

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360113

研究課題名（和文） ナノテク・インフラ工学における超静粛化制御に関する研究

研究課題名（英文） Generation of quieter infrastructure for nanometer technology

研究代表者

田中 信雄 (TANAKA NOBUO)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：70305423

研究成果の概要：本申請研究では、将来型半導体の製造に欠かすことのできない超静粛フィールドの創成を目的に、各種静粛化制御手法を提案した。まず、波動制御および Active Boundary Control の観点から、無振動・無騒音状態の生成手法を提案した。また、振動と音の連成問題に着目し、当該現象における直交因子を見出した。さらに、繰り返し構造物におけるモード・ローカライゼーション制御を提案し、当該構造物の外乱点近傍に振動エネルギーを定在させる制御法を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,600,000	1,950,000	7,550,000
2007年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,710,000	19,510,000

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：振動制御

1. 研究開始当初の背景

世界半導体技術ロードマップによれば、半導体のテクノロジーノード（回路線幅）は、DRAM における最密層の回路パターンのハーフピッチとして定義され、ノードが新しくなるごとにハーフピッチは30%縮小すると明言されている。研究開始当初、東芝、ソニー、米 IBM の三社が共同して、回路線幅が65nm の半導体を量産可能な技術を開発しており、2005年後半には次々世代半導体がデビューするとの話であった。さりながら、ロードマップに沿って開発・商品化が推移するものもここまでで、2005年以降は新たな

突破口を開く必要があるとされていた。したがって、当時の技術の延長程度では対処不能な難問が山積されており、限りなく原子レベルに近づこうとするナノテクノロジーを進化させるには、これまでとは全く異なる新しい取り組みが必要であると考えられていた。

2. 研究の目的

微振動問題とは、これまで全く問題にされなかった床微振動はいうに及ばず、ささやかな音ですら大問題となる分野である。偶然と幸運に依存する状況下で、微少領域における仕事を達成したとしても、科学の世界とは異

なり、工学および産業界においては通用しない事柄である。すなわち、常に安定でロバストな絶対静止環境が整備されなければ、産業化への路を拓くことはできない。このような未来型素子の開発背景を踏まえ、申請プロジェクトは超静粛フィールドの創成を目的とするものであり、具体的には次々々世代半導体製造装置をターゲットとして、将来型半導体の製造に欠かすことのできないナノテク・インフラ技術を確立する。

3. 研究の方法

本申請研究においては、静粛化学を論ずるにあたり振動現象を波動として捉直し、振動制御ではなく波動制御、集中定数系ではなく分布定数系（あるいはスマートストラクチャ）、振動絶縁ではなくインピーダンス整合の視点から、ナノテク・インフラ工学を確立するスタンスに立つ。さらに、振動場と音響場の連成問題に着目し、両者の間に存在する複雑な遷移過程を解明し、その直交因子を見出すことで、連成場における静粛化の必要条件を明らかにする。

4. 研究成果

- (1) 波動制御およびActive boundary control (ABC) の観点から、薄肉平板構造物および3次元直方閉空間において無振動・無騒音状態を生成する手法を提案した。ABCの場合、伝達マトリクス法とモードフィルタの概念を導入することによって、適応型フィードフォワード制御系を構築し、その有用性を理論的・実験的に示した。また、パワーフロー制御の場合、クラスタ制御および差分法によるパワーフロー計測を組み合わせることで、構造物のある領域に無振動状態を生成する手法を提案した。
- (2) スマートセンサ・スマートアクチュエータによる平板構造物の振動モード制御法を提案した。提案した手法はセンサ・アクチュエータ自身が特定の振動モードのみを検出・加振できるので、スプillover現象を完全に回避することができる。したがって、当該制御系は非常に簡素でロバスト性の高いものとなる。本課題では、当該手法の有用性を理論および実験の観点から明らかにした。
- (3) 振動現象から騒音現象への遷移過程は非常に複雑であり、構造振動を抑制したとしても騒音抑制につながらない、さらには騒音が増大してしまう危険性がある。これを解決するために提案されたのが音響パワーモードの概念であるが、当該因子を抑制することで騒音抑制を図った場合、構造振動が増大する可能性は否定できない。そこで、両者の抑制を可能と

