

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420074

研究課題名(和文)クラウンカムを用いたスチームエンジンの開発に関する研究

研究課題名(英文)Research on development of steam engine using crown cam

研究代表者

小松原 英範 (KOMATSUBARA, HIDENORI)

山形大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：40361274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：現代の輸送機器のほとんどは化石燃料をエネルギー源としている。しかし、化石燃料の枯渇や排気ガスによる大気環境汚染が問題となっており、エネルギーを有効活用するための技術が求められている。大型船舶のディーゼル主機関では、燃料のもつエネルギーの約35[%]が排気ガスの熱として捨てられている。排気熱から蒸気を生成し、スチームエンジンによる発電が可能となれば、大幅な船舶の省エネルギー化が実現できる。

本研究の目的は、船舶の低圧の蒸気を使用して作動するクラウンカムを用いたスチームエンジンの開発である。このスチームエンジンは、構造が単純であるため、製作コストが低く、実用化後は船舶への導入が非常に容易である。

研究成果の概要(英文)：Most modern transportation vehicles are powered by fossil fuels. In recent years, however, as fossil fuels have become depleted and atmospheric pollution by exhaust gases has become a problem, demand has increased for technologies that will allow conservation of fuel and more efficient use of energy. About 35% of the energy in the diesel fuel used by the main engines of large ships is squandered as heat in the exhausts. If electricity could be generated using these exhaust gases, would contribute to conserving energy.

The objective of this research was to develop a steam engine based on a crowned cam that can provide power with low-pressure steam. Since the structure of this steam engine is simple, its production cost is low, and it is very easy to introduce it into a ship after practical use.

研究分野：パワートレインの設計・開発

キーワード：機械要素 機構 設計 スチームエンジン 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

現代の輸送機器のほとんどは化石燃料をエネルギー源としている。しかし、化石燃料の枯渇や排気ガスによる大気環境汚染が問題となっており、燃料の節約やエネルギーを有効活用するための技術が求められている⁽¹⁾。船舶は燃料に化石燃料を使用しているが、機関からの排気熱は一部が利用されるのみである。特に、大型船舶ではディーゼル主機関の排気ガスの熱を利用する排気ガスエコマイザにより低圧の蒸気を生成しており⁽²⁾、生成された低圧の蒸気は、燃料の加熱、船内の給湯などに利用されている。しかし、大型船舶のディーゼル主機関では、燃料のもつエネルギーの約 35[%]が排気ガスの熱として捨てられている⁽³⁾。この排気ガスの熱を使用して発電することが可能となれば、船舶の省エネルギー化に貢献できる。さらに、この排気熱から既存の設備である排気ガスエコマイザで積極的に蒸気を生成し、スチームエンジンによる発電が可能となれば、大幅な船舶の省エネルギー化が実現できる。一方、船舶の排気熱の回収技術として、スターリングエンジンの研究が行われている⁽³⁾。しかしスターリングエンジンは構造が複雑であり、装置自体が大型化する問題がある。また、ソーラ発電では、設置面積が膨大であり、設置コストも問題となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、船舶で生成される低圧の蒸気を使用して作動する発電用のスチームエンジンの開発である。著者はこれまでに溝カムを用いた新しいスチームエンジンの開発を行った。図 1 に溝カムを用いたスチームエンジンの外観を示す。しかし、このスチームエンジンの性能試験を低圧の飽和蒸気を用いて行ったところ、図示出力に対して機械損失が約 8 割と大きいことが分かった⁽⁴⁾。そこで、この機械損失を改善するために、著者は、クラウンカムと呼ばれる新しいカムを用いた新たなスチームエンジンを考案した。このスチームエンジンはピストンの往復直進運動を回転運動に変換する機構としてクラウンカムを用いている。図 2 にクラウンカムの外観を示す。運動変換機構にクラウンカムを用いる利点は、ピストンの往復直進運動を出力軸に取り付けられたクラウンカムを介して回転運動に変換することで、ピストンクランク機構に比べて部品点数を少なくできる点にある。また、図 3 に示すように、シリンダが出力軸の周りに等間隔に配置されているため、装置のコンパクト化が可能であり、スチームエンジンの多気筒化を行うことができる。さらに、溝カムを用いたスチームエンジンより、出力の向上が可能であり、機械効率も向上する。本研究の最終目標は、ディーゼル主機関に対して 4%の排気熱回収システムの構築である。

