

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360105

研究課題名（和文）新概念コンポジットの航空・自動車軽量構造への実用化と多目的統合最適化

研究課題名（英文）Application of new concept composites to aerospace and automobile structures and the related multi-purpose optimization

研究代表者

成田 吉弘 (NARITA YOSHIHIRO)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00137407

研究成果の概要（和文）：

省資源化のため、石油を大量消費する自動車と航空機の構造軽量化は急務であり、軽量かつ強度に優れた炭素繊維強化複合材料(CFRP)の利用が最も実用性がある。このため平行繊維による従来のFRPから、「必要な場所に曲線状強化繊維を的確に導入して局所異方性を活用した新概念FRP構造」による構造機械特性の革新的な向上を目的とした。そこで主に、目的に応じて最適な繊維形状を実現する曲線繊維強化構造の解析法と最適設計を提案し効果を実証した。

研究成果の概要（英文）：

It is urgently needed to save the limited oil resources by introducing the airplane and automobile structures with significantly lighter weight, and the advanced fiber reinforced composites (FRP) are most promising for the purpose. This project proposed a new technological idea that curved reinforcing fibers in composites are optimally distributed to meet the locally required mechanical demands. A group of analytical methods and optimum design methods have been successfully developed, and their effectiveness has been proved also by the experimental approach.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：複合材料, 軽量構造, 最適設計, 振動解析

1. 研究開始当初の背景

近年の原油価格の高騰で明らかになった様に、限りある石油資源の危機について議論の余地はなく、化石エネルギーを大量に使用

する自動車と航空機の交通機械軽量化による省資源技術の開発は急務であった。自動車は総重量を100kg減らすと燃費性能が2-3%向上するとされ、世界の自動車メーカーは車体の軽量化を競ってきた。トヨタの環境コン

セプト車と位置づけられたハイブリッド車「1/X」では、ボディ骨格に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を採用して、車両重量を通常の小型車の1/3にまで軽量化して燃料効率を2倍に高める計画であった。このように自動車のボンネットフードやルーフパネルなどに比剛性・比強度に優れたCFRPを使用して構造軽量化をすることは、今後の省資源化の観点から欠かせない。航空機では、米ボーイングが新型機B787にCFRPを本格採用して、機体の5割に炭素繊維を使用して燃費を従来機よりも2割程度向上させた。具体的には、中央翼、主翼前縁、フラップパネル、水平と垂直尾翼、エンジンカウル、圧力隔壁など、あらゆる部位に使用されている。それにも拘わらず、既成の研究に汎用プログラムの計算例はあっても、新規性と学術的を備えてFRP構造のブレークスルーを試みた研究はほとんど見られなかった。

2. 研究の目的

軽量化目的に幅広く採用されてきたCFRP複合材料であるが、従来は炭素繊維を平行に直線配列したプリプレグシートを積層する形式でのみ利用可能であった。

最近、CFRP材料の生産技術の革新的発展によって、繊維の牽引方向を連続的に変化させ、曲線状の強化繊維を持つ材料の生産が可能となった。すなわち材料内に局所的な異方性を顕在化させて、より高性能を実現し得る展望が開けてきた。本申請では、これを新概念のコンポジットとして位置づけ、任意の曲線形状をスプライン関数等で表現し、複合材の機械特性(静的強度、振動特性、座屈強度、被衝撃特性)を研究し、曲線繊維形状の最適設計を行って、従来型FRP構造よりさらに優れた特性を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

2009年度は、任意曲線に沿って長繊維により強化されたコンポジットについて、その力学的な理論と解析の基礎を固めた。分担者の佐々木は、主にマイクロメカニクス的アプローチを担当した。とくに曲線的に配置される繊維と母材それぞれの構成則の考察、繊維曲げの影響、繊維と母材の界面と空隙の影響、などを考慮して弾性率を求める実用的な混合則を導出した。

マクロメカニクス的な問題は、代表者の成田が担当した。とくに未だ曲線繊維やランダム配向を持つ場合の局所異方性構造要素に、静的な面内力が作用する場合の応力解析と座屈現象については、理論が整備されていなかったため、その解析的な問題解決を目指した。また曲線状の強化繊維が積層により、複

雑に交差する問題などは古典的な積層理論の適用は適切でないと考えられ、新しい曲線繊維の積層理論確立を試みた。

任意の繊維分布形状を表現していくため、従来の簡単なべき多項式から、スプライン関数、ベジエ関数など、将来的にCAD、CAMへの導入を考慮した数式表現を考察した。内製と汎用の計算ソフトウェアを充実させた。

