

平成 25 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業  
「射出成形における、超薄肉、超微細転写技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 26 年 3 月

委託者 関東経済産業局  
委託先 株式会社精工技研

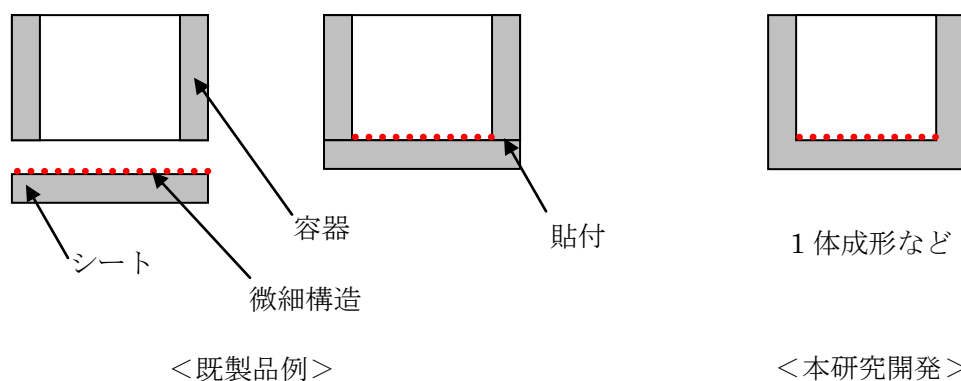
「射出成形における、超薄肉、超微細転写技術の開発」 目次

<b>第一章 研究開発の概要</b> .....	<b>2</b>
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	2
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）.....	4
1-3 成果概要.....	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	7
<b>第二章 本論（各研究開発テーマの成果詳細）</b> .....	<b>8</b>
2-1 異形状製品の射出圧縮成形金型の開発.....	8
2-2 新たな樹脂流動部熱コントロール技術の開発.....	10
2-3 新たなハイサイクル熱コントロール技術の開発.....	11
2-4 最適な射出成形機のオプション検討.....	13
2-5 射出成形品の評価.....	14
<b>最終章 全体総括</b> .....	<b>17</b>

## 第一章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

数年前から医療バイオ分野とナノテクノロジーを融合させ、新しい技術によって医療分野を発展させようという動きがある。近年はより微細な形状を要求され、より高精細かつ高アスペクト比の製品需要が増えている。例えば、再生医療や創薬の分野で細胞培養面に微細構造を持つ細胞培養シートが研究されている。これは「より生体環境に近い」細胞研究に利用されており、今後の先端医療技術の発展に寄与していくと考えられている。既製品として培養容器の底面が抜けた容器に微細構造をもつシートを貼り付けた構成の容器がある。しかしながら、このような容器は微細構造を形成する工程に時間がかかることと、2部品を貼り合わせる工程が容易でないことから安価な量産が難しい。



本研究開発では、高精細化が求められる医療・細胞培養の分野のニーズに対し、超精密射出成形技術によりナノレベルの形状を形成し、安価で市場に提供できる製造方法の確立を目指した。本研究開発は特定ものづくり基盤技術に指定されているプラスチック成形加工技術、金型技術を背景に、微細化・高精細化・高機能化といった川下製造業者等の抱える課題及びニーズを達成すべく上記技術の開発を行った。

<本研究開発の目標とその結果>

細胞培養用の容器として細胞培養エリアが小分けになっているマイクロプレートがある。本研究開発はマイクロプレートの底面に微細構造を付けた製品を、射出成形を主とした製造において1,000円以下の市場価格で提供することを目標とした。



マイクロプレート

射出成形で微細構造を持つマイクロプレートを具現化するためには多くの技術的課題があったため、簡易的なディッシュ形状等であらかじめ課題の対策と目指すべき製造方法の検証を行った。ディッシュ形状等で得られた結果を踏襲する形で微細構造を持つマイクロプレートを具現化することができた。本研究開発を進めていく上で以下の目標を立て、それぞれ次に示す結果を得た。

