

# 光ディスクにおける反り発生メカニズムの解明

Mechanism of Radial Skew Generation of an Optical Disk

志田 宜義, 菅 圭二, 今井 哲也, 飯田 哲哉

Noriyoshi Shida, Keiji Suga, Tetsuya Imai, Tetsuya Iida

**要 旨** 次世代光ディスクにとって反り制御は必要不可欠な技術である。その原因は明確に究明されていなかったが、今回筆者らはこの原因を究明した。また、本実験を行うにあたり新たな反り解析法を考案した。

この結果、固定側と可動側のキャビティー表面温度差はディスク面内の反りに影響を与え、スプルーとカッターの温度差やメカニカルエジェクターの突出しはディスクの中心部の反りに影響を与えていることが判明した。また、スタンパーにより発生する反りはスタンパーと鏡面との熱抵抗によることがわかった。

**Summary** It is important to control radial skew in order to realize a high-density optical disk. However, the causes of the radial skew had not been made clear. In this paper we will describe the causes. We also developed a new method to analysis for the radial skew.

By using this method, we found that the temperature difference between a static cavity surface and a moving cavity surface caused the radial skew, which fluctuated on a radius. We also found that a mechanical ejector pushout, and the temperature difference between sprue parts and cutter parts caused the central skew component of the disk. At the same time, we were also able to realize that the radial skew was caused by the stumper came from the thermal resistance between the stumper and the cavity.

キーワード：次世代光ディスク, 反り

## 1. まえがき

光ディスクの記録密度はますます高くなっている。現行のDigital Versatile Disk(DVD)の記録密度は4.7GBとなっているが、次世代では20GB以上の記録密度が要求されている。このような高密度化が進むと、反り、転写、複屈折、厚みばらつきといったディスク性能の向上が必要不可欠となる。筆者らはこの中から反り制御に着目した。

反り制御あたり、その発生機構を知ることは重

要である。しかし、これに関して明確に究明されていなかった。今回この反り発生の究明について検討したので報告する。

## 2. ディスクの反り制御の必要性

光ディスクの高密度化に対するキーポイントとして、レーザ波長の短波長化とピックアップ(Pick Up Head:PUH)の対物レンズ開口数(Numerical Aperture:NA)を高NA化することが

考えられる。ここで、NA、とビームスポット径Dとの関係式を記しておく。

$$D = K \cdot \lambda / NA \quad (1)$$

K：係数

(1)式からわかるようにDを小さくするにはを小さくするかNAを大きくする方法が主となる。

ここで、ディスクの傾きやNAとコマ収差Wとの関係式<sup>(1)</sup>を示す。

$$W = \frac{n \cdot (n^2 - 1) \cdot n^2 \cdot NA^3 \cdot \cos(\text{tilt}) \cdot \sin(\text{tilt}) \cdot t}{(n^2 - \sin^2(\text{tilt}))^{5/2}} \quad (2)$$

n：屈折率

NA：開口数

t：ディスク厚み

λ：レーザー波長

K：係数

tilt： $(R^2 + T^2)^{1/2}$

R：ラジアルスキュー

T：タンジェンシャルスキュー

この式から明らかなように、レーザー波長の短波長化や高NA化は、同じTiltであってもコマ収差Wへの影響が大きくなる。故にTiltの制御が重要となる。

### 3. 光ディスクの反り定義

本稿でのディスクの反り定義を定めておく。ここではDVD規格に記載されている定義に従う。

図1のようにDVD規格においてディスクの反り角がα角として規定されている。測定法としては入射ビームと反射ビームの角度αを反り角として定義している。DVDの規格値は下記。

$$\text{Radial Deviation} = \pm 0.80^\circ$$

$$\text{Tangential Deviation} = \pm 0.30^\circ$$

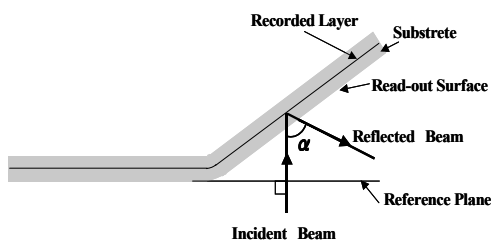


図1 Angular Deviation

### 4. ディスクの反り構成要素

ディスクの反り構成要素は図2のように、ディスク面内で発生する反り(a)、(b)と中心部とで発生する反り(c)とが組み合わさったもの(d)と考えられる。ちなみに汎用の反り角測定機の測定結果は(d)を表している。

