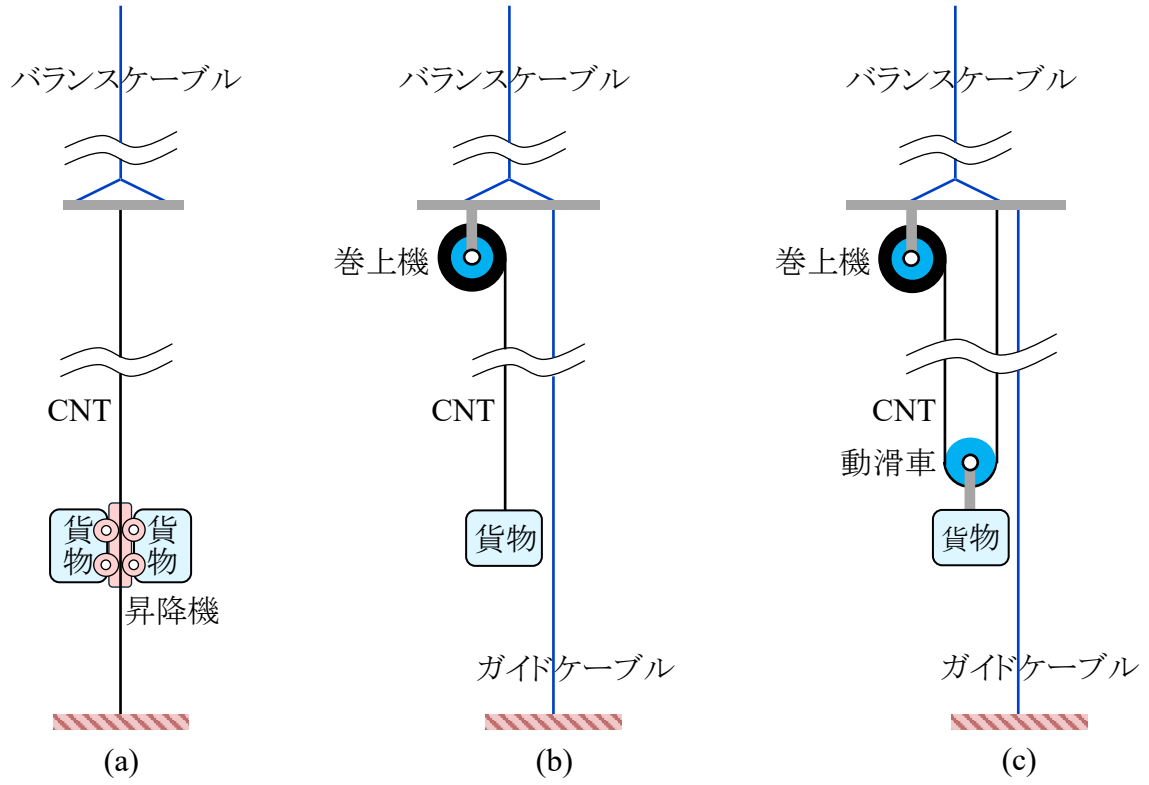
宇宙エレベータ

宇宙エレベータは下図(a)に示したような構成が考えられているが、ケーブル（カーボンナノチューブ CNT）が昇降機による摩擦によって摩耗し易いことや電力供給が困難なことが予想されるので、モータに掛かる荷重は大きくなるが摩擦が小さく電力供給も太陽電池で賄える図(b)および図(c)のような構成も考えてみた。

(1) 目標高度（ここでは静止軌道高度（36,000[km]）とする）に達するまで、昇降機（貨物込みで100[ton]とする）が重力や空気抵抗と常につり合うように力を印加し続ける。
(2) また、1 時間かけて、空気抵抗がほぼなくなる高度 100[km]に達するまで、約 1.5[kN]の力を追加して昇降機を等加速度で上昇させる。
(3) 上記により 1 時間経過後には、昇降機は高度 100[km]で速度約 200[km/h]に達する。
(4) 高度 100[km]～36,000[km]の間、重力とつり合う力のみを印加し続け、昇降機を約200[km/h]の一定速度で上昇させる。
(5) 目標高度の静止軌道高度（36,000[km]）に達する直前に、すべての力の印加を中止して昇降機を自由落下させ、減速させる。
(6) 約 4 分後に昇降機は静止する。
(7) これにより、約 7.5 日で静止軌道高度に達する。

