

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-59804
(P2014-59804A)

(43) 公開日 平成26年4月3日(2014.4.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06F 17/50 (2006.01)	G06F 17/50 604A	5B046
G06F 19/00 (2011.01)	G06F 17/50 612Z	
	G06F 19/00 120	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2012-205502 (P2012-205502)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成24年9月19日 (2012.9.19)	(74) 代理人	100092152 弁理士 服部 毅巖
		(72) 発明者	穴井 宏和 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		Fターム(参考)	5B046 AA04 AA08 GA01 JA07

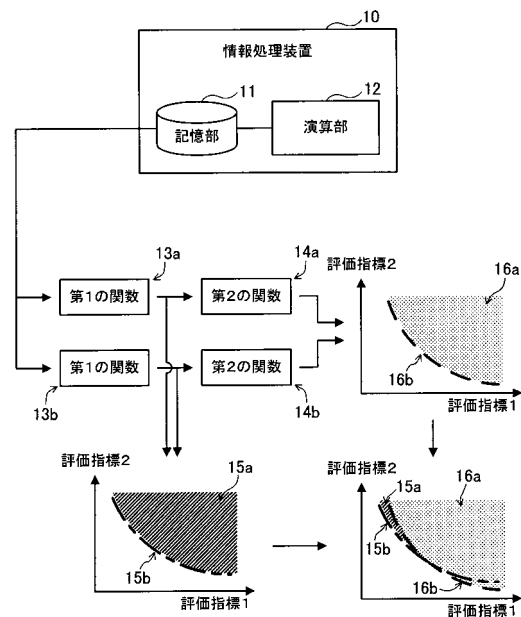
(54) 【発明の名称】 評価支援方法、情報処理装置、及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 数式処理の負荷を抑えた場合の分析結果への影響を可視化すること。

【解決手段】 記憶部11は、複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと複数の評価指標の1つとの間の関係を示す複数の第1関数13a、13bの情報を記憶する。演算部12は、複数の第1関数13a、13bの1つ以上を近似処理することで複数の評価指標に対応する複数の第2関数14a、14bを算出する。演算部12は、複数の第1関数13a、13bを用いてパラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第1範囲情報15a、15bを生成し、複数の第2関数14a、14bを用いてパラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第2範囲情報16a、16bを生成する。演算部12は、第1範囲情報15a、15bと第2範囲情報16a、16bとを比較可能な形式で表示させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータが実行する評価支援方法であって、

複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと前記複数の評価指標の 1 つとの間の関係を示す複数の第 1 の関数から、前記複数の第 1 の関数の 1 つ以上を近似処理することで、前記複数の評価指標に対応する複数の第 2 の関数を算出し、

前記複数の第 1 の関数を用いて、前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 1 の範囲情報を生成し、また、前記複数の第 2 の関数を用いて、前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 2 の範囲情報を生成し、

前記第 1 の範囲情報と前記第 2 の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる、
評価支援方法。

10

【請求項 2】

前記複数の第 1 の関数及び前記複数の第 2 の関数はそれぞれ多項式であり、

一の第 1 の関数を近似処理して一の第 2 の関数を算出するとき、算出する前記一の第 2 の関数は前記一の第 1 の関数より次数の低い多項式である、

請求項 1 に記載の評価支援方法。

【請求項 3】

前記第 1 の範囲情報は、前記複数の第 1 の関数と前記パラメータの変化する範囲とを示す第 1 の論理式を数式処理することで算出し、

20

前記第 2 の範囲情報は、前記複数の第 2 の関数と前記パラメータの変化する範囲とを示す第 2 の論理式を数式処理することで算出する、

請求項 1 又は 2 に記載の評価支援方法。

【請求項 4】

前記比較可能な形式は、前記第 1 の範囲情報が示す領域及び境界の少なくとも一方と前記第 2 の範囲情報が示す領域及び境界の少なくとも一方とを重ねて表示する表示形式である、

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の評価支援方法。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 の範囲情報は、前記パラメータの変化する範囲を第 1 のパラメータ範囲に設定して算出し、

30

さらに、前記パラメータの変化する範囲を前記第 1 のパラメータ範囲より広い第 2 のパラメータ範囲に設定して、前記複数の第 1 の関数を用いて第 3 の範囲情報を生成し、また、前記複数の第 2 の関数を用いて第 4 の範囲情報を生成し、

前記第 1 乃至第 4 の範囲情報の少なくとも 2 つを比較可能な形式で表示させる、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の評価支援方法。

【請求項 6】

コンピュータが実行する評価支援方法であって、

複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと前記複数の評価指標の 1 つとの間の関係を示す複数の関数から、前記パラメータが第 1 のパラメータ範囲で変化するとき前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 1 の範囲情報を生成し、また、前記複数の関数から、前記パラメータが前記第 1 のパラメータ範囲より広い第 2 のパラメータ範囲で変化するとき前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 2 の範囲情報を生成し、

40

前記第 1 の範囲情報と前記第 2 の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる、
評価支援方法。

【請求項 7】

複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと前記複数の評価指標の 1 つとの間の関係を示す複数の第 1 の関数の情報を記憶する記憶部と、

前記複数の第 1 の関数の 1 つ以上を近似処理することで前記複数の評価指標に対応する

50

複数の第2の関数を算出し、前記複数の第1の関数を用いて前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第1の範囲情報を生成し、また、前記複数の第2の関数を用いて前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第2の範囲情報を生成し、前記第1の範囲情報と前記第2の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる演算部と、
を有する情報処理装置。

【請求項8】

コンピュータに、

複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと前記複数の評価指標の1つとの間の関係を示す複数の第1の関数から、前記複数の第1の関数の1つ以上を近似処理することで、前記複数の評価指標に対応する複数の第2の関数を算出し、

前記複数の第1の関数を用いて、前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第1の範囲情報を生成し、また、前記複数の第2の関数を用いて、前記パラメータの変化に応じて前記複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第2の範囲情報を生成し、

前記第1の範囲情報と前記第2の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる、
処理を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、評価支援方法、情報処理装置、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

現在、コンピュータの演算能力の向上に伴って、様々な分野でコンピュータシミュレーションが利用されている。例えば、機械製品や電子製品の設計を支援するため、温度・気圧などのパラメータをある値に設定したときの応答速度・製造コストなどの製品指標を、コンピュータシミュレーションを通じて予測する。これにより、最適なパラメータや最適な製品指標の組み合わせを見つけることが容易となり、試作品を製造する回数を減らして機械製品や電子製品などを効率的に設計できるようになる。

【0003】

シミュレーション結果を分析するとき、しばしば数理最適化技術が利用される。数理最適化技術には、入力として数値を受け取り計算結果として数値を出力する数値解析と、入力として数式を受け取り、数式を記号的に処理する数式処理とが含まれる。数式処理の方法としては、例えば、Cylindrical Algebraic Decomposition (CAD) や限量子消去 (QE: Quantifier Elimination) などが挙げられる。数式処理技術を利用することで、例えば、グラフ上で特定条件を満たす領域や境界を算出することができる。

【0004】

なお、設計仕様を複数の観点から評価するため、評価項目毎の解析結果と所定の評価関数とを用いて評価項目の間のトレードオフを評価し、最適な設計パラメータを求めるシステムが提案されている。また、複数の目的関数の組み合わせの最適化を行うにあたり、各目的関数の重みの決定や変更を自動的に行うようにした方法が提案されている。また、長期限界費用曲線と短期限界費用曲線を記載したグラフを表示して、二酸化炭素排出権取引を支援するシステムが提案されている。

【0005】

また、トレードオフ関係にある複数の性能を考慮してタイヤなどの構造体を設計する方法であって、少なくとも1つの設計変数と2以上の目的関数とを定め、シミュレーション演算を行うことで目的関数に対するパレート最適解を求める方法が提案されている。また、ハードディスクのスライダ形状などの設計を支援するため、多項式で表した複数の目的関数を、QE法を用いて数式処理することで、複数の目的関数の値が取り得る領域を計算して表示する方法が提案されている。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平5-41443号公報

【特許文献2】特開平6-332883号公報

【特許文献3】特開2002-149978号公報

【特許文献4】特開2006-285381号公報

【特許文献5】特開2009-169557号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0007】

上記のように、複数の評価指標の間のトレードオフ関係を、これら評価指標に対応する複数の関数を数式処理することで分析することが考えられる。数式処理技術を利用することで、複数の評価指標の組み合わせを点ではなく境界線や領域として扱うことができるため、数値解析技術と比べて分析に要するシミュレーションの回数を低減し得る。

【0008】

但し、数式処理技術を利用した分析では、評価指標に対応する関数の複雑さが問題となる。一般に、使用する関数が複雑であるほど（例えば、多項式の次数が大きいほど）、評価指標の特性を精度よく表現することができる。一方で、関数が複雑であるほど数式処理の負荷が大きくなるが多いため、製品設計などを行うユーザは、ある時点以降の設計作業で使用する関数を複雑さの小さいものしたいと考える可能性がある。

20

【0009】

そこで、一側面では、本発明は、数式処理の負荷を抑えた場合の分析結果への影響を可視化することが可能な評価支援方法、情報処理装置、及びプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

一側面では、コンピュータが実行する評価支援方法が提供される。このコンピュータは、複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと複数の評価指標の1つとの間の関係を示す複数の第1の関数から、複数の第1の関数の1つ以上を近似処理することで、複数の評価指標に対応する複数の第2の関数を算出する。また、このコンピュータは、複数の第1の関数を用いて、パラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第1の範囲情報を生成する。また、このコンピュータは、複数の第2の関数を用いて、パラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第2の範囲情報を生成する。また、このコンピュータは、第1の範囲情報と第2の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる。

30

【0011】

一側面では、コンピュータが実行する他の評価支援方法が提供される。このコンピュータは、複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと複数の評価指標の1つとの間の関係を示す複数の関数から、パラメータが第1のパラメータ範囲で変化するとき複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第1の範囲情報を生成する。また、このコンピュータは、複数の関数から、パラメータが第1のパラメータ範囲より広い第2のパラメータ範囲で変化するとき複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第2の範囲情報を生成する。また、このコンピュータは、第1の範囲情報と第2の範囲情報とを比較可能な形式で表示させる。

40

【発明の効果】

【0012】

一側面では、数式処理の負荷を抑えた場合の分析結果への影響を可視化することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 3 】

- 【 図 1 】 第 1 の実施の形態に係る情報処理装置の例を示した図である。
- 【 図 2 】 第 2 の実施の形態に係る評価支援システムの例を示した図である。
- 【 図 3 】 第 2 の実施の形態に係る情報処理装置のハードウェアの例を示した図である。
- 【 図 4 】 第 2 の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。
- 【 図 5 】 第 2 の実施の形態に係る目的関数の計算方法を示した図である。
- 【 図 6 】 第 2 の実施の形態に係る簡略化の方法を示した図である。
- 【 図 7 】 第 2 の実施の形態に係る数式処理の例を示した図である。
- 【 図 8 】 第 2 の実施の形態に係る情報処理装置による処理の流れを示した図である。
- 【 図 9 】 第 2 の実施の形態に係る目的関数の計算処理の流れを示した図である。 10
- 【 図 1 0 】 第 2 の実施の形態に係る目的関数の簡略化処理の流れを示した図である。
- 【 図 1 1 】 第 2 の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。
- 【 図 1 2 】 第 2 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。
- 【 図 1 3 】 第 2 の実施の形態に係る簡略化計算の例を示した図である。
- 【 図 1 4 】 第 2 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。
- 【 図 1 5 】 第 3 の実施の形態に係る拡張パラメータ範囲の設定例を示した図である。
- 【 図 1 6 】 第 3 の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。
- 【 図 1 7 】 第 3 の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。
- 【 図 1 8 】 第 3 の実施の形態に係る計算結果の第 1 の表示方法を示した図である。
- 【 図 1 9 】 第 3 の実施の形態に係る計算結果の第 2 の表示方法を示した図である。 20
- 【 図 2 0 】 第 3 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。
- 【 図 2 1 】 第 4 の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。
- 【 図 2 2 】 第 4 の実施の形態に係る数式処理の例を示した図である。
- 【 図 2 3 】 第 4 の実施の形態に係る情報処理装置による処理の流れを示した図である。
- 【 図 2 4 】 第 4 の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。
- 【 図 2 5 】 第 4 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。
- 【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

以下、図面を参照しながら実施の形態について説明する。

[第 1 の実施の形態] 30

まず、第 1 の実施の形態について説明する。

【 0 0 1 5 】

図 1 は、第 1 の実施の形態に係る情報処理装置の例を示した図である。図 1 に示すように、情報処理装置 1 0 は、記憶部 1 1 及び演算部 1 2 を有する。

記憶部 1 1 は、複数の評価指標に対応しそれぞれがパラメータと複数の評価指標の 1 つとの間の関係を示す複数の第 1 の関数 1 3 a、1 3 b の情報を記憶する。パラメータは、例えば、評価対象の設計に関わるパラメータ、評価対象の製造プロセスにおける設定内容を規定するパラメータ、評価対象の実稼働条件を規定するパラメータなどであってもよい。評価指標は、例えば、評価対象の性能を表す指標や、評価対象の製造時に生じるコストなどを表す指標などであってもよい。 40

【 0 0 1 6 】

第 1 の関数 1 3 a、1 3 b は、例えば、多項式又は有理式などであってもよい。また、第 1 の関数 1 3 a、1 3 b は、例えば、利用者が任意に与えた数式、或いは、シミュレーションや実験などにより得られたデータを最小二乗法などの方法でフィッティングした近似式などであってもよい。なお、記憶部 1 1 は、Random Access Memory (R A M) などの揮発性記憶装置であってもよいし、Hard Disk Drive (H D D) やフラッシュメモリなどの不揮発性記憶装置であってもよい。

【 0 0 1 7 】

演算部 1 2 は、複数の第 1 の関数 1 3 a、1 3 b の 1 つ以上を近似処理することで複数の評価指標に対応する複数の第 2 の関数 1 4 a、1 4 b を算出する。例えば、第 1 の関数 50

