

学 位 論 文 題 名

発電用ボイラ火炉内伝熱管温度解析に関する研究

学位論文内容の要旨

電力の安定供給のために、汽力発電所などの構成部品について経済性、安全性を加味した保守方法を確立することは重要である。その際、構成部品の精度の良い余寿命評価法の確立、及びその余寿命を決定する主要な損傷モードの回避、低減が重要である。ここで同じ設備であっても、使用条件によって損傷モードが異なるので、各構成部品がさらされる応力、温度、環境の把握が必要であり、さらに、その履歴をできる限り正確に把握しなければならない。

応力については有限要素法等の手法で、複雑形状のものでもかなり精度良く解析することができるが、温度についてはあまり精度良く把握できていないのが現状である。これは、ふく射、対流、熱伝導の3つの伝熱形態が同時に関係している場合が多く、それを総合的に取り扱う手法の開発があまりされていないこと、また、温度解析にあたり、その熱物性値が温度依存性をもつ非線形問題であることによる。本論文では火力発電所の炉内の伝熱管について、その温度をできるだけ精度良く、簡便に求める手法を提案し、これにより構成材料の高温使用による損傷ポテンシャルを極力小さくすることを目的としている。

なお、温度については設計の段階で通常一般的に用いられている伝熱基礎式に何らかの補正係数を加味した経験式を追加し、その補正係数を調整することにより実情に合うよう、設計に反映するほかないものと思われる。しかし、このようなメーカーの具体的ノウハウは公開されておらず、実際に設備を運転しているユーザーにおいては、ユーザー自身で対応することが現状の課題として求められている。またこのような対応によって、使用条件の履歴を把握し、主要な損傷モードの回避・低減を行うことが、設備の長寿命化に対する第一義的な防護策となる。

本論文は、7章より構成されている。

第1章では、汽力発電所における余寿命評価の現状と問題点についてまず述べており、それに基づき、本論文の目的について述べるとともに、論文全体の概要を明らかにしている。

第2章では、ボイラ水壁管の温度分布を求める手法を詳細に検討している。すなわち、まず炉内のガス温度分布及び炉壁の受熱量分布をふく射光線追跡法を用いて求め、その結果を用いて、管の熱伝導、管内冷却水との熱伝達を考慮して、冷却水および、管内・外面の温度の管長さ方向の分布を解析する方法について述べている。ここで、炉内のガスの流動速度分

布はモデル化してあらかじめ与えている。さらにこの解析方法を実機ボイラに適用し、解析結果を実験値と比較してその妥当性を示している。また本章では、管内の冷却水の流量が変化した場合の影響についても述べている。

第3章では、第2章で述べた方法をさらに発展させ、ガス流動を3次元解析することにより詳細に求め、また、燃焼に関する因子が変動した場合、ガス温度、壁面受熱量分布、管壁温度にどの程度影響するかを明らかにしている。このことにより通常運転時における、温度分布の変化の幅の推定を可能にしている。

第4章では、水壁管の高温使用による損傷防護のため、炉内のガス温度を下げることで、また火炉効率の向上を目的として炉内に分割壁を設けることを提案した。この場合、第2章、第3章で述べたふく射光線追跡法において要素判別子を工夫することで、火炉内に突出させた分割壁を簡便に取り扱えることを示した。

この分割壁の枚数、奥行きを変化させて解析を行った結果、分割壁を設置した場合、炉壁の局所最大受熱量が著しく低減すること、ガス平均温度の低減、火炉効率の向上に有効であることを明らかにしている。

第5章では、伝熱形態として対流伝熱が支配的である、煙道に設置されている過熱器、再熱器の管壁温度推定手法について提案し、解析を試みた。実機の煙道に設置されている伝熱管についてはその構造上、熱電対を設置するのはきわめて困難であり、今後も解析による推定にたよらざるを得ない面があり、また提案した解析手法はパソコンでも計算できる手法であり、現場で簡便に計算できるので、本章の結果は実用上非常に有用である。本章では解析のフローを中心に述べている。

