

(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
2019年4月25日(25.04.2019)



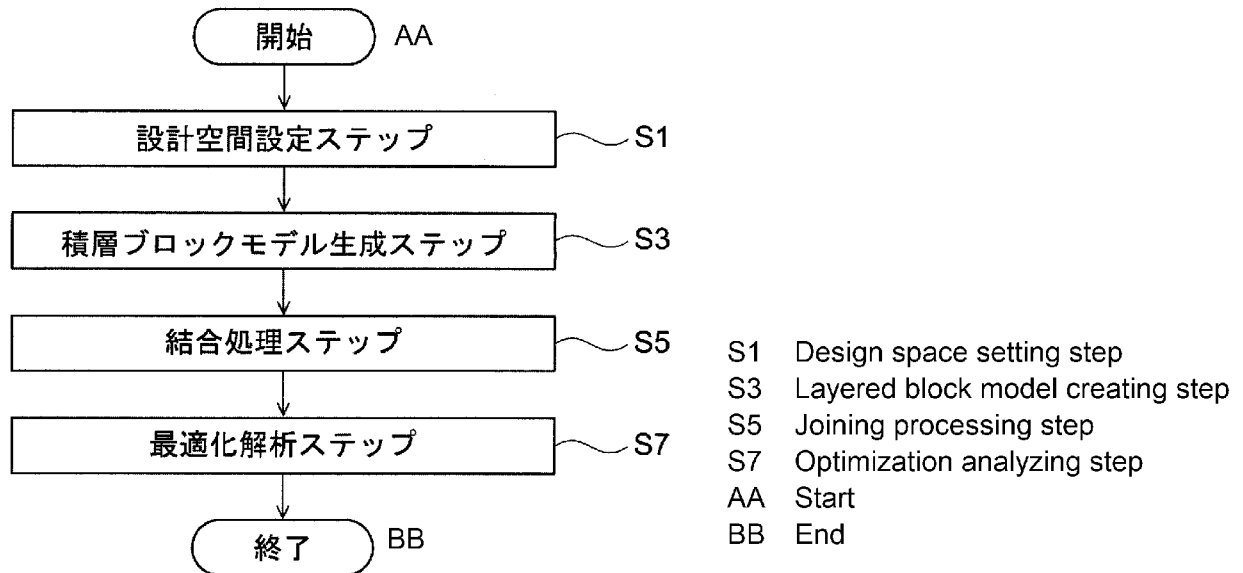
(10) 国際公開番号

WO 2019/077834 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 17/50 (2006.01) *B62D 65/00* (2006.01) 2 番 3 号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/028379 (74) 代理人: 特許業務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).
- (22) 国際出願日: 2018年7月30日(30.07.2018)
- (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 2017-200795 2017年10月17日(17.10.2017) 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: 斉藤 孝信 (SAITO, Takanobu); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目
- (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, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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,

(54) **Title:** LAYERED COMPOSITE MEMBER SHAPE OPTIMIZATION ANALYZING METHOD AND SHAPE OPTIMIZATION ANALYZING DEVICE

(54) 発明の名称: 積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置



(57) **Abstract:** This layered composite member shape optimization analyzing method includes: a design space setting step S1 of modeling part of a vehicle body model comprising planar elements and/or three-dimensional elements, using layered composite members, and analyzing the optimization of the shapes of the modeled layered composite members, wherein the part of the vehicle body model to be optimized is set as a design space; a layered block model creating step S3 of creating a layered block model in which a plurality of layers having different material properties and comprising three-dimensional elements are layered in the design space; a joining processing step S5 of joining the layered block model to the vehicle body model; and an optimization analyzing step S7 of accept input of analysis conditions and performing optimization analysis to obtain the optimal shape for the layered block model.

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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: 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、平面要素及び／又は立体要素からなる車体モデルの一部を積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行うものであって、車体モデルにおける最適化の対象となる部分を設計空間として設定する設計空間設定ステップS 1と、設計空間に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成ステップS 3と、積層ブロックモデルを車体モデルに結合する結合処理ステップS 5と、解析条件を入力し、積層ブロックモデルに対する最適形状を求める最適化解析を行う最適化解析ステップS 7と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置

技術分野

[0001] 本発明は、積層複合部材 (layered composite member) の形状最適化解析 (analysis of shape optimization) 方法及び形状最適化解析装置に関し、特に、構造体 (structural body) の一部分を、材料特性 (material property) の異なる複数の層が積層する積層複合部材とし、該積層複合部材の最適な形状を求める積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置に関する。なお、本発明において形状最適化とは、予め所定の形状、例えばT字形状を想定し、その所定の形状を前提として最適な形状を求めることではなく、所定の形状を想定することなく、解析条件を満たす最適な形状を求めることを意味する。

背景技術

[0002] 近年、特に自動車産業においては環境問題に起因した車体の軽量化 (weight reduction of automotive body) が進められており、車体の設計にコンピュータ支援工学 (computer aided engineering) による解析 (以下、「CAE解析」という) は欠かせない技術となっている。このCAE解析では、数理最適化 (mathematical optimization)、板厚最適化 (thickness optimization)、形状最適化、トポロジー最適化 (topology optimization) 等の最適化技術を用いることにより、車体の軽量化や剛性 (stiffness) の向上等といった車体性能 (vehicle performance) の向上が図られることが知られており、これらの最適化技術は、例えばエンジンプロック等の鋳物の構造最適化 (structural optimization) によく用いられている。

[0003] 最適化技術の中でも、特にトポロジー最適化が着目されつつある。トポロジー最適化とは、ある程度の大きさの設計空間 (design space) を設け、当該設計空間に立体要素 (three-dimensional element) を組み込み、与えら

れた条件を満たし、かつ必要最小限の立体要素の部分を残すことで、当該条件を満たす最適形状を求める方法である。そのため、トポロジー最適化では、設計空間をなす立体要素に直接拘束（constraint）を行い、直接荷重（load）を加えるという方法が用いられる。

[0004] このようなトポロジー最適化に関する技術として、複雑な構造体のコンポーネントのトポロジー最適化のための方法が特許文献1に開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2010-250818号公報

特許文献2：特開2013-025533号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：弓削、他1名、「建設機械の最適設計」、成蹊大学工学研究報告、Vol.41、No.1、2004年、p.1-5

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 自動車の車体（automotive body）等の構造体は主に薄板（thin sheet）を用いて構成されている。このような薄板で構成される車体の一部位について最適化技術により形状を最適化する場合、従来は非特許文献1に記載されるように、対象となる車体全体又はその一部を取り出して、当該部分を独立させて、独立させたまま最適化している。しかしながら、このような方法では、その設計空間に対して車体全体からの荷重や拘束状態を反映させることは困難であり、それ故に車体の一部位に最適化技術を適用することが難しいという課題があった。例えば、車体全体の最適化解析を行って該当する車体の一部の最適化形状を求めようとしても、最適化した部位が、車体全体から見ても不要な部位と判定されて消滅する課題がある。また、独立して車体の一部を最適化しても、その部分を薄板構造からなる車体に適切に反映させるにはいかにすべきかという課題もあった。

[0008] 特許文献 1 に開示されている技術は、トポロジー最適化による最適化解析に係る数学演算上の手法及び物理的システムに関するものであり、上記のような薄板構造の最適化といった課題に対しては何らの解決手段を与えるものではない。

[0009] さらに、従来の形状最適化の対象は、例えば、特許文献 2 に示されるような鋼、アルミニウム合金（Al 合金）、マグネシウム合金等の金属材料（metal）であったが、近年、自動車の車体を構成する薄板に樹脂（resin）やFRP（Fiber-Reinforced Plastics；繊維強化樹脂）を層状に積層して貼り付けた複合部材（本願において、「積層複合部材」という）を用いて、車体の剛性や強度を向上させることが行われている。しかしながら、このような積層複合部材の形状を最適化の対象とした従来技術はなく、積層複合部材の最適化形状を求める最適化技術の開発が望まれていた。

[0010] 本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、車体である構造体の一部に積層複合部材を用いて剛性を向上させるに際し、該積層複合部材の最適な形状を求める積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の第 1 の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、平面要素（two-dimensional element）、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行う積層複合部材の形状最適化解析方法であって、コンピュータが以下の各ステップを行うものであり、前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を設計空間として設定する設計空間設定ステップと、該設定した設計空間に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成ステップと、該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合（join）する結合処理ステップと、解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積

層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析ステップと、を含む。

[0012] 本発明の第2の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行うものであって、コンピュータが以下の各ステップを行うものであり、前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を層状に積層する複数の設計空間として設定する設計空間設定ステップと、該設定した設計空間毎に異なる材料特性を与えて立体要素からなる層状（layered）ブロックモデルを生成し、該設計空間毎に生成した層状ブロックモデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成ステップと、該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合する結合処理ステップと、解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析ステップと、を含む。

[0013] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明の第1の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記積層ブロックモデルは、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層を、剛体要素（rigid element）、梁要素（beam element）若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の節点（node）を共有（share）させて連結してなることを特徴とする。

[0014] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明の第2の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記積層ブロックモデルは、複数の設計空間毎に生成した立体要素からなる層状ブロックモデルを剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記層状ブロックモデルの節点を共有させて連結してなることを特徴とする。

[0015] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記積層ブロックモデルは、五面体以上八面体以下であって互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素

からなることを特徴とする。

[0016] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分における前記設計空間が設定された周囲の面と平行になる面が最大面積となるように生成することを特徴とする。

[0017] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分の平面要素又は立体要素との結合部に節点を配置し、前記積層ブロックモデルの立体要素として六面体立体要素を用いると共に、前記結合部に配置された節点を含む平面に沿うように立体要素を積み上げるように生成することを特徴とする。

[0018] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記最適化解析ステップは、最適化解析において最適化パラメータで離散化（discretization）を行うことを特徴とする。

[0019] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法において、前記最適化解析ステップは、トポロジー最適化による最適化解析を行うことを特徴とする。

[0020] 本発明の第1の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行うものであって、前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を設計空間として設定する設計空間設定部と、該設定した設計空間に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成部と、該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合する結合処理部と、解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析部（analysis uni

t) と、を備える。

[0021] 本発明の第2の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行うものであって、前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を層状に積層する複数の設計空間として設定する設計空間設定部と、該設定した設計空間毎に異なる材料特性を与えて立体要素からなる層状ブロックモデルを生成し、該設計空間毎に生成した層状ブロックモデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成部と、該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部に結合する結合処理部と、解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析部と、を備える。

[0022] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明の第1の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記積層ブロックモデルは、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層を、剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の節点を共有させて連結したものであることを特徴とする。

[0023] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明の第2の態様に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記積層ブロックモデルは、複数の設計空間毎に生成した立体要素からなる層状ブロックモデルを、剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記層状ブロックモデルの節点を共有させて連結したものであることを特徴とする。

[0024] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記積層ブロックモデルは、五面体以上八面体以下であって互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素からなることを特徴とする。

[0025] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明に係る積層複

合部材の形状最適化解析装置において、前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分における前記設計空間が設定された周囲の面と平行になる面が最大面積となるように生成することを特徴とする。

[0026] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分の平面要素又は立体要素との結合部に節点を配置し、前記積層ブロックモデルの立体要素として六面体立体要素を用いると共に、前記結合部に配置された節点を含む平面に沿うように立体要素を積み上げるように生成することを特徴とする。

[0027] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記最適化解析部は、最適化解析において最適化パラメータで離散化を行うことを特徴とする。

[0028] 本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置は、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析装置において、前記最適化解析部は、トポロジー最適化による最適化解析を行うことを特徴とする。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、車体である構造体に外力（external force）が作用する場合における車体の一部となる積層複合部材の最適な形状を求めることができ、該構造体の所定の性能を向上したり、また、所定の性能に保持しつつ前記構造体の軽量化に資したりすることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析装置のブロック図である。

[図2]図2は、実施の形態で、一例となる形状最適化の解析対象とする車体モデル及び車体モデルに設定した設計空間を説明する図である。

[図3]図3は、実施の形態において車体モデルに設定した設計空間を説明する図である（その1）。

[図4]図4は、実施の形態において車体モデルに設定した設計空間を説明する

図である（その2、（a）外層部（outer layer）、（b）内層部（inner layer））。

[図5]図5は、実施の形態において車体モデルに設定した設計空間の断面図である。

[図6]図6は、実施の形態において、最適化の解析処理において入力した荷重条件を説明する図である（ねじり剛性）。

[図7]図7は、実施の形態において、最適化の解析処理において入力した荷重条件を説明する図である（横曲げ剛性）。

[図8]図8は、実施の形態において、リアクロスメンバ（rear cross member）を対象とした最適化の解析処理により得られた最適な形状を説明する図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析方法の処理の流れを示すフローチャート（flowchart）である。

[図10]図10は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case1、外層部：鋼（steel sheet）、内層部：鋼）。

[図11]図11は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case2、外層部：Al合金（aluminum alloy）、内層部：鋼）。

[図12]図12は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case3、外層部：鋼、内層部：Al合金）。

[図13]図13は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case4、外層部：CFRP、内層部：鋼）。

[図14]図14は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case5、外層部：鋼、内層部：CFRP）。

[図15]図15は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case6、外層部：鋼、内層部：GFRP）。

[図16]図16は、実施例において、リアクロスメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case7、外層部：鋼、内層部：樹脂）。

[図17]図17は、実施例において、積層ブロックモデルの材質（material property）の組合せの変更による最適化解析により求めた最適形状のリアクロスメンバを結合した車体モデルの剛性向上率（improvement rate of stiffness）への影響を示すグラフである。

[図18]図18は、実施例において、積層ブロックモデルの材質の組合せの変更による最適化解析により求めた最適形状のリアクロスメンバを結合した車体モデルの部品重量当たりの剛性向上率への影響を示すグラフである。

[図19]図19は、実施例において、車体モデルのリアサイドメンバ（rear side member）を対象として設定した設計空間を示す図である（その1）。

[図20]図20は、実施例において、車体モデルのリアサイドメンバを対象として設定した設計空間を示す図である（その2、（a）外層部、（b）内層部）。

[図21]図21は、実施例において、車体モデルのリアサイドメンバを対象として設定した設計空間の断面図である。

[図22]図22は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case1、外層部：鋼、内層部：鋼）。

[図23]図23は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case2、外層部：Al合金、内層部：鋼）。

[図24]図24は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case4、外層部：CFRP

、内層部：鋼）。

[図25]図25は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case5、外層部：鋼、内層部：CFRP）。

[図26]図26は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case1、制約条件：外層部と内層部それぞれの体積制約率10%以下）。

[図27]図27は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした最適化解析により求めた最適な形状の解析結果を示す図である（Case4、制約条件：外層部と内層部それぞれの体積制約率（constraints of volume fraction）10%以下）。

[図28]図28は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした積層ブロックモデルの材質の組合せの変更による最適化解析により求めた最適形状のリアサイドメンバを結合した車体モデルの剛性向上率への影響を示すグラフである。

[図29]図29は、実施例において、リアサイドメンバを対象とした積層ブロックモデルの材質の組合せの変更による最適化解析により求めた最適形状のリアサイドメンバを結合した車体モデルの部品（parts）重量当たりの剛性向上率への影響を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0031] 本発明の実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置について説明するに先立ち、本発明で対象とする車体の構造体モデル（以下、単に「構造体モデル」という）の一例について説明する。

[0032] <構造体モデル>

構造体モデルは、構造体の一部に該構造体と異なる材料である積層複合部材を結合するに際し、平面要素及び／又は立体要素を用いて前記構造体をモデル化したものである。本実施の形態では、構造体モデルの一例として、図2に示す車体モデル31を対象としている。

[0033] 車体モデル 31 は、自動車の車体骨格部品 (automotive body frame member) やシャシー部品 (Chassis component) 等といった複数の部品で構成されたものであり、車体モデル 31 の各部品は、平面要素及び／又は立体要素によりモデル化されている。また、車体モデル 31 を構成する各部品の要素 (平面要素及び立体要素) や材料特性 (材質) 等に関する情報は、構造体モデルファイル 21 (図 1 参照) に格納されている。

[0034] <積層複合部材の形状最適化解析装置>

次に、本実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析装置 1 (以下、単に「形状最適化解析装置 1」という) の構成について、図 1 乃至図 8 に基づいて以下に説明する。

[0035] 本実施の形態に係る形状最適化解析装置 1 は、車体である構造体の一部に該構造体の一部と異なる材料である積層複合部材を結合して前記構造体を補剛するに際し、前記積層複合部材の最適な形状を求めるものである。図 1 に示すように、本実施の形態に係る形状最適化解析装置 1 は、PC (パーソナルコンピュータ) 等のコンピュータによって構成され、表示装置 (display device) 3、入力装置 (input device) 5、記憶装置 (memory storage) 7、作業用データメモリ (working data memory) 9 及び演算処理部 (arithmetic processing unit) 11 を有している。そして、表示装置 3、入力装置 5、記憶装置 7 及び作業用データメモリ 9 は、演算処理部 11 に接続され、演算処理部 11 からの指令によってそれぞれの機能が実行される。

[0036] 以下、本実施の形態に係る形状最適化解析装置 1 の各構成について、図 2 に示す車体モデル 31 の一部であるリアクロスメンバ (設計空間 41) を積層複合部材でモデル化し、該積層複合部材の最適な形状を求める場合を例に挙げて説明する。

[0037] <<表示装置>>

表示装置 3 は、解析結果の表示等に用いられ、液晶モニター等で構成される。

[0038] <<入力装置>>

入力装置 5 は、構造体モデルファイル 2 1 の表示指示や操作者の条件入力等に用いられ、キーボードやマウス等で構成される。

[0039] 《記憶装置》

記憶装置 7 は、構造体モデルファイル 2 1 等の各種ファイルの記憶等に用いられ、ハードディスク等で構成される。

[0040] 《作業用データメモリ》

作業用データメモリ 9 は、演算処理部 1 1 で使用するデータの一時保存や演算に用いられ、RAM (Random Access Memory) 等で構成される。

