

# AEI帰朝報告



東京大学理学系研究科 坪野研究室  
正田亜八香

# Albert-Einstein Institute in Hannover

## Max-Planck Institute for Gravitational Physics

- 重力波観測実験

  - LISA

  - プロトタイプ (10m)

  - GEO

  - Laser (High power, Squeezing )

- GRACE

- 理論

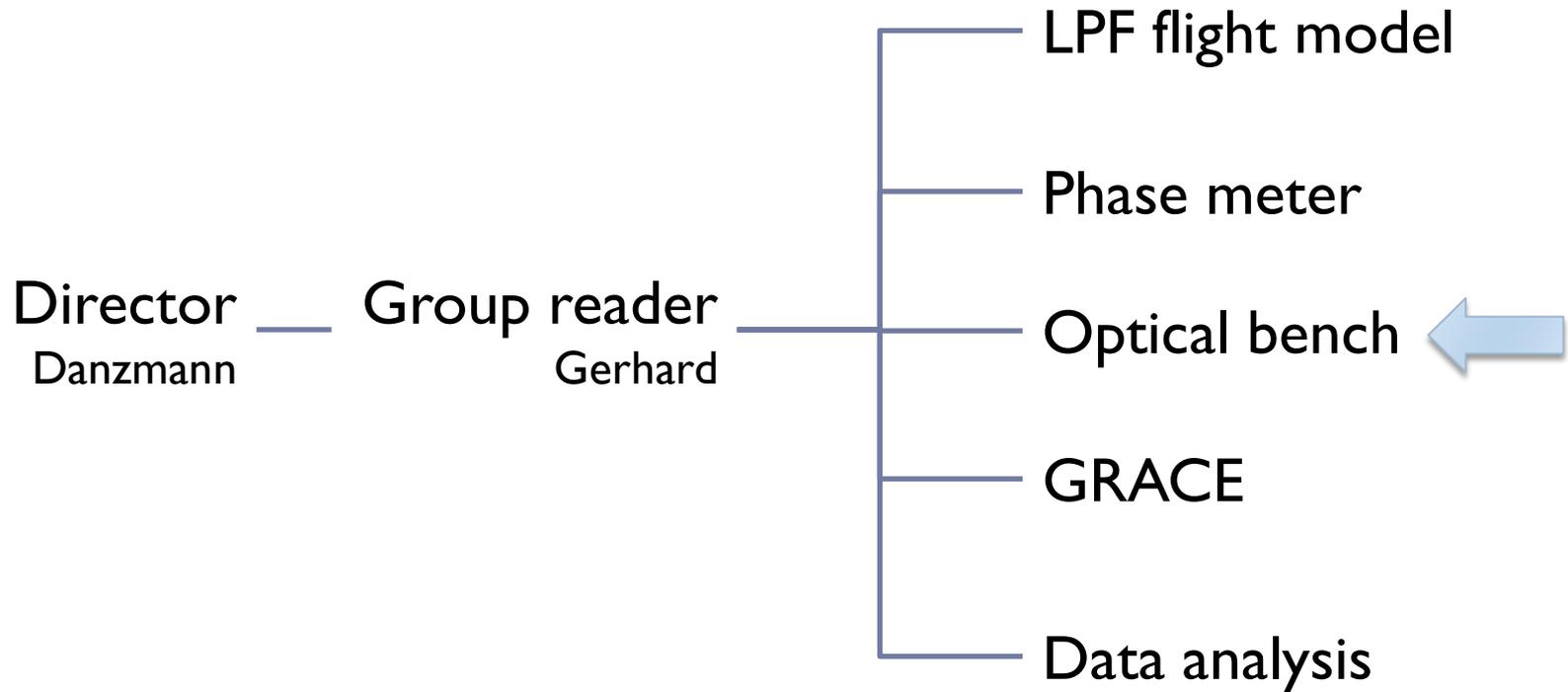
  - Data Analysis

  - Theory



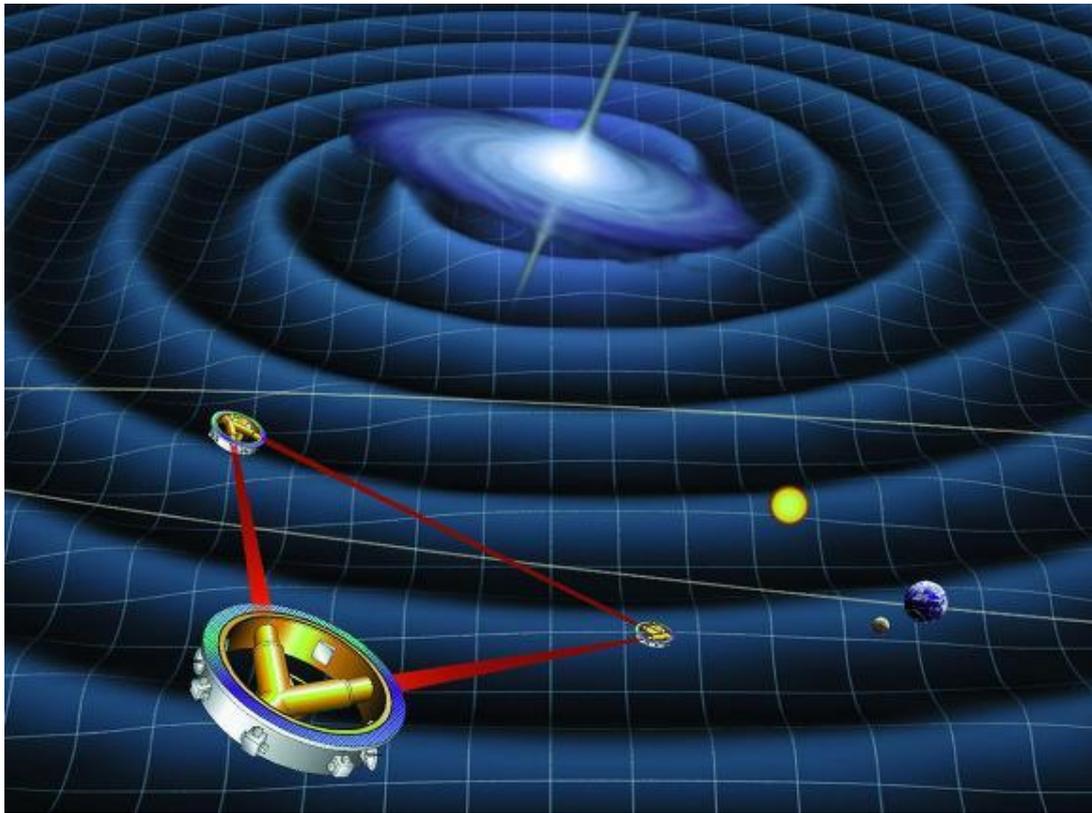
# LISA-GRACE group

---



# LISA概要

3基の衛星による, 宇宙間重力波望遠鏡.