1 3 a、1 3 b が多項式で表現されている場合に、演算部 1 2 は、第 1 の関数 1 3 a、1 3 b よりも次数が小さい近似多項式を計算し、当該近似多項式を第 2 の関数 1 4 a、1 4 b に設定してもよい。近似処理は、例えば、多項式の次数を下げる方法であってもよいし、多項式の項数を低減させる方法などであってもよい。

【 0 0 1 8 】

演算部 1 2 は、複数の第 1 の関数 1 3 a、1 3 b を用いてパラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 1 の範囲情報 1 5 a、1 5 b を生成する。例えば、第 1 の範囲情報 1 5 a、1 5 b は、複数の第 1 の関数 1 3 a、1 3 b とパラメータの変化する範囲とを示す第 1 の論理式を数式処理することで算出されるものであってもよい。また、第 1 の論理式は、例えば、第 1 の関数 1 3 a、1 3 b に含まれる変数のうち、パラメータに対応する変数を束縛変数とし、その他の変数及び第 1 の関数 1 3 a、1 3 b の出力値を自由変数として、当該束縛変数が存在することを表す制約条件を含む論理式であってもよい。

10

【 0 0 1 9 】

演算部 1 2 は、複数の第 2 の関数 1 4 a、1 4 b を用いてパラメータの変化に応じて複数の評価指標の値の組み合わせが変化する範囲を示す第 2 の範囲情報 1 6 a、1 6 b を生成する。例えば、第 2 の範囲情報 1 6 a、1 6 b は、複数の第 2 の関数 1 4 a、1 4 b とパラメータの変化する範囲とを示す第 2 の論理式を数式処理することで算出されるものであってもよい。また、第 2 の論理式は、例えば、第 2 の関数 1 4 a、1 4 b に含まれる変数のうち、パラメータに対応する変数を束縛変数とし、その他の変数及び第 2 の関数 1 4 a、1 4 b の出力値を自由変数として、当該束縛変数が存在することを表す制約条件を含む論理式であってもよい。

20

【 0 0 2 0 】

演算部 1 2 は、第 1 の範囲情報 1 5 a、1 5 b と第 2 の範囲情報 1 6 a、1 6 b とを比較可能な形式で表示させる。例えば、演算部 1 2 は、範囲の内部を示す第 1 の範囲情報 1 5 a 及び第 2 の範囲情報 1 6 a だけを同じ画面上に表示させてもよい。また、演算部 1 2 は、境界を示す第 1 の範囲情報 1 5 b 及び第 2 の範囲情報 1 6 b だけを同じ画面上に表示してもよい。また、演算部 1 2 は、第 1 の範囲情報 1 5 a 及び 1 5 b と、第 2 の範囲情報 1 6 a 及び 1 6 b とを全て同じ画面上に表示させてもよい。

【 0 0 2 1 】

演算部 1 2 は、Central Processing Unit (C P U) や Digital Signal Processor (D S P) などのプロセッサであってもよい。また、演算部 1 2 は、Application Specific Integrated Circuit (A S I C) や Field Programmable Gate Array (F P G A) などのプロセッサ以外の電子回路であってもよい。演算部 1 2 は、例えば、記憶部 1 1 又は他のメモリに記憶されたプログラムを実行する。

30

【 0 0 2 2 】

第 1 の実施の形態に係る情報処理装置 1 0 によれば、第 1 の範囲情報 1 5 a、1 5 b の一部又は全部と、第 2 の範囲情報 1 6 a、1 6 b の一部又は全部とを比較可能な形式で表示させることで、数式処理の負荷を抑えた場合の分析結果への影響を可視化することができるようになる。また、近似処理の影響を考慮した上で、数式処理の負荷が低い第 2 の関数 1 4 a、1 4 b を利用した適切な設計や評価などが行えるようになる。

40

【 0 0 2 3 】

[第 2 の実施の形態]

次に、第 2 の実施の形態について説明する。

図 2 は、第 2 の実施の形態に係る評価支援システムの例を示した図である。図 2 に示すように、第 2 の実施の形態に係る評価支援システム 1 0 0 は、シミュレータ 1 1 0、ネットワーク 1 2 0、情報処理装置 1 3 0、及び表示装置 1 4 0 を含む。

【 0 0 2 4 】

シミュレータ 1 1 0 は、評価の対象物及び評価の対象となる環境をシミュレートする装置である。例えば、シミュレータ 1 1 0 は、シミュレーション用に設計された専用の装置

50

であってもよいし、シミュレーション用プログラムがインストールされた汎用のコンピュータであってもよい。例えば、シミュレータ 110 は、情報処理装置 130 と同じハードウェアを有するコンピュータであってもよい。

【0025】

なお、第 2 の実施の形態においては、シミュレータ 110 によるシミュレーション結果を利用して評価指標を得る方法を紹介するが、実際に実験した結果を利用して評価指標を得る方法も考えられる。但し、以下では、説明の都合上、シミュレータ 110 におけるシミュレーション結果を利用することを前提に説明を進めることにする。

【0026】

シミュレータ 110 は、入力されたパラメータに基づいて対象物及び環境をシミュレートし、当該対象物及び環境について所定の評価指標を計算する。例えば、ハードディスクのヘッド形状を最適化するために評価を実施する場合、対象物はハードディスクのヘッドとなる。また、環境は、想定されるハードディスクの内部環境となる。この場合、シミュレータ 110 は、ハードディスクの内部環境をシミュレートし、ヘッドの形状に関するパラメータの入力に応じてヘッドの性能に関する評価指標を計算する。

10

【0027】

評価指標としては、例えば、性能やコストなどの指標が用いられる。性能に関する評価指標としては、例えば、耐久性、消費電力、動作環境（温度、湿度、気圧）などがある。また、コストに関する評価指標としては、費用、製造期間、歩留まりなどがある。なお、第 2 の実施の形態においては、互いにトレードオフの関係にある複数の評価指標を同時に考慮して最適化問題を解く多目的最適化について考える。

20

【0028】

多目的最適化は、ハードディスクのヘッド設計の他、半導体メモリの設計や自動車の衝突安全設計など、ものづくりの現場における設計や評価の場面で利用されることが多い。評価支援システム 100 は、こうした様々な設計や評価の場面において利用することができる。例えば、評価支援システム 100 は、半導体メモリの設計（例えば、基板材料、基板形状、配線パターンなどの最適化）に利用することが可能である。また、評価支援システム 100 は、自動車の衝突安全設計（例えば、ボディの材質やボディの形状などの最適化）に利用することも可能である。

【0029】

シミュレータ 110 により算出された評価指標の値、及び当該評価指標を計算する際にシミュレータ 110 に入力されたパラメータは、ネットワーク 120 を介して情報処理装置 130 に入力される。このとき、情報処理装置 130 には、パラメータと評価指標の値との組（以下、指標データ）が互いに対応付けて入力される。また、シミュレータ 110 で計算に用いた複数のパラメータに対応する複数の指標データが情報処理装置 130 に入力される。また、複数の評価指標を扱うため、評価指標毎に指標データが情報処理装置 130 に入力される。

30

【0030】

なお、ネットワーク 120 は、有線の通信網で形成されていてもよいし、無線の通信網で形成されていてもよい。また、図 2 にはネットワーク 120 を介してシミュレータ 110 と情報処理装置 130 とが接続される例を示したが、シミュレータ 110 と情報処理装置 130 とがケーブルなどを介して直接接続されていてもよい。また、シミュレータ 110 と情報処理装置 130 とが一体に形成されていてもよい。例えば、シミュレータ 110 と同じようにコンピュータを動作させるソフトウェアモジュールを情報処理装置 130 に組み込み、情報処理装置 130 をシミュレータ 110 として動作させてもよい。

40

【0031】

情報処理装置 130 は、指標データを用いて評価指標毎に目的関数を算出する。また、情報処理装置 130 は、評価指標毎の目的関数をそれぞれ簡略化する。また、情報処理装置 130 は、簡略化前の目的関数を含む第 1 の論理式及び簡略化後の目的関数を含む第 2 の論理式を生成し、第 1 及び第 2 の論理式に対する数式処理を実行する。そして、情報処

50

理装置 130 は、数式処理の結果を表示装置 140 に表示させる。

【0032】

表示装置 140 は、情報処理装置 130 による制御を受けて数式処理の結果を表示する。なお、表示装置 140 は、例えば、Cathode Ray Tube (CRT) ディスプレイ、Liquid Crystal Display (LCD)、Plasma Display Panel (PDP)、Organic Electro-Luminescence Display (OLED) などの表示デバイスである。

【0033】

図 3 は、第 2 の実施の形態に係る情報処理装置のハードウェアの例を示した図である。図 3 に示すように、情報処理装置 130 は、例えば、CPU 901、RAM 902、HDD 903、画像信号処理部 904、入力信号処理部 905、ディスクドライブ 906、及び通信インターフェース 907 を有する。なお、CPU 901 は、第 1 の実施の形態の演算部 12 の一例である。また、RAM 902 や HDD 903 は、第 1 の実施の形態の記憶部 11 の一例である。

10

【0034】

CPU 901 は、プログラムに記述された命令を実行する演算器を含むプロセッサである。CPU 901 は、HDD 903 に記憶されているプログラムやデータの少なくとも一部を RAM 902 にロードし、プログラムに記述された命令を実行する。なお、CPU 901 は、複数のプロセッサコアを含んでいてもよい。また、情報処理装置 130 は、複数の CPU 901 を搭載していてもよい。この場合、情報処理装置 130 は、処理を並列実行することができる。

20

【0035】

RAM 902 は、CPU 901 が実行するプログラムや、処理に用いられるデータを一時的に記憶するための揮発性メモリである。なお、情報処理装置 130 は、RAM 902 とは異なる種類のメモリを有していてもよい。また、情報処理装置 130 は、複数のメモリを備えていてもよい。

【0036】

HDD 903 は、Operating System (OS)、ファームウェア、或いは、アプリケーションソフトウェアなどのプログラムや、処理に用いられるデータなどを記憶する不揮発性記憶装置の一例である。なお、情報処理装置 130 は、フラッシュメモリや Solid State Drive (SSD) など、HDD 903 とは異なる種類の記憶装置を有していてもよい。また、情報処理装置 130 は、複数の記憶装置を有していてもよい。

30

【0037】

画像信号処理部 904 は、CPU 901 による制御を受け、情報処理装置 130 に接続された表示装置 140 に画像を出力する。表示装置 140 としては、例えば、CRT ディスプレイ、LCD、PDP、OLED などを用いることができる。

【0038】

入力信号処理部 905 は、情報処理装置 130 に接続された入力デバイス 92 から入力信号を取得し、CPU 901 に通知する。入力デバイス 92 としては、例えば、マウス、キーボード、タッチパネル、タッチパッド、トラックボール、リモートコントローラ、ボタンスイッチなどを用いることができる。

40

【0039】

ディスクドライブ 906 は、記録媒体 93 に記録されたプログラムやデータを読み取る読み取り装置である。記録媒体 93 としては、例えば、Flexible Disk (FD)、HDD などの磁気ディスク、Compact Disc (CD) や Digital Versatile Disc (DVD) などの光ディスク、Magneto-Optical disk (MO) などの光磁気ディスクを用いることができる。ディスクドライブ 906 は、例えば、CPU 901 による制御を受け、記録媒体 93 から読み取ったプログラムやデータを RAM 902 又は HDD 903 に格納する。

【0040】

通信インターフェース 907 は、ネットワーク 120 を介して他のコンピュータと通信を行うためのインターフェースである。通信インターフェース 907 は、有線インターフ

50

エースであってもよいし、無線インターフェースであってもよい。例えば、情報処理装置 130 は、通信インターフェース 907 を用いてシミュレータ 110 と通信する。

【0041】

図4は、第2の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。図4に示すように、第2の実施の形態に係る情報処理装置130は、目的関数計算部131、記憶部132、簡略化部133、数式処理部134、及び表示制御部135を有する。なお、目的関数計算部131、簡略化部133、数式処理部134、及び表示制御部135は、CPU901が実行するプログラムのモジュールとして実現できる。但し、目的関数計算部131、簡略化部133、数式処理部134、及び表示制御部135が有する機能の一部又は全部をソフトウェアではなく電子回路として実現することも可能である。

10

【0042】

目的関数計算部131は、入力された指標データを利用し、パラメータの入力に応じて評価指標の値を出力する目的関数を計算する。例えば、目的関数計算部131は、最小二乗法などの手法により、指標データの集合にフィットする近似式（例えば、多項式や有理式など）を計算し、当該近似式を目的関数に設定する。なお、第2の実施の形態においては、複数の評価指標にそれぞれ対応する複数の目的関数が生成される。

【0043】

目的関数計算部131により算出された目的関数は、記憶部132に格納される。記憶部132は、RAM902やHDD903に確保された記憶領域である。

簡略化部133は、記憶部132に格納された目的関数を読み出す。なお、簡略化部133は、目的関数計算部131から目的関数を直接取得してもよい。簡略化部133は目的関数を簡略化する。簡略化の方法としては、例えば、目的関数の次数を下げる方法や、目的関数の項数を減らす方法などが考えられる。

20

【0044】

目的関数の次数を下げることで、当該目的関数を含む論理式に対して数式処理を実行する際に、演算負荷を低減することが可能になる。また、目的関数の項数を減らすことで、目的関数の最高次数を下げられない場合でも、当該目的関数を含む論理式に対して数式処理を実行する際に、演算負荷を低減することが可能になる。

【0045】

目的関数の次数を下げる方法を適用する場合、簡略化部133は、所定のパラメータ範囲（以下、パラメータ範囲Dと称する。）において簡略化前の目的関数を近似する低次の近似式を算出し、当該近似式を簡略化後の目的関数に設定する。例えば、簡略化部133は、簡略化前の目的関数と簡略化後の目的関数との差がパラメータ範囲Dにおいて所定値（以下、近似判定値）より小さくなる低次の近似式を計算し、当該近似式を簡略化後の目的関数に設定する。

