

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6104607号
(P6104607)

(45) 発行日 平成29年3月29日 (2017.3.29)

(24) 登録日 平成29年3月10日 (2017.3.10)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 F 17/50 (2006.01)

G 0 6 F 17/50 6 1 2 G

G 0 6 F 17/50 6 1 2 C

請求項の数 10 外国語出願 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2013-1461 (P2013-1461)
 (22) 出願日 平成25年1月9日 (2013.1.9)
 (65) 公開番号 特開2013-182614 (P2013-182614A)
 (43) 公開日 平成25年9月12日 (2013.9.12)
 審査請求日 平成28年1月8日 (2016.1.8)
 (31) 優先権主張番号 13/409, 771
 (32) 優先日 平成24年3月1日 (2012.3.1)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500520743
 ザ・ボーイング・カンパニー
 The Boeing Company
 アメリカ合衆国、60606-2016
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイ
 ド・プラザ、100
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義敦
 (72) 発明者 オリヴァリウス, マシュー
 アメリカ合衆国 ワシントン 98208
 , エヴァレット, 97番 プレイス
 サウスイースト 2518

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造解析のためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造コンポーネント (250) を解析する方法であって、
 アクセス制御付きサーバー (12) に
 少なくとも1つの荷重事例 (18、20、22)、
 少なくとも1つの材料許容値 (26)、及び
 静的解析テンプレート (30)、疲労解析テンプレート (32)、損傷許容性解析テ
 ンプレート (34) のうち少なくとも1つを備える、少なくとも1つの解析変数 (104
) を有する解析テンプレート (28)、
 を保存するステップと、
 前記アクセス制御付きサーバー (12) に保存された前記解析テンプレート (28) を
 前記サーバー (12) から遠くにあるインターフェース (50) を使用して実行するステ
 ップと、
 前記サーバー (12) への前記インターフェース (50) を使用して、前記解析変数 (104)
 に少なくとも1つの登録を行うステップと、
 プロセッサベースのアナライザ (100) を使用して、前記荷重事例 (18、20、22) 及び
 前記解析変数 (104) の登録に基づく前記解析テンプレート (28) を使用する
 前記構造コンポーネント (250) の強度解析を実施するステップと、
 前記インターフェース (50) を介して前記テンプレート (28) にアクセスするユー
 ザーによる前記解析テンプレート (28) の改変を防止することにより、所与の構造コン

10

20

ポーネントを解析するために全てのユーザーが同一の又は実質的に同様の解析テンプレートを
使用して構造アセンブリの解析に必要な時間を短縮するステップと
を含む方法。

【請求項 2】

安全マージン (1 3 0) に対応する前記構造コンポーネント (2 5 0) の故障モード (1 3 2) を決定するステップと、

少なくとも 1 つの荷重事例 (1 8 、 2 0 、 2 2) 及び前記安全マージン (1 3 0) に関連する環境を決定するステップと
をさらに含み、

前記解析変数 (1 0 4) に対する登録を行う前記ステップが、

前記構造コンポーネント (2 5 0) の幾何学的パラメータ (3 1 2) を選択することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

材料 (2 4) 及び対応する材料許容値 (2 6) の一覧表を前記サーバー (1 2) に保存するステップと、

前記インターフェース (5 0) を使用して、前記解析変数 (1 0 4) に対する登録として少なくとも 1 つの前記材料 (2 4) を選択するステップと、

オプティマイザ (1 5 0) を使用して、選択された材料の前記材料許容値 (2 6) を使用する前記強度解析を実施するステップと、

前記サーバー (1 2) に複数の荷重事例 (1 8 、 2 0 、 2 2) を保存するステップと、

前記インターフェース (5 0) を使用して、前記強度解析のための前記荷重事例 (1 8 、 2 0 、 2 2) の 1 つを選択するステップと
をさらに含み、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記解析テンプレート (2 8) が、静的解析テンプレート (3 0) 、疲労解析テンプレート (3 2) 、及び損傷許容性解析テンプレート (3 4) を含み、前記アナライザ (1 0 0) を使用して前記強度解析を実施する前記ステップが、

前記静的解析テンプレート (3 0) を使用して前記構造コンポーネント (2 5 0) の静的解析を実施することと、

前記疲労解析テンプレート (3 2) 及び前記損傷許容性解析テンプレート (3 4) を使用して前記構造コンポーネント (2 5 0) の疲労解析を実施すること
のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記インターフェース (5 0) を使用して、最適化のため前記構造コンポーネント (2 5 0) の少なくとも 1 つの設計変数 (1 5 4) を選択するステップであって、前記 1 つの設計変数 (1 5 4) が前記構造コンポーネント (2 5 0) の幾何学的パラメータ (3 1 2) を含み、前記幾何学的パラメータ (3 1 2) が前記構造コンポーネント (2 5 0) の厚みを含むステップと、

前記インターフェース (5 0) を使用して、プロセッサベースのオプティマイザ (1 5 0) に前記構造コンポーネント (2 5 0) の少なくとも 1 つの制約を入力するステップであって、前記制約が安全マージン (1 3 0) に対する最小値を含むステップと、

前記オプティマイザ (1 5 0) を使用して、前記制約が実質的に満たされるまで前記設計変数 (1 5 4) を繰り返し更新することによって、前記設計変数 (1 5 4) の最適化を実施するステップと、

前記オプティマイザ (1 5 0) を使用して、前記設計変数 (1 5 4) の前記最適化に基づいて前記構造コンポーネント (2 5 0) の最適化された幾何形状を決定するステップと
をさらに含み、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記最適化された幾何形状の故障モード (1 3 2) 及び該故障モード (1 3 2) に対応する安全マージン (1 3 0) を決定するステップと、

10

20

30

40

50

少なくとも1つの荷重条件及び前記安全マージン(130)に関連する環境を決定するステップとをさらに含み、

前記構造コンポーネント(250)の前記最適化が、前記構造コンポーネント(250)の静的解析及び疲労解析にそれぞれ基づく静的最適化(170)及び疲労最適化(172)のうちの少なくとも1つを含み、最適化された幾何形状を決定するステップが、

前記構造コンポーネント(250)の少なくとも一部分の最小の厚みを決定することを含む、

請求項5に記載の方法。

【請求項7】

構造コンポーネント(250)を解析するためのプロセッサベースシステムであって、

少なくとも1つの荷重事例(18、20、22)、

少なくとも1つの材料許容値(26)、及び

静的解析テンプレート(30)、疲労解析テンプレート(32)、損傷許容性解析テンプレート(34)のうち少なくとも1つを備える、少なくとも1つの解析変数(104)を有する解析テンプレート(28)

を保存するように構成されているアクセス制御付きサーバー(12)と、

前記サーバー(12)へのインターフェース(50)であって、前記アクセス制御付きサーバー(12)に保存された前記解析テンプレート(28)を実行し、かつ、ユーザーによる前記解析変数(104)への登録を容易にするように構成されているインターフェース(50)と、

前記荷重事例(18、20、22)及び前記解析変数(104)の登録に基づく前記解析テンプレート(28)を使用する前記構造コンポーネント(250)の強度解析を実施するように構成されている構造コンポーネントアナライザ(100)であって、前記材料許容値(26)に基づく前記構造コンポーネント(250)の安全マージン(130)を決定するように構成されている構造コンポーネントアナライザ(100)とを含む、

前記インターフェース(50)を介して前記テンプレート(28)にアクセスするユーザーによる前記解析テンプレート(28)の改変を防止することにより、所与の構造コンポーネントを解析するために全てのユーザーが同一の又は実質的に同様の解析テンプレートを使用して構造アセンブリの解析に必要な時間を短縮するようになっているシステム。

【請求項8】

前記登録が前記構造コンポーネント(250)の幾何学的パラメータ(312)を含み、前記サーバー(12)が複数の前記荷重事例(18、20、22)を保存するように構成されており、且つ

前記強度解析のための荷重事例(18、20、22)の1つの選択を容易にするように前記インターフェース(50)が構成されている

請求項7に記載のシステム。

【請求項9】

前記サーバー(12)が、材料(24)及び対応する材料許容値(26)の一覧表を保存するように構成されており、且つ

前記解析変数(104)への登録として前記材料(24)のうちの少なくとも1つの選択を容易にするように前記インターフェース(50)が構成されている

請求項7又は8に記載のシステム。

【請求項10】

構造コンポーネントオプティマイザ(150)であって、

前記インターフェース(50)が前記オプティマイザ(150)への少なくとも1つの設計変数(154)及び少なくとも1つの制約の登録を容易にするように構成されており、

前記制約が実質的に満たされるまで前記設計変数(154)を繰り返し更新するように構成されている構造コンポーネントオプティマイザ(150)であり、

前記設計変数（１５４）の最適化に基づいて前記構造コンポーネント（２５０）の最適化された幾何形状を決定するように構成されている構造コンポーネントオプティマイザ（１５０）、をさらに含み、

少なくとも１つの設計変数（１５４）が前記構造コンポーネント（２５０）の厚みを含み、且つ少なくとも１つの制約が前記安全マージン（１３０）の最小値を含む

請求項７～９のいずれか一項に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は該して構造設計に関し、より詳しくは構造コンポーネントの強度解析及び最適化に関する。

【背景技術】

【０００２】

航空機設計は典型的には、航空機が運航中に受ける可能性のある一連の荷重を事前に明らかにするステップを含む。このような荷重は、巡航中に航空機の翼又は胴体にかかる定常状態での曲げ荷重などの静的荷重及び航空機の他の部位における定常状態での他の荷重を含みうる。この荷重はまた、航空機が乱気流に遭遇した際に発生することがある翼上での急速載荷及び急速除荷などの疲労荷重、各飛行サイクル時の胴体での加圧荷重の変化、並びに航空機構造物の変動荷重又は繰り返し荷重などを含みうる。航空機の設計中には、構造コンポーネントを区分するため構造物の強度解析中の航空機構造物のモデルに荷重をかけることができる。

【０００３】

航空機設計の従来慣例は典型的に、手作業による強度解析の実施を含む。残念なことに、手作業による強度解析の実施は時間のかかるプロセスである。例えば、設計プロセス中に、航空機の動作環境及び飛行条件（例えば、質量分布、空気力学）がより精確になるにつれて、荷重は訂正されることがある。構造コンポーネントの解析に使用される強度解析方法及び材料許容値はまた、設計プロセスの中で更新されうる。荷重、解析方法、及び／又は材料許容値が改定されるたびに、構造コンポーネントのサイズ変更が必要かどうかを判断するため、強度解析の更新が必要になりうる。言うまでもなく、各構造コンポーネントの強度解析を手作業で更新することは、設計スケジュールに重大な影響を及ぼすことがある。さらには、手作業による強度解析の実施によって、重量が最適化されていない過剰設計の構造物になることがある。

【０００４】

従来設計慣例に関連する上述の欠点は、種々の供給業者によって詳細に設計、製造される個々のサブアセンブリに分割される航空機構造物に対して複合的になることである。例えば、航空機の胴体は幾つかの円筒部分に分割されることがある。各円筒部分は異なる供給業者に割り当てられて、円筒部分の詳細設計及び製造が行われる。各円筒部分は、各客室ドア周囲の構造物などの共通機能を共有することがあるが、各供給業者は、局所的な詳細の解析及び客室ドア周囲構造物の設計に関しては、独自の強度解析方法を有することがある。供給業者の解析方法の違いによって、種々の円筒部分で共通機能の詳細設計に矛盾が生ずることがある。このような矛盾によって一部の円筒部分が過剰設計になり、胴体の重量が過剰になることが起こりうる。

【０００５】

商用航空機などの複雑な構造物では、設計プロセスには数千種類の構造コンポーネントの解析を行う数百人の強度解析者が関与することがある。従来慣例では、各解析者は自身の独自の解析方法又はテンプレートを使用して、幾つかの構造コンポーネントの強度解析を実施することがある。数千個の構造コンポーネントの解析に多数の解析テンプレートを使用することにより、実質的に同様な構造コンポーネントに関して安全マージンが大きく食い違うなど、解析結果に重大な矛盾が生ずることがある。大量の構造コンポーネントからなる複雑な構造物では、このような矛盾の累積効果によって、不必要に重量が過剰な構

10

20

30

40

50

造物になることがありうる。加えて、多数の強度解析の検証及び認証は、個々の解析者が使用する種々の解析テンプレート間の差異によって、きわめて煩雑で時間を要するプロセスとなることがある。

【 0 0 0 6 】

以上から理解されるように、構造物の強度解析の実施に要する時間を低減するためのシステム及び方法に関する技術のニーズが存在する。加えて、構造物の重量を最小化する強度解析を実施するためのシステム及び方法に関する技術のニーズも存在する。さらに、種々の供給業者によって設計及び製造される構造物に対する強度解析方法の一貫性又は再現性を改善するためのシステム及び方法に関する技術のニーズも存在する。このようなシステム及び方法は費用効率の高い方法で実施されることが好ましい。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 7 】

構造物の強度解析に関連する上述のニーズは、事前に定義され制御された強度解析テンプレート及び材料許容値を使用するアクセス制御付きのサーバー上に、構造コンポーネントを解析するシステム及び方法を提供する本発明によって、具体的に対処される。このシステム及び方法によって、複数のユーザーが、アクセス制御付きのサーバーを介して、大量の強度解析テンプレートを幾つかの高度に制御されたテンプレートに絞り込むことによって、一貫性の高い方法で構造コンポーネントを解析することができる。加えて、このシステムは、各構造コンポーネントに対して、強度解析出力及び最適化出力を生成することができる。解析出力及び最適化出力は、解析検証プロセスを簡略化しうる、自動化された方法で標準的なフォーマットによって生成することができる。

