



技術解説

コアバック射出発泡成形

**秋元技術士事務所
秋元英郎**

技術解説 コアバック射出発泡成形

秋元技術士事務所

秋元英郎

1. はじめに

射出発泡成形を金型側において分類すると、ショートショット法、フルショット法、フルショット＋コアバック法に分けられる。ショートショット法では金型キャビティ容積よりも少ない量の発泡性溶融樹脂を充填し、気泡の拡大によって充填を完了させる。気泡はゲートから離れ、樹脂圧力が低下するほど径が大きくなるため、ゲート近傍と流動末端では気泡径に差が生じる。フルショット法は、金型のキャビティ容積に等しい量の発泡性溶融樹脂を充填し、固化収縮分を気泡の発生・拡大により補う成形方法である^{1,2)}。コアバック法はムービングキャビティ法とも呼ばれ、キャビティ容積が可変である金型を用いる。発泡性溶融樹脂を充填する際にはキャビティ容積を小さくしておき、充填後にキャビティ容積を拡大することで積極的に気泡発生、拡大を促進させる成形方法である。

2. コアバック発泡の種類

コアバック法はキャビティ容積が可変である金型を用いる方法であるが、容積を変化の方法には金型に付属するスライドコアの動作によるものと可動プラテンの動作によるものがある。図1, 2に金型のスライドコアの動作を利用してキャビティ容積拡大を行う例として特許公報の図を示す^{3,4)}。

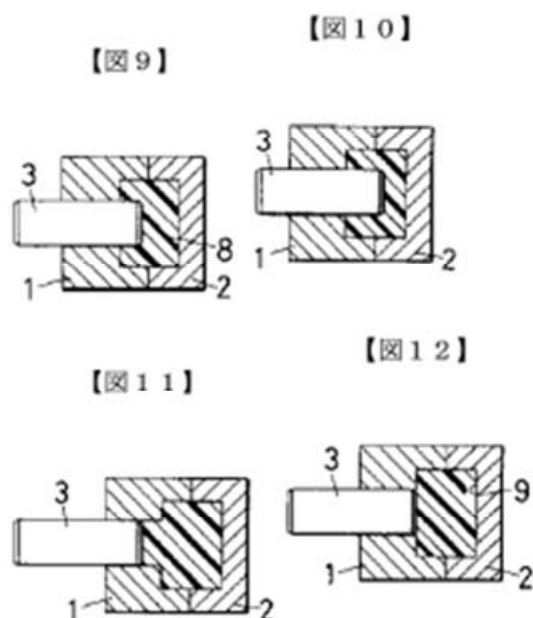


図1 金型のスライドコアの動作を利用した発泡成形の例(1)

参考文献3記載の発泡方法であり、【図9】から【図12】の順に動かす³⁾

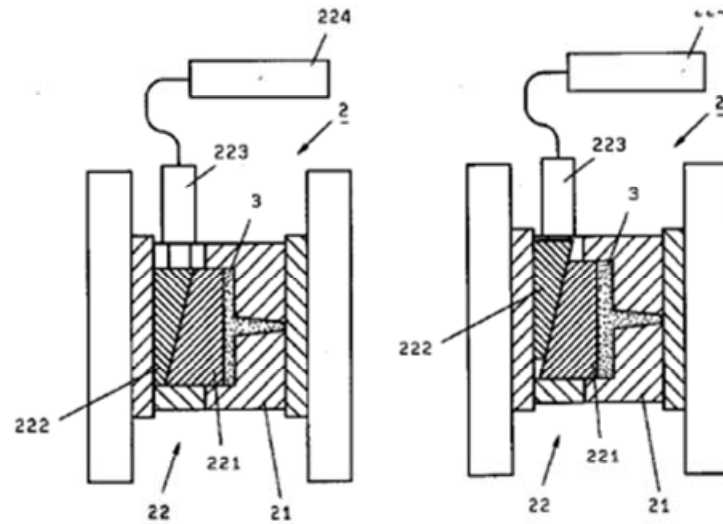


図2 金型のスライドコアの動作を利用した発泡成形の例(2)

