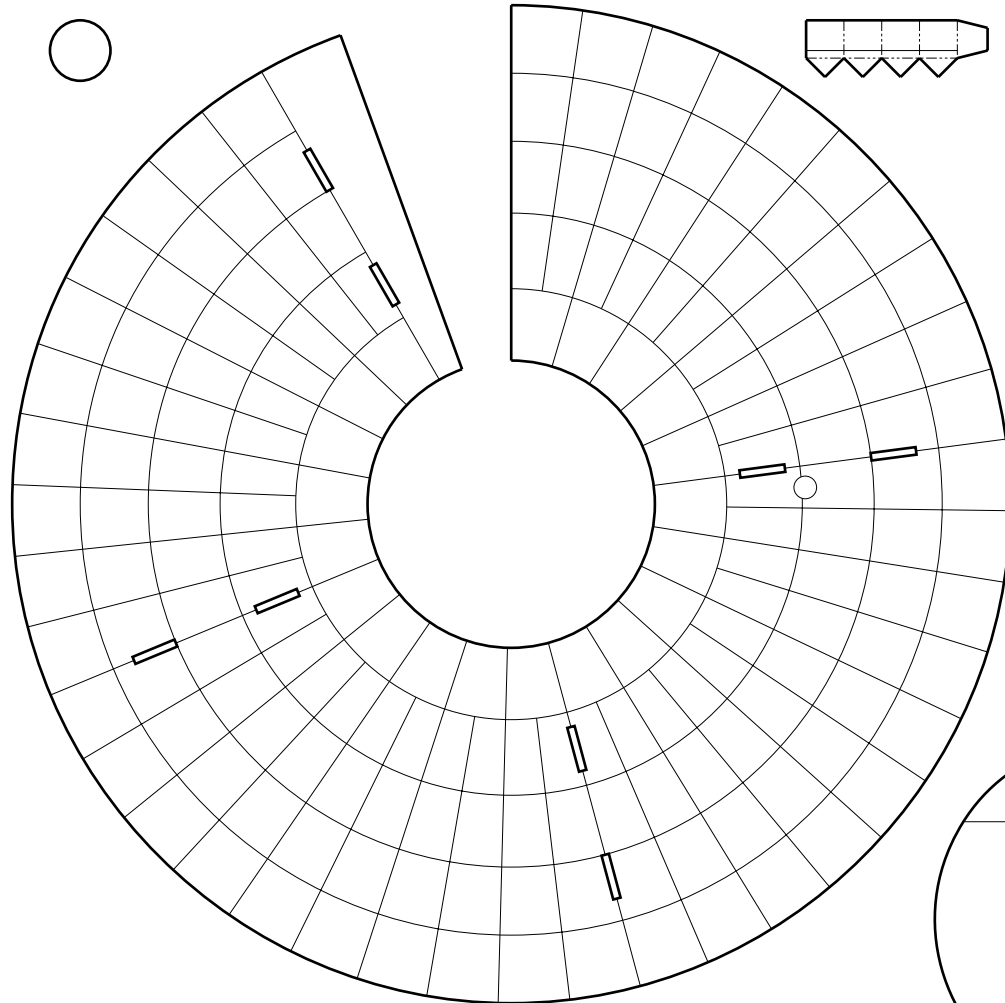
ヨーク部背面は途中で少し折れ曲がっている。

親子で作るALMA-ACA12mアンテナ紙模型 熟練者コース (1/3)

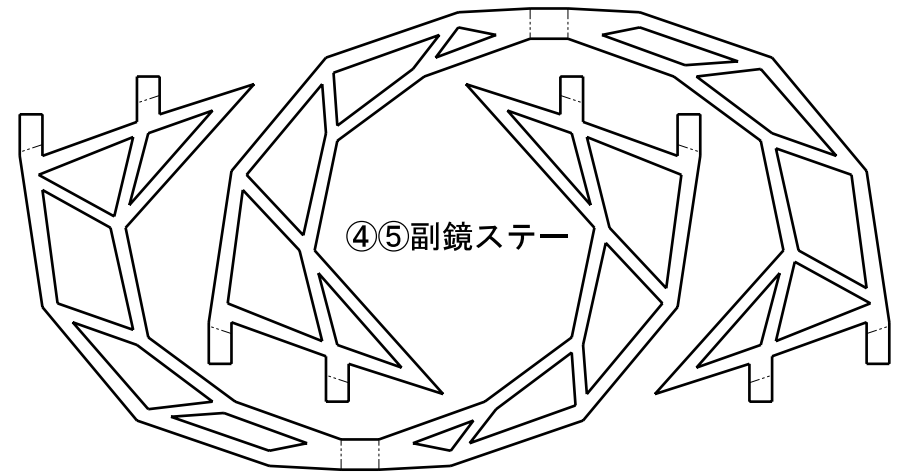
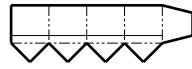
①副鏡



