

# リニアモーターによるネジ式エレベーターの提案

## 第18回君が作る宇宙ミッションALTAIR班

岡田 周大(2年)【灘高等学校】 足立 愛恵(2年)【杉並学院高等学校】  
遠藤 才織(2年)【札幌南高等学校】 丸山 多聞(1年)【渋谷教育学園渋谷高等学校】  
長瀬 明日香(1年)【神奈川県立柏陽高等学校】 馬場 悠人(1年)【東京都立戸山高等学校】

### 背景

ロケットやスペースシップといった身体能力の制約によって限られた人しか搭乗できない乗り物によってのみ宇宙に行くことができるため、**誰でも宇宙へ行けるわけではない**

現在はより多くの人や物をより負担のかからない方法で運搬するために**宇宙エレベーターの開発**が注目されている

しかし、現在検討されているカーボンナノチューブを用いたケーブル式宇宙エレベーターには**様々な課題がある**

### 目的

特別な訓練を行わず、**より多くの人宇宙に行けるような宇宙エレベーターの様式を検討する**

背景で挙げた問題を解決し、**宇宙への移動手段に対する選択の幅を広げる**

### 考察

課題として、使用する超電導磁石や材料が要因で莫大なコストであること、ベアリングの寿命が短いことが挙げられる。これらは材料の最適化やベアリング以外の方法を適用することで改善されると考えられる。また、高度100kmの宇宙空間まで届くネジ穴構造の塔における建設可否、塔自体の安全性、そして環境への影響などが懸念されるため、塔の設置場所や構造面、建設方法などについても議論していく必要がある。

### まとめ

宇宙に行く方法として、身体能力の制約によって限られた人しか搭乗できない乗り物に限定されており、誰もが宇宙へ行ける訳ではないという問題を解決するため、ネジ式宇宙エレベーターを検討した。今回の研究では、エレベーター各部の構造を考え、それに伴うコストや重量を算出した上で主要諸元を確定した。今後課題を解決しネジ式宇宙エレベーターを建設することが可能となれば、それは人々が宇宙をより身近なものにすることに繋がっていくだろう。

### エレベーター各部構造

#### 上昇機構

上から高度100kmまで円筒の構造物(塔)(図1④)を建築し、内部に動力部(図1①)、またその上にボールベアリング(図1②)、客室(図1③)を乗せた構造物を建築する。塔は雌ネジ状に刻まれており、フランク部に推進コイル・浮上コイルを組み入れる。また、動力部は雄ネジ状であり、ネジ山部に超電導コイルを組み入れる。主要部分の選定材料や選定理由は以下の表に示す(表1)。

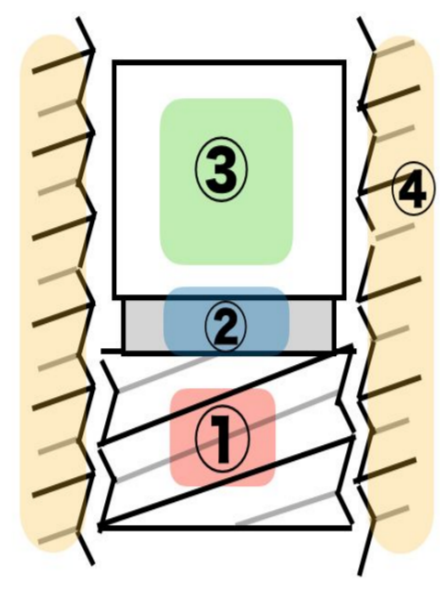


図1 機構模式図

表1 主要部分の選定材料・選定理由

場所	選定材料	選定理由
ネジ・客室	快削アルミニウム (=A2011 2000系熱処理合金) (客室においては主要材料とする。)	・アルミニウム合金が2027年開通予定のリニアモーターカーの材料として用いられているため <sup>[1]</sup> 。 ・強度が高く高速域の切削加工性に優れているため <sup>[2]</sup> 。 ・2011系のアルミニウム合金の比重が20度の水に対して2.82と小さく非常に軽い <sup>[3]</sup> 。
ボールベアリング(軌道輪・玉)	高炭素軸受鋼のsuj5	・suj5 →モリブデンとケイ素とマンガンが多く含まれているため、巨大なベアリングを制作するのに適する。

