

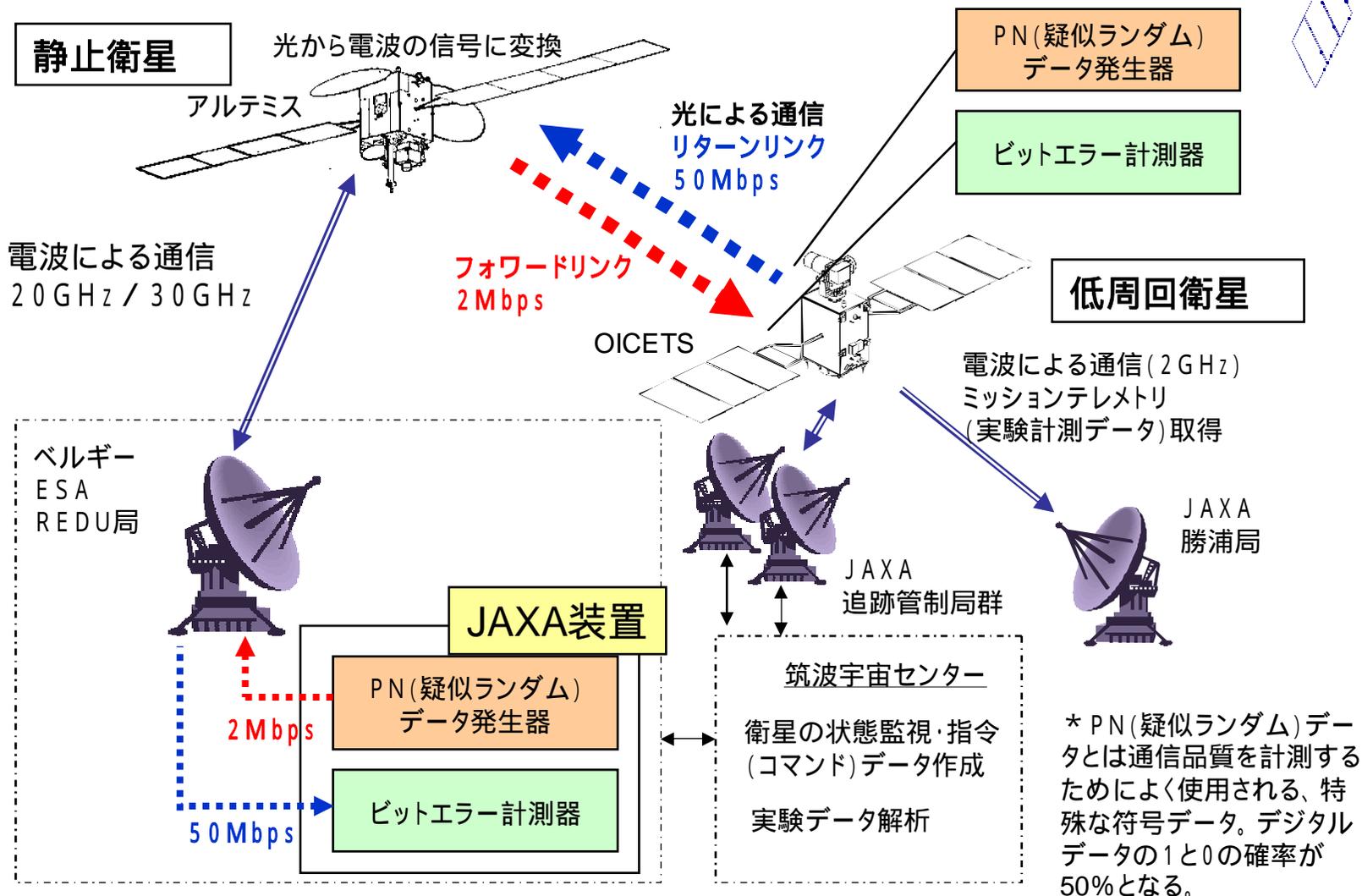
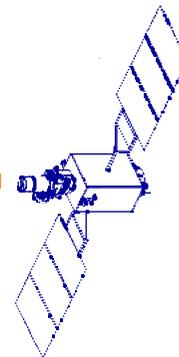
# 光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS) の実験結果について



平成18年4月12日  
宇宙航空研究開発機構  
宇宙利用推進本部  
理事 堀川 康

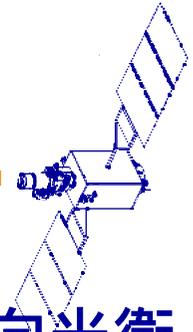


# ARTEMISとの光衛星間通信実験概要





## 「きらり」の実験経過

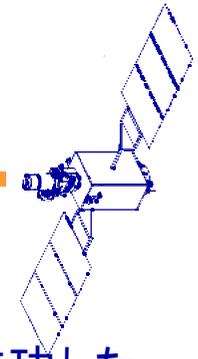


- ➡ 平成17年12月9日にOICETS / ARTEMIS間の双方向光衛星間通信の確立に成功した。
- ➡ 平成17年12月6日から平成18年2月17日までの期間中に合計22回の実験を行い、その結果、衛星ミッションのフルサクセスレベル( )を達成した。
- ➡ 平成18年3月22日から31日にかけて、「きらり」と情報通信研究機構(NICT)小金井本部に設置されている光地上局との間で計3回の光通信実験を行い、22、29、31日に「きらり」からの通信ビームの捕捉・追尾及び通信実験に成功した。