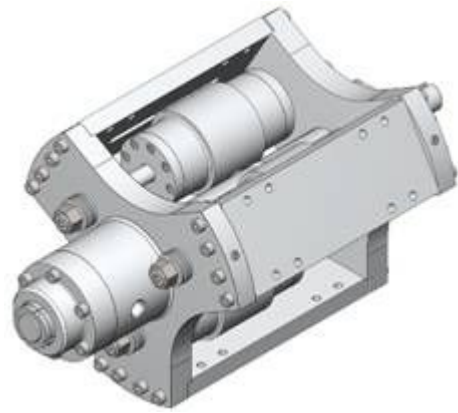


図 1 溝カムを用いたスチームエンジン

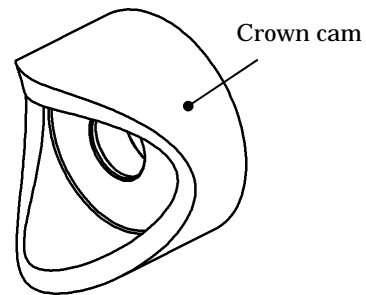


図 2 クラウンカム

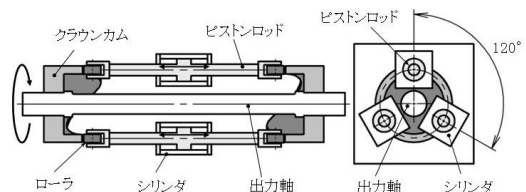


図 3 クラウンカムを用いたスチームエンジン

3. 研究の方法

(1) スチームエンジンの機械効率の解析

スチームエンジンの実用化には機械効率が重要である。そこで本研究ではスチームエンジンの実用化に向けて理論的なトルクについて解析を行い、それを基に実験試作機の最適設計を行う。

(2) スチームエンジン試作機的设计・製作

解析結果を基にして、クラウンカムを用いたスチームエンジン試作機的设计・製作を行う。試作機製作後、設置・試運転を行い、不具合があった場合、設計変更・再加工等を行う。

(3) スチームエンジン試作機の性能試験・性能評価

実際に圧縮空気および飽和蒸気を用いてスチームエンジンの性能試験を行う。試験の方法としては、スチームエンジンに作動流体を供給し、負荷装置を用いてスチームエンジンに負荷を掛ける。負荷は数段に分けて増減させ、それぞれの負荷で各種計測を行う。スチームエンジン試作機の性能試験後、試験結果を整理し、結果の解析を行い、考案された

新しいスチームエンジンの性能評価を行う。

4. 研究成果

(1) スチームエンジンの機械効率の解析

表1に先行研究で製作されたスチームエンジン試作機および今回新しく設計したスチームエンジンの設計仕様を示す。新しいスチームエンジンは、作動流体として0.7MPaの圧縮空気および飽和蒸気に対応するように設計を行っている。これは大型船舶に搭載される排ガスエコマイザが生成する蒸気の圧力と同程度にするためである。先行研究で製作されたスチームエンジン試作機の性能試験により得られた軸出力は約520Wだった。この結果を受けて、新しく設計するスチームエンジンは、ボアとストロークを10mmずつ増加させた。さらに、シリンダ数を3から6の2倍に増やすことで2kWの軸出力が得られるようにした。

表1 試作スチームエンジンの設計仕様

	Previous	2kW class
Output shaft	520W	2kW
Cylinder bore	40mm	50mm
Stroke	60mm	70mm
Stroke volume	56.5cm ³	115.5cm ³
Cylinder	3	6
Working fluid	Air	Air Steam
Working fluid pressure	0.7MPa	

シリンダの往復運動がクラウンカムを介して出力軸の回転運動に変換されるとき、出力軸に作用する理想トルクを求めた。図4に出力軸に作用する理想トルクを示す。図4から、このスチームエンジンは理想トルクの変動が小さいため、ピストンの往復直進運動を滑らかに出力軸の回転運動に変換することができると考えられる。なお、各部の損失を解析し機械効率の検討を行った。

