

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年3月16日(16.03.2023)



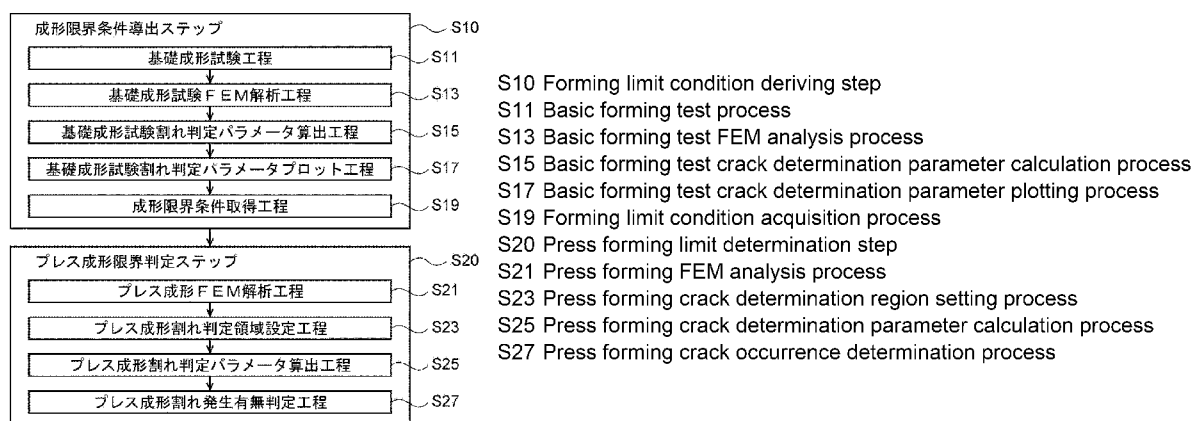
(10) 国際公開番号
WO 2023/037689 A1

- (51) 国際特許分類:
B21D 22/00 (2006.01) G06F 113/22 (2020.01)
G06F 30/23 (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/024332
- (22) 国際出願日: 2022年6月17日(17.06.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-147435 2021年9月10日(10.09.2021) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 仮屋▲崎▼ 祐太(KARIYAZAKI, Yuta); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 佐藤 健太郎(SATO, Kentaro); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) Title: PRESS FORMING CRACK DETERMINATION METHOD, PRESS FORMING CRACK DETERMINATION APPARATUS, AND PRESS FORMING CRACK DETERMINATION PROGRAM, AND PRESS FORMING CRACK SUPPRESSING METHOD

(54) 発明の名称: プレス成形割れ判定方法、プレス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラム、並びにプレス成形割れ抑制方法

【図1】



(57) Abstract: A press forming crack determination method according to the present invention is for determining, in press forming of a metal sheet, the presence or absence of occurrence of cracks at a portion of the metal sheet where the deformation path changes from compressive deformation to tensile deformation, the method comprising: a step (S10) for deriving a forming limit condition relating to the occurrence of cracks in metal sheets on the basis of a basic forming test for deforming metal sheets in a deformation path changing from compressive deformation to tensile deformation and of an FEM analysis thereof; and a step (S20) for determining, on the basis of the derived forming limit condition, the presence or absence of occurrence of cracks at a portion of the metal sheet where the deformation path changes from compressive deformation to tensile deformation.

WO 2023/037689 A1

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本発明に係るプレス成形割れ判定方法は、金属板のプレス成形において、金属板における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するものであって、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験とそのFEM解析に基づいて、金属板の割れ発生に関する成形限界条件を導出するステップ(S10)と、導出した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するステップ(S20)と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

プレス成形割れ判定方法、プレス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラム、並びにプレス成形割れ抑制方法

技術分野

[0001] 本発明は、金属板 (metal sheet) のプレス成形 (press forming) において、金属板の変形経路 (deformation path) が圧縮変形 (compressive deformation) から引張変形 (tensile deformation) に変化する部位における割れ (fracture) 発生の有無を判定するプレス成形割れ判定方法、プレス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラムに関する。また、本発明は、前記判定の結果に基づいて前記割れ発生を抑制するプレス成形割れ抑制方法に関する。

背景技術

[0002] 近年のエネルギー・地球環境問題への対応として、自動車の燃費向上を目的とした車体 (automotive body) の軽量化 (weight reduction) と衝突安全性 (collision safety) の向上への要求が高まっている。これらの要求に応えるため、車体の軽量化を目的とした高強度鋼板 (high-strength steel sheet) の適用拡大が進んでいる。そして、衝突性能 (crash worthiness) と車体の軽量化を両立させるべく、高張力鋼板を様々な形状の自動車部品にプレス成形する技術の開発が一層求められている。また、先進各国がガソリン車の撤廃目標を掲げるなど、動力の転換も急速に進んでおり、特に電気自動車へのシフトが顕著である。電気自動車はバッテリーを車体に積む必要がある。このため、今後、バッテリーケースのような金属板を深絞り加工 (deep drawing) した自動車部品の需要が急増する可能性があり、このような需要に対応するプレス成形技術の開発が急務である。

[0003] プレス成形技術の最も大きな課題として、プレス成形過程において発生する割れが挙げられる。一般的に、プレス成形時に割れを生じさせるプレス成

形の形態は、曲げ変形 (bending deformation)、伸びフランジ変形 (stretch flanging deformation)、絞り変形 (drawing deformation) 及び張出変形 (bulging deformation)、の4種に分類できる。そして、これらのプレス成形の形態において、割れ発生の有無を予め判定する技術がいくつか提案されている。例えば、曲げ変形における割れ発生を判定する方法として、V曲げ試験 (V-bending test) の割れ発生時における曲げ外側表面ひずみ (strain) 量から曲げ割れを判定する方法が開示されている (特許文献1)。また、伸びフランジ変形における割れ発生を判定する方法として、穴広げ試験 (hole expansion test) 後のせん断縁 (sheared edge) 近傍におけるひずみ勾配から、伸びフランジ (stretch flange) 部の板縁 (sheet edge) 割れの成形限界 (forming limit) を算出する方法が開示されている (特許文献2)。

[0004] さらに、絞り変形及び張出変形における割れ発生の判定には、成形限界線図 (Forming Limit Diagram) (FLD) が広く利用されている (非特許文献1)。FLDは簡易な成形試験で得ることができる。また、スクライブドサークル (scribed circle) や各種ドットパターンを印字した金属板 (ブランク (blank)) を用いたプレス成形品のプレス成形において、印字形状の変化に基づいて金属板のひずみ分布を測定することで、実際のプレス成形品での割れ発生の有無の判定に容易に適用できる。また、多くの商用のCAE (Computer Aided Engineering) ソルバー (solver) にも、プレス成形シミュレーション (press forming simulation) で求めた結果を用いてFLDにより割れ発生の有無を判定する機能が実装されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2013-128956号公報

特許文献2：特開2009-204427号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：ISO 12004-2:2008, "Metallic materials - Sheet and

strip - Determination of forming-limit curves - Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory", 2008.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、FLDにより割れ発生の有無を判定することができるのは、絞り成形や張出成形において一定の変形経路で生じる割れである。プレス成形中に変形経路が圧縮変形から引張変形へと変化する場合には、一定の変形経路で変形する場合とは成形限界が異なるため、FLDにより割れ発生の有無を判定することが適用できない。また、変形経路が一次経路から二次経路へと変化する場合、一次経路と二次経路それぞれの変形パターン（圧縮変形、引張変形）の組み合わせや、一次経路から二次経路へと変化するひずみ分配比の違いにより、無数の変形経路が考えられる。このため、変形経路が一定の簡易な成形試験に基づいて作成したFLDを用いて割れ発生の有無を判定するのは限界があった。さらに、プレス成形において金属板の圧縮変形中にしわが発生すると、しわ (wrinkles) の発生する箇所とその周囲の応力 (stress) が変化する。このため、発生したしわによる成形限界への影響も考慮する必要があるが、FLDではこのような影響を考慮することはできなかった。

[0008] 特に、実際の自動車車体部品 (automotive part) のように複雑な形状のプレス成形の絞り加工 (drawing) によるプレス成形において変形経路が圧縮変形から引張変形に転じる場合、以下のような不具合が発生する場合がある。すなわち、一次経路での圧縮変形時の圧縮変形量が大きいと、その後の二次経路での引張変形量が小さい場合でも容易に割れが発生し易くなり、FLDを用いて適切な割れ発生の有無を判定できない場合があった。さらに、一次経路から二次経路へと変形経路が変化するプレス成形において、割れの発生を抑制する技術が求められていた。

[0009] 本発明は、以上の問題を解決すべくなされたものであり、その目的は、金属板のプレス成形過程において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れの発生の有無を判定するプレス成形割れ判定方法、プ

レス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラムを提供することにある。また、本発明の他の目的は、前記割れの発生の有無の判定に基づいて割れ発生を抑制可能なプレス成形割れ抑制方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明に係るプレス成形割れ判定方法は、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するものであって、成形限界条件導出ステップと、プレス成形限界判定ステップと、を含み、前記成形限界条件導出ステップは、前記金属板を前記変形経路で変形させる基礎成形試験 (basic forming test) を種々の成形条件で行い、該種々の成形条件について、前記金属板における前記変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を取得する基礎成形試験工程と、前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とする F E M解析 (finite element analysis) を前記種々の成形条件 (forming condition) について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験 F E M解析工程と、該基礎成形試験 F E M解析工程において算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量 (maximum thickness increment) と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量 (relative thickness decrement) と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ (forming crack estimation parameter) 算出工程と、前記基礎成形試験工程において前記種々の成形条件について取得した割れの発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出工程において前記種々の成形条件について求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標 (two-dimensional coordinate) 上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット工程と、該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の

分布に基づいて、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線 (forming limit diagram) を成形限界条件として求める成形限界条件取得工程と、を有し、前記プレス成形限界判定ステップは、前記金属板を対象とするプレス成形のFEM解析を行うプレス成形FEM解析工程と、該プレス成形FEM解析工程のFEM解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定工程と、該プレス成形割れ判定領域設定工程において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータとして算出するプレス成形割れ判定パラメータ算出工程と、該プレス成形割れ判定パラメータ算出工程において算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得工程で取得した前記成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定工程と、を有する。

[0011] 本発明に係るプレス成形割れ判定装置は、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するものであって、成形限界条件導出ユニットと、プレス成形限界判定ユニットと、を備え、前記成形限界条件導出ユニットは、前記金属板を前記変形経路で変形させる基礎成形試験の種々の成形条件について取得した前記金属板における前記変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する試験結果を取り込む基礎成形試験結果取込部と、前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とするFEM解析を前記種々の成形条件について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験FEM解析部と、該基礎成形試験FEM解析部により算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増

加量と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部と、前記基礎成形試験結果取込部により取り込んだ割れ発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部により求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部と、該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、を有し、前記プレス成形限界判定ユニットは、前記金属板を対象とするプレス成形のFEM解析を行うプレス成形FEM解析部と、該プレス成形FEM解析部によるFEM解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定部と、該プレス成形割れ判定領域設定部において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータとして求めるプレス成形割れ判定パラメータ算出部と、該プレス成形割れ判定パラメータ算出部により算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得部により取得した前記成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定部と、を有する。

[0012] 本発明に係るプレス成形割れ判定プログラムは、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するものであって、コンピュータを、成形限界条件導出ユニットと、プレス成形限界判定ユニットと、して実行させる機能を備え、前記成形限界条件導出ユニットを、前記金属板を前記変形経路で変形させる基

礎成形試験の種々の成形条件について取得した前記金属板における前記変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する試験結果を取り込む基礎成形試験結果取込部と、前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とするFEM解析を前記種々の成形条件について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験FEM解析部と、該基礎成形試験FEM解析部により算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部と、前記基礎成形試験結果取込部により取り込んだ種々の成形条件での金属板の割れ発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部により求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部と、該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、として実行させる機能と、前記プレス成形限界判定ユニットを、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、前記金属板を対象とするプレス成形のFEM解析を行うプレス成形FEM解析部と、該プレス成形FEM解析部によるFEM解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定部と、該プレス成形割れ判定領域設定部において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータ

タとして求めるプレス成形割れ判定パラメータ算出部と、該プレス成形割れ判定パラメータ算出部により算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得部により取得した前記成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定部と、として実行させる機能と、を有する。

- [0013] 本発明に係るプレス成形割れ抑制方法は、本発明に係るプレス成形割れ判定方法により、金属板のプレス成形において金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定し、該判定した結果に基づいて、プレス成形における割れ発生を抑制する成形条件を求めるものであって、前記プレス成形割れ発生有無判定工程において前記割れ発生判定領域に割れ発生有りと判定された場合、該割れ発生判定領域に割れ発生無しと判定されるまで、前記プレス成形FEM解析工程における成形条件を変更し、前記プレス成形FEM解析工程と、前記プレス成形割れ判定領域設定工程と、前記プレス成形割れ判定パラメータ算出工程と、前記プレス成形割れ発生有無判定工程と、を繰り返し行う。

発明の効果

- [0014] 本発明においては、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験を行い、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件を導出する。そして、導出した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定することができる。
- [0015] 本発明によれば、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生を判定し、その判定に基づいて、金属板の形状変更や金型 (tool of press forming) の修正等の成形条件を変更することができる。また、実際のプレス成形において割れの発生を抑制できる成形条件を決定するための期間を大幅に短縮することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法の処理の流れを説明するフロー図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態1及び実施の形態2において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形にする部位における金属板の板厚の変化と、割れ発生の有無を判定する割れ判定パラメータとして求める最大板厚増加量及び相対板厚減少量と、を説明するグラフである。

[図3]図3は、本発明の実施の形態1及び実施の形態2において、基礎成形試験として金属板を角筒状の底付き容器に絞り加工する金型の一例を説明する図である（（a）斜視図、（b）成形方向（forming direction）に平行な断面図、（c）成形方向に直交する断面図）。

[図4]図4は、金属板を絞り加工した角筒状の底付き柱状容器と、当該絞り加工において変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位を説明する図である。

[図5]図5は、本発明の実施の形態1及び実施の形態2において用いた金属板の形状及び寸法を説明する図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態1において、金属板を角筒状に絞り加工する基礎成形試験により求めた割れ発生の有無を、基礎成形試験のFEM要素解析により基礎成形試験割れ判定パラメータとして求めた最大板厚増加量及び相対板厚減少量に関連付けて二次元座標上にプロットした結果と、プロットした割れ発生の有無の分布に基づいて作成した成形限界線と、を示すグラフである。

[図7]図7は、本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定装置のブロック図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態2に係るプレス成形割れ抑制方法の処理の流れを説明するフロー図である。