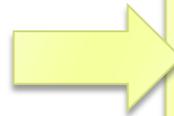


- Laser干渉計
- Drag-free
- Heterodyne signalを用いて検出を行う
- QPDによるDifferential wave front sensingでテストマスの傾きを感知

# 実験概要

## ▶ Imaging Optics (LISA optical benchのための光学設計)

Test mass の傾きは重力波信号にとってノイズになる



Wave front sensingによって傾きを考慮してやれば良い

しかし、実際は

test mass の傾きによって引き起こされる longitudinal signal の変化

≠

Wave front sensing (実際の test mass の傾き) から予測される longitudinal signal の変化

センサーからのカップリングによる

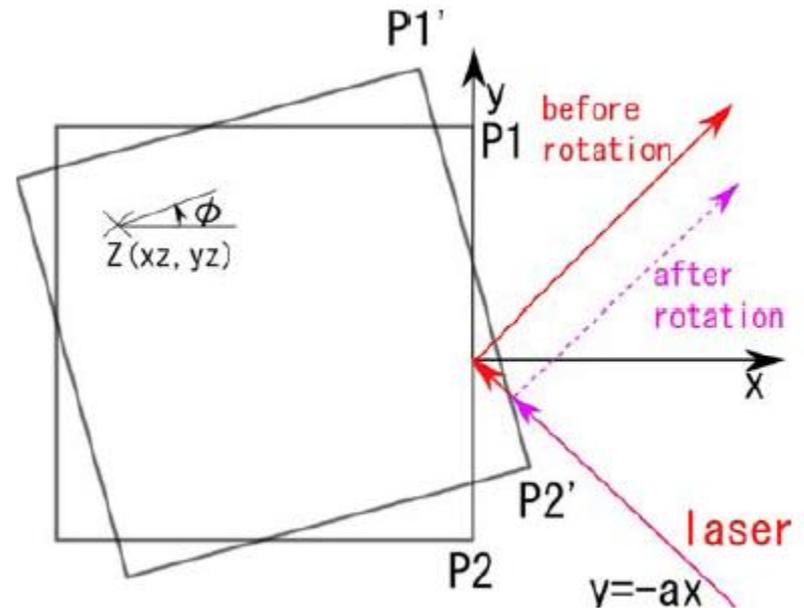
# 実験概要

## Test massの傾きによlongitudinal signalの変化

Test massが回転中心 $(x_z, y_z)$ のまわりで回転すると, longitudinal signalは

$$\Delta S_{45^\circ} \approx -\sqrt{2} \left\{ y_z \phi + \left( y_z - \frac{x_z}{2} \right) \phi^2 \right\}$$

となる. (beam の入射角 $=45^\circ$ )



# 実験概要

センサーカップリング

- PDからのカップリング  
(ビームの端が切れる, など)
- ビームミスマッチ  
(半径, ウェスト位置の違い, など)
- Imaging opticsからのカップリング  
(干渉する2つのbeam pathの違い)

これらのcoupling errorを最小限に抑えたい・・・



PDの前にlenseによる  
beam compressorを置くと,  
couplingが少なくなる

目標: カップリングの大きさを

**3.2 [pm/ $\mu$ rad] (-250 $\mu$ rad $<\varphi<$ 250 $\mu$ rad)**

におさえる

# 実験概要

シミュレーションによって  
センサーカップリングが小さくなる  
レンズの配置は決定されている

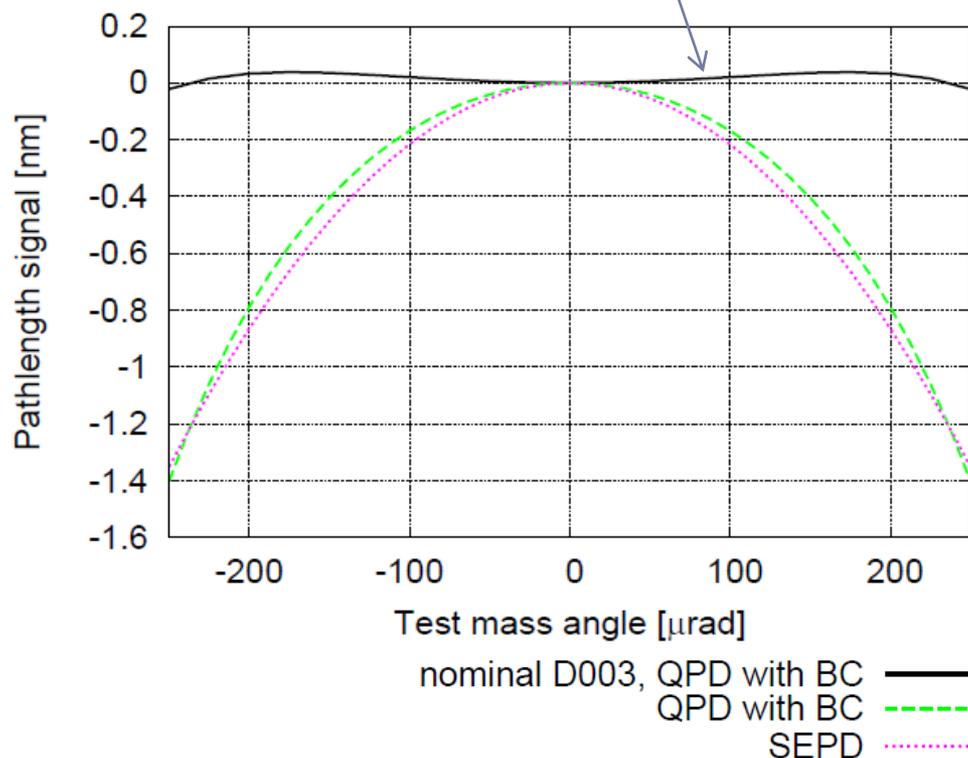


実験にで、このシミュレー  
ション結果を確かめる

実験内容:

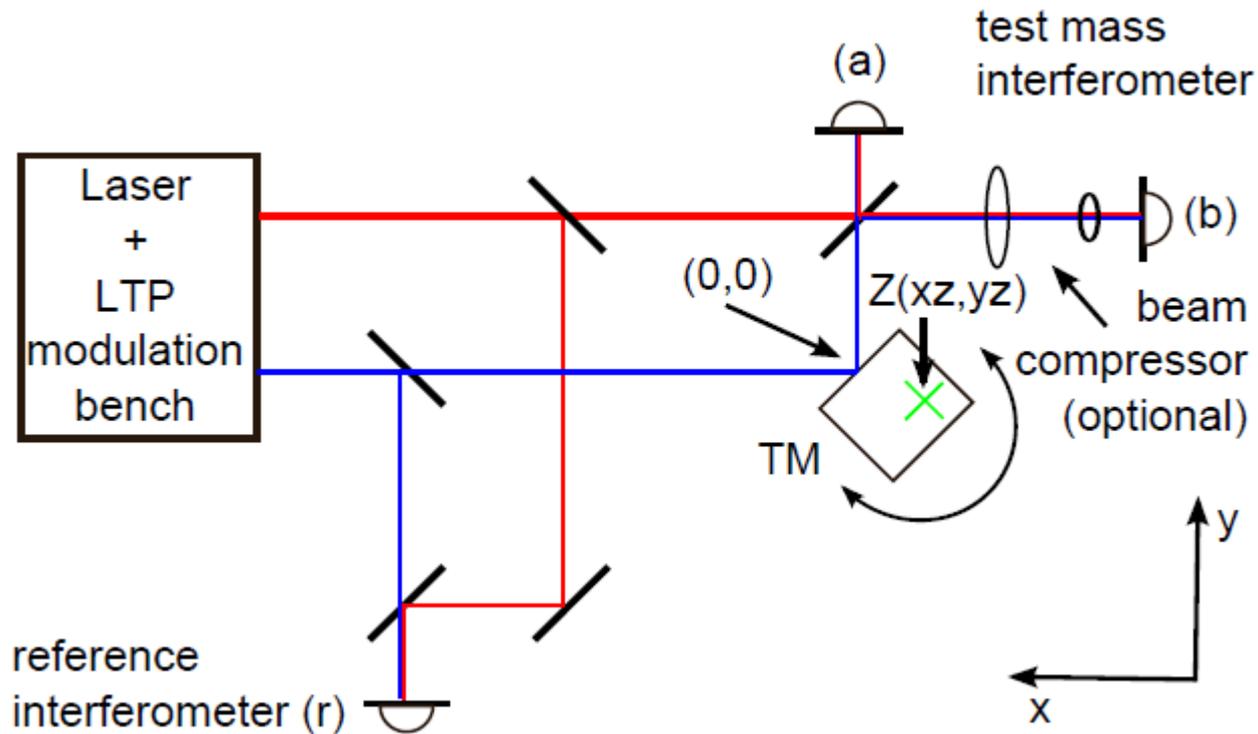
test massとみなしたミラーを  
ピエゾで傾け, sensor coupling  
のほとんど無いSEPDと  
coupling の大きいQPDの  
longitudinal signalを比較する

カップリング量  
=QPD with BC -SEPD  
(カップリングあり)-(カップリングなし)



Simulated by Gudrun and Evgenia

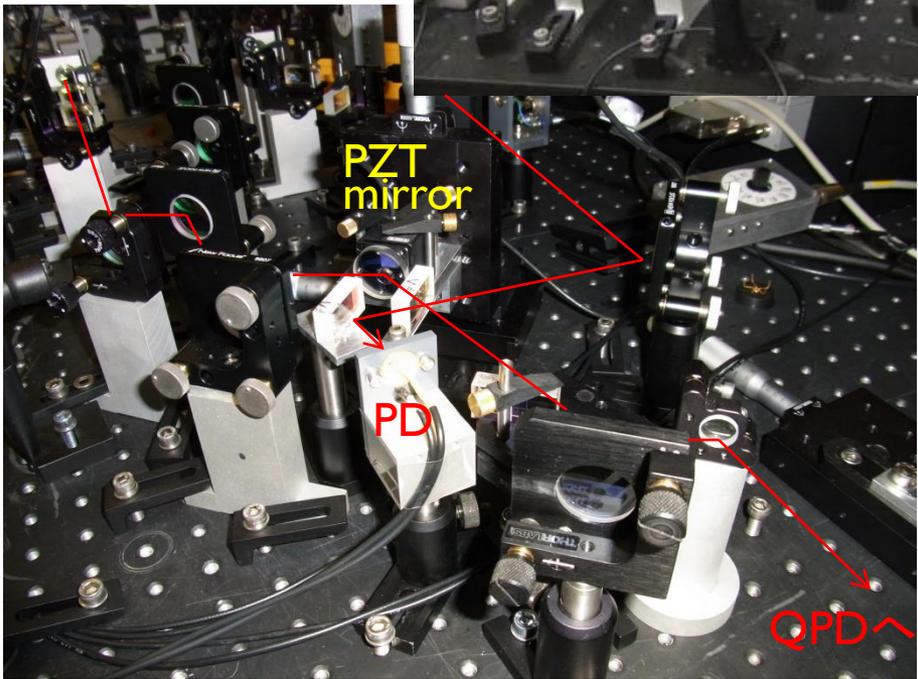
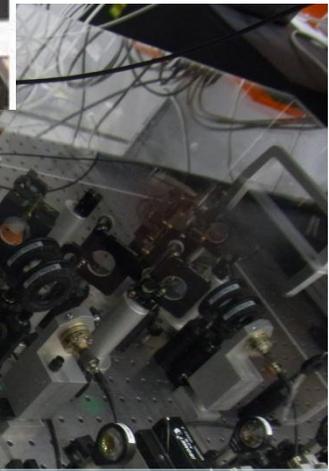
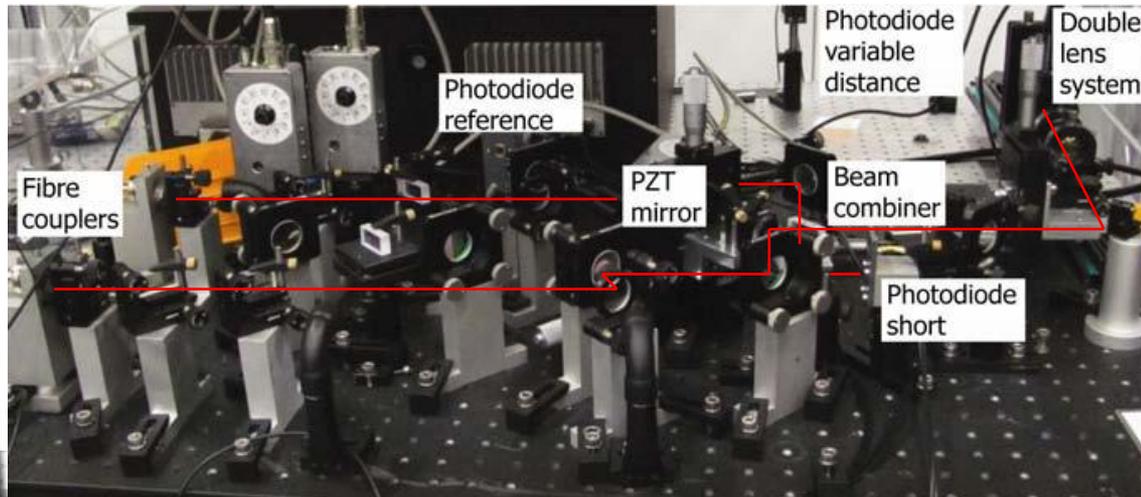
# 実験方法



- (a) SPD (直径大→coupling無しとみなして良い)
- (b) QPD (couplingあり. LISAで使うもの)
- (r) reference