[0041] 《演算処理部》

演算処理部 1 1 は、図 1 に示すように、設計空間設定部 1 3 と、積層ブロックモデル生成部 1 5 と、結合処理部 1 7 と、最適化解析部 1 9 を有し、PC 等の CPU (中央演算処理装置) によって構成される。これらの各部は、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。演算処理部 1 1 における上記の各部の機能を以下に説明する。

[0042] (設計空間設定部)

設計空間設定部 1 3 は、構造体モデルの一部に最適化の対象となる部分を設計空間として設定するものである。設計空間設定部 1 3 は、構造体モデルにおいて最適化の対象とする一部分を削除し、該削除した部分に設計空間を設定する。

[0043] 図 2 に、構造体モデルとして車体モデル 3 1 の一部にリアクロスメンバの設計空間 4 1 を設定した例を示す。図 2 においては、車体モデル 3 1 に元々含まれていたリアクロスメンバが削除され、該削除した部分に設計空間 4 1 が設定されている。

[0044] ここで、削除する前のリアクロスメンバは、その車体高さ方向における上面側がフロアパネル (floor panel) 3 3 に接合し、車体幅方向における左右両端がリアサイドメンバ 3 5 に接続しており、設計空間 4 1 が設定される際に、フロアパネル 3 3 とリアサイドメンバ 3 5 は削除されずに残されたままである。

[0045] そのため、設計空間 4 1 は、フロアパネル 3 3 に沿った形状の面と、リアサイドメンバ 3 5 に沿った形状の面と、設計可能範囲の限界まで拡張して与えられる面とで囲まれる空間として設定することができる。なお、設計可能範囲は、例えば、元のリアクロスメンバの形状や、該リアクロスメンバの周囲にある他の部品との隙間に基づいて、適宜設定することができる。

[0046] なお、上記の例は、設計空間設定部 1 3 が、構造体モデルファイル 2 1 から取得した車体モデル 3 1 における一部分であるリアクロスメンバを削除することにより設計空間 4 1 を設定するものであるが、設計空間 4 1 は、車体モデル 3 1 を生成する際に予め設定するものであってもよい。この場合、設計空間設定部 1 3 は、車体モデル 3 1 を生成する機能を備えたものであってもよい。

[0047] (積層ブロックモデル (layered block model) 生成部)

積層ブロックモデル生成部 1 5 は、設定した設計空間 4 1 に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデル 4 3 を生成するものである。ここで、積層ブロックモデル 4 3 は、積層複合部材をモデル化したものであり、最適化の解析処理を行う対象となる。

[0048] 積層ブロックモデル生成部 1 5 は、設計空間 4 1 に入る大きさで任意の形状の積層ブロックモデル 4 3 を生成することができる。そして、積層ブロックモデル生成部 1 5 は、積層ブロックモデル 4 3 の生成において、まず、立体要素からなる複数の層を設定し、該複数の層を剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の立体要素の節点を共有させることにより、前記複数の層を連結して層状に積層させる。

[0049] なお、積層ブロックモデル 4 3 に用いる立体要素は、五面体以上八面体以下の面数を有する多面体であって、互いに平行な 2 面を少なくとも一組有する立体要素で構成するのが好ましい。

[0050] この理由は、設計空間 4 1 を形成する部位が積層複合部材のように層状の部材である場合、積層ブロックモデル 4 3 について最適化の解析処理を実行したときに積層複合部材の形状に反映できるように最適な形状が求められる

ことが望ましい。この点、五面体以上八面体以下であって互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素を用いることで、このような要求を満しやすくなる。

[0051] また、五面体以上八面体以下の立体要素をできる限り均一なサイズで設計空間41に生成することで、最適化の精度を上げるようにするのが好ましい。もっとも、本発明は、五面体未満又は八面体超の立体要素、例えば、四面体立体要素を用いることを排除するものではない。

[0052] 図3乃至図5に、図2に示す設計空間41に積層ブロックモデル43を生成した例を示す。図3は、車体モデル31を車体高さ方向の下側から表示したもの、図4は、積層ブロックモデル43の外層部43aと内層部43bをそれぞれ表示したもの、図5は、積層ブロックモデル43における車体幅方向に直交する断面図である。

[0053] 積層ブロックモデル43は、図4及び図5示すように、材料特性の異なる外層部43aと内層部43bから生成され、外層部43aと内層部43bとが層状に重なって積層している。そして、外層部43aと内層部43bは、それぞれ立体要素で構成され、本実施形態では該立体要素の節点を共有するように外層部43aと内層部43bと結合させた。

[0054] 積層ブロックモデル43の外層部43a及び内層部43bに設定する材料特性として、ヤング率 (Young' s modulus) 、ポアソン比 (Poisson' s ratio) 及び比重 (specific gravity) 等が挙げられる。なお、モデル化の対象となる積層複合部材の各層を構成する材料が、例えばFRPのようにその材料特性が面内異方性 (in-plane anisotropy) を有する場合においては、積層ブロックモデル43の外層部43a及び内層部43bそれぞれの材料特性の面内異方性を与える主軸角度 (angle of principal axis) を与え、該主軸角度に対応する前記材料特性の値を設定することで、面内異方性を設定することができる。また、外層部43aと内層部43bの層ごとに主軸角度を設定することも可能である。

[0055] なお、積層ブロックモデル生成部15は、車体モデル31における設計空

間 4 1 が設定された周囲に面に沿い、かつ設計空間 4 1 の最大面積を持つ面に平行に立体要素を細分化するように積層ブロックモデル 4 3 を生成するのが好ましい。ここで、設計空間 4 1 が設定された周囲の面とは、設計空間 4 1 を設定しようとする部位における部品（本実施の形態においてはリアクロスメンバ）の面であり、設計空間の最大面積を持つ面とは、前記周囲の面のうち、その面積が最大のものをいう。

[0056] 例えば、車体モデル 3 1 におけるリアクロスメンバを対象として設計空間 4 1 を設定する場合、設計空間 4 1 が設定された周囲の面としては、前記リアクロスメンバが接合するフロアパネル 3 3 に沿った面及びリアサイドメンバ 3 5 に沿った面がある。リアサイドメンバ 3 5 に沿った面に比べてフロアパネル 3 3 に沿った面の方が面積が大きいため、フロアパネル 3 3 に沿った面を設計空間 4 1 において最大面積を持つ面とすることができる。

[0057] また、積層ブロックモデル生成部 1 5 は、積層ブロックモデル 4 3 を構成する立体要素を六面体立体要素とし、車体モデル 3 1 を構成する平面要素又は立体要素との結合部に前記六面体立体要素の節点を配置し、該結合部に配置された節点を含む平面に沿うように六面体立体要素を積み上げるように積層ブロックモデル 4 3 を生成するものであってもよい。

[0058] 例えば、車体モデル 3 1 のフロアパネル 3 3 が平面要素で構成されている場合、積層ブロックモデル生成部 1 5 は、フロアパネル 3 3 の平面要素の節点を積層ブロックモデル 4 3 との結合部とし、フロアパネル 3 3 の節点を含む面に沿うように六面体立体要素を積み上げることにより、積層ブロックモデル 4 3 を生成してもよい。

[0059] （結合処理部）

結合処理部 1 7 は、生成した積層ブロックモデル 4 3 を、車体モデル 3 1 における他の部位に結合する処理を行うものである。積層ブロックモデル 4 3 と車体モデル 3 1 との結合には、剛体要素、平面要素、梁要素を用いることができる。

[0060] 積層ブロックモデル 4 3 と車体モデル 3 1 との結合は、車体モデル 3 1 か

ら積層ブロックモデル４３に正確に荷重を伝達するように、設計空間４１として削除した部位と車体モデル３１との元の結合箇所を反映させるようにするのが好ましい。

[0061] （最適化解析部）

最適化解析部１９は、積層ブロックモデル４３を結合した車体モデル３１に対して解析条件を与え、積層ブロックモデル４３の最適な形状を求める最適化解析を行うものである。解析条件としては、荷重を付加する位置や拘束位置を与える荷重条件と、最適化解析の目的や制約に応じて設定する目的条件（objective condition）及び制約条件（constraint condition）とがある。

[0062] 図６及び図７に荷重条件の一例を示す。図６はねじり剛性（torsional stiffness）を、図７は横曲げ剛性（lateral bending stiffness）を対象として最適化解析を行う場合のものである。

[0063] ねじれ剛性を対象として最適化解析を行う場合、図６に示すように、車体モデル３１のリア側の左右それぞれのサスペンション取付部の２ヶ所に荷重入力点を設定し、各荷重入力点に車体高さ方向の上向きと下向きに荷重（１０００Ｎ）を付加した。

[0064] 一方、横曲げ剛性を対象として最適化解析を行う場合、図７に示すように、車体モデル３１のリア側のサスペンション取付部の４ヶ所に荷重入力点を設定し、各荷重入力点に車体幅方向の右向きに所定の荷重（１０００Ｎ）を付加した。なお、図６及び図７に示す荷重条件においては、拘束位置が設定されていないが、本実施の形態では、慣性リリーフ法（inertia relief method）により、車体モデル３１に作用する慣性力の座標の基準となる支持点において車体モデル３１が支持された状態を想定して最適化解析を行う。

[0065] もっとも、最適化解析部１９により与える荷重条件は、上記に限られるものではなく、最適化解析の目的に応じて車体モデル３１に荷重を入力する位置や、変位を拘束する位置等を適宜設定してもよい。

[0066] 最適化解析における目的条件としては、例えば、車体モデル３１における

ひずみエネルギー (strain energy) 総和の最小化、変位 (displacement) の最小化、応力 (stress) の最小化、剛性の最大化等がある。さらに、最適化解析における制約条件としては、例えば、最適化解析の対象とする積層ブロックモデル 43 の体積制約率等があり、制約条件は、複数設定可能である。そして、体積制約率については、積層ブロックモデル 43 全体、又は、積層ブロックモデル 43 の各層 (例えば、図 4 及び図 5 に示す外層部 43 a と内層部 43 b の各層) に対して個別に与えることができる。

[0067] 最適化解析部 19 による最適化解析処理には、例えば、トポロジー最適化を適用することができる。トポロジー最適化においては、最適化パラメータとしてペナルティ係数 (penalty coefficient) を与えて離散化することが好ましい。離散化におけるペナルティ係数として 2 以上の値、又は、基準となる立体要素のサイズの 3 乃至 20 倍の値に制限することが好ましい。ペナルティ係数を与えて離散化することで、最適な形状として求められた積層ブロックモデルを薄板の構造体形状に反映することが可能となる。

[0068] 最適化解析部 19 としては、上記のとおりトポロジー最適化を行うものでもよいし、他の計算方法による最適化処理であってもよく、例えば市販されている有限要素法 (finite element method) を用いた解析ソフトを使用することもできる。

[0069] 図 8 に、リアクロスメンバを最適化の対象とし、最適化解析部 19 にトポロジー最適化を適用して得られた最適形状 45 の一例を示す。最適形状 45 は、上記の解析条件 (荷重条件、目的条件及び制約条件) を満たすように、積層ブロックモデル 43 の外層部 43 a 及び内層部 43 b それぞれについて立体要素が残存及び消去して求められたものであり、図 8 に示すように最適形状外層部 45 a 及び最適形状内層部 45 b からなる。

[0070] ここで注目すべき点は、積層ブロックモデル 43 には、車体モデル 31 と結合する部位を介して車体モデル 31 から荷重が伝達されるという点である。つまり、車体モデル 31 から積層ブロックモデル 43 に荷重が伝達されることで、最適化解析部 19 による最適化の解析処理において積層ブロックモ

デル4 3が変形して荷重の向き等が変わるが、その時々荷重の向き等が反映されて、最終的に形状が最適化された最適形状4 5が得られることである。

[0071] なお、上記の説明は、設計空間設定部1 3によって一つの設計空間4 1を設定し、該設定した設計空間4 1に複数の層を生成することで積層ブロックモデル4 3を生成するものであったが、積層ブロックモデル4 3の生成は、これに限るものではない。

[0072] 積層ブロックモデル4 3を生成する他の態様としては、設計空間設定部1 3により、車体モデル3 1における最適化の対象となる部分を層状に積層する複数の設計空間として設定し、積層ブロックモデル生成部1 5により、該設定した設計空間毎に異なる材料特性を与えて立体要素からなる複数の層状ブロックモデル（図4及び図5に示す外層部4 3 a及び内層部4 3 bに相当）を生成し、該設計空間毎に生成した複数の層状ブロックモデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデルを生成するものであってもよい。

[0073] この場合、設計空間設定部1 3は、構造体モデルの一部から最適化の対象となる部分を削除し、該削除した部分に一つの設計空間を設定した後、該設計空間を層状に積層した2つ以上の設計空間に分割、又は、一つの設計空間を設定した後、該設定した設計空間に層状に積層するように他の設計空間を新たに設定等により複数の設計空間を設定することができる。

[0074] そして、積層ブロックモデル生成部1 5は、前記設定した複数の設計空間毎に生成した立体要素からなる層状ブロックモデルの節点を共有させることで複数の層状ブロックモデルを結合、あるいは、複数の層状ブロックモデルを剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて結合することで、層状に積層した積層ブロックモデルを生成することができる。

[0075] <積層複合部材の形状最適化解析方法>

次に、本実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析方法（以下、単に「形状最適化解析方法」という）について説明する。

[0076] 本実施の形態に係る形状最適化解析方法は、構造体モデルの一部を、積

層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行うものである。図9に示すように、本実施の形態に係る形状最適化解析方法は、設計空間設定ステップS1と、積層ブロックモデル生成ステップS3と、結合処理ステップS5と、最適化解析ステップS7と、を含むものである。以下、構造体モデルの一例として図2に示す車体モデル31を対象とする場合について、上記の各ステップを説明する。なお、本実施の形態に係る形状最適化解析方法は、上記の各ステップをコンピュータによって構成された形状最適化解析装置1（図1参照）を用いて実行することができる。

[0077] 《設計空間設定ステップ》

設計空間設定ステップS1は、図2に示すように、車体モデル31における最適化の対象となる部分を層状に積層する設計空間41として設定するステップであり、形状最適化解析装置1においては、設計空間設定部13が行う。

[0078] 《積層ブロックモデル生成ステップ》

積層ブロックモデル生成ステップS3は、設計空間設定ステップS1において設定した設計空間41に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層（例えば、図4及び図5に示す外層部43a及び内層部43b）が積層した積層ブロックモデル43を生成するステップであり、形状最適化解析装置1においては、積層ブロックモデル生成部15が行う。

[0079] 積層ブロックモデル生成ステップS3では、例えば、積層ブロックモデル生成部15が、立体要素を層状に積み重ねた複数の層を生成し、該複数の層を剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の立体要素の節点を共有させて連結することにより、積層ブロックモデル43を生成する。ここで、積層ブロックモデル43に用いる立体要素は、五面体以上八面体以下の面数を有する多面体であって、互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素で構成するのが好ましい。

[0080] そして、積層ブロックモデル43においては、積層ブロックモデル生成部15は、層ごとに材料特性（ヤング率、ポアソン比、比重等）を設定する。

なお、積層複合部材の各層を構成する材料のうち、例えばFRPのようにその材料特性が面内異方性を有する層がある場合、当該層については、面内異方性を与える主軸角度を与え、該主軸角度に対応する前記材料特性の値を設定すればよい。この場合、積層ブロックモデル43における複数の層ごとに主軸角度を設定することも可能である。

[0081] なお、積層ブロックモデル生成ステップS3は、車体モデル31における設計空間41が設定された周囲に面に沿い、かつ設計空間41の最大面積を持つ面に平行に立体要素を細分化するように積層ブロックモデル43を生成するのが好ましい。ここで、設計空間41が設定された周囲の面とは、設計空間を設定しようとする部位における部品の面であり、設計空間の最大面積を持つ面とは、前記周囲の面のうち、その面積が最大のものをいう。

[0082] ≪結合処理ステップ≫

結合処理ステップS5は、積層ブロックモデル生成ステップS3において生成した積層ブロックモデル43を車体モデル31に結合するステップであり、形状最適化解析装置1においては、積層ブロックモデル生成部15が行う。

[0083] ≪最適化解析ステップ≫

最適化解析ステップS7は、結合処理ステップS5において積層ブロックモデル43を結合した車体モデル31に対して解析条件を入力し、積層ブロックモデル43の形状が最適化された最適形状45（図8）を求める最適化解析を行うステップであり、形状最適化解析装置1においては、最適化解析部19が行う。

[0084] ここで、最適化解析ステップS7においては、最適化解析部19は、最適化解析の解析条件として、車体モデル31に荷重を付加する位置を与える荷重条件と、最適化解析の目的に応じて設定する目的条件と、最適化解析を行う上で課す制約条件を与える。

[0085] なお、最適化解析ステップS7における最適化解析には、トポロジー最適化を適用することができる。さらに、トポロジー最適化において密度法（den

sity method) を適用する場合、要素のペナルティ係数を2以上に設定して離散化を行うようにすることが好ましい。

[0086] もっとも、最適化解析ステップS 7における最適化解析には、他の計算方式により最適化の解析処理を適用することができ、最適化の解析処理を行うものとしては、例えば、市販されている有限要素を用いた解析ソフトを使用することができる。

[0087] なお、上記の説明は、設計空間設定ステップS 1において一つの設計空間4 1を設定し、積層ブロックモデル生成ステップS 3においては該設定した設計空間4 1に複数の層を生成することで、材料特性の異なる複数の層は積層した積層ブロックモデル4 3を生成するものであったが、積層ブロックモデル4 3を生成する態様は、これに限るものではない。

[0088] 積層ブロックモデル4 3を生成する他の態様としては、設計空間設定ステップS 1において、車体モデル3 1における最適化の対象となる部分を層状に積層する複数の設計空間を設定し、積層ブロックモデル生成ステップS 3においては、該設定した設計空間ごとに異なる材料特性を与えて立体要素からなる層状ブロックモデル（例えば、図4及び図5に示す外層部4 3 a及び内層部4 3 bに相当）を生成し、該設計空間ごとに生成した層状ブロックモデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデル4 3を生成するものであってもよい。この場合、設計空間設定ステップS 1における複数の設計空間の設定方法は、前述の設計空間設定部1 3と同様の方法を用いることができる。