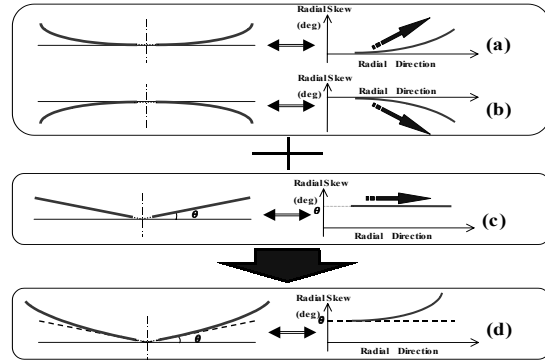


図2 ディスクの反り構成要素

### 5. 反り発生要因

ディスクの反り発生要因と考えられる項目を図3に示す。

熱的影響として固定側と可動側の鏡面温度差、スプルーとカッター(パンチ)の温度差、エアブローの影響などが考えられる。

また、メカニカル的影響としてカッターの突き出しによる影響、イジェクターによる影響がある。

これら以外に、スタンパーが反りへ与える影響もある。

本稿では図3の各要因に、ディスクの反りへどのように影響を与えるかを検証していく。

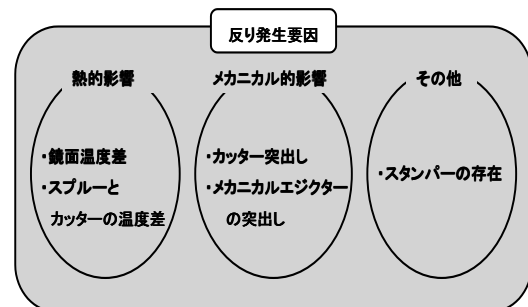


図3 反り要因図

## 6. ディスクの新・反り解析法

ディスクの反りは図2に示すように面内のもの(a), (b)と中心部で発生するもの(c)とがある。しかし、汎用の反り測定器では図2の(d)のデータを測定するととどまる。そこで、(d)成分から(a)(b)の面内で発生する反り成分のみを取出し解析する手法を考案した。その方法を以下に記す。

### 5.1 解析原理

ディスクの中心を原点とする円柱座標系を考える。このときの半径方向を  $r$ 、円周方向を  $\theta$  とおく。(図4参照)このときのZ軸はディスクの反り量  $f(r, \theta)$  と仮定する。

ここで、 $f(r, \theta)$  を半径  $r$  について偏微分した

$$f'(r, \theta) = \frac{df(r, \theta)}{dr} \quad (3)$$

$\theta$  はディスクの反り角を表す。これをもう一度  $r$  について偏微分すると

$$f''(r, \theta) = \frac{d^2 f(r, \theta)}{dr^2} \quad (4)$$

となり、反り角の変化率  $f''(r, \theta)$  となる。これが反りの面内成分を表すことになる。

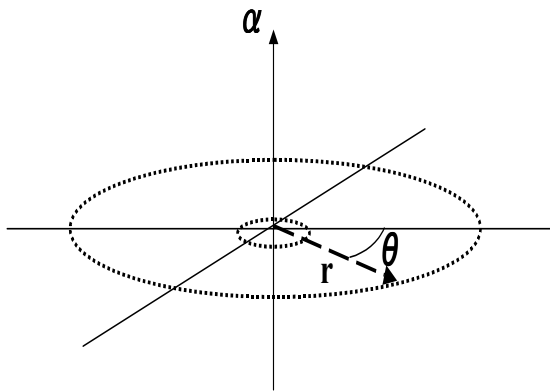


図4 ディスクの円柱座標モデル

## 7. 熱的影響による反り

熱によるディスク反りへの影響は、理論的には成形中でのディスク取り出し時のディスク表面温度が高い方へ反る。なぜなら、ディスクが金型から離れた瞬間から室温までの温度差がディスク両面において異なっていると収縮量に差が生じ反りを発生させるに至る。これを元に、金型の温度差がどのように反りへ影響を与えるかを検証していく。

