

第4節 射出発泡成形品の内部および表面の不良現象

はじめに

射出発泡成形は、発泡剤を含有した樹脂材料を溶融混練し、金型内に射出して樹脂が冷却固化するまでの工程で成形品内部に微細な気泡を生成させる成形法である。この射出発泡成形品は、内部に気泡を生成させるため、通常の成形品よりも使用する樹脂材料を少なくできることから、部品の軽量化や断熱性能¹⁾、吸音性能の向上などが期待でき、自動車部品を中心に利用されている。しかし、射出発泡成形は、発泡剤の熱分解によってガスを発生させて成形品内部に気泡を生成させるため、気泡生成のタイミングや成長を制御することが難しく、様々な不良が生じやすい問題がある。本項では、化学発泡を対象に射出成形品に生じる様々な成形不良のうち、成形品内部の気泡生成不良ならびに成形品表面に生じる外観不良について解説する。

1. 射出発泡成形品内部の発泡不良

射出発泡成形品の内部気泡構造は、樹脂材料や発泡剤の種類、成形条件に大きく影響を受けることが知られている^{2,3)}。

図1はポリプロピレンを用いた射出発泡成形について、樹脂温度を変化させたときの成形品断面観察写真である。樹脂温度180℃から220℃では、樹脂温度が高くなるにしたがって徐々に気泡径が大きくなっているが、比較的径の小さい気泡が多く分散している。しかし、樹脂温度250℃で成形した場合では、樹脂温度が高いために溶融粘度が低くなり、また固化するまでに時間を要することから、気泡が成長しやすく大きくなる傾向にある。

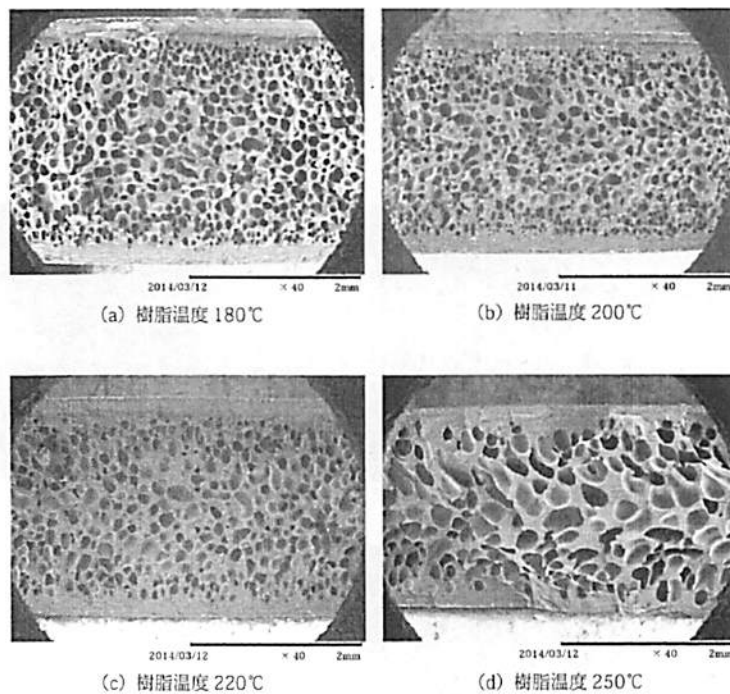


図1 各樹脂温度条件における成形品の発泡状態

金型温度を変化させて射出発泡成形した際の成形品断面写真を図2に示す。金型温度条件を変化させた場合では、条件によって気泡径に多少の差は見られるものの、小さな気泡が均一に分散しており、金型温度が射出発泡成形品の気泡径に与える影響は小さいことが確認できる。これは、金型と樹脂界面の熱抵抗に加えて樹脂自体の熱伝導率が低く、金型温度が樹脂温度に与える影響が小さいためである。