[0089] 以上、本実施の形態に係る積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置によれば、車体である構造体の一部に積層複合部材を用いて補剛するに際し、該積層複合部材の最適な形状を精度よく求めることができる。さらに、該最適な形状の積層複合部材を用いることで、構造体の軽量化を図ることが可能となる。なお、最適な形状の積層複合部材を用いた構造体の軽量化及び剛性向上効果については、後述する実施例において具体的に説明する。

[0090] なお、上記の説明は、構造体を自動車の車体とし、該車体の部品であるリアクロスメンバを形状最適化の解析対象としたものであるが、本発明は、リアクロスメンバに限らず、後述の実施例で示すように自動車のリアサイドメンバや、その他の部品を形状最適化の解析対象としたものであってもよく、解析対象とする構造体や部品に特に限定はない。

実施例

[0091] 本発明の効果を確認する実験を行ったので、これについて説明する。本実施例では、図2に示す車体モデル31を構成する部品であるリアクロスメンバ及びリアサイドメンバのそれぞれについて積層複合部材でモデル化し、その最適な形状を求める最適化解析を行った。

[0092] 積層複合部材の最適化解析を行うにあたり、まず、図2に示す車体モデル31を取得した。車体モデル31は、平面要素及び／又は立体要素を用いて車体をモデル化したものであり、車体モデル31の材質は鋼とした。

[0093] そして、取得した車体モデル31の一部に設計空間を設定し、該設定した設計空間に、積層ブロックモデルを生成した。本実施例では、一つの設計空間を設定し、該設定した設計空間に、材料特性の異なる2つの層が積層する積層ブロックモデルを生成した。

[0094] 図2に、リアクロスメンバを対象として車体モデル31に設定した設計空間41を示す。前述の実施の形態で述べたように、設計空間41は、車体モデル31に元々含まれていたリアクロスメンバ（図示なし）が接合していたフロアパネル33とリアサイドメンバ35は残したまま該リアクロスメンバを削除し、フロアパネル33に沿った形状の面と、リアサイドメンバ35に沿った面と、元々のリアクロスメンバの形状に基づいて定めた面とで囲まれる空間とした。

[0095] 次に、設定した設計空間41に、外層部43aと内層部43bとが層状に積層する積層ブロックモデル43を生成した（図3乃至図5参照）。ここで、外層部43aと内層部43bは、それぞれ3層の六面体立体要素を積み重ねるように生成し、外層部43aと内層部43bの厚みは、いずれも5mmとし

た。なお、外層部43aと内層部43bは、それぞれを構成する六面体立体要素の節点を共有させることにより連結した。

[0096] そして、積層ブロックモデル43の外層部43aと内層部43bのそれぞれに材料特性を設定した。表1に、本実施例で対象とした材料とそのヤング率の値を示す。

[0097] [表1]

	GPa
鋼	206
Al合金	69
CFRP	500(等方性)
GFRP	20(等方性)
樹脂	3

[0098] 表1において、CFRPは炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastics)、GFRPはガラス繊維強化樹脂 (Glass Fiber Reinforced Plastics) であり、これらは、いずれも等方性 (isotropy) の材料特性を有するものとした。

[0099] そして、材料特性を設定した積層ブロックモデル43を車体モデル31に結合し、積層ブロックモデル43の最適な形状を求める最適化解析を行った。ここで、積層ブロックモデル43と車体モデル31とは、積層ブロックモデル43の立体要素とにより結合した。また、最適化解析を行うために、積層ブロックモデル43を結合した車体モデル31に対し、解析条件として荷重条件と最適化解析条件 (目的条件及び制約条件) を与えた。

[0100] 本実施例において、荷重条件は、図6に示すねじり剛性を対象として最適化解析を行う場合と、図7に示す横曲げ剛性を対象として最適化解析を行う場合のそれぞれについて、リア側のサスペンション取付部である図中に示す各矢印の位置及び方向に1000Nの荷重を与えた。

[0101] また、最適化解析の解析条件として、目的条件にはひずみエネルギーの総和の最小を、制約条件には積層ブロックモデル43の体積制約率を与えた。ここで、体積制約率については、積層ブロックモデル43全体の体積制約率

を20%以下とした場合について最適化解析を行った。

[0102] 本実施例では、最適化解析にトポロジー最適化を用い、目的条件をひずみエネルギー総和の最小化とし、制約条件を積層ブロックモデル43の体積制約率とした。ここで、体積制約率については、積層ブロックモデル43全体に対して設定した。

[0103] 本実施例では、積層ブロックモデルの外層部と内層部の材質の組合せを変更して最適化解析を行い、材質の組合せの違いによる積層複合部材の最適形状について検討した。

[0104] 図10乃至図16に、リアクロスメンバを最適化の解析対象とし、積層ブロックモデル43の材質の組合せを変更して最適化解析を行って得られた最適形状45の解析結果を示す。

[0105] 図10乃至図16は、外層部43aと内層部43bの材質の組合せ（図4）（以下、「（外層部の材質）－（内層部の材質）」の形式で表記）を変更し最適化解析した結果であり、各図における材質の組合せは、図10は、「鋼－鋼」（Case1）、図11は、「Al合金－鋼」（Case2）、図12は、「鋼－Al合金」（Case3）、図13は、「CFRP－鋼」（Case4）、図14は、「鋼－CFRP」（Case5）、図15は、「鋼－GFRP」（Case6）、図16は、「鋼－樹脂」（Case7）である。

[0106] ここで、Case1は、外層部43aと内層部43bとで材質が同じ（鋼）であるので、本発明に含まれるものではないが、Case2乃至Case7は、外層部43aと内層部43bとで異なる材質を設定しているため、本発明に含まれる。さらに、図10乃至図16の解析結果は、いずれも、最適化解析における制約条件を積層ブロックモデル43全体に対して体積制約率20%以下としたものである。また、図10乃至図16において、（a）は最適形状外層部45aと最適形状内層部45bを合わせた残存状態を表示し、（b）は最適形状外層部45aのみを表示したもの、（c）は最適形状内層部45bのみを表示したものである。

[0107] 外層部43aと内層部43bの双方とも同じ材質（鋼）としたCase1の場合

、図10に示すように、最適形状外層部45aが主に残存し、最適形状内層部45bの残存は少ない結果となった。外層部43aのヤング率が高いCase3、Case4、Case6及びCase7においても、図12、図13、図15及び図16に示すように、最適形状外層部45aが主に残存し、Case1と同様の結果となった。これは、ねじり (torsion) や横曲げ (lateral bending) のモードでは、車体モデル31において、内層部43bよりもヤング率の高い外側となる外層部43aの材料を残存させた方が、当該部位の剛性が高くなることに起因する。

[0108] これに対し、内層部43bのヤング率が高いCase2及びCase5においては、図11及び図14に示すように、最適形状内層部45bが残存しやすい傾向にあり、最適形状外層部45aと最適形状内層部45bの双方に材料が残存する最適形状45が得られた。

[0109] 図17及び図18に、積層ブロックモデル43の材質の組合せを変更した各条件での最適化解析により得られた最適形状45の積層複合部材からなるリアクロスメンバを結合した車体モデル31それぞれの剛性向上率の結果を示す。

[0110] 図17及び図18において、横軸の「ねじれ」及び「横曲げ」は、それぞれ図6及び図7に示す荷重条件を与えた場合を表し、「RH」及び「LH」は、各荷重条件における荷重の入力位置（図6及び図7参照）を示すものである。また、横軸の「ねじれ (reverse)」及び「横曲げ(reverse)」の“reverse”は、荷重の各入力位置において荷重の入力する方向を「ねじれ」及び「横曲げ」の荷重条件と対称にしたものである。

[0111] そして、図17及び図18において、縦軸の「剛性向上率」は、最適化解析の対象としたリアクロスメンバを除去した車体モデル31の剛性を基準とした値であり、剛性は、各荷重入力点における変位を入力荷重の値で除すことにより算出した。さらに、図18の縦軸は、算出した剛性向上率を最適化の対象にする部品の重量で除したものである。

[0112] なお、図17及び図18において横軸の荷重条件及び荷重入力点毎の棒グ

ラフは、図中の凡例に示されている各条件（Case1乃至Case7）の順に並べて示したものである（後述する図28及び図29においても同様）。

[0113] 図17に示す結果から、リアクロスメンバを除去した車体モデル31に最適形状45を結合した場合、本実施例の範囲内では、最適形状外層部45aの材質がCFRPであるCase4の剛性向上率が最も高くなったことがわかる。

[0114] これは構造体の最外周に部品レイアウトを取った方が当該構造体の剛性が高くなることと同義であり、ヤング率の高い材料を最外周に配置した方が性能（剛性）が上がるためである。また、このことは、ヤング率の高い材料を最外周にレイアウトさせるためには当該材料の形状を大きくすることになり、その結果、剛性が高くなることも一致する。これに対し、外層部43aの材質にAl合金を用いたCase2においては、本実施例の範囲内では、最も剛性向上率が小さい結果となった。これは、外周部に相当する外層部にヤング率の低い材質を用いたことが原因であると思われる。

[0115] さらに、図18に示す部品重量当たりの剛性向上率を重量効率の観点からみても、最適形状外層部45aの材質を軽量高剛性なCFRPとすることで、重量効率が高い結果が得られた。すなわち、車体のリアクロスメンバに積層複合部材を適用した場合に、元の車体の剛性を維持したまま前記積層複合部材の軽量化をしたときに、CFRPを外層部の材料とした積層複合部材を用いた場合には最も軽量化が達成できることを示唆された。

[0116] さらに、本実施例では、車体モデル31を構成するリアサイドメンバについても積層複合部材でモデル化し、その最適な形状を求める最適化解析を行った。リアサイドメンバについて最適化解析を行なう場合においても、まず、車体モデル31に設計空間を設定した。リアサイドメンバの場合においては、車体モデル31に元々含まれていたリアサイドメンバが接合していたリアバンパ部39を削除し、フロアパネル33に沿った形状の面と、車体長さ方向の先端部が接続するサイドシル37の形状に沿った面と、車体長さ方向の後端部が接続するリアバンパ部39の形状に沿った面と、元々のリアサイドメンバの形状に基づいて定めた面とで囲まれる設計空間とした。

- [0117] そして、該設定した設計空間に、図19乃至図21に示すように、外層部51aと内層部51bとが層状に積層する積層ブロックモデル51を生成した。積層ブロックモデル51は、前述のリアクロスメンバを対象とした積層ブロックモデル43と同様、外層部51aと内層部51bは、それぞれ3層の六面体立体要素を積み重ねるように生成し、外層部51aと内層部51bの厚みは、いずれも5mmとした。また、外層部51aと内層部51bは、それぞれを構成する六面体立体要素の節点を共有させることにより連結した。
- [0118] 積層ブロックモデル51における外層部51aと内層部51bの材料特性、積層ブロックモデル51と車体モデル31との結合、及び、積層ブロックモデル51を結合した車体モデル31における積層ブロックモデル51の最適化解析における解析条件（荷重条件、最適化解析条件）は、上記のリアクロスメンバを対象とした場合と同様とした。
- [0119] ただし、最適化解析における制約条件については、積層ブロックモデル43全体の体積制約率を20%以下とした場合と、積層ブロックモデル51の外層部51aと内層部51bそれぞれ個別に体積制約率を10%以下とした場合の双方について最適化解析を行った。
- [0120] 図22乃至図27に、リアサイドメンバを最適化の解析対象とし、積層ブロックモデル51の外層部51aと内層部51bの材質の組合せを変更して最適化解析を行って得られた最適形状53の解析結果を示す。
- [0121] 図22乃至図25は、最適化解析における制約条件を積層ブロックモデル51全体で体積制約率20%以下とし、積層ブロックモデル51の外層部51aと内層部51bの材質の組合せ（以下、「（外層部の材質）－（内層部の材質）」の形式で表記）を変更したものであり、各図における材質の組合せは、図22は、「鋼－鋼」（Case1）、図23は、「Al合金－鋼」（Case2）、図24は、「CFRP－鋼」（Case4）、図25は、「鋼－CFRP」（Case5）である。
- [0122] また、図26及び図27は、最適化解析における制約条件として、積層ブロックモデル51の外層部51a及び内層部51bのそれぞれに体積制約率1

0%以下を与え、外層部5 1 aと内層部5 1 bの材質の組合せ「(外層部の材質)－(内層部の材質)」として、図2 6は「鋼－鋼」(Case1)、図2 7は「CFRP－鋼」(Case4)としたものである。また、図2 2乃至図2 7において、(a)は最適形状外層部5 3 aと最適形状内層部5 3 bを合わせた残存状態を表示し、(b)は最適形状外層部5 3 aのみを表示したもの、(c)は最適形状内層部5 3 bのみを表示したものである。

[0123] 積層ブロックモデル5 1全体に体積制約率20%以下の制約条件を与えた場合には、リアクロスメンバにおける結果(図1 0乃至図1 6)と同様、外層部5 1 aにヤング率が同じ又は高い材料を用いたCase1及びCase4においては、最適形状外層部5 3 aが主に残存し、内層部5 1 bにヤング率が高い材料を用いたCase2及びCase5においては、最適形状内層部5 3 bの材料が残存しやすい結果が得られた。

[0124] また、積層ブロックモデル5 1の外層部5 1 aと内層部5 1 bのそれぞれに体積制約率10%以下の制約条件を与えた場合、外層部5 1 aのヤング率によらず、制約条件である体積制約率を満たすため、最適形状内層部5 3 bの材料が増加する結果となった。

[0125] 図2 8及び図2 9に、積層ブロックモデル5 1の材質の組合せと制約条件を変更した各条件での最適化解析により得られた最適形状5 3の積層複合部材からなるリアサイドメンバが結合された車体モデル3 1の剛性向上率を示す。

[0126] 図2 8及び図2 9における横軸の「ねじれ」及び「横曲げ」と「RH」及び「LH」、ならびに、縦軸の「剛性向上率」及び「部品重量当たりの剛性向上率」は、いずれも図1 7及び図1 8と同じである。なお、「剛性向上率」は、最適化解析の対象としたリアサイドメンバ(鋼板板厚1.8mm)を除去する前の車体モデル3 1の剛性を基準とした値である。また、図2 8及び図2 9の凡例において、「全体」は、制約条件として積層ブロックモデル5 1全体に対して体積制約率を設定、「各層個別」は、制約条件として積層ブロックモデル5 1の外層部5 1 aと内層部5 1 bのそれぞれに対して体積制約率を設

定したことを表す。

[0127] 図28に示す結果から、リアサイドメンバの代わりに最適化解析により得られた最適形状53を車体モデル31に結合した場合、最適形状外層部53aの材質がCFRPであるCase4の場合における剛性向上率が高くなった。これは最外周にレイアウトを取った方が剛性が高くなることと同義であり、ヤング率の高い材料を最外周に配置した方が性能が上がるためである。また、このことは、ヤング率の高い材料を最外周にレイアウトさせるためには当該材料の形状を大きくすることになり、その結果、剛性が高くなることも一致する。これに対し、最適形状外層部53aの材質がAl合金であるCase2は、今回の実施例の範囲内では最も剛性向上率が小さい結果となった。これは、Al合金のヤング率が低いことが原因と思われる。

[0128] また、Case1（外層部：鋼、内層部：鋼）とCase4（外層部：CFRP、内層部：鋼）とを比較すると、ねじれ荷重を負荷したときの剛性向上率については両者に差が見られるものの、横曲げ荷重を負荷したときの剛性向上率については両者は比較的近い値であった。これは、車体モデル31において、ねじれ荷重は、車体モデル31の図心を中心とした全周（全面）に寄与する一方、横曲げ荷重は、図心及び該図心を中心とした上下面のみに寄与するため、ねじれ荷重の方が剛性向上率に顕著な差が表われやすいと考えられる。

[0129] さらに、制約条件としての体積制約の観点では、外層部と内層部に対して個別に体積制約率を課した場合に比べ、積層ブロックモデル全体に体積制約率を課した方が、剛性向上率は高くなる結果となった。これは、積層ブロックモデル全体に体積制約率を与えるほうが、より効率のよい材料レイアウトを選択、例えば、外層部により多くの材料を残存させることができるためであると考えられる。

[0130] さらに、図29に示す部品重量当たりの剛性向上率を重量効率の観点からみても、前述のリアクロスメンバの結果（図18）と同様、最適形状外層部53aの材質が軽量高剛性なCFRPの場合において重量効率が最も高い結果が得られた。すなわち、前述のリアクロスメンバの場合と同様、車体のリアサ

イドメンバに積層複合部材を適用した場合に、CFRPを外層部の材料とした積層複合部材を用いた場合には最も軽量化が達成できることが示唆された。

[0131] 以上、本発明に係る積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置により、車体の一部に積層複合部材を用いて補剛するに際し、該積層複合部材の最適な形状が得られることが示された。

産業上の利用可能性

[0132] 本発明によれば、車体である構造体の一部に積層複合部材を用いて剛性を向上させるに際し、該積層複合部材の最適な形状を求める積層複合部材の形状最適化解析方法及び形状最適化解析装置を提供することができる。

符号の説明

- [0133]
- 1 形状最適化解析装置
 - 3 表示装置
 - 5 入力装置
 - 7 記憶装置
 - 9 作業用データメモリ
 - 11 演算処理部
 - 13 設計空間設定部
 - 15 積層ブロックモデル生成部
 - 17 結合処理部
 - 19 最適化解析部
 - 21 構造体モデルファイル
 - 31 車体モデル
 - 33 フロアパネル
 - 35 リアサイドメンバ
 - 37 サイドシル
 - 39 リアバンパ部
 - 41 リアクロスメンバの設計空間
 - 43 積層ブロックモデル

- 4 3 a 外層部
- 4 3 b 内層部
- 4 5 最適形状
- 4 5 a 最適形状外層部
- 4 5 b 最適形状内層部
- 5 1 積層ブロックモデル
- 5 1 a 外層部
- 5 1 b 内層部
- 5 3 最適形状
- 5 3 a 最適形状外層部
- 5 3 b 最適形状内層部

請求の範囲

[請求項1]

平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行う積層複合部材の形状最適化解析方法であって、コンピュータが以下の各ステップを行うものであり、