### 7.1 鏡面の温度差

固定側金型と可動側金型の温度差をつけたときの反り形状変化を測定した。その結果を図5に示す。横軸に固定金型温度 - 可動金型温度の差  $\Delta T$ 、縦軸に式(4)で表される反り変化率を表し、縦軸のプラス領域は固定側反りを、マイナス領域は可動側反りを意味する。ここで、固定反りと可動反りの定義を図6に示す。

この結果から、固定側の温度が高いときには固定側反りとなり、可動側の温度が高いときには可動側反りとなっていることが明確である。

また、 $\Delta T=0$  のときに  $f''(r, \theta) = 0$  となっているべきところが、そのようになっていないのは  $\Delta T$  は温度調整機の設定温度であって、実際の温度は多少ずれているためである。(鏡面温度を実測にて確認済み)

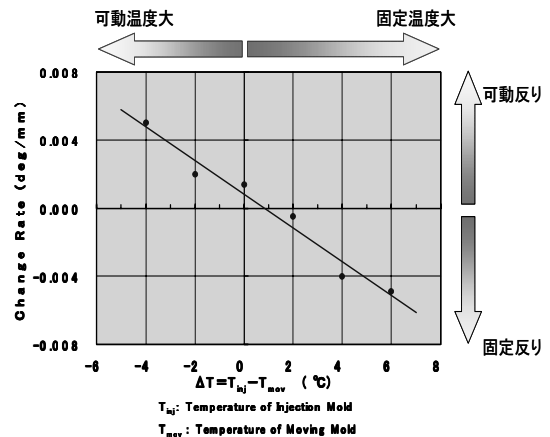


図5 鏡面温度差が反りへ及ぼす影響

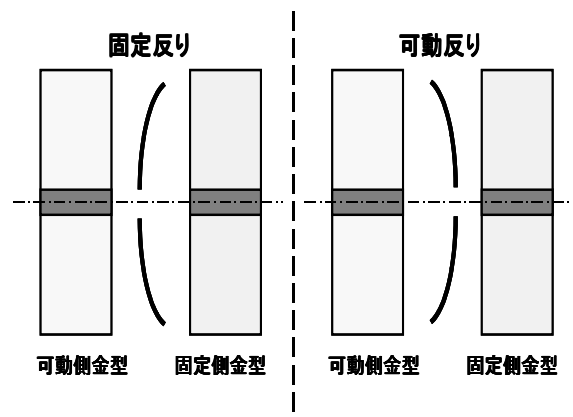


図6 固定反りと可動反りの定義

また、鏡面金型形状により成形中のキャビティ表面温度分布に違いがあることがわかった。図7は図8のような鏡面金型形状違いにおける成形中のキャビティ温度変化のデータである。横軸はディスク半径位置を表し、縦軸はキャビティ表面温度を示す。成形中の温度変化をMax値、Min値として表し、その平均値を示す。大径金型と小径金型の外周部での温度変化に大きな違いが見られる。これは金型冷却用の最外周冷却溝が鏡面部へおおよそ冷却効果の違いによると推測される。

図8のように、ディスクの熱は鏡面内の冷却水により鏡面金型が冷却されディスクが冷やされる。小径鏡面金型ではディスク外周部は真下の鏡面からしか冷却されないが、大径鏡面金型ではディスクよりも外側の金型からも冷却される。その結果、大径金型の方が小径金型よりも外周部の温度が低い。つまり、金型鏡面の形状により反りを生じさせる原因となり得るということを意味する。