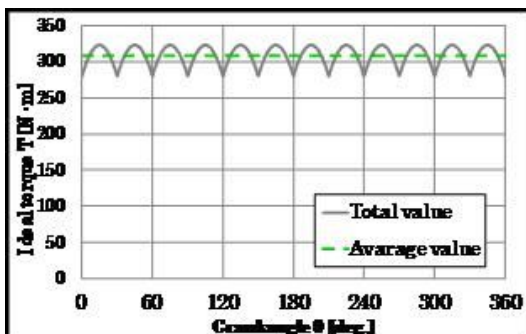


図4 スチームエンジンの理想トルク

(2) スチームエンジン試作機的设计・製作

図5にクラウンカムを用いたスチームエンジンの実用試作機の主要部品組立図を示す。また、図6にスチームエンジンの実用試作機の分解立体図を示す。このスチームエンジンはクラウンカム、出力軸、ピストンロッド、シリンダ、シリンダフレームおよびフレームによって構成されている。なお、外部給排気バルブに対応するため、スチームエンジン本体の上部に給気装置および排気装置を設置することが出来るようになっている。クラウンカムはピストンロッドの両端に取り付けられたローラと転がり接触を行うことで、ピストンロッドの往復運動を出力軸の回転運動に変換する。この運動の変換を滑らかに行うために、クラウンカムとローラの接触面は図7に示すように、ローラの中心軌跡が正弦曲線を描くようになっている。クラウンカムは図7に示すように二山であるため、ピストンが二往復すると出力軸は一回転する。また、このスチームエンジンは6シリンダであるが、図5に示すようにシリンダはピストンにより二つの領域に仕切られており、給気および排気はその両方の領域に対して行われる。すなわち、作動流体がシリンダの両側から交互に供給されるため、このスチームエンジンは複動機関に分類される。ゆえに、このスチームエンジンは、4ストローク、6シリンダのレシプロエンジンと比較して、出力軸一回転につき12シリンダ分の仕事を行うことができる。また、ピストンシールには、蒸気対応であり、機械効率の向上を考慮し、摺動抵抗の小さいものを選定した。

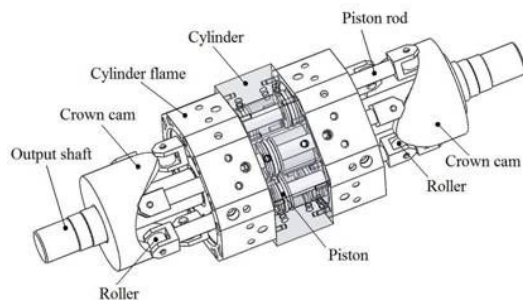


図5 スチームエンジンの主要部品組立図

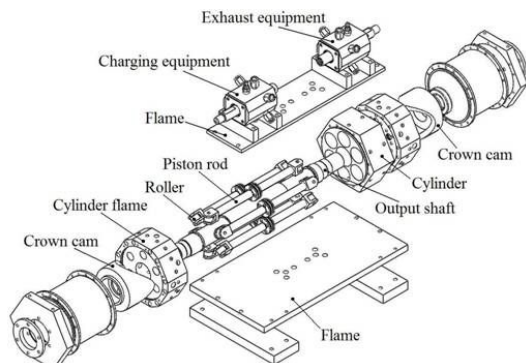
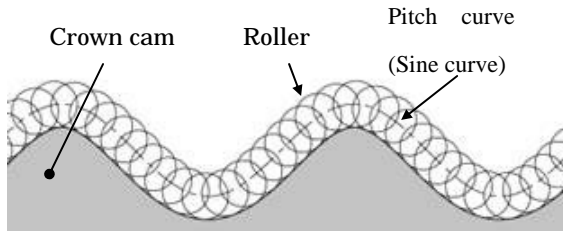


図6 スチームエンジンの分解立体図



ラウンカムの展開図

(3) スチームエンジン試作機の性能試験・性能評価

図8に内部給排気バルブを使用した際のスチームエンジンの外観図を示す。スチームエンジンの全高は約260mm、全長は約707mmである。シリンダフレーム側面には外部配管を取り付けるための配管穴と給排気ポートが設けられている。内部給排気バルブ方式では給排気ポート以外の配管穴は、蒸気が漏れないように管用ねじで塞がれている。内部給排気バルブ方式では、蒸気を給排気するバルブが出力軸とシリンダフレームによって構成されている。図9に作動流体の流れを示す。給気は橙色で、排気は青色で図中に示す。蒸気はシリンダフレーム側面の給気ポートより給気され出力軸とシリンダフレームに施された内部配管を通してシリンダ内に流れる。排気についても同様にシリンダから内部配管を通して、排気ポートより排気される。出力軸の回転により各シリンダにつながるシリンダフレームの内部配管に適切なタイミングで蒸気が給排気される。ピストンロッドの往復直進運動がクラウンカムおよび出力軸の回転運動につながるため、各シリンダにおいて蒸気が給排気されるタイミングは、出力軸の回転速度に関係してくる。