前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を設計空間として設定する設計空間設定ステップと、

該設定した設計空間に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成ステップと、

該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合する結合処理ステップと、

解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析ステップと、

を含むことを特徴とする積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項2]

平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行う積層複合部材の形状最適化解析方法であって、コンピュータが以下の各ステップを行うものであり、

前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を層状に積層する複数の設計空間として設定する設計空間設定ステップと、

該設定した設計空間毎に異なる材料特性を与えて立体要素からなる層状ブロックモデルを生成し、該設計空間毎に生成した層状ブロックモデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成ステップと、

該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルに結合する結合処理ステップと、

解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析ステップと、

を含むことを特徴とする積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項3] 前記積層ブロックモデルは、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層を、剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の節点を共有させて連結してなることを特徴とする請求項1記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項4] 前記積層ブロックモデルは、複数の設計空間毎に生成した立体要素からなる層状ブロックモデルを剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記層状ブロックモデルの節点を共有させて連結してなることを特徴とする請求項2記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項5] 前記積層ブロックモデルは、五面体以上八面体以下であって互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素からなることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項6] 前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分における前記設計空間が設定された周囲の面と平行になる面が最大面積となるように生成することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項7] 前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分の平面要素又は立体要素との結合部に節点を配置し、前記積層ブロックモデルの立体要素として六面体立体要素を用いると共に、前記結合部に配置された節点を含む平面に沿うように立体要素を積み上げるように生成することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項8] 前記最適化解析ステップは、最適化解析において最適化パラメータ

で離散化を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項9] 前記最適化解析ステップは、トポロジー最適化による最適化解析を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析方法。

[請求項10] 平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行う積層複合部材の形状最適化解析装置であって、

前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を設計空間として設定する設計空間設定部と、

該設定した設計空間に、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層が積層した積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成部と、

該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合する結合処理部と、

解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析部と、

を備えたことを特徴とする積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項11] 平面要素、又は平面要素と立体要素からなる車体の構造体モデルの一部分を、積層複合部材でモデル化し、該モデル化した積層複合部材の形状の最適化解析を行う積層複合部材の形状最適化解析装置であって、

前記車体の構造体モデルにおける最適化の対象となる一部分を層状に積層する複数の設計空間として設定する設計空間設定部と、

該設定した設計空間毎に異なる材料特性を与えて立体要素からなる層状ブロックモデルを生成し、該設計空間毎に生成した層状ブロック

モデルを結合して前記立体要素からなる積層ブロックモデルを生成する積層ブロックモデル生成部と、

該生成した積層ブロックモデルを前記車体の構造体モデルの一部分に結合する結合処理部と、

解析条件を入力し、前記積層ブロックモデルを最適化の解析対象として最適化解析を行い、前記積層ブロックモデルの最適な形状を求める最適化解析部と、

を備えたことを特徴とする積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項12] 前記積層ブロックモデルは、立体要素からなり材料特性の異なる複数の層を、剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記複数の層の節点を共有させて連結したものであることを特徴とする請求項10記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項13] 前記積層ブロックモデルは、複数の設計空間毎に生成した立体要素からなる層状ブロックモデルを、剛体要素、梁要素若しくは平面要素を用いて連結、又は、前記層状ブロックモデルの節点を共有させて連結したものであることを特徴とする請求項11記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項14] 前記積層ブロックモデルは、五面体以上八面体以下であって互いに平行な2面を少なくとも一組有する立体要素からなることを特徴とする請求項10乃至13のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項15] 前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分における前記設計空間が設定された周囲の面と平行になる面が最大面積となるように生成することを特徴とする請求項10乃至14のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

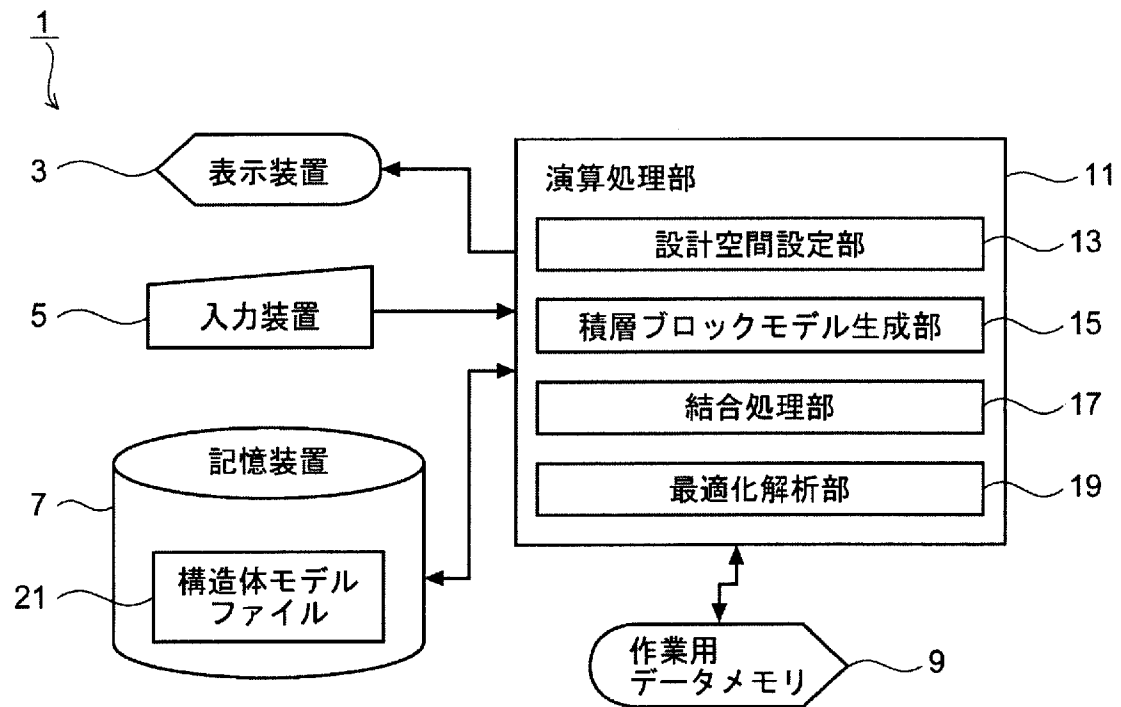
[請求項16] 前記積層ブロックモデルは、前記車体の構造体モデルの一部分の平面要素又は立体要素との結合部に節点を配置し、前記積層ブロックモデルの立体要素として六面体立体要素を用いると共に、前記結合部に

配置された節点を含む平面に沿うように立体要素を積み上げるように生成することを特徴とする請求項 10 乃至 15 のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

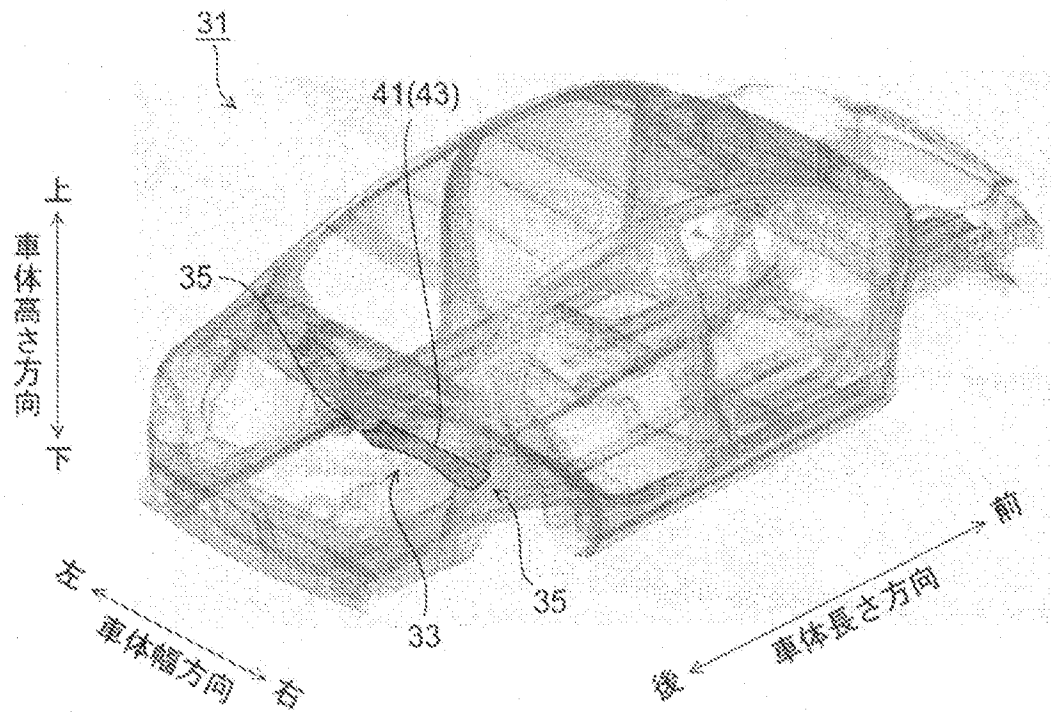
[請求項17] 前記最適化解析部は、最適化解析において最適化パラメータで離散化を行うことを特徴とする請求項 10 乃至 16 のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

[請求項18] 前記最適化解析部は、トポロジー最適化による最適化解析を行うことを特徴とする請求項 10 乃至 17 のいずれか一項に記載の積層複合部材の形状最適化解析装置。

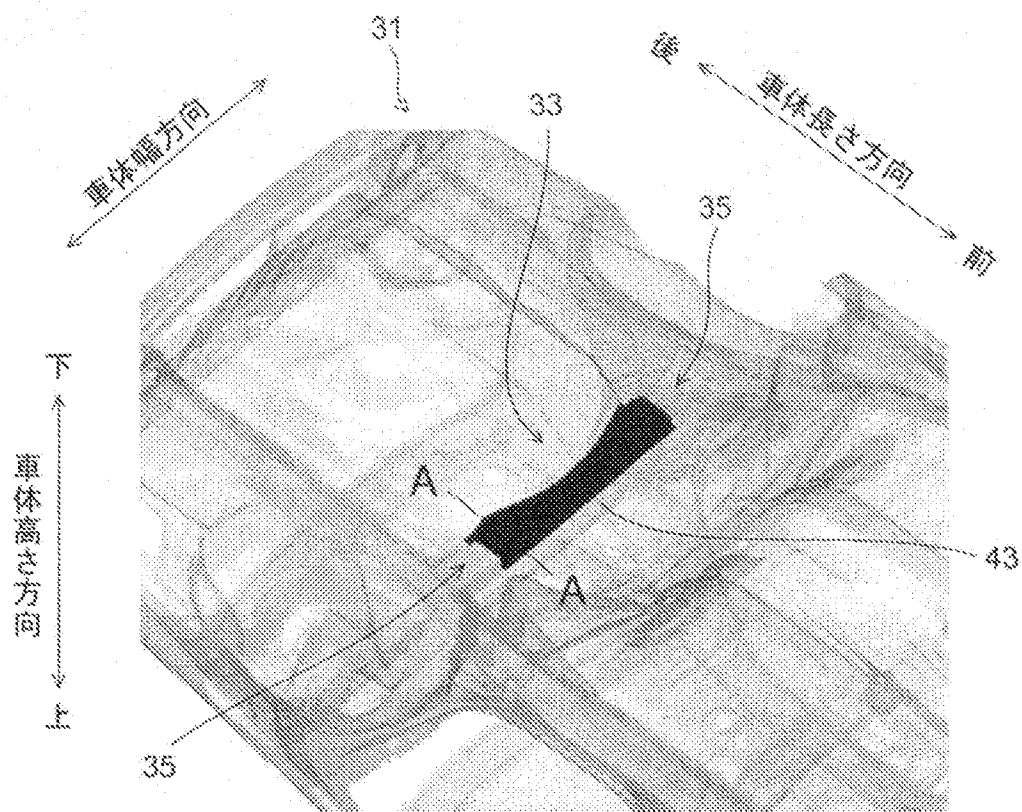
[図1]



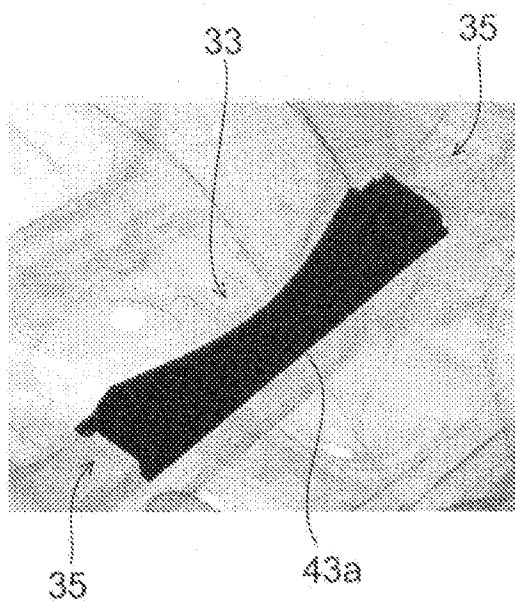
[図2]



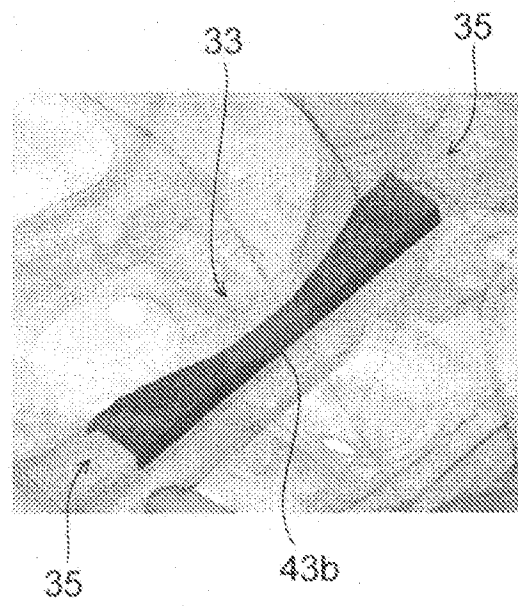
[図3]



[図4]

