

委13 - 3 - 2

光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)- NICT光地上局実験実施結果について

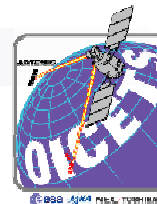
平成18年4月12日

情報通信研究機構

理事 大森 慎吾

宇宙航空研究開発機構 宇宙利用推進本部

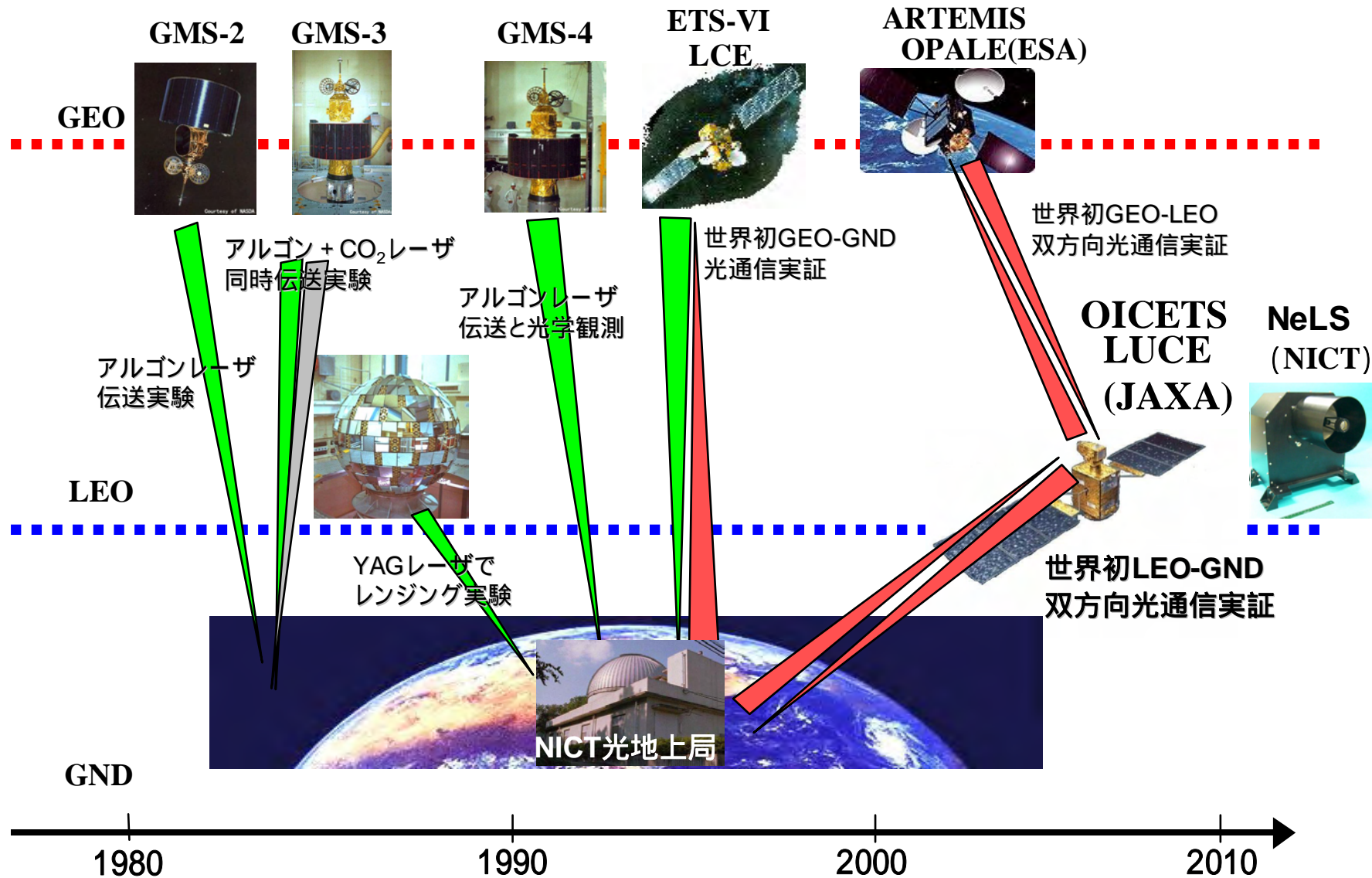
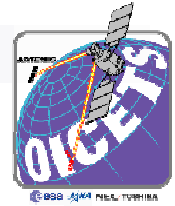
理事 堀川 康

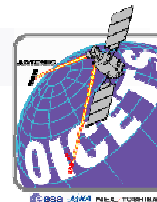


目次

- 光衛星通信の研究開発経緯
- 「きらり」－NICT光地上局間光通信実験
サマリ
- 実験システムの概要
- 実験結果
- 今後の実験計画

光衛星通信の研究開発経緯



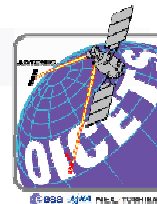


「きらり」-NICT光地上局実験サマリ

実施日時 (日本時間)	実験結果
3月22日 00:37:28 - 00:38:40	約16秒間、「きらり」、光地上局共に相手が出すレーザ光の <u>捕捉・追尾に成功した。</u>
3月24日 01:02:27 - 01:03:53	天候が曇りのため実験中止
3月29日 00:23:56-00:29:48	約6分間、「きらり」、光地上局共に相手が出すレーザ光を捕 捉・追尾し、 <u>「きらり」から地上へのレーザ通信に成功した。</u> (ビット誤り率は約 10^{-5} を計測)
3月31日 00:48:25-00:55:13	約4分44秒間、「きらり」、光地上局共に相手が出すレーザ光 を捕捉・追尾し、加えて、 <u>双方向のレーザ通信に成功した。</u> (ビット誤り率は地上 衛星が約 10^{-1} 、衛星 地上は解析中)