目標：成形品厚み 0.1mm 以下。

結果：ディッシュ形状の培養面で部分的に厚み 0.15mm を達成。

目標：微細構造（微細模様）のサイズは微細構造の幅 100nm 以下、高さ 200nm 以上。

結果：微細構造のサイズ  $\phi$  150nm で高さ 300nm までを達成。

目標：従来の微細構造を形成する時間 60 秒以上に対し成形サイクルを大幅に短縮する。

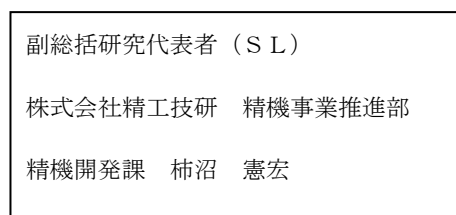
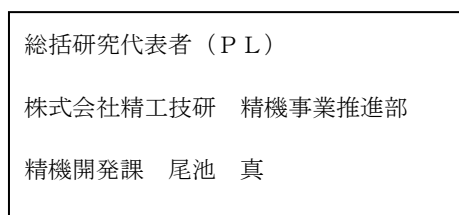
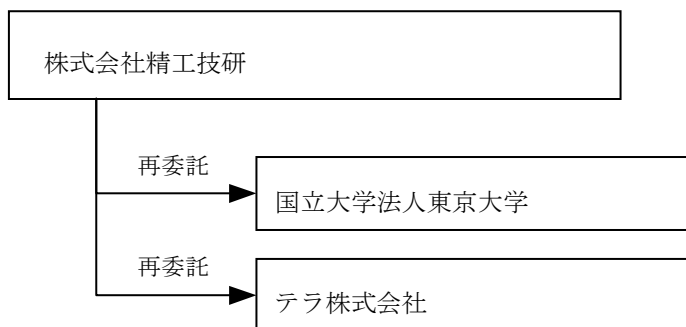
結果：1 サイクル中に加熱冷却をするヒート&クール成形でサイクル 40 秒を達成。

本研究開発では、生産コストを抑えた製造技術の確立に向け、既存技術である光ディスク成形の「射出圧縮金型技術」をベースに、熱伝導率の異なる材料を組み合わせた「樹脂流動部熱コントロール技術」と、ヒート&クール成形等の「ハイサイクル熱コントロール技術」を融合させた射出成形システムの構築及び高機能金型の開発を行った。本研究開発で構築した設備を使うことで微細構造を持つマイクロプレートを 1000 円以下の市場価格での提供が可能と試算している。