[図9]図9は、実施例において、絞り加工に用いる金型を説明する図である（（a）斜視図、（b）成形方向に平行なA-A断面図、（c）成形方向に直交す

る断面図、（d）成形方向に平行なB-B断面図）。

[図10]図10は、実施例において、絞り加工による成形対象とした角筒状の底付き柱状容器を説明する図である。

[図11]図11は、実施例において、絞り加工に用いた金属板を説明する図である。

[図12]図12は、実施例において、割れ判定の結果を示すグラフである（その1）。

[図13]図13は、実施例において、割れ判定結果に基づいて求めた割れ危険度（fracture risk）を示す図である（その1）。

[図14]図14は、実施例において、割れ判定の結果を示すグラフである（その2）。

[図15]図15は、実施例において、割れ判定結果に基づいて求めた割れ危険度を示す図である（その2）。

発明を実施するための形態

[0017] <発明に至った経緯>

本発明の実施の形態1及び実施の形態2について説明するに先立ち、本発明を着想するに至った経緯を説明する。

[0018] 発明者らは、プレス成形中に金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形へと変化する場合においては、一定の変形経路で変形する場合とは成形限界が異なる原因について鋭意検討した。発明者らは、一次経路での圧縮変形による変形量が大きいと、その後の二次経路での引張変形による変形量が小さくても材料割れ（crack）（破断（fracture））が発生しやすいことに着目した。そして、発明者らは、一次経路では圧縮変形による加工硬化（work hardening）が影響して材料の延性（ductility）等の変形特性が低下し（ダメージを受け）、その後の二次経路での引張変形により容易に割れが発生する、とのメカニズムを推定した。そこで、発明者らは、一次経路での圧縮変形による圧縮変形量と、二次経路での引張変形による引張変形量、のそれぞれを、金属板の板厚方向の真ひずみ（true strain）（板厚変化量）で表すことを

想到した。

[0019] 図2に、金属板を圧縮変形から引張変形へと変化する変形経路で変形させた場合の板厚の変化を模式的に表した図を示す。図2において、縦軸は圧縮変形から引張変形へと変化する変形経路での金属板の板厚方向の真ひずみ（ $= -\ln(\text{変形後板厚} / \text{変形前板厚})$ ）で与えられる板厚減少率（thickness reduction ratio）、横軸は金属板の変形開始からの経過時間である。このとき、(i) 一次経路での圧縮変形による板厚方向の真ひずみ $\varepsilon_{\text{compression}}$ と、(ii) 二次経路での引張変形による板厚方向の真ひずみ $\varepsilon_{\text{tension after compression}}$ は、それぞれ、式(1)及び式(2)で与えられる。

[0020] [数1]

$$\varepsilon_{\text{compression}} = -\ln(hc/h_0) \quad \dots(1)$$

$$\varepsilon_{\text{tension after compression}} = -\ln((hc - ht)/hc) \quad \dots(2)$$

ただし、 h_0 : 金属薄板の初期板厚、

hc : 圧縮変形における最大板厚(maximum thickness)

ht : 引張変形における最小板厚(minimum thickness)

[0021] 発明者らは、圧縮変形と引張変形それぞれにおける真ひずみを圧縮変形量及び引張変形量として求め、これらの変形量に基づいて圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で金属板を変形させたときの当該金属板における割れ発生の有無を判定することを着想した。また、圧縮変形による加工硬化とその後の延性等の変形特性の低下との関係は、プレス成形に用いる金属板に固有の特性と考えられる。そこで、発明者らは、実際のプレス成形の代わりに、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる成形試験により、金属板における割れ発生の有無を求めることを着想した。

[0022] しかし、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる成形試験により割れの発生の有無を求めることはできても、変形経路における金属板の圧縮変形による最大板厚 hc 及び引張変形による最小板厚 ht を直接実測することは難しい。

[0023] そこで、発明者らは、圧縮変形から引張変形に変化する変形経路での金属

板の変形を再現したFEM (Finite Element Method) 解析を行うこととした。そして、発明者らは、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位に相当する要素の板厚の変化を算出し、該算出した板厚の変化から最大板厚 (maximum thickness) 及び最小板厚 (minimum thickness) を求めることとした。

[0024] 本発明は、上記の検討に基づいてなされたものであり、以下、本発明の実施の形態1及び実施の形態2について説明する。

[0025] [実施の形態1]

<プレス成形割れ判定方法>

本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法は、金属板のプレス成形において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定する。図1に示すように、プレス成形割れ判定方法は、成形限界条件導出ステップS10と、プレス成形限界判定ステップS20と、を含む。

[0026] <<成形限界条件導出ステップ>>

成形限界条件導出ステップS10は、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験を行い、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件を導出するステップである。図1に示すように、成形限界条件導出ステップS10は、基礎成形試験工程S11と、基礎成形試験FEM解析工程S13と、基礎成形試験割れ判定パラメータ算出工程S15と、基礎成形試験割れ判定パラメータプロット工程S17と、成形限界条件取得工程S19と、を有する。

[0027] (基礎成形試験工程)

基礎成形試験工程S11は、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験を種々の成形条件で行い、種々の成形条件について金属板における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を取得する工程である。

- [0028] 本実施の形態1では、図3に例示するパンチ (punch) 33とダイ (die) 35とブランクホルダー (blank holder) 37とを備えた金型31を用いて、金属板 (図示なし) を図4に示す角筒状の底付き柱状容器41に絞り加工する基礎成形試験を行う。底付き柱状容器41は、図4に示すように、底部 (bottom portion) 43と、縦壁部 (side wall portion) 45と、フランジ部 (flange portion) 47と、を有する。図4は、底付き柱状容器41におけるコーナー (corner portion) 部41aを中心とした1/4の領域を表示したものである。
- [0029] 底付き柱状容器41の絞り加工においては、金属板の端部をダイ35とブランクホルダー37とにより挟持しながらパンチ33をダイ35のダイ穴部 (die hole portion) 35aに押し込むことで、金属板がパンチ33によりダイ穴部35aに向けて引き込まれる。これにより、金属板はダイ穴部35aに向かって流動し、ダイ穴部35aの外縁周方向に沿って圧縮変形を受ける。そして、金属板における圧縮変形を受けた部位は、パンチ肩部33aに接してダイ穴部35aに押し込まれることで引張変形を受け、ダイ穴部35aへの引き込み後においても引張変形を受ける。その結果、底付き柱状容器41のコーナー部41aとその周辺における縦壁部45は、圧縮変形から引張変形へと変化する変形経路で成形される。
- [0030] 基礎成形試験における種々の成形条件は、金属板の形状及び寸法、ブランクホルダーによる金属板のしわ押さえ力 (blank holder pressure)、金属板におけるダイとブランクホルダーにより挟持される部位の潤滑条件 (lubricated condition)、金属板に付与するビード形状 (bead-shape) 等を変更して適宜設定すればよい。潤滑条件には、潤滑油 (lubricating oil) の種類、粘度 (viscosity coefficient)、供給量、極圧添加剤 (extreme pressure additive) の添加等が含まれる。
- [0031] 特に、図3に示す金型を用いて絞り加工する基礎成形試験では、金属板の形状、又は、ブランクホルダー37により金属板に付与するしわ押さえ力を変更することで、容易に成形条件を変更することができる。

[0032] 本実施の形態1では、パンチ肩部 (shoulder part of a punch) 33 aのパンチ肩半径 (radius of shoulder part) をR12mm、ダイ肩部 (shoulder part of a die) 35 bのダイ肩半径 (radius of die part) をR5mm、コーナー部41 aのコーナー半径をR25mmとした。そして、金属板には、板厚1.4mm、980MPa級 (MPa-class) の鋼板 (steel sheet) を供試材とし、図5に示す形状及び寸法の金属板51を用いた。また、blankホルダー37によるしわ押さえ力は5~20tonfの範囲で変更して、基礎成形試験における種々の成形条件を設定した。

[0033] 表1に、金属板51 (図5) を角筒状の底付き柱状容器41 (図4) に絞り加工する基礎成形試験における成形条件 (金属板の形状・寸法及びしわ押さえ力) と、割れ発生の有無を示す。

[0034]

[表1]

金属板の形状・寸法	しわ押さえ力 (tonf)	最大板厚増加量	相対板厚減少量	割れ発生の有無
正方形：200mm×200mm	5	-0.029	0.154	割れ無し
正方形：200mm×200mm	10	-0.029	0.159	割れ無し
正方形：200mm×200mm	15	-0.029	0.15	割れ無し
正方形：200mm×200mm	20	-0.029	0.03	割れ無し
正方形：175mm×175mm	5	-0.049	0.103	割れ無し
正方形：175mm×175mm	10	-0.049	0.123	割れ有り
正方形：175mm×175mm	15	-0.049	0.125	割れ有り
正方形：175mm×175mm	20	-0.049	0.126	割れ有り
正方形：150mm×150mm	5	-0.048	0.059	割れ無し
正方形：150mm×150mm	10	-0.048	0.059	割れ無し
正方形：150mm×150mm	15	-0.048	0.059	割れ無し
正方形：150mm×150mm	20	-0.048	0.059	割れ無し
正方形：125mm×125mm	5	-0.026	0.059	割れ無し
正方形：125mm×125mm	10	-0.027	0.059	割れ無し
正方形：125mm×125mm	15	-0.026	0.059	割れ無し
正方形：125mm×125mm	20	-0.026	0.059	割れ無し
八角形：コーナークット25mm	5	-0.029	0.162	割れ無し
八角形：コーナークット25mm	10	-0.029	0.167	割れ無し
八角形：コーナークット25mm	15	-0.029	0.155	割れ無し
八角形：コーナークット25mm	20	-0.029	0.03	割れ無し
八角形：コーナークット50mm	5	-0.026	0.188	割れ無し
八角形：コーナークット50mm	10	-0.026	0.194	割れ無し
八角形：コーナークット50mm	15	-0.026	0.179	割れ無し
八角形：コーナークット50mm	20	-0.026	0.031	割れ無し
八角形：コーナークット75mm	5	-0.229	0.022	割れ無し
八角形：コーナークット75mm	10	-0.193	0.099	割れ有り
八角形：コーナークット75mm	15	-0.191	0.064	割れ有り
八角形：コーナークット75mm	20	-0.191	0.005	割れ無し
円形：φ200mm	5	-0.05	0.154	割れ有り
円形：φ200mm	10	-0.05	0.153	割れ有り
円形：φ200mm	15	-0.05	0.161	割れ有り
円形：φ200mm	20	-0.05	0.015	割れ無し

[0035] (基礎成形試験 F E M解析工程 (以下、第一解析工程と略記))

第一解析工程 S 1 3 は、金属板の基礎成形試験を解析対象とする F E M解析を種々の成形条件について行い、金属板の板厚の変化を算出する工程である。

[0036] 本実施の形態 1 において、第一解析工程 S 1 3 における F E M解析は、金型 3 1 (図 3) 用いて金属板 5 1 (図 5) を角筒状の底付き柱状容器 4 1 (図 4) に絞り加工する基礎成形試験を解析対象とする。そして、第一解析工程 S 1 3 における成形条件は、基礎成形試験工程 S 1 1 における基礎成形試験と同じ成形条件とする。

[0037] 図2に、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位の板厚の変化をFEM解析により算出した一例を示す。図2に示すように、金属板は、圧縮変形する過程では板厚が増加して最大板厚 h_c に達し、圧縮変形後に引張変形する過程では板厚が減少する。引張変形における板厚の最小値を最小板厚 h_t と表記する。

[0038] 第一解析工程S13は、基礎成形試験工程S11において割れの発生の有無を取得した金属板の部位に相当する要素の板厚の変化を算出する。

[0039] (基礎成形試験割れ判定パラメータ算出工程(以下、第一算出工程と略記))

第一算出工程S15は、第一解析工程S13において算出した金属板の板厚の変化に基づいて、種々の成形条件について基礎成形試験割れ判定パラメータを算出する工程である。基礎成形試験割れ判定パラメータには、最大板厚増加量と相対板厚減少量が含まれる。最大板厚増加量とは、変形経路の圧縮変形において金属板が最大板厚 h_c に至るまでの板厚の変化量である。相対板厚減少量とは、変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して金属板が最大板厚 h_c から最小板厚 h_t に至るまでの板厚の変化量である。

[0040] 第一解析工程S13において図2に示すように金属板の板厚の変化が算出されている場合、第一算出工程S15は、金属板の初期の板厚 h_0 と圧縮変形での最大板厚 h_c とを用いて、圧縮変形での真ひずみ $\epsilon_{\text{compression}}$ を最大板厚増加量として算出する。圧縮変形での真ひずみ $\epsilon_{\text{compression}}$ は、前述した式(1)により与えられる。また、第一算出工程S15は、最大板厚 h_c と引張変形での最小板厚 h_t とを用いて、前述した式(2)により与えられる圧縮変形後の引張変形での真ひずみ $\epsilon_{\text{tension after compression}}$ を相対板厚減少量として算出する。そして、第一算出工程S15は、このように算出した最大板厚増加量と相対板厚減少量とを基礎成形試験割れ判定パラメータとして取得する。

[0041] 前記した表1に、金属板51(図5)を角筒状の底付き柱状容器41(図4)に絞り加工する基礎成形試験のFEM解析により、各成形条件について

基礎成形試験割れ判定パラメータとして算出した最大板厚増加量及び相対板厚減少量の結果を示す。

[0042] (基礎成形試験割れ判定パラメータプロット工程 (以下、プロット工程と略記))

プロット工程 S 1 7 は、図 6 に一例として示すように、基礎成形試験工程 S 1 1 において種々の成形条件について取得した割れの発生の有無と、第一算出工程 S 1 5 において種々の成形条件について求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付ける。そして、プロット工程 S 1 7 は、最大板厚増加量及び相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする工程である。

[0043] 図 6 において、○印のプロットは、基礎成形試験工程 S 1 1 において割れ発生無しを、×印のプロットは基礎成形試験工程 S 1 1 において割れ発生有りを示す。

[0044] (成形限界条件取得工程 (以下、取得工程と略記))

取得工程 S 1 9 は、プロット工程 S 1 7 において二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として取得する工程である。

[0045] 図 6 に、成形限界条件として取得した成形限界線の一例を示す。図 6 に示す成形限界線は、プロット工程 S 1 7 において二次元座標上にプロットした基礎成形試験割れ判定パラメータの分布に基づいて作成したものである。成形限界線は、例えば、基礎成形試験割れ判定パラメータにおいて、割れ発生有りと割れ発生なしとの境界を近似する関数式をフィッティングにより求めて作成すればよい。

[0046] 本発明が対象としている、変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する成形形態における割れは、最大板厚増加量が多い場合には相対板厚減少量の限界値は低く、逆に、最大板厚増加量が小さい場合には相対板厚減少量の限界値は大きくなる。したがって、成形限界線は、高次 (high dimension) (