参考文献4記載の発泡方法であり、クサビの動作でキャビティ容積を拡大させる⁴⁾

図3には可動プラテンの動作によってキャビティ容積拡大を行う例を示す。コアバック発泡の工程では、キャビティ容積を拡大する前に一度完全充填の状態を経る必要がある。この完全充填の状態を得るためには圧縮の手法が用いられる⁵⁾。図1の例ではスライドコアを移動させ、キャビティ内にほとんど気泡が無い状態を形成する。図3の例では充填圧力によって可動型が後退しながら完全充填状態が維持されている。

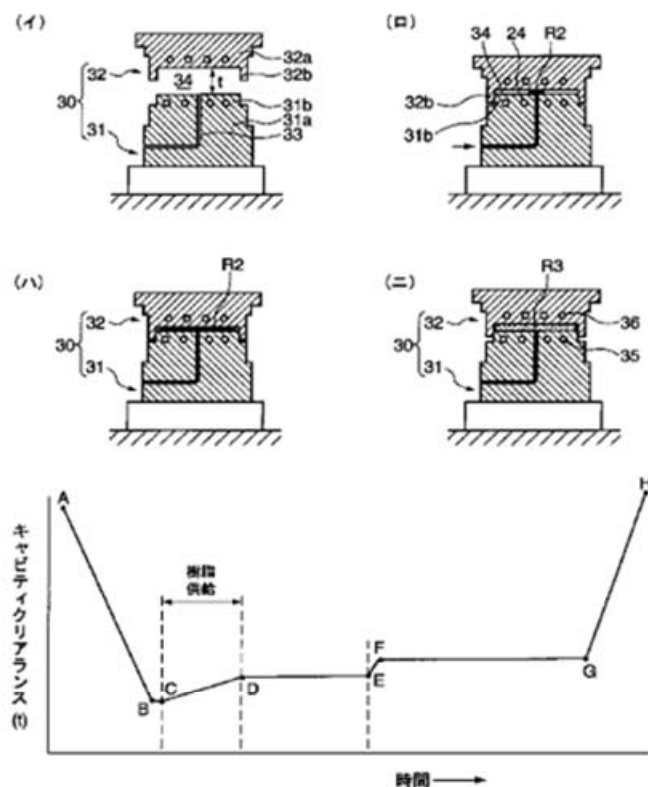


図3 可動プラテンの動作による発泡の例(1)

参考文献5記載の発泡成形法であり、上型を浮上させることでキャビティを拡大する⁵⁾

3. コアバック発泡における気泡制御

コアバック発泡では、コアバックを開始する時点における熔融樹脂の状態が重要になる。金型キャビティに充填された熔融樹脂は金型面に接触した部分から冷却が始まる。金型に接触した部分の樹脂温度は金型温度に等しいと考えてよいが、板厚中心部の樹脂温度は高いままである。金型キャビティ内に充填された熔融樹脂は金型によって冷却され、ソリッドスキン層を形成する。ソリッドスキン層が薄いと製品を取り出した際に外観が良くないため、ソリッドスキン層をある程度発達させるための冷却時間をとることが有効である⁶⁾。図4にはコアバック開始タイミングを変えて成形したサンプルの断面と、コアバック開始時点における板厚断面方向の温度分布（計算値）を示した。図4の例ではコアバック開始時点で温度が90℃よりも低いと発泡せず、120℃よりも高いと連続気泡になっている。この90℃および120℃という値は材料の特性や発泡剤によるガス圧に依存する。