30

【0046】

目的関数を多項式とした場合、簡略化部133は、簡略化前の目的関数よりも低次の多項式を用意し、簡略化前の目的関数との差がパラメータ範囲Dの全体において近似判定値より小さくなるように当該多項式の係数を計算する。そして、簡略化部133は、計算した係数を割り当てた低次の多項式を簡略化後の目的関数に設定する。なお、多項式の最高次数や、多項式に含まれる各項の次数などは、予め設定されていてもよいし、簡略化前の目的関数との差が近似判定値よりも小さくなる条件の下で最小の次数となるように簡略化部133により自動的に決定されるようにしてもよい。

40

【0047】

目的関数の項数を減らす方法の場合、簡略化部133は、パラメータ範囲Dにおいて簡略化前の目的関数を近似する項数の少ない近似式を算出し、当該近似式を簡略化後の目的関数に設定する。例えば、簡略化部133は、簡略化前の目的関数と簡略化後の目的関数との差が近似判定値より小さく、かつ、項数の少ない近似式を計算し、当該近似式を簡略化後の目的関数に設定する。このとき、簡略化部133は、高次項の数を少なくするように項数を低減させる。例えば、N次の項又はM次の項（ $N > M$ ）を省略できるならば、簡

50

略化部 1 3 3 は、N 次の項を省略した近似式を簡略化後の目的関数に設定する。

【 0 0 4 8 】

なお、パラメータ範囲 D は、例えば、対象物が実際に利用される環境、安全基準などで規定された環境、対象物の提供者又は需要者が要求する環境、或いは、その他の環境を想定して予め設定される。多くの場合、対象物の利用が想定される環境を考慮し、余裕を持たせたパラメータの範囲がパラメータ範囲 D として予め設定される。また、近似判定値は、例えば、利用者が任意に設定してもよいし、指標データのばらつき度合いなどに基づいて決定してもよい。一例として、簡略化前の目的関数と指標データとの距離の最大値を近似判定値に設定する方法などが考えられる。

【 0 0 4 9 】

また、簡略化前の目的関数と簡略化後の目的関数との差は、ノルムで表現することができる。例えば、各目的関数が多項式で表現されている場合、多項式の係数を要素とするベクトルを考え、両目的関数に対応する 2 つのベクトルの差のノルムを当該両目的関数の差として用いる方法が考えられる。この場合、p 次平均ノルムや最大値ノルムなどを利用することができる。また、多項式の差のノルムを両目的関数の差として用いる場合、H ノルムなどを利用することができる。

【 0 0 5 0 】

なお、ベクトル v を下記の式 (1) で定義すると、ベクトル v の p 次平均ノルムは、下記の式 (2) のように表現される。また、ベクトル v の最大値ノルムは、下記の式 (3) のように表現される。また、多項式 F の H ノルムは、下記の式 (4) のように表現される。但し、下記の式 (4) に含まれる j は虚数単位である。

【 0 0 5 1 】

また、指標データの集合に対する簡略化前の目的関数の R^2 値と、指標データの集合に対する簡略化後の目的関数の R^2 値とを対比して、両目的関数の近似度合いを評価する方法も考えられる。但し、 R^2 値は、相関係数 R の二乗である決定係数を表す。この方法では、例えば、両目的関数の R^2 値の差が近似判定値より小さくなるように、指標データの集合から簡略化後の目的関数が決定される。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 】

$$v = (v_1, \dots, v_n) \quad \dots (1)$$

【 0 0 5 3 】

【 数 2 】

$$\|v\|_p = \left(\sum_{i=1}^n |v_i|^p \right)^{1/p} \quad (1 \leq p < \infty) \quad \dots (2)$$

【 0 0 5 4 】

【 数 3 】

$$\|v\|_\infty = \max(|v_1|, \dots, |v_n|) \quad \dots (3)$$

【 0 0 5 5 】

【 数 4 】

$$\|F\|_\infty = \sup_{\omega} |F(j\omega)| \quad \dots (4)$$

【 0 0 5 6 】

簡略化部 1 3 3 により算出された簡略化後の目的関数は、記憶部 1 3 2 に格納される。数式処理部 1 3 4 は、記憶部 1 3 2 から簡略化前の目的関数及び簡略化後の目的関数を取得する。なお、数式処理部 1 3 4 は、簡略化後の目的関数を簡略化部 1 3 3 から直接取得してもよい。

【 0 0 5 7 】

10

20

30

40

50

図4に示すように、数式処理部134は、第1領域計算部1341、第1パレート計算部1342、第2領域計算部1343、及び第2パレート計算部1344を含む。簡略化前の目的関数は、第1領域計算部1341に入力される。一方、簡略化後の目的関数は、第2領域計算部1343に入力される。

【0058】

第1領域計算部1341は、簡略化前の目的関数を用いて、数式処理の対象となる論理式を生成する。なお、論理式としては、例えば、一階述語論理式を用いることができる。なお、一階述語論理式とは、原子式（代数的等式、代数的不等式）、限量記号（全称記号、存在記号）、及び論理結合子（論理和、論理積、否定、含意など）を用いて表現される論理式である。

10

【0059】

例えば、第1領域計算部1341は、簡略化前の目的関数に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数を束縛変数とし、かつ、簡略化前の目的関数の出力値を自由変数に設定する。また、第1領域計算部1341は、束縛変数がパラメータ範囲Dに含まれることを制約条件に設定する。そして、第1領域計算部1341は、設定した制約条件の下で、簡略化前の目的関数を満たす束縛変数が存在することを表現した論理式を設定する。

【0060】

第1領域計算部1341は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組が取り得る値の範囲（以下、実行可能領域）を表現した論理式を生成する。例えば、2つの評価指標を考える場合、2つの簡略化前の目的関数がある。仮に、簡略化前の目的関数の出力値だけが自由変数に設定されている場合、所定の数式処理により、2つの出力値の組が取り得る値の範囲を表す実行可能領域を表現した論理式が生成される。この実行可能領域は、2次元平面上に描くことができる。

20

【0061】

また、所定の数式処理としては、例えば、CADやQEなどを用いることができる。QEについては、例えば、〔穴井宏和、横山和宏著、「QEの計算アルゴリズムとその応用」、東京大学出版会〕などに基本的な考え方が掲載されている。

【0062】

ここで、QEによる最適化問題の解法について紹介する。QEは、計算機により、限量記号を含む論理式から、限量記号を含まない論理式を生成する技術である。簡単な例を挙げると、下記の式(5)に示す論理式が与えられた場合、この論理式にQEを適用すると、下記の式(6)に示す論理式が得られる。この例において、限量記号が付いた x_1, x_2, x_3 は束縛変数であり、限量記号が付かない y は自由変数である。下記の式(5)に示した論理式には限量記号が含まれるが、下記の式(6)に示した論理式には限量記号が含まれない。

30

【0063】

【数5】

$$\exists x_1 \exists x_2 \exists x_3 (y - x_1 x_2 = 0 \wedge x_1^2 + x_2^2 \leq x_3^2 \wedge x_3^2 \leq 8) \quad \dots (5)$$

【0064】

【数6】

$$-4 \leq y \leq 4 \quad \dots (6)$$

40

【0065】

この例のように、QEを適用すると、限量記号を含む論理式から、限量記号を含まない論理式を生成することができる。また、QEを用いると、上記の式(6)の結果から、下記の式(7)に示す最適化問題を解くことができる。つまり、上記の式(6)により最小値を求めたい y の範囲が与えられているため、正確に最小値-4を得ることができる。同様に、より複雑な問題に対しても同様の方法で最適化問題を解くことが可能である。

【0066】

50

【数 7】

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && x_1 x_2 \\ & \text{subject to} && x_1^2 + x_2^2 \leq x_3^2, \\ & && x_3^2 \leq 8 \end{aligned}$$

… (7)

【0067】

例えば、簡略化前の目的関数 $F_0(x)$ 及び $G_0(x)$ が与えられた場合に、第1領域計算部1341は、上記の例と同様にして、下記の式(8)に示す論理式に対する数式処理を実行し、自由変数 y_1 及び y_2 の取り得る範囲を示す論理式を生成する。但し、下記の式(8)の中で、変数 x はパラメータが代入される変数であり、 (x) は変数 x がパラメータ範囲 D に含まれることを示す制約条件を表している。また、変数 x は、スカラーであってもよいし、ベクトルであってもよい。また、目的関数に変数 x 以外の変数が含まれている場合、その変数を自由変数に設定することも可能である。

10

【0068】

【数 8】

$$\begin{cases} \exists x(y_1 - F_0(x) = 0 \wedge \phi(x)) \\ \exists x(y_2 - G_0(x) = 0 \wedge \phi(x)) \end{cases}$$

… (8)

20

【0069】

第1領域計算部1341により生成された実行可能領域を表す論理式は、第1パレート計算部1342に入力される。第1パレート計算部1342は、実行可能領域を表す論理式に基づいてパレートフロントを計算する。パレートフロントは、実行可能領域の中で、少なくとも1つの自由変数が所定方向に向かって進んだ場合に到達する境界である。但し、自由変数が大きくなる方向に実行可能領域が広がっている場合、所定方向は、小さくなる方向である。逆に、自由変数が小さくなる方向に実行可能領域が広がっている場合、所定方向は、大きくなる方向である。この境界は、自由変数が2つの場合は線、自由変数が3つの場合は平面、自由変数が4つ以上の場合は超平面で表現される。

30

【0070】

一方、第2領域計算部1343は、簡略化後の目的関数を用いて、数式処理の対象となる論理式を生成する。例えば、第2領域計算部1343は、簡略化後の目的関数に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数を束縛変数とし、かつ、簡略化後の目的関数の出力値を自由変数に設定する。また、第2領域計算部1343は、束縛変数がパラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第2領域計算部1343は、設定した制約条件の下で、簡略化前の目的関数を満たす束縛変数が存在することを表現した論理式を設定する。

【0071】

第2領域計算部1343は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組が取り得る値の範囲である実行可能領域を表す論理式を生成する。例えば、2つの評価指標を考える場合、2つの簡略化後の目的関数がある。仮に、簡略化後の目的関数の出力値だけが自由変数に設定されている場合、所定の数式処理により、2つの出力値の組が取り得る値の範囲である実行可能領域を表す論理式が生成される。この実行可能領域は、2次元平面上に描くことができる。

40

【0072】

第2領域計算部1343により生成された実行可能領域を表す論理式は、第2パレート計算部1344に入力される。第2パレート計算部1344は、実行可能領域を表す論理式に基づいてパレートフロントを計算する。

50

【0073】

第1領域計算部1341及び第2領域計算部1343により生成された実行可能領域を表す論理式の情報と、第1パレート計算部1342及び第2パレート計算部1344により算出されたパレートの情報とは、表示制御部135に入力される。表示制御部135は、入力された情報に基づき、簡略化前の目的関数に関する実行可能領域と、簡略化後の目的関数に関する実行可能領域とを表示装置140に表示させる。

【0074】

このとき、表示制御部135は、2つの実行可能領域を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部135は、2つの実行可能領域にそれぞれ対応する2つのパレートの画面上に重ねて表示させる。

10

【0075】

このように、2つの実行可能領域を同じ画面上に重ねて表示させることで、利用者は、目的関数の簡略化に伴う影響を視覚的に認識することができるようになる。そのため、簡略化の影響を容易に見積もることが可能になる。その結果、簡略化後の目的関数に関する実行可能領域を用いて設計や評価を実施する場合などにおいて、簡略化の影響を考慮した設計や評価が可能になる。例えば、2つの実行可能領域の共通部分を把握し、その共通部分の範囲内で最適な設計や評価の条件を決めることが可能になる。

【0076】

また、設計や評価を実施する際、最適解を表すパレートを参照することが多い。このような場合も、2つのパレートを同じ画面上に重ねて表示することで、利用者は、パレートフロントに対する簡略化の影響を容易に把握することが可能になる。その結果、数式処理の負荷を低減しつつも、簡略化の影響を考慮した設計や評価を実現することが可能になる。

20

【0077】

上記のように、目的関数が簡略化されることで、数式処理の負荷が低減され、実行可能領域の計算に要する時間が短くなる。一方で、簡略化した目的関数を利用して設計や評価を行うにあたっては、数式処理の計算結果に簡略化が及ぼす影響を容易に把握できることが好ましい。こうした事情に鑑みて、簡略化の影響を視覚的に認識できるようにする情報処理装置130が考案された。情報処理装置130を用いると、簡略化に伴う計算結果への影響が明確となり、簡略化による影響を考慮した最適な設計や評価の条件を決めることが容易になる。

30

【0078】

以下、互いにトレードオフの関係にある2つの評価指標(指標#1、指標#2)を考え、情報処理装置130による処理について説明する。この説明の中で、目的関数は、多項式であるとする。また、簡略化の方法は、次数を低減させる方法であるとする。もちろん、これらの前提は、あくまでも一例であり、評価指標の数、数式処理の種類、目的関数の関数形、及び簡略化の方法などは適宜変更することが可能である。

【0079】

図5は、第2の実施の形態に係る目的関数の計算方法を示した図である。図5に示すように、パラメータが与えられると、シミュレータ110により、パラメータの値と指標#1の値とを含む指標データ、及びパラメータの値と指標#2の値とを含む指標データが生成される。また、目的関数計算部131により、指標#1に関する指標データを用いて目的関数 F_0 が計算され、指標#2に関する指標データを用いて目的関数 G_0 が計算される。このとき、目的関数計算部131は、最小二乗法などを用いて、指標#1に関する指標データ及び指標#2に関する指標データにそれぞれフィットする近似多項式を計算し、計算した2つの近似多項式をそれぞれ目的関数 F_0 及び G_0 に設定する。

40

【0080】

図6は、第2の実施の形態に係る簡略化の方法を示した図である。図6(A)のグラフにおいて、白丸は指標データを表し、実線は目的関数 F_0 を表し、鎖線は簡略化後の目的関数 F_1 を表す。また、図6(B)のグラフにおいて、黒丸は指標データを表し、実線は

