

# 静止衛星の物理学

( )組 ( )番 氏名 ( )

静止衛星とはどんな衛星

利用されている用途

※トピック 水平面を走る地上最速の乗り物とは(無限の速さでは走れない!) → 「第一宇宙速度(人工衛星になる速度)」

**静止衛星の条件** ① 周期が24時間である ② 赤道上空を完全な円運動する の2点が静止衛星の条件

[理論] 地球の質量  $M$  [kg]、静止衛星の質量  $m$  [kg]、軌道半径  $r$  [m]、周期  $T$  ( $=24 \times 60 \times 60$ ) [s] である。

万有引力の法則  $f = [ \quad ]$ より、運動方程式は  $[ \quad ]$ 。

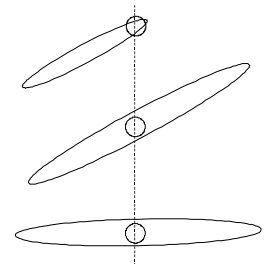
また、地球の半径  $R$  [m] として地上での重力加速度より  $mg = [ \quad ]$  であるので、静止衛星の軌道半径  $r = [ \quad ]$  [m] となる。また、地上から見た静止衛星の高さは  $h = r - R = [ \quad ]$  [m] である。具体的な数値を代入すると、軌道半径は  $r = [ \quad ]$  となる。実際の数値を当てはめると、静止衛星の軌道は地上からは3万6千kmの高さに相当する。

**静止衛星の条件は**

- 1 決められた軌道半径(衛星の公転周期が地球自転周期と一致) → ずれると [ ]
- 2 赤道上空を回る軌道(赤道面に衛星軌道が一致) → ずれると [ ]
- 3 完全な円軌道(軌道半径が一定) → ずれると [ ]
- 4 決められた静止位置(静止位置の経度) → ずれると [ ]

**衛星打ち上げの手順として考えられる方法** どのようにすればよいのだろうか?

- 1 遠地点が静止衛星の高さになるような楕円軌道(暫定軌道)に打上げる。
- 2 衛星が遠地点に達したとき、ロケットを再点火し速度に上げ、真円軌道に変える。
- 3 軌道面が赤道面を通過するときにロケットを点火し、軌道面を赤道面に合わせる。



完全に静止位置に止めることが出来ないなので、定期的に②、③を繰り返して完全な静止衛星軌道に修正を続ける。なお、打ち上げ基地が赤道にあれば打ち上げた段階で軌道面が傾かないので②の修正だけになる。軌道修正を繰り返しているうちに、積み込んでいたロケット燃料が無くなると静止衛星として維持できなくなるため、静止衛星は数年間の運用で寿命が尽きることになる。(もちろんロケット燃料以外のトラブルも発生するが)

## 静止衛星の物理学 (解説)

( ) 組 ( ) 番 氏名 ( )

気象衛星(ひまわりと呼ばれる気象衛星:雲の写真を撮影)、放送衛星(NHK・BS、BS デジタルなどの放送)、通信衛星(SkyPerfecTVなどのCS放送、電話・コンピュータ通信、TV中継などの通信)などに利用されている。地球から見たとき、上空の定点に衛星が静止しているように見えるため、「静止衛星」といわれる。実際には、赤道上空を地球の自転周期と同じ24時間で回る真円軌道の人工衛星である(本当に静止している衛星なら地球の引力に引かれて落下する)。

### 水平面を走る地上最速の乗り物とは

水平面上を  $v$  [m/s] で走る乗り物は、「地球の半径  $r$  [m] の等速円運動している物体」ともいえる。中心向きの運動方程式を作ると  $mg - N = m \times \frac{v^2}{r}$  だから、 $N = mg - m \times \frac{v^2}{r}$  になる。垂直抗力  $N$  がゼロになったとき乗り物は地上から浮き上がってしまう(地上を走るのではなく空中を飛ぶ乗り物になる)。そのときの速度は  $v > \sqrt{gr}$  である。数値で示すと、地球の半径は6400[km]だから、 $[v > \sqrt{9.8 \times 6.4 \times 10^6} = 7.9 \times 10^3]$  [m/s] である。この速度7.9[km/s]は人工衛星になるための最下限の速度をしめす「第一宇宙速度」と呼ばれている。

**静止衛星の条件** ① 周期が24時間である ② 赤道上空を完全な円運動する の2点が静止衛星の条件である。衛星の動きと地球の自転とが一致するため地上から見ると上空に静止しているように見える人工衛星で、地球上の受信・送信アンテナを固定できる便利さのため、遠距離通信などの中継基地として大いに利用されている。

[理論] 地球の質量  $M$  [kg]、静止衛星の質量  $m$  [kg]、衛星の軌道半径  $r$  [m]、周期  $T (= 24 \times 60 \times 60)$  [s] とすると、万有引力の法則  $f = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$  より、運動方程式は  $G \frac{Mm}{r^2} = mr \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$  だ。また、地球の半径  $R$

[m] として地上での重力加速度より、 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  であるので、 $\frac{gR^2}{r^2} = r \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$  より、静止衛星の軌道半径

は  $r = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$  [m] となる。また、地上から見た静止衛星の高さは  $h = r - R = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}} - R$  [m] である。

具体的な数値を代入すると、軌道半径は  $r = \sqrt[3]{\frac{9.8 \times (6.4 \times 10^6)^2 (24 \times 60 \times 60)^2}{4 \times 3.14^2}} = 4.23 \times 10^6$  となり、

静止衛星軌道の半径は4万2千km [赤道上**3万6千km** (=4万2千km - 6千4百km)] の高さの軌道になる。

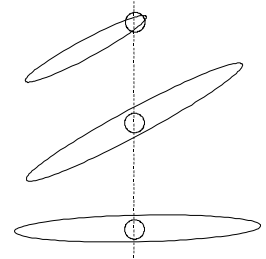
### 打ち上げの技術

静止衛星の微妙なずれ

- 1 決められた軌道半径とのずれ(衛星の公転周期が地球自転周期とのずれ) → 徐々に東や西に、ドリフト(移動)してゆく
- 2 完全な円軌道からのずれ(軌道の焦点のずれ) → ずれると衛星が東西に振れる
- 3 軌道の傾き(赤道面と衛星軌道面のずれ) → ずれると衛星が南北に振れる
- 4 決められた静止位置(静止位置の経度) → ずれると他の静止衛星と電波が混信する(近隣の静止衛星との混信)

衛星打ち上げの手順として考えられる方法

- 1 遠地点が、静止衛星の高さになるような暫定楕円軌道に打上げる。(少々のはずれ可)  
この段階では軌道面は傾いており<sup>1</sup>、極端な楕円軌道の状態である。
- 2 衛星が遠地点に達したとき、ロケットを点火し衛星の速度に上げ、円軌道に変える。  
この段階では軌道面は傾いているが、静止衛星軌道の高さの円軌道を周回する。
- 3 軌道が赤道面を通過するときにロケットを点火し、軌道面を赤道面に合わせる。



「完全な円軌道で軌道の半径を合わせること」、「赤道面と軌道面を合わせること」を考えて衛星軌道を微調整を繰り返し静止軌道に乗せる。また、定常的に、②、③を繰り返して静止衛星軌道の修正を続ける。なお、打ち上げ基地が赤道にあれば打ち上げた段階で軌道面が傾かないので②の修正が必要がなくなるのだが...

1 人工衛星を打ち上げたとき、衛星の軌道面が傾く理由がわかるだろうか？