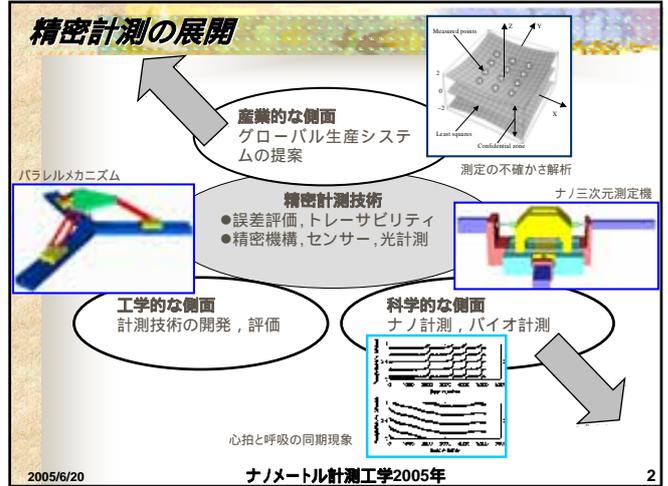


## ナノメートル計測学 システム創成学科BISコース

2005年6月20日  
東京大学工学系研究科精密機械工学専攻  
高増潔



- ### 高増・高橋研究室のプロジェクト
- 新しいICMMの開発
    - Nano-CMMの開発
    - Nano-Probeの開発
    - Parallel-CMMの開発
  - 座標計測におけるソフトウェア
    - CMMのための統計的なデータ処理
    - CMMのための測定の不確かさ
  - 三次元機構のキャリブレーション
    - 多関節CMMのキャリブレーション
    - Parallel-CMMのキャリブレーション
  - 光学測定(三次元形状測定)
    - パターン投影法(自己参照パターン, デフォーカス)
    - 波長走査干渉法
  - 生体測定
  - 近接場光学のナノメートル加工, 計測への応用
- 2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 3



### CMM (Coordinate Measuring Machine)

- LEGEX707 (ミツトヨ)
  - $E = (0.48+L/1000) \mu\text{m}$
  - 500 mm に対して  $0.98 \mu\text{m}$
  - $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  の温度に対応
  - 測定範囲: 705 x 705 x 605 mm
- BrightApex 700 (ミツトヨ)
  - $E = (2.9+4L/1000) \mu\text{m}$
  - 500 mm に対して  $4.9 \mu\text{m}$
  - $20 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$  の温度に対応

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 5



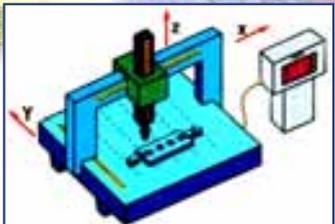
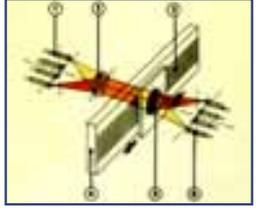
### 多関節



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 7

### 三次元座標測定

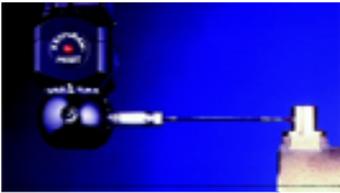
- 3つの直交した軸 (X, Y, Z)
  - 3つの直線案内
  - 3つのスケール
  - プロービングシステム
- CMM (Coordinate Measuring Machine)

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 8

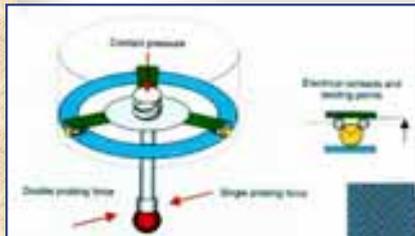
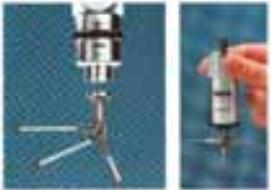
### プロービングシステム

