

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「組み込みソフトウェアによる燃焼の省エネルギー化技術の研究開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成24年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 アタム技研株式会社

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1 - 2 研究体制	4
1 - 3 成果概要	6
1 - 4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 空燃比制御の追従性についての研究開発	8
2 - 1 空燃比制御の追従性を高めるソフトウェア開発	8
2 - 2 燃焼良好域を拡大するためのバーナ部構成の検討	12
2 - 3 バーナ部構成部材の品質確保・向上	14
第3章 点火時の燃焼共鳴音の発生防止についての研究開発	15
3 - 1 適正な緩点火と燃焼共鳴音の抑制のための制御ソフトの開発と、ファン及び燃料	15
3 - 2 排気通路の形状等の検討	15
第4章 バーナ及び噴出体の耐熱・耐久性及び歪み対策についての研究開発	16
4 - 1 過熱を防止するためのセンサーを含むソフトウェアの開発	16
4 - 2 各部材の耐熱・耐久性の研究と適材の選択	17
4 - 3 温度上昇の抑制と、ジェット噴出体の歪み除去の研究	18
第5章 ファンの最適仕様の抽出及び燃焼部気密構造の維持と各部安全性確保についての研究開発	19
5 - 1 ファンの最適仕様の決定	19
5 - 2 制御性能、追従性、耐久性及び耐寒性の研究	19
5 - 3 バーナの燃焼良好域を十分調査し、安全センサーの選択・配置を検討し、センサーとの冗長性を確保する研究	20
第6章 組込ソフトウェアの耐久性・誤動作の防止についての研究開発	23
6 - 1 マイコンの耐熱耐久性の研究	23
6 - 2 入念なデバッグの実施とソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性及び誤動作の研究	23
6 - 3 実用モニタ試験の実施	24
第7章 連続式コンペアー型フライヤーの試作開発に伴う課題についての研究開発	24
7 - 1 試作・評価（組込みソフトウェアが十分機能しているかを確認し、改善する）	24
7 - 2 目標性能を満足させるための改良業務を実施	26
7 - 3 目標設計仕様（所定調理能力、汚れ防止機能、負荷変化への復元機能等）を満足	27
7 - 4 安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性とコスト等の商品性維持の研究開発及び改良業務を実施	30
7 - 5 本燃焼方式の他分野への応用の検討	30
最終章 全体の総括	31
1 . 2年間の研究開発成果	31
2 . 研究開発後の課題	34
3 . 事業化展開	35

## 第1章 研究開発の概要

燃料の短炎での完全燃焼により発生した高温の燃焼排ガスを、多数の噴出口を有するジェット噴出体より被加熱面に噴出し衝突させることにより、断熱性の境界空気膜を破壊し、通常の熱伝達の数十倍の熱伝達性能を得る「プリミックス型ターボジェット燃焼・伝熱システム」を十分に機能させるには、極めて繊細な電子制御を必要とするため、各構成要素と連携する空燃比制御を主体とした組込みソフトウェアの開発を行い、省エネルギー等の技術を確立するものである。

具体的には、燃焼方式についての従来技術では、図1-1に示す加熱方式のように、被加熱面の周囲には断熱性境界空気膜が存在しており、熱利用効率はかなり低い値に抑えられているのが実態であり、これを引き上げるには槽内に図1-2のような熱交換器を設ける必要があった。

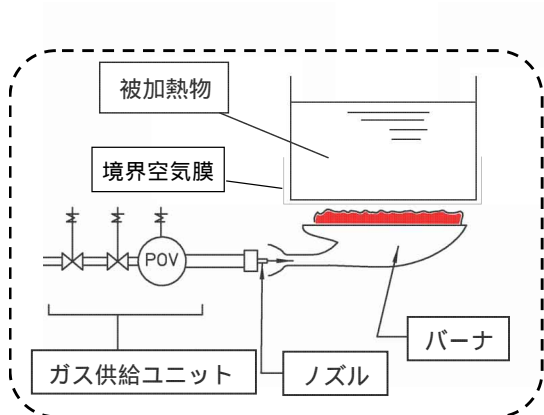


図1-1

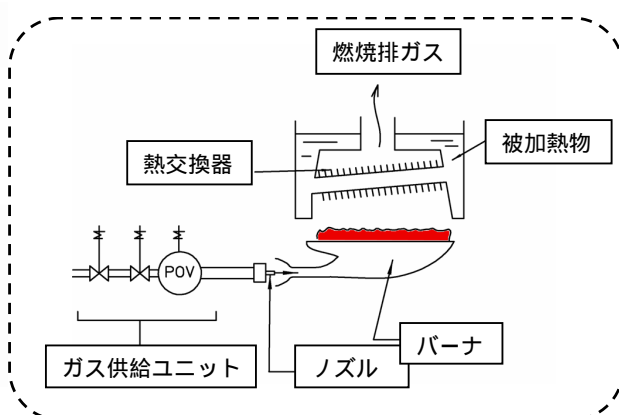


図1-2

しかし、熱交換部を設けることができない用途については、かなり低い熱効率のままで使用せざるを得ない状況にある。

そこで、衝突噴流により、断熱性境界空気膜を破壊する図1-3に示す伝熱方式を燃焼バーナユニットに適用する「プリミックス型ターボジェット燃焼・伝熱システム」の研究開発を行い、業務用、工業用の広範囲な分野への適用を図ろうとするものである。

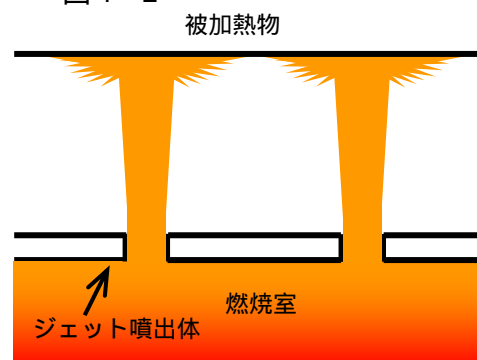


図1-3

このシステムの概要は、図1-4に示す通り、バーナ下流側の燃焼室出口に多数の噴出口を有するジェット噴出体を装着することにより、燃焼排ガスのジェット噴流を発生させ、被加熱面に衝突させる構成とするものである。

従ってこのシステムを適用することにより、熱交換器を設けなくても熱利用効率を大幅にアップすることが可能

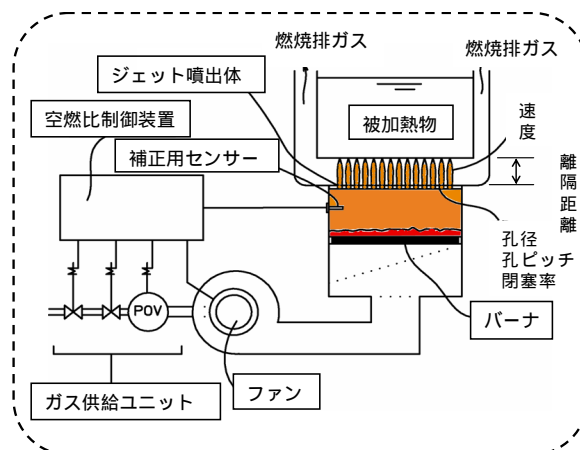


図1-4

熱利用効率のアップに伴い、CO 発生量の大幅低減が可能  
 短炎燃焼により、燃焼排ガス中のNOx量の大幅低減が可能  
 等の大きなメリットを確保できる。

しかしながらこの優れたシステムを実現するには、極めて繊細で信頼性の高い電子制御が必要であり、この中核となる組み込みソフトウェアの開発が不可欠である。

本研究開発では、以上の構想の下、次の3項目を基本的なテーマとするものである。

最も効果的なガス燃料を得るため、燃焼空気供給用ファンによる燃料と空気の混合装置を開発し、短炎での完全燃焼を実現する。

高温の燃焼排ガスを多数の噴出口を有するジェット噴出体から噴出させて、被加熱面に衝突させる機構を研究開発する。

前項 を実現するため、図1-5に示すようにバーナ等の構成要素との連携によるファインな空燃比制御を主体とする組み込みソフトウェアを開発する。

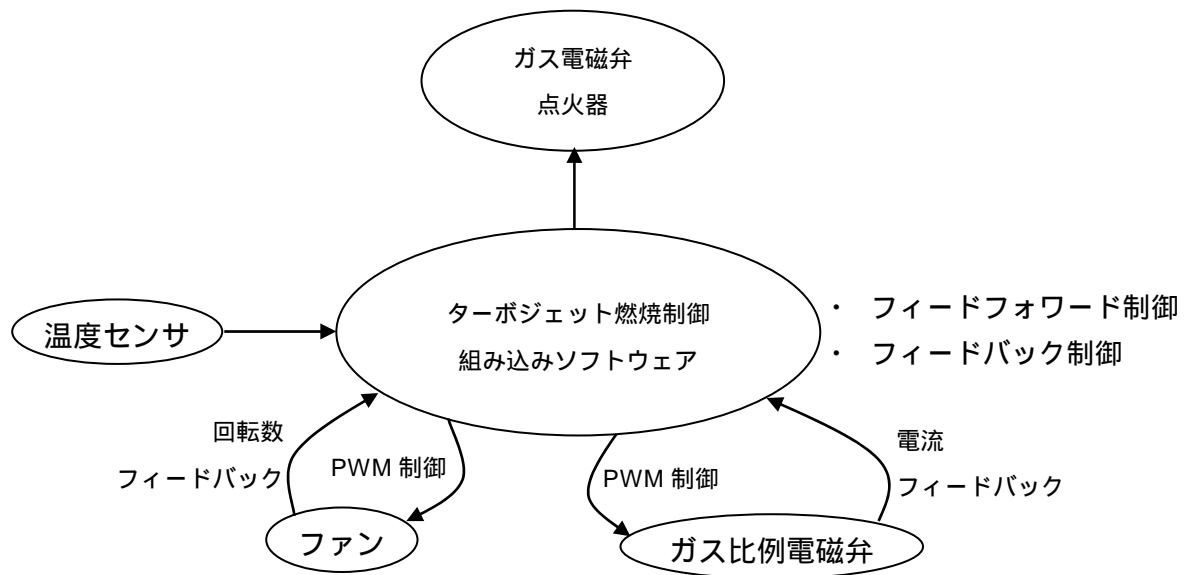


図1-5

## 1 - 1 研究開発の背景・研究目標及び目標

### 1) 研究開発の背景・研究目標

高度化指針において定められた川下製造業者等の抱える課題及びニーズとして挙げた「省エネルギー・省資源化」に関して、ガス消費機器の製造メーカーでは、給湯器・コンロ・フライヤー・ゆで麺機・炊飯器等の省エネルギー性能の向上や省資源化に向け、地道な努力が続けられている。しかしながら、各機器に用いられているガス燃焼用バーナは依然として「ブンゼン式バーナ」であり、小改良を積重ねてはいるものの、基本的構造はこの数十年来変化がないのが実情である。

家庭用給湯器の一部には、第2の熱交換器を付加し使用資源量の増加と引き換えに、従来よりも高い熱効率を得たものもあるが、多くの機器で熱効率の改善は小幅なものに留まっているため、鍵となる燃焼バーナ自体の革新が待望されている状況である。

また、CO 排出量削減と省エネルギーに対する社会的関心が高まる中、2010年4月から全面実施された改正省エネ法においては、これまで対象外であった小規模な事務所や店舗を持つ企業をも規制対象とし、具体的な対策を求めている。

こうした社会状況を背景に、家庭用に比べ器具一台あたりの年間ガス消費量が圧倒的に多いと考えられる業務用ガス厨房器具市場においてはなお一層、従来方式（主としてブンゼン燃焼式ガスバーナ）の限界を打破する新しいガス燃焼・伝熱システムが求められている。

当社がこの点に着目し、長年バーナの構成条件を主体に基礎研究を重ねてきた「プリミックス型ターボジェット方式」は、あらゆるガス消費機器に応用可能なシンプルな構成と、衝突噴流ならではの極めて高い省エネルギー効果を、同時に実現しうる燃焼・伝熱システムである。

しかしながらこの方式には、音の発生の抑制や燃焼の安定性を制御面に頼るところが大きく、中でも空燃比制御は高度な制御が必要であり、現時点においてはごく限られた条件下以外、このハードルを越すに到っていないことから、組込みソフトウェアをメインとした関連技術を確認して、省エネルギー型製品への適用を図ることを目的とするものである。

## 2) 研究開発の目標

本研究開発の目標は、次の通りである。

組込みソフトウェア技術による省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減、省資源等に対応した「プリミックス型ターボジェット燃焼・伝熱システム」を実用化するためには、精巧な燃焼制御の開発が必要であり、まず第1に、信頼性の高い組込みソフトウェアの開発を目標とする。

この組込みソフトウェアの重点機能は以下の通りである。

1. 点火時の安全性確保
2. ガスと空気の供給割合（空燃比）のファインな制御の構築
3. 加熱負荷の変動に対する発熱量の速やかな追従と完全燃焼を維持するための検証と品質保証体制の構築
4. 供給ガスの成分変化や構成機材の経年変化への対応