## 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

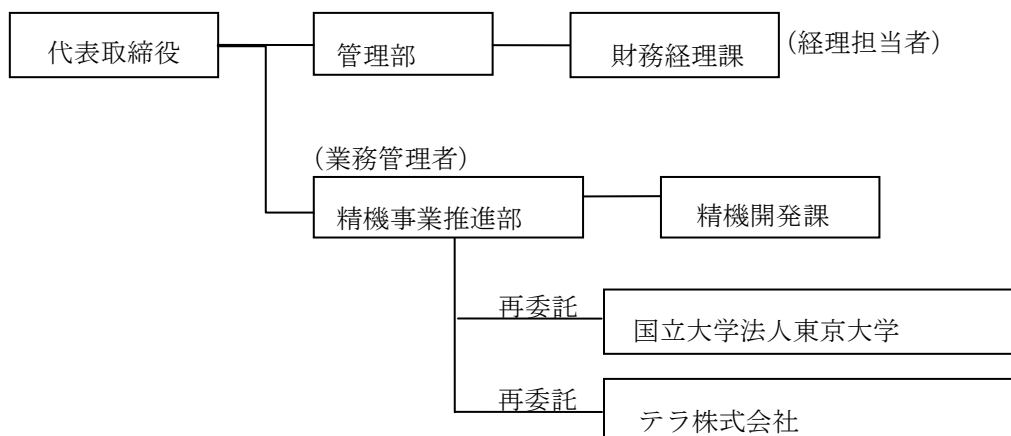
### 1-2-1 研究組織及び管理体制

#### (1) 研究組織（全体）



#### (2) 管理体制

##### 事業管理機関 [株式会社精工技研]



1-2-2 研究者及び協力者氏名

本研究開発の研究者及び協力者一覧

氏名	所属・役職	備考
日置 政秀	株式会社精工技研 精機事業推進部長	委 業務管理者
尾池 真	株式会社精工技研 精機事業推進部精機開発課	委 PL
柿沼 憲宏	株式会社精工技研 精機事業推進部精機開発課	委 SL
中尾 政之	国立大学法人東京大学 工学系研究科機械工学専攻 教授	
長藤 圭介	国立大学法人東京大学 工学系研究科機械工学専攻 講師	委
石田尾 武文	テラ株式会社 研究開発部長	委
木村 幸乃	テラ株式会社 研究開発部 研究員	
吉崎 慎二	テラ株式会社 研究開発部 研究員	
吉川 智啓	株式会社サイトパスファインダー 研究部長	委 アドバイザー
中嶋 勝己	川崎重工業株式会社 技術開発本部 システム技術開発センター MD プロジェクト室長	委 アドバイザー

委：研究開発推進委員会メンバー

### 1-3 成果概要

#### 1. 異形状製品の射出圧縮成形金型の開発

薄肉成形品を得るために光ディスク成形の射出圧縮成型技術を、サイドゲート構造の金型に応用しこれを高機能金型のベースとした。成形品の形状としてディッシュやマイクロプレートのシートに相当する金型を製作した。金型には微細構造を持つスタンパーを搭載する機構を持たせ、スタンパーを交換することで成形品に転写させる微細構造を容易に交換可能な構造とした。金型には射出成形による量産を想定し 10 万ショット以上の金型耐久性を持たせた。

本研究開発では研究体制内でスタンパーも製作している。微細構造は特殊な細胞培養効果を狙ったパターンを検討し、ディッシュやマイクロプレートに合わせ金型に搭載できる形状に仕上げた。

#### 2. 新たな樹脂流動部熱コントロール技術の開発

1 サイクル中に加熱冷却を行うヒート&クール成形のサイクルタイムを短くするために、熱解析によるシミュレーションを実施した。金型のキャビティー面と冷却水路との間に熱伝導率の異なる材料を配置し、温度ムラ等を考慮した上でサイクルが最短となる材料と部材の厚みを導き出し金型部品に展開した。

#### 3. 新たなハイサイクル熱コントロール技術の開発

微細で転写が困難なパターンを転写させるためにキャビティー近傍のみを樹脂のガラス転移温度 (Tg) 以上に加熱する熱源を検討し具現化した。その手段として射出成形の射出圧に耐えうる面状のヒーターを金型に搭載し、そのヒーターを動作させる制御器も製作した。制御器には成形機からの動作信号を入力し、ヒート&クール成形の全自動運転でサイクル時間 40 秒を達成した。

#### 4. 射出成形設備の最適化

薄肉・微細転写性を得るために成形機の射出装置や型締装置の性能向上について検討し、射出圧縮動作に適し射出速度も可能な限り高めた本研究開発に最適な特殊射出成形装置を検討・導入した。周辺機器も整備し全自動運転が可能な装置とした。

また、医療業界の意見を踏まえて使用する樹脂材料の選定を行った。

#### 5. 射出成形品の評価

本研究開発で得られた成形サンプルの薄肉及び微細転写の評価を行った。薄肉性はディッシュ形状の培養面で部分的に厚み 0.15mm、マイクロプレートサイズで 0.3mm を実現した。微細転写性は最小の微細パターンとしてφ150nm のドットパターンで高さ 300nm (アスペクト比 2) を達成した。

また、本研究開発で製作した微細構造を持つディッシュやマイクロプレートを用いて細胞培養を実施した。特殊な培養効果として細胞塊の形成や細胞整列が起こることを確認した。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関 株式会社精工技研

精機事業推進部 精機開発課 尾池真

〒270-2214 千葉県松戸市松飛台 296-1

TEL : 047-386-3111 FAX : 047-388-4477

E-mail : [makoto.oike@seikoh-giken.co.jp](mailto:makoto.oike@seikoh-giken.co.jp)

