

**ISM-SC(Interesting Space Mission-Spacecraft)**  
RFID タグを用いたグローバル広告システムの提案

東京都市大学 工学部 機械システム工学科 宇宙システム研究室  
小林久鷹・中山真敏・江藤智哉・加藤千智・平本成実

## 1 序論

宇宙開発には多額の費用が必要であり、JAXA においては費用の 80%が国民の税金から成り立っている [1]. ゆえに国民の理解と協力が欠かせず、広く一般に、宇宙に対して興味・関心を持ってもらうために、広報活動が重要な役割を担う。一例として現在、渋谷や新宿などに設置されている大型街頭ビジョンにて JAXA の映像広告が放映されている。この広告は繁華街で放映されるため、多くの人々の目に映ることは明白であるが、視聴地域が限定的になってしまう。また、人々に対してより大きな影響力を持つ広報活動の一つに、宇宙飛行士による講演が挙げられるが、宇宙飛行士は訓練やミッションのためにスケジュール調整が難しく、頻繁に行うことができない [2]. そのため、視聴地域が限定されず、スケジュールに依らない広報活動を考案することが重要である。

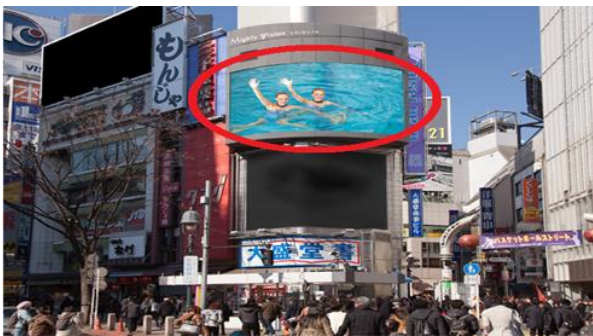


図 1.1 街頭ビジョン マイティビジョン渋谷

## 2 ミッション

### 2.1 ミッション定義

一般の人々が利用可能な宇宙関連の施設は、プラネタリウムや科学館等が挙げられる。これらを宇宙の広報施設として考えると、アクセスが容易であることが望まれる。だがしかし、近年では、丸の内に設置された情報センター JAXA i やプラネタリウムの相次ぐ閉館など、広く一般に宇宙の存在を知らせる施設は減少傾向にあり [3], 宇宙に対する関心のない人にとって宇宙はよりさらに遠い存在となっている。そこで、本ミッションは、日頃宇宙に対する関心を持たない人も対象とし、より多くの人に宇宙技術または宇宙機システムを身近に感じさせ、興味を持ってもらうことを目的とする。これを Interesting Space Mission (ISM) として提案する。

### 2.2 ミッション達成方法

#### 2.2.1 電子タグを用いた小型デバイス

ISM では、宇宙にある人工衛星から発せられた信号を小型受信デバイスが直接受信し、そのデータを電子ペーパー等のモバイルデバイスを用いて間接的、あるいは直接的に対象者に確認させる。このことで対象者に宇宙技術が身近に存在することを認識させ、宇宙技術に興味を持たせる。本提案では、人工衛星から発せられる信号受信に小型の UHF 帯電子タグを取り付けたデバイスを用いる。このデバイスは、以下の 3 つの利点を持つ。

まず、1 つ目の利点は、電子タグは無線通信を行うことができ、GPS 等、受信機の中でも安価で小型という点である。ゆえに、低コストで、日常的な持ち運びが容易となる。また小型デバイスに安価な RFID タグと電子ペーパーを用いることで簡易情報受信デバイスを安価にすることが出来る。本ミッションではこれらの利点を生かし、一定量以上流通している商品の付録として受信デバイスを配布する。数多く流通している商品の付録とすることで、街頭配布よりも受信デバイスを手に取ってもらうことが期待出来る。UHF 帯電子タグの主要諸元を表 2.1 に示す。

