

# フリクションドライブ赤道儀の製作

赤道儀の駆動に用いられるウォーム・ホイル駆動には、いくつか問題があります。最大の問題はバックラッシュがあることです。これはウォームとホイルの間に隙間を与えていることから、逃れられない問題です。また、ピリオディックモーションが大きいという問題もあります。これらの問題点を解決するのが、フリクションドライブ（摩擦駆動）方式なのです。

大島 修

## 1.なぜフリクションドライブなのか

これまで日本では、赤道儀の駆動といえばウォーム&ホイルで行なうものと決まっていた、といつても過言ではないでしょう。しかし、アマチュアが少し大きな赤道儀を自作する場合に、ウォーム・ホイルの高精度のものを安く入手することは困難です。さらに望遠鏡の自動化という時代の流れを考えた時に、古典的なウォーム・ホイル駆動にはいくつか問題があります。

最大の問題は、ウォーム・ホイルは原理的にバックラッシュ（遊び）を持つことです。つまり、ウォームとホイルの間にある程度の隙間を与えることで、摩擦が大きくて回転しにくいことや、磨耗が激しくなることから逃れています。これは、望遠鏡のポインティング精度の低下となって現われます。また、ピリオディックモーションが大きいという問題もあります。ほとんどはウォームの偏心によるもので、回転軸の加工と歯切りが別々に行なわれるという製作工程上避けられないことに起因する問題です。それらの問題点を解決するのが、フリクションドライブ（摩擦駆動）です。いくつかの変種がありますが、基本は図1のようにディスク（円盤）とローラーを1線で押し付け、その静止摩擦でトルク（回転力）を伝達します。原理的にバックラッシュはないし、滑らかにトルクを伝えます。製作上も外周は研削という機械加工上最も精度の良い方法が使用できるので偏心ではなく、したがってフリクションドライブ自体ではピリオディックモーションはないといってよいでしょう。製作コストもギヤの場合よりずっと安価に抑えられ、まさに自作望遠鏡に最適な駆動方法です。以下は、赤道儀のフリクションドライブ部に焦点を絞って、体験に基づいた設計製作上の問題を書いてみます。

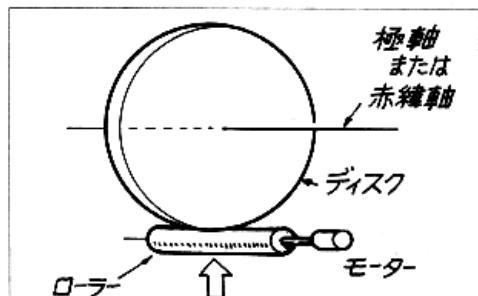


図1 フリクションドライブの基本

駆動される側（極軸や赤緯軸）がディスク側で、モーターでローラーを回す。ローラーからディスクへは、静止摩擦でトルクを伝達する。実的な減速比は1/10から1/20程度。

## 2.フリクションドライブ赤道儀を製作するにあたって

自作の参考にしようにも、国内ではフリクションドライブの赤道儀はほとんど製作されたことがないようです。公表された例では、鈴木幸三郎さんが恒星時追尾用に部分微動として使用して好結果を得た（月刊天文、1985年6月号）くらいです。しかし、外国では以前からよく使用されています。古くは鏡研磨で有名な、テキセロー氏の教科書「望遠鏡の作り方」（英文）の赤道儀マウンティングの章の中にもボーラン氏のフリクション式の赤道儀が写真入りで紹介されていますし、リック天文台でスペアーパーツを使用して桁違いにローコストで製作したという1m反射望遠鏡もフリクションドライブです（S&T誌、1980年8月号）。また、広告で見かける輸入品の移動式の45cmホースシュー型赤道儀もそうで、実際に覗いてみたところまったく問題なく実用になっています。宇宙科学研究所の1.3m赤外望遠鏡や国立天文台の1.5m赤外シミュレータなど、最近作られている大型経緯台の駆動には、ほとんどフリクションドライブが採用されています。一時期は8mすばる望遠鏡もフリクションドライブに決定されかかっていました（その後、リムが錆びやすいという点が嫌われ、現在はもっと斬新なダイレクトモーター駆動に落ち着いたと聞いています）。

当然ながら、私にフリクションドライブの製作経験は皆無でした。製作経費は個人にとって大きな問題で、後で作り直すわけにはいきませんから、製作を決断するまでにはさんざん迷いました。しかし、10年以上前からフリクションドライブの魅力にひかれ、どうしても作ってみたかったことと、米国ではフリクションドライブの完全自動のロボット望遠鏡が大活躍していたことに励まして、思い切って挑戦してみました。