URL : <http://www.seikoh-giken.co.jp/>



## 第二章 本論（各研究開発テーマの成果詳細）

### 2-1 異形状製品の射出圧縮成形金型の開発

本研究開発では微細構造を持つ細胞培養容器を射出成形により安価に製作することを目指す。容器に求められる光学特性等は満足したものでなくてはならない。細胞観察は容器の底面側から観察することが主で、高倍率の観察では容器の薄肉性が要求される。そこで、薄肉成形で実績のある光ディスク成形の射出圧縮成型技術を、サイドゲート構造の金型に応用し金型のベースとした。射出圧縮とは金型を少し開きキャビティー空間広くした状態で樹脂を充填時し、樹脂が固まる前に成形機の型締力で樹脂を圧縮する成形方法で、射出圧縮仕様の金型にはパーティング面から樹脂をはみ出させない機能を持たせている。細胞培養容器としてディッシュとマイクロプレートについて試作を行い、マイクロプレート用には細胞培養面のシートに相当する金型を製作した。製作した金型と得られた代表的な成形品を図1～4に示す。



図1 ディッシュ用金型



図2 マイクロプレート用（シート）金型

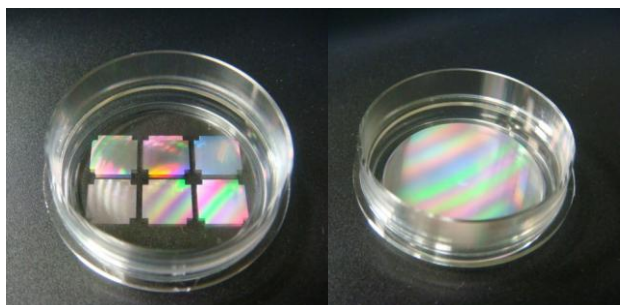


図3 ディッシュ成形品

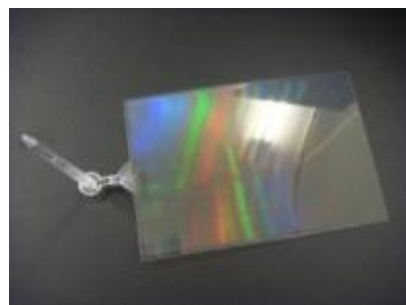


図4 シート成形品

金型には微細構造を持つスタンパーを搭載する機構を持たせ、スタンパーを交換することで成形品に付与する微細構造を容易に交換できる構造とした。また、「樹脂流動部熱コントロール技術」として熱伝導率の異なる材料を、「ハイサイクル熱コントロール技術」としてヒート&クール成形の熱源（ヒーター）を置くスペースを金型内に設けた。熱伝導率の異なる材料及びヒーターは、サイクルタイムが最短になるようバランス良く配置した。また、本研究開発の金型は射出成形による量産を想定し摺動部等に10万ショット以上の金型耐久性を持たせるよう材料の選定や表面処理を施した。

微細構造を持つスタンパーの原版は研究体制内で製作した。スタンパーの原版を元にNi電鍍を起し、金型に搭載できるようディッシュやマイクロプレートの大きさに合わせて形状を仕上げた（図5、6）。微細構造の形状は細胞の性質を考慮して、特殊な細胞培養効果を狙ったパターンを検討・製作した。

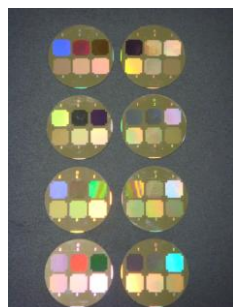


図5 ディッシュ用スタンパー

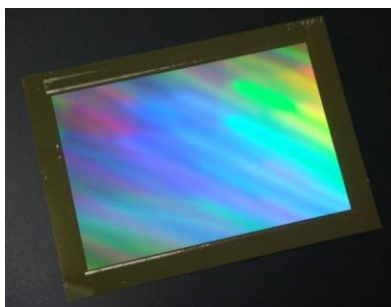


図6 シート用スタンパー

シート成形品はゲートカットをした後に、別途製作した装置に搭載することでマイクロプレートの筐体と一体化することができる（図7）。これにより微細構造を持つマイクロプレートを従来よりも短時間で具現化することができた。

