

平成22年度（経済危機対応・地域活性化予備費事業）
戦略的基盤技術高度化支援事業

「真空圧空方式によるプラスチック成形加工システムの開発
～温度制御システム及び、装置成形システムの開発～」

研究開発成果等報告書

平成23年 1月

委託者 四国経済産業局

委託先 株式会社トーコー

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	2
1-2	研究体制	5
1-3	成果概要	11
1-4	当該研究開発の連絡窓口	13
第2章	本論	
2-1	下ヒーター加熱炉の開発	14
2-1-1	従来技術とその問題点	14
2-1-2	目的	15
2-1-3	研究内容と成果	16
2-2	高応答性ヒーターの開発	16
2-2-1	開発目的	16
2-2-2	成果	16
2-3	装置のデータベース化	18
2-3-1	温度制御におけるデータベース化	18
2-3-2	装置全体のデータベース化	18
2-3-3	デジタル対応による「見える化」	19
2-4	放射温度計によるシート測定機能	20
2-4-1	サーモグラフィによるシート温度測定テスト	20
2-4-2	放射温度計5箇所による測定	20
2-4-3	シート温度の精度	21
第3章	総括	
3-1	研究開発成果等	22
3-2	今後の課題及び事業展開	22

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

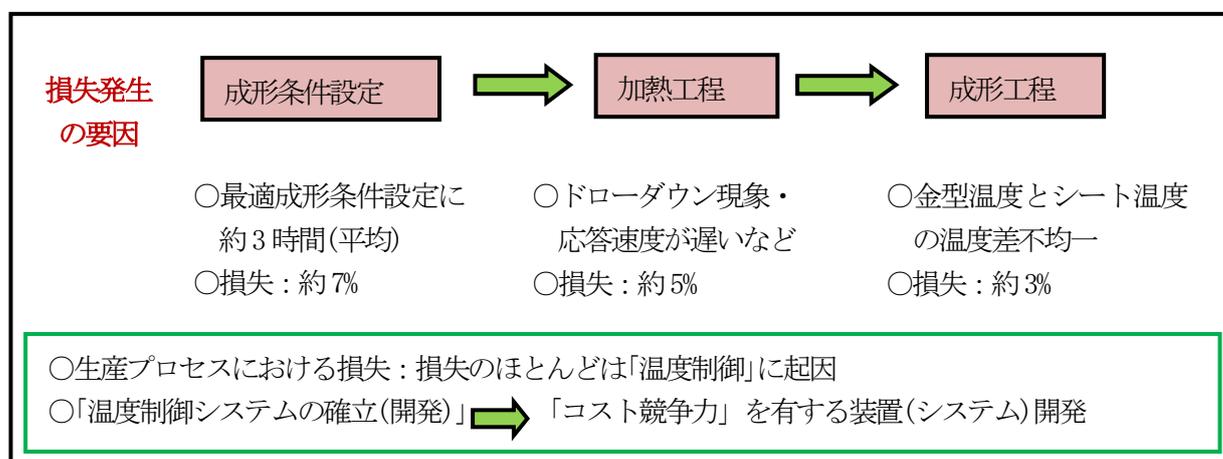
1) 研究開発の背景・研究目的

現状での熱可塑性プラスチック成形加工業界において、安価な海外製品との競争(新興国の低価格供給品との価格競争)・デフレ下の消費低迷・原材料コストの高騰、そして製品に対する高品質化・短納期化などの要求がますます強くなっており、生産工程の高効率化・低コスト化を促進することで、「コスト競争力」を有するものづくりが急務となっている。

また原材料であるプラスチックシートについては、シートメーカーの技術進歩に伴い、使用目的・使用環境及び、地球環境問題などに適応した多種多様な新製品シートが順次開発されている。しかしながら、成形加工においては、①シートの種類・性状・製品形状などによって成形条件(シート温度・成形加圧力・成形速度など)が異なる、②加熱工程におけるシートのドロダウン(加熱・自重による垂れ下がり)現象が生じる、③シート全面を均一加熱することが難しい、④多品種少量生産の定着、⑤寸法精度・微小なシワ・製品のバラツキなどに対する検査が厳しいことなどから、長年の経験を重ねた熟練技術者が試行錯誤を繰り返し、成形機を駆使して最適条件を割り出し(設定)、成形加工を行っているのが現状である。

例えば、多品種少量発注(小ロット発注)の定着で、一製品当たりの生産日数は3~4日(約40時間)と短期間に対し、熟練者が最適条件を割り出す時間は約3時間と言われている。さらに不良品等を含めると、生産工程におけるロス(時間(人件費)+原材料+熱エネルギー(消費電力)など)は10%を超える高い値となっている。

参考までに損失発生要因を次に示す。



すなわち、業界においては生産工程中における損失を低減する「高効率化」の装置(システム)開発によるコスト競争力(高品質で低価格)を有する生産体制の構築が強く求められている。そこで、経験の少ない者でも簡便な操作で最適成形条件設定が可能な、言い換えれば高品質・高効率化可能な「自動加工技術(自動加工システム) = 真空圧空方式によるプラスチック成形加工システムの開発」を図る。

加えて、「ものづくり」の根幹は、「如何に低価格で高品質の製品を効率よく生産するか」であり、装置開発においても「如何に低価格で高効率・高機能な装置(システム)を提供できる

か]である。本開発においても高価な部品・システムに基づくものではなく(価格が高額な場合、市場の受け入れが難しい)、当社独自の発想を基に、これまでと同等な価格設定で、さらに高効率・高機能なシステム開発を目的としている。

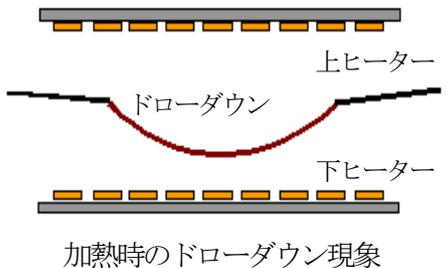
2) 研究目標

〈 イメージ図 〉

(課題)

- 温度制御システム
 - ・ヒーター加熱炉：シートのドロウダウン現象
 - ・ヒーター：応答性が悪い・昇降温に長時間
- 成形条件設定：熟練者が長時間要する
- 損失：時間(人件費)・原材料・エネルギー(消費電力)などの損失多い

従来技術



コスト競争力対応

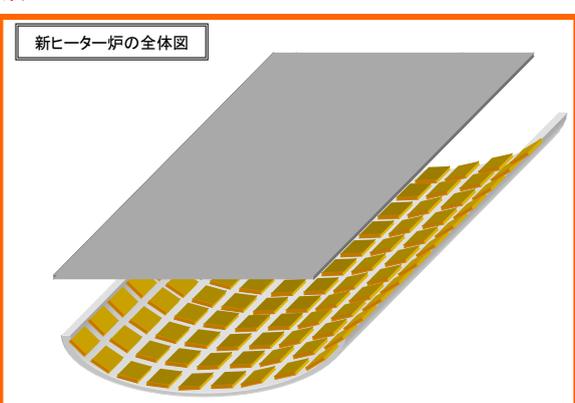
(新技術の特長)

- 温度制御システムの確立(開発)
 - ・カーブ形状加熱板(ドロウダウン対応)
 - ・高応答性ヒーター・シート温度測定機能
- 熟練技術者のノウハウのデータベース化
- 簡便な成形条件設定機能