サクセスクライテリアについての説明は「参考資料」を参照。



# ARTEMISとの実験成果概要



## ➡ 高い通信成功率

ARTEMISとの間で22回の実験を行い、うち20回の光衛星間通信の確立に成功した。

## ➡ 送信レーザー光の光学特性データ取得に成功

送信レーザーの指向角度を補正することにより、データ伝送品質の向上をはかることができた。

## ➡ 高品質のデータ伝送を実現

「きらり」からARTEMIS方向の通信(リターンリンク50Mbps)においてビット誤り率 $10^{-9}$ ( )以下を達成した。

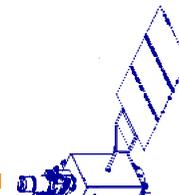
## ➡ 高精度捕捉追尾指向技術の軌道上実証

「きらり」の光学系を0.2度以下の精度で指向させてARTEMISを捕捉し、0.00006度(1マイクロラジアン)以下の精度で指向・追尾する高精度捕捉追尾指向技術を軌道上実証した。

ビット誤り率 $10^{-9}$  : データ中の誤り発生率が $10^9$ ビットのデータ中1ビットであること。



# NICT光地上局との通信実験概要



衛星「きらり」

「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。

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

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)



## 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

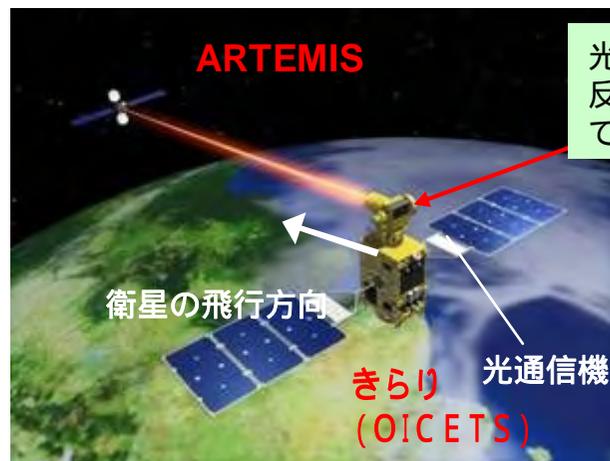
姿勢を反転させている間は、姿勢制御に使用している太陽センサーや地球センサーが使用できない状況で、衛星の姿勢制御を高精度に維持しなければならない。

### (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。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。

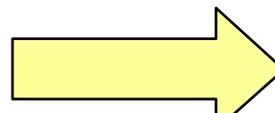
### (3) 大気による影響

大気によるレーザー光の減衰があり、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。

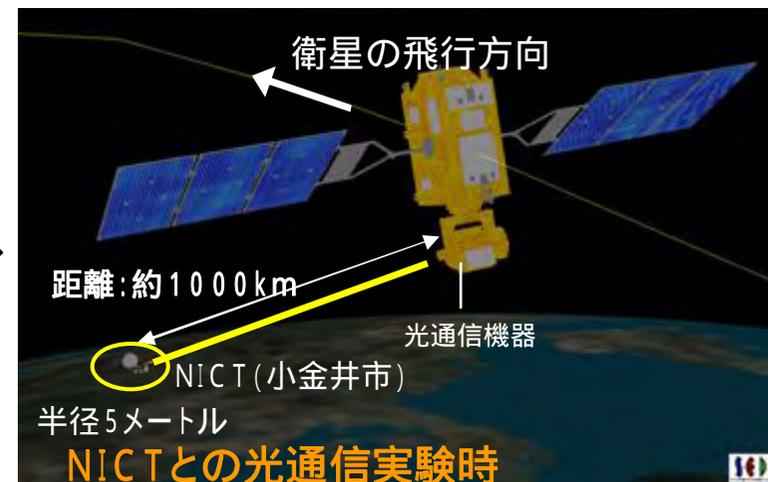


アルテミスとの光通信実験時

光通信機器は常に反地球方向を向いている

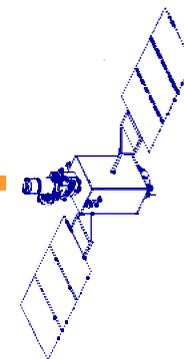


衛星を180度反転させる





## NICT光地上局との実験成果概要

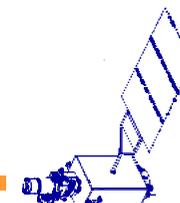


### ➡ 「きらり」と光地上局との間の光通信実験に成功

3月22日、29日、31日に「きらり」 - 光地上局間の光通信リンク確立に成功し、衛星からのダウンリンク(50 Mbps、約6分間)及び地上局からのアップリンク(2 Mbps、断続的に約3分間)の通信に成功した。本実験は、今回世界で初めて成功したものである。



