

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630001

研究課題名(和文)磁歪振動発電・圧電ファイバを組んだ次世代ITS用ワイヤレスタイヤセンサの開発

研究課題名(英文)Next-generation Prototype Wireless Tire-sensor by Combining PZT Fiber and Magnetostrictive Vibration Energy Harvesting Devices

研究代表者

古屋 泰文(FURUYA, YASUBUMI)

弘前大学・北日本新エネルギー研究所・教授

研究者番号：20133051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：開発目標とした振動発電タイヤセンサデバイスは、タイヤ内部にユニットを装着することで、高性能磁歪合金の開発(FeCo71at%)、磁歪振動発電素子設計(球打点式で単発的電力は1mW程度を達成)、圧電ファイバ応力センサ(タイヤ変形方向性を分離解析)の取り込み、設および信号発信用無線モジュール(2.5GHz近距離無線、3m以内)の設計が必要である。2年間で、これら3つの各技術要素を小型化・集積化したタイヤセンサの実験モデル的なデバイスをほぼ証明できた。

研究成果の概要(英文)：The vibration generating electricity tire sensor device was development by combining a high-performance magnetostrictive new alloy (FeCo71at%), magnetic strain vibration generating electricity device (i.e. electric power achieves about 1 mW by impacting alternative loading by small ball in the device.) and a piezoelectric(PZT) fiber stress sensor whose directionality of tire transformation can be separated. Moreover, wireless radio module signals (2.5GHz short distance within 3m) was combined here. These could prove an experimental model-like device of the tire sensor which these three elemental techniques were successfully combined in 2 years project term.

研究分野：知能材料工学

キーワード：振動発電 タイヤセンサ ITS 磁歪 無線センサ スマートデバイス 自立型センサ

1. 研究開始当初の背景

近未来の“人と道路と自動車”間で情報の受発信による知的で高度な交通システム ITS (Intelligent Transport System) への必須な基盤要素技術の一つとして、走行自動車の接地車輪面の変形・振動状態の情報をリアルタイムで収集・解析できる「ワイヤレス振動発電タイヤセンサ」がある。これは、寒冷地等では、気温や場所で刻々と変わる凍結・降雪・融雪路面性状の変化や路上の危険をドライバーに知らせ、安心・安全走行確保に寄与できる移動体技術となる。また、都市部では、渋滞や事故の状況、さらには、道路接地面状況から運転手アシスト型自動運転の将来技術にもつながる。

2. 研究の目的

本研究では、高出力振動発電向きの新磁歪合金素子 (FeCo 系、弘前大特許願) と金属コア入り圧電ファイバ (千葉大・産総研、特許願) 応力方向検出センサと無線モジュールを回転タイヤ内に設置し、路面からの車輪振動・変形挙動をモニターし、ICチップ用小型ボタン型蓄電池への微小電力を磁歪素子共振現象を用いた振動発電により供給するシステムを想定し、材料工学、デバイス設計、電子回路の研究者連携により、そのプロトタイプデバイスを試作したのでその概要を報告する。

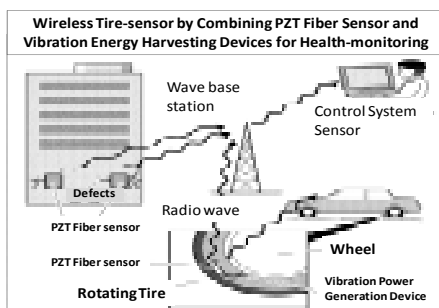


Fig.1 Wireless Tire-sensor by Combining PZT Fiber and Magnetostrictive Vibration Energy Harvesting Devices for Smart Structural Health-monitoring

3. 研究の方法

3.1 センサ設計

磁歪振動発電・圧電ファイバを組込んだ“ワイヤレスタイヤセンサの開発”を実証するために、まず、タイヤ内部 (遠心力利用でタイヤやドラム内壁固定方式) に設置する、1) 高出力・高強度耐久性を有する振動発電用磁歪材料・素子、2) ロバスト圧電ファイバ応力方向センサ、および3) マイクロチップ型無線モジュールの各要素設計を行った。タイヤ内部にユニットを装着するので、3つの各技術要素を (1) 小型化・集積化すること、次に、(2) モジュール化するための統合化設計・製作、(3) 室内レベルでの模擬的な凹凸や凍結路面上でのタイヤ回転実験でワ

イヤレスセンサデータを採取し解析し、知的で高度な交通システム ITS (Intelligent Transport System) センサへの必須な基盤要素技術としての可能性や課題を纏める。

3.2 実験方法

これまで蓄積してきた磁歪振動発電と金属コア入り圧電ファイバセンサおよびワイヤレス信号発信の要素技術をタイヤセンサに応用するためのデバイス設計のために、まず、1) 性能特性向上、2) 小型集積化デバイス設計を実施した。