例えば三次)の逆関数 (inverse function) として定式化することができる。

[0047] 具体的には、プロット工程 S 17 においてプロットした割れ判定パラメータのうち割れ発生有りの割れ判定パラメータを抽出し、抽出した割れ判定パラメータを滑らかに結ぶ成形限界線として高次の逆関数を仮定する。そして、抽出した割れ判定パラメータと仮定した逆関数の誤差二乗和 (sum of squared error) が最小になるように逆関数の係数を決定することにより、成形限界線を作成すればよい。

[0048] 成形限界線より上の領域にプロットされた割れ判定パラメータはすべて割れ発生有りでなければならない。このため、割れ発生有りと割れ発生なしの境界付近、すなわち、割れ発生有りの割れ判定パラメータのうち、各最大板厚増加量における最小の相対板厚減少量の割れ判定パラメータのプロットを抽出する。

[0049] 図 6 に示す成形限界線は、式 (3) に示す三次の逆関数を仮定して作成したものであり、式 (3) 中の各係数の値は、 $a=2.1 \times 10^{-10}$ 、 $b=8.9 \times 10^{-12}$ 、 $c=2.0$ 、 $d=0$ 、 $e=0.01$ である。

[0050] [数2]

$$y = \frac{e}{ax^3 + b^2 + cx + d} \quad \dots (3)$$

[0051] 《プレス成形限界判定ステップ》

プレス成形限界判定ステップ S 20 は、成形限界条件導出ステップ S 10 において導出した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するステップである。図 1 に示すように、プレス成形限界判定ステップ S 20 は、プレス成形 FEM 解析工程 S 21 と、プレス成形割れ判定領域設定工程 S 23 と、プレス成形割れ判定パラメータ算出工程 S 25 と、プレス成形割れ発生有無判定工程 S 27 と、を有する。

[0052] (プレス成形 FEM 解析工程 (以下、第二解析工程と略記))

第二解析工程 S 2 1 は、金属板を対象とするプレス成形の F E M 解析を行う工程である。第二解析工程 S 2 1 における F E M 解析により、プレス成形において金属板に生じるひずみ、応力及び板厚等の変化を F E M 解析に用いる要素ごとに求めることができる。

[0053] (プレス成形割れ判定領域設定工程 (以下、設定工程と略記))

設定工程 S 2 3 は、第二解析工程 S 2 1 における F E M 解析結果に基づき、金属板のプレス成形における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定する工程である。

[0054] 設定工程 S 2 3 は、要素ごとに求めたひずみに基づいて、プレス成形過程における最小主ひずみ (minimum principal strain) を最大主ひずみ (maximum principal strain) で除したひずみ比が負 (圧縮) から正 (引張) に変化する要素を、プレス成形における割れ発生の有無を判定する割れ判定領域として設定する。

[0055] (プレス成形割れ判定パラメータ算出工程 (以下、第二算出工程と略記))

第二算出工程 S 2 5 は、F E M 解析結果に基づいて設定工程 S 2 3 において設定した割れ発生判定領域について、プレス成形割れ判定パラメータを求める工程である。プレス成形割れ判定パラメータには、圧縮変形において最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、圧縮変形から引張変形へと変化して最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、が含まれる。本実施の形態では、金属板の初期の板厚 h_0 と圧縮変形での最大板厚 h_c とを用いて、前述した式 (1) により与えられる圧縮変形での真ひずみ $\varepsilon_{\text{compression}}$ を最大板厚増加量として算出する。そして、最大板厚 h_c と引張変形での最小板厚 h_t とを用いて、前述した式 (2) により与えられる圧縮変形後の引張変形での真ひずみ $\varepsilon_{\text{tension after compression}}$ を相対板厚減少量として算出する。

[0056] (プレス成形割れ発生有無判定工程 (以下、判定工程と略記))

判定工程 S 2 7 は、第二算出工程 S 2 5 において算出したプレス成形割れ

判定パラメータと、取得工程 S 1 9 において取得した成形限界条件と、を比較し、割れ発生判定領域の割れ発生の有無を判定する工程である。

[0057] 判定工程 S 2 7 において、割れ発生判定領域の割れ発生の有無は、具体的には、以下のとおり行う。まず、第二算出工程 S 2 5 で求めたプレス成形割れ判定パラメータを、最大板厚増加量と相対板厚減少量を縦軸と横軸とする二次元座標上にプロットする。

[0058] 次に、プレス成形割れ判定パラメータをプロットした二次元座標上に、成形限界条件導出ステップ S 1 0 の取得工程 S 1 9 で成形限界条件として取得した成形限界線を描く。

[0059] そして、プロットしたプレス成形割れ判定パラメータが成形限界線を超えない、すなわち、プレス成形の最大板厚増加量に対応する成形限界条件の相対板厚減少量よりもプレス成形の相対板厚減少量が小さい、のであれば割れの発生なしと判定する。これに対し、プレス成形割れ判定パラメータが成形限界線を超える、すなわち、プレス成形の最大板厚増加量に対応する成形限界条件の相対板厚減少量よりもプレス成形の相対板厚減少量が大きいため、であれば割れ有り、と判定する。

[0060] 以上、本実施形態のプレス成形割れ判定方法は、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験とその F E M 解析とにより、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件を導出する。そして、導出した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定することができる。

[0061] 本実施形態のプレス成形割れ判定方法は、金属板の基礎成形試験として図 3 に示す金型 3 1 を用いて、金属板を図 4 に示す角筒状の底付き柱状容器 4 1 に絞り加工を行うものであった。このような金属板の絞り加工において、ダイ穴部 3 5 a の外縁に沿った方向に圧縮変形し、その後、ダイ穴部 3 5 a に金属板が押し込まれる方向に引張変形しているため、一次経路での圧縮変形方向と、二次経路での引張変形方向とが一致していない。

- [0062] 金属板における圧縮変形から引張変形へと変化する変形経路で変形する部位の割れは、一次経路での圧縮変形による加工硬化と、その後の二次経路での引張変形が関係すると考えられる。このため、本発明に係るプレス成形限界線取得方法での基礎成形試験は前述した絞り加工のように、一次経路での圧縮方向と、二次経路での引張方向とを必ずしも一致させる必要はない。
- [0063] そのため、基礎成形試験工程 S 1 1 における基礎成形試験は、圧縮方向と引張方向が一致する単軸圧縮引張試験 (uniaxial compression-tension test) に限らず、本実施の形態で述べたように、圧縮方向と引張方向が一致しない絞り加工でもよい。
- [0064] もっとも、金属板の面内で圧縮変形から引張変形に反転する単軸圧縮引張試験では、金属板の圧縮変形中に座屈 (buckling) が発生するため、金属板に付与できる圧縮変形量は狭い範囲に留まる。これに対し、絞り加工では、金属板を圧縮変形させる一次経路において大きな圧縮変形量を付与することができ、また、その後の二次経路においても大きな引張変形を与えることができる。これにより、絞り加工による基礎成形試験では、圧縮変形における最大板厚増加量と圧縮変形後の引張変形における相対板厚減少量とを広い範囲で求めることができる。このため、割れ発生の有無を区分する成形限界線を広い範囲で作成することができ、成形限界線の精度を高めるとともに適用可能な成形限界条件を広範囲とすることができる。
- [0065] 絞り加工による基礎成形試験では、金属板のダイ穴部 3 5 a (図 3 参照) に向かう材料流動 (metal flow) の流入抵抗 (inflow resistance) を変更することで、成形条件を変更することができる。そして、基礎成形試験での成形条件を変更することで、圧縮変形による最大板厚増加量と引張変形による相対板厚減少量とを変更することができる。
- [0066] 例えば、金型 3 1 を用いて金属板を絞り加工する基礎成形試験において、金属板のダイ穴部 3 5 a に向かう材料流動の流入抵抗を高くする成形条件としては以下のものを例示できる。すなわち、金属板の寸法を大きくする、ブランクホルダー 3 7 によるしわ押さえ力を大きくする、金属板とダイ 3 5 及

びブランクホルダー37との摩擦係数 (friction coefficient) が高い潤滑条件とする、金属板にビード形状を付与する、等を行えばよい。

- [0067] 材料流動の流入抵抗を高くする成形条件では、金属板のダイ穴部35aに向かう流動が抑制されることで、金属板におけるダイ穴部35aの外縁周方向の圧縮変形が緩和されるので、最大板厚増加量は小さくなる。さらに、ダイ穴部35aに引き込まれる材料流動が減少することで、絞り加工による金属板の引張変形が大きくなり、相対板厚減少量は大きくなる。
- [0068] 金属板の絞り加工では、フランジ部にしわが発生すると当該発生したしわが過剰な絞り力 (drawing force) を誘発して金属板の破断 (割れ) の原因となる可能性がある。このような金属板の割れは、本発明で対象とする圧縮変形から引張変形へと変形経路が変化する部位での割れとは異なるため、割れ発生の有無を適正に判定することができない。そのため、金属板の絞り加工により基礎成形試験を行う場合においては、図3に示すように、ブランクホルダー37を用いてしわの発生を防ぐことが好ましい。
- [0069] 図3に示すような金型31により絞り加工する場合、ダイ肩部35bのダイ肩半径が金属板の板厚に比べて小さいと、圧縮変形後の引張変形での板厚減少 (thickness reduction) が急激に促進されて割れに至るので、割れ発生の有無の適正な判定を行うことができない。そのため、ダイ35のダイ肩半径は、金属板の板厚の数倍以上とするのが好ましい。
- [0070] 絞り加工による基礎成形試験では、前述した図3に示す金型31を用いて角筒の底付き柱状容器41を成形するものに限らず円筒状の底付き柱状容器 (図示なし) を絞り加工するものであってもよい。
- [0071] 上記の説明において、第一算出工程S15は、一例として、式(1)で与えられる圧縮変形での真ひずみ $\varepsilon_{\text{compression}}$ を最大板厚増加量として求め、式(2)で与えられる真ひずみ $\varepsilon_{\text{tension after compression}}$ を相対板厚減少量として求めるものであった。本発明において、基礎成形試験割れ判定パラメータ又はプレス成形割れ判定パラメータとして求める最大板厚増加量及び相対板厚減少量は以下のものであってもよい。すなわち、最大板厚増加量

及び相対板厚減少量は、圧縮変形及び圧縮変形後の引張変形における真ひずみから変換される公称ひずみ (nominal strain) や、圧縮変形での板厚方向の真ひずみをプラスとし、引張変形での板厚方向の真ひずみをマイナスとして算出したものであってもよい。

[0072] 本発明に係るプレス成形割れ判定方法は、金属板が2工程以上の複数工程でプレス成形される場合であっても、複数工程でのプレス成形において変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定することができる。この場合、複数工程の全ての工程又はいずれかの工程について、プレス成形限界判定ステップを実行する。

[0073] 例えば、第一の工程では金属板を中間成形品にプレス成形し、続く第二の工程では中間成形品を目標形状のプレス成形品にプレス成形する場合、第二の工程についてのプレス成形限界判定ステップは、金属板の代わりに中間成形品を対象とするとよい。すなわち、中間成形品を対象として、プレス成形FEM解析工程と、プレス成形割れ判定領域設定工程と、プレス成形割れ判定パラメータ算出工程と、プレス成形割れ発生有無判定工程と、を実行すればよい。

[0074] <プレス成形割れ判定装置>

本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定装置1は、金属板のプレス成形において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定する。図7に示すように、プレス成形割れ判定装置1は、成形限界条件導出ユニット10と、プレス成形限界判定ユニット20と、を備える。プレス成形割れ判定装置1は、コンピュータ(PC等)のCPU(中央演算処理装置(central processing unit))によって構成されたものであってもよい。この場合、上記の各ユニットは、コンピュータのCPUが所定のプログラムを実行することによって機能する。

[0075] <<成形限界条件導出ユニット>>

成形限界条件導出ユニット10は、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験を行い、金属板における圧縮変形か

ら引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件を導出する。図7に示すように、成形限界条件導出ユニット10は、基礎成形試験結果取込部11、基礎成形試験FEM解析部13、基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部15、基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部17、及び成形限界条件取得部19を有する。

[0076] (基礎成形試験結果取込部)

基礎成形試験結果取込部11は、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験の種々の成形条件について取得した金属板における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する試験結果を取り込む。

[0077] 金属板における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無は、例えば、前述した実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法の基礎成形試験工程S11と同様の手順で金属板の基礎成形試験を予め行って取得する。

[0078] (基礎成形試験FEM解析部(以下、第一解析部と略記))

第一解析部13は、金属板の基礎成形試験を解析対象とするFEM解析を種々の成形条件について行い、金属板の板厚の変化を算出する。

[0079] 第一解析部13によるFEM解析では、基礎成形試験結果取込部11により取り込んだ割れ発生の有無を取得した基礎成形試験の種々の成形条件と同一の成形条件とする。

[0080] (基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部(以下、第一算出部と略記))

第一算出部15は、第一解析部13が算出した金属板の板厚の変化に基づいて、種々の成形条件について基礎成形試験割れ判定パラメータを算出する。基礎成形試験割れ判定パラメータには最大板厚増加量と相対板厚減少量とが含まれる。最大板厚増加量とは、変形経路の圧縮変形において金属板が最大板厚 h_c に至るまでの板厚の変化量である。相対板厚減少量とは、変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して金属板が最大板厚 h_c から最小板厚 h_t に至るまでの板厚の変化量である。

[0081] (基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部 (以下、プロット部と略記))

プロット部 17 は、図 6 に一例として示すように、基礎成形試験結果取込部 11 により取り込んだ種々の成形条件での金属板の割れ発生の有無と、第一算出部 15 により種々の成形条件について求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付ける。そして、プロット部 17 は、最大板厚増加量及び相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする。

[0082] (成形限界条件取得部 (以下、取得部と略記))

取得部 19 は、プロット部 17 により二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として取得する。

[0083] <<プレス成形限界判定ユニット>>

プレス成形限界判定ユニット 20 は、成形限界条件導出ユニット 10 により導出した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定する。図 7 に示すように、プレス成形限界判定ユニット 20 は、プレス成形 FEM 解析部 21 と、プレス成形割れ判定領域設定部 23 と、プレス成形割れ判定パラメータ算出部 25 と、プレス成形割れ発生有無判定部 27 と、を有する。

[0084] (プレス成形 FEM 解析部 (以下、第二解析部と略記))

第二解析部 21 は、金属板を対象とするプレス成形の FEM 解析を行う。第二解析部 21 における FEM 解析は、前述した実施の形態 1 の第二解析工程 S21 と同様に、プレス成形において金属板に生じるひずみ、応力及び板厚等の変化を FEM 解析に用いる要素ごとに求める。

[0085] (プレス成形割れ判定領域設定部 (以下、設定部と略記))

設定部 23 は、第二解析部 21 による FEM 解析結果に基づき、金属板のプレス成形における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ

発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定する。

[0086] 設定部23は、例えば、要素ごとに求めたひずみに基づいて、最小主ひずみを最大主ひずみで除したひずみ比が負（圧縮）から正（引張）に変化する要素を、プレス成形における割れ発生の有無を判定する割れ判定領域として設定することができる。