表 2.1 UHF 帯電子タグの諸元表

項目	
長さ [mm]	55
幅 [mm]	15
厚さ [mm]	0.2
重さ [g]	1

2 つ目の利点として、衛星の持つ広域性、即時性、同報性を利用し、グローバルでローカルな通信システムが同時に構築可能という点である。図 2.1 に本ミッションの軌道の一例として、軌道計算ソフト STK を用いて求めた、2012 年 7 月 13 日 00:00:00~2012 年 7 月 13 日 23:59:59 における ISS の軌道を示す [6]. ISM では、受信デバイスに対する信号の発信元として国際宇宙ステーション (ISS) を選定した。これは、ISS が国際的な平和利用の場として、国家間の協力の下遂行されるプロジェクトであり、その存在が最も世界中に認識されているためである。現在、渋谷や新宿などに設置されている大型ビジョンを利用した宇宙技術に関する宣伝広告を繁華街で放映しているが、通行人数に限りがあるため視聴人数の拡大を望むことは難しい。

よってこれらの広告システムの宣伝効果が期待される地域は限定的となってしまふ。対して本ミッションで使用するシステムは、通信モジュールを ISS に取り付けることによって、ニーズあるいは効果が見込めるエリアを移動させ、図 2.1 に示すような世界中で宣伝効果が得られる。また本モジュールは低軌道を周回することにより、ビーム直径が狭くなる。このことから情報を配信するエリアにピンポイントで通信できるため、グローバルかつローカルな通信システムを構築できる。

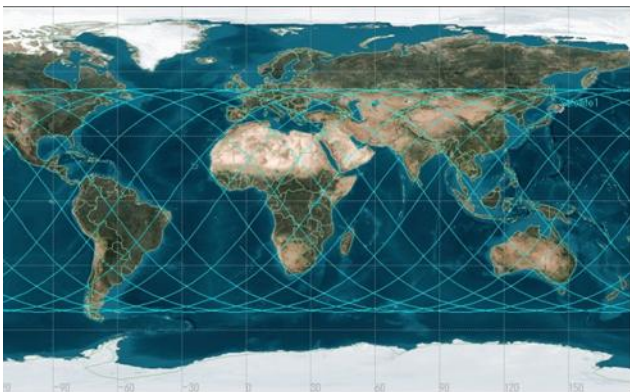


図 2.1 ISS の通過軌道

最後に、3 つ目の利点としてこのシステムを用いることによって宇宙技術に興味を持ってもらうことが出来、宇宙機システムがより身近に存在することを実感できるという点である。この通信システムは ISS が通過した際の地球の写真や宇宙飛行士の声などの情報を本モジュールにより受信デバイスに送信する。この ISS から得た情報は QR コードに変換し、受信デバイスの電子ペーパーに表示させる。この QR コードを受信者が読み取り、宇宙から撮影した写真を見たり、宇宙飛行士の音声を聞いたりすることが出来る。また QR コードに相当するメッセージも送信可能であり、限定されたエリアに商店街広告などの地域性のあるメッセージを送信するも可能である。このことにより、宇宙に関心のない人々に情報をプッシュ型で伝達させることで宇宙技術に対する感動、興味を持たせる機会を与えることが出来る。



図 2.2 RFID タグへの信号送信イメージ

## 2.2.2 ISM-SC(Interesting Space Mission-Space Craft)

ISM を実現するため、システムを ISS のロボットアームに把持させ、曝露部に取り付ける。このシステムは大型展開アンテナ、太陽電池パドル、バス機器からなる系である。このシステムの系を ISM-SC と定義する。ISM-SC は H-II Transfer Vehicle(HTV)に搬送させる。ミッションに必要な電力は ISS から供給するのではなく ISM-SC 自体が供給しミッションを行う。すなわち、本システムに姿勢制御等の他のサブシステムを追加することで自律した衛星システムとすることが本アイデアの延長にあると言える。すなわち、小型衛星による実用システムの検証を事前に行うことができる。

## 3 システム設計

### 3.1 通信系

本ミッションで行われる通信はアンテナからタグへのサービスリンクのみである。

#### 3.1.1 通信容量

本ミッションのサンプリング周期は 2.45[GHz]である。通信データ容量は 121[bit]と見積もる。ISS の通信距離を 400[km]と想定した。通信容量は 725.5[kbps]である。

#### 3.1.2 大型アンテナ仕様

本ミッションを実現するために必要な送信アンテナの要求性能を表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1 アンテナ要求性能