第6章では、伝熱管内・外面に汚れが付着した場合、伝熱量、管壁温度にどのような影響があるか推定する手法について提案している。実機において汚れが付着した場合の、汚れと管壁温度の相関関係については公表された実測例はほとんどない。今後、実機伝熱管に付着している汚れの付着具合や熱伝導率等の熱物性値のデータベースの充実により、本章の手法を用いた、伝熱量及び管壁温度の精度良い解析が可能となることが示されている。

第7章は全体の結論で本研究で得られた結論についてまとめて述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 工 藤 一 彦

副 査 教 授 福 迫 尚一郎

副 査 教 授 菱 沼 孝 夫

副 査 助教授 早 坂 洋 史

学 位 論 文 題 名

発電用ボイラ火炉内伝熱管温度解析に関する研究

火力発電所の経済性、安全性を加味した保守方法を確立するためには、構成部品の精度の良い余寿命評価法の確立が重要であり、このため、ボイラ伝熱管についていえば、運転条件における温度の正確な推定法の確立が急務となっていた。しかしながら、ボイラ伝熱管の温度は、ふく射、対流、熱伝導の三つの伝熱形態が同時に関係した形で決定され、これを総合的に取り扱う手法の開発が遅れていたため、その推測は不十分なものであった。

そこで本論文では、火力発電所のボイラ火炉内の伝熱管について、その温度をできるだけ精度良く、かつ簡便に求める手法を提案し、これを用いて伝熱管壁温度に与える各種のパラメータの影響の定量評価、炉壁への最大熱流束の低減に有効と思われる炉内分割壁の有効性の定量評価を行うとともに、管内外に付着した汚れが管壁温度に与える影響を評価する実用的なプログラムを作成することを目的としている。

解析は、まず炉内のふく射伝熱について、これまで比較的単純な系にしか適用されていなかったふく射光線追跡法を新たに3次元場に適用し、炉内流動については3次元乱流流れ解析結果およびこれを基としてモデル化した流れを用いて求め、これらを同時に考慮したエネルギー式を解くことで、炉内のガス温度分布及び炉壁の伝熱管壁への受熱量分布を求め、さらにその結果を用いて、伝熱管内を流れる冷却水の温度、管内外面の温度の管長さ方向分布を求めている。さらにこの手法を実機ボイラに適用し、その結果を実験値と比較することで妥当性を示している。

ついでこの解析手法を用い、燃焼に関する因子が変動した場合、ガス温度、受熱量分布及び、管壁温度がどの程度影響を受けるかを調べ、これにより通常運転時にどの程度、管壁温度分布が変化しうるものかの推定を可能としている。

次に水壁管の高温使用による損傷防護のため、炉内のガス温度を下げ、管壁の熱流束を低減することを目的として炉内に挿入した分割壁の定量的な効果を、分割壁の枚数、奥行きを変化させて解析的に調べている。このような複雑な形状をした3次元場でのふく射伝熱解析を可能とするため、上述のふく射光線追跡法における系形状のモデル化の際に、新たに工夫した要素判別子を導入している。これらの解析の結果、分割壁を設置した場合、炉壁の局所最大熱流束が著しく低減し、ガス平均温度の低減にも有効であることが明らかにされている。

また伝熱形態として対流伝熱が支配的である、煙道に設置されている過熱器、再熱器の管壁温度推定手法について、現場で簡便に計算できるプログラムを作成している。

最後に、伝熱管内外面に汚れが付着した場合、伝熱量及び管壁温度に与える影響を推定する手法についても実用的なプログラムを作成している。

これを要するに著者は、ボイラの伝熱管壁温を推定するためのふく射・対流共存伝熱解析手法を開発し、これを用いてボイラの伝熱管壁温に与える各種の因子の影響の定量的評価、及びその

低減法の検討を行っており、熱工学上有益な多くの新知見を得たものであり、熱工学の進歩に貢献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。