

学位論文題名

重機用多気筒ディーゼルエンジンの 失火気筒判定システムに関する研究

学位論文内容の要旨

機械力を用いた採掘、運搬、構造物の施工等には採掘や施工規模の大型化、工期の短縮、工事の質の向上、採掘単価の低減、労働力の節減、採掘の安全化等をはかれるという特徴がある。機械による採掘、施工の工程では、全仕事量に対する重機に行わせる仕事量の比重は大きく、重機を正常に機能させるための維持管理に要する費用も非常に大きい。このことから、重機の効率的な利用が必要であり、故障による作業の中断も避けなければならない。後者については、機械が深刻な故障を起こす前に異常を検知し迅速に修理することが重要である。燃焼系で起きる深刻な異常に失火気筒の発生がある。失火気筒の放置はエンジンに致命的な損傷を与えるのは勿論のこと、粒子状物質(PM)の発生により大気環境汚染を伴う。また、失火気筒の発生を検知した後の現場における修理では、失火状態の気筒のみを応急修理し、修理を行ったがゆえに生ずるオイルへの岩粉の混入は極力避けなければならない。上記の意味から失火気筒が発生した場合、それがどの気筒であるかを簡易、確実、迅速に判定する技術の開発が望まれている。他方、我国における移動通信網の充実、携帯電話の普及はめまぐるしく拡大し、データ通信や画像通信も行われるようになり、携帯電話を利用した各種計測データの伝送が実用上可能になってきている。こうした背景のもと、本研究ではエンジンの決まった位置に最少必要数(2個)の加速度計を常時固定しておき、必要な時に波形信号データを生のまま携帯電話で解析用コンピュータがある事務所へ伝送し、自動的に判定する失火気筒判定システムの構築を目的とした。

本研究は大別すると、「エンジンをベンチに設置した状態での計測とその加速度波形を用いた失火気筒判定手法の確立に関する基礎研究」、「エンジンを車両に搭載した状態での計測・解析による基礎研究結果の検証」、「データ伝送を含めた失火気筒判定システムの実条件下でのフィールド研究」からなっている。

第1章では、序論として本研究の目的および本論文の構成等を述べた。

第2章では、研究対象としている重機用多気筒ディーゼルエンジンで失火気筒が発生した場合に派生する問題について考察した。また、内燃機関の失火気筒の検出方法に関する既往の研究結果を検討し、失火気筒検出方法としては情報量が多い加速度波形を用いる方法のさらなる研究が必要であると述べた。

第3章では、北海道石狩炭田北端の小規模露天掘炭鉱である空知炭鉱での石炭生産状況、採掘方法、生産設備等の調査結果について述べるとともに、重機の早期異常診断の重要性を述べた。また、ユーザーによる重機の早期異常診断に対する関心と技術の向上が必要であると述べた。

第4章では、ベンチに設置したディーゼルエンジンにおける、振動加速度測定法、

振動伝播経路および失火気筒の判定法（rms 値の統計的解析方法）の確立に関する基礎研究結果を述べた。研究の結果、3,300Hz 付近の周波数成分は燃焼衝撃で直接シリンダブロックに生じた振動と考えられ、失火気筒が発生した場合には、この直接伝播する振動成分が変化するとみなした。また、加速度波形からエンジン回転数や特定気筒の波形の立ち上がりを判定することができ、rms 値の統計的解析により全 12 気筒の失火状態を判定できることを明らかにした。多気筒エンジンに気筒数分の加速度計を取り付けノッキング、失火を診断した従来の方法にくらべ、本研究の方法は遥かに簡易、確実な失火気筒判定法といえる。設備経費、維持管理的にも従来法にくらべ優位性があるといえる。

第 5 章では、失火気筒の判定をさらに確実にするため、rms 値の統計的解析法に続き、同じくベンチに設置したディーゼルエンジンの加速度波形を用いて、ウェーブレット解析による失火気筒の判定法に関する研究を行った。ガボール($\sigma=8$)のマザーウェーブレットによるウェーブレット解析結果の適用性を検討した。その結果、計測した時系列的データ列の何番目からウェーブレット変換を開始した場合においても、各気筒の燃焼時間帯を特定できることから、ウェーブレット解析法では解析前のデータ加工が不要であり、長所の一つといえることを明らかにした。本実験の 12 気筒 V 型ディーゼルエンジンの場合、奇数番気筒側と偶数番気筒側の両側面に一個ずつ加速度計を取り付けて加速度波形を計測、ガボール($\sigma=8$)のマザーウェーブレットを使用したウェーブレット解析を行うことで全 12 気筒の失火状態を判定できることを示した。ウェーブレット解析法による判定方法は、rms 値による統計的な判定法とともに有用な失火気筒の判定手段といえることを明らかにした。

第 6 章では、基礎実験で確立した失火気筒の判定方法をディーゼルエンジンを車両に搭載した実機に対して適用し、判定方法の有効性を検証した。形式が異なる 3 種類のエンジンに対する失火気筒判定法の有効性について述べた。測定波形の FFT 解析、ウェーブレット解析を行った結果、エンジンを車両に搭載した実機における計測であっても、燃焼室側面に取り付けた加速度計から得られる振動波形成分はベンチテスト状態の計測による振動波形成分と変化がないことを確認した。また、3 種類のエンジンを搭載した重機に対し、失火気筒の判定を行った結果、どのエンジン形式においても、本失火気筒判定方法により全気筒の失火状態を判定できることを明らかにした。