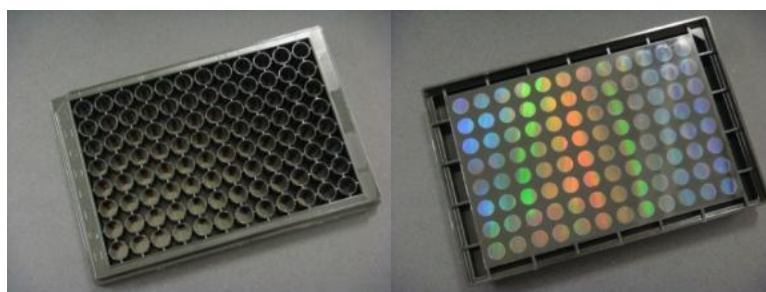


図7 微細構造を持つマイクロプレート

## 2-2 新たな樹脂流動部熱コントロール技術の開発

1 サイクル中に加熱冷却を行うヒート&クール成形のサイクルタイムが最短になるように、熱解析によるシミュレーションを実施している。金型のキャビティー面と冷却水路との間に熱伝導率の異なる材料及びヒーターを配置し、キャビティー面の温度ムラ等を考慮した上でサイクルタイムが最短となる材料とその厚みを求めた。熱伝導率の異なる材料及びヒーターはキャビティー近傍に設置されることから、樹脂の射出圧力に耐えうる機械特性を持つ材料から選定した。シミュレーションは加熱時と冷却時に分けて行い、トータルでサイクルタイムが短くなる組合せを選び金型に踏襲している。以下にシート金型でシミュレーションを行った一例を示す（図 8、9）。

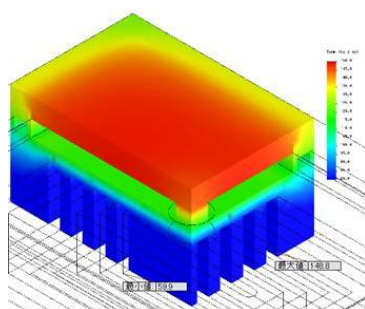


図 8 加熱シミュレーション

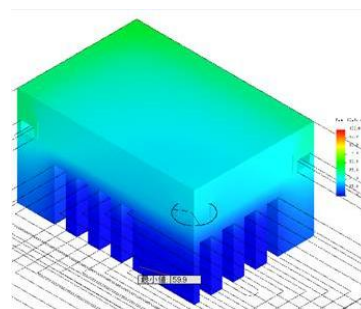


図 9 冷却シミュレーション

傾向として、熱伝導率の高い材料をヒーターとキャビティー面の間に配置することで、キャビティー表面や部品形状に起因する温度勾配を軽減することができた。また、熱伝導率の低い材料はヒーターの熱を効率良くキャビティー面に伝えるよう配置することが有効であることを確認した。

### 2-3 新たなハイサイクル熱コントロール技術の開発

微細で転写が困難なパターンを転写させるために本研究開発ではヒート&クール成形と呼ばれる成形方式を選択した。射出成形において樹脂を充填する前の金型温度を樹脂のガラス転移温度 ( $T_g$ ) 以上に加熱しておくことで、射出された樹脂が固化することなく微細形状を転写することができ、その後金型温度を  $T_g$  以下に冷却することで一般成形では不可能な微細パターンを持った成形品を得ることができると考えた。

本研究開発に最も適した成形方式を探るために最新の熱コントロール技術を調査した。媒体切替式、表面加熱式、電気ヒーター式と様々なヒート&クール成形方式がある中、本研究開発のパターン部は面状であることと、加熱が必要なのはキャビティー表面のみであること、高応答な熱源が必要であること、初期コストが比較的抑えられること等を考慮し、電気ヒーター式で局部的に加熱することが有効であると考えた。次に、ヒーターに求める特性として、パターン部に合わせ面状のヒーターであること、金型内に組み込める強度があること、サイクルタイムを短くするため高応答であること等を考慮し、ヒーターの媒体がセラミックからなるセラミックヒーターを選択した。以下に製作したヒーターを示す (図 10、11)。



