

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20560124

研究課題名(和文)

初期設計段階での不確定性を考慮した有限要素法の開発

研究課題名(英文)

Development of Finite Element Method for the Early Design of Product with Some Uncertainties

研究代表者

石川 晴雄 (ISHIKAWA HARUO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：20111693

研究成果の概要(和文)：

形状と物性の不確定性を有する初期設計段階でトラス構造を有限要素法(FEM)解析する方法の提案とプログラム開発を目的とした。要素の断面積、ヤング率、節点座標という設計変数(入力変数)と変位や応力という出力要求性能との関係が単調、あるいは非単調である場合に、それらの不確定性を範囲で表現し、範囲で与えられた要求性能を満足する設計変数の範囲をFEMで求めるために、Finchの範囲伝播理論、遺伝的アルゴリズム等の局所解探索法、あるいは領域分割法をセットベース設計手法に組み合わせて解析する手法である。

例題としては、タワー構造、ドーム構造、変形片持ち梁構造などに適用し、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：

A method of new FEM( finite element method) analysis for the early design of Truss structure with some uncertain is proposed. In the method, the ranged set of requirement parameters which are stress and displacement are obtained from the ranged set of design parameters which are Young' s Modulus and element area by Finch' s propagation theory or some local minimum/maximum optimization theories for the monotonic or non-monotonic behavior between design parameters and requirement parameters, respectively. A program for the set-based FEM analysis with these concepts for 2D and 3D Truss structure is developed. The applications of the proposed method are carried out for the realistic structures, including tower structure, dome structure and bridge structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：設計工学、構造工学、有限要素法、初期設計

## 1. 研究開始当初の背景

環境問題などの製品のライフサイクルへの対応、あるいは開発の期間やコストの削減のためには、製品の廃棄・リユースなどに至るライフサイクル全体を協調的に（データを共有してコンカレントに）考慮した設計、なかんづく詳細設計以前の初期設計の重要性が指摘されている。初期設計の段階では、設計変数や仕様変数の値は一般には不確定であり、申請者はこの不確定性を扱って設計を進める設計手法として、どの程度の不確定性を許すかを示す変数値の変動の許容範囲と範囲内優先度を示す選好度（設計者の経験結果などにより決定：図1）を用いた手法を既に提案している。すなわち、申請者は前述のように、複数の入力としての設計変数にポイント値ではなく選好度付き範囲値をそれぞれ与え、このもとで複数の出力としての設計性能（多目的設計性能）をそれぞれ選好度付き範囲解として求める一般的設計手法（選好度付きセットベース設計手法：PSD手法）を提案し、自動車メーカー等と協調して車体構造の多目的満足化設計に適用している。

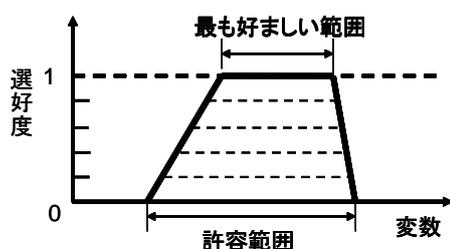


図1

一方、有限要素法(FEM)は構造解析など設計特性評価に極めて有効に使用され、詳細設計における一般的ツールとなっている。しかし、初期設計においては、前述した不確定性が存在するため、それをカバーする多種多様の条件に対して、計算機のパワー（腕力）に依存した多数回の繰り返し計算でしか解を得ることができず、設計者への負担ならびに開発時間とコストの増加をもたらしているのが現状である。

FEMでは、解析対象の節点位置群と物性が設計対象領域の形状・寸法と物性に対応する。そこで本研究では、形状・寸法および負荷条件が未確定で、変動範囲（不確定性）を有する初期の構造設計を対象にして、そのような不確定性に対応して、出力としての変位や応力の変動範囲を求めるFEMのアルゴリズムの検討し、それに基づく解析プログラムの開発および具体的事例に対する設計適用を行う。図2はトラス構造の例で、入力である節点の座標、要素の断面積とヤング率に変動範囲と選好度を与え、出力である変位と応力の変動範囲を求めることと、あらかじめ指定した出力の変動範囲と選好度を与え、これを満足する入力の変動範囲と選好度を得る様子を示している。