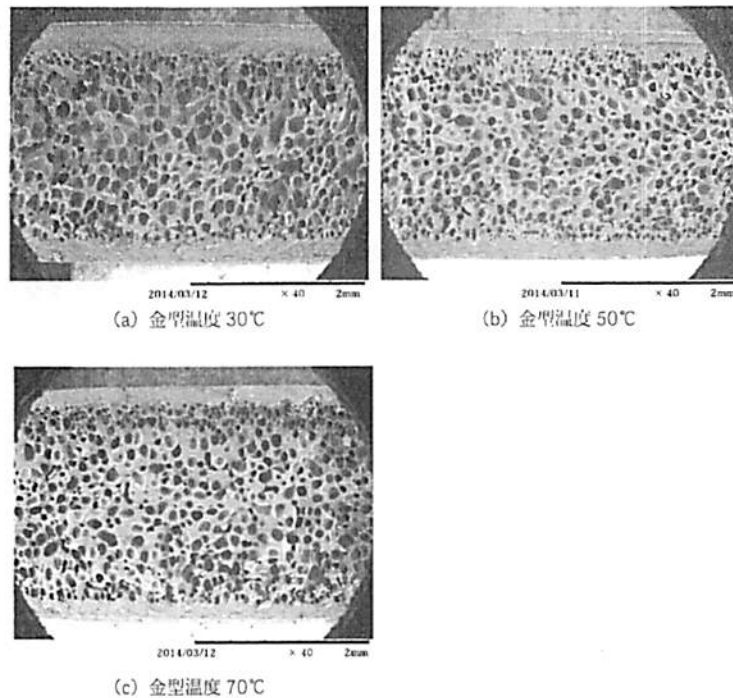


図2 各金型温度条件における成形品の発泡状態

射出発泡成形品の気泡状態を決定する因子として、成形条件以外にも発泡剤の含有量も重要な条件である。図3は樹脂に含有する発泡剤の量を変化させて成形した射出発泡成形品の断面写真である。発泡剤の含有量を多くすることで気泡径は小さくなり、気泡の数は多くなっていることが確認できる。これは、発泡剤が少ない条件では発泡剤に含まれる核剤も少なく、気泡が成長する際にそれぞれの気泡が比較的自由に成長するために気泡が少なく気泡径が大きくなる。一方、発泡剤含有率が多い条件では、核剤が多くなり気泡数も多くなるが、気泡が成長する際にはお互いに干渉しあい気泡成長を妨げる働きをするため気泡径が小さくなると考えられている。

