成果報告書

(1)研究の実施日程

研究項目				実	施		日		程			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
微分先行型PD制 御試験						•	•			•	•	•
モデルマッチン グ型二自由度PD 制御試験								•	•	•	•	•

(2)研究成果

本研究は、東京大学アタカマ天文台(TAO)の観測装置である中間赤外線観測装置(MIMIZUKU; Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe)に搭載される冷却チョッパーの開発の一環として実施された。将来的には、TMTの中間赤外線観測装置MICHIへの冷却チョッパーの搭載も視野に入れた基礎検討としての位置付けもある。

冷却チョッパーの開発は、プロトタイプを岡山理科大学が設計・製造し、金沢大学において常温チョッパーを用いて制御則を開発・試験を担当し、東京大学天文センターにおいて冷却動作試験を担当する形で開発が進められている。チョッパーは、二軸回転機構を備え、アクチュエータ(コイルと永久磁石を対向配置して駆動力生成)を二組、センサ(極低温下で使用可能な静電容量式センサを選定)を二組備え、任意の回転が可能である。センサ計測値をもとにアクチュエータ駆動電圧を生成するアルゴリズムが制御則であり、DPS(Digital Signal Processor)のプログラムとして実現される。制御則の構成次第でチョッパーの駆動性能が大きく変わり、天体観測の精度と効率を大きく左右することから、重要な開発項目として設定されている。

本研究では、チョッパーの制御則の開発・試験に関して、2テーマを設定した。以下にその内容と成果を説明する。

テーマ1:微分先行型PD制御の試験

先行研究において、P制御、PD制御、PI制御、微分先行型PD制御、微分先行型ID制御など、様々な制御則を試験した。先行研究の開始当時は問題の本質がわからぬことから試行錯誤的に試験を行ったが、必ずしも検討が十分とは言えなかった。そこで、あらためてこれらの制御則を比較検討した。チョッパーの制御は、矩形波を目標値とするサーボ系の設計であるが、P制御とPI制御では制御性能が見込めず、PD制御は原理的にそぐわない。微分先行型PD制御と微分先行型ID制御を比較すると、即応性の観点から微分先行型PD制御が有力である。そこで、微分先行型PD制御に焦点を絞り、制御実験を再実施した。

開発の最終目的はMIMIZUKUをアタカマに移設した後で良い性能を発揮することであり、常温制御試験に

おいてチャンピオンデータを出すことではない。そこで、ループ整形により選定された制御ゲインを基礎 として、実験的にパラメータ調整を行い、制御系の特性と課題を見極めることを本研究の目的とした。

結果としては、制御ゲインをうまく選定することにより、モデルマッチング型二自由度制御系と遜色のない性能を達成できる場合があることが明らかとなった。制御則はプログラムであるので、比較的容易に置き換え可能である。これまで最有力と考えられていたモデルマッチング型二自由度制御系に遜色のない性能を確認できた。

一般に、PD制御では定常偏差が残ることが課題とされている。本実験においても、微分先行型PD制御に 定常偏差が生じることが確認された。定常偏差の補正を行うために、矩形波指令値の振幅を変えて多数の 測定を行った結果、微分先行型PD制御の定常偏差には線形性があることが確認された。従って、矩形波指 令値の振幅を定数倍補正することにより定常偏差を補正することができた。

テーマ2:モデルマッチング型二自由度PD制御の試験

先行研究では、モデルマッチング型二自由度PD制御とモデルマッチング型二自由度ID制御を試し、モデルマッチング型二自由度PD制御が最有力であるという結論となっていた。ただし、モデルマッチング型二自由度PD制御でも定常偏差が存在することが確認されており、その補正方法の検討が求められていた。

本研究では、モデルマッチング型二自由度PD制御において定常偏差の補正方法を検討することを目的とした。また、テーマ1において微分先行型PD制御が有力であると判断されたことから、モデルマッチング型二自由度PD制御の制御パラメータを再調整し、微分先行型PD制御との対比を行うことを追加目的として設定した。

定常偏差の補正を行うために、矩形波指令値の振幅を変えて多数の測定を行った結果、モデルマッチング型二自由度PD制御の定常偏差にも線形性があることが確認された。ただし、微分先行型PD制御の定常偏差は定数倍であったのに対し、モデルマッチング型二自由度PD制御の定常偏差にはバイアスがのることが明らかとなった。従って、矩形波指令値のバイアスを補正することにより定常偏差を補正できた。

制御工学の観点からは、定常偏差の現れ方の違いが非常に興味深く、かなり時間をかけて検討したがその理由は解明できていない。原因解明は今後の課題であるが、実機試験において定常偏差が解消できていることの意義は大きい。チョッパーを狙った角度プロフィールで振ることが可能となり、天体観測にとって極めて有力な補正手段が得られたことを意味し、本研究の重要な成果である。

また、微分先行型PD制御とモデルマッチング型二自由度PD制御の性能比較に関して、評価指標上はかなり類似する性能を示すことが確認された。しかし、時間をかけて詳細に時系列応答を比較したところ、興味深い傾向の違いが明らかとなった。端的に言えば、うまく動作するときにはモデルマッチング型二自由度PD制御の即応性がよいが動き方に癖があるのに対し、微分先行型PD制御は癖のない動きであり平均的に安定した応答特性を示すということである。ただし、モデルマッチング型二自由度制御において確認された癖とは、外周側駆動の時にのみ見られて、内周側駆動では見られなかった。制御工学の観点からは、この違いが説明できず、詳細に検討を行ったがその理由は解明できなかった。現時点では、チョッパーの機械的精度に起因するという案とチョッパーとアンプの電気的特性がカップリングしているという案が考えられているが、原因解明には至っていない。原因解明は今後の課題であるが、先行研究で見過ごしていた微分先行型PD制御の有用性を再発見したことも、本研究の重要な成果である。

以上により、制御工学の観点からは原因究明の課題が残されたが、2テーマ通じて天体観測性能向上につながる複数の知見が得られたことから概ね目標を達成できたと考えている。最短時間制御など、本研究で検討された制御則以外にも有力な手法があるので、引き続き研究を継続していきたいと考えている。