## 2. 研究の目的

構造解析対象の形状と物性の不確定性を有する初期設計段階でFEM解析を計算機のパワーによらずに実施することを目的とする。すなわち、形状の不確定性をFEMの節点位置

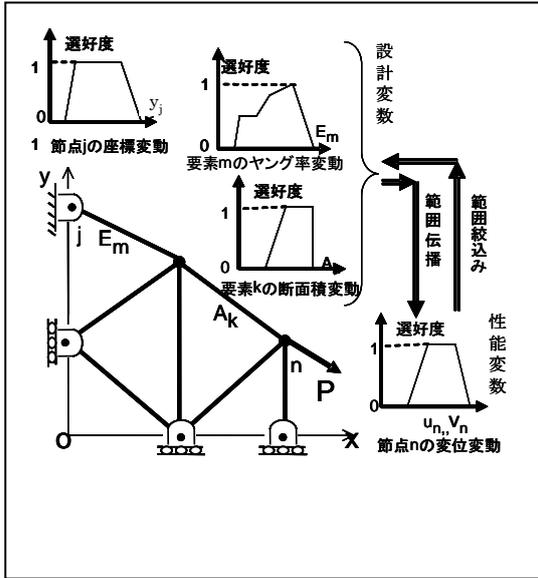


図2  
の変動幅（集合）として、構造物性の不確定性を要素物性（ヤング率）の変動幅（集合）として、また要素の断面積も変動幅（集合）として与え、構造の応答出力（例えば、変位や応力）を変動幅（集合）として求めるために、両者を結びつけるアルゴリズムについて検討する。あわせて、このアルゴリズムを実現するソフトウェアを2次元および3次元トラス構造の弾性解析用として開発する。

### 3. 研究の方法

本研究により、初期設計段階でのFEMのより効率的適用やFEMそのものの新しい展開が可能となり、学問的にも産業应用的にも有益な研究となる。

まず、トラス構造を解析対象とし、入力設計変数に対する出力性能変数の単調変化性の保障を前提にし、トラス部材の断面積と材料定数の設計変数を範囲で与え、これに対応した応力と変位の出力性能変数の範囲をFinchの範囲伝播理論によって求めるものとした。そのために設計変数の範囲境界値の組合せに関する有限要素法解析をいわゆるセットベース手法で実施する方法を提案した。

また、出力性能範囲に対応した設計変数範囲を求める逆問題解析のために、範囲境界値の組合せに関する有限要素法解を絞り込んでいくPSD(Preference Set-Based Design)手法（研究代表者らの従来からの提案手法）を組み合わせる手法を提案した。

次に、入力設計変数（節点座標の変化を入力設計変数とする場合）に対する出力性能変数（応力と変位）の非単調変化現象が問題になる場合は、現象の極値とそれを与える設計変数値を、遺伝的アルゴリズム(GA)、多段階連結法およびParticle Swarm Optimization(PSO)法によって求め、求められた極値の両側の範囲に対してFinchの伝播理論およびPSD手法を適用する方法を提案した。

また計算効率の向上を目的として、変位型の領域分割法を導入することを提案した。この導入は、計算効率の観点もあるが、初期設計段階の設計変更は、比較的部分的であることにも注目した結果である。