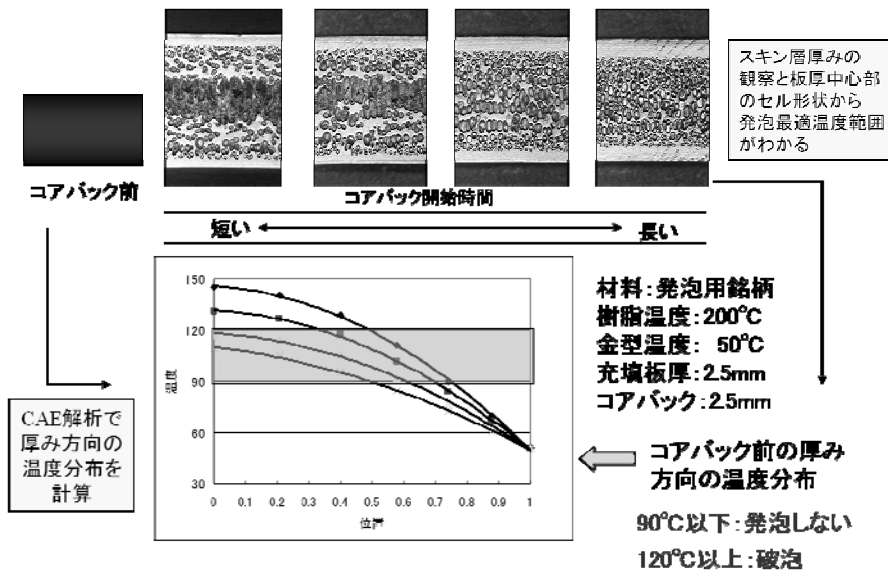


図4 コアバック開始時点の樹脂温度分布とコアバック後の発泡状態
コアバック開始時における板厚中心部(0)から表層(1)にかけての温度分布と
コアバック後の発泡体断面

ソリッドスキン層の厚みはコアバック前の冷却時間以外に金型温度にも影響される。表1にはコアバック発泡における金型温度とソリッドスキン層厚みの関係を示した。ここでわかるように金型温度が高くなるとソリッドスキン層は薄くなる⁷⁾。

表1 金型温度とソリッドスキン層厚みの関係⁷⁾

金型温度 (°C)	20	50	80
スキン層厚み (μm)	660	80	22

材料：GPPS，発泡剤：超臨界 CO₂
金型内を 8MPa の窒素で満たしてから射出し，
金型（初期厚み 2mm）を 2mm コアバックして厚み 4mm の厚みの発泡体を得た。

コアバック開始時点において、キャビティ内の溶融樹脂の温度だけではなく、気泡の核がどのような状態にあるかという点も重要である。射出充填の工程では流動末端で減圧されて気泡が発生しながら充填が進行する。ところが充填の最終段階で型内圧が高くなりすぎると、気泡の中のガスが再溶解して気泡の核が消失すると考えてよい。したがって、型締力を過剰に高くせず、充填圧力に負けて金型が開く条件に設定しておくで気泡核を残したままコアバック工程に移行でき、状態の良い発泡が得られる。型締力が高すぎると気泡核が一度消失するので気泡が成長しにくく、発泡倍率が上がらないとか、気泡が粗大化するという問題が起こりやすい。

コアバック速度も気泡形状やソリッドスキン層の状態に大きな影響を及ぼすことが知られている。コアバック速度は発泡圧によって成り行きで型開きさせる方法と速度を制御する方法がある。発泡圧が比較的小さい化学発泡ではコアバック前半の速度を速く、後半を遅くすると良いことが知られている⁸⁾ (図5)。これは、コアバック後半に発泡圧が下がってきた段階で速度を落とすことにより、樹脂層と金型に隙間ができることを防ぐためである。一方で、物理発泡では発泡剤の添加量が多く、発泡圧が高いため、

コアバック前半は遅く、後半で速くする方法が提案されている。この場合、発泡圧が高いコアバック初期で速度を遅くすることでソリッドスキン層を抑え込み、気泡がスキン層を突き破ることを抑制する効果がある⁹⁾ (図6)。

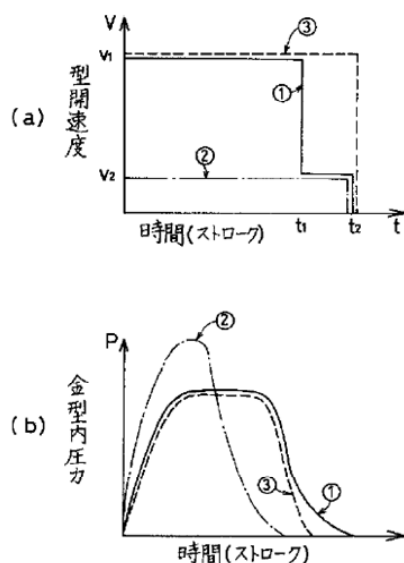


図5 化学発泡剤によるコアバック発泡におけるコアバック速度制御の例⁸⁾

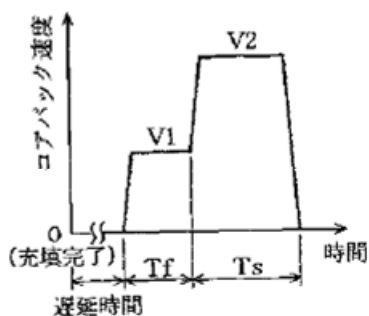


図6 超臨界流体を発泡剤に使用したコアバック発泡におけるコアバック速度制御の例⁹⁾

4. コアバック発泡における軽量化

コアバック発泡の利点は剛性を維持して軽量化が可能になる点にある。コアバック発泡法による成形品は表層に気泡が存在しない層（ソリッドスキン）と板厚中央部に気泡を多く含む層から成り立っている。気泡が実質的に独立気泡であると単位面積当たりの重量が同じであっても板厚が厚くなる分剛性が増す。重量が軽くても板厚の効果により剛性を維持して軽量化が可能になる。