低高度地球周回衛星と地上局間の光通信は世界初となる

高速で移動する低高度地球周回衛星 - 地上局間の光通信回線への大気ゆらぎの影響を初めて実測した。この成果は学術的意義だけではなく、航空機、人工衛星等飛翔体との光空間通信等への応用が期待される。



NICT光地上局との通信実験概要

衛星「きらり」

光通信機器(LUCE)

レーザー通信

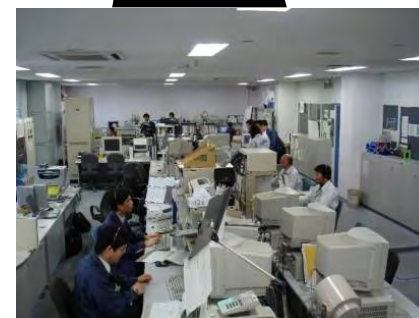
波長: 800nm帯
出力: 地上局 500mW
衛星 100mW

「きらり」搭載の光通信機器とNICT光地上局の1.5m望遠鏡との間でレーザーによる光通信を行う実験です。

衛星のコントロール



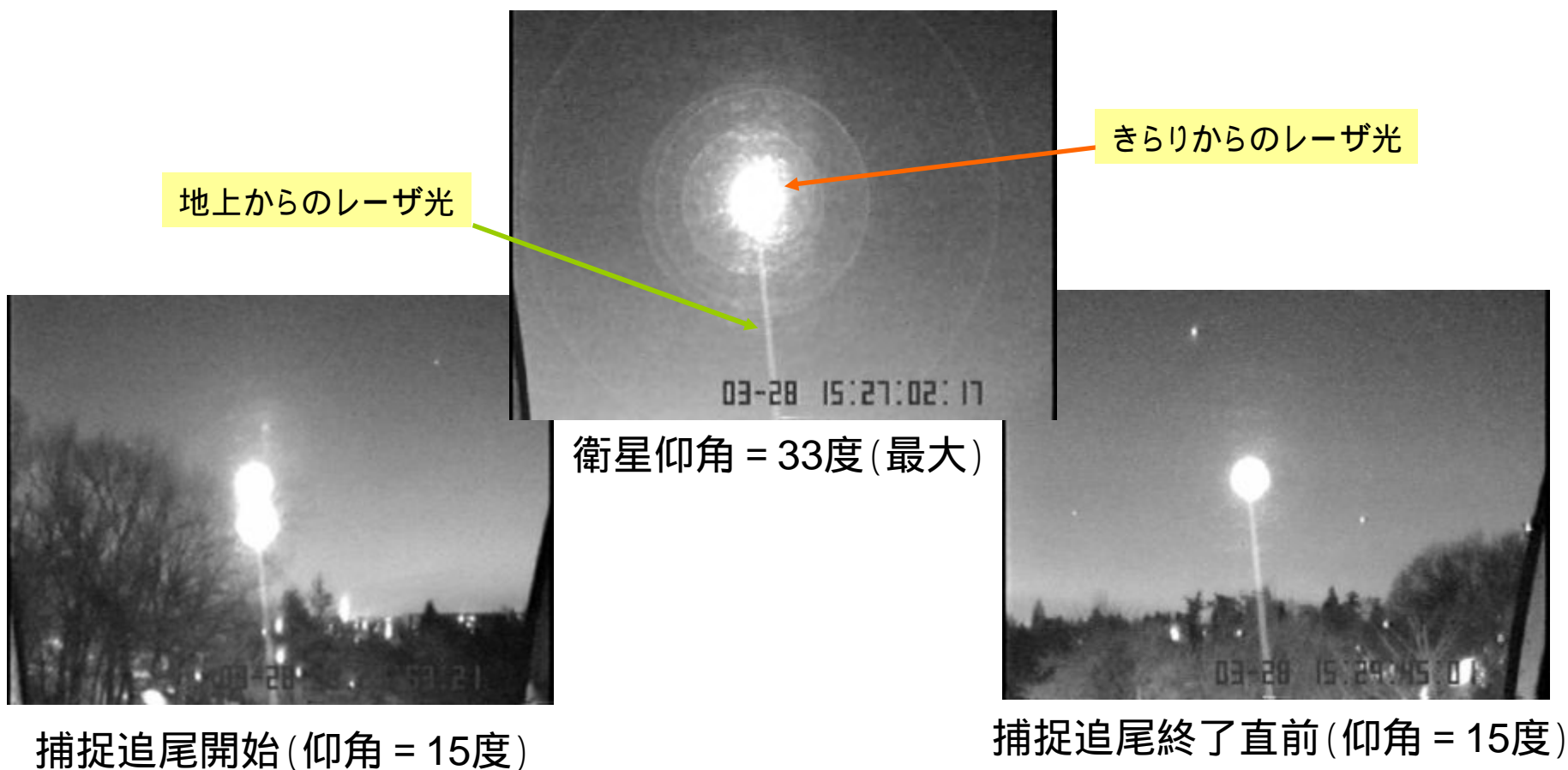
NICT光地上局
(東京都小金井市)