- タッチ信号式 (レニショー: 英国)
  - 対象を選ばない安定した測定
  - 低価格
- 走査式
  - 高価格
- 光学式
  - 対象の影響を受けやすい
  - 三角測量タイプ
  - 画像処理タイプ



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 9

### タッチ信号式のプローブ

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 10

### 走査式プローブ



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 11

### Zeiss スキャン



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 12

### 光学式プローブ

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 13

### Zeiss光スキャン

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 14

### Zeiss画像

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 15

### プロービングの補正

- 基準球を測定して、プローブの位置と直径の測定と補正
  - いくつかのプローブを1つのプローブとして扱う。
  - プローブの直径を0として扱う。
  - 測定する座標はプローブの中心と考える。
- このための補正を計算機で自動的に行う。

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 16

### プローブ径の補正

- 穴と軸の直径を測定
  - d: ボールプローブのボールの直径
  - D: 測定した直径
  - 穴の直径の場合:  $D - d$
  - 軸の直径の場合:  $D + d$

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 17

### ソフトウェアによる方向合せ

- X-Y面に測定物がある
  - 原点はどこ?
  - X軸の方向は?
- 2つの穴間距離を測定する。
  - 最初の穴の中心座標を原点 ( $X=0, Y=0$ ) .
  - 2番目の穴の方向をX軸.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 18

**測定結果例**

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 19

**Zeiss自動車**

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 20

**Zeissエンジン**

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 21

**種々の応用例**

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 22

**ナノCMMの開発**

**ナノCMMの目的**

- 測定対象
  - マイクロマシンおよびマイクロマシンの部品
  - 光学素子
- 仕様
  - 三次元測定
  - ナノメートル分解能(ナノメートル精度)
- 安定性
  - 温度
  - 振動

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 24

### ナノCMMの仕様

	一般のCMM	ナノCMM
機械の大きさ	(2000 mm) <sup>3</sup>	(200 mm) <sup>3</sup>
機械の質量	1000 kg	10 kg
測定範囲	1 m <sup>3</sup>	(10 mm) <sup>3</sup>
測定分解能	1 μm	10 nm
測定精度	5 μm	50 nm
プローブの直径	5 mm	50 μm
測定力	10 <sup>-3</sup> N	10 <sup>-5</sup> N
スケールの精度	5 μm	50 nm