項目	数値
円形パラボナ[°]	72
開口径[m]	5.5
ビーム幅[°]	1.6
ビーム直径[m]	1.6.E+04

### 3.1.3 回線設計

アンテナとタグ間の回線設計結果を表 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 回線設計表

項目	数値
周波数	[MHz] 2450
通信最大距離	[km] 400
送信機出力	[dBm] 40
送信アンテナ利得	[dB] 39.9
等価等方放射電力	[dBW] 49.9
自由空間損失	[dB] 153.3
受信G/T	[dB/K] -21.5
受信アンテナ利得	[dBi] -5
受信C/No	[dBHz] 100.3
要求C/No	[dBHz] 43
回線マージン	[dBHz] 57.3

### 3.1.4 装置構成

宇宙からの信号は RFID により受信を行う。今回のミッションではセミパッシブタグというデータを受信するまでは電源をオフの状態に維持し、受信したと同時にタグからデータを送信する。また、電池が内蔵されており、送受信の際のエネルギー源はこの電源を使用する。このタグの送信信号を電子ペーパーに送ることでミッションデータを表示させる。また電子ペーパーには低利得の受信アンテナを搭載する。

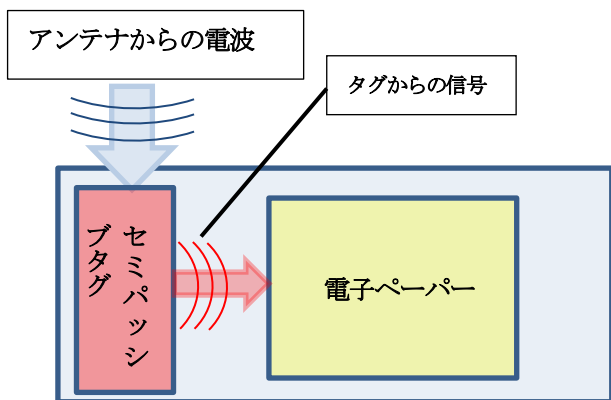


図 3.1.1 装置の構成図

### 3.1.5 受信機性能

本ミッションはセミパッシブタグの性質を用いる。セミパッシブタグは送受信機能を備えている RFID タグの一種である。このタグの特徴として、データを受信するまでは電源をオフの状態に維持し、受信したと同時にタグからデータを送信する。また、電池が内蔵されており、送受信の際のエネルギー源はこの電源を使用する。タグの諸元表を表 3.1.3 に示す。

表 3.1.3 タグの受信性能

項目	
変調方式	QPSK
通信周波数[GHz]	2.45
通信速度[kbps]	725.5
ビットレート[bit]	121
受信電力[dBm]	-78.4
受信感度[dBm]	-85以下

### 3.1.6 混信評価

本ミッションは RFID の規定に従い周波数を 2.45GHz としミッションを行う。だがしかし、この周波数を宇宙で使用する場合には日本アマチュア無線連盟との調整が必要である。2.45GHz は地上では ISM バンドとして利用されている。ISM バンドとは産業、科学、医療の分野で使われている周波数帯である。wi-fi などの無線機器、Bluetooth にも使われている。2.4GHz は水分子の共振周波数であるため電子レンジの周波数でもある。これらの機器との共用性は必須であるため干渉評価を行う。まず、RFID の受信性能に

についての考察を行う。RFID を街中に持ち歩くことを想定する。RFID から 5m の位置に wi-fi 機器が設置されている。wi-fi の送信電力を 10mW, 送信利得を 0dBm と仮定する。この電波が RFID により受信すると受信電力は -49.2dBm の値をとる。宇宙からの信号による受信電力は -78.4dBm となるため混信を起こす可能性が高くなってしまう。また、宇宙のアンテナからの信号によりその他の受信機器が混信を起こす可能性もある。これの対策は送信電力を下げることにあるが RFID の受信性能、回線マージンなどを考慮すると下げることができない。そこで、狭帯域フィルタは高い選択度を必要とする。

## 3.2 アンテナ構造

### 3.2.1 アンテナの構成

本システムで使用する送信用アンテナの構成について記す。システムの送信用アンテナは、開口径を 5.5[m]としたカセグレンアンテナとする。一方で、ロケットの打ち上げ制約条件から、ロケットのフェアリング内に収まる大きさにしなければならないため、送信用アンテナには大型展開構造を採用する。アンテナ反射鏡面の構成方法はケーブルトラス構造を用いるため、ケーブルトラス構造の構成には張力を与える外殻構造が必要となる。そのため、本アンテナの展開構造には Gantes Dome と呼ばれる半球殻状に近似された外殻構造を用いる。また、Gantes Dome 構造の材料には軽量かつ高靱性な材料が必要であるため、本展開構造には CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)を用いる。