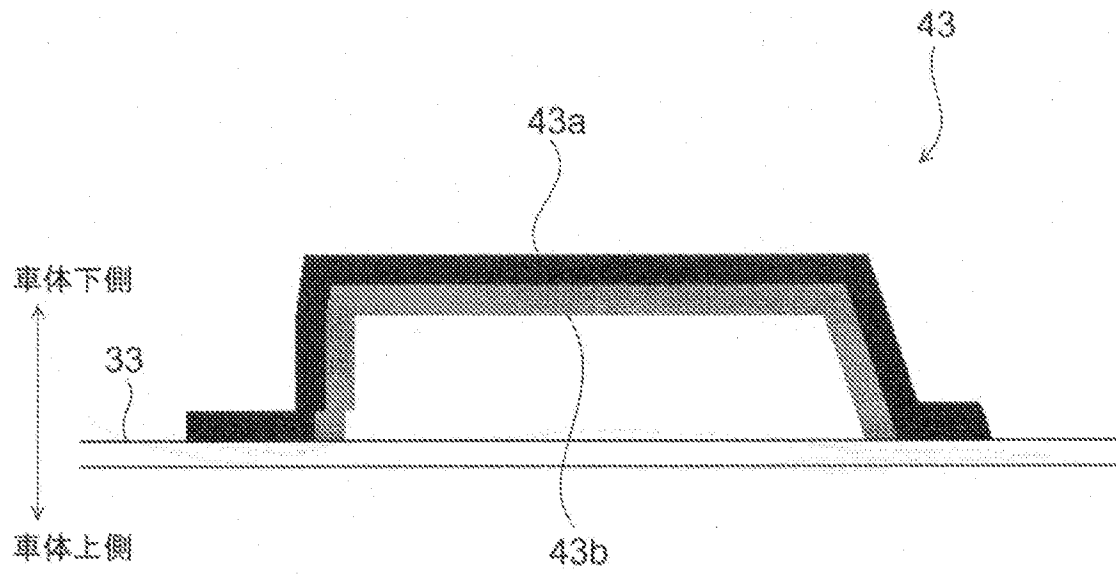


(a) 外層部

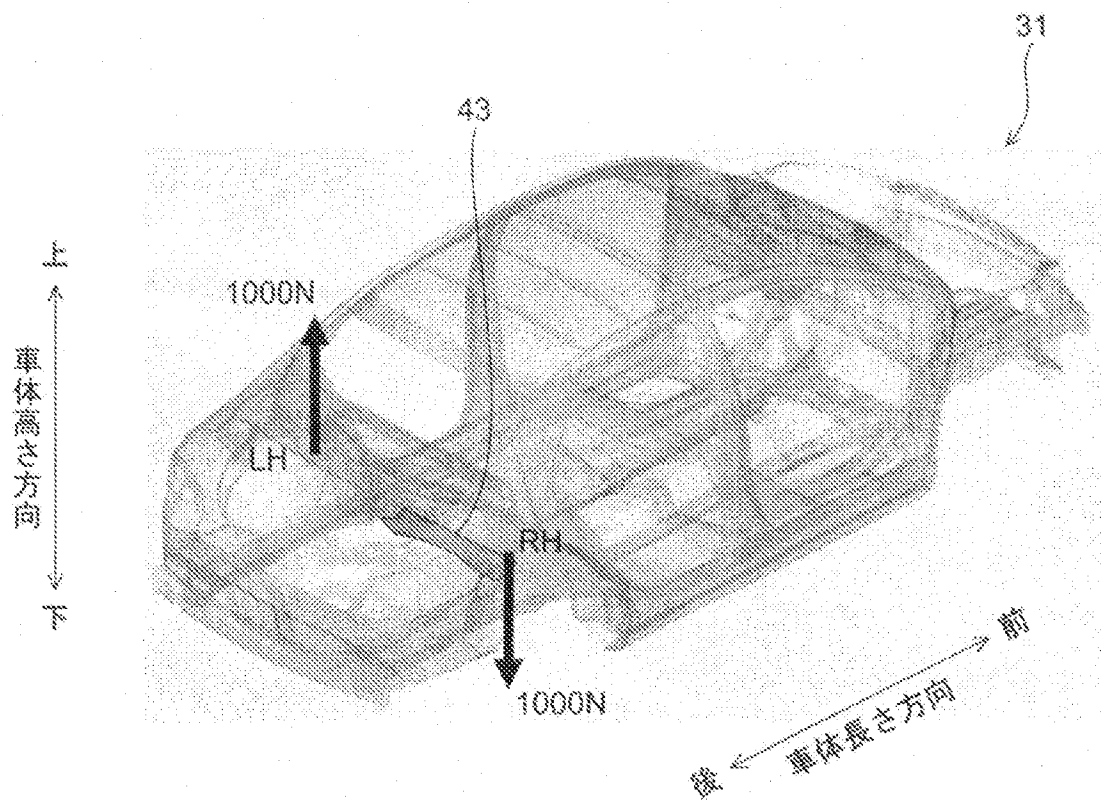


(b) 内層部

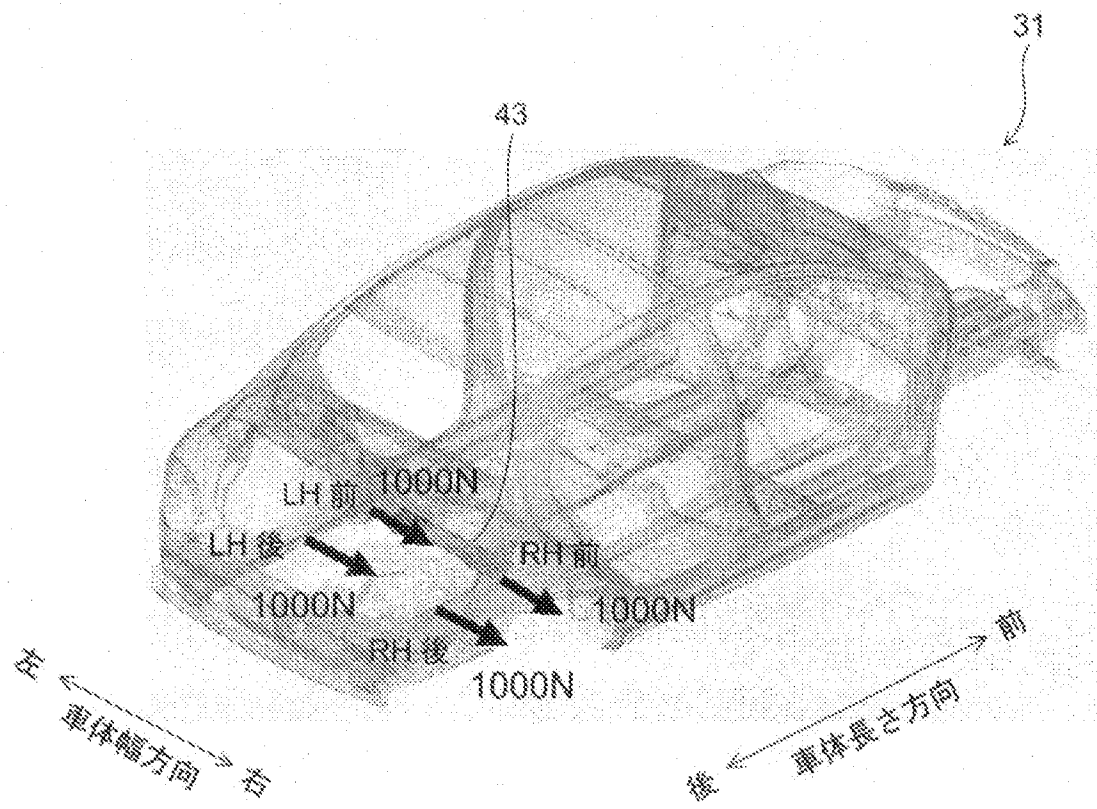
[図5]



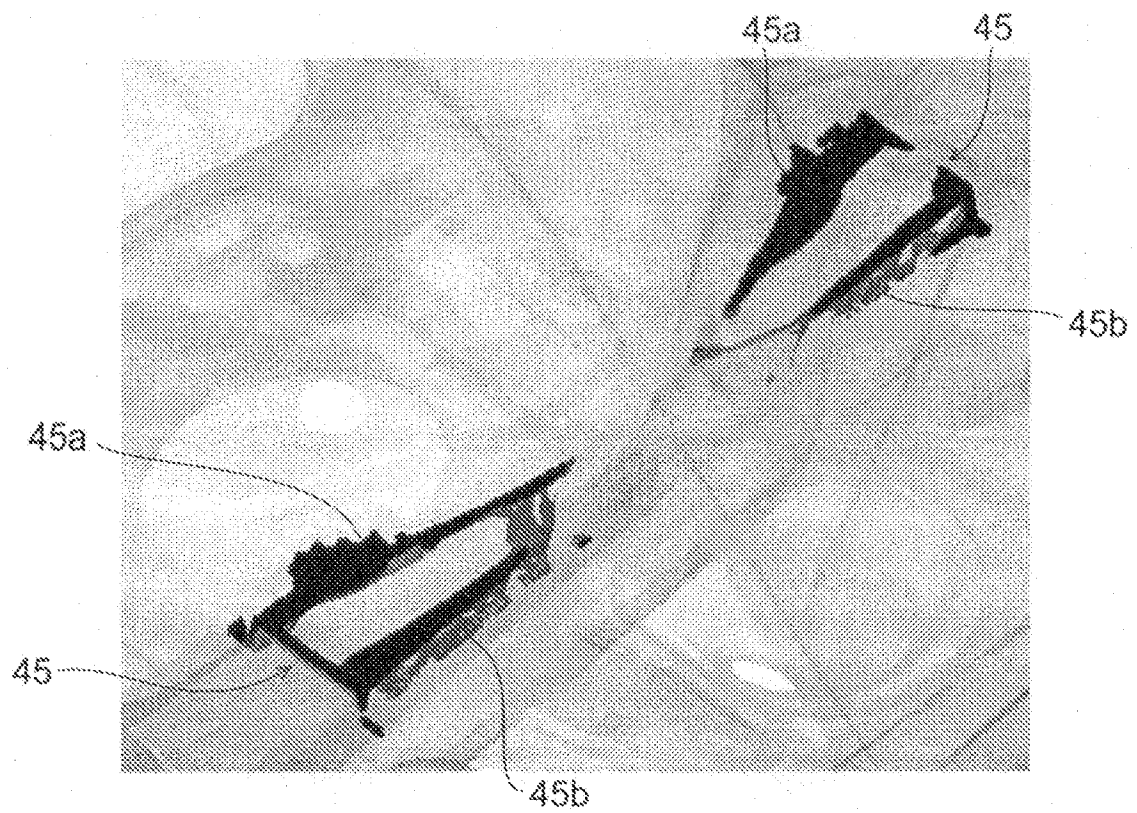
[図6]



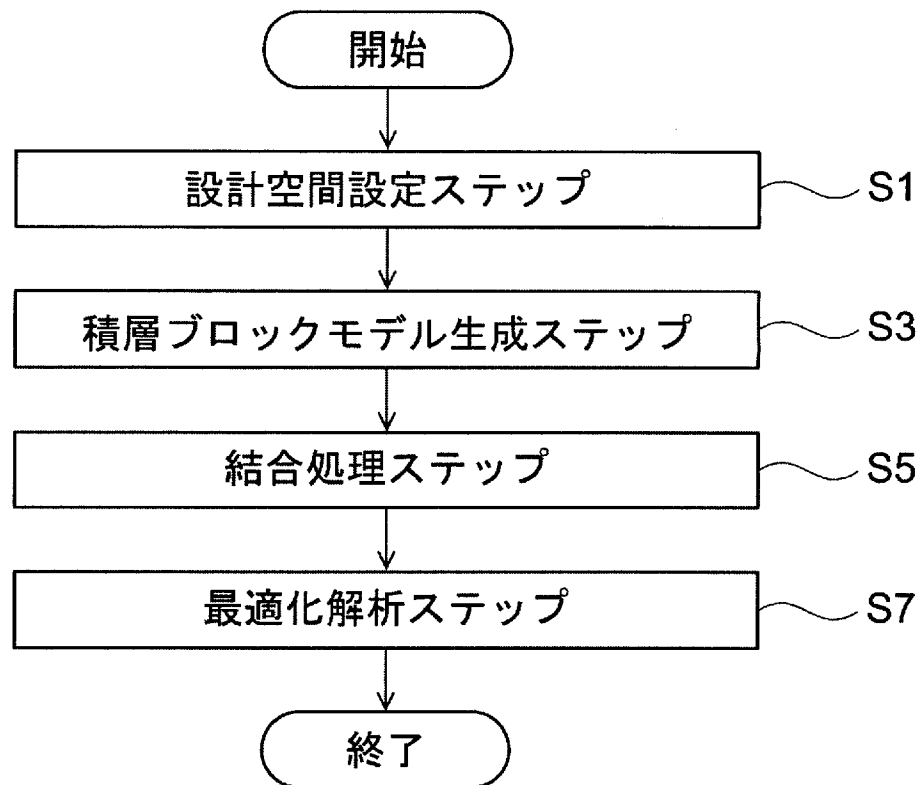
[図7]



[図8]



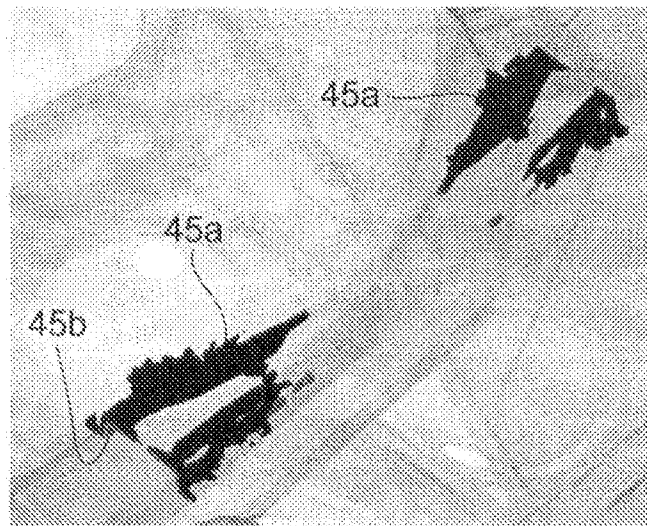
[図9]



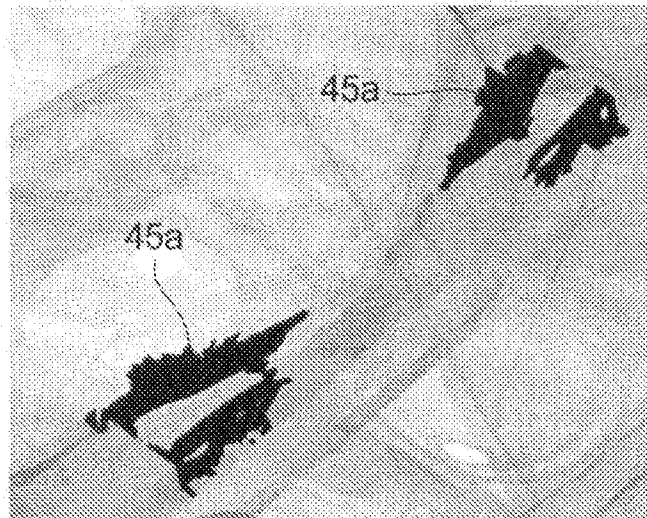
[図10]

Case 1
外層部：鋼
内層部：鋼

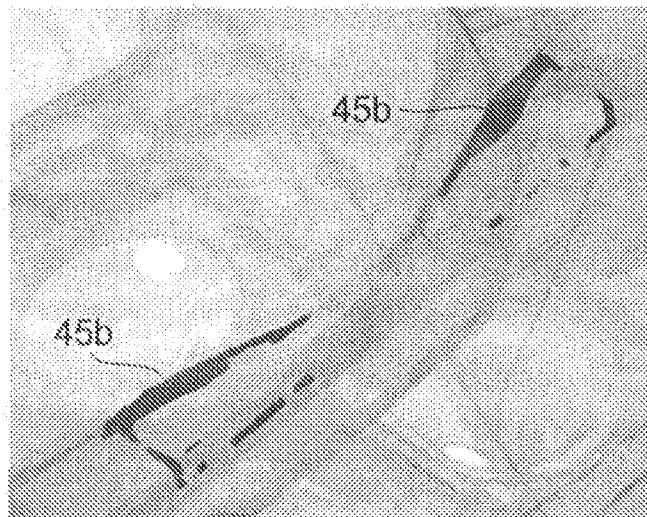
(a)



(b)



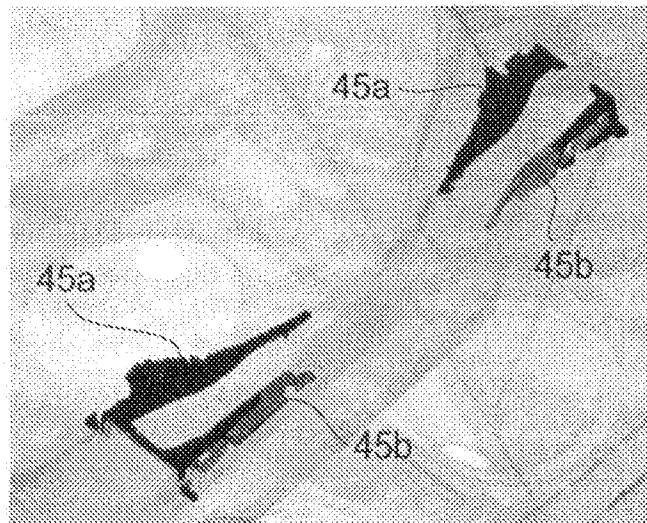
(c)



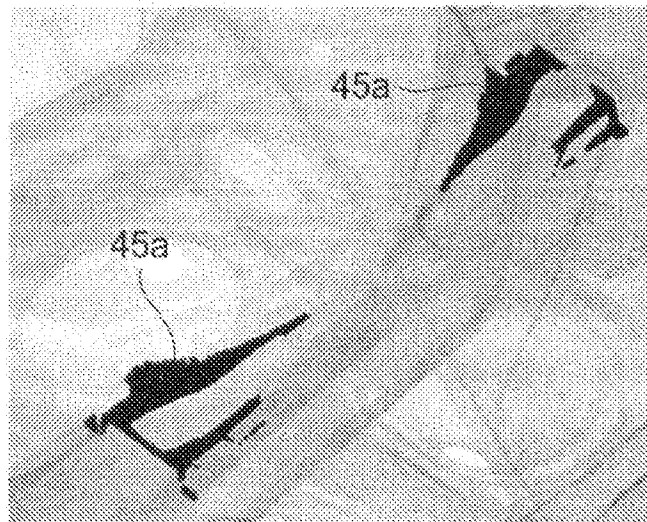
[図11]

Case 2
外層部：Al合金
内層部：鋼

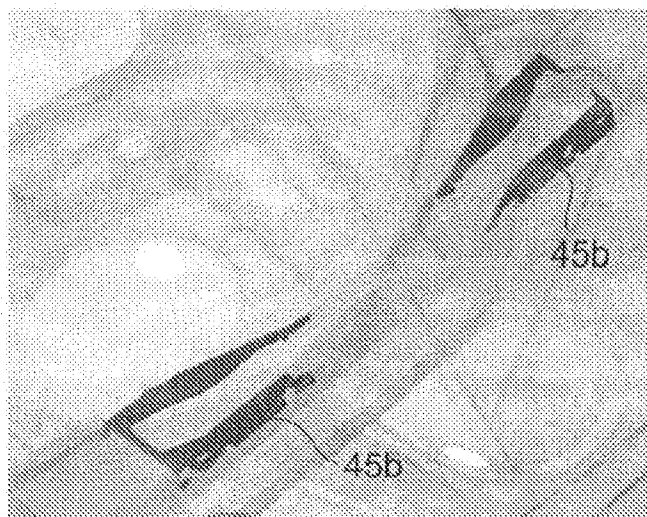
(a)



(b)



(c)



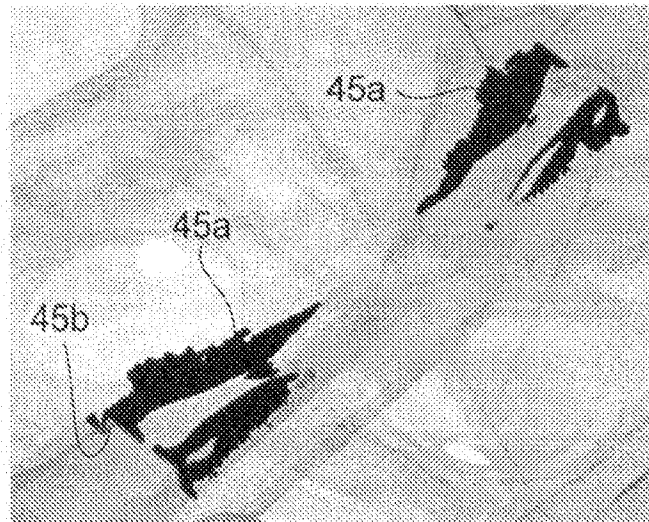
[図12]