TM mirror の Piezo に一定周波数の三角波信号を注入, mirror を傾ける

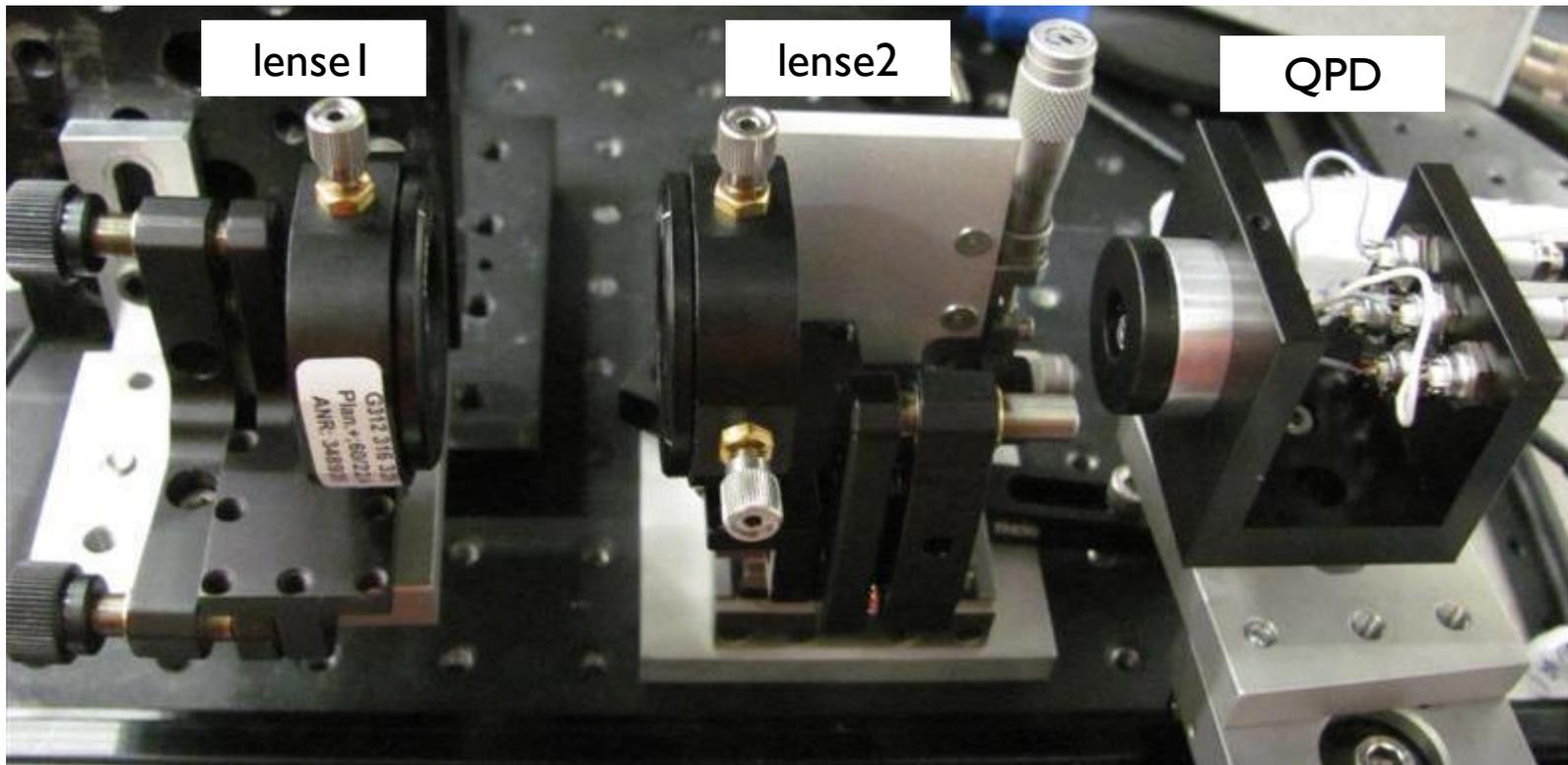
# 実験装置



光源からヘテロサイン信号を乗せるまではひとつのケースにまとめられ、他の実験台にも分配される

# 実験装置

設置するlenseの位置は非常にナイーブなので、マイクロメーターステージにlenseを置いて、微調整して最適な位置を探っていく



# 実験装置

## Phase meter

これを用いてPCにデータを取り込み，解析を行う。

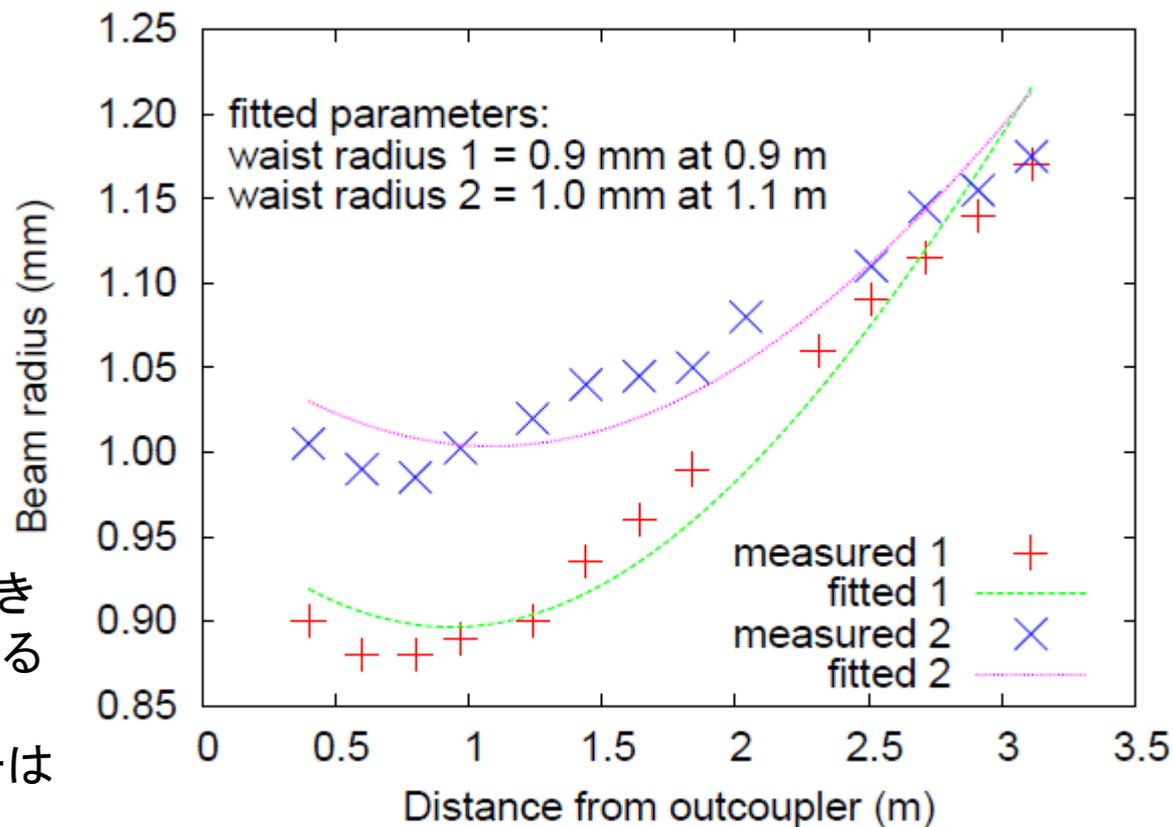


# 実験

## ▶ Beam characterization

2つの入射光の  
パラメータを評価

Fiber collimator を用いてできるだけパラメータがマッチするように調節したが、まだ mismatches は残っている



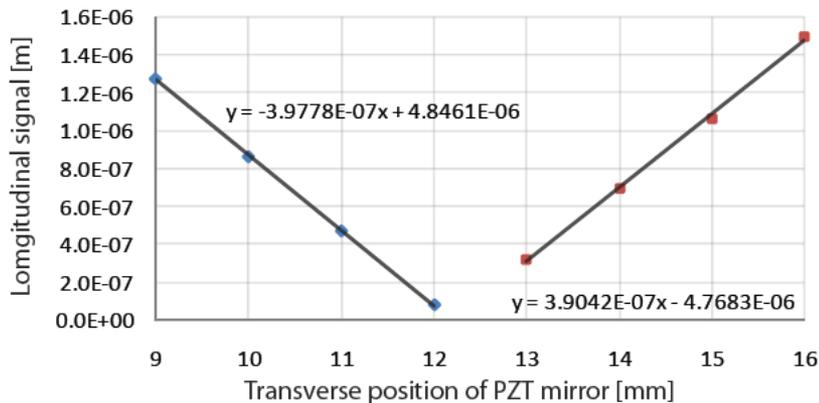
# 実験

## ▶ PZT mirror alignment

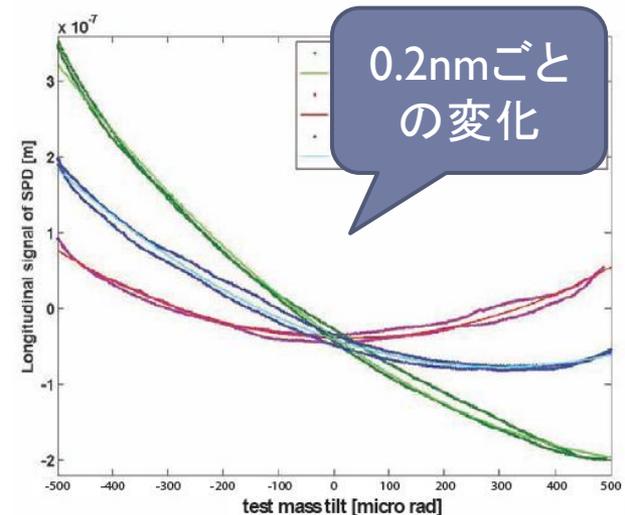
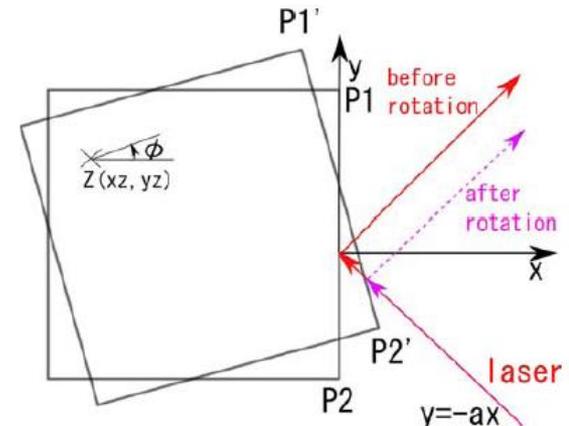
Mirrorがのっているmicrometer stageを調整して, beamの入射位置を調整し, 回転中心を  $(x_z, 0)$  になるようにする

$$\Delta s_{45^\circ} \approx -\sqrt{2} \left\{ y_z \phi + \left( y_z - \frac{x_z}{2} \right) \phi^2 \right\}$$