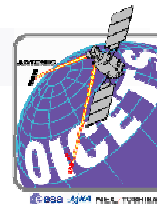


JAXA「きらり」運用室
(筑波宇宙センター)

衛星捕捉追尾の実験結果

- NICT光地上局で撮影された衛星捕捉追尾のビデオ画像
- 2006年3月29日 約6分間衛星捕捉追尾に成功

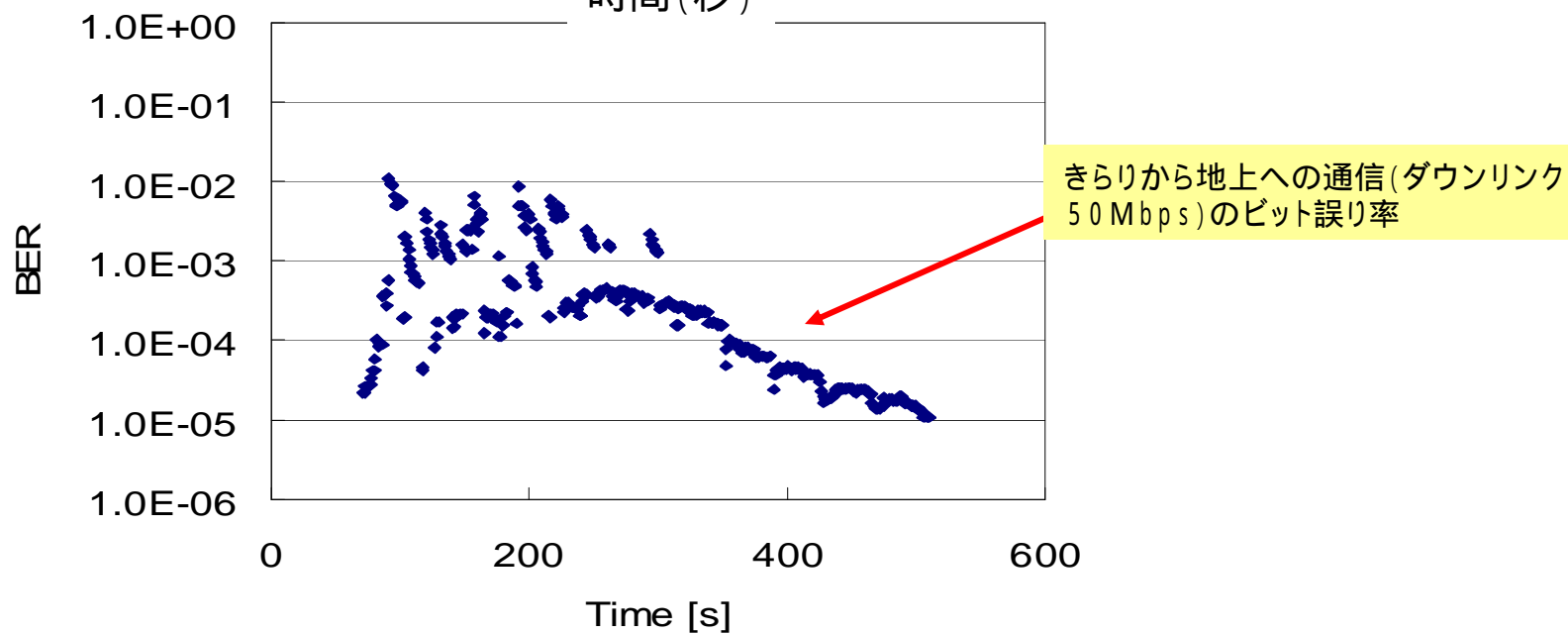
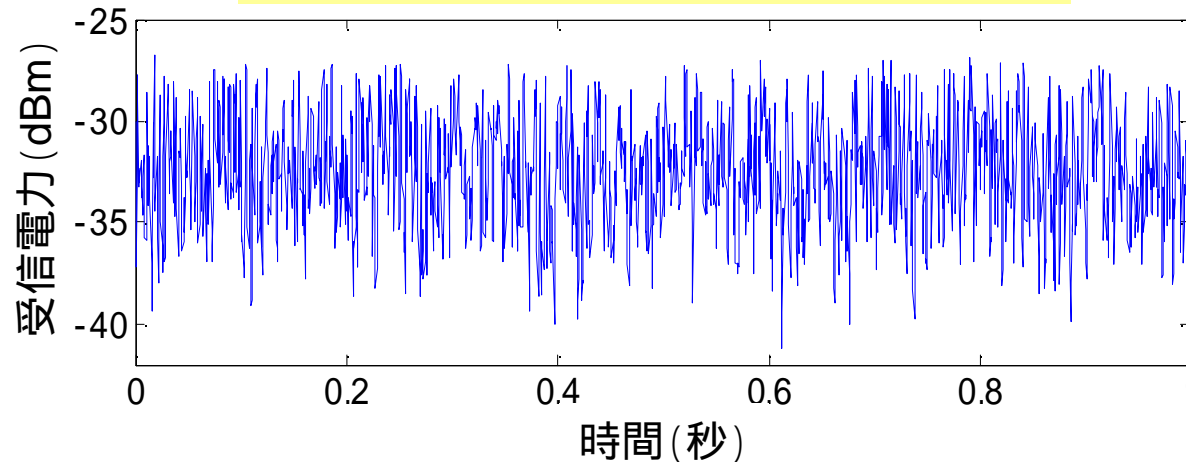




