

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03191

研究課題名(和文) 新型複素モード解析を基盤とする自励系および非線形系の高性能振動解析システムの開発

研究課題名(英文) Development of a high-performance system of vibration analysis based on a new type of complex modal analysis for a self-excited system and a nonlinear system

研究代表者

近藤 孝広 (Kondou, Takahiro)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：80136522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：多自由度自励系および大規模非線形系に新型複素モード解析を適用しその有効性を確認した。得られた主な成果を以下に示す。  
多自由度自励系に関しては、自励振動に対する動吸振器の最適設計法を定式化するとともに、その動作原理は非対称行列系を除いてほぼ共通であることを明らかにした。さらに、低次元モデルを用いた高精度の安定判別法を開発した。  
大規模非線形系に関しては、低次元化法を種々の機械・構造物に適用し、汎用性と実用性の向上を図った。また、低次元モデルの精度は低次元化に用いる支配的モードの選択に大きく依存するので、モード座標のノルムに基づく支配的モードの適切な抽出法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した新型複素モード解析は、非比例減衰系や非対称行列系に対しても完全にモード分離された2階の実常微分方程式の形式でモード方程式を導出することが可能な実相似変換則に基づくものである。このため、エネルギー論的見地から振動特性やメカニズムの解明をモード毎に容易に検討することが可能となり学術的意義は大きい。  
また、本研究課題で開発した低次元化法により、従来困難とされてきた大規模振動系の高精度な振動解析が効率的に行えるようになった。このため、解析モデルの信頼性が向上し、機械システムでしばしば発生する振動問題に対して設計段階での予測や対策の立案が容易となり社会的意義も極めて高くなる。

研究成果の概要(英文)：A new type of complex modal analysis was applied to a multi-degree-of-freedom self-excited system and a large-scale nonlinear system, and the effectiveness was confirmed. The main results obtained are shown below.  
For multi-degree-of-freedom self-excited systems, we formulated an optimization procedure of a dynamic absorber for self-excited vibration, and found that the operating principle is almost the same for all types of self-excited systems except for the asymmetric matrix system. In addition, we developed a highly accurate method of stability analysis using a dimension reduced model.  
For large-scale nonlinear systems, the dimension reduction method was applied to various machines and structures to improve the versatility and practicality. In addition, since the accuracy of the dimension reduced model highly depends on the selection of dominant modes used in the model, we developed an appropriate extraction method for dominant modes based on the norm of modal coordinates.

研究分野：工学

キーワード：機械力学・制御

### 1. 研究開始当初の背景

モード解析は振動解析において欠くことのできない強力な解析ツールであるが、従来の実モード解析は非比例減衰系や非対称行列系などに対しては適用が著しく制限されるという深刻な弱点を抱えていた。このような系についても複素モード解析により取り扱いが可能となるが、結果として得られるモード方程式が1階の複素常微分方程式になることから、従来の複素モード解析には現象の力学的解明に不可欠なエネルギー的検討に適さないという弱点があった。このような問題に対処するために、研究代表者は、ほぼ制約条件なく質量、減衰および剛性行列を同時対角化し、完全にモード分離された2階の実常微分方程式の形式でモード方程式を導出することが可能な実相似変換則を新たに見出した(表1参照)。本研究では、この変換則に基づいて新しいタイプのモード解析(新型複素モード解析法と呼ぶ)を開発し、高性能で実用的な振動解析システムの開発することを目指した。

### 2. 研究の目的

従来のモード解析では取り扱うことが困難であった多自由度自励系および大規模非線形系に新型複素モード解析を適用して、その有効性を確認することを目的とした。具体的な達成目標は次の通りであった。

**(1) 多自由度自励系** 多自由度線形自励系に対する統一かつ体系的な解析手法を確立することを目指す。そのため、負性抵抗系、係数励振系、時間遅れ系、非対称行列系などの基本的な線形自励振動モデルに対して新型複素モード解析を適用してモード別安定判別法を定式化するとともに、エネルギー的見地に基づく発生メカニズムの解明手順を体系化する。さらに、その結果に基づいて自励振動の発生を防止するための合理的な最適設計法を開発する。