Test massによるlongitudinal signalの変化はパラボラになるはず



大まかなアライメントを行った後, 細かいアライメントはパラボラの状態を見てチェック



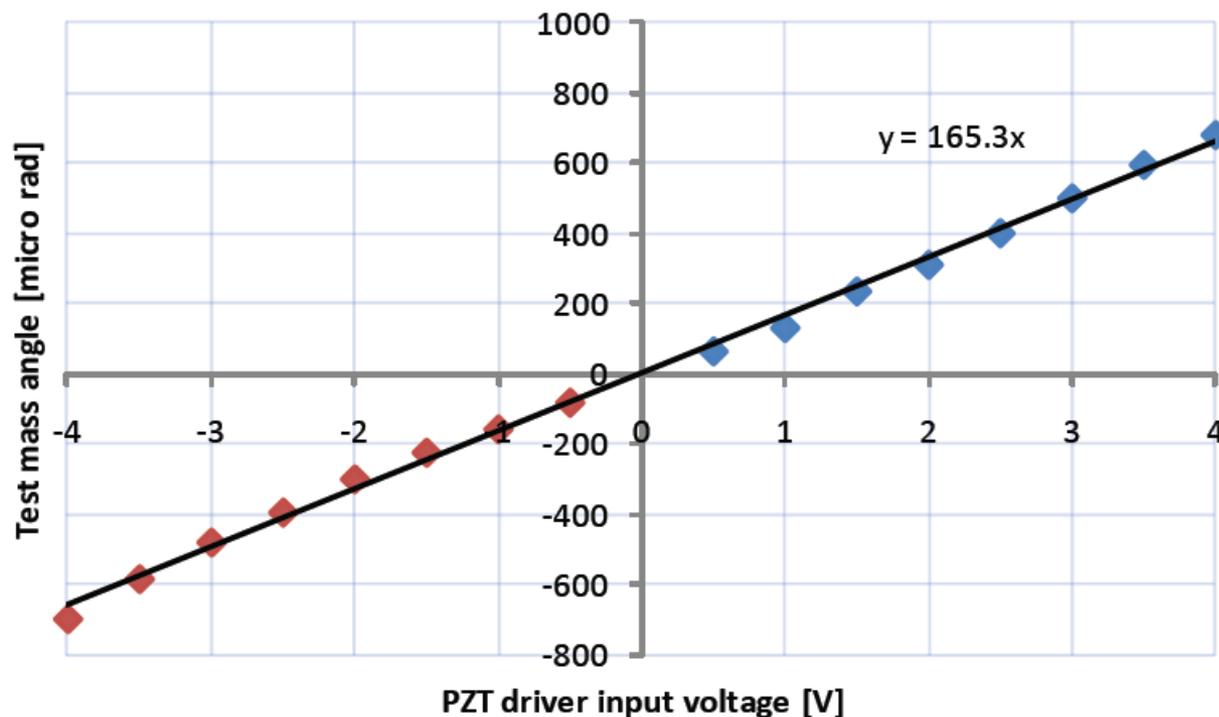
# 実験

## ▶ PZT angle calibration

PZTにかけた電圧と  
Test massのangleを  
対応させる。



PZTに電圧をかけ、  
ある一定の距離離れた  
QPDにおいてbeamの  
中心がどれだけずれ  
るかを測定した。

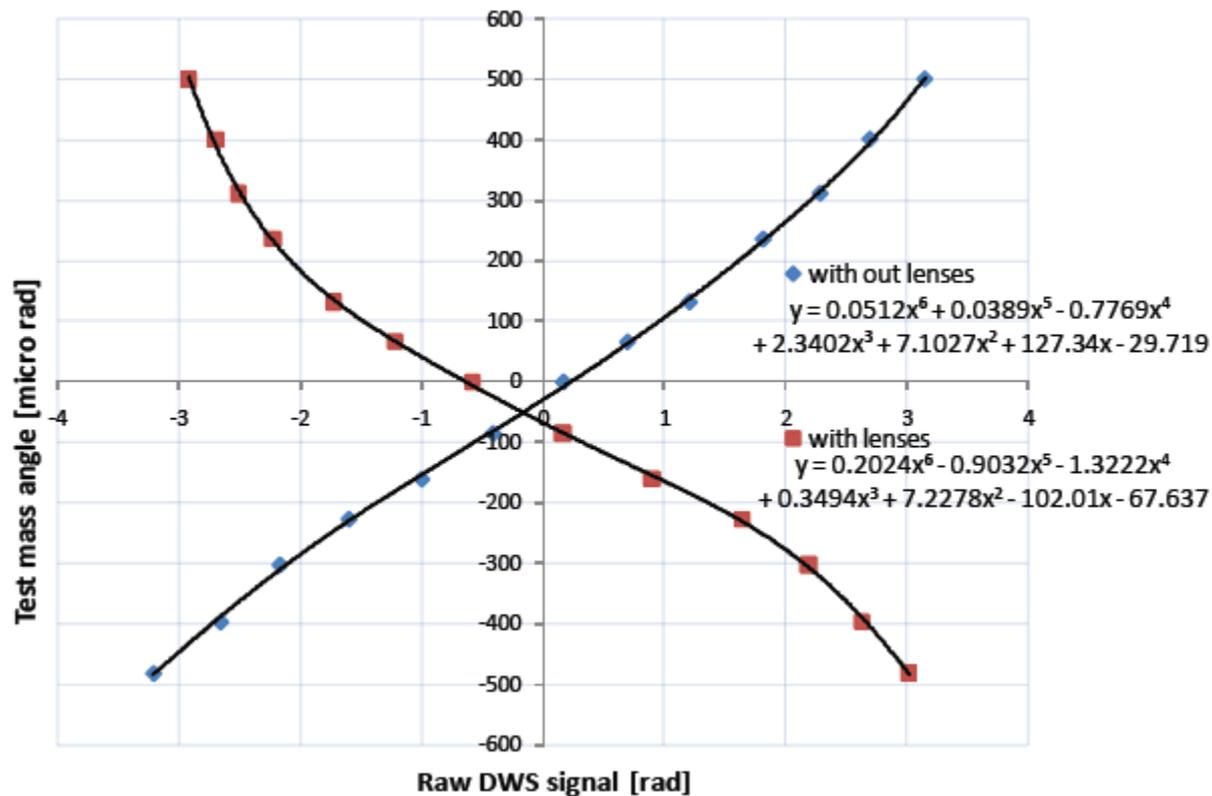


# 実験

## ▶ DWS signal calibration

Test massの傾きと  
DWS signalの大きさを  
対応させる

本実験では, DWS signalと  
longitudinal signalが取得  
され, それらをプロットする  
→DWS signalからmassの  
傾きへのcalibrationが  
必要



# 解析方法

Test massの傾きは非常に小さい(300 $\mu$ rad程度)なので, signalも小さい.  
→全体のnoiseから, test massの傾きに関する信号だけを抽出したい

Test mass は周波数 $f_0$ の三角波信号によって揺らされている



$f_0, 2f_0, 3f_0, 4f_0 \dots$ の周波数成分だけピックアップしていけば, test massの傾きによる longitudinal signalを抽出できる

