

第 42 回天文学に関する技術シンポジウム KAGRA で使用しているモーターと保守 (The 42nd Symposium on Engineering in Astronomy Motor and maintenance used in KAGRA)

国立天文台 重力波プロジェクト

特任専門員 池田 覚

(National Astronomical Observatory of Japan. Gravitational Wave Project)

Senior Specialist: Satoru Ikeda)

概要(Abstract)

「第 42 回天文学に関する技術シンポジウム」の一般講演にて講演した内容について報告を行う。

KAGRA の国際共同観測(O3GK) に於いて様々なトラブルが発生した。その中の 1 つにモーターに関するトラブルがあります。モーターに関するトラブルには様々な現象や原因があり、それらの影響により調整作業が難航した経緯がある。

今回、発生したトラブルの実例を挙げて、問題点や対応策の情報共有を行うことで保守作業の知識向上に繋がることを目的とする。

1.モーターの制御について

まず、最初にモーター制御のシステム構成を示します。ここで示す図は一般的な構造を示すもので特定のシステム構成ではありませんのでご了承ください。

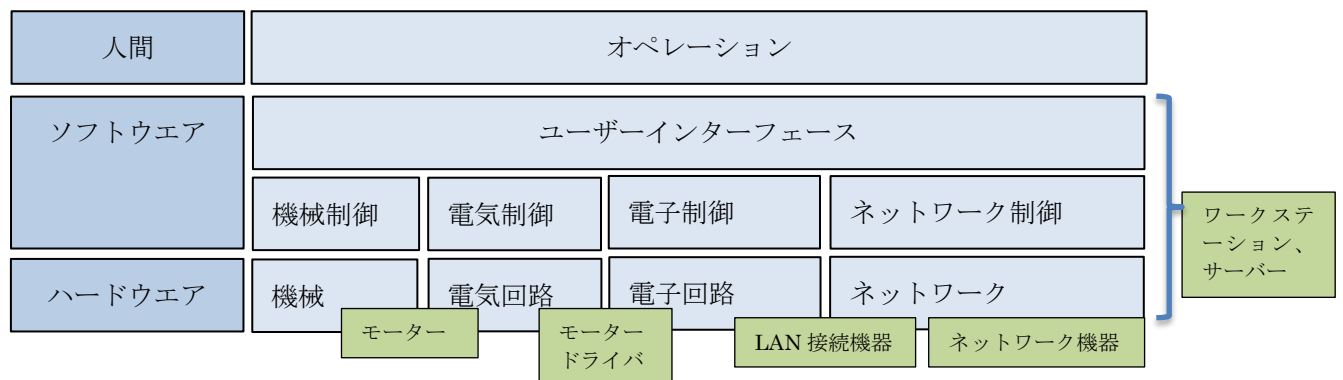


図 1-1 システム構成

まず、ハードウェア構成としてモーターは、機械と電気回路で構成される部品であり、それを制御する為のモータードライバは電気回路でモーターに接続され、電気回路を制御する電子回路で構成される。また、リモートによる制御を可能とする為に、ネットワークとの接続のためのハードウェアを持つ。これらは 1 つに内包することも多い。

ソフトウェア構成は、ハードウェアと一対で存在することが多く、機械を制御する機械制御、電気回路を制御する電気制御、電子回路を制御する電子制御、ネットワークを制御するネットワーク制御、そ

