

平成22年5月24日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560142
 研究課題名（和文）機械的特性を利用した新しい電磁波機能をもつ構造を対象とした
 創成設計法の構築
 研究課題名（英文）Construction of a structural design method of structures that have
 new electromagnetic wave functions using mechanical properties
 研究代表者
 西脇 眞二（NISHIWAKI SHINJI）
 京都大学・工学研究科・教授
 研究者番号：10346041

研究成果の概要（和文）：

近年、フォトニック結晶構造などの新しい機能をもつ電磁波構造が注目を浴びつつある。このような新しい機能をもつ電磁気構造はナイトビジョン、自動運転のためのレーザレーダ、ミリ波レーダなど、多くの応用展開が期待されている。そこで、本研究では、新しい機能をもつ電磁波構造として、荷重を負荷することにより誘電体で構成される対象構造が力学的に変形し、その結果、構造の形態・形状が変化することにより、電磁気機能特性を変化させる構造を創成設計する方法論をトポロジー最適化の考え方に基づき開発した。

研究成果の概要（英文）：

Recently, new structures that have new types of electromagnetic wave propagation performance such as photonic crystal structures have been widely paid attention. Such new structures are expected to be used for developing high performance devices such as night visions, laser radars, and milli-meter wave radars for automatic cruising. In this research, we developed a structural design method for the design of structures that are composed of dielectric materials, and that can change electromagnetic wave propagation performance by applying appropriate and specified forces, based on the concept of the topology optimization method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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，最適設計

1. 研究開始当初の背景

構造最適化の中で、構造の形状だけでなく穴の数などの変更を可能とする最も設計自

由度の高い方法として、トポロジー最適化がある。この方法は、特定の初期構造を与えることなく、目的とする最適な形態および構造

を得ることができるので、所定の設計要件を満足する形態・構造を創成する方法としても利用できる。しかしながら、現在までのこの方法の応用は、もっぱら構造力学の分野に限られ、剛性最大化や固有振動数最大化などの構造の安定性を目指した設計への適用に限られている。これに対して、近年、海外の多くの研究グループでは、トポロジー最適化の他の設計対象や非線形問題、他の物理現象への適用が積極的に進められている。このような動向の中、今後のトポロジー最適化の適用が期待されている分野は、構造力学の領域では、大変形、大ひずみのように非線形現象を伴う場合の構造物の最適化であり、また構造と熱、構造と流体、あるいは構造と電磁気などのような複数の物理を考慮可能な最適設計問題であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、力学的な特性を利用して電磁気機能特性の高度化・多機能化可能な構造の創成設計技術を構築することを目的とする。すなわち、荷重を負荷することにより誘電体で構成される対象構造が力学的に変形し、その結果、構造の形態・形状が変化することにより、電磁気機能特性を変化させる構造を創成設計する方法論をトポロジー最適化の考え方に基づき開発する。

3. 研究の方法

上述の方法論を構築するためには、構造問題、電磁波問題について、具体的には以下の方法を開発した。

- ① 構造力学の問題については、大変形等の非線形効果を考慮可能な構造最適化の方法を開発した。構造が大きく変形する場合には、大変形によって有限要素メッシュが大きくゆがみ、最適化が実行不可能になる問題点が指摘されている。本研究では、この問題を解決するため、メッシュレスな方法である粒子法と、メッシュフリーの有効な手段であると有限被覆法 (FCM) に基づくトポロジー最適化の方法を開発した。
- ② 電磁波問題については、直接周波数特性の解析が可能な有限要素法 (FEM) により解析を行い、その解析結果に基づき最適化を行うトポロジー最適化の方法を開発した。電磁場問題においては、境界上の電磁波の反射により最適構造が明瞭とならずグレースケールとなったり、不規則で物理的な不適当な構造を創出する問題点をもつ。さらに、設計空間の緩和方法についても、密度法の応用のような極めて単純な方法しか提案されておらず、この点においても、グレースケールなどの数値的不安定問題を生じる。本研究では、

このような問題を抜本的に解決するため、レベルセット法による形状表現を用いたあら新しいトポロジー最適化の方法を開発した。

- ③ 上述の①と②のトポロジー最適化の方法の統合化を図った。さらに、簡単な数値例により、方法論の妥当性を検証した。

4. 研究成果

上述のように、本研究により、力学的な特性を利用して電磁気機能特性の高度化・多機能化可能な構造の創成設計技術を構築することができた。以下に、構築した方法論により得られた代表的な最適構造を示す。

図1に、粒子法に基づくトポロジー最適化の結果を示す。図1(a)には、設計領域、図1(b)には、分布荷重を 1N/m^2 と 4000N/m^2 与えた場合の最適構造を示す。これより、分布荷重の値により、最適構造が大きく異なり、非線形効果を考慮できていることがわかる。

