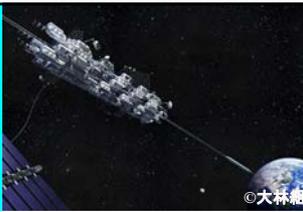


サイエンスカフェ in 静岡2015

宇宙エレベーター； そのしくみと研究開発の 現状




静岡大学
工学研究科機械工学専攻
山極芳樹

平成27年3月26日

講演内容

- * 宇宙開発の意義は？
- * 今の宇宙輸送システムは？
- * 次世代の宇宙輸送システム (宇宙テザー)
- * 宇宙エレベーターとは？
- * 宇宙エレベーターの技術課題と研究の現状
- * 宇宙エレベーターの技術実証

2

化学ロケットの問題点(コスト高)

どれくらい推進剤が消費されているか

ロケット名	全機重量 (t)	機体重量 (t)	推進剤の重量 (t)
アリアス2	232	210	90.5
アトラス2	187	173	99.5
タイタン2	680	560	82.4
プロトN	690	638	92.5
ゼット	449	319	71.0
デルタ2	182	164	90.1
H-IIA	285	248	87.0
M-V	139	113	81.3

燃費が悪い (排出速度が遅い)
↓
推進剤(燃料)が重たい

輸送コストが高くなるひとつの原因:
1kg運ぶのに
約100万円(低周回軌道)

化学ロケットの問題点(環境破壊)

スペースシャトルレベル(ペイロード100トン)で

大量のロケット排出物(塩素酸化物、水など)の大気中への拡散

1800トン!

ジャンボジェットの10倍! 大量輸送時には環境破壊の危険性




燃料を使わない宇宙輸送システム

- 宇宙テザー(宇宙エレベーターの要素)、ソーラーセイルなど




宇宙テザー

ソーラーセイル(宇宙ヨット)

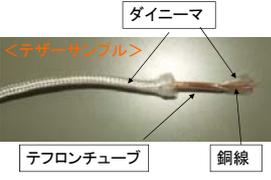
5

宇宙テザー

テザー: 細長いワイヤもしくは高張力合成繊維 (直径数mm、長さ10~100km)

推進剤のいらない輸送システム

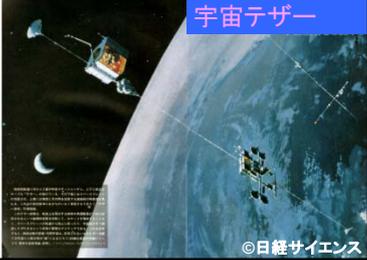
- ・導電(エレクトロダイナミック)テザー(EDT)
- ・回転(モーメンタム)テザー(MOT)



ダイニーマ

テフロンチューブ

銅線

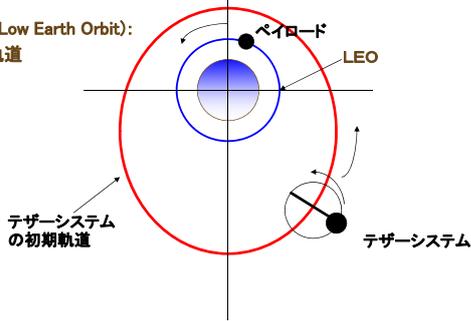


宇宙テザー

6

回転テザーによる輸送原理1

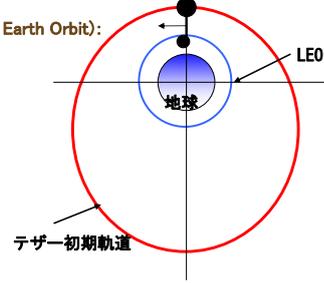
- * Payload(ペイロード): 荷物
- * LEO (Low Earth Orbit): 低周回軌道



7

回転テザーによる輸送原理2

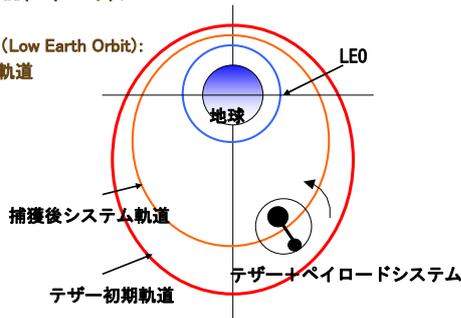
- * Payload(ペイロード): 荷物
- * LEO (Low Earth Orbit): 低周回軌道



