

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350459

研究課題名(和文)車の走行に伴う音響信号を総合利用したタイヤ情報収集システムの開発

研究課題名(英文)Development of information collecting system about tire by using all acoustic signals generated by running vehicles

研究代表者

上田 浩次(Ueda, Koji)

大同大学・情報学部・教授

研究者番号：80553213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、車両走行時のタイヤと路面との接触によって発生する路面振動を対象とした夏タイヤと冬タイヤの判別方法の検討・開発を行った。その内容として、まず、車両走行時に発生する上下、左右、前後に生じる振動成分の周波数応答と各軸間の振動成分の関連性を検討し、タイヤ判別方式を開発した。そして、走行場所の違いおよび車種、タイヤの違い等の各種条件の組み合わせが判別結果に与える影響について調査した。さらに、タイヤ判別センサを利用した走行速度の計測に関して、前後輪通過時の振動波形間の相互相関により移動時間を計測する方法についても検討した。

研究成果の概要(英文)：In this study, novel discrimination methods of summer and winter tires are developed using vibration signals of road surface that are caused by contact with the tires during vehicle running. First of all, each frequency response for vertical, horizontal and longitudinal vibrations is examined, which occurs during running of vehicles. The relationship between the vibration components in each axis is also measured. Then, the influences of the combination of various conditions in running roads and types of vehicles on the discrimination results are investigated. For measuring the running speed of vehicles by the vibration signals, the present study proposes a promising technique that uses only the cross correlation between the vibrations generated from the front and rear wheels.

研究分野：道路交通の計測・監視におけるセンサ応用

キーワード：冬タイヤ 路面振動 タイヤトレッド パターン加振 周波数解析

1. 研究開始当初の背景

高速道路は人の移動や物流にとって欠かせない存在である。そのため、道路管理者は安全かつ確実な道路交通を確保することが重要な責務であり、様々な取り組みを行っている。特に、冬期においては、凍結防止剤の散布や除雪作業の対応に努めているが、積雪や凍結が原因と思われるスリップ事故は後を絶たず、最悪の場合は通行止めを誘発し、物流の停滞による経済活動への影響が大きい。そのため、この対策の一つとして、冬タイヤを装着していない車の進入を規制する「チェーン規制」を実施している。このチェーン規制では、冬タイヤの装着車以外の進行を除くものであって、これにより通行不能車が排除され、通行止めという最悪の事態は回避できる。ところが、タイヤの確認作業は多くは目視の人海作戦で、しかも悪天候の中で実施されることから、作業員の心身の負担とそれに起因した誤判断を招き易い。これらの状況から、作業の効率化と自動化が望まれる。チェーン規制により発生する渋滞解消と経費縮減を目的として、例えばカメラで撮影されたタイヤ形状やタイヤに刻まれた文字情報から夏・冬タイヤを識別する研究が進められているが、天候やタイヤに付着する泥に判別率が左右されるなど、実用面での課題が多く残されている。

2. 研究の目的

本研究では、車の走行時に、タイヤと路面との接触によって発生する路面振動を対象として、その信号に含まれるタイヤの特徴量を忠実に抽出して整理を行う。そして、その特徴量を利用して、夏・冬タイヤを高精度に識別するための判別方法を検討し、その判別方法を搭載したシステムを構築する。さらに、実フィールドにおける導入効果について確認し、実用化を目指したシステム開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 路面振動の高精度検出システムの準備

路面振動信号を高精度に検出する試験システムを準備する。周波数帯域は数十 Hz から数 kHz 範囲に限るが路面振動用ピックアップ（路面に垂直な成分のみならず平行成分も含める）には高感度、高 SN 比の条件が要求される。また、複数の振動成分を同時に収集するため、多チャンネル同時記録システムの利用も必要になる。