**(2) 大規模非線形系** 研究代表者が開発した局所的強非線形性を有する大規模自由度系に対する低次元化法に新型複素モード解析を適用し、非比例減衰系や非対称行列系などにも適用可能な実用的で汎用性の高い非線形振動解析システムを開発する。

### 3. 研究の方法

**(1) 実相似変換則および新型複素モード解析** 本研究で中心的役割を担うのは、新たに見出した実相似変換則とそれに基づく新型複素モード解析である。その概要を表1に示す。基本的な新型複素モード解析は、式(1)のような $n$ 自由度線形振動系を対象とする。適用に際して、式(2)の特性方程式が $n$ 組の共役複素根を持つこと以外に制限はない。研究代表者は、式(2)から求められる左右の複素固有モード行列に適切な正規化と線形変換を施すことにより、特性方程式の係数行列 $A, B$ を式(4)のように相似変換できる左右の実固有モード行列 ${}^R\hat{\Phi}, {}^R\hat{\Psi}$ を見出した(式(3)参照)。さらに、 ${}^R\hat{\Phi}$ を介して式(5)のような座標変換を導入すると、式(6)のような実モード方程式が導出される。ここに、 $\xi$ は複素モード座標を実数化した実モード座標である。式(6)は非比例減衰系や非対称行列系の場合であっても質量行列、減衰行列、剛性行列が厳密に対角化されていること、式中の物理量が全て実数で表現されている上にエネルギー論的な議論に適した2階の実常微分方程式に変換されていることなどの特長を有している。

表1 実相似変換および新型複素モード解析の概要

$n$ 自由度線形振動系の基礎式	$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f \quad (1)$
特性方程式	$\left. \begin{aligned} [A - \lambda B]X = 0, \quad \det[A - \lambda B] = 0 \\ X = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & K \\ K & C \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (2)$
複素固有値： ${}^c\lambda_p = \left( -\zeta_p + i\sqrt{1 - \zeta_p^2} \right) \omega_p \quad (p=1, 2, \dots, n)$ 右実モード行列： ${}^R\hat{\Phi}$ 左実モード行列： ${}^R\hat{\Psi}$	$\left. \begin{aligned} {}^R\hat{\Phi} &= \begin{bmatrix} {}^R\Phi - {}^I\Phi {}^I\Lambda^{-1} {}^R\Lambda & {}^I\Phi {}^I\Lambda^{-1} \\ -{}^I\Phi {}^I\Lambda^{-1} \Omega^2 & {}^R\Phi + {}^I\Phi {}^I\Lambda^{-1} {}^R\Lambda \end{bmatrix} \\ {}^R\hat{\Psi} &= \begin{bmatrix} {}^R\Psi - {}^I\Psi {}^I\Lambda^{-1} {}^R\Lambda & {}^I\Psi {}^I\Lambda^{-1} \\ -{}^I\Psi {}^I\Lambda^{-1} \Omega^2 & {}^R\Psi + {}^I\Psi {}^I\Lambda^{-1} {}^R\Lambda \end{bmatrix} \\ {}^R\Lambda &= -Z\Omega, \quad {}^I\Lambda = \sqrt{I - Z^2}\Omega \\ \Omega &= \text{diag}[\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_n], \quad Z = \text{diag}[\zeta_1 \ \zeta_2 \ \dots \ \zeta_n] \end{aligned} \right\} \quad (3)$
$A, B$ に対する実相似変換	${}^R\hat{\Psi}^T A {}^R\hat{\Phi} = \begin{bmatrix} 0 & \Omega^2 \\ \Omega^2 & 2Z\Omega \end{bmatrix}, \quad {}^R\hat{\Psi}^T B {}^R\hat{\Phi} = \begin{bmatrix} \Omega^2 & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \quad (4)$
物理座標とモード座標間の関係	$\begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} = {}^R\hat{\Phi} \begin{bmatrix} \xi \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ {}^I\Lambda^{-1} {}^I\Psi^T f \end{bmatrix} \quad (5)$
実モード方程式	$\ddot{\xi} + 2Z\Omega\dot{\xi} + \Omega^2\xi = {}^I\Lambda^{-1} \left\{ {}^I\Psi^T \dot{f} + ({}^I\Lambda {}^R\Psi^T - {}^R\Lambda {}^I\Psi^T) f \right\} \quad (6)$

