

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「薬液配管継ぎ手結合用 PFA チューブフレア化自動装置の研究開発」

## 研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局  
委託先 特定非営利活動法人ものづくり支援機構

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

#### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

##### 1-1-1 研究開発の背景

##### 1-1-2 研究開発の目標

#### 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

#### 1-3 成果概要

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 加熱処理方法の最適化に関する研究

#### 2-1 1インチ径以下適用マイクロ波加熱

#### 2-2 2インチ径適用内外径抵抗輻射加熱

### 第3章 成型処理方法の最適化に関する研究

#### 3-1 最適成型部構造

#### 3-2 結合特性性能評価研究

### 第4章 チューブフレア化自動装置の試作開発

#### 4-1 小口径フレア化装置の試作開発

#### 4-2 1インチ径適用大口径フレア化装置の試作開発

#### 4-3 2インチ径適用大口径フレア化装置の試作開発

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・目的及び目標

#### 1-1-1 研究開発の背景

フッ素樹脂材料の配管、バルブ、流量計、フィルター等の薬液配管結合の手法としては、一部の特殊需要向けのフッ素樹脂配管直接熱溶着以外は、PFA あるいは PTFE フッ素樹脂材料による継ぎ手が配管結合に使用されている。現在の市場において使用されている継ぎ手構造は「インナーリング構造型」と「フレア構造型」と称されるグループに大別される。

「インナーリング構造型」は抜けあるいは液漏れが防止でき、小口径配管でチューブの結合のための変成をすることなく作業できる利点があるが、一方で部品点数が多くコスト高で、配管内部のリング構造による液溜りがしやすい点、配管内径がチューブ径より小さくなり流量低下がおき、必要な場合には全体配管径を1サイズ大きくする必要が生じる、また結合作業においてはインナーリングのチューブ内部挿入を必要とするため作業性が悪いなどの課題がある。

「フレア構造型」は結合により配管内径が小さくなることなく、部品点数も少なく低コスト化ができ、液溜りが生じにくいという利点があるが、一方で結合の前にチューブ配管の結合端面を加熱処理し、フレア成型治具を用いてチューブ端面をフレア加工処理する必要があり、このフレア加工の精度が悪い場合には液漏れや配管抜けなどの問題がある。

フッ素樹脂材料の薬液配管及び機器の世界市場規模は 1350 億円(フッ素樹脂系継ぎ手付バルブ等部品類:1000 億円、継ぎ手本体市場:150 億円、チューブ本体市場:200 億円)であり、数量においてその約 60%が「フレア構造型」となっている。このタイプの市場占有率が高い主要因は、部品点数が少なく低コストで、また結合形成後に液溜りの少ない構造が形成でき液置換性に優れる特性による。このため結合性能が担保できれば近い将来にはそのシェアは 80%から 85%になると予測されている。しかし信頼性が高く結合性能の高いフレア構造の結合を行うには、事前に PFA チューブ端面を高精度にフレア化加工を行う必要があるが、現在のところ低価格・小型でかつ高速さらに簡易な操作で高精度なフレア加工が行える自動機がなく、接続現場においてヒーターガンによる 300℃近い加熱とフレア化治具を用いた手作業加工が一般的となっている。

一方、接続に関する市場の性能要求は、第一に高温(200℃)液体使用に於いても不純物の溶出がなく、かつ継ぎ手部分において液漏れを起さず、さらに液溜りの生じないものが望まれている。これらの要求に対してフレア型継ぎ手の場合、接合シール箇所がチューブ端面フレア加工箇所となるため精度の高いチューブフレア化加工が必要となる。現状の手作業加工における信頼性は作業者の習熟度により左右され、高温薬液ライン(特に強酸、強アルカリ薬液など)における接合不良による液漏れなど生産現場管理上の大きな問題を引き起こす要因となる。また作業生産性が低く装置製造コスト及び生産ライン製造コストの上昇要因となっている。

チューブ口径が1インチ以上の場合、手作業による不均一加熱によってフレア化加工にさらに大きなバラツキが生じるとともに、加工時間がかかり、また高温加熱手作業による危険性も生じる。

前記のような課題があるにも係わらず、現在自動処理化が行われていない大きな原因は、従来主流であった 3/4 インチ以下の配管系ではフレア加工精度バラツキによる問題がクローズアップされなかったことと、川下製造業者側の視点が配管機器類の性能、配管長の短絡化、部品単価等の課題に優先視され、数値把握の点で見えにくい結合作業による品質バラツキや作業効率によるコスト課題がリスト上において下位にあったためである。しかしながら川下製造業者側が要求しているプロセスは今後さらに大流量、高温、高流速化となるため配管結合構造及び高精度による配管

結合信頼性は大きな課題であることに加え、現状の景気停滞を受けて川下製造企業のコストダウン意識はすでに当該の配管関係の作業効率化に及んでおり、大手の装置メーカー等ではすでに信頼性、作業性の高い配管継ぎ手への変更計画の検討に入っている。

本開発では、上記の背景と課題を解決する目的で、現在までに得られている基礎実験の成果を基に、安全で低コスト、コンパクトなチューブ口径1.5インチの大口径チューブ加工まで可能なセラミック輻射均等加熱法によるチューブ端面フレア化自動化装置を開発する。

## 1-1-2 研究開発の目標

本研究開発の目標及び目標値は以下の通りである。

### 1. 生産性向上のための高速化、省力化の研究

#### ① フレア化加熱加工部とフレア成型加工部の自動作動の効率化・最適化設計、駆動軸の省力化の研究

従来の作業手法（ヒーターガンによるチューブ端面加熱処理）においては、外径 12.7mm（1/2”）径のチューブでは45秒程度の加熱を必要とし、温度制御は高精度の処理はなされていない。また、手作業加熱によるチューブまでの距離によって温度が大きく変化し管理ができず、加熱処理終了後の治具によるフレア成型処理では圧入の中心軸精度は低精度であり、圧入及びその後の冷却、さらに脱着に要する時間は180秒程度となる。一例として、外径 12.7mm（1/2”）径のチューブでは装着と脱着時間を除外しても1箇所の加工に3分45秒以上を必要とする。さらに手動フレア加工はフレア角度、直径、長さ、中心精度、全体の直角度などが管理できず、信頼性が低いものとなっている。

本研究開発における自動化処理の技術的目標値は加熱時間を除く処理時間を装着と脱着時間を含めても30～45秒とし、加熱完了後、自動的に冷却フレア成型ロッド装着ヘッドへ加熱チューブ端面が挿入され、タイマー制御時間の冷却後、フレア成型チューブを自動的に脱離処理する。この一連動作自動化駆動軸を最少化する設計検討と試作を行う。このことにより自動化によりフレア加工の精度（角度、寸法、中心精度、直角度など）が飛躍的に向上し性能面で信頼性・安全性が向上する。

#### ② マイクロ波加熱利用による高速応答加熱の研究

加熱処理に関して均一で温度制御に高精度でかつ高速応答を実現し、処理の高速化と安定性を実現するために、マイクロ波電磁波エネルギーによるセラミック熱輻射体を用いた間接加熱方法で、昇温までの時間短縮と電磁波加熱による昇温、減温の高速応答性を利用した高精度加熱を目指す。これにより従来の手法の加熱実施時間45秒に対して、温度制御±3%及び昇温時間25秒を技術的目標値とする。

### 2. 加熱処理方法の最適化に関する研究

#### ③ セラミック熱輻射加熱部構造の研究

従来のヒーターガンによる熱風電熱加熱ではチューブ軸方向、径方向及び特に肉厚方向に均一性が保てない。この結果変形チューブ肉厚に部位変位を生み、結合の信頼性に大きく影響する。本研究開発ではセラミック熱輻射加熱により断面方向に過熱変位のない処理方法を用いるが、このセラミック熱輻射体の径、形状、長さ、厚み、及びチューブ内外加熱の比較研究を行い、その構造の最適化により技術的目標値としてチューブ軸方向、径方向及び特に肉厚