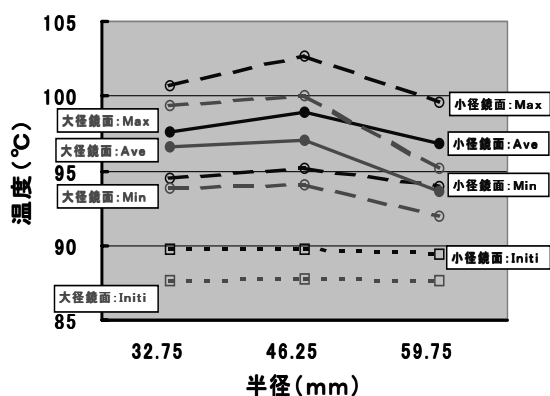


図7 鏡面形状違いによるキャビティ温度分布

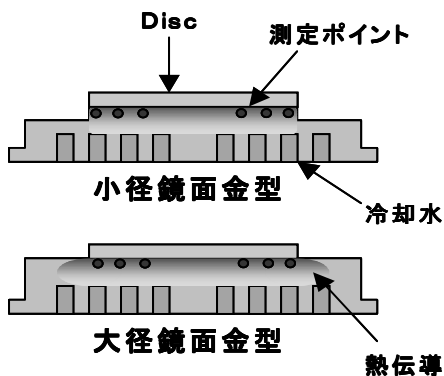


図8 鏡面板形状

## 7.2 スプルーとカッターの温度差

スプルーとカッター(パンチとも呼ぶ)の温度差が反り形状にどのような影響を与えるかを調べた。その結果を図9,10に示す。

図9はディスクの中心部での反り(図2の(C)を参照)を表す。横軸にカッター温度-スプルー温度の差をしめす。縦軸にはディスク中心部での反り形状をとる。ただし、実際の成形ではスプルー温度を大きく変化させることは成形中のスプルー切れなどを考えると困難である。そこでスプルー温度は60一定とし、カッター温度を変化させている。この図から、カッター温度変化にともないディスクの中心部での反り形状が変化しているのがわかる。(図9参照)

また、図10に面内での反り形状変化を示す。横軸は図9と同様であり、縦軸は式(2)の を表す。このデータから、ディスク面内での反り形状にはほとんど変化がないことがわかる。以上より、スプルーとカッターによる反りへの影響は、ディスクの中心部で発生する反りへ影響を与えることが明確となった。

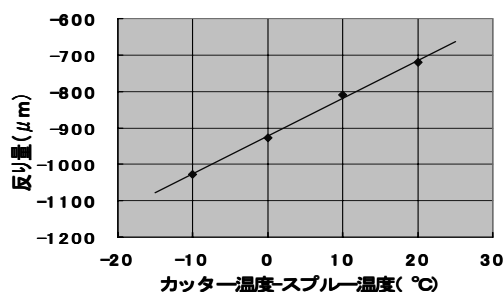


図9 スプルーとカッターの温度差による反り形状(中心部)

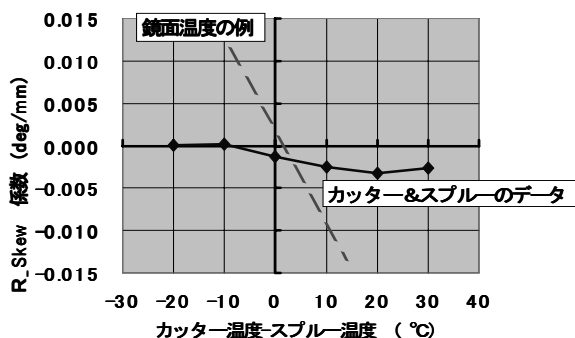


図10 スプルーとカッターの温度差による反り形状(面内)

### 7.3 エアブローの影響

金型からディスクを剥離するためのエアブローにより、ディスク表面温度が低下することは確認している。しかし、これが反りにどの程度効くかは検討していない。

## 8. メカニカル的影響による反り

### 8.1 カッターの突出し

エジェクター用のカッターの突出しにより、ディスクの反りがどのような影響を受けるかを究明した。これを究明するにあたり解析した項目はディスクの反り形状と残留応力について行った。

図11にカッターの突出し過程の概略図を表す。固定側金型と可動側金型との間にキャビティーがあり、そこへスプルーから樹脂が充填されると同時にカッターが突き出され内径が貫かれる。このカッター突出しの途中経過について解析した。