2010年度は、新概念コンポジットの交通機械に対する実用的な適用を図った。このため航空機では、中央翼、主翼リブ、外側フラップ、主翼前縁、フラットトラックパネル、エンジンカウル、胴体尾部、水平尾翼、垂直尾翼、などの構造を分析して、それに作用する静的、動的外力から応答解析を試みた。単純な形状へのリダクションにより解析的な方法を適用する場合と、原型に近い解析モデルを作成してFEM解析を行う場合に分けられた。とくに航空機では、小石や鳥との衝突による破損が重要であり、それらの比較的低速度によるCAI(Compression After Impact)についても、解析を行い曲線繊維による局所異方性の利用について検討した。自動車構造については、ルーフ、ボンネット、サイドパネル、車後部から中間部までの一体構造などについて、新概念コンポジットの適用を検討した。とくに自動車用の曲面パネルでは、外圧座屈に対する強度が重要であり、曲面モデルに曲線状の強化繊維を配向させた場合の力学挙動を解析した。

2011年度は総合化のステージとして、全体の取りまとめを行った。とくに理論的な解析結果と、実験結果との比較検討を行った。また個々に行った最適化から、構造システム全体としての統合的な最適化を試みた。すなわち多目的最適化問題として扱い、より全体的な構造システムの提案を行った。

4. 研究成果

最終的な具体的成果としては、目的に応じて最適な曲線形状を与える曲線繊維強化複合材料要素(平板、シェル)について、その振動解析法と最適設計法を提案して、効果を実証した。その曲線状繊維を曲率のある偏平シェルに拡張した。とくに位置ごとに曲率を変化させる任意曲面シェルの解析法を開発したが、その最適設計法は航空機や自動車の複合材料パネルに適用することを可能にした。さらに最適化だけでなく、能動的に振動特性を制御するスマート材料に関する制御方法をまとめた。

航空機やタービンブレードなどは加速度など物体力を受けることから、その簡易的な解析法を提案した。また目的関数は、単一目

的に限らないことから、複数の目的関数の同時最適化の手法を提案した。この他に、レーザー加振を用いたスマートマイクロ複合材の振動制御性の評価や、熱可塑性CFRP積層板の成形モニタリングなど関連テーマについても成果報告をした。

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 15 件)

1. 和田将明, 本田真也, 成田吉弘, 遠心力を受ける複合材積層板の振動解析, 日本機械学会論文集(C編)(査読有), Vol. 78, (印刷中).
2. Y. Mochida, S. Ilanko, M. Duke and Y. Narita, Free Vibration Analysis of Doubly Curved Shallow Shells Using the Superposition-Galerkin Method, Journal of Sound and Vibration(査読有), Vol. 331, (2012), pp. 1413-1425. 10. 1016/j. jsv. 2011. 10. 031
3. Shinya Honda, Takeru Kato, Yoshihiro Narita and Daisuke Narita, Multidisciplinary Design Optimization of Surface Shapes and Lay-up Configurations for Laminated Composite Shells, Journal of System Design and Dynamics, JSME(査読有), Vol. 5, (2011), pp. 1662-1673. 10. 1299/jsdd. 5. 1662
4. Shinya Honda and Yoshihiro Narita, Natural Frequencies and Vibration Modes of Laminated Composite Plates Reinforced with Arbitrary Curvilinear Fiber Shape Paths, Journal of Sound and Vibration(査読有), Vol. 331, (2012-1), pp. 180 -191. 10. 1016/j. jsv. 2011. 08. 019
5. Shinya Honda, Itsuro Kajiwara, and Yoshihiro Narita, Multidisciplinary Design Optimization for Vibration Control of Smart Laminated Composite Structures, Journal of Intelligent Material Systems and Structures(査読有), Vol. 22, (2011), pp. 1419-1430. 10. 1177/1045389X11414081
6. 本田真也, 加藤大翔, 成田吉弘, 成田大祐, 繊維強化複合材シエルの曲面形状と積層構成の統合最適化, 日本機械学会論文集(C編)(査読有), Vol. 77, No. 777 (2011), pp. 1793-1802. 10. 1299/kikaic. 77. 1793
7. Shinya Honda and Yoshihiro Narita, Vibration Design of Laminated Fibrous

Composite Plates with Local Anisotropy Induced by Short Fibers and Curvilinear Fibers, Composite Structures(査読有), Vol. 93 (2011), pp. 902-910.