第一段階の実用化開発として、コンベア式の連続フライヤーを試作する。

目標として以下を設定する。

1. 熱効率：65%以上（従来方式の2倍）
2. 熱交換部の省資源量：従来式熱交換方式比 25%減
3. NO<sub>x</sub>：40ppm以下

## 3) 研究開発の当初目的に対しての実施結果

研究開発の当初目的に対しての実施結果は、各目標毎に以下の通りである。

「プリミックス型ターボジェット燃焼・伝熱システム」を実用化する燃焼制御のための信頼性の高い組込みソフトウェアの開発

この組込みソフトウェアの重点機能である。

1. 点火時の安全性確保
2. ガスと空気の供給割合(空燃比)のファインな制御の構築
3. 加熱負荷の変動に対する発熱量の速やかな追従と完全燃焼を維持するための検証と品質保証体制の構築

#### 4. 供給ガスの成分変化や構成機材の経年変化への対応

の項目について、個々の項目毎に、対応すべき制御方法について、基礎的なソフトウェアを開発し、製作した評価用のバーナユニット等で効果についての評価を行い、この結果を次のソフトウェアの改良開発に反映すると共に、バーナユニット側でもソフトウェア開発に呼応した各種改良開発を行うといった作業を繰り返し成果を積み重ねることによって、本年度末までには、上記バーナシステムを安定的にコントロール可能な汎用性のある燃焼制御のための組込みソフトウェアの構築を為し遂げることができた。

第一段階の実用化開発として、コンベア式の連続フライヤーを試作する。

目標として以下を設定する。

1. 熱効率：65%以上（従来方式の2倍）点
2. 熱交換部の省資源量：従来式熱交換方式比 25%減
3. NOx：40ppm以下

具体的目標とした3項目については、以下の結果を得た。

1. 熱効率については、ステンレスバーナユニットの場合で63%と目標とした65%にわずかに届かない結果を得た。  
一方セラミックス製バーナユニットの場合では、67%の値を得ることができ、目標値を達成することができた。
2. 熱交換部の省資源量については、本研究開発の最後まで、熱交換器を使用しなかったことから、25%減を達成できたと判断している。
3. NOx値については、ステンレス製バーナユニットについては、約80ppmと目標の40ppm以下を達成することができなかった。一方セラミックス製バーナユニットについては、約15ppmと目標を達成することができた。

#### 1 - 2 研究体制

（研究組織・管理体制・研究者氏名・協力者）

##### （1）研究組織及び管理体制

##### 1) 研究組織（全体）

事業管理機関  
研究実施機関  
・アトム技研株式会社

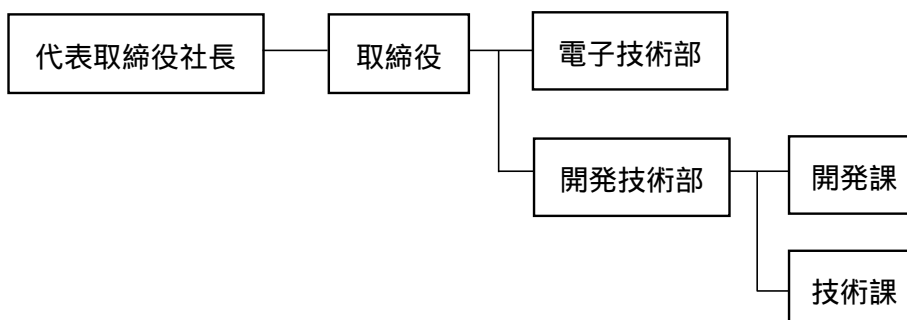
総括研究代表者（PL）  
所属：開発技術部  
役職：取締役 開発技術部部长  
氏名：塚原弘祥

副総括研究代表者（SL）  
所属：電子技術部  
役職：取締役 電子技術部部长  
氏名：成瀬重雄

2) 管理体制

事業管理者

アトム技研株式会社



再委託先

なし

(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 管理員

氏名	所属・役職
塚原 弘祥	取締役 開発技術部部長
井上 康子	取締役

研究員

アトム技研株式会社

氏名	所属・役職
塚原 弘祥	取締役 開発技術部部長
成瀬 重雄	取締役 電子技術部部長
丹羽 平	開発技術部部長代理
福田 強	開発技術部 技術課課長
横山 敦	電子技術部係長
石樽 健一	開発技術部 開発課係長
小雲 知哉	開発技術部 技術課係長
山中 健治	電子技術部員
河野 美香	開発技術部 開発課員
小川 博紀	開発技術部 開発課員

### 1 - 3 成果概要

成果概要について、本年度実施すべきの研究開発内容（テーマ）毎にまとめると、以下の通りである。

#### 空燃比制御の追従性についての研究開発

本研究開発内容の、空燃比制御の追従性を高めるソフトウェア開発のテーマについては、昨年度の成果をもとに、更に改良を加えたソフトウェアの開発を行い、成果を上げることができた。

また、燃焼良好域拡大とバーナ部構成部材の品質向上を目的とした、各種改良を施した改良型のバーナユニットを製作した。その結果、昨年度試作機に比べて、燃焼性能面でも熱伝達性能面でも確実に完成度を高めることに成功した。

#### 点火時の燃焼共鳴音の発生防止についての研究開発

本研究開発内容については、セラミック型及びステンレス型の2種類のバーナユニットについて、適正な緩点火と燃焼共鳴音抑制のための制御ソフト開発を行った。

その結果、ステンレス型バーナユニットについては、点火・燃焼共鳴音共にほぼ支障のない状態にまでコントロールできたが、セラミックバーナユニットについては、燃焼共鳴音の抑制に未だ対策が不足している状態にあり、達成度は約80%の状況である。

更に、点火時の燃焼共鳴音の抑制に効果があるとされる排気側の負荷低減と排気通路の形状変更にも着手し、効果の期待される諸対策を実施した。

#### バーナ及び噴出体の耐熱・耐久性及び歪み対策についての研究開発

本研究開発内容については、バーナ燃焼室及び排気噴出体の耐熱・耐久性の向上と歪み抑制対策について、制御、材料の評価・検討及び形状変更・熱処理の3方向からの対策検討を行った。

まず初めに、制御面の開発については、過熱防止用のセンサー出力を利用した燃焼制御方法の改良開発を行った。

次に材料の評価・検討については、約200サイクルの断続燃焼耐久評価試験を行って、今回使用した材料でほぼ支障のないことを確認した。併せて、セラミック製の噴出体を利用した比較試験を行ったが、熱効率に比較的良好な値が出ており、熱変形の少ないセラミック材に期待を残した。

なお、ジェット噴出体の温度上昇抑制のための改良対策効果試験を行い、ある程度の成果は得られたと判断している。

しかし、熱歪み除去のための「焼きなまし」の効果については、今回のトライでは十分確認できなかった。今後更に検討を続けたい。

#### ファンの最適仕様の抽出及び燃焼部気密構造の維持と各部安全性確保についての研究開発

本研究開発については、まず、燃焼ファンの最適仕様についての継続研究が最初のテーマであった。このテーマについては昨年の採取データをベースに送風機としての効率と運転音も加味した総合的な評価を行い本燃焼システムに必要な送風機の条件を明らかにした。

次に、燃焼ファンの応答遅れを考慮した制御性能と追従性についてのソフトウェアの改良開発と燃焼補正制御用センサーの選定・使用方法及びソフトウェアへの利



用方法についての研究開発を行い、本バーナユニットの課題として残されていた2つの大きな制御上の課題に対策を講じることができた。

#### 組み込みソフトウェアの耐久性・誤動作の防止についての研究開発

本研究開発内容については、開発したソフトウェアを組み込んだマイコンの耐熱・耐久性と誤動作防止についてのものであり、まず、マイコンの耐熱・耐久性の研究については、マイコンを搭載した信頼性評価確認用基板を用いて、耐熱性加速評価試験とヒートサイクル試験を行った。

次に、同上の基板を連続式コンベア型フライヤーに搭載して誤動作評価確認試験を行うと共に、各種電気耐性試験を行った。

どちらの試験でも特性に劣化とは見られず良好な結果を得た。

更に、同上の基板をバーナユニット試作機に搭載して約200回の断続燃焼ヒートサイクル試験も行い、耐熱耐久性についての確認試験を行った。

結果として、試験前後を比較して、大きな変化や劣化は確認されなかった。

#### 連続式コンベア型フライヤーの試作開発に伴う課題についての研究開発

本研究開発内容については、本年度改良型のステンレス型バーナユニット及びセラミック型バーナユニットを組み込んだ連続式コンベア型フライヤーの改良のための改造を行うと共に、各種性能試験評価と目標性能をクリアするための各種改良・調整の作業を行った。

まず、製作（改良・改造）した改良試作機は、川下業者のアドバイザーの意見を再度反映して、バーナユニットの組付（懸架）方法の改良、バーナで直接加熱しない油槽面の排気による加熱（排気回収）、バーナユニットのメンテナンス性改良等の対応策を講じた。

次に、各種性能試験評価の結果は、当初設定の目標値に対し、熱効率：セラミック型バーナで約67%、ステンレス型で約63%（目標は65%以上）、NOx：セラミック型バーナで約15ppm（目標は40ppm以下）の良好な値を得ることができた。

更に、目標設計仕様を満足させるための試作研究については、上記試作機を川下業者の目で評価してもらい、実調理性能においても良好な結果の得られていることが判った。

#### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理者：アタム技研株式会社

開発技術部 部長代理 丹羽 平

TEL 0587-92-1161

FAX 0587-92-1160

E-mail niwa@atam.co.jp

## 第2章 空燃比制御の追従性についての研究開発

### 2-1 空燃比制御の追従性を高めるソフトウェア開発

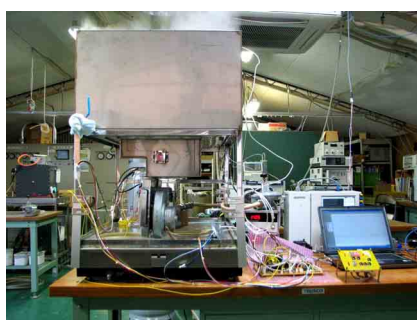
#### 1. 研究内容の概要

セラミック型及びステンレス型の本年度改良試作バーナユニットについて、それぞれ、燃焼特性、バーナの燃焼状態及び熱効率の詳細な試験測定を行った後、これらの採取データを基に、フィードバック制御に加えてフィードフォワード制御を導入した空燃比制御のソフトウェアを開発し、空燃比制御の追従性を更に向上させる研究開発を行った。

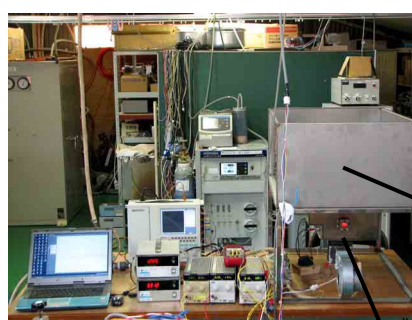
また、開発した制御ソフトウェアの動作・制御性能確認を行うための制御基板として、「信頼性確認用燃焼基板」及び「信頼性確認用操作・表示基板」を製作した。

#### 2. 研究実施内容

最初に、後述の第2章 2-2 及び 2-3 項の報告のように設計し試作した改良型のセラミック型及びステンレス型の両バーナユニットについて、それぞれ、JIS S 2093 家庭用ガス燃焼機器の試験方法 に準じて、燃焼特性、バーナの燃焼状態及び熱効率の測定試験を行った。燃料はLPガス（プロパンガスとブタンガス）を使用した。



ステンレス型バーナ燃の試験



セラミック型バーナの試験

図2-1 試験の状況

燃焼特性評価試験について、セラミックバーナについては 9.3 kW と 17.4 kW、ステンレスバーナについては 7.0 kW、13.3 kW 及び 19.8 kW の各ガス消費量について、空気過剰率を変えて、発生する燃焼排ガス中の CO、CO、NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub> 濃度を測定すると共に、バーナ炎の挙動とセラミック型バーナユニットについては、セラミックプレートの赤熱状態を観察し、逆火とリフティングの限界を調べる試験を行った。（空気過剰率は CO の値より求め、CO 値は、O<sub>2</sub> = 0% に換算した値としている。）