### 3.2.2 Gantes Dome

Gantes Dome とは、飛び移り座屈(Snap-through 現象)を用いて展開後のドーム型形状を安定させるシザーズ構造を持つ展開構造物である。図 3.2.1 に Gantes Dome の形状を示す。左図が収納時、右図が展開時の形状である。

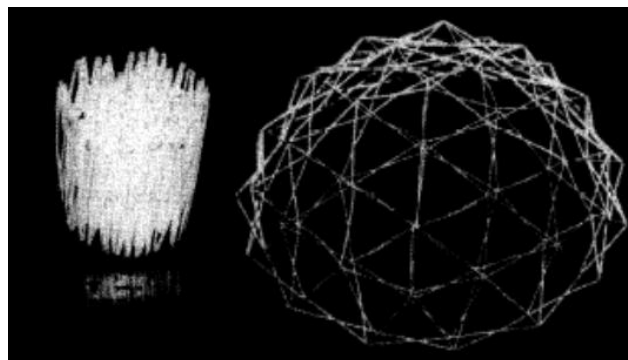


図 3.2.1 Gantes Dome[7]

Gantes Dome の展開の際に発生する飛び移り座屈(Snap-through 現象)とは、一定の弾性力を持つ部材に力を与え続けると、ある地点を境に急激に形状が変化し、変化後の形状で部材の構造が安定する現象である。ま

た、構造全体がシザーズ構造で構成されているため、一点にかけられた力が構造全体に伝播する性質を持っている。

### 3.2.3 ケーブルトラス構造

本アンテナの反射鏡面構成法であるケーブルトラス構造について説明する。ケーブルトラス構造はサーフェイス・ケーブルネットワークとタイ・ケーブルネットワークの2種類のケーブルネットワークで構成されている。サーフェイス・ケーブルネットワークは三角形要素でケーブルを張り、金属メッシュを張ることで反射鏡面を形成するものである。また、タイ・ケーブルネットワークはケーブルを張り、張力を与えることで反射鏡面に曲率を形成するものである。

### 3.2.4 展開方法

収納されている Gantes Dome の構造展開は、展開に必要な力がシザーズ構造により全体に伝播する性質を利用し、5 点に設置されたリードスクリューと AC モータによって展開を行う。リードスクリューを用いた理由としては、Gantes Dome は展開の際の飛び移り座屈により急激な形状変化による衝撃が発生するため、本アンテナではリードスクリューを用いることで一定の力を与え続ける方法を取ることで展開時の衝撃を緩和する目的がある。また、展開後にリードスクリューが本体と干渉することを防ぐために設置位置は Gantes Dome の中心部から最も離れた外枠付近におけるシザーズ構造が密集している地点とした。

図 3.2.2 に本アンテナの展開方法、図 3.2.3 に本アンテナの断面構造図と導波管設置図を示す。図 3.2.2、図 3.2.3 において、青色が Gantes 構造、赤色が反射鏡、緑色が送信機、黄色がリードスクリューを示す。

