

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高精度・高品質射出成形のためのサーマルサイクル制御ユニット内蔵
金型の開発」

成果報告書
(概要版)

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋産業科学研究所

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	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3	成果概要	5
1-4	当該研究開発の連絡窓口	5
第 2 章	樹脂の熱分析およびサーマルサイクルを目指した金型内シミュレーション	6
2-1	研究目的及び目標	6
2-2	実験方法	7
2-3	研究成果	7
第 3 章	小型急速加熱ユニットを埋め込んだ試作金型の製作と評価	13
3-1	研究目的及び目標	13
3-2	実験方法	13
3-3	研究成果	14
第 4 章	全体総括	21
4-1	成果の総括	21
4-2	工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	21
4-3	今後の事業化に向けた取組み	21

第1章 研究開発の概要

自動車・家電向けプラスチック射出成形部品の高精度・高品位化を図るために、選択的で局所的な急速加熱・微小キャビティー表面部位の同期誘導加熱が可能な「超高周波誘導加熱ユニット埋め込み金型技術」を開発する。これにより、従来技術（蒸気加熱法、低周波誘導加熱法等）では達成困難な局所加熱・曲面部位の樹脂流動制御・薄肉成形等を可能とする金型内のサーマルサイクル制御技術の実現が期待できる。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の目的

自動車内装に使用されるオーディオパネルやシフトインジケーターなどのプラスチック製品は、意匠性が重視されるため非常に高い表面品質を要求される。また、シフトハウジングに代表される自動車機能に係るエンジニアリングプラスチック製品は、機械的機能を満足するために寸法精度の確保を要求される。

プラスチック射出成形においては、樹脂の流動状態に応じた金型温度に変化させるべきであるが、実際は限定的な温度域を選択しているだけであるので、成形上の不具合（ウエルド、フローマーク、ヒケなど）の発生が課題となっている。エンジニアリングプラスチックについても、複雑な構造に加えて繊維を含んでいることから、樹脂流動性が著しく悪く、成形後の寸法精度を確保できないほどの変形を生じることが課題となっている。

これらは、樹脂充填時及び充填後の金型温度の加熱・冷却制御（以下「サーマルサイクル制御」と言う。）の最適化が確立されれば解決できると考えられるため、これまで埋め込みヒーター、蒸気及び低周波誘導による全体加熱手法が提案された。しかし、これらの方法にも局所加熱ができない、すなわち、形状急変部や微小キャビティー部などには適用できないというさらなる課題が存在している。

本研究では、金型内部に埋め込まれる加熱素子、金型外から入力する超高周波電源及び加熱素子の温度制御装置を組み合わせることにより、「選択的かつ局所的」に「急速加熱・冷却」が可能なサーマルサイクル制御技術を確立することを目的とする。本研究の最終的な目標は以下のとおりである。

- [目標]
- ・金型に埋め込む加熱素子の小型化
 - ・成形上の不具合解消：ウエルド、フローマーク、ヒケなどの減失
 - ・サーマルサイクルの向上：通常成形比 20%の向上

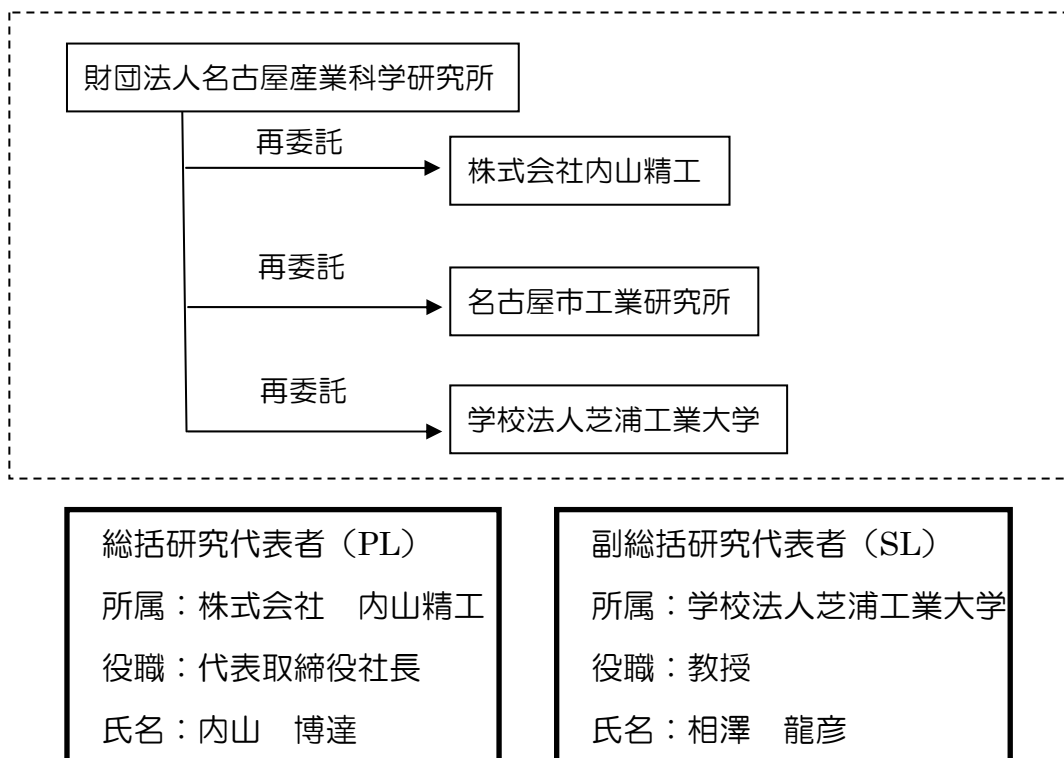
2) 研究の概要

高応答で金型に組み込み可能な小型急速加熱素子及び超高周波電源から成る加熱ユニットを開発し、急速加熱・冷却応答性評価などを行う。また、樹脂流動時の金型及び樹脂の温度・圧力などを測定できるように射出成形機を計装化し、加熱ユニットを埋め込んだ金型にて成形試作してその成形環境などを調査する。さらに、金型内で起こる樹脂の相変化をシミュレーション解析し、実際の成形結果と照らし合わせることにより、最適な温度制御を確立する。

1-2 研究体制

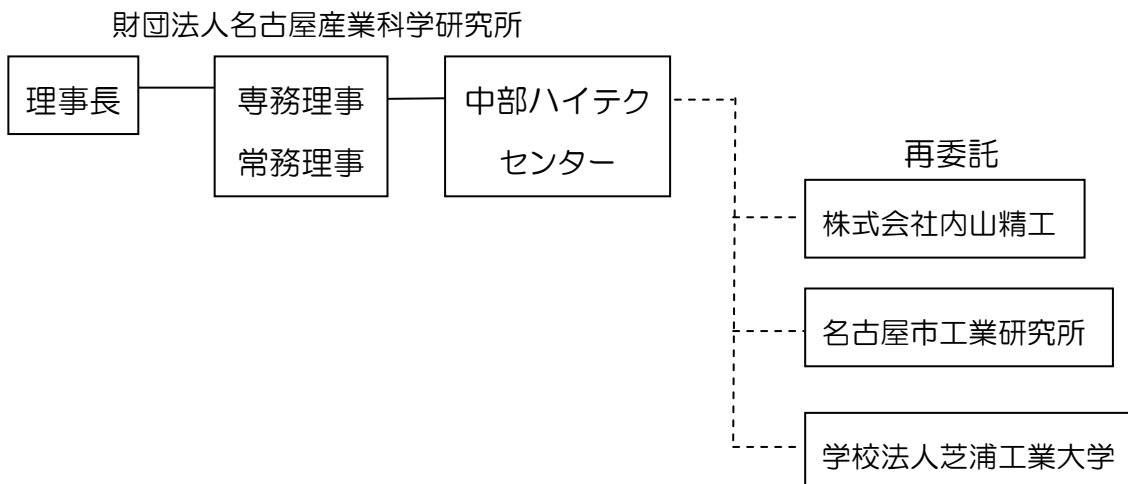
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