してオペレーターとの間を繋ぐユーザーインターフェースを持つ。

人間は、ユーザーインターフェースを用いて、オペレーションを行う。

以上のシステム構成の上に実際にモーターを駆動する仕組みを実装している。

次にモーターの制御について記載する。オペレーターが操作するケースと計算機が次の位置を計算するケースで2通りの方法に分けることができる。

1) 指示値による制御

オペレーターがセンサーの入力値を見て、モーターの移動する位置 $Pos(s)$ を指示してモーターを駆動する。

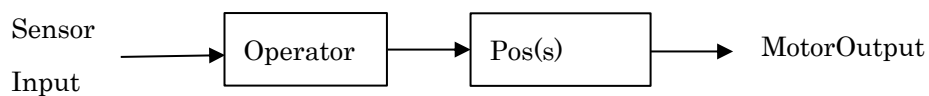


図 1-2 指示値による制御

2) フィードバック制御

モーターの現在位置 $G(s)$ とセンサーの入力値から次のモーターの位置を計算 $H(s)$ してモーターを駆動する。

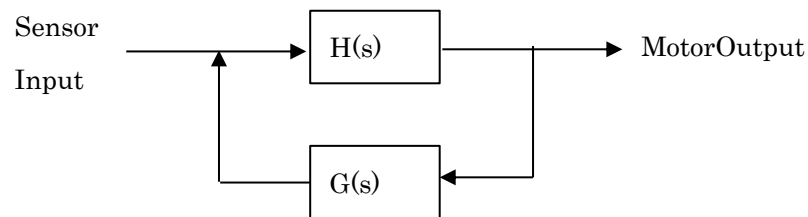


図 1-3 フィードバック制御

実際の指示値による制御の構成を次に示します。

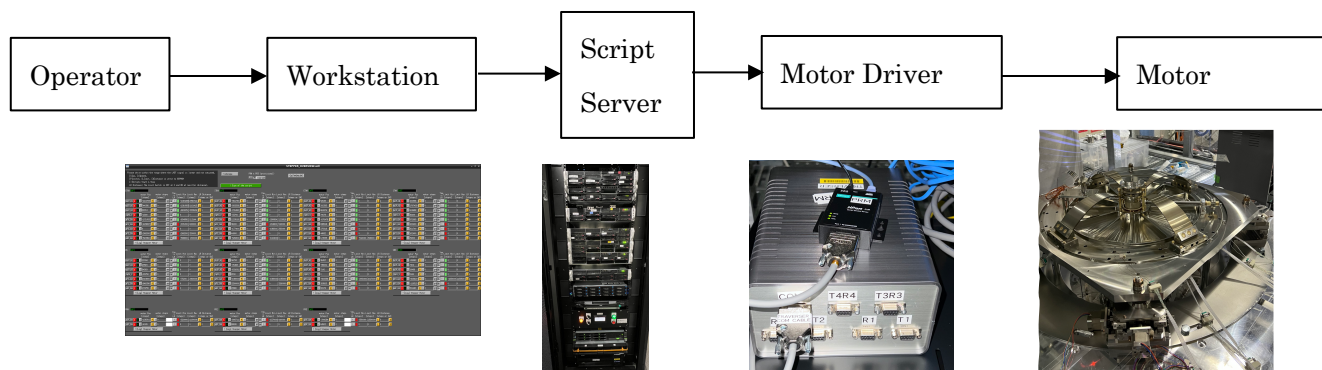


図 1-4 指示値による制御構成例

オペレーターは、ワークステーションから指示値を入力して、それを受け取ったスクリプトサーバーからモータードライバーにコマンドを送信してモーターを駆動します。

先程示した図 1-1 でどのように動作するか確認します。

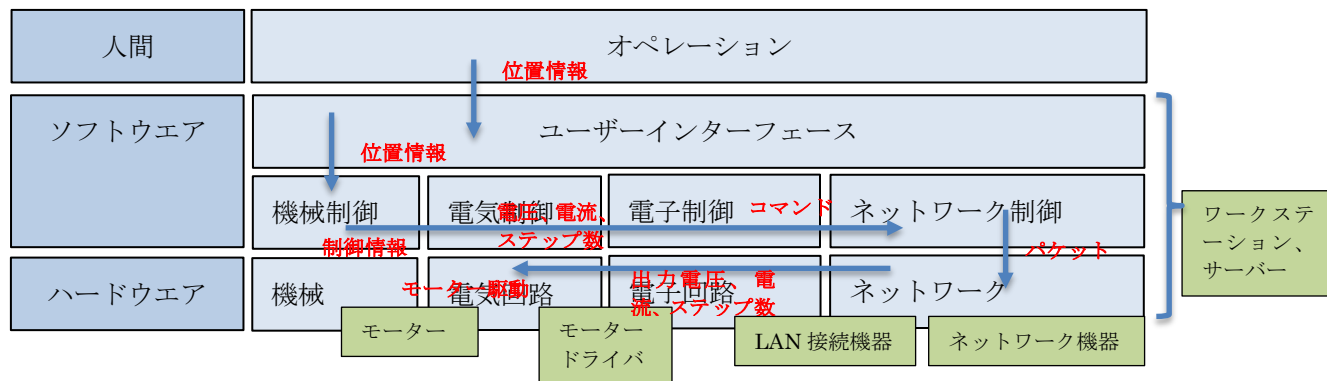


図 1-1' システム構成

オペレーションにより位置情報をユーザーインターフェースに渡し、そこから機械情報に同情報を渡します。次に機械制御から制御情報を電気制御に渡し、そこで電圧、電流、ステップ数に変換して電子制御にてコマンドに変換してネットワーク経由でパケットを電子回路に渡します。