本開発の2種類のバーナについて、採取した燃焼特性結果は、最終的に次のグラフの通りとなった。

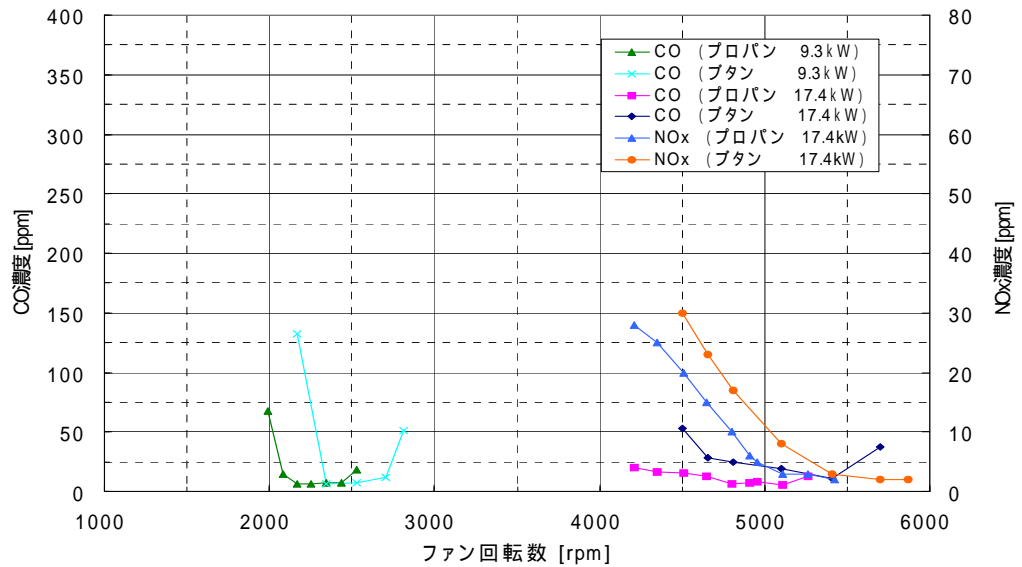


図 2-2 セラミック型バーナユニット

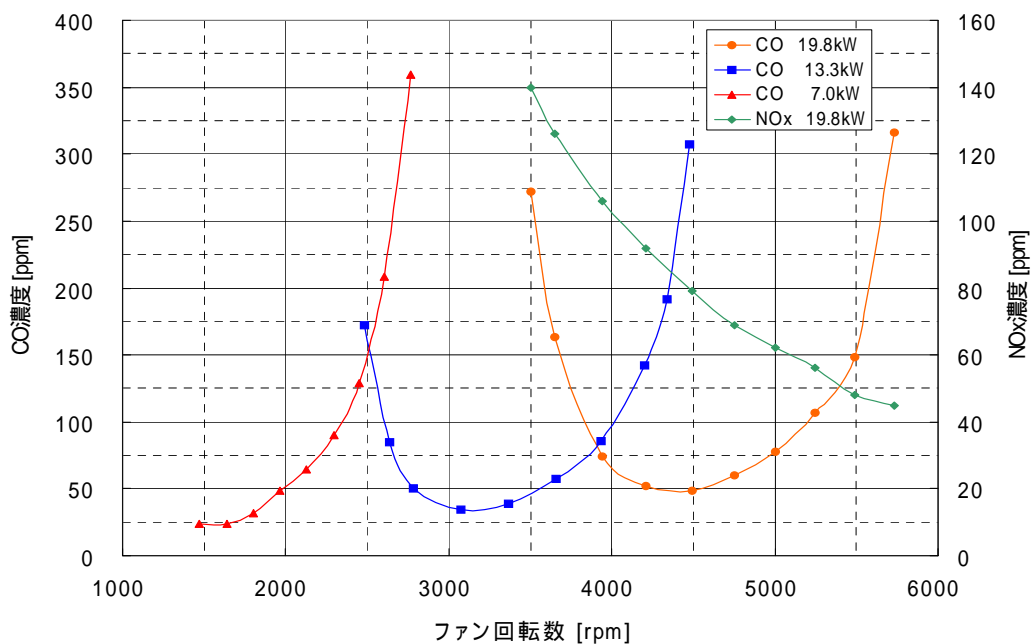


図 2-3 ステンレス型バーナユニット

次に、両バーナについての熱効率評価試験については、第 1 の事業化テーマとしているフライヤーへの適用を前提に、「沸騰時熱効率測定法」を適用した。この方式は、JIS には規定されていないが、大手ガス会社に基準として定められている方法である。

この方法では、所定の時間内に消費したガスの総発熱量を入力とし、この時間内に槽から蒸発した水量を重量計測して持ち去った総熱量を出力として、出力/入力 × 100 の値を熱効率としている。

この方法によって測定した熱効率の結果の一例が次の図 2-4 に示す値である。

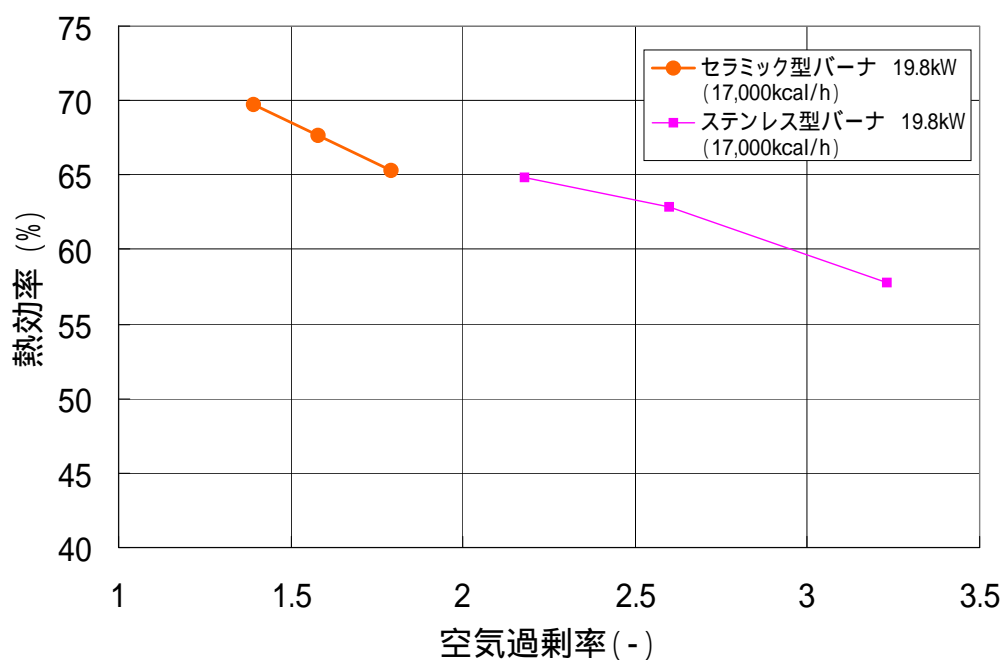


図 2 - 4 熱効率評価試験結果の一例

次に、これらの採取データを基に、フィードバック制御に加えてフィードフォワード制御を導入した空燃比制御のソフトウェアを開発し、空燃比制御の追従性を高める研究開発を行った。

今回開発した組込みソフトウェアの全体構成図を示す。

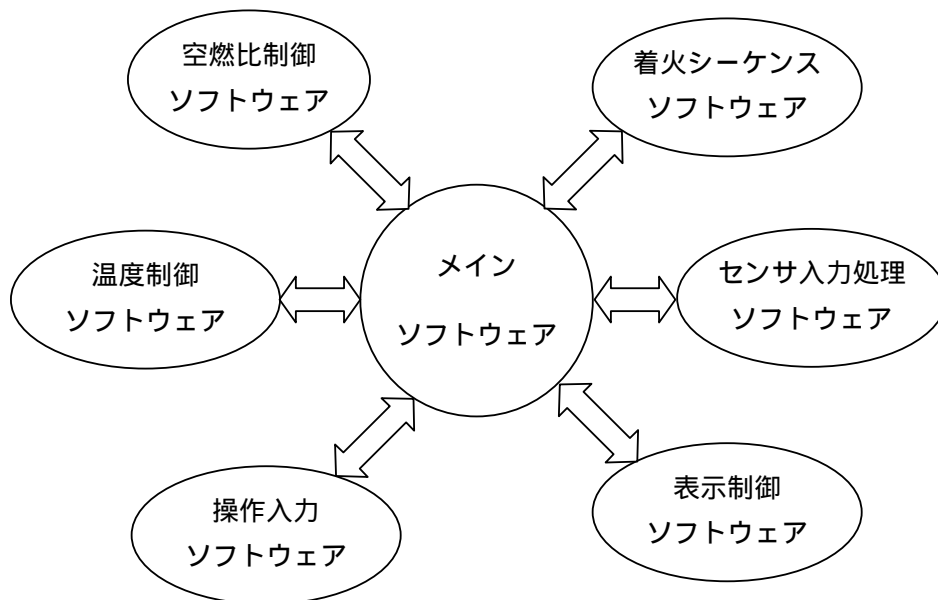


図 2 - 5 開発した組込みソフトウェアの全体構成図

この内、空燃比制御ソフトウェアの概要は次の図 2-6 の通りである。

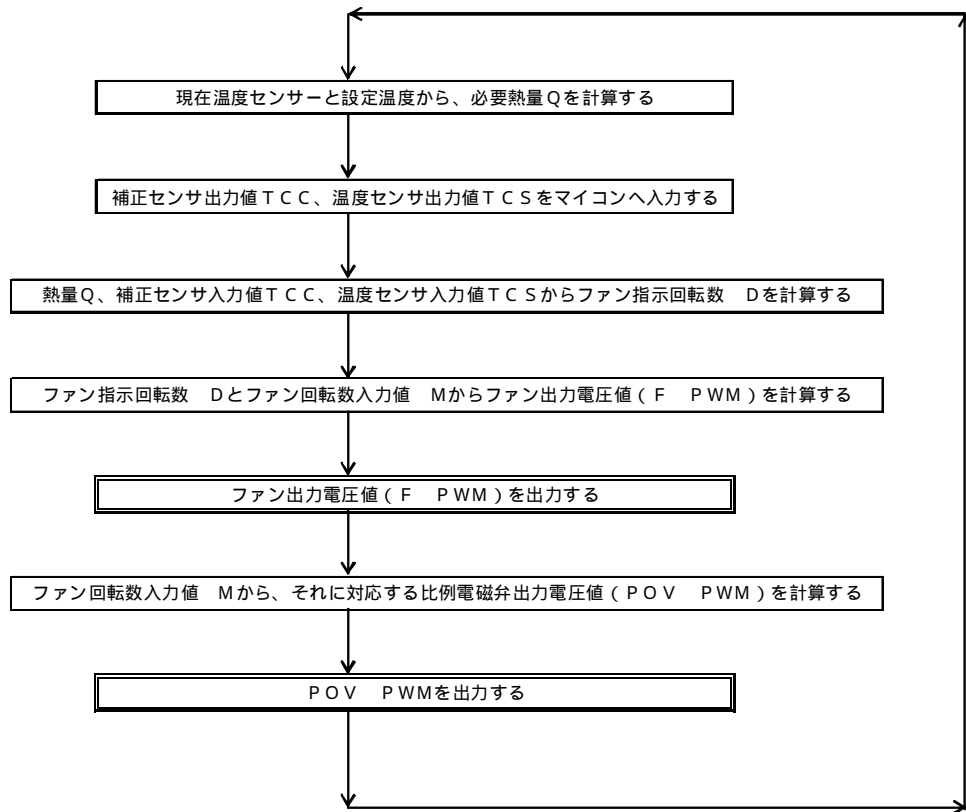


図 2-6 空燃比制御ソフトウェアの概要

また、空燃比制御の状態遷移図を次に示す。

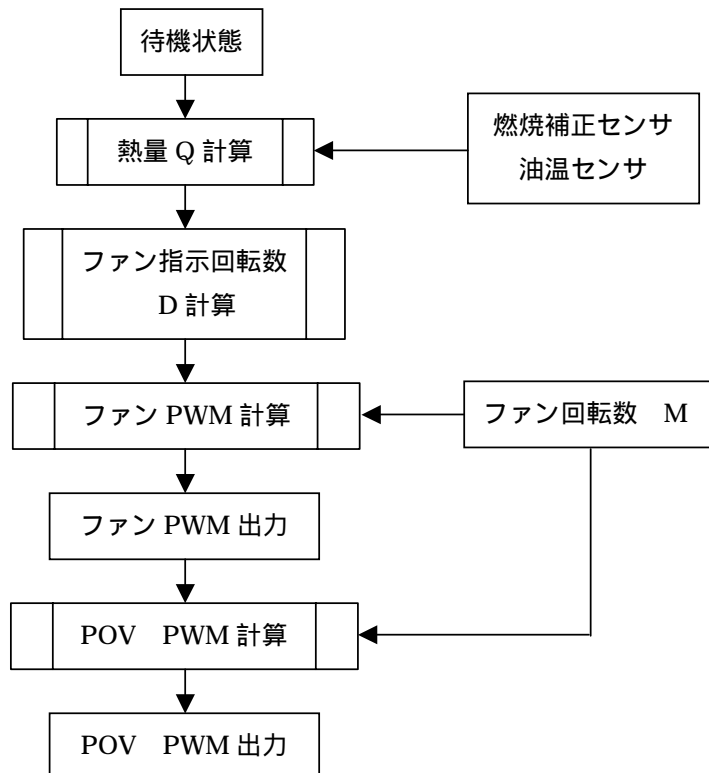


図 2-7 空燃比制御状態遷移図

### 3. 研究結果及び成果

本テーマの研究開発作業の結果、以下の成果を得た。

セラミック型及びステンレス型バーナユニットについて燃焼実験を行い、各種データを採取した。

この結果、両バーナユニットについての燃焼特性と熱効率値が明らかとなった。

採取した各種データを検討して、フィードバック制御に加えてフィードフォワード制御を導入した、変化に対して追従性を重視したソフトウェアの改良開発を行った。

## 2 - 2 燃焼良好域を拡大するためのバーナ部構成の検討

### 1. 研究内容の概要

空燃比制御を補完するために、セラミック型及びステンレス型の両バーナユニットについて、燃焼良好域を拡大するためのバーナ部の仕様確定を目指した改良型バーナユニットを試作し、試験評価と更なる改良開発を行った。