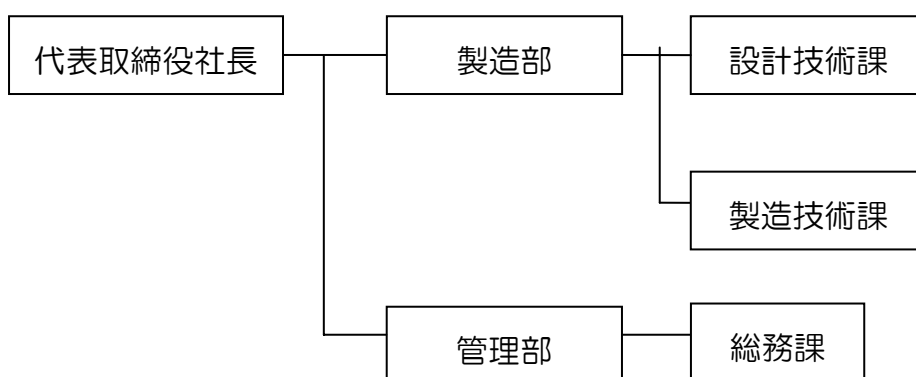
2) 管理体制

①事業管理者

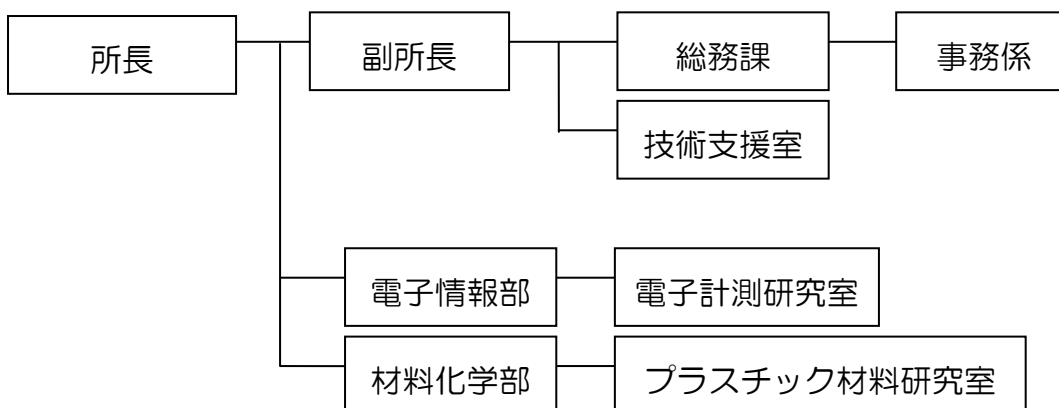


②（再委託先）

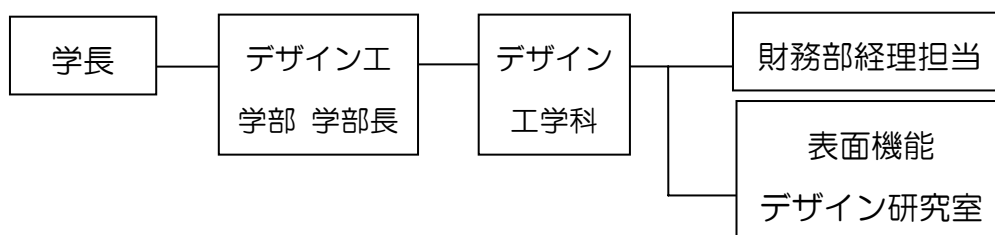
株式会社内山精工



名古屋市工業研究所



学校法人芝浦工業大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏名	所属・役職
安部 浩二	中部ハイテクセンター 事務局長
藤根 道彦	中部ハイテクセンター 産学連携支援部長
浅田 節子	中部ハイテクセンター
滝澤 智美	中部ハイテクセンター
蟹江 祥子	中部ハイテクセンター

【再委託先】 研究員

株式会社内山精工

氏名	所属・役職
内山 博達	代表取締役社長
坪井 克己	専務取締役製造部長
奥宮 浩二	製造部製造技術課メンバー
新井 教裕	製造部設計技術課メンバー

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職
三宅 卓志	電子情報部 部長
原田 征	材料化学部 プラスチック材料研究室 研究員
飯田 浩史	材料化学部 プラスチック材料研究室 研究員
岡本 和明	材料化学部 プラスチック材料研究室 研究員
小田 究	電子情報部 電子計測研究室 研究員

学校法人芝浦工業大学

氏名	所属・役職
相澤 龍彦 伊藤 国吉 森田 泰史	デザイン工学部・教授 研究員 研究員

(3) 協力者（アドバイザー）

機関名又は氏名	所在地又は住所
YS 電子工業 (株) 代表取締役・杉田 良雄	〒400-0043 山梨県甲府市国母 5-19-18
ヤマハファインテック(株) カーパーツ事業部 事業部長・仲田 泰弘	〒435-8568 静岡県浜松市南区青屋町 283

1-3 成果概要

高応答で金型に組み込み可能な小型急速加熱素子及び超高周波電源から成る加熱ユニットを開発し、急速加熱・冷却応答性評価などを行った。また、樹脂流動時の金型及び樹脂の温度・圧力などを測定できるように射出成形機を計装化し、加熱ユニットを埋め込んだ金型にて ABS, PC, PA6, PP および PLA の各樹脂を成形試作した。その結果、ABS, PC のウエルドラインが目立ちにくくなった。このことからウエルドに起因する成形体の問題に、この方法を適用した金型を活用できることがわかった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人名古屋産業科学研究所

中部ハイテクセンター 産学連携支援部門：藤根 道彦

TEL : 052-223-6639、 FAX : 052-211-6224

E-mail : fujine@nisri.jp

第2章 樹脂の熱分析およびサーマルサイクルを目指した金型内シミュレーション

2-1 研究目的および目標

示差走査熱量分析装置 (DSC) の役割

本研究開発事業では、射出成形における金型の一部をサーマルサイクル制御によって急速加熱・急速冷却することによって成形時の不具合解消を可能とする射出成形システムの構築を目指している。サーマルサイクル制御金型を使用して射出成形を行うにしても、樹脂の熱的特性を知らなければ、金型の当該制御部位を何℃に設定して樹脂の流動性が確保するのかが決定することができない。つまり、どの温度域で樹脂は熔融し、流動性を持ち、どの温度域で結晶化（固化）が始まり、どのくらいの時間で結晶化（固化）が完了するのかが分からなければ、サーマルサイクル制御金型での温度プログラムを決定することができない。そこでこの樹脂の熱的特性を調べるために、DSCによる測定が必要不可欠であると考えられる。

プラスチックをはじめ、物質が化学変化や融解・固化などの相変化を起こすときはエネルギー（熱）を吸収・放出する。DSCは試料を一定条件で加熱、冷却したときにおこる、試料に吸収され、又は放出されるエネルギー（熱）の出入りをみるための装置である。

例えば氷を暖めていくと、0℃で氷が融けるが、この時、固体から液体（氷から水）へと相変化が起こり、その相変化のためのエネルギーが余分に必要になるため、0度の前後でその分余分に温めなければならない。逆に水を冷やして氷になるときは水分子の激しい運動が止まるため、水分子の運動エネルギーが放出されて熱が発生するので、その分余分に冷やさなければならない。したがって、物質を加熱冷却する際の熱エネルギーの吸収・放出を観察してやれば、どのような温度で、どのような相変化が起こるかを知ることができる。

