

氏 名 (本 籍) 陸 剣 (中国)

学 位 の 種 類 博 士 (工学)

学 位 記 号 番 号 甲 第 136 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 13 年 3 月 24 日

専 攻 生産開発システム工学専攻

学 位 論 文 題 目 屈折効果を考慮した音波CTによる火炉内温度分布測定法に
関する研究

(Study on Acoustic CT Pyrometer Taking into Account the
Refraction Effect)

学位論文審査委員 (主査) 教 授 若 井 和 憲

(副査) 教 授 熊 田 雅 彌 教 授 井 上 晃

助教授 花 村 克 悟 教 授 中 島 健

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、21世紀は環境の時代と言われる中、エネルギー発生源として重要な役割を果たしているボイラーがクリーン化、燃焼効率化が進められており、その燃焼効率にも排気浄化のためにも炉内温度の情報が最も重要であることに着目して、精度良く温度分布を測定する方法を提案するものである。従来この目的には、熱電対が主に用いられてきているが、とくに今後問題となるであろうバイオマス燃焼やゴミ発電ではその汚れが問題となることは明らかで、非接触法への期待が高まっている。その方法として、赤外線を用いた放射温度測定がなされている例もあるが、それはガスそのものの測定には向かない方法である。レーザ法は実験室レベルではかなり精度良く測定できるまで開発が進んできているが、実験室レベルを超えるものはなかなか無く、また光を使うためゴミなどの影響は精度を極端に落とす。音波CT法は、もともと実機を対象として10数年前に実用化され、一時日本でも実機に装備されたことがあり、また海外では現在でも大型の燃焼炉に使われているケースが多い。この論文の狙いは、その音速法のアルゴリズムが、温度分布を測定していながら、その温度分布により発生する音路を曲がり、いわゆる屈折現象については考慮せず、直進するものとして温度再構成アルゴリズムを構築している点の是正にある。すなわち、温度勾配による屈折の影響について、変分法を適用して屈折を考慮した音波CT温度再構成アルゴリズムを構築し、シミュレーションによるプロジェクションデータを作成して、その妥当性を調べている。またこれまで屈折の効果が考慮されて来なかった理由が、その効果による温度測定誤差が過小評価されてきていたからであることから、実用小型ボイラーを用い、種々の燃焼パターンの温度分布を、開発した屈折を考慮したアルゴリズムによる結果と従来のようにそれを考慮しない方法を比較し、屈折を考慮しない場合の誤差の大きいことを調べている。

第一章では本研究の背景について述べている。

第二章では本研究の原理について述べている。音波の屈折効果については、Ferma の原理に変分法を適用して解析し、音の伝播時間を用いた温度分布再構築には、通常使われている Fourier 変換をもとにした方法では上記屈折効果の組み込みが難しいため、最小二乗法をもとにした音波 CT アルゴリズムを構築している。

第三章ではシミュレーションの結果と検討を行っている。まず、第二章で構築した音波の屈折を含んだアルゴリズムの妥当性を、ここでは予め温度分布を想定した炉について計算機により音の伝ば時間(シミュレーションデータ)を発生させ、それをプロジェクションデータとして温度分布を再構成し、与えられた温度分布とどの程度隔たりを持つかで評価している。またその際、計算場を平行線を用いたブロック割りをしているが、火炉が円形の場合には、ブロック割りも円形を基本とすべきことを確認、提案している。また、その根拠が、音の経路がブロックを通過する総延長がそのブロックの情報であることから、ブロック内音路総延長がブロック毎に同程度になることが重要であることを示している。

第四章ではバブコック日立の小型ボイラによる様々な燃焼形態の実験データを使い、燃焼形態によっては、屈折の効果を考慮に入れた解析を行わない場合は、再構成温度誤差が 100 度を超えることを実証している。