- コスト競争力強化
 - ・環境対応・高効率化・低コスト化・自動化

新技術



プラスチック成形加工は、①シート送入、②予備加熱、③本加熱、④成形加工、⑤プレス加工、⑥検査などの工程を経て製品として出荷されるが、現状において製品の品質・生産性に最も影響を与えている工程は、加熱工程である。

コスト競争力を有し、高品質な製品を生産する最も重要な要素は、プラスチックシート全面をムラなく均一に最適温度に加熱することであり、ヒーター加熱炉内の温度を高精度・短時間に制御可

能なシステムの開発・確立が強く求められている。

しかしながら、①現状ではシートのドローダウン(垂下がり)現象が生じる・②ヒーター温度は設定できるがシート面温度測定機能は付与されていない、などにより、成形条件設定に経験豊富な熟練技術者が長時間を要する、また不良品が増加するなどの課題を抱えている。

具体的な従来成形機の課題としては、温度制御システムに関して

①ドローダウン(シートの垂れ下がり)現象成形加工においては加熱面積が広い(通常 1100×1200mm)・シートの厚さが薄い(0.15～1mm)などにより、加熱工程中にドローダウン現象が生じる。この現象によりシート面の温度差が 20℃以上に・また垂れ下がり距離が 150～200mm になる場合もあり、生産性を大きく低減させる要因となっている。

②シート面温度測定手法： シートの材質・厚さ・製品形状などが多岐に亘って変化するプラスチック成形加工において、最も品質を左右する要因は、最適な温度にシートが均一加熱されることである。しかしながら、従来機にはヒーター温度制御センサは設置されているが、シート温度をセンサなどで検出して温度を制御するシステムはみられない。

③ヒーター： 従来ヒーターの課題は応答性が遅いことである。特殊に市販されている高応答ヒーターも一部にあるが、従来ヒーターの約 2.5 倍と高額であり、一台に設置するヒーターの数が多く(300 個以上)、消耗品的な位置づけであるなどの理由により、低価格で、高応答・安定した温度制御が可能なヒーター開発が求められている。

そして、熟練者が成形条件を割り出し(設定)に関しては、前述したとおり温度制御システムに多くの課題を抱えているとともに、シートの材質・厚さ・製品形状などが多岐に亘っているなどにより、長年の経験を重ねた熟練技術者が試行錯誤を繰り返し、成形機を駆使して最適条件を割り出し(設定)、成形加工を行っているのが現状で、設定時間が長時間となり、時間及び材料のロスなどが生産性に悪影響を与えている。したがって、十分な経験を有しない者でも、簡単に操作(成形条件設定)可能なシステム開発が課題となっている。

そこで、ドローダウン現象によるシート面温度の不均一・シート面温度の高精度な測定方法・高応答性を有するヒーター開発などの課題を解決するため、従来方法と異なるカーブ形状加熱板・高応答ヒーター・ヒーター加熱板の位置決め制御・シート面温度測定手法などのヒーター炉に係る温度制御システムの開発により、「外観不良を防ぐ技術開発」を実施する。

また、成形条件設定に経験豊富な熟練技術者が長時間を要することは「試し打ち(試し成形)」での原材料・熱エネルギーの損失が大きくなる。経験の少ない者でも容易に操作可能な「自動加工技術」を開発することで、「省エネルギーと環境保全に役立つ環境配慮型技術の実用化」を図る。つまりは、経験の少ない者でも最適成形条件設定が可能な「自動加工技術(自動加工システム)」を開発する。

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応。

(四)プラスチック成形加工に係る技術に関する事項

1 プラスチック成形加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(5)その他に関する事項

①川下製造業者の抱える課題及びニーズ

ア コスト競争力

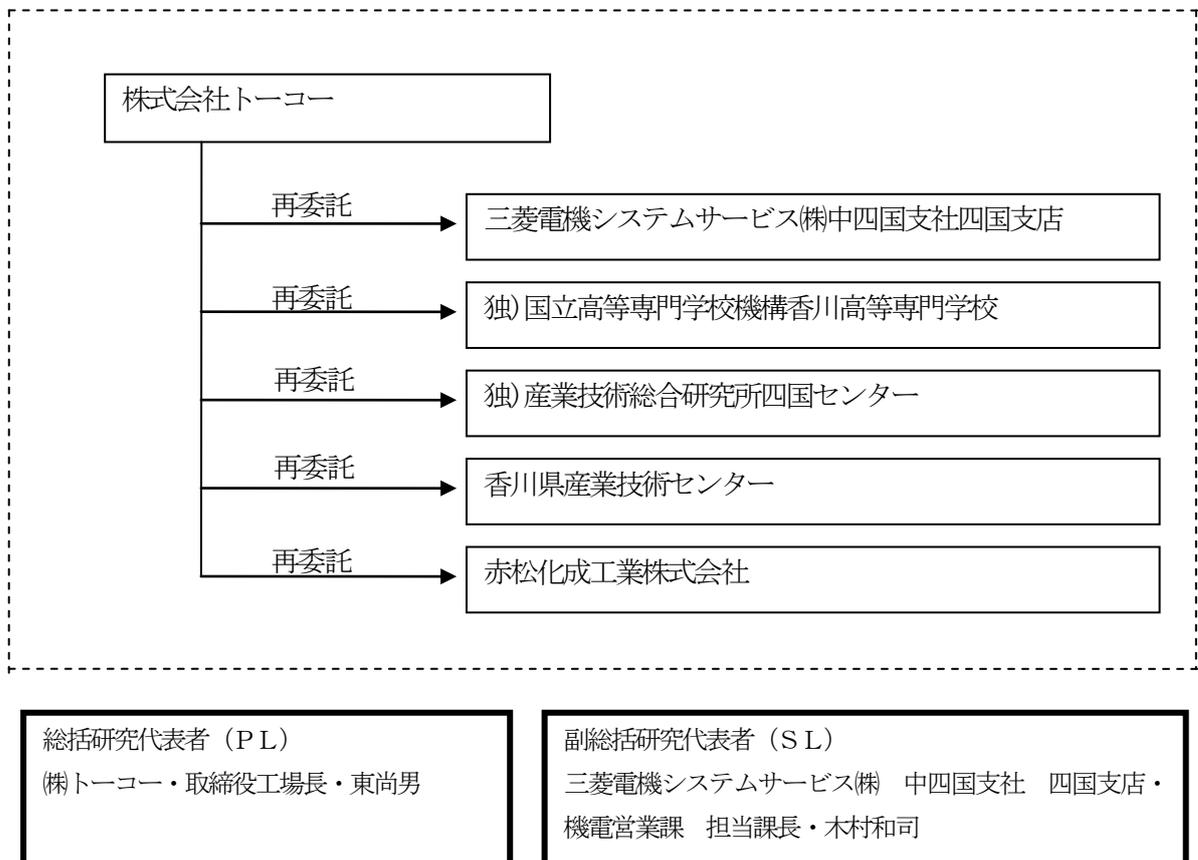
オ 高効率化

高度化目標は、次のとおりである。

- ①生産工程中の損失(時間(人件費)・原材料・エネルギーなど)を、従来の損失(約15%)の1/2に低減。
- ②シート面の温度制御を、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

