

# バイオマス利用スターリングエンジン発電システムの開発

あいち臨空新エネルギー実証研究エリアでの取り組み

(電力技術研究所 エネルギー・環境G エネルギーT)

## 1 はじめに

バイオマスは燃焼などで利用しても大気中の二酸化炭素が増加しないため、再生可能エネルギーとして注目されている。その中で間伐材や林地残材などの木質バイオマスは、山間部や田畑などに広く分布しており、経済的に収集・輸送することが容易でないため、大規模発電には困難な地域も多い。さらに、製材所廃材を含めたこれら木質バイオマスは、未利用であったり、有償で廃棄処分に出しているケースも多くある。このようなバイオマスを有効に利用するには、小規模に収集してオンサイトで高効率に電力に変換する技術が不可欠である。

現在、中小規模バイオマス発電技術として、ガスタービン、ガスエンジンさらに燃料電池への取り組みが進められている。この場合、バイオマスガス化がコア技術となるが、タール除去などのガス処理装置をはじめ、直接燃焼方式に比較して設備が複雑化し、小規模発電では設備費の増加さらには複雑な運転、運用などによる運転経費の増大などが指摘されている。

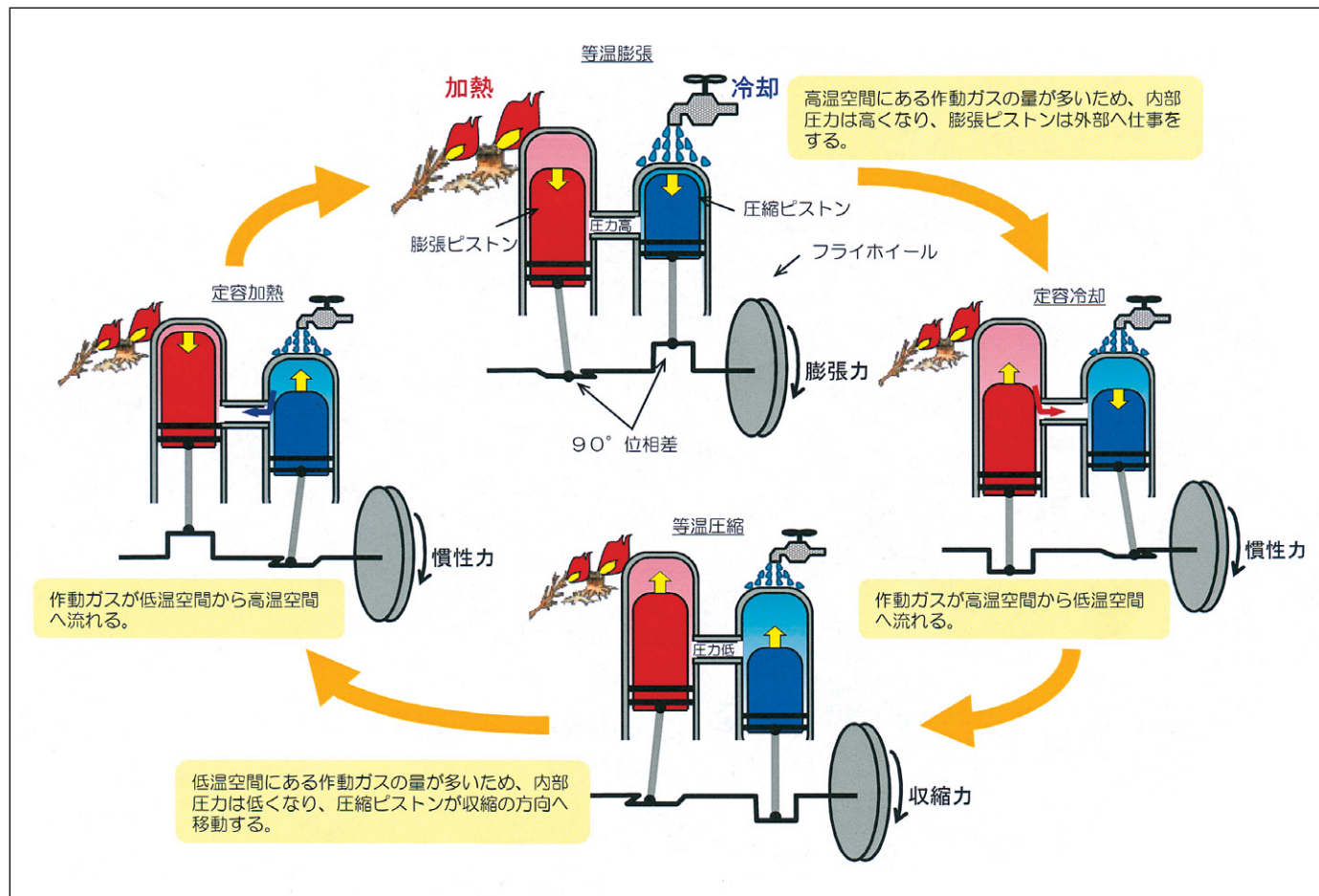
そこで、外燃機関であるスターリングエンジン(以下「STE」という)に着目し、バイオマス発電システムの開発を進めることとした。STEは、バイオマスをはじめ、あらゆる燃料の燃焼熱や廃熱によって動作させることができるため、ガス化・精製装置などの複雑な装置を用いることなく、木質バイオマスの燃焼熱を直接利用したシンプルで低コストな発電ができる可能性がある。

