

要旨

本研究では、振動解析のためのロボットアームのモデルに、関節部の減速機におけるギヤのねじり剛性とギヤのバックラッシュを考慮したモデルを提案する。また、2自由度のロボットアームについて、このモデルを用いた振動解析を行い、本モデルの有効性を示す。

1. はじめに

ロボットは、産業用ロボットなど様々な分野において利用されているが、近年、その適用範囲の拡大により高速化や高精度化が求められている。しかし、運動による姿勢の変化や様々な非線形要素などによりロボットの動特性の予測は困難とされている。したがって、動特性を把握することのできるロボットシミュレータは、設計や運用において重要な役割を果たす。本報告書では、動特性を解析することのできるロボットシミュレータを構築することを目標とし、関節部における減速ギヤのねじり剛性を考慮したモデル⁽²⁾にギヤのバックラッシュを加えたモデルを提案し、2自由度ロボットアームの振動解析を行う。

2. ロボットのモデル

ロボットの機構表現には、一般的に用いられている Denavit-Hartenberg の記法 (D-H 記法) を用いる。また、関節部の動きと比較して各部の振動が小さく運動に対する振動の影響が小さいと仮定し、運動と振動を分離して解析を行う。ロボットの運動は、高速なアルゴリズムである Newton-Euler 法を用い、振動方程式は、以下に述べるアーム部、関節部のモデルに対して Lagrange の方法を用いて各部における振動方程式を求め、それらをまとめることによりロボット全体の方程式を得ている。

2.1 アームのモデル

アームのモデルは、実際のロボットアームが比較的単純な形状であるものが多く、また比較的剛性が高いため、X, Y, Z 軸方向の並進とそれぞれの軸回りの回転の自由度を持つはり要素としてモデル化する。

2.2 関節部のモデル

関節部のモデルは、図1のような軸部、ステータ部、ロータ部の3つの要素により構成されるものとし、それぞれの要素の慣性の影響を考慮している。また、各部の要素は以下のような条件を満たしているものとする。

1. 軸部

アームと軸の結合部、回転軸により構成されている。

2. ステータ部

モータのハウジングと軸受で構成され、モータの保持剛性と軸受の剛性を考慮している。モータの保持剛性は、ステータ部とロータ部の間に働き、モータの回転方向に対するねじり剛性のみを考慮している。

また、軸受の剛性は軸部とステータ部の間に働き、ねじり剛性以外の軸方向とスラスト方向の剛性を考慮し、それぞれの等価線形ばね定数を用いている。

3. ロータ部

モータとハーモニックドライブギヤにより構成され、ロータ部と軸部の間に働く回転方向に対するギヤのねじり剛性とバックラッシュを考慮する。

関節とアームの接合やステータ自身の剛性など、条件として示されていない部分はすべて剛体、剛結合である。また、関節部での減衰は考慮していない。

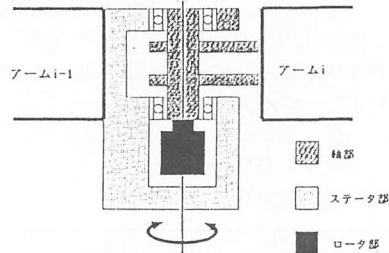


図1 関節部のモデル

2.2.1 ギヤのモデル

ギヤは、ねじり剛性とバックラッシュを回転軸回りについてのみ考慮するため、1自由度系としてモデル化でき、一般化力と変位の関係は図2のようになる。したがって、ギヤのバックラッシュを $2e$ とすると、モータ軸に固定された座標系における変位 δ と関節の回転方向の変位 θ の相対変位 x によって以下の振動方程式が得られる。

$$\begin{cases} m\ddot{x} + k(x - e) = f & (|x| > e) \\ m\ddot{x} = f & (|x| \leq e) \end{cases} \quad (1)$$

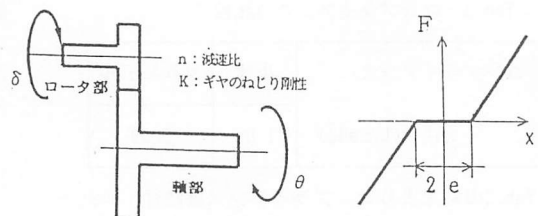


図2 ギヤのモデル

2.3 振動方程式の解法

解析では、制御系の影響を考慮していないため、運動は与えられた軌道を移動するものとする。したがって、振動解析に必要なアームの加速度、角速度、角加速度を与えられた軌道から Newton-Euler法を用いて算出し、振動方程式を作成する。得られた振動方程式を線形加速度法により数値積分することにより振動解析を行っている。

