

188cm望遠鏡赤経軸の障害発生と 対応状況

2012年度岡山ユーザーズミーティング報告

岡山天体物理観測所

沖田喜一

1. 188cm望遠鏡赤経軸駆動機構
(ギヤボックス内のシャフトの損傷)

2. 傘歯車のシャフト交換工事
(赤経軸駆動機構の修理に伴う追加補修)

1. 188cm望遠鏡赤経軸駆動機構 (ギヤボックス内のシャフトの損傷)

事故発生状況

- ・2011年11月18日(金曜日)装置交換作業中に発生。
- ・望遠鏡の赤経軸を固定しているにもかかわらず、軸の回りに4cm(1.1度)ほど回転してしまう異常があった。
- ・赤経軸粗駆動系のギヤボックスの付近を調査。
- ・駆動ギヤボックス側の傘歯車の中心にある軸棒に大きなガタがあり、簡単に手で2cmほど出し入れできる状態になっていることが判明。
- ・望遠鏡を赤経方向に電動で少し動かしてみたところ、傘歯車自体も偏心しながら回転。
- ・駆動ギヤボックス内に異常があると判断した。

この時、所内には、この駆動ギヤボックスの内部を良く理解している所員が不在という状況と、20年前にもこの駆動ギヤボックス内のベアリングが破損した事故があったことを確認し、その時修理した地元の協力業者に急遽来所してもらい、対処した。

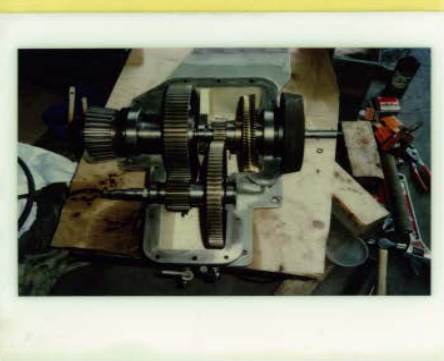
20年前発生した事故の写真。

この時の詳細な記録は残っていないので、原因がよく解らない。



74 RA Quick

ギヤボックス



1990-9



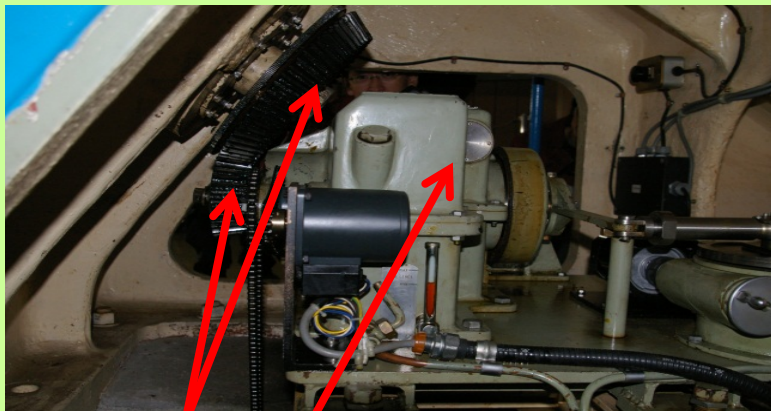
破損したベアリング

TEL ←



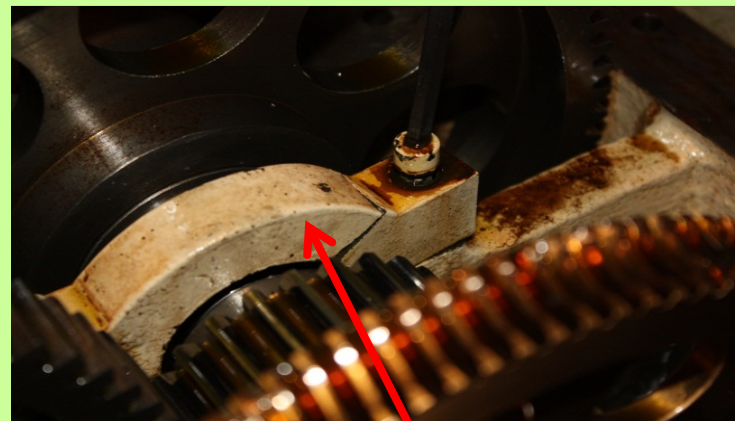
望遠鏡赤経軸駆動機構
(南側架台上の軸受部の下にある)