ちょうど美星天文台の101cm望遠鏡の設計の時期と重なったので、その設計責任者の清水実さん（元岡山天体物理観測所副所長、現美星天文台副台長）と相談の上で、この20cm用赤道儀がうまくいけば、美星101cmもフリクションドライブを採用しようということになりました。基本設計は自分で行ない、詳細設計は友人で機械設計師の藤井貢さんが買って出てくれました。製作は、101cm製作担当の法月技研にお願いしました。

## 3.フリクションドライブの原理と設計

本当に、ギヤの噛み合わせがなくても滑らないのでしょうか

## フリクションドライブ赤道儀の製作

か。それには、どのくらいの力で押し付ければよいのでしょうか。望遠鏡は使用しない時間の方が長いのですが、その間に同じ場所ばかり押し付けられて部分的に凹みが生じないのでしょうか。そうならないためには、どの程度の硬さの材質が良いのでしょうか。

こんな疑問に答えてくれる望遠鏡の資料はどこにもありませんでした。リック天文台の場合の押付力が1.4トンであることが、唯一の具体的なデータでした。宇宙科学研究所の1.3m望遠鏡を製作した三菱電機の担当者に教えを乞う手紙を出しましたが、当然のことながら返事はありませんでした(営利企業の社員がこんなことに答える義務はどこにもないわけですから)。こうなると自分達で考えるしかありません。考えてみれば、鉄道のレールと車輪、自動車のタイヤと道路の場合もフリクションドライブです。この駆動法は、歯車の発明以前に使われていたと思われるおそらく最も原始的なトルク伝達法です。そこに使われている原理は、摩擦の法則という、これまた最も基本的な物理法則ですから、法則にしたがって忠実に検討すれば良いはずです。

摩擦には、接している2つの物体がずれて動き始めるまでの静止した状態での静止摩擦と、動き始めた後の動摩擦の2つがあります。望遠鏡のフリクションドライブの場合は、ディスクとローラーは共に回転しますが、接触している場所同士はズレないで回る(相対的には静止している)ので、ここで考えるのは静止摩擦の方です。一般に摩擦力と押し付け力は比例し、その比例係数が摩擦係数と呼ばれます。静止摩擦の場合、滑り始める直前が最も摩擦力が大きいので、最大静止摩擦力と呼ばれています。最大静止摩擦力を  $F_{max}$  [kgf]、押付力を  $N$  [kgf]、静止摩擦係数を  $\mu_0$  とすると、

$$F_{max} = \mu_0 \times N \quad (1)$$

で表されます。

また、この最大摩擦力  $F_{max}$  で半径  $R$  [m] のディスクを回すときのトルク  $T$  [kgf · m] は、

$$T = F_{max} \times R \quad (2)$$

となります。

なお、モーターに必要なトルクは、  $F_{max}$  以上必要ですが、それ以上いくら大きくてもディスクに伝達するトルクは、最大摩擦力  $F_{max}$  以上にはなりません。

赤道儀はバランスが取れた状態で使用する物なので、口径20cmのカセグレン望遠鏡では、必要なトルク  $T$  は  $2$  [kgf · m] (=半径1m先に2kgの力をかけたアンバランスな状態) もあれば充分と考えました。ディスクの半径を  $0.15$  [m]、静止摩擦係数  $\mu_0$  を  $0.13$  とすると、式(1)、式(2)に代入して、

$$F_{max} = T/R = 2 / 0.15 = 13.3 \text{ [kgf]}$$

$$N = F_{max} / \mu_0 = 13.3 / 0.13 = 102 \text{ [kgf]}$$

となります。こうして押付力として  $100$  [kgf] 以上を与えるべきことがわかりました。

なお、ここでは静止摩擦係数に最も控え目な値として  $0.13$  を採っています。これは押付力が小さいときに、研磨した鋼どうしの面に少量の油を塗った場合に相当します。しかし実際には  $100$  [kgf] の力を加えるときには、油膜があってもなくても、 $\mu_0 = 0.2$  程度と考えてもよさそうです。その根拠は、別に実験装置を作って、実際に確認した次の結果による。

バネを利用して押付力を可変にして摩擦面を清浄な状態に

したり機械油を塗ったりして、最大摩擦力がどのように変化するかを調べてみました。結果は、(a) 押付力が弱いときには、摩擦の法則にしたがい、(1) 式が成り立ち、そして油膜があると滑りやすくなりました。しかし(b) ある程度以上強く押し付けると摩擦の法則は成り立たず、静止摩擦係数自体が押付力に比例して大きくなることがわかりました! また、油膜の有無は摩擦力に無関係でした。これは、押付力が大きいと油膜を断ち切る働きがあるためと考えられます。どちらの場合も摩擦が大きくなる方向にいくため、私たちの目的には好都合です。摩擦の法則は、最悪の場合を想定したものと思えば良いことになります。

