

学 位 論 文 題 名

微粒子含有非灰色気体中での放射伝熱解析

学位論文内容の要旨

従来の固体燃料により作動される熱機関における放射伝熱解析は、実際の問題を解く場合に必要となる非灰色気体中での放射伝熱あるいは非等方性散乱の影響などは考慮することができず、さらに微粒子の散乱を無視、あるいは等方性散乱の仮定を用い、また気体も灰色気体あるいは非放射性気体と近似した条件を採用することが多かった。これらの理由としては、微粒子を分散させた非灰色気体の放射伝熱解析を行う場合、詳細な波数毎の解析手法が要求されることとなるので、その方程式は複雑な微積分方程式となり、位置・方向のみならず波数の関数ともなっていることがあげられる。

そこで本研究では、実際の現象により近い条件での解析が可能となるモンテカルロ法を用い、吸収・散乱性微粒子含有非灰色気体層での放射伝熱解析手法を開発し、このような系内での放射伝熱特性を明らかにするとともに、前述の簡略化を採用する場合の妥当性についても検討することを目的とした。このために、微粒子の非等方性散乱および非灰色気体の存在を考慮して、発熱性微粒子含有非灰色気体層から周囲の壁面へ及ぼす放射伝熱特性を求めることとした。解析に際しては、モンテカルロ法を適用し1次元系ではあるが、各種パラメータの影響を定量的に示すこととした。また、放射伝熱に主として関与している赤外線波長より十分大きい直径を有する微粒子群を対象とし、その表面は灰色・乱反射面であるとした。このようにして、微粒子による散乱位相関数が後方に強い非等方性を有している拡散反射による散乱を取り扱った。またこれらの微粒子群を気体層の中に均一に分散させる場合を取り扱った。本研究では非灰色気体の単色吸収係数を求めるために、Edwardsらにより提案された指数形広域バンドモデルとElsasserモデルを採用し、気体の放射・吸収バンドを温度、全圧力、分圧力および透過距離の関数として与えている。本論文は、上記の目的のもとで一連の研究を行い、その結果をとりまとめたもので、全4章より構成されている。

第1章はまえがきであり、微粒子含有非灰色気体中での放射伝熱解析の応用面と従来の解析において採用している近似の取扱いについて述べ、その近似により生ずる問題点の検討を行った。また、このような問題点を解決し解析結果を実際の現象に近付けるために、本研究で提案している非灰色気体および微粒子の非等方性散乱による解析方法の概要を紹介している。

第2章では、熱放射に関する壁面および気体放射エネルギーの基礎方程式の概要を述べ、続いて非灰色実在気体の放射特性の検討を行っている。ここでは、非灰色気体の単色吸収係数あるいは全放射率の値をEdwardsらにより指数形広域バンドモデルとElsasserモデルに従って求める方法の大綱を説明しており、またこの方法の妥当性を確かめるために、実在気体 (H_2O , CO_2) の放射率をHottelの放射率線図と比較し両者がほぼ一致することを示した。つぎに、放射物性値が分布を有する非灰色気体についての取扱いを検討している。すなわち、

一次元系の非灰色気体層を考え、温度分布および分圧力分布形状を変化させて、気体層から周囲の壁面に吸収される各波数毎の熱流束のスペクトル分布をモンテカルロ法により求めることができた。また、この場合についての各種影響を調べとりまとめている。

第3章では、まず微粒子含有気体中での放射伝熱に関する基礎解析およびモンテカルロ法適用についての取扱い手順の概略を述べている。放射伝熱解析に際しては、まず散乱のない吸収・放射性気体における放射伝熱解析を行ったが、非灰色／灰色気体を対象とし、気体層中における温度分布と局所吸収係数の分布について検討した。さらに、Hottelの放射率線図あるいはPlanckの平均吸収係数から求めた局所吸収係数による壁面熱流束の値を比較し、灰色近似の場合の限界を示した。また、モンテカルロ法を適用することによって、非灰色気体での各波数毎の放射エネルギー流束分布を求め得ることを示した。

つぎに、微粒子含有気体で微粒子との温度差がない場合とある場合についての放射伝熱解析を行いとりまとめている。まず、温度差がない場合について、気体の非灰色性／灰色性および微粒子散乱の非等方性／等方性の違いが微粒子分散気体中の温度分布に与える各種の影響を調べることにした。ここでパラメータとしては二つの黒体壁面の間隔、内部発熱量、微粒子の表面放射率、微粒子の直径、および微粒子群の個数濃度を採用した。一方、気体と微粒子との間に温度差がある場合については、気体のみの発熱の場合／微粒子群のみの発熱の場合に区別し、その結果を上述の微粒子との間に温度差がない場合の解析と同様にまとめた。さらに、ここでは微粒子・気体間の温度差に与える影響も検討しており、その両者間の伝熱効果として放射と対流による影響を含め微粒子個数濃度の違いについても調べている。また各解析結果をまとめるに際し、微粒子含有気体からの各波数毎の壁面放射熱流束のスペクトル分布も検討している。