方向温度均一性±5%を実現する。

また大口徑肉厚チューブフレア化加工時に、チューブ内外径部加熱温度の均一化を実現させるための内外管壁の二重化加熱構造の検討も行う

#### ④ セラミック熱輻射加熱部材の最適化の研究

現在までの基礎実験では、高純度アルミナを用いたセラミック熱輻射体による加熱実験により実用レベルの加熱効果を得ているが、さらに効率のよい可能性材料として、マイクロ波吸収の異なる誘電率及び熱伝導率及び熱輻射特性の異なるSiC・ALN材による比較検討研究を行い、加熱必要時間を前記1-2項の目標値よりさらに20%減、熱均一性の2%減を技術的目標値とする。本研究で得られる結果は特許化技術として有利であり、将来の競合者との差別化が図れる技術要素となる。

### 3. 成型処理方法の最適化に関する研究

#### ⑤ 結合特性性能評価研究

フレア構造継ぎ手メーカーの継ぎ手を用いて結合評価試験を実施し、手動フレア加工作業時と自動処理加工時の結合性能比較評価を、引っ張り強度試験、気密試験、熱サイクル試験、純水置換試験、サイドロード試験等で実施し、従来の手作業加工処理時の性能に対して、引っ張り強度ばらつき比:1/5、耐熱サイクル試験:従来比の3倍、純水置換性能:従来比の1/2以下を技術的目標値として設定し、1. 及び2. の研究項目へフィードバックする。これにより成型上のメーカー別適応ノウハウが蓄積され将来の競合者との差別化が図れる技術要素となる。

### 4. PFA チューブフレア化自動装置の試作開発

#### ⑥ 小口径フレア化装置の試作開発

前記①「フレア化加熱加工部とフレア成型加工部の自動作動の効率化・最適化設計、駆動軸の省力化の研究開発」、前記②「マイクロ波加熱利用による高速応答加熱の研究開発」、前記③「セラミック熱輻射加熱部構造の研究開発」、④「セラミック熱輻射加熱部材の最適化の研究開発」で試作した「自動作動操作機構モジュール」、「加熱処理モジュール」、「制御モジュール」を統合して1/2インチ以下の口径チューブに対する小口径フレア自動加工装置を試作し、適合チューブの結合における、前記3.「成型処理方法の最適化に関する研究」を実施する

#### ⑦ 大口徑フレア化装置の試作開発

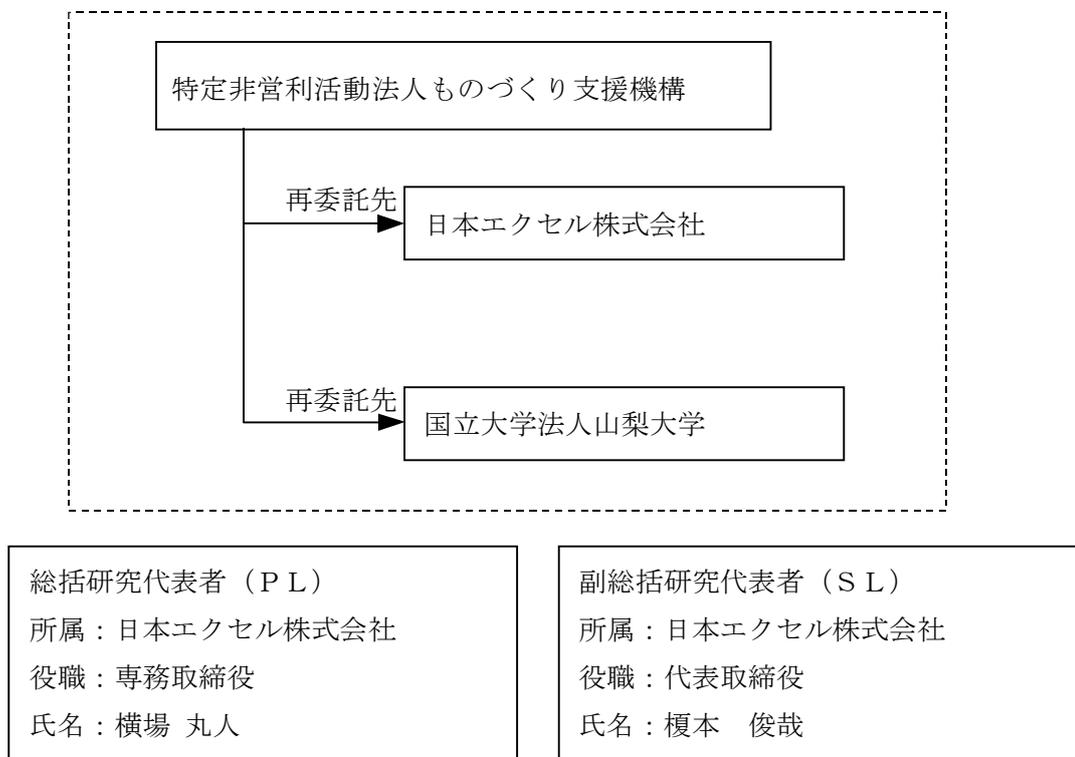
大口徑チューブ加工においては、口径の大型化は増加口径寸法の2乗の加工負荷がかかり、チューブ肉厚方向に対する加熱均一化、フレア成型時の変形負荷の増大、変形加工時間等が課題となる。

前記⑥チューブ径1/2インチまでの実用試作装置の開発で実施される研究開発によって得られた知見をフィードバックして「自動作動操作機構モジュール」、「加熱処理モジュール」における大口徑フレア自動加工試作装置仕様を明らかにし、大口徑チューブの適合チューブの結合における研究を実施する。

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

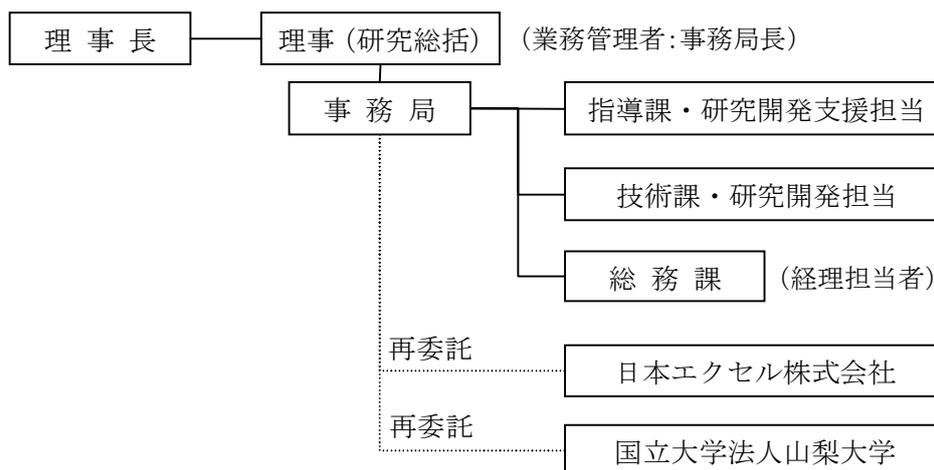
#### (1) 研究組織 (全体)