ここでは、STEについて概要を説明すると共に、バイオマス利用STE発電システムへの取り組みについて紹介する。

## 2 スターリングエンジンの動向

### 2.1 スターリングエンジンの概要

1816年に考案されたSTEは、その理論熱効率の高さから夢のエンジンとされてきた。これまでに日本を含め世界中で開発が進められてきたが、高効率化や高出力化、コスト低減といった課題が実用化(商用化)の足かせになっていた。しかし近年、これらの課題を克服したSTEが開発され、欧米を中心に商用化され始めてお



第1図 スターリングエンジン(α型)の動作原理

り、STEを取り巻く環境は、にわかに活気づいている。熱源の種類を問わないという外燃機関としての特長を利用することで、環境に優しいエンジンとして期待されている。

STEの駆動部はディーゼルエンジンなどのような往復式の内燃機関と同様にピストンとシリンダとで構成されるが、内燃機関がシリンダ内での燃焼による膨張力を利用しピストン運動するのに対し、STEは、外部からの加熱・冷却により、シリンダ内に封入された作動ガスを膨張・収縮させ、ピストン運動するものである。機構上、吸排気バルブが不要となるなど、往復式内燃機関と比較すると、構造がシンプルで部品点数が少なくすむ他、駆動部が燃焼雰囲気さらされないため、メンテナンスが容易で頻度も少なくすむといったメリットがある。

STEにはいくつかの形式があり、2つのピストンで構成されるもの(α型、β型、γ型)や4ピストン構成のもの(ダブルアクティング型)などが一般的である。第1図にα型と呼ばれる2ピストンタイプを例にしたSTEの動作原理を示す。実際のSTEは、図にあるように加熱、冷却を連続的に行い、90°位相差を持ったピストンの動きと作動ガスの移動により作動ガスの加熱膨張、冷却収縮を生み出し、ピストンの往復運動に変えている。作動ガスには、ヘリウム、水素や窒素などの非凝縮性気体を用いることが多い。

## 2.2 スターリングエンジンの開発状況

現在、欧米を中心にSTEの商品化さらには量産化が進んでおり、1kW前後の家庭用コージェネレーションシステムから数十kWの事業用規模のSTEまで存在する。商品化されている事業用規模STEを第1表にまとめる。

第1表 各社STEの性能一覧(事業用規模)

企業	SOLO	Stirling DK	Stirling Biopower	Kockums
国名	ドイツ	デンマーク	米国	スウェーデン
発電出力	9kW	32kW	43kW	75kW
形式	2ピストン	4ピストン	4ピストン	4ピストン
熱源	多種	多種	多種	多種
作動ガス	He	He	H <sub>2</sub>	He

SOLO社のSTEは、実績は多くあるが、ヨーロッパ限定の販売である。Stirling DK社(以下「SD社」という)は、デンマーク工科大学から発信したベンチャー企業で、木質バイオマスを利用することを目的にエンジン開発されている。ヨーロッパを中心に、既に二十台程度の稼働実績がある。Stirling Biopower社は、平成18年度まで

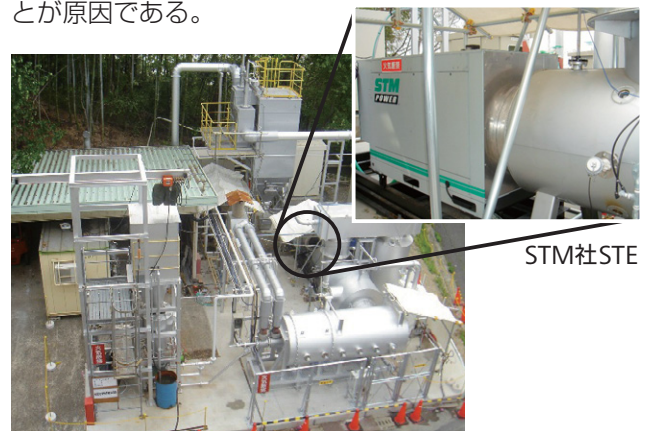
当技術開発本部にて運転していたSTM Power社(当時、以下「STM社」という)の後継企業であり、信頼性向上を狙って、発電出力を55kWから43kWに下げている。Kockums社のSTEは、スウェーデン海軍の潜水艦に搭載されており、日本の防衛省にも納入実績があるが、現状では特殊用途に限られている。