する構造音響モードの概念を提案し、その抑制手法の有用性を数値解析の立場から明らかにした。

- (4) 繰り返し構造物におけるモード・ローカライゼーション制御を提案した。具体的には、任意の境界条件を有する連成はり群をtest vehicleとして、振動モードの局在化現象を積極的に惹起させることで、振動エネルギーを定在させる能動制御法を提案した。当該制御系は、サブシステム間の連成を弱めるデカップリング制御と、局在化現象を惹起するバラツキを与える直接加速度フィードバックにより構成される。

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 37 件)

- ① 鉄道車両の内装透過音制御システムの開発 (第2報-遮音板配列型騒音制御システムの提案), 山本克也, 田中信雄, 朝比奈峰之, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 752, (2009), pp. 890- 897, 査読有り
- ② Vibroacoustic Independent Cotributors and Active Control of Vibration and Sound in Double Walls: Part 1. Vibroacoustic Modal Control, 貝塚勉, 田中信雄, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 3, No. 2, (2009), pp. 173-187, 査読有り
- ③ Vibroacoustic Independent Cotributors and Active Control of Vibration and Sound in Double Walls: Part 2. Cluster Control, 貝塚勉, 田中信雄, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 3, No. 2, (2009), pp. 188-202, 査読有り
- ④ Cluster control of distributed-parameter structures, 田中信雄, International Journal of Acoustics and Vibration, 掲載決定, 査読有り
- ⑤ Feedforward control of flexural waves propagating in a rectangular panel, 岩本宏之, 田中信雄, Journal of Sound and Vibration, 掲載決定, 査読有り
- ⑥ 波動制御理論を基調とした直方体閉空間場における静粛化制御に関する研究, 岩本宏之, 田中信雄, 眞田明, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 750, (2009), pp. 365-373, 査読有り
- ⑦ 高指向性音源による能動遮音制御, 田中信雄, 相原洋人, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 750, (2009), pp. 357-364, 査読有り