1-2 研究体制

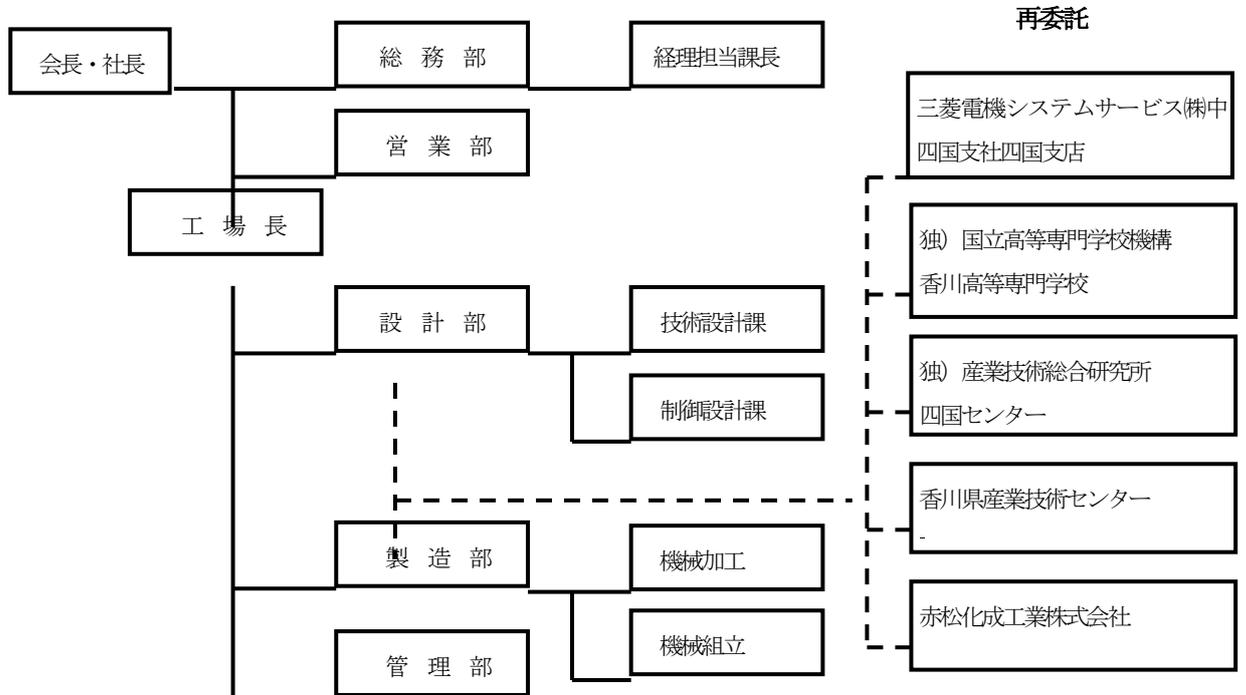
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

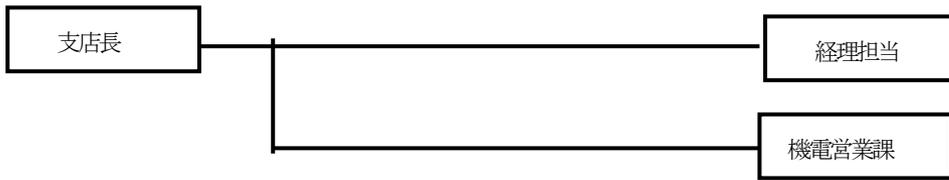
【事業管理者】

株式会社トーコー

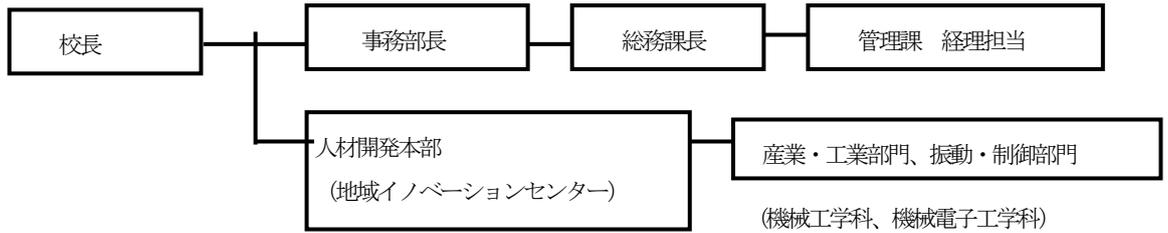


【再委託先】

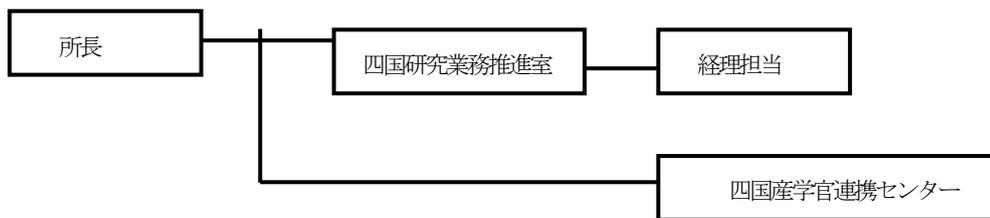
三菱電機システムサービス(株) 中四国支社四国支店



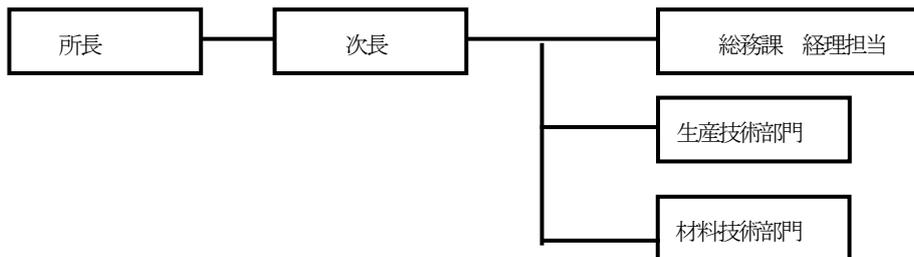
独) 国立高等専門学校機構香川高等専門学校



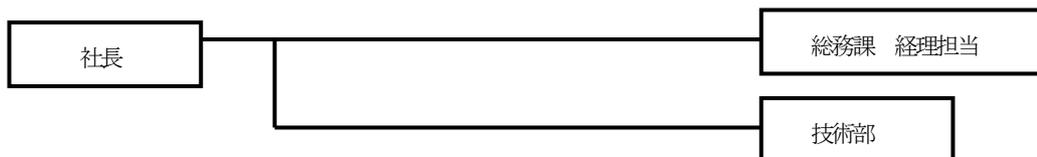
独) 産業技術総合研究所四国センター



香川県産業技術センター



赤松化成工業株式会社



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 株式会社トーコー

i) 管理員

氏名	所属・役職
東 尚男	取締役
川田 英治	営業部 ・ 一般
東 昌志	営業部 ・ 一般
元木 江理子	設計部 技術設計課 ・ 一般

ii) 研究員

氏名	所属・役職
東 尚男	取締役
多田 茂昭	設計部 技術設計課 ・ 一般
芳竹 雅典	設計部 制御設計課 ・ 一般
大屋敷 敏晴	設計部 制御設計課 ・ 係長
町田 克彦	工場長
島本 貴喜	製造部 機械組立 ・ 一般
國好 興藏	製造部 機械組立 ・ 一般
山本 良太	製造部 機械組立 ・ 一般