#### (2) 管理体制

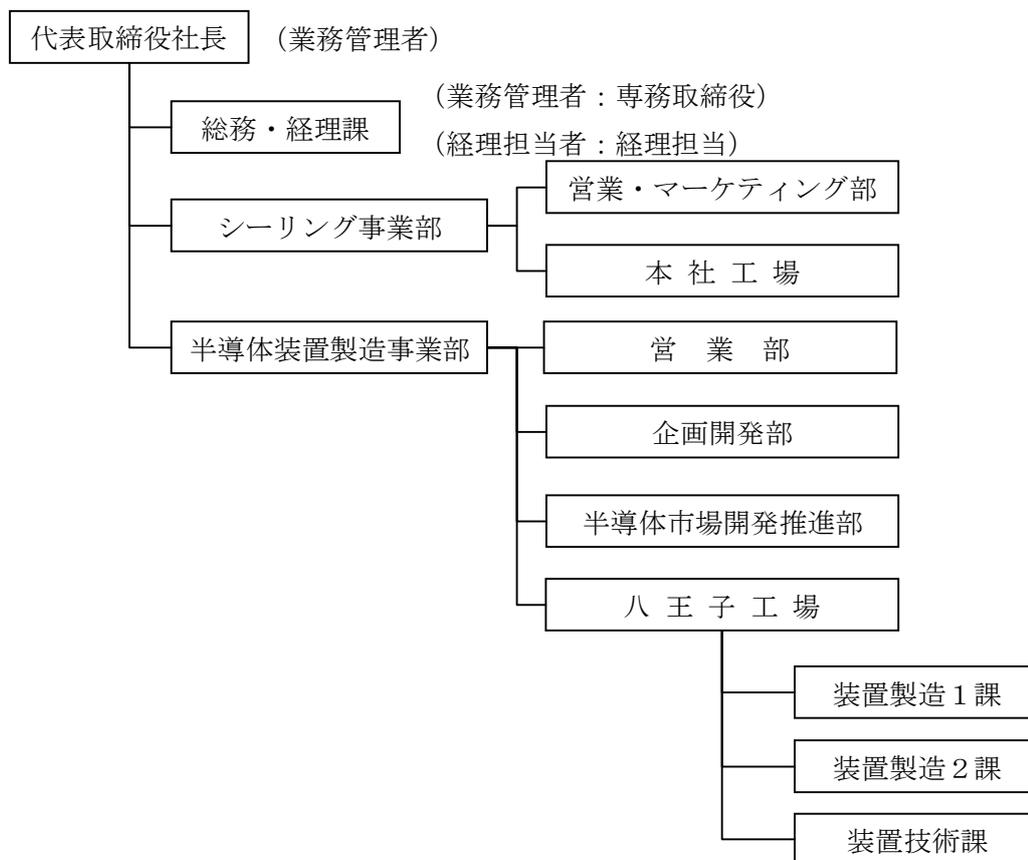
##### ① 事業管理機関

[特定非営利活動法人ものづくり支援機構]

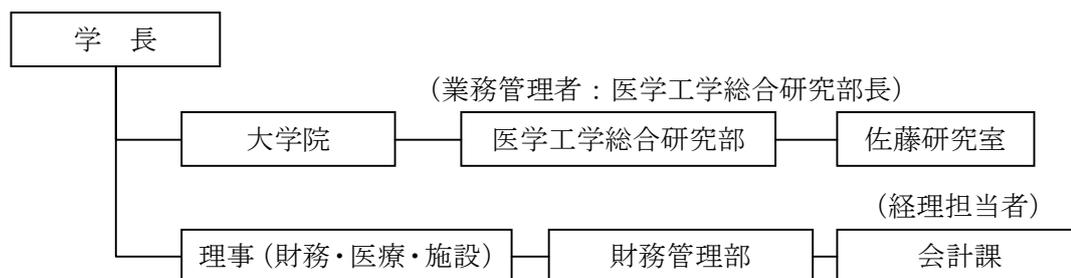


② 再委託先

[日本エクセル株式会社]



[国立大学法人山梨大学]



## (2) 研究員及びプロジェクト管理員（役職，実施内容別担当）

### 【再委託先】

（研究員）

日本エクセル株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
横場 丸人	専務取締役	①②③④
榎本 俊哉	常務取締役	①②③④
真壁 英明	半導体市場開発推進部長	①③④
阿久澤 茂	企画開発部長	①②③
福田 健	企画開発部主任	①③④

国立大学法人山梨大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
佐藤 哲也	大学院医学工学総合研究部 准教授	②

## (3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

特定非営利活動法人ものづくり支援機構

（経理担当者）	総務課長	清水 けい子
（業務管理者）	事務局長	羽田 功一

（再委託先）

日本エクセル株式会社

（経理担当者）	総務・経理課 経理担当	安形 好子
（業務管理者）	代表取締役社長	榎本 重孝
	専務取締役	横場 丸人

国立大学法人山梨大学

（経理担当者）	財務管理部会計課工学部会計グループ 係長	浅川 辰仁
（業務管理者）	大学院医学工学総合研究部長	有田 順

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
横場 丸人	日本エクセル株式会社 専務取締役	<input checked="" type="checkbox"/> PL
榎本 俊哉	日本エクセル株式会社 常務取締役	<input checked="" type="checkbox"/> SL
真壁 英明	日本エクセル株式会社 半導体市場開発推進部長	<input checked="" type="checkbox"/>
阿久澤 茂	日本エクセル株式会社 企画開発部長	<input checked="" type="checkbox"/>
福田 健	日本エクセル株式会社 企画開発部主任	<input checked="" type="checkbox"/>
佐藤 哲也	国立大学法人山梨大学 大学院医工学 総合研究部 准教授	
羽根 輝哉	キャノン株式会社 装置技術課	アドバイザー
今村 均	ダイキン工業株式会社 テクニカルサービス部	アドバイザー
西尾 清志	B I T株式会社 代表取締役	アドバイザー
安留 勝敏	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 理事（研究総括）	
羽田 功一	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 事務局長	
清水 けい子	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 総務課長	
荒井 哲司	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 技術課長	

### 1-3 成果概要

本研究では、最終的にチューブ口径2インチ大口径チューブサイズ対応のフレア化自動化装置の実現を達成したが、チューブ口径増大による処理負荷が最低でも径の2乗に比例することから、当初より1/2インチ径の小口径用試作装置開発、続いて1インチ径大口径用試作装置開発を行い、それぞれの構成要素処理モジュールの開発を随時進め、またフレア化処理後の信頼性検証を行った。具体的には以下に挙げるサブテーマに対しさらに細かいテーマを定めて研究を行った。

#### [平成22年度実施]

1. 生産性向上のための高速化、省力化の研究
  - ① フレア化加熱加工部とフレア成型加工部の自動作動の効率化・最適化設計、駆動軸の省力化の研究
  - ② マイクロ波加熱利用による高速応答加熱の研究
2. 加熱処理方法の最適化に関する研究
  - ③ セラミック熱輻射加熱部構造の研究
  - ④ セラミック熱輻射加熱部材の最適化の研究
3. 成型処理方法の最適化に関する研究
  - ⑤ 結合特性性能評価研究
4. PFAチューブフレア化自動装置の試作開発
  - ⑥ 小口径フレア化装置の試作開発

#### [平成23年度実施]

- ⑦-1 1インチ径適用 大口径フレア化装置の試作開発
  - ⑦-1-① セラミック熱輻射体マイクロ波加熱負荷部分への設置位置評価研究
  - ⑦-1-② チューブ内外径での加熱均一性評価研究
  - ⑦-1-③ 評価試験装置の試験信頼性の評価と改造等の検討
  - ⑦-1-④ 小口径フレア化自動化装置での装置構造評価と性能評価研究
  - ⑦-1-⑤ 1/2インチ径以上の大口径フレア化自動化装置試作研究

#### [平成24年度実施]

- ⑦-2 2インチ径適用大口径フレア化装置の試作開発
  - ⑦-2-① 量産に対応したシステム簡素化による低コスト化の検討研究
  - ⑦-2-② 2インチ外径フレア加工に対応する加熱方法の検討研究
  - ⑦-2-③ 2インチ外径フレア加工に対応する成型部構造の検討研究
  - ⑦-2-④ 2インチ外径フレア加工に対応するチューブ把持構造の検討研究

これらの研究成果として、

○内外径抵抗輻射加熱法2インチチューブ径対応フレア化自動装置開発

○マイクロ波セラミック輻射加熱法1インチ以下のチューブ径対応フレア化自動装置開発

○フレア加工チューブ結合特性評価を可能とする評価ユニットの開発

○フレア自動化加工の条件最適化と結合特性評価

1 インチ径以下チューブでは、自動化処理時間1サイクル60秒から90秒内で、繰り返し加工精度は1%以内を実現した。2 インチ径チューブでは、自動化処理時間1サイクル6分内で、繰り返し加工精度は2%以内を実現した。

結合特性評価においては、耐圧性能、気密性能、引っ張り試験（気密状態）の評価全てにおいて、目標性能を上回る評価となり、1 インチ径以下で実施の圧力損失性能、液置換特性、熱サイクル性能においても目標性能を上回る結果を得、加工自動化による品質安定に大きく寄与できることが証明できた。

今後、本年度までに得た様々な知見を活かし、実用化を目指した現場施工対応2インチ対応量産装置の仕様検討と性能適応への継続研究を行う予定である。特に2インチ対応は2015年頃の実用化を目指し、大規模太陽電池製造工場ライン等での使用を想定していて、従来のフッ素樹脂内面コーティングライニング配管に置き換え可能な、非ガス透過性外径2インチ径のPFAチューブ開発の実用化に伴うものであり、タイミング的にも申し分ないと考えられる。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