最後に第五章では、全体の検討をまとめて、屈折を考慮した音波 CT を用いて温度を測定する研究を総括している。

この論文は、申請者が平成 9 年 10 月に渡日し、それまで自動車の研究とは言え ABS の研究をしてきていて専門が相当違ったにもかかわらず、その研究であがなったコンピュータプログラミング能力を遺憾なく発揮し、留学生として持つ数々の障害を乗り越えて完成したものである。それに対し、審査委員全員一致で博士論文に値すると判定した。

論文審査結果の要旨

本論文は、21 世紀は環境の時代と言われる中、エネルギー発生源として重要な役割を果たしているボイラーがクリーン化、燃焼効率化が進められており、その燃焼効率にも排気浄化のためにも炉内温度の情報が最も重要であることに着目して、精度良く温度分布を測定する方法を提案している。音波 CT 法は、すでに 10 数年前に実用化され、一時日本でも実機に装備されたことがあり、また海外では現在でも大型の燃焼炉に使われているケースが多い。この論文の狙いは、その音速法のアルゴリズムが、温度分布を測定していながら、その温度分布により発生する音路を曲がり、いわゆる屈折現象については考慮せず、直進するものとして温度再構成アルゴリズムを構築している点の是正にある。すなわち、温度勾配による屈折の影響について、変分法を適用して屈折を考慮した音波 CT 温度再構成アルゴリズムを構築し、シミュレーションによるプロジェクションデータを作成して、その妥当性を調べている。またこれまで屈折の効果が考慮されて来なかった理由が、その効果による温度測定誤差が過小評価されてきていたからであることから、実用小型ボイラーを用い、種々の燃焼パターンの温度分布を、開発した屈折を考慮したアルゴリズムによる結果と従来のようにそれを考慮しない方法を比較し、屈折を考慮しない場合の誤差の大きいことを調べている。

第一章では本研究の背景について述べている。

第二章では本研究の原理について述べている。音波の屈折効果については、Ferma の原理に変

分法を適用して解析し、音の伝播時間を用いた温度分布再構築には、通常使われている Fourier 変換をもとにした方法では上記屈折効果の組み込みが難しいため、最小二乗法をもとにした音波 CT アルゴリズムを構築している。

第三章ではシミュレーションの結果と検討を行っている。まず、第二章で構築した音波の屈折を含んだアルゴリズムの妥当性を、ここでは予め温度分布を想定した炉について計算機により音の伝ば時間 (シミュレーションデータ) を発生させ、それをプロジェクションデータとして温度分布を再構成し、与えられた温度分布とどの程度隔たりを持つかで評価している。その結果は日本機械学会論文集 B 編, 65 巻 638 号, p.3468-3474(1999)に掲載されている。またその際、計算場を平行線を用いたブロック割りをしているが、火炉が円形の場合には、ブロック割りも円形を基本とすべきことを確認、提案している。また、その根拠が、音の経路がブロックを通過する総延長がそのブロックの情報であることから、ブロック内音路総延長がブロック毎に同程度になることが重要であることを示している。その結果は、国際誌, Measurement Science and Technology, 11 巻 6 号, pp.692-697(2000)に掲載されている。

第四章ではバブコック日立の小型ボイラによる様々な燃焼形態の実験データを使い、燃焼形態によっては、屈折の効果を検討に入れた解析を行わない場合は、再構成温度誤差が 100 度を超えることを実証している。その結果は、燃焼の科学と技術, Vol.8, p.155-161(2001)に掲載されている。

最後に第五章では、全体の検討をまとめて、屈折を考慮した音波 CT を用いて温度を測定する研究を総括している。

この論文は、申請者が平成 9 年 10 月に渡日し、それまで自動車の研究とは言え ABS の研究をしてきていて専門が相当違ったにもかかわらず、その研究であがなったコンピュータプログラミング能力を遺憾なく発揮し、留学生として持つ数々の障害を乗り越えて和文、欧文合わせて 3 編の論文を発表し、完成したものである。それに対し、審査委員全員一致で博士論文に値すると判定した。

最終試験結果の要旨

語学の口頭試験を含め、最終試験に合格と判定した。