

学位被授与者氏名	スリラタナ ウィサラット (SRIRATANA WITSARUT)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 3 6 号
学位授与年月日	平成 2 6 年 9 月 2 2 日
論文題目	Study of Devised Hall Effect Sensor System for Industrial Measurement and Non-destructive Inspection
論文題目 (英訳または和訳)	産業及び非破壊検査への応用を目的としたホール素子を用いたセンシングシステムの開発
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 村山 理一 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 朱 世杰 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 呉 行正 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 赤木 文男
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>半導体技術の進歩により、磁束密度測定を主目的とした安価なホールセンサが普及している。また、ホールセンサを利用した形状測定や距離測定も種々検討されている。本論文は、このようなホールセンサを利用し、種々なタイプの磁石を検討することによりホールセンサに負荷する磁場分布を計測対象に特化させることにより、従来に無い角度等の計測能力を有するホールセンサシステムを開発した。開発したホールセンサシステムを用いて、角度や粘性等の工業製品の品質管理に必須の指標の評価を試み実用化に耐えうる評価精度を得た。また非破壊検査へのホールセンサシステムの適用についても検討し、超音波センサの一種である電磁超音波センサの比較評価で優位な性能を得た。本論文はホールセンサの産業への適用可能性を拡大する内容となっている。</p> <p>本論文は 1 1 章からなり、第 1 章では序論として本論文での研究目的とホールセンサの概要を示している。</p> <p>第 2 章では、ホールセンサについて、動作原理及び既存応用例について詳述している。</p> <p>第 3 章では本論文でとりあげる応用事例のために改善されるホールセンサシステムについてのアイデアについて解説している。</p> <p>第 4 章ではホールセンサに付加するヘルムホルツコイルやアレイ型永久磁石によりホールセンサ上に、どのような磁束密度分布が発生するかについて電磁場解析プログラムを用いて計算し、ホールセンサの性能にどのような影響を与えるかを評価している。</p> <p>第 5 章では、ホールセンサの性能改善を図る手段として、受信信号の周波数解析が有効であることを示している。</p> <p>第 6 章では、ヘルムホルツコイルを付加したホールセンサシステムにより、構造物の角度測定が産業利用に有効な精度で測定できることを示している。</p> <p>第 7 章では 2 個の直方体形状を付加したホールセンサシステムにより構造物の傾き測定が産業利用に有効な精度で測定できることを示している。</p> <p>第 8 章では 1 個の直方体形状を付加したホールセンサシステムにより、エンジン等の中に存在する潤滑油の劣化 (粘性) 測定が可能であることを示している。</p> <p>第 9 章では、第 5 章で言及した周波数解析を利用した測定精度評価について第 6 章から第 8 章の応用例について再評価しており、周波数解析を用いることが精度向上に役立つことが述べられている。</p> <p>第 1 0 章ではアレイ状配列された種々のタイプの永久磁石群を付加したホールセンサシステムと超音波センサの一種でホールセンサと同様に自動走行が可能な電磁超音波センサとの比較評価を実施することにより非破壊検査への適用可能性を検討した。その結果、電磁超音波センサよりも表面欠陥に対する検出性に優れている結果を得た。</p> <p>第 1 1 章では本論文の主要な結果を要約し、ホールセンサの産業応用に対する可能性について述べている。</p>
論文内容の要旨 (英文)	This study proposes a new design for a new sensor module for the application of a semiconductor known as a Hall Effect sensor and a measurement method for the angular declination, the angular alignment, the contamination of metal particles by lubricants, and non-destructive material imperfection. In order to find ways of enhancing the effectiveness of a conventional Hall Effect sensor, this study was divided into 3 parts: 1) the new configuration and