機関名	所在地	所属部署・役職・ 担当者氏名・連絡先
日本エクセル 株式会社	〒192-0355 東京都八王子市 堀の内二丁目13番18号	所属部署： 役職：専務取締役 担当者氏名：横場 丸人 TEL：03-3428-6311 E-mail：nxyokoba@theia.ocn.ne.jp
国立大学法人 山梨大学	〒400-8511 山梨県甲府市 武田四丁目4番37号	所属部署：大学院医学工学総合研究部 役職：准教授 担当者氏名：佐藤 哲也 TEL：055-220-8627 E-mail：tetsu-sato@yamanashi.ac.jp
特定非営利活動法人 ものづくり支援機構	〒403-0004 山梨県富士吉田市 下吉田四丁目15番10号	所属部署： 役職：事務局長 担当者氏名：羽田功一 TEL：0555-23-4780 E-mail：kouichi.h@npo-mono.jp

## 第2章 加熱処理方法の最適化に関する研究

### 2-1 1インチ径以下適用マイクロ波加熱

フレア成型の加熱において、チューブ軸方向及び断面肉厚方向に均一加熱を行うことが重要な課題である。セラミック熱輻射マイクロ波加熱方法は赤外輻射及びマイクロ波加熱の両効果が得られることから高速な均質加熱処理を行うことを目的としている。

本研究開発では ①高速応答加熱の研究 ②セラミック熱輻射加熱部構造の研究 ③セラミック熱輻射加熱部材の最適化の研究 ④最適処理条件研究 を 写真 2-1 の加熱実験装置により実験研究を行い、その結果を装置試作に反映させた。

加熱処理部の構造は図2-1であり、セラミック熱輻射体の均質加熱をマイクロ波プラズマを媒体とした電磁波加熱によって加熱を行うものである。

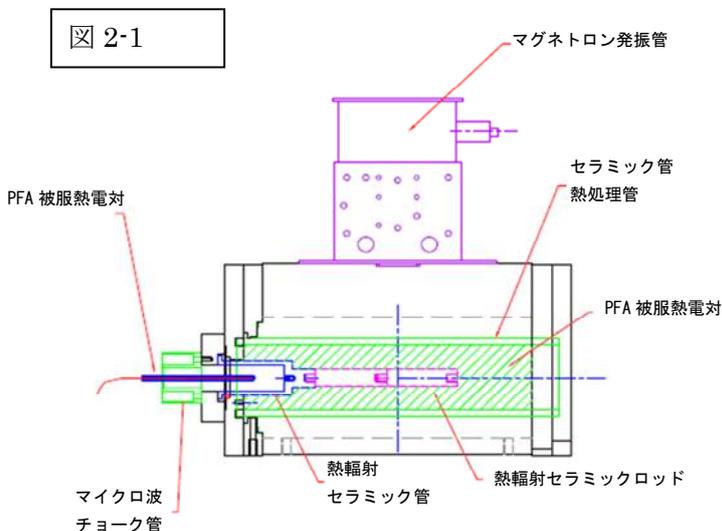


写真 2-1 : 加熱実験装置



加熱速度高速応答及びセラミック熱輻射加熱部材の検討の結果は、図 2-2 で示した。

セラミック部材による加熱差異が見られないのは、採用したマイクロ波プラズマがマルチモードであって、シングルモードのような局所加熱とならず均質にエネルギーが熱変換されセラミック種類による差異が見られないと考える。結果材質はアルミを採用した、プラズマガス種に関し加熱効果評価を実施した。アルゴン>空気=酸素>水素との結果を得たが、コストのかかるアルゴンは絶対条件とはならず、空気

材料毎加熱温度プロファイル

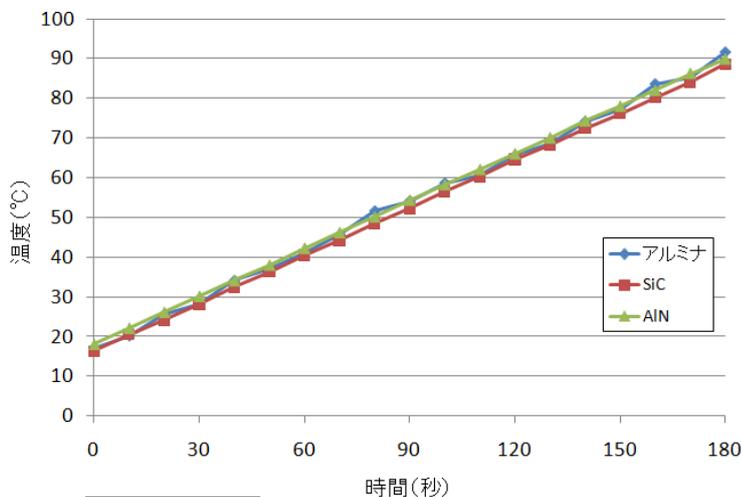


図 2-2

を用いることとした。

温度安定性については図 2-3 に示した。チューブ挿入前に熱輻射セラミック管を 300℃ に昇温させておき、後から挿入するという工程手順と PID 温度制御手法を組み合わせることにより、温度制御 ± 2% 及び 280 度までの加温昇温時間 2.5 秒以内を達成できた。

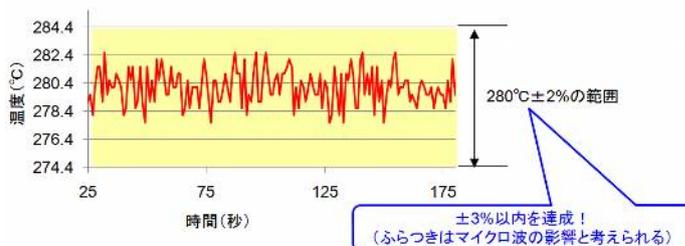


図 2-3 温度安定

また成型時のチューブ座屈を防ぐために加熱部位と非加熱部位の境界を明確化できる加熱構造が必要であり、このための冷却構造を検討した最適構造化を実施した。

図 2-4 に構造を 図 2-5 にその結果を示す。

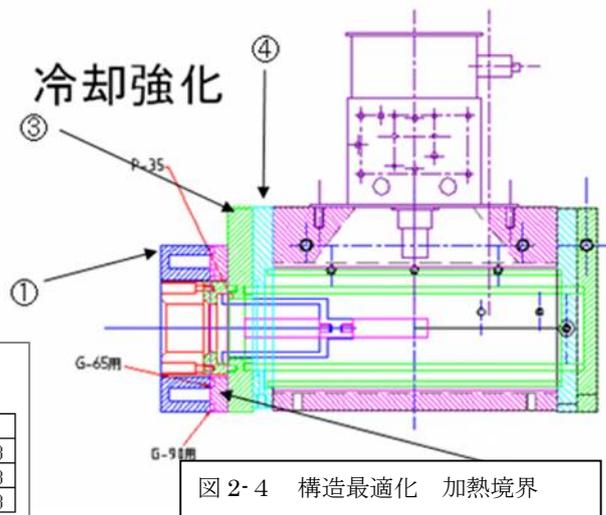


図 2-4 構造最適化 加熱境界

チューブ温度 (加熱取り出し後 接触温度計にて測定)

図 2-5

	1回目	2回目	3回目	平均
チューブ先端5ミリ部	276	270	273	273
チューブ先端20ミリ部	274	272	273	273
チューブ先端35ミリ部	106	110	92	103

温度設定と処理時間条件に関して、1 インチチューブの自動成型試行試験を実施し、ネッキング部分の偏芯がなく、部分変形せず、再現性バラツキの少ない条件として加熱温度を 280℃ とし、処理時間 60 秒設定の結果、成形性、再現性共に良好な結果を得ることが出来た。処理時間ばらつきの確認のために処理時間を 120 秒、90 秒、60 秒と変化させた際にの差異に関して実験・調査を行ったが、いずれの場合においても良好な結果が得られた。写真 2-2 は 1 インチチューブの加熱処理状態を示し、写真 2-3 に成型の結果を示した。