#### ベアリング

ネジの上に客室を設置すると客室はネジと一緒に回転してしまう。そこで客室の回転を防ぐために客室とネジの間に**ボールベアリング**を設置する。主にアキシャル荷重がかかるのでスラストボールベアリングとした。アキシャル荷重とは、図2に示すとおり軸と同じ向きにかかる力のことを指す。

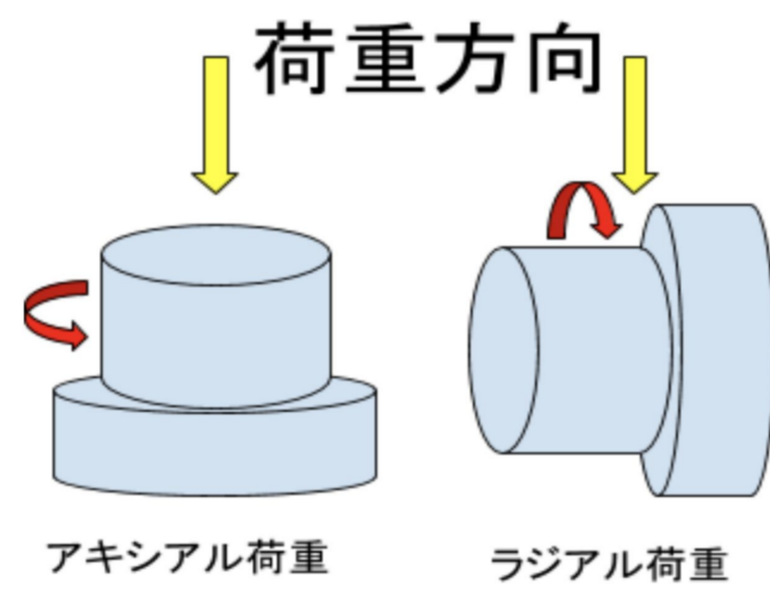


図2 荷重について

#### 客室内装

片道5時間の乗車を想定し客席32個の他にカート、トイレを2個、レンジを1個を備える。

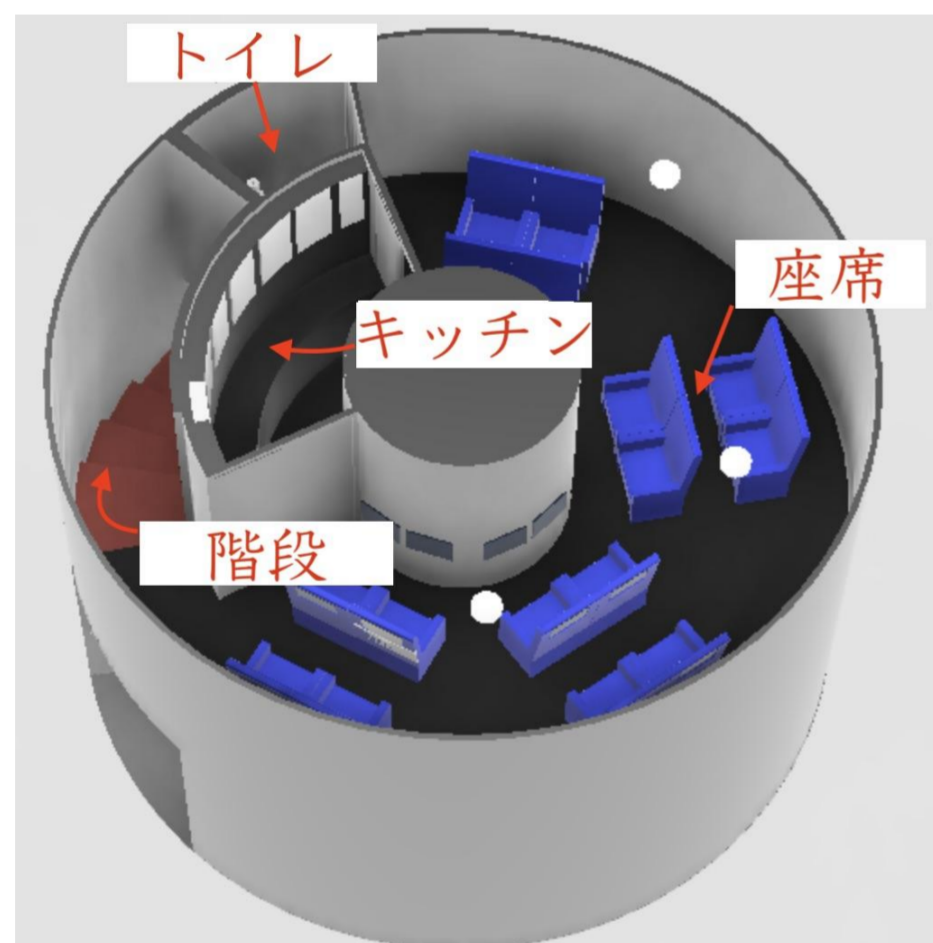
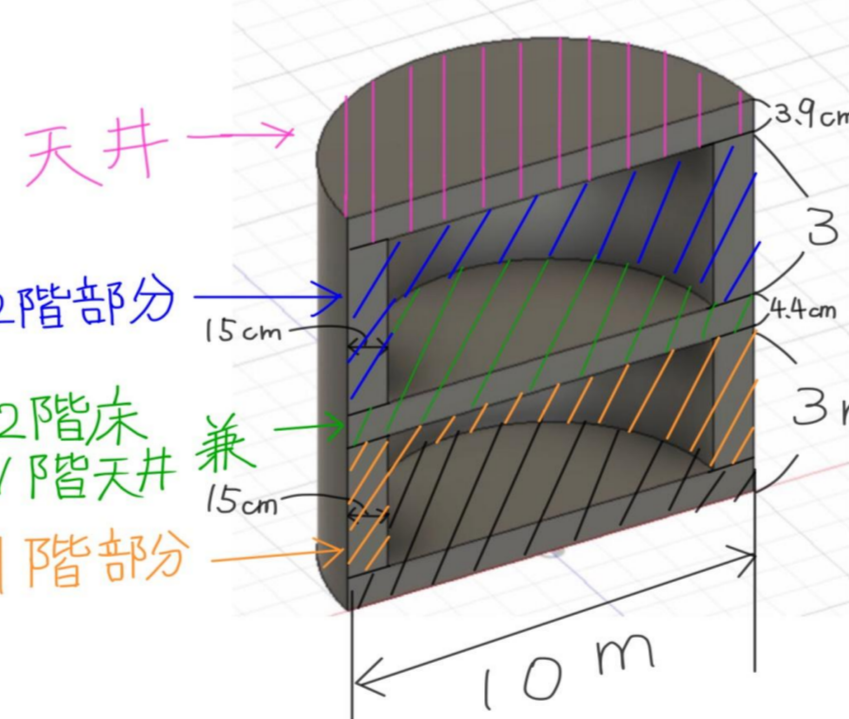


図3 内装イメージ

1階部分の4.4cmと2階部分の3.9cmは強度計算により算出。壁の厚さは通常のエレベーターの厚さを参考厚み算出している。



#### 超電導磁石

本研究において用いる超伝導磁石は、現在研究が進められているリニア新幹線に用いられているものと同型のものである。コイル部分にはニオブチタン合金を使用し、液化ヘリウムと冷凍機、液化窒素を使用することで超伝導状態を発生させる。寸法は0.035m×0.035m×(√3÷2×4×((10.305)^2-10^2)π)mである。この超電導磁石については既にリニア実験線で走行しているL0系において実用化されている。現状利用されているものは5.400m×1.175m×0.23mであり、本研究において使用を検討している物よりも大型であるためダウンサイジングが必要であるが実際に浮遊が可能であることは実証されているため不可能ではないと考えられる。