3. 解析例

図3に示す2つの回転関節を持つ2自由度のロボットの解析を行った。アームの形状は円筒形であり、アーム及びギヤの諸元を表1、表2に示す。

初期条件は、すべての要素の速度が0であり、重力の影響により初期変位を生じているものとする。ロボットの運動は、 $T = 0 \sim 0.40 \text{sec}$ が $\dot{\theta}_1 = \frac{\pi}{2} \text{rad/sec}^2$ 、 $T = 0.40 \sim 0.80 \text{sec}$ が $\dot{\theta}_1 = -\frac{\pi}{2} \text{rad/sec}^2$ 、 $T = 0.80 \sim 1.00 \text{sec}$ が $\dot{\theta}_1 = 0.00 \text{rad/sec}^2$ となるような軌道を動くものとし、数値積分は 0.001sec の間隔で行っている。また、 θ_2 は一定とし、手先には 1.00N の集中荷重を付加し、解析を行った。

4. 結果

図4はバックラッシュのないモデル、図5はバックラッシュを $1.0 \times 10^{-4} \text{rad}$ としたモデルの解析であり、出力結果は図3に示したベース座標系でのエンドエフェクタの変位である。 $\delta y, \delta z$ では初期変位を生じている。 δy での初期変位は、ロータ部がY軸方向に突き出しているためであり、 δz では関節部2のギヤの剛性の影響が大きくでているためである。バックラッシュがある場合は、振幅が大きく、ギヤのバックラッシュがない場合のような単純な波形にはなっていない。

また、図6はバックラッシュのないモデル(点線)とバックラッシュが $1.0 \times 10^{-4} \text{rad}$ であるモデル(実線)の関節1でのZ軸回りの角変位を示している。バックラッシュがある場合は、バックラッシュがない場合と比較して振幅が大きく、高周波成分がのっている。これは、バックラッシュが存在するために発生したねじり剛性の高いアーム1のねじり振動の影響であると思われる。また、図5よりバックラッシュの影響はエンドエフェクタにも大きな影響を与えているが、高周波成分は関節部とアームの曲げ剛性が比較的低いいため、エンドエフェクタには影響が現れてはいないと思われる。

5. 終わりに

関節部の減速機の各種の剛性とギヤのバックラッシュを考慮したモデルを提案し、2自由度のロボットアームについて運動中の振動解析を行い、バックラッシュが振動に与える影響を確認した。

参考文献

- 1) 遠山 茂樹: 1990年度精密工学会春季大会論文集, 491.
- 2) 鴨狩 実: 北大工学部 平成2年度修士論文, 9-45.

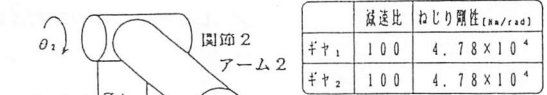


図3 解析モデル

	減速比	ねじり剛性 (Nm/rad)
ギヤ1	100	4.78×10^4
ギヤ2	100	4.78×10^4

表1 ギヤの諸元

	長さ (mm)	外径 (mm)	内径 (mm)	材質
Arm 1	500	65	55	鋼
Arm 2	500	45	40	鋼

表2 アームの諸元

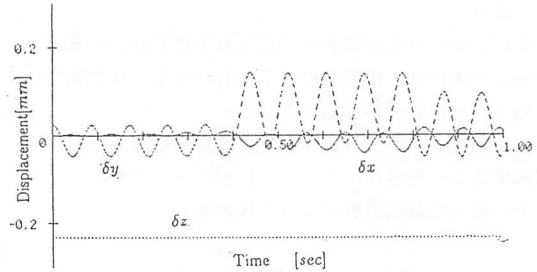


図4 エンドエフェクタでの変位1

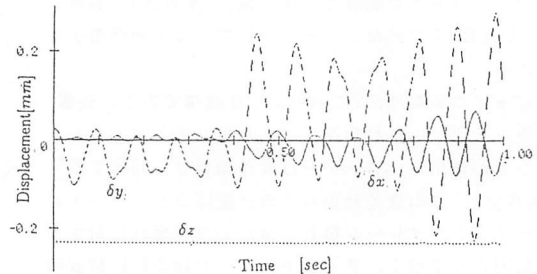


図5 エンドエフェクタでの変位2

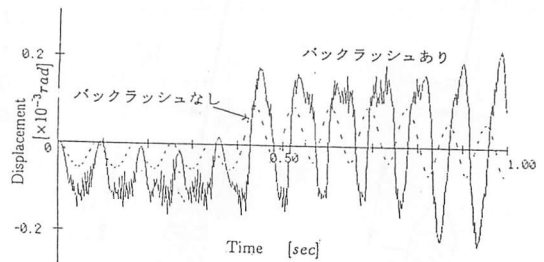


図6 関節部1でのZ軸回りの角変位