- ⑧ acoustic based sensing of orthogonal radiating functions for three-dimensional nose source: Background and experiments, S. G. Hill, S. D. Snyder, 田中信雄, Journal of Sound and Vibration, Vol.318, Issue4-5, (2008), pp. 1050-1076, 査読有り
- ⑨ 繰り返し構造物のモード・ローカライゼーション制御, 田中信雄, 村瀬陽平, 岩本宏之, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 742, (2008), pp. 1388-1395, 査読有り
- ⑩ モード励振法を用いたアクティブ遮音制御に関する研究, 眞田明, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 741, (2008), pp. 1287-1294, 査読有り
- ⑪ 鉄道車両の内装透過音低減システムの開発 (第 1 法—モジュール型騒音制御システムによる平板透過音制御法の研究), 山本克也, 田川, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 739, (2008), pp. 610-618, 査読有り
- ⑫ Vibroacoustic modes and active control of both vibration and sound, 貝塚勉, 田中信雄, AIAA Journal, Vol. 46, No.6, (2008), pp. 1490-1504, 査読有り
- ⑬ Cluster vector-based control of a flexible beam for generating a vibration-free region, 田中信雄, 岩本宏之, Journal of Sound and Vibration, Vol.314, Issue3-5, (2008), pp. 481-506, 査読有り
- ⑭ Radiation clusters and the active control of sound transmission through symmetric structures into free space, 貝塚勉, 田中信雄, Journal of Sound and Vibration, Vol.311, Issue1-2, (2008), pp. 160-183, 査読有り
- ⑮ Active Wave Control of String Near Fixed Boundary, 西郷宗玄, 田中信雄, D. Nam, ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol.130 (1), (2008), art.no 014502, 査読有り
- ⑯ はりの境界近傍における波動吸収制御, 西郷宗玄, 岩本宏之, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 734, (2007), pp. 81-87, 査読有り
- ⑰ ポイントセンサ群による波動フィルタを基調とした柔軟はり自由端におけるフィードバック型波動制御に関する研究 (基本特性の理論的検証), 岩本宏之, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 731, (2007), pp. 2064-2071, 査読有り
- ⑱ 構造場と音響場の統一的直交因子の定式化と制御: 閉空間の場合, 貝塚勉, 田中信雄, 日本音響学会誌, Vol.63, No.10, (2007), pp. 585-592, 査読有り
- ⑲ Practical implementation of an acoustic-based modal filtering sensing technique for active noise control, S. G. Hill, S. D. Snyder, 田中信雄, Applied Acoustics, Vol 68, Issue 11-12, (2007), pp. 1400-1426, 査読有り
- ⑳ Active boundary control of an Euler-Bernoulli Beam for generating vibration free state, 田中信雄, 岩本宏之, Journal of Sound and Vibration, Vol.304, (2007), pp.570-586, 査読有り
- ㉑ 音響パワーを最小とする能動騒音制御の研究 (ゼロ制御パワーに着目した音響パワー最小化), 江波戸明彦, 田中信雄, 西村修, 塩山勉, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 729, (2007), pp. 1376-1383, 査読有り
- ㉒ 構造場と音響場の統一的直交因子の定式化と制御: 開空間の場合, 貝塚勉, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 729, (2007), pp. 1368-1375, 査読有り
- ㉓ Acoustic based modal filtering of orthogonal radiating functions for global error sensing: Part II Implementation, S. G. Hill, 田中信雄, S. D. Snyder, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 21, No. 5, (2007), pp. 1937-1952, 査読有り
- ㉔ Radiation clusters and the active control of sound transmission into a symmetric enclosure, 貝塚勉, 田中信雄, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 121, No. 2, (2007), pp. 922-937, 査読有り
- ㉕ 音圧勾配制御による閉空間全域の静粛化, 貝塚勉, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.724, (2006), pp.3759-3766, 査読有り
- ㉖ Modal control of a rectangular plate using smart sensors and smart actuators, 田中信雄, 眞田武, Smart Materials and Structures, Vol.16, (2006), pp. 36-46, 査読有り
- ㉗ Cluster power flow control of a distributed-parameter structure for generating a zone of quiet, 田中信雄, 坂野彰秀, Smart Materials and Structures, Vol.16, (2006), pp.47-56, 査読有り
- ㉘ 連結共鳴器形吸音パネルの吸音特性, 眞田明, 田中信雄, 日本音響学会誌, Vol.62, No.11, (2006), pp. 759-766, 査読有り
- ㉙ 仮想音源および静粛化領域生成のハイブリッド制御, 田中信雄, 前田奈巳, 宮