50

目的関数 G_0 を表し、鎖線は簡略化後の目的関数 G_1 を表す。

【 0 0 8 1 】

目的関数 F_0 が得られると、簡略化部 1 3 3 は、図 6 (A) に示すように、目的関数 F_0 を簡略化した目的関数 F_1 を算出する。このとき、簡略化部 1 3 3 は、パラメータ範囲 D において目的関数 F_0 との差が近似判定値よりも小さく、かつ、目的関数 F_0 よりも次数の低い目的関数 F_1 を算出する。同様に、目的関数 G_0 が得られると、簡略化部 1 3 3 は、図 6 (B) に示すように、目的関数 G_0 を簡略化した目的関数 G_1 を算出する。このとき、簡略化部 1 3 3 は、パラメータ範囲 D において目的関数 G_0 との差が近似判定値よりも小さく、かつ、目的関数 G_0 よりも次数の低い目的関数 G_1 を算出する。

【 0 0 8 2 】

図 7 は、第 2 の実施の形態に係る数式処理の例を示した図である。図 7 に示すように、目的関数 F_0 及び G_0 が得られると、第 1 領域計算部 1 3 4 1 は、下記の式 (9) に示す論理式を設定する。第 1 領域計算部 1 3 4 1 は、設定した論理式に対して $Q E$ を実行し、目的関数 F_0 及び G_0 の出力値の組 (y_1, y_2) が取り得る範囲である実行可能領域 $_0 (y_1, y_2)$ を表す論理式を算出する。さらに、第 1 パレート計算部 1 3 4 2 は、実行可能領域 $_0 (y_1, y_2)$ のパレートフロント $P F_0$ を計算する。

【 0 0 8 3 】

同様に、目的関数 F_1 及び G_1 が得られると、第 2 領域計算部 1 3 4 3 は、下記の式 (1 0) に示す論理式を設定する。第 2 領域計算部 1 3 4 3 は、設定した論理式に対して $Q E$ を実行し、目的関数 F_1 及び G_1 の出力値の組 (y_1, y_2) が取り得る範囲である実行可能領域 $_1 (y_1, y_2)$ を表す論理式を算出する。また、第 2 パレート計算部 1 3 4 4 は、実行可能領域 $_1 (y_1, y_2)$ のパレートフロント $P F_1$ を計算する。

【 0 0 8 4 】

【 数 9 】

$$\exists x [y_1 = F_0(x) \wedge y_2 = G_0(x) \wedge x \in D] \quad \cdots (9)$$

【 0 0 8 5 】

【 数 1 0 】

$$\exists x [y_1 = F_1(x) \wedge y_2 = G_1(x) \wedge x \in D] \quad \cdots (10)$$

【 0 0 8 6 】

表示制御部 1 3 5 は、2 つの実行可能領域 $_0 (y_1, y_2)$ 及び $_1 (y_1, y_2)$ を比較可能な形式で表示装置 1 4 0 に表示させる。また、表示制御部 1 3 5 は、2 つのパレートフロント $P F_0$ 及び $P F_1$ を比較可能な形式で表示装置 1 4 0 に表示させる。かかる処理により、簡略化による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、簡略化後の目的関数に基づく実行可能領域やパレートフロントの計算結果を利用して設計や評価を実施する際に、簡略化の影響を考慮した設計や評価を行うことが可能になる。

【 0 0 8 7 】

次に、情報処理装置 1 3 0 による処理の流れについて説明する。

図 8 は、第 2 の実施の形態に係る情報処理装置による処理の流れを示した図である。

(S 1 0 1) 目的関数計算部 1 3 1 により、目的関数の計算が実行される。

【 0 0 8 8 】

(S 1 0 2) 簡略化部 1 3 3 により、目的関数の簡略化が実行される。

(S 1 0 3) 数式処理部 1 3 4 により、数式処理が実行される。

(S 1 0 4) 表示制御部 1 3 5 により、計算結果が表示される。

【 0 0 8 9 】

以下、上記の図 8 に示した各処理についてさらに説明する。

図 9 は、第 2 の実施の形態に係る目的関数の計算処理の流れを示した図である。図 9 に示した目的関数の計算処理は、主に目的関数計算部 1 3 1 が実行する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 0 】

(S 1 1 1) 目的関数計算部 1 3 1 は、シミュレータ 1 1 0 により算出された指標 # 1 に関する指標データ及び指標 # 2 に関する指標データを取得する。例えば、目的関数計算部 1 3 1 は、ネットワーク 1 2 0 を介してシミュレータ 1 1 0 から各指標に関する指標データを取得する。

【 0 0 9 1 】

(S 1 1 2) 目的関数計算部 1 3 1 は、指標 # 1 に関する指標データから目的関数 F_0 を算出する。例えば、目的関数計算部 1 3 1 は、最小二乗法などにより、指標 # 1 に関する指標データの集合にフィットする近似多項式を算出し、当該近似多項式を目的関数 F_0 に設定する。

10

【 0 0 9 2 】

(S 1 1 3) 目的関数計算部 1 3 1 は、指標 # 2 に関する指標データから目的関数 G_0 を算出する。例えば、目的関数計算部 1 3 1 は、最小二乗法などにより、指標 # 2 に関する指標データの集合にフィットする近似多項式を算出し、当該近似多項式を目的関数 G_0 に設定する。なお、S 1 1 3 の処理は、S 1 1 2 の処理と順序を入れ替えてもよい。

【 0 0 9 3 】

(S 1 1 4) 目的関数計算部 1 3 1 は、算出した目的関数 F_0 及び G_0 を出力する。例えば、目的関数 F_0 及び G_0 は、記憶部 1 3 2 に格納されるか、簡略化部 1 3 3 に入力される。S 1 1 4 の処理を完了すると、目的関数の計算処理は終了する。

【 0 0 9 4 】

図 1 0 は、第 2 の実施の形態に係る目的関数の簡略化処理の流れを示した図である。図 1 0 に示した目的関数の簡略化処理は、主に簡略化部 1 3 3 が実行する。

20

(S 1 2 1) 簡略化部 1 3 3 は、パラメータ範囲 D を取得する。パラメータ範囲 D は、利用者が任意に決められるようにしてもよいし、評価対象の稼働条件などを考慮して予め決められていてもよい。例えば、パラメータ範囲 D は、入力デバイス 9 2 を介して利用者が入力したものであってもよいし、HDD 9 0 3 などに予め格納されたものであってもよいし、ネットワーク 1 2 0 を介して提供されるものであってもよい。

【 0 0 9 5 】

(S 1 2 2) 簡略化部 1 3 3 は、目的関数 F_0 及び G_0 を取得する。例えば、簡略化部 1 3 3 は、記憶部 1 3 2 に格納された目的関数 F_0 及び G_0 を読み出す。なお、簡略化部 1 3 3 は、記憶部 1 3 2 から目的関数 F_0 及び G_0 を読み出すことに代えて目的関数計算部 1 3 1 から目的関数 F_0 及び G_0 を直接取得してもよい。また、簡略化部 1 3 3 は、記憶部 1 3 2 から目的関数 F_0 及び G_0 を読み出すことと併せて目的関数計算部 1 3 1 から目的関数 F_0 及び G_0 を直接取得してもよい。

30

【 0 0 9 6 】

(S 1 2 3) 簡略化部 1 3 3 は、目的関数 F_0 を簡略化した目的関数 F_1 を算出する。例えば、簡略化部 1 3 3 は、目的関数 F_0 よりも次数の低い多項式を用意し、当該多項式と目的関数 F_0 との差が近似判定値よりも小さくなるように多項式の係数を決定する。このとき、簡略化部 1 3 3 は、多項式と目的関数 F_0 との差が最小となるように当該多項式の係数を決定してもよい。簡略化部 1 3 3 は、決定した係数を割り当てた多項式を目的関数 F_1 に設定する。

40

【 0 0 9 7 】

(S 1 2 4) 簡略化部 1 3 3 は、目的関数 G_0 を簡略化した目的関数 G_1 を算出する。例えば、簡略化部 1 3 3 は、目的関数 G_0 よりも次数の低い多項式を用意し、当該多項式と目的関数 G_0 との差が近似判定値よりも小さくなるように多項式の係数を決定する。このとき、簡略化部 1 3 3 は、多項式と目的関数 G_0 との差が最小となるように当該多項式の係数を決定してもよい。簡略化部 1 3 3 は、決定した係数を割り当てた多項式を目的関数 G_1 に設定する。なお、S 1 2 4 の処理は、S 1 2 3 の処理と順序を入れ替えてもよい。

【 0 0 9 8 】

(S 1 2 5) 簡略化部 1 3 3 は、目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 を出力する。例えば、目

50

的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 は、記憶部 132 に格納されるか、数式処理部 134 に入力される。S 125 の処理を完了すると、目的関数の簡略化は終了する。

【0099】

図 11 は、第 2 の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。図 11 に示した数式処理は、主に数式処理部 134 が実行する。

(S 131) 数式処理部 134 は、パラメータ範囲 D を取得する。

【0100】

(S 132) 数式処理部 134 は、目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 を取得する。例えば、数式処理部 134 は、記憶部 132 に格納された目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出す。なお、数式処理部 134 は、記憶部 132 から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出すことに代えて簡略化部 133 から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を直接取得してもよい。また、数式処理部 134 は、記憶部 132 から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出すことと併せて簡略化部 133 から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を直接取得してもよい。

10

【0101】

目的関数 F_0 及び G_0 は、第 1 領域計算部 1341 に入力される。目的関数 F_1 及び G_1 は、第 2 領域計算部 1343 に入力される。

(S 133) 第 1 領域計算部 1341 は、目的関数 F_0 及び G_0 に基づく論理式 L_0 を設定する。例えば、論理式 L_0 は、上記の式 (9) で表現される。

【0102】

(S 134) 第 1 領域計算部 1341 は、論理式 L_0 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_0 を表す論理式を算出する。第 1 パレート計算部 1342 は、第 1 領域計算部 1341 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_0 のパレートフロント PF_0 を算出する。

20

【0103】

(S 135) 第 2 領域計算部 1343 は、目的関数 F_1 及び G_1 に基づく論理式 L_1 を設定する。例えば、論理式 L_1 は、上記の式 (10) で表現される。

(S 136) 第 2 領域計算部 1343 は、論理式 L_1 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_1 を表す論理式を算出する。第 2 パレート計算部 1344 は、第 2 領域計算部 1343 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_1 のパレートフロント PF_1 を算出する。なお、S 135 及び S 136 の処理は、S 133 及び S 134 の処理と順序を入れ替えてもよい。

30

【0104】

(S 137) 数式処理部 134 は、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 及び PF_1 の情報とを出力する。例えば、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 及び PF_1 の情報とは、表示制御部 135 に入力される。なお、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 及び PF_1 の情報とは、記憶部 132 に格納されてもよい。S 137 の処理を完了すると、数式処理の実行は完了する。

【0105】

図 12 は、第 2 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。図 12 に示すように、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 の情報とパレートフロント PF_0 及び PF_1 の情報とを得た表示制御部 135 は、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部 135 は、パレートフロント PF_0 及び PF_1 を同じ画面上に重ねて表示させる。図 12 の例では、パレートフロントを境界とし、自由変数 y_1 及び y_2 がそれぞれ大きくなる方向に向かって広がる領域 (ハッチングを施した領域) が実行可能領域を表している。また、図 12 の例では、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 が重なる共通領域を実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 とは異なるハッチングで表現している。

40

【0106】

図 12 に示した表示例のように、同じ座標系に実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 を重ねて表示させることで、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 が重なる共通領域を容易に視認することが可能にな

50

る。また、パレートフロント PF_0 及び PF_1 を重ねて表示させることで、最適解の近傍における簡略化の影響を容易に視認することが可能になる。共通領域を除く実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 の一部領域が簡略化による影響を表している。例えば、この一部領域の面積を見積もることにより、簡略化による影響の大きさを評価することができる。また、自由変数が共通領域内に収まるようにパラメータの設定などを行うことで、簡略化の影響に左右されにくい設計や評価などが行えるようになる。

【 0 1 0 7 】

なお、図 1 2 の例では実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 とパレートフロント PF_0 及び PF_1 とを同じ座標系に重ねて表示させる表示方法を示したが、パレートフロント PF_0 及び PF_1 だけを同じ座標系に重ねて表示させる表示方法なども考えられる。また、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 だけを同じ座標系に重ねて表示させる表示方法なども考えられる。また、評価指標が 3 つ以上ある場合には、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 やパレートフロント PF_0 及び PF_1 を立体表示させる表示方法や、等高線表示させる表示方法なども考えられる。また、表現方法としては、例えば、網掛け、色彩、線種、立体表現、透過表現などが考えられる。

10

【 0 1 0 8 】

ここで、下記の式 (1 1) 及び式 (1 2) に示した目的関数 F_0 及び G_0 について実行可能領域 Ω_0 及び Ω_1 とパレートフロント PF_0 及び PF_1 とを計算した計算例を示す。

【 0 1 0 9 】

【 数 1 1 】

$$F_0(x) = -0.0002x^5 + 0.0043x^4 - 0.0332x^3 - 0.0971x^2 + 2.8697x + 3.0609 \quad \dots (11)$$

20

【 0 1 1 0 】

【 数 1 2 】

$$G_0(x) = 0.0002x^5 - 0.0041x^4 + 0.0319x^3 + 0.0932x^2 - 2.7549x + 14.062 \quad \dots (12)$$

【 0 1 1 1 】

図 1 3 は、第 2 の実施の形態に係る簡略化計算の例を示した図である。上記の式 (1 1) に示した目的関数 F_0 は、図 1 3 (A) の実線で示したグラフにより表現される。例えば、パラメータ x が 3 から 9 の範囲で目的関数 F_0 に近似する 2 次多項式を求めると、下記の式 (1 3) で表現される 2 次多項式 F_1 が得られる。そこで、この 2 次多項式 F_1 を簡略化後の目的関数に設定することとする。目的関数 F_1 は、図 1 3 (A) の鎖線で表現される。

30

【 0 1 1 2 】

一方、上記の式 (1 2) に示した目的関数 G_0 は、図 1 3 (B) の実線で示したグラフにより表現される。2 次多項式 F_1 を求めた場合と同様に、パラメータ x が 3 から 9 の範囲で目的関数 G_0 に近似する 2 次多項式を求めると、下記の式 (1 4) で表現される 2 次多項式 G_1 が得られる。そこで、この 2 次多項式 G_1 を簡略化後の目的関数に設定することとする。目的関数 G_1 は、図 1 3 (B) の鎖線で表現される。