Case 3

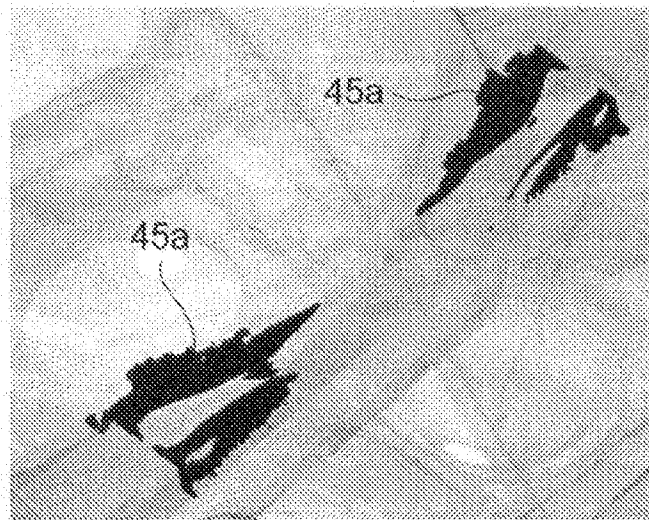
外層部：鋼

内層部：Al合金

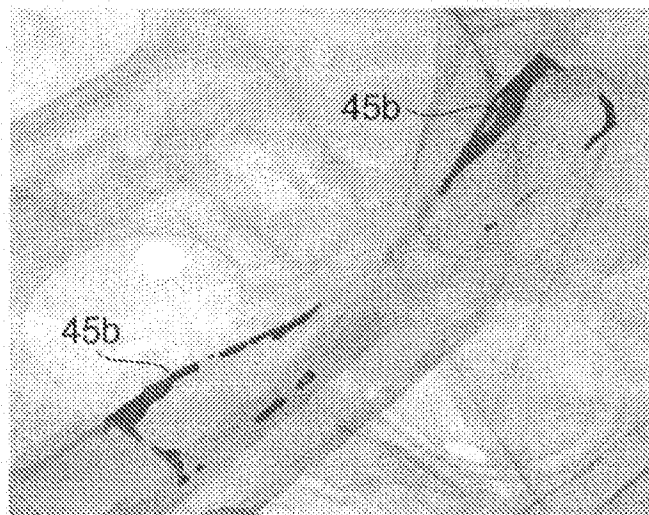
(a)



(b)



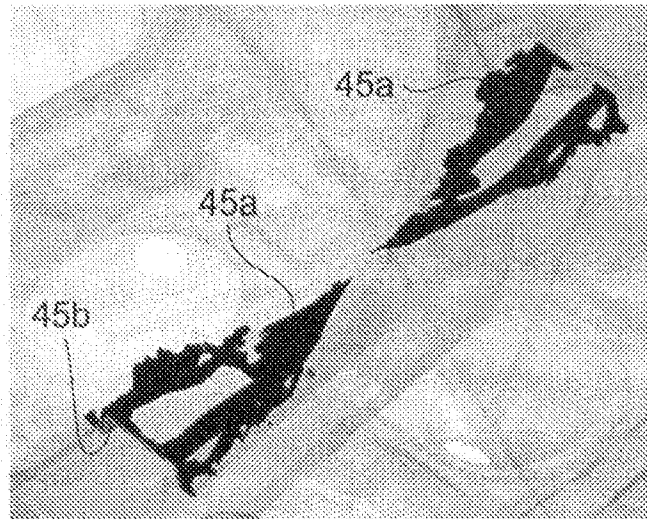
(c)



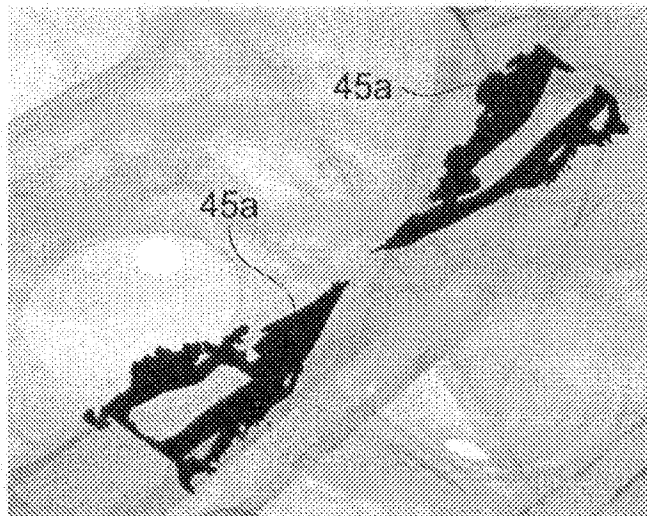
[図13]

Case 4
外層部：CFRP
内層部：鋼

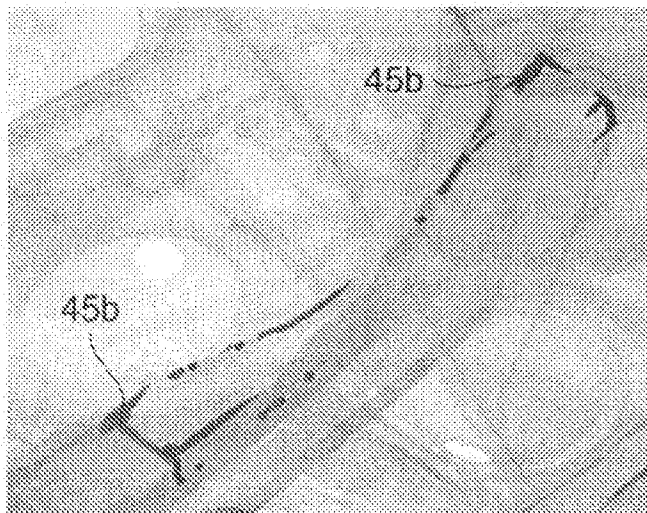
(a)



(b)



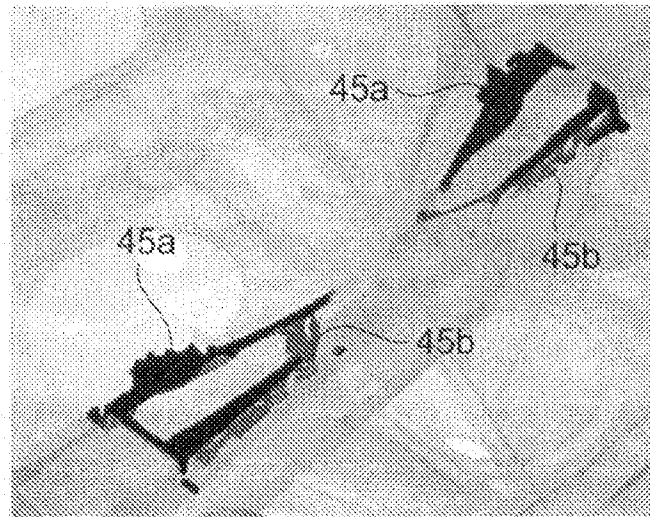
(c)



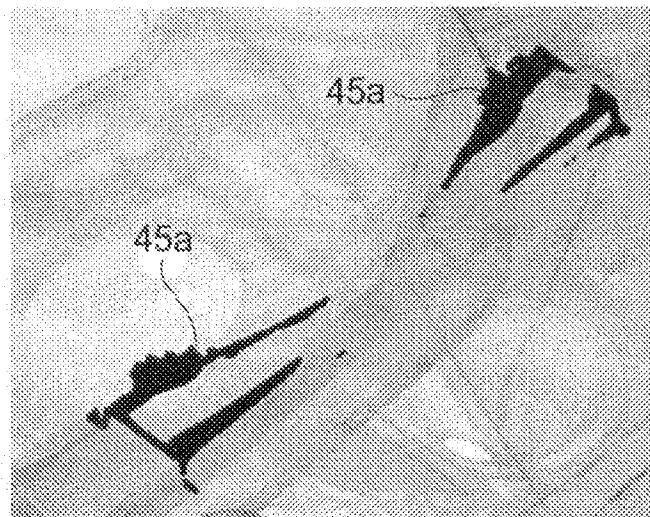
[図14]

Case 5
外層部：鋼
内層部：CFRP

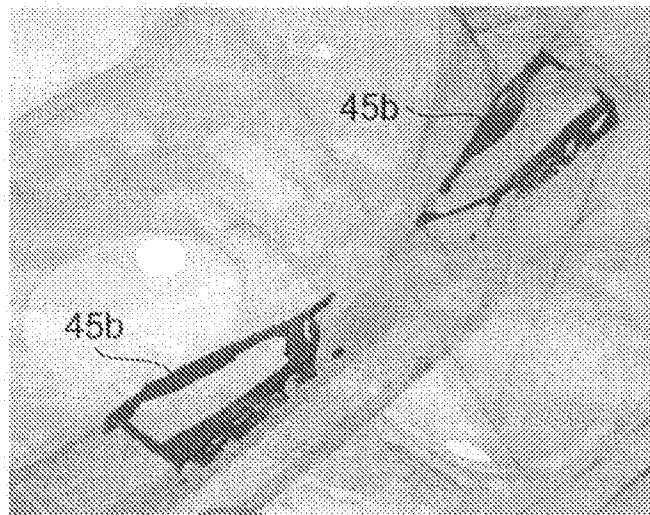
(a)



(b)



(c)



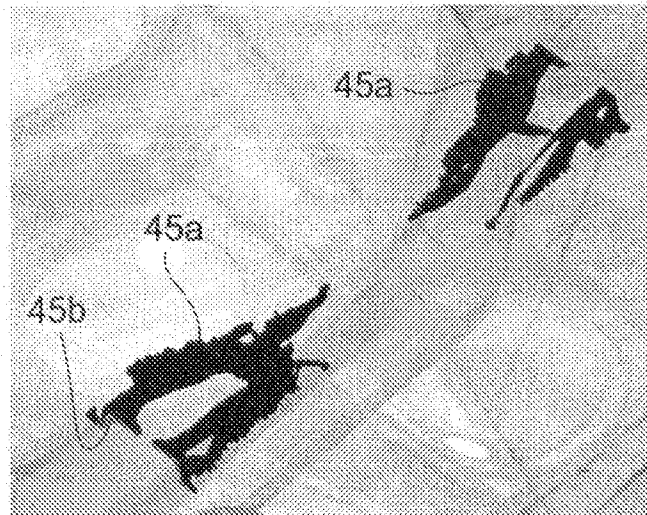
[図15]

Case 6

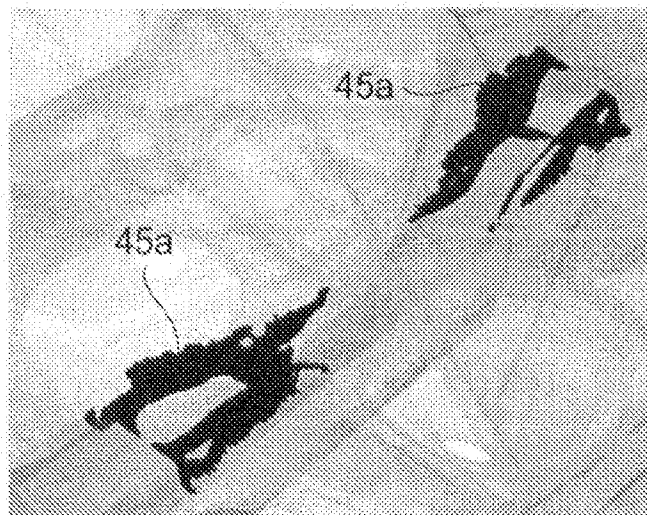
外層部：鋼

内層部：GFRP

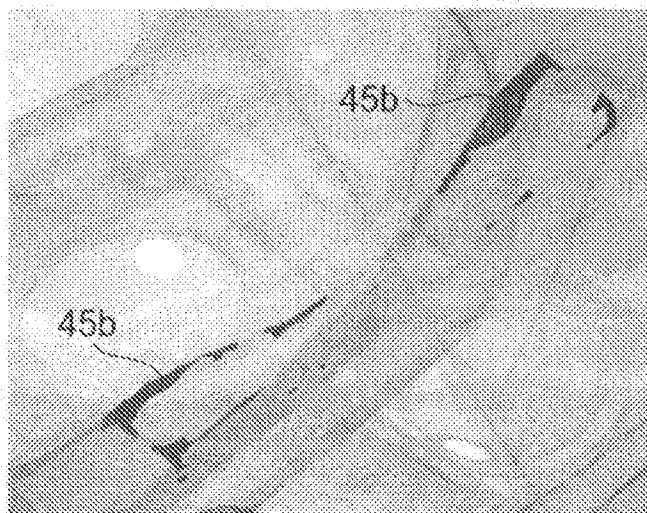
(a)



(b)



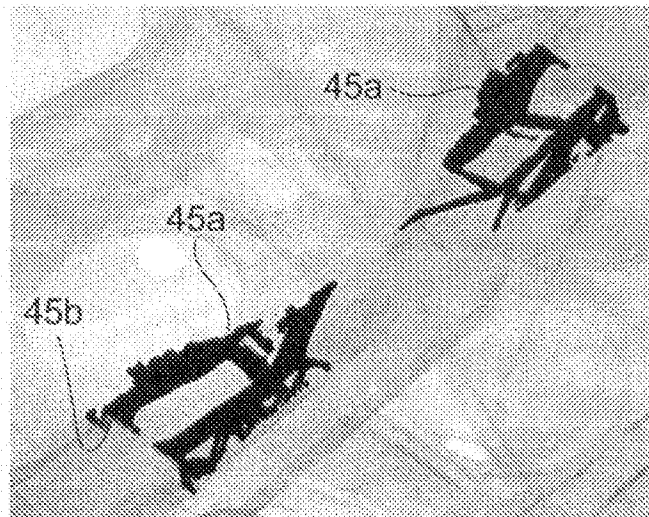
(c)



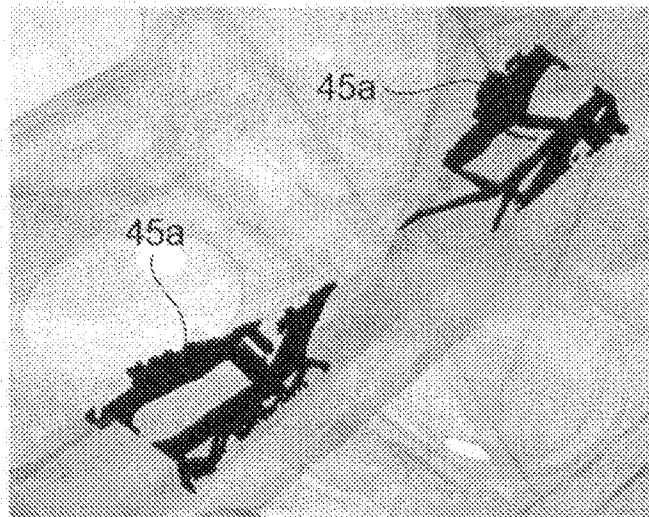
[図16]

Case 7
外層部：鋼
内層部：樹脂

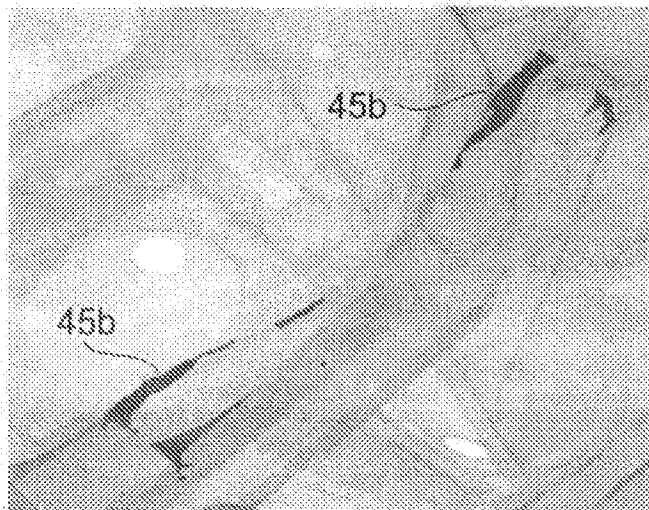
(a)



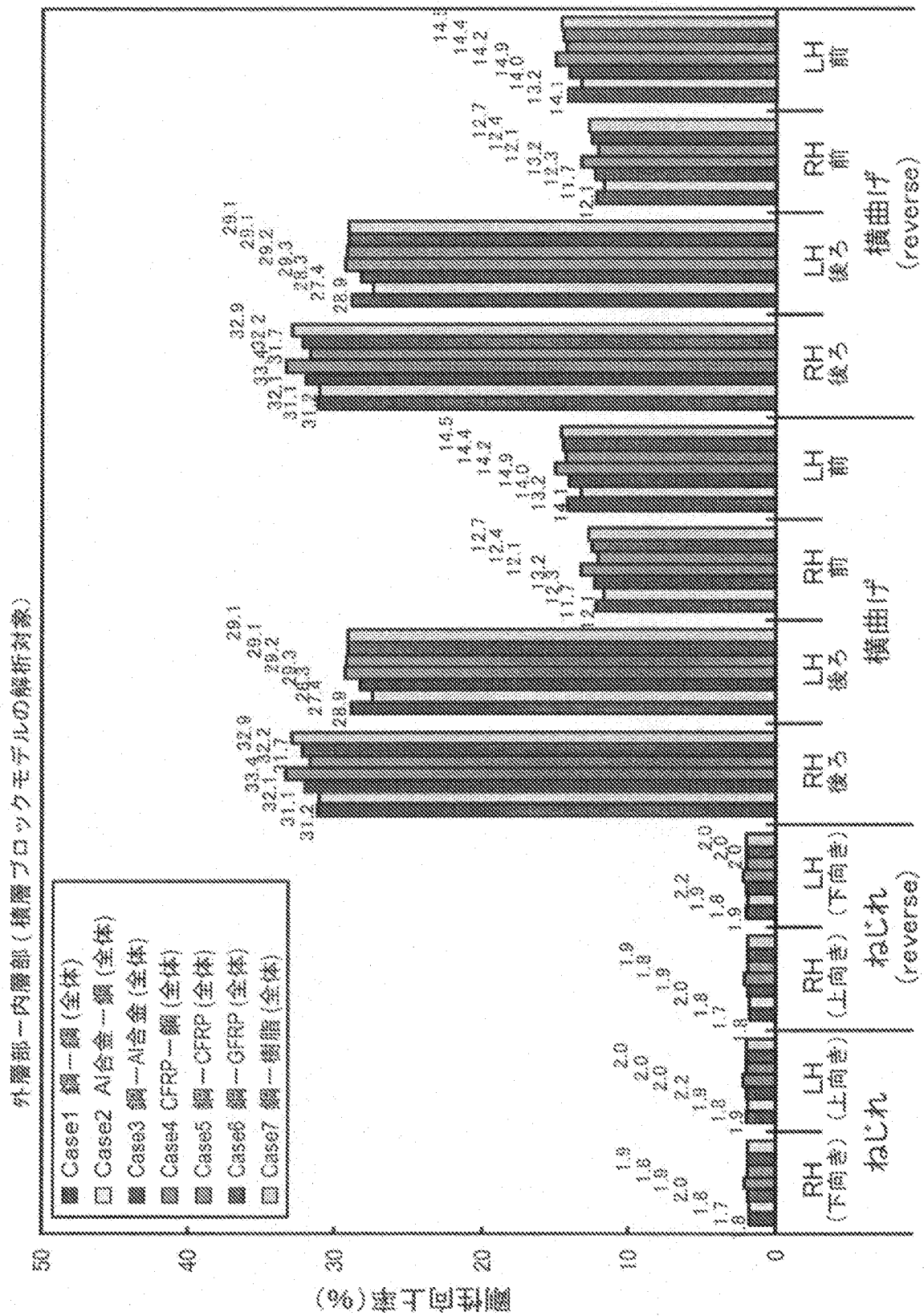
(b)