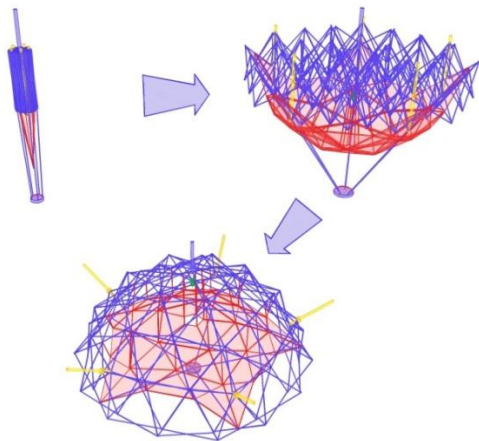


図 3.2.2 アンテナ展開方法

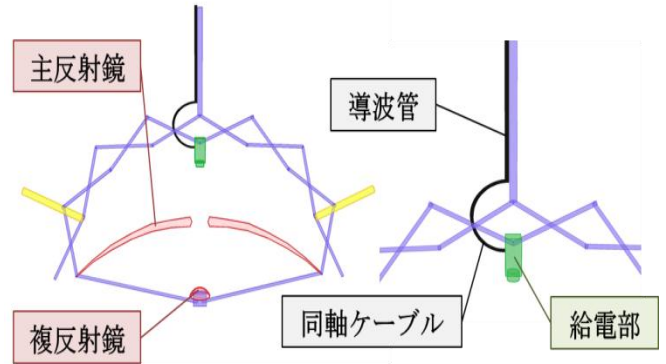


図 3.2.3 アンテナ断面構造図

リードスクリューについては、コードを本体とアンテナ構造部を繋げている部材内に通すことで電力を供給する。また、本アンテナの送信機の位置は図 3.2.3 のように衛星本体から分離した形になるため、導波管の位置は図 3.2.3 の黒線のような形をとり、Gantes Dome の展開に合わせて変形する部分には同軸ケーブルを用いる。表 3.2.1 に本アンテナの各寸法を記す。

表 3.2.1 アンテナ寸法

項目	単位	値	
収納時	直径	m	0.3
	高さ	m	1.1
展開時	直径	m	5.6
	高さ	m	2.4
重量	kg	20.2	

### 3.2.5 ISM-SC 全体図

図 3.2.4 に ISS の曝露部への接続図を示す。また図 3.2.5 にアンテナ展開後のイメージ図を示す。将来的に ISS との分離を行うことも、視野に入れイメージ図を作成した。

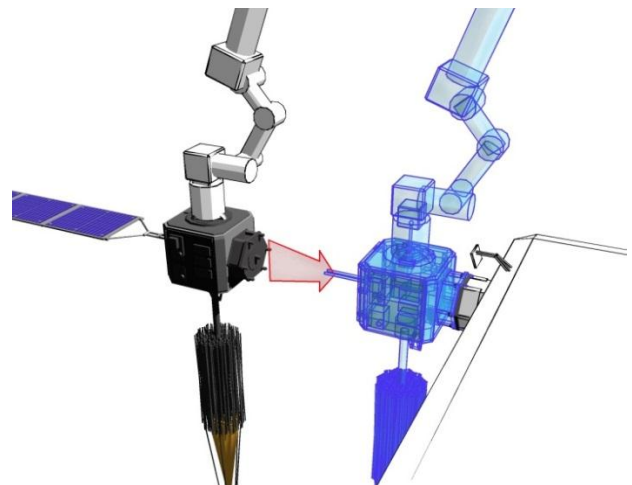


図 3.2.4 ISS の曝露部への接続図

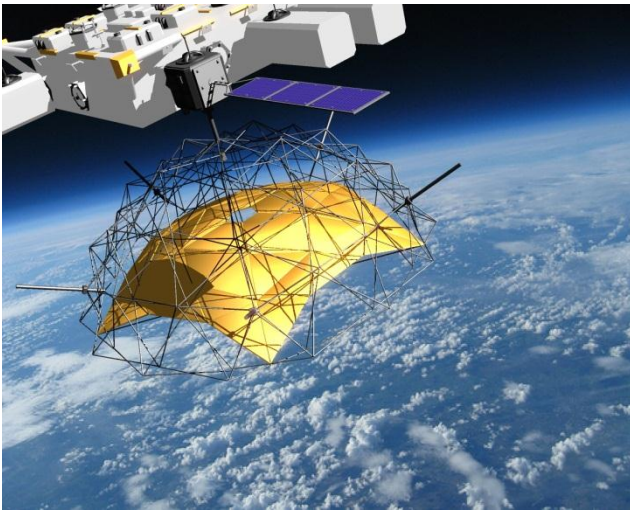


図 3.2.5 アンテナ展開後イメージ図

### 3.3 軌道設計

#### 3.3.1 軌道要求

本ミッションでは、ISM-SC は ISS のロボットアームに把持させるため、ISS と同じ軌道上で運用される。この軌道諸元を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 ISS の軌道諸元 [7]

項目	
軌道半径 $a$ [km]	6712.042
離心率 $e$	0.001253
軌道傾斜角 $i$ [deg]	51.571
昇交点赤経 $\Omega$ [deg]	354.4452
近地点引数 $\omega$ [deg]	327.7834
ISS 最低軌道	333.9
周期 $T$ [min]	91.209

