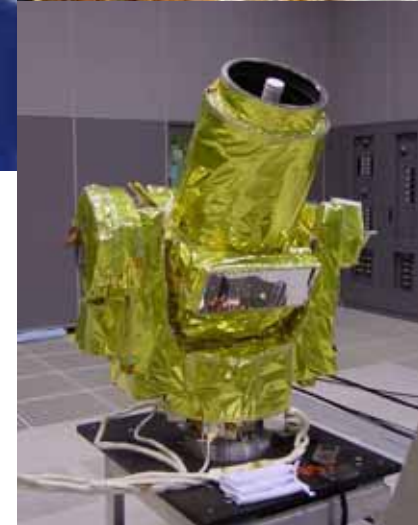


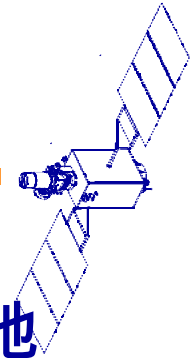
光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)の 定常段階終了及び後期利用段階への移行について



平成18年11月1日
宇宙航空研究開発機構
宇宙利用推進本部
堀川 康
荒井 功恵



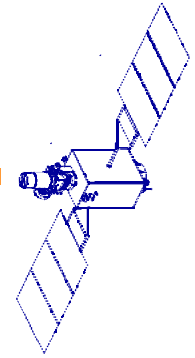
「きらり」経緯



- 平成17年8月24日(日本時間)、バイコヌール宇宙基地からDneprロケットにより打上げ。
- 平成17年12月9日に欧州宇宙機関(ESA)の先端型データ中継技術衛星(ARTEMIS)との双方向光衛星間通信実験に成功。
- 平成17年12月16日より定常段階に移行し、ミッション期間として予定していた約一年間にわたりARTEMISとの双方向光衛星間通信実験、情報通信研究機構(NICT)及びドイツ航空宇宙センター(DLR)の光地上局との光通信実験を実施。
- 平成18年10月16日定常段階終了審査会を実施し、後期利用段階へ移行。



「きらり」実験運用結果概要(1/2)



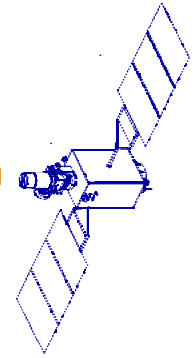
(1) ARTEMIS との光衛星間通信実験結果

- 平成17年12月から平成18年8月までの約9ヶ月に渡ってARTEMISとの実験を行い、合計100回の光衛星間通信実験に成功(105回試行)した。
- 実験開始当初(12月9日)に世界初の双方向光衛星間通信実験に成功し、光通信回線確立に必要な一連の捕捉・追尾・指向技術の軌道上実証を達成した。
- 実験期間を通じて、送信レーザー光の光学特性評価、限界性能評価等の実験及び同一条件下での繰り返し実験等を行った。
- 実験結果より、電波同様に安定した光通信が可能であると共に、通信回線のビット誤り率が衛星通信回線の指標である 10^{-6} 以下となる結果が得られ、回線品質が良好であることを実証した。

ビット誤り率 10^{-6} ：データ中の誤り発生率が百万ビットのデータ中1ビットであること。



「きらり」実験運用結果概要(2/2)



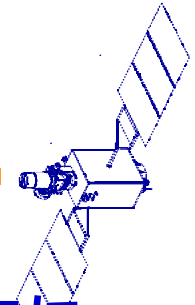
(2) 光地上局との光通信実験結果

- 東京都内に設置された情報通信研究機構(NICT)の光地上局との実験を平成18年3月、5月及び9月に実施し、世界初の低高度周回衛星と地上局間の光通信実験に成功した。
- また、平成18年6月にはドイツ国内に設置されたドイツ航空宇宙センター(DLR)の可搬型光地上局との光通信実験に成功した。
- 両実験実施合計26回に対し、16回の光通信実験に成功、晴天時の成功率は100%であった。
- また、回線品質においてもアップリンク・ダウンリンク共にビット誤り率が 10^{-5} を達成する結果を得ることができ、衛星 地上間の光通信の可能性を示す成果が得られた。

ビット誤り率 10^{-5} : データ中の誤り発生率が十万ビットのデータ中1ビットであること。



まとめ及び今後の予定



- ➡ 定常段階の光通信実験により、当初予定していた期間中に「エクストラサクセス」を達成した(参考資料-5参照)。
- ➡ 将来の宇宙大容量通信を可能とする、光通信に必須な技術である高精度な捕捉・追尾・指向技術を習得した。
- ➡ 我が国独自に開発した「きらり」の軌道上実験によって、光衛星間通信の実現性を示すことができた。
- ➡ 光地上局との実験により、学術的なデータ取得に加え、光通信の可能性を示す成果が得られた。
- ➡ 今後実験データの詳細解析を行い、将来の光衛星間通信の開発に反映して行く。
- ➡ 後期利用段階の運用として、バス機器(ホイール等)及び一部のミッション機器の寿命評価のためのトレンドデータ取得を継続して行う予定。



「きらり」の目的・概要

参考資料-1

「きらり」は、欧州宇宙機関（ESA）との国際協力によりESAの先端型データ中継技術衛星（ARTEMIS）との間でレーザー光を用いた光衛星間通信実験を実施し、光学系によるレーザー光の捕捉追尾技術の修得、光半導体デバイス及び光学系技術の宇宙実証の実施、将来の光衛星間通信における国際相互運用に関する技術の修得を目的とした衛星である。