ディスク断面形状を図12に示す。横軸はディスクの半径位置、縦軸がディスク反り量を表す。

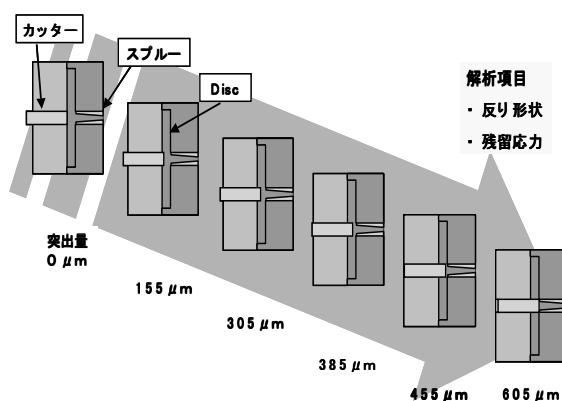


図11 カッター突出し過程

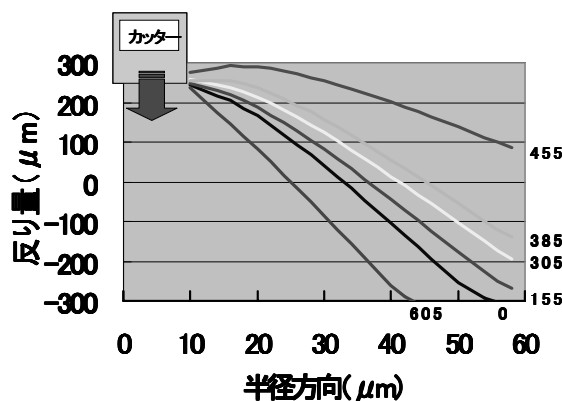


図12 ディスクの断面形状変化

カッターはグラフの上から下へ突き出される形となっている。各データ横の数値はカッターの突出し量を表す。(単位:  $\mu\text{m}$ ) 突き出し量が多くなるほど反りが上へ変形し、打ち貫かれると変形が小さくなる。(図12の605  $\mu\text{m}$ データ参照) このデータをディスク中心部と面内での反り形状とに分離して解析すると、図13、図14のようになる。

図13は横軸にカッター突出し量、縦軸に反り量を表しディスク中心部での反り形状を意味する。また、図14は横軸が図13と同様で、縦軸が反り変化率であり、面内の反り形状を表している。これらから、反り形状はディスク中心部での反り形状に影響を与え、面内の反りにはほとんど影響が出ていない。次に図15にディスク内の残留応力を示す。

これは、実際には複屈折のデータを利用しているが、複屈折と残留応力はほぼ等しいと考え、複屈折変化を残留応力変化とみなした。横軸にディスク半径位置を表し、縦軸に残留応力を示す。縦

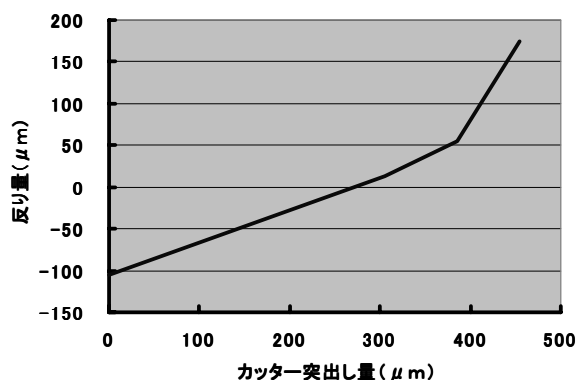


図13 ディスク中心部での反り形状

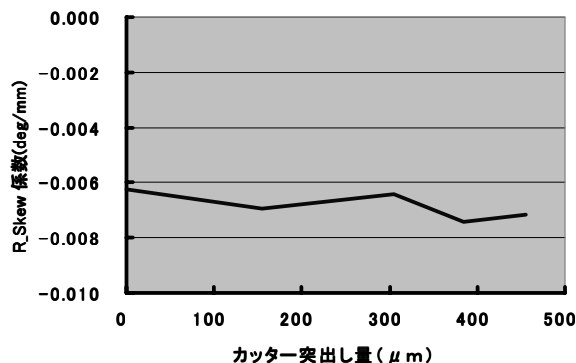


図14 ディスク面内での反り形状

軸の絶対値が大きいほど残留応力が大きいことを表す。右の小さい図はディスク全体を表し、左図は中心部を拡大した図である。半径20mmより外側ではカッター突出し量差による残留応力変化は少ないが、中心部では大きくばらつき、カッターの突出し量により残留応力が増加することがわかった。また、点線は内径が貫かれたデータを表しており、このとき応力が開放されているのがわかる。

以上より、カッターの突出しによる反りへの影響は、ディスクの中心部で発生する反りへ影響を与え面内での反りにはほとんど影響がない。また残留応力は、カッターの突出しにより中心部の応力は増加するが、内径が貫けるとその応力は開放

