ノート

未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発

須貝　裕之*　本田　崇*　阿部　淑人**　坂井　朋之*

Development of Power Generation System using Untapped Low Temperature Heat Source

SUGAI Hiroyuki*, HONDA Takashi* , ABE Yoshito** and SAKAI Tomoyuki*

1. 緒　　言

工業技術総合研究所では平成 21，22 年度に工場排熱を再利用するエネルギーシステムの開発を目指して，「排熱利用研究会」を立ち上げ活動を行ってきた。その成果として，県内に多数立地する米菓メーカにおいて，米菓を製造するために使用される運行釜からの排熱を電気エネルギーに変換する装置を開発するテーマが，(財)にいがた産業創造機構が募集する市場開拓技術構築事業に「未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発」として採択され，平成 23 年 1 月から平成 25 年 12 月の 3 年間にわたって研究開発を行うこととなった。

この研究は排熱利用研究会の参加企業を中心として，関連企業，新潟大学，県農業総合研究所食品研究センター，そして工業技術総合研究所が共同研究体を形成して行う。本報告では，この研究全体の概要と工業技術総合研究所が担当するコンピューターシミュレーションを利用した開発支援について紹介する。

2. 発電システムの概要と開発担当

本研究で開発する発電システムの概略を図 1 に示す。システムは「集熱装置」，「熱輸送装置」，「スターリングエンジン」そして「蓄電・制御装置」の 4 つの要素から構成される。それぞれについて以下に説明する。

2.1 集熱装置

集熱装置は，運行釜から排熱される 200℃前後の熱気を効率的に回収し，後述する熱輸送装置の作動流体との間で熱交換を行う

2.2 熱輸送装置

熱輸送装置は，集熱装置によって集められた熱を効率よく，後述するスターリングエンジンに伝える機能を果たす。具体的には，ヒートパイプの一種であるサーモサイフォンによりこれを実現する。ヒートパイプ（サーモサイフォン）は，真空容器内に水などの作動流体を封じ込めた伝熱装置である。一端を加熱することにより，内部の作動流体が蒸発して移動し，冷却側で凝固して液体に戻る。液体の蒸発・凝縮に伴う潜熱は極めて大きいため，エネルギー必要とせずに大きな熱輸送が可能となる。その性能は，金属材料の中で熱伝導率が良い純銅と比較しても 100 倍以上になる。

2.3 スターリングエンジン

本システムの中核がスターリングエンジンで

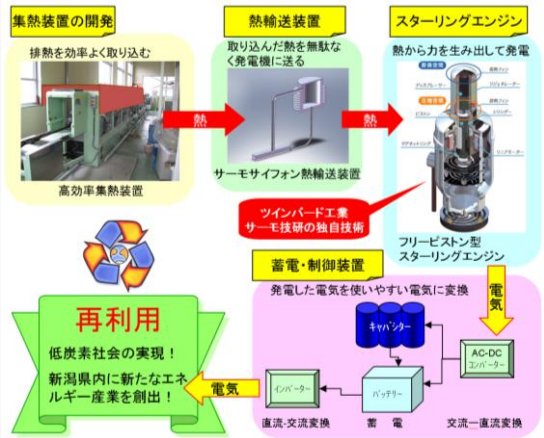


図 1　発電システムの概要

---

*　研究開発センター

**　下越技術支援センター

ある。スターリングエンジンは，高温と低温の温度差を利用してエンジン内部の作動気体を膨張・収縮させてピストンを動かす。これにより高温の排熱を吸収して運動エネルギーに変換することが可能となる。

2.4　蓄電・制御装置

スターリングエンジンにより得られた動力で発電機を回すことにより，運動エネルギーを電気エネルギーに変換することができる。得られた電気エネルギーは周波数や電圧変動の関係で直接系統電力に戻せないので，蓄電・制御装置により系統電力に戻すことが可能な安定した電力に変換する。

４つの要素それぞれの開発分担を表１に示す。事業の統括は吉田商工会（燕市）が行う。集熱装置と熱輸送装置は，サーモ技研（燕市）とセキサーマル（燕市）が製作を行う。新潟大学はサーモサイフォンの基礎的な特性を調査し開発に活かすための研究を行う。工業技術総合研究所は，コンピューターシミュレーションにより装置の開発を支援する。食品研究センターは運行釜による実験や米菓の焼き加減に与える影響を評価する。スターリングエンジンは，サーモ技研，ツインバード工業（燕市），セキサーマル，共和工業（三条市）が開発を行う。蓄電装置はサーモ技研と工技総研が開発する。

表１　開発の役割分担

総括　吉田商工会		
集熱装置 熱輸送装置	基礎実験	新潟大学
	CAE	工技総研
	装置製作	サーモ技研 セキサーマル
	集熱実験	食品研究ｾﾝﾀｰ
スターリングエンジン	装置製作	サーモ技研 ﾂｲﾝﾊﾞｰﾄﾞ工業 セキサーマル 共和工業
蓄電装置	装置製作	サーモ技研 工技総研

