

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. 研究成果の概要

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 m/s²

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 30 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(診断グループと共同、平成 28～31 年度)：

H29 年度までに、(1) 試作 0.1G センサモジュールと市販モジュールを用いた運動分析システムを構築し、(2) 健常者の計測により PD 診断の見通しを得ている。試作センサモジュールと意味理解システムの性能向上のため、H30 年度は 1 軸 1mG モジュールを設計・試作した。

信頼性に関するデバイス・材料検討(材料グループと共同、平成 26～31 年度)：

H29 年度までに、積層メタル構造の金カンチレバーについての構造安定性について、FEM シミュレーション結果と実測結果で同様の傾向を確認し、デバイス設計に反映した。H30 年度は材料 G

で開発した金合金について、材料パラメータのモデル化に向けたカンチレバーTEG試作準備を実施した。

A-2 1mG センサによる実験

姿勢からの難病解析(診断グループと共同、平成 29～31 年度):

試作デバイスを用いた 3 軸 1mG センサモジュール化を検討した結果、ドリフト低減の必要性が生じた。この課題解決に向けて、3 軸センサ改良版の設計・試作も行った。

1mG センサ開発・評価(平成 27～31 年度):

H29 年度までに、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ている。H30 年度は診断グループより開発要請を受けた 3 軸センサについて試作・評価を実施した結果、ノイズ分解能 1mG 以下に到達した。デバイスのドリフト低減へ向け、3 軸センサ改良版の設計・試作も行った。

A-3 1μG センサによる実験

1μG センサ開発・評価(平成 29～31 年度):

H30 年度は、ノイズ分解能 0.1μG 以下のデバイスと、ノイズ分解能が 0.7μG 以下の CMOS センサ回路の評価を実施した。評価で抽出した課題を反映し、デバイスと回路の改良版を設計・試作した。

センサ構造・プロセスへの材料適用の検討(材料グループと共同、平成 27～31 年度):

H29 年度までに、センサ構造・プロセスへの新規材料適用について、材料 G が開発した金合金の構造安定性の検討が必要であることが分かった。そこで H30 年度は、金合金 TEG の設計・試作を実施した。

A-4 新規アプリ検討

新規アプリ検討の実施(平成 26～31 年度):

慣性センサモジュールを用いた傾斜計に向けて解析を進め、H30 年度追加予算を使用して傾斜計用の 1 軸センサの設計・試作を行った。

【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)

H30 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。

H30 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、実効ヤング率の形状依存性を定量的に明らかにし、システム設計に用いる指針が

得られた。

したがって、H30 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)

H30 年度達成事項:H29 年度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。H30 年度は更なる高強度化を図るとともに、強靱化のメカニズムを明らかにする。

H30 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すると同時に、その高い機械的強度が、金合金材料のナノ結晶構造に由来することを明らかにした。

したがって、H30 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)

H30 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。

H30 年度進捗概要:新規金合金材料のカンチレバー TEG の設計・試作を継続的に行い、センサ構造・プロセスへの新規材料適用について課題抽出のための準備を実施した。したがって、当初予定通りの進捗が得られた。

したがって、H30 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 26～31 年度):

本項目は、H29 年度までの市販モジュールを用いた高精度の運動分析システムおよび意味理解システムへの展開を踏まえて、H30 年度はその完成をめざした。その結果、H29 年度までに収集した震戦の運動データに基づいて、震戦に伴う特徴量ベクトルを定義することに加えて、SVM(機械学習)を用いて震戦からパーキンソン病(PD)診断の分類器を構成できる可能性を示すことに成功した。

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、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)等の歩行データの収集を進めることを H30 年度も継続した。さらに早期診断に向けての第2ステップとして、特徴量ベクトルを臨床パラメータに基づいて生成する方法を新たに開発し、分離精度の更なる向上をめざした。その結果、stride length と stance duration の2パラメータが精度向上に向けて極めて有効であることが示された。

C-2 0.1G センサによる実験

身体運動解析と理解(平成 28～31 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 PD の震戦を計測し、重症度分類システムを構築することを目標としている。H30 年度は相対的にドリフトの小さい高感度センサを用いて評価した結果、市販センサに比べてノイズフロアが低減し、30~40Hz 帯における指の微弱振動を計測できる可能性が初めて示された。この振動は PD 患者で特徴的に消失することが知られており、PD の早期診断の精度を飛躍的に向上させられる可能性がある。

C-3 1mG センサによる実験

姿勢からの難病解析(平成 29~31 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としている。しかし、高感度センサにドリフト低減の必要性が生じたため本項目は平成 31 年度の完了をめざすこととした。

C-4 1μG センサによる実験

全身運動からの難病解析(平成 30~31 年度)(慣性センサグループと共同)

本項目では、高感度センサ(1μG)を用いる計測モジュールの構築及び、それを用いる運動分析システム、意味理解システムの構築を進めるとともに、歩行障害、震戦、姿勢異常のすべてに注目することで包括的な診断を可能にするシステムの開発を目標としている。H30 年度は高感度センサ(1μG)を用いる計測モジュールの構築を開始した。

【代表的な原著論文】

1. Shota Otobe, Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Teruaki Safu, Hiroyuki Ito, Shiro Dosho, Noboru Ishihara, Katsuyuki Machida and Kazuya Masu "Tri-Axis Fully-Differential MEMS Accelerometer with Segmented Capacitance Detection," in Proc. Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2018 (APCOT 2018), June 24-27, 2018, HKUST, Hong Kong SAR.
2. Koichiro Tachibana, Tso-Fu Mark Chang, Chun-Yi Chen, Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Hiroyuki Ito, Katsuyuki Machida, Kazuya Masu, Masato Sone "Long-Term Structure Stability of Ti/Au Layered Micro-Cantilever Evaluated by Vibration Test", Microelectronic Engineering, ElsVol. 207, pp. 33-36, 2019.
3. Ono, Y., Ora, H., Hori, K., Hashiguchi, H., Mao Y., Sawada, H., Inaba, A., Orimo, S., Miyake, Y., "A gait evaluation of patients with Parkinson's disease with inertial measurement units," The 14th International Conference on Alzheimer's and Parkinson's Diseases (AD/PD2019), Lisbon, Portugal March (2019)

§ 2. 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、学長)
- 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