

【 277 】

氏 名	永 井 將 なが い まさし
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 123 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	自由ピストン機関の開発における諸問題
論文調査委員	(主 査) 教 授 長 尾 不 二 夫 教 授 林 重 憲 教 授 大 東 俊 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は自由ピストン機関に関する従来の理論を修正あるいは補足して、設計法を確立し、これに基づき実験用機関を試作して、その設計法が妥当なことを確かめるとともに、性能改善に対する未解決な問題の解明を試み、さらに根本的な性能改善策として、往復式発電機と結合した新形式の原動機を提案し、その可能性を論じたもので9章からなっている。

第1章は緒論であって、自由ピストン機関の特徴を述べ、開発上の問題点を指摘し、本研究の目的および概要を説明している。

第2章では、従来の自由ピストンガスタービンに関する断片的な熱力学的理論ならびにガス発生機の作動解析を修正・補足し、これらを総括して発動筒、圧縮筒および反動筒の寸法決定ならびにガス流れ系の設計式、さらにピストン運動の解析、出力および熱効率推定の計算式を整えるとともに従来各国で試作または実用化された自由ピストン機関の主要機関寸法を出力との関連において整理し、相似設計の基準を定め、総合的な計画・設計法を確立している。この機関のピストンは変行程であるため、吸・排気孔の設計は従来の定行程機関とは趣を異にし、部分負荷において外死点減少の余地を残す必要があるため著者は余猶係数なるものを導入し、設計あるいは部分負荷性能推定を容易ならしめている。

次に上記の計算法に基づき500馬力ガスタービンの設計を行ない、その試作経過ならびに主要部構造について述べている。

第3章においては、自由ピストンガス発生機の設計因子のうち圧縮筒吸込圧力比、吐出し圧力比、掃気圧力比および機械効率を算出する近値理論式、ならびに圧縮ピストン面積、圧縮間げき長さ、ピストン行程など主要機関寸法の相互関係式を導き、さらに諸因子が機関サイクルおよび性能に与える影響を解析する方法を示し、数値計算により各因子の特性ならびにその関連性を検討するとともに、動力ガス圧力比、空気過剰率、圧縮圧力、最高圧力、爆発度および大気状態などの影響を求め、計画・設計において仮定せねばならない諸因子の最適設定法を示し、これにより性能改善の可能性を論じている。

第4章は吸気管効果による自由ピストンガス発生機の出力増大に関する研究である。まず試作ガス発生機を用い、吸気管長、径、入口形状および吸込空気室の大きさを変え、あるいは吸気タンクを用いた場合につき吸気量の変化を求め、最大20%の増加が得られることを見出し、ついで、圧縮筒、吸込空気室、掃気室および吸気タンク内の圧力変化を測定し、ピストン往復数に対する吸込空気室内の圧力振巾と吸気管効果ならびに騒音との関係を明らかにし、ベンチュリ管付吸気タンクは騒音低減に役立つと同時に定格負荷における吸気量を増し、自由ピストン機関として最適の吸気系であることを強調している。また理論的考察の結果吸気系固有振動数を機関往復の2倍にすれば吸気管効果が最大となることを明らかにし、固有振動数としては脈動固有振動数を用いるべきであると述べている。

第5章では、自由ピストンガス発生機における燃焼とガス流れが性能に及ぼす諸影響について述べている。

燃焼に関しては影響の可能性があるすべての因子について広範囲に亘り、綿密周到な実験を行ない、次の結論を得ている。すなわち、掃気うず流れの大きい場合は噴射弁の半径方向位置の影響が大きく、壁面よりひっこめて配置すべきであるが、うず流の小さい場合は影響が小さく、しかも比較的良い燃焼が得られ、また噴孔径は低負荷では比較的小さく、高負荷では大きい方が良く、大きい噴孔径でうず流れに逆向噴射のとき燃焼は最も良いが最高圧力は高く、順方向噴射では最高圧力、燃焼音はともに低い燃焼は悪化する。また噴射管は各噴射弁に対して等長とし、流速 20 m/S が最もよく、また噴霧広がり角には最適値があるが、噴射面角、開弁圧、蓄圧空気圧力などはある範囲内ではほとんど影響がないことなどを明らかにしている。

圧縮機特性に関しては吸込弁、吐出し弁の大きさ、弁揚程、弁ばね定数を変えた場合の圧縮筒内インジケータ線図を解析して、有効吸込行程、吸込圧力比、過給圧力比、吐出し圧力比の諸点から、吸込弁、吐出し弁の最小許容面積を決定するとともに吐出し圧力比に対する実験式を与え、さらにこれらを考慮して圧縮筒理論サイクルに対する修正式を求めている。

ガス流れ系に関しては吸込空気室から圧縮筒、掃気室、発動筒、排気管に至る一連の圧力変化を測定して、掃気孔幅、圧縮間げき、および内・外死点が変わった場合の余猶係数との関係を論じ、掃気孔幅を減じても余猶係数が1に近づくだけで掃気圧力の変化はなく、余猶係数が1より小さい範囲では一定の排気圧力に対し掃気圧力は空気量のみ関数となり、その関係式を求めている。

さらに内・外死点、噴射時期、噴射圧力など機関作動上の諸因子と機関性能との関係を明らかにし、最適条件を見出すとともに設計値の検討を行ない、試作ガス発生機の設計値は圧縮筒特性を除きほぼ実測値と一致し、著者の設計法が妥当なことを確認している。