### 2. 研究実施内容

燃焼良好域を拡大するためのバーナ構成の試験研究として、昨年度の終了段階でかなりの改良成果を得たが、本年度は更なる改良を進めるため、以下の点について重点的な改良対策を講じた。

- 1) セラミック型バーナユニットについては、バーナ炎孔から噴出する空気混合ガスの更なる分布改良
- 2) ステンレス型バーナユニットについては、二次空気の供給方法の改良
- 3) 排気噴出体の面積を大きくすると共に、排気通路部の空間を広くとって、熱伝達性能の向上と排気側負荷の低減を図った。

これらの対策を講じた各バーナユニットの仕様形状、形態を示すと、以下の通りである。

まず、本年度改良試作バーナユニットの設計コンセプトは表 2-1 と表 2-2 の通りである。

表 2-1 セラミック型バーナユニット 設計コンセプト

品名	セラミック型バーナユニット	
外形寸法 (mm)	400 (W) × 570 (D) × 270 (H)	
ガス消費量	LPガス	都市ガス
	19.8 kW (1.4kg/h)	19.8 kW (17000kcal/h)
バーナの種類	セラミックバーナ	
バーナ寸法 (mm)	93 (W) × 133 (D) × 12.5 (H)	
バーナ能力	1枚当たり 6.6kW	
バーナ数 (個)	3	
被加熱面積	300 (W) × 470 (D)	

表 2-2 ステンレス型バーナユニット 設計コンセプト

品名	ステンレス型バーナユニット	
外形寸法 (mm)	400 (W) × 570 (D) × 260 (H)	
ガス消費量	LPガス	都市ガス
	19.8 kW (1.4kg/h)	19.8 kW (17000kcal/h)
バーナの種類	ステンレスバーナ	
バーナ能力	1枚当たり 1.7kW	
バーナ数 (個)	12	
被加熱面積	300 (W) × 470 (D)	

次に改良試作バーナユニットの全体形状図を載せる。

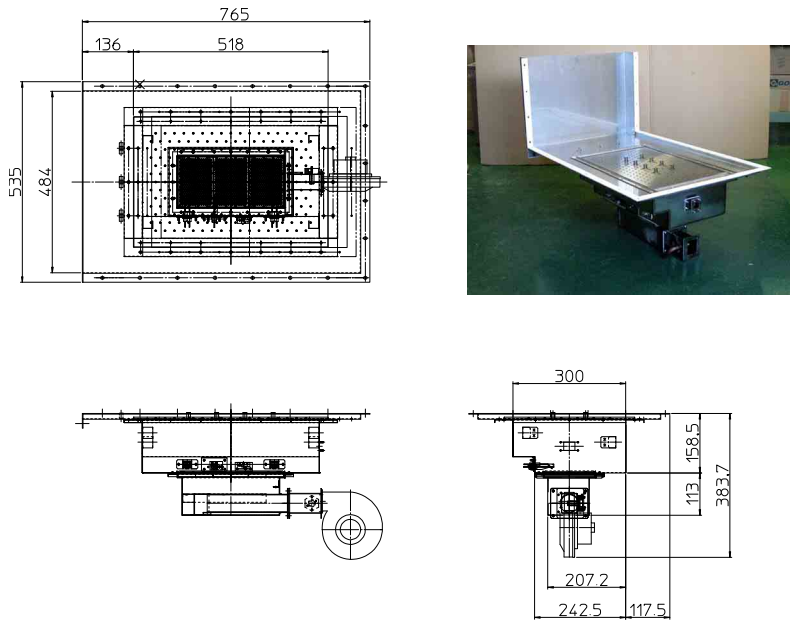


図 2-8 セラミック型バーナユニットの全体形状及び外形写真

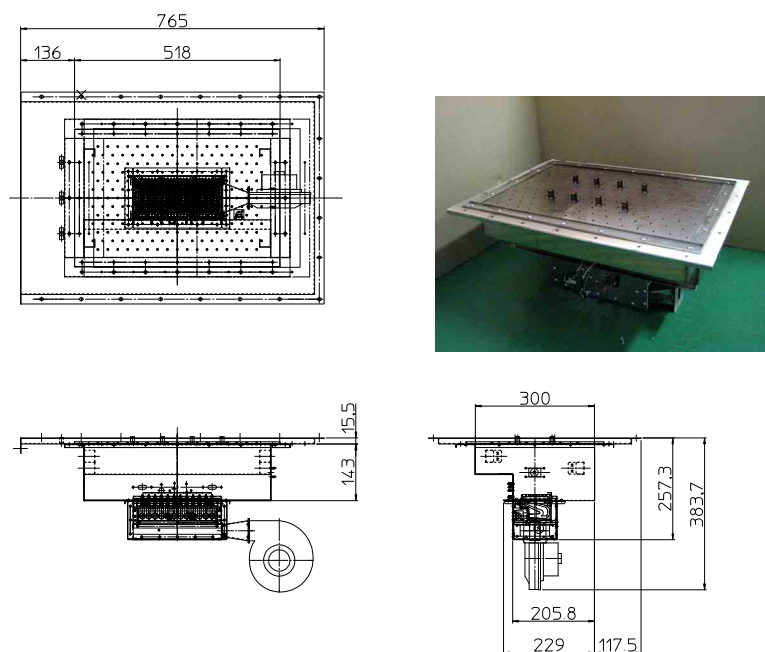


図 2-9 ステンレス型バーナユニットの全体形状及び外形写真

### 3. 研究結果及び成果

本開発テーマについては、燃焼良好域を拡大するためのバーナ構成の試験研究を本年度も継続して実施し、ほぼ最適なバーナ仕様の設定が可能となった。

## 2 - 3 バーナ部構成部材の品質確保・向上

### 1. 研究内容の概要

本年度は制御を容易にすることを目的としたバーナ部構成部材の仕様、ジェット噴出体と排熱回収部の加熱面積割合の最適化、噴出口の分布及び気密性等の改良を進めた。

### 2. 研究実施内容

本テーマの目的からは、本年度主に、以下の点について改良開発作業を行った。

燃焼室内の温度が、空気過剰率の変化に対応して変化し、変化幅が安定して大きくなるように、燃焼室からの放熱量の低減を図った。(外部への放出を抑えることで、熱効率の向上にも寄与)

排気通路側の負担を低減した。

ジェット噴出体の面積を増やすことで、ジェット噴出体で直接加熱する割合を大幅に増やし、排熱回収部による加熱面は最小限に留めた。

ジェット噴出体の面積の増加に併せて、噴出口の数量と分布について、見直しを行った。

各部の気密の向上を図った。

### 3. 研究結果及び成果

本研究開発テーマについては、上述のような諸対策を講じたことで、バーナユニットとしての完成度が向上し、制御性の向上、熱効率の向上及び気密性の向上という多くの成果を上げることができた。

この成果を示す一例として、ステンレス型バーナユニットの場合の熱効率向上の様子について、昨年度改良型バーナユニットとの比較して次の図に示す。

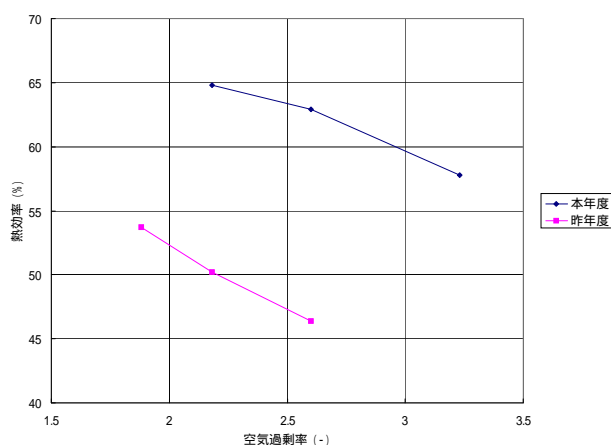


図 2-10 熱効率改良の様子



### 第3章 点火時の燃焼共鳴音の発生防止についての研究開発

#### 3 - 1 適正な緩点火と燃焼共鳴音の抑制のための制御ソフトの開発と、ファン及び燃料供給路の検討

##### 1. 研究内容の概要

セラミック型及びステンレス型の両バーナユニットについて、点火時の点火試験データを基に、適正な緩点火と燃焼共鳴音抑制のための制御ソフト開発と燃焼ファン及び燃料供給路の設計検討を行った。

##### 2. 研究実施内容

昨年度実施した緩点火と燃焼共鳴音抑制のための制御ソフト開発と燃焼ファン及び燃料供給路の検討の結果を基に、更に点火ポイントの最適条件の調査とその結果に対応した点火条件の変更設定を行った。

本年度開発では、試行錯誤の末、昨年点火制御に変更を加え次の図3 - 2に示す制御とすることにより、燃焼抑制に効果のあることが確認できた。

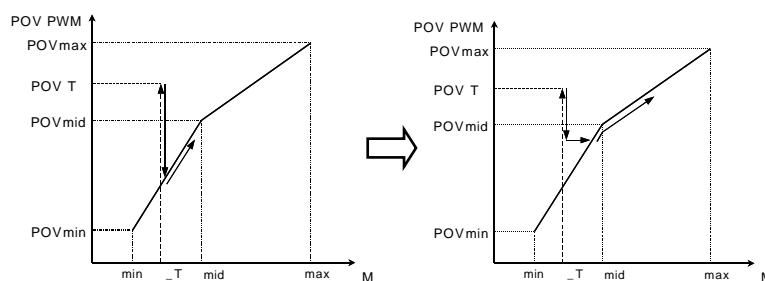


図3 - 1 昨年度の点火時制御

図3 - 2 本年度改良の点火時制御

(緩点火時の POV PWM と M の関係)

(緩点火時の POV PWM と M の関係)

また、燃焼共鳴音を更に安定的に抑制するために、燃焼ファン、燃料供給路及びバーナ上流側部材に共鳴抑制に効果があると思われる諸対策を講じた。

##### 3. 研究結果及び成果

昨年度及び本年度採取した、試験データをもとに、緩点火と燃焼共鳴音抑制のための制御ソフトウェアの開発を行うと共に、燃焼ファン及び燃料供給路に諸対策を講じることにより、点火性能と燃焼共鳴音の抑制は次項テーマである「排気通路の形状等の検討」の成果と合せて、ほぼ満足の行く、安定した条件設定ができたと判断できる成果を得た。

#### 3 - 2 排気通路の形状等の検討

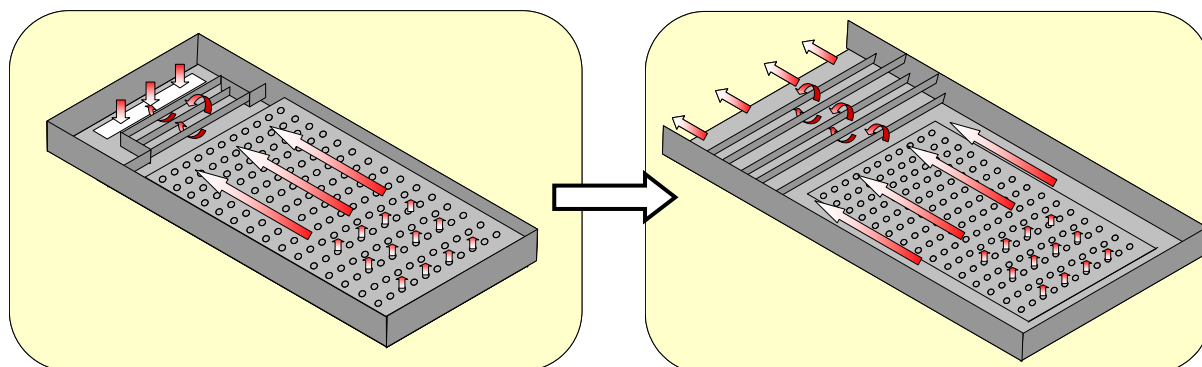
##### 1. 研究内容の概要

点火時の燃焼共鳴音抑制に関連が深いとされる、燃焼排ガス排気通路の形状について検討を行った。

##### 2. 研究実施内容

燃焼共鳴音発生メカニズムを考慮した上で、燃焼共鳴音を抑制する対策として、燃焼排ガスの排気通路側の負荷・形状の検討を行った。

本年度は昨年度の成果をベースに、燃焼排ガスの排気通路の形状について、基本的には負荷を軽減する方向での変更を行い、次の図に示す形状とした。



昨年度改良した排気通路

本年度改良実施の排気通路

図3 - 3 排気通路部の形状変更

変更の内容としては、排気噴出体の流れ方向の左右側に排気通路部を設け排ガスが3方向へ流れ出やすくすると共に、排熱回収のためのバックルプレート部の負荷を種々変更・改良して安定的に燃焼共鳴音の抑制が可能な条件調査した。

