

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

- 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
 - ・0.1G センサを用いた身体運動解析と理解
 - ・慣性センサ開発・評価(1mG センサ、1μG センサ)
 - ・信頼性に関するデバイス・材料検討
 - ・1mG センサを用いた姿勢からの難病解析
 - ・センサ構造・プロセスへの材料適用の検討
 - ・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
 - ・信頼性に関するデバイス・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

- ・市販モジュールと 0.1G センサを用いた身体運動解析と理解
- ・診断内容とデータ解析手法の検討
- ・1mG センサを用いた姿勢からの難病解析

§ 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 μ 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 29 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 センサによる実験: 身体運動解析と理解(平成 28～29 年度、診断グループと共同)

H29 年度達成事項: 試作センサモジュールを用いて身体運動の加速度データを取得し、身体運動解析のための課題を抽出すること。

H29 年度進捗概要: 試作 0.1G センサモジュールと市販モジュールで取得した歩行時の足首における加速度データを比較検討し、センサ取付け方法やサンプル数などについて課題抽出を行った。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-2 0.1G センサによる実験: 信頼性に関するデバイス・材料検討(平成 26～30 年度、材料グループと共同)

H29 年度達成事項: 慣性センサ機械構造の信頼性向上を目指し、材料パラメータを含めたデバイス設計環境を構築すること。

H29 年度進捗概要: 積層メタルカンチレバーのヤング率について、寸法や層構成との関係を実験的に評価した。これにより、積層メタル MEMS 構造のより正確な設計が可能となった。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-3 1mG センサによる実験: 姿勢からの難病解析(平成 29～30 年度、診断グループと共同)

H29 年度達成事項: 試作センサモジュールを用いて身体運動の加速度データを取得し、姿勢から難病解析を行うための課題を抽出すること。

H29 年度進捗概要: 試作センサモジュールを用いて身体運動の加速度データを取得し、姿勢からの難病解析を行うためにはセンサ傾斜時の感度特性、および 3 軸加速度センサが必要であることを課題として抽出した。そこで、傾斜時の感度の解析モデルを構築し、実験的に妥当性を確認した。3 軸加速度センサについては、H29 年度に設計・試作を実施し、基本性能を確認した。以上より、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-4 1mG センサによる実験: 1mG センサ開発・評価(平成 27～30 年度)

H29 年度達成事項: 試作慣性センサモジュールのノイズ分解能について、1mG 以下の実測結果

を得ること。

H29 年度進捗概要: 試作した 1 軸慣性センサモジュールのノイズ分解能について、1mG 以下の実測結果を得た。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-5 1 μ G センサによる実験: 1 μ G センサ開発・評価 (平成 29~31 年度)

H29 年度達成事項: ノイズ分解能 0.1 μ G 以下のデバイスと、ノイズ分解能が 0.7 μ G 以下の CMOS センサ回路の設計・試作を実施すること。

H29 年度進捗概要: 上記デバイス・センサ回路の設計を行い、試作を実施中である。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-6 1 μ G センサによる実験: センサ構造・プロセスへの材料適用の検討 (平成 27~31 年度、慣性センサグループと共同)

H29 年度達成事項: センサ構造・プロセスへの新規材料適用について、課題を抽出すること。

H29 年度進捗概要: 新規金合金材料のカンチレバー TEG を試作し、めっき時の電流密度を詳細に検討する必要があることを課題として抽出した。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

A-7 新規アプリ検討

H29 年度達成事項: 移動体制御への応用の可否判断を行うこと。

H29 年度進捗概要: 慣性センサモジュールの移動体制御応用の可否判断を行った結果、1mG 以下を計測することで鉄道自動制御へ適用可能であることを確認した。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

【材料グループ】

B-1 0.1G センサによる実験: 信頼性に関するデバイス・材料検討 (平成 26~30 年度、慣性センサグループと共同)

H29 年度達成事項: 慣性センサ機械構造の信頼性向上を目指し、材料パラメータを含めたデバイス設計環境を構築すること。

H29 年度進捗概要: 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/チタン積層材料のヤング率の材料形状に伴う変化を研究し、その寸法や層構成との関係を実験的に評価した。さらに有限要素法シミュレーションによる評価も開始した。これにより、積層メタル MEMS 構造のより正確な設計が可能となった。

したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

B-2 1 μ G センサによる実験: 硬度 340HV・降伏強度 1.0GPa の金合金開発 (平成 27~31 年度)

H29 年度達成事項: H28 年度に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 1.15GPa の降伏強度を有する金めっき材料の開発に成功した。

H29 年度は更なる高強度化とともに強靱な金めっき材料を開発すること。

H29 年度進捗概要: 金銅合金めっき材料を、めっき液およびめっき反応条件を制御することで、マイクロ圧縮試験により 1.38GPa の降伏強度を有する金合金材料の作成に成功した。

したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

B-3 1 μ G センサによる実験:センサ構造・プロセスへの材料適用の検討(平成 27～31 年度、慣性センサグループと共同)

H29 年度達成事項:センサ構造・プロセスへの新規材料適用について、課題を抽出すること。

H29 年度進捗概要:新規金合金材料のカンチレバーTEG を試作し、めっき反応条件に対するめっき構造体の形状変化を明らかにした。その結果、寸法形状を再現するめっき時の電流密度を亨にするとともに、更に詳細に検討する必要があることを課題として抽出した。したがって、H29 年度の目標達成基準に到達した。

【診断グループ】

C-1 市販モジュールを用いた基礎実験:身体運動解析と理解(平成 26～30 年度)

本項目は、市販モジュールを用いた運動分析システムおよび意味理解システムに関わるデータ解析手法を、歩行障害以外の震戦や姿勢障害にも展開することを目標としている。H29 年度はその第一歩として、高精度の運動分析システム及び意味理解システムを、震戦を対象として適用することを進めた。運動分析システムでは患者の指あるいは手首に装着し、そこでの震戦の振動(7Hz 程度)安定に計測することに成功した。さらにそのパワースペクトルを分析し、震戦に対応する振動を同定することにも成功した。意味理解システムの構築に向けては、震戦の特徴量ベクトルを定義する上で必要となる十分数のデータを収集することにも成功した。

C-2 市販モジュールを用いた基礎実験:診断内容とデータ解析手法の検討(平成 28～31 年度)

本項目は、パーキンソン病(PD)の早期診断に向けての第一歩として、PD と類似した運動障害を有する正常圧水頭症(NPH)やアルツハイマー病(AD)等の歩行障害データの収集を進めることを目標としている。これによって PD 発症初期における早期診断に道を開くのである。その結果、H29 年度は NPH 患者のデータが9例、AD 患者のデータを9例収集することに成功した。しかも、それぞれの疾患の特徴量ベクトルの分布が PD と異なる特徴空間上での分布を示すことも明らかになった。特に、ストライド長や脚の持ち上げ高さが PD に比して小さいことが示された。これは最終目標である、PD の類似疾患との分離に向けての特徴量の候補を明らかにする上で重要な知見となる。

C-3 0.1G センサによる実験:身体運動解析と理解(平成 28～29 年度、慣性センサグループと共同)

本項目は、高感度センサ(0.1G)を用いて震戦を対象とした指運動計測モジュールを完成させ、それによって得られる運動データに運動分析システムおよび意味理解システムを適用し、PD の重症度分類システムを構築することを目標にしている。H29 年度は本項目の最終年として、0.1G センサを実装した震戦計測のための指運動計測モジュールとして構築することに成功した。その結果、高感度センサを用いて震戦の特徴である振動(7Hz)の安定な計測に成功した。ただし高感度センサの開発遅れから、同センサを用いるデータ収集にも遅れが発生しており、意味理解システムの構築は H30 年度に継続とする。

C-4 1mG センサによる実験:姿勢からの難病解析(平成 29～30 年度、慣性センサグループと共同)

本項目は、高感度センサ(1mG)を用いて姿勢異常を対象とした姿勢計測モジュールを完成させ、

それによって得られる運動データに運動分析システムおよび意味理解システムを適用し、PD の重症度分類システムを構築することを目標にしている。H29 年度は本項目の初年度として、1mG センサを実装した姿勢異常計測のための姿勢計測モジュールとして構築することに成功した。

○代表的な論文

1. Motohiro Takayasu, Shiro Dosho, Hiroyuki Ito, Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, Noboru Ishihara, and Kazuya Masu, "A 0.18- μm CMOS Time-Domain Capacitive-Sensor Interface for Sub-1mG MEMS Accelerometers," IEICE Electronics Express, vol. 15, no. 2, 2018, pp.20171227.
2. Hao-Chun Tang, Chun-Yi Chen, Tso-Fu Mark Chang, Takashi Nagoshi, Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, Kazuya Masu, Masato Sone, "Au-Cu Alloys Prepared by Pulse Electrodeposition toward Applications as Movable Micro-Components in Electronic Devices", Journal of The Electrochemical Society, Vol. 165, No. 2, pp. D58-D63, 2018.
3. Hori, K., Hirobe, Y., Orimo, S., Sawada, H., Inaba, A., Miyake, Y., "Early detection of Parkinson's disease based on gait trajectory analysis using wearable sensors," Journal of the Neurological Sciences, vol.381, pp.348 (2017) (Proc. of the XXIII World Congress of Neurology (WCN2017), Kyoto, Japan)