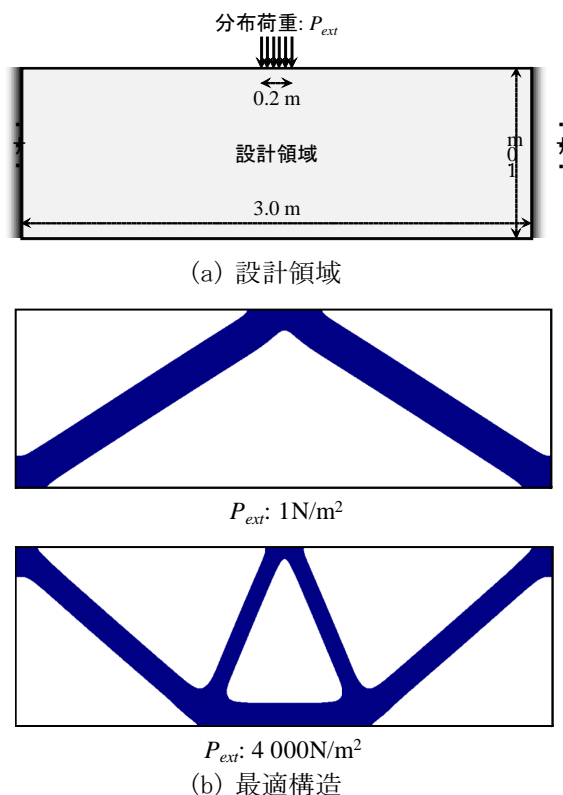


図1 粒子法に基づくトポロジー最適化の結果

図2に、電磁波問題に関するトポロジー最適化の結果を示す。図2(a)には、設計領域、図2(b)に、最適構造を示す。ここでは、設計領域の上側から電磁波を入射させた場合に、下側からの出力波が最小となる場合の最適構造を求めている。これより、本方法により、グレースケールのない、物理的に妥当な最適

構造が得られていることがわかる。

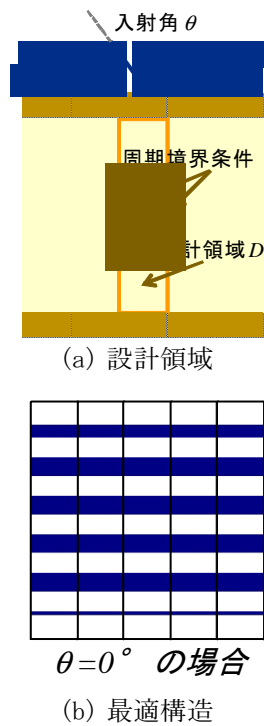


図2 電磁波問題に関するトポロジー最適化の結果

図3に、構造問題と電磁波問題の方法を統合化したトポロジー最適化の方法により、得られた結果を示す。図3(a)には、最適化の過程を、図3(b)には、得られた最適構造に荷重を付与した場合の電磁波特性を示す。これより、荷重を付与することにより構造が力学的に変形し、その結果、構造の形態・形状が変化することにより、電磁気機能特性を変化させる構造が得られていることがわかる。

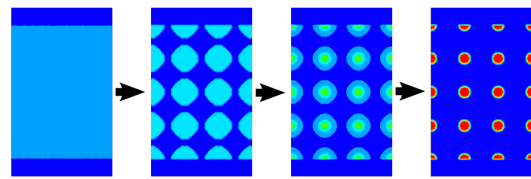
5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

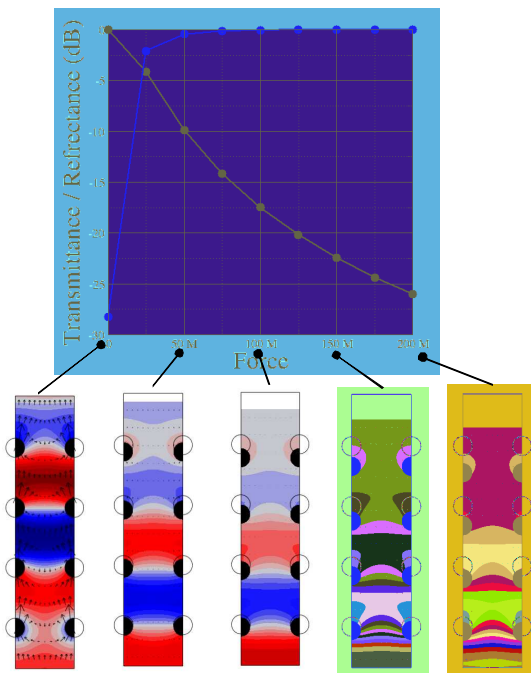
[雑誌論文] (計5件)

- ① 木下慎也, 西脇眞二, 泉井一浩, 吉村允孝, 野村壮史, 佐藤和夫, 導波特性を設計目標とする電磁波導波路のトポロジー最適化, 日本計算工学会論文集, 査読有, 2007, No. 20070025.
- ② Nomura, T., Nishiwaki, S., Sato, K., and Hirayama, K., Topology Optimization for the Design of Periodic Microstructures Composed of Electromagnetic Materials, Finite Elements in Analysis and Design, 査読有, Vol. 45, 2009, pp. 789-804.
- ③ 山田崇恭, 山崎慎太郎, 西脇眞二, 泉井一浩, レベルセット法に基づくコンプラ

イアントメカニズムの構造最適化, 日本



(a) 最適化過程



(b) 荷重を付与した場合の電磁波特性

図3 統合化されたトポロジー最適化により得られた電磁波構造

計算工学会論文集, 査読有, 2008, No. 20080001.