(表2のSCMは厚みの表記がないが、ここではSCMがNbTi合金(組成:46.5 wt% Ti、密度:6.04g/cm<sup>3</sup>)が中実に詰まった構造であると仮定し、その体積を1400000g÷0.00604g/mm<sup>3</sup>=231788079mm<sup>3</sup>=5400mm×1175mm×36.531mm=5.400m×1.175m×0.23mと表した。)

表2 山梨リニア実験線用SCMの諸元<sup>[4]</sup>

項目	仕様
scm寸法	5,400×1,175(mm)
質量	1400kg
走行時模擬最大熱侵入量	8W 以下
scmあたりの浮上力	108 kN
車載冷凍機・タンク	冷凍能力 4.5Kで8W以上
ヘリウムタンク容量	約56L
窒素タンク容量	約50L

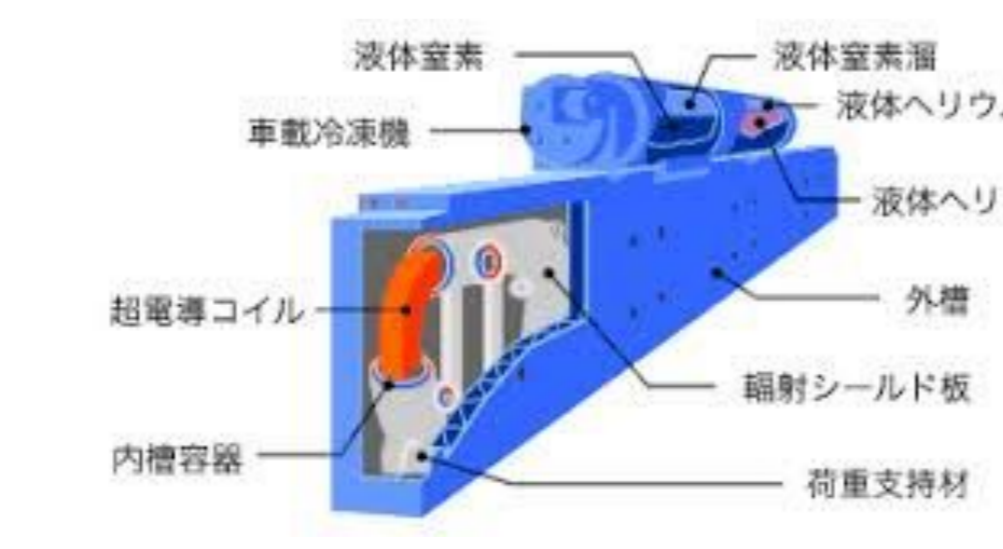


図5 リニア新幹線に用いられる超電導磁石<sup>[5]</sup>

### 主要諸元

搭乗人数	32人
所要時間(片道)	約5時間3分
総重量	約398トン
消費電力	45.369×10 <sup>4</sup> kw/h
発電方法	宇宙太陽光発電システム(SSPS)

#### 製造コスト

##### 超電導磁石

使用電力は2.549×10<sup>4</sup>kw/h=9.1764×10<sup>7</sup>kj  
ニオブチタン合金 SMES(20MJ級コイル+周辺機器)は20-25千円/kj<sup>[6]</sup>なのでNbTi SMES一個分の価格は25千円/kj×9.1764×10<sup>7</sup>kj=229410000000円(2兆2941億円)  
使用する9.25個の価格は**2122042500000円(21兆2204億5000万円)**となる。

##### 客室

材料のアルミ2000系は511.5円/cm<sup>3</sup>であり<sup>[7]</sup>、客室構造は全体で15,383,804.75cm<sup>3</sup>であるから、15,383,804.75×511.5=7,868,816,129.625円**(78億6882万円)**  
また、客室内装に価格費用は全体で6,046,455円**(604万6455円)**  
以上より、客室に掛かる費用は7,868,816,129.625+6,046,455=**7,874,862,584円(78億7486万円)**