# 今後の予定



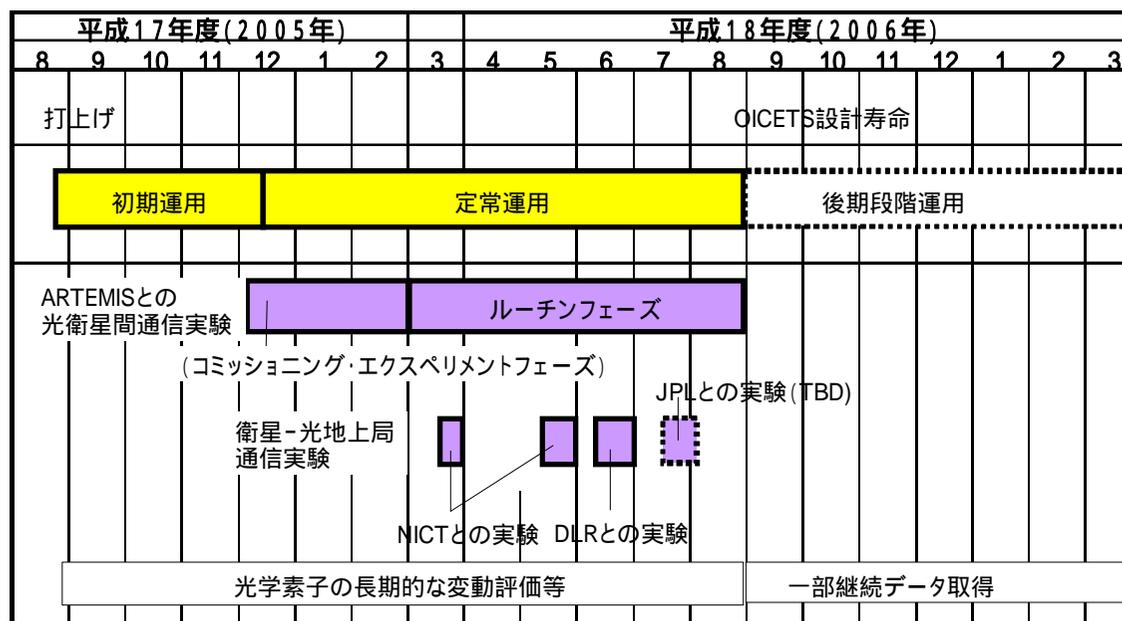
## ➡ ARTEMISとの実験計画

平成18年8月末までの定常段階運用期間においては、ARTEMISとのルーチンフェーズ実験を継続する。

## ➡ 光地上局との実験計画

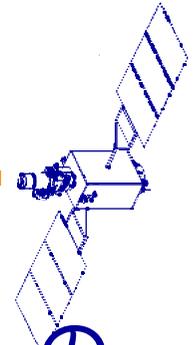
5月に再度NICT光地上局と通信品質の向上等を目指した実験を行う。

またドイツ航空宇宙機関(DLR)及びNASAジェット推進研究所(JPL)から各機関所有の光地上局との通信実験実施の要請を受け、計画を進めている。(JPLとは調整中)

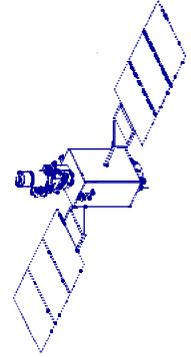




## まとめ



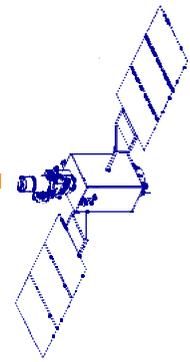
- これまで行ってきた実験の結果により、「きらり」のミッションは当初予定していた期間中に「フルサクセス」を達成し、今後は「エクストラサクセス」の達成を目指した実験評価を継続していく予定である。
- 将来の宇宙大容量通信を可能とする、光通信に必須な技術である高精度な捕捉追尾技術を検証した。
- 我が国独自に開発した「きらり」の開発・軌道上実験によって、衛星による光通信の実現性を世界に先駆けて示すことができた。