【 0 0 0 8 】

例えば、このシステムは、安全マージンを含み、故障モードに対応し、環境データに関連した強度解析結果を生成することが可能で、構造アセンブリの各構造コンポーネントに対して、安全マージンは一貫性があり再現性が高い。加えて、このシステムは、構造コンポーネントの解析及び最適化に要する時間を大幅に短縮することができる。強度解析出力及び最適化出力は、構造の妥当性及び設計機能に関する応力解析者及び/又は設計エンジニアによる検討が行われなければならない。このシステムの利用者は解析に対して責任を負い、説明を行うことができる。有利には、このシステムによって、構造コンポーネントを過剰に慎重な構成することを回避し、代わりに重量の最適化を高めた構造コンポーネントと重量の最適化を高めた構造アセンブリを提供することができる。このシステムはまた、従来の設計慣例で使用されていた多数の異なる強度解析テンプレートを、本発明のシステムで実装されている幾つかの高度に制御された解析テンプレートに減らすことによって、強度解析レポートの監査及び認証に関わる時間と費用を低減することもできる。

【 0 0 0 9 】

一実施形態では、この方法は、アクセス制御付きのサーバー上に、少なくとも1つの材料許容値、構造コンポーネントに対する少なくとも1つの荷重事例、及び少なくとも1つの解析変数を有する少なくとも1つの解析テンプレートを保存するステップを含むことができる。この方法はさらに、サーバーへのインターフェースを使用して解析変数に対する少なくとも1つを登録するステップを含むことができる。サーバーへのインターフェースは、サーバーと通信可能に結合されて遠隔地に配置されることがあるコンピュータ又は他のデバイスによって、表示又は提供されることがある。この方法は、解析テンプレートを利用して荷重事例及び解析変数への登録に基づく構造コンポーネントの強度解析を、プロセッサベースの構造コンポーネントアナライザを使用して実施することをさらに含む。この方法は追加的に、材料許容値に基づく構造コンポーネントの安全マージンを、アナライザを使用して決定することを含む。解析変数に対する登録ごとにアナライザが構造コンポーネントの安全マージンに対して一貫性のある値を決定するため、インターフェースを使用して解析テンプレートを改変することはできない。

【 0 0 1 0 】

さらなる実施形態では、構造コンポーネントの解析及び最適化のための方法が開示され

る。この方法は、アクセス制御付きのサーバー上に、構造コンポーネント用の複数の材料許容値、構造コンポーネントに対する複数の荷重事例、及び各々が少なくとも1つの変数を有する複数の解析テンプレートを保存するステップを含む。この方法はさらに、サーバーへのインターフェースを使用して解析変数に対する少なくとも1つを登録するステップを含みうる。この方法は、一又は複数の解析テンプレートを利用して少なくとも1つの荷重事例及び解析変数への少なくとも1つの登録に基づく構造コンポーネントの強度解析を、構造コンポーネントアナライザを使用して実施することをさらに含みうる。

【0011】

この方法は追加的に、材料許容値に基づく構造コンポーネントの安全マージンを、構造コンポーネントアナライザを使用して決定することを含みうる。この方法は、構造コンポーネントの最適化のために構造コンポーネントの少なくとも1つの設計変数を、インターフェースを使用して選択することをさらに含むことがある。構造コンポーネントの少なくとも1つの制約が、インターフェースを使用して構造コンポーネント最適化に入力されることがある。この方法は、制約が実質的に満たされるまで設計変数が繰り返し更新されることによって設計変数の最適化を実施すること、並びに設計変数の最適化に基づいて構造コンポーネントの最適化された幾何形状を、最適化を使用して決定することをさらに含む。

【0012】

また、アクセス制御付きサーバー、サーバーへのインターフェース、及び構造コンポーネントアナライザを含む構造コンポーネントの解析システムが開示されている。サーバーは、構造コンポーネントに対する少なくとも1つの荷重、少なくとも1つの材料許容値、及び少なくとも1つの解析変数を有する少なくとも1つの解析テンプレートのうちの少なくとも1つを保存するように構成されうる。インターフェースは、解析変数に対して少なくとも1つを登録することを容易にするように構成されてもよい。構造コンポーネントアナライザは、荷重事例及び解析変数への登録に基づく解析テンプレートを利用して、構造コンポーネントの強度解析を実施するように構成されてもよい。構造コンポーネントアナライザは、材料許容値に基づく構造コンポーネントの安全マージンを決定することができる。解析変数に対する登録ごとにアナライザが構造コンポーネントの安全マージンに対して一貫性のある値を決定するため、インターフェースを使用して解析テンプレートを改変することはできない。

【0013】

特徴、機能および利点は、本開示のさまざまな実施形態において独立して達成可能であり、または、以下の説明および図面を参照してさらなる詳細が理解可能であるさらに他の実施形態において組み合わせられてもよい。

【0014】

本発明のこれらの特徴及び他の特徴は、全体を通して同等の部品に同等の数字が与えられる図面を参照することで、より明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】構造コンポーネント解析用のプロセッサベースシステムであって、ネットワークを介してアクセス制御付きサーバーに通信可能に結合されている一又は複数のインターフェースを含むシステムの実施形態の概略図である。

【図2】構造コンポーネントの解析方法に含まれる一又は複数の操作を含むフロー図である。

【図3】図1のシステムの実施形態並びに構造コンポーネントアナライザ及び構造コンポーネント最適化を図解するブロック図である。

【図4】構造コンポーネントの静的解析及び疲労解析を実施するための実施形態における、構造コンポーネントアナライザのブロック図である。

【図5】構造コンポーネントの最適化された幾何形状を決定するための最適化ループを含む構造コンポーネント最適化のブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 6】本明細書に開示されているシステム及び方法を使用して解析される一又は複数の構造コンポーネントを含む航空機の斜視図である。

【図 7】一又は複数の航空機構成用の一又は複数の構造コンポーネントの解析を実施し、本明細書で開示されているシステム及び方法を使用して解析される一又は複数の構造コンポーネントを含む構造アセンブリをさらに図解するための解析テンプレートの一又は複数の解析変数に対して、少なくとも 1 つを登録するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 8】構造アセンブリの実施形態並びに構造アセンブリのパネルに取り付けられた構造コンポーネントを図解する斜視図である。

【図 9】構造コンポーネントの解析を実施するための解析変数に対する登録として、少なくとも 1 つの材料を選択するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 10】解析変数に対する登録として、少なくとも 1 つの荷重事例を選択するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 11】解析変数に対する登録として、構造コンポーネントの構成を選択するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 12】解析変数に対する登録として、構造コンポーネントの幾何形状パラメータを選択するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 13】解析変数に対する登録として、構造コンポーネントのジョイント構成を選択するためのインターフェースの代表的な表示である。

【図 14】位置の関数として構造コンポーネントの安全マージンの概要をプロットするグラフの図解である。

【図 15】各安全マージンに対応する位置及び故障モードによって、構造コンポーネントの安全マージンを一覧表示する表の図解である。

【図 16】構造コンポーネントの最適化を実施するための設計変数及び制約を選択するためのインターフェースの実施形態の図解である。

【図 17】構造コンポーネントの解析方法の一又は複数の操作を実装するためのプロセッサベースシステムの実施形態のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

ここで本発明の好ましい種々の実施形態を示すことを目的とした図面を参照すると、図 1 には、構造コンポーネント 250 (図 7) 及び / 又は構造アセンブリ 252 (図 7) の解析並びに最適化に使用されるシステム 10 の概略図が示されている。システム 10 は、一又は複数の解析テンプレート 28 (図 3) が保存されるアクセス制御付きの一又は複数のサーバー 12 を含む。解析テンプレート 28 の各々は、構造解析ソフトウェアプログラム又は強度解析のためのソースコードの形態での解析方法、並びに構造コンポーネント 250 又は構造アセンブリ 252 の最適化を含む。一又は複数の荷重事例 18 (図 3) 及び複数の材料許容値 26 (図 3) はサーバー 12 上に保存可能である。

【0017】

図 1 では、システム 10 は、ウェブインターフェースなど、サーバー 12 へのインターフェース 50 を表示するためのコンピュータなどの一又は複数のデバイスを含む。インターフェース 50 により、一又は複数のユーザーは任意の場所から、インターネット、イントラネット、プライベートネットワーク、種々の他のネットワーク 16 のうちの任意の 1 つなどのネットワーク 16 又は他の接続手段を介して、サーバー 12 にアクセスすることができる。このように、製造元への供給業者などのユーザーは、強度解析 206 (図 4)、最適化 162 (図 5)、及び構造コンポーネント 250 (図 7) の詳細設計、供給業者が製造元へ供給することがある構造アセンブリ 252 (図 7) のための解析テンプレート 28 (図 3) に、データ登録 106 (図 3) を提示することができる。システム 10 は、構造コンポーネント 250 又は構造アセンブリ 252 の一又は複数の安全マージン 130 (図 14)、対応する故障モード 132 (図 15)、及び / 又は以下でさらに詳細に記載される他の結果を一覧表示する、解析出力 126 (図 3) 及び / 又は最適化出力 16

8 (図3) を生成するように構成されうる。

【0018】

図1を参照するに、システム10のユーザーが解析テンプレート28、荷重事例18、及び材料許容値26を改変することはできないが、これによって以下に述べるように種々のユーザー間で強度解析プロセスの再現性及び一貫性を改善することができる。その際、アクセス制御付きのサーバー12 (例えば、ウェブサーバー) 上で、解析テンプレート28 (例えば、ソースコード)、荷重事例18、及び材料許容値26を維持することによって、並びに一又は複数のユーザー (例えば、一又は複数の供給業者) が解析テンプレート28及び最適化プロセスを実行するためのインターフェース50 (例えば、ウェブインターフェース) を提供することによって、システム10は強度解析プロセスの再現性及び一貫性を改善するための技術的な効果をもたらす。例えば、サーバーに保存されている解析テンプレート28の改変を防止することによって、各ユーザーは所与の構造コンポーネント250を解析するため、同一の又は実質的に同様の解析テンプレート28を有利に使用することができる。このような一貫性のある解析結果は、所与の環境 (例えば、温度) で所与の荷重事例18を使用する種々のユーザーによって解析される所与の構造コンポーネント250に対して、実質的に同様な安全マージン130を含みうる。その際、アクセス制御付きのサーバー12にテンプレート28を保存することで解析テンプレート28の改変を防止することによって、そうでない場合には各ユーザーが独自の解析テンプレートを開発して実行する時間を設計スケジュールから省くこともできる。加えて、種々のユーザーによる解析テンプレート28の実行はまた、一又は複数の構造コンポーネント250を備える構造アセンブリ252の重量を軽減する結果となることがある。その際、本明細書で開示されているシステム10は、ユーザーが独自の解析モデルを使用して構造コンポーネント250の解析及び最適化を行う場合に起こりうる、構造コンポーネント250の矛盾及び不必要な重量を回避することができる。その際、本明細書で開示されているシステム10及び方法は、各ユーザーの個別の強度解析の監査及び/又は検証に要する時間を短縮する技術的な効果をもたらし。

【0019】

加えて、システム10は、荷重事例18の変更、解析テンプレート28 (すなわち、解析方法) の変更、及び/又は材料許容値26の変更に応じて、構造コンポーネント250 (図7) の設計の改良に要する時間を短縮する技術的な効果をもたらす。その際、動作環境として生じる解析テンプレート28が更新され、輸送手段の構成 (例えば、構造アセンブリ) が設計プロセス中により精確になるたびに、構造コンポーネント250の構造解析の再実行をユーザーが迅速に実施することができる。例えば、ユーザーはインターフェース50を介してサーバー12にログインし、一又は複数の構造コンポーネント250の強度解析及び重量の最適化の再実行を何回も、従来の (例えば、手作業による) 強度解析方法と比べて短時間で実施することができる。強度解析の再実行並びに強度チェック注記134の形式による重量最適化の文書は、本明細書に記載されているシステム10を使用して迅速に作成することができる。

【0020】

図2及び付加的に図3~16を参照するに、図2には構造コンポーネント250 (図7) の解析及び/又は最適化のために実装されうる、一又は複数の操作を含む方法200のフロー図が示されている。システム10及び本明細書で開示されている方法は、構造コンポーネント250との関連において記述されているが、システム10及び方法は、一又は複数の構造コンポーネント250を含みうる構造アセンブリの解析及び最適化に適用することもできる。構造コンポーネント250又は構造アセンブリ252は、品目の最終コンポーネント又はアセンブリを表わすことがある。代替的に、構造コンポーネント250又は構造アセンブリ252は、図6に図解した航空機500のような航空機の機体などのより大きなアセンブリを形成するため、他のコンポーネント又はサブアセンブリで組み立てられるサブコンポーネント又はサブアセンブリを含むことがある。しかしながら、本明細書で開示されているシステム10又は方法は、任意の産業、又は任意の応用で使用される

構造コンポーネント 250 又は構造アセンブリ 252 のために実装されることがあり、航空機 500 の構造コンポーネント 250 又は構造アセンブリ 252 の解析及び最適化に限定されない。

【0021】

図 2 では、方法 200 のステップ 202 は、最初にサーバー 12 (図 3) 上に複数の材料許容値 26 (図 3) を保存することを含むことがある。材料許容値 26 は、製造業者によって開発されることが、又は製造業者によって提供されることがあり、さらに構造コンポーネント 250 (図 7) が製造される一又は複数の材料の機械的特性を示すことがある。材料許容値 26 は、各材料の引張、圧縮、せん断、及び軸受における各材料の強度特性を含む。例えば、強度特性は、最大引張強度、降伏時引張強度、最大せん断強度、及び他の強度特性を含む。材料の弾性係数 (すなわち、引張係数) 及び剛性率などの弾性特性又は剛性特性は、強度解析を実施するためサーバー 12 に保存することもできる。構造コンポーネント 250 の解析及び / 又は最適化のため、付加的な材料特性をサーバー 12 に保存することもできる。