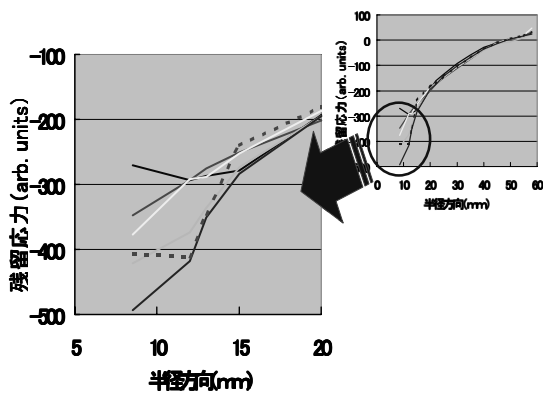


図 15 カッターによる残留応力変化

され、反りも軽減されることを究明した。

## 8.2 メカニカルエジェクターの突出し

メカニカルエジェクターはDVDの量産にて使用していないメーカーもあるため、必修技術ではないと考え、この検討は割愛した。

## 9. その他の影響

ここでは、スタンパーが反りへ与える影響について検討する。

スタンパーと反りとの関係を調べるために、図16のような特別な金型を準備した。左図が固定側金型と可動側金型の両方にスタンパーが取り付けられるタイプ(ダブルスタンパーシステム)であり、右図が可動側のみにスタンパーの付くタイプ(シングルスタンパーシステム)である。キャビティー表面(orスタンパー表面)から冷却水までの距離はどのタイプも8mmとして設計されている。また、スタンパーは0.25mmのNiスタンパー(パイオニアビデオ製)を使用した。

この金型の固定側と可動側の温度差を変化させたときのディスク面内の反り変化率を表したのが図17である。シングルスタンパーとダブルスタンパーでは温度差にして4程度の差が見られる。つまり、この結果からはスタンパーの影響は温度差にして約4分の反りを与えるといえる。

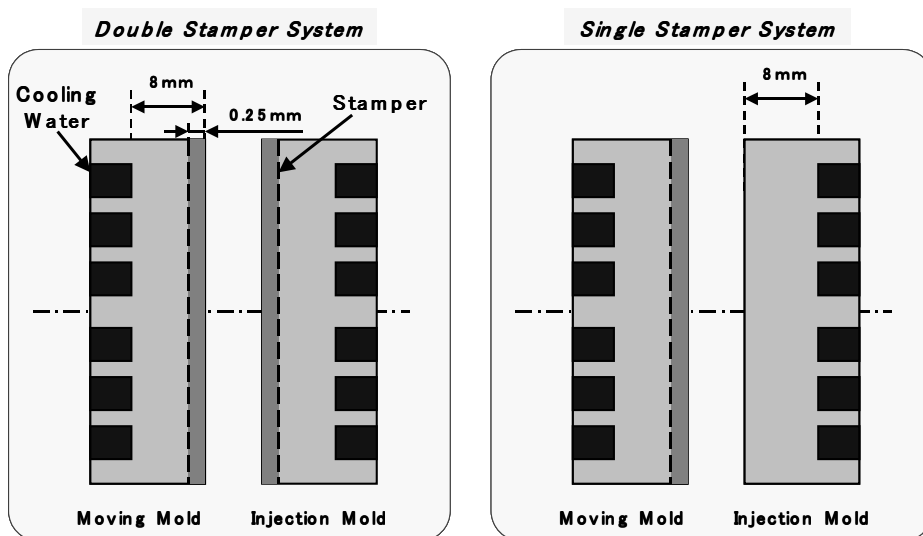


図 16 実験金型

しかし、この反り形状はスタンパーの熱伝導率を考えると矛盾がある。金型材料の熱伝導率  $\lambda_m$  は  $5.5 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}$  であり、スタンパーの熱伝導率  $\lambda_s$  は  $2.2 \times 10^{-1} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}$  である。これから考えるとディスクの反りは図18のようにスタンパーのないほうへ反る。つまり図17のようにはならず、図19のようにシングルスタンパーのデータがダブルスタンパーのデータに対し線対称に位置するはずである。