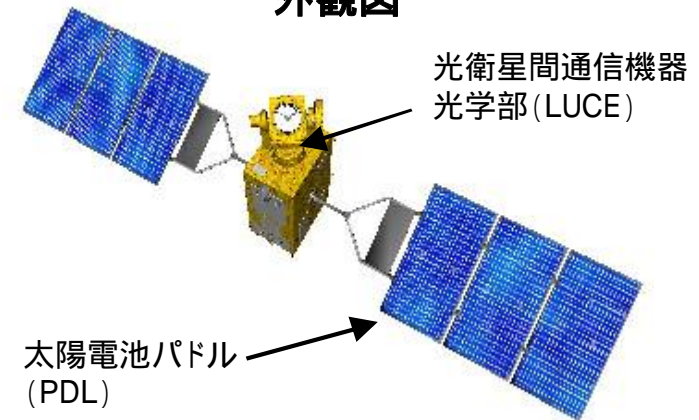
光通信の特徴

- ・小型・軽量
- ・大容量通信
- ・干渉少
- ・秘匿性

主要諸元

寸法	衛星本体 0.78m × 1.1m × 1.5m (高さ) 光アンテナを含む全高 2.93m 太陽電池パドルを含む全長 9.36m
質量	打上げ時 約570kg
軌道	円軌道 (高度: 610 ~ 550km、 軌道傾斜角: 約97.8度)
寿命	1年

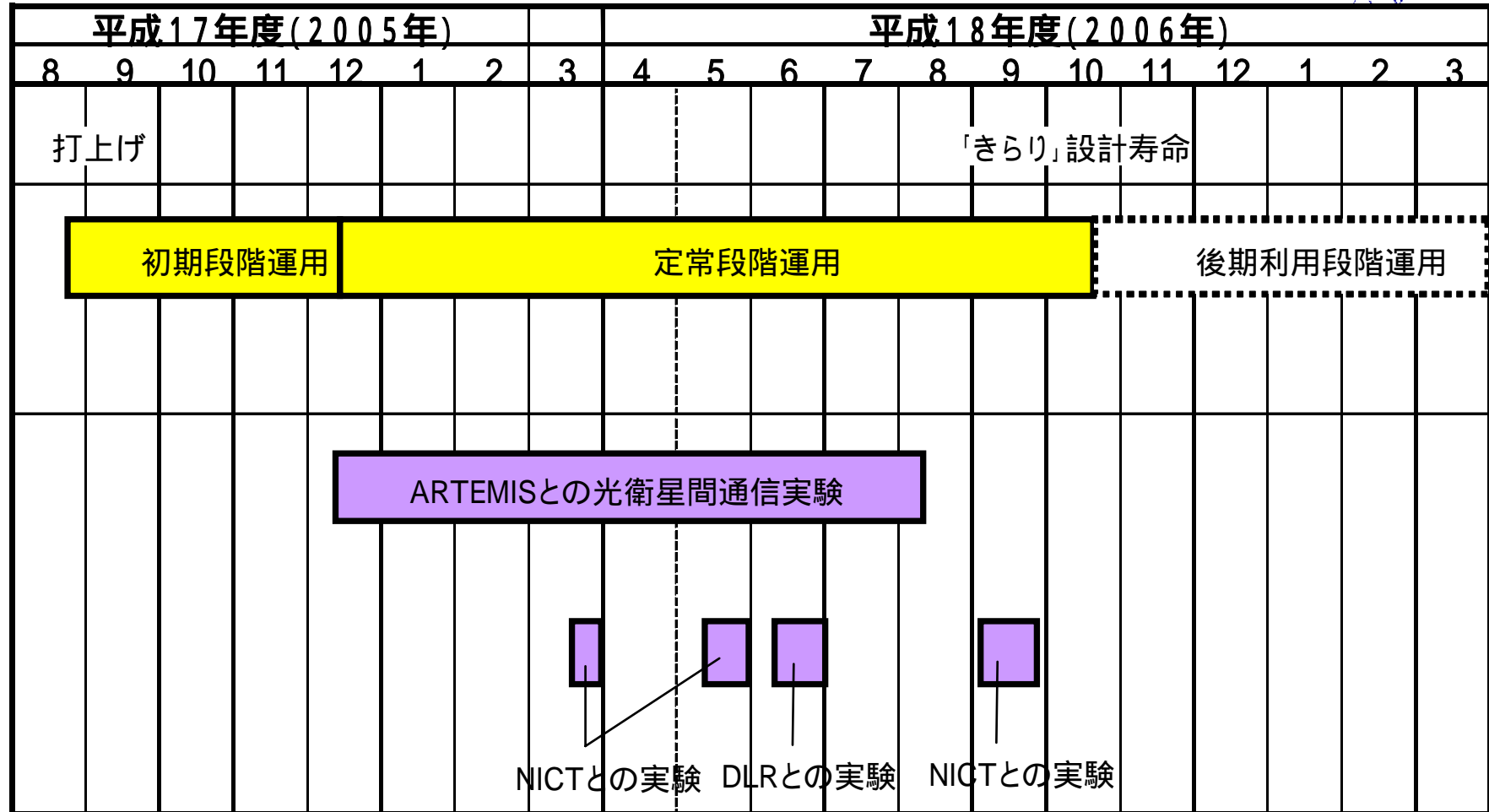
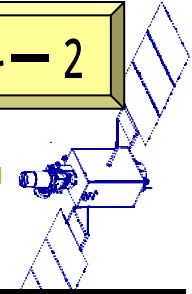
外観図





「きらり」実験運用経過

参考資料-2

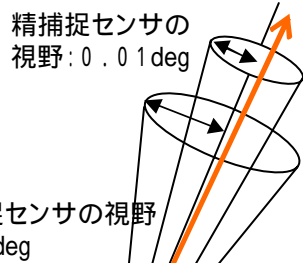




ARTEMISとの実験結果(1) (捕捉・追尾の状況)

参考資料-3 (1 / 4)