10. 1016/j. compstruct. 2010. 07. 003

8. 矢澤宗厚, 成田吉弘, ペットボトル形状に対する印象評価, 日本感性工学会論文誌(査読有), Vol. 10, No. 1, (2010), pp. 27-34.
9. 本田真也, 大西良昌, 成田吉弘, 曲線状繊維によって強化された複合材積層板の座屈解析, 日本機械学会論文集(C編)(査読有), Vol. 76, No. 765 (2010), pp. 1056-1061.
10. 上甲康之, 本田真也, 成田吉弘, 実験計画法を用いた複合材料構造の多目的最適化, 日本機械学会集(C編)(査読有), Vol. 76, No. 765 (2010), pp. 1062-1067.
11. 成田吉弘, 山口雄平, 申義變, 多孔性長方形板のモデリングと振動特性, 日本機械学会論文集(C編)(査読有), Vol. 76, No. 766 (2010), pp. 1413-1418.
12. 本田真也, 大渡康介, 成田吉弘, 曲線状繊維によって強化された複合材積層板の応力集中最小化, 日本機械学会論文集(A編)(査読有), Vol. 76, No. 769 (2010), pp. 1139-1146.
13. Shinya Honda, Yoshihiro Narita and Katsuhiko Sasaki, Maximizing the Fundamental Frequency of Laminated Composite Plates with Optimally Shaped Curvilinear Fibers, Journal of System Design and Dynamics, JSME(査読有), Vol. 3, No. 6, (2009), pp. 867-876. 10. 1299/jsdd. 3. 867
14. Shinya Honda, Yoshihiro Narita and Katsuhiko Sasaki, Discrete Optimization for Vibration Design of Composite Plates by Using Lamination Parameters, Advanced Composite Materials(査読有), Vol. 18, (2009), pp. 297-314.
15. 本田真也, 成田吉弘, 佐々木克彦, 繊維形状最適化による複合材積層板の固有振動数最大化, 日本機械学会論文集(C編)(査読有), Vol. 75, No. 753 (2009), pp. 1244- 1250

[学会発表] (計 99 件)

1. Yoshihiro Narita, (Plenary speech) Some recent topics in dynamics “How can we become good researchers or mediocre ones?”, Proceedings of the Second Korea-Japan Joint Symposium on Dynamics and Control, Busan, Korea,