8

回転テザーによる輸送原理3

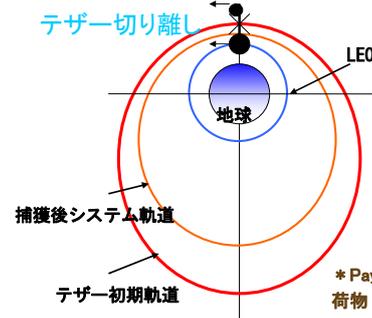
- * Payload(ペイロード): 荷物
- * LEO (Low Earth Orbit): 低周回軌道



9

回転テザーによる輸送原理4

テザー切り離し

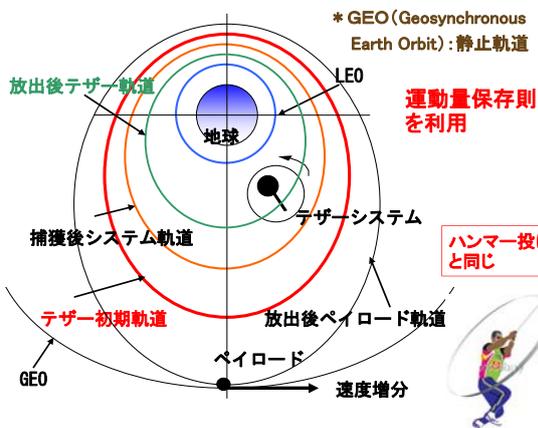


- * Payload(ペイロード): 荷物
- * LEO (Low Earth Orbit): 低周回軌道

10

回転テザーによる輸送原理5

- * GEO (Geosynchronous Earth Orbit): 静止軌道



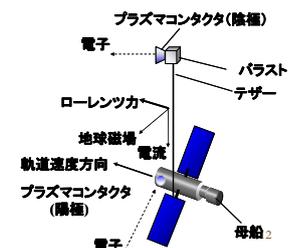
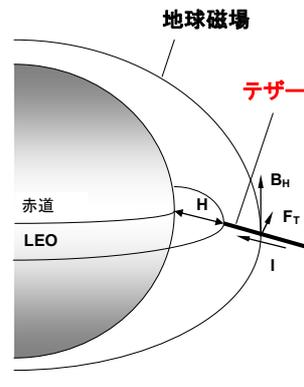
ハンマー投げと同じ

導電テザーのしくみ

<テザーの推力>

$$F_T = B_H \times I \times L$$

- B_H : 地球磁場
 - I : テザー電流
 - L : テザー長さ
- 電磁力を利用 (フレミング左手の法則)



宇宙エレベーターの歴史

<古代> 旧約聖書;ヤコブの梯子
 <19世紀>イングランド民話集;ジャックと豆の木
 1918年:芥川龍之介;小説「蜘蛛の糸」

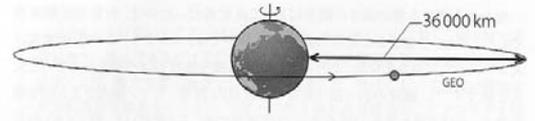


- 1895年:ツィオルコフスキー エッセイ「空と大地の間」にて宇宙エレベーターの構想記述
- 1960年:アルツターノフ 「コムスモルスカヤ・ブラウダ」誌に宇宙エレベーターの構想(電車で宇宙へ)発表
- 1979年:アーサー・C・クラーク 小説「楽園の泉」発表
- 1991年:飯島澄男(NEC, 現名城大学大学院教授)カーボン・ナノチューブ発見
- 2002年:ブラッドリー・エドワーズ(ロスアラモス研究所):NASAの資金で宇宙エレベーターの概念研究を実施しレポート発表
- 2003年:Michael.J.Laine/TomasNugentなどにより米シアトルに宇宙エレベーター事業会社LiftPort社創設
- 2005年:NASAの支援によりSpaceward財団が2010年までの予定で毎年宇宙エレベーター競技会を開始
- 2007年:日本宇宙エレベーター協会設立
- 2009年~:宇宙エレベーター技術競技会(年1回)開催

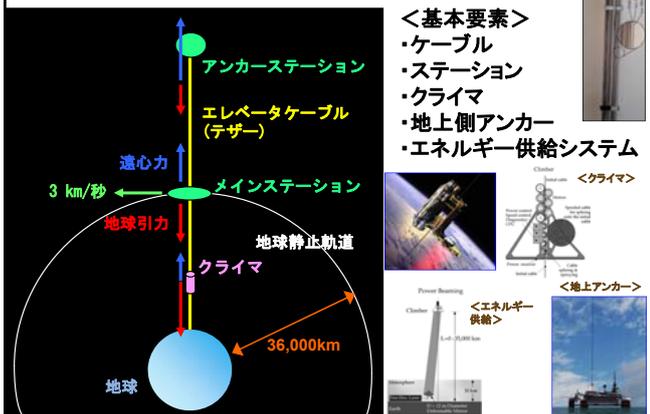
宇宙エレベーターはどこにつくるのか?