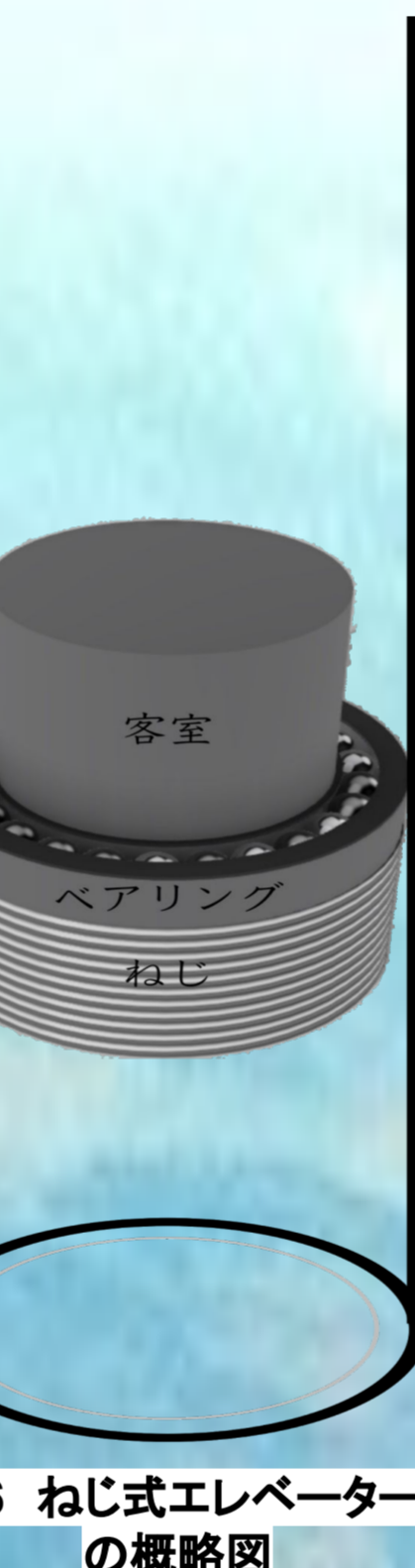
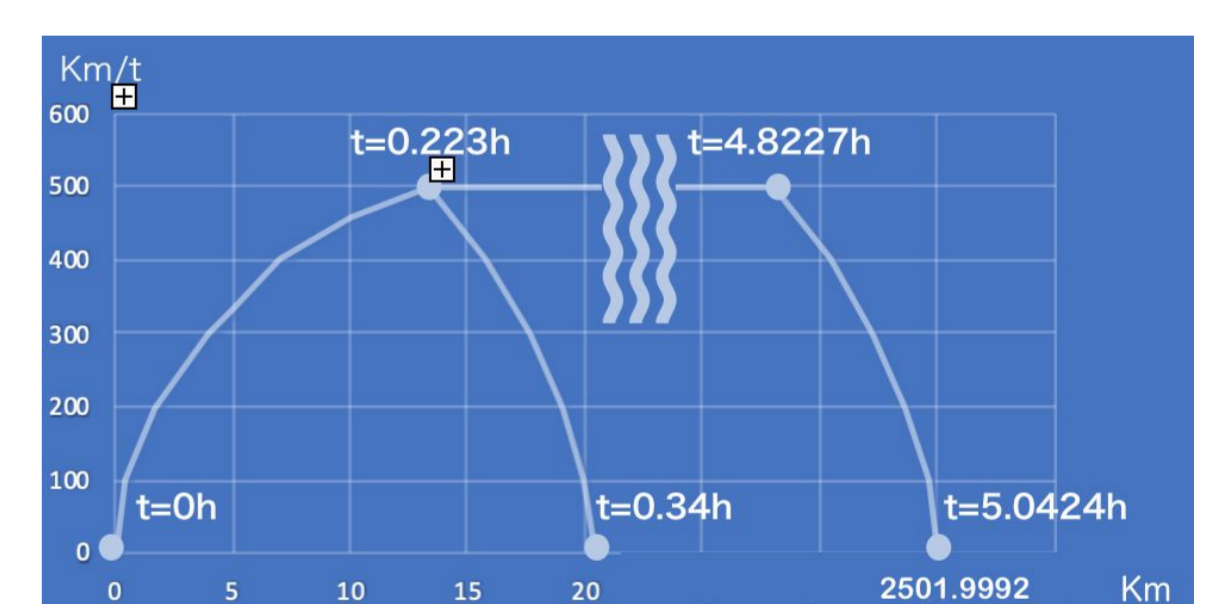