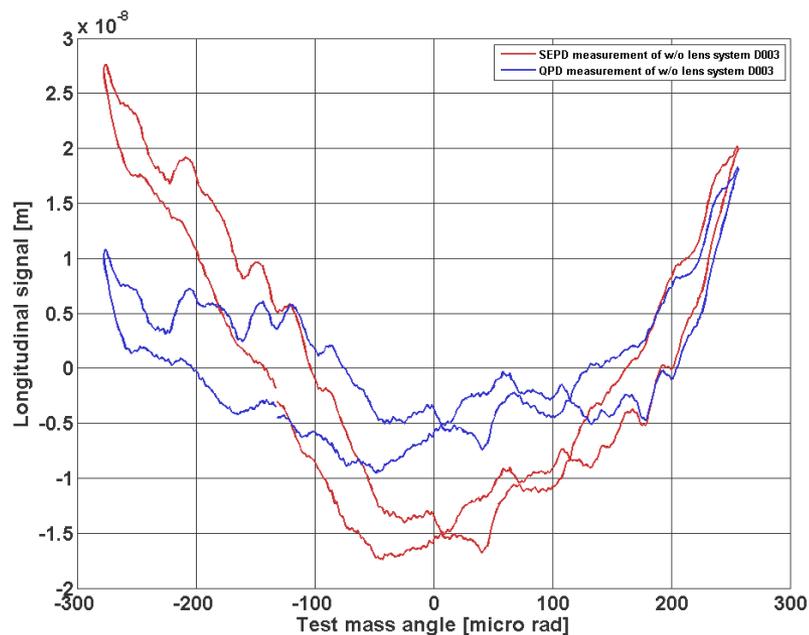
得られたデータをFFT

→ $f_0$ の倍数の周波数帯の成分だけ取り出す

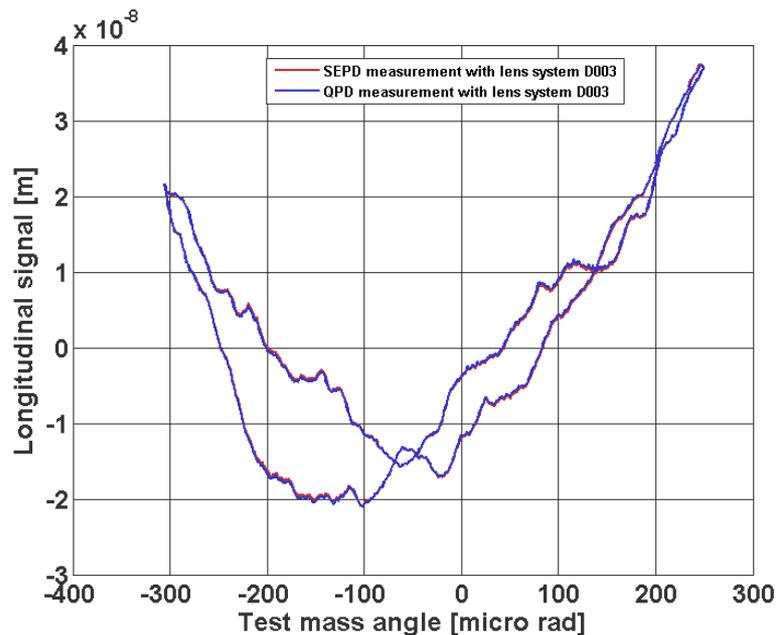
→逆FFTをして時系列データにもどす

# 結果

## 得られたtest massの傾きによるlongitudinal signal変化



w/o beam compressor



With beam compressor