- (2011-5), pp. 9-10.
2. Yoshihiro Narita, Shinya Honda, Takeru Kato, Daisuke Narita, Analytical and experimental study on vibration of laminated shallow shells with variable shape and lay-up, Proceedings of the Second Korea-Japan Joint Symposium on Dynamics and Control, Busan, Korea, (2011-5), pp. 224-227.
 3. Shinya HONDA, Teruki IGARASHI, and Yoshihiro NARITA, MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION FOR FIBROUS COMPOSITE REINFORCED BY CURVILINEAR FIBERS, Proceedings of 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-9), June 13 -17, 2011, Shizuoka, Japan, (CD-ROM).
 4. Shinya HONDA and Yoshihiro NARITA: Study on Vibration Design of Laminated Fibrous Composite Plates Reinforced by Short Fibers and Curvilinear Fibers, Proceedings of 8th International Symposium on Vibration of Continuous Systems (ISVCS8), July 17-23, Whistler, British Columbia, Canada, pp. 16-18.
 5. Yoshihiro NARITA, Shinya HONDA, Takeru KATO, and Daisuke NARITA: Vibration Optimization of Composite Laminated Shallow Shells with respect to Surface Shapes and Lay-ups, Proceedings of 8th International Symposium on Vibration of Continuous Systems (ISVCS8), July 17-23, Whistler, British Columbia, Canada, pp. 40-42.
 6. Shinya HONDA, Kou KOSAKA, Yoshihiro NARITA, and Itsuro KAJIWARA, DESIGN OF SMART COMPOSITE FOR VIBRATION SUPPRESSION USING LAMINATION PARAMETERS, Proceedings of the 18th International Conference on Composite Material (ICCM18), August 21-26, 2011, Jeju, Korea, IF0541 (USB).
 7. Yoshihiro NARITA and Shinya HONDA, The Effect of Internal Line Supports on Optimum Lay-up Design for Vibration of Laminated Rectangular Plates, Proceedings of The 14th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC14), December 5th-8th, HongKong SAR, China, pp. 987-995.
 8. Shinya HONDA, Yoshihiro NARITA, Itsuro KAJIWARA, and Satoshi NAKAMURA, Vibration Testing Method of Smart Micro-Composite with Laser Excitation, Proceedings of The 14th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC14), December 5th-8th, HongKong SAR, China, pp. 1462-1470.
 9. 五十嵐輝樹, 本田真也, 成田吉弘, 曲線状繊維強化複合材の振動・曲率に関する多目的最適設計, 日本機械学会 第12回「運動と振動の制御」シンポジウム (MOVIC2011), 2011.6.29-7.1, 長野, No.11-6, pp. 339-346.
 10. 西田和寛, 李美龍, 成田吉弘, シャンプー容器を用いた突起の触り心地に関する感性評価, 日本感性工学会, 第13回日本感性工学会大会, 2011.9.3-5, 新宿区, CD-ROM, F42.
 11. 田中恒也, 李美龍, 成田吉弘, 製品の飽きを左右するデザイン要素に関する考察, 日本感性工学会, 第13回日本感性工学会大会, 2011.9.3-5, 新宿区, D46.
 12. 小坂互, 本田真也, 成田吉弘, 梶原逸朗, 積層パラメータを用いたスマート複合材の統合最適設計, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5-9, 香美市, No. 11-2 (CD-ROM), 103.
 13. 五十嵐輝樹, 本田真也, 成田吉弘, 曲線状繊維によって強化された複合材の多目的最適化, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5-9, 香美市, No. 11-2 (CD-ROM), 217. (若手優秀講演フェロー賞)
 14. 本田真也, 小柴嵩, 成田吉弘, 繊維強化複合材により局所的に強化された板の振動数最大化, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5-9, 香美市, No. 11-2 (CD-ROM), 347.
 15. 和田将明, 本田真也, 成田吉弘, 遠心力を受ける複合材積層板の振動解析, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5-9, 香美市, No. 11-2 (CD-ROM), 351.
 16. 南 貴士, 本田 真也, 成田 吉弘, 佐藤 太裕, 充填物を有するフレキシブル二重配管の振動減衰性能評価, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5-9, 香美市, No. 11-2 (CD-ROM), 357.
 17. 本田真也, 成田吉弘, 梶原逸朗, 中村哲司, レーザー加振を用いたスマートマイクロ複合材の振動制御性の評価, 日本複合材料学会, 第36回複合材料シンポジウム講演論文集, 2011.10.20-21, 仙台, pp. 69-70.
 18. 東田拓平, 武田真一, 岩堀豊, 本田真也, 成田吉弘, 熱可塑性 CFRP 積層板の成形モニタリング, 日本複合材料学会 第3回日本複合材料合同会議 JCCM3 2012 (JCOM-41/JSCM 2012), 2012.3.7-9, 京都市, 3410.

19. 田中恒也, 李美龍, 成田吉弘, ラフ集合理論を用いた視覚デザインの「シンプルさ」の定量化, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 43-44(若手優秀講演フェロー賞受賞).
20. 西田和寛, 李美龍, 成田吉弘, 立体モデルの曲面形状と重心位置による持ちやすさの感性評価, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 45-46.
21. 富橋和哉, 本田真也, 成田吉弘, 楕円孔を持つ積層長方形板の振動最適化, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 179-180.
22. 石橋祐太, 本田真也, 成田吉弘, 三次元局所異方性を有する複合材の基本振動数最大化, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 181-182, (若手優秀講演フェロー賞).
23. 湯上訓平, 本田真也, 成田吉弘, 翅脈構造を有する CF/A1 ハイブリッド複合材の振動特性評価, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 183-184.
24. 李承哲, 湯上訓平, 本田真也, 成田吉弘, 非対称積層長方形板の振動解析, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 185-186.
25. Li Jinqiang, 成田吉弘, Effect of piezoelectric constraining layer on vibration of laminated plates, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 187-188.
26. 蒙暄, 成田吉弘, 集中質量を有する積層長方形板の振動最適化, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川, No. 112-2, pp. 189-190.

(紙数の関係で, 2010 年度, 2009 年度は省略)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/intelligent_design/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成田 吉弘 (NARITA YOSHIHIRO)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号 : 00137407

(2) 研究分担者

佐々木 克彦 (SASAKI KATSUHIKO)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号 : 90215715