後は、この押付力に耐えられる材料を探せばよいわけです。先に、ディスクとローラーは理論的には1線で接していると書きましたが、現実には、ある程度変形して、有限の面積で押付力を引き受けています。この変形が、塑性変形までいかないで、弾性変形の範囲に収まるような材料を選ぶことになります。私たちは、ヘルツの公式と呼ばれる弾性変形の計算式で検討した結果、硬さHRC50以上を得るために、ディスクにはS55C材のリムに高周波焼入処理を施し、ローラーにはSUJ2材に高周波焼入れ処理を施して使用することにしました。なお、完成後、ディスクとローラーを半年間同じ場所で押し付けたまま放置しても、実際に塑性変形を起こしている様子は見られず、予想の計算が正しかったことを裏付けています。

### 4. この赤道儀の特徴

この赤道儀の極軸体は、駆動がフリクションドライブというだけでなく、フリクションドライブ部が軸受けも兼ねているのが特徴の1つです。まず、極軸南端に自動調芯ペアリング(プランマーブロック)を置き、極軸自体はそこを支点に自由に動きます。次に、両端をピローブロックで支えられた2本のローラーの上に極軸体のディスクを載せます(図2. および写真1)。極軸体は3点で安定に支持したことになります。このような構造にすると、摩擦を発生させるための押付力は、極軸体の自重に加えて、フォークおよび望遠鏡の重量をここで増加させたものが利用でき、 $100$  [kgf] を超える力になっています。

2本のローラーのうち1本は、モーターに接続された減速比

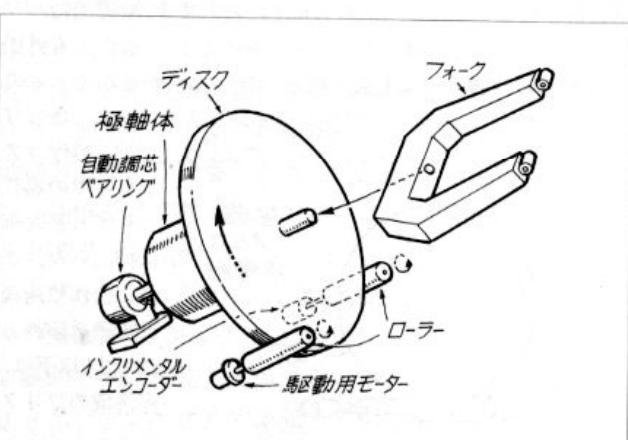
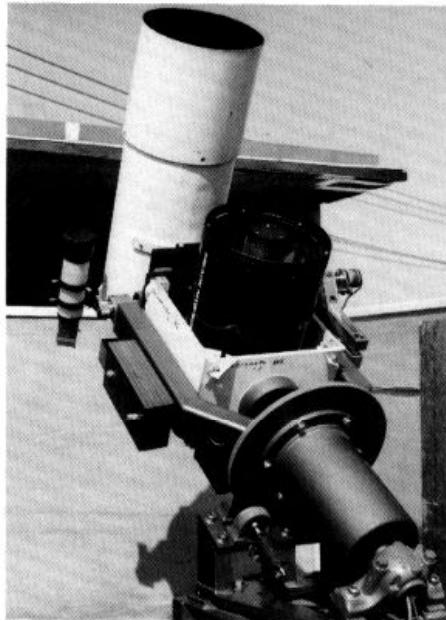


図2 3点で支持された極軸体

極軸体は、南端の軸受けを支点として、2本のローラーの上に載せられ、その3点で支えられている。ローラーには、てこにより増幅されたフォーク・鏡筒の荷重と極軸体自体の重さが加わり、摩擦発生のための押付力として働いている。2本のローラーは、それぞれ駆動用モーターとエンコーダーにつながっている。

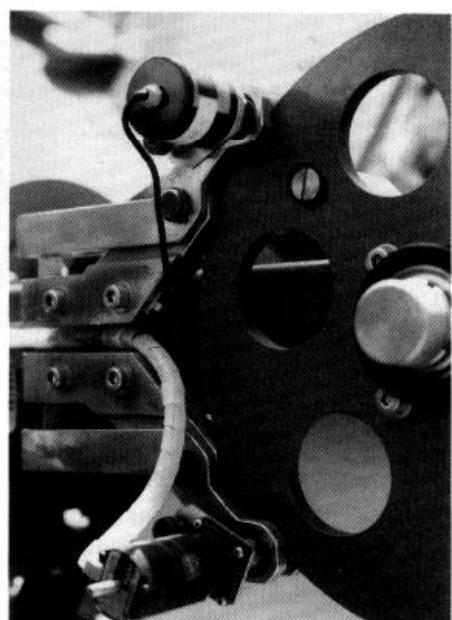


▲写真1. フリクションドライブ赤道儀と測光用20cm f2連望遠鏡の全景

ロボット化に対応できる赤道儀を目指した。望遠鏡が2連なのは、一方が変光星を、もう一方が比較星を同時に測光することで、日本の変化しやすい気象条件のもとで観測精度を上げるためにある。