## 參考資料



# 光衛星間通信の捕捉・追尾・指向について



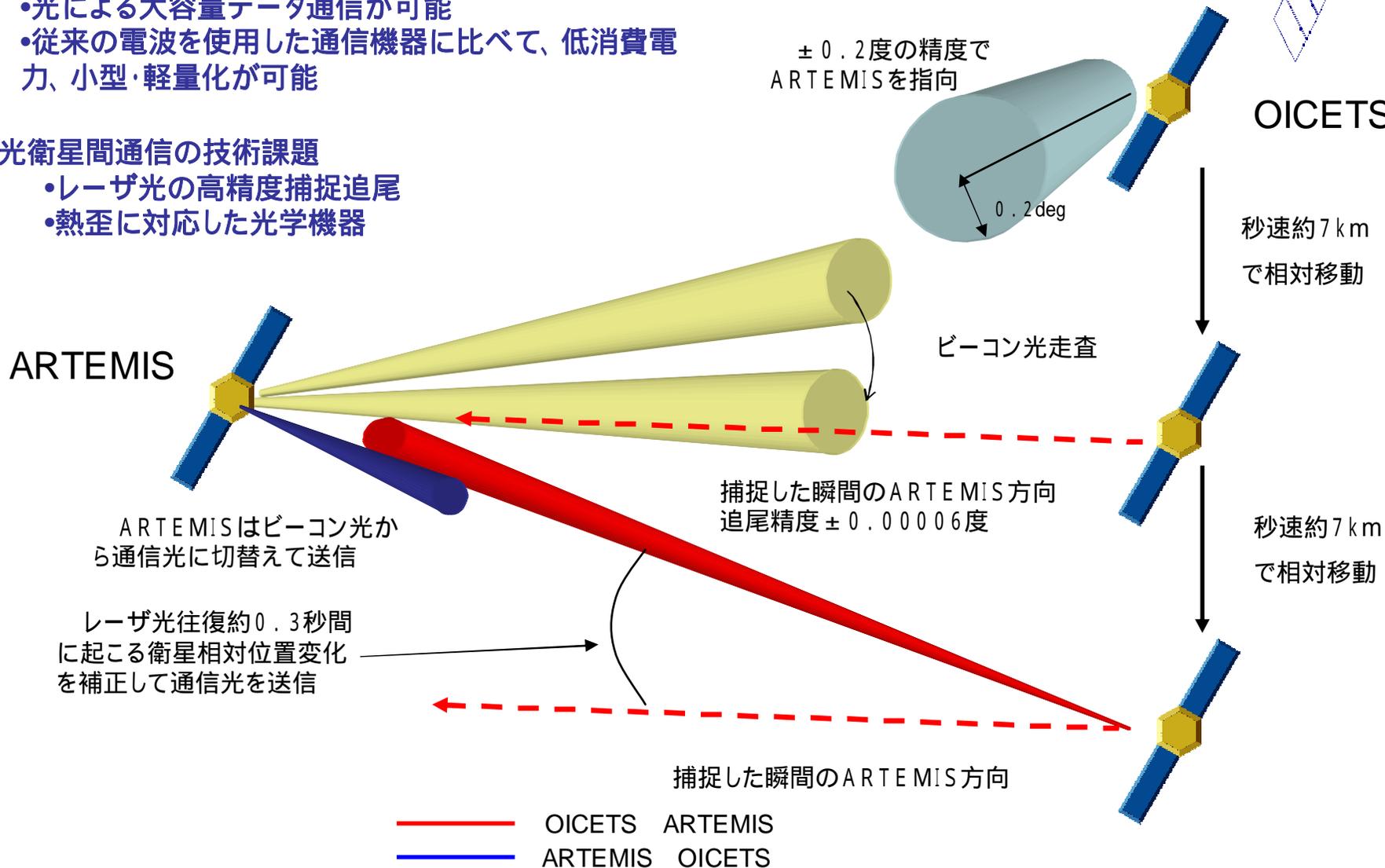
OICETS

## 光衛星間通信の特長

- 光による大容量データ通信が可能
- 従来の電波を使用した通信機器に比べて、低消費電力、小型・軽量化が可能

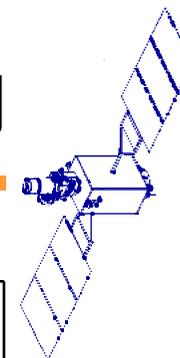
## 光衛星間通信の技術課題

- レーザ光の高精度捕捉追尾
- 熱歪に対応した光学機器

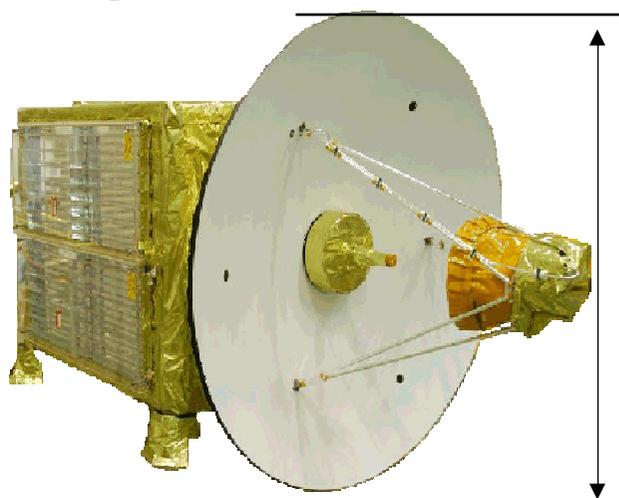




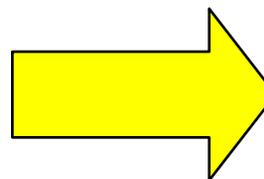
# 電波と光を使用した場合の通信技術の性能比較例



	電波 (Ka帯) を使用した 場合	光を使用した場合
データレート	240Mbps	2.4Gbps
アンテナ径	1.3m	0.1m
質量	約160kg	約60kg
消費電力	約220W	約110W



通信速度10倍でも  
大きさは1/13に!



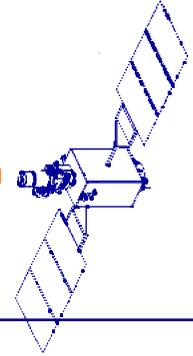
1.3m

光を使用した  
衛星間通信機例





# 「きらり」の実験フェーズの定義



## コミッショニングフェーズ(試行実験期間) 平成17年12月

ARTEMISとの光衛星間通信実験において、衛星間通信リンク確立のためのパラメータを模索し様々な 試行を繰り返して双方向光衛星間通信リンクの確立を目指すフェーズ。

## エクスペリメントフェーズ(実験期間) 平成18年1月～2月

OICETSの光学特性評価実験(ビームポインティング実験)、レーザの出力を低く設定する等の限界性能実験を実施するフェーズ。

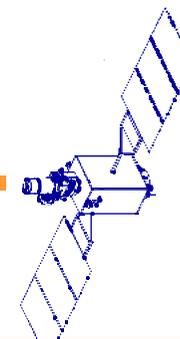
## ルーティンフェーズ(反復実験期間) 平成18年3月～8月頃までを予定

相互の衛星の設定を変更せず、継続したデータ取得を行い、統計的な評価を行うためのデータ取得するフェーズ。

(宇宙開発委員会資料(平成17年3月18日第4回推進部会)から引用)



# 「きらり」の実験状況(1)



	評価基準	対応する実験項目
ミニマム サクセス	<b>目標:</b> 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。 <b>評価基準:</b> 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 $\pm 0.2$ 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。	<b>OICETS単独での実験 (恒星・惑星等を使用)</b> ・光高精度捕捉追尾実験 1. 光捕捉追尾特性評価実験
フル サクセス	<b>目標:</b> 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。 <b>評価基準:</b> ・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。 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 $\pm 0.2$ 度以下。 ・ARTEMISに対する追尾精度が $\pm 1 \mu\text{rad}$ (3)以下。	<b>ARTEMISとの実験</b> ・光高精度捕捉追尾実験 2. 光捕捉追尾系総合特性評価実験 ・光衛星間通信実験 1. 光衛星間通信特性評価実験 2. 光学特性評価実験

初期機能確認期間中に全て達成

12月～2月に実施した  
実験期間中に全て達成

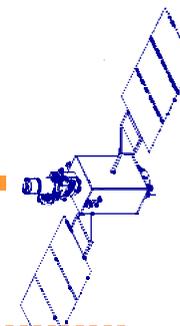
	評価基準	対応する実験項目
エクストラ サクセス	<b>目標:</b> 光衛星間通信の統計的データが評価できること。 <b>評価基準:</b> ・ARTEMISとの捕捉確率の評価のために、少なくとも15回以上の捕捉追尾実験を実施し、評価できる。	<b>ARTEMISとの実験</b> ・光衛星間通信実験 3. 光衛星間通信の統計的データ取得
	<b>目標:</b> 光学系素子の長期的な変動特性が評価できること。 <b>評価基準:</b> ・CCD、QD、APD等の光学系素子の宇宙空間における素子性能の変動特性が評価できること。	<b>OICETS単独での実験 (恒星・惑星等を使用)</b> ・光学系素子評価実験