図6 ねじ式エレベーターの概略図

### 所要時間

超電導リニアL0系の線路の最大勾配は40‰であり、我々はこの勾配がリニアモーターカーが十分な性能を発揮できる最大の勾配と考え、ねじ式エレベーターにおけるネジのリード角を2.29度(=40‰)とした。この時全長100kmの塔におけるネジ溝1ラインの長さは**2501.9992km**となる。また、超電導リニアL0系の加減速性能(図7)を参照し、片道に掛かる移動時間を計算したところ、**5.0424時間**となる。

グラフ1 速度と移動距離の関係<sup>[1]</sup>



### 電気

発電方式には**宇宙太陽光発電システム(SSPS)**を採用した。この発電方法は再生可能エネルギーを利用するため環境への負荷が少ない。加えて、天候や昼夜の影響を受けにくいことからエネルギー源として安定するという利点もある。

発電コストに関してはリニア中央新幹線を参考にした。これに使用される超電導コイル2個分で22200kgの車体を持ち上げるので、客室全体の重量102676kg及びベアリング全体の重量259615kgを持ち上げるには{(102676+259615)÷22200}×2=32.6より**32.6個分の超電導コイル**が必要である。リニア新幹線が1編成で超電導コイル30個分で8.27×10<sup>4</sup>kw/h<sup>[8]</sup>を消費するので(32.6÷30)×8.27×10<sup>4</sup>=**8.997×10<sup>4</sup>(kw/h)**これがエレベーター動力部の消費電力である。所要時間が5.0424hであるから、片道の消費電力は8.997×10<sup>4</sup>×5.0424=**45.369×10<sup>4</sup>(kw)**である。また、SSPSを用いた場合の発電コストを8.5円/kWh<sup>[9]</sup>とすると片道の発電コストは45.369×10<sup>4</sup>×8.5=**3856334(円)**である。

### 参考文献

[1]リニア中央新幹線 <https://linear-chuo-shinkansen.jp/central-co.jp/>(参照日2020年1月20日)  
[2]アルミの特性 [https://tokusyuko-kakou.com/pdf/tkc\\_lib\\_003.pdf](https://tokusyuko-kakou.com/pdf/tkc_lib_003.pdf) (参照日2020年1月20日)  
[3]アルミ合金の物理的性質 [http://www.alumi-world.jp/files/pdf/chishiki\\_03seishitsu.pdf](http://www.alumi-world.jp/files/pdf/chishiki_03seishitsu.pdf) (参照日2020年1月20日)  
[4]日立評論1997年2月号 [http://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/1997/02/1997\\_02\\_10.pdf](http://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/1997/02/1997_02_10.pdf)(参照日2019年10月24日)  
[5]山梨県立リニア見学センター リニアの仕組み <https://www.linear-museum.pref.yamanashi.jp/about/structure.html>(参照日2019年10月24日)

[6]SMESシステムの開発 <https://www.nedo.go.jp/content/100094667.pdf>(参照日2020年3月12日)  
[7]アルミ2017系 <https://www.e-metals.net/product/200679/>(参照日2020年3月26日)  
[8]SSPS発電コスト <https://www.mugendai-web.jp/archives/6252>(参照日2020年1月9日)  
[9]「中央新幹線小委員会答申(案)」に関するパブリックコメント」結果報告 <https://www.mlit.go.jp/common/000144239.pdf> (参照日2020年2月27日)