(2) 信号処理による特徴量抽出、夏・冬タイヤの判別方法の検討

実道路に近い環境のもとで収集した夏・冬タイヤの振動データをもとに、夏・冬タイヤの特徴量の抽出と夏・冬タイヤの判別方法の検討を行う。

(3) 実験システムによる評価と問題点の洗い出し

上記(2)における判別方法を基本とした実験システムを構築し、試験フィールド走行時

のタイヤ判別性能の評価と問題点の洗い出しを行う。

(4) 実フィールドにおける評価

実フィールドにおける試験を実施し、計測環境に対するロバスト性およびその性能の評価を行う。

(5) 付加機能の検討

付加機能として、システム構築時に必要となる速度計測に関して、タイヤ判別用の振動ピックアップを共用する方法の検討を行う。

4. 研究成果

(1) 3 軸振動成分に着目した夏・冬タイヤの判別方法の検討

これまで、タイヤトレッドパターンの各ブロックが路面に接地する衝突力によって与えられる振動、すなわち、路面の垂直方向に対して発生する振動成分に着目してきた。しかし、夏タイヤの中にもトレッドパターンの構造によっては衝突する際に冬タイヤに似た振動成分が発生する場合もある。ここで、タイヤのブロックに着目すると、路面に接地もしくは離れる際には動力によってその形状は変形することから、図1のようにブロックの変形によって水平方向へも振動成分が生じているものとも考えられる。また、夏タイヤと冬タイヤのゴム質の違いも、振動としての特性の違いに現れているものと予測できる。これらを整理し、3 軸振動センサを用いて水平・垂直振動成分を同時計測することで、これらの考察に対する検証を行った。

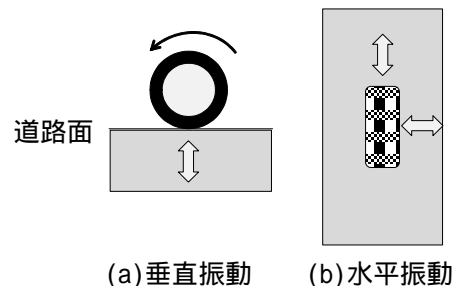
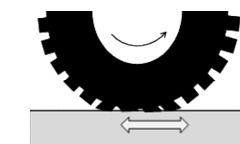
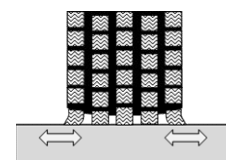


図1 タイヤによる振動成分

振動モデル



(a) 前後方向の変形



(b) 左右方向の変形

図2 タイヤブロック接触イメージ

図2にタイヤのブロックが路面と接地したときのイメージ図を示す。図2(a)では走行中のタイヤが転動するとき、路面と接地したブロックは変形して路面から離れる。このとき、変形したゴムがブロック摩擦を起こしながら振動し、これが前後への振動を発生させていると考えられる。一方、図2(b)では、タイヤが路面に接地したとき、両端にあるブロックが、車両の重量により横方向へ扁平される。このとき変形したブロックが横方向へも摩擦を起こしながら振動し、これが左右への振動を発生させていると考えられる。先に述べたように、冬タイヤはブロック構造であり、溝が深く、ゴム質も柔らかいことから変形しやすい。一方、夏タイヤはリブ構造でゴム質は硬く、変形しにくい構造が一般的である。このゴム質の違いが夏タイヤと冬タイヤの大きな特徴の違いとなる。つまり、トレッドパターンのブロックが変形により水平振動を発生させ、夏・冬タイヤの振動の差となって現れることから、水平方向の振動成分も夏・冬タイヤの判別に有効な情報となり得ると考えられる。

3軸振動成分の比較

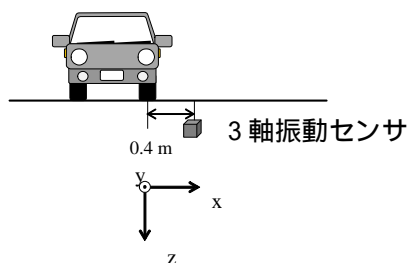
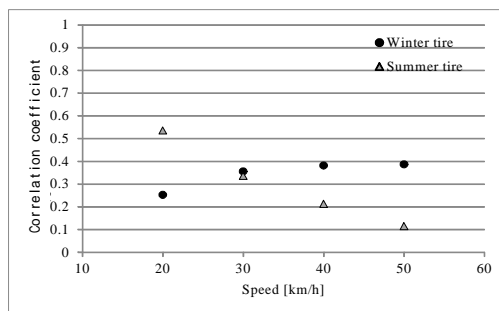