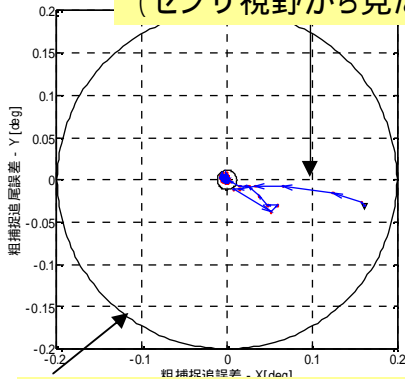
± 0.00006度 (1マイクロラジアン)



光行差を補正したレーザー光

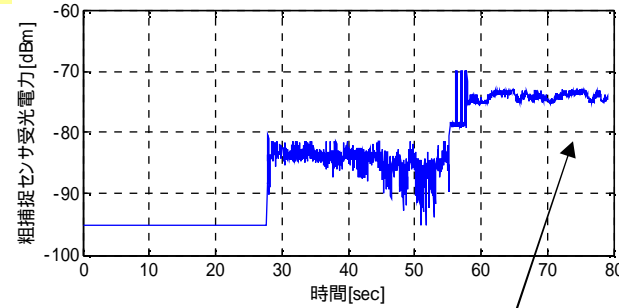
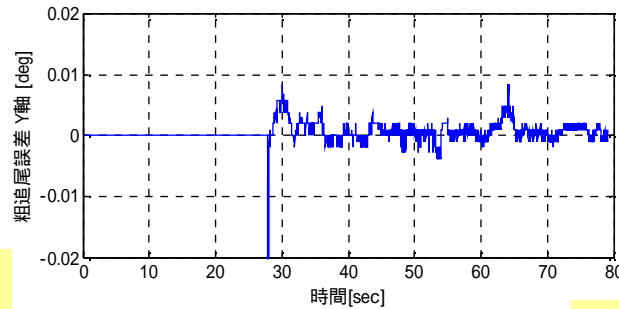
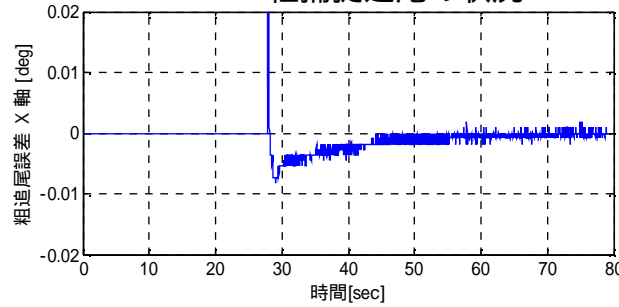


捕捉 追尾の状況
(センサ視野から見た場合)

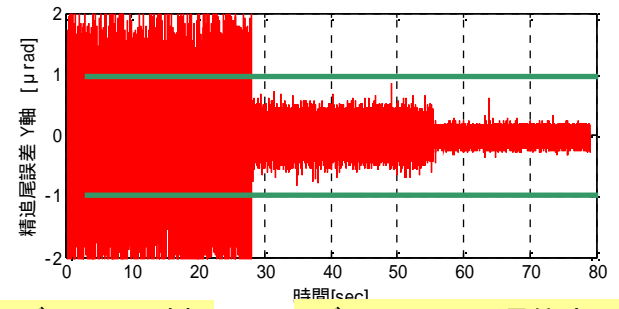
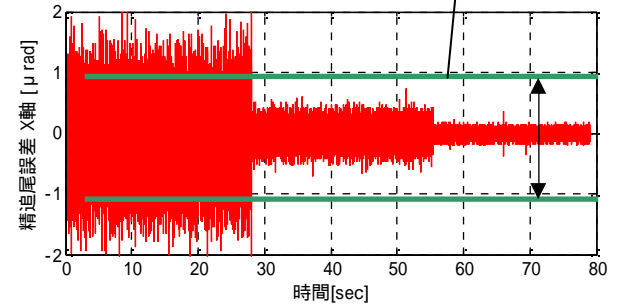


粗捕捉センサーの視野(中心から0.2度)