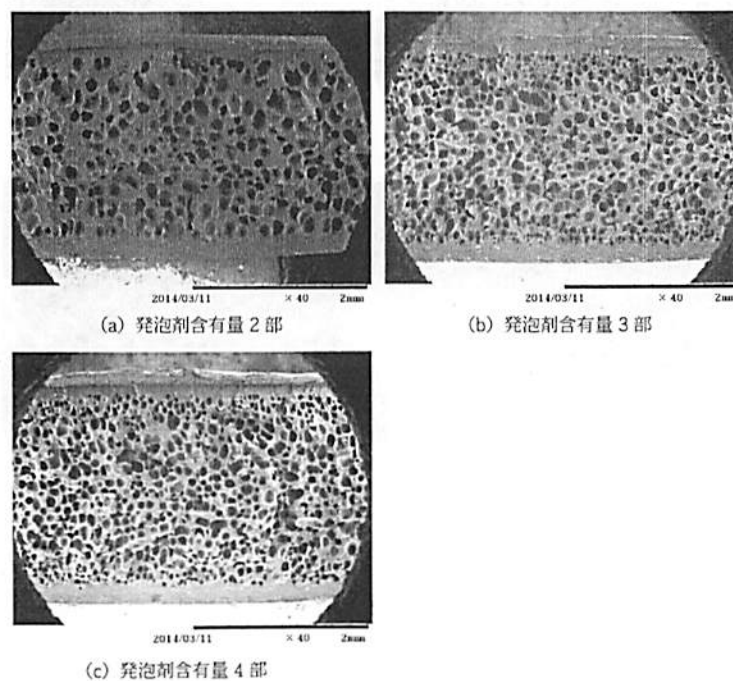


図3 発泡剤含有量の違いにおける成形品の発泡状態

射出発泡成形品を実際に部品として適用するためには、成形品内部の発泡状態に加えてその機械的特性についても把握することが重要である。図4は前述した成形条件で成形した射出発泡成形品の曲げ弾性率を比較した図である。樹脂温度が高くなるにしたがって、曲げ弾性率は徐々に小さくなっていることが確認できる。同様に、金型温度を高くしても曲げ弾性率は小さくなり、金型温度70℃では大きく低下している。図1に示すように樹脂温度250℃では他の条件に比べて気泡径が極端に大きくなっているが、この条件において曲げ弾性率の大きな低下は見られず、曲げ弾性率に与える影響は小さいことが確認できる。金型温度についても曲げ弾性率が大きく低下した70℃の条件では、図2に示すように他の条件と比較して気泡径に大きな差はなく、この結果からも曲げ弾性率に与える気泡径の影響は小さいことが言える。しかし、成形品表面の未発泡層の厚さに着目すると、樹脂温度や金型温度が高くなるにしたがって、未発泡層の厚さが薄くなる傾向にある。発泡剤含有量を変化させた場合では、成形品内部の気泡の大きさは変化しているものの、未発泡層の厚さに関しては影響を与えないため、曲げ弾性率も大きな変化は見られない。したがって、射出発泡成形品の曲げ弾性率について着目すれば、成形品内部の発泡状態よりも未発泡層の影響を大きく受けると言える。

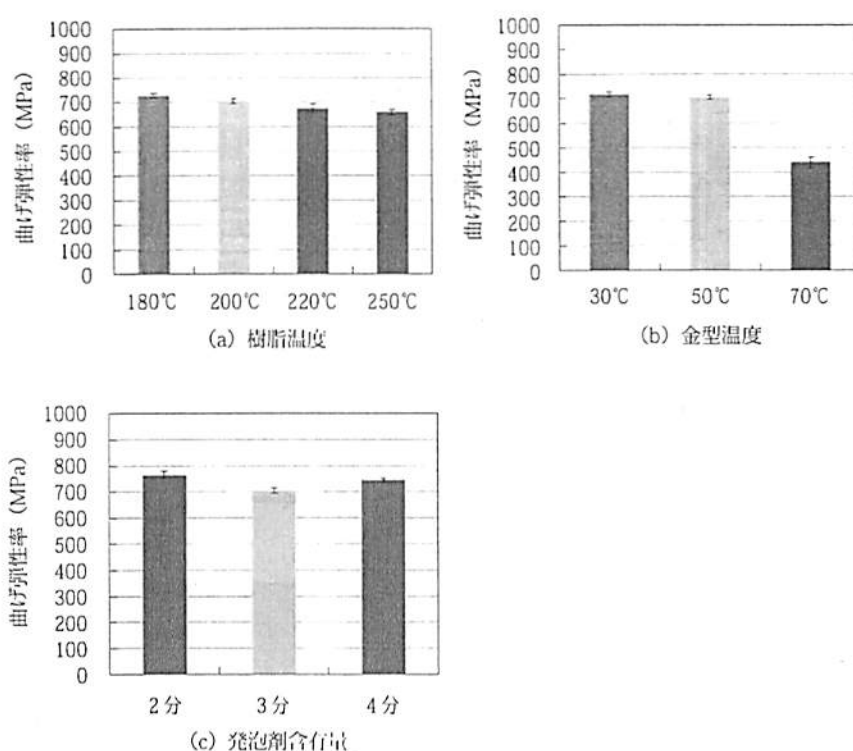


図4 各成形条件における曲げ弾性率の比較

以上のように、射出発泡成形においては、射出成形条件や発泡剤の含有量等が気泡状態に影響を与え、さらに射出発泡成形品の曲げ特性については、内部の発泡状態よりも成形品表面の未発泡層の状態が影響する。言い換えれば、成形条件によって成形品内部の気泡状態や曲げ特性を制御することが可能と言える。しかし、これらの影響は使用する樹脂材料の特性によっても大きく影響するため、樹脂材料の影響についても把握しておくことが重要となる。

2. 射出発泡成形品の外観不良

前述したように、発泡成形は発泡剤の熱分解によって発生するガスで溶融状態の樹脂を発泡させる成形法である。そのため、溶融した樹脂を金型内に流し込んで成形する射出発泡成形では、発泡するタイミングによっては成形品外観にも影響を与える。射出発泡成形品の代表的な外観不良には、図5に示すスワールマークとアバタが挙げられる。スワールマークは、樹脂が金型内を流れる際に、流動の方向に沿って微細な溝が形成され、筋状の模様が現れる現象である。また、アバタは、成形品表面に大きなくぼみが生じる現象である。いずれの不良現象も、成形品の外観品質を大きく低