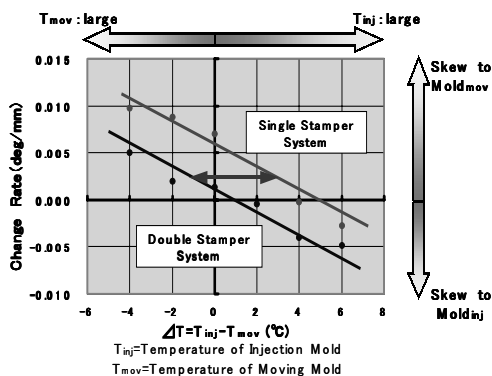


図17 スタンパーによる反り形状差

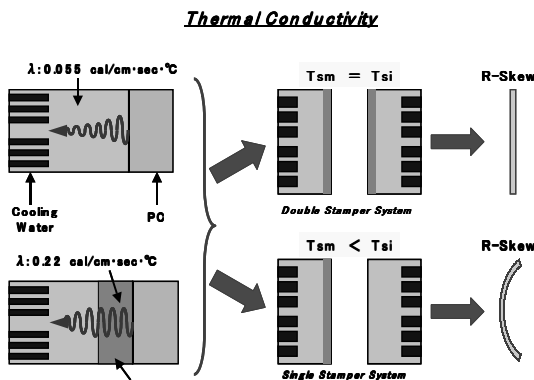


図18 熱伝導率から考えられる反り方向

そこで、この矛盾を解決するために図20のようなシンプルモデルを考え、熱伝導率違いでどの程度キャビティー表面温度に差ができるのかを計算してみた。その結果、金型材料のとき、106.0 であり、スタンパー材料のとき106.1 となり0.1 しか違いが出なかった。(ただし、スタンパーと金型の熱抵抗を零として計算した。)つまり、この計算結果からすると、図17のデータは図21のように、ほぼ同一直線となるはずである。

ここで冷却についてもう一度考えてみる。成形中のディスク表面温度は300 ~ 400 程度に溶融された状態から熱変形温度(120 )以下へ急冷される。このときのディスク表面温度変化をキャビティー表面温度とニアリーイコールと考えるとディスク表面温度は図22のような動きをしていることとなる。一つの山がディスク一枚の成形中の温度変化を表す。この山の右側斜面が冷却過程を示す。つまり、ディスク表裏でこの傾きの違いが発生すると冷却速度差ができディスクの反りとなる。

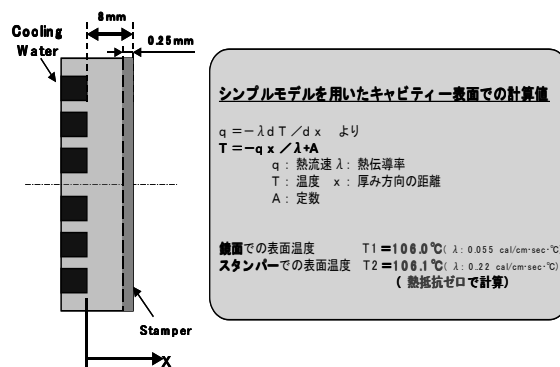


図20 キャビティー表面温度計算モデル

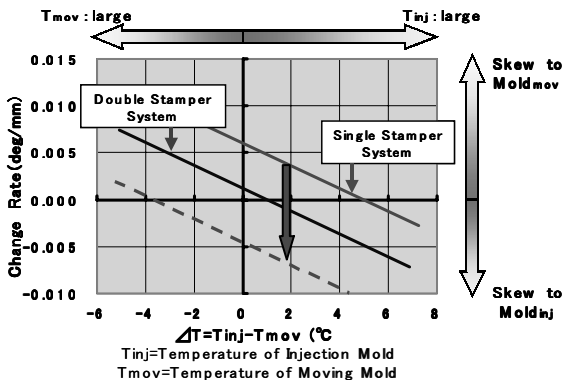


図19 熱伝導率から推測した反りデータ

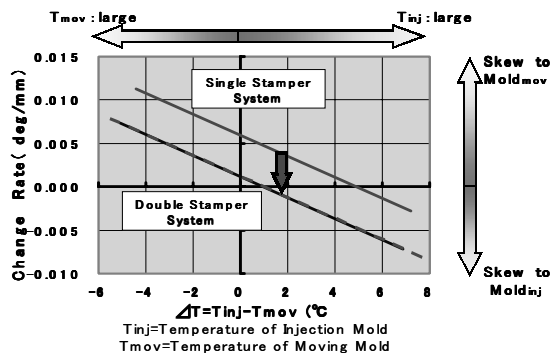


図21 計算から推測した反りデータ

では、冷却速度を見てみると図23のように、スタンパーのある方とない方では冷却速度に差があった。それも熱伝導率が冷却速度が悪い結果となった。つまり、スタンパーによる反りはスタンパーや金型自体の熱伝導率ではなく、スタンパーと金型との間の熱抵抗により冷却速度が不均一となり反りが発生していると推測される。