▲写真2 フリクションドライブ部  
手前が駆動用ローラーでハーモニックギヤードモーターがついている。向こう側にロータリーエンコーダーが見える。



▲写真3 赤緯軸のフリクションドライブ部



図3 ハーモニックドライブの原理

ウェーブジェネレーターに入力の回転を与えると、1回転後には出力軸であるフレクススラインは、2山分だけ歯がズレる。こうして減速を行なう。

1/20の駆動用ですが、もう一方のローラーは、位置検出用のインクリメンタルエンコーダを取り付け、エンコーダの分解能を上げるために20倍の増速機構として利用しています（写真2）。

赤緯軸の方は2本のローラーをそれぞれバネとてこを使ってディスクに押し付けて、摩擦力を発生させています（写真3）。

### 5.赤道儀の仕様とモーターの選定

この赤道儀の仕様を決めるに当たっては、使用目的が光電測光専用なので、ポイントティング精度、追尾精度共に、直径40"角の測光器のダイアフラム（望遠鏡焦点面に置かれたマスク板に開けてある小さな丸穴）内に天体を捉えることと、その中心付近で追尾することを目標に見積もりました。また、望遠鏡の速回しの速度は、光電測光では全天の標準星を数分おきに次々に観測してゆく場合もありますので、できれば時計の秒針と同じ速さ（恒星時の1440倍）で振り回したいところです。

#### （1）追尾精度

まず、星はできるだけダイアフラムの中心で観測した方が間

題が少ないので、追尾精度は±5"角程度としました。

モーターには高速応答性の良い5相ステッピングモーターを使用しましたので、モーター単体でのステップ角は、フルステップ駆動時で0.72度が得られます。これをハーモニックギヤヘッドで1/50に、さらにフリクションドライブ部で1/20に減速しますので、最終的なステップ角は、 $0.00072\text{度} = 2.592''\text{角}$ となり、この目的には充分な分解能です。この値から恒星時追尾時の駆動パルス周波数を求めるとき、日周運動は1秒間に $15.04''\text{角移動}$ しますから、 $15.04 \div 2.592 = 5.802 \text{ PPS}$ になります。

ギヤヘッドに使用したハーモニックドライブ（図3参照）は、減速率が大きくかつバックラッシュがないという素晴らしい特性を持っていますが、欠点もあり、単体で使用する時には角度伝達誤差（ウォームホイルでのピリオディックエラーに相当する）が結構大きくて1'角程度あることです。しかし、これは最終減速段のフリクションドライブ部で1/20に減らせますので、数"角程度のふらつきに抑えることができます。

#### （2）速回し速度

望遠鏡の速回しの最高速度は、180度を30秒間で移動、つまり1秒間で6度（=21600"角）移動するためには、 $21600 \div 2.592 = 8333 \text{PPS}$ 以上の最高回転が出せるモーターを選べばよいことになります。

#### （3）モーターのトルク

モーターの選定には、トルクの見積りも必要です。ここで考慮すべきトルクは、望遠鏡荷重が軸受けにかかる時の摩擦負荷トルクと望遠鏡のアンバランスによる負荷トルク、そして望遠鏡を最高速まで加速するための慣性負荷トルクの3つです。