下させる重要な不良である。ここでは、化学発泡剤を用いた射出発泡成形品に生じるこれらの外観不良発生メカニズムについて解説する。

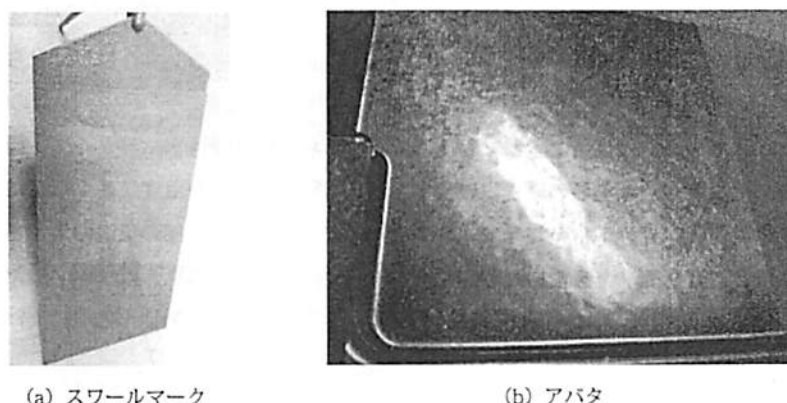


図5 射出発泡成形品の外観不良の例

まず、スワールマークの生成挙動を可視化観察するため、図6に示す可視化金型を用いて、成形中の樹脂の流動挙動を観察した。観察に使用した金型は、横井らによって開発された可視化金型および可視化手法を応用したものである^{4,5)}。この金型は、キャビティ面の一部にガラスブロックを埋設し、さらに固定側のモールドベース内に反射板を取り付けた金型となっており、図に示すように金型側面に高速度カメラと光源を設置することで、成形中の平面方向の樹脂の流れを観察できる構造となっている。

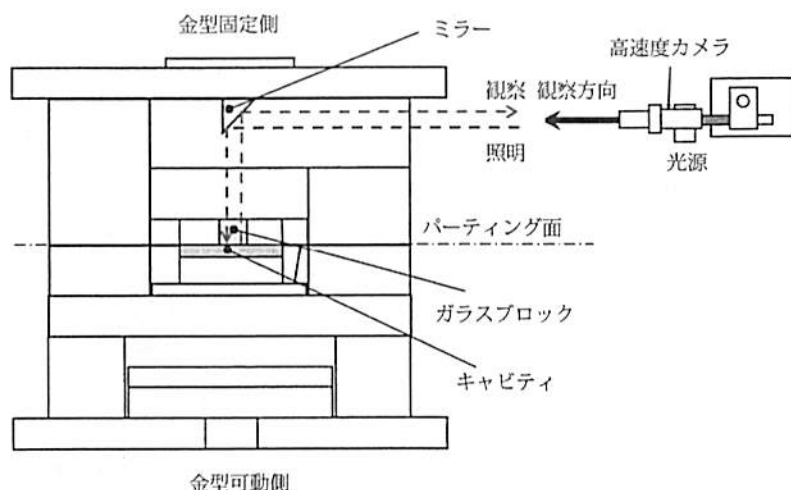


図6 可視化金型の模式図（成形品平面方向の観察）

図7に樹脂フローフロント近傍を平面方向から観察した画像を示す。フローフロントが観察位置を通過した直後に流動方向に沿って白い筋状のスワールマークが確認できる。この結果から、スワールマークは、樹脂流動中にフローフロント近傍で発生することがわかる。このフローフロント近傍でのスワールマークの発生原因を解明するため、可視化観察の方向を図8に示すように変更し、成形品板厚断面の観察を行った。その結果を図9に示す。流動中の樹脂フローフロント先端で生成された気泡が、ファウンテンフローの影響で成形品表面部に流れ、その後気泡が破裂する様子が観察された。この結果を模式的に表すと、スワールマークは図10に示すように、樹脂の圧力が低いフローフロント部で生成、成長した気泡が、ファウンテンフローにより表面に流動して破裂し、樹脂流動にともなって引き伸ばされることが原因であると示唆される。このことからスワールマークの抑制には、フローフロント部の気泡の成長を抑えることが必要であると推察される。