本来は2次関数のグラフになるはず・・・(実際綺麗な2次関数になっていた事もあった). おそらくPZTの不具合の所為でギザギザになっている

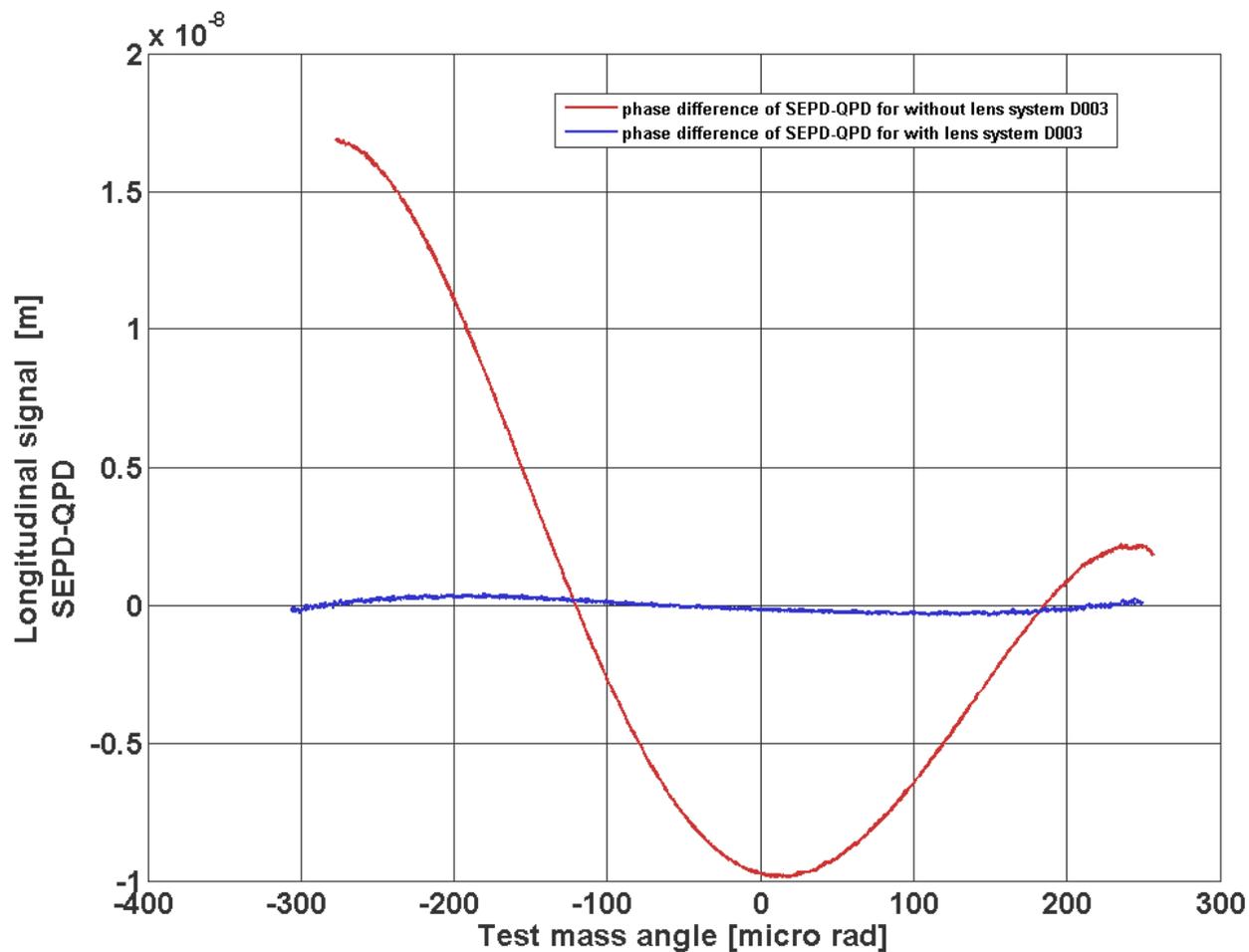
# 結果

SEPD-QPDをプロット

赤 : w/o BC

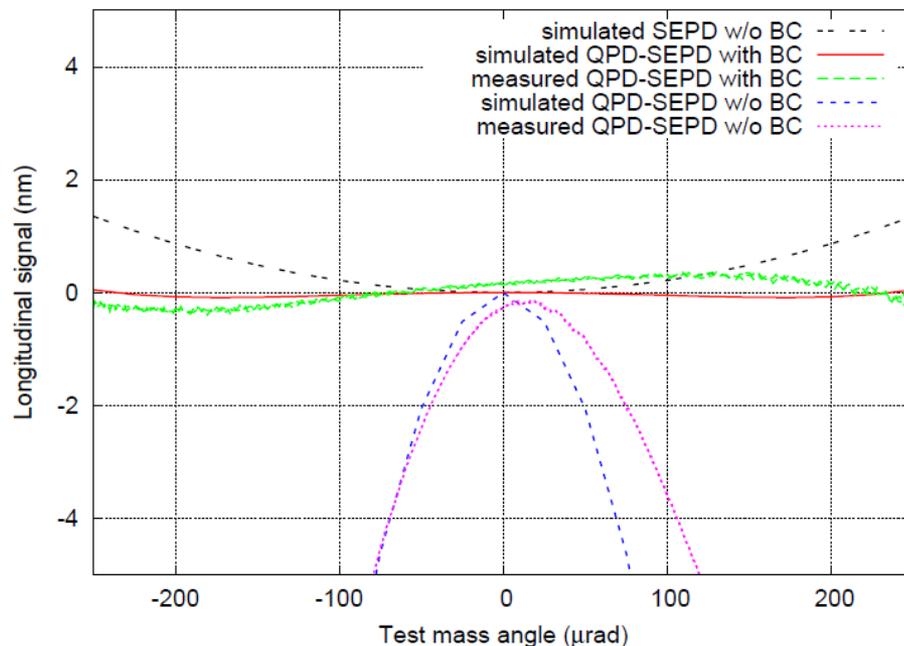
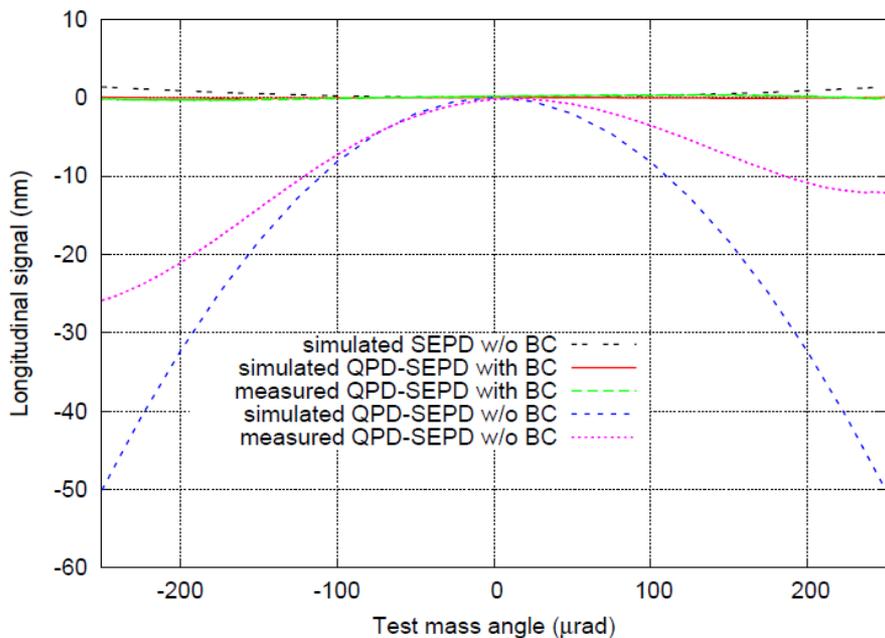
青 : with BC