今後、引き続き実験を実施することにより、達成を目指す

今後、引き続き実験を実施することにより、達成を目指す



## 「きらり」の実験状況(2)



	評価基準	対応する実験項目
エクストラ サクセス	<b>目標:</b> 衛星微小振動の評価ができること。 <b>評価基準:</b> ・衛星の微小振動(精度100 $\mu$ G)を測定し、捕捉追尾精度との相関が評価できること。	<b>OICETS単独での実験(恒星・惑星等を使用)</b> <b>ARTEMISとの実験</b> ・衛星微小振動測定実験

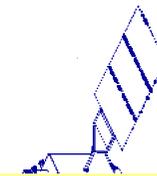


今後、引き続き実験を実施することにより、達成を目指す

サクセスクライテリアは、宇宙開発委員会推進部会(平成17年3月18日)にて報告



# ARTEMISとの実験結果(1) (捕捉・追尾の状況)



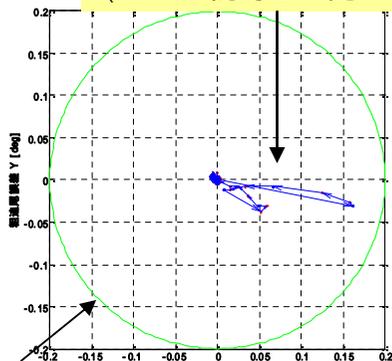
精捕捉センサの  
視野: 0.01deg

光行差を補正したレーザー光

粗捕捉センサの視野  
: 0.2deg

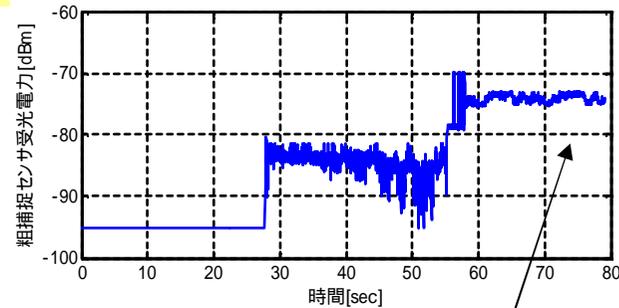
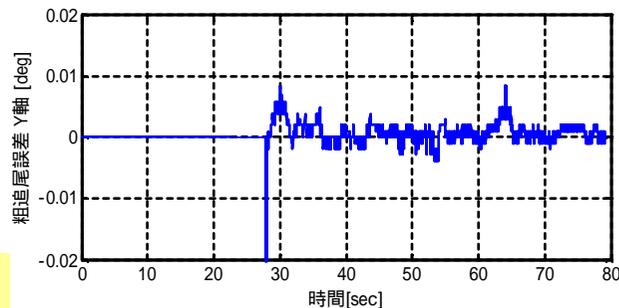
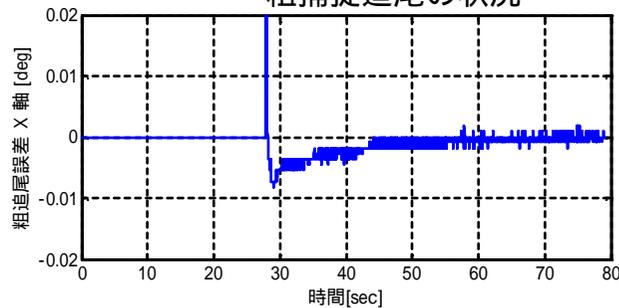


捕捉 追尾の状況  
(センサ視野から見た場合)



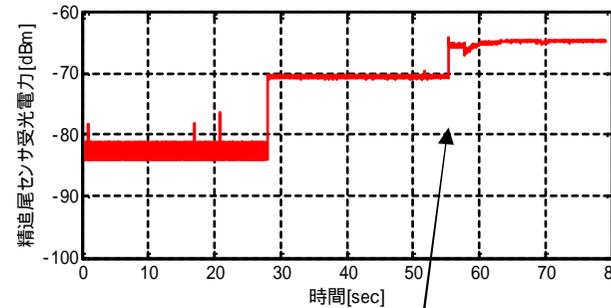
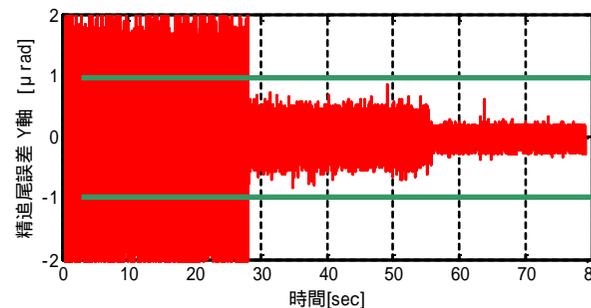
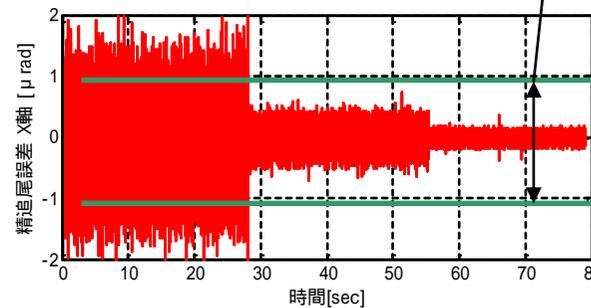
粗捕捉センサーの視野(中心から0.2度)