10

【0022】

図 2 の方法 200 のステップ 202 は、サーバー 12 に複数の荷重事例 18 (図 3) を読み込むことを含むことがある。各荷重事例 18 は、種々の荷重条件に対して運用中に構造コンポーネント 250 (図 7) が受けることがある力及びモーメントを表わす一連の内部荷重を表わすことがある。例えば、航空機の場合、荷重事例 18 は一連の飛行荷重、一連の地上操縦荷重、一連の着陸荷重、一連の客室圧荷重を含む荷重事例、及びその他の荷重事例を含むことがある。荷重事例 18 は静的荷重と疲労荷重に分けることができ、そのうちの 1 つが、以下で説明するように、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 (図 4)、疲労解析 116 (図 4)、静的最適化 170 及び / 又は疲労最適化 172 をそれぞれ実施するため、解析テンプレート 28 への登録 106 (図 3) として選択される。

20

【0023】

荷重事例 18 (図 3) は、荷重の印加に対する解析コンポーネント 250 の応答をシミュレートするため、構造コンポーネント 250 (図 7) の解析モデル 36 (図 3) 又は数学モデルに関連していてもよい。解析モデル 36 は有限要素モデルを含んでいてもよく、代替的には有限差分モデル、有限体積モデル、又は解析対象の構造コンポーネントの数学的モデリングのための他の手段によって定義されてもよい。有限要素モデルは、バーエレメント、梁エレメント、プレートエレメント、及び他のエレメントによってモデル化されることがあり、構造コンポーネント 250 の意図した設計をシミュレートするため、適切な方法で制限されることがある。

30

【0024】

図 2 の方法 200 のステップ 202 は、サーバー 12 に複数の荷重事例 28 (図 3) を読み込むことを含むことがある。例えば、静的解析テンプレート 30 (図 4)、疲労解析テンプレート 32 (図 4)、及び損傷許容性解析テンプレート 34 (図 4) が、サーバー 12 に保存されることがある。既に示したように、解析テンプレート 28 は有利には、情報提供元 (例えば、製造業者) の制御下にあり、一又は複数のインターフェース 50 を介してサーバー 12 にアクセスする一又は複数のユーザーによって改変又は変更されることはない。静的解析テンプレート 30 は、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 (図 4) を実施するため、ユーザーによって選択されることがある。疲労解析テンプレート 32 及び損傷許容性解析テンプレート 34 は、構造コンポーネント 250 の疲労解析 116 (図 4) を実施するため、ユーザーによって選択されることがある。既に示したように、各解析テンプレート 28 は、構造コンポーネント 250 の所与の構成を解析するための解析方法を含む。各解析テンプレート 28 は、以下でさらに詳細に述べる構造コンポーネント 250 の強度解析を実施するため、システム 10 (図 1) のユーザーがインターフェース 50 を介して一又は複数の登録 106 (図 7) を割りあてる複数の解析変数 104 (図 7) を含むことができる。

40

【0025】

50

図2の方法200のステップ204は、図7～17に示す代表的なインターフェース50などのインターフェース50を使用する一又は複数の解析変数104(図7)に対して、少なくとも1つの登録106(図3)を行うことを含むことがある。各登録106は、構造コンポーネント250の強度解析を実施するためのアナライザ100(図3)への登録に対する解析入力102(図3)を含むことがある。非限定的な実施形態では、インターフェース50は、構造コンポーネント250の幾何学的パラメータ312(図3)の登録、構造コンポーネント250を構造アセンブリ252に取り付けるためのジョイント構成324(図3)、荷重事例18(図3)の1つの選択、及び/又は構造コンポーネント250に対する一又は複数の材料24(図3)並びに対応する材料許容値26(図3)の選択を提供するように構成されていてもよい。解析変数104に対する登録106を行うステップは、インターフェース50上でのプルダウンメニューの選択肢からアイテムをユーザーが選択すること、又はインターフェース50によって提供される登録フィールド(図示せず)の登録106に対してユーザーの手作業による値の入力を含むことがある。

【0026】

図7を参照するに、インターフェース50の構成選択52ウィンドウの実施形態が示されており、これによりシステム10のユーザーは強度解析のための構造コンポーネントの構成を選択することができる。構造コンポーネント250の構成を選択することにより、対応する解析テンプレート128(図3)、対応する一連の荷重事例18(図3)、及び構造コンポーネント250に対する材料許容値26(図3)の読み込みを始動することができる。図7からわかるように、インターフェース50によりユーザーは、強度解析が要求されている構造アセンブリ252のモデルを選択することもできる。例えば、インターフェース50によりユーザーは、構造コンポーネント250の正確な又は適切な構成が解析されるように、航空機500の種々のモデル又は構成のプルダウンメニューから航空機のモデル又は構成を選択することができる。図7に示すように、インターフェース50はまた、構造アセンブリ252の図解を提供することができ、この図解は解析対象となる一又は複数の構造コンポーネント250を含みうる。既に示したように、構造アセンブリ252は、図6に図解されている航空機500のような航空機の一部を含むことがある。

【0027】

図7に示すように、インターフェース50によりユーザーは、解析用に所与の構造コンポーネント250を選択することができる。例えば、図6に示す航空機の場合、例えば、胴体502の種々の円筒部分(図示せず)、尾部508の水平安定板510及び垂直安定板512、翼504、推進ユニット514、及び他の構造物を含む航空機500の種々の構造アセンブリを示すため、複数の解析テンプレート28(図3)、荷重事例18(図3)、及び材料許容値26(図3)がサーバー12(図3)に読み込み可能である。インターフェース50(図7)は、解析のためサーバー12に読み込み可能な航空機500の種々の構造アセンブリ又は構造コンポーネント250の中から、ユーザーが選択を行えるように構成されていてもよい。図7に示す構造アセンブリ252は、航空機500(図6)の前輪格納室のためのアセンブリを含むことがある。図示した実施形態では、構造アセンブリ252は、前輪格納室のパネル256に結合される一対の隔壁254と複数の垂直方向及び水平方向の梁258を含むことがある。本明細書に開示されているシステム10及び方法は、前輪格納室の垂直方向梁258(図8)の1つの解析及び最適化との関連で記述されている。

【0028】

図8を参照するに、図7の構造アセンブリ252の一部が示され、本明細書で開示されているシステム10(図7)及び方法を使用して、強度解析のための垂直方向の梁258の1つが図解されている。梁258は、ウェブ260によって取付フランジ262に結合されるフリーフランジ264を含むI形断面形状を有するものとして図解されている。梁258は、取付フランジ262をパネル256へ取付けるため、複数の機械的締め具(図示せず)によってパネル256に装着可能である。選択された梁258の一又は複数の端部は、複数の締め具によって水平方向の梁の1つに結合させてもよい。本発明では、有利

10

20

30

40

50

にはシステム 10 によりユーザーは、梁 258 などの構造コンポーネント 250 の幾何学的パラメータ 312 を定義するため、並びに構造コンポーネント 250 を構造アセンブリ 252 に取付けるためのジョイント構成 324 を定義するため、解析テンプレート 28 の多様な解析変数 104 にデータ入力を行うことができる。例えば、インターフェース 50 は、梁 258 の幾何学的パラメータ 312 を定義し、パネル 256 に梁 258 を取付けるためのジョイント構成 324 を定義するための手段をユーザーに提供する。加えて、インターフェース 50 (図 7) によりユーザーは、ステーションロケーション、ウォーターラインロケーション、又は尾部ラインロケーション (図示せず) などのロケーション 268、あるいは他のロケーション特定手段によって、梁 258 の幾何形状を定義することができる。

10

【0029】

図 9 を参照するに、解析変数 104 (図 3) に対する登録 106 (図 3) として材料 24 (図 3) を選択するため、インターフェース 50 の材料選択 54 ウィンドウの実施形態が示されている。既に示したように、材料 24 及び対応する材料許容値 26 の一覧表はサーバー 12 (図 3) に事前読み込みされてもよい。ユーザーは事前読み込みされている材料 24 (例えば、アルミニウム、チタン) の 1 つをプルダウンメニューから選択することができる。材料の 1 つを選択することにより、対応する材料許容値 26 の解析テンプレート 28 (図 3) への登録 106 が行われる。インターフェース 50 は、ユーザーが所望の合金及び / 又は材料に対する所望の熱処理を選択できるように、材料 24 の仕様を選択するための選択肢を含んでいてもよい。例えば、アルミニウムの場合には、ユーザーは 7075 - T7351 アルミニウムと 7075 - T651 アルミニウムを記載したプルダウンメニューから選択することができる。インターフェース 50 は、梁 258 に対して一又は複数の材料を選択するための選択肢、及び梁 258 が取り付けられるパネル 256 (図 8) 又は他の構造物に対して同一又は異なる材料を選択するための選択肢を、ユーザーに提供することができる。

20

【0030】

本明細書で開示されているシステム 10 及び方法は、任意の解析変数 104 又は構造コンポーネント 250 の他の側面に対してユーザーによる一又は複数の値の手動入力を容易にするように構成されていてもよく、これはプルダウンメニューの中などに事前に定義されている選択肢の中から値を選択することに限定されるものではない。例えば、システム 10 は、構造コンポーネント 250 の材料許容値 26、構造コンポーネント 250 の幾何形状 (例えば、高さ、厚み、構成)、又は構造コンポーネント 250 の他の側面に対して、ユーザーによる一又は複数の解析入力 102 の値の登録を容易にするように構成されていてもよい。システム 10 はさらに、スクリーニング機能を含むことがあり、ユーザーの手作業による登録は、このような登録がプログラム設計指針の意図に適合しているかどうか、又はプログラムの要求事項の意図に適合しているかどうかを判断するため、スクリーニングされることがある。ユーザーによる登録が設計指針又はプログラムの要求事項に適合しない場合には、システム 10 は構造コンポーネント 250 の解析及び / 又は最適化を制限又は回避するように構成されることがある。例えば、設計指針は、構造コンポーネント 250 の動作環境又は構造環境に関して、所与の構造コンポーネント 250 のある種の応用 (例えば、ロケーション) に対してある種の材料の使用を制限することがある。ユーザーがシステム 10 に所与の材料を登録すると、システム 10 は構造コンポーネント 250 の解析及び / 又は最適化を回避することが可能になり、さらにインターフェース 50 上に選択された材料が所与の応用で使用が認められていないことを示すエラーメッセージ (図示せず) の表示を含むことができる。

30

40

【0031】

図 9 を参照するに、インターフェース 50 はさらに、強度解析を実施するための所望の質量密度 (図示せず) を入力する選択肢をユーザーに提供することができる。言うまでもなく、インターフェース 50 は任意の数の付加的な材料選択 54 の選択肢を含むことがあり、材料の種類 (例えば、アルミニウム、チタン)、材料の仕様 (例えば、熱処理仕様)

50

、及び質量密度の選択に限定されない。その際さらに、インターフェース 50 は金属材料の選択に限定されないが、インターフェース 50 によってユーザーは複合材料及び対応する材料許容値 26 を選択することができる。加えて、インターフェース 50 は、ユーザーが構造コンポーネント 250 (図 7) の解析用に複合材料システム (例えば、繊維強化ポリマー複合材料) を選択できるように構成されることが意図されている。例えば、インターフェース 50 は、それによってユーザーが構造コンポーネント 250 に使用される複合積層材 (図示せず) のプライスタック (図示せず) を選択できるように構成されることがある。インターフェース 50 によりユーザーは、プライの配向、プライの量、個々のプライの厚さ、プライ材料及びマトリクス材料の組成、繊維含有率などの複合積層材の種々のパラメータ、及び種々の付加的なパラメータの任意の 1 つを選択することができる。その際、本明細書に開示されているシステム 10 及び方法は、金属構造コンポーネント 250 の解析及び最適化に限定されないが、全体又は一部が繊維強化ポリマー複合材料などの複合材料から製造される構造コンポーネント 250 の解析及び最適化を含むことがある。

【0032】

図 10 を参照するに、構造コンポーネント 250 (図 7) の静的解析 108 (図 4) 及び / 又は疲労解析 116 (図 4) に関して、一又は複数の解析変数 104 に対する登録 106 として、一又は複数の荷重事例 18 を選択するためのインターフェース 50 の荷重事例選択 56 ウィンドウの実施形態が示されている。既に示したように、一連の荷重事例 18 はサーバー 12 に読込可能で、静的荷重事例 20 及び疲労荷重事例 22 を含むことができる。ユーザーは、構造コンポーネントアナライザ 100 による解析に対して、プルダウンメニューなどから荷重事例 18 の 1 つを選択することができる。代替的に、インターフェース 50 は、解析中に構造コンポーネント 250 に適用される聴取負荷の大きさ、方向、及び配置を手動入力する選択肢をユーザーに提供することが意図されている。

【0033】

図 11 を参照するに、解析テンプレート 28 (図 3) の 1 つの解析変数 104 の 1 つに対する登録 106 として、構造コンポーネント 250 (図 7) の幾何学的パラメータ 312 に対するインターフェース 50 の幾何形状選択 58 ウィンドウの実施形態が示されている。図示している実施形態では、幾何学的パラメータ 312 は構造コンポーネント 250 の構成 300 を含むことがある。例えば、図 11 では、ユーザーは第 1 梁構成 302、第 2 梁構成 304、及び第 3 梁構成 306 を選択して、梁 258 の断面構成 300 を画定することができる。第 1 梁構成 302 は、パネル 256 に直接装着される梁 258 を含むことができる。第 2 梁構成 304 は、梁 258 に対向するパネル 256 の一面に配置される強化材料の詰め物 308 と共にパネル 256 に装着される梁 258 を含むことができる。第 3 梁構成 306 は、パネル 256 に直接装着される梁 258 と複数のストラップ 310 を含むことができる。インターフェース 50 は、梁 258 に対する付加構成 300 を選択する選択肢をユーザーに提供する。例えば、インターフェース 50 は、解析対象の梁 258 の断面の大きさを選択する選択肢をユーザーに提供し、各位置に対して第 1、第 2、及び第 3 の梁構成 302、304、306 を割り当てることを可能にする。