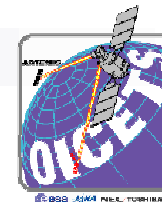
ダウンリンクの実験結果

NICT光地上局が受信したきらりのレーザー通信光

3月29日測定

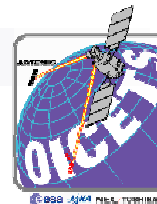


今後のNICT光地上局実験計画



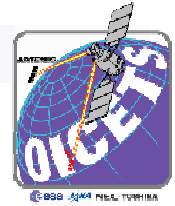
- 5月の実験に向けて以下を検討中
 - アップリンク / ダウンリンクの通信品質の改善
 - 伝送パワー、複数ビームの調整による通信ビームの最適化
 - データを衛星折り返しで送受信するリピータ実験
 - DIMM法 による大気ゆらぎの同時計測と通信品質評価

DIMM(Differential Image Motion Monitor)とは、二つの開口における星像の重心位置の相対的なゆらぎから大気の乱れ具合を測定する方法



參考資料

光地上局実験時の「きらり」衛星の技術的挑戦



(1) 衛星姿勢を180度反転させて光通信機器を地球方向に向ける

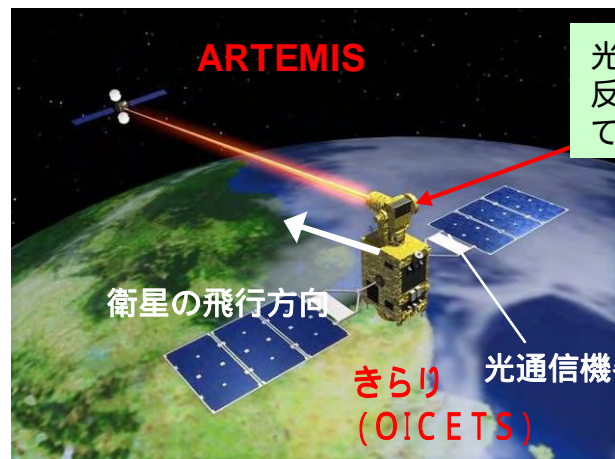
きらりは静止衛星であるアルテミスとの光衛星間通信を行うことを主目的としており、光通信機器は反地球方向に搭載されている。そのため、地上に光衛星通信機器を向けるために、衛星の姿勢を約180度反転させて、実験を行う必要がある。姿勢を反転させている間は、姿勢制御に使用している太陽センサーや地球センサーが使用できない状況で、衛星の姿勢制御を高精度に維持しなければならない。

(2) 追尾速度

きらりの光通信機器の地上局に対する追尾駆動速度は、ARTEMISとの実験と比較して、5倍以上の駆動速度となる(ARTEMISとの距離:約4万キロメートル、地上局との距離:約千キロメートル)。そのため、設計仕様を超えた範囲でレーザー光の追尾を行う必要がある。また、地上でのレーザーの照射範囲は半径約5メートルであり、この範囲内に地上局を捕捉し続けなければならない。

(3) 大気による影響

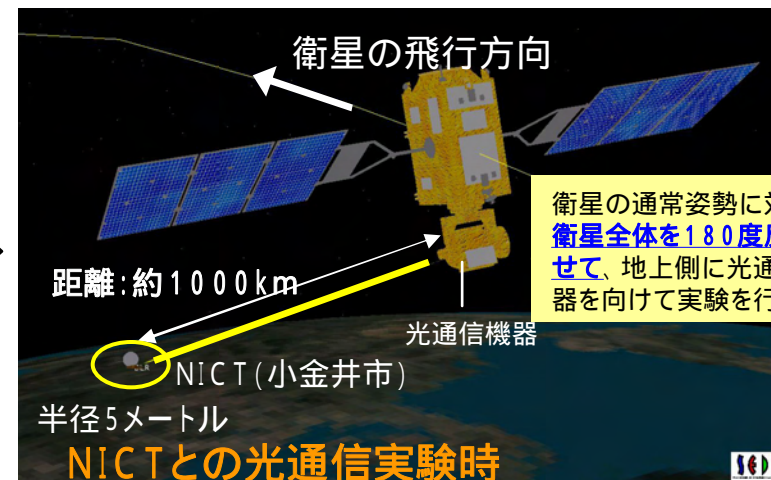
大気によるレーザー光の減衰があり、なおかつ早い速度で変化するため、受信電力が大きく変動する状況下で、追尾状態を維持し、通信を実施しなければならない。



アルテミスとの光通信実験時

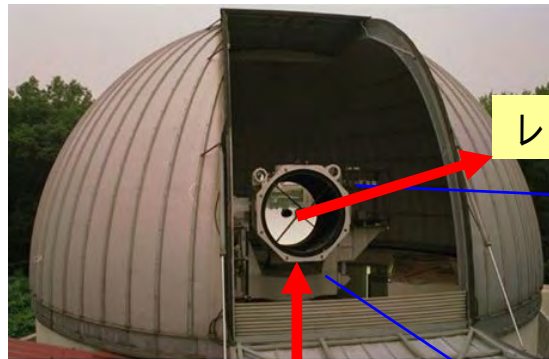
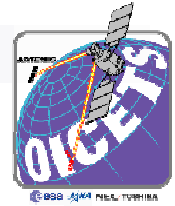
光通信機器は常に反地球方向を向いている