この内、軸受けの負荷トルクは、軸受けにボールベアリング

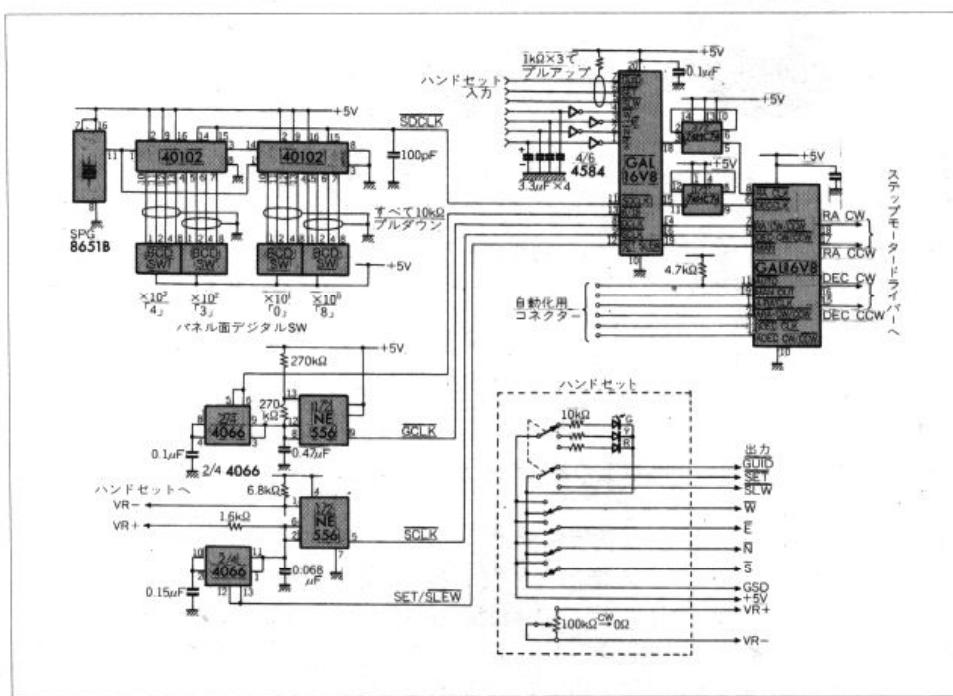
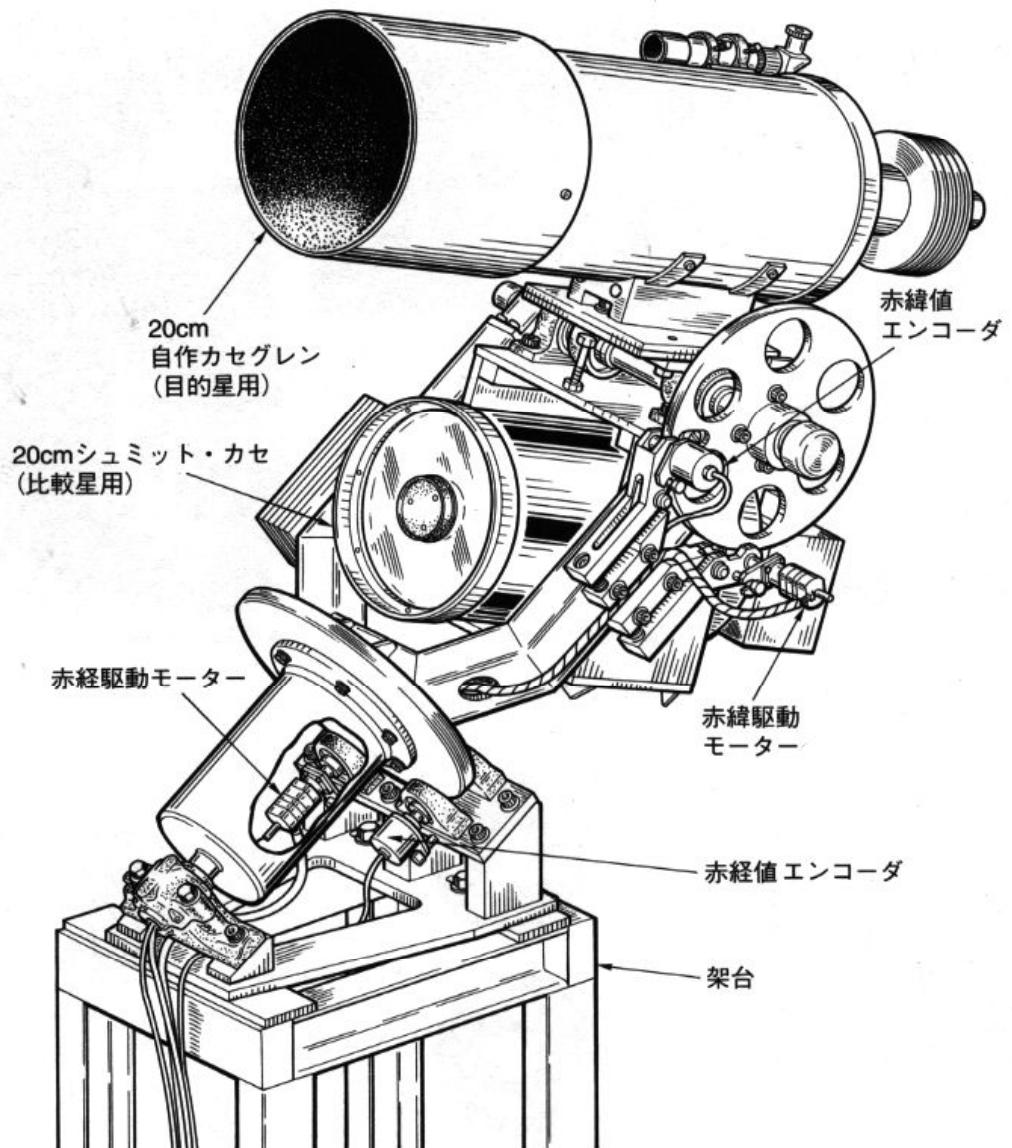