【0034】

図 12 を参照するに、構造コンポーネント 250 の種々の部分に割り当てられる初期寸法 314 (図 5) を選択するためのインターフェース 50 の幾何形状選択 58 ウィンドウの実施形態が示されている。図示されている実施形態では、インターフェース 50 は、梁 258 (図 9) のウェブ 260 のゲージ又は厚み 318、取付フランジ 262 の厚み 320、及びフリーフランジ 264 の厚み 320 を選択する選択肢をユーザーに提供することができる。加えて、インターフェース 50 は、梁 258 の高さ 316、フランジ 262、264 とウェブ 260 との交差部分でのフレ半径 322 のサイズ、梁 258 に関連する他の各種寸法の任意の 1 つを選択する選択肢をユーザーに提供することができる。例えば、インターフェース 50 の幾何形状選択 58 ウィンドウは、梁 258 の長さ又は幅、或いは梁 258 に関連するテーパー、孔、又は他の特徴などの他の幾何形状を選択する選択肢をユーザーに提供することが意図されている。インターフェース 50 はさらに、構造コン

ポーネント 250 が取り付けられる構造アセンブリ 252 の幾何形状を規定することを可能にする。例えば、インターフェース 50 は、パネル 256 の厚さに関連する寸法、及びパネル 256 と一体形成される補強材（図示せず）などのパネル 256 の一般的な構成を選択する選択肢をユーザーに提供することができる。言うまでもなく、解析対象の構造コンポーネント 250 の構成によっては、任意の数の種々の幾何学的特徴が、インターフェース 50 を使用するユーザーによって規定されることがある。

【0035】

図 13 を参照するに、解析変数 104（図 3）に対する登録 106（図 3）の 1 つとして、構造アセンブリ 252 への構造コンポーネント 250 の取付を規定するため、インターフェース 50 のジョイント構成 324 の選択 52 ウィンドウの実施形態が示されている。図示されている実施形態では、インターフェース 50 は、構造アセンブリ 252 に構造コンポーネント 250 を取付けるための機械的締め具（図示せず）の配置を選択するための選択肢をユーザーに提供することができる。例えば、インターフェース 50 は、締め具の種類 328（例えば、リベット、ボルト、Hi Lock（商標））及び締め具の仕様 330（例えば、直径、材料、頭部の構成）を選択する選択肢をユーザーに提供することができる。加えて、インターフェース 50 は、締め具間隔 326、ヘリあき、及び他の締め具パラメータを選択する選択肢をユーザーに提供することができる。図示していないが、インターフェース 50 は構造アセンブリ 252 に構造コンポーネント 250 を接着するための接着剤をユーザーが選択できるように構成されていることも意図されている。このような配置は、複合材料及び／又は金属材料で形成される構造コンポーネント 250 に対して提供されることがある。

【0036】

図 2 では、方法 200 のステップ 206 は、一又は複数の解析テンプレート 28（図 4）を使用する構造コンポーネント 250（図 7）の強度解析の実施を含むことがある。解析変数 104（図 4）に対する上述の登録 106（図 4）は、図 4 に示す構造コンポーネントアナライザ 100 に提示されることがある。登録 106 を受取ると、アナライザ 100 は、静的解析テンプレート 30（図 4）及び選択された静的荷重事例 20（図 4）を使用して、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 を実施することができる。同様に、アナライザ 100 は、選択された疲労荷重事例 22（図 4）に基づいて、且つ疲労解析テンプレート 32（図 4）及び損傷許容性解析テンプレート 34（図 4）を使用して、構造コンポーネント 250 の疲労解析 116（図 4）を実施することができる。

【0037】

図 4 は、構造コンポーネントアナライザ 100 を使用して、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 及び／又は疲労解析 116 を実施するためのプロセッサ 14 のブロック図を図解している。所与の材料の中の材料許容値 26（例えば、強度、剛性）は温度と共に変化することがあるため、アナライザ 100 は構造コンポーネント 250 が稼働中に曝される種々の環境で構造コンポーネント 250 の静的解析 108 を実施することがある。例えば、この環境は、構造コンポーネント 250 が稼働中に曝される温度を代表する 2 つ以上の異なる温度を含むことがある。アナライザ 100 は、第 1 温度 110、第 2 温度 112、及び第 3 温度 114 で構造コンポーネント 250 の静的解析 108 を実施することができる。航空機 500（図 6）の例では、第 1 温度 110 は室温（例えば、70 °F）を含むことがある。第 2 温度 112 は、夏場には温度が 120 °F 以上に達することがある空港駐機場に航空機 500 が駐機しているときなど、構造コンポーネント 250 の最大動作温度を含むことがある。第 3 温度 114 は、温度が -65 °F 以下に達することがある高度 35,000 フィートを航空機 500 が巡航しているときなど、構造コンポーネント 250 の最低動作温度を含むことがある。

【0038】

図 4 では、アナライザ 100 は、疲労解析テンプレート 32 及び損傷許容性解析テンプレート 34 を使用して、疲労解析 116 を実施することができる。疲労解析 116 は、あらかじめ決められた量の疲労サイクル 124 を含む構造コンポーネント 250（図 7）の

設計目標を使用する疲労荷重に基づいていてもよい。航空機では、疲労サイクル 1 2 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 に対してあらかじめ決められた回数の地 - 空 - 地サイクル 1 2 4 (例えば、4 4 , 0 0 0) を含むことがある。一実施形態では、インターフェース 5 0 は、疲労サイクル 1 2 4 の量及び疲労解析 1 1 6 に関連する他のパラメータを調整する選択肢をユーザーに提供するように構成されることがある。選択された荷重事例 1 8 に基づいて、疲労解析テンプレート 3 2 は、各サイクルに関連する最小応力 1 2 0 (f_{min}) 及び最大応力 1 2 2 (f_{max}) の算出を目的として、損傷許容性解析テンプレート 3 4 に提示する応力 1 1 8 レベルを生成することができる。

【 0 0 3 9 】

図 2 では、方法 2 0 0 のステップ 2 0 8 は、材料許容値 2 6 (図 4) に基づいて、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7) の安全マージン 1 3 0 を決定することを含むことがある。その際、アナライザ 1 0 0 は、静的解析 1 0 8 (図 4) 及び / 又は疲労解析 1 1 6 (図 4) に基づき、且つ構造コンポーネント 2 5 0 の材料許容値 2 6 に基づいて、構造コンポーネント 2 5 0 の少なくとも 1 つの安全マージン 1 3 0 を含む解析出力 1 2 6 (図 4) を生成することができる。システム 1 0 は、静的解析 1 0 8 及び / 又は疲労解析 1 1 6 に基づいて、構造コンポーネント 2 5 0 の安全マージン 1 3 0 の概要 1 2 8 (図 4) を含むレポートを生成するように構成されることがある。システム 1 0 は、安全マージン 1 3 0 の概要 1 2 8 に関連する少なくとも 1 つの解析結果データファイル 1 3 6 をさらに生成してもよい。

【 0 0 4 0 】

図 1 4 ~ 1 5 を簡潔に参照するに、位置ごとの構造コンポーネント 2 5 0 (図 7) の最小安全マージン 1 3 0 をプロットするグラフを含む強度チェック注記 1 3 4 を含む解析出力 1 2 6 のレポートの実施形態が図 1 4 に示されている。図 1 5 は解析出力 1 2 6 のテキスト表現であり、それぞれの位置及び構造コンポーネント 2 5 0 が解析される温度 (例えば、7 0 ° F) などの関連環境に対する構造コンポーネント 2 5 0 の安全マージン 1 3 0 の一覧表を含んでいる。一覧表は、構造コンポーネント 2 5 0 に対して列挙される各安全マージン 1 3 0 に対応する故障モード 1 3 2 (例えば、軸受臨界、せん断臨界など) の識別をさらに含むことがある。図示していないが、強度チェック注記 1 3 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 に作用する臨界荷重の列挙、構造コンポーネント 2 5 0 の変位の提示、構造コンポーネント 2 5 0 の応力分布並びに種々の付加情報の提示を含むことがある。

【 0 0 4 1 】

図 2 では、方法 2 0 0 のステップ 2 1 0 は、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7) の最適化のため少なくとも 1 つの設計変数 1 5 4 (図 5) を入力することを含むことがある。設計変数 1 5 4 は、インターフェース 5 0 (図 5) を使用するユーザーによって入力されることがある。設計変数 1 5 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 の最適化を実施するため、構造コンポーネントオプティマイザ 1 5 0 によって使用されることがある。オプティマイザ 1 5 0 を使用して最適化を実施するためのプロセッサ 1 4 のブロック図を図 5 に示す。既に示したように、オプティマイザ 1 5 0 は、構造コンポーネント 2 5 0 の重量の最小化など、あらかじめ決められた目的に基づいて、構造コンポーネント 2 5 0 の幾何形状を最適化するように構成されていてもよい。しかしながら、オプティマイザ 1 5 0 は、構造コンポーネント 2 5 0 の所望のレベルの剛性、たわみの最大量などの他の目的、又は他の種々の目的のうちの任意の 1 つに対して、構造コンポーネント 2 5 0 を最適化するように構成されることがある。オプティマイザ 1 5 0 は、最適化を実施するため解析結果データファイル 1 3 6 からデータを受取ることができる。

【 0 0 4 2 】

図 1 6 を簡潔に参照するに、図 2 のステップ 2 1 0 に従って設計変数 1 5 4 を提示するため、最適化入力 1 5 2 ウィンドウの実施形態が示されている。設計変数 1 5 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 の寸法 3 1 4 などの幾何学的パラメータ 3 1 2 (図 1 2) を含んでもよい。例えば、設計変数 1 5 4 は、初期寸法 3 1 4 (例えば、0 . 1 5 0 インチ) を有する図 8 に図解されている梁 2 5 8 のウェブ厚み 3 1 8 を含むことがある。しかしな

がら、設計変数 1 5 4 は、限定しないが、構造コンポーネント 2 5 0 の最適化が所望されている、任意のパラメータを含んでいてもよい。例えば、設計変数 1 5 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7)に関連する、又はコンポーネントが取り付けられる構造アセンブリ 2 5 2 (図 7)に関連する、厚み、長さ、幅、又は他の任意の寸法を含むことがある。一実施形態では、設計変数 1 5 4 は任意選択により、締め具間隔 3 2 6 (図 1 3)、締め具径、締め具材料などのジョイント構成 3 2 4 (図 1 3)のパラメータ、又は構造コンポーネント 2 5 0 に関連する他の種々のパラメータのうちの任意の 1 つを含むことができる。一実施形態では、インターフェース 5 0 によるユーザーは、最適化が望まれる構造コンポーネント 2 5 0 の具体的な位置を選択することができる。

【 0 0 4 3 】

図 2 の方法 2 0 0 のステップ 2 1 2 は、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7)の最適化のため少なくとも 1 つの制約 1 5 6 (図 5)を入力することを含むことがある。制約 1 5 6 は、設計変数 1 5 4 の最適化時に満たさなければならない構造コンポーネント 2 5 0 の最小安全マージン 1 3 0 (図 5)などの強度制約を含むことがある。制約 1 5 6 は、製造制約などの代替のパラメータを含んでいてもよい。例えば、一実施形態では、制約 1 5 6 は構造アセンブリ 2 5 2 の一部の最小厚みを含むことがある。図 7 に図解されている梁 2 5 8 に関しては、制約 1 5 6 は、機械加工できる厚みでウェブを維持するため、ウェブ 2 6 0 の最小厚み(例えば、0 . 0 8 0 インチ)を含むことがある。しかしながら、制約 1 5 6 は他の種々のパラメータの任意の 1 つを含んでいてもよく、上述のパラメータに限定されない。

【 0 0 4 4 】

図 2 では、方法 2 0 0 のステップ 2 1 4 は、制約 1 5 6 (図 5)が実質的に満たされるまで、設計変数 1 5 4 (図 5)を繰り返し更新することによって、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7)の最適化を実施することを含むことがある。図 5 に示したように、オブティマイザ 1 5 0 は、構造コンポーネント 2 5 0 の強度解析の解析結果データファイル 1 3 6 に基づいて、静的最適化 1 7 0 又は疲労最適化 1 7 2 を実施するための最適化ループ 1 5 8 を含んでいてもよい。最適化ループ 1 5 8 は、制約 1 5 6 が実質的に満たされる 1 6 0 かどうかに関する判断ブロックを含むことがある。オブティマイザ 1 5 0 は、Altair Corporation (カリフォルニア州アーヴィン)から市販されている Hyperstudy (商標)などの好適な最適化プログラム 1 6 2 を使用して、最適化された幾何形状 1 7 4 を有する構造コンポーネント 2 5 0 の解析 1 6 4 によって、設計変数 1 5 4 (例えば、ウェブの厚み 3 1 8)を繰り返し更新するように構成されていてもよい。最適化ループ 1 5 8 は、設計変数 1 5 4 を繰り返すたびに一時的な解析データ結果ファイルを生成するように構成されていてもよい。

【 0 0 4 5 】

図 2 では、方法 2 0 0 のステップ 2 1 6 は、設計変数 1 5 4 (図 5)に基づいて、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7)の最適化された幾何形状 1 7 4 (図 5)を決定することを含むことがある。図 5 では、制約 1 5 6 が実質的に満たされる 1 6 0 と、最適化ループ 1 5 8 は、構造コンポーネント 2 5 0 の最適化された幾何形状 1 7 4 を含む最適化結果データファイル 1 7 8 を出力することができる。オブティマイザ 1 5 0 は、構造コンポーネント 2 5 0 の静的最適化 1 7 0 及び疲労最適化 1 7 2 に対する最適化出力 1 6 8 を生成することができる。最適化出力 1 6 8 は、設計変数 1 5 4 の初期値及び設計変数 1 5 4 の最適化された幾何形状 1 7 4 (図 5)(例えば、厚みの寸法)を示すレポートを含むことがあり、構造コンポーネント 2 5 0 の配置による臨界安全マージン 1 3 0 及び関連する故障モード 1 3 2 の一覧をさらに含むことがある。

【 0 0 4 6 】

図 5 では、最適化された幾何形状 1 7 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7)の詳細なコンピュータ支援設計(CAD)モデル 3 8 の更新に先立って、応力アナリスト、設計エンジニア、又は承認 1 8 0 のための他の人員によって再検討されることがある。構造コンポーネント 2 5 0 の詳細な CAD モデル 3 8 はユーザーによって所有され、又は開発さ