そこで、物質を加熱あるいは冷却する際に吸収・放出されるエネルギーを測定するための装置がDSCとなる。プラスチックの場合であれば、融解や固化、ガラス転移、結晶化など、射出成形時にプラスチックに起こる相変化について、その相変化が起きる温度、さらにその相変化の速度（どれくらいの速さで相変化が起こるか）について、DSCで調べることができる。したがって金型内に射出された当該温度変化に対応した温度コントロール（急速加熱・急速冷却）を可能とするDSCが必要となる。そこで以下に示すDSC装置を選択した。

PerkinElmer 社 DSC8500

性能

昇温速度 最大 750℃/min

冷却速度 最大 750℃/min（制御無しで急速冷却、いわゆる‘クエンチ’が可能）



写真 DSC8500 本体



写真 冷却システム

2-2 実験方法

2-2-1 DSC

DSC 装置として PerkinElmer 社 DSC8500 を用いた。典型的な温度プロファイルとして、はじめに $0^{\circ}\text{C} \rightarrow 200^{\circ}\text{C}$ の加熱を昇温速度 $50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で、次に 200°C で 2 分間保持し、最後に $200^{\circ}\text{C} \rightarrow 0^{\circ}\text{C}$ の冷却を冷却速度 $-50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で行った。得られた曲線からピーク温度、面積、補外開始点を読み取った。

2-2-2 材料

材料として以下のものを用いた。材料は袋から出してそのまま使用した。

PP: ポリプロピレン

PA: ポリアミド (ナイロン)

ABS: アクリロニトリル - ブタジエン - スチレン樹脂

PC: ポリカーボネート

PLA: ポリ乳酸

2-3 研究成果

2-3-1 結晶性樹脂

自動車用プラスチックとしてよく使用されている PP について、示差走査熱量測定器 (Differential scanning calorimetry : 以下 DSC とする。パーキンエルマージャパン社製 DSC8500) による相変化の測定を行った。

測定条件としては、以下の通りである。

- ① 0℃ → 200℃ 昇温速度 50℃/min (赤いライン)
- ② 200℃で2分間保持
- ③ 200℃ → 0℃ 冷却速度 -50℃/min (青いライン)

測定結果を図2-1に示す。

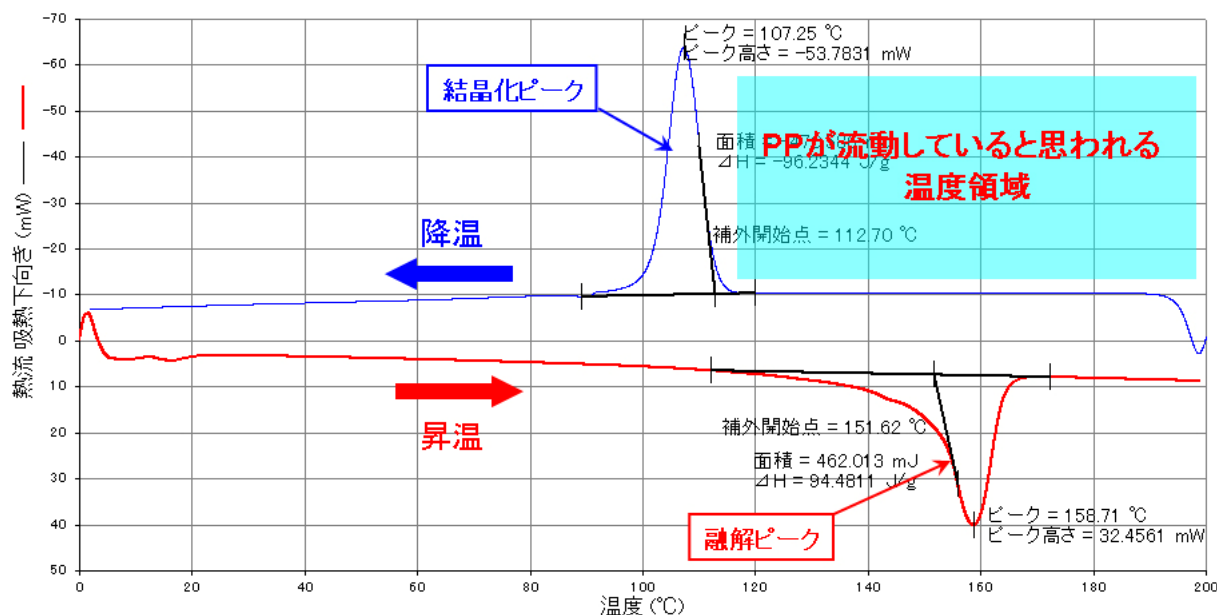


図2-1 PPのDSCチャート

(横軸は温度、縦軸は熱流 (熱の出入り) で吸熱が下向きで発熱が上向きのピーク)

昇温時の融解ピーク (T_m) は 159℃付近に現れた。一方で冷却時の結晶化ピーク (T_c) は 107℃付近に現れた。 T_m と、 T_c とでは相当な差があることがわかる。金型内でのプラスチックの熱挙動は、この測定結果では降温時のものに相当する (図 2-1 の青いライン)。この測定結果によれば、融解した PP を冷却していった場合、113℃以上の時は結晶化 (凝固) せずに熔融したまま流動していると考えられる。したがって、PP の射出成形において、サーマルサイクル制御金型を使って成形を行う場合、113℃以上の金型温度での成形が考えられる。

2-3-2 非晶性樹脂

非晶性樹脂として、ABS 及び PC について評価を行った。まず ABS の基礎的な熱物性を測定した。

測定条件としては、以下の通りである。

- ① 30℃ → 240℃ 昇温速度 50℃/min

- ② 240℃で2分間保持
- ③ 240℃ → 30℃ 冷却速度 -50℃/min

測定結果を図 2-2 に示す。

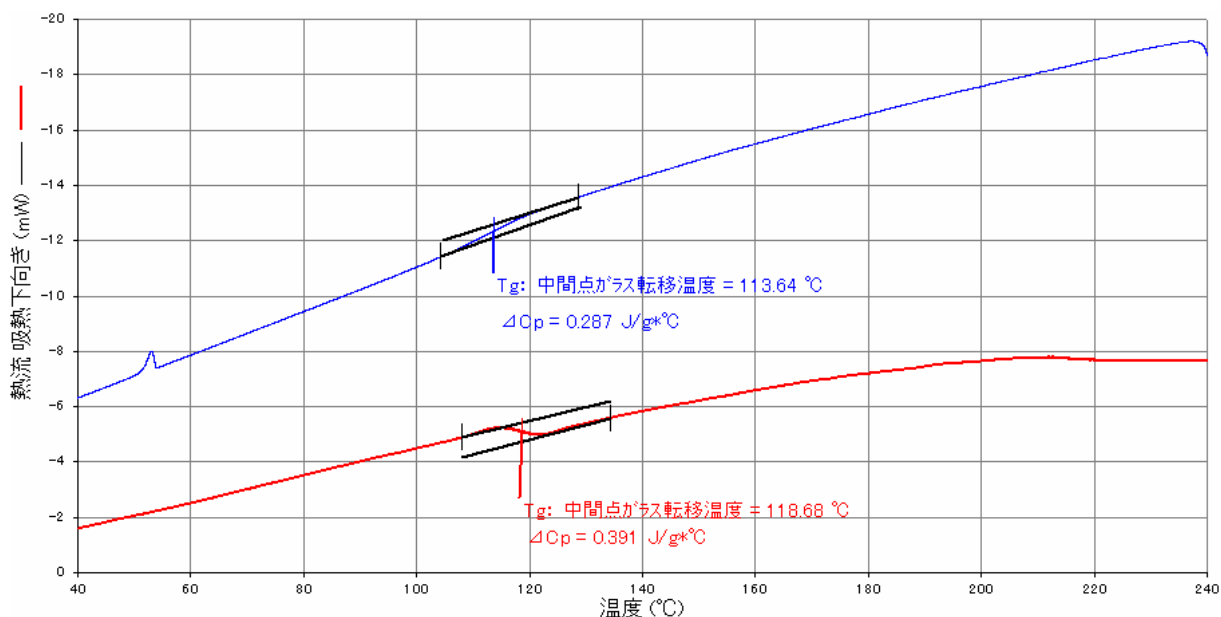


図 2-2 ABS の DSC チャート

結晶性樹脂とは異なり、ガラス転移点 (Tg) のみが観測された。昇温時、降温時ともほぼ同じ温度であった。この結果より、ABS が流動性を維持するためにはサーマルサイクル制御部位の初期温度は 120℃以上にすることが考えられる。PC についても同様の測定を行い、Tg のみが観察された。