【再委託先】 研究員のみ

三菱電機システムサービス株式会社 中四国支社四国支店

氏名	所属・役職
木村 和司	中四国支社 四国支店 機電営業課・ 担当課長

(独) 国立高等専門学校機構香川高等専門学校

氏名	所属・役職
山内 庄司	機械電子工学科 教授

(独) 産業技術総合研究所四国センター

氏名	所属・役職
矢野 哲夫	四国産学官連携センター 総括主幹
内海 明博	四国産学官連携センター 連携主幹

香川県産業技術センター

氏名	所属・役職
山下 雅弘	生産技術部門 主任研究員
横田 耕三	材料技術部門 主席研究員
熱田 俊文	生産技術部門 主任技師
多田 幸弘	材料技術部門 技師

赤松化成工業株式会社

氏名	所属・役職
大森 博徳	技術部 次長

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

株式会社トーコー

(経理担当者) 総務部 課長 村上 明義

(業務管理者) 取締役 東 尚男

【再委託先】

三菱電機システムサービス株式会社 中四国支社四国支店

(経理担当者) 中四国支社 経理課 上杉 辰哉

(業務管理者) 中四国支社 四国支店 機電営業課 担当課長 木村 和司

(独) 国立高等専門学校機構香川高等専門学校

(経理担当者) 管理課 財務係長 石川哲也

(業務管理者) 機械電子工学科 教授 山内 庄司

(独) 産業技術総合研究所四国センター

(経理担当者) 四国研究業務推進室 主査 岡部 弘

(業務管理者) 四国産学官連携センター 総括主幹 矢野 哲夫

香川県産業技術センター

(経理担当者) 総務課長 橋本 英一

(業務管理者) 生産技術部門 主任研究員 山下 雅弘

赤松化成工業株式会社

(経理担当者) 総務部 総務課 課長 九合 正

(業務管理者) 技術部 次長 大森 博徳

1-3 成果概要

1) 弓形状(カーブ形状)下ヒーター炉、及び上下可動システムの開発

加熱されたシートのドローダウン現象(シートが伸び湾曲状に垂れてくる状態)に対応するため、下ヒーター炉のヒーター取付面をドローダウン形状に合わせて弓形状(カーブ形状)にした下ヒーター炉を開発した。しかも、シートとの距離を一定に確保出来る様に、サーボ駆動による上下可動機能(±0.1mm単位)を有するものとした。

これにより、シート全面をムラなく均一に加熱する精度が高まり、生産不良を低減。さらに、シートを従来よりも近いヒーター位置で加熱できることから、シート加熱時間が大幅に短縮し、生産量UP・生産効率の向上となる。

2) 高応答性ヒーターの開発

昇温・降温に要する時間を従来のヒーター(セラミックヒーター)から格段に短縮させる高応答性ヒーターを開発した。従来のヒーターと比較すると、昇温に要する時間は、1/7以上に短縮、降温に要する時間は、1/10に短縮した。

これによる、節電・省エネ、生産効率UPの効果は大きい。例えばわかりやすいところでは、朝の始業・機械電源投入から生産開始までの時間が短縮され、昼休みに機械を停止している時間が長くなる等の効果が挙げられる。また、降温時間の短縮は、装置の緊急停止の場合などにシートへの発火の危険を回避出来る。加えて、従来機のヒーター退避スペースも不要となる。ユーザーにとって、損失(ロス)の発生を大きく抑制し得るものである。

さらに、ヒーター自体の軽量化にも、従来のヒーターとの比較で30%軽量化に成功した。

今後の課題としては、低価格にある。市場にある高応答性ヒーターに比べればかなり低価格となったものの、従来のセラミックヒーターと比べればまだ高価であり、低コスト化にさらに取組みたい。

3) シート温度測定方法の確立

上ヒーター炉に放射温度計を5箇所取り付け、シート面温度を測定可能にした。

放射温度計の計測波長が、測定対象であるシートだけでなく、シートを透過して下ヒーター炉のヒーターの温度を僅かではあるが放射温度計が測定するという今後の課題が残った。

4) 熟練者の知識(ノウ・ハウ)のデータベース化(ソフト開発)

シート目標温度と加熱時間を設定することで、シートに与える熱量を計算し、ヒーター設定温度を自動で算出できるプログラムを開発した。そして、加熱に関するところを最重要視してシート材料、ヒーター加熱温度、加熱時間、ヒーター炉の(ヒーター)点火率の関係を熟練者が求めた最適条件と重なるような自動化システムとした。

5) 温度制御システム・熟練者のノウ・ハウなどを含めた装置全体の制御システム開発

前述の高応答性ヒーター(上下計306ヶ)、カーブ形状かつ上下可動の下ヒーター炉、5箇所に放射温度計を装備した真空圧空成形機を開発した。上記4に挙げた加熱工程における成形条件設定機能を開発した結果、機械装置全体として多数にわたる項目設定に関しても、加熱時間を基準として設定することで分かりやすく、短時間で設定できるようにした。

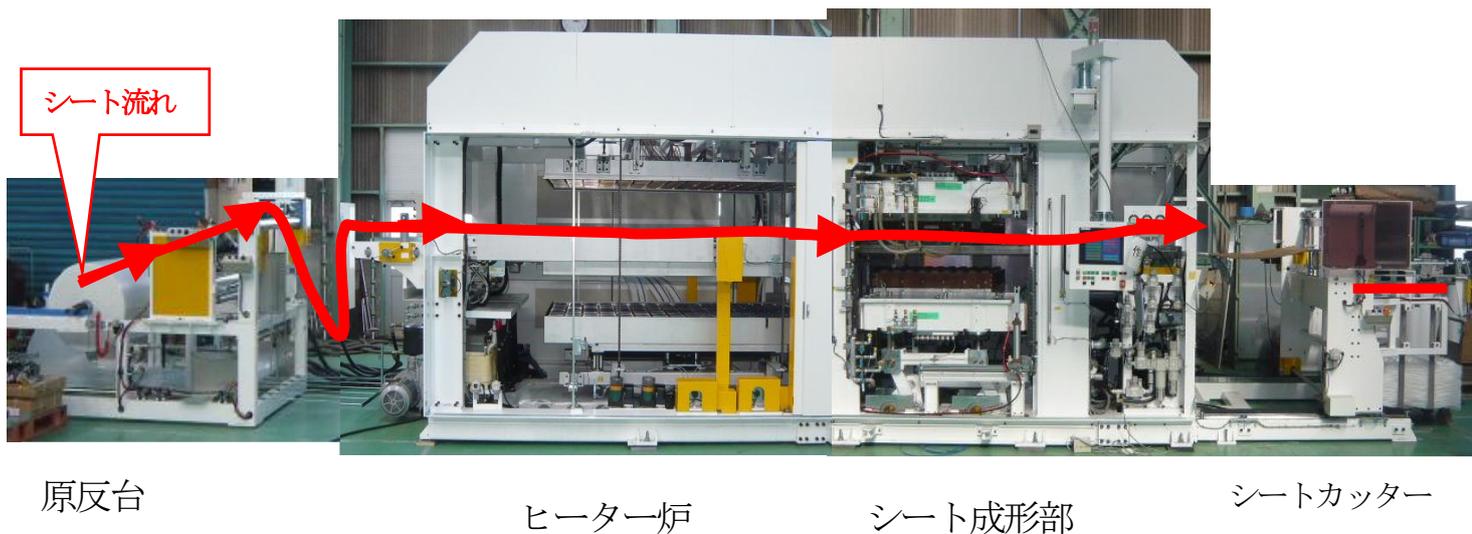
また、各種センサによる数値化を図り、経験の少ない者でも比較的容易に操作可能な装置になるよう操作性の向上を図った。