10

20

30

40

50

れ、構造コンポーネント 250 の幾何形状の更新のためのインターフェース 50 に関連付けられることがある。最適化された幾何形状 174 が生成されると、システム 10 は構造コンポーネント 250 の付加的な強度解析を実施し、一又は複数の付加的な一連の解析出力 126 (図 3) 及び / 又は安全マージン 130 (図 3) の概要 128 (図 3) を含む最適化出力 168 (図 3) を生成することができる。

【0047】

さらなる実施形態では、システム 10 (図 3) 及び方法は、構造コンポーネント 250 (図 7) の損傷許容限界及び対応する安全マージン (図示せず) を含むことがある。例えば、構造コンポーネント 250 の損傷許容限界は、所定の位置での構造コンポーネント 250 の一部の許容可能な最小厚みに関して決定されてもよい。損傷許容限界の決定は、解析変数 104 (図 4) に対する登録 106 (図 4) として、構造コンポーネント 250 の寸法を入力することを含むことがある。寸法は、構造コンポーネント 250 の一部の厚みが製造異常時に起こりうる設計公差を下回る条件など、構造コンポーネント 250 の公差外れ条件を含むことがある。方法 200 は、構造コンポーネント 250 の公差外れ条件に関連する安全マージン 130 を決定するため、アナライザ 100 (図 4) 及びオプティマイザ 150 (図 5) を使用して、構造コンポーネント 250 の強度解析及び最適化を実施することを含むことがある。

【0048】

図 17 を参照するに、開示されている方法の上述のステップ又はこれらのステップの任意の組合せは、全体的に又は部分的に、プロセッサベースシステム 10 又は他の好適なコンピュータシステムなどのコンピュータ実装プロセスに実装することができる。プロセッサベースシステム 10 は、計算可能で読取可能なプログラム命令 420 を実行することができる。計算可能で読取可能なプログラム命令 420 は、一又は複数の上述の操作又はステップを実装するため、プロセッサベースシステム 10 の上に提供、又は読込み可能である。非限定的な実施例では、プロセッサベースシステム 10 及び / 又は計算可能で読取可能なプログラム命令 420 は、以下で詳細に説明するように、強度解析及び / 又は構造コンポーネント 250 (図 7) の最適化を容易にすることができる。

【0049】

図 17 のブロック図は、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 (図 4) 及び / 又は疲労解析 116 (図 4) を実施するため、或いは構造コンポーネント 250 の最適化 (図 5) を実施するために使用されることがある、有利な実施形態でのプロセッサベースシステム 10 を図解している。プロセッサベースシステム 10 は、このようなコンポーネント間のデータ転送を容易にするため、一又は複数のコンポーネントを通信可能に結合するデータ通信経路 402 (例えば、データリンク) を含むことがある。一実施形態では、通信経路 402 は、プロセッサベースシステム 10 のコンポーネントとデバイスとの間のデータ転送を容易にする、一又は複数のデータバス若しくは他の好適な通信経路を含むことがある。

【0050】

非限定的な実施形態では、コンポーネントは、プロセッサ 14、メモリデバイス 400、不揮発性記憶デバイス 404、通信デバイス 408、入出力デバイス 406 と表示デバイス 410 を有するユーザーインターフェース 50、構造コンポーネントアナライザ 100、及び構造コンポーネントオプティマイザ 150 のうちの一又は複数を含むことがある。構造コンポーネントアナライザ 100 (図 4) は、構造コンポーネント 250 の強度解析を実施できる。アナライザ 100 は、上述のように、構造コンポーネント 250 の静的解析 108 (図 4) 及び / 又は疲労解析 116 (図 4) を実施できる。アナライザ 100 は、サーバー 12 から解析結果データファイル 136 (図 4) を受信することができる。

【0051】

アナライザ 100 (図 4) は、入出力デバイス 406 (図 17) を介して、インターフェース 50 から解析変数 104 (図 4) 用の登録 106 (図 4) を受信してもよい。解析変数 104 用の登録 106 の非限定的な実施例は、材料 24 (図 4) の選択、強度解析を

10

20

30

40

50

実施するための荷重事例 18 (図 4) の選択、構造コンポーネント 250 の一又は複数の幾何学的パラメータ 312 の登録、構造コンポーネント 250 のジョイント構造 324 (図 4) の選択を含む。アナライザ 100 は、静的解析テンプレート 30 (図 4) を使用する静的解析 108 (図 4) 並びに疲労解析テンプレート 32 及び損傷許容性解析テンプレート 34 を使用する疲労解析 116 (図 4) を実施することができる。既に示したように、アナライザ 100 は、構造コンポーネント 250 の安全マージン 130 (図 4) の概要 128 (図 4) を含みうる解析出力 126 (図 4)、強度チェック注記 134 (図 4)、及び解析結果データファイル 136 (図 4)、入出力デバイス 406 によって出力されるものすべてを生成することができる。強度チェック注記 134 は、インターフェース 50 を有する同一のコンピュータと同様に、プリンタによって印刷される、又は表示デバイス上に表示されるテキスト情報として生成されることがある。

10

【0052】

構造コンポーネントオプティマイザ 150 (図 5) は、インターフェース 50 の入出力デバイス 406 から解析結果データファイル 136 (図 5) を受信することができる。入出力デバイス 406 (図 17) を使用して、最適化のため構造コンポーネント 250 の選択された設計変数 154 (図 5) を提示することができる。例えば、入出力デバイス 406 を使用して、構造コンポーネント 250 の一部の厚みなどの寸法 314 (図 5) をオプティマイザ 150 に提示することができる。一又は複数の制約 156 (図 5) はまた、上述のように入出力デバイス 406 を使用してオプティマイザ 150 に提示可能である。例えば、入出力を使用して、構造コンポーネント 250 の最小安全マージン 130 の値を提示することができる。構造コンポーネント 250 の最適化時には、オプティマイザ 150 は、上述のように制約 156 が実質的に満たされる 160 まで、設計変数 154 を繰り返し更新するように構成されることがある。

20

【0053】

オプティマイザ 150 (図 5) は、構造コンポーネント 250 の静的最適化 170 (図 5) の結果及び疲労解析 172 (図 5) の結果を含みうる最適化出力 168 を生成することができる。静的最適化 170 及び疲労最適化 172 (図 5) の各々に対する最適化出力 168 (図 5) は、インターフェース 50 (図 17) の入出力デバイス 406 (図 17) によって出力される最適化された幾何形状 174 (図 5) の値及び最適化結果データファイル 178 (図 5) を含みうる。最適化出力 168 はインターフェース 50 の表示デバイス 410 の上に表示されてもよい。最適化された幾何形状 174 が応力アナリスト、設計エンジニア、製造エンジニア、その他の人員によって承認 180 されると、最適化された幾何形状 174 及び最適化結果データファイル 178 は、解析のため構造コンポーネントアナライザ 100 に提供されることがある。構造コンポーネントアナライザ 100 は、最適化された幾何形状 174 に基づいて、構造コンポーネント 250 の一又は複数の安全マージン 130 を決定することができる。

30

【0054】

システム 10 (図 17) は、プロセッサベースシステム 10 に接続されうるコンポーネント間のデータ転送を容易にするため、一又は複数の入出力デバイス 406 (図 17) を含みうる。入出力デバイス 406 は、プロセッサベースシステム 10 に通信可能に結合されうる。入出力デバイス 406 は、キーボード、マウス、ジョイスティック、タッチスクリーン、及びプロセッサベースシステム 10 へインターフェース 50 からデータを入力するための他の好適なデバイスによって、インターフェース 50 を介してユーザー入力を容易にすることができる。入出力デバイス 406 は、プロセッサベースシステム 10 の出力によって代表されるデータを転送するための出力デバイスをさらに含みうる。例えば、入出力デバイス 406 は、プロセッサベースシステム 10 によって生成或いは処理される解析結果及び/又は最適化結果 178 を表示するための、コンピュータモニタ又はコンピュータスクリーンなどの表示デバイス 410 を含むことがある。入出力デバイス 406 は、プロセッサベースシステム 10 によって処理される情報のハードコピーを印刷するためのプリンタ又はファックス機を任意選択で含みうる。

40

50

【 0 0 5 5 】

一実施形態では、プロセッサベースシステム 1 0 は、メモリデバイス 4 0 0 にインストールされうる計算可能で読取可能なプログラム命令 4 2 0 の命令を実行するための一又は複数のプロセッサ 1 4 を含みうる。別の態様では、プロセッサ 1 4 は、2 個以上の統合プロセッサコアを有するマルチプロセッサコアを含みうる。さらにまた、プロセッサ 1 4 はチップ上で統合される主要プロセッサ及び一又は複数の二次プロセッサを含みうる。プロセッサ 1 4 はまた、同様に構成された複数のプロセッサを有する多プロセッサシステム 1 0 を含みうる。

【 0 0 5 6 】

なおも図 1 7 を参照するに、プロセッサベースシステム 1 0 は、一又は複数の揮発性或いは不揮発性記憶デバイス 4 0 4 を備える一又は複数のメモリデバイス 4 0 0 をさらに含みうる。しかしながら、メモリデバイス 4 0 0 は、データを保存するための任意のハードウェアデバイスを含みうる。例えば、メモリデバイス 4 0 0 は、通信経路 4 0 2 に含まれうるインターフェース 5 0 及び / 又は統合メモリコントローラハブのランダムアクセスメモリ又はキャッシュを含んでいてもよい。メモリデバイス 4 0 0 は、様々な異なる形式のデータ、コンピュータで読取可能なコード或いはプログラム命令 4 2 0 のうちの任意の 1 つ、又は他の種類の情報を永続的に及び / 又は一時的に保存するように構成されうる。不揮発性記憶デバイス 4 0 4 は、限定しないが、フラッシュメモリデバイス、ハードドライブ、光ディスク、ハードディスク、磁気テープ又は長期保存のための他の好適な実施形態を含む、様々な構成で提供されうる。加えて、不揮発性記憶デバイス 4 0 4 は、着脱式ハードドライブなどの着脱式デバイスを含みうる。

【 0 0 5 7 】

なおも図 1 7 を参照するに、プロセッサベースシステム 1 0 は、コンピュータネットワーク内のプロセッサベースシステム 1 0 の通信及び / 又は他のプロセッサベースシステムとの通信を容易にするため、一又は複数の通信デバイス 4 0 8 を含みうる。プロセッサベースシステム 1 0 とコンピュータネットワーク又は他のプロセッサベースシステムとの通信は、無線手段及び / 又は有線接続となることがある。例えば、通信デバイス 4 0 8 は、プロセッサベースシステム 1 0 とコンピュータネットワークとの間の無線又は有線通信を可能にするネットワークインターフェース 5 0 コントローラを含むことがある。通信デバイスはまた、モデム及び / 又はネットワークアダプタ又はデータを送受信するための種々の代替的なデバイスの任意の 1 つであってもよい。

【 0 0 5 8 】

構造コンポーネント 2 5 0 の強度解析及び最適化を実施するための上述の方法の一又は複数の操作は、プロセッサ 1 4 及び / 又は一又は複数のアナライザ 1 1 0 0、及びコンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 を使用するオプティマイザ 1 5 0 によって実施されうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、コンピュータで使用可能なプログラムコード及びコンピュータで読取可能なプログラムコードを含む解析テンプレート 2 8 (図 4) のプログラムコードを含みうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、プロセッサ 1 4 で読取及び実行されうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 によって、プロセッサ 1 4 は、構造コンポーネント 2 5 0 の強度解析及び最適化の実施に関連する上述の実施形態の一又は複数の操作を実施することができる。

【 0 0 5 9 】

なおも図 1 7 を参照するに、コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、プロセッサベースシステム 1 0 のための命令の操作を含み、アプリケーション及びプログラムをさらに含みうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、プロセッサ 1 4 及び / 又はアナライザ 1 1 0 0 及びオプティマイザ 1 5 0 によって実行するため、一又は複数のメモリデバイス 4 0 0 及び / 又は不揮発性記憶デバイス 4 0 4 上に収容及び / 又は読込み可能である。既に示したように、一又は複数のメモリデバイス 4 0 0 及び / 又は不揮発性記憶デバイス 4 0 4 は、通信経路 4 0 2 を介して図 1 7 に図解されている一又は複数の既存のコンポーネントと通信可能に結合されうる。

【 0 0 6 0 】

コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、有形又は無形のコンピュータ読取可能媒体 4 1 4 に収容可能で、プロセッサ 1 4 によって実行するためプロセッサベースシステム 1 0 に読み込み又は転送されうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 及びコンピュータで読取可能な媒体 4 1 4 は、コンピュータプログラム製品 4 1 2 を含む。一実施形態では、コンピュータで読取可能な媒体 4 1 8 は、コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 及び / 又はコンピュータで読取可能な信号媒体 4 1 8 を含むうる。

【 0 0 6 1 】

コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 は、限定しないが、ドライブに読み込まれる光ディスク及び磁気ディスク、フラッシュメモリデバイス或いは他の記憶デバイス、又はハードドライブなどの記憶デバイス上にデータを転送するためのハードウェアなどを含む、種々の実施形態を含むうる。コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 は、プロセッサベースシステム 1 0 に非着脱式で実装されることがある。コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 は、好適な任意の記憶媒体を含み、限定しないが、半導体システム又は伝播媒体を含むうる。その際、コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 は、電子媒体、磁気媒体、光媒体、電磁媒体、及び赤外線媒体を含むうる。例えば、コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 は、磁気テープ、コンピュータディスク、ランダムアクセスメモリ、リードオンリーメモリを含んでいてもよい。光ディスクの非限定的実施例は、読取専用コンパクトディスク (C D - R O M)、書換え型コンパクトディスク (C D - R W)、及びデジタルビデオディスクを含むうる。