40

【 0 1 1 3 】

【 数 1 3 】

$$F_1(x) = -0.147x^2 + 2.6647x + 3.3037 \quad \dots (13)$$

【 0 1 1 4 】

【 数 1 4 】

$$G_1(x) = 0.1411x^2 - 2.5581x + 13.828 \quad \dots (14)$$

【 0 1 1 5 】

図 1 4 は、第 2 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。目的関数 F

50

0、 G_0 、 F_1 、 G_1 が得られると、数式処理により実行可能領域 D_0 及び D_1 を算出することができる。目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 がそれぞれ上記の式(11)~(14)により与えられ、パラメータ範囲 D が下記の式(15)で与えられる場合、実行可能領域 D_0 及び D_1 は、図14のようになる。但し、図14(B)は、図14(A)の一部 R を拡大表示したものである。参考までに、実行可能領域 D_1 は、下記の式(16)に示した論理式で表現される。

【0116】

【数15】

$$D = \{x | 3 \leq x \leq 9\} \quad \dots (15)$$

10

【0117】

【数16】

$$\Phi_1(y_1, y_2) : \left[\frac{11171}{5000} < y_2 < \frac{18559}{2500} \right. \\ \wedge y_1 = \frac{705048750461 - 41483400000y_2}{39818420000} + \frac{5153\sqrt{-126064759 + 56110000y_2}}{39818420000} \\ \left. \wedge \left(y_2 > \frac{18559}{2500} \wedge y_1 > \frac{24937}{2500} \right) \right]$$

20

… (16)

【0118】

以上説明したように、第2の実施の形態に係る技術を適用すると、簡略化による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、簡略化後の目的関数に基づく実行可能領域やパレートフロントの計算結果を利用して設計や評価を実施する際に、簡略化の影響を考慮した設計や評価を行うことが可能になる。言い換えれば、簡略化の影響を十分に認識した上で、演算負荷の低い簡略化後の目的関数を利用することが可能になる。また、簡略化の影響を確かめながら、計算結果への影響が少ない簡略化の方法を決めることも可能になる。

30

【0119】

[第3の実施の形態]

次に、第3の実施の形態について説明する。

図15は、第3の実施の形態に係る拡張パラメータ範囲の設定例を示した図である。

【0120】

第2の実施の形態に関する説明の中で、一例として目的関数 F_0 を簡略化して目的関数 F_1 を得る方法について紹介した。この方法は、パラメータ範囲 D において目的関数 F_0 に近似する近似式を求め、当該近似式を目的関数 F_1 に設定するというものであった。そのため、パラメータ範囲 D において目的関数 F_0 と目的関数 F_1 とは十分に近似する。しかし、パラメータがパラメータ範囲 D を逸脱した場合、目的関数 F_0 と目的関数 F_1 との差が大きく開いてしまう可能性がある。目的関数 G_0 と目的関数 G_1 との差についても同様である。

40

【0121】

例えば、製品の設計などを行う場合、簡略化の際に考慮するパラメータ範囲 D は、図15に示すように、実際に製品が利用される環境を想定したパラメータ範囲(実利用範囲 D_r)よりも広く設定されることが多い。例えば、パラメータ範囲 D は、製品の動作保証環境や製品の規格などに基づいて想定される実利用範囲 D_r よりも広く設定される。つまり、製品の利用者が動作保証環境とは少し異なる環境で利用した場合でも、製品が直ちに故障してしまうことがないように余裕をみてパラメータ範囲 D が設定されるのである。但し、近似式を利用していることから、パラメータがパラメータ範囲 D を逸脱した場合の影響についても事前に把握しておくことが好ましい。

50

【0122】

そこで、本件発明者は、パラメータの逸脱による計算結果への影響を見積もれるようにする方法を検討した。第3の実施の形態では、このようにパラメータがパラメータ範囲Dを逸脱した場合の影響を可視化する方法を紹介する。

【0123】

以下の説明では、図15に示した表現を用い、パラメータがパラメータ範囲Dの上限を上回る逸脱の量を δ_1 、パラメータがパラメータ範囲Dの下限を下回る逸脱の量を δ_2 と表記する。なお、 δ_1 及び δ_2 は同じ値に設定してもよい。また、逸脱を考慮したパラメータ範囲を拡張パラメータ範囲Dと表現することにする。また、第3の実施の形態に係る評価支援システムは、第2の実施の形態に係る評価支援システム100において情報処理装置130を第3の実施の形態に係る情報処理装置230に置き換えたものである。

10

【0124】

図16は、第3の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。図16に示すように、第3の実施の形態に係る情報処理装置230は、目的関数計算部231、記憶部232、簡略化部233、数式処理部234、及び表示制御部235を有する。

【0125】

なお、情報処理装置230は、第2の実施の形態に係る情報処理装置130と同じハードウェアを有する。また、目的関数計算部231、簡略化部233、数式処理部234、及び表示制御部235は、CPU901が実行するプログラムのモジュールとして実現できる。また、簡略化部233、数式処理部234、及び表示制御部235が有する機能の一部又は全部をソフトウェアではなく電子回路として実現することも可能である。また、記憶部232は、RAM902やHDD903に確保された記憶領域である。

20

【0126】

但し、目的関数計算部231、記憶部232、及び簡略化部233は、それぞれ第2の実施の形態に係る目的関数計算部131、記憶部132、及び簡略化部133と実質的に同じ処理を実行する。従って、第2の実施の形態と実質的に同じ事項については説明を省略し、第2の実施の形態と相違する事項を中心に説明を行う。以下、主に数式処理部234及び表示制御部235について説明する。

【0127】

図16に示すように、数式処理部234は、第1領域計算部2341、第1パレート計算部2342、第2領域計算部2343、及び第2パレート計算部2344を有する。さらに、数式処理部234は、第3領域計算部2345、第3パレート計算部2346、第4領域計算部2347、及び第4パレート計算部2348を有する。

30

【0128】

簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 は、第1領域計算部2341及び第3領域計算部2345に入力される。一方、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 は、第2領域計算部2343及び第4領域計算部2347に入力される。

【0129】

第1領域計算部2341は、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第1領域計算部2341は、束縛変数がパラメータ範囲Dに含まれることを制約条件に設定する。そして、第1領域計算部2341は、設定した制約条件の下で、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式(17)に示す論理式を設定する。

40

【0130】

【数17】

$$\exists x[y_1 = F_0(x) \wedge y_2 = G_0(x) \wedge x \in D] \quad \cdots (17)$$

【0131】

50

第1領域計算部2341は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 Ω_0 を表現した論理式を生成する。第1領域計算部2341により生成された実行可能領域 Ω_0 を表す論理式は、第1パレート計算部2342に入力される。第1パレート計算部2342は、実行可能領域 Ω_0 を表す論理式に基づいてパレートフロント PF_0 を計算する。

【0132】

第2領域計算部2343は、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第2領域計算部2343は、束縛変数がパラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第2領域計算部2343は、設定した制約条件の下で、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式(18)に示す論理式を設定する。

10

【0133】

【数18】

$$\exists x[y_1 = F_1(x) \wedge y_2 = G_1(x) \wedge x \in D] \quad \dots (18)$$

【0134】

第2領域計算部2343は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 Ω_1 を表現した論理式を生成する。第2領域計算部2343により生成された実行可能領域 Ω_1 を表す論理式は、第2パレート計算部2344に入力される。第2パレート計算部2344は、実行可能領域 Ω_1 を表す論理式に基づいてパレートフロント PF_1 を計算する。

20

【0135】

第3領域計算部2345は、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第3領域計算部2345は、束縛変数が拡張パラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第3領域計算部2345は、設定した制約条件の下で、簡略化前の目的関数 F_0 及び G_0 を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式(19)に示す論理式を設定する。

【0136】

【数19】

$$\exists x[y_1 = F_0(x) \wedge y_2 = G_0(x) \wedge x \in D_s] \quad \dots (19)$$

30

【0137】

第3領域計算部2345は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 Ω_0 を表現した論理式を生成する。第3領域計算部2345により生成された実行可能領域 Ω_0 を表す論理式は、第3パレート計算部2346に入力される。第3パレート計算部2346は、実行可能領域 Ω_0 を表す論理式に基づいてパレートフロント PF_0 を計算する。

【0138】

40

第4領域計算部2347は、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第4領域計算部2347は、束縛変数が拡張パラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第4領域計算部2347は、設定した制約条件の下で、簡略化後の目的関数 F_1 及び G_1 を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式(20)に示す論理式を設定する。

【0139】

【数20】

$$\exists x[y_1 = F_1(x) \wedge y_2 = G_1(x) \wedge x \in D_s] \quad \dots (20)$$

50

【0140】

第4領域計算部2347は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 Ω_1 を表現した論理式を生成する。第4領域計算部2347により生成された実行可能領域 Ω_1 を表す論理式は、第4パレート計算部2348に入力される。第4パレート計算部2348は、実行可能領域 Ω_1 を表す論理式に基づいてパレートフロント PF_1 を計算する。

【0141】

表示制御部235は、実行可能領域 $\Omega_0(y_1, y_2)$ 、 $\Omega_1(y_1, y_2)$ 、 $\Omega_0(y_1, y_2)$ 、 $\Omega_1(y_1, y_2)$ のうち少なくとも2つを比較可能な形式で表示装置140に表示させる。また、表示制御部235は、パレートフロント PF_0 、 PF_1 、 PF_0 、 PF_1 のうち少なくとも2つを比較可能な形式で表示装置140に表示させる。

10

【0142】

例えば、パレートフロント PF_0 及び PF_0 を同じ画面上で重ねて表示させれば、パラメータの逸脱による実行可能領域 Ω_0 への影響を視覚的に把握することが可能になる。また、パレートフロント PF_1 及び PF_1 を同じ画面上で重ねて表示させれば、パラメータの逸脱による実行可能領域 Ω_1 への影響を視覚的に把握することが可能になる。また、パレートフロント PF_0 及び PF_1 を同じ画面上で重ねて表示させれば、パラメータの逸脱及び簡略化による実行可能領域 Ω_0 への影響を視覚的に把握することが可能になる。

【0143】

上記のように、第3の実施の形態に係る情報処理装置230によれば、パラメータの逸脱による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、パラメータの逸脱による影響を考慮した、より堅牢な設計や評価を行うことが可能になる。

20

【0144】

次に、情報処理装置230による処理の流れについて説明する。但し、情報処理装置230が実行する処理は、第2の実施の形態に係る処理と同様、目的関数の計算、目的関数の簡略化、数式処理の実行、及び結果の表示を含む(図8を参照)。また、目的関数の計算及び目的関数の簡略化に係る処理の内容は、第2の実施の形態に係る目的関数の計算及び目的関数の簡略化に係る処理と実質的に同じである。従って、ここでは情報処理装置230による数式処理の流れについて説明する。

【0145】

図17は、第3の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。図17に示した数式処理は、主に数式処理部234が実行する。

30

(S231)数式処理部234は、パラメータ範囲 D 及び拡張パラメータ範囲 D を取得する。パラメータ範囲 D 及び拡張パラメータ範囲 D は、利用者が任意に決められるようにしてもよいし、評価対象の稼働条件などを考慮して予め決められていてもよい。例えば、パラメータ範囲 D 及び拡張パラメータ範囲 D は、入力デバイス92を介して利用者が入力したものであってもよいし、HDD903などに予め格納されたものであってもよいし、ネットワーク120を介して提供されるものであってもよい。

【0146】

(S232)数式処理部234は、目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 を取得する。例えば、数式処理部234は、記憶部232に格納された目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出す。なお、数式処理部234は、記憶部232から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出すことに代えて、簡略化部233から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を直接取得してもよい。また、数式処理部234は、記憶部232から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を読み出すことと併せて、簡略化部233から目的関数 F_0 、 G_0 、 F_1 、 G_1 の一部又は全部を直接取得してもよい。

40

【0147】

目的関数 F_0 及び G_0 は、第1領域計算部2341及び第3領域計算部2345に入力される。目的関数 F_1 及び G_1 は、第2領域計算部2343及び第4領域計算部2347に入力される。

50

【 0 1 4 8 】

(S 2 3 3) 第 1 領域計算部 2 3 4 1 は、目的関数 F_0 及び G_0 に基づく論理式 L_0 を設定する。但し、論理式 L_0 は、上記の式 (1 7) で表現される。また、第 3 領域計算部 2 3 4 5 は、目的関数 F_0 及び G_0 に基づく論理式 L_0 を設定する。但し、論理式 L_0 は、上記の式 (1 9) で表現される。

【 0 1 4 9 】

(S 2 3 4) 第 1 領域計算部 2 3 4 1 は、論理式 L_0 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_0 を表す論理式を算出する。第 1 パレート計算部 2 3 4 2 は、第 1 領域計算部 2 3 4 1 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_0 のパレートフロント PF_0 を算出する。

10

【 0 1 5 0 】

(S 2 3 5) 第 3 領域計算部 2 3 4 5 は、論理式 L_0 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_0 を表す論理式を算出する。第 3 パレート計算部 2 3 4 6 は、第 3 領域計算部 2 3 4 5 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_0 のパレートフロント PF_0 を算出する。なお、S 2 3 5 の処理は、S 2 3 4 の処理と順序を入れ替えてもよい。

【 0 1 5 1 】

(S 2 3 6) 第 2 領域計算部 2 3 4 3 は、目的関数 F_1 及び G_1 に基づく論理式 L_1 を設定する。但し、論理式 L_1 は、上記の式 (1 8) で表現される。また、第 4 領域計算部 2 3 4 7 は、目的関数 F_1 及び G_1 に基づく論理式 L_1 を設定する。但し、論理式 L_1 は、

20

【 0 1 5 2 】

(S 2 3 7) 第 2 領域計算部 2 3 4 3 は、論理式 L_1 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_1 を表す論理式を算出する。第 2 パレート計算部 2 3 4 4 は、第 2 領域計算部 2 3 4 3 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_1 のパレートフロント PF_1 を算出する。