2-3-3 結晶性樹脂の成形加工シミュレーション

先の DSC による樹脂の相変化観察の結果を踏まえると、実際のサーマルサイクル制御金型を使った PP の射出成形では、金型のサーマルサイクル制御部位の初期温度を 120℃に設定し、PP が射出している間は当該温度で保持し、その後、通常 of 金型温度である 30℃まで急速冷却する、という金型温度条件が想定される。したがって PP が射出されている間に、その保持する温度で PP が結晶化 (固化) しないことが必要になる。

そこで、120℃の金型に PP を射出したと想定して、その場合に熔融した PP の挙動観察を行った。具体的には 200℃で熔融させた PP を 120℃まで急速冷却して、その温度で保持した場合に、PP がどのような変化が生じるかについて検討すべく、DSC による測定を行った。以下のような条件で測定を行った。

- ① 200℃で2分間保持して PP を完全に融解させる (射出成形時の可塑化に相当)

② 冷却速度-750°Cで、120°Cまで冷却（120°Cの金型に射出したことを想定）

③ 120°Cで保持（射出成形の冷却に相当）

測定結果を図 2 - 3 に示す。

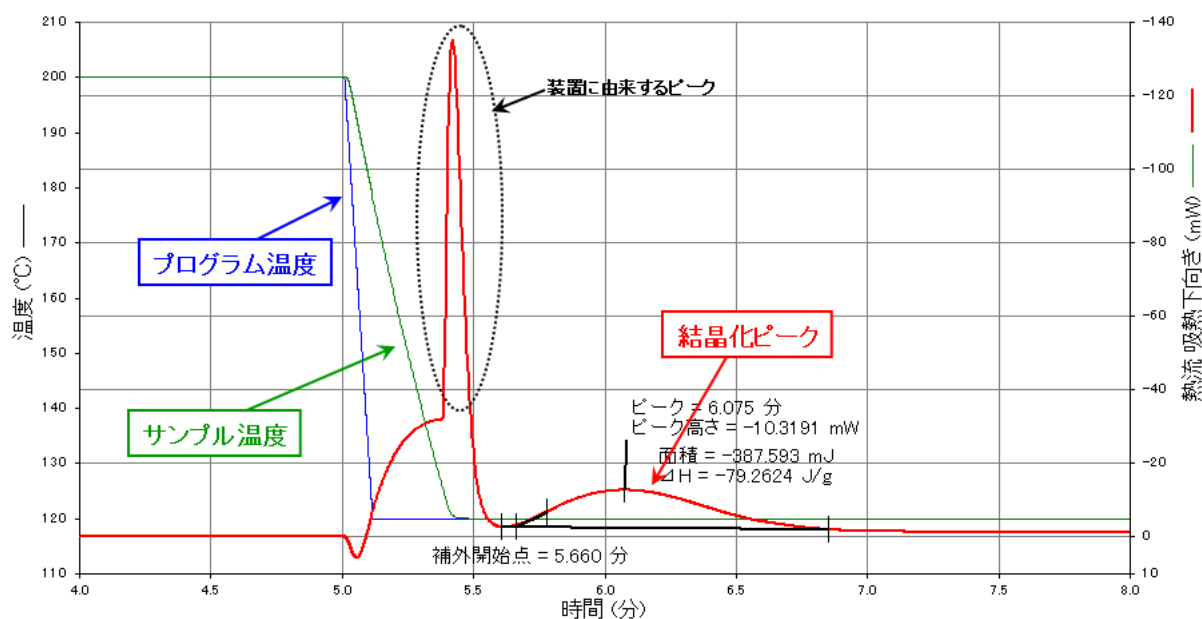


図 2 - 3 PP の 120°C等温保持

（縦左軸：熱流、横右軸：温度、横軸：時間

青：温度プログラム、緑：サンプル温度、赤：熱流、以下同じ）

結果から明らかなように、120°Cまで冷却された PP は、約 1 分（ピークトップ：6.075 分）ほどで結晶化（固化）と思われるピークが発現した（なお、結晶化のピークの前に現れたシャープなピークは装置に由来するものである）。したがって、金型温度 120°Cに冷却された PP は冷却後間もなく結晶化（固化）が始まってしまうため、この温度では十分な流動性が得られない可能性が高い。ただし、サンプル温度が 120°Cに到達してから、PP の結晶化ピークが現れるまではタイムラグがあるため、金型温度を 120°Cに設定した場合でも当該温度で保持する時間が短ければ問題は無いと考えられる。さらに保持温度 130°Cを想定して同様の測定を行った。測定結果を図 2 - 4 に示す。

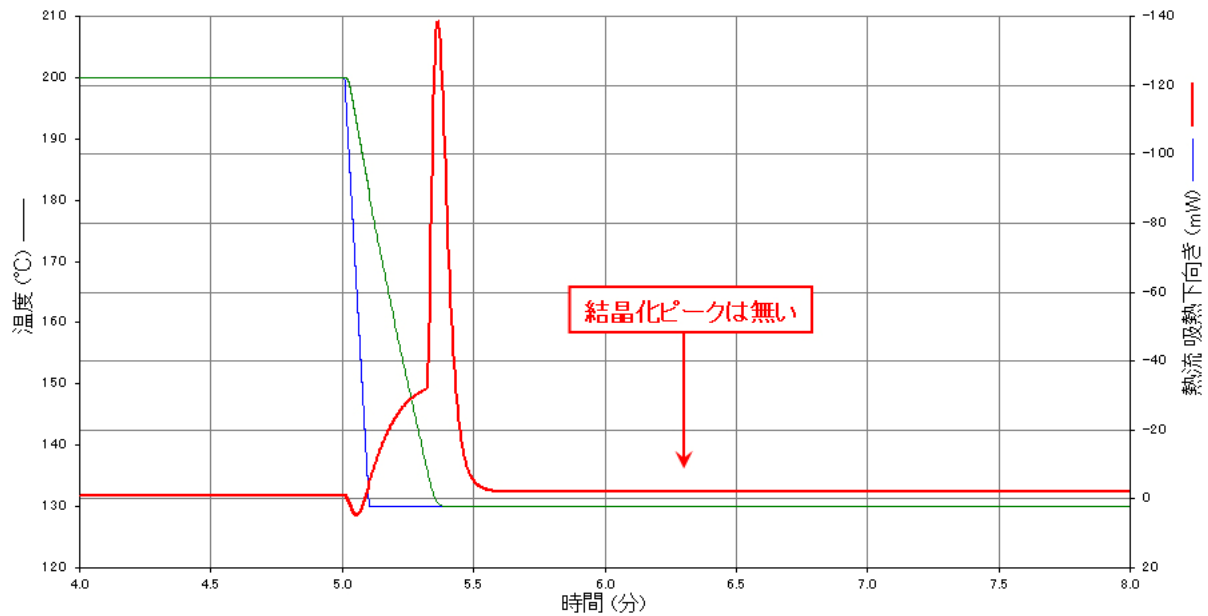


図 2 - 4 PP の 130°C 等温保持

すると、120°C 保持で測定した時に現れた結晶化ピークは現れず、フラットな熱流曲線が得られた。つまり、サーマルサイクル制御金型の局所加熱部位の初期温度としては 130°C 以上に設定することが、より好ましいと考えられる。