(c)

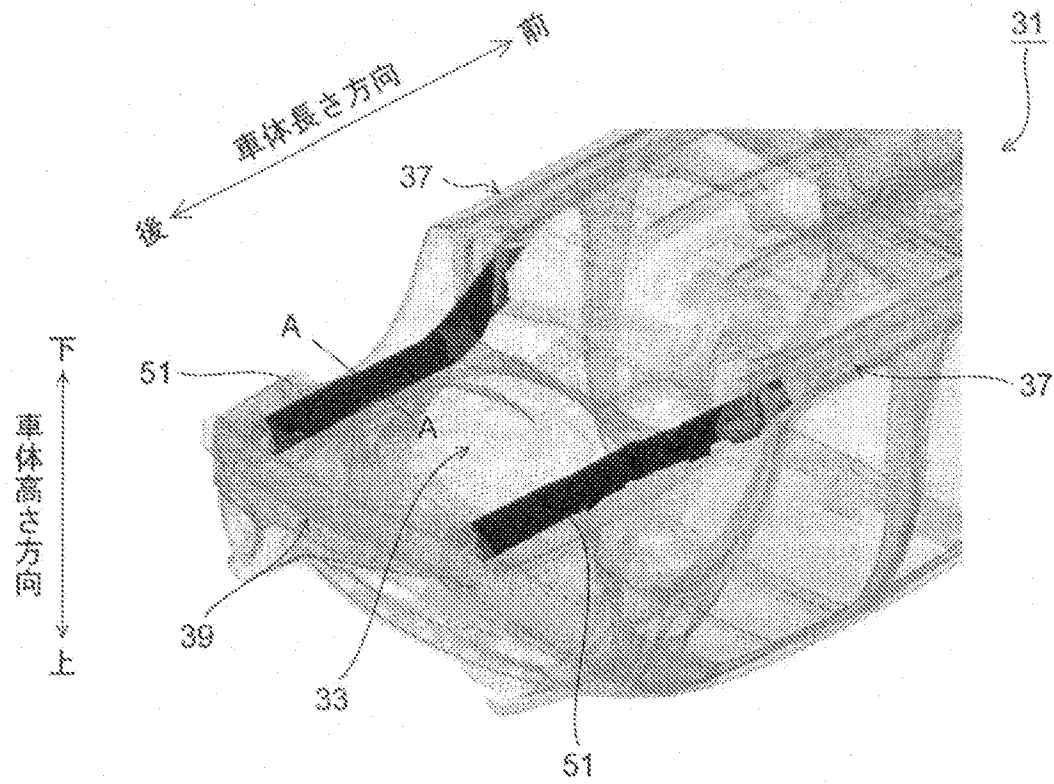


[図17]

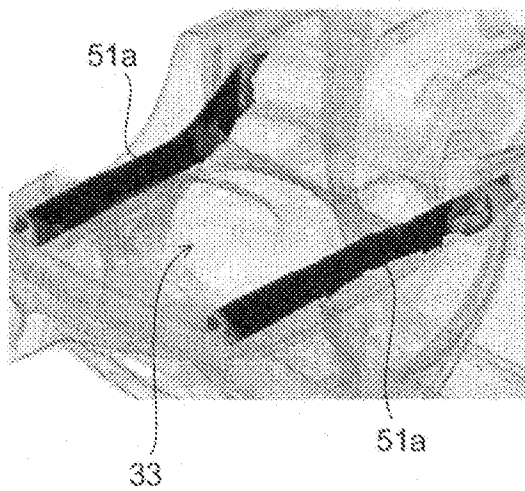




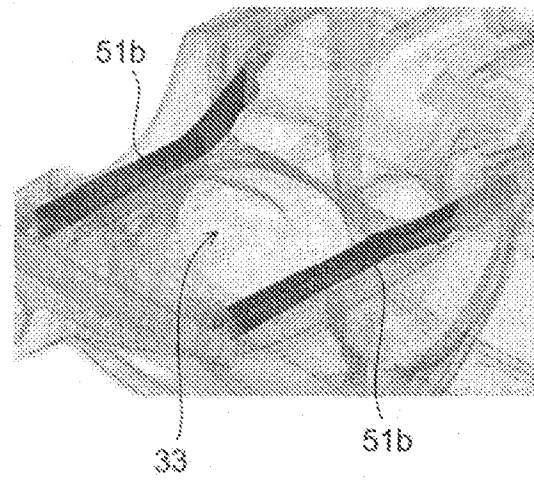
[図19]



[図20]

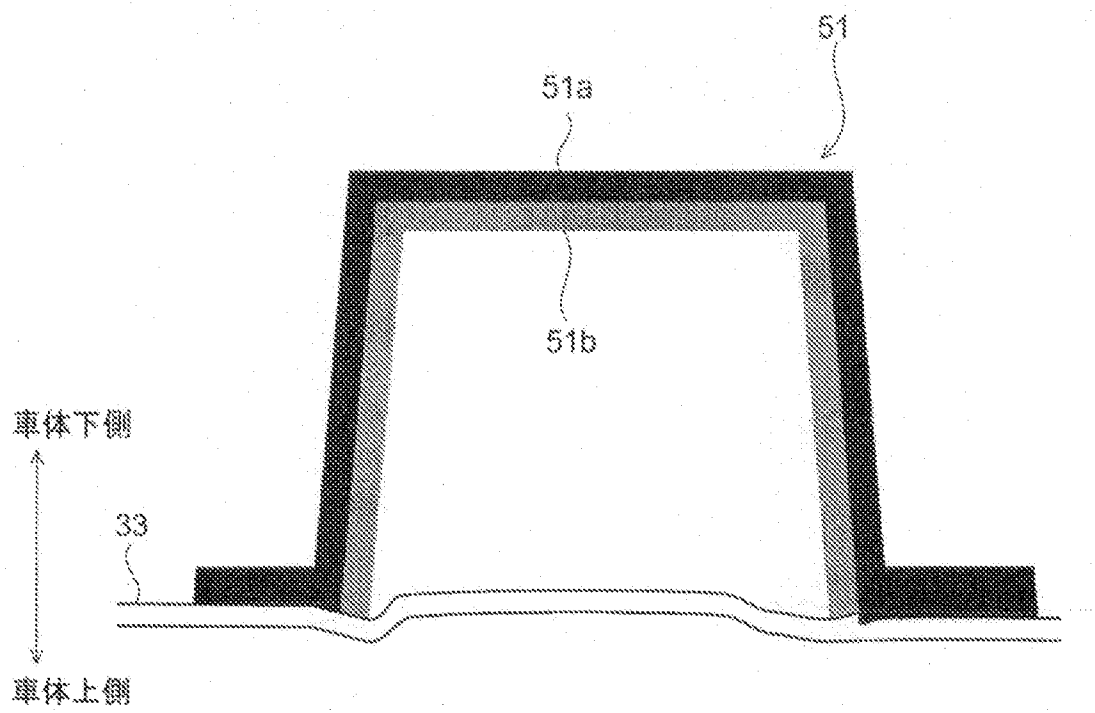


(a) 外層部



(b) 内層部

[図21]



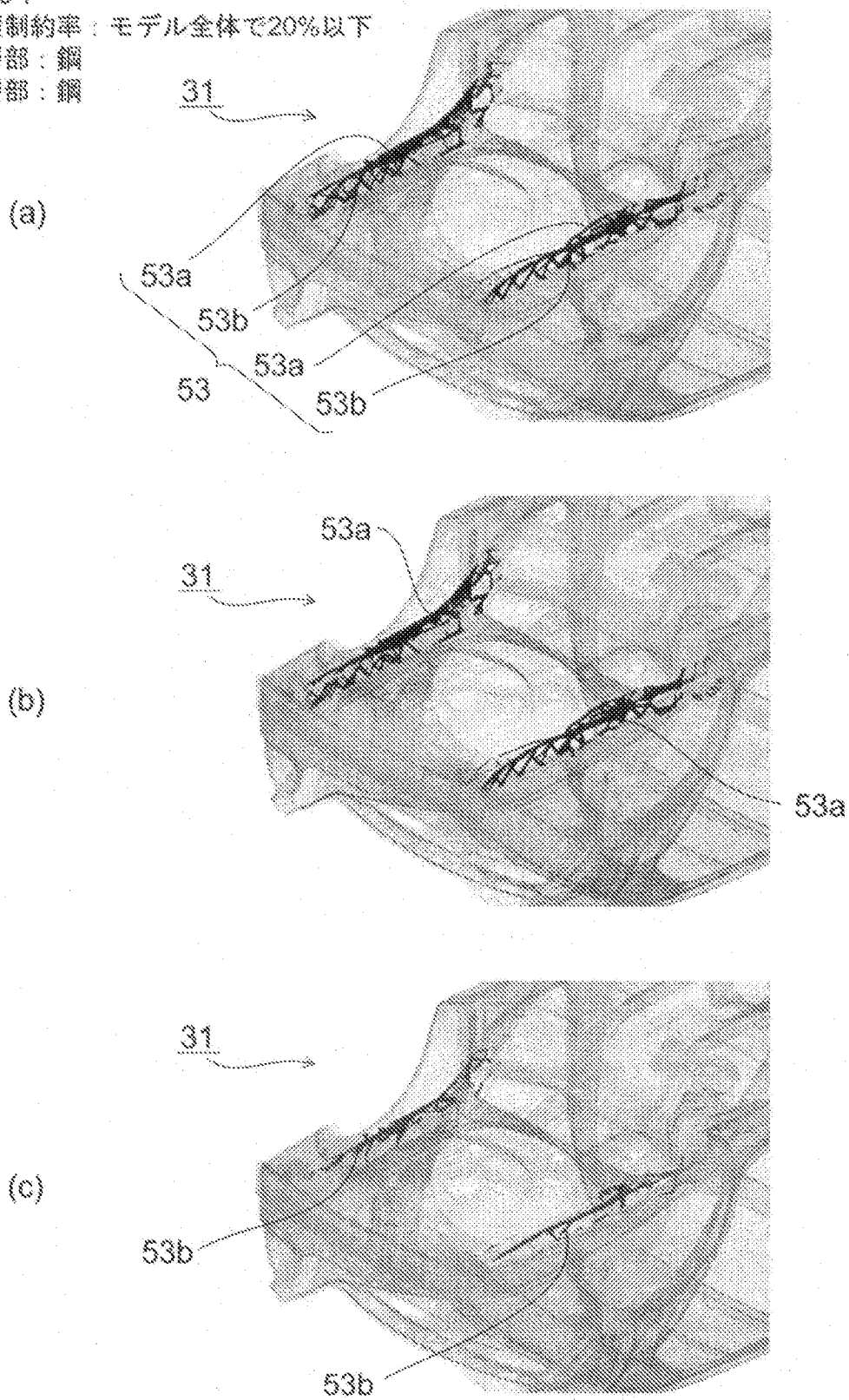
[図22]

Case 1

体積制約率：モデル全体で20%以下

外層部：銅

内層部：銅



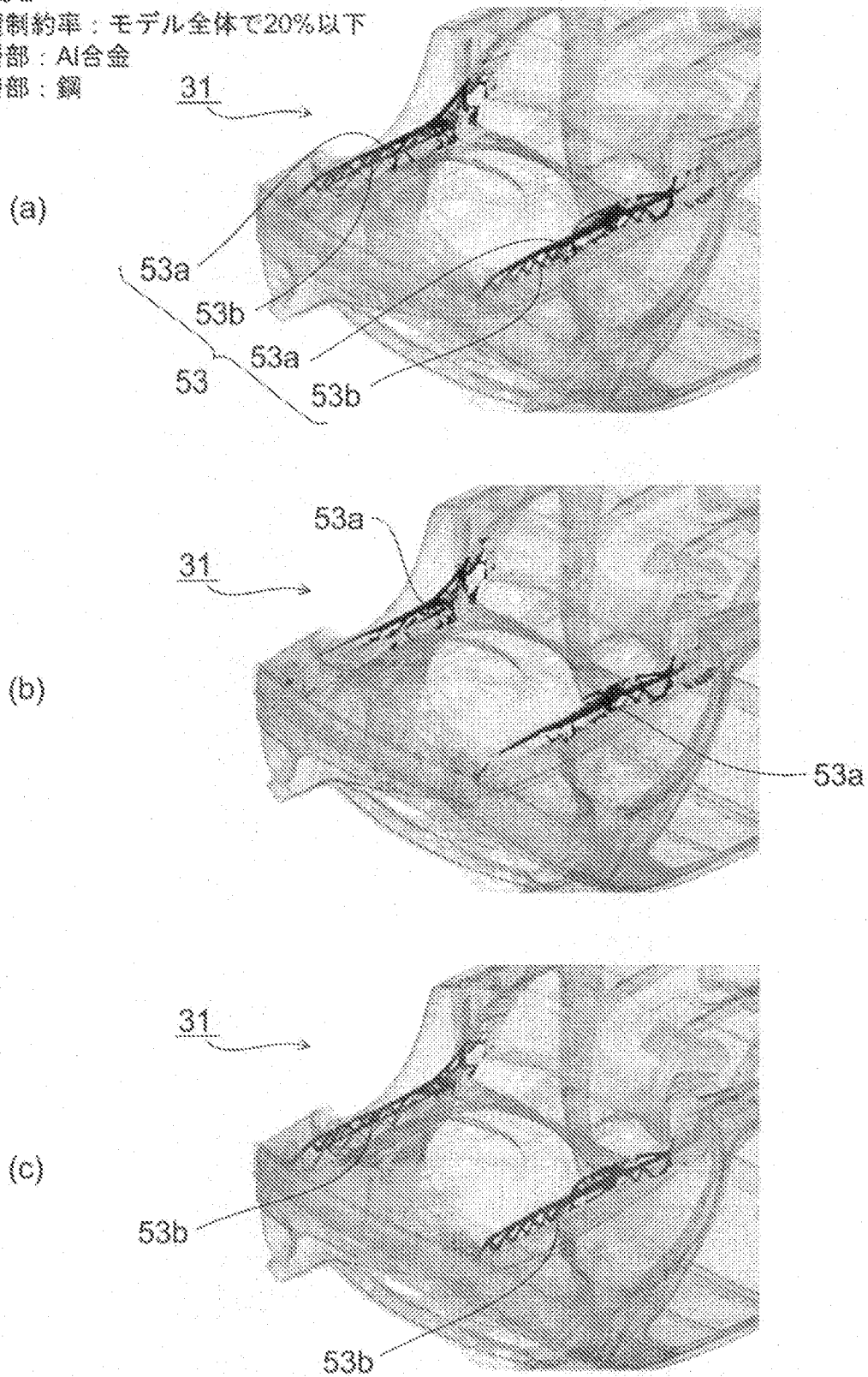
[図23]

Case 2

体積制約率：モデル全体で20%以下

外層部：Al合金

内層部：鋼



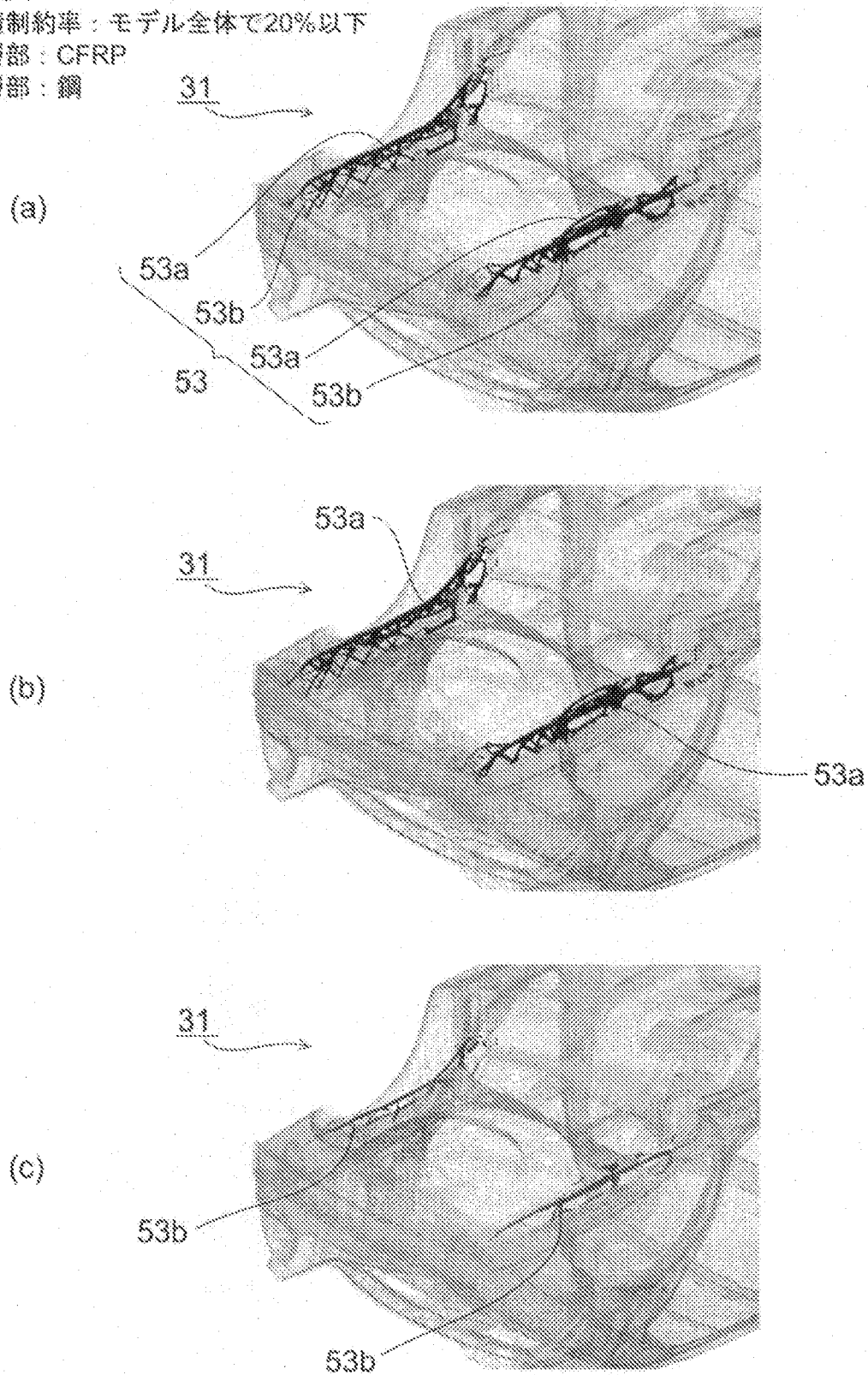
[図24]