6) ヒーター線におけるトラブルの発生

本事業の進行過程において、真空圧空成形装置が完成、各装置の機能もクリアし、シートの成形テストをこれから本格的に行おうとした矢先に、ヒーター線から白煙が発生するというトラブルが発生した。当日は、以前よりもヒーター温度を高く（400℃）設定し、30分程度連続運転を行っていた時であった。原因は、ヒーター線に使用されていた耐熱電線にニッケル線を使用していたからである。このニッケル線は、周囲温度が高温になると極端に許容電流値が下がる。その為、2.0Sqで使用されていたニッケル線が、加熱炉のヒーター電流値に耐えられず、発火する寸前であったと考えられる。対策としては、ニッケル覆銅線に交換することで耐久的にクリア出来ることは確認出来た。

このトラブル後も装置は正常に稼働出来たが、ヒーター線の温度を心配しながらの運転試験となり、400℃以上のヒーター温度で、20分以上の連続運転を行えなかったことで、思う様なデータ収集が行えなかった点が非常に残念であった。

7) 試作機の外観



1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社トーコー

営業部 川田英治

TEL : 0879-25-4125

FAX : 0879-24-1861

E-mail:kawada.eiji@k-toko.com

URL <http://www.k-toko.com>

〒769-2693 香川県東かがわ市横内689-1

(最寄り駅: JR 四国 高德線 三本松駅)

第 2 章 本 論

2-1 下ヒーター加熱炉の開発

2-1-1 従来技術とその問題点

シートを加熱するとシートの熱膨張によりシートがドロダウンスする。その為、従来のヒーター炉は、シートとヒーター炉の距離を、シートドロダウンスを見込んだ距離である200mmに設定している。シートとヒーター炉の距離は、短ければ短い程、シート加熱の時間が短縮され、生産量も増加するが、従来のヒーター炉では200mmで固定している為、生産量アップにも限界がある。

また、従来のヒーター炉は、シート面と平行にフラット形状にヒーターが取り付けられている為、シートがドロダウンスするとシート両サイドのシート温度は熱せられ難い為、温度が低く、中央部は熱せられ過ぎてシート温度は高くなる。これではシートの均一な加熱が難しく、熟練者でなければ各箇所のヒーター温度設定が出来ない等の問題があった。



【従来の下ヒーター炉】
ヒーター取付面がフラット形状で有る。



【従来のヒーター】

2-1-2 目的

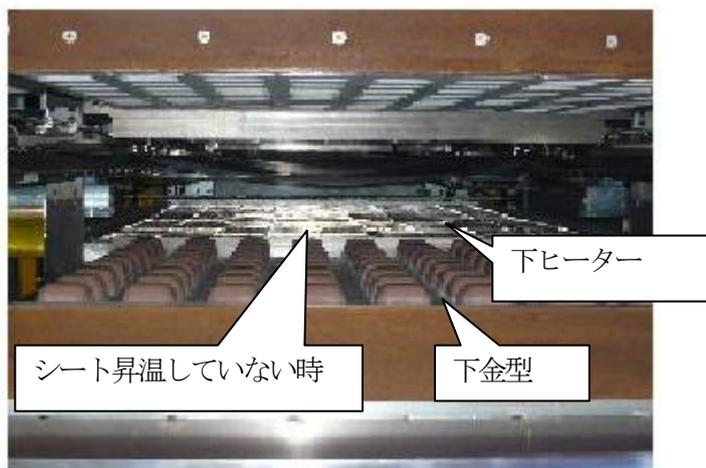
前述の通り、多くのシートは加熱時にシートの熱膨張によりシートのドロウダウン（シートが垂れ下がる）現象が起こる。また、シートの種類によって、そのドロウダウン量は異なる。

従来機の下ヒーター炉は、シート面と平行にフラット形状に、ヒーターが取り付けられており、シート両サイド側とシート中央部では、シートとヒーター間の距離が異なる為、シート両サイドのシート温度は低くなりシート中央部は温度が高くなる。それでは成形シート全面の温度のバラツキが大きくなり、良好な成形品が出来ない。

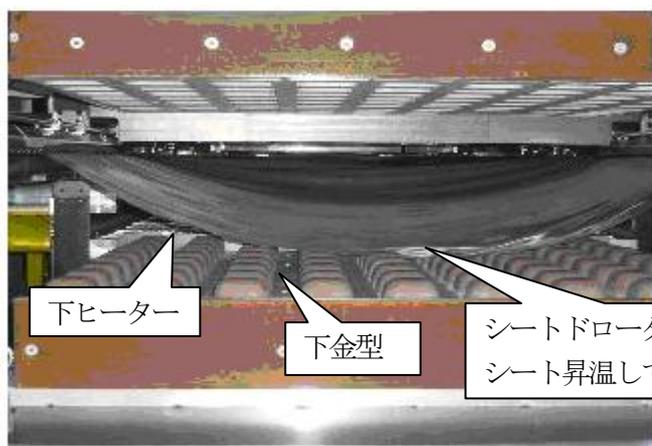
そこで下ヒーター炉のヒーター取付面をシートドロウダウン形状に合わせた弓形状に（両サイドを高く、中央部を低く）して成形シート全面の温度が均一になる加熱炉を開発する。

また、従来機の下ヒーター炉は、シートのドロウダウンを見込んだ位置（シートとヒーターの距離を200mm）に固定で取り付けられている為、シート成形温度に加熱するまでの時間が長くなる。

そこで、下ヒーター炉にACサーボ駆動モータを取り付けたヒーター炉を開発して、シートとヒーターの距離を短くさせた位置から加熱を行いシートドロウダウン量に合わせて、下ヒーター炉を徐々に下降させれば、シート成形温度に加熱するまでの時間が短縮され、生産量アップとなり、しいては省エネ効果も大きい。



【新開発 下ヒーター炉 弓形状の写真】



2-1-3 研究内容と成果

試作した下ヒーター炉の運転試験を行った。今回の試験を行う上で、まずシートの種類に関して、PP、PS、A-PET等各種有る中で、シートドローダウン量をもっとも大きく、成形温度も高く、成形技術を最も要するPPシートを中心に試験を行った。

そして、下ヒーター炉の形状（フラット or 弓形状）、位置を固定（高 or 低） or 移動 等条件を変更して、シートの成形状態及び成形データを比較した。

その結果をまとめたのが下記である。

- 1) 成形シート全面のシート温度を均一に加熱する点に関しては、新技術で開発した弓形状と従来のフラット形状とを比較すると、成形品の外観上は、一見あまり変わらなかったように見えるが、実験データでは、弓形状のほうが、成形シート温度のばらつきが少なく、均一に加熱していることが明らかとなった。
- 2) ヒーター設定温度を高くしてかつシートとヒーター炉の距離を短くさせて、シートドローダウン量に合わせてヒーター炉を下降させる方法で成形を行えば成形シートは、速く昇温するので、加熱時間が短くなり、生産量アップになるといえる。
- 3) 以上より、初期目標であった、品質向上・生産量アップ・省エネによる損失の低減に繋がると云える。
- 4) 今後の課題としては、今回の下ヒーター炉ヒーター取付面の弓形状を変更調整する場合、ヒーター取付板のボルト調整に時間がかかるので簡単に調整出来る構造にしなければならない。また、シートドローダウン量測定用のレーザ変位センサが透明シートの場合、ドローダウンした時に反射せずに透過して、シートドローダウン量の測定が正確性を欠いた。今後のレーザ変位センサの選定において、透明なシートに対してもドローダウンがより正確に測れるセンサの選定に取り組まねばならない。