粗捕捉追尾の状況



精捕捉追尾の状況

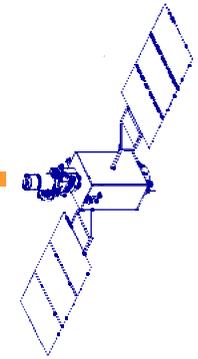
$\pm 0.00006$ 度



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



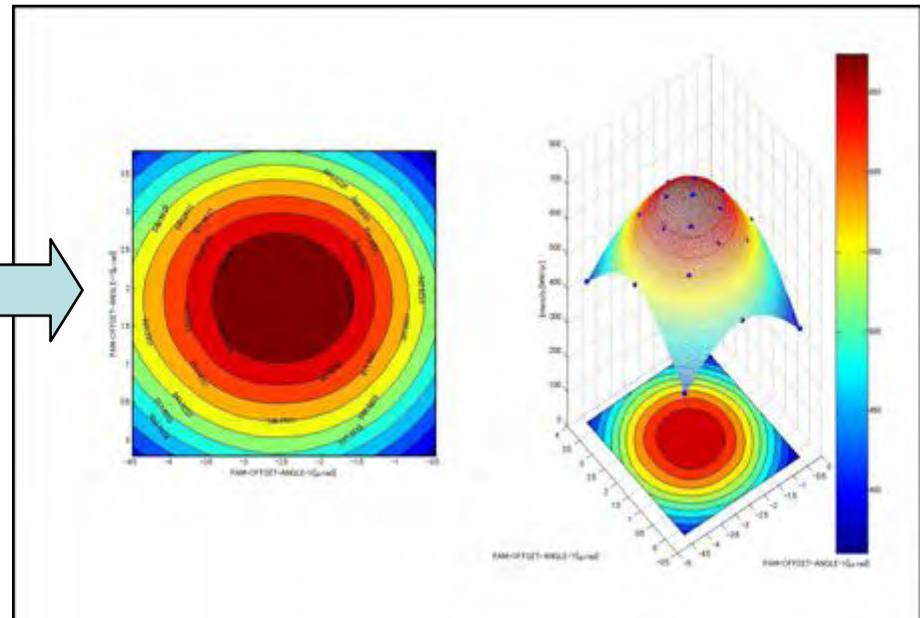
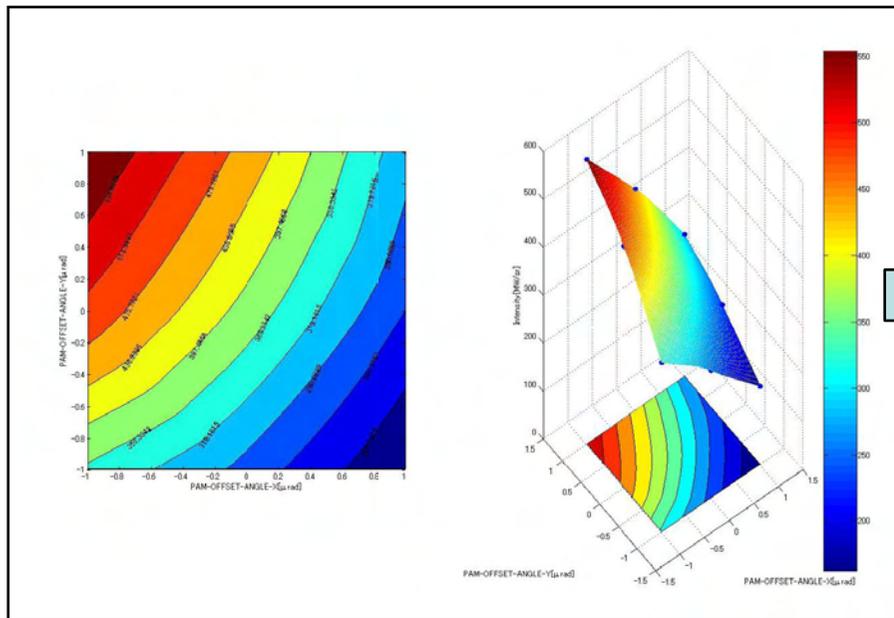
# ARTEMISとの実験結果(1) 送信光ビーム補正



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



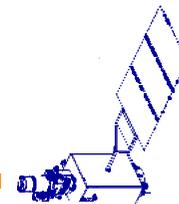
12月19日測定

1月26日測定

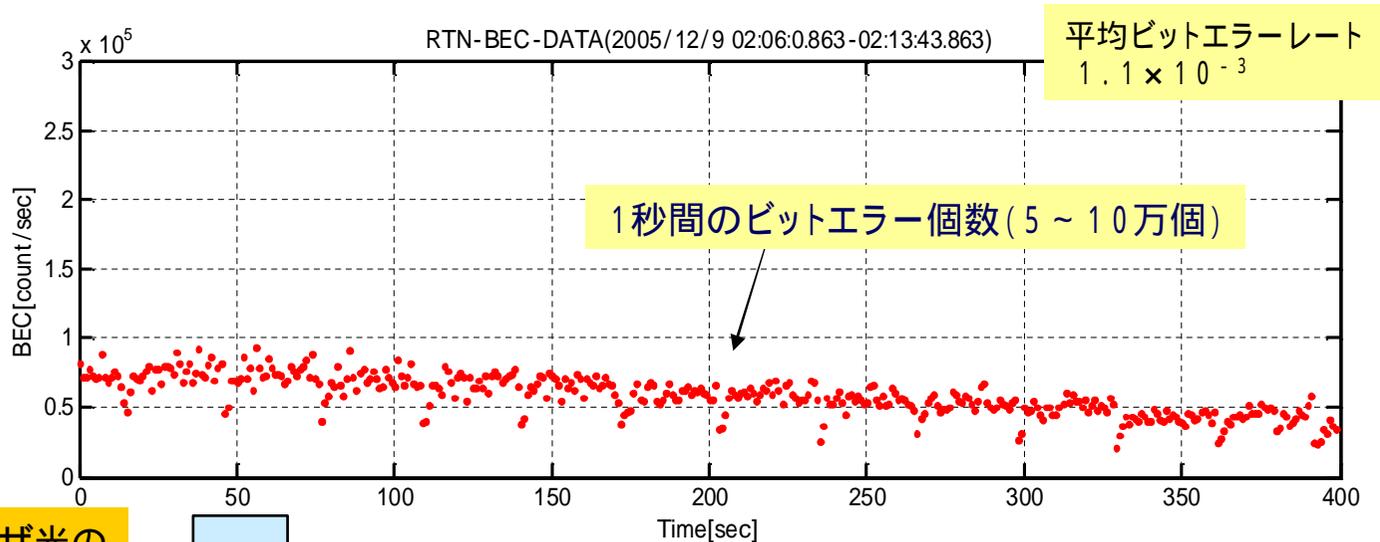
「きらり」の送信光ビームを軌道上で連続的にオフセットさせることにより、レーザーの放射強度分布を測定することができた。その結果バイアス的な「ずれ」を推測、補正することに成功した。