以上の結果を踏まえ、サーマルサイクル制御金型を使って PP の射出成形を行ったと仮定し、その時の金型の当該温度制御部での PP の挙動を DSC により観察を行った。

具体的には以下の条件で測定を行った。

- ① 200°C → 130°C 冷却速度 -750°C/min (融解 PP の金型への射出を想定)
- ② 130°C で 30 秒間保持 (130°C の金型温度で等温保持した時を想定)
- ③ 130°C → 30°C 冷却速度 -750°C/min (通常 の 金 型 温 度 30°C まで 急 速 冷 却 し た 時 を 想 定)

結果を図 2 - 5 に示す。

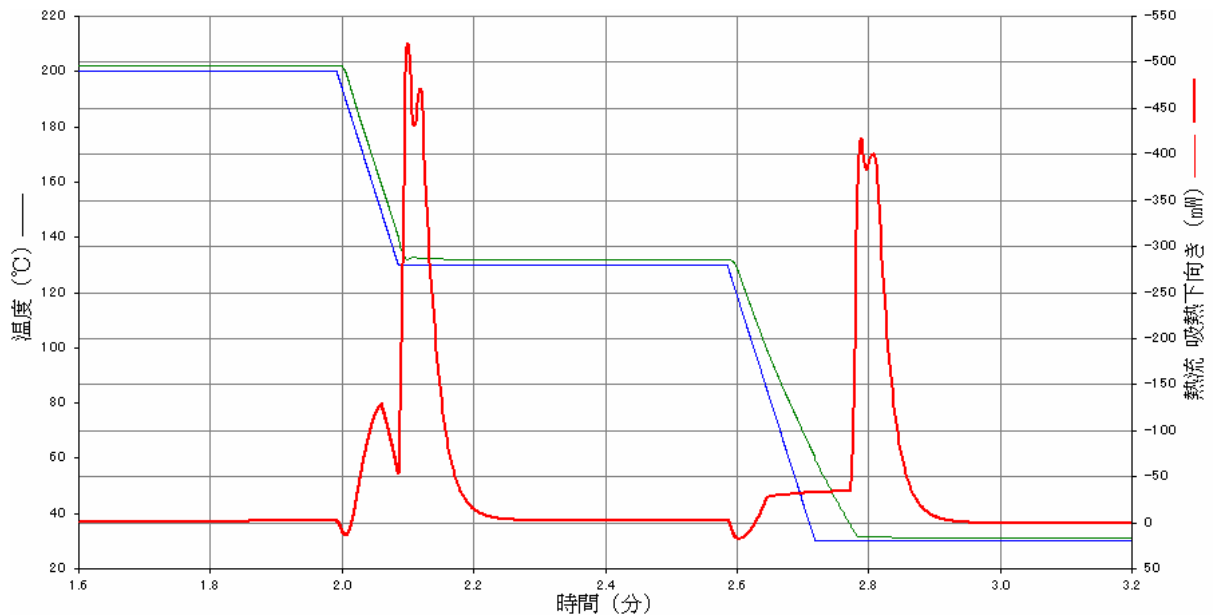


図 2-5 PP の成形加工シミュレーション DSC チャート

図 2-5 の測定結果を見ると、PP の結晶化ピークは観察できなかった。しかし、この測定後のサンプルについて再度 200℃まで加熱すると結晶化ピークは観測されずに融解ピークのみが観測された。つまり図 2-5 において、①及び②の段階では PP は溶融したまま（流動性を保ったまま）で、③の途中で結晶化（固化）が始まっていると考えられる。すなわち、PP の射出成形において、サーマルサイクル制御金型を使う場合、当該金型のサーマルサイクル制御部位を 130℃以上に設定して成形を行えば、本研究開発事業で予定している効果（ウェルドやヒケ等の不具合解消）が得られると考えられる。

2-3-4 非晶性樹脂の成形加工シミュレーション

前節の ABS の相変化状態の結果を踏まえると、ABS の射出成形では、金型のサーマルサイクル制御部位の金型温度を 120℃にして一定時間保持し、その後、通常 of 金型温度である 50℃まで急速冷却する、という金型温度条件が想定される。しかしガラス転移温度 (T_g) の際の熱流変化は、結晶化ピーク (T_c) に比べると、極めて小さなものであるため、結晶性樹脂の T_c のように等温金型で観察することは難しいと考えられる。前述の結果より、ABS の成形における当該部位の初期温度は 120℃以上が好ましいと考えられる。

第3章 小型急速加熱ユニットを埋め込んだ試作金型の製作と評価

3-1 研究目的及び目標

ウェルド・肉厚変化・超薄肉などの不具合を人工的に発生させたモデルを設計する。この設計に加え、IH 式小型急速加熱素子ユニット・モジュールの研究結果を踏まえた試作金型を製作し、新規開発した計装化成形機で成形実験を行う。本実験により、ウェルドの不具合の解消状況を評価する。

また、汎用プラスチック・エンジニアプラスチック等の熱可塑性樹脂や生分解性樹脂を成形材料として選択し、それぞれについてウェルドの消滅過程や樹脂流動の滞留現象の変化を直接観測及び流動シミュレーションで明らかにし、金型のサーマルサイクル制御の特性や性能を調査する。

さらに、急冷時の等温結晶化など金型内で起きる樹脂の相変化を示差走査熱分析 (DSC) によるシミュレーションで解析する。解析結果を踏まえ、実際の成形結果と照らし合わせ、温度制御プログラム設定の最適化を図る。

以上により、サーマルサイクル制御を用いることによるウェルド、フローマーク、ヒケなどの成形上の不具合解消や、従来と比べたサーマルサイクルの向上率を評価する。

3-2 実験方法

計装化した射出成形機で以下の設定で成形を行った。

表 3-1 各樹脂の射出成形機の設定

	射出速度 (mm/s)	保圧 (MPa)	シリンダー温度 (°C)	金型温度 (°C)
ABS	60	60	230	40
PC	120	50	290	90
PA6	24	40	245	80
PP	20	40	220	40
PLA	25	60	220	30

金型温度は表の値で一定とし樹脂射出時の温度変化はあるものの、温調機による温度変化はさせなかった。

加熱素子を独自の加工をして加熱ユニットとし、それを金型に組み込んだ。最高温度は 150°C で射出成形機 (FANUC ROBOSHOT S-2000i) と連動させた。射出成形機は計測化しロガーでデータを取り出した。

3-3 研究成果

3-3-1 成形体の設計

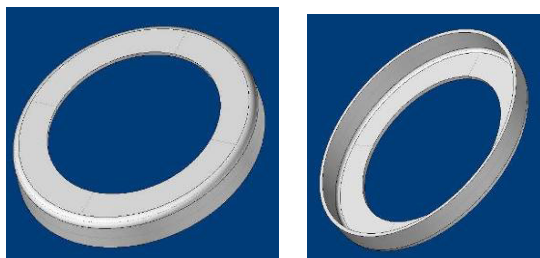


図3-1 成形体 a_表裏



図3-2 成形体 b_表裏

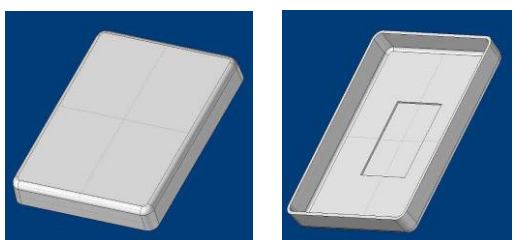


図3-3 成形体 c_表裏



写真3-1. 射出成形機の設定
射出速度：20 mm/s、保圧：70 MPa

図3-1に成形体 a, b および c の3D設計図を示した。図3-1では環状に樹脂が流動し衝突するモデルである。成形体 b でも同じくウエルドを発生させるモデルである。成形体 c は薄肉部を中心部に持つ成形体である。それぞれ現実の不具合をモデル的に表している。