高度	引上げ力	上昇加速度	上昇速度	区間所要時間
h	f	a	v	t
[m]	[N]	[m/s^2]	[m/s]	[s]
0	1,543	0.015	0	0
100,000	0	0	56	3,600
35,779,117	0	0	56	641,976
35,786,000	0	0	0	248
			全区間	645,824 7.5 日



構成	(a)	(b)	(c)
昇降機	要	不要	不要
巻上機	不要	要	要
動滑車	不要	不要	要
CNT(バランスケーブル除く)	1 本	2 本	3 本
ケーブル張力 [kN]	4,437	4,437	3,703
摩擦力 [kN]	978	0	0
巻上力 [kN]	0	4,437	3,703
モータ回転速度 [rpm]	2,653	2,653	5,305
モータ出力 [kW]	17,294	78,457	130,967

(a)	摩擦を利用して昇降するので、ケーブルの摩耗が激しい。 電力供給が困難。 他より出力の小さいモータが使える。
(b)	ケーブルは摩擦が小さく、摩耗が少ない。 電力供給は太陽電池で容易にできる。 出力の大きいモータが必要(ケーブルも持ち上げるため、昇降機案の約 5 倍)。
(c)	ケーブルは摩擦が小さく、摩耗が少ない。 電力供給は太陽電池で容易にできる。 最も出力の大きいモータが必要(回転速度を 2 倍にするため、昇降機案の約 8 倍)。 多くのケーブルを必要とする。

1 重力と遠心力に対抗してつり合う力は下記の大きさが必要。

$F = m\left\{\frac{GM}{(R+h)^2} - (R+h)\omega^2\right\}$:重力＋遠心力 [N]

$m = 100[\text{ton}] = 100{,}000[\text{kg}]$:昇降機質量（貨物含む）
$GM = 3.986005 \times 10^{14}[\text{Nm}^2/\text{kg}]$:地球重力定数
$R = 6378{,}137[\text{m}]$:地球半径
$H = 35{,}786{,}000[\text{m}]$:静止軌道高度
$\omega_e = 7.292115 \times 10^{-5}[\text{rad/s}]$:地球自転角速度
$\rho_c = 0.07[\text{kg/m}]$:ケーブル線密度（10 万 km:7000 トン）

2 宇宙空間に出るまでは空気抵抗が作用するので、これに対抗した力も加える必要がある。

$F_a = \left(\frac{1}{2}\right)\rho v^2 C_d A$:空気抵抗力 [N]

$\rho = \rho_0 e^{-\frac{h}{h_s}}$:大気密度 $[\text{kg/m}^3]$

$\rho_0 = 1.357\ [\text{kg/m}^3]$:地表における大気密度(指数関数近似のため 1.225 と異なる)
$h_s = 7092\ [\text{m}]$:スケール高度
v :速度(対気速度) [m/s]
Cd＝1.0[ND] :抵抗係数

$A = \sqrt[3]{V_{OL}}^2 = 3{,}029\ [\text{m}^2]$:昇降機(貨物含む)の有効断面積

$V_{OL} = \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{m}{\rho_s}\right) = 166{,}667\ [\text{m}^3]$:昇降機(貨物含む)の体積

$\rho_s = 2[\text{kg/m}^3]$:昇降機(貨物含む)の平均密度
$\varepsilon = 0.3$:昇降機（貨物含む）の空隙率

3 想定される電動モータ特性

$r = 0.2\ [\text{m}]$:動輪半径

$n = 60\frac{v}{2\pi r} = \begin{cases} 2{,}653[\text{rpm}] : \text{(a)回転速度} \\ 2{,}653[\text{rpm}] : \text{(b)回転速度} \\ 5{,}305[\text{rpm}] : \text{(c)回転速度（上昇速度を他と等しく）} \end{cases}$

$T = rF = \begin{cases} 196\ [\text{kNM}] : \text{(a)最大トルク} \\ 887\ [\text{kNM}] : \text{(b)最大トルク} \\ 741\ [\text{kNM}] : \text{(c)最大トルク} \end{cases}$

$P = \frac{Tn}{60}s = \begin{cases} 17{,}294[\text{kW}] : \text{(a) モータ出力} \\ 78{,}457[\text{kW}] : \text{(b) モータ出力} \\ 130{,}967[\text{kW}] : \text{(c) モータ出力} \end{cases}$

$s = 2$:安全率