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      25

### ナノCMMの基本構造

- 対称構造
- ダブルV溝(テフロンシート付き)
- 高精度シリンダー

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      26

### ナノCMMのプロトタイプ

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      27

### 摩擦駆動の構造

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      28

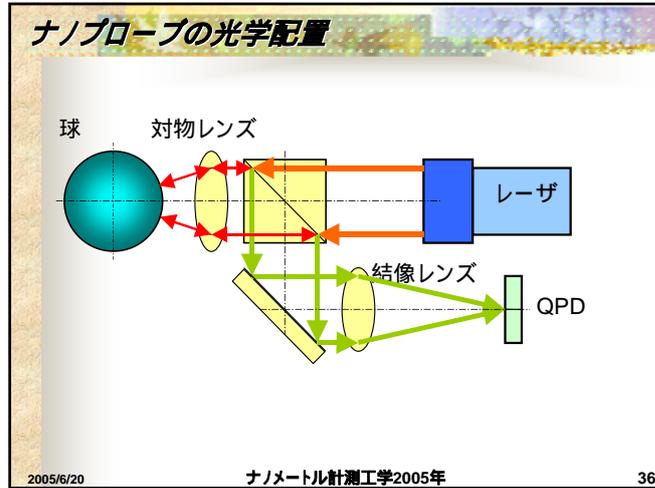
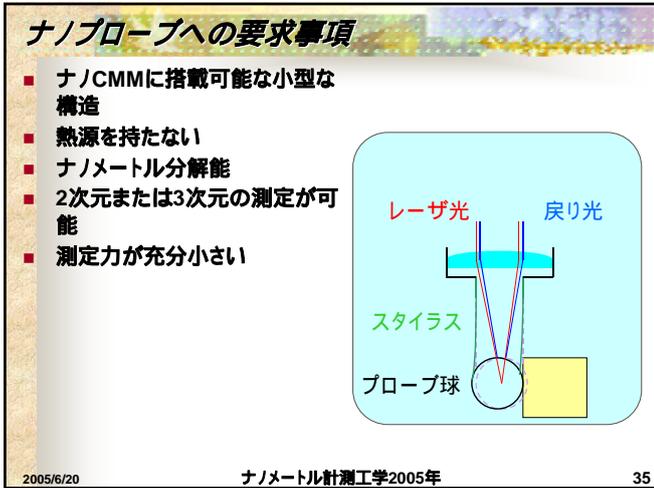
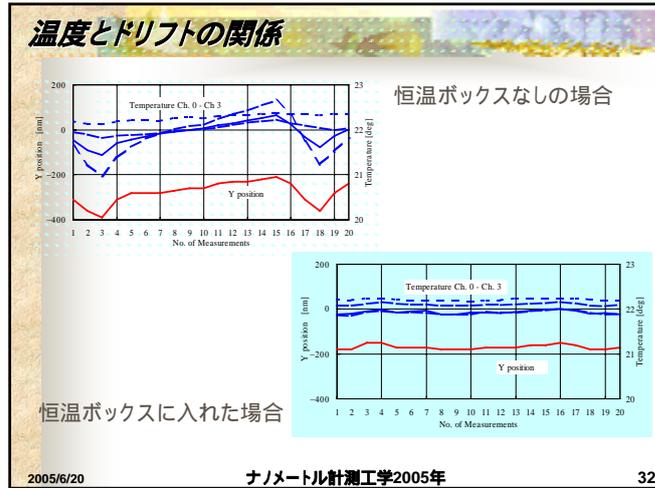
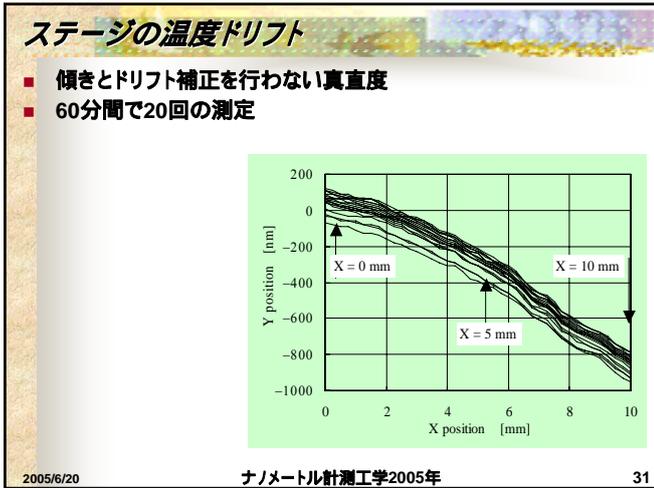
### 真直度の測定

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      29

### Xステージの縦真直度

■ Xステージの縦真直度(10 mmに対して10回測定)

2005/6/20      ナノメートル計測工学2005年      30



### 実験装置

Labels in the image: Holo-gauge, QPD+Amp, Image lens, Laser tube, Mirror, Target sphere, Piezo stage, PBS, Collimator, Stage for fiber, Objective lens, Optical fiber.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 37

### ナノプローブのプロトタイプ

仕様	
長さ (Z)	120 mm
幅 × 奥行き	30 mm × 30 mm
質量	180 g
対物レンズの焦点距離	15 mm
結像レンズの焦点距離	60 mm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 38

### ナノプローブの構造

Labels in the diagram: 半導体レーザー, 4分割フォトダイオード, ナノプローブシステム, ナノCMM, 測定物, スタイルラス球.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 39

### ナノプローブの分解能

Y-axis: Output of QPD [au]  
X-axis: Shift of ball [nm]

測定分解能は、約8 nm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 40

### 2次元測定例

Y-axis: QPD出力 ey  
X-axis: QPD出力 ex

ピエゾテーブルの駆動は、直径約100 nm  
測定分解能は10 nm ~ 20 nm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 41