第4章は結論であり、本研究において求めた解析結果を総括して述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 谷 口 博
副 査 教 授 宮 本 登
副 査 教 授 福 迫 尚一郎
副 査 教 授 三 好 克 彦
副 査 助 教 授 工 藤 一 彦

学 位 論 文 題 名

微粒子含有非灰色気体中での放射伝熱解析

本研究は、実際の現象により近い条件での解析が可能となるモンテカルロ法を用い、吸収・散乱性微粒子含有非灰色気体層での放射伝熱解析手法を開発し、このような系内での放射伝熱特性を明らかにするとともに、前述の簡略化を採用する場合の妥当性についても検討することを目的としている。このために、微粒子の非等方性散乱および非灰色気体の存在を考慮して、発熱性微粒子含有非灰色気体層から周囲の壁面へ及ぼす放射伝熱特性を求めている。解析に際してはモンテカルロ法を適用し、1次元系ではあるが、各種パラメータの影響を定量的に示している。また、放射伝熱に主として関与している赤外線波長より十分大きい直径を有する微粒子群を対象とし、その表面は灰色・乱反射面であるとしている。このようにして、微粒子による散乱位相関数が後方に強い非等方性を有している拡散反射による散乱を取り扱っている。またこれらの微粒子群を気体層の中に均一に分散させる場合を取り扱った。本研究では非灰色気体の単色吸収係数を求めるために、Edwardsらにより提案された指数形広域バンドモデルとEl sasserモデルを採用し、気体の放射・吸収バンドを温度、全圧力、分圧力および透過距離の関数として与えている。本論文は、上記の目的のもとで一連の研究を行い、その結果をとりまとめたもので、全4章より構成されている。

第1章はまえがきであり、微粒子含有非灰色気体中での放射伝熱解析の応用面と従来の解析において採用している近似の取扱いについて述べ、その近似により生ずる問題点の検討を行っている。また、このような問題点を解決し解析結果を実際の現象に近付けるために、本研究で提案している非灰色気体および微粒子の非等方性散乱による解析方法の概要を紹介している。

第2章では、熱放射に関する壁面および気体放射エネルギーの基礎方程式の概要を述べ、続いて非灰色実在気体の放射特性の検討を行っている。ここでは、非灰色気体の単色吸収係数あるいは全放射率の値をEdwardsらにより指数形広域バンドモデルとEl sasserモデルに従って求める方法の大綱を説明しており、またこの方法の妥当性を確かめるために、実在気体 (H_2 , O , CO_2) の放射率をHottelの放射率線図

と比較し両者がほぼ一致することを示している。つぎに、一次元系の非灰色気体層を考え、温度分布および分圧力分布形状を変化させて、気体層から周囲の壁面に吸収される各波数毎の熱流束のスペクトル分布をモンテカルロ法により求めることにより、層内の温度分布が壁面熱流束の大きな影響を与えることを示している。

第3章では、まず微粒子含有気体中での放射伝熱に関する基礎解析およびモンテカルロ法適用についての取扱い手順の概略を述べている。放射伝熱解析に際しては、まず散乱のない吸収・放射性気体における放射伝熱解析を行い、非灰色／灰色気体を対象とし、気体層中における温度分布と局所吸収係数の分布について検討している。さらに、Hottelの放射率線図あるいはPlanckの平均吸収係数から求めた局所吸収係数による壁面熱流束の値を比較し、灰色近似の場合の限界を示している。

つぎに、微粒子含有気体で微粒子との温度差がない場合とある場合についての放射伝熱解析を行い、いずれの場合にも微粒子による放射熱伝達促進効果が期待できる微粒子個数濃度の範囲では、非灰色／灰色解析の結果に差があることを示している。また微粒子として非等方性散乱粒子を使用すると、気体・微粒子の温度が等方性散乱粒子の場合に比べ高くなることを示し、非等方性散乱粒子を等方性散乱粒子で模擬することは適当でないことを結論づけている。

第4章は結論であり、本研究において求めた解析結果を総括して述べている。

これを要するに著者は、吸収・散乱性微粒子含有非灰色気体層での放射伝熱解析手法を開発するとともに、このような系内での放射伝熱特性を明らかにし、熱工学上有益な多くの知見を得ており、熱工学の進歩に寄与するところ大である。

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。