3-3-2 成形品のショートショット法によるウエルドラインの確認

写真3-1. 射出成形機の樹脂として ABS を用いた場合の設定である。設定で最も重要な設定値：射出速度は上段中央(20 mm/s)；保圧は上段左 (70 MPa)。

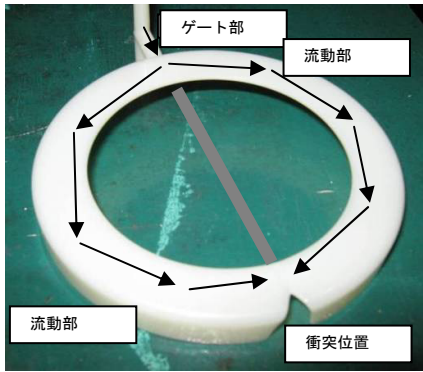


写真3-2 a) 射出成形の成形のトライにおいて、ABS樹脂を用いてショートショット（意図的に未充填の成形品）を作製しウエルド位置を確認。樹脂はゲート位置から流入・分岐し、ウエルド位置で衝突する。
 b) ウエルド位置の拡大写真。再会合の際の角度が強度等に重要である。

写真3-2からウエルドラインの位置および形成状況が推察されたので、該当する箇所に加熱ユニットを導入した。同様に成形体bおよびcについても成形を行いウエルドラインの確認を行った。

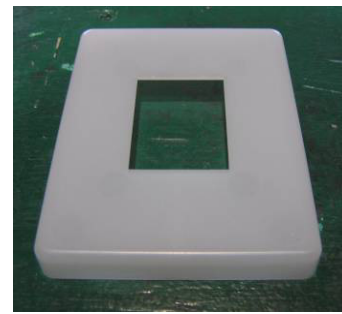


写真3-3 a) 成形体bのショートショット
 b) 成形体bのショートショット(約95%充填)
 c) 成形体bの完全充填

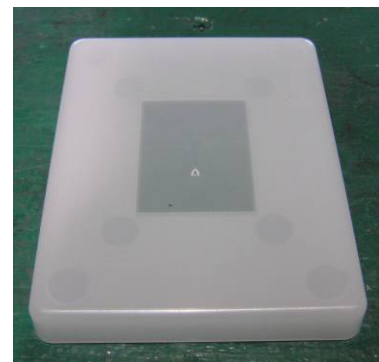


写真3-4 a) 成形体cのショートショット
 b) 成形体cのショートショット(約95%充填)
 c) 成形体cの完全充填

写真3-2から3-4の結果から、成形体bおよびcについてもウエルドライン位置を割り出した。

3-3-3 加熱ユニットの加熱による樹脂材料の成形性について

次に成形体 a について樹脂材料 (ABS, PC, PA6, PP および PLA) を用いて検討を行った結果を以下に示す。

1) ABS

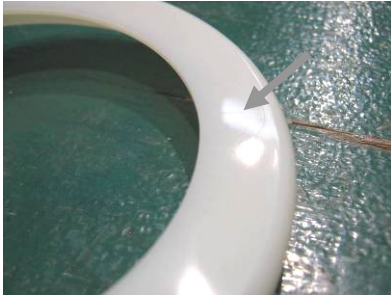


写真 3-5 完全充填時でも現れるウエルドライン (矢印)。

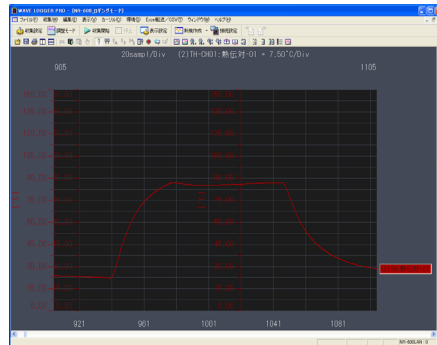


図 3-4. IH 小型急熱加速素子を金型内でモジュール化し、超高周波電源装置で加熱させたところ。赤線が素子の温度である。約 90 度に達している。

写真 3-5 に明らかなようにウエルドラインが見られた。このウエルドラインに対し、第 2 章の議論から ABS について独自の金型温度プログラム作成し、図 3-4 のように加熱できる独自の IH 加熱ユニットを開発し、写真 3-6 のように射出成形を行った。

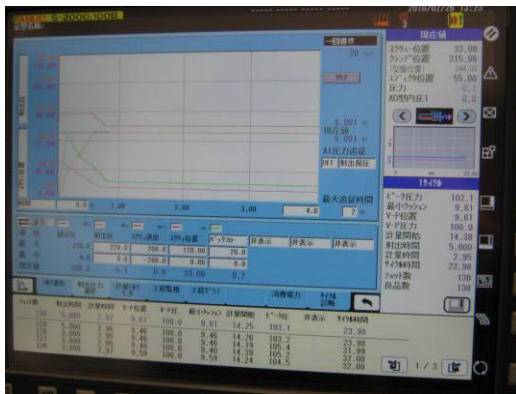


写真 3-6 完全充填時の射出圧のモニター。

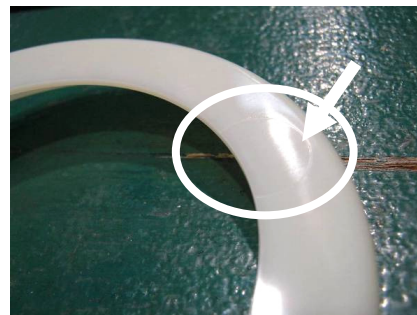


写真 3-7 加熱ユニットを 130°C まで加熱

写真 3-7 から明らかなように加熱ユニットをある温度まで加熱することによりウエルドラインが消失することを確認した。このことからウエルドの不具合の解消が達成できたと考えられる。

2) PC

第2章の結果、PCについても同様のシミュレーションを行い独自の温度を設定した。



写真3-8 PCを用いた成形

写真3-8から明らかなように加熱モジュールがオフのときウエルドラインが明瞭に現れたが、加熱モジュールがオンのときウエルドラインが減少し、存在は残るがウエルドが目立たなくなった。オフのときもウエルドラインが見えるのはPCの場合は透明なため、内部が透過して目視できるので加熱ユニットの接している部位の深いところから裏側の構造が出ていると考えられる。このことからABSと類似の結果となることがわかった。