(2) 多自由度自励系への適用 多自由度線形自励系の基礎式は次のように表される。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx + \varepsilon f_s = 0 \quad (7)$$

ここに、 $f_s$  は自励振動の原因となる励振項を示す。 $f_s$  の関数形は対象毎に異なるが、多くの事例で  $\varepsilon$  の微小量と仮定できる。式(7)に新型複素モード解析を適用すると、実モード方程式：

$$\ddot{\xi} + 2Z\Omega\dot{\xi} + \Omega^2\xi + \varepsilon g_s = 0 \quad (8)$$

が導出される。ここに、 $g_s$  は  $f_s$  をモード座標に変換したものである。式(8)より、散逸エネルギーについてはモード別に高精度で評価することが可能になる。一方、励振項は一般にはモード別に分離されないが、モード間の連成の影響が小さいときには自モード成分のみで励振エネルギーを近似できる。励振エネルギーに対するモード連成の影響が大きい系に関しては、その適切な処理法を開発する。さらに、励振項が一部の自由度のみにしか作用しない場合には、励振項が作用しない自由度に対して次に示すような低次元化法を適用し、高精度の低次元モデルを導出する。このようにして得られる方程式を利用して、自励振動の発生メカニズムの解明や発生防止法の開発に利用できるような汎用的かつ体系的な解析手続を確立する。

(3) 多自由度非線形系への適用 大規模非線形系の振動解析を大規模系のまま直接実施することは極めて困難である。本研究では、現実の系でよく見られる局所的に強い非線形性を有する大規模系を対象として、解の安定性をも含めて解析精度を損なうことなく系の自由度を大幅に低次元化することのできる手法を開発する。本低次元化法では、まず全系の状態量をごく少数の強非線形自由度の状態量とそれ以外の線形自由度の状態量に分離する。次に後者の線形部分に新型複素モード解析を適用し、全系の解の精度に及ぼす影響が大きい少数の支配的モードを抽出する。残りの大多数の副次的モードについては、適切な近似を施した上でその影響を強非線形自由度の状態量に繰り込んで消去する。このように、局所的強非線形自由度の状態量は物理座標のまま残すこと、および支配的モードの抽出法と副次的モードの消去法に本低次元化法の独自性がある。このようにして導出された低次元モデルの有効性について多方面から検証する。

#### 4. 研究成果

まず、多自由度自励系に関しては、新型複素モード解析に基づく動吸振器の最適設計法を定式化した。また、自励振動に対する動吸振器の動作原理をエネルギー的見地から検討し、非対称行列系を除く系に対する動作原理はほぼ共通であることを明らかにした。さらに、多自由度線形自励系に対して低次元化法を適用し、低次元モデルを用いた高精度の安定判別法を開発した。

一方、多自由度非線形系に対しては、開発した低次元化法を種々の機械・構造物に適用し、具体的な数値計算を通して汎用性と実用性の向上を図った。とくに、低次元モデルの精度は低次元化に用いる支配的モードの選択に大きく依存するので、本研究ではモード座標のノルムに基づく支配的モードの適切な抽出法を開発した。

