

機関番号：82645

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860095

研究課題名（和文） 力学系理論を利用したラグランジュ点近傍軌道における軌道制御手法

研究課題名（英文） Study of the orbital control in the vicinity of the libration points by using the dynamical theory

研究代表者

中宮 賢樹 (NAKAMIYA MASAKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 研究員

研究者番号：10548316

研究成果の概要（和文）：

力学系理論から得られる軌道擾乱の発散成分を低減する手法を用いて、ハロー軌道の軌道保持のシミュレーションを行なった。その結果、従来の軌道修正手法より少ない修正量（燃料）で軌道を修正できることが分かった。また、安定マニフォールド（ハロー軌道に自動的に収束する軌道群）を利用して、日本のロケット射場からハロー軌道に遷移できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

We computed the station-keeping of the halo orbit by using the method to reduce the divergent component of the orbital disturbance obtained from the dynamical system theory. As a result, we can reduce the amount of control correction, compared to the conventional method, for the station-keeping. Moreover, we verified that we could use the stable manifold for the transfer from the Japanese launch site to the halo orbit.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	690,000	207,000	897,000
2010 年度	420,000	126,000	546,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,110,000	333,000	1,443,000

研究分野：軌道工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：力学系理論、ラグランジュ点、マニフォールド

1. 研究開始当初の背景

太陽-地球系ラグランジュ点は太陽と地球の重力が釣り合う箇所、その中でも特にL1/L2は、太陽・地球に対する相対位置が変わらず、また安定した熱・重力環境を得られるため太陽や宇宙空間を観測するのに適している。既に、欧米の宇宙機関は太陽圏観測衛星（SOHO）や宇宙マイクロ波観測衛星（WMAP）等をラグランジュ点近傍に飛翔させて観測を行っており、日本も宇宙航空研究開発機構（JAXA）が次世代赤外線天文衛星

（SPICA）を太陽-地球系のL2近傍に打ち上げることを計画している。本研究の対象は、このようなラグランジュ点近傍ミッションでの軌道制御である。

一般に、衛星を観測軌道に投入したり、観測軌道で運用したりする時には、諸々の要因により軌道が予定したものから外れてくるため、それを修正するための軌道制御が必要となる。従来から広く採用されてきた軌道制御方法は、「比較的短い時間の間に、あらかじめ定められた基準軌道に戻す」という考え

方に立つもので、FTA (Fixed Time of Arrival) 誘導法などが代表的である。しかし、多くのラグランジュ点近傍ミッションでは、衛星を同領域に概略、投入・保持することは要求されているが、必ずしも「短時間のうちに既定の基準軌道に戻す」ことが要求されている訳ではなく、その意味で上述の従来の軌道制御方法は過剰対応ともいえる。

申請者はこれまでラグランジュ点近傍のダイナミクスに関する研究に携わってきたが、その経験・知見に基づき、ラグランジュ点近傍ミッションの軌道制御に、3体問題における力学系理論の特性であるラグランジュ点近傍の周期軌道に漸的に収束する「安定マニフォールド」が利用できるのではないかと考えた。安定マニフォールド上の軌道は、自然にラグランジュ点近傍軌道に引き込まれるため、この性質を利用できれば、目標軌道に強制的に戻す従来の軌道制御手法よりも制御量を抑制できることが期待される。一方、この場合、目標軌道には漸近することになり、すぐには到達できないことになるが、このことは多くのミッションでは許容可能と考えられる。

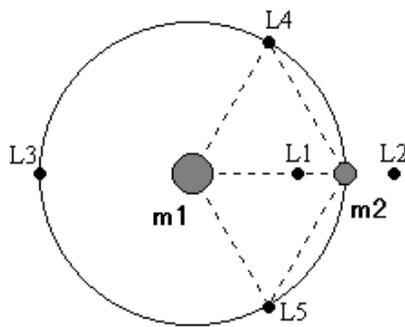


図1：ラグランジュ点

2. 研究の目的

太陽-地球系ラグランジュ点近傍の周期

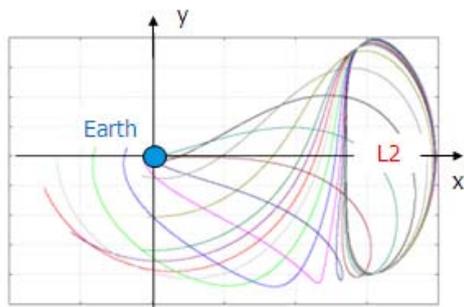


図2：ハロー軌道に収束する安定マニフォールド

軌道を飛翔するミッションについて、ラグランジュ点近傍の力学的特性を利用した衛星の軌道制御手法を確立し、その特性を定量的に評価する。

3. 研究の方法

(1) まず、目標軌道が指定されている場合を想定し、それに漸近するような安定マニフォールドを利用した軌道制御則を検討する。この場合、一見すると、従来手法 (FTA 法等) において単に目標到達時刻を充分遅く設定することで、安定マニフォールドを利用することと同様な効果が得られると思われるかもしれないが、実際には速度修正に対する感度が高過ぎる等の問題があり、その扱いが難しい。本研究では、ラグランジュ点近傍軌道上の各点における状態遷移行列の固有値解析に基づき、誤差の発散成分を除去するような制御則を構成し、このような数値的解析上の困難を回避することを考える。また、得られた軌道制御則について、その特性を定量的に評価する。