- ・赤経軸粗駆動ギヤボックスを、望遠鏡本体の台座から取り外し解体。
- ・単列深溝玉軸受(ベアリング)の押さえ金具に亀裂が入っていた。
- ・ベアリングが破損し、ベアリングの玉はすべて滑落していた。

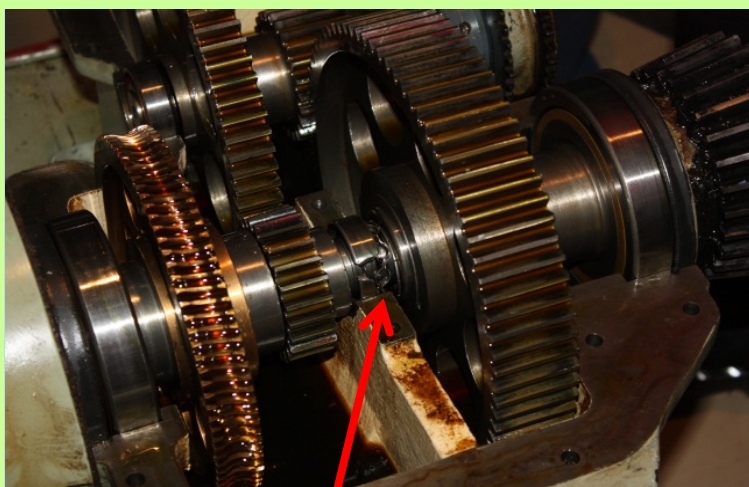


傘歯車

赤経軸ギヤボックス



ベアリング押さえ



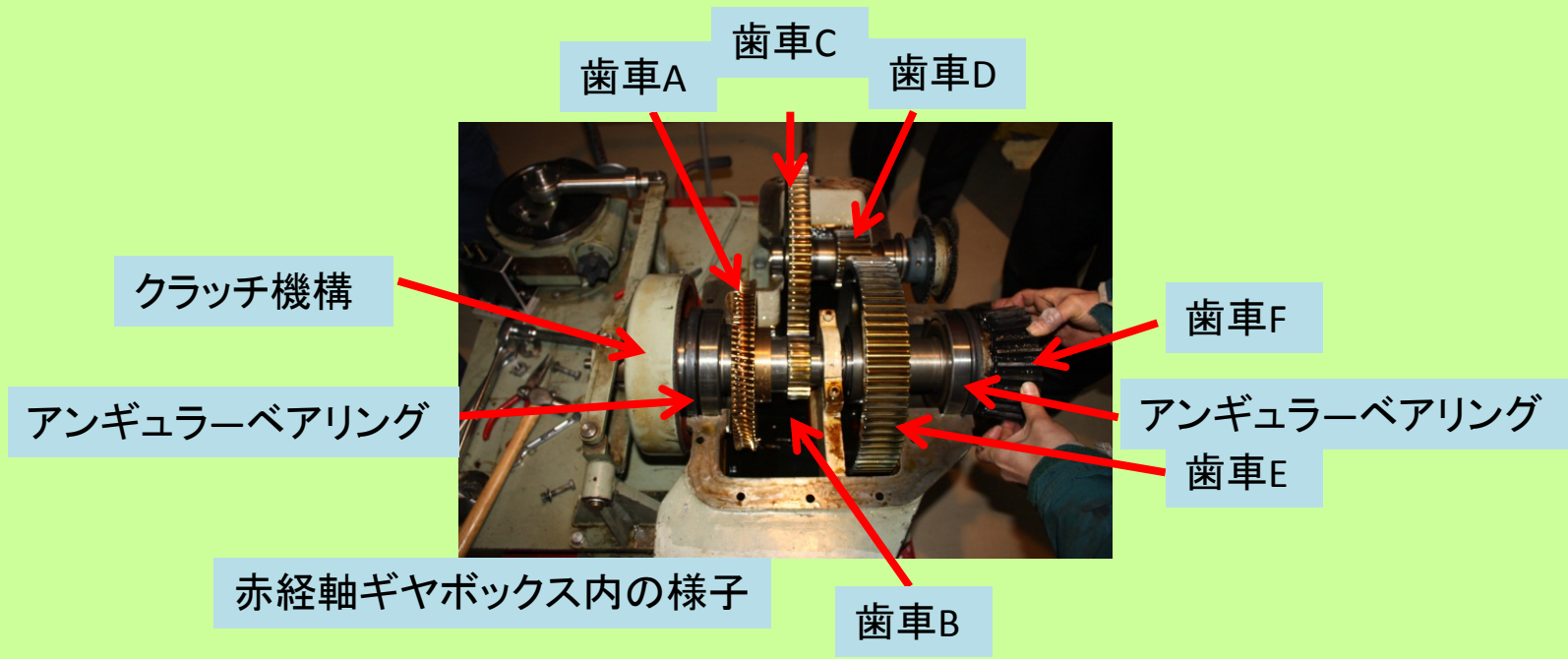
破損ベアリング



破損ベアリング

・動力の伝達

- 1) モーターの動力 → ウォーム歯車 (A) → クラッチ機構で連結
(駆動モード = Quickモード、微動系のクランプ機構はフリー)
- 2) 歯車B、歯車C、歯車D、歯車Eと動力が伝えられ、傘歯車Fが回転
(歯車A、歯車C、歯車D、歯車Eは、遊星歯車。微動時にはフリー)
- * クラッチ機構の軸 (破損軸) には直接固定されていない。
- * クラッチ機構の軸 (破損した軸) と固定されているのは、歯車B
- * クラッチが外れると、駆動モード = Slowモードとなり微動系が働く。



- ・クラッチ機構の軸が切断されていることが判明。
- ・地元の協力業者に代替えのシャフト製作を依頼。材料の調達、加工、仕上げ、焼き入れ、磨き仕上げの工程で2週間必要であった。
(業者は、緊急事態という認識を持って製作にあたってくれた)
- ・ベアリング、ベアリング押さえ等修理部品1式の調達。
- ・再組み立て、調整。

*** 共同利用時間13日、観測所時間5日のロスが発生した。



切断したシャフト



破断面



切断したシャフト

新調したシャフト

破断面調査

- ・住友金属テクノロジー株式会社 強度評価室
- ## 折損シャフト破面調査

調査結果

- (1) 供試体の破損は、回転曲げによる疲労破壊と推定される。
- (2) 疲労き裂の発生には、段部の形状に起因する応力集中が大きく影響している。
- (3) 化学成分は SUS410J1 に近く、耐食性が高い鋼材と考えられるが、硫黄の含有量が極めて多く、非金属介材物の量も多い。
- (4) 金属組織はベイナイト組織と推定され、硬さは約230HV1.0 であり、比較的高強度の鋼材である。