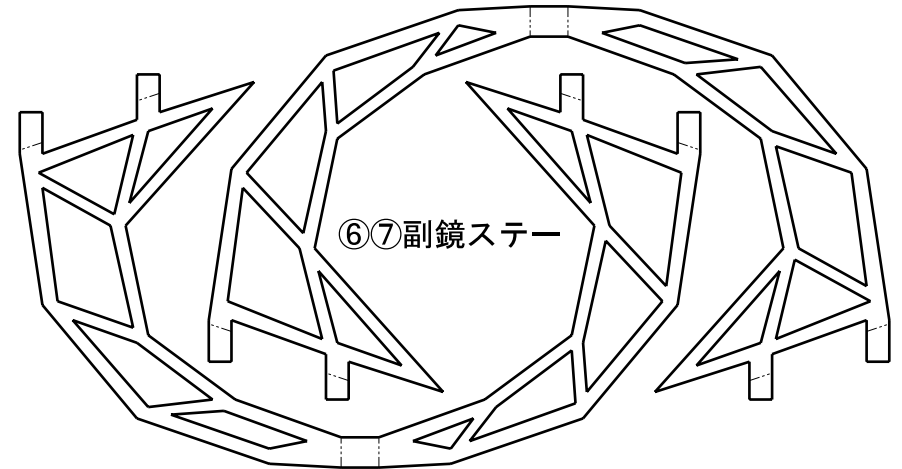
②主鏡(外周)



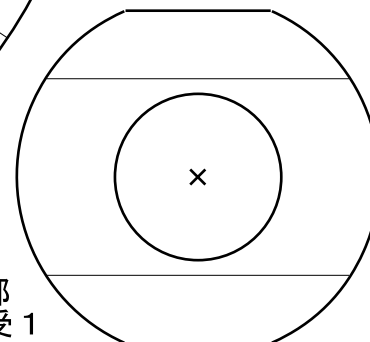
③副鏡駆動機構



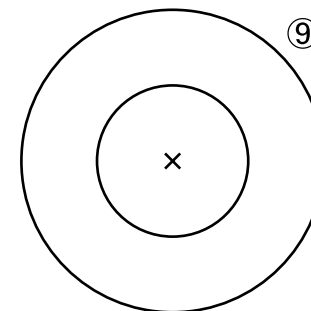
④⑤副鏡ステー



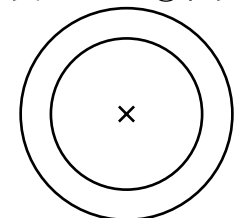
⑥⑦副鏡ステー



⑧ヨーク部
方位角軸受1



⑨軸受2

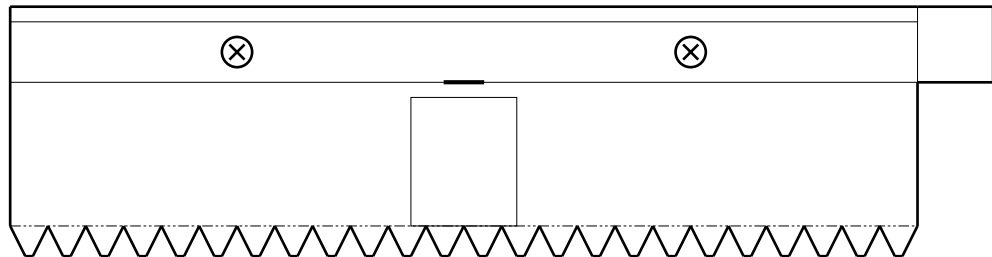


⑩軸受3

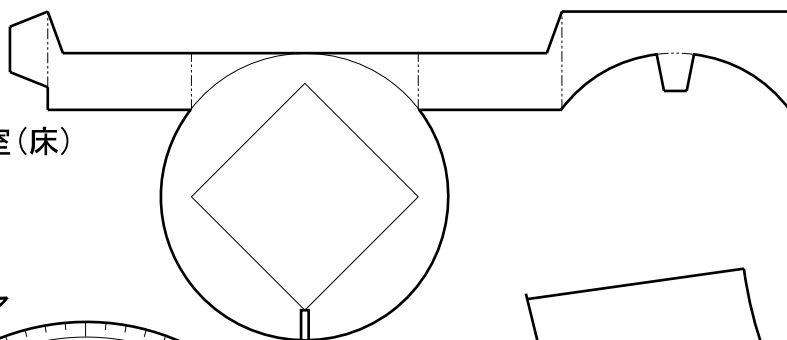
(c) 国立天文台

親子で作るALMA-ACA12mアンテナ紙模型 熟練者コース (2/3)