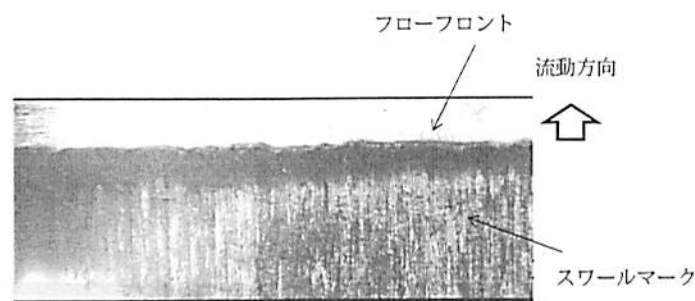


図7 スワールマークの可視化観察画像

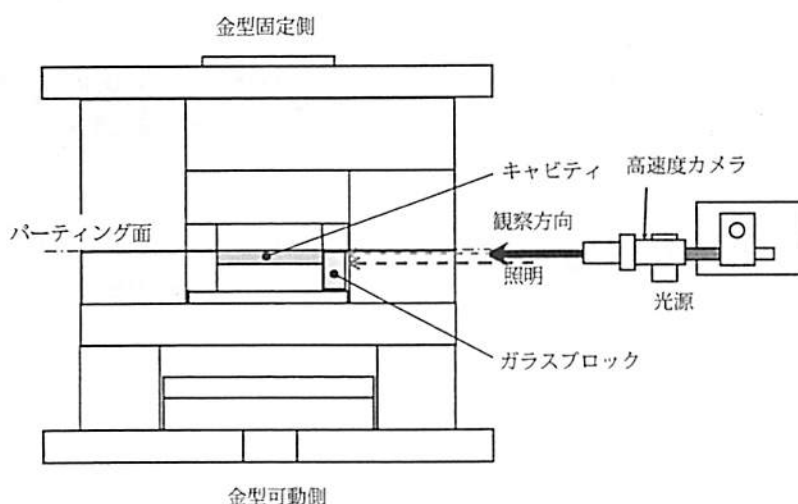


図8 可視化金型の模式図（成形品板厚断面方向の観察）

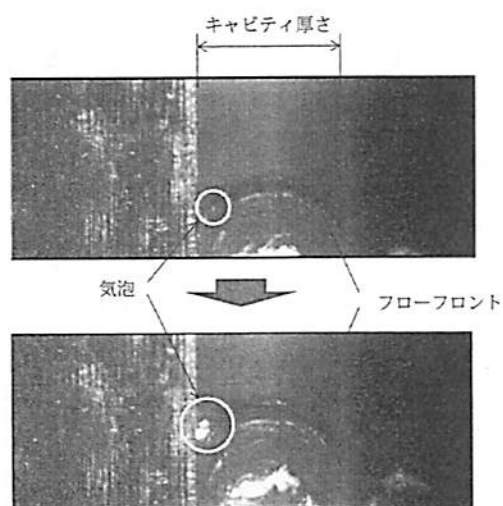


図9 樹脂流動中のフローフロント部の可視化画像

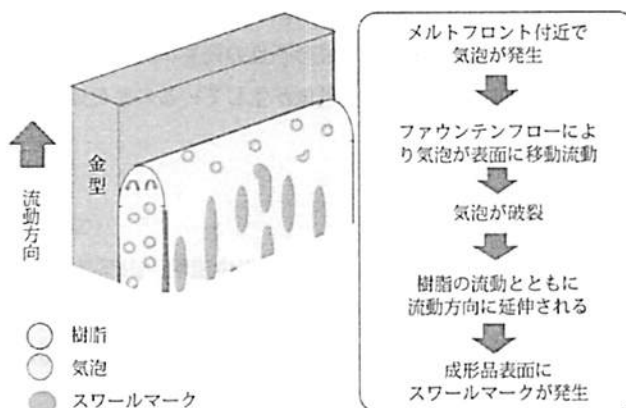


図10 スワールマークの発生メカニズム

射出発泡成形品のもう一つの外観不良であるアバタについて、その発生原因を調査するため、図6に示す可視化金型により同様に観察した。図11(a)は、可視化金型の観察位置を樹脂が通過した直後の画像を拡大観察した結果である。半楕円状の筋が複数確認できる。これは、前述したスワールマークであり、フローフロント部で成長した気泡がファウンテンフローによって表面に流動し破裂した後が引き伸ばされて生成されたものである。また図11(b)は、流動停止後コアバックした直後の同一箇所の画像である。金型（観察用ガラスブロック）と成形品の間に隙間が生じ、楕円状