【 0 1 5 3 】

(S 2 3 8) 第 4 領域計算部 2 3 4 7 は、論理式 L_1 に対する数式処理を実行し、実行可能領域 Ω_1 を表す論理式を算出する。第 4 パレート計算部 2 3 4 8 は、第 4 領域計算部 2 3 4 7 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 Ω_1 のパレートフロント PF_1 を算出する。なお、S 2 3 8 の処理は、S 2 3 7 の処理と順序を入れ替えてもよい。

30

【 0 1 5 4 】

(S 2 3 9) 数式処理部 2 3 4 は、実行可能領域 Ω_0 、 Ω_1 、 Ω_0 、 Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 、 PF_1 、 PF_0 、 PF_1 の情報とを出力する。例えば、実行可能領域 Ω_0 、 Ω_1 、 Ω_0 、 Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 、 PF_1 、 PF_0 、 PF_1 の情報とは、表示制御部 2 3 5 に入力される。なお、実行可能領域 Ω_0 、 Ω_1 、 Ω_0 、 Ω_1 の情報と、パレートフロント PF_0 、 PF_1 、 PF_0 、 PF_1 の情報とは、記憶部 2 3 2 に格納されてもよい。S 2 3 9 の処理を完了すると、数式処理の実行は完了する。なお、S 2 3 3 ~ S 2 3 5 の処理は、S 2 3 6 ~ S 2 3 8 の処理と順序を入れ替えてもよい。

40

【 0 1 5 5 】

図 1 8 は、第 3 の実施の形態に係る計算結果の第 1 の表示方法を示した図である。図 1 8 (A) に示すように、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_0 の情報とパレートフロント PF_0 及び PF_0 の情報とを得た表示制御部 2 3 5 は、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_0 を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部 2 3 5 は、パレートフロント PF_0 及び PF_0 を同じ画面上に重ねて表示させる。図 1 8 の例では、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_0 が重なる共通領域の表示を省略し、実行可能領域 Ω_0 及び Ω_0 の差異を表示する表示方法が採られている。この表示方法によると、パラメータの逸脱による実行可能領域 Ω_0 への影響を容易に視認することが可能になる。

50

【 0 1 5 6 】

また、図 1 8 (B) に示すように、実行可能領域 D_1 及び D_2 の情報とパレートフロント PF_1 及び PF_2 の情報とを得た表示制御部 2 3 5 は、実行可能領域 D_1 及び D_2 を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部 2 3 5 は、パレートフロント PF_1 及び PF_2 を同じ画面上に重ねて表示させる。図 1 8 の例では、実行可能領域 D_1 及び D_2 が重なる共通領域の表示を省略し、実行可能領域 D_1 及び D_2 の差異を表示する表示方法が採られている。この表示方法によると、パラメータの逸脱による実行可能領域 D_1 への影響を容易に視認することが可能になる。

【 0 1 5 7 】

図 1 9 は、第 3 の実施の形態に係る計算結果の第 2 の表示方法を示した図である。図 1 9 に示すように、実行可能領域 D_0 及び D_1 の情報とパレートフロント PF_0 及び PF_1 の情報とを得た表示制御部 2 3 5 は、実行可能領域 D_0 及び D_1 を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部 2 3 5 は、パレートフロント PF_0 及び PF_1 を同じ画面上に重ねて表示させる。図 1 9 の例では、実行可能領域 D_0 及び D_1 が重なる共通領域の表示を省略し、実行可能領域 D_0 及び D_1 の差異を表示する表示方法が採られている。この表示方法によると、パラメータの逸脱及び簡略化による実行可能領域 D_0 への影響を容易に視認することが可能になる。

【 0 1 5 8 】

図 2 0 は、第 3 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。ここでは、第 2 の実施の形態に係る説明の中で例示した上記の式 (1 1) 及び式 (1 2) で表現される目的関数 F_0 及び G_0 について実行可能領域 D_0 及び D_1 とパレートフロント PF_0 及び PF_1 とを計算した計算例を示す。但し、パラメータ範囲 D は上記の式 (1 5) で与えられ、拡張パラメータ範囲 D' は下記の式 (2 1) で与えられるものとした。この場合、実行可能領域 D_0 及び D_1 は、図 2 0 のようになる。但し、図 2 0 (B) は、図 2 0 (A) の一部 R を拡大表示したものである。なお、図 2 0 の例では、実行可能領域 D_0 及び D_1 が重なる共通領域の表示を省略し、実行可能領域 D_0 及び D_1 の差異を表示する表示方法が採られている。

【 0 1 5 9 】

【 数 2 1 】

$$D_0 = \{x | 2 \leq x \leq 9\} \quad \dots (21)$$

【 0 1 6 0 】

以上説明したように、第 3 の実施の形態に係る技術を適用すると、パラメータの逸脱による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、実行可能領域やパレートフロントの計算結果を利用して設計や評価を実施する際に、パラメータの逸脱による影響を考慮した堅牢な設計や評価を行うことが可能になる。

【 0 1 6 1 】

また、パラメータの逸脱による影響を確かめながら、計算結果への影響が少ない簡略化の方法を決めることも可能になる。例えば、予め用意した逸脱 D_1 及び D_2 の値を変更しつつ、2 つのパレートフロント PF_0 及び PF_1 に挟まれた領域を確認することで、パラメータの逸脱による影響を評価することが可能になる。従って、許容可能な逸脱 D_1 及び D_2 の範囲を定量的に見積もることができるようになる。

【 0 1 6 2 】

[第 4 の実施の形態]

次に、第 4 の実施の形態について説明する。第 4 の実施の形態では、第 3 の実施の形態と同様、パラメータの逸脱による影響を視覚化する方法を紹介する。また、第 4 の実施の形態においても、第 3 の実施の形態に係る説明の中で導入した拡張パラメータ範囲 D' の表現を同様に用いることにする。また、第 4 の実施の形態に係る評価支援システムは、第 2 の実施の形態に係る評価支援システム 1 0 0 において情報処理装置 1 3 0 を第 4 の実施の形態に係る情報処理装置 3 3 0 に置き換えたものであるとする。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 3 】

図 2 1 は、第 4 の実施の形態に係る情報処理装置の機能ブロックの例を示した図である。図 2 1 に示すように、第 4 の実施の形態に係る情報処理装置 3 3 0 は、目的関数計算部 3 3 1、数式処理部 3 3 2、及び表示制御部 3 3 3 を有する。

【 0 1 6 4 】

なお、情報処理装置 3 3 0 は、第 2 の実施の形態に係る情報処理装置 1 3 0 と同じハードウェアを有する。また、目的関数計算部 3 3 1、数式処理部 3 3 2、及び表示制御部 3 3 3 は、CPU 9 0 1 が実行するプログラムのモジュールとして実現できる。但し、目的関数計算部 3 3 1、数式処理部 3 3 2、及び表示制御部 3 3 3 が有する機能の一部又は全部をソフトウェアではなく電子回路として実現することも可能である。

10

【 0 1 6 5 】

但し、目的関数計算部 3 3 1 は、第 2 の実施の形態に係る目的関数計算部 1 3 1 と実質的に同じ処理を実行する。従って、第 2 の実施の形態と実質的に同じ事項については説明を省略し、第 2 の実施の形態と相違する事項を中心に説明を行う。以下、主に数式処理部 3 3 2 及び表示制御部 3 3 3 について説明する。

【 0 1 6 6 】

図 2 1 に示すように、数式処理部 3 3 2 は、第 1 領域計算部 3 3 2 1、第 1 パレート計算部 3 3 2 2、第 2 領域計算部 3 3 2 3、及び第 2 パレート計算部 3 3 2 4 を有する。また、目的関数計算部 3 3 1 により算出された目的関数 F 及び G は、それぞれ第 1 領域計算部 3 3 2 1 及び第 2 領域計算部 3 3 2 3 に入力される。

20

【 0 1 6 7 】

第 1 領域計算部 3 3 2 1 は、目的関数 F 及び G に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、目的関数 F 及び G の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第 1 領域計算部 3 3 2 1 は、束縛変数がパラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第 1 領域計算部 3 3 2 1 は、設定した制約条件の下で、目的関数 F 及び G を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式 (2 2) に示す論理式を設定する。

【 0 1 6 8 】

【数 2 2】

$$\exists x [y_1 = F(x) \wedge y_2 = G(x) \wedge x \in D] \quad \cdots (22)$$

30

【 0 1 6 9 】

第 1 領域計算部 3 3 2 1 は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 を表現した論理式を生成する。第 1 領域計算部 3 3 2 1 により生成された実行可能領域 を表す論理式は、第 1 パレート計算部 3 3 2 2 に入力される。第 1 パレート計算部 3 3 2 2 は、実行可能領域 を表す論理式に基づいてパレートフロント PF を計算する。

【 0 1 7 0 】

第 2 領域計算部 3 3 2 3 は、目的関数 F 及び G に含まれる変数の中でパラメータが代入される変数 x を束縛変数とし、かつ、目的関数 F 及び G の出力値を自由変数 y_1 及び y_2 に設定する。また、第 2 領域計算部 3 3 2 3 は、束縛変数が拡張パラメータ範囲 D に含まれることを制約条件に設定する。そして、第 2 領域計算部 3 3 2 3 は、設定した制約条件の下で、目的関数 F 及び G を満たす束縛変数が存在することを表現した下記の式 (2 3) に示す論理式を設定する。

40

【 0 1 7 1 】

【数 2 3】

$$\exists x [y_1 = F(x) \wedge y_2 = G(x) \wedge x \in D_\delta] \quad \cdots (23)$$

【 0 1 7 2 】

第 2 領域計算部 3 3 2 3 は、設定した論理式に所定の数式処理を施して束縛変数を消去

50

し、自由変数の組 (y_1, y_2) が取り得る値の範囲である実行可能領域 を表現した論理式を生成する。第2領域計算部3323により生成された実行可能領域 を表す論理式は、第2パレート計算部3324に入力される。第2パレート計算部3324は、実行可能領域 を表す論理式に基づいてパレートのフロントPF を計算する。

【0173】

表示制御部333は、実行可能領域 (y_1, y_2) 及び (y_1, y_2) を比較可能な形式で表示装置140に表示させる。また、表示制御部333は、パレートのフロントPF 及びPF を比較可能な形式で表示装置140に表示させる。例えば、パレートのフロントPF 及びPF を同じ画面上で重ねて表示させれば、パラメータの逸脱による実行可能領域 への影響を視覚的に把握することが可能になる。

10

【0174】

上記のように、第4の実施の形態に係る情報処理装置330によれば、パラメータの逸脱による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、パラメータの逸脱による影響を考慮した、より堅牢な設計や評価を行うことが可能になる。

【0175】

図22は、第4の実施の形態に係る数式処理の例を示した図である。図22に示すように、第4の実施の形態においては、目的関数F及びGとパラメータ範囲Dとに関する論理式、及び、目的関数F及びGと拡張パラメータ範囲D とに関する論理式に対して数式処理が実行される。そして、各論理式に対する数式処理の結果得られた実行可能領域 及び が比較可能な形式で表示される。また、実行可能領域 及び から算出されたパレートのフロントPF 及びPF が比較可能な形式で表示される。

20

【0176】

次に、情報処理装置330による処理の流れについて説明する。

図23は、第4の実施の形態に係る情報処理装置による処理の流れを示した図である。

(S301) 目的関数計算部331により、目的関数の計算が実行される。

【0177】

(S302) 数式処理部332により、数式処理が実行される。

(S303) 表示制御部333により、計算結果が表示される。

以下、上記の図23に示した各処理についてさらに説明する。但し、情報処理装置330が実行する処理のうち、目的関数の計算処理は、第2の実施の形態に係る情報処理装置130が実行する目的関数の計算処理と実質的に同じである。従って、ここでは情報処理装置330による数式処理の流れについて詳細に説明する。

30

【0178】

図24は、第4の実施の形態に係る数式処理の流れを示した図である。図24に示した数式処理は、主に数式処理部332が実行する。

(S311) 数式処理部332は、パラメータ範囲D及び拡張パラメータ範囲D を取得する。パラメータ範囲D及び拡張パラメータ範囲D は、利用者が任意に決められるようにしてもよいし、評価対象の稼働条件などを考慮して予め決められていてもよい。例えば、パラメータ範囲D及び拡張パラメータ範囲D は、入力デバイス92を介して利用者が入力したものであってもよいし、HDD903などに予め格納されたものであってもよいし、ネットワーク120を介して提供されるものであってもよい。

40

【0179】

(S312) 数式処理部332は、目的関数F及びGを取得する。なお、目的関数F及びGは、第1領域計算部3321及び第2領域計算部3323に入力される。

(S313) 第1領域計算部3321は、目的関数F及びGに基づく論理式Lを設定する。但し、論理式Lは、上記の式(22)で表現される。また、第2領域計算部3323は、目的関数F及びGに基づく論理式L を設定する。但し、論理式L は、上記の式(23)で表現される。

【0180】

(S314) 第1領域計算部3321は、論理式Lに対する数式処理を実行し、実行可

50

能領域 を表す論理式を算出する。第 1 パレート計算部 3 3 2 2 は、第 1 領域計算部 3 3 2 1 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 のパレートフロント P F を算出する。

【 0 1 8 1 】

(S 3 1 5) 第 2 領域計算部 3 3 2 3 は、論理式 L に対する数式処理を実行し、実行可能領域 を表す論理式を算出する。第 2 パレート計算部 3 3 2 4 は、第 2 領域計算部 3 3 2 3 により算出された論理式に基づいて実行可能領域 のパレートフロント P F を算出する。なお、S 3 1 5 の処理は、S 3 1 4 の処理と順序を入れ替えてもよい。

【 0 1 8 2 】

(S 3 1 6) 数式処理部 3 3 2 は、実行可能領域 及び の情報と、パレートフロント P F 及び P F の情報とを出力する。例えば、実行可能領域 及び の情報と、パレートフロント P F 及び P F の情報とは、表示制御部 3 3 3 に入力される。S 3 1 6 の処理を完了すると、数式処理の実行は完了する。