図1 供試体外観

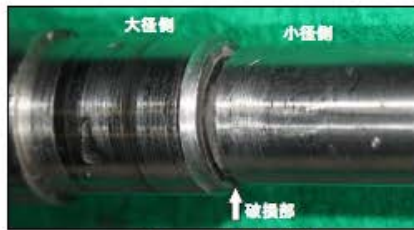


図2 破損部外観

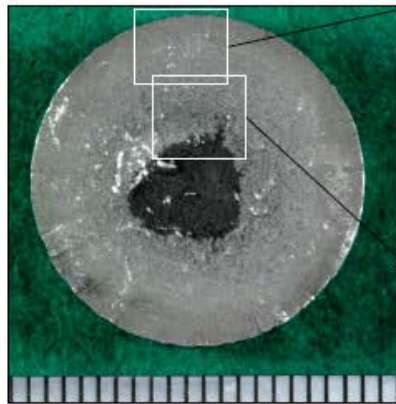


図3 小径側破面外観

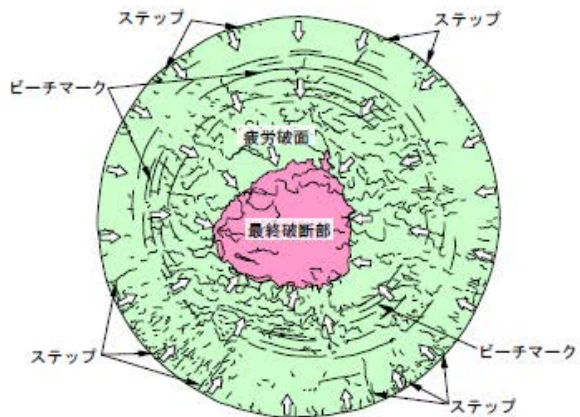
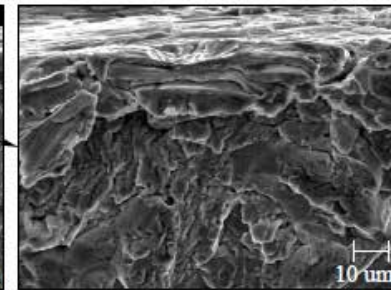
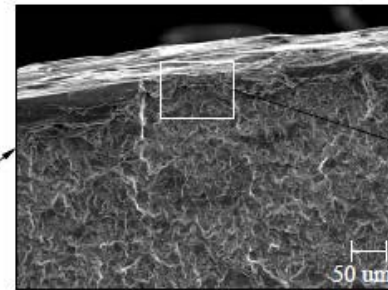
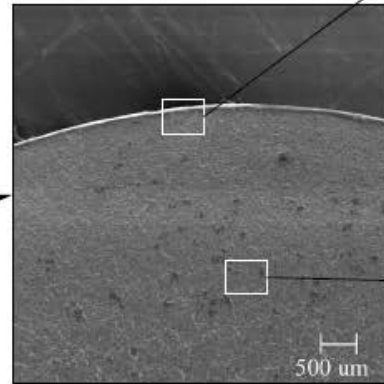
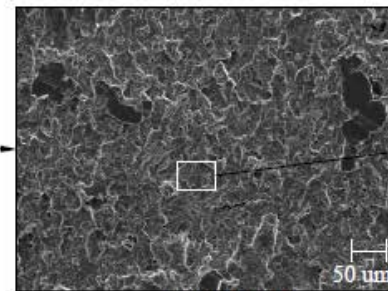


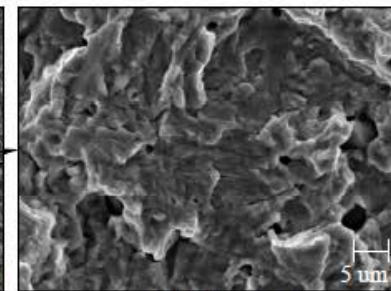
図5 破面模式図



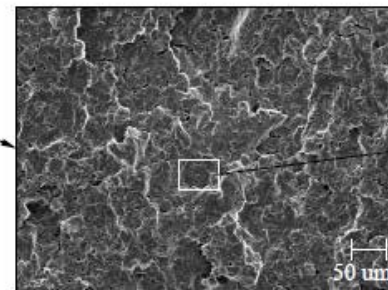
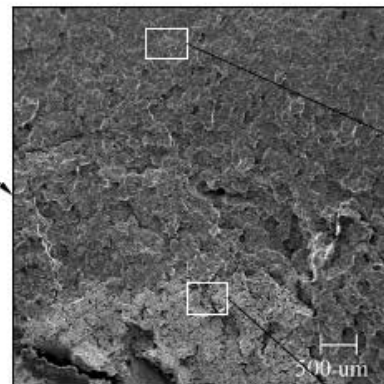
起点部代表例