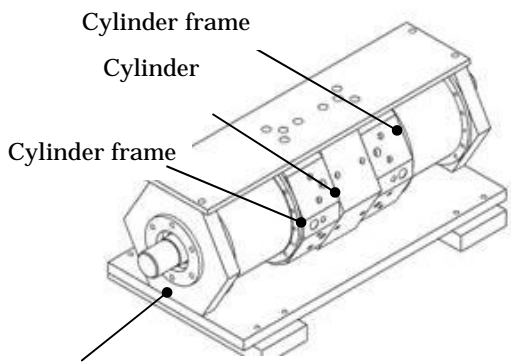


図8 内部バルブ方式のスチームエンジン

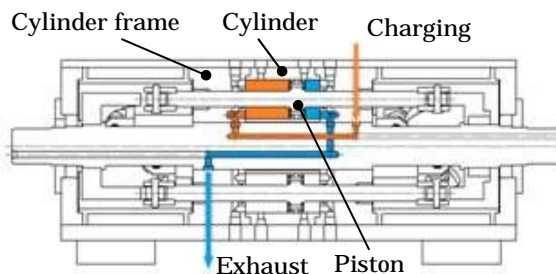


図9 内部バルブ方式の作動流体の流れ

図10に外部給排気バルブを使用した際のスチームエンジンの外観図を示す。スチームエンジンの全高は約419mm、全長は約707mmであり、給排気装置が取り付けられた分本体は大きくなる。外部給排気バルブでは、スチームエンジン本体上部に搭載した、給気装置および排気装置がバルブの役割を果たす。前述で使用した給排気ポートは管用ねじで塞ぎ、外部配管をシリンダフレーム側面の配管穴に取り付けて用いる。図11に作動流体の流れを示す。供給される蒸気は橙色で、排気される蒸気は青色で図中に示す。蒸気は給排気軸の内部配管から給排気装置に取り付けられた外部配管を通り、シリンダフレームに設けられた内部配管を通じて各シリンダに供給される。排気についても同様に、作動流体の排気は、排気装置により排気用配管を通して各シリンダから排気される。給排気軸と出力軸の端部にはプーリが装着され、タイミングベルトを介して互いにつながる。そのため、給気軸と排気軸が出力軸の回転とともに回転することで蒸気は適切なタイミングで各シリンダに給排気される。

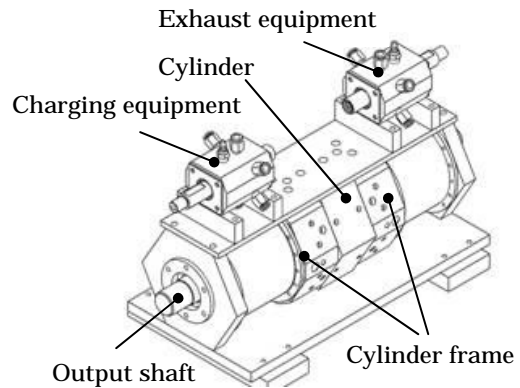


図10 外部バルブ方式のスチームエンジン

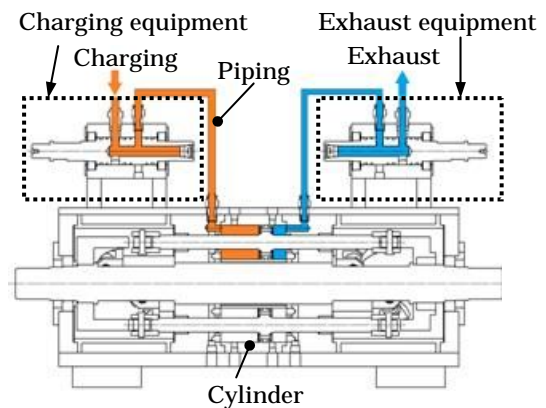


図11 外部バルブ方式の作動流体の流れ

今後バルブタイミングおよびバルブ開度を変更した試験を行い、スチームエンジンの性能評価を行う予定である。

<引用文献>

梅田雅義、「最近の船用ディーゼル主機関

排ガスからの熱エネルギー回収の課題とシステムの信頼性”、日本船用機関学会誌、Vol.35、No.9 (2000)、pp.665-673。
日本機械学会編、機械工学便覧 C、エンジニアリング編、C2 編交通 (1989)、p.144、日本機械学会。
市川泰久、平田宏一、鈴木洋一、栗林定友、“船用排熱回収システムに用いるスターリングエンジンと蒸気機関との比較と検討”、スターリングサイクルシンポジウム講演論文集、(2010)、pp.77-80。
橋本直樹、小松原英範、栗林定友、大町竜哉、低圧蒸気を用いた新しいスチームエンジンの開発(第1報、溝カムを用いたスチームエンジンの開発、日本機械学会論文集(C編)、Vol79、No808(2013)、pp5149-5157。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 1 件)

梅宮大輝、小松原英範、栗林定友、平田宏一、大町竜哉、クラウンカムを用いた新しいスチームエンジンの開発(2kW級スチームエンジンの設計)、日本設計工学会 2015 年度秋季研究発表講演会、札幌。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松原 英範 (KOMATSUBARA、Hidenori)
山形大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：4 0 3 6 1 2 7 4

(2) 研究分担者

大町 竜哉 (OHMACHI、Tatsuya)
山形大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：8 0 2 5 0 6 7 9