[0087] （プレス成形割れ判定パラメータ算出部（以下、第二算出部と略記））

第二算出部25は、第二解析部21によるFEM解析結果に基づいて、設定部23により設定した割れ発生判定領域について、プレス成形割れ判定パラメータを求める。プレス成形割れ判定パラメータには、圧縮変形において最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、圧縮変形から引張変形へと変化して最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、が含まれる。

[0088] （プレス成形割れ発生有無判定部（以下、判定部と略記））

判定部27は、第二算出部25により算出したプレス成形割れ判定パラメータと、成形限界条件導出ユニット10により導出した成形限界条件と、を比較し、割れ発生判定領域の割れ発生の有無を判定する。

[0089] <プレス成形割れ判定プログラム>

本発明の実施の形態1は、コンピュータによって構成されたプレス成形割れ判定装置1の各部を機能させるプレス成形割れ判定プログラムとして構成することができる。すなわち、本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定プログラムは、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するものである。そして、プレス成形割れ判定プログラムは、コンピュータを、図7に一例として示すような、成形限界条件導出ユニット10と、プレス成形限界判定ユニット20と、して実行させる機能を有する。

[0090] プレス成形割れ判定プログラムは、図7に示すように、成形限界条件導出ユニット10を、基礎成形試験結果取込部11と、第一解析部13と、第一算出部15と、プロット部17と、取得部19と、として実行させる機能を

有する。また、プレス成形割れ判定プログラムは、プレス成形限界判定ユニット20を、第二解析部21と、設定部23と、第二算出部25と、判定部27と、として実行させる機能と、を有する。

[0091] 以上、本発明の実施の形態1に係るプレス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラムは、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件を取得する。そして、取得した成形限界条件に基づいて、金属板のプレス成形において金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定することができる。

[0092] [実施の形態2]

<プレス成形割れ抑制方法>

本発明の実施の形態2に係るプレス成形割れ抑制方法は、前述した本発明の実施の形態1に記載のプレス成形割れ判定方法により、金属板のプレス成形において金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定する。そして、該判定した結果に基づいて、プレス成形における割れ発生を抑制する成形条件を求める。以下、本実施の形態2に係るプレス成形割れ抑制方法について、図8に基づいて説明する。

[0093] 本実施の形態2では、まず、実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法の基礎成形試験工程S11（図1）と同様に、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験を種々の成形条件で行う。そして、種々の成形条件について、金属板における変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を取得することで、金属板の成形限界を調査する（S31）。

[0094] 続いて、実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法の第一解析工程S13（図1）と同様に、金属板の基礎成形試験を対象としたFEM解析を行い、基礎成形試験割れ判定パラメータを算出する（S33）。基礎成形試験割れ判定パラメータは、前述した実施の形態1の第一算出工程S15（図1）と同様に算出すればよい。

- [0095] 続いて、実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法のプロット工程S17と取得工程S19の手順(図1)と同様の処理を実行する。すなわち、金属板の基礎成形試験により求めた成形限界と、基礎成形試験のFEM解析により算出した基礎成形試験割れ判定パラメータと、の関係から、成形限界線を作成する(S35)。
- [0096] そして、作成した成形限界線から、成形可能領域を決定する(S37)。成形可能領域とは、図6に一例として示す二次元座標上において、成形限界線よりも相対板厚減少量が小さい領域である。
- [0097] 次に、金属板のプレス成形によるプレス成形品の暫定成形仕様を設定する(S41)。続いて、設定した暫定成形仕様でのプレス成形品のプレス成形のFEM解析を行い、プレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータを算出する(S43)。プレス成形割れ判定パラメータの算出は、実施の形態1に係るプレス成形割れ判定方法の第二解析工程S21と、設定工程S23と、第二算出工程S25と、同様(図1)の手順に行う。
- [0098] そして、暫定成形仕様でのプレス成形のFEM解析により算出したプレス成形品のプレス成形割れ判定パラメータが、金属板の基礎成形試験により決定した成形可能領域内であるか否かを判定する(S51)。
- [0099] 成形可能領域内でないと判定された場合、暫定成形仕様を変更し(S53)、変更した暫定成形仕様でのプレス成形品のプレス成形割れ判定パラメータを再度算出する(S43)。暫定成形仕様の変更は、例えば、ブランク形状や成形条件を変化させる。成形条件としては、例えば、絞り加工を行う場合においては、ブランクホルダーのしわ押さえ力を増加させると、金属板におけるフランジ部に相当する部位からの材料流入抵抗が増加する。その結果、圧縮変形での最大板厚増加量が減少し、引張変形での相対板厚減少量が増加する。そして、最大板厚増加量が小さい方が、相対板厚減少量の限界値が増加するため、割れ抑制に効果的である。
- [0100] そして、成形可能領域内であると判定された場合、成形可能領域内であると判定されたときのプレス成形品の暫定成形仕様を成形仕様として決定する

(S 6 1)。

[0101] 以上、本実施の形態 2 に係るにプレス成形割れ抑制方法によれば、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生を判定する。これにより、該判定に基づいて、金属板の形状変更や金型の修正等の成形条件を変更することが可能となり、実際のプレス加工の成形条件を試行錯誤により決定する期間を大幅に短縮することができる。

[0102] 上記の本発明の実施の形態 1 及び実施の形態 2 に係る説明は、980MPa級鋼板を金属板の供試材とした場合の結果であるが、本発明は、金属板の材料強度 (material strength) や板厚を限定するものではなく、金属板の材質についても鋼板に限らず、その他の金属材料であってもよい。

実施例

[0103] 本発明に係るプレス成形割れ判定方法及びプレス成形割れ抑制方法の作用効果を検証する実験及び解析を行ったので、以下、これについて説明する。

[0104] 本実施例では、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形させる基礎成形試験とその FEM 解析とにより導出した成形限界条件に基づいて、絞り加工によりプレス成形した部品の割れ発生の判定と、その抑制について検証した。

[0105] まず、実施の形態 1 で述べたように、図 3 を用いて金属板を角筒状の底付き柱状容器 4 1 に絞り加工する基礎成形試験とその FEM 解析を行った。そして、図 6 に示したように、金属板における圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形される部位における割れ発生に関する成形限界条件として成形限界線を取得した。金属板は、引張強度 980MPa 級、板厚 1.4mm の鋼板を供試材とした。

[0106] 本実施例では、実施の形態 1 で説明した式 (3) に示す三次の逆関数で表される成形限界線を取得し、式 (3) 中の係数 a~e は前述した値とした。

[0107] 次に、図 9 に示す金型 6 1 を用いて、図 10 に示す底部 7 3 と縦壁部 7 5 とフランジ部 7 7 とを有する自動車のバッテリーケースを模した部品 7 1 を

絞り加工するプレス成形過程のFEM解析を行い、部品71における割れ発生の有無を判定した。FEM解析を行った部品71は、図10に示すように、部品形状の対称性から上面視においてコーナー部71aを中心とした1/4の領域を解析対象としたものである。

- [0108] 部品71の絞り加工には、図11に示す形状の金属板81を用い、基礎成形試験と同様に、引張強度980MPa級、板厚1.4mmの鋼板を供試材とした。
- [0109] 金型61は、パンチ63と、ダイ65と、ブランクホルダー67と、を備えたものであり、パンチ肩部63aのパンチ肩半径をR15mm、ダイ65のダイ肩部65bのダイ肩半径をR8mmとした。また、ブランクホルダー67による金属板81（図11）のしわ押さえ力は5tonfとした。
- [0110] 部品71の絞り加工においては、コーナー部71aにおける縦壁部75は圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形して成形される部位であるため、割れ発生有無の判定対象とする領域とした。
- [0111] 図12に、金型61を用いて部品71を絞り加工するFEM解析により縦壁部75の要素ごとに算出したプレス成形割れ判定パラメータと、基礎成形試験により求めた成形限界線と、を併せて示す。
- [0112] 算出したプレス成形割れ判定パラメータの成形限界に対する比率（以下、「割れ危険度」という）を算出し、部品71上に表示したコンター図（contour diagram）を図13に示す。割れ危険度とは、縦壁部75の各要素について算出したプレス成形割れ判定パラメータの相対板厚減少量の、プレス成形割れ判定パラメータの最大板厚増加量に対応する成形限界線の相対板厚減少量の値に対する比である。割れ危険度が1.0を超えると、プレス成形の最大板厚増加量に対する成形限界条件の相対板厚減少量よりもプレス成形の相対板厚減少量が大きいため、割れが発生すると判定されたことを示す。また、割れ危険度の値が1.0未満であっても0.8~1.0の範囲で高いと、割れが発生しやすいことを示す。
- [0113] 図12より、部品71の縦壁部75について算出したプレス成形割れ判定パラメータの中には、成形限界線よりも相対板厚減少量大きい領域にプロ

ットされたものがあることから、縦壁部 75 においては割れが発生する部位が存在すると判定される。また、図 13 より、コーナー部 71a における縦壁部 75 同士の稜線 (ridge line) のフランジ部 77 側 (図 13 の P 部) では、割れ危険度の値が 0.8 を超えて高く、割れが発生しやすいことが分かる。

[0114] つぎに、図 12 及び図 13 に示すように判定された割れパラメータに基づいて、部品 71 の絞り加工において割れ発生が生じないようにブランクホルダー 67 によるしわ押さえ力を 5tonf から 20tonf に変更し FEM 解析を行った。そして、プレス成形割れ判定パラメータを算出した。図 14 に、算出したプレス成形割れ判定パラメータを最大板厚増加量と相対板厚減少量の二次元座標上にプロットしたグラフを示す。さらに、図 15 に、算出した割れ判定パラメータを用いて求めた割れ危険度を部品 71 に表示したコンター図を示す。

[0115] 図 14 に示すように、成形限界線よりも相対板厚減少量が小さい領域にプレス成形割れ判定パラメータがプロットされていることから、縦壁部 75 における割れを抑制できたといえる。さらに、図 15 に示すように、図 13 において縦壁部 75 における割れ危険度の高かった P 部の割れ危険度が低下しており、図 14 に示す結果と同様、縦壁部 75 における割れを抑制できたことが示された。

[0116] このように、ブランクホルダー 67 による金属板 81 のしわ押さえ力を大きくすると、金属板 81 におけるフランジ部 77 に相当する部位からダイ穴部 65a (図 12) への材料流入抵抗が増加する。これにより、金属板 81 の圧縮変形での最大板厚増加量が減少し、圧縮変形した後の引張変形での相対板厚減少量が増加する。そして、最大板厚増加量の絶対値が小さい方が、板厚限界線における相対板厚減少量の値が大きいため、プレス成形過程における割れの発生を抑制することができたと考えられる。

[0117] 以上、本発明に係るプレス成形割れ判定方法によれば、金属板のプレス成形において、金属板を圧縮変形から引張変形に変化する変形経路で変形する部位の割れ発生の有無を判定することができた。さらに、本発明に係るプレ

ス成形割れ抑制方法によれば、金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生を判定し、その判定に基づいて成形条件を変更する。これにより、プレス成形における割れの発生を抑制することができる成形条件を決定できることが示された。

産業上の利用可能性

[0118] 本発明によれば、金属板のプレス成形過程において、金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れの発生の有無を判定するプレス成形割れ判定方法、プレス成形割れ判定装置及びプレス成形割れ判定プログラムを提供することができる。また、本発明によれば、前記割れの発生の有無の判定に基づいて割れ発生を抑制可能なプレス成形割れ抑制方法を提供することができる。

符号の説明

- [0119]
- 1 プレス成形割れ判定装置
 - 10 成形限界条件導出ユニット
 - 11 基礎成形試験結果取込部
 - 13 基礎成形試験FEM解析部（第一解析部）
 - 15 基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部（第一算出部）
 - 17 基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部（プロット部）
 - 19 成形限界条件取得部（取得部）
 - 20 プレス成形限界判定ユニット
 - 21 プレス成形FEM解析部（第二解析部）
 - 23 プレス成形割れ判定領域設定部（設定部）
 - 25 プレス成形割れ判定パラメータ算出部（第二算出部）
 - 27 プレス成形割れ発生有無判定部（判定部）
 - 31 金型
 - 33 パンチ
 - 33a パンチ肩部
 - 35 ダイ

- 3 5 a ダイ穴部
- 3 5 b ダイ肩部
- 3 7 ブランクホルダー
- 4 1 底付き柱状容器
- 4 1 a コーナー部
- 4 3 底部
- 4 5 縦壁部
- 4 7 フランジ部
- 5 1 金属板
- 6 1 金型
- 6 3 パンチ
- 6 3 a パンチ肩部
- 6 5 ダイ
- 6 5 a ダイ穴部
- 6 5 b ダイ肩部
- 6 7 ブランクホルダー
- 7 1 部品
- 7 1 a コーナー部
- 7 3 底部
- 7 5 縦壁部
- 7 7 フランジ部
- 8 1 金属板

請求の範囲

[請求項1]

金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ判定方法であって、

成形限界条件導出ステップと、プレス成形限界判定ステップと、を含み、

前記成形限界条件導出ステップは、

前記金属板を前記変形経路で変形させる基礎成形試験を種々の成形条件で行い、該種々の成形条件について、前記金属板における前記変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を取得する基礎成形試験工程と、

前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とするFEM解析を前記種々の成形条件について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験FEM解析工程と、

該基礎成形試験FEM解析工程において算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ算出工程と、

前記基礎成形試験工程において前記種々の成形条件について取得した割れの発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出工程において前記種々の成形条件について求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット工程と、

該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、

前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として求める成形限界条件取得工程と、

を有し、

前記プレス成形限界判定ステップは、

前記金属板を対象とするプレス成形のF E M解析を行うプレス成形F E M解析工程と、

該プレス成形F E M解析工程のF E M解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定工程と、

該プレス成形割れ判定領域設定工程において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータとして算出するプレス成形割れ判定パラメータ算出工程と、

該プレス成形割れ判定パラメータ算出工程において算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得工程で取得した前記成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定工程と、

を有する、プレス成形割れ判定方法。

[請求項2]

金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ判定装置であって、

成形限界条件導出ユニットと、プレス成形限界判定ユニットと、を備え、

前記成形限界条件導出ユニットは、

前記金属板を前記変形経路で変形させる基礎成形試験の種々の成形条件について取得した前記金属板における前記変形経路が圧縮変形か

ら引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する試験結果を取り込む基礎成形試験結果取込部と、

前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とするF E M解析を前記種々の成形条件について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験F E M解析部と、

該基礎成形試験F E M解析部により算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部と、

前記基礎成形試験結果取込部により取り込んだ割れ発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部により求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部と、