### 4 結論

本論では、RFID を用いて、従来の広報活動を発展させ、宇宙技術の身近さを認識させることを目的としたミッションを提案した。電子ペーパーに QR コードとして画像、情報を載せることで手軽により詳細な情報の確認が可能となる。今回考案した装置は商品の付録として取り付けることで宇宙に関心のない人にも手を付けられるようにした。画像だけではなく QR コードに相当するメッセージも送信可能であり、限定されたエリアに地域性のあるメッセージを送信するシステムに発展させることも可能である。(商店街の特売情報など) また、この受信システムは受信機に取り付ける装置を換える等によって、ある程度の汎用性を持たせることができる。例えば、大掛かりなイルミネーションの設置、あるいは噴水による水の噴出等が挙げられる。このように表現方法を変えることで、宇宙技術は街を彩る都市デザインに応用させうる可能性を持つ。あるいは、発信させる人工衛星の種類を増やし、受信デバイスにその詳細な情報や画像を送るという装置を設け

れば、宇宙に関心を持たせるような教育プログラムを作り上げることも可能である。また、将来的には ISS と分離を行い、任意の軌道を周回することを想定している。具体的なミッションとしては、各々の通信ミッションに対応した軌道を周回しタグと通信を行う。現在、都市部の発達に伴い地方部の人口流出が進んでおり、人口流出の歯止めには地方経済の活性化が必要である。そこで、地元 PR 広告の発信方法として、受信デバイスに簡易的な音声再生機能や、表示機能を付属させる。この受信デバイスを使用することにより、広告をタグから流し、地方や地域商店街の活性化を図ることが出来る。また、近年大型地震によって被災した地域はいまだ復興作業が十分に行われておらず、さらなる復興努力が必要である。こういった被災地の状況、さらなる復興資金の調達などに広告システムが必要である。よって被災地復興 PR に今回提案した広告システムを利用できる。このように、将来的にさまざまな広告システムとしての利用が期待できる。

このように、技術の発展は、宇宙技術をより日常へと応用しうる可能性を持つ。近い将来、この受信システムが多くの人々の手に渡ることで、宇宙が人々にとってより身近な存在となる事を願う。

RFID-宇宙間の通信には大きな課題がある。まず、RFID に関しての使用周波数は 950MHz, 2.45GHz が使用可能であるが両方宇宙での使用は不可能である。2.45GHz のみ調整次第で可能だがこの周波数帯は ISM バンドであるため産業、科学、医療の分野で使用されている。また、水分子の共振周波数のため電子レンジに使用されている。つまり、混信は覚悟の上この周波数を使用しなければならない。解決のためには新たな周波数帯域の設定が必要である。そのほかにも容量のあるデータを地上部に送信するには通信速度の高度化が必要である。現時点での通信は大変困難を極める状況であるが将来、衛星-RFID 間の周波数帯が設けられ、宇宙通信用の RFID の開発が行われることを希望する。また、本ミッションは宇宙に興味を持たせる目的で RFID を利用したが、これを用いた生活をより便利にさせるアイデアが生まれる可能性は大きい。RFID の宇宙利用が来ることを大いに願う。

### 参考文献

- [1] 宇宙研究開発機構 事業計画。  
<http://www.jaxa.jp/about/plan/>(参照:2012-07-02)
- [2] 宇宙航空研究開発機構 職員/宇宙飛行士の講演。  
[http://www.jaxa.jp/pr/lecture/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/pr/lecture/index_j.html)  
(参照:2012-07-02)
- [3] 江頭満, 正戎崎俊. プラネタリウムにおける利用者減少要因と対策に関する研究. 2007, 第 5 巻, 2 号, pp41-52.
- [4] 富士通フロンテック Web ページ。  
<http://www.frontech.fujitsu.com/> (参照:2012-07-02)
- [5] スタジオアルタ Web ページ。

<http://www.studio-alta.co.jp/> (参照:2012-07-02)

- [6] Analytical Graphics, Inc.  
<http://www.agi.com/products/by-product-type/applications/stk/> (参照 2012-06-26)
- [7] C.GantesJ.J.Connor. R.D.Logcher.“COMBINING NUMERIC ALANALYSIS AND ENGINEERING JUDGMENT TO DESIGN DEPLOYABLE STRUCTURES” Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.1991.
- [8] 狼嘉彰・富田信之・中須賀真一・松永三郎共著.  
“宇宙ステーション入門第2版”東京大学出版会.  
2008年, P102, P103, P118, P121, P129.
- [9] 茂原正道, 鳥山芳夫共著. “衛星設計入門”初版,  
培風館, 2002年, P329.