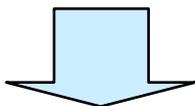
# ARTEMISとの実験結果(2) 通信ビット誤りの向上



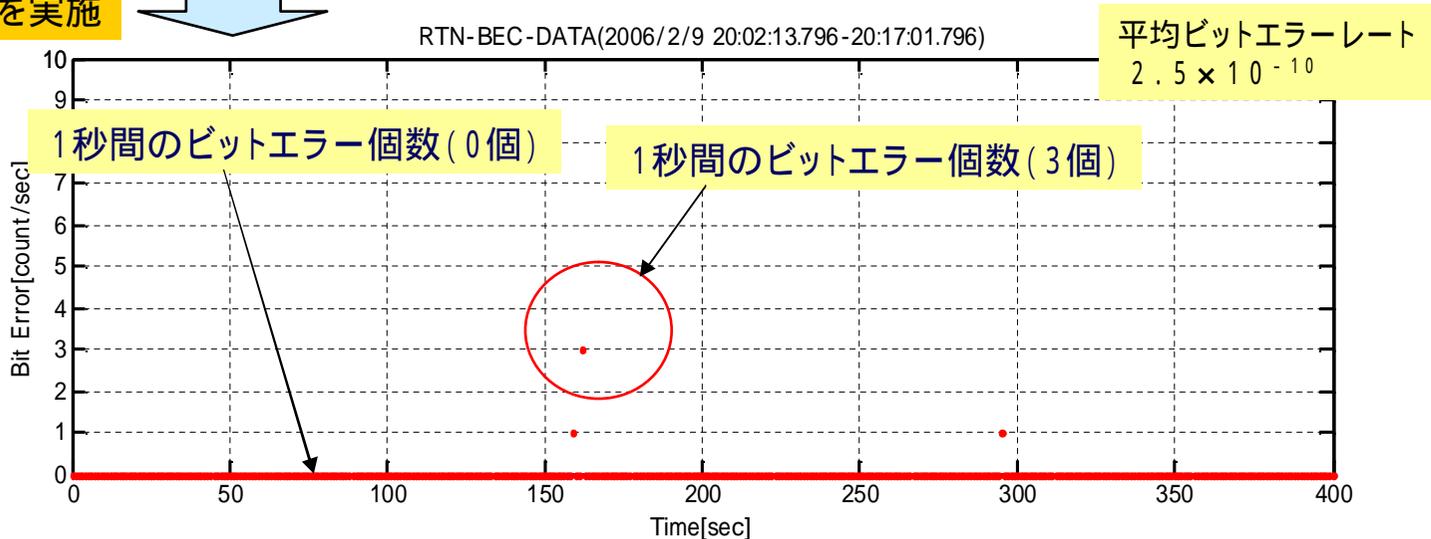
12月9日



送信レーザ光の  
角度補正を実施

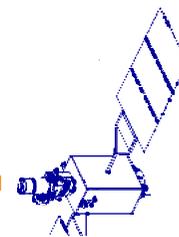


2月9日

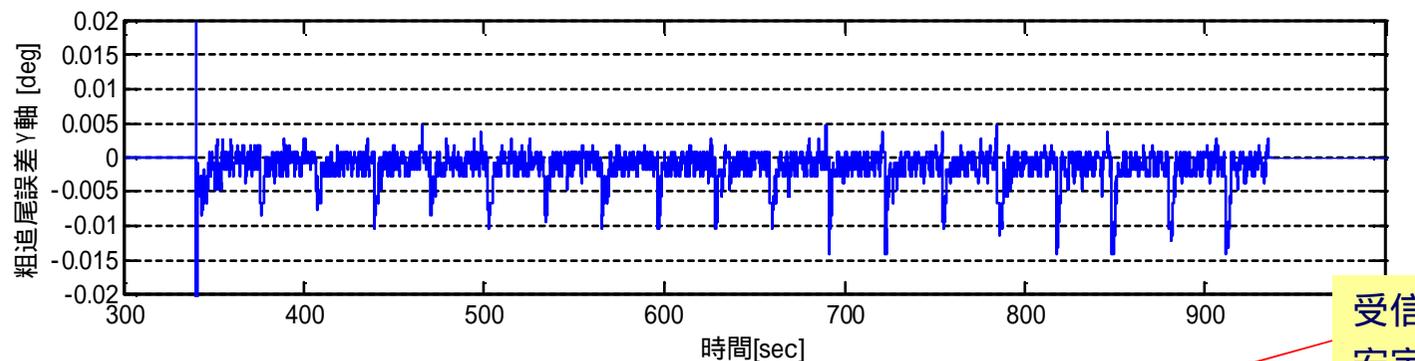
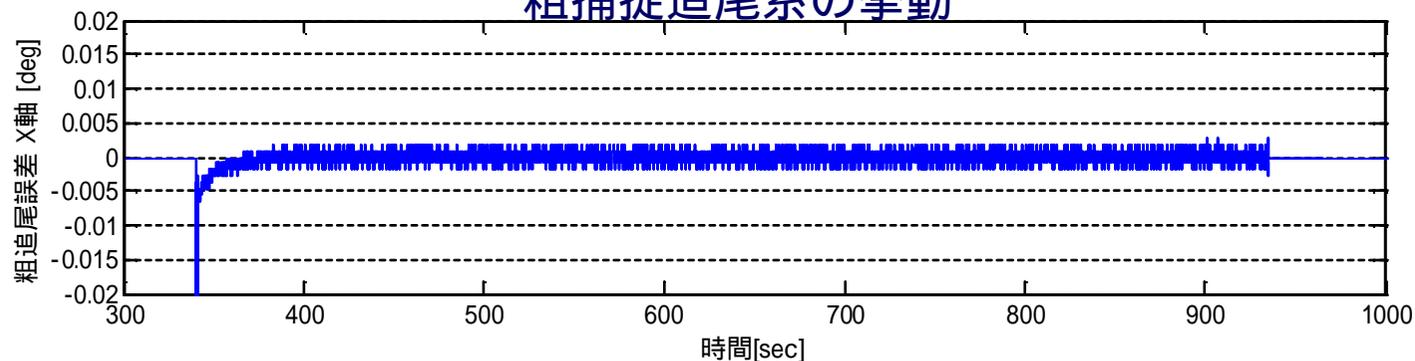