粗捕捉追尾の状況

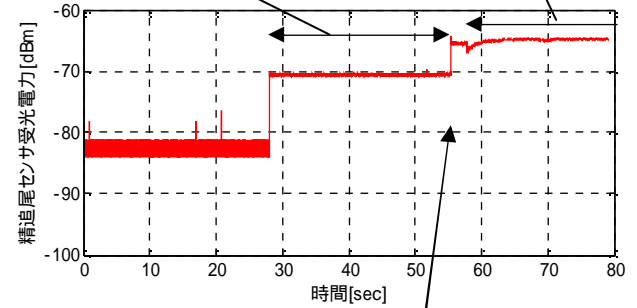


精捕捉追尾の状況



ARTEMISビーコン照射

ビーコンオフ・通信光のみ

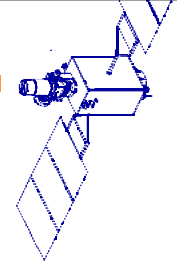


アルテミス・「きらり」双方の追尾・指向精度が良くなり安定状態に入っていく様子



ARTEMISとの実験結果(2) 送信光ビーム補正

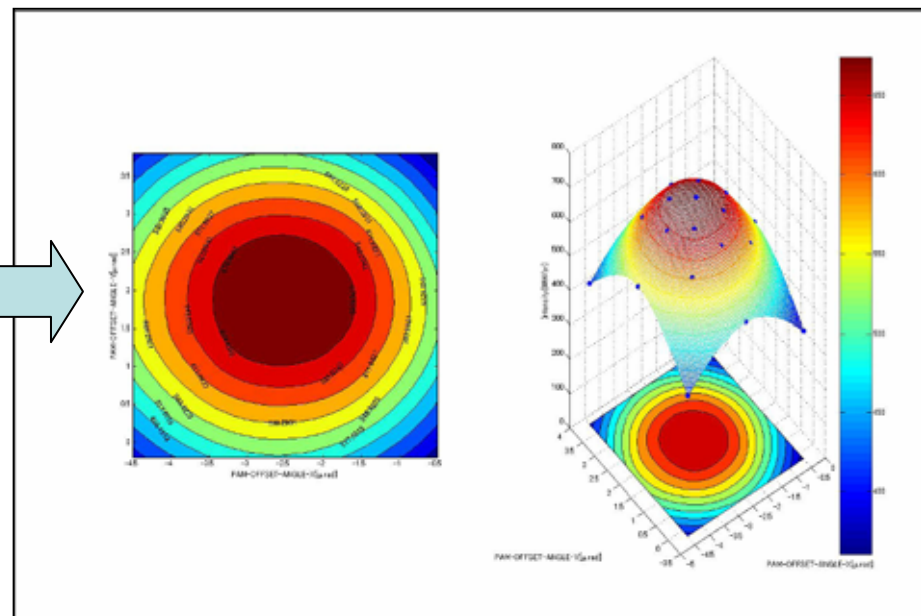
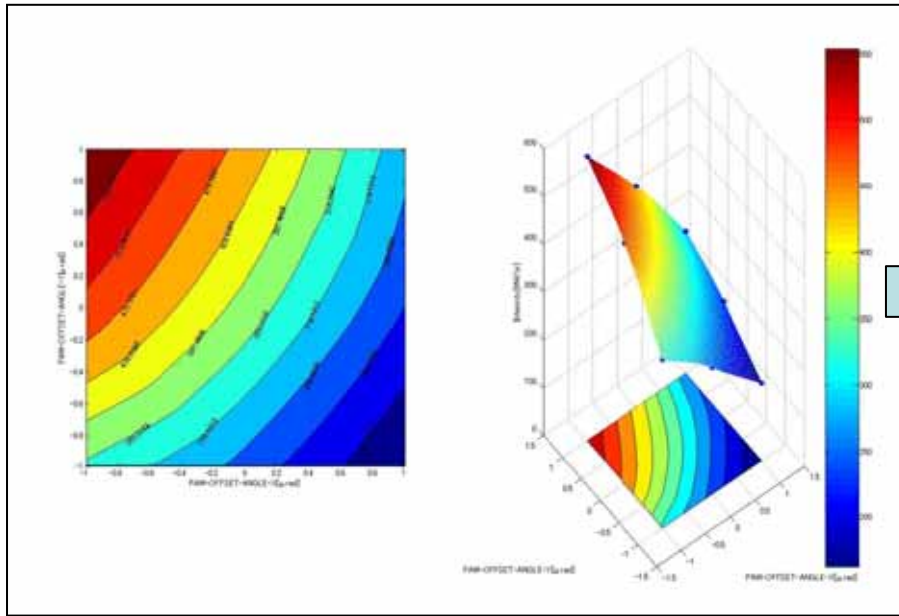
参考資料-3 (2 / 4)



送信方向角度補正前

角度補正後

レーザー光の最も光が強い部分が当たっていない



12月19日測定

1月26日測定

「きらり」の送信光ビームを軌道上で連続的にオフセットさせることにより、レーザーの放射強度分布を測定することができた。その結果バイアス的な「ずれ」を推測、補正することに成功した。

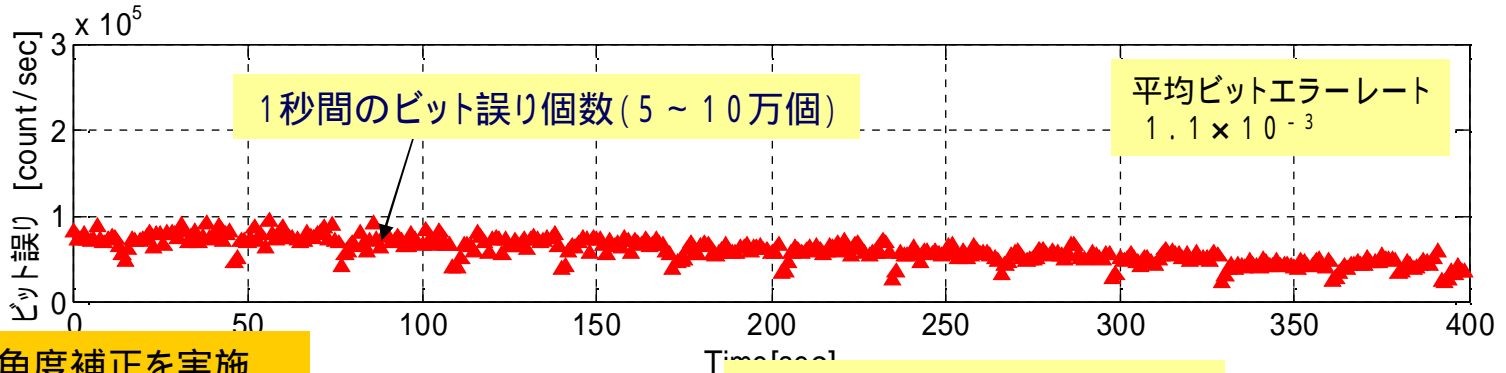


ARTEMISとの実験結果(3) 通信ビット誤りの向上と性能維持

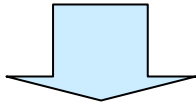
参考資料-3 (3 / 4)



