

益 一哉

東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所  
教授

ナノ慣性計測デバイス・システム技術とその応用創出

## § 1. 研究実施体制

### (1) 「慣性センサ」グループ (研究機関別)

- ① 研究代表者: 益 一哉 (東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・市販モジュール評価
  - ・慣性センサ開発・評価
  - ・信頼性に関するデバイス・材料検討
  - ・新規アプリ検討

### (2) 「材料」グループ

- ① 主たる共同研究者: 曾根 正人 (東京工業大学科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・ヤング率に関するデバイス・材料検討
  - ・高硬度および高降伏強度の金合金開発
  - ・センサ構造・プロセスへの材料適用の検討

### (3) 「診断」グループ

- ① 主たる共同研究者: 三宅 美博 (東京工業大学情報理工学院、教授)
- ② 研究項目
  - ・市販モジュールを用いた身体運動解析と理解
  - ・パーキンソン病の診断への適用と有効性評価

## § 2. 研究実施の概要

### 研究のねらい

本提案では「ナノ G\*計測」が産み出す新機能実現を目的とする。広く民生用に利用されている慣性センサは検出範囲±数 G、分解能(検出感度)は 0.1G 程度である。本研究では、目標性能として mG( $10^{-3}$  G) から  $\mu$ G( $10^{-6}$  G) オーダーの加速度を測定可能な新たな慣性計測デバイス・システム技術を開発し、その応用分野を創出する。 \*G: 重力加速度  $1G = 9.8 \text{ m/s}^2$

### 研究手法

本研究では、研究代表者がこれまでに開発してきたプロセス、機械系－電気系 統合解析・設計環境技術による慣性センサの超高感度化と小型化研究を核として、材料レイヤと応用レイヤの研究者と連携して、ナノ G 計測の実現と応用展開を目指す。

### 平成 28 年度のチーム全体の研究実施概要

#### 【慣性センサグループ】

##### A-1: 0.1G センサ開発・評価

ノイズ 10mG (旧表記:  $1\text{mG}/\text{Hz}^{1/2}$ ) 以下のデバイスとノイズ 70mG (旧表記:  $100\text{nV}/\text{Hz}^{1/2}$ ) 以下のセンサ回路を開発した。また、0.1G 慣性センサモジュールのノイズ実測値が、目標性能の 70mG (旧表記:  $10\text{mG}/\text{Hz}^{1/2}$ ) 以下であることを確認した。したがって、H28 年度の目標達成基準に到達した。

##### A-2: 信頼性に関するデバイス・材料検討

積層メタル構造の密着力を実験的に評価し、その評価結果を用いて MEMS-LSI 統合設計環境上にストップモジュールを新たに構築した。これにより、加速度センサのロバスト性評価が可能となった。したがって、H28 年度の目標達成基準に到達しているが、H29 年度も本研究を継続して他の材料パラメータのモデル化を行う。

##### A-3: 1mG センサ開発・評価

1 軸慣性センサのノイズ評価値が、目標性能の 0.1mG (旧表記:  $10\mu\text{G}/\text{Hz}^{1/2}$ ) 以下を達成した。したがって、H28 年度の目標達成基準に到達した。

#### 【材料グループ】

##### B-1: ヤング率に関するデバイス・材料検討

デバイス構造体に関するヤング率の検討として、レーザードップラー法を用いたマイクロメートルサイズの金/チタン材料のヤング率の定量的評価を行う。マイクロメートルサイズの材料のヤング率測定は世界的な難題であるが、本方法を確立することで、マイクロメートルサイズの金合金材料のヤング率の定量的測定に成功した。したがって、H28 年度の目標達成基準に到達した。

##### B-2: 高硬度および高降伏強度の金合金開発

H27 年度に純金で降伏強度 800MPa を超える純金めっき材料の試作に成功した。H28 年度はデバイス構造体のバネ部分に応用できるように、マイクロメートルサイズの曲げ強度においても

800Hvを超える材料の開発を行った。また、金銅合金材料で降伏強度 1.15GPa を超える金めっき材料の開発に成功した。この降伏強度は今までに報告された金属材料の降伏強度としては最も高い値である。したがって、H28 年度の目標達成基準に到達した。

### **B-3: センサ構造・プロセスへの材料適用の検討**

デバイス構造体に関する信頼性の検討として、慣性センサグループと連携して、開発された金めっき材料のセンサ構造への応用に着手した。

## **【診断グループ】**

### **C-1: 市販モジュールを用いた基礎実験**

H27 年度までの成果を踏まえて、H28 年度は身体運動軌道の特徴量に関する意味理解システムを構築し、PD 患者の重症度ステージ分類の精度を評価した。その結果、中軽度 PD 患者群 (HY1 ~2) と健常高齢者群のあいだで高精度 (92% 程度の正答率) の分離を実現できることを示した。さらに、この結果を踏まえて PD の早期診断に向けての基礎実験およびシステム構築の準備を開始した。

### **C-2: 0.1G センサによる実験**

市販モジュールを用いた運動計測システム、運動分析システム、意味理解システムへ高感度センサ (0.1G) を導入し、市販モジュールを用いた基礎実験の結果と比較することで、高感度センサに必要とされる性能を検討した。

## ○代表的な論文

1. Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Teruaki Safu, Hiroshi Toshiyoshi, Masato Sone, Kazuya Masu and Katsuyuki Machida, "Evaluation and Modeling of Adhesion Layer in Shock-Protection Structure for MEMS Accelerometer," *Microelectronics Reliability*, vol. 66, pp. 78-84, November 2016.
2. Haochun Tang, Chun-Yi Chen, Masaharu Yoshiba, Takashi Nagoshi, Tso-Fu Mark Chang, Daisuke Yamane, Katsuyuki Machida, Kazuya Masu, Masato Sone, "High-Strength Electroplated Au-Cu Alloys as Micro-components in MEMS Devices", *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 164, pp D244-D247, 2017.
3. Uchitomi, H., Ogawa, K., Suzuki, K., Nishi, T., Orimo, S., Wada, Y., Miyake, Y., "Effect of interpersonal interaction on festinating gait in rehabilitation for Parkinson's disease," *PLoS ONE*, vol.11, issue 6, pp.1-20 (e0155540) (2016)