2-2 高応答性ヒーターの開発

2-2-1 開発目的

高応答性ヒーターとは、熱源を表部に出しレスポンスよく加熱及び冷却が出来るヒーターのことである。この種のヒーターは、これまでも無かった訳ではないのだが高額である。しかも、“食品用トレイなどの成形に対応させるにはヒーター単体がグリーンでなくてはならない”、“ヒーター炉を上下制御するためにはヒーター単体を軽量化しなくてはならない”という様な諸条件をクリアする為には、大幅な改良が必要であった。

2-2-2 成果

- 1) ヒーターの高応答性に関して、当初の目標は従来のセラミックヒーターに比べて昇温・降温に要する時間を1/10に短縮することであった。（*下表1、2、3参照）
テスト結果によると、昇温時間は、1/7以上短縮
降温時間は、約1/10短縮

という結果となり、当初の目標には、達しなかったもののある程度の成果を得られた。

これまでも述べてきた様に、今後この新ヒーターを導入することで、節電・省エネ、生産効率UP、生産時間の短縮・稼働時間の短縮等 エンドユーザーにとって、大きな効果を生み出すことは間違いないところである。

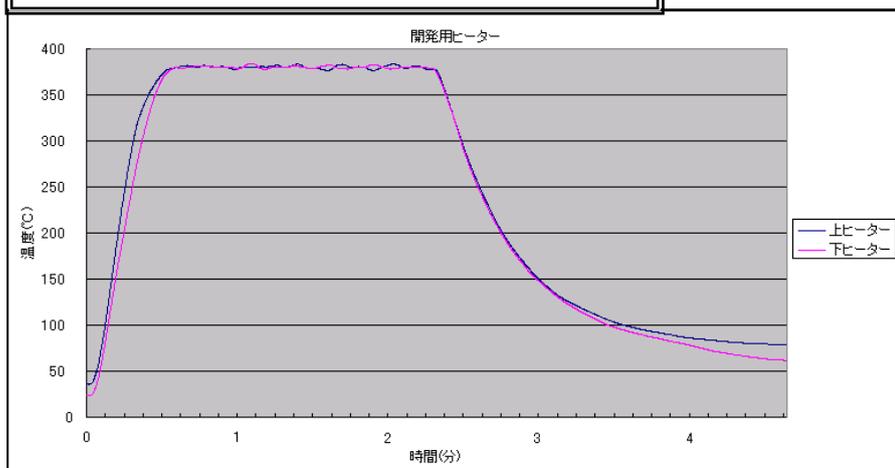
- 2) ヒーター炉は上下ともにヒーターの集合体である。今回開発したヒーター炉には上下合わせて、300個を越えるヒーターが取り付けられている。したがって、下ヒーター炉を上下可動させる機構を取り入れるにあたり、ヒーター単体の軽量化が必須条件であった。その結果、約30%の軽量化を図ることが出来た。

これにより、上下させる駆動モータの容量及びヒーター炉の剛性など装置の製造コスト削減につながった。

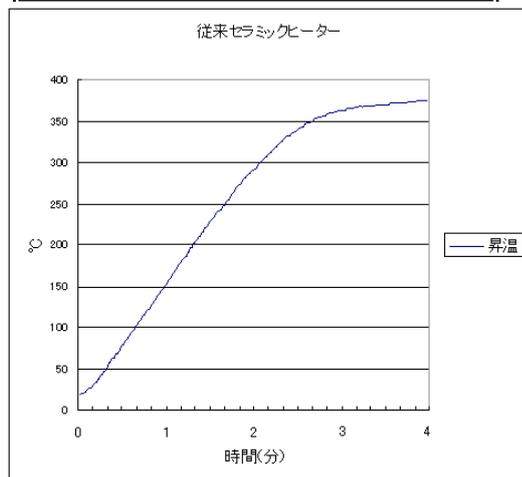
- 3) 今後の課題としては、ヒーター単価の低価格化である。市場にある高応答性ヒーターに比べればかなり低価格となったものの、従来のセラミックヒーターにはまだまだ及ばないところである。1台の成形機に数百個のヒーターが装備されるだけに、装置コストを低減する上で、大きなポイントである。ヒーター自体は、十分な性能を有しており、今後はヒーターの低コスト化に向けて、更なる研究を進めていく所存である。

また、ヒーターの耐久面において、本事業の中だけでは、時間的に少なく、まだ十分であると確認できていないので、今後検証したい。

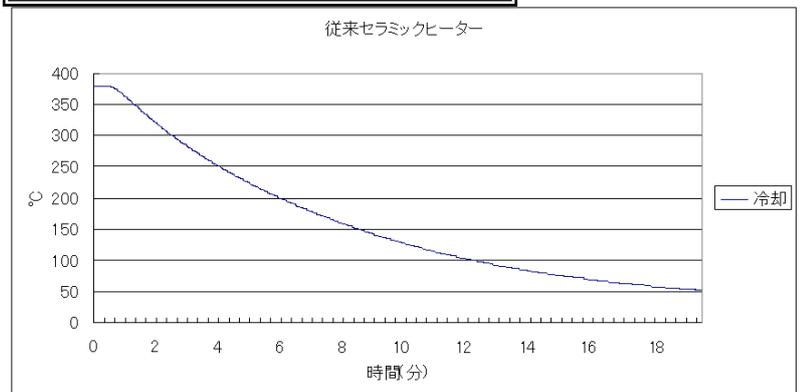
【表1】 新開発ヒーターの昇温・降温時間



【表2】 従来ヒーターの昇温時間



【表3】 従来ヒーターの降温時間



2-3 装置のデータベース化

2-3-1 温度制御におけるデータベース化

1) プログラム (ソフト) 開発

シート目標温度と加熱時間を設定することで、シートに与える熱量を計算し、ヒーター設定温度を自動で算出できるプログラムを開発した。

まず、シートの目標温度を設定し過熱時間を変更しながらヒーター温度を調整していき、その時のシート温度を測定していくテストを行った。また、対象となるシートとしては、一般的によく使われているPP、PS、A-PETの3種類の材料を選定した。さらに、シート目標温度を変化させることでそれに応じたヒーター温度を求めていくという作業を行った。

こうして、関係するデータを記録していったのである。

それに加え実際のヒーター炉で記録したデータをもとに、それに近づく定数を作り、あてはめていくことで、自動演算を行うプログラムを作成した。

また、PP、PS、A-PETによる材料の違いで、比熱、密度なども異なるため、これらも踏まえたプログラムとした。

2) 成形条件設定機能

今回の基本的な入力項目として

ア、ワーク(シート)材料の種類： PP、PS、A-PET

イ、ワーク(シート)体積： 長さ×幅×厚み

ウ、ワーク(シート)目標加熱温度

エ、加熱時間

の4点とした。

これらの条件を設定することによって、そのシート材料の目標温度に指定の加熱時間で到達しシートサイズによってヒーター炉の点火率を分布していく作業が自動で設定できるプログラムに構築した。また、微調整も出来るようにそれからの変更も容易に出来るシステムとした。