衛星を180度反転させる

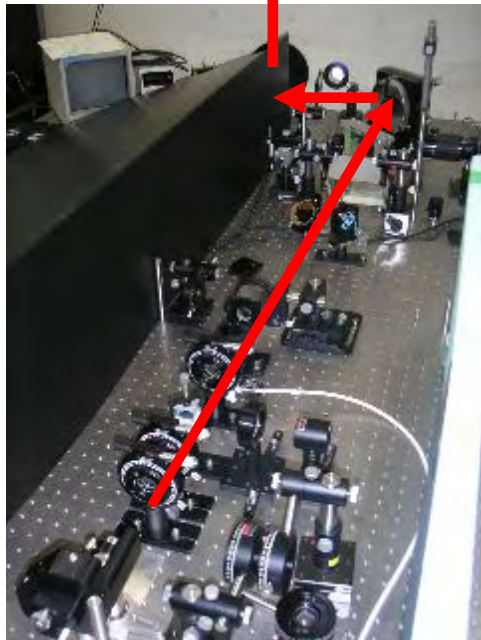


衛星の通常姿勢に対して、衛星全体を180度反転させて、地上側に光通信機器を向けて実験を行う。

NICT光地上局システムの構成と工夫



NICT光地上局

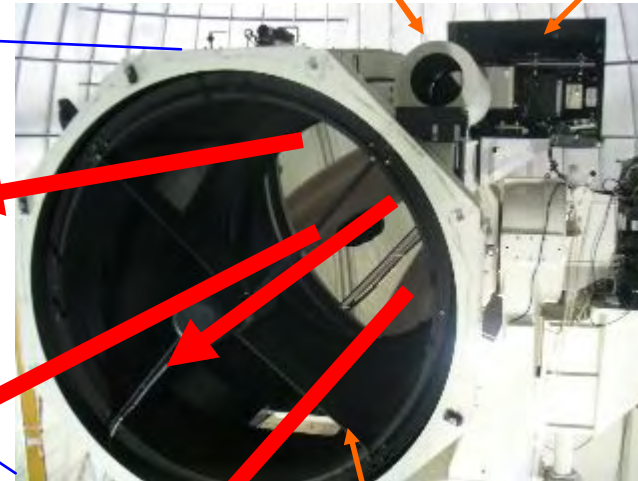


送信用光学系

レーザー光の伝送方向

受信用望遠鏡(20cm)

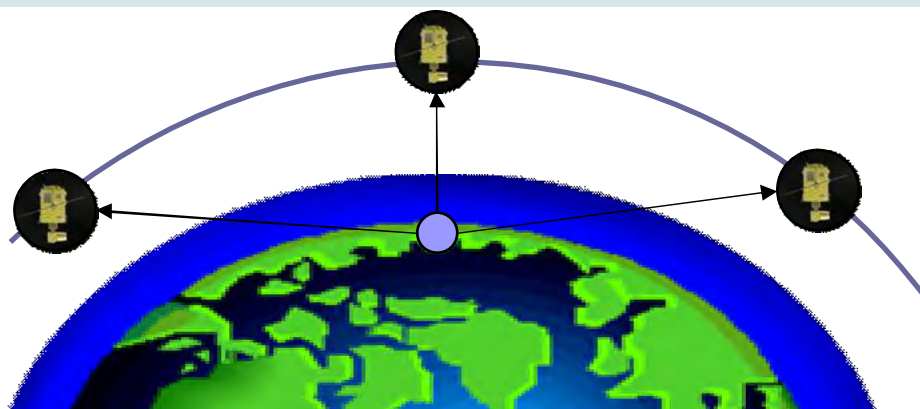
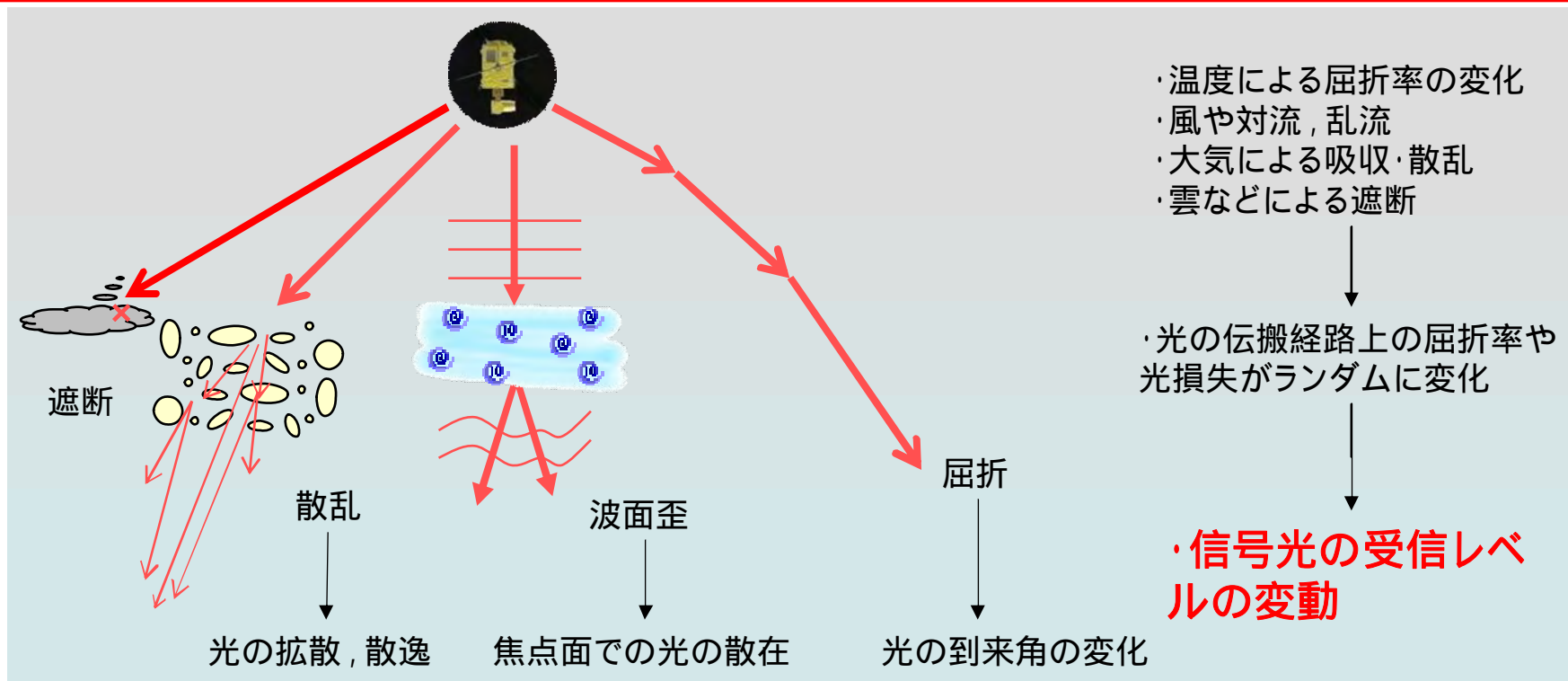
受信用光学系



