

三次元座標計測 (第1回) 2005年度大学院講義 2005年10月18日

高増 潔
 東京大学工学系研究科
 精密機械工学専攻
 E-mail: takamasu@pe.u-tokyo.ac.jp
 HP: http://www.nano.pe.u-tokyo.ac.jp/



2005年10月18日
三次元座標測定
1

講義の内容

- 三次元座標測定機の基礎
 - ハードウェアの構成
 - ソフトウェアの構成, データ処理
 - 校正, 精度評価
- 三次元測定に関する精密測定
 - 測定のトレーサビリティ
 - 測定の不確かさ
 - 最小二乗法の応用
- 成績の評価
 - 出席およびレポート

2005年10月18日
三次元座標測定
2

CMMのハードウェアの基礎

三次元座標測定機
 座標測定機
 三次元測定機
 Coordinate Measuring Machine
 CMM(シーエムエム)

2005年10月18日
三次元座標測定
3

高精度CMMの例

- LEGEX707 (ミットヨ)
 - 仕様
 - 500 mmに対して, 0.98 μm の測定精度
 - $20 \pm 2^\circ \text{C}$ の温度に対応
 - $E = (0.48 + L/1000) \mu\text{m}$
 - 測定範囲:
705 x 705 x 605 mm



2005年10月18日
三次元座標測定
4

一般的なCMMの例

- BrightApex 700 (ミットヨ)
 - 仕様
 - $E = (2.9 + 4L/1000) \mu\text{m}$
 - $20 \pm 4^\circ \text{C}$ の温度に対応



2005年10月18日
三次元座標測定
5

ミットヨブライト

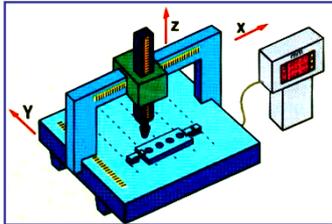


2005年10月18日
三次元座標測定
6

三次元座標測定

CMM (Coordinate Measuring Machine)