該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、

を有し、

前記プレス成形限界判定ユニットは、

前記金属板を対象とするプレス成形のF E M解析を行うプレス成形F E M解析部と、

該プレス成形F E M解析部によるF E M解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定部と、

該プレス成形割れ判定領域設定部において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータとして求めるプレス成形割れ判定パラメータ算出部と、

該プレス成形割れ判定パラメータ算出部により算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得部により取得した前記成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定部と、

を有する、プレス成形割れ判定装置。

[請求項3]

金属板のプレス成形において、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ判定プログラムであって、

コンピュータを、成形限界条件導出ユニットと、プレス成形限界判定ユニットと、して実行させる機能を備え、

前記成形限界条件導出ユニットを、

前記金属板を前記変形経路で変形させる基礎成形試験の種々の成形条件について取得した前記金属板における前記変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無に関する試験結果を取り込む基礎成形試験結果取込部と、

前記金属板の前記基礎成形試験を解析対象とするF E M解析を前記種々の成形条件について行い、前記金属板の板厚の変化を算出する基礎成形試験F E M解析部と、

該基礎成形試験F E M解析部により算出した前記金属板の板厚の変化に基づいて、前記種々の成形条件について、前記変形経路の圧縮変形において前記金属板が最大板厚に至るまでの板厚の変化量である最大板厚増加量と、前記変形経路において圧縮変形から引張変形へと変

化して前記金属板が最大板厚から最小板厚に至るまでの板厚の変化量である相対板厚減少量と、を基礎成形試験割れ判定パラメータとして求める基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部と、

前記基礎成形試験結果取込部により取り込んだ種々の成形条件での金属板の割れ発生の有無と、前記基礎成形試験割れ判定パラメータ算出部により求めた基礎成形試験割れ判定パラメータと、を関連付けて、前記最大板厚増加量及び前記相対板厚減少量を各軸とする二次元座標上にプロットする基礎成形試験割れ判定パラメータプロット部と、

該二次元座標上にプロットした割れ発生の有無の分布に基づいて、前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無を区分する成形限界線を成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、

として実行させる機能と、

前記プレス成形限界判定ユニットを、

前記変形経路で前記金属板が変形する部位の割れ発生の有無に関する成形限界条件として求める成形限界条件取得部と、

前記金属板を対象とするプレス成形のFEM解析を行うプレス成形FEM解析部と、

該プレス成形FEM解析部によるFEM解析結果に基づき、前記金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する領域を割れ発生の有無を判定する割れ発生判定領域として設定するプレス成形割れ判定領域設定部と、

該プレス成形割れ判定領域設定部において設定した前記割れ発生判定領域について、前記金属板のプレス成形での圧縮変形における最大板厚増加量と、前記プレス成形での引張変形における相対板厚減少量と、をプレス成形におけるプレス成形割れ判定パラメータとして求めるプレス成形割れ判定パラメータ算出部と、

該プレス成形割れ判定パラメータ算出部により算出したプレス成形割れ判定パラメータと、前記成形限界条件取得部により取得した前記

成形限界条件と、を比較して前記割れ発生判定領域における割れ発生の有無を判定するプレス成形割れ発生有無判定部と、

として実行させる機能と、

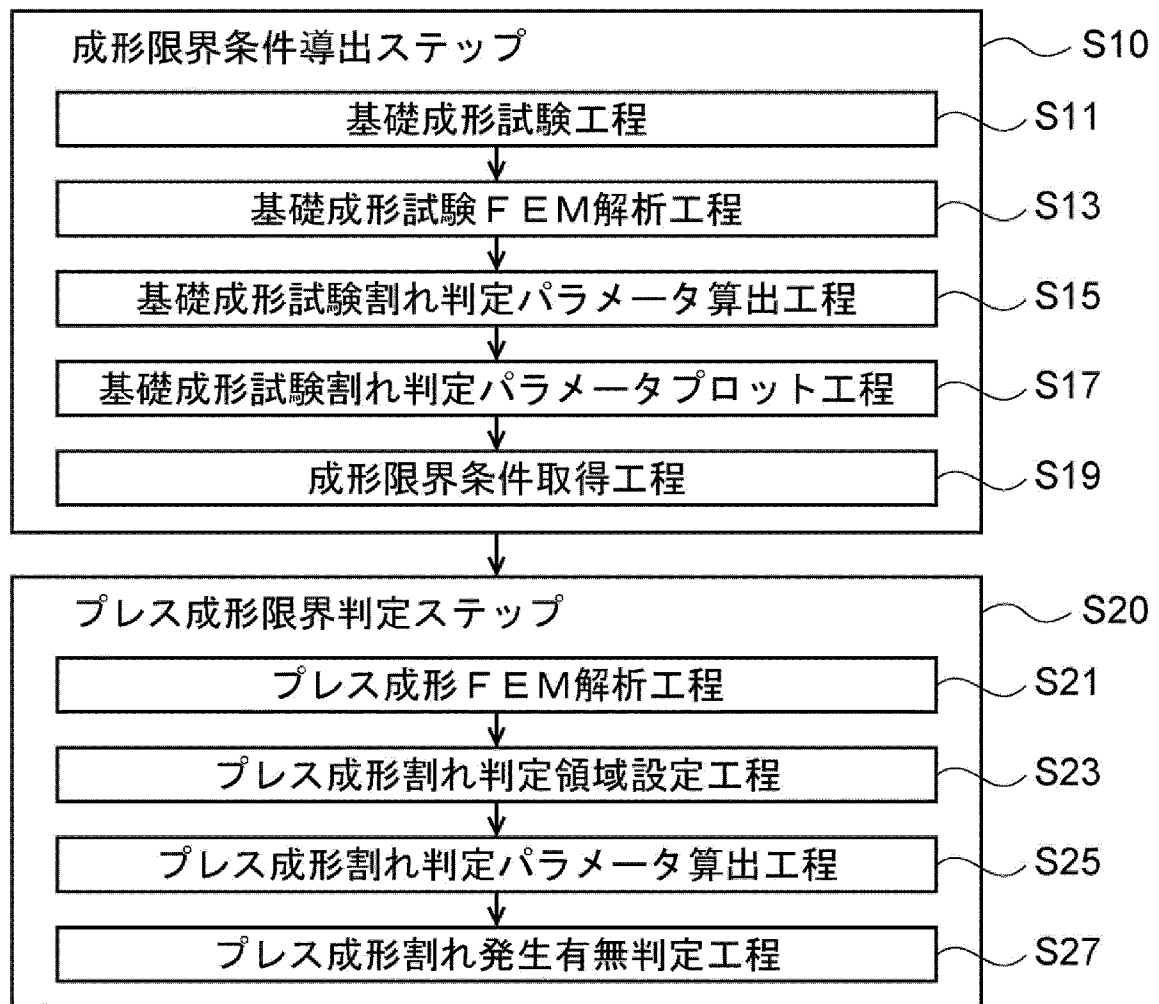
を有する、プレス成形割れ判定プログラム。

[請求項4]

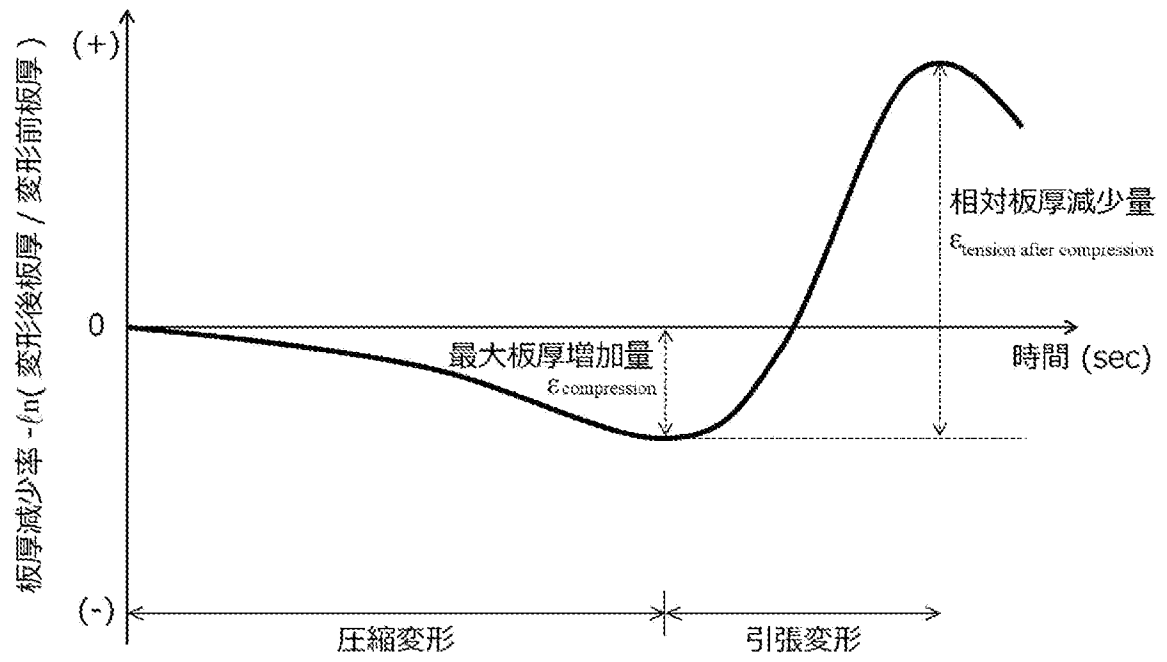
請求項1に記載のプレス成形割れ判定方法により、金属板のプレス成形において金属板の変形経路が圧縮変形から引張変形に変化する部位の割れ発生の有無を判定し、該判定した結果に基づいて、プレス成形における割れ発生を抑制する成形条件を求めるプレス成形割れ抑制方法であって、

前記プレス成形割れ発生有無判定工程において前記割れ発生判定領域に割れ発生有りと判定された場合、該割れ発生判定領域に割れ発生無しと判定されるまで、前記プレス成形FEM解析工程における成形条件を変更し、前記プレス成形FEM解析工程と、前記プレス成形割れ判定領域設定工程と、前記プレス成形割れ判定パラメータ算出工程と、前記プレス成形割れ発生有無判定工程と、を繰り返し行う、プレス成形割れ抑制方法。

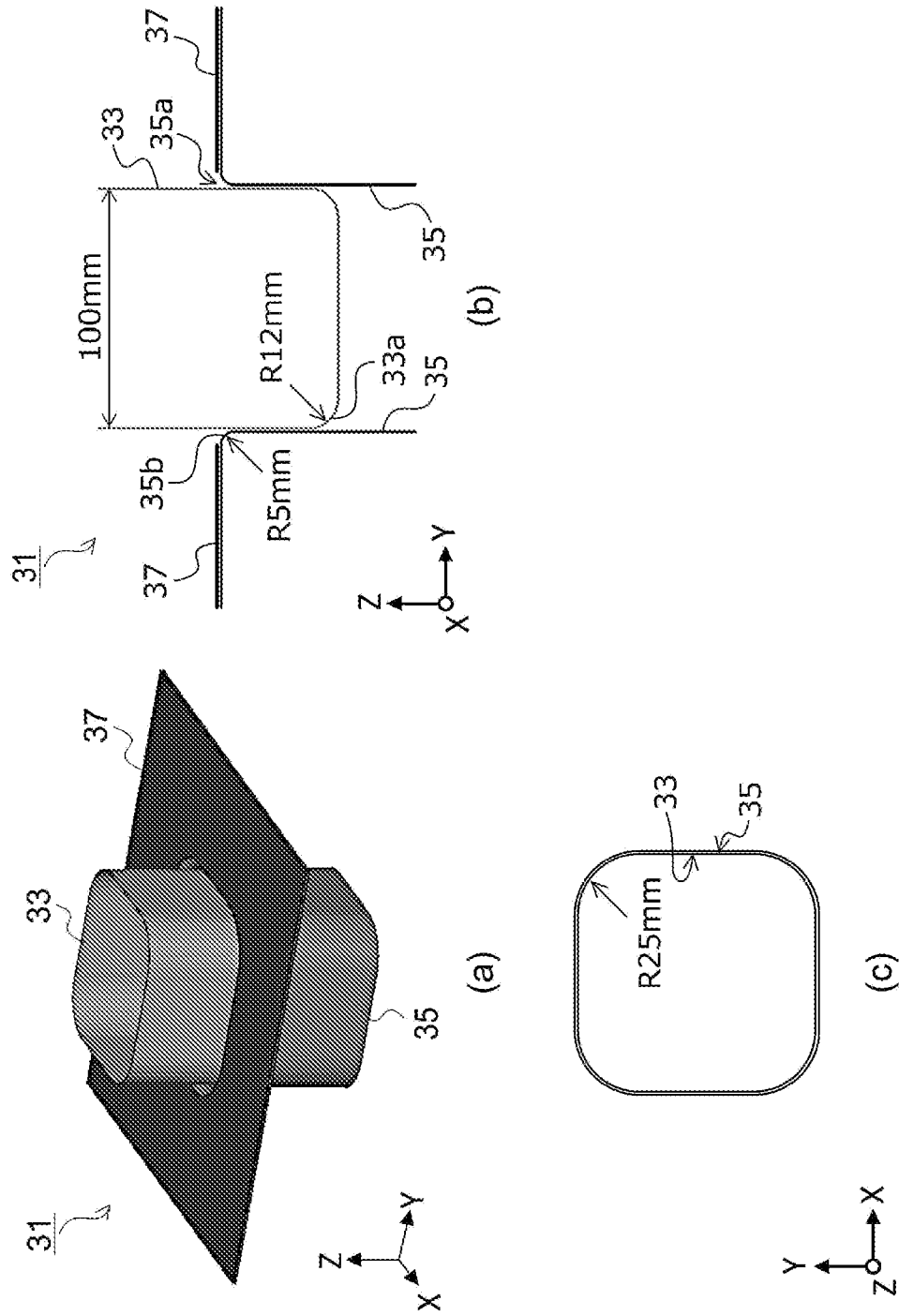
[図1]