- 軌道上のステーションと地上がずれてはいけない
- 地球の回転(1日1回転)とあつた軌道

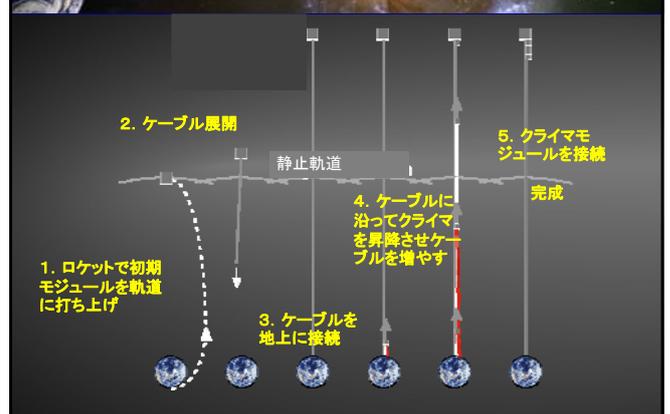
静止軌道(GEO):赤道面上高さ36000km



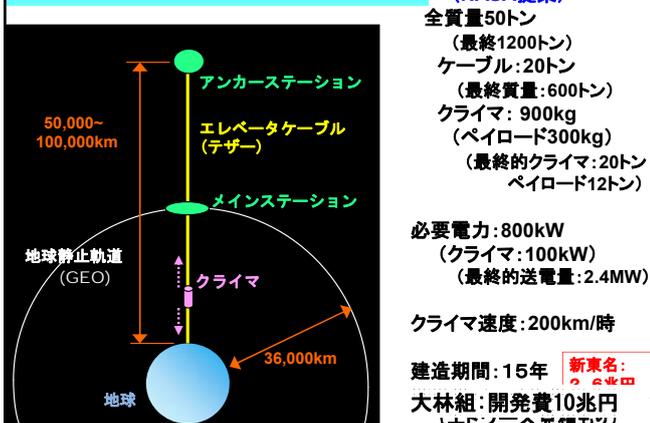
宇宙エレベーターの構成



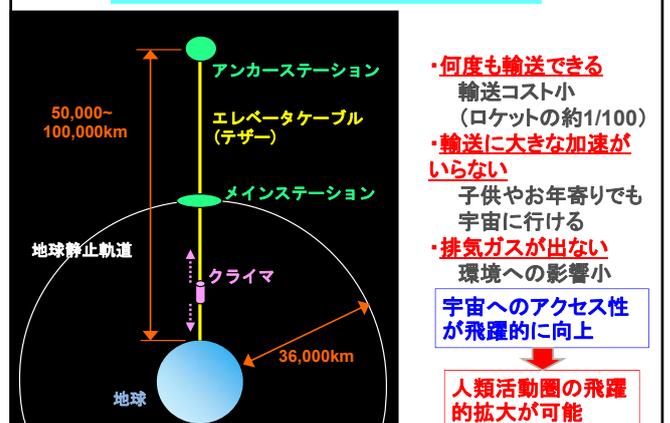
宇宙エレベーター建設シナリオ



宇宙エレベーターの規模



宇宙エレベーターの利点



宇宙エレベータによる地球圏外輸送

- 静止軌道より上空ではエレベータ上での速度は、その高度を飛行するのに必要な速度より大きくなる(エネルギー大)

→ 荷物を切り離すと遠くへ輸送できる

<例>

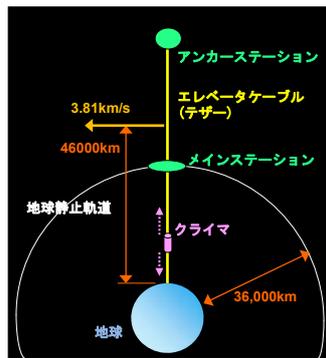
高度46000km:

エレベータ上の速度; 3.81km/s

必要な軌道上速度; 2.76km/s

その軌道を維持するのに必要な速度より約1km/s大きい

↓
月への輸送に必要な速度

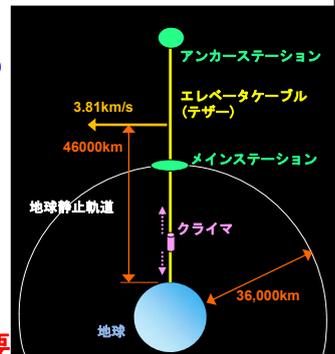


宇宙エレベータの課題

今は研究段階。実現はまだまだ先

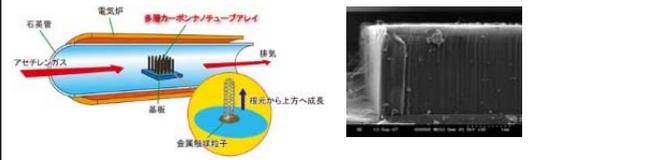
- 軽量強度テザーの開発
- テザーの動的安定
- 摩擦の少ない昇降機(クライマ)の開発
- クライマの安定制御
- エネルギー供給方法
- 地上へのアンカー方法
- 強風対策
- 宇宙ゴミ(宇宙デブリ)対策
- 放射線対策
- 雷・雨対策

各種技術は宇宙実証必要

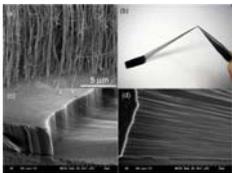


テザー(ケーブル)材の研究(CNT)

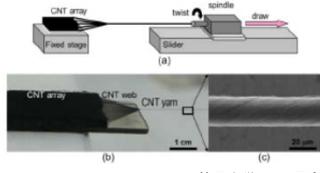
宇宙エレベーターケーブル要求引張強度: 50~60GPa CNT理論強度120GPa



CVD(化学気相堆積法)技術: 0.1mm/minで2mm以上のCNT成長

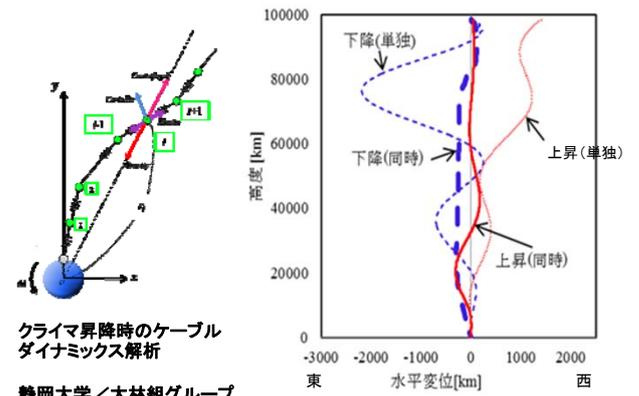


乾式紡績(ドライスピニング)



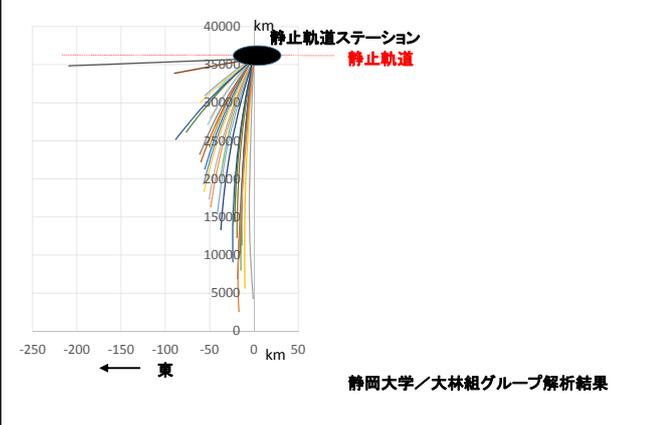
静岡大学/井上研究室

テザー(ケーブル)ダイナミクス



クライマ昇降時のケーブルダイナミクス解析
静岡大学/大林組グループ

宇宙でのテザー(ケーブル)伸展の様子



静岡大学/大林組グループ解析結果

宇宙エレベーターの競技会

地上でのクライマ技術開発・実証



第4回宇宙エレベーター技術競技会(2012年)
のようす(静大クライマ)