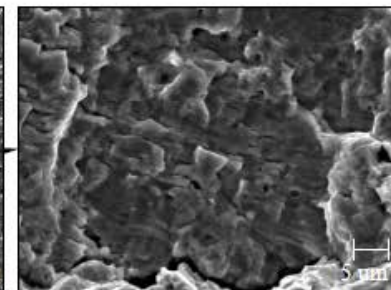
疲労き裂進展部



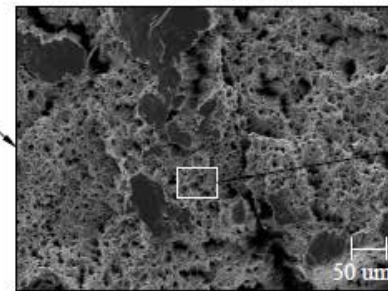
ストライエーション



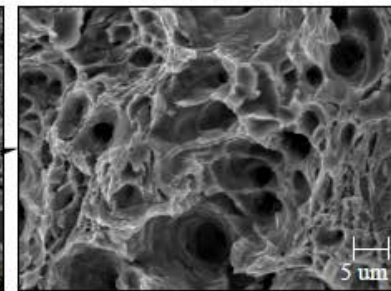
疲労き裂進展部



ストライエーション



最終破断部



ディンプル

図4 小径側破面SEM像

・望遠鏡側傘歯車の状況調査

- （この部分も20年前の故障の際修理した部分。その際は、取り外しが非常に困難であったことと、インチ系列のベアリング等の入手が困難であったため軸の製作を含めて修理している）
- ・事故直後は、この傘歯車がスラスト方向（下側）に3～4mmズれていた。
- ・20年前新調したキー一部分に傷が入っていた→交換、調整
- ・ベアリングは異常ないことを確認し再取付。



望遠鏡本体側傘歯車のシャフト



傷の入ったキー

事故原因の推察

- ・年1回の注油を行っており、油切れ等の状況は確認できなかった。
(ギヤボックスには適量のギヤオイルがあった)

推測1

経年変化による劣化と、望遠鏡駆動中誤ってピア等に接触させた事例が何回かある。その時点では特に問題は見つからなかった。しかし、徐々に瀕死状態になっていた可能性はある。

- * 20年前の事故歴では、同じ場所のベアリングが破損していた事故歴があるが、詳細な記録が見当たらず原因は不明。
その時は1年後、望遠鏡側の傘歯車のベアリング損傷という事故が再度発生した。

推測2

- ・故障時、望遠鏡側の傘歯車が少しスラスト方向に下がっていた。
- ギヤボックス側の傘歯車にスラスト方向（軸方向）の力が働き、歯車Bが固定されているクラッチ機構の軸が、駆動モード（Quick、Slow）の切り替えの度に、シャフトの軸方向に荷重が発生。
- その軸を中間地点で固定している単列深溝玉軸受（ベアリング）にスラスト方向の荷重が発生。（単列深溝玉軸受はスラスト方向の力には弱い）
- このベアリングが破損した。
- 軸受の破損によりシャフトがふらつき運動を起こした。
- シャフトの細い部分の破断を誘発した。

これはベアリングの破損後に、軸の破断が発生したと仮定したもので、実際には、どちらが先に発生したかは明らかでない。

回転方向の力が伝達する経路を考えると、破断した場所に、曲げ応力とねじれ応力が働き破断に至ったという当初推測は、専門家による破断面の解析結果で裏付けられたと認識している。

2. 傘歯車のシャフト交換工事

(赤経軸駆動機構の修理に伴う追加補修)

- 2011年12月に発生した、188cm赤経軸ギヤヘッド内のシャフト切断事故(前述)の際、20年前の事故と類似があり、その時、この軸にも損傷があった事例から、新品への交換工事を行った。この工事で新しい知見もあったので併せて報告する。