図5 駆動用電子回路 発振回路、分周回路、切替回路から成っている。GAL16V8は、ロジックの書き込みが必要。

を使用しているため、せいぜい $0.2[\text{kgf}\cdot\text{m}]$  (モーター軸換算で $0.02[\text{kgf}\cdot\text{cm}]$ ) です。望遠鏡のアンバランスによる負荷トルクは多めに見て $2[\text{kgf}\cdot\text{m}]$  (モーター軸換算 $0.2[\text{kgf}\cdot\text{cm}]$ ) 程度。最後の慣性負荷トルクは加速時間を3秒間ほどとれば、望遠鏡の慣性モーメントはモーター軸に換算すると減速比 (この場合 $1/1000$ ) の2乗に比例しますから、無視できるくらい小さくなります。こうして実用上は、望遠鏡のアンバランスだけを支えるトルクがあれば充分ということがわかります。

#### (4) モーターの選定

以上の要件を考慮して、最終的にオリエンタルモーターのカタログに出ている最も小型のハーモニックギヤードタイプであるUPD533HG-NBで充分と判断しました。トルクは出力軸で $15[\text{kgf}\cdot\text{m}]$ 、モーター軸で $0.26[\text{kgf}\cdot\text{cm}]$ です。ただし、これは高価なドライバーとセットになっているので、メーカーの営業所に相談して、ドライバーを安価で小型な

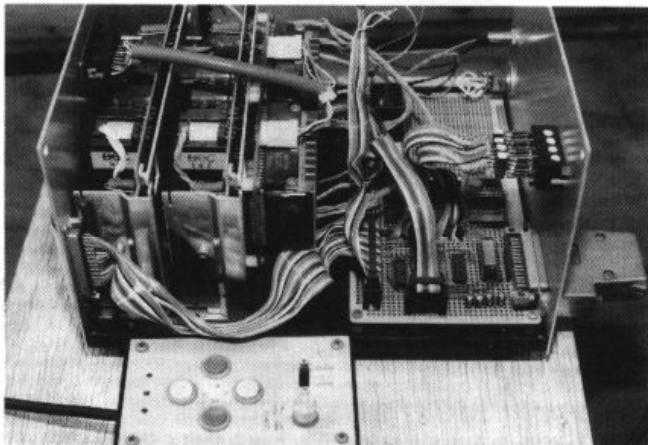


写真4 自作制御ボックスの内部

左から、スイッチング電源、モータードライバー、発振回路ボード。手前に置いてあるのは、ハンドセット。

CSD533-NB用の物に交換してもらつて購入しました。この組み合わせは、赤経赤緯用の2組で、とのセット1組分と同じ費用で済みました。このドライバーは、40KPPS以上の高速域でトルクが低下しますが、今回の目的にはまだ5倍の余裕があります。逆にいえば、恒星時駆動は0.5°角まで分解能を上げることもできます。

#### (5) エンコーダの分解能

次に天体導入の際に問題になる、エンコーダによる位置検出精度です。インクリメンタルエンコーダには、小型で安価なオムロンのE6B-CWZ3E（1回転600分割）を使用し、フリクションドライブ部で20倍、さらにカウンター入力部で電子的に4倍しましたので、最終的に27°角の分解能が得られます。分解能だけから見ると、何とかダイアフラムの中に、あるいはそのまま近くまで天体を導入できそうです。

現在はこのエンコーダ出力を、パルスステック製の「アストロスケール」に入力して赤経赤緯を表示していますので、大気差の補正ができていません。そのため大気差だけでも高度30度で2°角近い誤差が生じます。パソコンで大気差補正さえ行なえば、ゼロバックラッシュの駆動系と合間って1°角程度のポイントティング精度を出すことは難しくありません。以上のような構成要素を組み込んだ最終的な全体図面を図4に掲げます。

#### 6. 駆動用電子回路

マニュアルモードの駆動用電子回路を図5に示します。この回路の特徴は駆動用のパルスを自由に変更できることと、ロジックICの数を減らすためにGALというプログラマブル論理デバイスを使用したことです。原発振は100kHz水晶内臓のIC