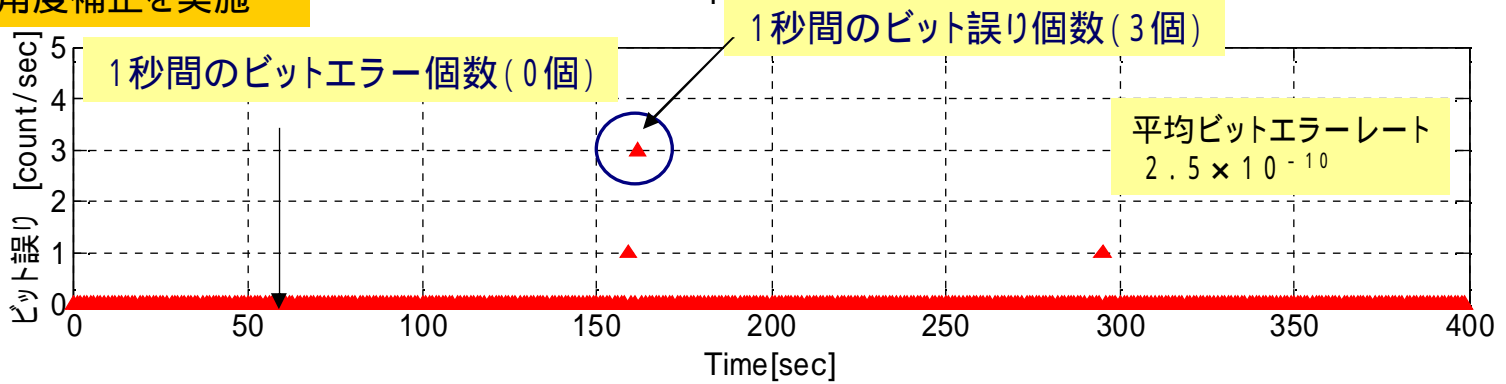
2005年12月9日



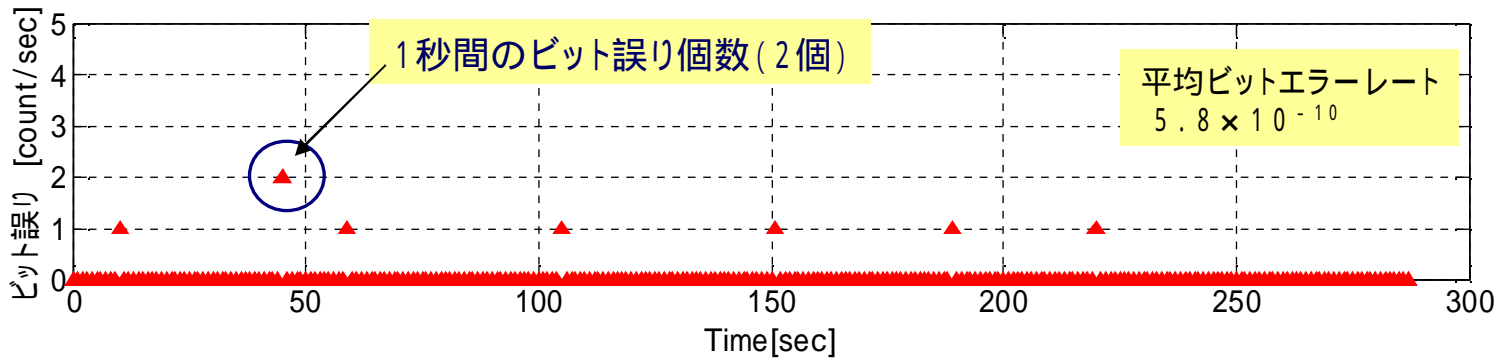
送信レーザ光の角度補正を実施



2006年2月9日



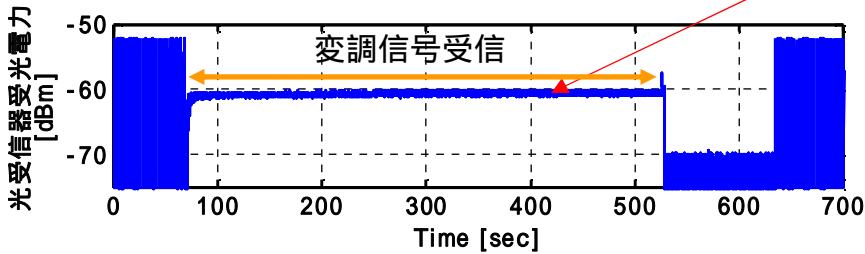
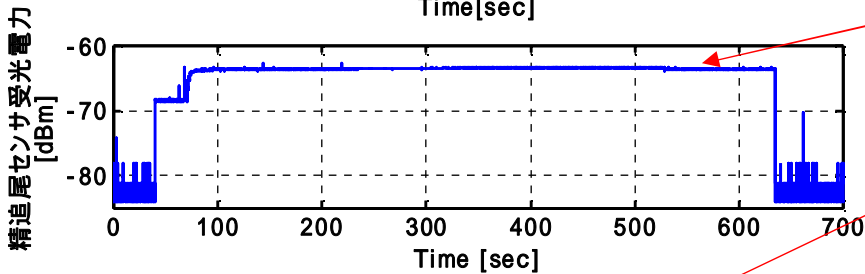
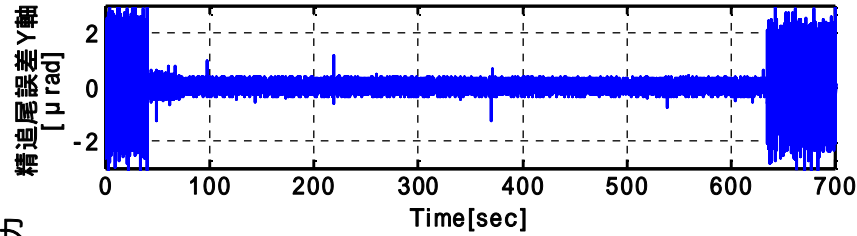
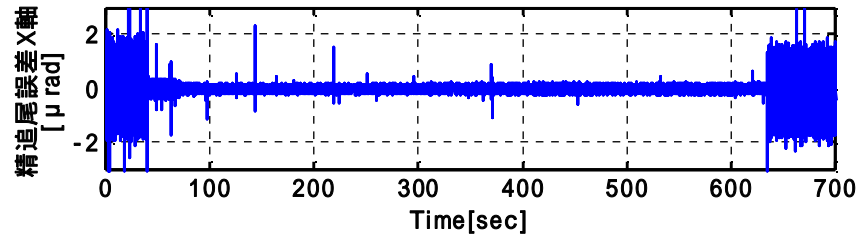
2006年8月2日
(94回目の実験)