交換した旧部品





ギヤボックスを取り外す



カバーを取り外す



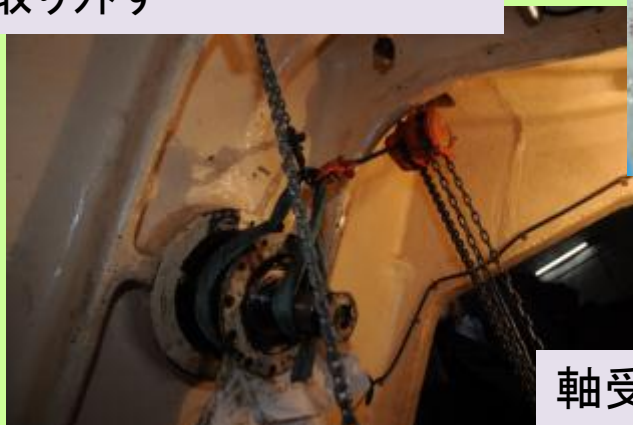
望遠鏡側傘歯車を取り外す



スパーギヤを苦労して
取り外す



軸受部を取り外す



軸受部を取り外す



取り外した軸受部



新シャフトの挿入チェック



キー溝の調整



軸受部外枠



軸受部組立



軸受部の取付



スパー歯車の取付



傘歯車の取付



傘歯車の噛み
合わせ調整

考察

1. スパー歯車のキー溝が広がっていたことについて

度重なる**暴走衝突**で赤経軸の大きいスパー歯車から伝達される荷重が、小さいスパー歯車のキー部分にかかり、金槌で叩いた時のように溝を広げていったと推察される。また、その影響で、キーを止めている皿ビスが緩んでいったと推察する。



スパーギヤの荒れたキー溝

90度回転した位置に
新しいキー溝を加工



止めビスの緩んでいたキー

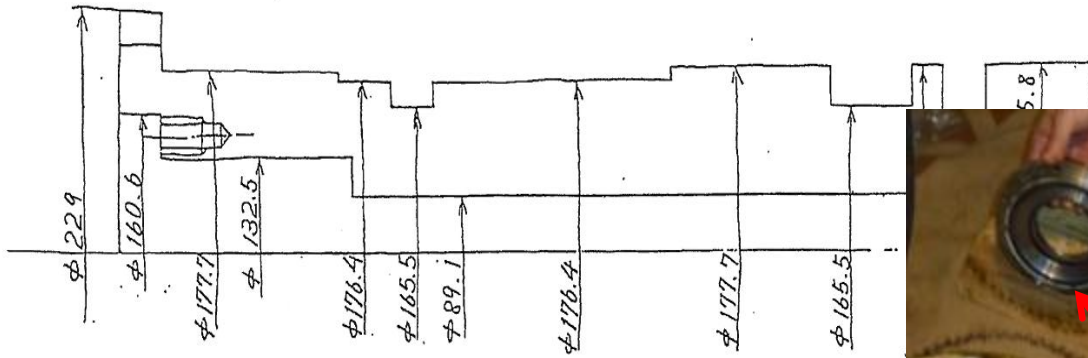


考察

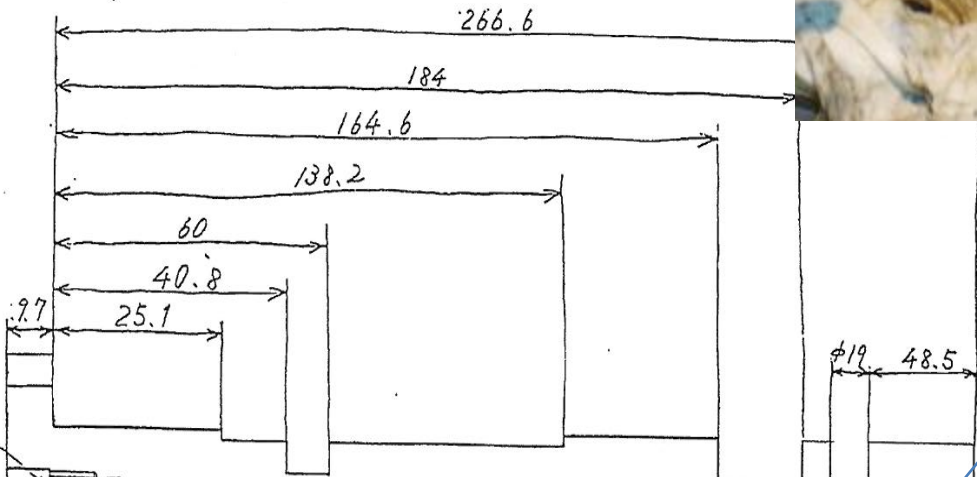
2. 赤経軸回転に伴う異音について

原因:

- ・シャフトの段付き部の間隔が、202.0mmでシャフトを製作している。
- ・20年前に改修した時、現物の寸法通りに作った。
- ・今回、外枠体のベアリング取付間隔を測定したら、201.4mmであった。
その差が0.6mm。
- ・20年前の改修では、ベアリング押さえを所定まで締め上げないで使用していた？
- ・昨年ギヤボックスのシャフト改修の際、シャフトのベアリング状況を
確認後、ベアリング押さえを、所定通りに締めつけた。
- ・その結果、ベアリングの内環と外環に0.6mm分のスラスト方向の
締め付けが発生し、摩擦が増えそれが異音になった。



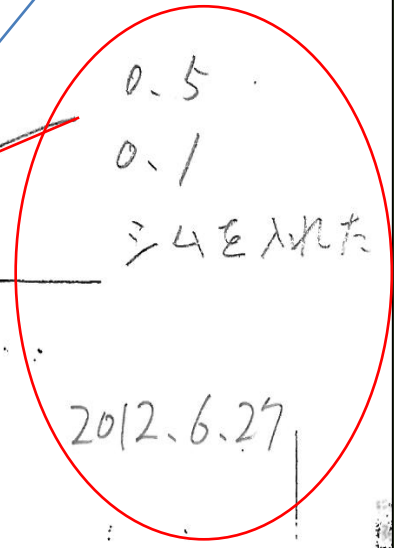
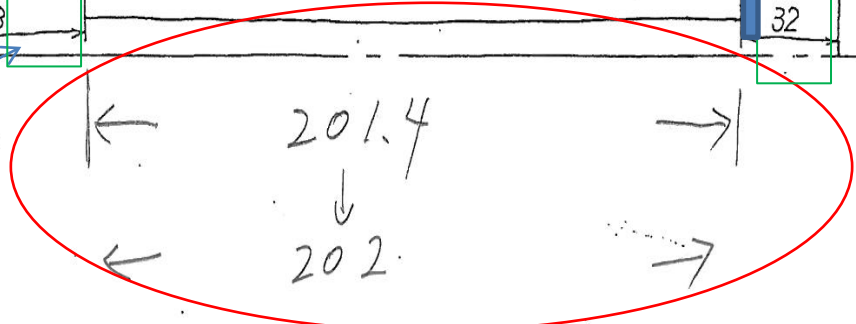
ベアリング押さえ



6- ネジ深サ15
下穴 5.4 深サ21.6

ベアリング
スパーギヤ側

ベアリング



32

考察

3. Quick状態における遊びについて

- ・今回の作業で、大小2枚のスパー歯車の噛み合わせをチェックした。
- ・約10分角に相当する遊びがあることが解った。
- ・製作時はこのような大きな遊びはおそらく無かったと推察するが、50年使用した結果、歯が少しずつ摩耗してきたか、初めからこの程度の調整だったのかよく解らない。本来ならば、スパー歯車の噛み合わせを調整するためには、小さい歯車が直径方向に微動調整できるスライド機構を用意するが、この望遠鏡はそのような構造で製作されていないので、この遊びは調整不可である。



今後の対策と課題

- 来年、望遠鏡の改修を予定しているが、この駆動機構の大部分は利用する。
- 毎年の注油等のメンテナンス時期に、歯車の状況等チェックする。
- メンテ検査は専門家でないと十分把握できない状況なので、事故を未然に防ぐための保守契約も必要である(費用の捻出が厳しいが...)。