今回は材料、温度、時間の関係を熟練者が求めた最適条件と重なるように構築したが、今後としてさらにその他の条件もシステム化していく予定である。また、シートの種類についても、PP、PS、A-PET以外にメニューをさらに追加していく予定である。

2-3-2 装置全体のデータベース化

1) 機械装置全体として設定する項目は多数に存在する。例えば、シートロールの搬送装置設定、シートを搬送するチェーン設定、金型の成形に関するテーブル設定、シートを過熱させるためのヒーター温度設定、カッター装置集積設定などである。これらの全てが揃うことで機械装置として正常な製品を製造することが出来る。その中でも特に重要となってくるのが、加熱部分及びテーブルによる成形タイミングである。

前項(2-3-1 温度制御におけるデータベース化)にて前述したが、今回は加熱に関するところを最重要視してワーク材料、ヒーター加熱温度、加熱時間、ヒーター炉の(ヒーター)点火率の関係を熟練者が求めた最適条件と重なるように自動化システムを開発した。その結果、それ以外の設定に

関しても、それを基準に設定できることで分かりやすく、短時間で設定できるようになる。

全てを一から設定すると言うことは逆に言えば何から設定してよいか判断が難しい。また確立されていないデータを入力することでそれ以外の全てのデータに影響をあたえ、全てを修正していくことによって時間がかかり条件出し時間という無駄で何の生産性も産まない作業に時間を費やされることとなる。

成形機に関して言えば、基本的に、『加熱時間 ≒ サイクルタイム』である。したがって、加熱時間の設定及びそれに関係するヒーター温度、ヒーター炉の点火率が、全ての設定において、基準（中心）に位置付けられる。よって、ヒーター炉の条件が自動的に生成され、ほぼ信頼できる設定になっていれば、それに準じてその他の設定を行っていくことでロスなく設定できるようになる。

例えば、シート温度が加熱時間の変更によって搬送されてきた場合、その時のシート温度がもし一定温度であればその他の設定、たとえば金型の圧力設定、テーブルの動作タイミング設定なども決定しやすくなる。

従来では、加熱、真空や圧空などの圧力、それに関するタイミングなどシート温度が変わればすべてが異なってくるため、条件を求めるのに時間を要していた事が一気に短縮されることとなった。

2) 今回の試作機による運転試験で、加熱に関するひとつのマトリックスが構築できた。今後さらにデータを積み重ねもっと信頼性を追及していくことが必要とされる。

また、次の段階としては、成形工程におけるタイミング設定を構築していくことである。装置の流れであるタイミングチャートが自動で設定できるようになればさらに容易にそしてスピーディに条件出しを行うことが出来る。これらのことを構築し結びつけていくことが次の課題である。

2-3-3 デジタル対応による「見える化」

成形機の本来の最終目的である『経験の少ない者でも容易に操作が可能な自動加工機』の開発に向けて今回取り組んだ事が、デジタル機器・センサによる「見える化」である。

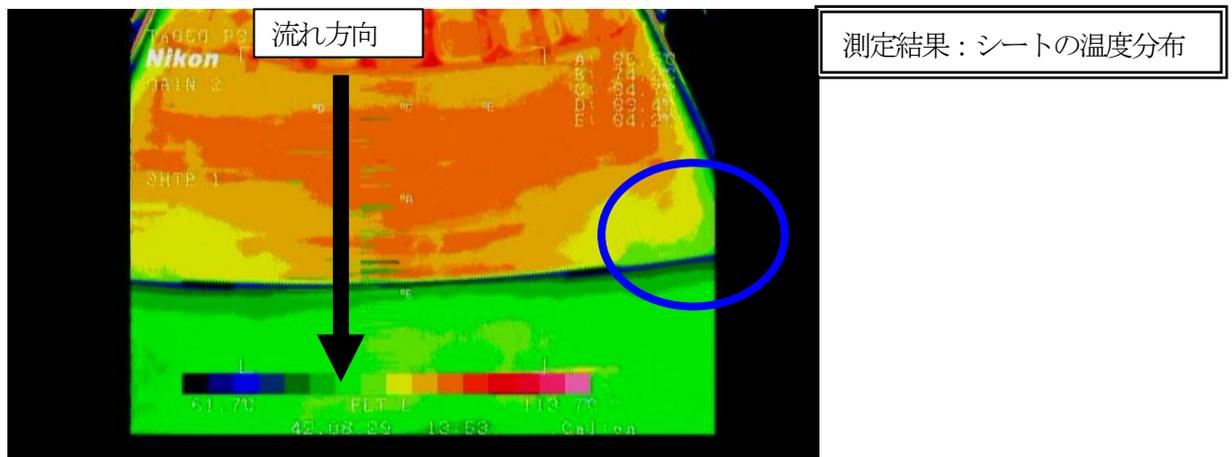
例えば、成形工程における圧空バルブの時間制御に関して言えば、従来機ではバルブをON/OFFした場合、バルブの応答遅れ・配管の長さ等を考慮し、実際に圧空が作動しているタイミングは、作業技術者の勘に頼っていた。しかしながら、今回の試作機では圧力センサを装着しており、バルブの応答誤差を正確に把握でき、勘に頼らずとも明確なタイマー設定を可能にしている。つまり、経験の少ない者でも熟練者以上に正確なタイマー設定が可能となっている。

この様に、従来機では作業技術者の経験に基づく勘に頼っていた部分の多くを、デジタル対応による「見える化」で解消し、より正確で容易な操作性の向上を図ることができた。

2-4 放射温度計によるシート温度測定機能

2-4-1 サーマグラフィーによるシート温度測定テスト

- 1) ヒーター炉によって加熱された実際のシートの温度分布を観測するため、香川県産業技術センターの協力により、サーモグラフィーによるシートの温度測定テストを行った。



本来PP、PET材の吸収波長は $3.4\mu\text{m}$ か $8\mu\text{m}$ 付近であるため、何%か透過（シートを通過してその裏にある物質を測定しまう事）して実温度としては誤差が発生する。但し、シート全体の温度分布としては確認することができた。【上記 写真】

その結果出口の両端の温度が低くなっていることが確認された（写真・青丸部分）。この映像はヒーター炉から搬出された時に撮影しており、シート温度に対して周囲の温度が低いためシート温度を撮影することが出来ている。

- 2) 今後の課題としては、試作したヒーター炉の構造では、シート両端（青丸部分）の加熱が補えないため、その対策として急遽、補助ヒーターを追加でヒーター炉に設置した。だが補助ヒーター自体は高応答性ではないので、メインのヒーターが昇温を完了しても、補助ヒーターの加熱が遅いため加熱炉としてのレスポンスが無駄となってしまう。この課題をどうするか、検討していく必要性が発覚した。今後の対応としては、この部分にも開発した新ヒーターを補助的に追加する方向で検討している。

2-4-2 放射温度計5箇所による測定

- 1) 今回の試作機には、機械装置として放射温度計を5箇所に取り付け、温度を監視するシステムを組み込んでいる。システムの構築に当たっては、5箇所の放射温度計のデータをプログラムで平均化し、時間経過と共に測定した温度を一定化するために、下ヒーター炉の上下を自動で行うプログラムを作成した。
- 2) 試作機による運転試験を実施する直前に、ヒーター炉（ヒーター線）の不具合が発生し、連続した運転作業が困難となった。そのため、連続した運転の中で構築していくべき放射温度計による下ヒーター炉の上下システムについては、十分なデータが取れず、一時中断することとなった。
- 3) 上記状態ではあったが、限られたデータの中で課題も発見された。