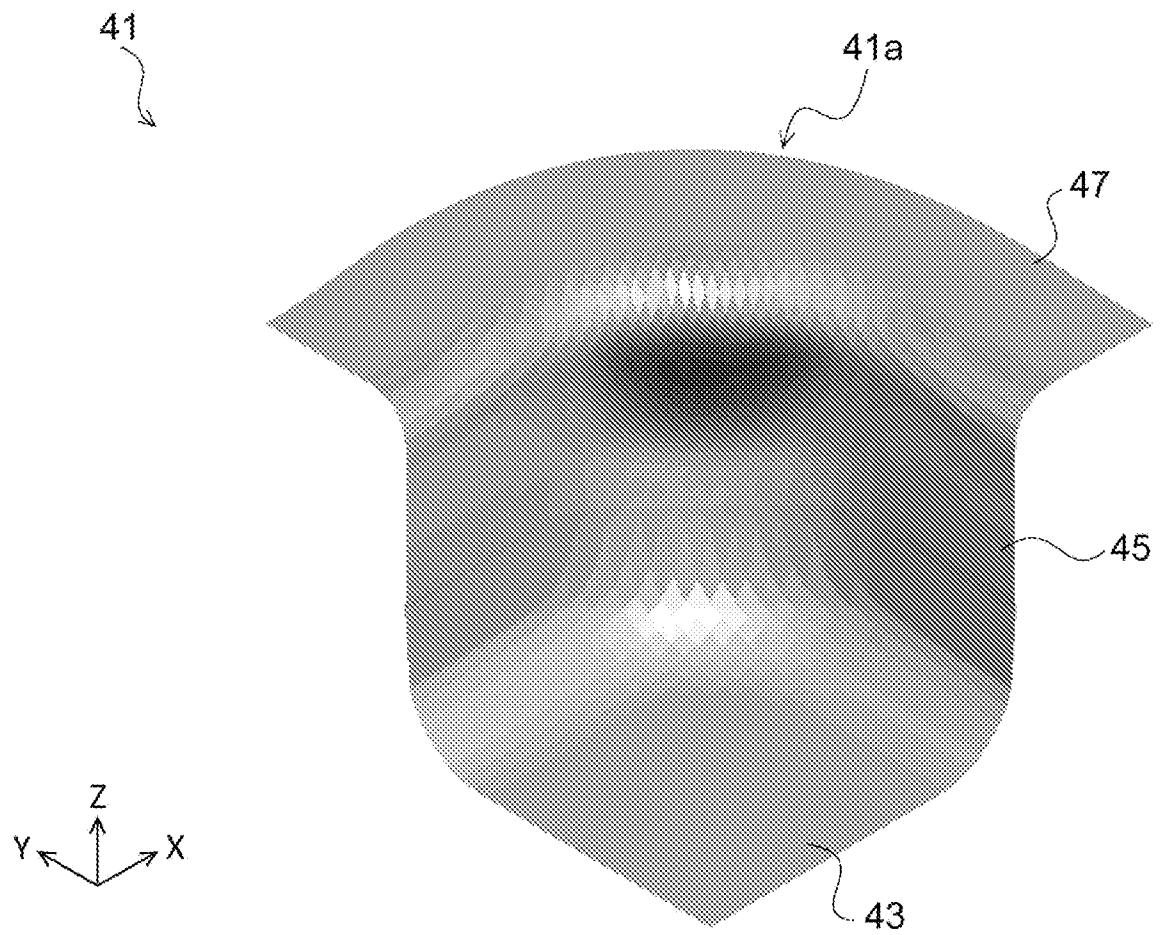
[圖2]



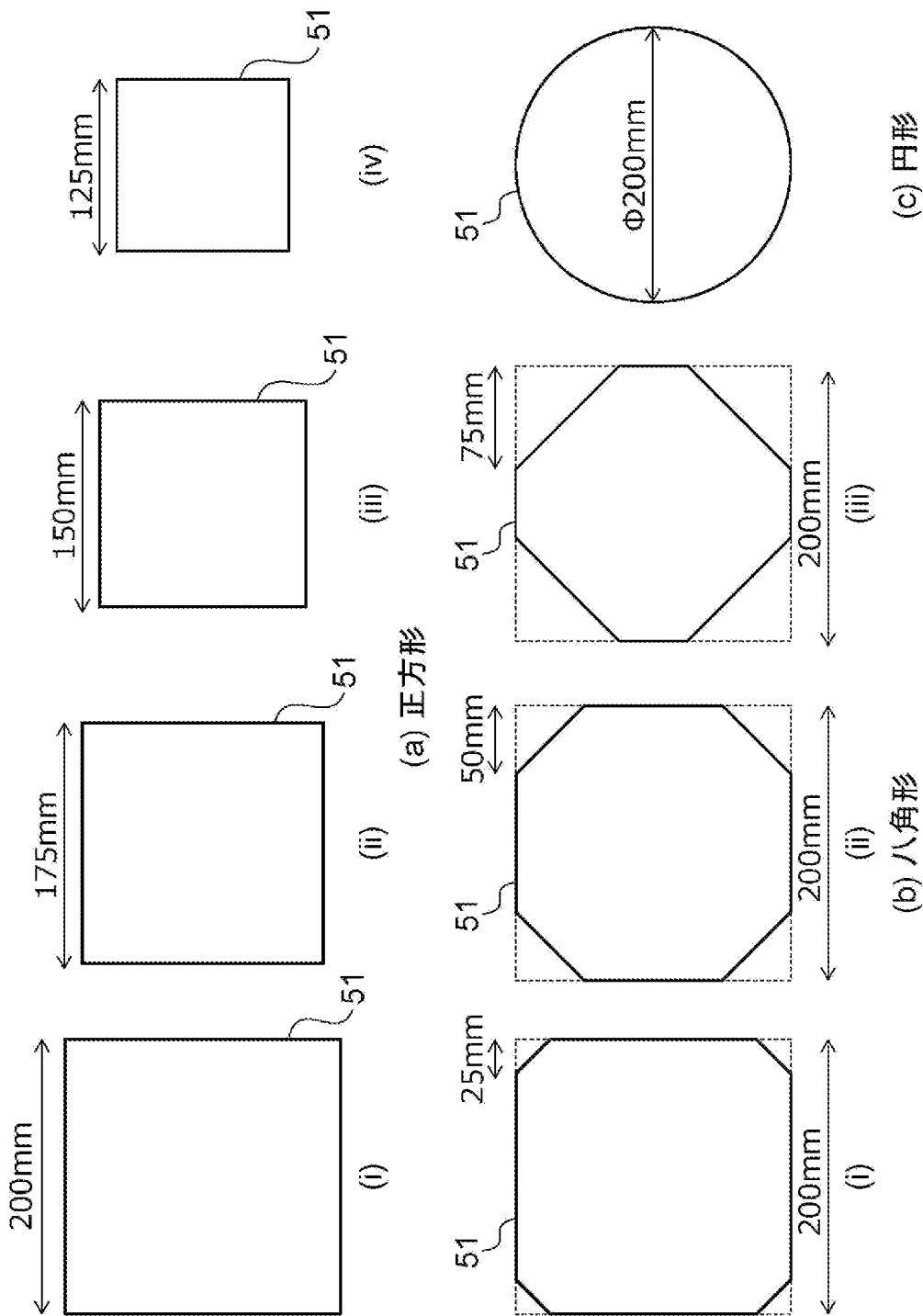
[図3]



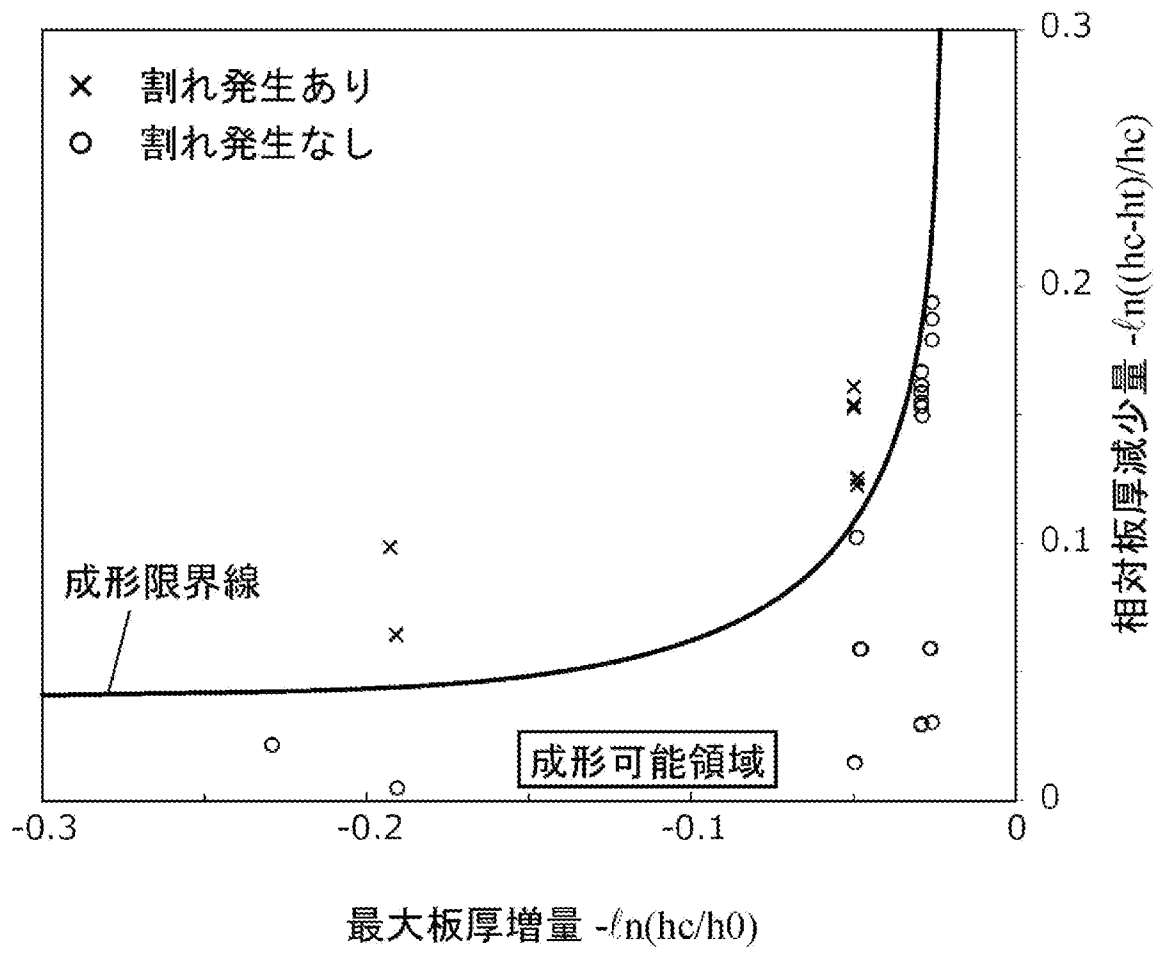
[図4]



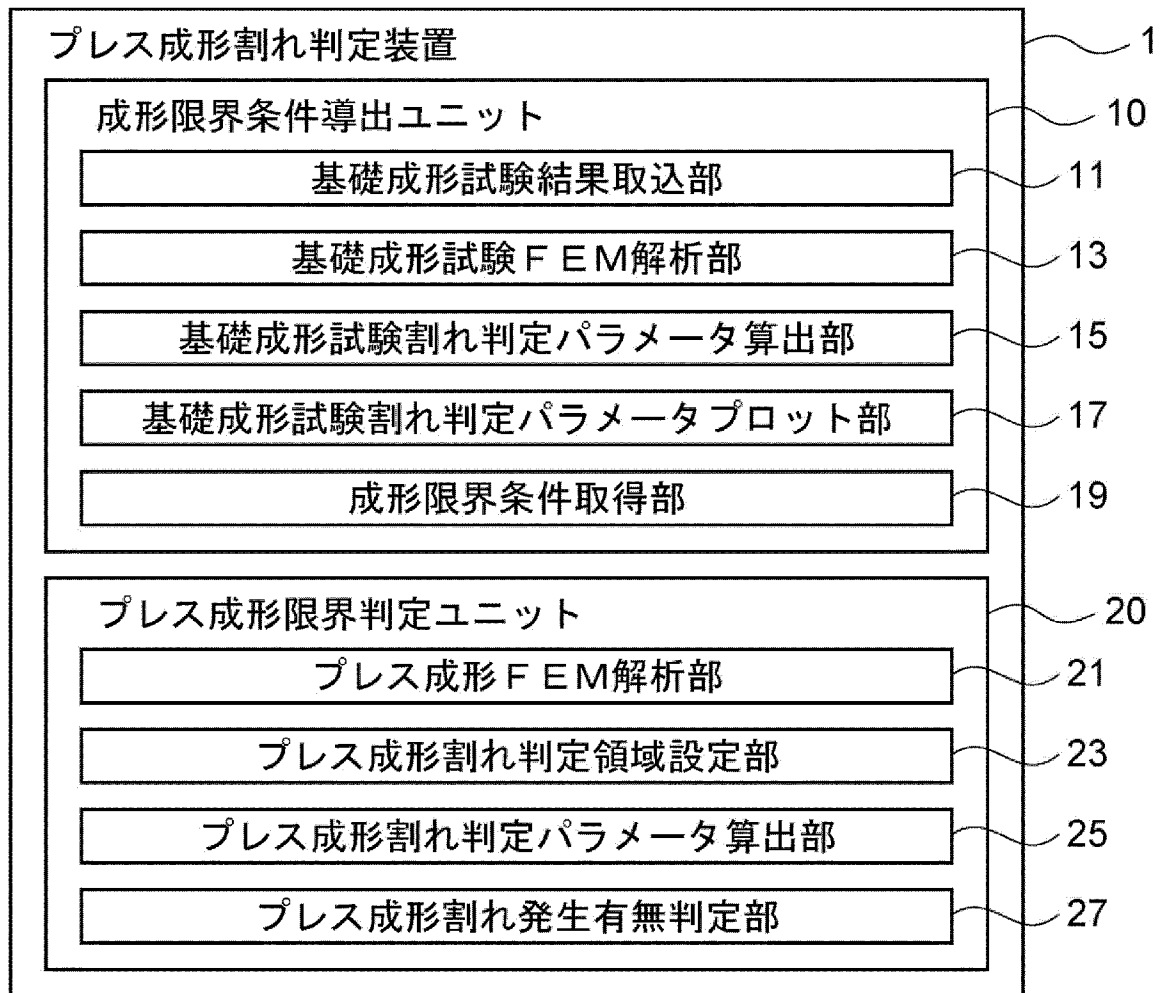
[図5]