## 3 バイオマス利用発電システムへの取り組み

### 3.1 55kW発電システム

当社は、平成16年度から平成18年度の3年間、NEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)、(株)シーテックとの共同研究により、バイオマス利用STE発電システムの研究開発を実施した(第2図発電設備写真参照)。STEをバイオマス(ここでは木粉)直噴燃焼バーナと組み合わせることにより高性能で低コストな小規模発電システムの開発を目指した。実証試験で採用したSTEは、米国のSTM社の55kW機である。

開発目標はほぼ達成できたが、STE受熱部への燃焼灰付着により、STEの性能低下および受熱部の閉塞が発生し長時間の連続運転が困難となることが分かった。これは、採用したSTEが、ガス燃料用として開発されており、効率向上の目的で受熱部は非常に密な構造をしているため、灰の付着、閉塞が起りやすくなっていることが原因である。



第2図 55kWバイオマス利用STE発電設備

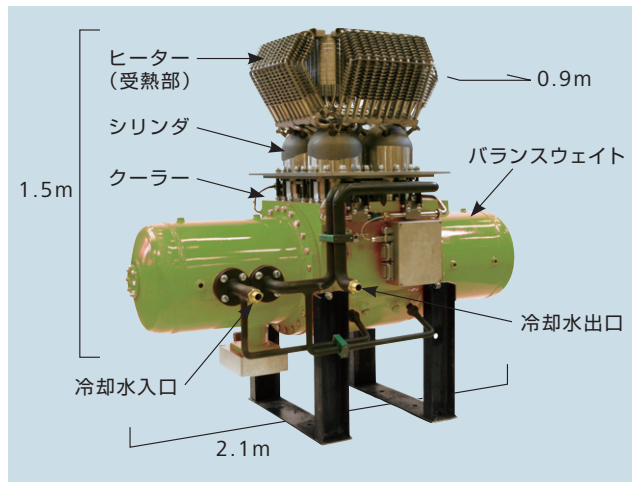
### 3.2 32kW発電システム

55kW発電システムの実証試験の結果を受け、現在、32kW発電システムの開発研究に着手している。ここでは、これまでに取得したバイオマス利用STE発電に関するノウハウを活かしつつ、同時に課題を解決したシステムの構築が必要と考え、いくつかの重点項目を掲げて発電システムの設計を行っている。一つは、バイオマス用途に開発されたSTEを導入すること。次に、システム設計の段階から、灰付着対策としてスートフロアを考慮した設備とすること。そして、燃焼設備を木チップに対応したものにし、幅広い木質バイオマスを利用できる発電システムとした。

本研究は、平成20年度から開始しており、平成20年度末から平成21年度にかけて発電設備の設置工事を行った。発電設備は、中部国際空港対岸にある「あいち臨空新エネルギー実証研究エリア」(愛知県常滑市りんくう町3丁目6-3)に設置して、実証試験を実施している。

本研究で採用するSTEは、SD社の32kWエンジンである。SD社STEの外観を第3図に示す。このSTEは、木質バイオマス燃料用として開発されたものであり、STM社のSTEと比較すると受熱部(ヒーター)のチューブ間隔が広い(STM社1mmに対しSD社10mm)。そのため灰等による閉塞が起こりにくくなることが期待できる。

第4図には今回設置した発電設備の概略システムフローを示す。燃料は木チップとし、フレコンバッグに詰められた木チップをホイストクレーンにより貯留ホッパに貯留する。貯留ホッパからは、スクリュフィーダによって、必要量を燃焼炉へ供給し、燃焼炉において木チップを直接燃焼させる。木チップ消費量としては、80kg/h程度である。木チップは、比較的性状の良い建築廃材を主に使用し、その他バーク(木皮)やおが屑などさまざまな木質バイオマスでも試験する予定である。主に用いる木チップの形状は、第5図に示すような2~5cm角のものである。