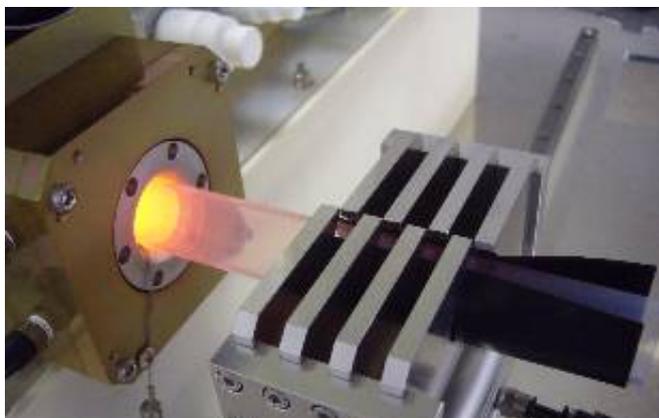


写真 2-2



写真 2-3

## 2-2 2インチ径適用内外径抵抗輻射加熱

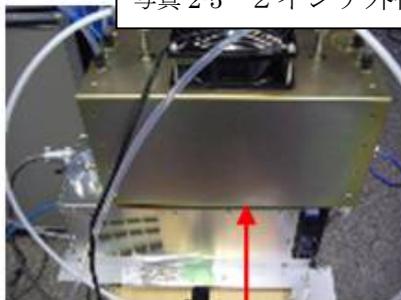
写真2-4に示したとおり、2インチ径チューブは外径φ57.5ミリ、内径φ50.5ミリであり、その肉厚は3.5ミリとなって従来のフッ素樹脂チューブの概念からかけ離れたものとなっている。

このため加熱方法について従来のマイクロ波プラズマによるセラミック輻射加熱手法に加えて、内外径近接抵抗輻射加熱方法、チューブ内面からの輻射加熱が大きい内面赤外線外面近接抵抗輻射加熱の3手法について試作研究を行った。写真2-5参照。その結果の比較を写真2-6に示す。



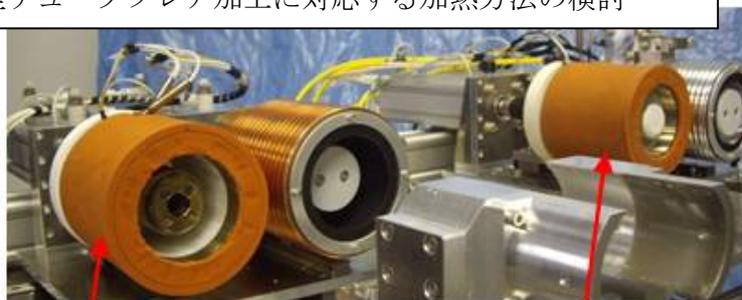
写真2-4

写真2-5 2インチ外径チューブフレア加工に対応する加熱方法の検討



マイクロ波加熱手法

- φ80放電部
- φ60セラミック輻射部
- 750W半波M波電源



内外径抵抗加熱手法

- 部分無機材輻射ヒータ
- 内面外面近接加熱
- 350Wフレキヒーター内外

内径IR外径抵抗加熱手法

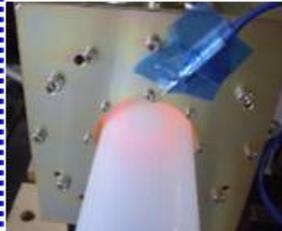
- 内面非近接IR加熱
- 外面近接加熱(予備)
- 250W IRハロゲンヒーター

写真2-6 2インチ外径チューブ加熱方法の比較結果

手動Hガン  
加熱手法



マイクロ波  
加熱手法



内外径抵抗  
加熱手法



内径IR外径  
抵抗加熱手法



マイクロ波加熱手法は、口径の増大によって加熱モジュール内での加熱密度の低下とセラミック熱輻射体のサイズの増加により、高速な加熱はできず、またチューブの加熱・非加熱部境界を明確にすることが困難となった。また内径 IR 加熱は想定外にチューブでの熱吸収が悪くまたハウジング内での熱滞留により部分加熱ばらつきを生じて使用に耐えられる結果は得られなかった。最終評価の結果を 図2-6 に示す。

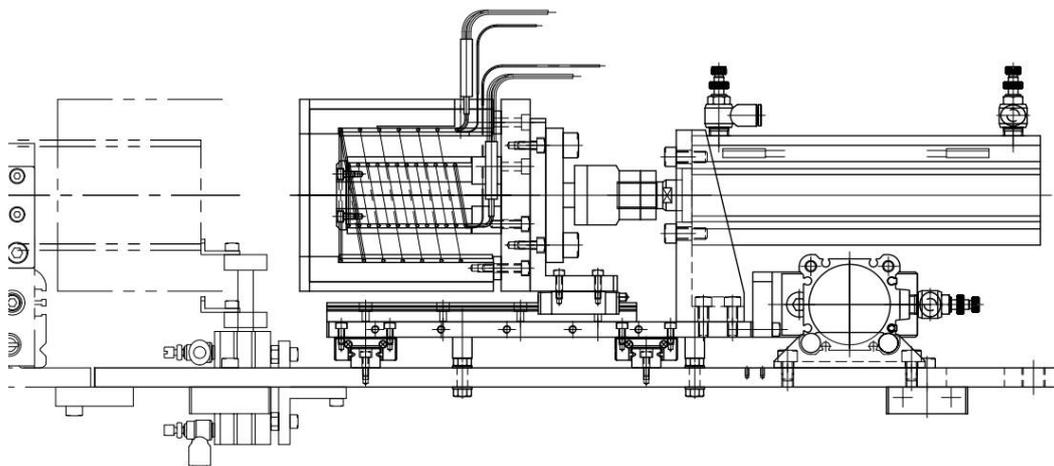
図 2-6 2 インチ外径チューブ加熱方法評価結果

	加熱部/ 非加熱部境界	加熱速度 (肉厚対応)	加熱均一性 内外径
マイクロ波 加熱手法	×	△×	△×
内外径抵抗 加熱手法	○	○	○
内径IR外径 抵抗加熱手法	×	×	×

最終採用となった、2 インチ径適用内外径抵抗輻射加熱の加熱処理部の仕様概要は次の図 2-7 のとおりである。

図 2-7 2 インチ径適用内外径抵抗輻射加熱モジュール仕様

- |   |         |                           |
|---|---------|---------------------------|
| ① | 本体主材質   | A5052、加熱部 SUS304          |
| ② | 駆動方式    | 薄型エアシリンダー                 |
| ③ | 設定圧     | 0.3 [MPa]                 |
| ④ | 移動ストローク | 125 [mm]                  |
| ⑤ | 加熱方式外   | 抵抗巻線型ヒーター(マイクロフレキシブルヒーター) |
|   | 内       | 抵抗巻線型ヒーター(マイクロフレキシブルヒーター) |
| ⑥ | 加熱時間    | 3 分 30 [秒]                |
| ⑦ | 温度調整機能  | コントローラ(SSR電源付)+熱電対        |



本モジュール部分を写真2-7に示した。本加熱モジュールを用いた、成型に係る加熱条件の最適化の結果、内径側温度設定280から300度 外径側300度から320度範囲にて 加熱時間2分30秒から3分 成形時間3分処理にて 再現性高く寸法ばらつき2%以内での結果を得、十分実用化可能な加熱手法を確立した。その成型結果写真を写真2-8に示す。

写真2-7

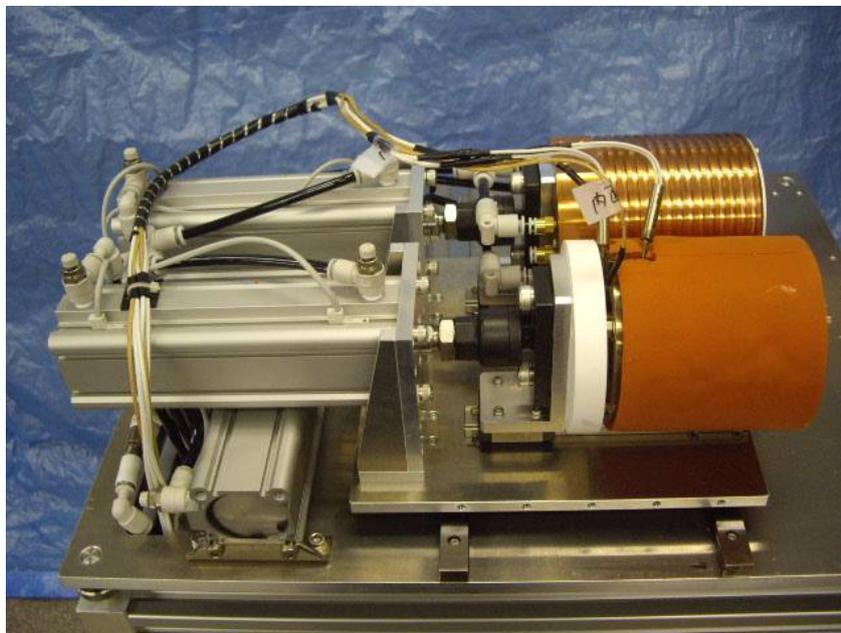


写真2-8



### 第3章 第3章成型処理方法の最適化に関する研究

#### 3-1 最適成型部構造

1インチまでのフレア加工において成型部自体に関する大きな課題は無く、PTFE フッ素樹脂あるいはフッ素樹脂コーティングされた成型形状治具に加熱されたチューブを一定時間挿入固定し冷却を行うことにより成型が完了する。写真3-1に1インチまでの成型治具を示す。この構成では挿入された成型チューブは空冷にて冷却される。

