

学位論文 博士（工学）

宇宙機運用シナリオに基づくコントロール  
モーメントジャイロの駆動則に関する研究

2017年8月

慶應義塾大学大学院理工学研究科

七森 泰之

# 主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	七森 泰之
主 論 文 題 名 : 宇宙機運用シナリオに基づくコントロールモーメントジャイロの駆動則に関する研究				
(内容の要旨) 宇宙機の姿勢制御用アクチュエータとして用いられるコントロールモーメントジャイロ(Control Moment Gyros, CMG)は同種のリアクションホイール(Reaction Wheel, RW)と比較し出力トルクの大きさや消費電力の面で大きなメリットがあるものの、トルク分解能の低さや機構の複雑さに起因する故障リスク、エネルギー貯蔵装置として用いた際の電力マネジメントが課題である。一方、CMG に関する多くの従来研究は単一姿勢マヌーバの成立性を目的とし、主に宇宙機からの要求トルクに対して所望のジンバル指令値を計算する際の逆行列計算における特異点問題を議論してきた。しかし CMG を搭載する宇宙機として特に高分解能地球観測衛星を対象とした場合、複数の時間スケールに対して宇宙機の実際の運用シナリオを考慮した新たな CMG 駆動則が必要となる。本論文では、多地点観測ミッションのための複数回連続姿勢マヌーバの成立性向上や宇宙機バスシステムの耐故障性・信頼性向上に寄与する新たな駆動則を提案する。 第 1 章では、本論文の背景および目的について述べた。 第 2 章では、宇宙機の姿勢運動およびダイナミクスについて定式化するとともに、CMG 駆動則に関する関連研究について述べた。 第 3 章では、連続姿勢マヌーバの実施（数十秒～数分程度）を想定し、可変速度 CMG(Variable Speed CMG, VSCMG)を用いて高速な姿勢変更と高精度な姿勢整定を両立させるモード遷移駆動則を提案した。提案手法では各姿勢マヌーバにおいて、一定速度 CMG モードで高速な姿勢変更を行い、終局時には CMG のジンバルを停止させ、トルク分解能に優れる RW モードへ切り替えて姿勢整定を行う。この際、後続の高速姿勢変更へ向けて CMG のトルク出力性能を考慮したジンバル角度の制御を行う。 第 4 章では、長期間にわたる連続姿勢マヌーバの繰り返し（数時間～数ヶ月程度）を想定し、CMG の故障につながる特異点近傍でのジンバルの急激な動きと、特異点を通過しない場合に生じるジンバル駆動量の偏り、および駆動量の総和を抑制する手法を提案した。提案手法ではジンバル軸の駆動パターンおよび駆動量が初期ジンバル角組合せに依存する性質に着目し、複数回の連続姿勢マヌーバの合間に一定間隔でジンバルのヌル運動を挿入することで適切な初期ジンバル角の値を持たせるような制御を実施する。 第 5 章では、周回軌道における姿勢マヌーバの繰り返し（数時間～数年程度）を想定し、VSCMG における Integrated Power and Attitude Control System (IPACS)と呼ぶエネルギー貯蔵機能とバッテリーを合わせてハイブリッドシステムとする電源構成を考案した。更に VSCMG/IPACS が姿勢制御機能を担う一方でバッテリーの劣化モードを抑制する電力マネジメントを行う手法を提案した。これにより、VSCMG/IPACS を用いて宇宙機に搭載されたリチウムイオンバッテリーの長寿命化を図れることを示した。 最後に第 6 章では、本論文の結論を述べた。				

# Thesis Abstract

No. \_\_\_\_\_

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ <small>*Office use only</small>	Name	Yasuyuki Nanamori
<p>Thesis Title</p> <p>A Study on Steering Law of Control Moment Gyros based on Operational Scenarios of Spacecraft</p>			
<p>Thesis Summary</p> <p>While the Control Moment Gyros (CMG) are often used as actuators for attitude control of a spacecraft for having advantages over Reaction Wheels (RW) in terms of output size of torques and power efficiency, the CMG also has several improvement areas including its low torque resolution, high risk of failure due to complex mechanism and power management when used as an energy storage device. So far, many existing studies on the CMG have been focused on the feasibility of the single attitude maneuver and the issue of the inverse matrix calculation for the gimbal command in responding to the request from the spacecraft while avoiding singularities. However, if the CMG is to be mounted especially on a high-resolution Earth observation satellite, a new steering law of CMG which fully considers the actual operation scenario based on multiple timescales will be essential. This dissertation proposes a new steering law which contributes to the improvement of the multi target pointing maneuvers on agile observation missions as well as enhancing fault tolerance and increasing reliability of the bus system of a spacecraft.</p> <p>Chapter 1 introduces the background, motivation and objectives of this study.</p> <p>Chapter 2 describes the formulation of the attitude control and dynamics of a spacecraft as well as relevant studies on the steering law of CMG.</p> <p>Chapter 3 proposes a mode-scheduling steering law which achieves both agile attitude change and highly accurate attitude stabilization by using variable speed CMG (VSCMG) in conducting consecutive maneuvers for several seconds to several minutes. The proposed method is to firstly conduct agile attitude change maneuvers in CSCMG mode, then de-actuating the gimbal of the CMG at the final stage and switching to RW mode which is more accurate in torque resolution. During the RW mode, the gimbal angle will be controlled so that the better torque performance would be achieved for the next agile attitude change in CSCMG mode.</p> <p>Chapter 4 proposes a method for a long-term operation of multiple consecutive maneuvers for a period of several hours to several months which would be beneficial in decreasing the potential of CMG failure such as by reducing radical motion of the gimbal near the singularity and also in decreasing the bias and total work load of the gimbals which have been an issue for avoiding singularities. By focusing on the fact that the movement and pattern of gimbal axis are dependent on the combination of initial gimbal angles, this proposal suggests inserting a null motion in intervals of the multiple maneuvers so that the gimbal returns to the appropriate angle.</p> <p>Chapter 5 describes a hybrid power mechanism which utilizes a combination of Integrated Power and Attitude Control System (IPACS), an energy storage function and battery while conducting multiple attitude maneuvers during an orbit for a period of several hours to several years. Moreover, a new power management method which utilizes VSCMG and IPACS for attitude control as well as for decreasing battery deterioration is proposed. The proposed method indicates that the life of Lithium-ion batteries mounted on a spacecraft could be prolonged by using VSCMG and IPACS.</p> <p>Chapter 6 describes the conclusion of this study.</p>			