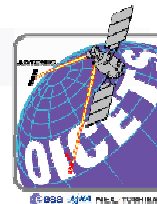
送信用望遠鏡(1.5m)

NICT1.5m望遠鏡により衛星を高精度に捕捉追尾しながら、平行に射出した4本のレーザービームで通信光を伝送(波長:815nm、出力:500mW)

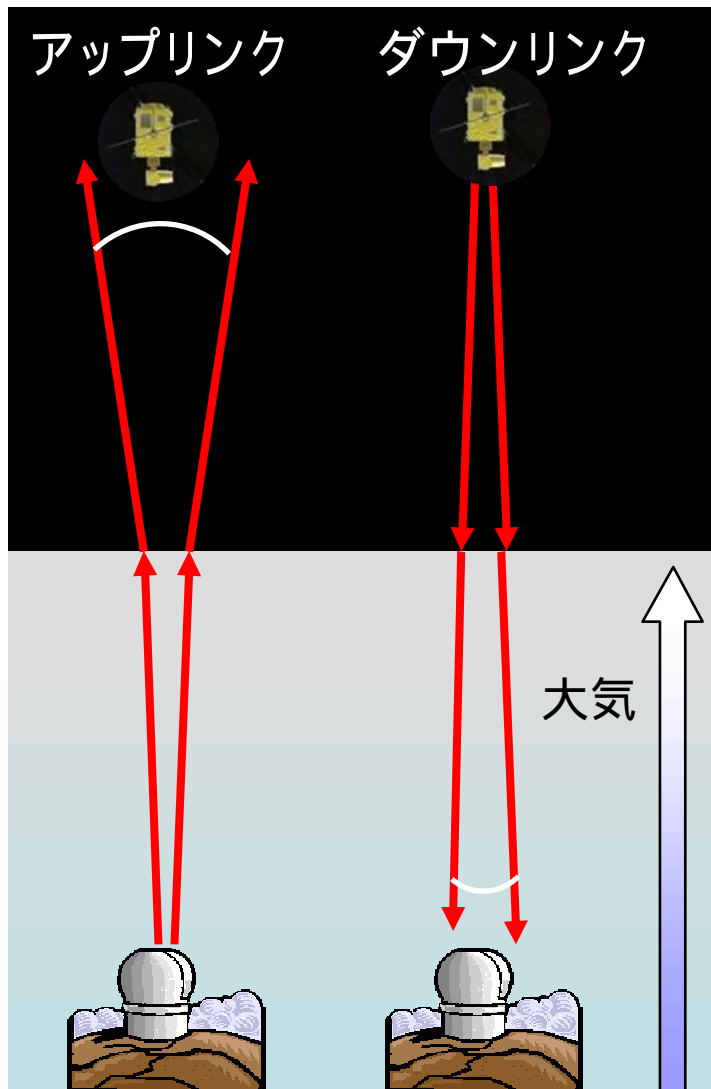
低軌道衛星と光地上局を結ぶ通信光への大気の影響 1



・衛星と地上局の相対位置が高速に変化
 ↓
 ・伝搬光が通過する大気の厚みの変化
 ↓
・信号光の受信レベルの変動



低軌道衛星と光地上局を結ぶ通信光への大気の影響2



屈折率が高い方から低い方へ光が伝搬すると、広がり角がより大きくなる。

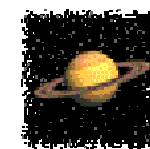
↓

アップリンク(地上 → 衛星)の方がダウンリンク(衛星 → 地上)よりも光が広がる

↓

受信光レベルの低下
データ伝送品質の低下

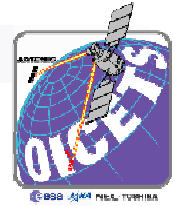
大気の影響の身近な例
星のまたたき(シンチレーション)