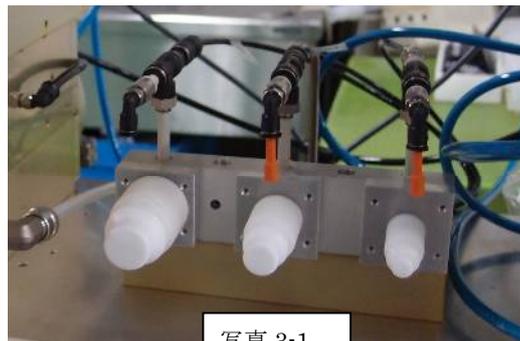
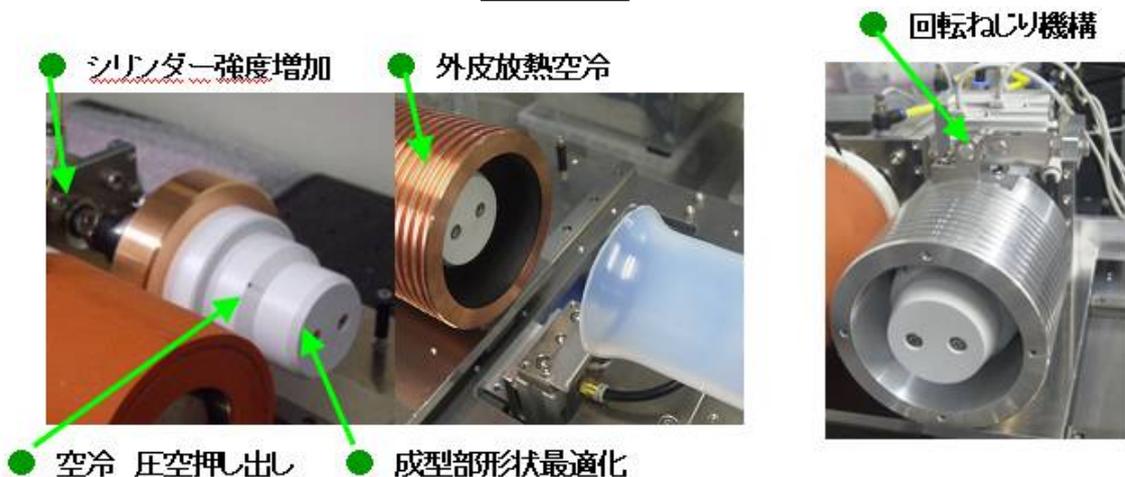


写真 3-1

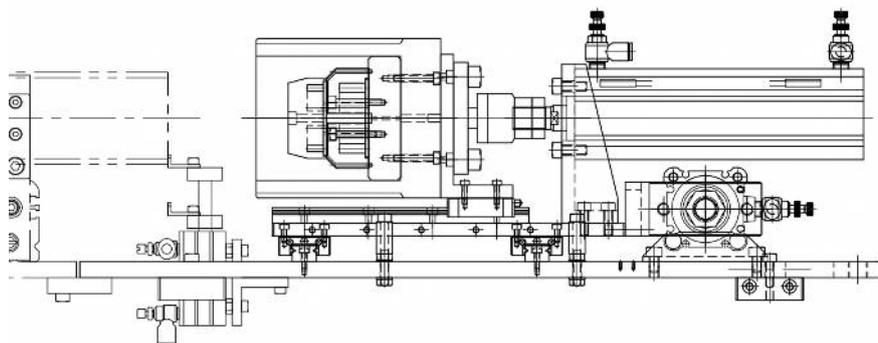
2インチ径では、挿入の困難性はあるが、加熱処理の最適化とチューブ把持力の強化にて挿入は可能となる。但し加熱処理及び成型処理のチューブ軸中心が同一となるようにチューブの移動を行う事は必要条件となる。最大の課題は2インチ径では成型時の冷却に伴うチューブ収縮により成型後脱離を行うことが非常に難しくなる。本研究開発においては、写真3-2に示したとおり冷却構造、シリンダー剛性強化、成型部形状の最適化、圧空補助押し出し構造とともに回転ねじり機構の有効性について研究を行った。

写真 3-2



ねじり機構に関しては回転軸受け部のガタがある場合、剛性不足となり軸ブレの原因となって脱離作業性の問題を生じるが、回転すべりの効果は大きい。2インチ径では把持構造の最適化による把持力の向上と圧空補助押し出しによりねじり回転機構を付与せずに成型処理の確立ができた。最終的な2インチ径用成型モジュール構造を図3-1に示す。

図 3-1



### 3-1 結合特性性能評価研究

フレア成型状態による結合特性評価として、気密・耐圧・引張り強度、圧力損失、液置換、熱サイクル等の評価試験を行うために、写真3-3に示した評価装置を試作使用し、また一部外部での試験によりフレア自動成型の結果評価を行った。

写真 3-3 評価試験ベンチユニット (左) / 純粋供給ユニット (右)



それぞれのサイズにおいて評価試験の実施の結果は、耐圧性能、気密性能、引っ張り試験（気密状態）の評価全てにおいて、目標性能を上回る評価となり、1インチ径以下で実施の圧力損失性能、液置換特性、熱サイクル性能においても目標性能を上回る結果を得、加工自動化による品質安定に大きく寄与できることが証明できた。その試験結果の一例として引張り試験の結果を示す。

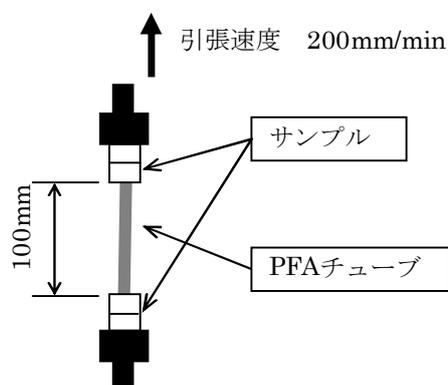
#### 引張性能評価試験

##### 【試験方法】

Fig.3 に示すように、PFA チューブの初期長さが約 100mm になるように PFA チューブ両端にサンプルを接続する。これを引張試験機にて引張試験（引張速度 200mm/min）を行い、フィッティングのチューブ保持力を測定する。

##### 【合格基準】

チューブの引張強度の60%以上を有すること。  
(チューブ強度を  $15.3\text{N/mm}^2$  として  
チューブ断面積  $\times 9.2\text{N/mm}^2$ )



1インチ径未満

引張試験結果 (圧力負荷、常温)

サイズ	目標性能 [単位 N]	サンプル No. [単位 N]			平均	合否判定
		No.1	No.2	No.3		
1/4"	175	413 ○	401 ○	384 ○	400 ○	◎
3/8"	358	628 ○	607 ○	618 ○	618 ○	◎
1/2"	501	945 ○	934 ○	928 ○	936 ○	◎
6mm	138	215 ○	227 ○	220 ○	221 ○	◎
8mm	193	308 ○	321 ○	313 ○	314 ○	◎
10mm	249	389 ○	409 ○	413 ○	404 ○	◎
12mm	305	501 ○	511 ○	518 ○	510 ○	◎

注:○はチューブが100%以上伸びて気密性も問題がなかったことを示す



1インチ径以下

引張試験結果 (圧力負荷、常温)

サイズ	目標性能 [単位 N]	サンプル No. [単位 N]			平均	合否判定
		No.1	No.2	No.3		
3/4"	771	1256 ○	1270 ○	1289 ○	1272 ○	◎
1"	1054	1720 ○	1753 ○	1769 ○	1747 ○	◎
25mm	976	1637 ○	1656 ○	1607 ○	1633 ○	◎