今年度は試験用の小型発電システムを開発し，次年度に実用機の開発，そして最終年度には実用機の耐久性やコストダウンなどの検討を行った後，商品化を目指す。

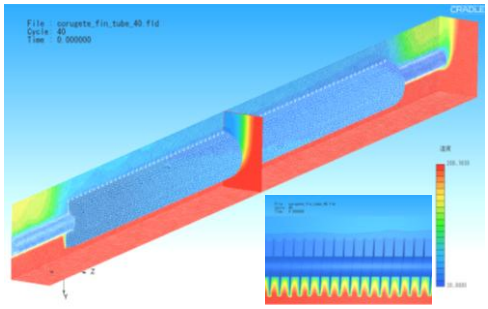
3.　CAE による開発支援

工業技術総合研究所では CAE（Computer Aidded Engineering：コンピューターシミュレーションによる設計開発支援）により集熱装置と熱輸送装置の開発を支援している。今回対象とする現象は，熱を伴う流れであることから，シミュレーションにはソフトウエアクレイドル社の熱流体解析ソフトウエア SCRYU/Tetra を使用した。以下に解析結果の一例を紹介する。

3.1　集熱装置のシミュレーション

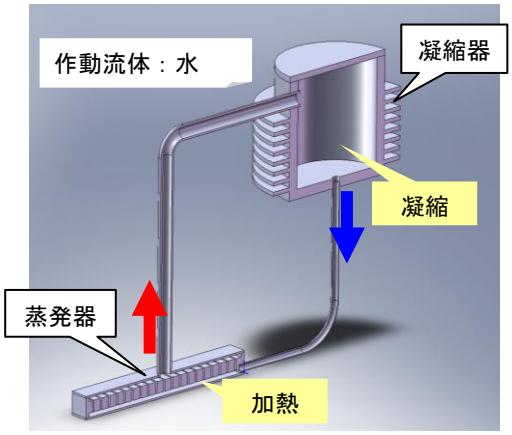
図２に集熱装置として検討しているコルゲートフィンチューブとこれを運行釜に取り付けて熱交換を行った際の温度分布の解析結果を示す。コルゲートフィンチューブは銅管の周りに熱伝達を高めるためのフィンを螺旋状に取り付けた

(a) 集熱装置用コルゲートフィンチューブ

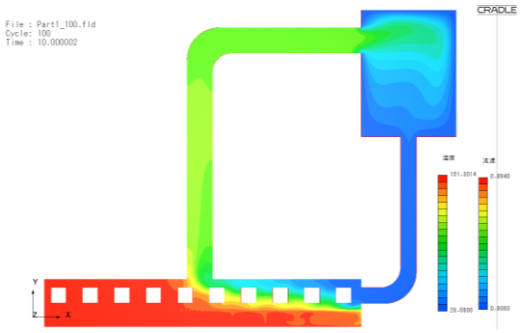


(b) 解析結果（チューブ周りの温度分布）

図２　集熱装置の概要と解析結果



(a) サーモサイフォンの模式図



(b) 解析結果
（サーモサイフォン内の温度分布）

図 3　サーモサイフォンの概要と解析結果

伝熱管である。解析では，集熱効率を高めるためコルゲートフィンチューブの周りに取り付ける風導板形状の最適化やそれによる集熱能力の予測を行い，効果が期待できるものについては実際に試作し検証を行っている。

3.2　サーモサイフォンのシミュレーション

図 3 に熱輸送装置として検討しているサーモサイフォンの模式図とこれをもとにした解析結果を示す。サーモサイフォンでは図 3(a)の蒸発器（集熱装置に接続）で加熱により蒸発した水が水蒸気となって凝縮器（スターリングエンジン加熱部に接続）に移動し，そこで冷却されて凝縮することにより熱を伝える。このため，封入される水の量や蒸発器や凝縮器の寸法，内部構造が性能に大きな影響を与える。

そこで新潟大学において，実験用サーモサイフォンによりサーモサイフォンの基礎的な特性評価を行い，工業技術総合研究所は大学と連携してサーモサイフォンをコンピューター上で再現し，装置の構造最適化や実際に装置を作る前の機能検証を行うことにより，装置開発を支援している。

図 4　小型スターリング発電システム

3.3　開発した小型スターリング発電システム

図 4 に開発中の小型スターリング発電システムの外観を示す。スターリングエンジンはテスト用の電気ヒーターの熱をサーモサイフォンにより取り込んで運転することに成功している。現在は各システムの動作確認と性能検証，そして大型化に向けての問題点の抽出と対策を検討中である。

4.　結　　言

産学官共同で行う未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発に対して，コンピュータシミュレーションによる開発支援を行い以下の成果を得た。

(1) 集熱装置の開発に対して形状の最適化や集熱能力の予測を行い開発を支援した。

(2) 熱移送装置の開発に対して装置の構造最適化や機能検証を行い装置の開発を支援した。