図3 車両走行と3軸振動センサの関係

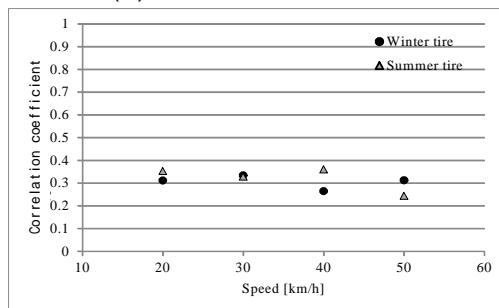
図3のように3軸振動センサを設置した。また、夏タイヤと冬タイヤを装着したモニター車両各1台を準備し、速度20, 30, 40, 50 km/hで走行させて計測を行った。そして、各軸間の類似性、つまり相関について評価を行うことにした。その具体的な方法は、各軸のパワースペクトルを用いて相関値を算出した。その結果を図4に示す。ここで、図4(a)は垂直成分zと左右方向の水平成分xとの相関、(b)には垂直成分zと前後方向の水平成分yとの相関、(c)には水平成分の左右xと前後yとの相関を示す。この結果から、垂直成分との相関結果(a),(b)は、夏タイヤと冬タイヤともに相関値が0.4以下の低い値となり、特徴的な違いが見られなかった。これは、垂直成分にはタイヤの衝突による振動だけではなく、車両のエンジン音等のノイズを受けやすいことから、これらの影響を受けたものと予想した。一方、水平成分の左右と前後との相関結果では夏タイヤと冬タイヤの大きな差が現れる結果となった。特に、冬タイヤにおいては相関値が0.6を超え、両者の相関が高いことがよく分かる。これは、冬タイヤはゴム質が柔らかいことから、水平方向へもブロック変形による振動が伝搬され

やすいのに対し、夏タイヤはゴム質の硬さと完全なブロック形状ではないという点から、水平方向へはノイズレベルの振動しか伝搬されないため、夏タイヤと冬タイヤに相関の差が現れたと判断できる。

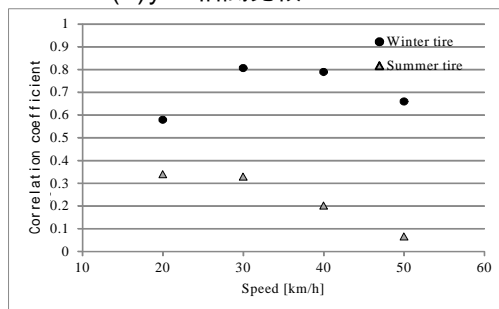
以上のことから、水平成分つまり車両の進行方向に対して左右と前後の相関に着目することで、夏・冬タイヤの判別精度の向上が期待できる。今後は、対象とする車両を増やすことはもちろん、異なるフィールドでもデータ収集を行い、有効性について検討を行う必要がある。



(a)x-z 相関比較



(b)y-z 相関比較



(c)x-y 相関比較

図4 各軸間の相関関係

(2) 冬用タイヤ自動判別装置の運用評価

これまでの検討を含め、車両走行時に生じる路面振動のパワースペクトルに注目することで、夏・冬タイヤの判別が可能であることが分かった。そこで、この方式を組み込んだ冬用タイヤ自動判定装置を試作し、実際の高速度道路に試作装置を導入し、その運用評価を行うこととした。