第3図 SD社32kWエンジン外観



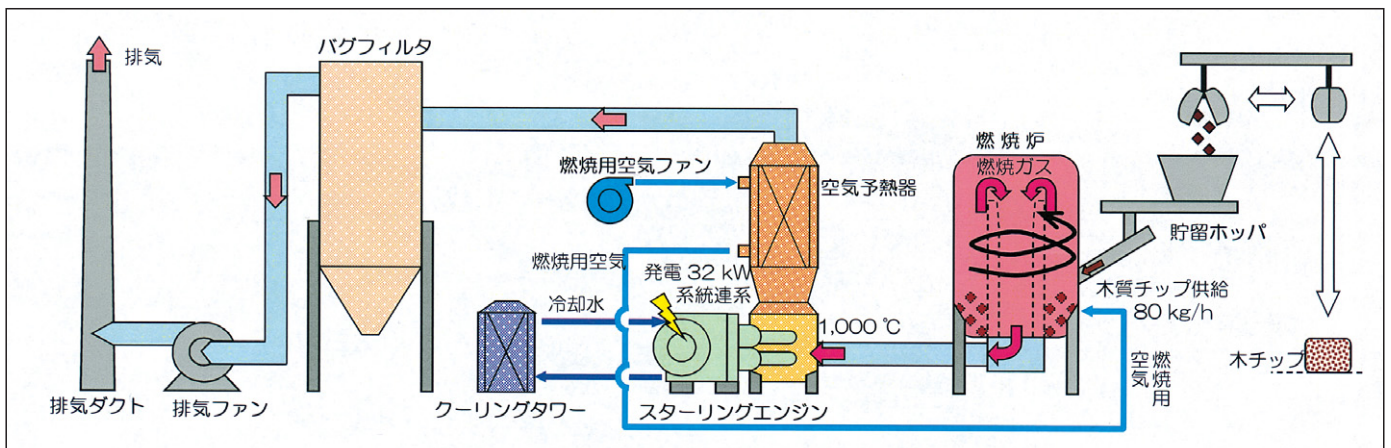
第5図 建築廃材チップ(主使用材)

採用した燃焼炉は、旋回式熱風発生炉で、炉の内部は二重筒構造となっており、外筒側で木チップを燃焼用空気により旋回させながら燃焼させ、燃焼ガスは内筒を通過してSTEへ供給される。STE入口の燃焼ガス温度は1,000℃前後となる。STE出口排気ガスは、燃焼用空気と熱交換させて排気する。発電した電気はエリア内の系統へ連系しエリア内で消費している。尚、起動時は助燃バーナーにて都市ガス13Aを燃焼させ、炉の予熱を行う。

本設備は、既に本格的な試験に入っており、基本性能データの取得を進めている。第6図に発電設備の全景写真を示す。ここでの実証研究を通し、発電システムの基本性能の取得、各種木質バイオマスの適用評価、耐久性の把握、灰付着に関わる課題解決を目指すと共に、経済性を含め、実用化に向けたバイオマス利用STE発電システムの最適化を図る。

#### 4 あいち臨空新エネルギー実証研究エリア

このエリアは、中部国際空港の対岸に位置し、愛知県が愛知万博から引き続き中部臨空都市において実施されたNEDOの新エネルギー実証研究の理念を継承するものである。愛知県では、新エネルギーの実証研究の場を企業に提供し、新エネルギー関連産業の育成と産業の振興を図るとしている。エリア内では現在、当社の他、



第4図 発電設備の概略システムフロー



第6図 発電設備全景写真

大同特殊鋼(株)の太陽追尾システムを搭載した30kW集光式太陽光発電プラントおよび東邦ガス(株)の1kw家庭用燃料電池の耐塩害性耐久評価の実証研究が行われている。その他、前回の新エネルギー実証研究から引き継がれるかたちで、太陽光発電システム(多結晶シリコン型、アモルファスシリコン型、単結晶シリコン型両面受光)ならびにNaS電池が運転している。

エリアでは、「見て触れて体験して学ぶ」新エネ体験館を施設しており、実証研究設備も含めて、一般に見学を受け付けている。詳しくは、下記ホームページへ。

([http://www.pref.aichi.jp/shin-san/shinene\\_area/](http://www.pref.aichi.jp/shin-san/shinene_area/))

本エリアは、中部国際空港の水素ステーションならびに新舞子(愛知県知多市)の風力発電などと共にエネルギーパークを構成しており、平成20年度に経済産業省より次世代エネルギーパークに認定されている。第7図にエリア鳥瞰写真を示す。

## 5 おわりに

冒頭にも述べたが、STEの大きな魅力の一つとして、熱源の種類を問わないという特徴があげられる。そのため、内燃機関や燃料電池などの分散型電源とは異なり、様々な熱源との複合システムが可能となる。昨今、バイオマス利用技術への関心が高まる中、STEの特長が見直され、再び開発が活発化してきており、STEを取り巻く環境は、国内ならびに欧米諸国を中心に、にわかに活気づいている。

バイオマスエネルギー活用の意義としては、①地球温暖化防止、②循環型社会への移行促進、③地域振興を挙げることができる。また、RPS法対策という電気事業者としての具体的なターゲットも存在する。その中で、オンサイトで小規模発電システムが構築可能なSTEは、これらを達成する一つのツールとして大いに期待できる。



第7図 あいち臨空新エネルギー実証研究エリア