Case 4

体積制約率：モデル全体で20%以下

外層部：CFRP

内層部：鋼



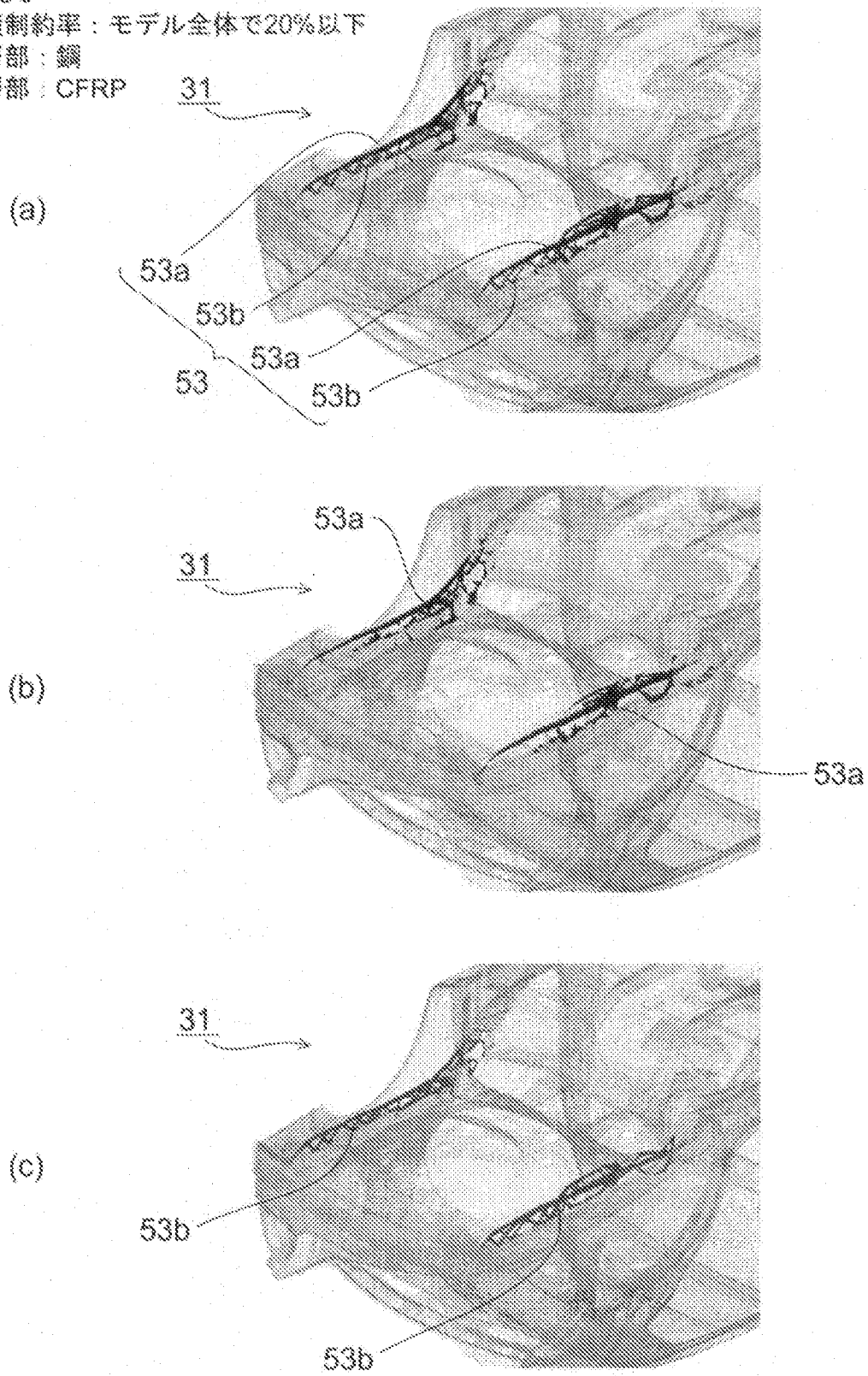
[図25]

Case 5

体積制約率：モデル全体で20%以下

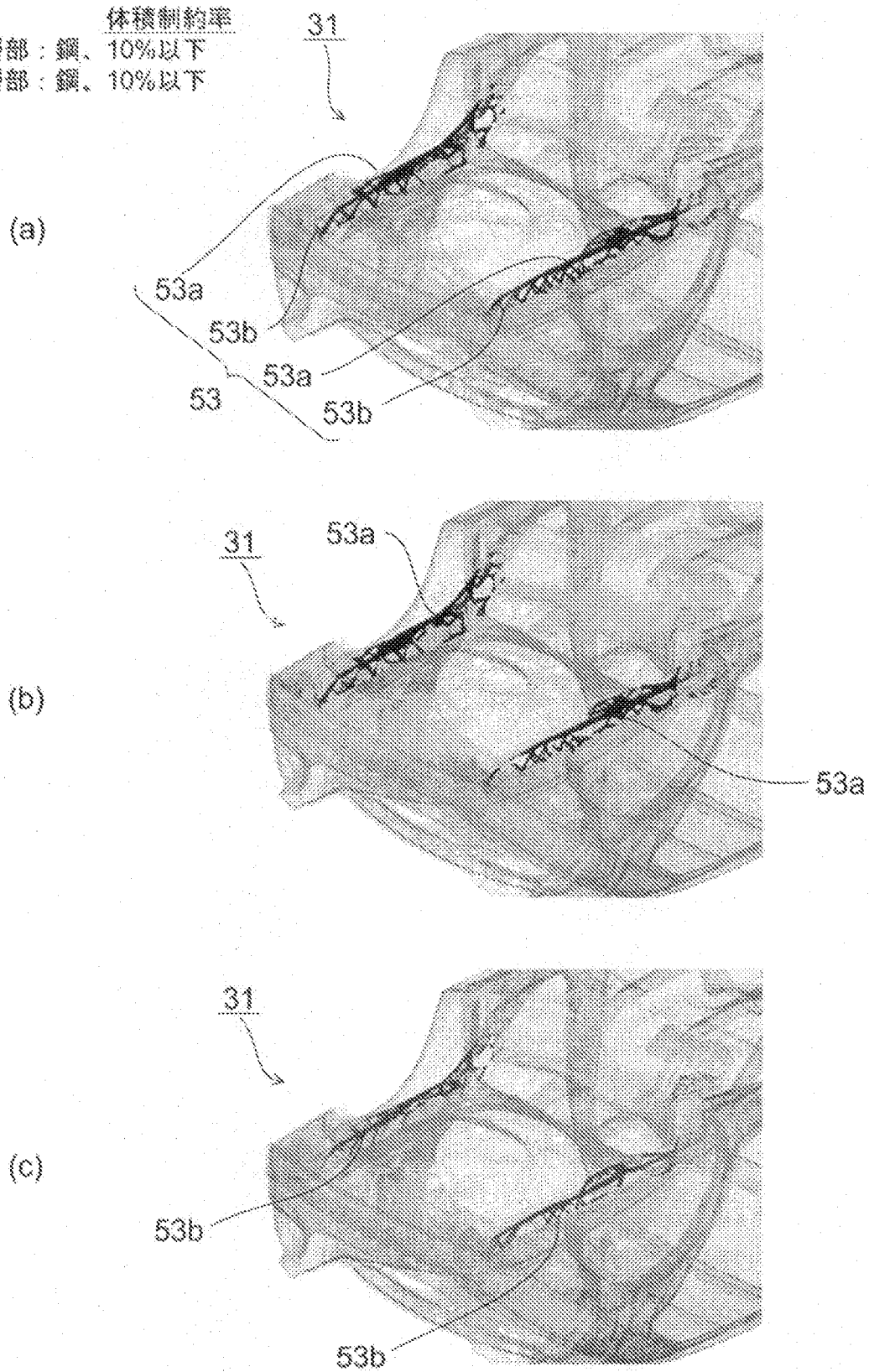
外層部：鋼

内層部：CFRP

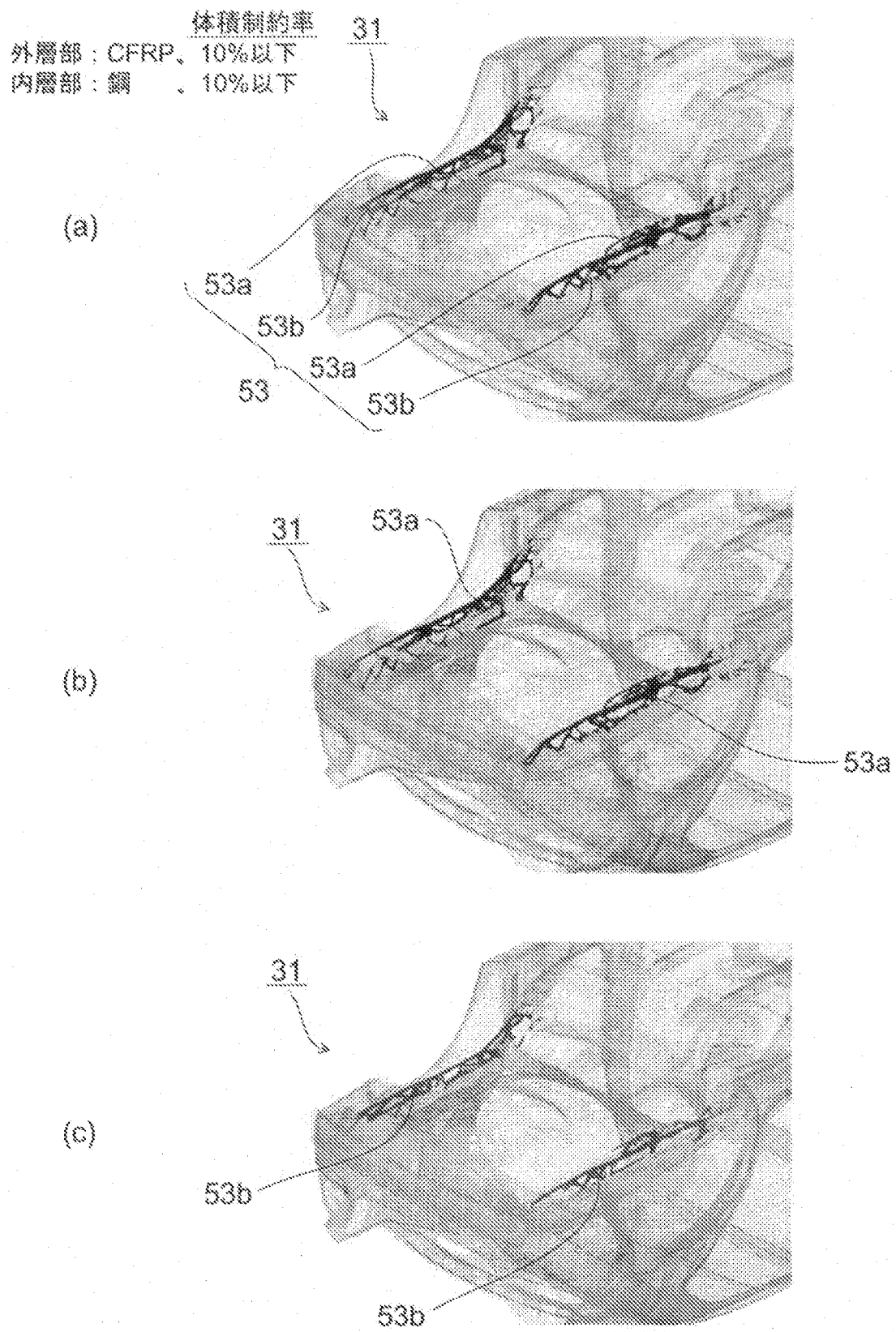


[図26]

体積制約率
外層部：鋼、10%以下
内層部：鋼、10%以下

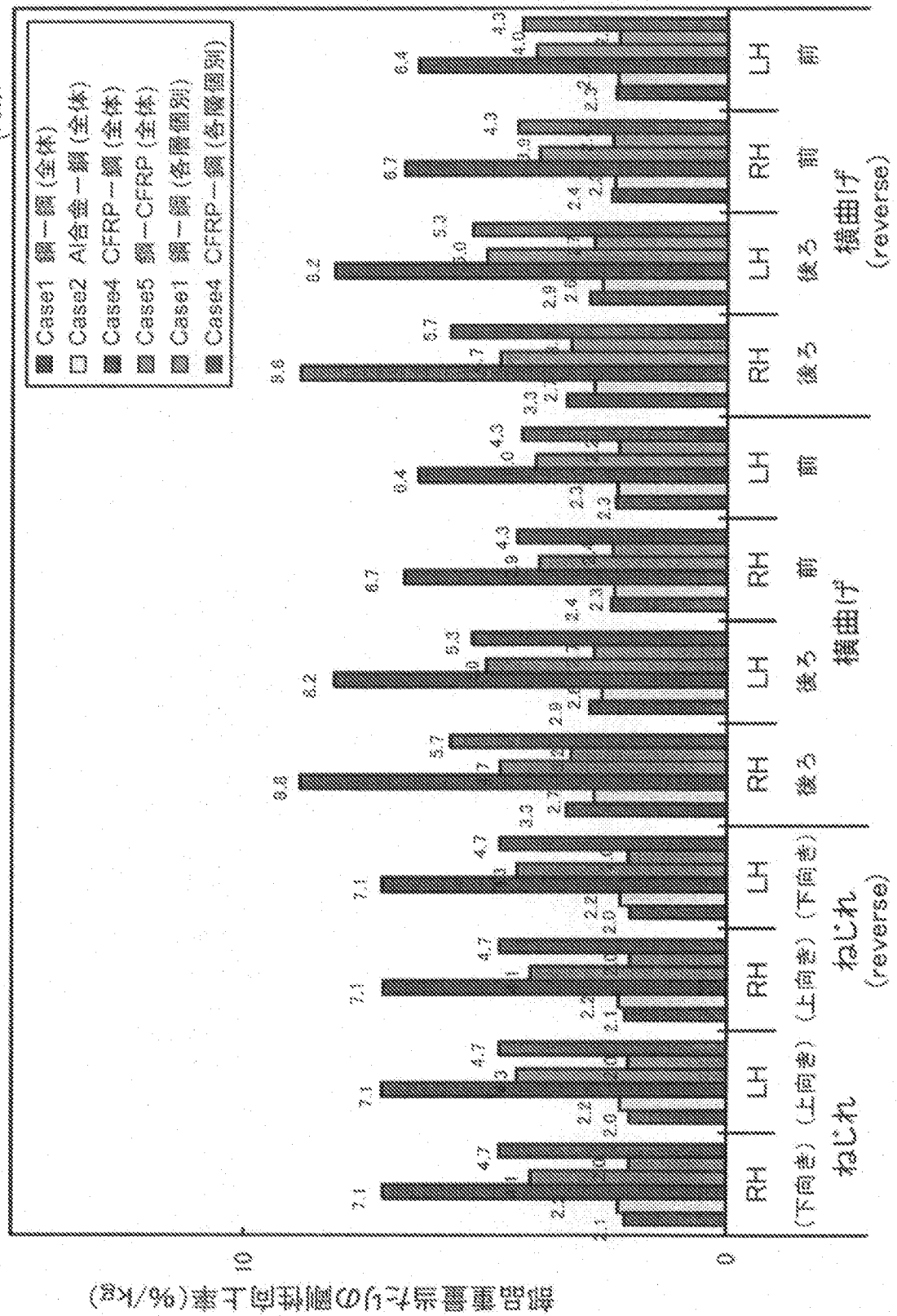


[図27]





外務部……内閣部
模範ブルジョア
ブルジョア的解
模範ブルジョア



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/028379

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G06F17/50 (2006.01) i, B62D65/00 (2006.01) i

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)

Int.Cl. G06F17/50, B62D65/00

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 2017-58907 A (KANAZAWA UNIV) 23 March 2017, paragraphs [0006]-[0016] (Family: none)	1-18
A	JP 2014-149732 A (JFE STEEL CORPORATION) 21 August 2014, abstract & US 2016/0004793 A1, abstract & CN 105027124 A	1-18
A	JP 2017-146673 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 24 August 2017, abstract & WO 2017/141526 A1	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
---	---

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 16.10.2018	Date of mailing of the international search report 23.10.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/50(2006.01)i, B62D65/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/50, B62D65/00

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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）

C. 関連すると認められる文献

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 2017-58907 A（国立大学法人金沢大学）2017.03.23, 【0006】～【0016】（ファミリーなし）	1-18
A	JP 2014-149732 A（JFEスチール株式会社）2014.08.21, 【要約】 & US 2016/0004793 A1, Abstract & CN 105027124 A	1-18
A	JP 2017-146673 A（三菱重工業株式会社）2017.08.24, 【要約】 & WO 2017/141526 A1	1-18

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 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矛盾するものではなく、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

国際調査を完了した日

16.10.2018

国際調査報告の発送日

23.10.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 幸雄

5H

9191

電話番号 03-3581-1101 内線 3531