【 0 0 6 2 】

コンピュータで読取可能な信号媒体 4 1 8 は、コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 を収容可能で、限定しないが、電磁信号及び光信号を含む様々なデータ信号構成で具現化されうる。このようなデータ信号は、無線又は有線による手段を含む任意の好適な通信リンクによって転送されうる。例えば、有線による手段は、光ファイバーケーブル、同軸ケーブル、信号線、及び無線又は物理的な手段によってデータを転送するための他の好適な手段を含んでいてもよい。

【 0 0 6 3 】

なおも図 1 7 を参照するに、コンピュータで読取可能な信号媒体 4 1 8 は、プロセッサベースシステム 1 0 内で使用するため、不揮発性記憶デバイス又は他の好適な記憶デバイス又はメモリデバイスへのコンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 のダウンロードを容易にすることができる。例えば、コンピュータで読取可能な記憶媒体 4 1 6 内に収容されるコンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 は、他のシステム 1 0 のサーバー又はクライアントコンピュータからコンピュータネットワークを介してプロセッサベースシステム 1 0 にダウンロードすることができる。

【 0 0 6 4 】

プロセッサベースシステム 1 0 の種々の実施形態のうちの任意の 1 つは、コンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 を実行しうる任意のハードウェアデバイス又はシステム 1 0 を使用して実装されうる。例えば、プロセッサ 1 4 は一又は複数の特定の機能を実施するように構成されたハードウェアユニットを含むことがあり、該機能を実施するためのコンピュータで読取可能なプログラム命令 4 2 0 はメモリデバイス 4 0 0 にあらかじめ読み込み可能である。

【 0 0 6 5 】

一実施形態では、プロセッサ 1 4 は、特定用途向け集積回路 (A S I C)、プログラマブル論理デバイス、又は一又は複数の特定の機能又は操作を実施するように構成される他の任意のハードウェアデバイスを含むうる。例えば、プログラマブル論理デバイスは、構造コンポーネント 2 5 0 (図 7) の強度解析の方法、又は重量の最小化のような所与の目的に対する構造コンポーネント 2 5 0 (図 7) の最適化に関連する一又は複数の操作を実施するように、一時的又は永続的に構成されることがある。プログラマブル論理デバイスは、例えば、プログラマブル論理アレイ、プログラマブルアレイロジック、フィールドブ

10

20

30

40

50

ログラムブルロジックアレイ、フィールドプログラマブルゲートアレイ、及び他の好適なハードウェアデバイスを含むことがある。一実施形態では、コンピュータで読取可能なプログラム命令 420 は、一又は複数のプロセッサ 14 及び / 又はプロセッサ 14 と通信を行う一又は複数のハードウェアユニットを含む他のデバイスによって、操作されうる。コンピュータで読取可能なプログラム命令 420 のある部分はプロセッサ 14 であってもよく、コンピュータで読取可能なプログラム命令 420 の他の部分はハードウェアユニットによって実行されてもよい。

【0066】

有利には、上述のシステム 10 及び方法の種々の実施形態は、アクセス制御付きサーバー 12 (図 1) 上で強度解析テンプレート 28 (図 1) を実行する技術的特徴を有しており、構造コンポーネント 250 の解析時間の短縮と重量の軽減を同時に実現しつつ、強度解析プロセスの再現性及び一貫性の技術的效果をもたらす。例えば、開示されている種々の実施形態は、インターフェース 50 を介してテンプレート 28 にアクセスするユーザーによる、静的解析テンプレート 30、疲労解析テンプレート 32、及び損傷許容性解析テンプレート 34 の改変を防止する技術的特徴を含む。サーバー 12 上のテンプレートの改変を防止し、テンプレート 28 の管理を維持する技術的效果は、構造コンポーネント 250 の強度解析の実施に要する時間の短縮、及びテンプレート 28 のユーザーによって実施される強度解析の監査及び / 又は検証に要する時間の短縮を含みうる。既に示したように、システム 10 は、荷重事例 18 (図 1) の変更、解析テンプレート 28 (図 1) の変更、及び / 又は材料許容値 26 (図 1) の変更に応じて、構造コンポーネント 250 の設計の改良に要する時間を短縮する技術的な効果をさらにもたらす。

【0067】

例えば、テンプレートは情報提供元 (例えば、製造業者) によって開発及び制御されることがあり、供給業者による詳細設計、解析、製造が行えるように、所与の構造コンポーネント 250 の解析及び最適化用に調整可能である。アクセス制御付きのサーバー 12 にテンプレート 28 を保存することによって、テンプレート 28 は有利には、システム 10 のユーザーによる改変又は変更を不可とすることができる。サーバー 12 からの遠隔地を含め一又は複数の場所で一又は複数のインターフェース 50 を使用して、種々のユーザーがサーバー 12 上のテンプレート 28 を使用することができる。各ユーザーは、構造コンポーネント 250 の種々の領域に配置される実質的に同様な構造コンポーネント 250 の設計及び解析に責任を負うことができる。しかしながら、本明細書で開示されているシステム 10 及び方法では、各ユーザーは有利には所与の構造コンポーネント 250 に対して同一又は実質的に同様な解析テンプレート 28 を使用し、これによって、そうでない場合には各ユーザーによる独自の解析テンプレートの開発及び実行に要する時間を設計スケジュールから省くことができる。このように、本明細書に開示されているシステム 10 及び方法は、構造アセンブリ 252 の強度解析及び詳細設計の開始及び完了に必要な時間を軽減することができる。システム 10 及び方法はまた、従来は各供給業者によって実施される個々の強度解析の監査及び / 又は検証に要する時間を短縮又は省くことができる。

【0068】

加えて、システム 10 及び方法は、従来の方法を使用する種々のユーザーによって設計及び解析される実質的に同様な構造コンポーネント 250 に関して矛盾する安全マージン 130 など、矛盾する解析結果を回避しうる。このように、システム 10 及び方法はその結果、構造コンポーネント 250 の過度に保守的な構成を回避し、代わりに構造コンポーネント 250 に対して重量を最適化した構成を提供しうる。本明細書で開示されている実施形態はまた、複数の荷重事例 18 及び複数の材料許容値 26 をサーバー上に保存し、従来の方法を用いる手動解析に要する時間と比べて短時間で、多数の種々の荷重事例 18 を使用して一又は複数の解析テンプレート 28 をユーザーが実行できるようにする技術的特徴を含む。多数の荷重事例 18 で一又は複数のテンプレート 28 を実行する技術的效果は、構造コンポーネント 250 の強度解析及び重量の最適化における改善である。加えて、本明細書に開示されているシステム 10 及び方法により、再検討及び / 又は認証を目的と

して強度チェック注記 1 3 4 (例えば、応力レポート)の形式でこのような解析文書を迅速に作成することができる。

【 0 0 6 9 】

以下は、上述の文章及び図面において開示されている説明の態様、変形例、事例、及び実施例である。一態様では、構造コンポーネント 2 5 0 を解析する方法であって、

アクセス制御付きサーバー 1 2 に少なくとも 1 つの荷重事例 1 8、2 0、2 2、少なくとも 1 つの材料許容値 2 6、及び少なくとも 1 つの解析変数 1 0 4 を有する解析テンプレート 2 8 を保存するステップと、

サーバー 1 2 へのインターフェース 5 0 を使用して、前記解析変数 1 0 4 に少なくとも 1 つを登録するステップと、

プロセッサベースのアナライザ 1 0 0 を使用して、前記荷重事例 1 8、2 0、2 2 及び前記解析変数 1 0 4 の登録に基づく前記解析テンプレート 2 8 を使用する前記構造コンポーネント 2 5 0 の強度解析を実施するステップと、

前記アナライザ 1 0 0 を使用して、前記材料許容値 2 6 に基づく前記構造コンポーネント 2 5 0 の安全マージン 1 3 0、前記解析変数 1 0 4 の各登録に対して、前記アナライザ 1 0 0 が前記安全マージン 1 3 0 に対して一貫性のある値を決定できるように前記インターフェース 5 0 を用いた改変が不可となっている前記解析テンプレート 2 8 を決定するステップと

を含む方法が開示されている。

【 0 0 7 0 】

1 つの変形例では、前記方法は、安全マージン 1 3 0 に対応する構造コンポーネント 2 5 0 の故障モード 1 3 2 を決定するステップをさらに含む。別の変形例では、前記方法は、少なくとも 1 つの荷重事例 1 8、2 0、2 2 及び安全マージン 1 3 0 に関連する環境を決定するステップをさらに含む。さらに別の変形例では、前記方法は、構造コンポーネント 2 5 0 の幾何学的パラメータ 3 1 2 の選択を含む、解析変数 1 0 4 に対する登録を行うステップを含む。1 つの例では、前記方法は、材料 2 4 及び対応する材料許容値 2 6 をサーバー 1 2 に保存するステップと、インターフェース 5 0 を使用して解析変数 1 0 4 に対する登録として少なくとも 1 つの材料 2 4 を選択するステップと、及びオブティマイザ 1 5 0 を使用して選択された材料の材料許容値 2 6 を用いて強度解析を実施するステップとをさらに含む。

【 0 0 7 1 】

1 つの例では、前記方法は、複数の荷重事例 1 8、2 0、2 2 をサーバー 1 2 に保存するステップと、インターフェース 5 0 を使用して強度解析用に荷重事例 1 8、2 0、2 2 のうちの 1 つを選択するステップとをさらに含む。別の例では、前記方法は、前記解析テンプレート 2 8 が静的解析テンプレート 3 0、疲労解析テンプレート 3 2、及び損傷許容性解析テンプレート 3 4 を備え、アナライザ 1 0 0 を使用して強度解析を実施する前記ステップが、静的解析テンプレート 3 0 を使用した前記構造コンポーネント 2 5 0 の静的解析の実施と、疲労解析テンプレート 2 8 及び損傷許容性解析テンプレート 3 4 を使用した構造コンポーネント 2 5 0 の疲労解析の実施とのうちの少なくとも 1 つを備えることを含む。さらに別の例では、前記方法は、インターフェース 5 0 を使用して最適化のため構造コンポーネント 2 5 0 の少なくとも 1 つの設計変数 1 5 4 を選択するステップと、インターフェース 5 0 を使用してプロセッサベースのオブティマイザ 1 5 0 に構造コンポーネント 2 5 0 の少なくとも 1 つの制約を入力するステップと、オブティマイザ 1 5 0 を使用して制約が実質的に満たされるまで設計変数 1 5 4 を繰り返し更新することによって設計変数 1 5 4 の最適化を実施するステップと、又オブティマイザ 1 5 0 を使用して設計変数 1 5 4 の最適化に基づいて構造コンポーネント 2 5 0 の最適化された幾何形状を決定するステップとをさらに含む。なお別の例では、前記方法は、設計変数 1 5 4 が構造コンポーネント 2 5 0 の幾何学的パラメータ 3 1 2 を備えることを含む。

【 0 0 7 2 】

1 つの実施例では、前記方法は、幾何学的パラメータ 3 1 2 が構造コンポーネント 2 5

10

20

30

40

50

0の厚みを備えることを含む。別の実施例では、前記方法は、制約が安全マージン130の最小値を含むことを含む。別の実施例では、前記方法は、最適化された幾何形状の故障モード132及び故障モード132に対応する安全マージン130を決定するステップをさらに含む。さらに別の実施例では、前記方法は、少なくとも1つの荷重条件及び安全マージン130に関連する環境を決定するステップをさらに含む。さらに別の実施例では、前記方法は、構造コンポーネント250の最適化が構造コンポーネント250の静的解析及び疲労解析にそれぞれ基づいて、静的最適化170及び疲労最適化172のうちの少なくとも1つを含むことを含む。なお別の実施例では、前記方法は、最適化された幾何形状を決定するステップが構造コンポーネント250の少なくとも一部分の最小厚みを決定することを含む。

10

【0073】

一態様では、構造コンポーネント250を解析する方法であって、

アクセス制御付きサーバー12に少なくとも1つの荷重事例18、20、22、少なくとも1つの材料許容値26、及び少なくとも1つの解析変数104を有する解析テンプレート28を保存するステップと、

サーバー12へのインターフェース50を使用して、前記解析変数104に対して少なくとも1つの登録を行うステップと、

プロセッサベースのアナライザ100を使用して、前記荷重事例18、20、22及び前記解析変数104の登録に基づく前記解析テンプレート28を使用する前記構造コンポーネント250の強度解析を実施するステップと、

20

前記アナライザ100を使用して、前記材料許容値26に基づく前記構造コンポーネント250の安全マージン130を決定するステップと、

インターフェース50を使用して、設計変数154及び構造コンポーネント250の制約を提供するステップと、

プロセッサベースのオブティマイザ150を使用して、制約が実質的に満たされるまで設計変数154を繰り返し更新することによって設計変数154の最適化を実施するステップと、

オブティマイザ150を使用して、設計変数154の最適化に基づく構造コンポーネント250の最適化された幾何形状と、解析変数104の各登録に対して、前記アナライザ100が安全マージン130に対して一貫性のある値を決定できるように、前記インターフェース50を用いた改変が不可となっている前記解析テンプレート28とを決定するステップと

30

を含む方法が開示されている。

【0074】

別の態様では、

構造コンポーネント250を解析するためのプロセッサベースシステムであって、

少なくとも1つの荷重事例18、20、22、少なくとも1つの材料許容値26、及び少なくとも1つの解析変数104を有する解析テンプレート28を保存するように構成されているアクセス制御付きサーバー12と、

前記サーバー12へのインターフェース50であって、ユーザーによる前記解析変数104への登録を容易にするように構成されているインターフェース50と、

40

前記荷重事例18、20、22、及び前記解析変数104への登録に基づく前記解析テンプレート28を使用する前記構造コンポーネント250の強度解析を実施するように構成されている構造コンポーネントアナライザ100)であって、材料許容値26に基づく前記構造コンポーネント250の安全マージン130を決定するように構成されている構造コンポーネントアナライザ100と、

前記解析変数104の各登録に対して、前記アナライザ100が前記安全マージン130に対して一貫性のある値を決定できるように前記インターフェース50を用いた改変が不可となっている前記解析テンプレート28と