の斑点（アバタ）が複数生じていることがわかる。この隙間の発生位置を、図 11（a）に示すコアバック前の画像と比較すると、スワールマークの先端部にアバタが生じていることが確認できる。これは、流動中に生成した気泡が成形品表面で破裂して引き伸ばされ、その気泡のガスがコアバック時の圧力開放によって表面に現れてアバタとして発現したものと推察される。これらの結果から、アバタの発生はスワールマークと関係があり、アバタの抑制にはスワールマークと同様、フローフロントにおける気泡の成長と破裂を抑制する必要があることを示唆している。

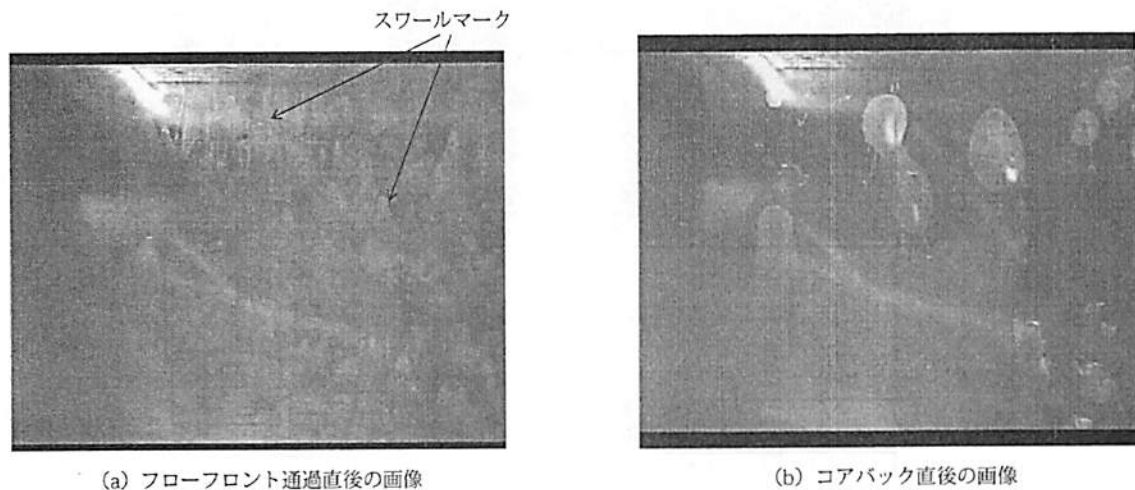


図 11 アバタ発生時の可視化観察画像

3. まとめ

射出発泡成形は、成形品に優れた機能を付与できる成形法であると同時に、様々な成形不良が発生しやすいことも事実である。これらの成形不良は、材料の特性や成形条件が複雑に絡み合って生じており、成形不良の抑制には、成形不良の発生原因およびそのメカニズムを詳細に把握し、適切に対処することが必要である。そのためには、ここで述べたように、各成形条件によって成形不良の発生状況がどのように変化するのか、また可視化実験や種々のセンシング技術によって金型内でどのような現象が生じているのかを知ることが重要となる。

文 献

- 1) 清水駿矢, 瀬戸雅宏, 鈴木亨, 田中宏明, 山部昌: 射出発泡成形品の熱伝導率に与える気泡構造の影響, 成形加工シンポジウム '15, pp. 59-60 (2015)
- 2) 長谷川恭平, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: 射出発泡成形における気泡成長制御に関する研究, 成形加工シンポジウム '14 pp185-186 (2014)
- 3) 柿島浩徳, 瀬戸雅宏, 田中宏明, 山部昌: 射出発泡成形における気泡生成に与える型内樹脂流動挙動の影響, 成形加工シンポジウム '14 pp187-188 (2014)
- 4) 横井秀俊, 稲垣幸秀, 中西博之: レーザによる金型内樹脂流動の可視化: 成形加工 '90, pp. 143-146
- 5) 稲垣幸秀, 横井秀俊, 梅山浩: レーザ可視化法による型内樹脂流動の動的計測, 1990 年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集, 1151 (1990)