これらの成果の中から、以下では低次元化法を用いた多自由度係数励振系の安定判別法および非線形周波数応答の解析手法の計算例について説明する。

##### 4.1 多自由度係数励振系の安定判別

(1) 解析モデル 解析に利用したモデルの模式図を図1に示す(系パラメータ値の詳細は省略する)。回転軸は楕円断面を有しており、回転軸の両端は異方性を有する軸受で支持されている。また、回転軸には剛体円板が回転軸に垂直に取り付けられている。この系の運動方程式は、静止座標系および回転軸に固定した回転座標系のどちらで表しても係数行列が周期関数となる係数励振系になるが、前者の場合には全自由度の係数行列に周期関数が現れるのに対して、後者の場合には軸受部の係数行列にのみ周期関数が現れる。本研究で定式化した低次元化法では、回転軸に新型複素モード解析を適用して低次元化を行うので、その部分の係数行列は定数であることが望ましい。そこで、回転軸とともに角速度  $\omega$  で回転する座標系で解析を行った。

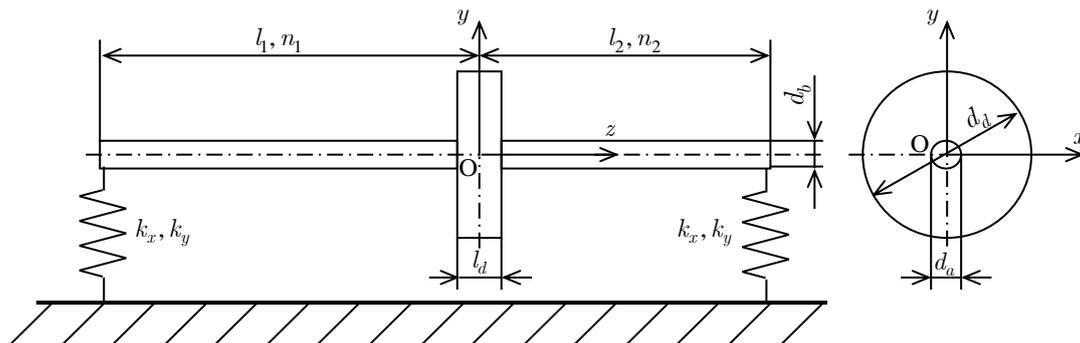


図1 異方性支持を有する非対称回転軸系の解析モデル

(2) **数値計算結果** 図1の解析モデルに対して本研究で提案した低次元化法を適用して導出された低次元モデルと低次元化を行わない元の系（以下、フルモデルと呼ぶ）から求められた安定判別の結果を、図2（フルモデル）および図3（低次元モデル）に示す。両図の横軸は回転数  $\omega/2\pi$ ，縦軸は支持剛性の異方性の大きさを表す  $\Delta k_y$  であり、ダイバージェンス型不安定領域を赤点で、ホップ型不安定領域を青点で示している。回転数が小さいものから順に1次不安定領域～3次不安定領域と呼ぶ。いずれの不安定領域においても、低次元モデルから得られた不安定領域の結果はフルモデルから得られた結果とダイバージェンス型、ホップ型ともに非常に良い一致を示している。また、具体的な説明は省略するが、本低次元化法によれば不安定振動の発生原因となっているモードが特定できるので、効果的な防止対策の立案に結びつくことが期待される。さらに、低次元モデルの自由度はフルモデルに比べてかなり低減されるので、必要な計算コストは小さくてすむ点などが本低次元化法の特長である。