電気回路からは、出力電圧、電流、ステップ数を使い電気回路を制御してモーターを駆動します。

2. モーター関連の保守の事例

実際に対応した保守事例の詳細を紹介します。

1) はんだ不良による通信不良

モーターの一部で動作不良（モーターが動かない、片方向にしか動かない）が発生した。原因は、モーターと接続しているケーブルの途中でいくつかのハンダ不良、シールドされていないことによりはんだ部分の断線が発生していた。ケーブルは全て作成し直しシェルに入れて不意の断線を防ぐ対応を行ないました。

2) 不良ケーブルによる通信不良

モーターの制御時に機器の動作が安定しない（モーター動き始めが非常に遅い、モーターが反応しない等）問題が発生した。原因は、規格外のケーブルの使用、またケーブルの首折れによる断線、被覆剥がれによるケーブルの接触不良が発生していた。全てのケーブルを規格に準じたケーブルに引き直した。

3) リレースイッチの固着

ステッピングモータードライバで使用していたリレースイッチが固着して電源の制御が出来なくなる現象が発生した。原因は、リレースイッチの固着によるものであった。リレースイッチの固着は長い間使用しない場合に発生する為、定期的（毎週）通電を行右ことで固着を防止しました。

4) 民生品機器のハング

民生品のモータードライバを使用していて稀に機器のハングが発生し通信が行えなくなる現象が発生した。原因は民生機器を用いる場合、対応している Ethernet 通信速度の上限が 10/100Mbps 程度であることが多い。これらの機器の場合、1Gbps のネットワークに接続し

た場合に、トラフィック量によっては異常を来す場合も多くデータロスによる動作不良や遅延、また機器のハングが発生することもある。これらを防止する為に、専用のネットワークを新たに引き VLAN(Virtual LAN)で分けて膨大なトラフィックが発生しない環境を構築してデータロスによる動作不良や遅延を防止する。また、機器がハングした際にリモートで復帰できるようにリブーターの導入を行いダウンタイムの削減を行いました。

5) 応答待ち時間不足によるエラー

モーター駆動後に動作不良となる不具合が発生したため解析を行い、通信機器からの応答待ちでエラーとなるケースが発生した。原因は、通信機器の仕様書に書かれている応答時間を守ることが必要ですが使用する環境によっては(例えば間にネットワークを介する場合など)応答時間が記載の数値よりも長くかかる場合があり、待ち時間を超えて応答があった為エラーとなっていた。待ち時間を決める際にはトラフィックによる遅延も含めて検討を行ないエラーとならない対策を行ないました。

6) 応答メッセージの受信不良

連続してモーターを駆動した場合に二回目の駆動でエラーとなる不具合が発生した。解析を行い、原因は、通信機器とのプロトコル処理で応答メッセージの受け取り途中で判定を行っていた為、直前の改行コードがバッファに残り二回目の応答メッセージが空であると判定されてエラーが発生していた。応答メッセージを全て受信するように対応を行い受信後に応答処理を行うように改善しました。

7) オペレーションミス

CLI(コマンドラインインターフェース)を持つモーター駆動のオペレーションに於いて、コマンドの入力ミスによりモーターが範囲外へ駆動(実際には機械部品に当て付き脱調を繰り返した)する不具合が発生した。原因は、オペレーターの単純な操作ミスでしたが、初期化時のモーター駆動先がモーター駆動範囲外であったことでオペレーションミスを防止する機構がなかった。範囲外への駆動を防止するリミットスイッチを追加して、GUI に対応してオペレーターの操作ミスを未然防止する対策を行ないました。

2. モーター関連の保守に関するまとめ

今回挙げた事例は一部の不具合ですが、オペレーションから機械までの接続に於いて全ての箇所の不具合が発生することを考慮する必要性を説明する為の一例です。

KAGRA の場合は、学生や研究者の方の論文等で作成した実験設備等がそのまま利用されてきた経緯があり、24 時間稼働し続ける必要がある観測目的と、論文作成を目的とした実際との目標の不一致が見られた。その為、ハードウェアやソフトウェアの完成度が求められるレベルに到達していないケースが散見された。

技師が専門的知識を用いて観測に耐えうる設備へと導くことでシステム全体を安定させてダウンタイムの改善に貢献していくことが必要である。