- ④ Nishiwaki, S., Nomura, T., Kinoshita, S., Izui, K., Yoshimura, M., Sato, K., and Hirayama, K., Topology Optimization for Cross-Section Designs of Electromagnetic Waveguides Targeting Guiding Characteristics, Finite Elements in Analysis and Design, 査読有, Vol. 45, 2009, pp. 944-957.
- ⑤ 山田崇恭, 西脇眞二, 泉井一浩, 吉村允孝, 竹澤晃弘, レベルセット法による形状表現を用いたフェーズフィールド法の考え方に基づくトポロジー最適化, 日本機械学会論文集(A編), 査読有, 75巻753号, 2009, pp. 550-558.

[学会発表] (計10件)

- ① Kinoshita, S., Nishiwaki, S., Izui, K., Yoshimura, M., Nomura, T., Sato, K., and

- Hirayama, K., Topology Optimization for the Design of Electric Field Resonators Targeting Frequency Characteristics, 7th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization(WCSMO-7), May 21-25, 2007, Seoul, Korea, pp.2003-2011.
- ② Nishiwaki, S., Yamasaki, S., Izui, K., and Yoshimura, M., Level Set Based Structural Optimization Targeting Vibration Characteristics, The 2nd Korea-Japan Workshop on Computational Engineering, August 31-September 2, 2007, Seoul, Korea, pp.100-117.
- ③ Nomura, T., Sato, K., Hirayama, K., Nishiwaki, S., and Yoshimura, M., Interface Structure Design of Electromagnetic Material Using Topology Optimization, Third Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics in conjunction with Eleventh International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science, December 3-6, 2007, Kyoto, Japan
- ④ Yamada, S., Yamasaki, S., Nishiwaki, S., Izui, K., and Yoshimura, M., Structural Optimization of Compliant Thermal Micro Actuators Based on the Level Set Method, 12th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, September, 2008, Victoria, Canada, AIAA 2008-5937.
- ⑤ Uchida, N., Nishiwaki, S., Izui, K., Yoshimura, M., Nomura, T., and Sato, K., Simultaneous Shape and Topology Optimization for the Design of Patch Antennas, 3rd European Conference on Antennas and Propagation, March, 2009, Berlin, Germany, pp.103-107.
- ⑥ Yamada, T., Nishiwaki, S., Izui, K., and Yoshimura, M., A New Level Set Based Topology Optimization Method Using a Fictitious Interface Energy Model Based on Phase Field Method Concepts, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization(WCSMO-8), June 1-5,2009, Lisbon, Portugal, No. 1136.
- ⑦ Andkjær, J., Sigmund, O., Nishiwaki, S., and Nomura, T., Design of Grating Couplers Using Topology Optimization for the Efficient Excitation of Surface Plasmons, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization(WCSMO-8), June 1-5,2009, Lisbon, Portugal, No. 1294.
- ⑧ Uchida, N., Nishiwaki, S., Izui, K., Yoshimura, M., and Nomura, T., Topology Optimization of Electromagnetic

Waveguides, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization(WCSMO-8), June 1-5,2009, Lisbon, Portugal, No. 1200.

- ⑨ Yamada, T., Nishiwaki, S., Izui, K., and Yoshimura, M., A New Level Set-based Topology Optimization Method Using the Concepts of the Phase Field Method, 10th US National Congress on Computational Mechanics, July 16-19, 2009, Ohio, USA, No.157264.
- ⑩ Nomura, T., Uchida, N., Matsuzawa, S., Yamasaki, S., and Nishiwaki, S., Topology optimization of anti-scattering structure for dielectric obstacle, 2nd International Workshops on Advances in Computational Mechanics, March 29-31, 2010, Yokohama, Japan, p.56.

6. 研究組織

(1)研究代表者

西脇 真二 (NISHIWAKI SHINJI)
 京都大学・工学研究科・教授
 研究者番号：10346041

(2)研究分担者

泉井 一浩 (IZUI KAZUHIRO)
 京都大学・工学研究科・助教
 研究者番号：90314228
 野村 壮史(NOMURA TSUYOSHI)
 株式会社豊田中央研究所・電磁波応用
 研究室・研究員
 研究者番号：80394823

(3)連携研究者

無し