3) PA6

PA6、GFR-PP、GFR-PA6 に関しても第2章で同様の成形加工シミュレーションを行った。独自のプログラムを作成し、成形を行った。

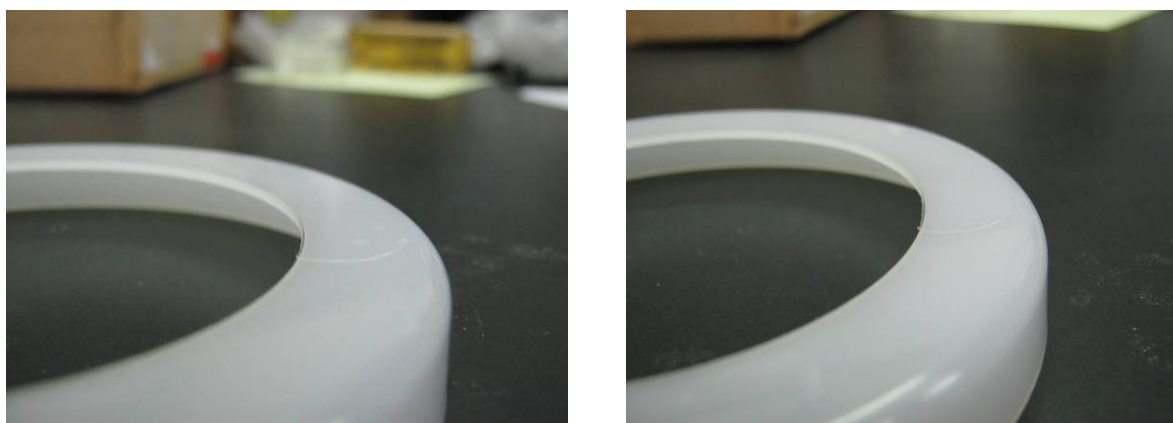


写真3-9 a) PA6のウエルドライン発生部。加熱ユニットオフ。 b) 加熱ユニットオン

その結果、写真3-9に示すようにPA6はIHがオフのときでもウエルドラインがめだた

ずほとんど存在しないように見えることがわかった。この金型では PA6 のウエルドラインが目立たなかったと考えられる。しかしながら内部構造にはウエルドラインの構造が残り物性等の低下が予想される。

次に、加熱ユニットを ON にしても加熱ユニット部位については大きな影響は見られなかった。このことから、外観はそのままでウエルドを抑えた効果（物性向上など）が期待できる。

4) PP

第2章の PP の DSC 測定の結果から、実際の成形におけるサーマルサイクル制御金型の温度プログラムを設定し、成形を行った。



写真3-10a) PPのウエルドライン発生部。加熱ユニットオフ。



b) 加熱ユニットオン

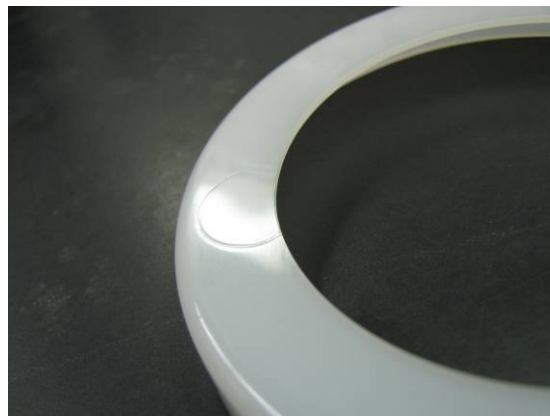
ウエルドライン部については加熱ユニットがオフでも明瞭なウエルドラインは見られなかった（写真3-10a）。したがって加熱ユニットがオンのときもウエルドラインについても変化が見られなかった（同 b）。PP では DSC 測定では加熱ユニットオフ時とオン時で明瞭な違いはみられなかった。

5) PLA

第2章の結果から、結晶化 PLA についても独自のサーマルサイクル制御プログラムを開発し、同様の実験を行った。



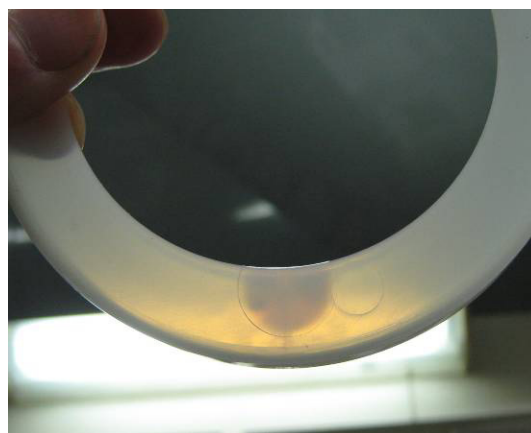
写真3-1 1 a) PLA (結晶核剤入り) 成形のウエルドライン部。加熱ユニットはオフ。



b) 加熱ユニットオン



写真3-1 2 a) PLA (結晶核剤入り) 成形のウエルドライン部をすかして観察。加熱ユニットはオフ。



b) PLA (結晶核剤入り) 成形のウエルドライン部をすかして観察。加熱ユニットはオン。

写真3-1 1 から明らかなように、PLA のウエルドラインも加熱ユニットオンオフで違いは見られなかった。しかしながら、写真3-1 2 に示すように透かして観察すると、加熱ユニットの存在したところが白く影がついた。このことは PLA が加熱ユニットの加熱のために結晶化していることを示唆している。

以上の結果から、ABS を用いた成形でウェルドラインの消滅が最も効果的で、PC にも効果があることがわかった。また、結晶化樹脂として PA6 および PLA については結晶化状態を加熱ユニットの周囲と異なった状態に変化させることが可能で、結晶化の制御が可能であることが実証できた。さらに加熱と流動と樹脂の衝突について、さらに検討を行うべきであることがわかった。

先行する技術として金型全体を暖め射出後すぐに急冷する技術があるが、それと比べて局所を加熱し冷却できたので効果的なサーマルサイクルを実現していると考えられる。

第4章 全体総括

4-1 成果の総括

高応答で金型に組み込み可能な小型急速加熱素子及び超高周波電源から成る加熱ユニットを開発し、急速加熱・冷却応答性評価などを行った。

第2章で、樹脂の相変化の状態を調査するために、示差走査熱量測定器を用いて示差走査熱分析（DSC）を行い、樹脂流動特性に関して検討した。この結果を3章の小型加熱ユニットの設計などに反映させた。

第3章では、樹脂流動時の金型及び樹脂の温度・圧力などを測定できるように射出成形機を計装化し、加熱ユニットを埋め込んだ金型にて ABS, PC, PA6, PP および PLA の各樹脂を成形試作した：はじめに、加熱素子単体での加熱速度（目標速度 10℃/s 以上）とエネルギー変換効率（目標 40%以上）を達成していることを確認した。次に、ユニットの加熱能力を評価し、その特性に与える影響因子の分析を進めた。そして、開発した小型急速加熱素子と超高周波電源を組み合わせた、金型に埋め込み可能な小型加熱ユニットの設計開発を行った。この加熱ユニットを用いて、樹脂に応じて、第2章での熱物性を基にして適正サイクルを設計し、実証実験を行った。ウエルドの不具合を人工的に発生させたモデルの設計、試作金型の製作を行い、計装化射出成形機で成形した。その結果、ウエルドの不具合の解消は ABS 樹脂で最も優れ、PC も改善が見られた。また、PA6 および PLA についても結晶状態の変化が見られ、金型のサーマルサイクル制御によって結晶状態の制御が可能であることがわかった。以上のことから金型全体を加熱冷却する方法に比べてウエルドライン解消や結晶化の制御が効率よく可能であることがわかった。

4-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

なし

4-3 今後の事業化に向けた取組み

1) 成果と課題

採択プロジェクト初年度である今年度は、急速加熱素子の小型化を進めつつエネルギー変換効率の向上を達成した。さらに、この素子を金型へ投入するのに適したシステムとするために、ユニット化・モジュール化を設計した。そして、ここで製作したユニット・モジュールを試作金型に投入し、サーマルサイクルの実効性を検討した。

試作金型での成形トライにおいては、特にABSとPCにおいてウェルドの消失あるいは軽減を確認でき、PA6とPLAにおいては、結晶状態に変化が見られ、部分結晶化や結晶化状態の制御が可能であることが分かるなど、成形不具合解消に対して有効な技術であることを実証した。