図 10 ディッシュ用ヒーター

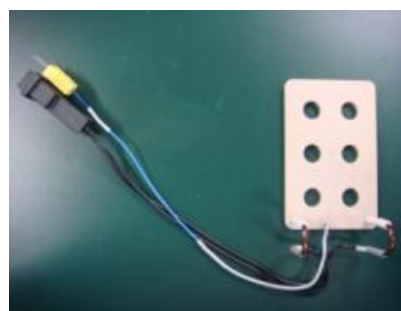


図 11 シート用ヒーター

本研究開発のヒート&クール成形は、金型に設けた温調水管に  $T_g$  以下の温調水を流し、キャビティー近傍に設置したセラミックヒーターを ON することで、射出前のキャビティー表面を  $T_g$  以上に上げ、射出後にヒーターを OFF し、キャビティー表面が  $T_g$  より十分に冷やされるのを見計らい成形品を取り出す成形方法である。セラミックヒーターの ON/OFF は専用の制御器を製作し (図 12)、成形機からの動作信号 (成形品の取出

完了) を入力してヒーターを ON、タイマー又は設定温度に達するとヒーターを OFF させる制御で、成形機の連続動作とヒーターの動作を同期させ全自動での運転を可能とした。シート金型で連続稼働させた場合の金型温度 (キャビティ近傍の温度)、ヒーター温度、ヒーターの出力を、制御器から取り出しグラフにした (図 13)。ヒート&クール成形において金型温度は 85℃~130℃を繰り返す全自動運転でサイクル時間 40 秒を達成した。

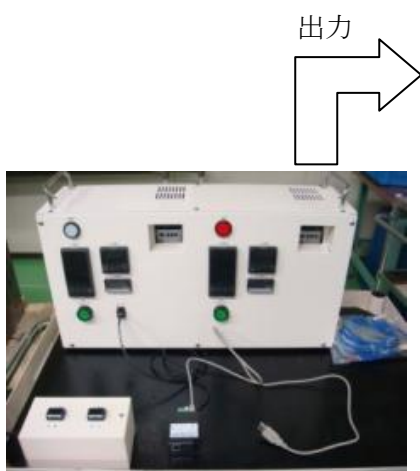


図 12 ヒーター制御器

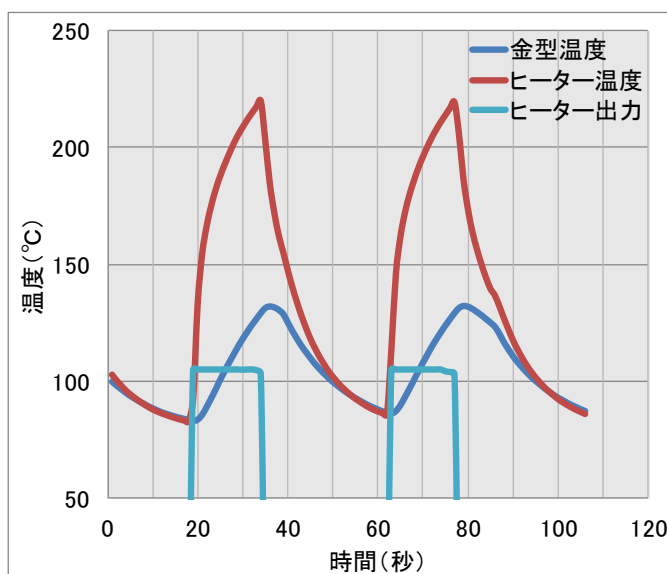


図 13 金型及びヒーター温度と時間の推移

#### 2-4 最適な射出成形機のオプション検討

薄肉・微細転写性を得るために成形機の型締装置及び射出装置に持たせる特殊仕様を検討した。射出圧縮動作に特化させるため主に以下の仕様を成形機に付与した。

- ・型締装置が圧縮前位置で射出圧に耐えられるよう型締モーターを強化。
- ・圧縮量を自由に設定できるよう専用の動作プログラムを付与。
- ・射出速度を可能な限り高めた薄肉成形品に有利な射出装置。

