

不思議歯車を用いた天文学, 技術史, 機械工学教材の開発 Development of an Educational Aid for Astronomy, History of Technology and Mechanical Engineering using "Mechanical Paradox"

産総研¹, (株)渡辺教具製作所² °前川 仁¹, 渡辺 美和子²
AIST¹, Watanabe Co., Ltd.² °Hitoshi Maekawa¹, Miwako Watanabe²
E-mail: maekawa.hitoshi@aist.go.jp, planet@za2.so-net.ne.jp

1. はじめに

Figure 1 に示す構成の減速機は一般に不思議歯車(Mechanical Paradox)と呼ばれ, 少ない部品数で高減速を実現可能な特長により, 低速の回転駆動に広く応用されている. ところが歴史的に遡ると, 不思議歯車の起源はJames Ferguson (英国 1710-1776)が製作した天文学教材[1]であり, その形態・動作は現在知られている不思議歯車とは大きく異なる. ここでは不思議歯車の原形を概説したのち, その不完全な部分を現代の機械工学に基づいて再設計し, 天文学, 技術史, 機械工学にまたがる教材として復元した結果を報告する.

2. 不思議歯車の原形

Ferguson による不思議歯車の原形を Fig. 2 に示す. Figure 1 の減速機と異なり, 最も外側には内歯車ではなく外歯車を設ける. キャリアには中間歯車および 3 枚の遊星歯車を搭載し, 同軸構成の 3 枚の遊星歯車はそれぞれ中間歯車とかみ合う. ここで地面に固定した太陽歯車を中心にキャリアが公転すると, 3 枚の遊星歯車ではそれらの歯数の違いにより次のように地面に対して正転, 逆転, 静止という異なる運動が生じて, 太陽-地球-月に関する天文現象を再現することができる[2].

上段遊星歯車(歯数 44) キャリアが 8.8 公転すると公転と同方向に 1 自転し, 月の楕円軌道の近地点, 遠地点の移動を再現する.

中段遊星歯車(歯数 37) キャリアが 18.5 公転すると逆方向に 1 自転し, 地球と月の軌道面の交点の移動を再現する.

下段遊星歯車(歯数 39) キャリアが公転しても自転せず, 地球の自転軸の方向が変化しないことを再現する

3. 転位歯車を用いた再設計

不思議歯車では歯数の異なる遊星歯車を同軸構成する一方, それらが共通の中間歯車とかみ合わなければならない. ところが標準的な設計では歯車サイズは歯数に依存して定まるため, 上記の相反する条件を同時に満たすことはできない. Ferguson は意図的に大きなバックラッシュ(歯車間の隙間)を設けてこの不整合を吸収したようであるが, 現在は転位歯車[3]を用いて歯数と歯車サイズの間の拘束関係を緩和することが可能である. その結果, 隙間や干渉なくかみ合いつつ, スムースに回転する不思議歯車を構成することができる.

Figure 3 に示す不思議歯車の復元モデルでは, 各歯車の歯数, 軸間距離, 転位量の関係を定式化し, 歯車加工等に伴う制約条件も加えてそれらを全て満たすように歯車の転位量を決定している. この特徴により, 本モデルは転位歯車に関する機械工学教材としても使用することができる.

参考文献

- [1] Ferguson, J., The description and use of a new machine, called the mechanical paradox; invented by James Ferguson, F.R.S. London, 1764.
- [2] 前川, 不思議歯車機構—発想を転換すれば, 全く不思議ではない—, 日本機械学会誌, Vol. 114, No. 1111, 2011.
- [3] 中田, JIS 記号による 新版 転位歯車 [復刻版], 日本機械学会, 1994.

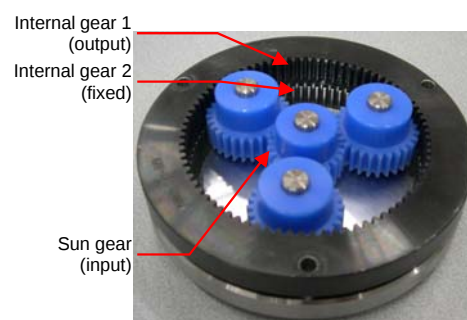


Fig. 1 Reduction gear so-called Mechanical Paradox

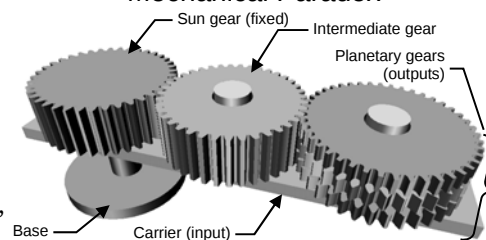


Fig. 2 Original form of Mechanical Paradox



Fig. 3 Redesigned and restored Mechanical Paradox (φ380 mm)