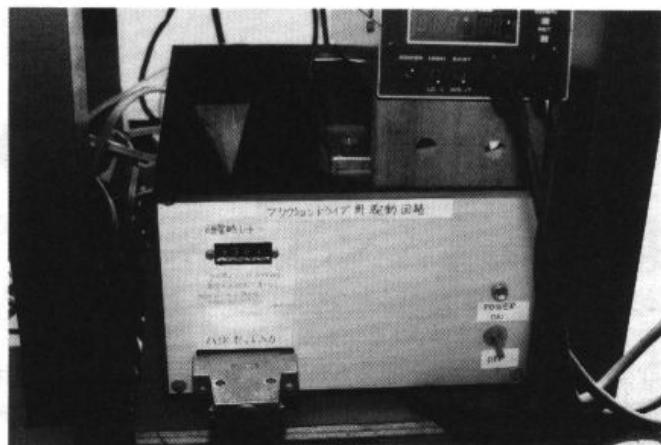


写真5 制御ボックス

左上に恒星時追尾レートを設定するデジタルスイッチが見える。右上は座標表示用のアストロスケール。

SPG8651Bを使用し、2段のプログラマブル分周用IC40102で分周して、所定の恒星時追尾用クロックを得ています。分周比は、制御ボックスのパネル面に設けたデジタルスイッチで可変できます（写真5）。フリクションドライブの場合、望遠鏡のアンバランスにより追尾速度が微妙に変化しますので、恒星時追尾用のクロックは自由に設定できるようにしておく必要があります。ハンドセットには修正用の東西南北のボタン以外に、速度選択用のスイッチがあり、速回しとセット、ガイドの3つのモードを選べるようにしました。また、ボリュームにより、速度の微調整もできます。速回しモードを選んだ時には、ステッピングモーターは瞬時に最高速度で起動しませんから、ボリュームを回しながら低速からスローアップする必要があります。

#### 7. フリクションドライブ赤道儀を使用してみて

この赤道儀を実際に使用してみて、設計前に気にしていた点はうまく解決できたことがわかりました。つまり、滑らない、へこまない、ということです。さらに気付いたフリクションドライブの得失をあげてみます。

##### (1) ゼロバックラッシュを実現しました。

フリクションドライブとハーモニックギヤードモーターの組合せを採用したのは大成功でした。まったくバックラッシュがないため、望遠鏡の向きを修正する場合でも、素早いレスポンスが得られます。ウォームなどギヤを使用すると、バックラッシュのために、ハンドセットのボタンを押してから実際に望遠鏡が動き始めるまでに、不感時間が存在しヒステリシスが生じます。フリクションドライブ+ハーモニックギヤードモーターの組み合わせは、まったく不感帯がありません。美星天文台の

101cm望遠鏡でも、12mの焦点距離を持った望遠鏡がゼロバックラッシュで動くのは実に爽快です。気持ちが良いばかりでなく、ST-4などで自動ガイドする時もヒステリシスがなく、ガイドのパラメーター設定が容易です。また、バックラッシュゼロという利点は、ポイントティング精度の向上に直結します。

##### (2) 自作が容易でコストダウンに寄与。

高精度な大直径のウォームホイル入手する困難さ、さらにそれをラッピング処理する手間を考えると、結果的に同じ精度を得る場合

### コラム1

## 活躍するロボット望遠鏡

世界で初めての無人完全自動化望遠鏡は、1983年、アリゾナ州フェニックス市のアマチュア天文家ルイス・ボイド氏によって、光電測光用の25cmニュートン式望遠鏡として開発されました。この8ビットのOS9マイコンで制御されたフォーク式赤道儀は、何とチェーンで駆動されていました。その後フリクションドライブに改良されて、現在でも現役として観測に使われています。

その開発に協力した、同じくアマチュア光電観測家のラッセル・ジェネット氏の一家は、ボイド氏と共にベンチャー企業オーストスコープ社を興し、フリクションドライブのロボット望遠鏡（口径40cmから1mクラスまで）を大学・研究所相手に製作・販売するだけでなく、世界中に自動測光望遠鏡（APT）を配置して、プロの天文学者から有料で変光星の24時間観測を業務として請け負い、膨大な観測データを得て成果を上げています。将来は月面にAPTを配置する計画もあるようです。

に、フリクションドライブの方がずっとローコストで済みます。アマチュアが自作するのに安くて高精度な駆動方法です。

(3) 問題は、恒星時追尾のレートがギヤと違って計算値と微妙に変わることです。望遠鏡のアンバランスにより、フリクション部で微妙なズレが生じていると考えられます。その程度は10分間に数"です。できるだけ正確に望遠鏡のバランスを合わせた上で、追尾用のクロックを合わせ込む必要があります。もっとも、20cm望遠鏡の目的である光電測光には充分な精度ですし、CCD撮像や写真撮影の場合は恒星時追尾が完全でも、大気差のため必ずガイドが必要になりますから、実用上はあまり問題になりません。