本研究開発に最適な特殊射出成形装置として、成形機だけでなく取出機・温調機などの周辺機器にもそれぞれ求める仕様を付与し、全自動運転が可能なシステムとした。導入した射出成形装置を図 14 に示す。



図 14 特殊射出成形装置

研究開発推進委員会メンバー・ユーザーの意見を踏まえて細胞培養容器として使用する樹脂の選定も行った。1つは培養容器として一般的に使用されているポリスチレン樹脂で、安価であること、細胞に対して毒性が少ないことをグレードごとに比較検証し選定した。しかし、ポリスチレン樹脂は成形時の応力等が残り易く、特定の光学観察に不向きな性質がある。そこで、高度な光学観察に適合するためにシクロオレフィン系樹脂の選定も行い、ポリスチレン樹脂と同等の比較検証の後グレードを決めた。本研究開発ではユーザーのニーズに合わせ一般的な容器はポリスチレン樹脂、光学特性が求められる容器はシクロオレフィン系樹脂を選択している。

## 2-5 射出成形品の評価

### 1) 薄肉の成形品評価（薄肉目標<0.1mm）

本研究開発で得られた薄肉成形品の代表的な結果を以下に示す。ディッシュ金型で成形したものを図 15、シート金型で成形したものを図 16 に示す。

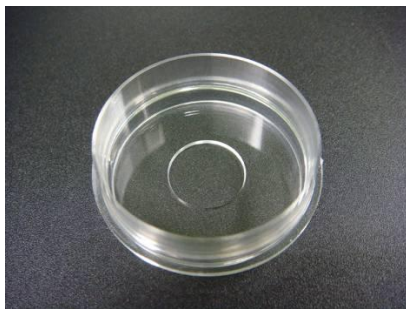


図 15 薄肉ディッシュ成形品

φ35 ディッシュ成形品

- ・サイドゲート構造、射出圧縮有
- ・製品厚：中央薄肉部 φ14mm 薄肉部 0.15mm
- ・材料：ポリスチレン樹脂

シクロオレフィン系樹脂

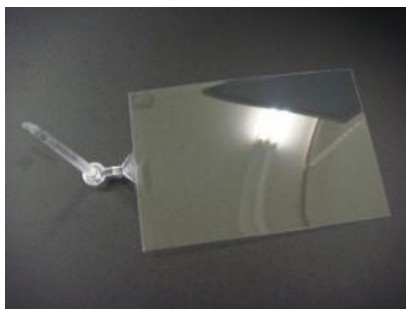


図 16 薄肉シート成形品

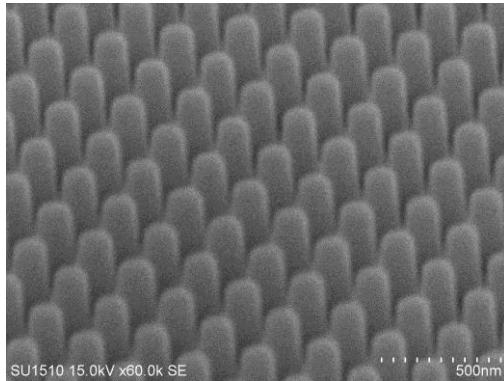
□110.8×74.8mm シート成形品

- ・サイドゲート構造、射出圧縮有
- ・製品厚：0.3mm（シクロオレフィン系樹脂）
- ・製品厚：0.4mm（ポリスチレン樹脂）

薄肉目標<0.1mm に対しヒート&クール成形は使用せず射出圧縮のみで対応した。ディッシュ形状で部分的に 0.15mm、シート形状で 0.3mm までを達成した。当初目標としていた 0.1mm 以下を達成することはできなかったが、今後も継続して技術的改良を行いさらなる薄さを目指していく。