- 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



2005年10月18日 三次元座標測定 7

多関節

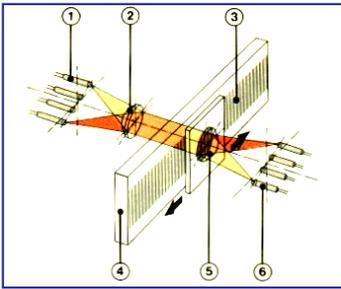


2005年10月18日 三次元座標測定 8

光学式スケール

- ① 半導体レーザーまたはLED
- ② 投影レンズ
- ③ スケール
- ④ 移動するスケール
- ⑤ 結像レンズと測定用窓
- ⑥ フォトダイオード

分解能: 0.1 μm ~



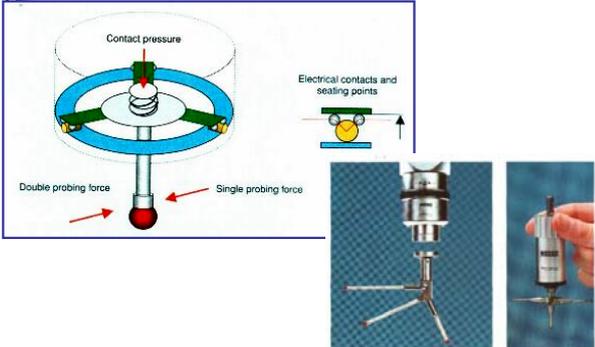
2005年10月18日 三次元座標測定 9

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

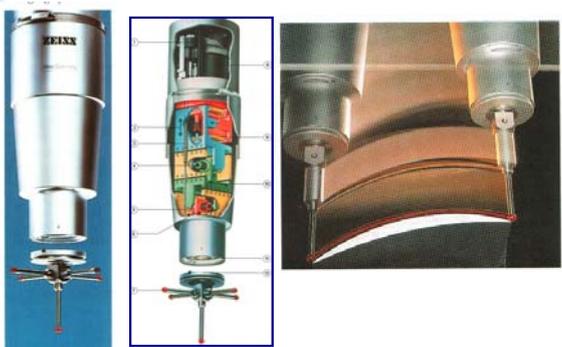
2005年10月18日 三次元座標測定 10

タッチ信号式のプローブ

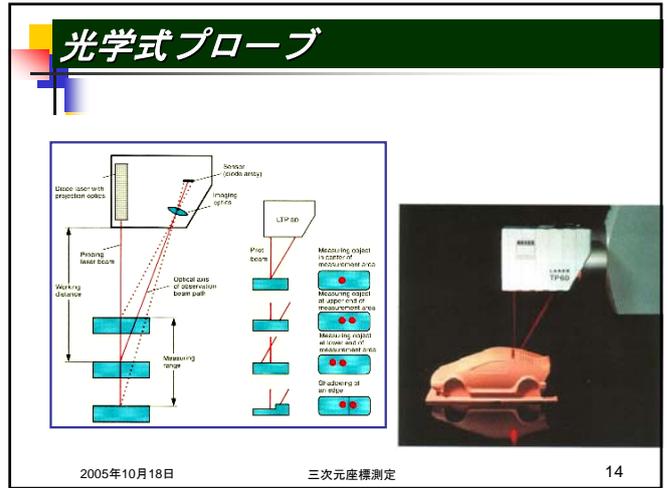


2005年10月18日 三次元座標測定 11

走査式プローブ



2005年10月18日 三次元座標測定 12



プローブの補正

■ 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年10月18日 三次元座標測定 17

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年10月18日 三次元座標測定 18

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年10月18日 三次元座標測定 19

測定結果 (1) 形体の測定

| Element | Identification | Tag No. (ID) | Recommended |
|------------|----------------|--------------|-------------|
| Point | 1 | 1 | |
| Circle | 3 | 4 | |
| Plane | 3 | 4 | |
| Sphere | 4 | 6 | |
| Cylinder | 5 | 8 | |
| Cone | 6 | 12 | |
| Paraboloid | 8 | 9 | |
| Torus | 7 | 12 | |

2005年10月18日 三次元座標測定 20

測定結果 (2) 形状の測定

2005年10月18日 三次元座標測定 21

測定結果 (3) 自由曲面の測定

2005年10月18日 三次元座標測定 22



種々の応用例



2005年10月18日 三次元座標測定 25

Zeiss校正



2005年10月18日 三次元座標測定 26

CMMの例1 (簡易型, 手動)



| 項目 | 機種 | GM Measure 333 | GM Measure 353 |
|-----------|--|----------------|----------------|
| 測定範囲 | X軸 | 300mm | 500mm |
| | Y軸 | 300mm | 500mm |
| | Z軸 | 300mm | 300mm |
| 測定精度 | E = (3.0 + 4L/1000) μm / R = 4 μm (ミットコ機構) | | |
| 最小表示量 | 0.0005mm | | |
| 測高ユニット | リニアエンコーダ+ガラススケール | | |
| 各軸のガイド方式 | エアベアリング | | |
| 各軸の駆動方式 | マイクロメータヘッド (±5mm) / オプション | | |
| Z軸のドライブ方式 | ウェイトドライブ | | |
| 最大測定物質量 | 30kg | | |
| 使用空気圧 | 0.35MPa (空気圧としては0.5~0.9MPa) | | |
| 使用空気量 | 50L/min (空気圧としては100L/min) | | |
| 機械の質量 | 130kg | 170kg | |
| 操作部 | 19"~21" | | |
| 環境範囲 | 15~30℃ (湿度は未指定) | | |
| オプション | 2.0K/分 5.0K/24分 1.0K/分 | | |
| 標準付属品 | エアホース、取扱説明書 | | |

2005年10月18日 三次元座標測定 27

CMMの例2 (低精度, 手動)



| 機種 | 機種 | Crystal Plus M34 | Crystal Plus M14 |
|---------------|--------------------------|----------------------------|------------------|
| 測定範囲 | X軸 | 500mm | 300mm |
| | Y軸 | 400mm | 300mm |
| | Z軸 | 400mm | 400mm |
| 測定精度** | E = (3.5 + 5L/1000) μm | | |
| 最小表示量 | 4.0μm | | |
| 駆動方式 | 各軸エアベ | | |
| 各軸のドライブ方式 | 各軸エアベ | | |
| 各軸の駆動 | 各軸少部駆動機構 | | |
| 測定物 | 最大高さ | 110mm | 800mm |
| | 最大質量 | 100kg | 800kg |
| Z軸のドライブ方式 | ウェイトドライブ (最大1.5kgまで調整可能) | | |
| 空気使用条件 | 使用空気圧 | 0.4MPa (空気圧としては0.5~0.9MPa) | |
| | 空気消費量 | 50L/min (空気圧としては100L/min) | |
| | 標準状態において | | |
| 機械の質量 (測定部含む) | 495kg | 615kg | 1390kg |
| | | 615kg | 1430kg |

2005年10月18日 三次元座標測定 28

CMMの例3 (高精度, NC)



| 項目 | 機種 | FALCO-Apex776 | FALCO-Apex7106 | FALCO-Apex9106 | FALCO-Apex9166 |
|---------|------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 測定範囲 | X | 705mm | 1005mm | 1040mm | 1605mm |
| | Y | 705mm | 1005mm | 1040mm | 1605mm |
| | Z | 705mm | 1005mm | 1040mm | 1605mm |
| 最小表示量 | 0.0001mm (0.1μm) | | | | |
| 最大測定速度 | 4.3mm/s | | | | |
| 最大駆動加速度 | 0.11G | | | | |
| 測定テーブル | 材質 | 鉄鋼 | | | |
| | 最大寸法 | 840×1320mm | 840×1620mm | 1040×1220mm | 1040×2220mm |
| 測定物 | 最大質量 | 500kg | 800kg | 1700kg | 2900kg |
| | 最大質量 | 1400kg | 1630kg | 1340kg | 2900kg |
| 空気使用条件 | 使用空気圧 | 標準状態において 50L/min (空気圧としては100L/min) | | | |
| | 空気消費量 | 標準状態において 50L/min (空気圧としては100L/min) | | | |