Sensorからのcoupling errorはBCによって、およそ1/10に小さくなっているのがわかる。



# 結果

## シミュレーションと比較



Calculated by Johanna

BCなしではシミュレーション結果と大きくずれているが、BCありではシミュレーション結果との差は1nm以下である。  
ただし、requirementには届いていない。

# まとめ

---

- ▶ PZTでmirrorを傾け, longitudinal signalの変化を測定  
longitudinal signalはHeterodyne signalで測定される  
ビームの傾きはDWSによって測定される
- ▶ Beam compressorの有無によってsensorからのcoupling error  
が変化するか測定  
BCによってcoupling errorを1/10程度には抑える事が  
できた. しかし, requirement には達していない
- ▶ より良くmatchさせたビームを用いて実験する必要がある.  
→更なるcoupling errorの減少が期待できる

# COSPAR (Committee on Space Research)



38<sup>th</sup> COSPAR scientific assembly in Bremen, Germany  
(17<sup>th</sup> – 24<sup>th</sup> July)



衛星専門の学会

参加人数：3000人！

基礎科学衛星，デブリ問題から果ては宇宙食まで

# Bremenは科学技術の街

## Bremen 近郊の科学技術センター



German Research Center for Artificial Intelligence



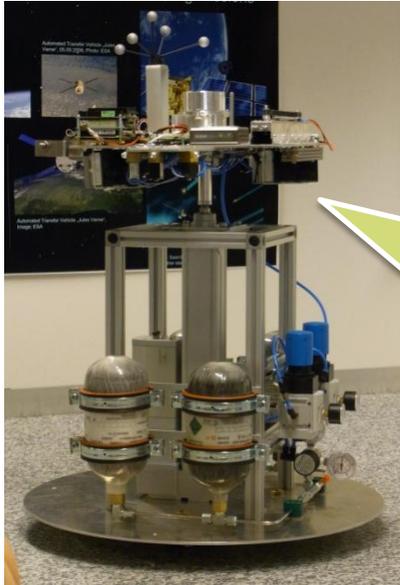
Orbital High-technology  
Bremen



Alfred Wegener Institute for  
Polar and Marine Research



# DLR: ドイツ航空宇宙センター



スラスタ開発  
(65mN thruster)



車輪開発  
(惑星に着地した時  
に用いる)



着陸場所決定  
のセンサー開発

etc...

# ZARM (Drop Tower)

Center of Applied Space Technology and  
Microgravity

自由落下実験が行えるところ (146m)  
落下時間は短いが、飛行機や気球に  
よる落下実験と比べても小さい重力  
下で実験できる  
(LPFの実験の一部もここで行っている)



落下体のモデル



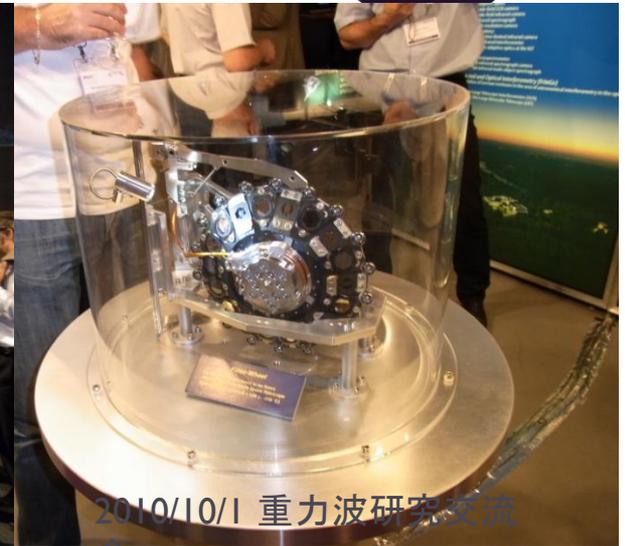
# Exhibitionがすごい

一般，企業向けに衛星ミッションを紹介した  
ブースが展開されている



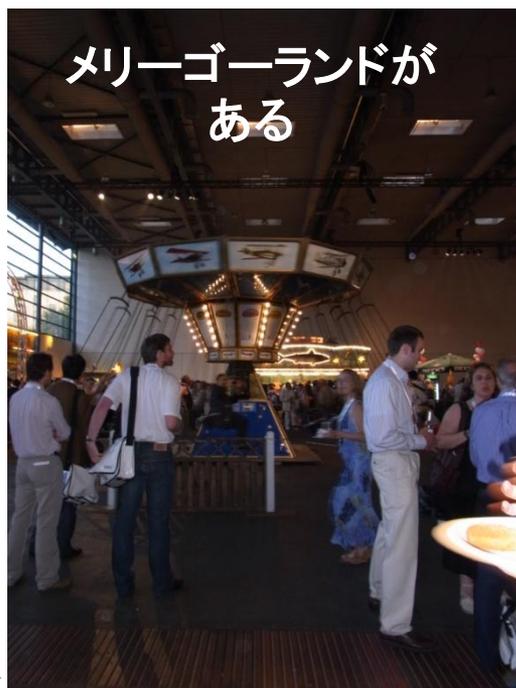
LISAのモデル

足長お兄さん  
とお姉さんが  
お出迎え



2010/10/1 重力波研究交流  
会

# Receptionもすごい



もちろんBECK'sビール  
は飲み放題.

# 観光のススメ

ドイツは電車が便利！

ICE, U barn, S barnが発達. 車は多分不便(特にベルリン).

オススメ:

**German rail pass** 有効期限1カ月のフリーパス.  
使用日数は3日～選ぶ事が出来る. 使用する日程は連続している必要なし！(週末とかだけ使える)  
25歳以下はyouth 割引あり

**複数人で行く** ドイツの電車は切符1枚で5人まで乗車可能  
(single ticket を除く) みんなで行って割り勘するとお得



# Thanks

---

## 共同研究者

Johanna B,  
Michael T,  
Gudrun W,  
Evgenia G,  
and Gerhard H.