(1) 3要素技術の小型化・集積化

開発する振動発電タイヤセンサデバイスは、タイヤ内部にユニットを装着するので、3つの各技術要素を、性能を維持しつつ (1) 小型化・集積化することが必要になる。表1には各要素技術の寸法と特性目標を示す。全体として、ワイヤレスモジュール基板と振動発電素子および圧電ファイバセンサのユニットで、全長 80mm、幅 30mm、高さ 35mm 以内であり、軽自動車用タイヤ内部に十分に収まる寸法である。

(1)-1 磁歪振動発電素子の設計・試作：弘前大学 (古屋ら) で開発中の、FeCo 系の高性能磁歪合金板 (寸法：長さ 5~8cm x 幅 2mm x 厚さ 1mm) を用いて、タイヤ振動からの磁歪素子の共振点 300Hz~1KHz の範囲で板に巻き付けたコイルから電力を得る。無線モジュール側の小型ボタン型バッテリーへの整流後サポートとして、交流で +3.5V、電力は 3mW 以上を目標とする。

(1)-2 圧電ファイバセンサの設計・試作：千葉大学と AIST (浅沼ら) で開発した A1 基板に埋め込んだ細い圧電ファイバをタイヤゴムの内面の長手 (進行) 方向とその直交方向の 2 方向に接着して、引張り応力を加えて伸び方向 (応力符号+) とそれと垂直な収縮方向 (応力符号-) で、発生電圧は大きく異なり、逆符号傾向を検証する。これにより、タイヤの路面接触面での力の方向性を分離解析できることになる。

(1)-3 無線 IC モジュール設計・試作性能評価：

弘前大学 (小山) は電子回路・設計工作の専門で、圧電ファイバから得られる高電圧の外乱の混在する信号を処理し、PC 用の無線周波数帯域 (2.5GHz) 用の無線化モジュールの設計・試作を実施する。

(1)-4 路面タイヤ変形挙動のパラメータの抽出調査：

解析対象となるべきタイヤ変形挙動に関するセンシングパラメータの抽出調査を調査研究する。最初のステップとして、タイヤ内部回転方向およびその直角方向の力学的伸縮度合いの違いを検証する。

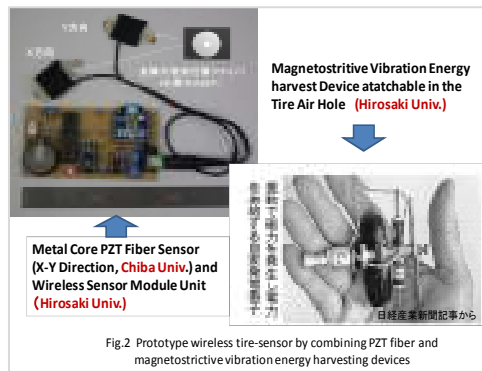


Fig.2 Prototype wireless tire-sensor by combining PZT fiber and magnetostrictive vibration energy harvesting devices

4. 研究成果

4. 1 タイヤ変形センサ感度

準静的なタイヤ変形実験から、1) 圧電ファイバセンサからは、伸び方向（応力符号+）とそれと垂直な収縮方向（応力符号-）で、圧電ファイバから発生した電圧は大きく異なり、逆符号傾向がみられ、タイヤ内部の応力方向性を検出可能な力センサに成り得ることを確認した。

4. 2 振動発電モジュール性能

磁歪振動発電素子についてはタイヤ振動からの磁歪素子の共振点 $300\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz}$ の範囲で板に巻き付けたコイルから最大値は片側 +1.0 V、電力は 4 mW を得たので無線モジュールの電源として使用できる。また、3) 数 m 離れてもタイヤ内部の変形や

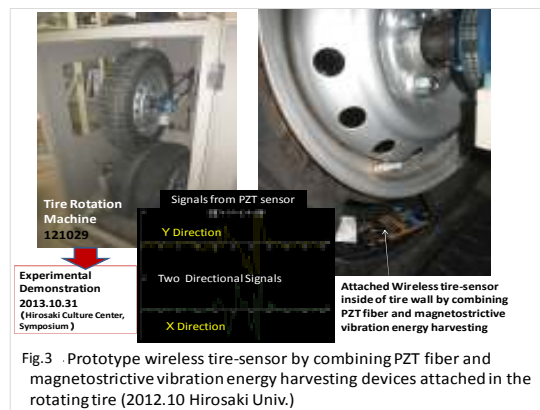


Fig.3 Prototype wireless tire-sensor by combining PZT fiber and magnetostrictive vibration energy harvesting devices attached in the rotating tire (2012.10 Hirosaki Univ.)