星からの光が、大気による散乱、波面歪み、屈折などによりキラキラと明るさが変化する現象。

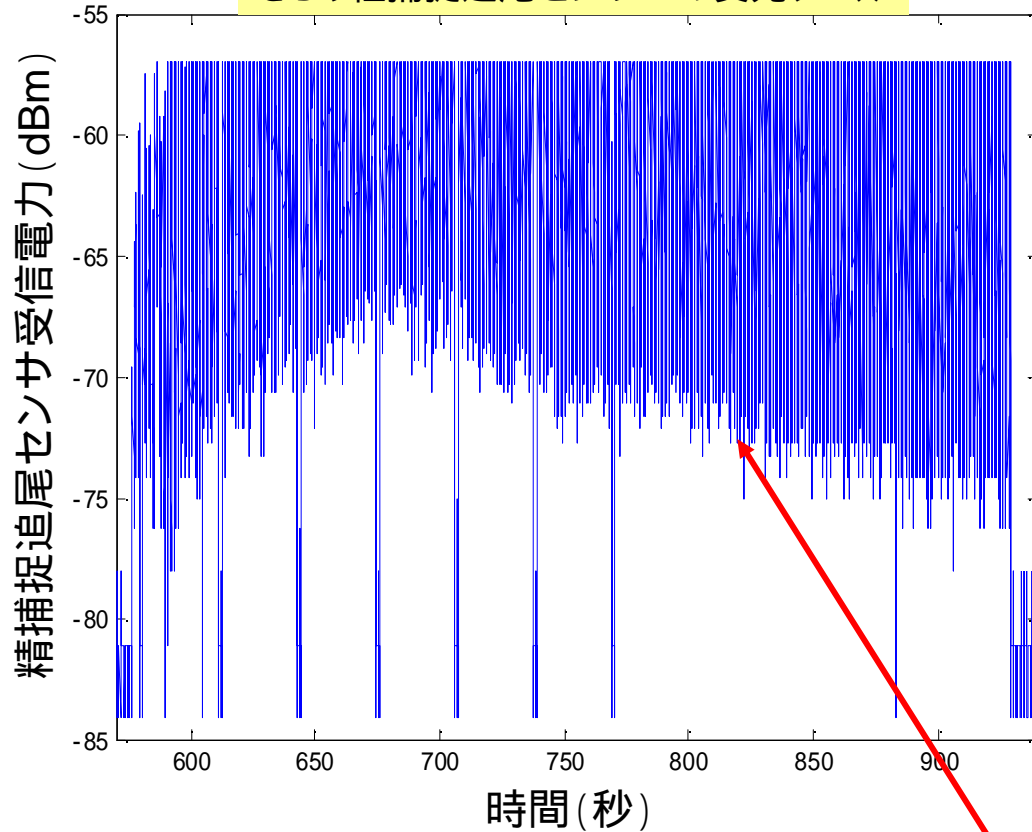


アップリンクの実験結果(1)



