

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

2019 年 9 月 20 日  
Year Month Day

学位 (博士) 論文要旨  
(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学専攻 (major) 2013 年度入学 (Admission year) 学籍番号 13833702 氏名 小川 史恵 印 (student ID No.) (Name) (Seal)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	和田 正義
論文題目 (Title)	ガウス過程回帰を用いたエンジンシリンダー内の空気充填効率を推定するための統計モデリングに関する研究 Study on Statistical Modeling using Gaussian Process for Charging Efficiency in Engine Cylinder
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese)  近年では自動車エンジンの低排出ガス・低燃費化への関心が高まり、燃料によりクリーンかつ効率的に燃焼する技術が求められている。その中でも重要な技術に位置付けられているのが、気筒内の空気と燃料を適切な量に混合する空燃比制御技術である。この空燃比制御の高精度化において、筒内吸気量と呼ばれるエンジン気筒内へ吸引される空気量の推定精度を改善することが重要な課題として認識されている。今日の空燃比制御システムでは筒内吸気量を直接計測することが困難なため、筒外の空気量センサから推定された筒内吸気量に基づいて燃料噴射量を決定し、目標の空燃比を実現している。筒内吸気量の推定精度は、先行研究の成果により着実な改善が行われてきたが、現在までに積み残された課題として過渡状態による推定値と真値間の誤差がある。従来の技術では筒内吸気量は筒外の空気量センサの値から吸気系の物理方程式と、定常運転時における筒内吸気量の実験データに基づいたマップを組み合わせて推定されている。環境に配慮したエンジンの制御システム開発では、制御装置に制御対象モデルを実装し統計モデルなどを適切に配置することが鍵と考えられている。本論文では筒内吸気量に着目し、試験車両データと解析データを元に GP を利用した統計モデルの特性検証を行った。結果としてデータの前処理方法の提案の有効性が言えたこと、推定を高める方策として LPF 効果やダウンサンプリング、データの分割法の効果および評価を行いそれぞれの有効性を確認した。	

本論文は5章で構成されている。以下に章ごとの内容を示す。

第1章「緒言」では、本研究の社会的な位置づけについてまず述べた。従来の知見と本論文の解決すべき課題を整理し目的を明確にした。

第2章「研究で使用する統計モデルの方法について」では、統計モデルの方法とデータの取り込み、実験装置や使用するデータについて述べた。

第3章「試験車両データを使用した検証」では、エンジンのセンサで取得したデータには、少なからずノイズが含まれていると考えLPFやサンプリング周期の変化による前処理の検証について述べた。前処理を施して作成した訓練データによって統計モデルを学習させると、判断基準とした統計的な指標 $R^2$ や相対誤差とした最悪値・積算値はおおむね効果があった。LPFによる効果は一部の推定誤差は低く抑えられたが、前後の遮断周波数では誤差が高い結果であった。また、ダウンサンプリングを行うサンプリング周期変化の効果は評価できた。効果のある値の選択幅は比較的広がった。低減できる値を一つに定めることが難しかったといえる。これは、統計モデルの推定精度がデータへの依存性が強いということを示唆している。統計モデルの作成の可否は統計的な指標 $R^2$ を確認し、相対誤差とした最悪値で設計指標とする方法が実務に生かす上の必要条件だと考える。ただ、課題がいくつかある。本方針でA/Fの $\pm 10\%$ の相対誤差内の範疇に収まる目標を目指したが、範囲内には届かなかった。そのため対象のデータラベルの時系列データだけで判断せず、データ長に適したサンプリング周期を変化させたダウンサンプリング値を選択する必要があることが確認できた。

第4章「WLTCモードを使用した検証」では、国際基準であるWLTCモードである走行シーンを原データとした。エンジン停止状態を含む走行シーンでは、統計モデルをそのまま制御ロジックに使用するには推定を実施する条件検討が必要であった。この条件を利用すると過渡領域・定常領域ともに、前処理としてLPF処理後に統計モデルを経た検証データの最悪値が一律低く抑えられ積算値もオリジナル値に比べて大幅な軽減効果があった。また同じく前処理のサンプリング周期の変化についての検討では、両方の領域に効果があったものの最悪値と積算値の両方を同じ設定値で低減させることは難しかった。ただこの手法では、LPF処理に比べ改善率は低いと結論づけられた。分割周期の変化についての検討では、最悪値を基準にすると一つの値の設定で過渡と定常に対応しにくかった。これらの結果を検証すると、最悪値に主眼をおいた前処理の手法から優先順位としてダウンサンプリングを前処理とし、次点でLPFを選択する。また過渡や定常両方の学習をさせる場合は分割周期の手法をとることで推定精度を高めることが適しているのではないかと判断する。

第5章「総括」で結論を述べ、本論文の目的と照らし合わせながら研究の成果をまとめた。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Along with the recent increase of the interest in lower exhaust emissions and better fuel economy of automobiles, it has been required to improve the accuracy of the engine air-fuel ratio control. In improving the accuracy of the air-fuel ratio control, how to improve the estimation accuracy of in cylinder intake air amount is the challenge. For preceding studies, the estimation accuracy has been steadily improved but the estimation error caused by the transient state remains. In this study we propose to use Gaussian Process (GP), a statistic model to estimate the in cylinder intake air amount takes to the transient state into account. To improve the estimation accuracy using GP, it is required to obtain the exhaustive data of engine operation but it is not easy because of cost constraint. Therefore, we have studied a method to extract data which contributes to the estimation accuracy out of the limited measurement data. We have verified the impact on the estimation accuracy where modeling is done by extracting the training data from engine operation data according to a rule and the results are reported in this research.

In Chapter 1 “Introduction” described the social status of this study. The purpose of this paper was clarified by organizing previous knowledge and issues to be solved. And in Chapter 2 “Statistical Model Methods used in Research” described statistical model methods and data import, experimental equipment and data used. Moreover in Chapter 3 “Verification using test Vehicle data”, we considered that the data acquired by the engine sensor contained a lot of noise and described the preprocessing verification by LPF, Down sampling and Separation time effect. Accordingly, in Chapter 4 “Verification using WLTC mode”, the driving scene in the WLTC mode which is an international standard. We used the original data. In the driving scene it needs higher prediction result with statistical method. The conclusion was given in Chapter5 “Summary” and the results of this research.

