

氏名	内山 雄太		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第9424号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	湿り蒸気流中における配管分岐部での音響共鳴現象に関する研究		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	阿部 豊
副査	筑波大学 教授	工学博士	文字 秀明
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	西岡 牧人
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	金子 暁子
副査	電気通信大学 教授	博士(工学)	大川 富雄

論文の要旨

本研究で対象とする配管分岐部の音響共鳴現象（キャビティトーン）は、流動励起振動（FIV）の中でも配管内に圧力脈動を発生させる流体自励現象の一種である。この事象は配管内などに存在するキャビティ部において、上流端での剪断層剥離により放出された渦が、流れに乗って下流端に衝突することにより分岐管内に圧力脈動が生じる現象である。特に、配管分岐部のような深いキャビティに対しては、渦の放出周波数が、分岐管部の構造により定まる気柱の固有振動数と一致すると、分岐管の深さ方向の音響モードと剪断層の不安定性との連成により分岐管内において強いピーク圧力脈動を伴う気柱共鳴が生じる。この時、圧力脈動が分岐部上流端での渦放出を誘発するフィードバック機構が形成され、特定の流速範囲において渦放出周波数が分岐管の固有振動数とロックインする。

発電プラントの蒸気系配管には多数の分岐部が存在するため、プラントの停止時や起働時なども含めプラント出力を変更した際に事象が顕在化する場合がある。このように様々な条件で発生した音響共鳴現象（キャビティトーン）は、小口径配管損傷に留まらずドライヤのような大型構造物の損傷原因ともなることなどから、その解明は、極めて重要な課題であり、プラントにおけるトラブルの未然防止のために、この音響共鳴現象（キャビティトーン）の発生条件の予測が強く求められていた。

本研究では、音響共鳴現象（キャビティトーン）に注目し、実蒸気配管を対象とした音響共鳴現象の予測評価手法の確立を目指して、蒸気の湿りが圧力脈動振幅／共鳴周波数／共鳴限界 St 数などの音源の特性に及ぼす影響を把握し、湿り蒸気流における配管分岐部の音響共鳴現象を解明するとともに、湿り蒸気流動試験を通じて音響共鳴現象の特性を、実験的に明らかにしている。そのうえで、得られた知見に基づいて音源の特性に対する主要な影響因子を抽出し定量化することで、音源を評価可能な手法を、新たに構築している。

審査の要旨

【批評】

発電プラントの機器／配管では、流れに起因する事象により構造物が振動する流動励起振動（FIV）やそれに伴う配管／構造物の疲労損傷や機器の誤作動／損傷が発生することがある。FIV は、配管減肉などと同様に配管破断に至りやすい現象であり、プラントの計画外停止に繋がる場合も多い。配管は設計変更による改良が難しく、現状は事象発生後に取り換えや溶接保修等の対応を取ることが多い。特に、小口径配管における振動トラブルは発生件数も多く、かつFIVが原因のトラブルによるプラントの計画外停止時間の中でも高い割合を占めている。

FIV によるトラブル事例は機器／配管において継続的に散見されており、米国の沸騰水型原子力発電所（BWR）の Quad Cities 2 号機では、出力向上運転時に主蒸気系の逃がし安全弁管台において音響共鳴が起これ、生じた圧力変動が主蒸気配管および蒸気ドーム内を伝播して蒸気乾燥器（ドライヤ）に繰り返し荷重として作用し、高サイクル疲労損傷に繋がったと報告されている。また、国内の原子力発電所においても、ドレン配管水溜り上部において音響共鳴が発生し、圧力脈動がドレン部へ伝播して小口径配管の損傷に至った事例がある。

プラントの安定な運転に対しての影響が大きい小口径配管の振動対策／振動防止は、プラントにおけるFIV事象頻度ならびにプラント停止時間の低減に非常に効果的であり、重要な課題となっている。これまで、FIV 事象の対策を行うためには、一般的に振動測定が実施されてきていたが、発電プラントにおける機器／配管の物量は非常に多く、測定対象とすべき箇所の抽出や優先度付けについても、その手法が確立しているとは言えなかった。

本研究は、FIV 事象の対策を行うために、FIV の種々の現象／メカニズム明らかにするとともに、現象の理解に基づく予測ならびに、その評価手法の構築を目指したものである。本研究の成果は、様々な条件で発生するFIV事象のなかでも、小口径配管損傷に留まらずドライヤのような大型構造物の損傷原因ともなる音響共鳴現象（キャビティトーン）を明らかにしたものであり、明らかにされた現象に基づく予測手法を新たに構築している。得られた知見は、プラントにおけるトラブル未然防止のために極めて有用な結果であり、共鳴の発生条件の予測を可能とするものであることから、工学的かつ工業的に有用な結果であると認められる。

【最終試験の結果】

令和2年1月27日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。