注:○はチューブが100%以上伸びて気密性も問題がなかったことを示す

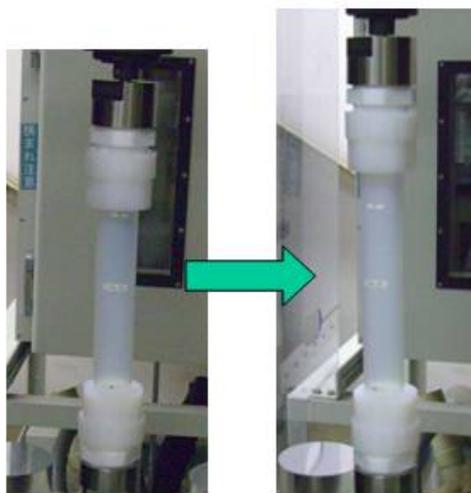


2インチ径

引張性能評価試験結果

チューブサイズ	サンプル No. [単位 N]			平均	合格 基準	判定
	No.1	No.2	No.3			
2" (φ57.4×φ50.8)	5805	5768	6203	5925	5157	合格

ナット間のチューブ長さ260mm、締め付け時の残りシロ 9.0mm、  
最大試験力592kgf、伸び33mmで抜け始める。

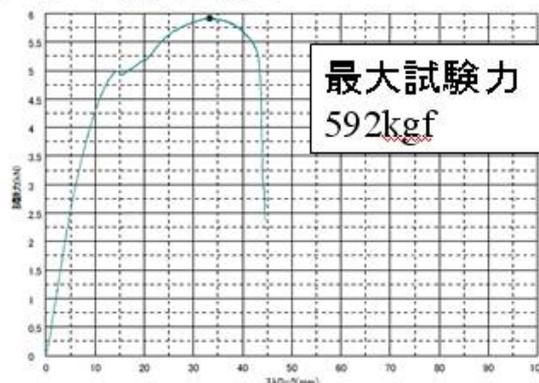


サンプルNo.6の①から抜け始め、  
②は変化ほとんど無し

AP231SH 2inch tube+fitting

試験速度	最大引張力	最大伸び	平均最大引張力
1-1	1,000	1,000	100,000
2-1	5,000	33,333	

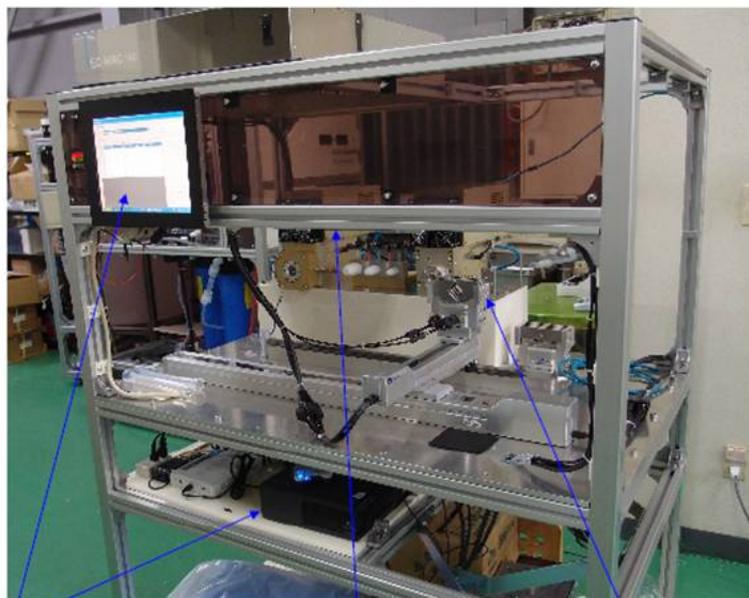
引張速度  
10mm/min



## 第4章 チューブフレア化自動装置の試作開発

### 4-1 小口径フレア化装置の試作開発

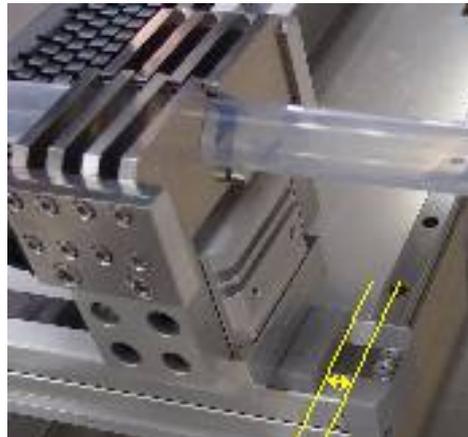
1/2インチ以下の口径チューブに対するフレア自動加工処理実用試作装置作成



操作制御(ソフトウェア改造)

半波マイクロ波加熱処理ユニット

自動搬送部チューブ把持モジュール



- 特徴：** 2軸スライドガイドによるチューブ移送・処理部固定仕様  
 マルチサイズ適応 (3サイズから4サイズ)  
 セラミック熱輻射マイクロ波プラズマ加熱手法

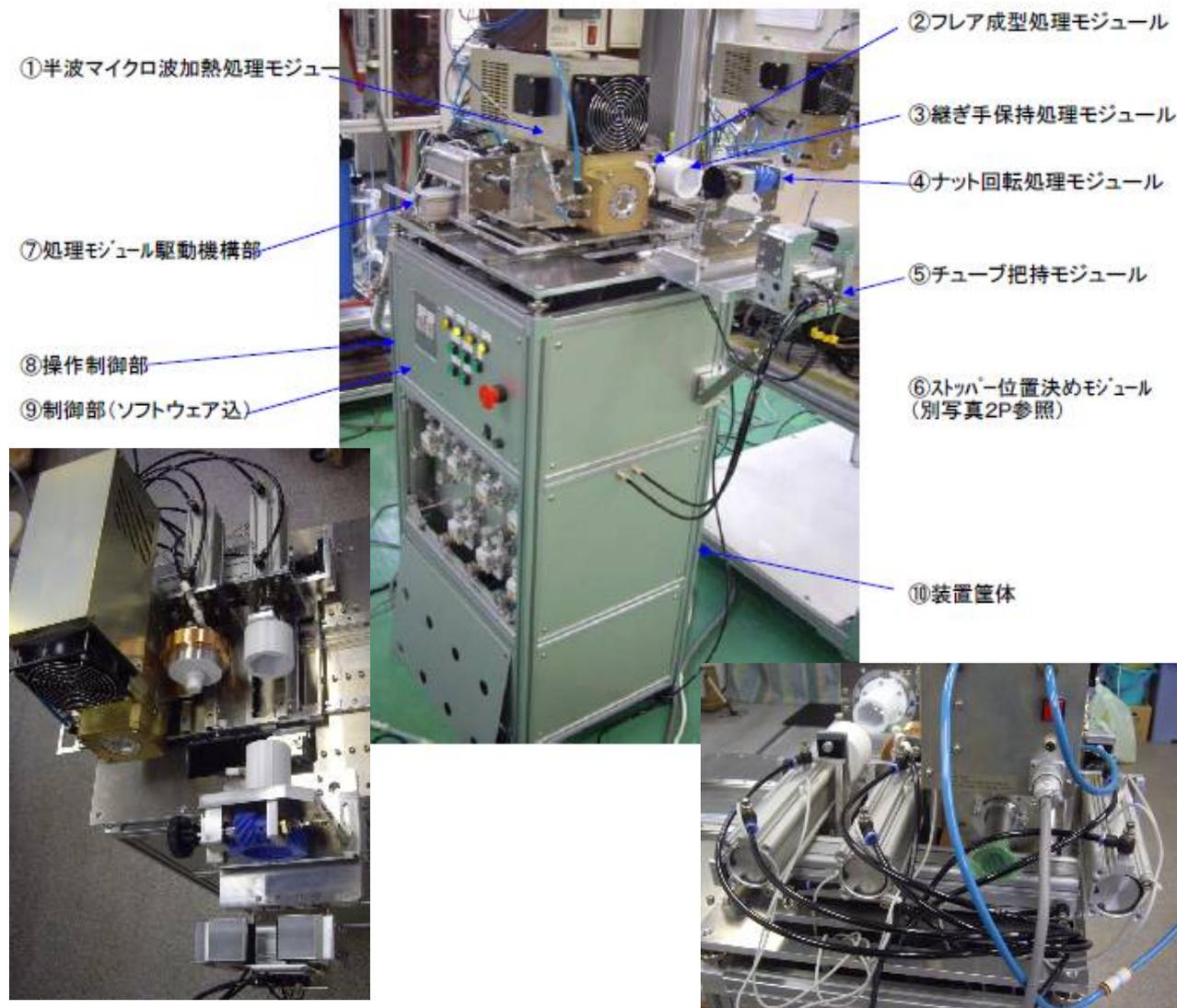
#### 結果要約

項目	結果
適用チューブ径	6、8、10、12mm及び1/4、3/8、1/2インチチューブの把持を実現
フレア加工処理時間	装着→フレア加工(加熱10秒、冷却10秒)→脱着 を1サイクルとして36秒/サイクルを実現
フレア加工精度	チューブ径に対して8/1000の寸法制度を実現
加工繰り返し制度	繰り返しによる寸法バラツキ誤差制度0.86%