を含むシステムが開示されている。

50

【 0 0 7 5 】

1つの変形例では、前記方法は、前記登録が構造コンポーネント250の幾何学的パラメータ312を備えることを含む。別の変形例では、前記システムは、前記サーバー12が複数の前記荷重事例18、20、22を保存するように構成されており、且つ前記インターフェース50が前記強度解析のため荷重事例18、20、22のうちの1つの選択を容易にするように構成されていることを含む。さらに別の変形例では、前記システムは、前記サーバー12が、材料24及び対応する材料許容値26の一覧表を保存するように構成されており、且つ前記解析変数104への登録として前記材料24のうちの少なくとも1つの選択を容易にするように前記インターフェース50が構成されていることを含む。なお別の変形例では、前記システムは、構造コンポーネントオブティマイザ150と、オブティマイザ150への少なくとも1つの設計変数154及び少なくとも1つの制約の登録を容易にするように構成されたインターフェース50と、制約が実質的に満たされるまで設計変数154を繰り返し更新するように構成された構造コンポーネントオブティマイザ150と、設計変数154の最適化に基づいて構造コンポーネント250の最適化された幾何形状を決定するように構成された構造コンポーネントオブティマイザ150とをさらに含む。1つの実施例では、前記システムは、少なくとも1つの設計変数154が構造コンポーネント250の厚みを含み、且つ少なくとも1つの制約が安全マージン130の最小値を含むことを含む。

10

【 0 0 7 6 】

当業者には、本発明の他の修正例及び改良例が明らかであろう。したがって、本明細書に記載及び例示した部分の具体的な組み合わせは、本発明の特定の実施形態を表しているに過ぎず、本発明の精神及び範囲に含まれる別の実施形態又はデバイスを制限するものではない。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 7 7 】

- 10 システム
- 14 プロセッサ
- 18 荷重事例
- 20 静的荷重事例
- 22 疲労荷重事例
- 24 材料
- 26 材料許容値
- 28 解析テンプレート
- 30 静的解析テンプレート
- 32 疲労解析テンプレート
- 34 損傷許容性解析テンプレート
- 50 インターフェース
- 100 アナライザ
- 102 解析入力
- 104 解析変数
- 106 データ登録
- 152 最適化入力
- 154 設計変数
- 156 最適化ループ
- 250 構造コンポーネント
- 252 構造アセンブリ
- 256 パネル
- 258 梁
- 260 ウェブ
- 262 取付フランジ

30

40

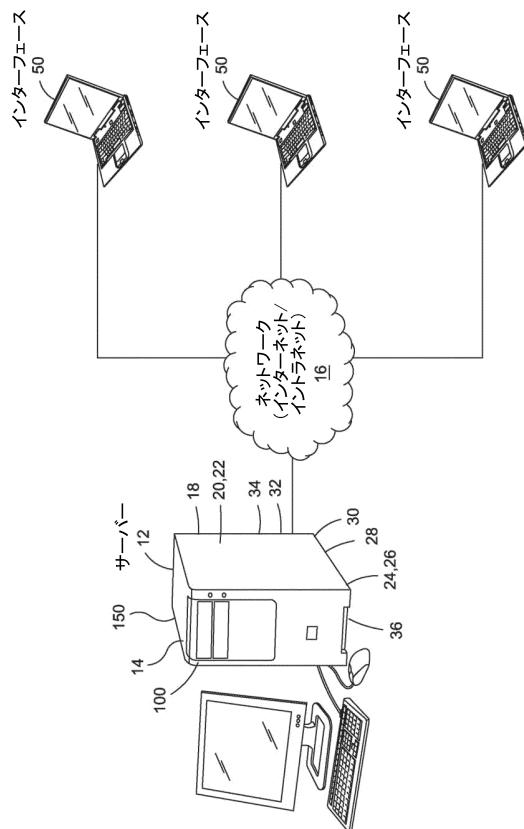
50

2 6 4	フリーフランジ
2 6 8	位置
3 0 0	構成
3 0 2	第1 梁構成
3 0 4	第2 梁構成
3 0 6	第3 梁構成
3 0 8	強化材料の詰め物
3 1 0	ストラップ
3 1 2	幾何学的パラメータ
3 1 6	梁の高さ
3 1 8	ウェブの厚み
3 2 0	取付フランジの厚み
3 2 2	フィレ半径
3 2 4	ジョイント構成
3 2 6	締め具間隔
3 2 8	締め具の種類
3 3 0	締め具の仕様
5 0 0	航空機
5 0 2	胴体
5 0 4	翼
5 0 8	尾部
5 1 0	水平安定板
5 1 2	垂直安定板
5 1 4	推進ユニット