### 3. 研究結果及び成果

点火時の燃焼共鳴音抑制のために燃焼排ガス排気通路について対策を講じ、前項のバーナ上流側の対策と併せて、安定的に効果のある対策案を講じることができた。

## 第4章 バーナ及び噴出体の耐熱・耐久性及び歪み対策についての研究開発

### 4 - 1 過熱を防止するためのセンサーを含むソフトウェアの開発

#### 1. 研究内容の概要

バーナ材料の劣化や逆火を招くバーナの過熱を防止するため、センサーによりバーナの昇温状態を検知し、燃焼状態を制御するソフトウェアを開発する作業を行った。

#### 2. 研究実施内容

本年度この課題については、ステンレス製、セラミック製それぞれのバーナユニットについて、ガス消費量や空燃比を変化させた時のセンサー出力の変化の様子から、センサーの種類とセンサーの装着位置についての検討を行った。

更に、採取したセンサー出力データを元に、昨年度構築したセンサー出力による空燃比補正制御に関連するソフトウェアの改良開発を行った。

#### 3. 研究結果及び成果

まず、センサーの種類についてはステンレス製、セラミックス製の各バーナユニットについて、ガス消費量や空燃比を変化させた時のセンサー出力のデータから、フレームロッド式よりもサーモカップル式の方が出力変化の傾きが大きく、空燃比の補正制御に利用するには好ましいとの判断となった。

次に、センサーの装着位置についてはステンレス製バーナユニットについては、

炎の温度を検知するより、燃焼室内の温度を検知する位置に取り付けた方が好ましい出力を得られることが判った。

このステンレス製バーナユニットについての、最終的に決定したセンサーの取り付け位置は図の矢印で示した場所である。

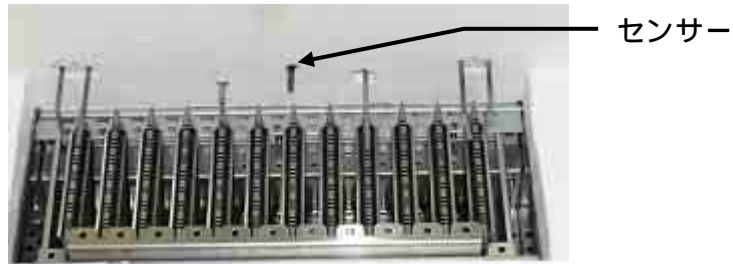


図 4 - 1 センサー取付位置

このセンサー設定位置における、サーモカップル出力電圧を利用したソフトウェアの概要については、第 5 章 5 - 3 項に示す。

#### 4 - 2 各部材の耐熱・耐久性の研究と適材の選択

##### 1 . 研究内容の概要

昨年度の調査検討の上、選定した材料で構成した改良型セラミックス製バーナユニットについて、約 200 サイクルの断続燃焼耐久試験を行い、試験後のバーナ構成部材の状態について、評価・検討を行った。また、セラミックス製の噴出体を試作し、金属製噴出体の場合との差が見られるか比較検討を行った。

##### 2 . 研究実施内容

本年度、新たに改良を施したセラミックス型バーナユニットについて、45 分運転 - 15 分停止の繰り返し運転を 200 サイクルの目標で実施した。

主な各構成要素部材についての変化の様子はこの表の通りであった。

構成材料	仕様・材料名	耐久試験後の状況
セラミックプレート	コージライト、ムライト系試作プレート	ひび割れやガラス化はなく良好
燃焼室	NCA-1 (日新製鋼製)	高温による変化はあるが、表面はなめらかである
ジェット噴出体	NCA-1 (日新製鋼製)	材料自体に特に劣化は見られないが、熱変形は残っていた
燃焼内壁断熱材	セラミックファイバー系断熱材	割れや欠け、表面劣化は確認されなかった

表 4-2 構成要素部材についての変化の様子

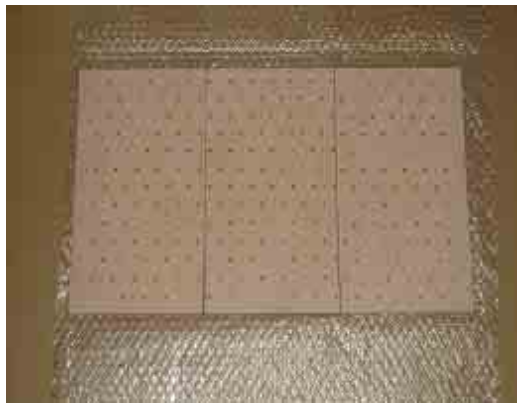
以上の通り、今回の設定した耐久評価の条件下では、バーナユニット構成部材に大きな異常は見られなかった。

次に、ジェット噴出体の材料としてセラミック材料の可能性について、比較評価・検討を行った。

可能性を残した SH-1 材料を使った噴出体を製作し、金属噴出体に取替えて使

用し、劣化の様子と熱効率の比較評価を行った。

SH-1 材料を使って製作した噴出体は以下の写真の通りである。



セラミック噴出体  
(セラミック厚さ：6mm)



セラミック噴出体 (拡大)  
(噴出口径：3.2mm)

図 4-2 SH-1 で製作したセラミック噴出体

また、セラミック噴出体を使った場合の熱効率の試験結果は、金属製と比較して表すと。以下のグラフの通りとなった。

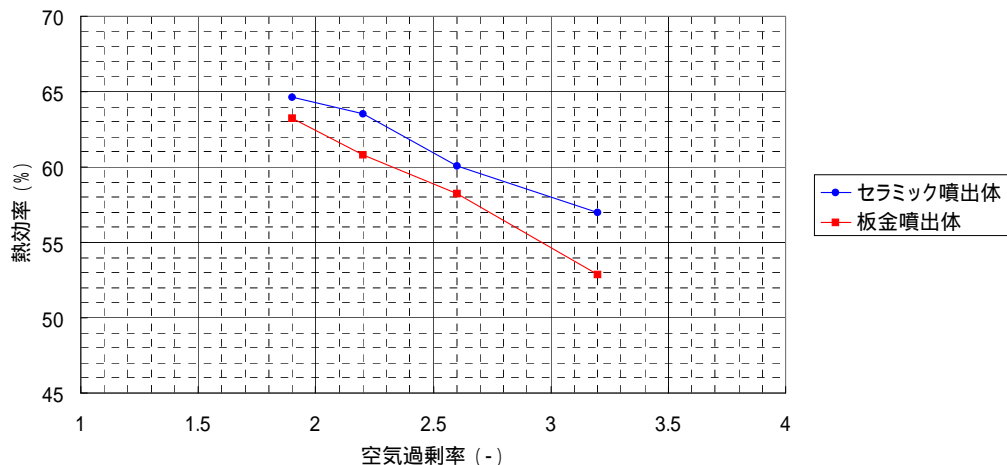


図 4 - 3 セラミック噴出体による熱効率  
(排熱回収部無しの場合で比較を行った)

この結果から、セラミック噴出体では、金属のバーリング加工で噴出口を形成した場合に比べ、噴出口の外周壁にストレート部がしっかり形成されているため、排気の噴流が理想的な形で形成され、噴流の衝突効果の高いことが原因と推測される。

#### 4 - 3 温度上昇の抑制と、ジェット噴出体の歪み除去の研究

##### 1. 研究内容の概要

燃焼の下流側に設けるジェット噴出体の熱変形を抑えるために、温度上昇の抑制方法、熱変形、熱歪みに のある形状及び熱処理方法についての追加検討を行った。歪みに効果のある形状及び熱処理方法について検討を行った。

## 2. 研究実施内容

本テーマについて、本年度は、ジェット噴出体の温度上昇の抑制と熱集中による局部加熱を抑えるために、排気噴出体の方法を可能な限り大きくして、単位面積当りの熱負荷を下げると共に、排気噴出口を広く分布させることにより、熱集中を避ける対策を探った。

次に、熱歪み除去のための熱処理方法として「焼きなまし」について、実際にこの処理を行ったものとそうでないもので、熱ひずみに差があるのか比較評価を行った。

「焼きなまし」は専門業者に依頼し、部品の加熱温度は 780～800 。除冷条件は、炉中にて 1 時間に 30 程度ずつ下げる方法で行った。

また更に、熱変形熱歪みの少ない材料について昨年に引続いて調査検討を行った。

## 3. 研究結果及び成果

まず、ジェット噴出体の温度上昇と局部過熱の抑制のため、ジェット噴出体の形状拡大と、排気噴出口を広く分布させる対策は、かなりの効果があることが判った。

この結果から、空気過剰率の設定において、可能な限り余分な空気の多い空気過剰率の高い条件で決定すべきとの判断を得た。

次に「焼きなまし」実施の条件については、処理を行わなかったものと比べて実使用時の熱変形の程度に有意差は認められなかった。

## 第 5 章 ファンの最適仕様の抽出及び燃焼部気密構造の維持と各部安全性確保についての研究開発

### 5 - 1 ファンの最適仕様の決定

#### 1. 研究内容の概要

本燃焼・伝熱システムに必要な高吐出圧を確保できる燃焼ファンの仕様調査を行うため、昨年試作したファンの構成部材を使って、P-Q 特性（P：静圧、Q：風量）、送風機効率及び騒音値を測定分析し、昨年に引き続き、燃焼ファンのより望ましい仕様と使用条件の調査を行った。

#### 2. 研究結果及び成果

昨年度の結果として、試作した燃焼ファンの仕様の内、本バーナ用途に適するものとして、P - Q特性として傾きが急なほうが好ましい。ベルマウスの口径は小さいほうがよい。ケーシング角度は小さい方が好ましい。羽根枚数は多いほうがよいとの結果を得た。

この結果は、用途に応じてスケールアップして適用すれば、汎用性のある条件であり、今後の燃焼ファンの仕様設定や選択に有用な結果であると判断している。

### 5 - 2 制御性能、追従性、耐久性及び耐寒性の研究

#### 1. 研究内容の概要

昨年度調査を行った燃焼ファンとガス比例制御弁の応答性調査の結果から、燃焼制御の流れは、必要な熱量計算の結果を基に、指示回転数を決定し、燃焼ファンはその回転数となる様制御し、一方、ガス比例制御弁は、現状の燃焼ファンの回転数に対応する様制御することとした。（下図参照）



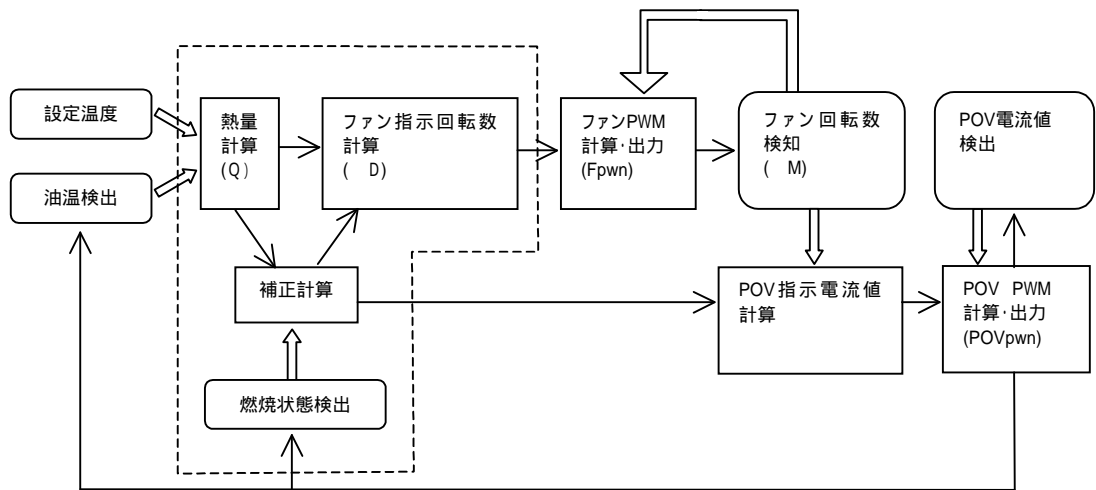


図 5-2 燃焼制御の流れ図

### 3. 研究結果及び成果

フレームロッド式とサーモカップル式の2種類のセンサーは、原理は異なるが、バーナー炎口の形態、炎口とセンサー平面的な位置関係及び炎口からの高さ等に、センサー出力は大きく影響を受けるため、このセンサーの設定条件も重要な課題となる。

そこで、本年度は、更に踏み込んで、2種類のセンサーの出力特性の調査を行った。

その結果の典型的な結果が次のグラフの通りである。

このグラフは、大・中・小のガス量設定時の燃焼ファン回転数(風量)の変化によるセンサー出力を示したものである。

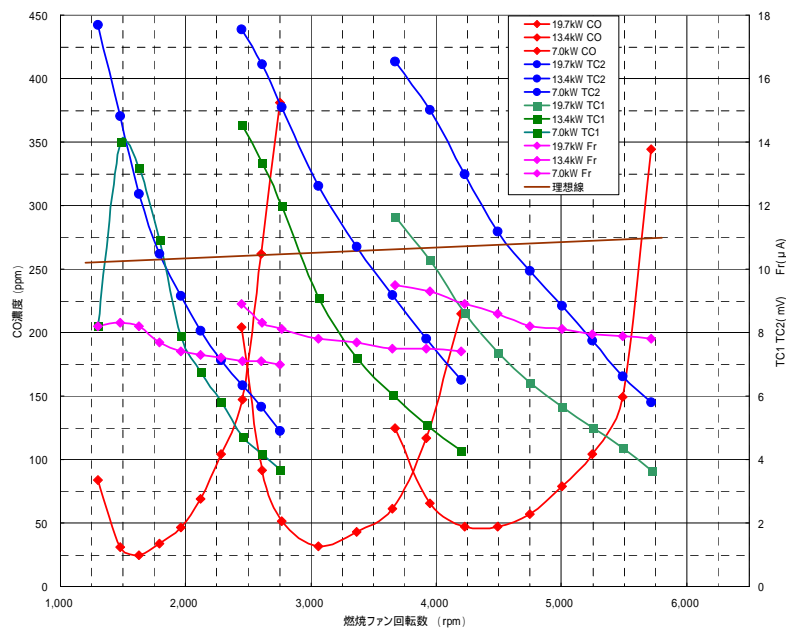


図 5-3 大・中・小のガス量設定時の燃焼ファン回転数(風量)の変化

上記グラフは、

CO 濃度：燃焼排ガスの CO 濃度

- サーモカップル 1 : 炎の温度検知位置に取付け (TC1)
- サーモカップル 2 : 燃焼室内の温度検知位置に取付け (TC2)
- フレームロッド : フレーム電流検知 (Fr)