its theoretical performance, 2) a consideration of an appropriate placement of a Hall generator, 3) a preliminary experimental test. The use of a magnetic field to stimulate a Hall Effect sensor in the case of angular declination measurement was based on the angular relationship of trigonometric functions. The stimulation was created by an electromagnetic field which was generated by a Helmholtz coil and a magnetic field generated by a permanent magnet. The system was designed by using Helmholtz coil to provide the measuring resolution of 1 deg per step in the measuring range of -15 deg to 15 deg from the normal line with 95% accuracy. However, the new sensor module was designed by using a permanent magnet to provide the greater measuring resolution of 0.01 deg per step in the measuring range of -20 deg to 20 deg from normal line with 99% of accuracy. With regard to the application of the new sensor module in the measurement of the contamination of lubricants in this study aims to assess the contamination level of metal particles during the work period of an industrial machine. It can also predict the period of lubricant replacement if the lubricant quality is lower than the standard of NAS1638. Analysis of contamination of metal particles in lubricant has a relationship with the output signal of a new sensor module due to the metal particles moving to a permanent magnet. From empirical study, enhancement of the conventional Hall Effect sensor by determining the appropriate placement of Hall generator and permanent magnet as well as the number of Hall generators in a new sensor module is significant for several measurements such as the inspection of metal material completion by measuring the dimensions of the holes on the surface of the test specimen. In comparison with EMAT, the generation of ultrasonic waves using the EMAT method would not be appropriate for small specimens as the error was greater than 4.51% and the standard deviation was about 0.279. However, a new sensor module can be effectively used with small specimens as it would cause the error to be less than 0.24% with a standard deviation of 0.014. Moreover, compared to the ultrasonic wave, the new sensor module could provide the high resolution of measurement at each position, as well as ease of installation and a simple experiment procedure at a reasonable cost.

論文審査結果

この論文は半導体技術の進歩により、磁束密度測定を主目的とした安価なホール素子が普及していることに着目し、磁気を測定するホール素子の基本的な駆動原理、性能、主要な産業への応用例、例えば回転速度計や距離計についての調査・検討から研究を進め、ホール素子と種々のタイプの磁石を組み合わせることで従来にない性能を発揮できるホールセンサシステムを研究・開発し最終的に産業に適用することを目的として実施した。

この論文で、産業への応用としてかかげた目標は大きく3つに分けられる。1点目はエンジン等で使う潤滑油の劣化或いはそれに基づく粘性の変化の測定である。2点目は構造物の傾きを従来以上に高精度に広範囲の角度で計測しようというものである。3点目は、製造ライン上で高速で移動する材料の表面疵を検出しようとするものである。

まず潤滑油の劣化、或いは粘性変化の測定では、ホール素子に印加される永久磁石の磁場が、燃料中の鉄粉等の浮遊物に影響を受けることに着目し、ホール素子とホール素子上に設置する角型永久磁石の距離を最適化することで、ホール素子の出力と燃料中の浮遊物の量或いは燃料の粘性の程度と相関がある磁束密度領域があることを見出し1.25mg/25mg程度の浮遊物を十分な感度で検出できることを確認した。

次に、傾斜検出を目的として、ヘルムホルツコイルとホール素子を組み合わせたホールセンサシステム、及び円弧状に曲がった平板型の対向する2つの磁極として使用し、ホール素子を挟んだ構造を持つホールセンサシステムを開発した。その結果、円弧状平板磁極型システムで、-20度～+20度の範囲を0.1度の角度で測定可能であることを確認した。

次に、材料の表面疵を検出することを目的として、3つのパターンの2次元アレイ上に並べた永久磁石とホール素子との組み合わせシステムについて研究・開発し、単一のホールセンサシステムを使って、疵部の存在による磁場の乱れを検出するよりも、高い精度での疵部の検出を狙ったものである。なお性能比較のための、超音波センサの中で自動検査ができる電磁超音波センサを試作し、同時に評価した。その結果、超音波センサよりも高い精度で表面疵を検出可能であること、及び直径3mmまでの穴の幅と高さを計測可能であることを確認した。また出力信号を周波数解析することで、周波数変動と