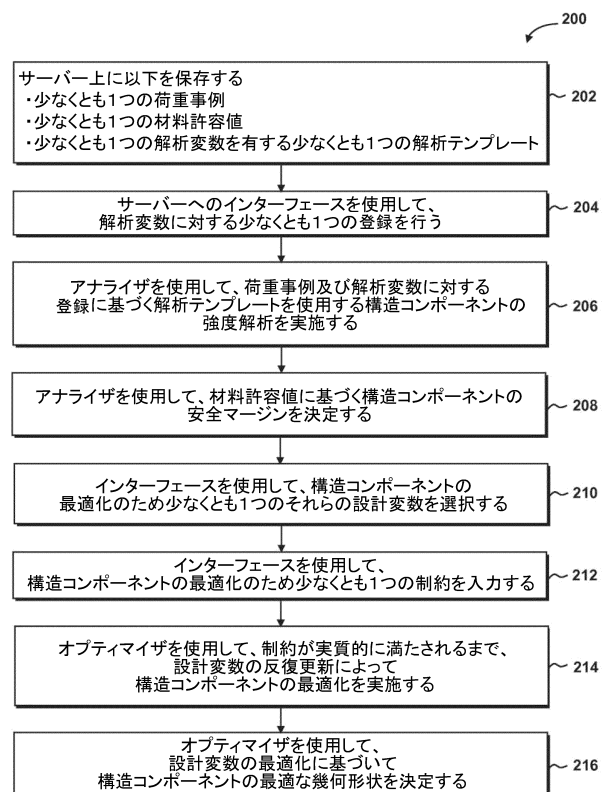
10

20

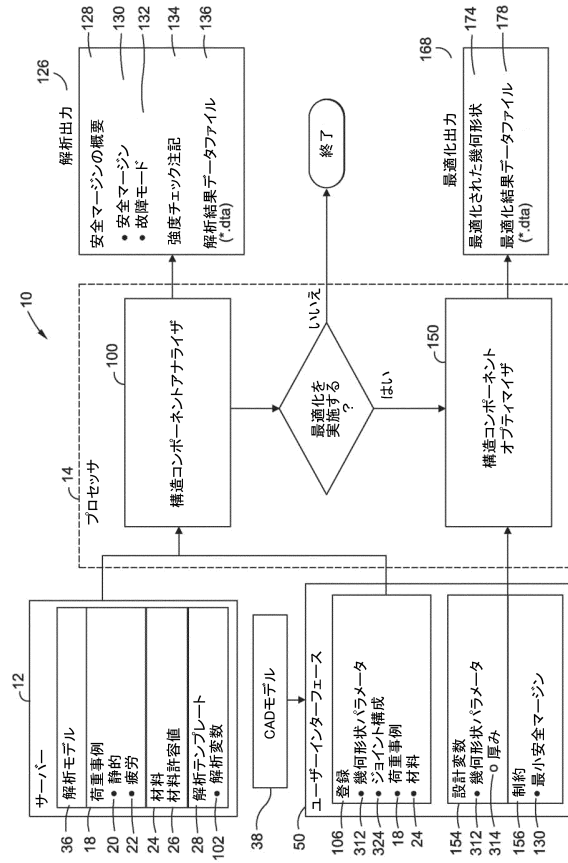
【図 1】



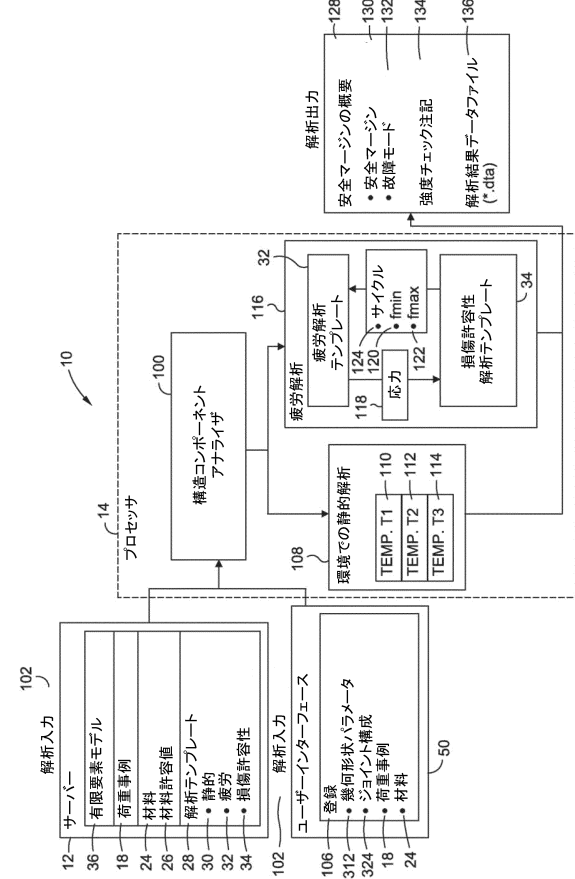
【図 2】



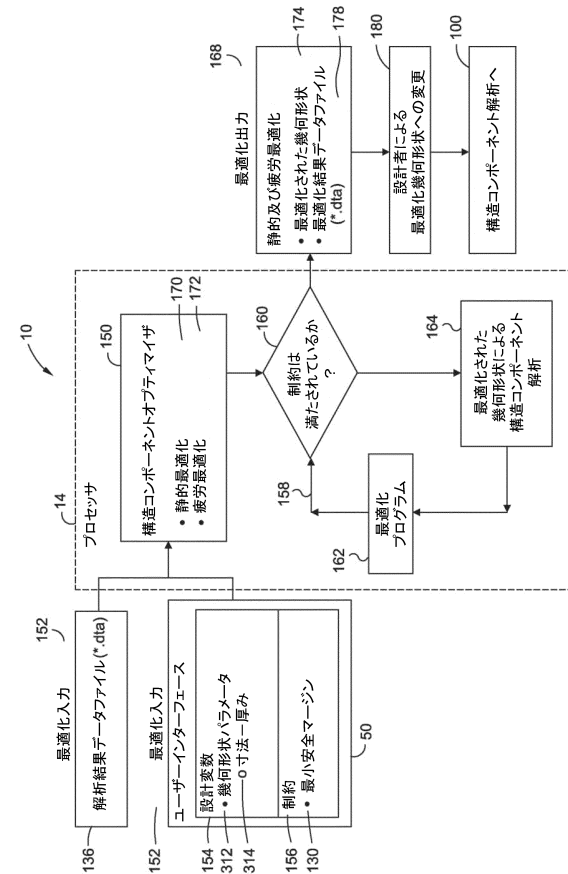
【図 3】



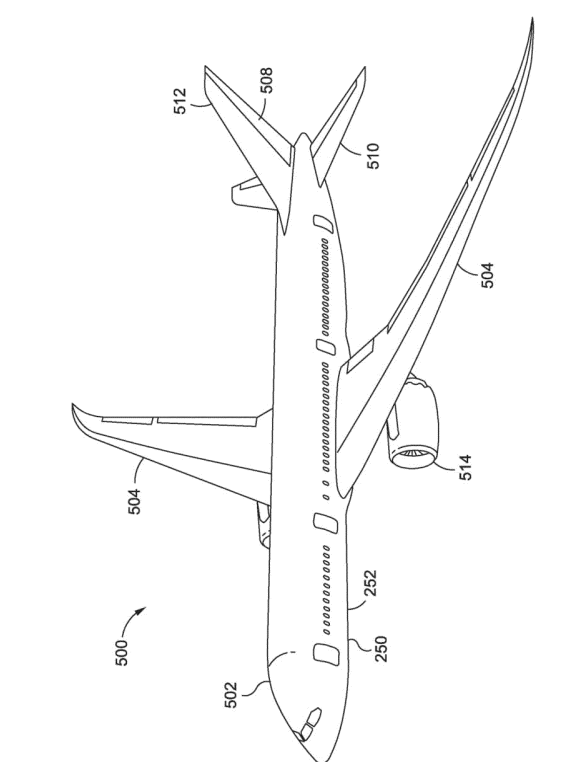
【図 4】



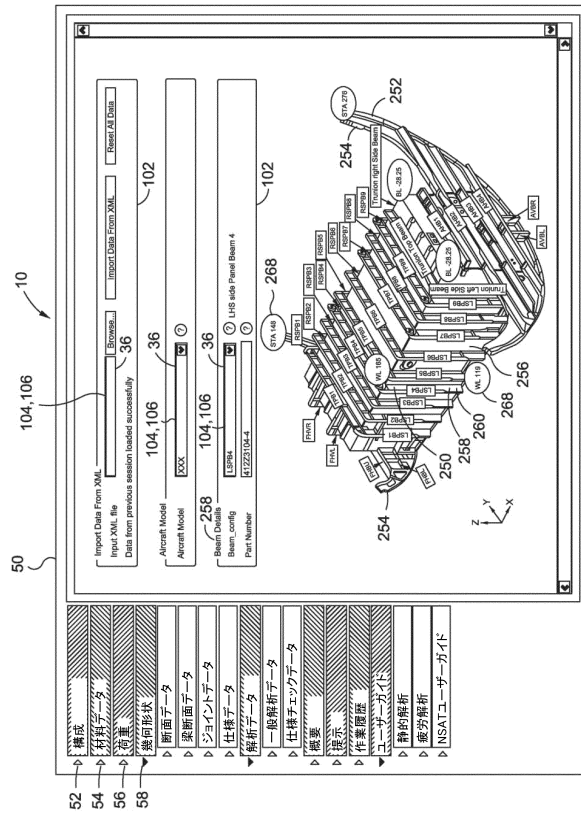
【図 5】



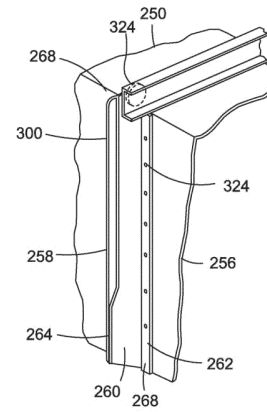
【図 6】



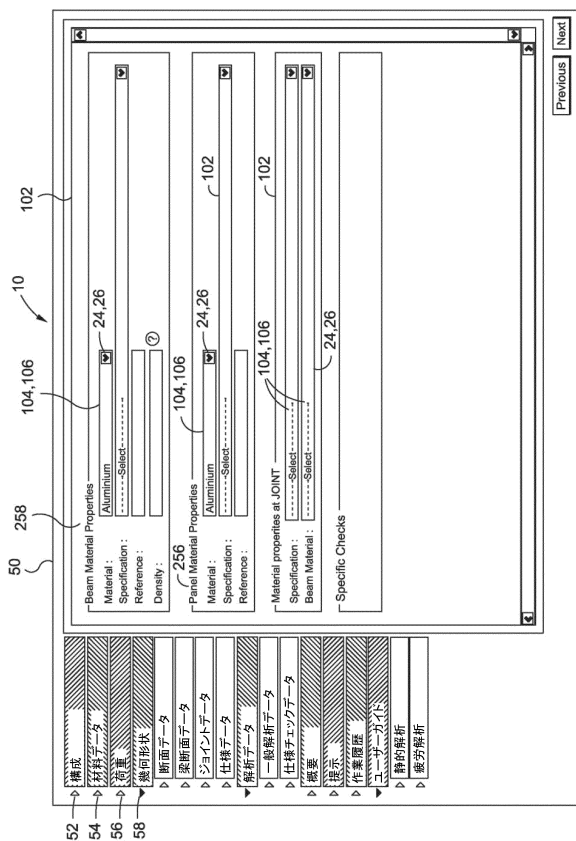
【図 7】



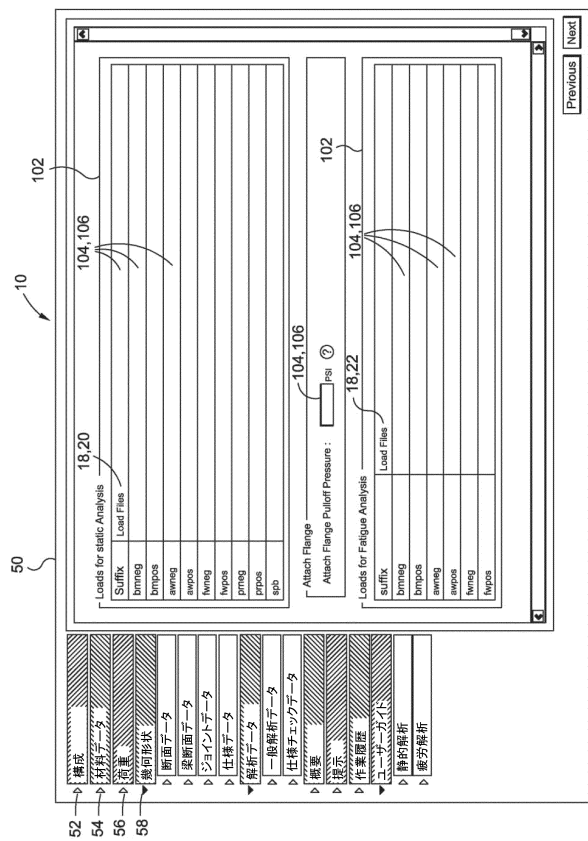
【図 8】



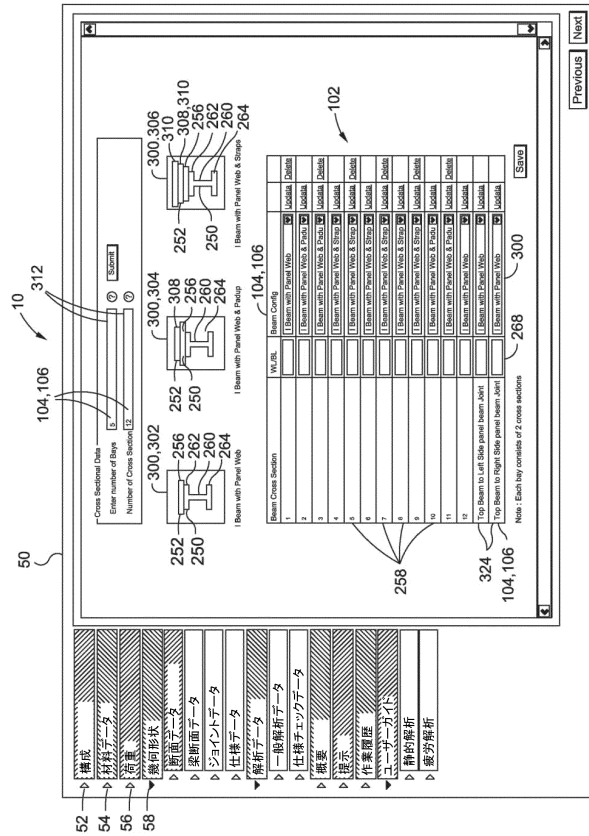
【図 9】



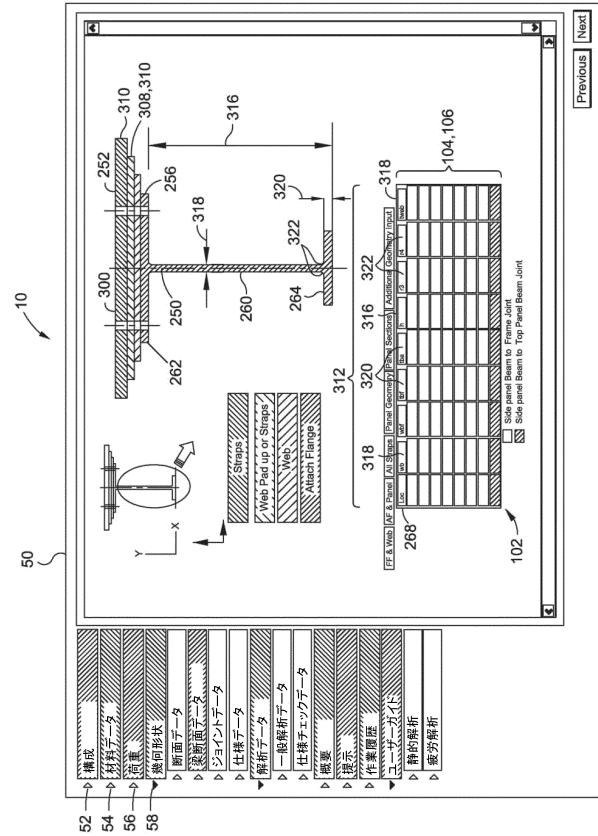
【図 10】



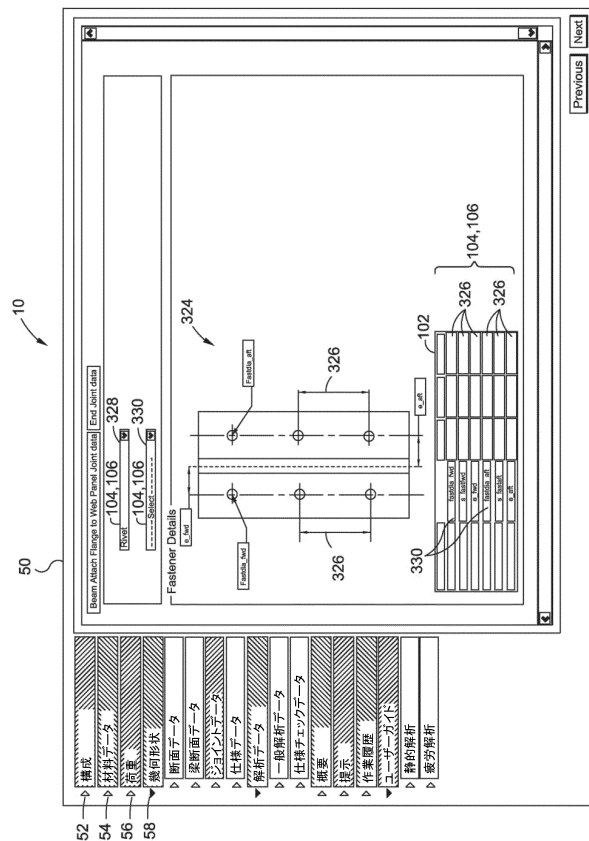
【図 1 1】



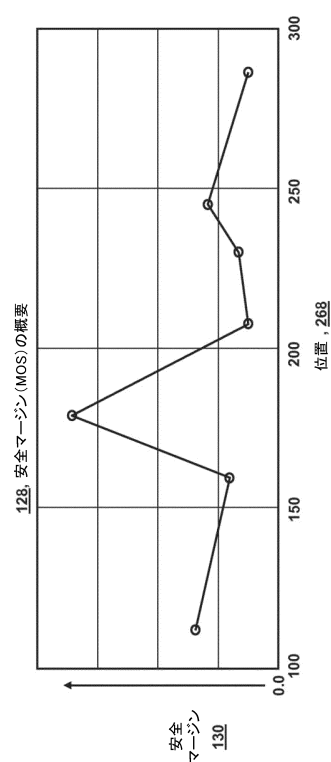
【図 1 2】



【図 1 3】



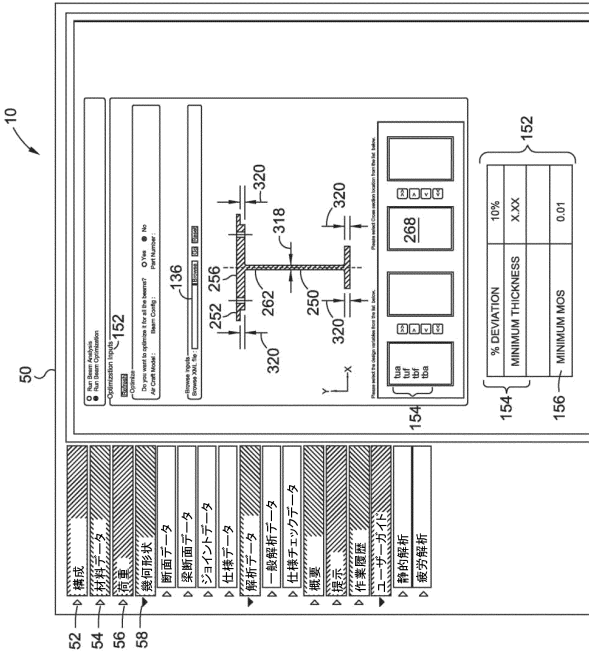
【図 1 4】



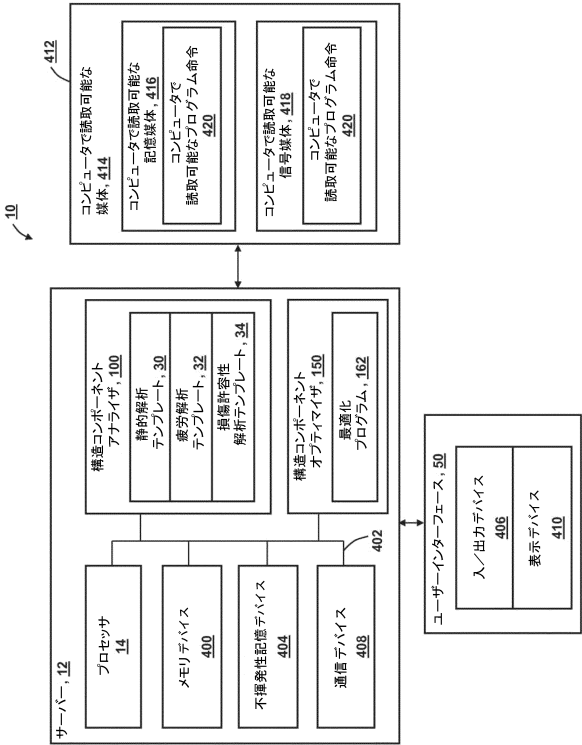
【図 15】

268		130	258	132		18	
位置		重要な安全マージン	コンポーネント	故障モード	荷重事例	環境	
120.9		X.XX	梁	座屈	L0004	70°F	
180.3		X.XX	梁	座屈	L0004	70°F	
208.4		X.XX	梁	座屈	L0004	70°F	
236.6		X.XX	梁	座屈	L0004	70°F	
287.2		X.XX	梁	座屈	L0004	70°F	
287.3		X.XX	締め具	せん断/張力	L0004	70°F	

【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

- (72)発明者 マリカルジュナイヤー, ナヴィーナー
アメリカ合衆国 ワシントン 98204, エヴァレット, エバーグリーン ウェイ 110
30, アpartment ディー307
- (72)発明者 エシュギ, メル
アメリカ合衆国 ワシントン 98006, ベルビュー, 141番 プレイス サウスイース
ト 5704
- (72)発明者 ラマチャンドラン, チャンドラシェカール
アメリカ合衆国 ワシントン 98204, エヴァレット, ホーリー ドライブ 10115
, アpartment エイチ203
- (72)発明者 ウダリ, ヴェンカタ ナラシンハ ラヴィ
アメリカ合衆国 ワシントン 98204, エヴァレット, 12番 アヴェニュー ウェスト
9900, アpartment ビー203

審査官 合田 幸裕

- (56)参考文献 特開2001-125933(JP,A)
特開2004-314885(JP,A)
特開2003-150650(JP,A)
特開2009-003549(JP,A)
米国特許出願公開第2004/0250236(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50
IEEE Xplore
Cinii
JSTPlus(JDreamII)