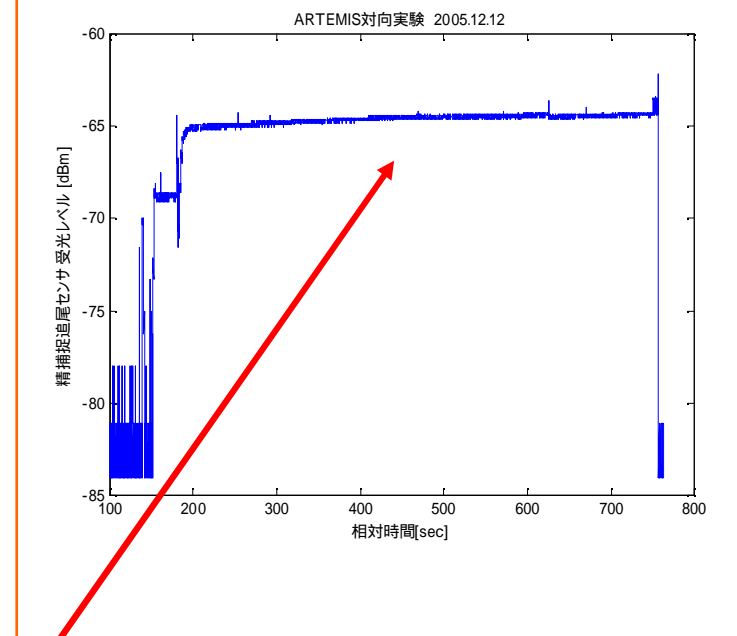
3月29日測定

きらり粗捕捉追尾センサーの受光レベル



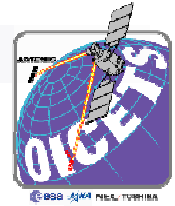
平均値 -63.17 dBm
標準偏差(3) 14.04

参考: アルテミスとの実験データ



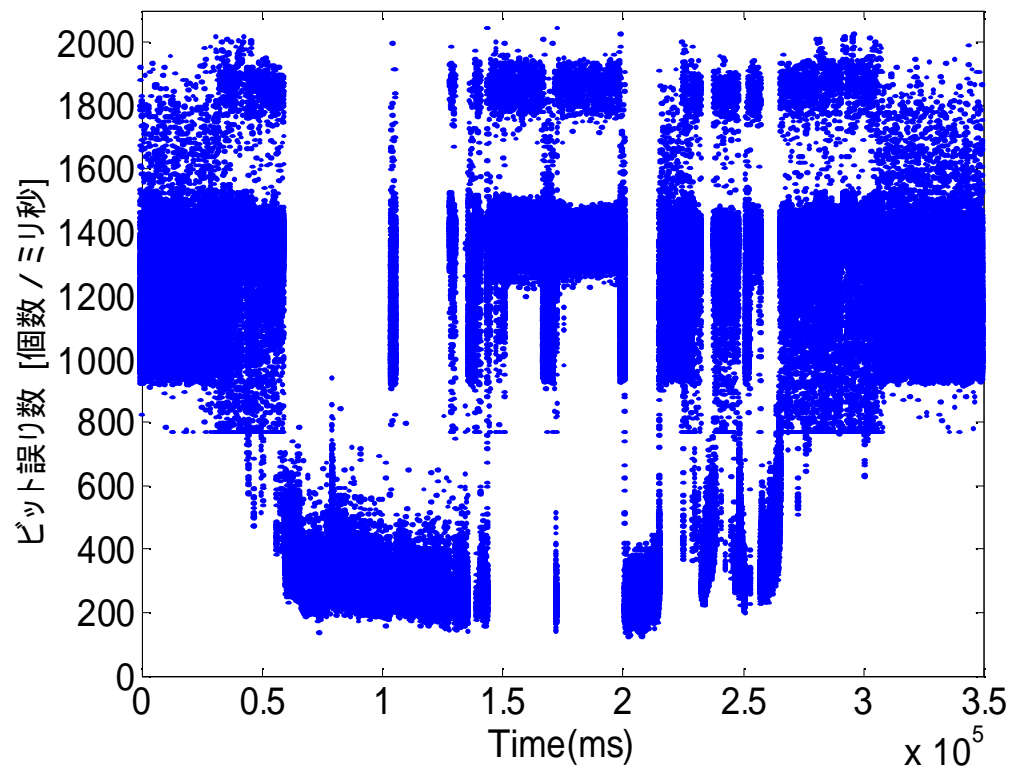
アルテミスとの実験に比べて、大きく受光レベルが変動している

アップリンクの実験結果(2)



きらりが受信したNICT光地上局のレーザー通信光のエラービットのカウンタ数

BEC-DATA(2006/3/30 15:48:50-15:53:00)



断続的に通信ビットを光受信器が検出・クロック抽出・ビット同期している。

地上から衛星への通信(アップリンク: 2 M bps)のビット誤り率は、 10^{-1} 程度。

今後の実験においては、通信品質の向上を目指して、実験を続行していく予定。

シンチレーションによる信号変動の低減対策

■ 送信側

□ マルチビームの利用 (実施済)

- 時間コヒーレンスが無い複数のビームを合成
- 空間コヒーレンス長 (大気ゆらぎの相関長) 以上ビームを離して複数ビームを合成

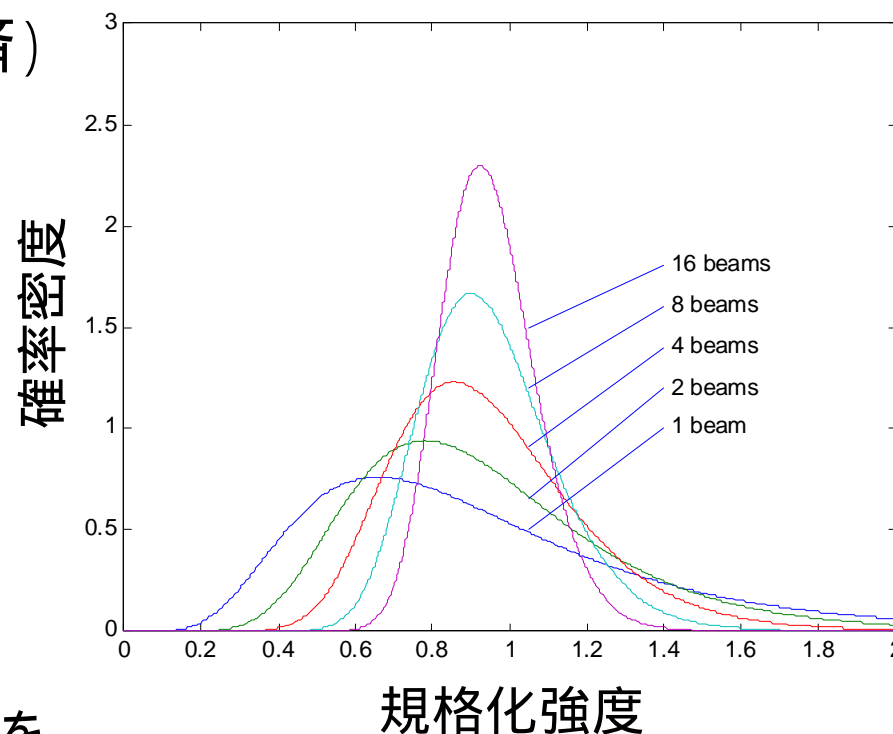
□ 補償光学 (AO) の利用

■ 受信側

□ 開口平均効果 (実施済)

- 受信開口を拡大し信号の変動を抑制する

□ 補償光学 (AO) の利用



AO: 補償光学、Adaptive Opticsの略