(2) 続いて、目標軌道の大きさに自由度を与えた場合の効用を検討する (図5)。定性的には、自由度が増えることで制御量が抑制されることが期待されるが、その度合いを定量的に評価する。目標軌道の再設定方法、それに対応する軌道制御則を明らかにする。

4. 研究成果

(1) はじめに、3体問題における力学的特性を利用して、アンローディング運用 (姿勢制御に用いられるリアクションホイールに蓄積される角運動量を開放する作業) を考慮に入れて基準ハロー軌道近傍を飛翔し続ける軌道保持について考察を行なった。その結果、力学的特性を利用してアンローディングによる余剰並進力をうまく軌道保持に活用することで、従来の軌道修正手法より少ない修正量 (燃料) で軌道を修正できることが分かった。

Table 1: Orbit Correction [m/s]

Original approach	Local approach	Global approach
25.6	1.12	0.19

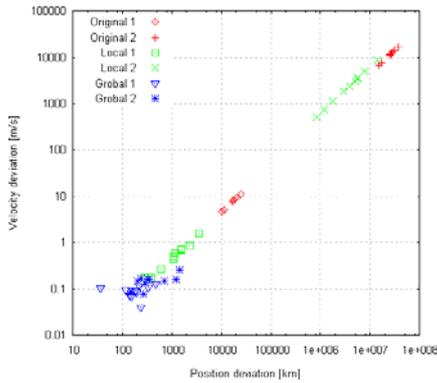


図 3 : 抑制された軌道擾乱

(2) 次に、クリティカルな運用を伴うハロー軌道投入を避けるために、3体問題の力学的特性（安定マニフォールド）を利用して地球から基準ハロー軌道に移行する遷移軌道についても検討を行った。その結果、投入する基準ハロー軌道の大きさを調整することで、日本のロケット射場から安定マニフォールドを利用してハロー軌道に遷移できることを確認し、さらに打ち上げ時期を十分確保できることが分かった。

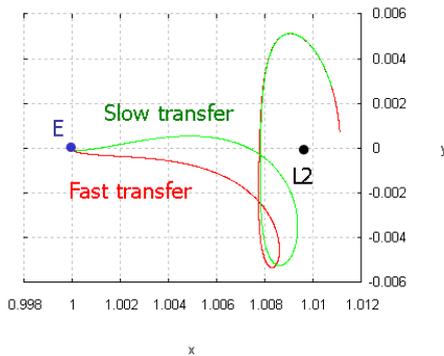


図 4 : 地球からハロー軌道への遷移軌道

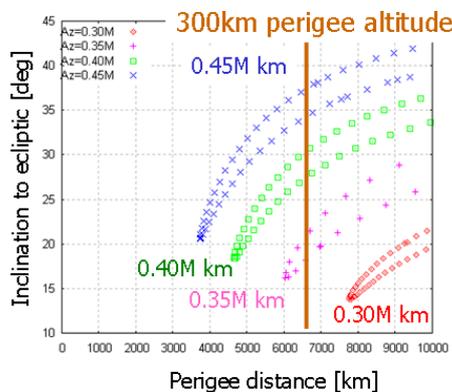


図 5 : 打ち上げ機会の確保

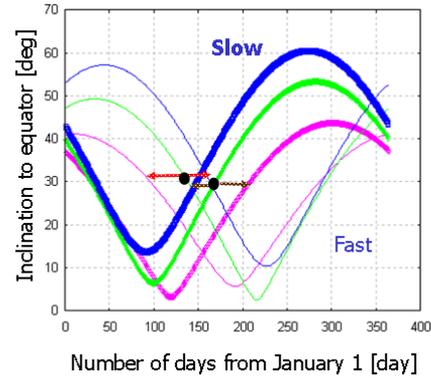


図 6 : 打ち上げ機会の確保

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 中宮賢樹、次世代赤外線衛星 SPICA における力学系理論を用いた軌道設計、機械工学における力学系理論の応用に関する研究会、2011 年 3 月 9 日、新潟
- ② Masaki Nakamiya、A Study of the Transfer Trajectories to Halo Orbits using Stable Manifolds Considering Launch Injection Conditions、*61st International Astronautical Congress*, Oct. 1, 2010、Prague
- ③ 中宮賢樹、安定多様体を用いた地球からハロー軌道への遷移軌道の解析、The 20th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics、2010 年 7 月 27 日、相模原
- ④ 中宮賢樹、次世代赤外線衛星 SPICA の安定多様体を用いたハロー軌道への軌道設計と SPICA のハロー軌道での軌道保持の解析、天体力学 N 体力学研究会・ちば N 体、2010 年 3 月 19 日、千葉大学
- ⑤ Masaki Nakamiya、Preliminary Study on Orbit Maintenance of Halo Orbits under Continuous Disturbance、20th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting、February 15, 2010、San Diego, USA
- ⑥ 中宮賢樹、次世代赤外線天文衛星 SPICA ミッション軌道設計の初期検討、第 53 回宇宙科学技術連合講演会、2009 年 9 月 9-11 日、京都大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

http://kawakatsu.isas.jaxa.jp/nakamiya/nakamiya_index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中宮 賢樹 (NAKAMIYA MASAKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所 研究員

研究者番号：10548316

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：