	<p>疵径、深さの相関が一層高まることも確認できた。</p> <p>本論文に纏められている研究の成果は、査読付き論文7編（第1著者6編）と国際会議8編（第1著者5編）に公表されており、学位論文審査基準を満たしている。これら2つの観点から、学位審査委員会は本論文が学位論文として認められる内容であると判断した。</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。</p> <p>以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 5編1冊</p> <p>Journals Papers</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Application of the HES in Angular Analysis ", Journal of Sensor Technology (JST), Vol. 2, No. 2, June, pp. 87-93 (2012) Authors: <u>W. Sriratana</u>, R. Murayama, and L. Tanachaikhan 2 Remote Sensing Sensor Using Giant Magnetostrictive Materials, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 20, No. 2, June, pp. 508-513 (2012) Authors: R. Murayama, Z. Yamaji, <u>W. Sriratana</u>, M. Kobayashi, and C. Jen 3 Analysis of Land Subsidence Using the HES, Journal of Electromagnetic Analysis and Applications (JEMAA), Vol. 4, No. 7, July, pp. 310-316 (2012) Authors: <u>W. Sriratana</u>, and R. Murayama 4 Elimination of Oil Residual inside the Copper Pipe Using Ladder Technique, Engineering (ENG), Vol. 5, No. 1, January, pp. 8-15 (2013) Authors: <u>W. Sriratana</u>, and R. Murayama 5 Application of Magnetic Field Method for Measuring Lubricant Viscosity, Advanced Materials Science and Technology, Periodical of Materials Science, Vol. 750, pp. 116-124 (2013) Authors: <u>W. Sriratana</u>, and R. Murayama 6 Synthesis and Analysis of PZT Using Impedance Method of Reactance Estimation, Advances in Materials Physics and Chemistry (AMPC), Vol. 3, No. 1 (2013) Authors: <u>W. Sriratana</u>, R. Murayama, and L. Tanachaikhan 7 Measurement of the Lubricant Properties Using Hall Effect Sensor: A Study on Contamination and Viscosity, Engineering (ENG), Vol.5 No.4, April, pp. 386-393 (2013) Authors: <u>W. Sriratana</u>, and R. Murayama <p>International Conference Papers</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Remote Sensing of an Ultrasonic Sensor Using Giant Magnetostrictive Materials, The 20th MAGDA Conference in Pacific Asia, Kaohsiung, Taiwan, 14-16 November (2011) Authors: R. Murayama, Z. Yamaji, <u>W. Sriratana</u>, M. Kobayashi, and C. Jen

- 2 Nondestructive Testing Using Giant Magnetostrictive Materials as an Ultrasonic Sensor, The ICEM15-15th International Conference on Experimental Mechanics, Proto, 22-27 July (2012)
Authors: R. Murayama, W. Sriratana, M. Kobayashi, and C. Jen
 - 3 Analysis of Lubricant Viscosity Using Magnetic Field Method, The Eight International Forum on Advanced Material Science and Technology (IFAMST-8), Fukuoka, 1-4 August (2012)
Authors: W. Sriratana, and R. Murayama
 - 4 Lubricant Viscosity Measurement Using Hall Effect Sensor, The Society of Instrument and Control Engineers (SICE Annual Conference 2012), Akita, 20-23 August (2012)
Authors: W. Sriratana, and R. Murayama
 - 5 Application of Hall Effect Sensor: A Study on the Influences of Sensor Placement, The 22nd IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2013), Taiwan, 28-31 May (2013)
Authors: W. Sriratana, and R. Murayama
 - 6 Analysis of Hall Effect Sensor Placement Based on Frequency Domain, The Society of Instrument and Control Engineers (SICE Annual Conference 2013), Nagoya, 14-17 September (2013)
Authors: W. Sriratana, and R. Murayama
 - 7 Performance Comparison of Hall Effect Sensor and EMATs in Measurement of Specimen with Various Hole Depths, International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 2013) and The Twelfth Asian Conference on Experimental Mechanics (ACEM 12), Bangkok, 25-27 November (2013)
Authors: W. Sriratana, and R. Murayama
 - 8 Development of A Guide Wave Inspection System using A Polarized Shear Wave-EMAT and Evaluation of its Performance, International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 2013) and The Twelfth Asian Conference on Experimental Mechanics (ACEM 12), Bangkok, 25-27 November (2013)
Authors: R. Murayama, and W. Sriratana
- Local Conference Paper
- 1 Study of Non-contact Drive Ultrasonic Sensor using a Giant Magnetostrictive Material, Japan Society of Mechanical Engineers, Okayama, 8 -11 September (2013)
W. Duangsuwan, S. Kenji, U. Yutaka, W. Sriratana, R. Murayama