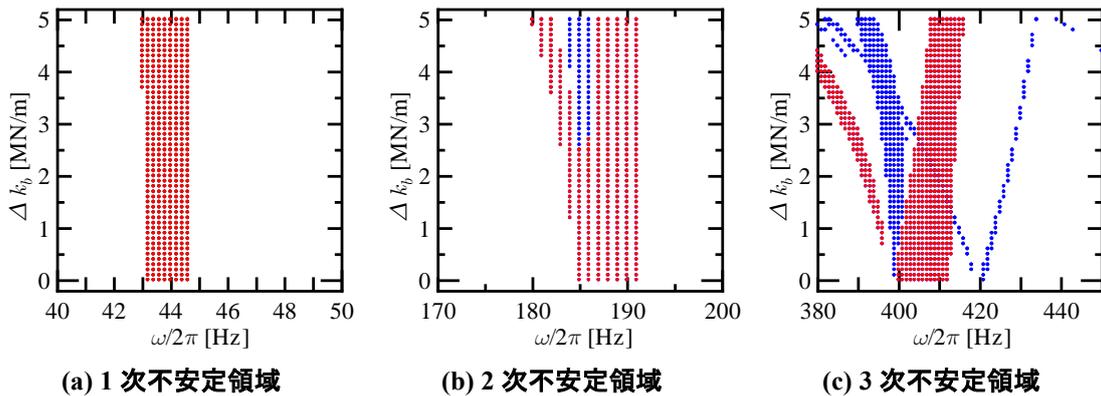


図2 フルモデルの不安定領域（44自由度）

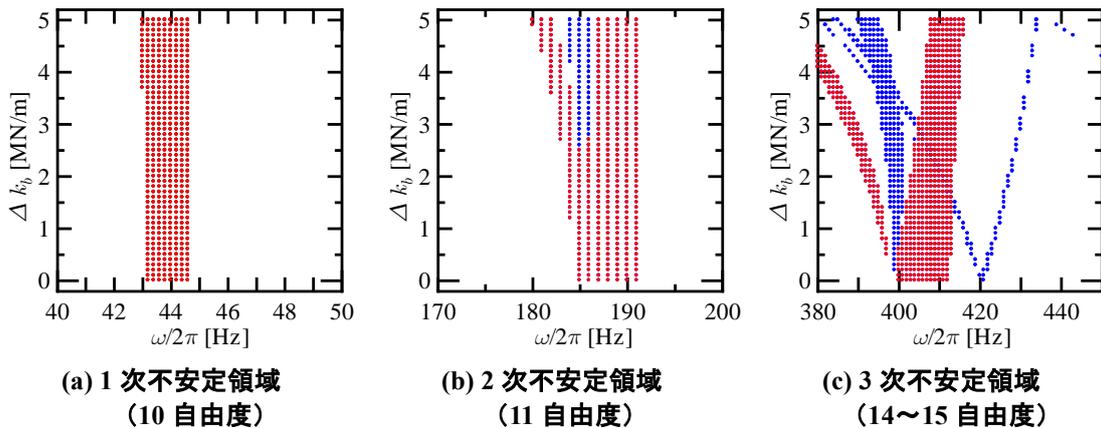


図3 低次元モデルの不安定領域

#### 4.2 非線形支持された回転軸系の周波数応答

(1) **従来手法の問題点** 従来の低次元化法では、基盤となるモード解析に実モード解析を用いており、それを適用可能な解析モデルに対しては有効性が確認されていた。そこで、本研究では汎用性の拡大および低次元モデルの精度向上を図るため、新型複素モード解析の利用を試みた。しかしながら、モード解析の部分を新型複素モード解析にそのまま置き換えた場合には、得られる低次元モデルの計算結果が用いる複素モードの位相角に依存するだけでなく、非対称行列系に適用した場合に少数のモードで構成した低次元モデルの精度が低下するなど、いくつかの欠点が明らかになった。そこで、低次元モデルの導出過程を見直し、副次的モード座標の影響を補正するプロセスを変更することによってこの問題を解決した。

(2) **解析モデル** 具体例として、非線形軸受によって支持された水平回転軸系を対象に本低次元化法の有効性を検証した。図4に解析モデルの模式図を示す。全長3 m、直径30 mmの一樣断面の中実円形断面軸の両端を軸受によって基礎支持し、左端から2 mの位置に剛体円板および軸受を配置した。剛体円板は幅10 mm、直径300 mmであり、軸受の非線形特性は半径方向変位に関する漸硬型3次ばねによりモデル化した。軸はティモシェンコ梁として30の微小要素に等分割し、有限要素法を用いて整合質量行列モデルとしてモデル化した。したがって、本解析モデルの自由度は124自由度となり、このうち線形状態量の自由度が118、非線形状態量の自由度が6である。また、軸および剛体円板のジャイロ効果を考慮していることから、減衰行列が軸