振動（タイヤゴムへ壁 2 方向応力差）がワイヤレスで PC モニター上に検出できる事を確認できた。

4. 3 まとめ

開発目標とした振動発電タイヤセンサデバイスは、タイヤ内部にユニットを装着するので磁歪振動発電素子、圧電ファイバ応力センサ、信号発信用無線モジュールの 3 つの各技術要素を、小型化・集積化することが必要になる。以下の成果が得られた。

(1) 磁歪振動発電素子の設計・試作（弘前大学・理工）：

弘前大学（古屋ら）開発中の、FeCo 系の高性能磁歪合金（FeCo71at% 円柱状素材、寸法：直径 6 mm、長さ 20 mm）を用いて、タイヤ振動モデルからの磁歪素子 $50\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz}$ の範囲で FeCo 合金に巻き付けたコイルから電力を得る。小鋼球打点式モデルで、平均周波数 10 Hz 、交流で +2 V、単発的電力は 1 mW 程度（0.01 秒平均）を達成できた。ただし、発電パルス時間は 0.01 秒以下で短時間であり、平均出力はまだ目標値よりも大幅（20 分の一以下）で低い。

(2) 圧電ファイバセンサの設計・試作（千葉大学・工）：

千葉大学（浅沼ら）開発の A1 基板に埋め込んだ細い圧電ファイバをタイヤゴムの内面の長手（進行）方向とその直交方向の 2 方向に接着して、引張り応力を加えて伸び方向（応力符号+）とそれと垂直な収縮方向（応力符号-）で、発生電圧は大きく異なり、逆符号傾向を検証する。これにより、タイヤの路面接触面での力の方向性を分離解析できることを再確認した。この結果は、タイヤ廻りの刻々と変化する力学的挙動や路面状態（凍結・降雪・融雪路面性状の変化や路上の危険）モニタリングが可能なることを示唆することになる。

(3) 無線 IC モジュール設計・試作性能評価（弘前大・教育）：

弘前大学（小山）は電子回路・設計工作の専門で、圧電ファイバから得られる高電圧の外乱の混在する信号を処理し、PC 用の無線周波数帯域（2.5 GHz）用の無線化モジュールの設計・試作を実施し、3 m 以内でデータ採取をできた。

(4) 課題と展望

本研究で試作した、“磁歪振動発電・圧電ファイバを組込んだワイヤレスタイヤセンサ” デバイスの設計有効性を初歩的なタイヤ低速回転の室内試験で確認できた。今後は、タイヤ振動時の幅広い周波数にも応答できるような広帯域振動発電センサ、もっと大きな発電力をもつ振動発電デバイスの改良を通して、ほぼ常時無線発信できる蓄電池システムとの連携したデータ処理 IC チップ型無線センサが必要である。さらに、都市部の渋滞時や寒冷地の積雪凍結路面の変化を随時モニターするには、タイヤ以外の車体側の力学的変動も考慮が必要である。そこでは、小型加速度センサを複数個車体側フレームに設置し、車体側との差違を分析して、路面タイヤ変形挙動のパラメータの時間微分（速度変化）情報から有効な抽出パラメータを探索することが必要であろう。これらにより、タイヤ路面でのタイヤの動的変形信号がより明確に分析可能となり、近未来の“人と道路と自動車”間で情報の受発信による知的で高度な交通システム ITS (Intelligent Transport System) への必須な基盤要素技術としての発展性が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) Shin-ichi Yamaura, *, Takashi Nakajima, Takenobu Satoh, Takashi Ebata, Yasubumi Furuya, Magnetostriiction of heavily deformed Fe-Co binary alloys prepared by forging and cold rolling, Materials Science and Engineering B (Materials Science and Engineering B 193, 2015, 121-129, Journal home page: www.elsevier.com/locate/mseb)

(2) 横山 雅紀, 山浦 真一, 久保田 健, 岡崎 禎子, 砂川 和彦, 島田 宗勝, 古屋 泰文, “磁歪リング式トルクセンサ素子としての高磁歪 Fe-Co-V 系合金の特性”, 材料の科学と工学, 50, ,2013, 32-37.

〔学会発表〕(計3件)

(1) Natsuko KIMURA, Syuta FUKUOKA, Takahisa YAMAMOTO, Takeshi KUBOTA, Yasubumi FURUYA, 「Heat Treatment Effect on Mechanical and Magnetic Properties in Rapidly Solidified Co-Fe Alloy」, 『Abstract of the 24th Annual Meeting of MRS-Japan 2014』, MRS-J, E-011-004, 2014

(2) 山本貴久、木村奈津子、久保田健、古屋泰文、FeCo 磁歪合金の熱処理効果と振動発電、日本金属学会 2014 年秋期講演大会 (第 155 回)、254、名古屋、9.2014

(3) 木村奈津子、福岡修太、山本貴久、久保田健、古屋泰文、Co 過剰 Co-Fe 合金急冷薄帯における磁気特性に及ぼす熱処理効果、日本金属学会 2015 年春期講演大会 (第 156 回)、26、東京、3.2015

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古屋泰文 (FURUYA YASUBUMI)
弘前大学・北日本新エネルギー研究所・教授
研究者番号：20133051

(2) 研究分担者

佐川貢一 (SAGAWA KOICHI)
弘前大学・理工学研究科・教授
研究者番号：30272016
浅沼博 (ASNUMA HIROSHI)

千葉大学・工学研究科 (研究院)・教授

研究者番号：40167888

久保田 健 (KUBOTA TAKESHI)

弘前大学・北日本新エネルギー研究所・准教授

研究者番号：70400405

小山智史 (KOYAMA TOMOFUMI)

弘前大学・教育学部・教授

研究者番号：80153691

(3) 連携研究者

なし