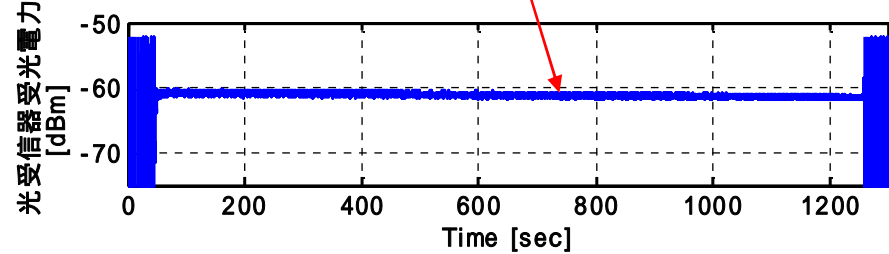
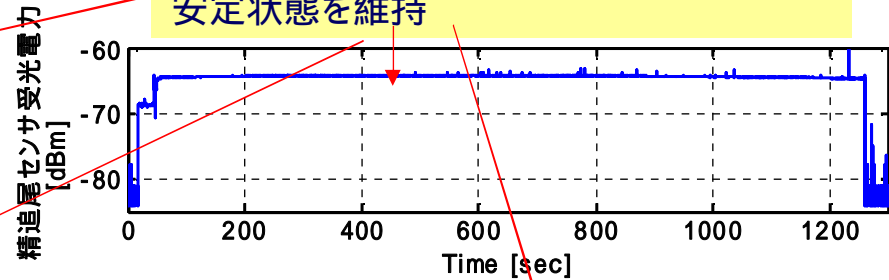
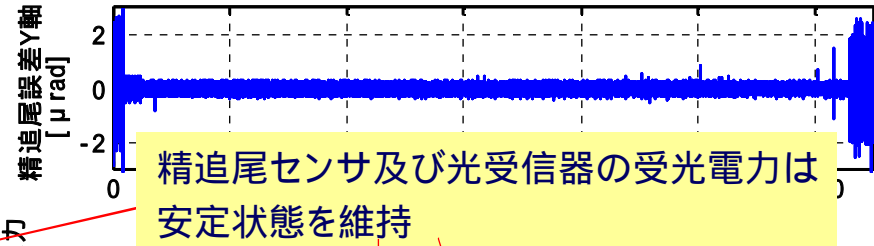
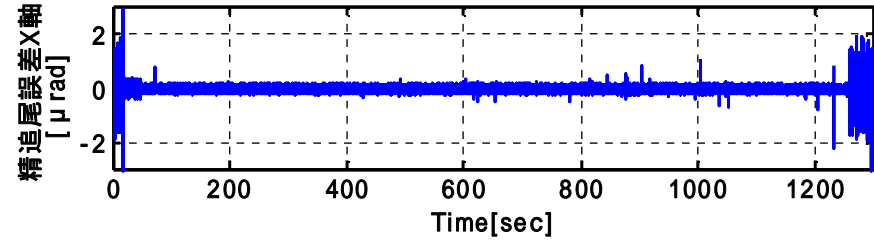


ARTEMISとの実験結果(4) 追尾状態の安定性

参考資料-3 (4 / 4)



2005年12月9日

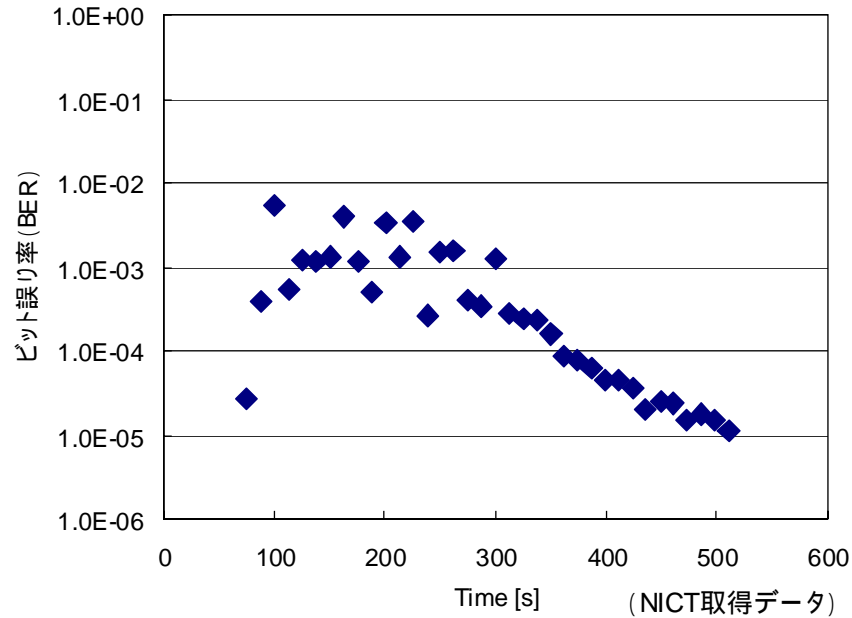
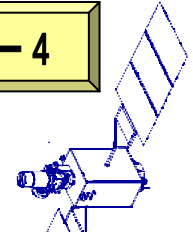