- 田真行, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.722, (2006), pp. 3325-3332, 査読有り
- ⑤⑩ 開空間における放射クラスタ制御 (放射クラスタ制御系の理論的構築), 貝塚勉, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.722, (2006), pp. 3317-3324, 査読有り
- ⑤⑪ Active boundary control (ABC) of a rectangular plate using smart modal sensors, 貝塚勉, 田中信雄, Smart Materials and Structures, Vol.15, (2006), pp. 1395-1403, 査読有り
- ⑤⑫ 分布定数系平板構造物における無振動状態の生成, 坂野彰秀, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.717, (2006), pp. 1405-1412, 査読有り
- ⑤⑬ 一次元弾性体の境界近傍における波動吸収制御, 西郷宗玄, 高木清志, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.716, (2006), pp. 1136-1144, 査読有り
- ⑤⑭ Torsional vibration suppression by wave absorption controller, 西郷宗玄, 田中信雄, Journal of Sound and Vibration, Vol.295, (2006), pp. 317-330, 査読有り
- ⑤⑮ Cluster control of acoustic potential energy in a structural / acoustic cavity, 田中信雄, 小林こずえ, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 119, No. 5, (2006), pp. 2758-2771, 査読有り
- ⑤⑯ 直方体形閉空間場における Clustered Active Structural Acoustic Control, 貝塚勉, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.716, (2006), pp. 1122-1129, 査読有り
- ⑤⑰ 閉空間場における Clustered Active Noise Control, 貝塚勉, 田中信雄, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.715, (2006), pp. 743-750, 査読有り
- [学会発表] (計 47 件)
- ① Active modal control of a distributed planar structure using shaped sensor/actuators, N. Tanaka, The 9th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC 2008), September 2008, Munich
- ② Investigation of excitation methods in active control of sound transmission through a thin planar structure, A. Sanada and N. Tanaka, The 9th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC 2008), September 2008, Munich
- ③ Active wave control of a rectangular panel, H. Iwamoto and N. Tanaka, The 9th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC 2008), September 2008, Munich
- ④ Design method of a cluster control system using a cluster vector strategy, N. Tanaka, The Ninth International Conference on Computational Structures Technology, September 2008, Athens
- ⑤ 平板のクラスタ制御による音響透過損失の向上について, 福田良司, 田中信雄, 貝塚勉, Dynamics and Design Conference 2008, 2008年9月, 慶応義塾大学
- ⑥ 振動板配列型騒音制御システムによる壁面透過音法の研究, 山本克也, 朝比奈峰之, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2008, 2008年9月, 慶応義塾大学
- ⑦ 振動と騒音の統合的能動制御: PVDF フィルムを基調とした構造音響モード・フィルタの適用, 貝塚勉, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2008, 2008年9月, 慶応義塾大学
- ⑧ クラスタ制御による二重壁構造物から発生する放射音の抑制, 梶山大希, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2008, 2008年9月, 慶応義塾大学
- ⑨ 超音波浮揚による二次元搬送に関する研究, 野副拓朗, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2008, 2008年9月, 慶応義塾大学
- ⑩ 閉空間における振動と騒音の統合的能動制御: 周波数固定型構造音響モード, 貝塚勉, 田中信雄, 日本航空宇宙学会構造強度に関する講演会, 2008年7月, 北九州国際会議場
- ⑪ Cluster control of distributed-parameter structures (Keynote lecture), N. Tanaka, 15th International Conference on Sound and Vibration (ICSV15), July 2008, Daejeon
- ⑫ Wave filtering method for a rectangular panel and its application to an active wave control system, H. Iwamoto and N. Tanaka, 15th International Conference on Sound and Vibration (ICSV15), July 2008, Daejeon
- ⑬ Active noise control using a steerable parametric speaker, M. Tanaka and N. Tanaka, 15th International Conference on Sound and Vibration (ICSV15), July 2008, Daejeon

- ⑭ Formulation of unified orthogonal contributor to construct the noise and vibration control system, N. Kawajiri and T. Kaizuka and N. Tanaka, 15th International Conference on Sound and Vibration (ICSV15), July 2008, Daejeon
- ⑮ Improving transmission loss of a rectangular panel using cluster control, R. Fukuda and N. Tanaka, 15th International Conference on Sound and Vibration (ICSV15), July 2008, Daejeon
- ⑯ モジュール型騒音制御システムによる壁面透過音低減法の研究, 山本克也, 朝比奈峰之, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2007, 2007年9月, 広島大学
- ⑰ 薄肉矩形平板構造物におけるフィードフォワード型波動制御に関する研究, 岩本宏之, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2007, 2007年9月, 広島大学
- ⑱ 弾性はりの境界近傍における波動吸収制御, 西郷宗玄, 田中信雄, 岩本宏之, Dynamics and Design Conference 2007, 2007年9月, 広島大学
- ⑲ Cluster control of acoustic potential energy in a structural / acoustic cavity, N. Tanaka, INTER-NOISE 2007, August 2007, Istanbul
- ⑳ Development of the noise control system to transmitted noise through the interior panel of railway vehicle, K. Yamamoto, N. Tagawa and N. Tanaka, INTER-NOISE 2007, August 2007, Istanbul
- ㉑ Cluster Vector-Based Control of a Beam for Generating a Vibration-Free Region, N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉒ Feedback Control of Reflected Waves at a Free End of a Flexible Beam using a Wave Filter, H. Iwamoto and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉓ Investigation of characteristics of sound absorbers with two-DOF Helmholtz-based resonators using a flexible panel, A. Sanada and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉔ Wave control of beams near fixed boundary, M. Saigo, H. Iwamoto and Dong-Ho Nam, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉕ Active Noise Control using a Parametric Speaker as a Control Source, Y. Aihara and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉖ Fundamental Characteristics of a Strongly Coupled Structural /Acoustical Enclosure, Y. Shibata and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉗ On the Characteristics of Bone Conduction Ultrasound, H. Takenaka and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉘ Vibroacoustic Modes and the Active Minimization of the Sum of the Structural Kinetic Energy and Acoustic Potential Energy, T. Kajiyama and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉙ Multi-Modal Control of a Flexible Beam using a Smart Sensor and a Smart Actuator, T. Shiozaki and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉚ Reduction of Total Sound Power with Zero Control Power Strategy, K. Takahashi and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉛ Numerical Analysis of Non-Contact Transportation using Ultrasonic Wave Levitation, T. Nozoe and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉜ Active Noise Control with Virtual Sensor, N. Yuasa and N. Tanaka, 12th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC2007), August 2007, Hokkaido
- ㉝ 構造場と音響場の統一的直交因子の定式化と制御：閉空間の場合, 貝塚勉, 田中信雄, 日本騒音制御工学会 春季研究発表会, 2007年4月, 産業技術総合研究所臨海副都心センター
- ㉞ 構造場と音響場の統一的直交因子の定式化と制御：開空間の場合, 貝塚勉, 田中信雄, 日本音響学会 春季研究発表会, 2007年3月, 芝浦工業大学
- ㉟ 音響管を用いた透過損失評価における試料サイズの影響, 眞田明, 田中信雄,