発泡体の剛性は、曲げ弾性勾配で表現されることが多い。曲げ弾性勾配とは 50mm×150mm の試験片をスパン 100mm で両端支持し、中央部を 50mm/min で荷重を加え荷重・たわみ曲線の初期直線部分より 1cm 変形時の荷重を求めたものである。

曲げ弾性勾配は、およそ 2 倍発泡までの範囲であれば経験的に下記の経験式（式1）が成り立つ。ただし発泡の状態が良く、本質的に独立気泡である場合に限られる。ただし、曲げ弾性率、厚みはそれぞれ

れ MPa, mm 単位の値をそのまま用いる。

$$\text{曲げ弾性勾配} = \frac{\text{ソリッドの弾性率} \times (\text{厚み})^3}{400 \times \text{発泡倍率}} \quad [\text{式 1}]$$

上記の式 1 を用いて具体的に計算してみる。前提として材料の曲げ弾性率を 2000MPa, ソリッド（すなわち発泡倍率 1.0）の製品厚みを 2.5mm とする。一方で発泡品は同じ曲げ弾性率の材料で、コアバック前の厚みを 1.8mm, コアバック後の厚みを 2.9mm（すなわち発泡倍率 1.6 倍）とする。ソリッドの曲げ弾性勾配は 78N/cm, 発泡品の曲げ弾性勾配は 76N/cm となり同等である。一方重量はソリッドの厚み 2.5mm に対して発泡品は 1.8mm 相当であり, 28%の軽量化になっている。

5. コアバック発泡における製品外観

コアバック発泡に限らず、射出発泡成形においては成形品表面にスワールマークと呼ばれる外観不良が起こることが多い。発泡剤に由来するガス量が少ない時には残留水分によって起こるシルバーストリークに似た形状で外観不良が起こる。ガス量が多い時には成形品全体にわたって流れに沿った筋が現れる。

このスワールマークのためストラクチャルフォームに代表される射出発泡成形品は、外観部品を避けるか表面にフィルムやファブリックを貼り合わせて使用されてきた。外観部品に採用されるためにはスワールマークを発生させない技術の開発が求められていた。

射出発泡成形においては発泡性溶融樹脂を金型キャビティ内に充填するため、流動末端では圧力が解放されて気泡が大きく成長する。この気泡は大きな剪断を受けて引き伸ばされ、最後には破裂して筋状に凹凸を生じる。この凹凸は金型によって急激に冷却されて成形品表面に残る。これがスワールマークである（図 7 参照）。



図 7 スワールマークの発生メカニズム

フローフロントで発生した気泡が破裂し、そのまま金型で冷却され、痕跡が残る。

スワールマークを抑制するには、気泡を発生させない方法、気泡を破裂させない方法、破裂した気泡を金型で転写する方法がある。気泡を発生させない方法としては射出充填時に金型キャビティ内を加圧しておく方法がある。気泡を破裂させない方法としては、泡持ちの良い材料を使う方法と気泡の寿命と比較して短時間に充填を完了させる方法すなわち高速充填法がある。破裂した気泡を金型に転写させる方法としては、金型を加熱・冷却する方法や、断熱金型を用いる方法がある。金型加熱・冷却法では¹⁰⁾、射出充填時の金型温度が高いため、スワールマークが型内圧により金型転写して消失する。

気泡の寿命と比較して短時間に充填を完了させる手法のポイントは意匠面をすみやかに形成するところにある。そのために射出充填開始時の金型キャビティ容積を充填する樹脂の体積よりも小さくし、さらに射出率をできるだけ速くすることにある^{11,12)}。図 8 には、そのような工法における金型のモーション図を示した¹³⁾。図 8 において（例えば L0=1.2, L1=1.8, L2=2.9）、①キャビティクリアランス L0 で型締を行い、射出充填を開始、②キャビティクリアランスを L1 まで拡大しながら充填を完了、③キャビ