の回転数に依存した非対称行列となる。物性値は鉄鋼材料を想定した。剛体円板には5 mmの偏心距離および1 degの慣性主軸とのずれ角を考慮しており、軸の回転数に同期した調和強制外力および調和強制モーメントが作用する。さらに、軸および剛体円板の自重を考慮している。

**(3) 数値計算結果** 軸の回転周期と同じ基本周期を持つ定常周期振動の周波数応答解析およびその安定判別を行った。定常周期振動の計算にはシューティング法を利用した。図3(a)および図3(b)は、それぞれ低次元化法を適用しないフルモデル（物理座標のまま計算）および低次元モデルから求められた1次から10次までの主共振領域の周波数応答を、剛体円板の半径方向変位のノルムで表したものである。図中の黒線は安定解、赤線は不安定解、○印はサドル・ノード分岐点、□印は周期倍分岐点、△印はホップ分岐点を表す。低次元モデルの導出に際しては、新たに開発したモード座標のノルムに基づく抽出法を用いて支配的モードを抽出した。図3(b)中の緑色の▽印は低次元モデルに用いた支配的モードの本数を示している。図3(a)および図3(b)から、低次元モデルの結果は青色の楕円で囲ったごく一部の領域を除いて、安定判別も含めてフルモデルの結果と非常に良い一致を示していることが分かる。この結果は、支配的モードの抽出法が十分に機能していることを意味している。このように、従来の手法では解析が困難であった多自由度の非比例減衰系かつ非対称行列系に対しても、新型複素モード解析を適用することによって高精度の低次元モデルを導出することが可能となった。

ところで、本低次元化法では、事前処理として線形自由度に対して複素固有ペアを求める必要がある。しかしながら、大規模な自由度を有する系の場合には、すべての固有ペアを高速かつ高精度で求めることは困難である。一方、解析振動数領域よりも固有振動数がかなり大きい高次モードが振動特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。そこで、本研究では、比較的少数の低次モードの複素固有ペアのみを計算し、その低次モードから導出した高次モードの影響を非線形自由度の係数行列に補正項として取り込むことによって、高精度の低次元モデルを導出する手法を提案した。この方法により大規模系に対する実用性が飛躍的に向上した。

そのほか、振幅が大きくなるとともに梁の伸びに起因する幾何学的非線形性の影響が無視できなくなることがあるので、局所的に強い非線形性に加え、弱い非線形性が大域的に分布している系に対しても適用可能とするため低次元化法の拡張を行った。

さらに、本低次元化法によって導出される低次元モデルの精度は、支配的モードとして抽出したモードがどれだけ適切であるか否かに左右されることから、モード座標のノルムを用いて支配的モードとして抽出すべきモードの本数とその次数を判定する手法を開発し、種々のモデルに適用してその有効性を検証してきた。図5(b)にも示したように多くのモデルに対してかなり満足できる結果が得られているが、現実性の面ではまだ不十分である。本低次元化法に残された重要課題の一つとして、より有効な抽出法の開発に今後取り組んでいく予定である。