- 日本音響学会 春季研究発表会, 2007年3月, 芝浦工業大学
- ③⑥ Smart modal control of a flexible panel using smart actuators, N. Tanaka, 13th International Congress on Sound and Vibration (ICSV13), July 2006, Vienna
 - ③⑦ The safety issues of intense airborne ultrasound: parametric array loudspeaker, A. Tan and N. Tanaka, 13th International Congress on Sound and Vibration (ICSV13), July 2006, Vienna
 - ③⑧ パラメトリックスピーカーを用いたアクティブノイズコントロール, 相原洋人, 田中信雄, 第16回環境工学総合シンポジウム, 2006年7月, 産業技術総合研究所臨海副都心センター
 - ③⑨ 放射クラスタ制御の優位性に関する理論的検証, 貝塚勉, 田中信雄, 第16回環境工学総合シンポジウム, 2006年7月, 産業技術総合研究所臨海副都心センター
 - ④⑩ 放射クラスタ制御による直方体閉空間における放射音の静粛化, 貝塚勉, 田中信雄, Dynamics and Design Conference 2006, 2006年8月, 名古屋大学
 - ④⑪ Cluster feedback control of a flexible beam, N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon
 - ④⑫ Hybrid control of beam vibration using direct velocity feedback and wave-filter-based active wave control, H. Iwamoto and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon
 - ④⑬ Numerical verification of the radiation cluster control in a rectangular enclosure, T. Kaizuka and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon
 - ④⑭ Active vibration control of a cantilever beam using self-sensing actuator, N. Kashima and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon
 - ④⑮ Reduction of noise using virtual sound, R. Shimasaki and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon

- ④⑯ Non-contact transportation using ultrasonic wave levitation, T. Hinata and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon
- ④⑰ Mode localization and confinement of vibration by disorder, Y. Murase and N. Tanaka, 8th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2006), August 2006, Daejeon

〔図書〕(計1件)
『振動制御』, 田中信雄著, 養賢堂,
ISBN978-4-8425-0442-1 C3053

〔その他〕
○平成19年度日本機械学会奨励賞(研究)「波動フイルタリング法を基調とした柔軟はりの波動制御の研究」, 岩本宏之
○平成20年度日本機械学会賞(論文)「繰り返し構造物のモード・ローカライゼーション制御」, 田中信雄, 村瀬陽平, 岩本宏之
ホームページ
<http://mctnt5.tmit.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 信雄 (TANAKA NOBUO)
首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・教授
研究者番号: 70305423

(2) 研究分担者

岩本 宏之 (IWAMOTO HIROYUKI)
首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・助教
研究者番号: 90404938