それは、放射温度計の計測波長が、測定対象であるシートにそのすべては吸収されず、下ヒーター炉のヒーターの温度も同時に測定していた、という可能性であり、シートを透過して数%のヒーターの温度を放射温度計が測定したと考えられる。

放射温度計の選定にあたり、PP材やPET材の吸収波長が高い位置の放射温度計を選定していた。にもかかわらず、やはり数%のヒーターの影響は大きかったと言える。

これは今後の対策として検討する必要がある。

2-4-3 シート温度の精度

1) 放射温度計1機だけにデータを絞り、連続性の誤差の測定を行った。当初の開発目的であったシートの加熱温度一定化として誤差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ を目標にシステム開発を行ってきた。そして、さまざまな要素を取り入れながら、目標に近づく様に調整を行った。

シートは加熱され高温になるとドローダウン現象（シートが伸び湾曲状に垂れてくる状態）が発生する。そのため、従来の下ヒーター炉であればシート中心部とヒーターの距離が極端に近くなるという問題があった。また、新ヒーターにおいても、放射の角度等の問題でシートに与える温度にムラが出来るという問題は予見していた。

そこで、装置として下ヒーター炉を弓形状にし、ドローダウン現象に対応できる構造にした。また、シートの加熱温度を均一に保つという目的で、その弓形状の下ヒーター炉を上下に可動させてシートとの距離を一定に保たせる機構も取り入れている。

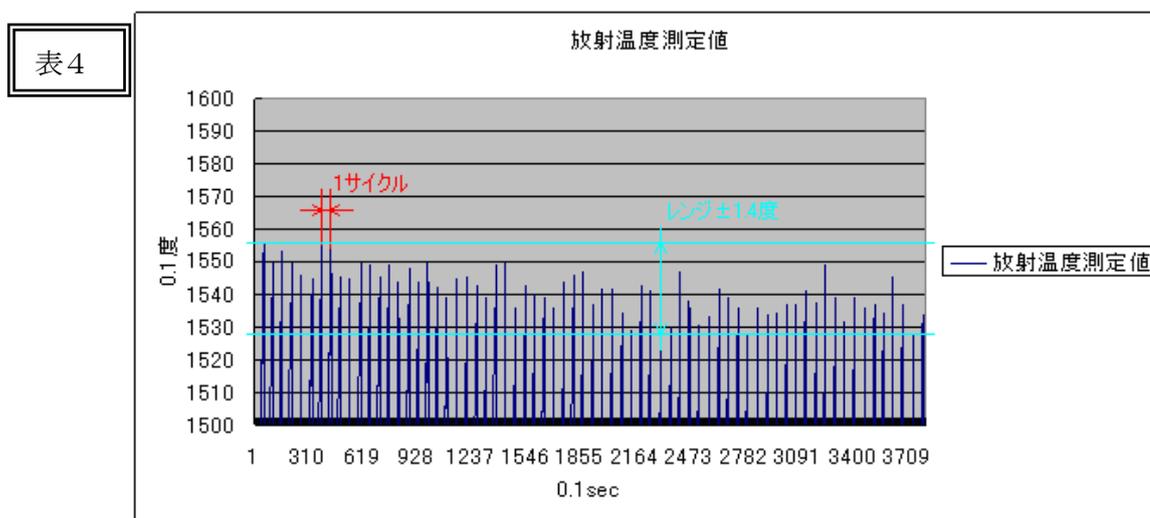
システムとしては、

①ドローダウンにより垂れ下がったシートの距離に応じて、下ヒーター炉を上下可動させて、下ヒーター炉とシートとの距離を一定に保たせるという目的。

②放射温度計で測定されたシート温度5箇所を平均化し、その上長時間の連続運転の中でさらに平均化された温度が僅かながら上下することに合わせて、下ヒーター炉も僅かに上下させる目的。

上記2通りのパターンを構築していた。

しかし、ヒーター線によるトラブルが発生し、時間的な制約があったので、ドローダウン現象によってヒーター炉を上下させるシステムでテストを行った。その結果が下表である。【下記 表4】



このデータ結果より、シート計測温度の繰り返し精度で $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 以内という結果となった。当初の開発目的であった $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内という目標には到達しなかった。

しかし、今後さらにヒーター炉の弓形状の調整等でさらに精度を縮めていける可能性がある。

第3章 総括

3-1 研究開発成果等

1) 本事業の開発を進めていく上で大きな誤算であったのが、試作機での運転試験において発生したヒーター炉装置のヒーター線によるトラブルであった。このトラブル自体は、原因も明らかであり、不具合解消への対策も難しいものでは無かった。但し、このトラブルにより、時間的にも物理的にも大きな制約となり、思うような運転試験が出来ず、かなりの支障をきたすことになってしまった。

特に温度制御システムの開発に関しては、長時間時間の運転試験をしながら、繊細に改良作業を行っていく必要があり、まだまだ途上にある点は、大変残念である。

2) 本事業の高度化目標の1点目に『生産工程中の損失(時間(人件費)・原材料・エネルギーなど)を、従来の損失(約15%)の1/2に低減する』という目標を掲げた。この損失を換算する尺度としては、時間・お金・量などが考えられる。

弓形状下ヒーター炉上下可動システムの開発により、シートをより近いヒーター位置で加熱できるようになり、シートの加熱時間を大幅に短縮できたことで、今回の運転試験においても、PPの成形サイクルを6.5秒から6.0秒に短縮できた。例えば、1日8時間稼働とした場合、4430枚から4800枚に成形シートの生産量を増やせたことになる。つまり、8.3%の生産量UPである。言い換えれば、8.3%の損失低減となる。

また、高応答性ヒーターの開発により、従来ヒーターと比較して、昇温時間1/7以上に短縮、降温時間1/10に短縮したことで、節電・省エネ、生産効率UPの効果は大きい。

以上より、成形時間の短縮による生産効率の向上のみならず、省エネ(シート材料≒石油、電気)、省スペースという効果も大きく、7.5%以上の損失低減を達成したと言える。

3) 高度化目標のもう1点目の『シート面の温度制御を、±1℃』という目標に対しては、運転試験の結果より、±1.4℃であった。今後さらにヒーター炉の改良、温度制御等でさらに精度を増していける様取り組んでいく。

3-2 今後の課題及び事業展開

1) 本事業で新開発した技術を備えた成形装置を今後の事業展開に結びつける大きなポイントとなるのが何よりも価格である。取引先である成形業者等への実機見学等によるPRでも、装置自体の性能に関して評価を頂き、ある程度の手応えを得る事が出来た。但し、昨今の深刻な経済不況において、ランニングコストの低減に大きく貢献し、高付加価値を提供できるとしても、イニシャルコストに対して大変シビアであり、いかに顧客が受け入れられる価格で提供できるかという点にかかっている。

その点で、今後、設計、製造工程等を通じて、製造コストの低減を図るべく取り組んでいきたい。

2) 本来の最終目標である、『経験の少ない者でも容易に操作可能な自動加工技術を有する成形機』という面では、まだまだ開発途上にある。また、本事業においては、長時間の連続運転が出来ていないことより、各装置の耐久面において、十分な検証が出来ていない。今後も引き続き、残った課題を解消すべく研究していく所存である。