10

【 0 1 8 3 】

図 2 5 は、第 4 の実施の形態に係る計算結果の表示方法を示した図である。図 2 5 に示すように、実行可能領域 及び の情報とパレートフロント P F 及び P F の情報とを得た表示制御部 3 3 3 は、実行可能領域 及び を同じ画面上に重ねて表示させる。また、表示制御部 3 3 3 は、パレートフロント P F 及び P F を同じ画面上に重ねて表示させる。図 2 5 の例では、実行可能領域 及び が重なる共通領域の表示を省略し、実行可能領域 及び の差異を表示する表示方法が採られている。この表示方法によると、

20

パラメータの逸脱による実行可能領域 への影響を容易に視認することが可能になる。

【 0 1 8 4 】

以上説明したように、第 4 の実施の形態に係る技術を適用すると、パラメータの逸脱による計算結果への影響を利用者が視覚的に認識することが可能になる。その結果、実行可能領域やパレートフロントの計算結果を利用して設計や評価を実施する際に、パラメータの逸脱による影響を考慮した堅牢な設計や評価を行うことが可能になる。

【 0 1 8 5 】

また、パラメータの逸脱による影響を確かめながら、計算結果への影響が少ない簡略化の方法を決めることも可能になる。例えば、予め用意した逸脱 δ_1 及び δ_2 の値を変更しつつ、2 つのパレートフロント P F 及び P F に挟まれた領域を確認することで、パラメータの逸脱による影響を見積もることが可能になる。従って、許容可能な逸脱 δ_1 及び δ_2 の範囲を定量的に評価することができるようになる。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 8 6 】

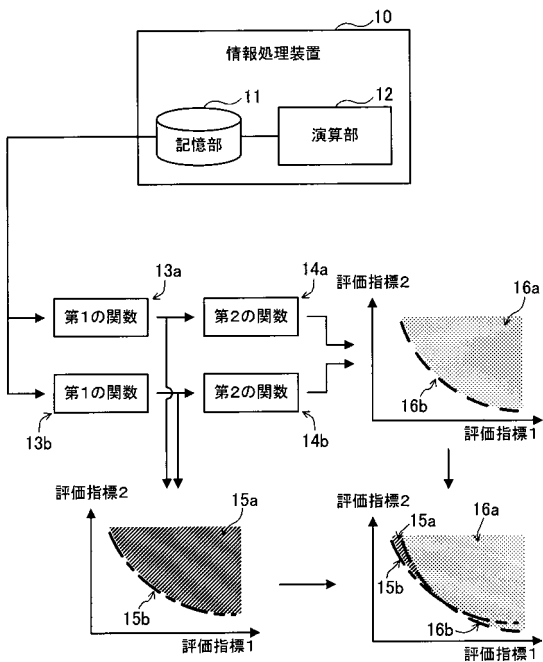
- 1 0、1 3 0、2 3 0、3 3 0 情報処理装置
- 1 1、1 3 2、2 3 2 記憶部
- 1 2 演算部
- 1 3 a、1 3 b 第 1 の関数
- 1 4 a、1 4 b 第 2 の関数
- 1 5 a、1 5 b 第 1 の範囲情報
- 1 6 a、1 6 b 第 2 の範囲情報
- 1 0 0 評価支援システム
- 1 1 0 シミュレータ
- 1 2 0 ネットワーク
- 1 3 1、2 3 1、3 3 1 目的関数計算部
- 1 3 3、2 3 3 簡略化部
- 1 3 4、2 3 4、3 3 2 数式処理部
- 1 3 4 1、2 3 4 1、3 3 2 1 第 1 領域計算部
- 1 3 4 2、2 3 4 2、3 3 2 2 第 1 パレート計算部
- 1 3 4 3、2 3 4 3、3 3 2 3 第 2 領域計算部

40

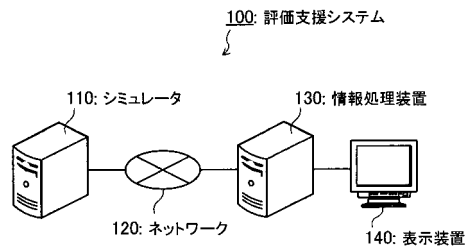
50

- 1 3 4 4、 2 3 4 4、 3 3 2 4 第 2 パレト計算部
- 2 3 4 5 第 3 領域計算部
- 2 3 4 6 第 3 パレト計算部
- 2 3 4 7 第 4 領域計算部
- 2 3 4 8 第 4 パレト計算部
- 1 3 5、 2 3 5、 3 3 3 表示制御部
- 1 4 0 表示装置

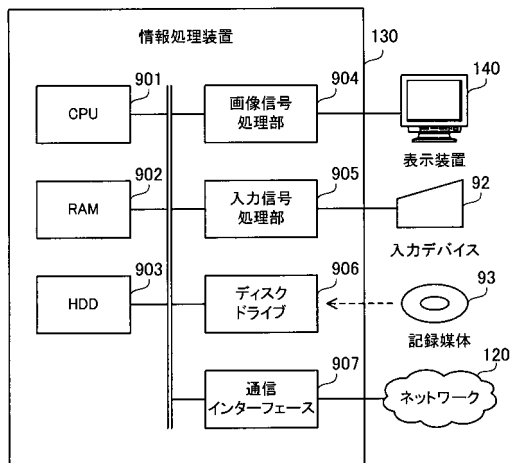
【 図 1 】



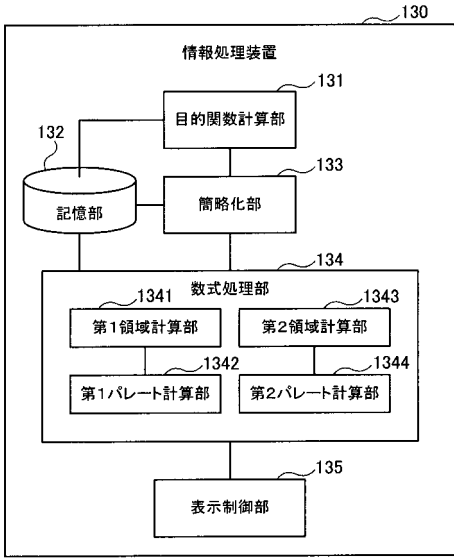
【 図 2 】



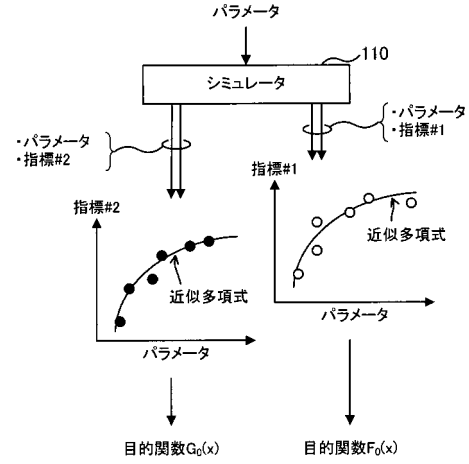
【 図 3 】



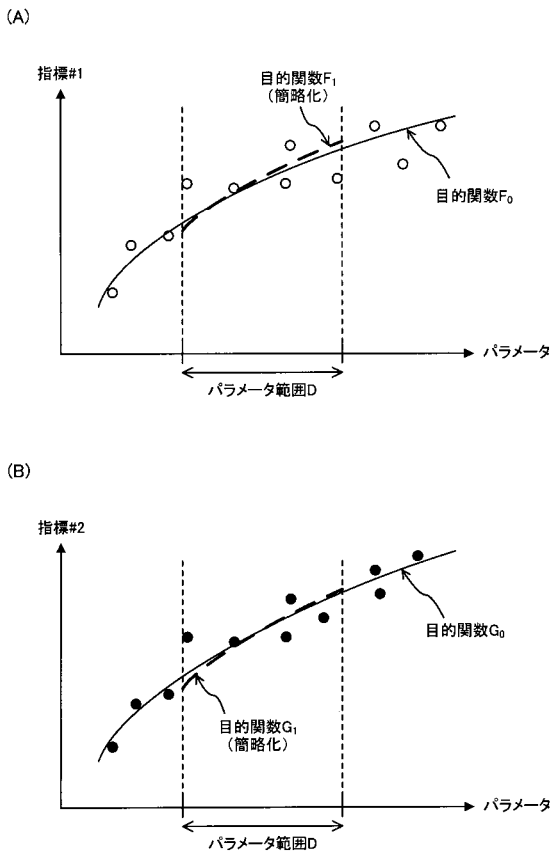
【 図 4 】



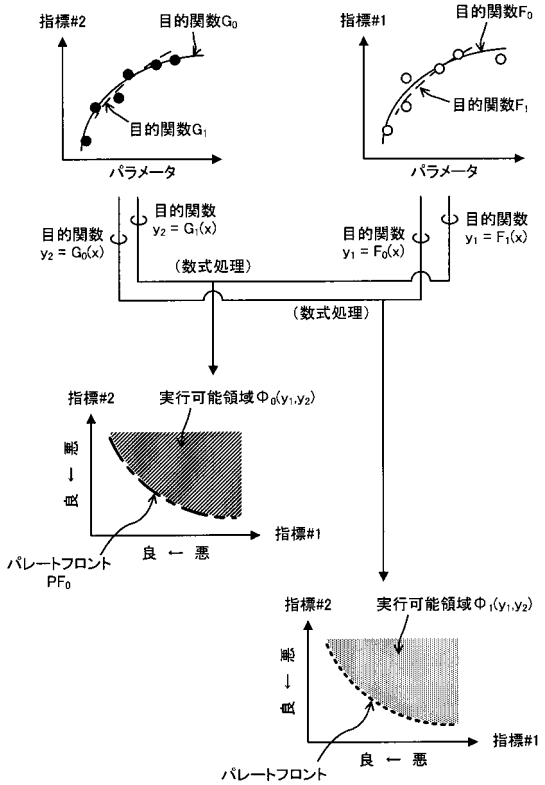
【 図 5 】



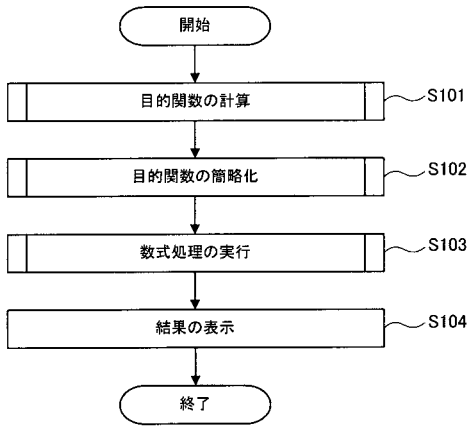
【 図 6 】



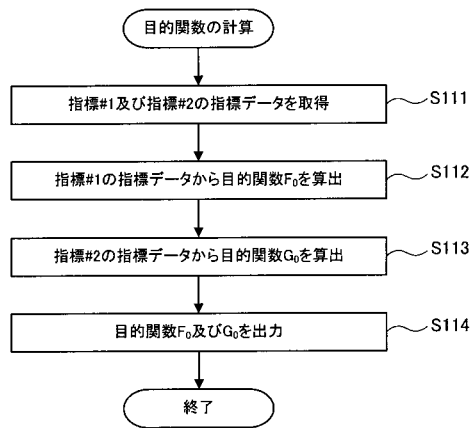
【 図 7 】



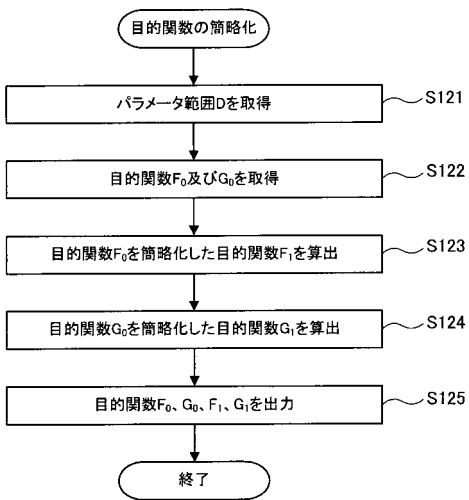
【 図 8 】



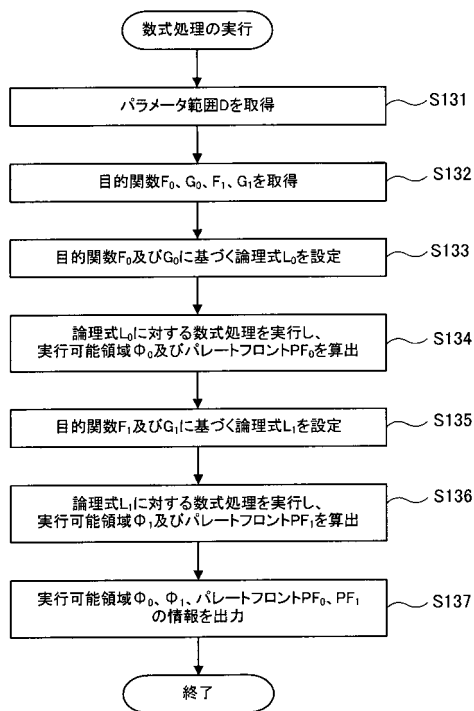
【 図 9 】



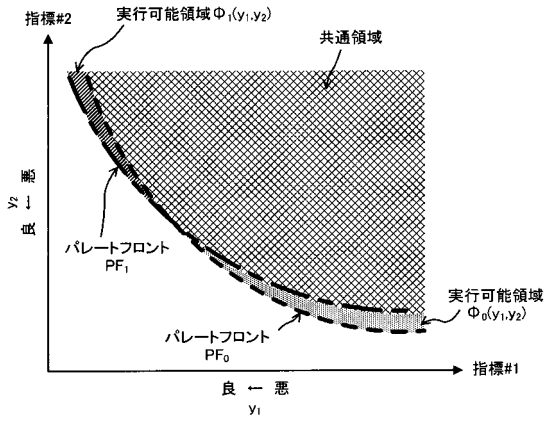
【 図 10 】



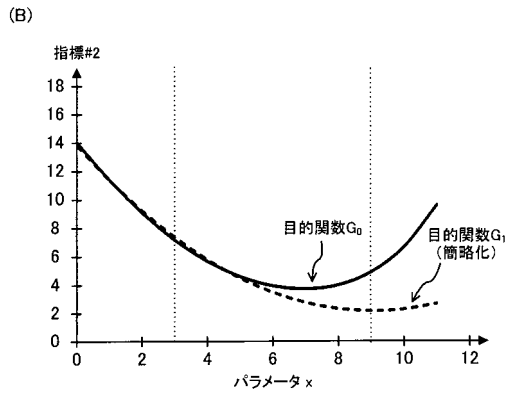
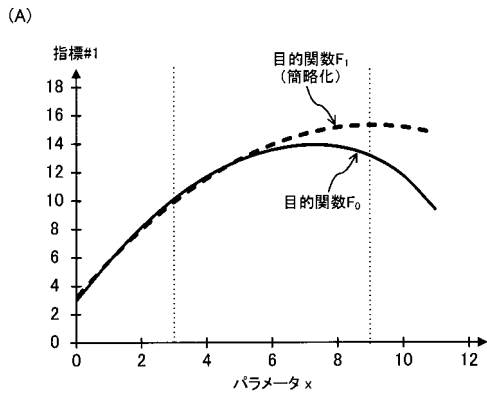
【 図 11 】