## 4-2 1インチ径適用大口径フレア化装置の試作開発

1インチ以下の口径チューブに対する小型可搬送フレア自動加工処理実用試作装置作成

全体写真

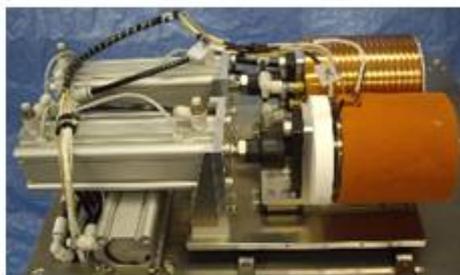


**特徴：** 1インチ対応 処理部2軸移動機構によるチューブ固定処理仕様 小型可搬送仕様  
 単一サイズ適応 (把持部及び治具交換による3サイズ変更仕様)  
 セラミック熱輻射マイクロ波プラズマ加熱手法

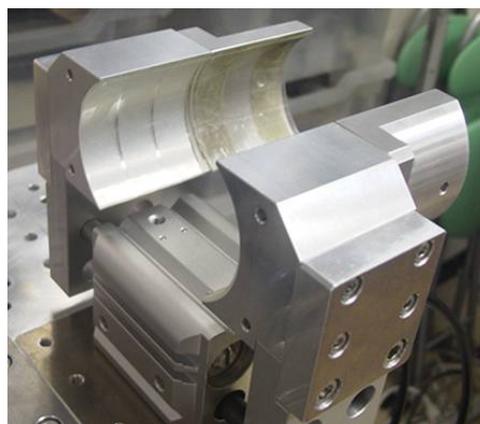
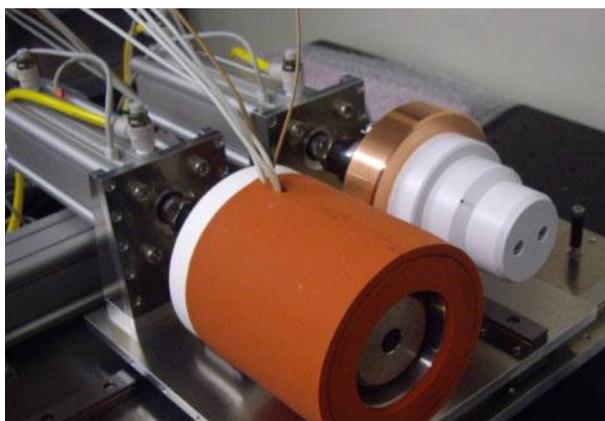
### 結果要約

項目	結果
適用チューブ径	19、25mm及び3/4、1インチチューブの把持を実現
フレア加工処理時間	1サイクル66秒/サイクルを実現
フレア加工精度	チューブ径に対して7/1000の寸法制度を実現
加工繰り返し制度	繰り返しによる寸法バラツキ誤差制度0.91%

#### 4-3 2インチ径適用大口径フレア化装置の試作開発



サイズ: W600 x D400 x H1250 60Kg



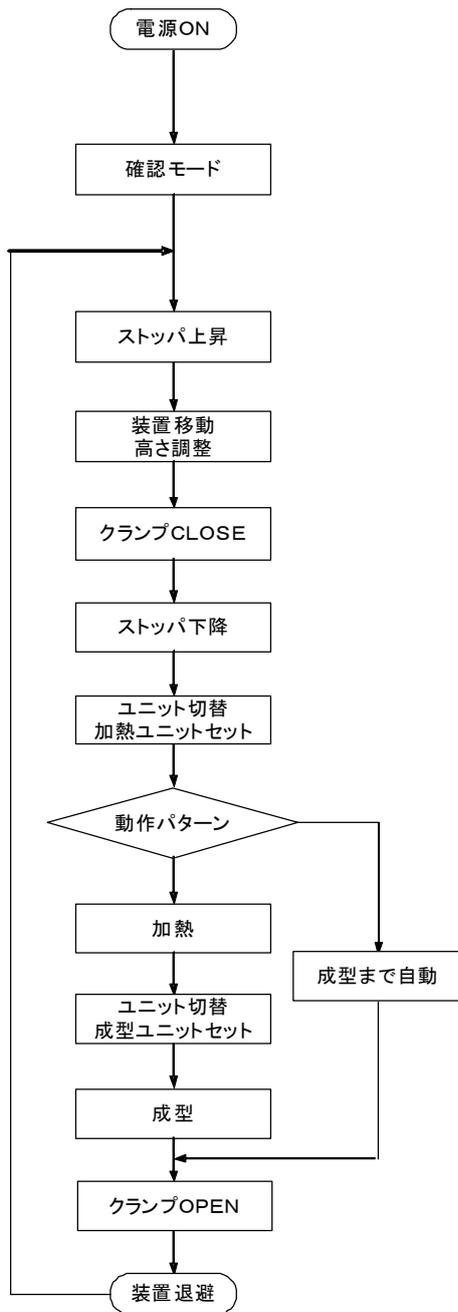
特徴： 2インチ対応 処理部2軸移動機構によるチューブ固定処理仕様 小型可搬送仕様  
内外径熱輻射抵抗加熱手法  
ウレタン材仕様把持面構造

#### 結果要約

項目	結果
適用チューブ径	2インチ(外径57.5mm 内径50mm)チューブ処理
フレア加工処理時間	1サイクル 加熱3分 成型3分処理
フレア加工精度	チューブ径に対して 1%以内精度
加工繰り返し精度	繰り返し寸法バラつき誤差精度 2%以内 (但しチューブ側バラつき1%アリ)

# 処理仕様

## 操作手順



ボタン操作:	説明:	表示灯:
【電源スイッチ】	制御ラックパネルの電源スイッチをON	指令完了:点灯 位置表示灯は前回OFF時の位置
【非常停止ボタン】	注1)	指令完了:消灯
【セット】	ストップ以外の各軸フルストロック動作 センサエラー確認 初期位置へ移動 ・ユニット切替は成型位置で停止 ・各ユニットは退避位置で停止 ・ストップは下降位置で待機	指令完了:点灯 組立位置:点灯
【ストップ】	ストップ上昇 初期位置完了	指令完了:点灯
	既設のチューブに装置を合わせる もしくは装置のクランプ位置にチューブを合わせる	
【クランプ】	クランプを閉じる	指令完了:点灯
【ストップ】	ストップ下降	指令完了:点灯
【ユニット切替】注2) 【加熱】	ユニット切替方向(Y軸) 加熱ユニット位置へ移動	指令完了:点灯 成型位置:消灯 加熱位置:点灯
加熱、成型を個別動作、または加熱から成型までを自動		
【プロセス】注3) 【加熱】	ユニットがチューブ方向(X軸)へ移動 加熱時間は外部タイマーで設定 タイムアップで退避位置へ移動 加熱完了	指令完了:点滅→点
【プロセス】長押し (1秒以上)	加熱から成型完了まで自動	
【ユニット切替】注2) 【成型】	ユニット切り替え方向(Y軸) 成型・冷却ユニット位置へ移動	指令完了:点灯 加熱位置:消灯 成型位置:点灯
【プロセス】注3) 【成型】	ユニットがチューブ方向(X軸)へ移動 成型時間は外部タイマーで設定 タイマー開始で冷却エア噴射開始 タイムアップで退避位置へ移動 成型完了	指令完了:点滅→点
【クランプ】	クランプを開く	指令完了:点灯