を示す。

この結果から、センサーの利用方法については、以下の点が明らかになった。

フレームロッド式は、低負荷時に直線性が崩れることと、出力の変化幅が小さいことから、本目的のセンサーとしては不適格。

サーモカップル式は、出力の変化幅の比較から、炎の温度を検知するより、燃焼室内温度を検知すべきである。

そこで上記グラフで、各ガス量の理想的な燃焼状態におけるサーモカップル (TC2) の出力値を結ぶと上記茶色の直線となる。

ファン回転数と TC2 出力がこの直線状を通る様に制御できれば、全燃焼範囲において安定した燃焼性能を得ることができる。

具体的に、センサー出力を利用した燃焼補正制御ソフトウェアの開発を行った。

#### 5 - 4 燃焼部の気密構造については、極力歪みを防止する形状に設計し、耐熱シール材を必要箇所に使用する研究

##### 1. 研究内容の概要

本年度は、昨年度検討した燃焼部の気密構造改良の検討に加えて、新たな調査・検討の結果とアイデアに基づき、燃焼室とジェット噴出体の構成、形状及び材料面の検討を進めた。

また、シール材の使用方法についての更なる調査・検討を行った。

##### 2. 研究実施内容

まず、気密構造改良のための燃焼室とジェット噴出体の構成、形状及び材料面の検討については、燃焼室は、接合部を全周溶接により組み立てることとし、燃焼室に装着するセンサー類の固定は、燃焼室に溶接したボルト (スタッドボルトと呼ぶ) を使って、ナットで取付、固定する方式をとった。

また、燃焼室とジェット噴出体のフランジ部を重ねてガス通路をガス通路部に組付ける部分では、ジェット噴出体の熱変形によってこの部分での機密性能が低下しないように、燃焼室構成部材とガス通路部材の板厚を上げる対策をとった。

次にシール材の使用方法については、引続き、昨年選定したコーティングセメントとアロンセラミック D を利用した。

##### 3. 研究結果及び成果

燃焼部の気密構造の改良という目的に対して、2年にわたって検討を重ねてきた結果を試作機に反映し、昨年末時点より、かなり機密性能を安定的に向上させることができた。

また、昨年選定し、本年度試作機の組立に利用した2種類の超高温向きのシール材も、本年度の各種試験評価を経ても、その有用性が実証された。



## 第6章 組込ソフトウェアの耐久性・誤動作の防止についての研究開発

### 6 - 1 マイコンの耐熱耐久性の研究

#### 1. 研究内容の概要

信頼性確認用操作・表示基板及び信頼性確認試験用燃焼基板を使用して、マイコンの耐熱・耐久性の研究を行った。

#### 2. 研究実施内容

マイコンを搭載した信頼性確認用操作・表示基板及び信頼性確認試験用燃焼基板を 85 の高温下に 240 時間晒す耐熱性加速評価試験と図 6 - 1 に示すようなヒートサイクルを 10 サイクル繰り返すヒートサイクル耐久性評価試験を行った。

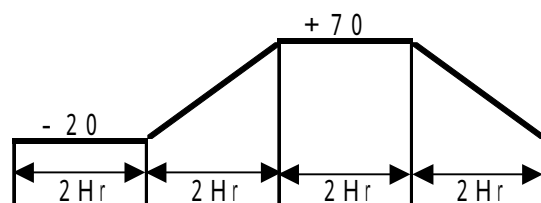


図 6 - 1 ヒートサイクル

#### 3. 研究結果及び成果

信頼性確認試験用バーナユニットの燃焼基板と操作・表示基板の初期データの測定を行った後、耐熱性加速評価試験とヒートサイクル耐久性評価試験を実施した。結果は問題はなかった。

### 6 - 2 入念なデバッグの実施とソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性及び誤動作の研究

#### 1. 研究内容の概要

マイコンの誤動作の研究とソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性及び誤動作の研究を行った。

#### 2. 研究実施内容

マイコンの誤動作の研究を行うため、実際に連続式コンペアー型フライヤーに信頼性確認用操作・表示基板及び信頼性確認試験用燃焼基板を搭載して実操作（運転モード切り換えなど）を行い、誤動作確認試験を行った。また、ソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性評価試験及びノイズ試験、雷サージ試験、耐性電気試験、電圧変動試験、耐瞬間停電試験、絶縁試験等の各種電気耐性試験により、耐誤動作性の評価検討を行った。

#### 3. 研究結果及び成果

##### 1) マイコンの誤動作確認試験の評価検討

作成したフローチャートに基づき、通常の運転シーケンス、点火前のエラー処理シーケンス及び点火後のエラー処理シーケンスについて入念なデバッグを行った。その結果、問題無く正常な動作を確認した。

## 6 - 3 実用モニタ試験の実施

### 1. 研究内容の概要

試験器（セラミック材のバーナユニット）に信頼性確認用操作・表示基板及び信頼性確認試験用燃焼基板を組み込んで、実用モニタ試験を実施し、材料の変化、劣化及びソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性についての確認作業を行った。

### 2. 研究実施内容

試験器（セラミック材のバーナユニット）に信頼性確認用操作・表示基板及び信頼性確認試験用燃焼基板を組み込んで、実用に近い運転モード（0.45hON - 0.25hOFF 運転を連続的に 200 サイクル）で実運転をさせながら、耐熱・耐久性評価を実施することによって、セラミック材のバーナユニットの各構成部品材料の変化、劣化及びソフトウェア組込みハードウェアの耐熱・耐久性についての確認作業を行った。

### 3. 研究結果及び成果

信頼性確認試験用バーナユニットの燃焼基板と操作・表示基板の実用モニタ試験の確認結果は、特に問題は無かった。また、セラミック材のバーナユニットの各構成部品材料についても、大きな変化、劣化は無かった。

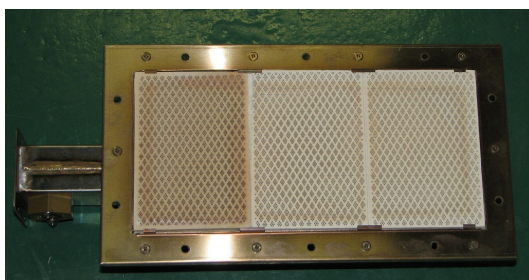


図6 - 2 セラミック材のバーナユニット

## 第7章 連続式コンベア型フライヤーの試作開発に伴う課題についての研究開発

### 7 - 1 試作・評価（組込みソフトウェアが十分機能しているかを確認し、改善する）

#### 1. 研究内容の概要

連続式コンベア型フライヤーについて、本燃焼・伝熱システムを組み込んだ試作品を製作すると共に、連続フライヤー用燃焼制御基板及び連続フライヤー用操作・表示基板を試作し、組込みソフトウェアの機能状況を含めた各種性能評価試験を行った昨年度試作について、実用性を考慮しつつ、目標性能クリアを目指した改良を行った。

#### 2. 研究実施内容

昨年度試作の連続式コンベア型フライヤーについて、本燃焼・伝熱システムのステンレス型バーナユニットとセラミック型バーナユニットを実用性を考慮した高性能仕様に改良すると共に、バーナユニットの組込み方法についても、川下業者の意見を反映した設計改良を行った後、連続式コンベア型フライヤー試作機の改造を行った。

改良設計時のコンセプトは、次の表の通りである。

表 7-1 設計コンセプト

品名	連続式コンベア型フライヤー	
外形寸法 (mm)	1500 (W) × 820 (D) × 1110 (H)	
フライ面積 (mm)	1100 (W) × 550 (D)	
ガス消費量	LPガス	都市ガス
	39.5 kW (2.83kg/h)	39.5 kW (34000kcal/h)
バーナユニット寸法 (mm)	300 (W) × 620 (D) × 260 (H)	
被加熱面積 (mm)	250 (W) × 570 (D)	
バーナユニット数 (個)	2	
熱効率 (%)	65 (目標)	
電源	単相 100V 50Hz/60Hz	
総合消費電力	0.12kW	
油量	65リットル	
排油口	40A	
外装	ステンレス鋼板 SUS430	
油槽	SUS430	
コンベア	潜行式ネットコンベア・キャタピラコンベア	
架台	ステンレス角パイプ SUS304	
温度調節	100 ~ 200	
コンベア速度調節	2分 ~ 15分	
点火方式	連続放電点火	
立消え安全装置	フレイムロッド式	
過熱防止	液膨張式サーモスタット	
空焚き安全装置	フロートスイッチ	
製品質量	250kg 以下	

また、試作機の設計図の概要は以下の通りである。

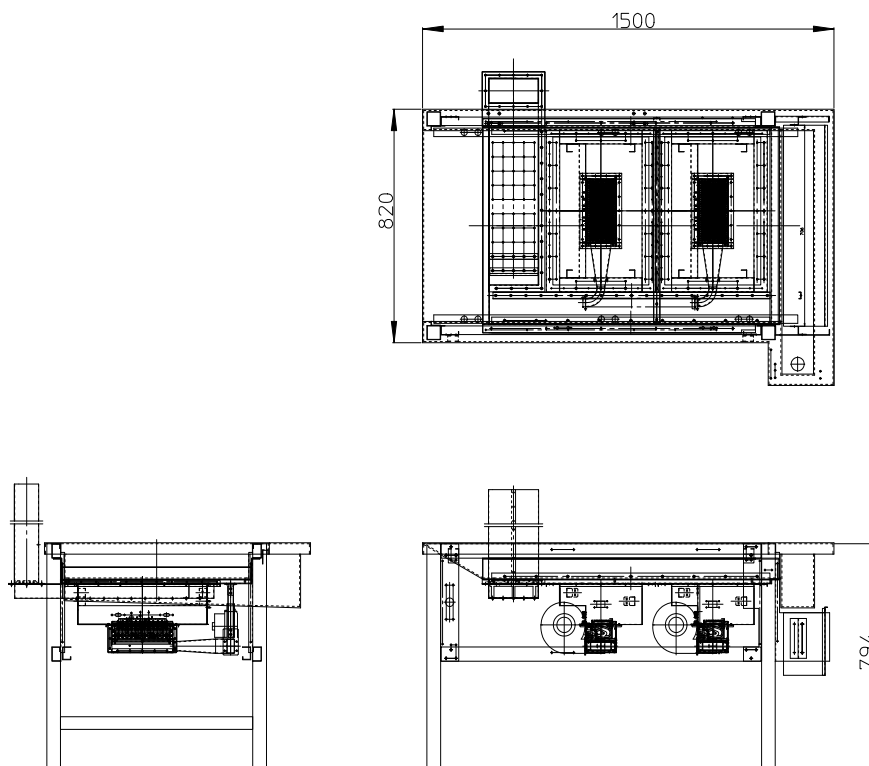


図 7-1 試作機設計図

バーナユニットの間に仕切りを設けると共に、排熱回収部と隣接するバーナユニットとの間にも仕切りを設け、ある程度排気の流れを規制する対策をとった。

### 3. 研究結果及び成果

連続式コンベア型フライヤーについて、本燃焼・伝熱システムを組込んだ試作機を製作すると共に、連続フライヤー用燃焼制御基板及び操作・表示基板を試作して、フライヤー本体と接続し、組込みソフトウェアの機能状況を含めた各種性能評価試験を行う一連の作業を実施した。

組込みソフトウェアについては昨年度の目標を達成するために、燃焼用のファンの回転制御及びガス比例弁制御をソフトウェアで行う方法に変更し、より綿密な制御を行えるようにした。その結果ほぼ目標を達成することができた。

## 7 - 2 目標性能を満足させるための改良業務を実施

### 1. 研究内容の概要

製作した試作品に改良を加えることにより、当初設定した目標性能（熱効率：65%以上、熱交換部の省資源：25%減、NOx：40ppm以下）を満足する仕様に、性能を引き上げる作業を行った。