一方で、素子の加熱能力について、設定値と実測値にまだ開きがあることや、DSCで解析されたサーマルサイクルに沿った温度履歴プログラムが、金型上で精度よく再現できていないケースもあるなどの課題も残されている。これらの課題については、素子・ユニット設計の最適化や、電源制御の高度化を進める必要があるため、次年度からの補完研究で解消していく。

2) 金型事業

事業化への取り組みは、補完研究での課題解消成果を取り入れて、金型事業の推進を中心に進める。特に川下アドバイザー企業のニーズとのマッチングを重要と捉え、アドバイザーの指導を受けながら、同社の開発製品に対して適用を深めていく。また、より多くのニーズに対応可能な技術とするために、アドバイザー企業の追加活動にも力を入れる。周知・営業活動の具体的な行動は以下の通りである。

- ① 現アドバイザー企業の指導のもと、同社の開発部品への適用を進める。
- ② 本技術の周知に努め、アドバイザー企業を募る。
 - A) 展示会に出展する。直近では今年7月に浜松市で行われるビジネスマッチングフェア、さらに2011年4月に開催予定のインターモールドなどへの出展を計画し、本技術を広く紹介をする。
 - B) 学会活動に出展する。プラスチック成形加工学会や型技術協会などへの出展を計画し、雑誌媒体などを通じて、広く周知活動を行う。
- ③ 浜松・中京地区を中心とした自動車産業の特に内装意匠部品に的を絞って、営業活動を推進する。また、我が国の基幹産業の一つである情報家電産業にも同様のアプローチを行う。

図4-1：本技術適用の金型製造事業売上目標（千円）

	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後
売上高	240,000	240,000	260,000	300,000	340,000
内、自動車内装部品	216,000	216,000	234,000	270,000	306,000
内、当技術	0	30,000	50,000	70,000	100,000

※当社売上高のうち、自動車内装部品の割合が90%とした場合

3) 成形事業

金型事業の高度化推進は、本研究開発の中心であることは言うまでもないが、一方で、金型は生産設備の一部であり、顧客が求めているのは金型そのものではなく、高付加価値化された製品である、という声が一般的であることから、本技術の事業化を推進していく際には、成形業務の事業化は必要不可欠である。

- ① 事業化の初期段階では、成形業務のアウトソース化によって顧客に対する提供時期を早める。
- ② 社内での成形業務の事業化を進め、ユーザーのニーズに素早く応える体制を築く。

図4-2：本技術適用の成形事業売上目標（千円）

	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後
売上高	1,000	2,000	5,000	8,000	10,000
内、既存成形事業	1,000	1,800	3,500	5,000	5,000
内、当技術	0	200	1,500	3,000	5,000

※成形品平均単価＝@200円と仮定した場合

4) ライセンス販売事業

さらに、金型事業および成形事業で得られたノウハウを纏め上げ、これを有償で提供するライセンス事業を展開する。ここでは、技術の提供だけではなく、部品販売も展開し、普及に努める。

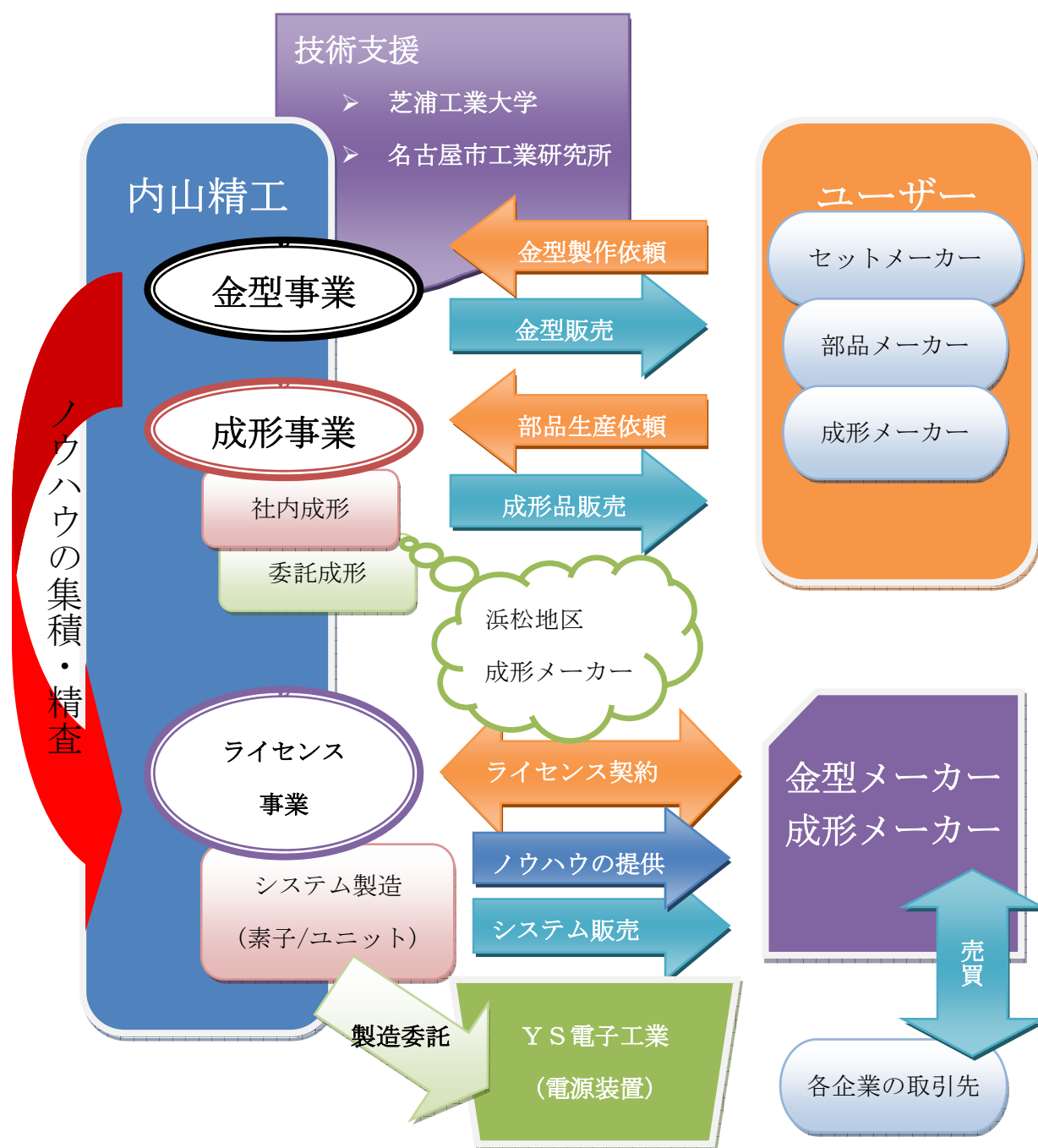
図4-3：本技術ライセンスおよびシステム販売事業売上目標（千円）

	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後
ライセンス数（累計）	0	0	1社	3社	5社
イニシャルフィー	0	0	1,000	3,000	5,000
ランニングフィー	0	0	120	240	360
システム販売 （販売数/売上）	0 0	0 0	5set 1,000	20set 4,000	30set 6,000

※イニシャルフィー＝100万円/社・ランニングフィー＝成形品単価の3%

※システム平均価格＝20万円/set

5) 事業化イメージ



6) 波及効果

ここまでの事業化において、自動車／家電部品を対象に当該技術の適用を進め、既存の生産プロセスの高度化、すなわち、成形品表面の高品位化（ウエルドレス他）・不良率の低減・手直し（補正）の低減・金型寿命の延長などを達成した後、次世代生産プロセスの革新へと技術的波及を想定する。

これらの展開により、我が国産業の競争力向上への貢献と、さらに喫緊の課題でもある環

境問題への対策手段としての波及効果を狙う。