2006年5月24日



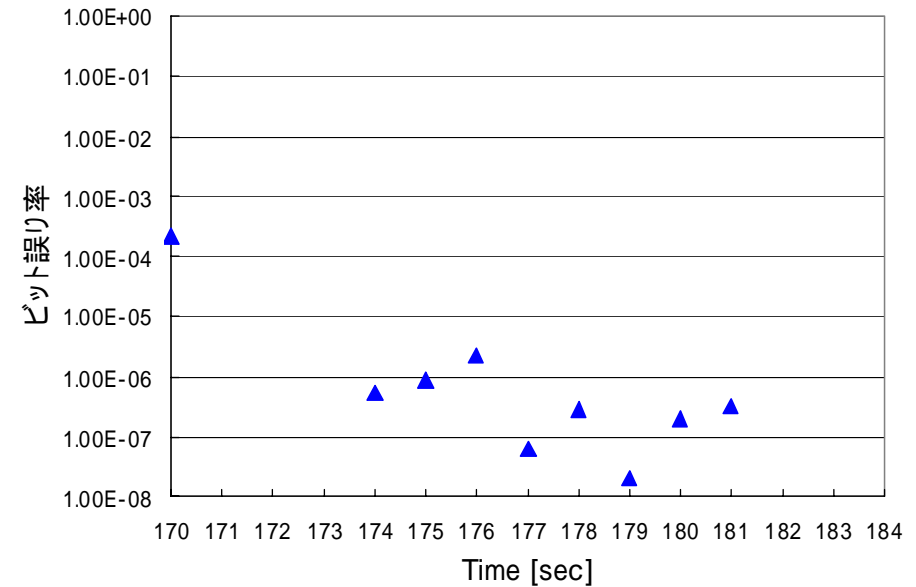
光地上局実験の結果

参考資料-4



ダウリンク ビット誤り率

3月28日実験結果



アップリンク ビット誤り率

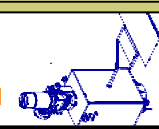
9月29日実験結果

NICTとの通信実験に11回、DLRとの通信実験に5回成功した。
低高度周回衛星と地上間の光通信の成功例としては世界初である。



ミッション達成結果(1 / 3)

参考資料-5(1 / 3)

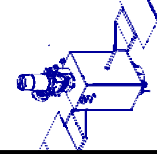


	評価基準	対応する実験項目と結果
ミニマム サクセス	<p>目標: 恒星・惑星を捕捉・追尾し、光衛星間通信機器の捕捉追尾性能確認ができること。</p> <p>評価基準: 以下の捕捉追尾特性が確認できること。 ・総合オープンポインティング精度が± 0.2度以下。 ・捕捉追尾シーケンスが成功。 ・追尾精度が$\pm 1 \mu\text{rad}(3)$以下。</p>	<p>・光高精度捕捉追尾実験</p> <p>1. 光捕捉追尾特性評価実験</p> <p>評価: 達成</p> <p>結果: シリウス等の恒星及び火星・木星を捕捉・追尾し、オープンポインティング精度が± 0.2度以下、捕捉追尾シーケンス成功、追尾精度が$\pm 1 \mu\text{rad}(3)$以下であることを軌道上で確認することができた。</p>
フル サクセス	<p>目標: ARTEMISとの光衛星間通信実験を双方向で行い、光衛星間通信の要素技術を実証できること。</p> <p>評価基準: ・ARTEMISからのビーコン照射から始まる一連の2衛星による捕捉追尾シーケンスが成功。 ・ARTEMISと双方向で光衛星間通信のデータ伝送(送信: 50 Mbps / 受信: 2 Mbps)を行い、ビット誤り率の評価ができる。</p> <p>以下の捕捉追尾特性が確認できること。 ・ARTEMISに対する総合オープンポインティング精度が± 0.2度以下。 ・ARTEMISに対する追尾精度が$\pm 1 \mu\text{rad}(3)$以下。</p>	<p>・光高精度捕捉追尾実験</p> <p>2. 光捕捉追尾系総合特性評価実験</p> <p>・光衛星間通信実験</p> <p>1. 光衛星間通信特性評価実験</p> <p>2. 光学特性評価実験</p> <p>結果: ARTEMISとの通信実験を行い、世界初の双方向光衛星間通信実験に成功し、以下の予定していた性能評価を実施することができた。</p> <p>・捕捉追尾シーケンス成功</p> <p>・ビット誤り率の評価: 送受信ともにビット誤り率の測定データを取得し、10^{-6}以下を達成することができた。</p> <p>・オープンポインティング精度: ± 0.2度以下</p> <p>・追尾精度: $\pm 1 \mu\text{rad}(3)$以下</p> <p>評価: 達成</p>



ミッション達成結果(2 / 3)

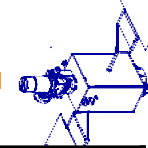
参考資料-5 (2 / 4)



	評価基準	対応する実験項目と結果
<p>エクス トラ サクセス</p>	<p>目標: 光衛星間通信の統計的データが評価できること。</p> <p>評価基準: ・ARTEMISとの捕捉確率の評価のために、少なくとも15回以上の捕捉追尾実験を実施し、評価できる。</p>	<p>・光衛星間通信実験 3. 光衛星間通信の統計的データ取得</p> <p>結果: 全実験105回(地上設備不具合、設定ミス等を除く)のうち、100回の光リンク確立に成功している。</p> <p style="text-align: right;">評価: 達成</p>
	<p>目標: 光学系素子の長期的な変動特性が評価できること。</p> <p>評価基準: ・CCD、QD、APD等の光学系素子の宇宙空間における素子性能の変動特性が評価できること。</p>	<p>・光学系素子評価実験</p> <p>結果: CCD、QD、APD、LD及び内部光学素子(ミラー、レンズ、フィルタ)の1年間の軌道上データ取得からは、劣化傾向は認められなかった。後期利用段階において劣化傾向が確認できるよう計画している。</p> <p style="text-align: right;">評価: 達成 データ取得継続</p>