本研究ではエンジンの決まった位置に最少必要数の加速度計を常時固定しておき波形信号データを携帯電話等で解析用コンピュータのある事務所へ伝送し自動的に判定する失火気筒判定システムの構築を目指している。この失火気筒判定システムの構築を念頭に置き、第 7 章では、実条件下での実験における測定、データ伝送、セミオートマティックな解析試験結果を示した。その結果、実際に不調が認められている重機に対し、実条件下で計測・データ伝送・波形処理を実施し、過去のデータ蓄積が無くても rms 値の統計的解析およびウェーブレット解析を用いることにより失火気筒を判定できることを明らかにした。

最後に、現場に到着してから計測が可能となるまでに要する時間は約 20min であり、データ伝送・処理部分は合計 30min 以内で終了すること、また、簡便な計測システムが確立されたといえ、本失火気筒検出システムは実環境に適用可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	樋 口 澄 志
副 査	教 授	石 島 洋 二
副 査	教 授	金 子 勝比古
副 査	教 授	山 田 元
副 査	助教授	氏 平 増 之

学 位 論 文 題 名

重機用多気筒ディーゼルエンジンの 失火気筒判定システムに関する研究

近年、エンジンに関しては排ガスによる環境汚染の低減を目的とした種々の研究が行われている。その中では、エンジンの失火気筒の検出と判定に関する研究も行なわれている。しかし、多くは、自家用自動車等の SI エンジンを対象とした研究である。重機用多気筒ディーゼルエンジンを対象とした失火気筒判定システムに関する研究は数少ない状態にあり、重機の効率的利用の観点からも今後の発展が待たれる状況にある。

本論文は、このような現況にある重機用多気筒ディーゼルエンジンの簡易、確実、迅速な失火気筒判定システムについて研究した結果をまとめたものである。

本研究は大別すると、「ディーゼルエンジンをベンチに設置した状態での計測とその加速度波形を用いた失火気筒判定手法に関する基礎研究」、「エンジンを車両に搭載した状態での計測・解析による基礎研究結果の検証」、「データ伝送を含めた失火気筒判定システムの実条件下でのフィールド研究」からなっている。

第 1 章では、序論として本研究の目的および本論文の構成等を述べている。

第 2 章では、研究対象としている重機用多気筒ディーゼルエンジンで失火気筒が発生した場合に派生する諸問題を考察している。また、内燃機関の失火気筒検出方法に関する既往の研究結果を検討し、失火気筒判定方法としては情報量が多い加速度波形の有効利用が必要と指摘している。

第 3 章では、北海道石狩炭田北端の小規模露天掘炭鉱である空知炭鉱での石炭生産状況、採掘方法、生産設備等の調査結果について述べるとともに、重機の早期異常診断の重要性を述べている。また、ユーザーによる重機の早期異常診断に対する関心と技術の向上が必要であると述べている。

第 4 章では、ベンチに設置したディーゼルエンジンにおける、振動加速度測定法、振

動伝播経路および失火気筒の判定法（rms 値の統計的解析方法）の確立に関する基礎研究結果を述べている。研究の結果、フーリエスペクトルで卓越している 3,300Hz 付近の周波数成分は燃焼衝撃で直接シリンダーブロックに生じた振動と考えられ、失火気筒が発生した場合には、直接エンジンブロックを伝播する振動成分が変化するとみなしている。また、加速度波形からエンジン回転数や特定気筒の波形の立ち上がりを判定することができ、rms 値の統計的解析により全 12 気筒の失火状態を判定できることを明らかにしている。従来の方法にくらべ、本研究の方法は遥かに簡易、確実な失火気筒判定法で、設備経費、維持管理的にも優位性があると述べている。

第 5 章では、同じくベンチに設置したディーゼルエンジンの加速度波形を用いて、ウェーブレット解析による失火気筒の判定法に関する研究を行っている。その結果、計測した時系列的データ列の何番目からウェーブレット変換を開始した場合においても、各気筒の燃焼時間帯を特定できることから、ウェーブレット解析法では解析前のデータ加工が不要であり、長所の一つといえることを明らかにしている。本実験の 12 気筒 V 型ディーゼルエンジンの場合、ガボール($\sigma=8$)のマザーウェーブレットを使用することで全 12 気筒の失火状態を判定できることを示している。ウェーブレット解析法による判定方法は、rms 値による統計的な判定法とともに有用な失火気筒の判定手段といえることを明らかにしている。

第 6 章では、基礎実験で確立した失火気筒判定方法を、ディーゼルエンジンを車両に搭載した実機に対して適用し、判定方法の有効性を検証している。3 種類のエンジンを搭載した重機に対し、失火気筒の判定を行った結果、どのエンジン形式においても、本失火気筒判定方法により全気筒の失火状態を判定できることを明らかにしている。

第 7 章では、実条件下での実験における測定、データ伝送、セミオートマティックな解析試験結果を示している。その結果、実際に不調が認められている重機に対し、実条件下で計測・データ伝送・波形処理を実施し、過去のデータ蓄積が無くても rms 値の統計的解析およびウェーブレット解析を用いることにより失火気筒を判定できることを明らかにしている。さらに、携帯電話によるデータ伝送と波形処理に要する時間は合計 30min 以内であり、簡易、確実、迅速な判定システムであることを実証している。

これを要するに、著者は、重機用多気筒ディーゼルエンジンの失火気筒判定システムについて、「加速度波形の rms 値の統計解析とウェーブレット解析法を併用することの有効性」と「計測装置と携帯電話を組み合わせた計測・処理システムの実用性」について新知見を得たものであり、露天掘鉱山、碎石場、土木建設現場における採掘、施工技術の向上に資するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。