### 2. 研究実施内容

昨年度製作した連続式コンベア型フライヤーの試作機を使用して、当初目標性能を満足させるための改良とその効果の評価試験を行った。

昨年度製作した試験機に対して施した主な改良対策の内容は次の通りであった。



図 7-2 排気噴流衝突部の沸騰の様子

### 3. 研究結果及び成果

連続式コンベア型フライヤーの試作機に上述の改良を施し、当初設定した目標性能について、どこまで到達できたかを評価する試験を行った。

その結果、本プロジェクト終了時点で、以下の結果と成果を得た。

1. 連続式コンベア型フライヤーのために開発したソフトウェアにより、実用化性能評価に耐え得るレベルまで、達成度を上げることができた。
2. 熱効率は、ステンレス型バーナユニットを組込んだ時に、燃焼良好域の中

中央付近の空気過剰率「2.6」辺りで63%程度の熱効率を得た。(目標値の65%をわずかに下回った。)

一方、セラミック型バーナユニットを組込んだ場合には、やはり燃焼良好域の中央付近の空気過剰率「1.6」辺りで67%程度と、目標値を達成する値を得た。

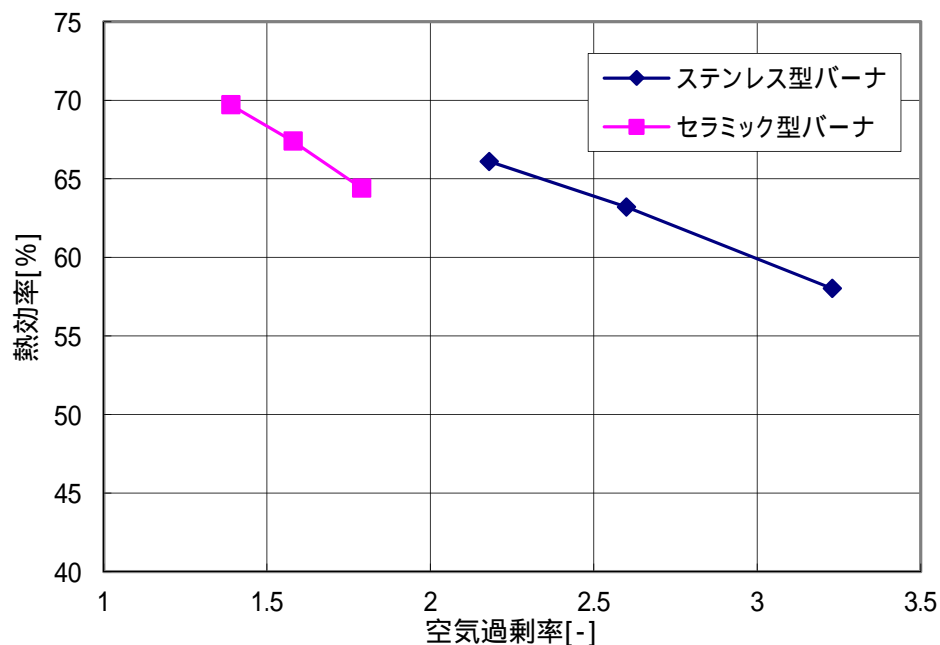


図 7-3 ステンレス,セラミック型バーナユニットの場合の熱効率  
(ガス消費量: 39.5kW)

3. 省資源量は、熱交換部を設けない仕様としており、目標の25%程度の省資源化は維持できている。
4. NOxは、ステンレス型バーナユニットの場合では、種々対策を講じたが昨年と同等の約80ppmを更に下回ることができなかった。  
この改良のためには、バーナユニットの基本から作り変える対策が必要であるが、本事業の中では、これ以上、挑戦できなかった。

一方、セラミック型バーナユニットを利用した場合は、燃焼良好域の中央辺りで約15ppmの低い値を得ることができ、こちらのバーナユニットでは目標の40ppmを大きく下回る成果を得た。

7-3 目標設計仕様(所定調理能力、汚れ防止機能、負荷変化への復元機能等)を満足させるための試作研究を実施

1. 研究内容の概要(次項7-4項で計画の内容も併せて実施)

川下業者からのアドバイスを反映させた、調理性能向上のための組み込みソフトウェアに改良した実機について、当社内での確認改良を行った後、実機を川下業者に送り、試験評価をお願いした。

## 2. 研究実施内容

川下業者にお願いした試験評価は「基本的な性能確認試験」と、「調理性能確認試験」の2種類の試験である。

それぞれの試験の内容は次のとおりである。

### 1. 基本的な性能確認試験（測定ガスはプロパン）

熱効率測定

油温分布確認

### 2. 調理性能確認試験

連続投入による調理能力について、冷凍コロッケ（60g，90×60×20mm，芯温：-10℃）にて確認

調理温度：185℃、調理時間：6分

有効油槽幅 550mm に縦 1 列 6 ケ並べ連続投入。（6 ケ×40 列 = 240 個）



油温の様子とコロッケの出来上がり芯温を計測

## 3. 研究結果及び成果

2種類の確認試験それぞれについての結果は以下の通りである。

### 1. 基本的な性能確認試験について

熱効率測定

	測定結果
熱効率(%)	60.5
CO <sub>2</sub>	5.1
過剰空気率	2.56

結果は、6回測定し、そのうち最高値と最低値を省いた4回の平均値を示している。

過剰空気率はCO<sub>2</sub>の測定値から換算した。

油温分布確認

温度設定：180℃ 測定位置：油面から深さ10mmの位置

	測定点														
	1列目 (入口付近)			2列目 (右バーナ上)			3列目 (バーナとバーナの間)			4列目 (左バーナ上)			5列目 (出口付近)		
	右	中	左	右	中	左	右	中	左	右	中	左	右	中	左
温調時 平均温度	182	182	182	182	183	183	184	184	182	184	184	181	183	183	180

室温：19℃

試験の結果、噴出体部でも特にバーナ真上の一部分が強く加熱されている様子が伺えたが、そこから槽全体に対流しているため、測定点（油面から深さ10cm）での油の温度のばらつきはほとんど見られなかった。

## 2. 調理性能確認試験

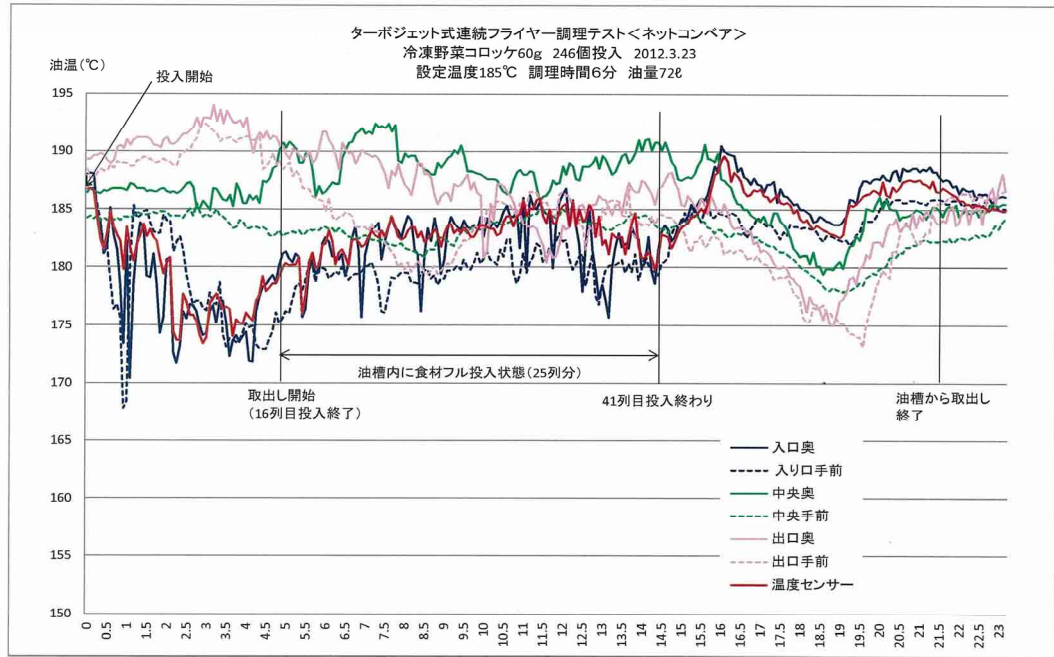


図 7-4 調理テストの油温データ

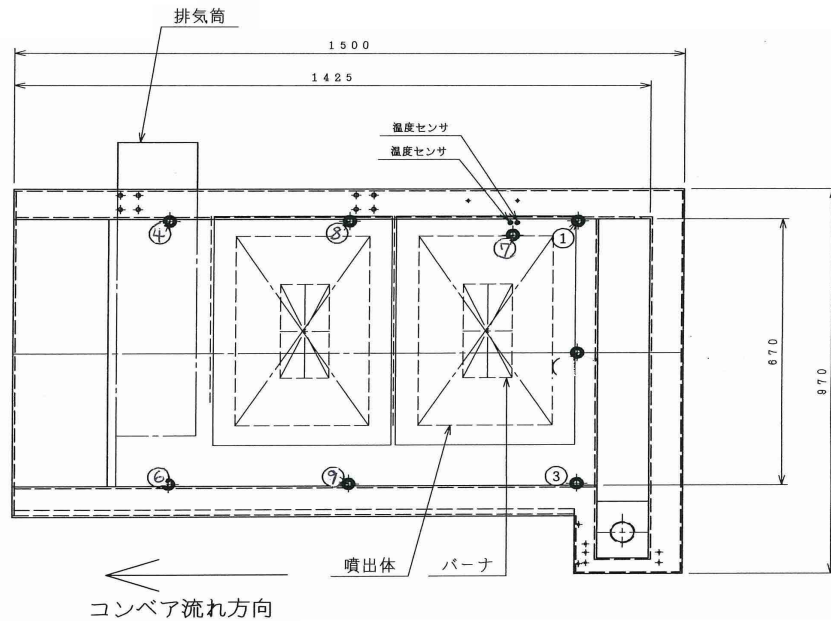


図 7-5 温度測定点

<調理能力> フライ面積 1100 × 550 mm

<取出し時芯温>

$$(1100/1100) \times (60 \text{分} / 6 \text{分}) \times 96 \text{個} = 960 \text{個} / \text{h} \quad 90 \text{以上}$$

考察 (川下業者からの意見)

フライ面積が同じ、他の連続フライヤー (ガス式、電気式) では、油槽に対し食材がフルに投入されている時は油温が横ばい、ないし投入量によっては下がる傾向にあるのに対し、今回コンベアネット仕様のターボジェット式ではフル投入中にもかかわらず油温が復帰したことから、調理能力が高いことが判断できた。

#### 7 - 4 安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性とコスト等の商品性維持の研究開発及び改良業務を実施

##### 1. 研究内容の概要

製作した試作機により、安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性とコスト見込みについての評価確認作業を実施すると共に、コスト見込みとコスト低減方法の検討、使い勝手の検討及びメンテナンス性等の商品性についての検討及び改良作業を実施した。

##### 2. 研究実施内容

各種改良を施した試作機について、安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性とコスト見込みについての評価確認作業を実施した。

##### 3. 研究結果及び成果

製作した試作機に各種改良対策を施した後、安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性についての評価確認作業を実施すると共に、コスト見込みの検討を行った。

その結果、安全性、耐久性、品質信頼性及び生産性については、限られた時間ではあったが川下業者のアドバイス・評価も得て、ほぼ満足できる結果と成果を得られていると判断している。

しかしながらこの種商品の実使用年数からすると評価時間が不十分であり、今後の商品化までのステップの中で、1年間程度の市場モニター評価という確認作業が必要と考えられる。

なお、コスト見込みについては現時点では大雑把な見込みしかできていないが、今後の商品化へのステップの中で詳細なつめを行い、精度を上げて行いたい。

#### 7 - 5 本燃焼方式の他分野への応用の検討

##### 1. 研究内容の概要

本燃焼方式は、熱処理炉や乾燥炉への応用が期待されるため、川下業者との協調関係を構築し、応用の可能性を検討する。

##### 2. 研究実施内容及び結果

本研究開発の成果の普及効果が期待できる分野として、以下の業種を想定している。

- (1) 空気調和装置
- (2) 燃料電池のガス改質器
- (3) 各種化学反応塔
- (4) 液体加熱機器
- (5) 厨房機器
- (6) 解凍装置
- (7) コンベア型焼き物加熱装置
- (8) 熱処理用の工業用加熱炉及び乾燥炉

この内、本事業において、事業化への検討を行ったのは、次の4テーマである。

食器洗浄機の洗浄液加熱装置への適用

洗浄槽の中の洗浄液を、洗浄槽の底板側板から高効率で加熱する「洗浄液加熱装置」へ適用の可能性、設定仕様及び留意点等について川下業者とも連携しつ



つ、事業化へ向けた検討を行った。

(平成 25 年度に事業化の目標)

温風発生装置への適用

本加熱方式を空気加熱へ適用する空対空熱交換器の適用方法として、フィン付円筒管の内壁をターボジェット燃焼による排気噴流で強力加熱する方式の検討を行った。

(平成 25 年度に事業化の目標)

コンベア型焼き物加熱装置への適用

種々の用途に利用可能と思われるが、第一の適用装置として、コンベア式の焼き物装置の検討に着手している。ターボジェット燃焼による排気噴流を下方に噴出し、コンベア上を移動する被加熱物を焼き上げるもので、商品化の検討を開始している。