2005年10月18日 三次元座標測定 29

CMMの例4 (超高精度)



| 機種 | 機種 | LEDEX 812 | LEDEX 874 | LEDEX 874 | LEDEX 876 | LEDEX 916 | LEDEX 1018 |
|---------|----------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 測定範囲 | X軸 | 355mm | 515mm | 715mm | 715mm | 915mm | 1215mm |
| | Y軸 | 355mm | 515mm | 715mm | 715mm | 915mm | 1215mm |
| | Z軸 | 355mm | 415mm | 415mm | 415mm | 415mm | 415mm |
| 最小表示量 | 0.0001mm | | | | | | |
| 精度 | MPE, Z軸 | 0.3μm/100mm | | | | | |
| | MPE, X/Y | 0.4μm | | | | | |
| | MPE, Z | 0.4μm | | | | | |
| 駆動方式 | 2.5次元エア | | | | | | |
| 最大駆動速度 | 200mm/min | | | | | | |
| 最大駆動加速度 | 600mm/s ² | | | | | | |
| 測定テーブル | 材質 | 鉄鋼 | | | | | |
| | 最大寸法 | 355mm | 515mm | 715mm | 715mm | 915mm | 1215mm |
| 測定物 | 最大質量 | 170kg | 250kg | 330kg | 330kg | 410kg | 590kg |
| | 最大質量 | 170kg | 250kg | 330kg | 330kg | 410kg | 590kg |
| 空気使用条件 | 使用空気圧 | 0.4MPa | | | | | |
| | 空気消費量 | 120mm ³ /min (標準状態において) | | | | | |
| 機械の質量 | 300kg | 300kg | 300kg | 300kg | 300kg | 300kg | |

2005年10月18日 三次元座標測定 30

CMMの例5 (大型)



| 仕様 | |
|----------|---------------------------------|
| 型番 | FALCIO |
| 測定範囲 | X: 2005mm, Y: 2005mm, Z: 2005mm |
| 最小表示量 | 0.1μm |
| 測定精度 | (4.0+SL) / 1000 μm |
| 最大移動速度 | 520mm/s |
| 機械の大きさ | W: 4250mm, D: 4850mm, H: 1800mm |
| 精度保証温度範囲 | 18~22°C |

2005年10月18日 三次元座標測定 31

CMMの例6 (超大型)



| 仕様 | |
|----------|--|
| 型番 | FALCIO-Apex203015, FALCIO-Apex204015, FALCIO-Apex205015, FALCIO-Apex305015 |
| 測定範囲 | X: 2005mm, Y: 2005mm, Z: 2005mm |
| 最小表示量 | 0.1μm |
| 測定精度 | (4.0+SL) / 1000 μm |
| 最大移動速度 | 520mm/s |
| 機械の大きさ | W: 4250mm, D: 4850mm, H: 1800mm |
| 精度保証温度範囲 | 18~22°C |

2005年10月18日 三次元座標測定 32

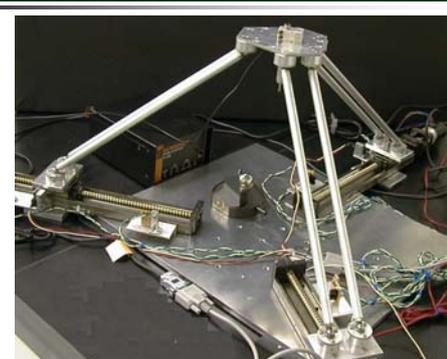
CMMの例7 (多関節型)



| 仕様 | |
|--------|--|
| 型番 | SA2-40-18, SA2-40-24, SA2-40-30, SA2-40-36 |
| 測定範囲 | 1800mm, 2400mm, 3000mm, 3600mm |
| 最小表示量 | 0.001mm |
| 測定精度 | ±0.040mm, ±0.050mm, ±0.080mm, ±0.110mm |
| 最大移動速度 | 5.0, 5.0, 5.0, 5.0 m/s |
| 機械の大きさ | W: 10.5kg, D: 11.2kg, H: 11.4kg |
| アーム長さ | L1: 400mm, L2: 300mm, L3: 515mm, L4: 300mm |
| 動作範囲 | ① 45° ② 141° ③ 45° ④ 180° ⑤ 64° ⑥ 230° |

2005年10月18日 三次元座標測定 33

CMMの例8 (平行)



2005年10月18日 三次元座標測定 34

CMMの例9 (外国)




2005年10月18日 三次元座標測定 35

CMMの例10 (外国)




2005年10月18日 三次元座標測定 36