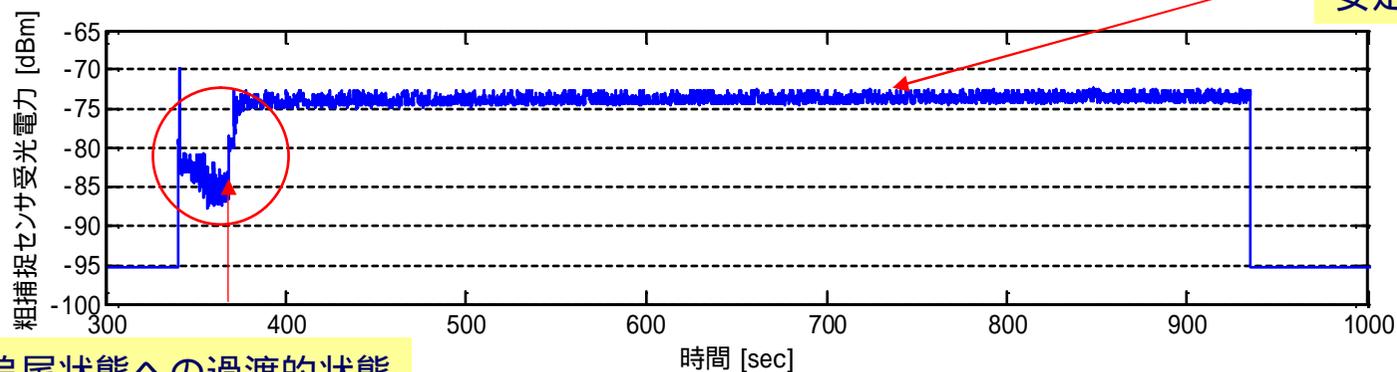
# ARTEMISとの実験結果(3) 追尾状態の維持



### 粗捕捉追尾系の挙動



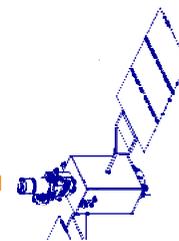
受信レベルは  
安定状態を維持



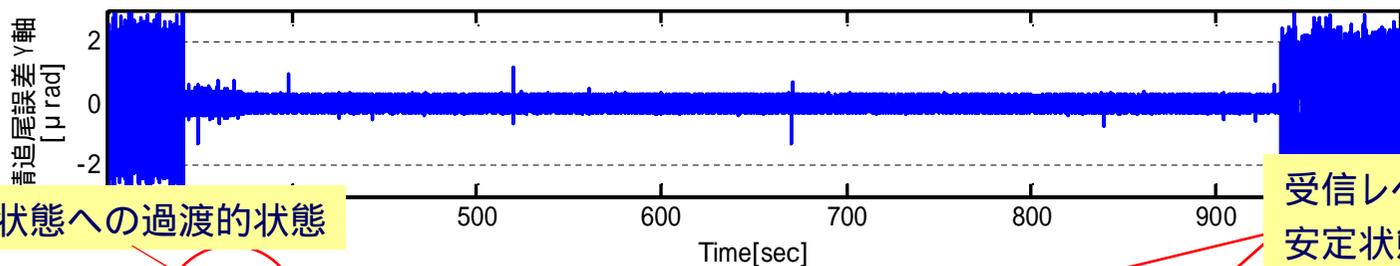
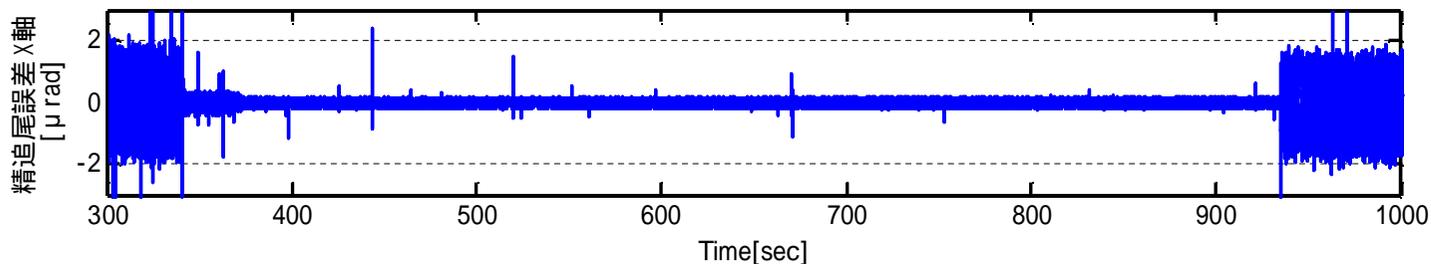
捕捉 追尾状態への過渡的状态



# ARTEMISとの実験結果(4) 追尾状態の維持



## 精捕捉追尾系の挙動



捕捉 追尾状態への過渡的状态

受信レベルは安定状態を維持