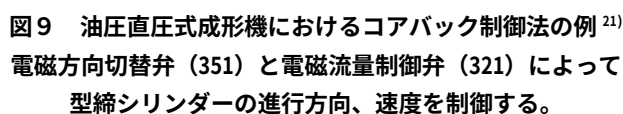


図10 型締シリンダーの他にコアバック用シリンダーを持つ例²²⁾
 射出終了後に加圧シリンダー(8)の押圧力を下げ、コアバック用シリンダー(3)で型開する。流量調整弁(12)と型開速度調整器(13)で型開速度を制御する

図11の例は、発泡圧を利用してコアバックする方法である²³⁾。すなわち、型締シリンダーには型開方向・型閉方向に圧力を掛けられる機構になっているが、射出完了後には両方向の圧力をフリーにし、キャビティ内の発泡圧によって型開させ、所定の開き量に到達した時点で両方向に昇圧して型盤の動きをロックする方法である。

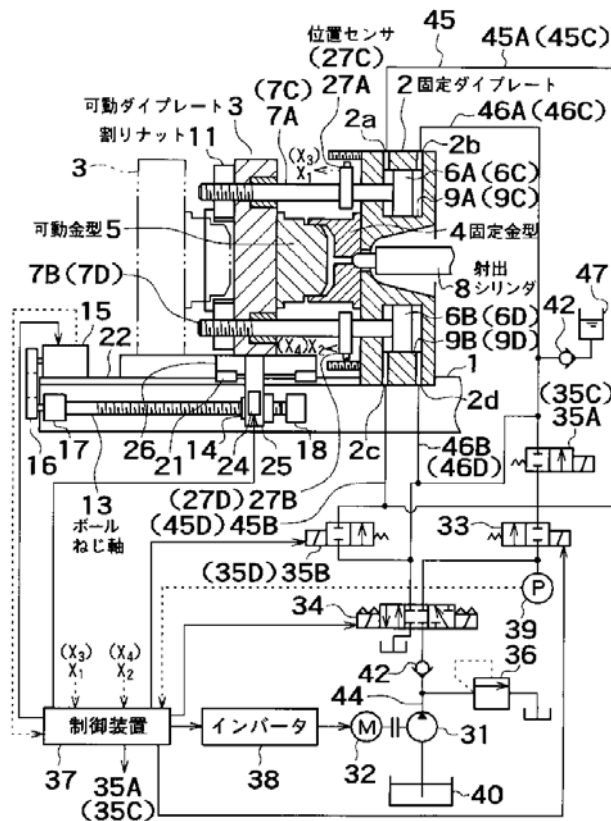


図 1 1 発泡圧を利用してコアバックする例²³⁾

射出終了後に型締シリンダーを開・閉両方向ともフリーにして発泡圧で
コアバックさせる。所定の型開量になったら開・閉の両方向とも
昇圧してロックする。

図 1 2 の例は型開用シリンダーでコアバックするという点において図 1 0 の例と共通点がある。一方で、コアバック用油圧シリンダーは前進限まで動き、コアバック量の調整は電動のサーボモーターで駆動する台座ねじ軸で調整するため、油圧シリンダーの速度や停止位置の制御が不要である²⁴⁾。

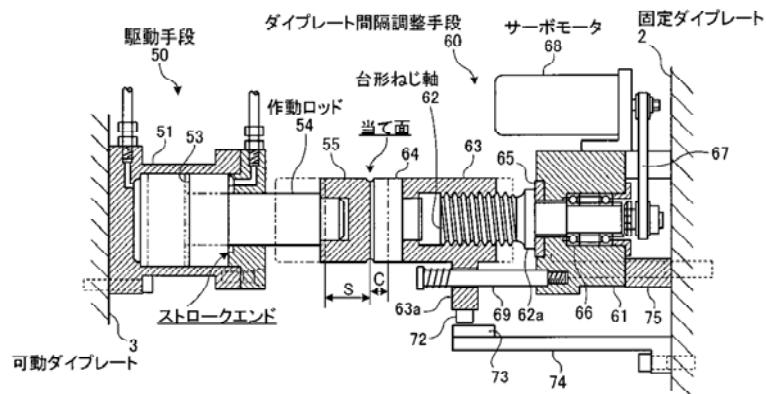


図 1 2 型盤に取り付けた型開用装置を用いてコアバックする例²⁴⁾
 コアバック用油圧シリンダー(51)は油圧によって前進限まで移動する。
 コアバック量はサーボモーター(68)で駆動される台座ねじ軸(62)で調整される。