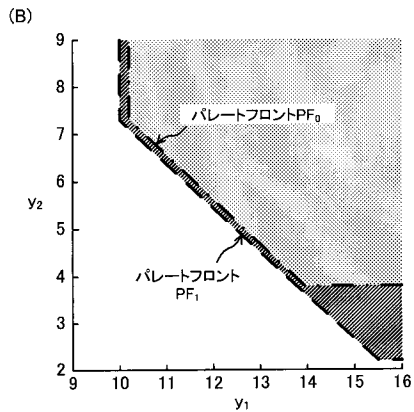
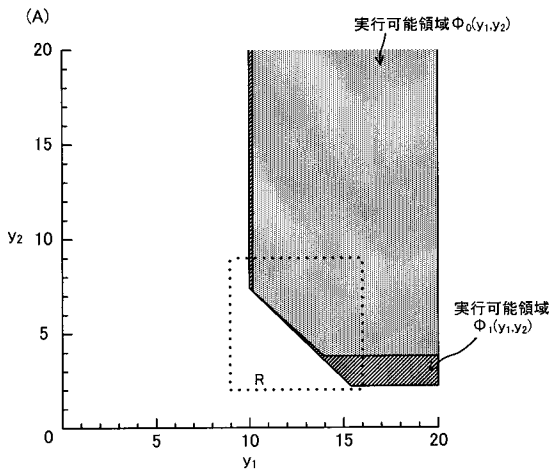
【図 1 2】



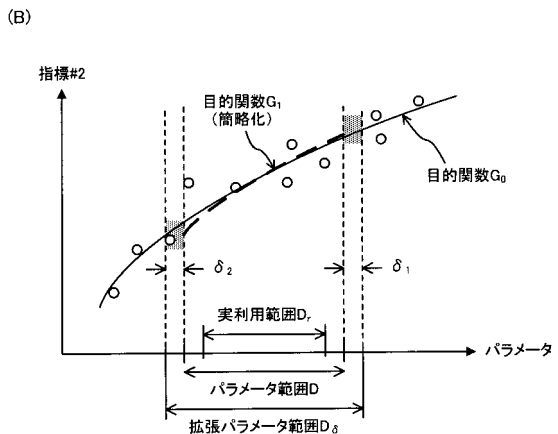
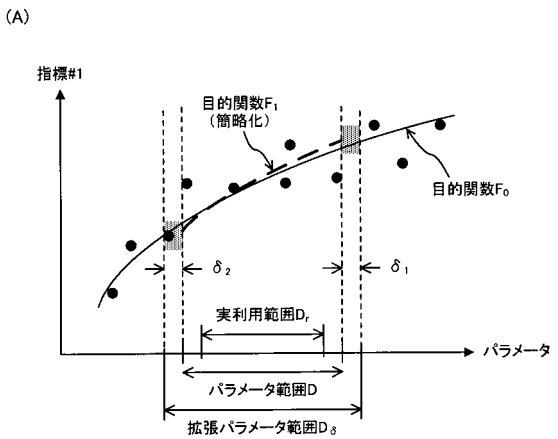
【図 1 3】



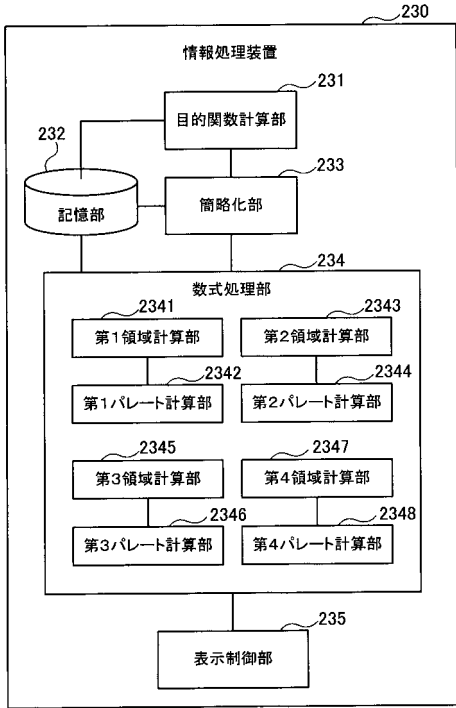
【図 1 4】



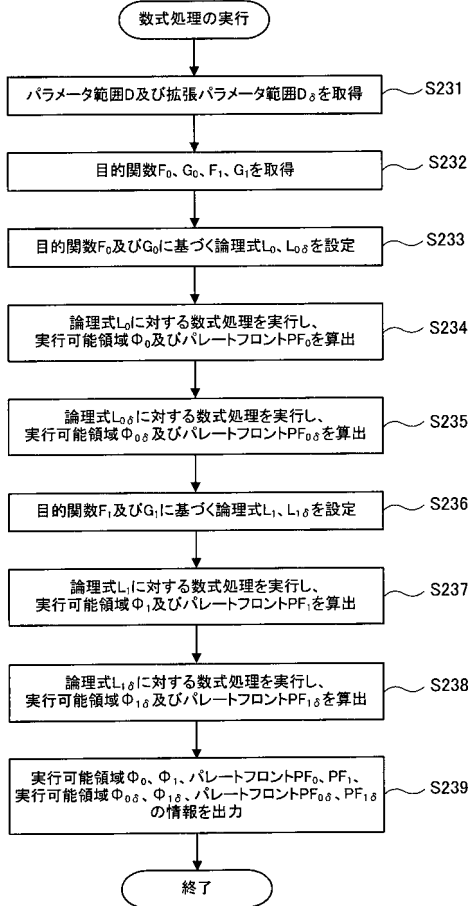
【図 1 5】



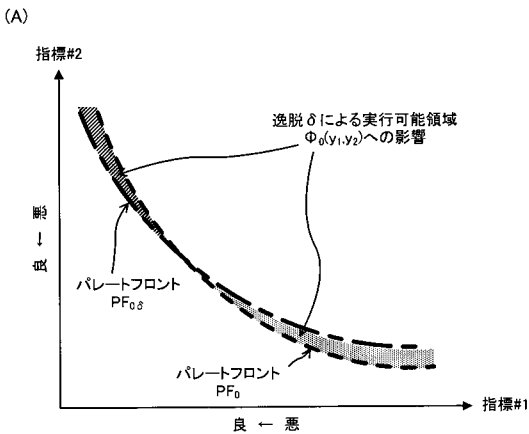
【 図 1 6 】



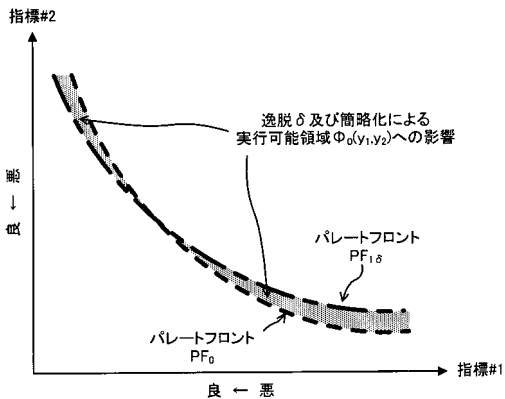
【 図 1 7 】



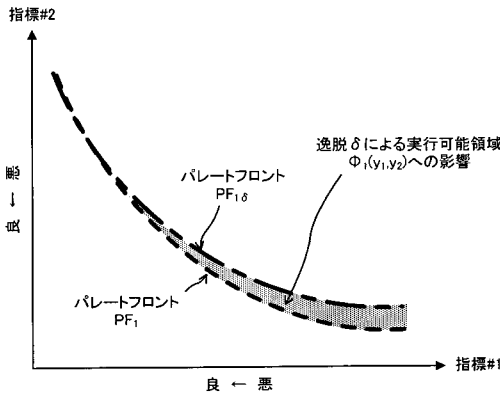
【 図 1 8 】



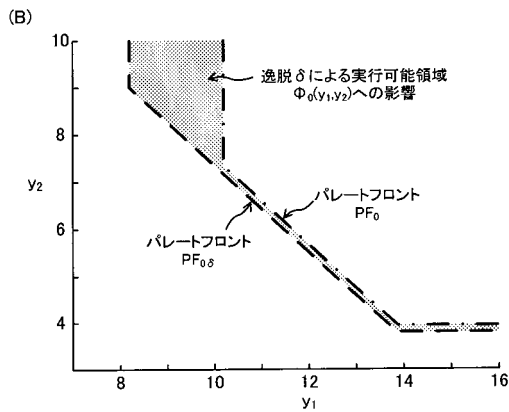
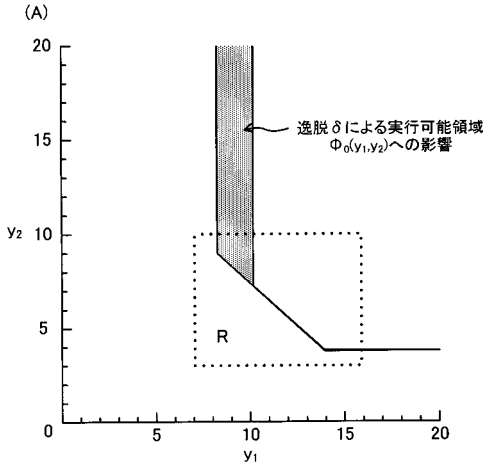
【 図 1 9 】



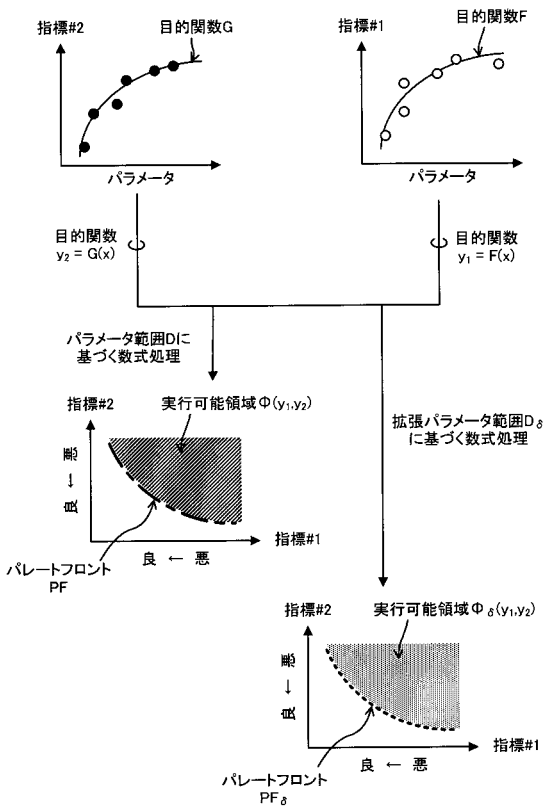
(B)



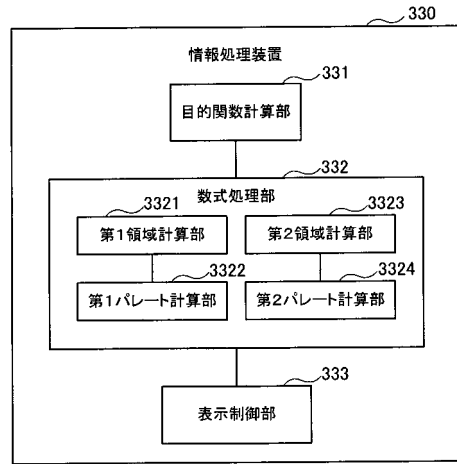
【図 2 0】



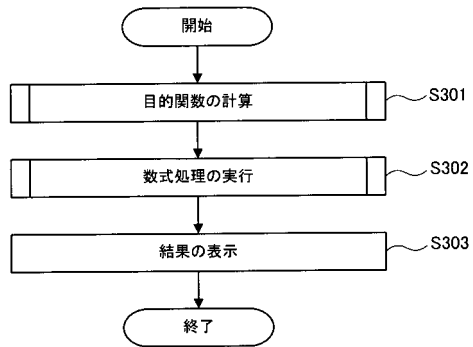
【図 2 2】



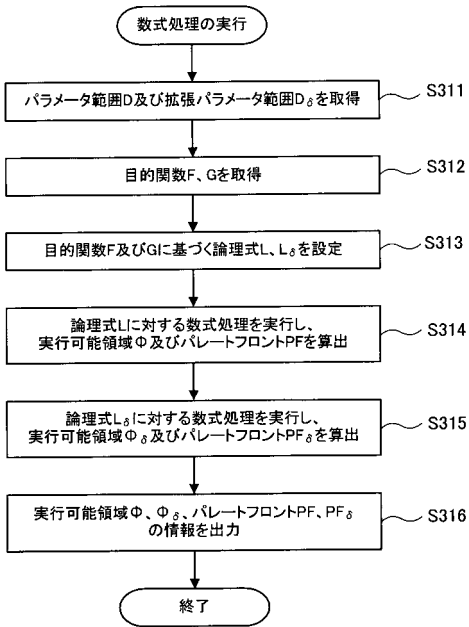
【図 2 1】



【図 2 3】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】