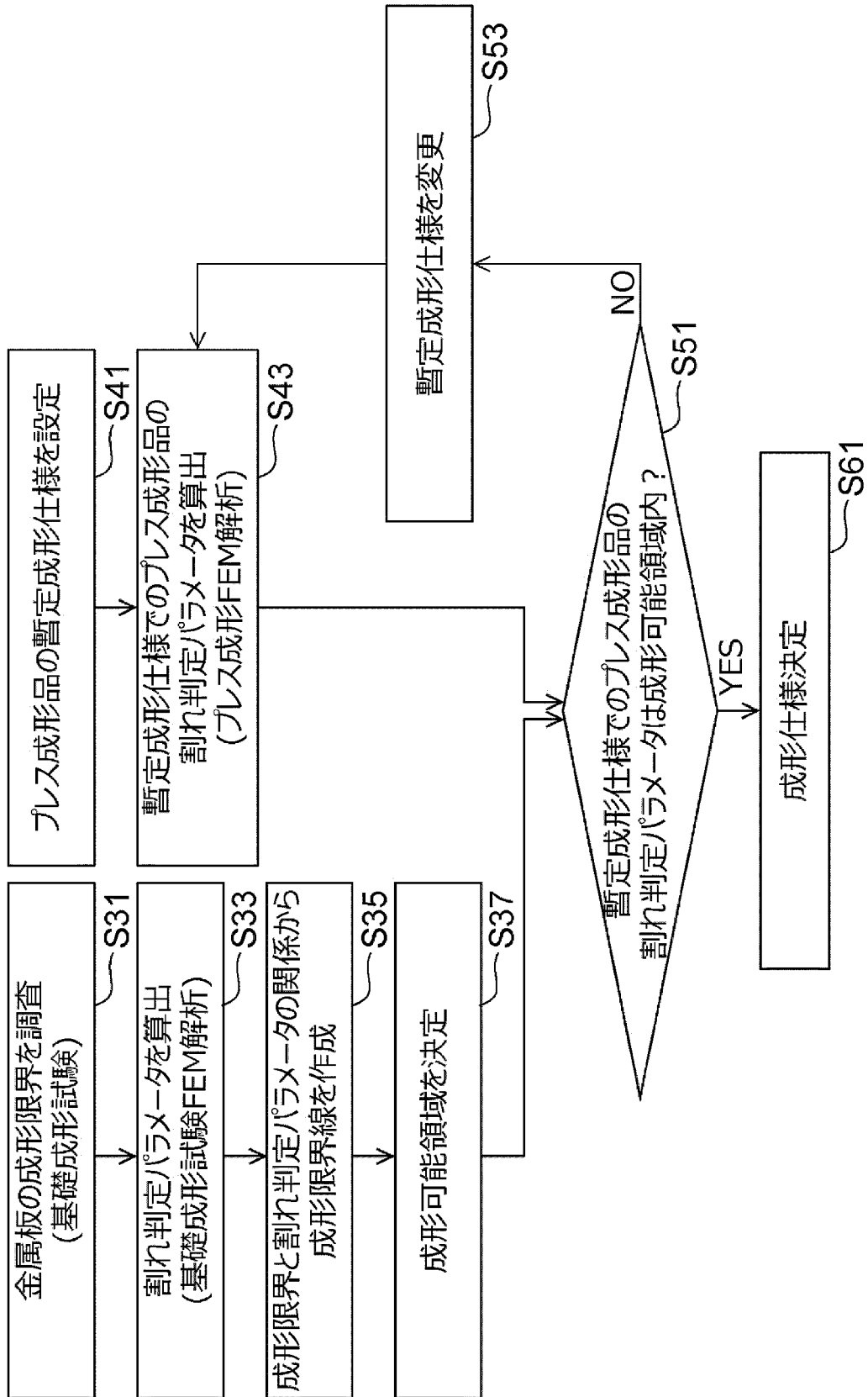
[図6]



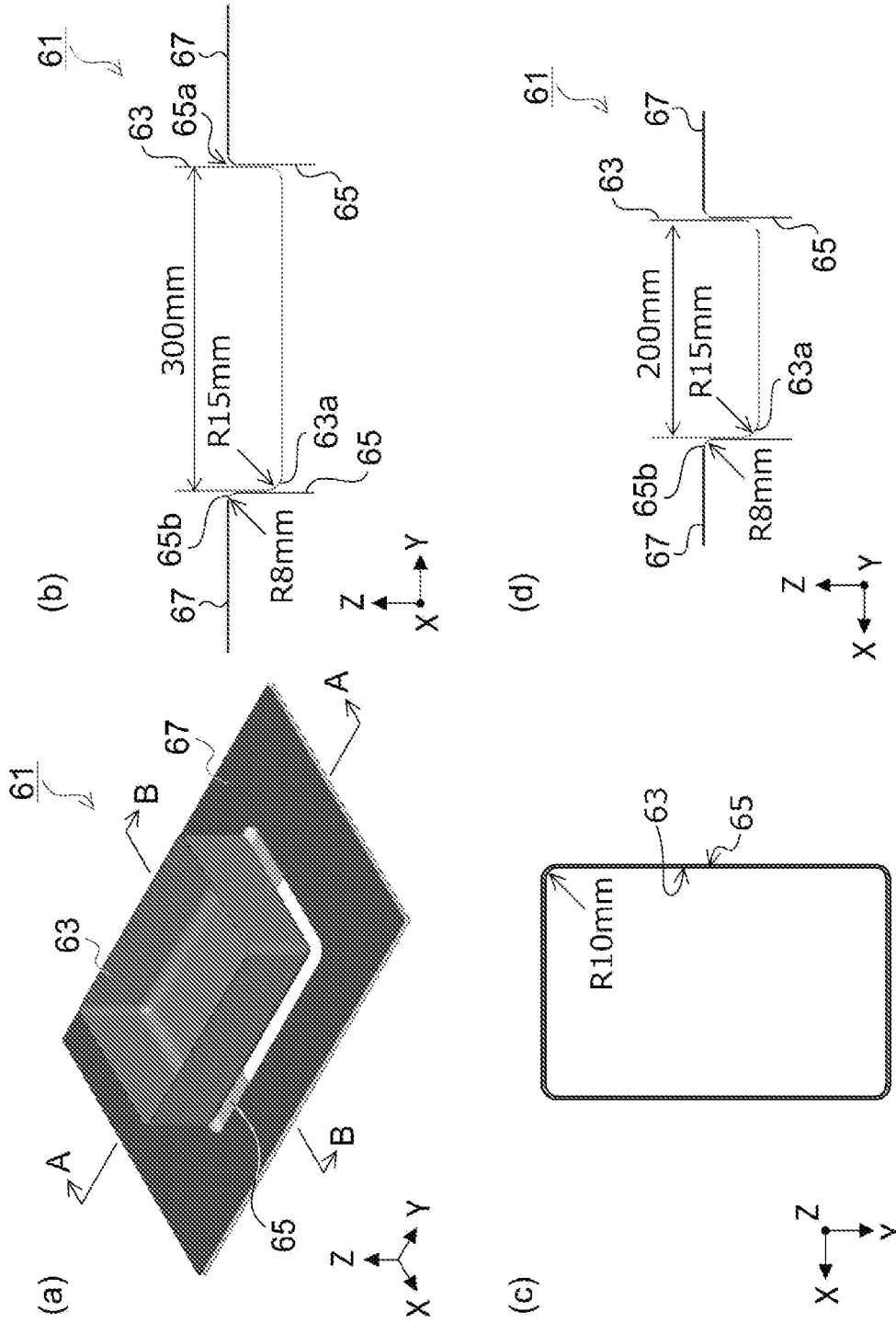
[図7]



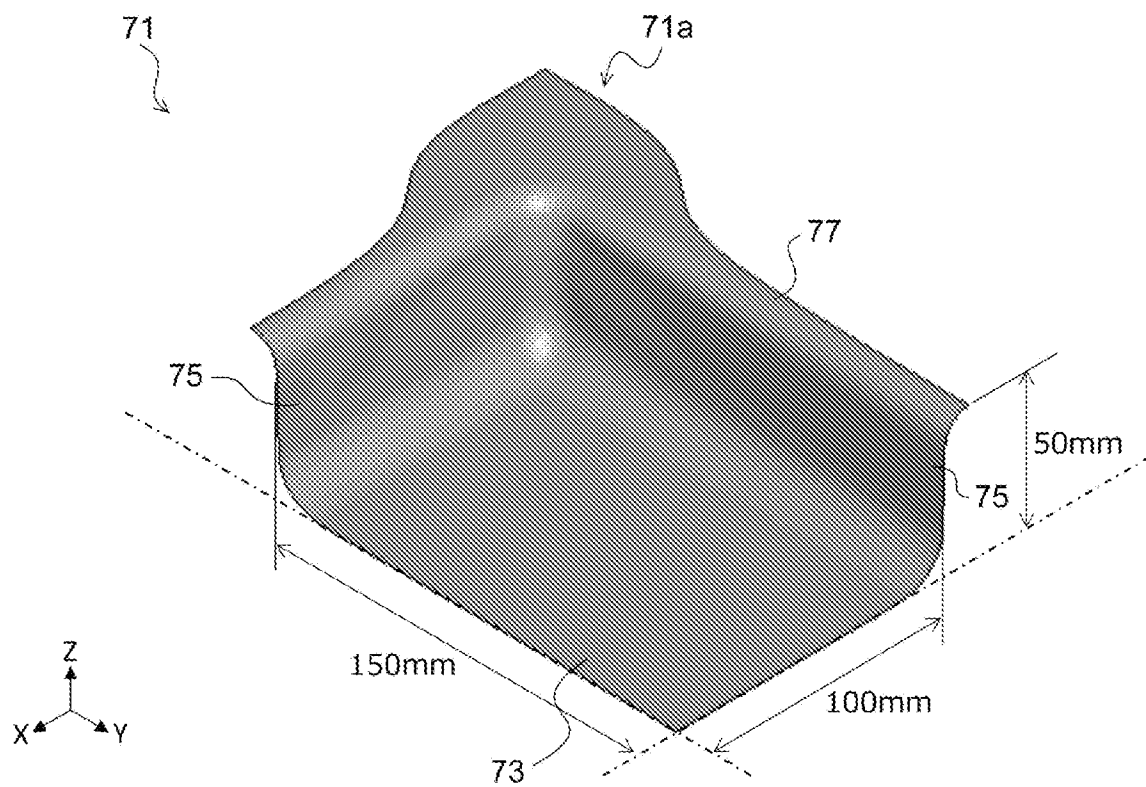
[図8]



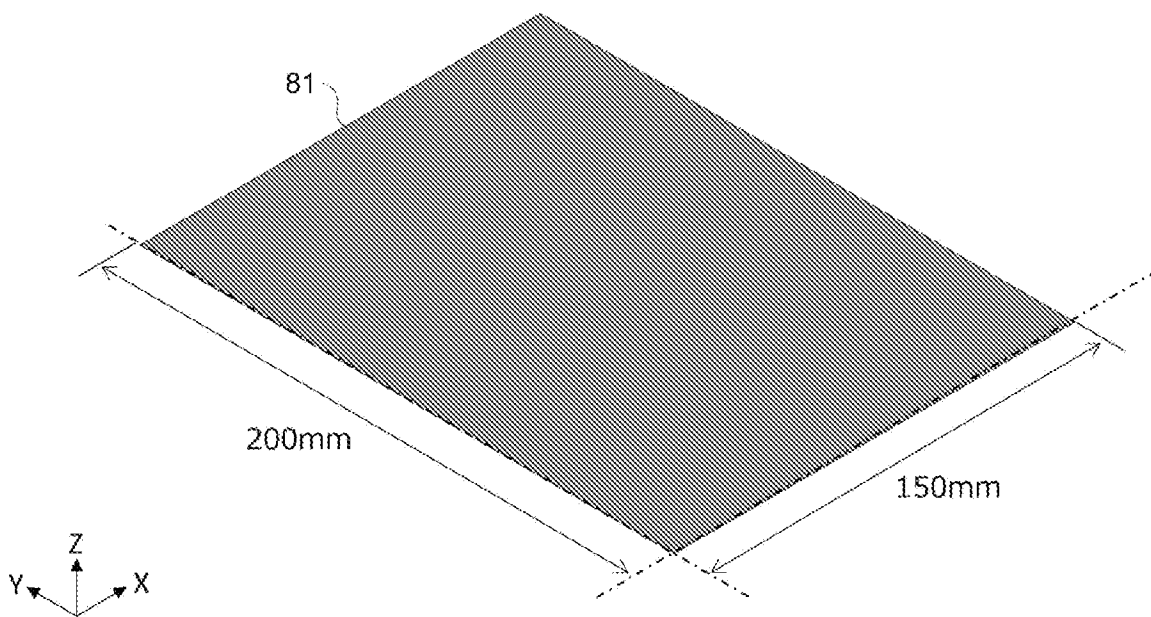
[9]



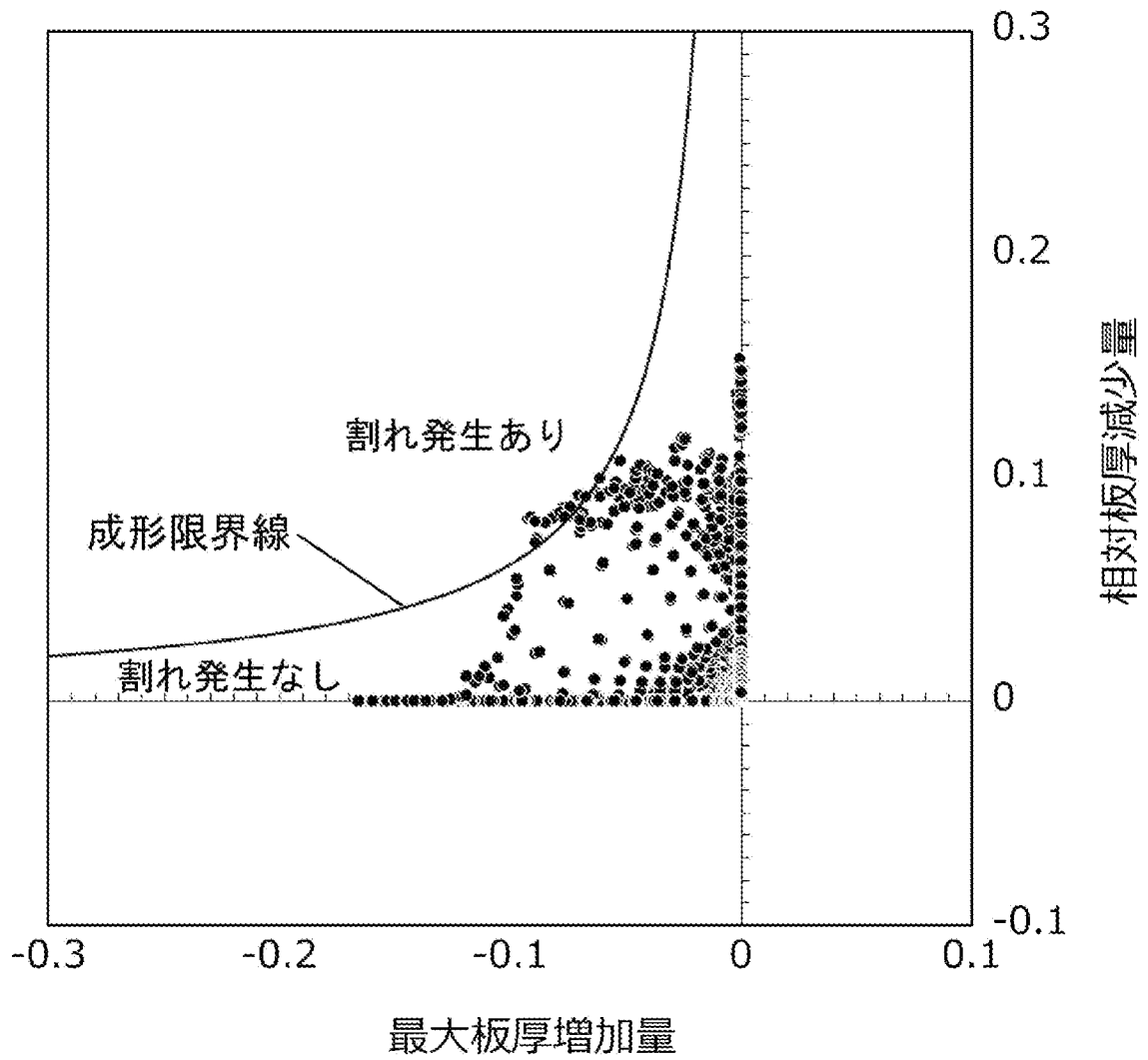
[図10]