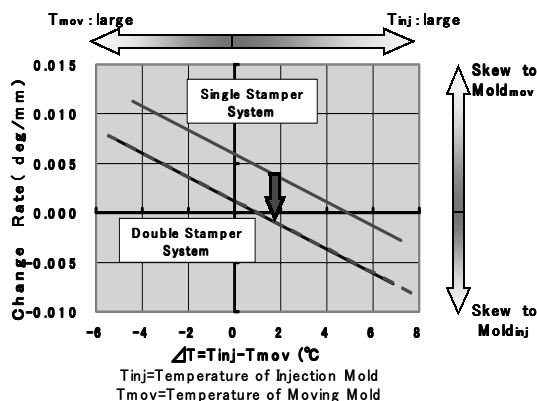


図 22 成形中のキャビティ表面温度

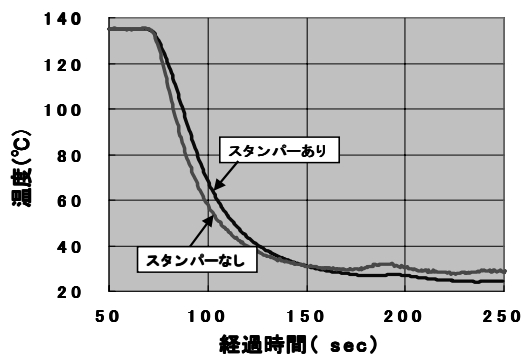


図 23 冷却速度差

## 9. まとめ

反り発生のメカニズムを検討した。本結果より下記のことが明らかになった。

- 1) 金型の固定側と可動側の両面の温度差はディスク面内での反りに影響していると判明した。
- 2) カッターとスプルーの温度差による反りへの影響は、ディスク中心部で発生する反りに影響を与えていることがわかった。
- 3) カッターの突出しはディスク中心部で応力を生み、反りを発生させる要因となってい

ることが判明した。

4) スタンパーの反りへの影響は、スタンパーと金型表面との熱抵抗により冷却速度に変化が生じ、その結果反り発生に至るとわかった。

これらは、将来の高密度光ディスク作製の反り制御にとって重要な技術であるとともに、現行の光ディスクの反り対策としても有効な技術である。

## 10. 謝辞

本実験を行うにあたり、協力いただいたHEC第一技術部の関係各位に感謝します。

## 参考文献

- 1) J. Braat : APPLIED OPTICS Vol.36, No.32 P8459 (1997)

## 筆者

志田 宜義(しだ のりよし)

- a. 研究開発本部・総合研究所・ディスクシステム研究部
- b. 1993年4月
- c. オーディオ回路設計、次世代光ディスクレプリケーション技術の研究に従事

菅 圭二(すが けいじ)

- a. 研究開発本部・総合研究所・ディスクシステム研究部
- b. 1986年4月
- c. 光ディスク基板生産技術および開発、次世代光ディスクレプリケーション技術の研究に従事
- d. 薄型基板成形技術として役に立つ技術報告書だと思えます。

今井 哲也(いまい てつや)

- a. 研究開発本部・総合研究所・ディスクシステム研究部
- b. 1991年4月
- c. 光ディスク基板生産技術および開発、次世代光ディスクレプリケーション技術の研究に従事

飯田 哲哉(いいだ てつや)

- a. 研究開発本部・総合研究所・ディスクシステム研究部
- b. 1981年4月
- c. ポリマーグラファイト振動板の開発、コンパクトディスクの開発、相変化光ディスクの開発、マスタリングプロセスおよび光ディスク成形技術に従事
- d. 得意分野：光ディスクプロセス、光ディスク材料全般