ミッション達成結果 (3 / 3)

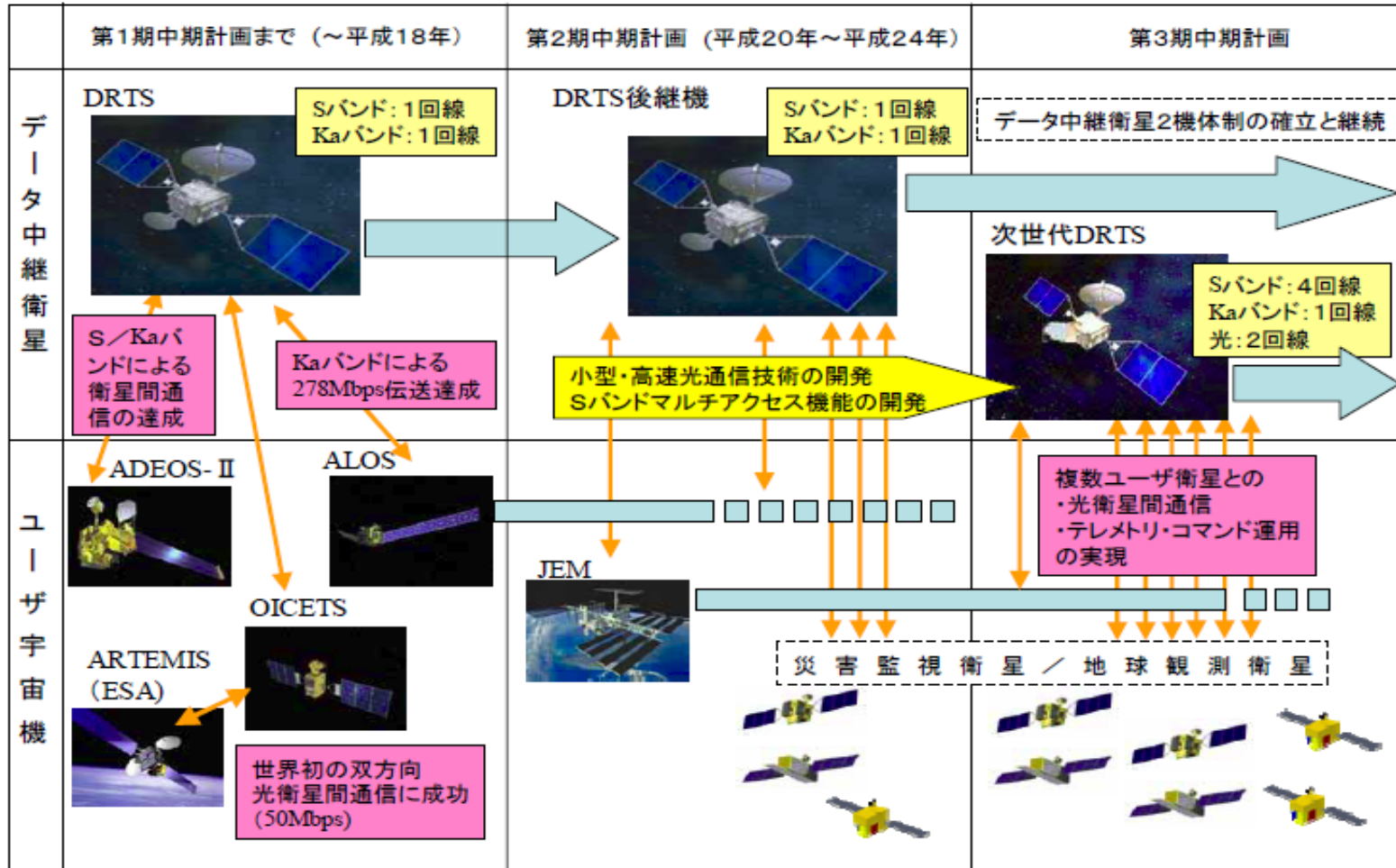
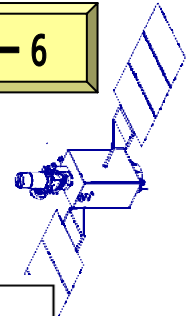


	評価基準	対応する実験項目と結果
エクストラ サクセス	<p>目標: 衛星微小振動の評価ができること。</p> <p>評価基準: ・衛星の微小振動(精度100 μG)を測定し、捕捉追尾精度との相関が評価できること。</p>	<p>・衛星微小振動測定実験 評価: 達成</p> <p>結果: 衛星の光通信実施中の振動レベルは概ね5~10mGであり、予測値の30~100mGより小さい結果であった。また、衛星の微小振動が追尾に大きく影響を与えないことを確認した。</p>
	<p>目標: 新たな実験(光地上局通信実験等)を行い将来の光衛星間通信への有効性が確かめられること。</p> <p>評価基準: ・光地上局との通信実験を行い、通信品質評価、大気影響評価ができること。</p>	<p>V. 光地上局との通信実験 評価: 達成</p> <p>結果: 情報通信研究機構(NICT)及びドイツ航空宇宙センター(DLR)との共同実験により、世界初の低高度周回衛星と地上間の光通信実験に成功し、回線品質の評価、大気減衰による変動データの取得を行うことができた。</p>



光通信のロードマップ案

参考資料-6



出典:平成18年8月25日宇宙開発委員会 計画部会説明より抜粋