第6章は自由ピストンガス発生機の操縦・制御に関し、著者考案の起動・停止制御装置および燃料噴射制御装置の構造・作用を説明し、これらを含めた遠隔自動制御装置の各部作動状態を記録して作動特性の検討を行ない、起動空気圧力、起動ピストン位置、および機関温度と第1内死点との関係、安定装置ばね荷重、燃料噴射量、圧力取出弁開度、抽気孔径、排気絞弁開度などが起動特性に与える影響を明らかにして装置の設計資料および起動条件設定法を示している。

また安定装置については反動筒特性圧力として絞り一外死点抽気方式を採用し、絞り弁開度、スライド

弁ピストン径、ばね定数、スライド弁重量、抽気孔径および抽気位置が安定装置の作動特性および機関の部分負荷特性に与える影響を明らかにし、安定装置設計の資料を提供している。

第7章は自由ピストン・ガス発生機とガスタービンとの連動制御に関し、まず著者の試作した調速機、油圧制御弁、燃料制御装置、ガス制御弁など各要素単独の作動特性を解析し、ついで発電用ガスタービンとの連動運動を行ない作動特性を明らかにし、所期の目的を達したことを述べている。

第8章では、まず、現在の内燃機関が有するすべての要素を含んだ総括的内燃機関を考え、その理論的サイクルの熱効率を作動ガス圧力比、ピストン機関燃料比、ピストン機関出力に対する圧縮仕事比、ターボ機関出力に対する圧縮仕事比を含んだ一つの式で表わし、それらの因子に特定の数値を与えることにより、各種出力形式の自由ピストン機関の熱効率を検討した結果、自由ピストン往復出力機関あるいはこれを含む複合機関が最も高い熱効率を与えることを結論し、ついで往復動力として往復式発電機を用い、無圧縮筒一掃気ターボ過給自由ピストン発電機の作動理論および設計式を導き、それに基づいて小形自由ピストン機関を計画し、また往復式発電機の調査結果から得られた設計基準に基き、平板状駆動鉄心形発電機の計画を行ない、重量・熱効率において、同出力のディーゼル発電機より有利であり、大出力化の可能性もあり、将来の原動機として興味あるものと推論している。

第9章は結論として以上の研究成果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

自由ピストン機関は多くの長所をもっているが、変行程の平衡サイクル機関であるため、定行程往復式機関とは趣を異にし、設計資料も乏しく、その開発には多くの問題が残されている。

著者は内方圧縮形自由ピストン機関について、従来の断片的な熱力学的理論およびガス発生機の作動解析に修正を加えあるいは補足し、これらを総括して主要寸法の決定、ガス流れ系の設計ならびにピストン運動の解析、出力および熱効率の推定に対する計算式を整えたとともに、従来各国で試作または実用化された自由ピストン機関の主要寸法を出力との関連において整理し、相似設計の基準を定め、総合的な計画・設計法を確立した。

変行程二サイクル機関の掃・排気孔の設計は、部分負荷において外死点減少の余地を残す必要があるため、特に困難であるが、著者は余猶係数なるものを導入し、巧みにこれを解決するとともに、部分負荷性能、作動限界の推定をも容易ならしめている。

次に設計因子のうち圧縮筒吸込圧力比、吐出し圧力比、掃気圧力比および機械効率を算出する近値理論式、ならびに主要機関寸法の相互関係式を導き、さらに諸因子が機関サイクルおよび性能に与える影響を解析する方法を示し、数値計算により各因子の特性ならびにその関連性を検討するとともに、各種作動変数の影響を明らかにし、設計に当たり仮定せねばならない諸因子の最適設定法を示している。

この設計法に基き500馬力の自由ピストンガスタービンを試作し、広範囲に亘る綿密周到な性能試験および詳細な計測を行ない、設計因子および機関作動変数と機関性能との関係を求め、最適条件を見出すとともに設計値との比較検討を行ない、試作ガス発生機の設計値は圧縮筒特性を除きほぼ実測値と一致し、著者の設計法が妥当なことを確めている。なお圧縮筒特性に関しては吸込弁および吐出し弁の面積と弁ば

ね定数の影響が大きいことを指摘し、実験結果より圧縮筒理論サイクルに対する修正式を与えている。

また試作ガス発生機を用いて吸気管効果および発動筒内掃気うず流と燃料噴射に関する研究を行ない、性能向上に対する多くの資料を提供し、また著者考案の起動・停止制御装置および燃料噴射制御装置を用いてガスタービンとの連動制御を行ない、満足すべき作動特性を得ている。

さらに自由ピストン機関の根本的な性能改善策を見出すため、著者は現在の内燃機関が有するすべての要素を含む総括的内燃機関を考え、その熱効率を一つの式で表わし、これにより各種形式の自由ピストン機関の熱効率を検討し、自由ピストン往復出力機関あるいはこれを含む複合機関が最も高い熱効率を与えると結論し、往復動力として往復式発電機を用いた新形式の原動機を提案し、その作動理論、設計法を示し、ディーゼル発電機と比較検討しているが、将来の原動機として興味あるものと思われる。

これを要するに本論文は自由ピストン機関の設計法を確立し、試作機によってその妥当なことを実証するとともに、性能改善の方法ならびに多くの有用な設計資料を提供したもので、主として技術的見地から行われた研究ではあるが、学術上にも寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。