冬用タイヤ自動判別装置の概要

図5のように、SA入口部に冬用タイヤ自動判定装置を設置し、通過する車両のタイヤ種別を自動的に判別する。振動ピックアップは

路面内に埋設されており、あわせて、車両の通過速度を計測する光学センサも配置している。

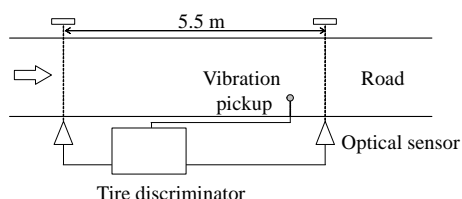


図5 冬タイヤ自動判別システム

フィールド検証結果

東海北陸自動車道 長良川 SA において、各通過車両が装着しているタイヤの種類を目視によって確認し、装置によるタイヤ判別結果と比較した。この実測結果とセンサの判別結果の比較を表1に示す。このように、本装置では夏・冬タイヤとも判別率約80%を得ることが確認できた。また、同様な精度検証は他の数ヶ所の現場でも実施し、同程度の判別率があることも確認している。

表1 タイヤ判別検証結果

夏タイヤ	冬タイヤ	合計
80%(24/30)	79%(143/181)	79%(167/211)

これらの結果において、車両の走行位置と振動ピックアップの距離が離れることによる距離減衰等、判別率に影響を与える要因も含まれており、センサの配置、設置形態も課題となる。今後は、振動ピックアップと車両の位置と判別率との関係を整理し、埋設する振動ピックアップの位置、個数なども視野に入れ検討を行う予定である。

(3)振動ピックアップを利用した車速計測の検討

タイヤ判別で必要不可欠な車速計測について、従来の光学式センサに代わり、タイヤ判別を目的として埋設された振動センサに着目し、降雪の影響を受けない車速計測について検討した。

振動ピックアップの配置

図6のように、2つの振動ピックアップを埋設し、その間を通過する時間波形の相関から速度を算出することにした。なお、振動ピ

ックアップ間の距離は3.5mとして、2つの振動ピックアップで計測される時間波形の一例を図7に示す。速度については、2つのピックアップ間を通過する時間波形の相関から移動時間を算出することにした。その他、従来の光学センサも図6のように配置し、真値として同時に計測を行った。

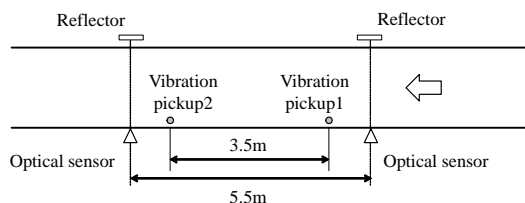
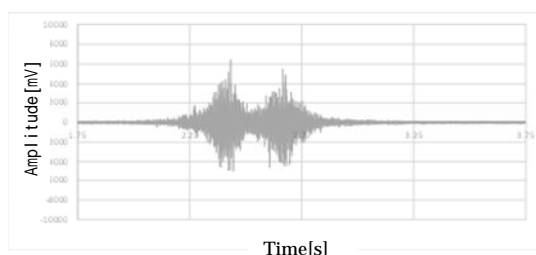
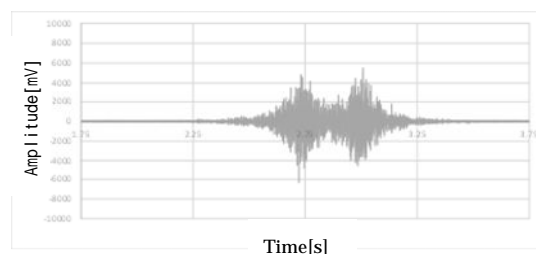