トグル式成形機はコアバックの位置制御に好都合である。トグルのクロスヘッドの動きと可動盤の動きを比較すると、クロスヘッドは10倍以上大きく動く。逆に言うと、型盤の位置精度はクロスヘッドの位置精度の10倍以上高く制御できる。しかも型開量が小さい位置でその倍率は大きくなる。しかしながら、トグル式成形機ではトグル機構のリンク節の隙間の影響で型開方向と型閉方向でその位置の関係に狂いが生じる。その狂いはティーチングによって補正することで解決している²⁵⁾。

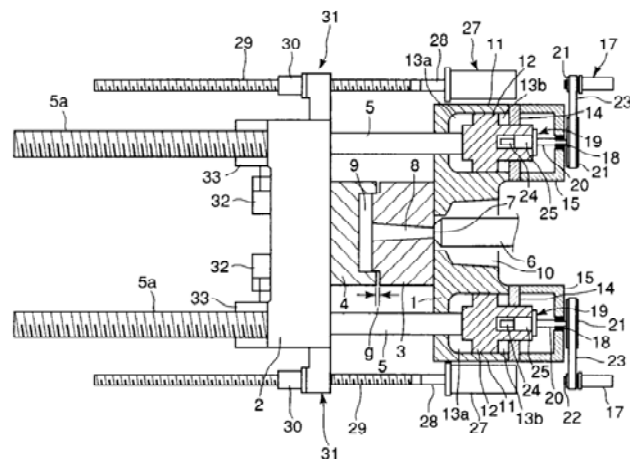


図 1 3 型締を油圧で行うハイブリッド成形機において、
 コアバック用のサーボモーターを備えた例²⁶⁾
 型開、型閉はサーボモーター(27)で行い、型締（昇圧）は
 油圧型締シリンダー(11)で行うが、コアバックはサーボモーター(17)
 とボールねじ(19)の動作で行う。

図 1 3 の例は、型開・型閉は電動サーボモーターによって行い、型締（昇圧）は油圧で行うハイブリ

ッドであるが、コアバックの機構は別に設けられたコアバック用のサーボモーターで駆動させる方式である²⁶⁾。大きな力を出す必要がある型締機構は油圧で、微妙な位置の制御はサーボモーターで制御している。

おわりに

コアバック発泡は射出発泡成形において比較的高倍率の発泡体を得られる成形方法である。その技術は金型技術、材料技術、成形機技術が複雑連携しながら発展してきた。今世紀になってから電動成形機やハイブリッド機が広く使用されるようになって、微妙な制御が可能になってきた。また、超臨界流体を発泡剤として用いる微細射出発泡成形も広まってきた。一方、地球環境保全のための軽量化や省資源のニーズも高まってきた。コアバック発泡がブームになりそうな予感がする。

参考文献

- 1) 特許公開 平 6-100722
- 2) 特許公開 2004-300260
- 3) 特許公開 平 8-90620
- 4) 特許公開 2002-137246
- 5) 特許公開 2002-178351
- 6) 特許公開 平 8-300391
- 7) 特許公開 2006-69215
- 8) 特許公開 平 7-88878
- 9) 特許公開 2008-18677
- 10) 特許公開 2002-307473
- 11) 特許公開 2002-11748
- 12) 特許公開 2002-11755
- 13) 秋元英郎, 型技術, 18(7), 25-29(2003)
- 14) 特許公開 2004-149688
- 15) 特許公開 2007-284484
- 16) 特許公開 2008-101060
- 17) 特許公開 2002-18887
- 18) 特許公開 2003-253084
- 19) 国際公開 WO97/20869
- 20) 特許公開 2005-59224
- 21) 特許公開 平 8-267526
- 22) 特許公開 平 7-80885
- 23) 特許公開 2005-335072
- 24) 特許公開 2008-1092
- 25) 特許公開 2005-254607
- 26) 特許公開 2004-314492