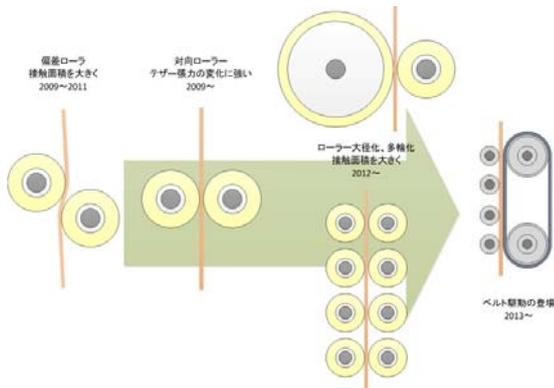
2011年競技会
チームアクエリアスのクライマ
(高度600mの昇降で速度14m/秒達成)

2014年宇宙エレベーターチャレンジ
開催日: 8月6日~9日
場所: 静岡県富士宮市大沢扇状地

世界記録!

2014年競技会
チーム奥山のクライマ高度1100mの昇降

宇宙エレベータークライマ設計



STARS-C (Space Tethered Autonomous Robotic Satellite-Cube)

テザー伸展に焦点を絞った軌道上実験

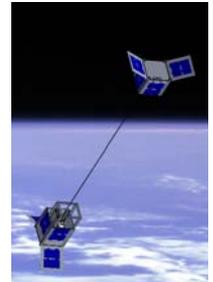
CubeSat (10cm x 10cm x 20cm) による100mテザー伸展

技術目的

- 宇宙テザーの展開・制御技術の検証
- 宇宙でのテザー挙動のデータ取得
- 宇宙環境の把握 (将来テザー衛星の地上試験)

体制目的

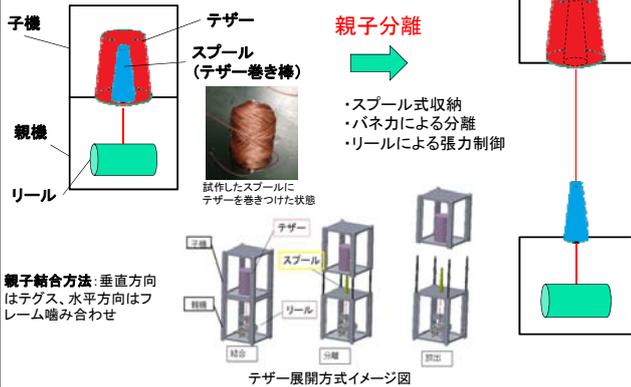
- 研究室 (複数参加) での衛星開発技術の習得
- 大学内の技術発展・連携体制
- 地元企業、提携企業との連携強化



STARS-Cイメージ図

2014年9月、国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟から放出衛星選定、2016年打ち上げ予定

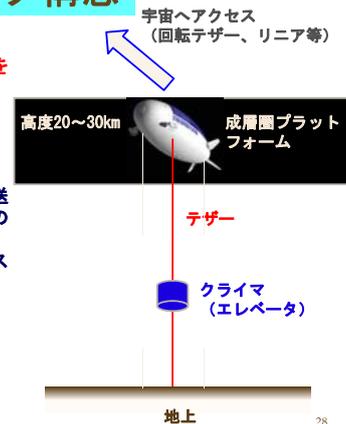
テザー部の構造と伸展機構



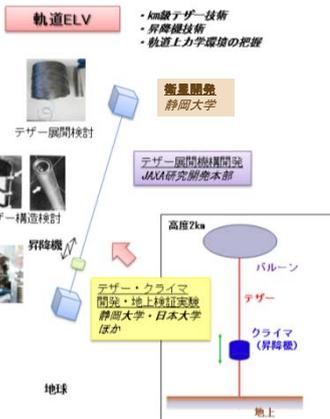
成層圏エレベータ構想

<成層圏プラットフォームと地上を結ぶエレベータの構築>

- ・軌道エレベータ技術の実証 (現在の技術・材料で比較的 low cost で構築可能)
- ・高電波強度・広範囲の通信・放送サービス、観測・監視システムの提供
- ・プラットフォームのメンテナンスが容易
- ・宇宙への low cost アクセスの中継基地
- ・宇宙への入口の展望台の提供 (観光)



軌道上でのエレベータ昇降の検証



まとめ

- ・宇宙エレベーターは技術の発展により空想の世界から現実のものになりつつある
- ・宇宙エレベーター実現には、まだ、多くの技術課題の克服が必要
- ・宇宙エレベーター技術は宇宙で実証する必要がある