図6 振動ピックアップの配置



(a)振動ピックアップ1の時間波形



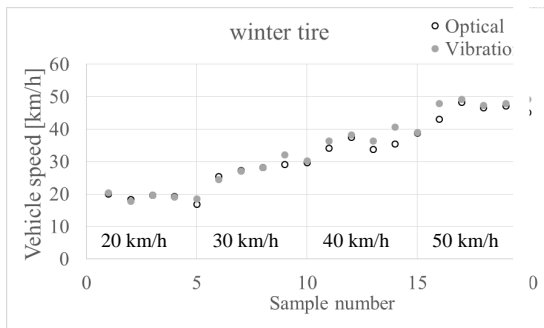
(b)振動ピックアップ2の時間波形
図7 振動ピックアップの時間波形

振動ピックアップによる速度計測精度の評価

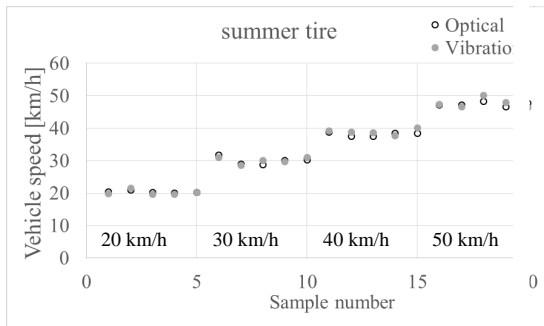
東海北陸自動車道岐阜各務原 IC の試験ヤードにおいて、夏タイヤと冬タイヤを装着したモニタ車両各1台を準備し、速度20, 30, 40, 50 km/hを目安として各5回ずつ走行させた。この走行に対して従来の光学式センサと今回の2つの振動センサから算出した速度の比較結果を図8と表2に示す。

このように、振動センサを2つ使用した算出方法において、平均誤差は3 km/h以内に収まり、光学式センサとほぼ同等の結果が得られることが確認できる。

以上のことから、路面に埋設された振動センサを利用しても、従来の光学式センサとほぼ同等な速度が計測できることを確認した。これにより、光学式センサを設置する必要性がなくなり、システム面での課題が解決できると同時に、コストダウンも実現できる。今後は、対象とする車両を増やすことはもちろん、異なるフィールドでもデータ収集を行い、その汎用性について検討を行う必要がある。



(a)冬タイヤ走行時の速度計測結果



(b)夏タイヤ走行時の速度計測結果

図8 速度計測結果の比較

表2 タイヤ別速度計測結果の精度

	冬タイヤ			夏タイヤ		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
20	1.71	-0.62	0.56	0.43	-0.52	0.36
30	2.92	-0.94	0.96	1.30	-0.64	0.67
40	5.28	0.34	2.24	1.77	-0.68	1.12
50	4.84	0.75	2.29	1.85	-1.29	1.02

[単位：km/h]

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

T. Tanizaki, K. Ueda, T. Murabe, H. Nomura, and T. Kamakura, "Identification of winter tires using vibration signals in the road surface", Applied Acoustics, 83, 2014, 116-122. [査読有]

鎌倉友男, 谷寄徹也, 上田浩次, "冬タイヤ用音響同定システムの開発", IEICE Fundamentals Review, Vol.9, No.2, 2015, 84-91. [査読無]

[学会発表](計3件)

中村香織, 谷寄徹也, 上田浩次, 戎家隆, 野村英之, 鎌倉友男, "冬用タイヤ自動判定装置の運用評価", 電気学会 ITS 研究会, ITS-14-23, 2014年6月20日, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

中村香織, 谷寄徹也, 上田浩次, 戎家隆, 野村英之, 鎌倉友男, "3軸振動成分に着目した夏・冬タイヤの判別方法の一考察", 電気学会 ITS 研究会, ITS-15-019, 2015年6月19日, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

中村香織, 谷寄徹也, 上田浩次, 相川展広, 鎌倉友男, "冬用タイヤ自動判定システム～車速の計測に関する一考察～", 電気学会 ITS 研究会, ITS-16-024, 2016年6月24日, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

6. 研究組織

(1)研究代表者

上田 浩次 (UEDA, Koji)

大同大学・情報学部・教授

研究者番号：80553213

(2)研究分担者

鎌倉 友男 (KAMAKURA, Tomoo)

電気通信大学・産学官連携センター

・特任教授

研究者番号：50109279

(3)研究協力者

谷寄 徹也 (TANIZAKI, Tetsuya)

名古屋電機工業株式会社・技術開発部

・部長