(4) さらに、これは気持ちの問題ですが、フリクションディスクのリムは、焼入れがしてあるだけで塗装ができず鋸びやすいのが困ります。実際には、少し鋸びたからといって性能に影響はありません。かえって摩擦係数が大きくなりよいことかもしれません。最後に、ウォーム駆動とフリクション駆動の比較を表にまとめてみました。

このフリクションドライブ赤道儀は、1991年の夏に製作しましたが、その後筆者の私的時間のほとんどを美星天文台建設と整備に充てることになったため、念願の自動化ロボット化が遅れています。この記事が望遠鏡を自作する人の参考になれば幸いです。

この赤道儀を手掛けてくださった焼津市の法月技研社長、法月惣次郎さんが3月12日に御亡くなりになりました。戦後、何度か倒産しながらも、たくさんの電波望遠鏡や天体望遠鏡を特徴のある技術で天文界に安く提供し続けた法月さんの御冥福をお祈りし、謹んでこの記事を法月さんに捧げます。

## コラム2

### 美星天文台101cm望遠鏡の場合

この20cm用赤道儀は、美星天文台の101cm望遠鏡の駆動方法にフリクションドライブを採用するためのテスト機（シミュレーター）の役割も果たしました。そして好結果を得られたので、101cm望遠鏡でもフリクションドライブを採用しました。しかし、いくつか異なる特徴を持っています。その違いとその問題点を述べてみましょう。

#### 20cm用赤道儀との主な違い

(1) 赤経赤緯とも剛体のディスクではなく、回転方向以外は柔構造を持たせたフリクションドラムを採用し、ローラーとアイドラーでドラムを挟み摩擦を発生させ駆動しました。

(2) 赤経駆動は、恒星時追尾をシンクロナスマーターで行ない、微動から速回しまではACサーボモーターで担当し、それらをハーモニックドライブを利用した差動装置で合成し、それをウォームホィールで減速し、そして最終減速段としてフリクションドライブにより極軸に伝達しました。

(3) 赤緯駆動は、ダイレクトサーボモーターでフリクションローラーを駆動した完全ギヤレスドライブです。ダイレクトサーボモーターには、制御特性がよくモーター単体で1°角の制御ができる横河ブレジションのダイナサーブを採用しました。完全ゼロバックラッシュを実現しました。

(4) 赤経赤緯共にエンコーダとして、回転軸直結型の高精度アブソリュートエンコーダを採用しました。ドイツ・ハイデンハイム社製の19ビット（=2.4°角読み）のものです。歳差と大気差を補正するだけで、目的の天体が短時間内に、12mのカセグレン焦点に置いたST-6の小さな視野（2°角×3°角）の中に楽に入ります。テレスコープアナリシスを行なえば、ポインティング精度はさらに向上するでしょう。

#### 101cm用赤道儀の問題点

(1) 柔構造とサーボモーター（ACサーボ、ダイレクトサーボ共に）の組合せは、使用すべきではありません。柔構造フリクションドラムの振動特性がサーボ系に外乱として加わり、速回し時に共振がおこります。もっとも恒星時追尾や停止・ガイド時には振動は発生しないので、実用上は問題ありませんが、気持ちの良いものではありません。やはり、剛体のフリクションディスクを使用すべきです。

(2) 赤経の中間減速段に使用したウォーム・ホィールの精度が悪く、フリクションドライブの最終減速段を通した後にも、1分間周期で最大2"角程度のビリオディック誤差が残っています。ウォーム・ホィール単体では1°角近いエラーがあるということになります。中間減速段に使用する場合でも、ウォーム・ホィールの精度はできるだけ良い物を使用すべきです。サイズ的には最終段に使用する場合よりずっと小さい物ですむので、全体のコストにはほとんど影響を与えないはずです。

### ウォーム駆動とフリクション駆動の比較

項目	ウォーム駆動	フリクション駆動
ビリオディックモーション	数"角から10数"角	なし
バックラッシュ	原理的に必要（ホイル直径30cmで隙間0.02mmが27"角に相当）	なし
速回し特性	あまり得意ではない	良好
減速比	大きくとれる 整数比しか選べない 計算値どうり実現できる	小さい（1/10から1/20） 任意の比を選べる 計算値より微妙に異なる
トルク伝達力	良好	静止摩擦の範囲内
高精度加工	困難	容易
特殊加工	焼入れ研磨・ラッピング処理	焼入れ研磨
製作コスト	大	小
望遠鏡のアンバランスに	強い	弱い
人・物の衝突の影響	歯面を傷める	滑りで逃げる
強風の影響	バックラッシュ分はゆれる	ゆれない
放置時の問題	なし	材料が柔らかいとへこむ恐れあり