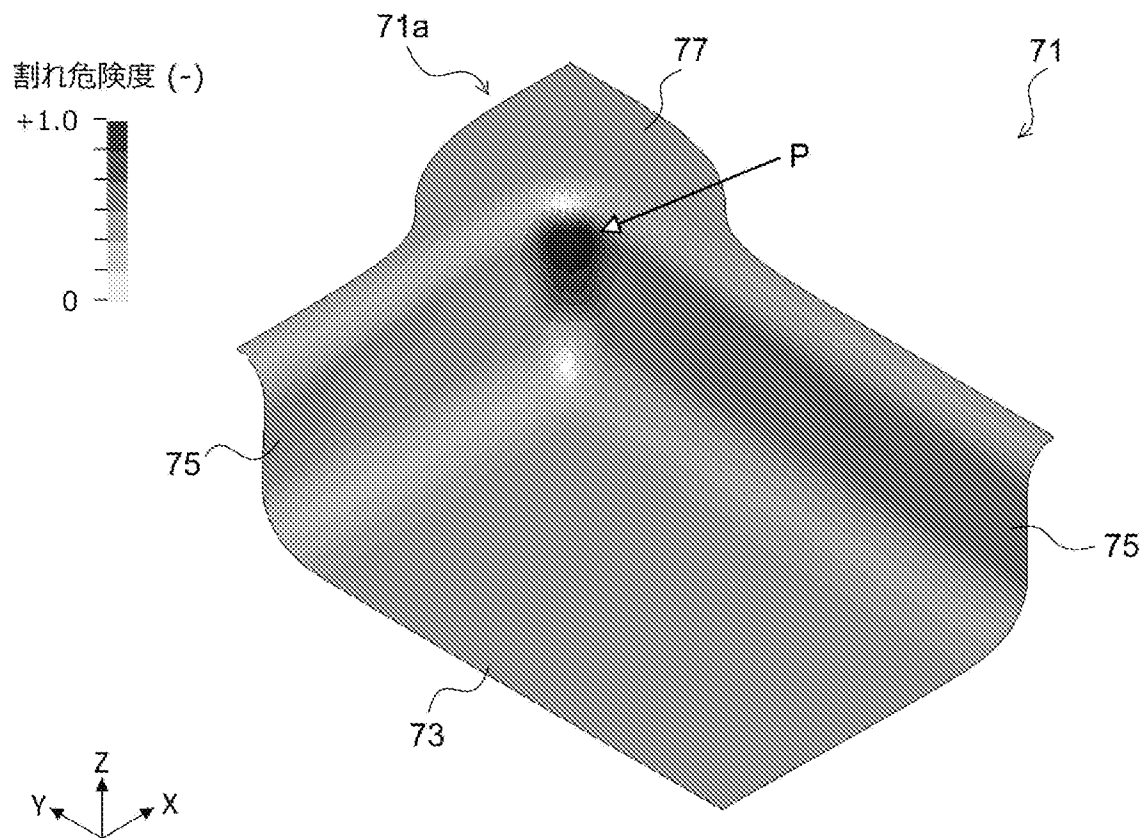
[図11]



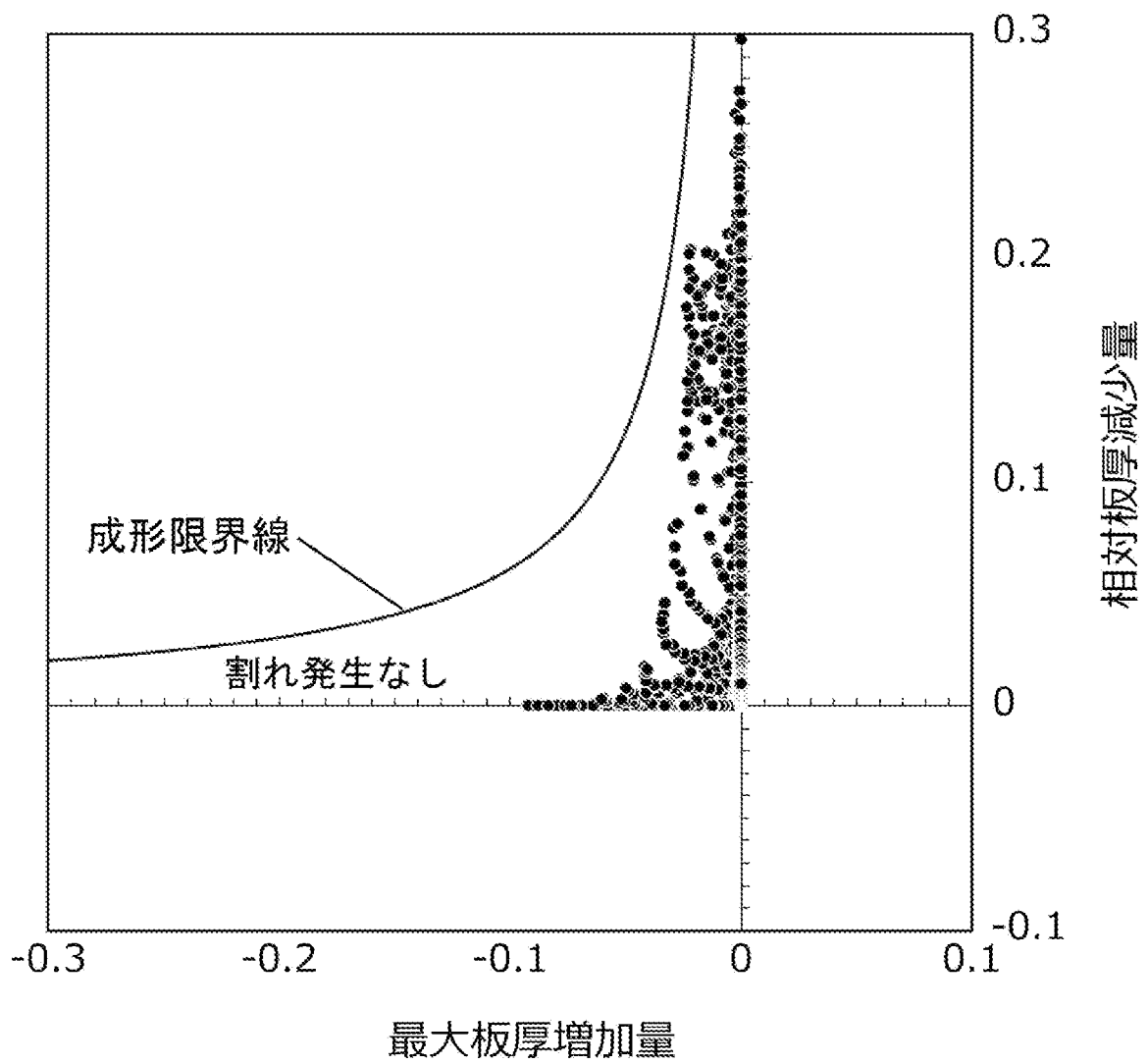
[図12]



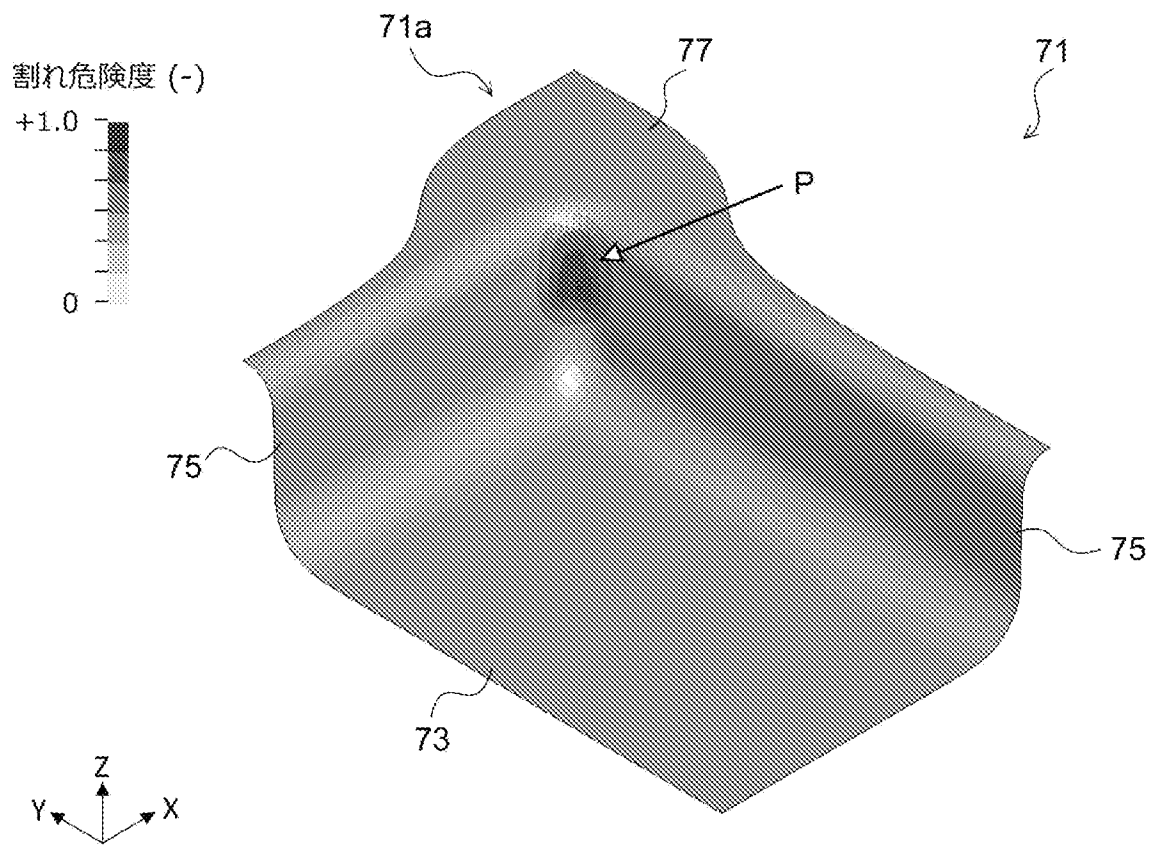
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/024332

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B21D 22/00</i> (2006.01)i; <i>G06F 30/23</i> (2020.01)i; <i>G06F 113/22</i> (2020.01)n FI: B21D22/00; G06F30/23; G06F113:22		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B21D22/00; G06F30/23; G06F113/22		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-275154 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 06 October 2000 (2000-10-06) paragraphs [0006]-[0148], fig. 1-9	1-4
A	JP 2016-144825 A (NISSHIN STEEL CO., LTD.) 12 August 2016 (2016-08-12) paragraphs [0033]-[0113], fig. 1-19	1-4
A	JP 2012-166252 A (JFE STEEL CORP.) 06 September 2012 (2012-09-06) paragraphs [0009]-[0040], fig. 1-14	1-4
A	JP 2011-141237 A (NIPPON STEEL CORP.) 21 July 2011 (2011-07-21) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2013-054001 A (JFE STEEL CORP.) 21 March 2013 (2013-03-21) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2013-128956 A (JFE STEEL CORP.) 04 July 2013 (2013-07-04) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2009-204427 A (JFE STEEL CORP.) 10 September 2009 (2009-09-10) entire text, all drawings	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 August 2022		Date of mailing of the international search report 06 September 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/024332

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2000-275154 A	06 October 2000	(Family: none)	
JP 2016-144825 A	12 August 2016	(Family: none)	
JP 2012-166252 A	06 September 2012	(Family: none)	
JP 2011-141237 A	21 July 2011	(Family: none)	
JP 2013-054001 A	21 March 2013	(Family: none)	
JP 2013-128956 A	04 July 2013	US 2015/0231682 A1 entire text, all drawings WO 2013/094177 A1 EP 2796220 A1 CN 104010745 A TW 201331015 A KR 10-2014-0105761 A	
JP 2009-204427 A	10 September 2009	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B21D 22/00(2006.01)i; G06F 30/23(2020.01)i; G06F 113/22(2020.01)n FI: B21D22/00; G06F30/23; G06F113:22</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B21D22/00; G06F30/23; G06F113/22</p>										
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年									
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	JP 2000-275154 A (トヨタ自動車株式会社) 06.10.2000 (2000 - 10 - 06) 段落 [0006] - [0148], 図1-9	1-4								
A	JP 2016-144825 A (日新製鋼株式会社) 12.08.2016 (2016 - 08 - 12) 段落 [0033] - [0113], 図1-19	1-4								
A	JP 2012-166252 A (JFEスチール株式会社) 06.09.2012 (2012 - 09 - 06) 段落 [0009] - [0040], 図1-14	1-4								
A	JP 2011-141237 A (新日本製鐵株式会社) 21.07.2011 (2011 - 07 - 21) 全文, 全図	1-4								
A	JP 2013-054001 A (JFEスチール株式会社) 21.03.2013 (2013 - 03 - 21) 全文, 全図	1-4								
A	JP 2013-128956 A (JFEスチール株式会社) 04.07.2013 (2013 - 07 - 04) 全文, 全図	1-4								
A	JP 2009-204427 A (JFEスチール株式会社) 10.09.2009 (2009 - 09 - 10) 全文, 全図	1-4								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
<p>* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献</p>										
国際調査を完了した日	24.08.2022	国際調査報告の発送日 06.09.2022								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 石川 健一 3P 3507 電話番号 03-3581-1101 内線 3363									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/024332

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2000-275154 A	06.10.2000	(ファミリーなし)	
JP 2016-144825 A	12.08.2016	(ファミリーなし)	
JP 2012-166252 A	06.09.2012	(ファミリーなし)	
JP 2011-141237 A	21.07.2011	(ファミリーなし)	
JP 2013-054001 A	21.03.2013	(ファミリーなし)	
JP 2013-128956 A	04.07.2013	US 2015/0231682 A1 全文, 全図	
		WO 2013/094177 A1	
		EP 2796220 A1	
		CN 104010745 A	
		TW 201331015 A	
		KR 10-2014-0105761 A	
JP 2009-204427 A	10.09.2009	(ファミリーなし)	