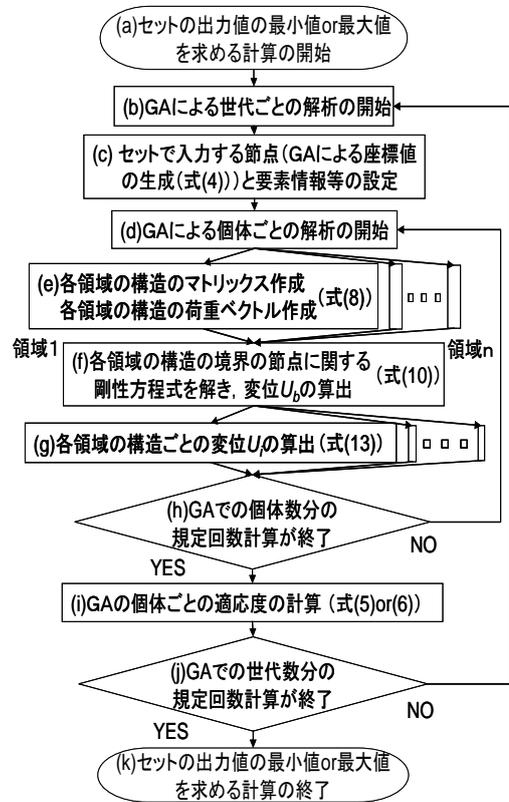


図3

図3は遺伝的アルゴリズムと領域分割法をPSD手法に組み合わせた場合のフローチャートである。

#### 4. 研究成果

有限要素法の一分野であるトラス構造弾性解析を対象にして、その初期設計段階での設計変数（要素の断面積、ヤング率、節点座標）の変動性を変数値の範囲で表現して、出力性能（節点変位と応力）の範囲値を求める、あるいはその逆問題である性能範囲から設計変数範囲を求める有限要素法のアルゴリズムを提案できた。特に、節点座標を設計変数とする場合は、一般的には性能との関係が非単調現象になるが、このような場合にも極値の探索手法と組み合わせることで、上記の提案に至っている。また、設計変数の変動性を検討する構造領域は部分的であることも多いことに注目し、また計算効率の観点も考慮し、領域分割法も合わせて導入、組み合わせることも提案した。

以上の提案内容を含み、2次元および3次元構造体を解析するシステムを開発し、いくつかの例題（スカイツリーを模擬した塔構造、ドーム構造、曲弦トラス構造橋、変形片持ち梁（図4に示す）など）に適用し、その有効性を確認した。結果の一例を図5に示す。

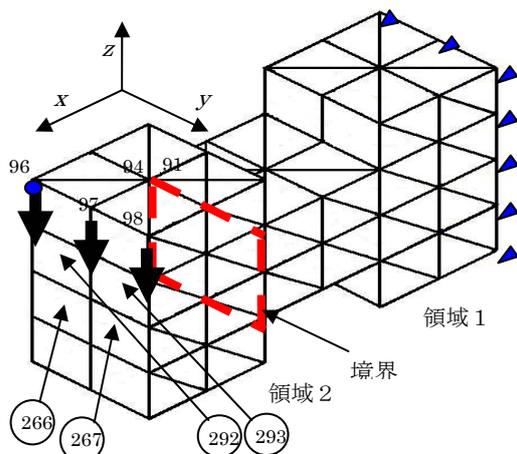


図4 トラス構造解析対象

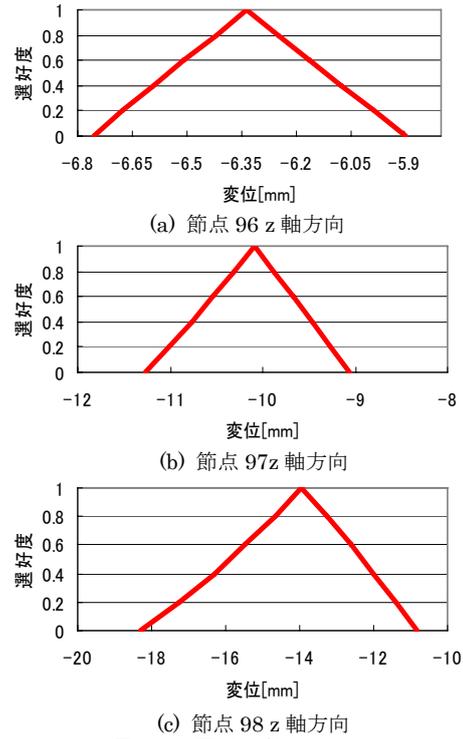


図5 範囲出力変位

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

- ・ Haruo Ishikawa , Application of Sustainable Aspects to the Set-Based Design Method, 11<sup>th</sup> International Design Conference, (May 17, 2010) Croatia.

- ・ Haruo Ishikawa, Set-Based FEM For Production Design With Uncertainties, ASME, (Nov. 13, 2009) Florida.

- ・ 石川晴雄、領域分割法によるセットベース有限要素法の提案、日本設計工学会秋季大会研究発表講演会、(2009年10月24日) 広島。

- ・ 石川晴雄、初期設計段階のためのセットベース有限要素法の提案（トラス構造解析への適用）、日本設計工学会 2008 年度秋季研究発表講演会論文集、(2008年10月10日) 熊本。

・ Haruo Ishikawa, Finite Element Method as a Method of Product Design with Uncertainties for Sustainable Industrial growth, Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, (Sep, 29, 2008) Busan.

〔図書〕 (計 1 件)

石川晴雄、コロナ社、多目的最適化設計 セットベース設計手法による多目的満足化、(2010) 151 ページ.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石川 晴雄 (ISHIKAWA HARUO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・  
教授

研究者番号 : 20111693

### (2) 研究協力者

井上 全人 (INOUE MASATO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・  
助教

研究者番号 : 60365468