(試作機を製作し、効果を確認の上、商品化を目指す計画)

燃料電池のガス改質器への適用

燃料電池のガス改質器のメンブレンリアクターの加熱に、本加熱方式を適用した場合の加熱ユニットの具体的な形態についての検討を行った。

(過去に問合わせや引き合いのあった先へ、提案する予定)

また、本事業の委員会において、2 月下旬に東京ビックサイトで開催される国際ホテルレストランショー、フードケタリングショー、厨房設備展(3 展示会の同時開催)に出向いて、適用候補機器の調査と、本開発技術適用の可能性と課題について出展者に打診してみるべきとのアドバイスを受けて、本事業の本開発技術の適用先の調査・検討及び打合せのため、先の展示会へ出向いて調査検討を行った。

その結果、大手業務用厨房機器メーカー 3 社の開発担当者あるいは開発責任者と有効な打合せを行うことができた。

## 最終章 全体の総括

### 1. 2 年間の研究開発成果

#### 空燃比制御の追従性についての研究開発

平成 22 年度、本研究開発内容については、まず空燃比制御の追従性を高めるソフトウェア開発を行った。試作したセラミック型及びステンレス型の両バーナユニットについて、基礎試験データをもとに、両バーナユニットを制御する組込みソフトウェアの主要な基本部分を開発し構築すると共に、動作確認のための制御及び操作・表示基板を製作した。

また、空燃比制御に関わる組込みソフトウェアの開発に併せて、空燃比制御を補完するために、両バーナユニットについて、燃焼良好域を拡大するためのバーナ構成の試作改良研究とバーナ部構成部材の設定仕様についての各種改良検討を行い、それぞれ初年度作業終了時点で有効な条件・仕様設定を行った。

平成 23 年度の本研究開発内容の、空燃比制御の追従性を高めるソフトウェア開発については、昨年度の成果をもとに、更に各所に改良を加えたソフトウェアの改良開発を行い、当初計画のターボジェット燃焼・伝達システムを実用化するための組込みソフトウェア開発の成果を上げることができた。

また、燃焼良好域拡大とバーナ部構成部材の品質向上を目的とした、各種改良を施した改良型バーナユニットを製作し、昨年度試作機に比べて燃焼性能面でも熱伝達性能面でも確実に完成度を高めることに成功した。

#### 点火時の燃焼共鳴音の発生防止についての研究開発

平成 22 年度、本研究開発内容については、セラミック型及びステンレス型の両バーナユニットについて、点火時の点火試験データをもとに、緩点火と燃焼共鳴抑制のための制御ソフトウェア開発を行った。

また、これらの作業に平行して、点火時の燃焼共鳴音抑制に効果があると思われる、燃焼排ガス排気通路関連の形状見直しの改良作業も行い、効果のある改良対策を抽出できた。

平成 23 年度は、セラミック型及びステンレス型の 2 種類のバーナユニットにおいて、新しいアイデアを元に適正な緩点火と燃焼共鳴音抑制のために制御ソフトウェアの改良開発を行った。

その結果、ステンレス型バーナユニットについては、点火・燃焼共鳴音共にほぼ支障の無い状態までコントロールできる成果を得たが、セラミックバーナユニットについては、燃焼共鳴音の抑制に完全に成功したとは言えない状態にあり、達成度は 80% 程度の状況である。

更に、点火時の燃焼共鳴音の抑制に効果があるとされる排気側の負荷低減と排気通路の形状変更にも着手し、効果の期待される諸対策を実施しこの面での効果は確実に得られた。

#### バーナ及び噴出体の耐熱・耐久性及び歪み対策の対策にていて研究開発

平成 22 年度、本研究開発内容については、バーナ材料の劣化や逆火を招くバーナの過熱を防止するための研究開発を行い、まず制御面では、センサによりバーナの昇温状態を検知し、燃焼状態を制御するソフトウェアついでの開発を行い、このための制御の基本を構築した。

次に、セラミック型バーナユニットの構成部材について、耐熱性、耐熱衝撃性及び低膨張収縮性を考慮した材料選択の検討と、試験による評価・検討を行い、本システムにおける材料選定の目安を得ると共に、改良点も明らかとなる成果を得た。

更に、ジェット噴出体について、温度上昇の抑制方法、熱変形・熱歪みに効果のある形状及び熱処理方法について検討を行い、対策方法の内容を把握するとともに、更なる対策方法抽出にも展望を開いた。

平成 23 年度は、引き続き改良を進めバーナ燃焼室及び排気噴出体の耐熱・耐久性の向上と歪み抑制対策について、制御、材料の評価・検討及び形状変更・熱処理の面から対策検討を行った。

まず初めに、制御面の開発については、過熱防止用のセンサ出力を利用した燃焼制御方法の改良開発を行った。

次に材料の評価・検討については、約 200 サイクルの断続燃焼耐久評価試験を行って、今回使用した材料でほぼ支障のないことを確認した。併せて、セラミック製の噴出体を利用した比較試験を行った結果、熱効率に比較的良好な値が出ており、熱変形のない材料として今後の可能性に期待を残した。

なお、ジェット噴出体の温度上昇抑制のため改良対策試験を行い、この点につい

てもある程度の成果は得られたと判断している。

熱歪み除去のための「焼きなまし」の効果については、今回のトライだけでは十分に確認できなかった。今後更に検討を続けたい。

#### ファンの最適仕様の抽出及び燃焼部気密構造の維持と各部安全性確保についての研究開発

平成 22 年度、本研究開発については、ファンの最適仕様の追求と安全センサを利用した、空燃比制御の組込みソフトウェアの開発が主な作業であった。

この中で、ファンの最適仕様の決定については、本システムに必要な高吐出圧を確保できる燃焼ファンの仕様設定を行うためのファン試作評価作業を行った。

この結果、燃焼ファンとして必要な条件を把握することができ、次のバーナユニットの改良試作に合わせて製作予定の燃焼ファン仕様がかなり明確となった。

また、安全センサを利用した空燃比制御のための組込みソフトウェアの開発については、最初にセンサの設定条件について調査検討を行い、この結果を反映した組込みソフトウェアの開発作業に当たり、年度末には組込みソフトウェア全体の基本形を構築できた。

平成 23 年度はまず、燃焼ファンの最適仕様についての継続研究が最初のテーマであった。このテーマについては昨年の採取データをベースに送風機としての効率と騒音も加味した総合的な評価を行い、本燃焼システムに必要な送風機の条件を明らかにした。

次に、燃焼ファンの応答遅れを考慮した制御性能と追従性についてのソフトウェアの改良開発と燃焼補正制御用センサの選定・使用方法及びソフトウェアへの利用方法についての研究開発を行い、本バーナユニットの課題として残されていた2つの大きな制御上の課題に対策を講じることができた。

#### 組込みソフトウェアの耐久性・誤動作の防止についての研究開発

本研究開発内容については、開発したソフトウェアを組み込んだマイコンの耐熱・耐久性と誤動作防止についてのものであり、まず、マイコンの耐熱・耐久性の研究については、マイコンを搭載した信頼性評価用基板を用いて、耐熱性加速評価試験とヒートサイクル試験を行った。

次に、同上の基板を連続式コンベア型フライヤに搭載して誤動作評価確認試験を行うと共に、各種電気耐性試験を行った。

どちらの試験でも特性に劣化とは見られず良好な結果を得た。

更に、同上の基板をバーナユニット試作機に搭載して焼く 200 回の断続燃焼ヒートサイクル試験も行い、耐熱耐久性についての確認試験を行った。

結果として、試験前後を比較して、大きな変化や劣化は確認されなかった。

#### 連続式コンベア型フライヤの試作開発に伴う課題についての研究開発

平成 22 年度、本研究開発内容については、ステンレス型バーナユニットを組み込んだ連続式コンベア型フライヤの試作開発を行うと共に、各種性能試験評価と目標性能を満足させるための各種改良業務を行った。

まず、製作した試作機については、事前の調査・検討に川下業者のアドバイザの意見を極力反映したものとした。

各種性能試験評価の結果は、当初設定した目標性能については、熱効率：約 5

2%（目標は65%以上）熱交換部の省資源：25%減（目標仕様では25%減）  
NOx：約80ppm（目標は40ppm以下）と2項目で目標に到達できなかった。

そこで平成22年度作業終了の時点で改良対策案をいくつか抽出し、次年度に改良改造対策を講じることとした。

平成23年度、本研究開発内容については、本年度改良型のステンレス型バーナユニット及びセラミック型バーナユニットを組み込むと共に川下業者のアドバイザの意見を再度反映し、連続式コンベア型フライヤの改造を行うと共に、各種性能試験評価と目標性能をクリアするための各種改良・調整の作業を行った。

この改良試作機の各性能試験評価の結果は、当初設定の目標値に対し、熱効率：セラミック型バーナで約67%、ステンレス型で約63%（目標は65%以上）、NOx：セラミック型バーナで約15ppm（目標は40ppm以下）の良好な値を得ることができた。

更に、目標設計仕様を満足させるための試作研究については、試作機について川下業者の視点で評価を依頼した結果、実調理性能に於いて川下業者からの合格点を得られた。

## 2. 研究開発後の課題

本事業を実施して、本燃焼バーナの燃焼伝達技術の向上と、これを実現するための本燃焼バーナ特有の問題点について1つ1つ対策案を検討してきた。

その結果、前項で述べたような多くのバリアをクリアし、本燃焼バーナの潜在力を開花させることができる端緒に着いたと実感を持っている。

しかしながら、2年間の本事業の研究開発でも完全にクリアできなかった問題や、本事業の研究開発を進める中から浮上してきた問題点及び今後の事業化に向けての問題点等、今後の課題と思われる点を列挙したい。

### ジェットの噴出体の熱変形対策

本燃焼バーナはバーナ下流側をジェット噴出体で閉塞するような構成となるため、ジェット噴出体が熱膨張し変形することが避けられない。

このジェット噴出体の熱変形を抑制する技術の更なる開発と、熱膨張の少ないセラミック製の材料を実用に供する道を開くことが第一の残された課題と考える。

### セラミック製バーナユニットの燃焼制御

本燃焼バーナの内、セラミック製バーナユニットについては高負荷で使用する場合や耐熱・耐久性を考えると、新しいセラミック材料の開発、セラミックプレートの上限度を超えないような燃焼補正制御ソフトウェア内容の拡充及びこの目的に使用する専用のセンサの開発など、構成要素部材の開発も含めた、もう一段の研究開発が必要と考える。

この課題は自主開発の形で技術の進展を努力する計画である。

### 本バーナユニット適用へ向けてのコスト低減

本バーナユニットを適用する場合のコストアップが課題である。本バーナユニットは他のバーナと異なる点が、数項目ある。

1. ターボ式ファンが必要
2. 燃焼室は耐高温酸化材料で構成する必要がある、更に気密性を確保するため、

溶接を取り入れた組み立てが必要である。

3. ジェット噴出体を耐高温酸化材料（あるいはセラミックス材）で制作する必要がある。
4. ファインな制御を行うためのレベルの高いソフトウェアを組みこんだ電子制御装置が必要である。

本開発バーナはこれらのイニシャルコスト面のデメリット要素を超えて余りあるランニングコスト面のメリットがあるが、市場で普及を考えると上記コストアップ要素に対する徹底したコスト低減が不可欠と思われる。

### 3. 事業化展開

本事業の事業化計画書の中で報告し、本稿の第7章7-5「本燃焼方式の他分野への応用の検討」の中で、今後の応用・適用の期待できる分野について報告したが、本事業を2年間実施する中で具体性を持ってクローズアップされてきた第一段階の事業化テーマは次の2テーマである。

#### 連続式コンベア型フライヤ

本事業の中で適用化代表機能として研究開発を実施できたので、川下業者と連携を取りながら仕様を詰めてきた。

平成23年度の最後の作業として3月には、改良型試作機を冷静な目で評価して頂き、良好な結果を得られている。

今後は川下業者主導の元、モニタ評価のステップを計画しており、これを経て平成25年度には市場導入が始まる計画である。

販売開始初年度の計画数は約30ユニットである。

#### 洗浄液加熱試験装置

この用途は、当社が食器洗浄機用のガスブースタを取扱う中で、ニーズの存在を確信した加熱装置である。従来品方式では低熱効率と清掃性が悪い状態を耐えている状況にあり、いち早く商品化が望まれる。

先の川下業者も平成25年度からの市場導入を計画している。

但し、この加熱装置は、特定の業者向けに販売する予定はなく、ある程度の猶予期間をおけば大手厨房機器業者全てに対するPRの計画をしている。

この装置の販売開始初年度の計画数は40ユニット、2年目は150ユニットと考えている。

さて次の第二段階の事業化テーマとしては、平成26年度以降の市場導入を目指して現在のところ次の3テーマを計画している。

ゆで麺機への適用

温風発生装置への適用

コンベア型焼き物加熱装置への適用

このテーマの内、については加熱装置が液体ではないので、事前に耐久・信頼性の研究と市場ニーズの調査が不可欠と判断している。

以上、本事業の中で実施させて頂いた貴重な成果を、少しでも早く事業化へ移すことが求められてと考えており、引き続き全力で事業化へ向けて諸作業を推進する覚悟である。