2) 微細転写の成形品評価（微細転写目標：<100nm アスペクト 2）

本研究開発でトライした微細転写のうち、最も小さいパターンの SEM 像を図 17 に示す。



・サイドゲート構造、射出圧縮有

・ヒート&クール成形有

・パターン  $\phi$  150nm、高さ 300nm

成形品でスタンパーと同等の高さを確認

・材料：シクロオレフィン系樹脂

図 17  $\phi$  150nm 高さ 300nm の微細転写

微細転写目標<100nm アスペクト 2 に対し、 $\phi$  150nm アスペクト 2 までを達成した。

100nm サイズの原版は研究体制内で製作することができなかったため、対応が遅れトライには至らなかった。 $\phi$  150nm の結果を見る限り、本研究開発で作り上げたヒート&クールシステムの転写能力は高く、100nm でも同様にアスペクト 2 は達成できるものと考えている。



### 3) 成形品の細胞培養評価

微細構造の無い細胞培養容器の場合、培養される細胞は容器に無作為に接着し分裂・成長を繰り返し、有効部一杯に平面的に増殖することが一般的とされている。それに対し、本研究開発で製作した微細構造を持つ細胞培養容器で同様に細胞を培養したところ、2つの特殊な細胞培養効果が確認された。

#### ① 細胞塊

微細構造があることにより細胞が容器よりも細胞同士の結合を優先し、図 18 に示す細胞塊を形成した。細胞塊は一般の培養容器で培養した細胞と比べ生体組織に近いと考えられており、創薬分野等でその普及が期待されている。

#### ② 細胞整列

微細構造を意図的に配置することで、容器に無作為に接着するはずの細胞が図 19 に示すように狙った向きに整列可能であることを確認した。これは生体内で実際には並んでいる組織を再現させるツールとして期待されている。

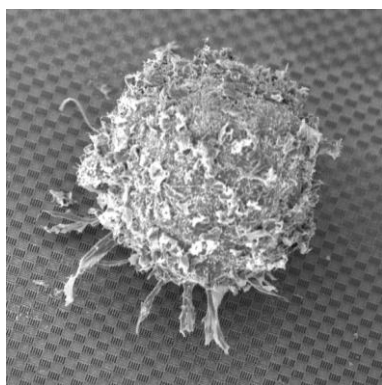


図 18 細胞塊の形成

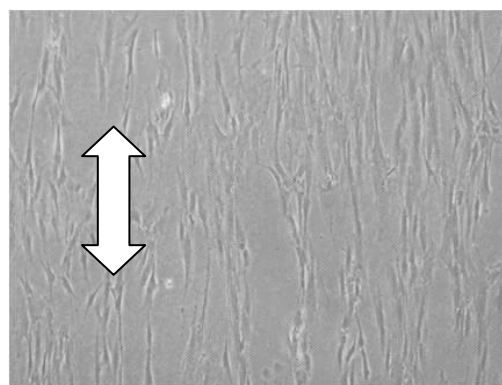


図 19 細胞整列

今後も細胞培養例を増やしつつ、有用な培養効果を見出していきたい。

## 最終章 全体総括

### <複数年の研究開発成果>

3年間の大きな流れとして H23 年度に設備導入及び基本製法を確立し、H24 年度にディッシュ形状として培養評価できるものを具現化し、H25 年度は目標としていた微細構造を持つマイクロプレートを具現化している。これよりほぼ狙い通りの進捗と成果が得られたと判断している。また、本研究開発で確立した製造方法を用いることで微細構造を持つ 96 穴マイクロプレートを 1000 円以下の市場価格での提供が可能と考えている。

### <研究開発後の課題・事業化展開>

事業化展開の準備として、H25 年 5 月に開催された BIOtech2013 に当社が参画している神戸医療産業都市と共同出展し本研究開発品を紹介している。その際に本研究開発品に注目をいただき、市場参入していく上でのきっかけを得ることができた。まずは関連商品から販売を開始し、協力先と共に国内市場へ参入していく準備を進めている。微細構造を持つ製品は新たな培養効果を得るために引き続き大学等の研究機関と共同研究を進めており、有効な効果を生みだし量産に繋げていくための商品企画を進めている。

本成形技術は細胞培養容器に限らず多くの産業分野に応用できると考えており横展開も検討していく。

以上