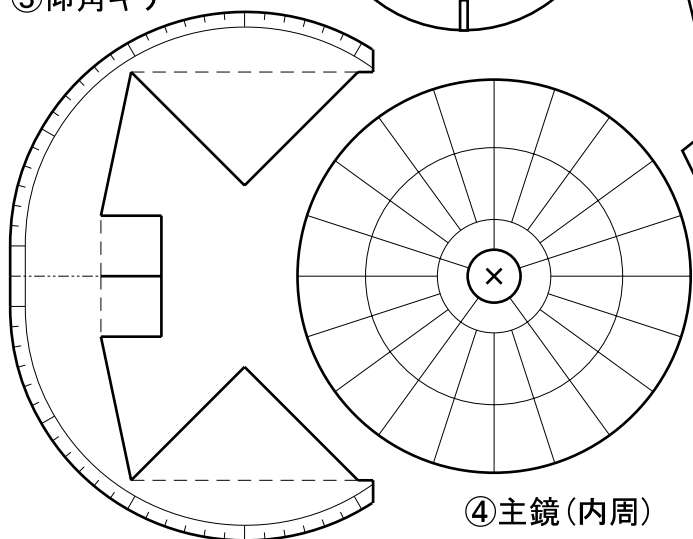
①受信機室(側面)



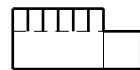
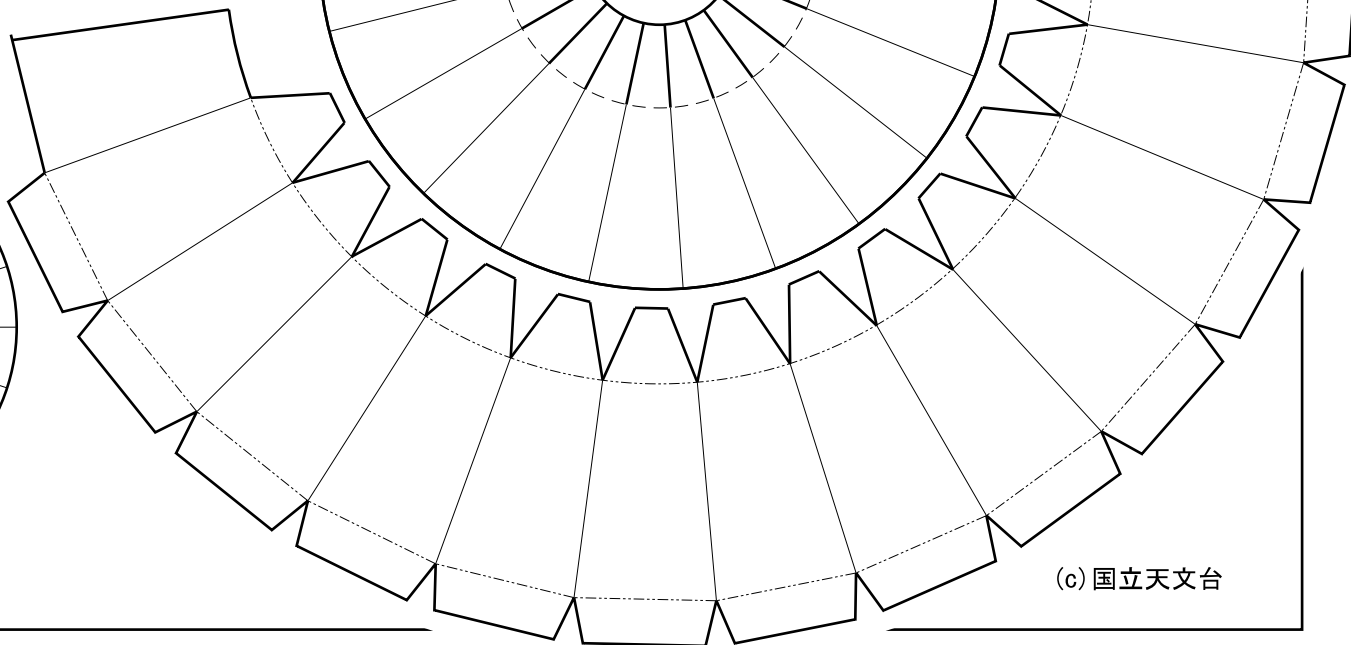
②受信機室(床)



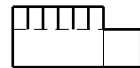
③仰角ギア



④主鏡(内周)



⑤⑥仰角軸

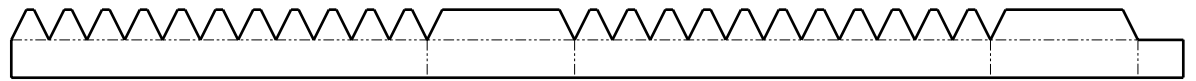


⑦日除け
パネル(内周)

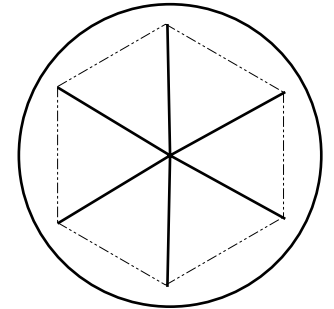
⑧日除けパネル
(外周)

親子で作るALMA-ACA12mアンテナ紙模型 熟練者コース (3/3)

④方位角軸カバー



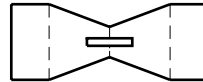
⑦架台部方位角軸受



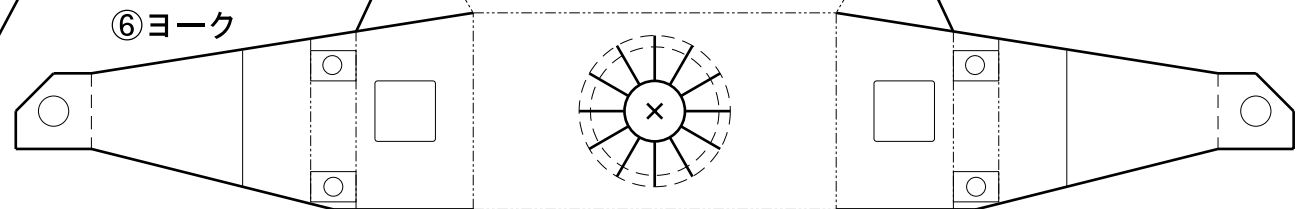
①基礎



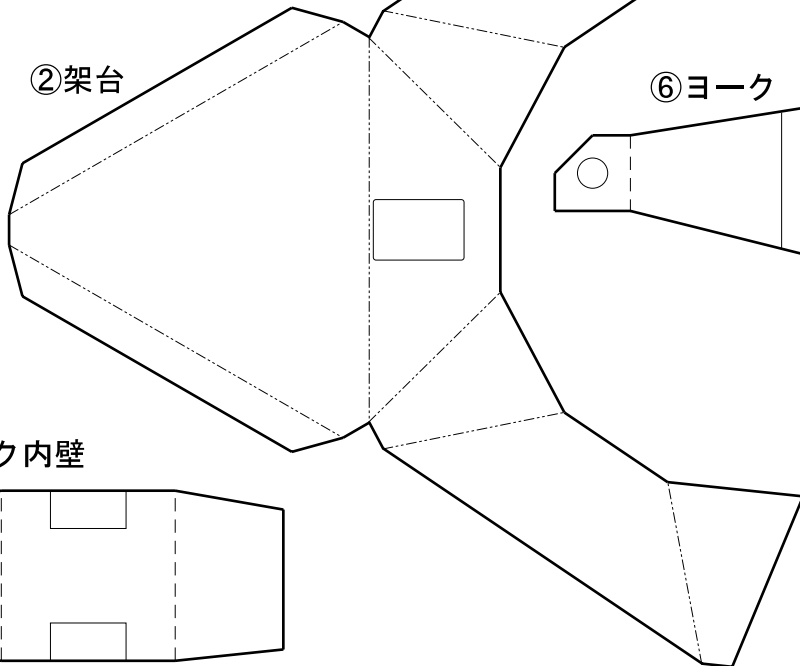
⑤仰角駆動部



⑥ヨーク



②架台



③ヨーク内壁