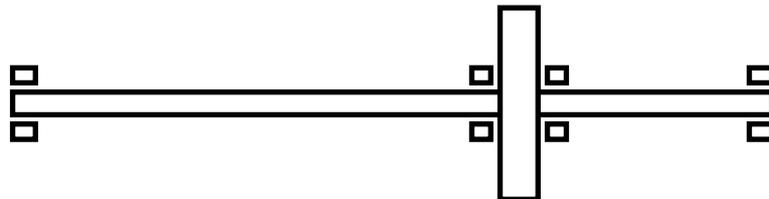
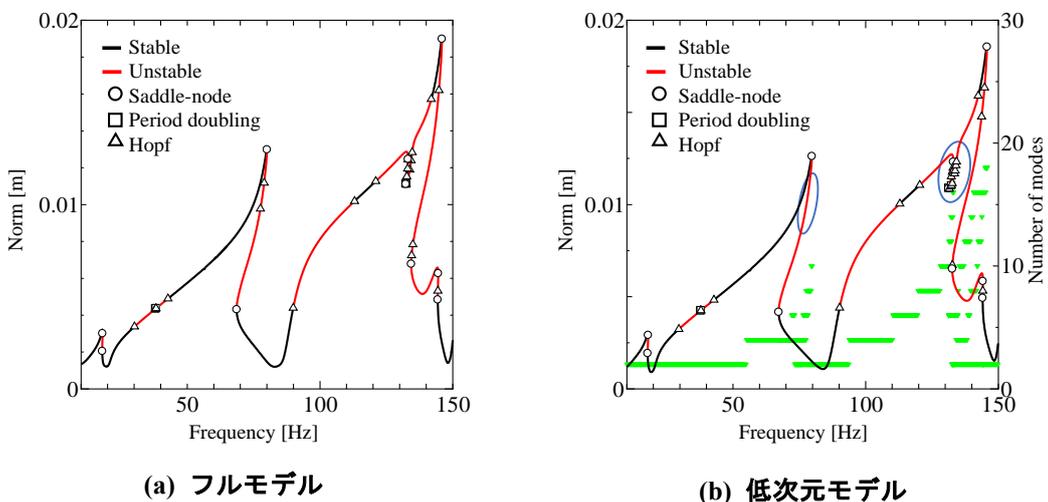


図4 解析モデル



(a) フルモデル

(b) 低次元モデル

図5 周波数応答

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miwa Sueda, Takahiro Kondou, Hiroki Mori	4. 巻 USB
2. 論文標題 Energetic Consideration on the Occurrence Condition of Self-Synchronization in Two Unbalanced Rotors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th Asia-Pacific Vibration Conference	6. 最初と最後の頁 42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 住川 大樹, 近藤 孝広, 森 博輝
2. 発表標題 大規模非線形系に対する高性能振動解析手法の開発（大域的な弱非線形系への適用）
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野 佑基, 近藤 孝広, 森 博輝, 宗和 伸行
2. 発表標題 異方性支持を有する非対称回転軸系に発生する自励振動の解析
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川 諒, 森 博輝, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 阿部 倫大
2. 発表標題 衝突系に発生する低周波異常振動に関する研究（動吸振器の効果に関する解析的検討）
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末田 美和, 近藤 孝広, 森 博輝
2. 発表標題 回転型振動子の自己同期現象に関するエネルギー的考察(回転方向の影響)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshitake Tatsuhiro, Satoshi Ishikawa, Takahiro Kondou, Kenichiro Matsuzaki
2. 発表標題 NONLINEAR SLOSHING ANALYSIS BY USING CONCENTRATED MASS MODEL
3. 学会等名 26th International Congress on Sound and Vibration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋立 裕太, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 森 博輝, 谷口 智之
2. 発表標題 非対称行列系で発生する自励振動(モード間の連成を考慮した近似特性根)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大堂 友彰, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 森 博輝, 松尾 佳昭
2. 発表標題 接触回転系におけるパターン形成現象(近似特性根を用いた安定判別法)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 博輝, 阿部 倫大, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 萱岡 和士
2. 発表標題 衝突系に発生する低周波異常振動に関する研究 (動吸振器による制振)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 萱岡 和士, 森 博輝, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 清水 康博
2. 発表標題 衝突系に発生する低周波異常振動に関する研究 (力学的エネルギーに関する検討)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩 寛侑, 松崎 健一郎, 劉 孝宏, 末岡 淳男, 塚本 恵三
2. 発表標題 リーマ加工における加工穴多角形化現象の数値解析 (リーマの曲げ振動を考慮した場合)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三井名 亮祐, 劉 孝宏, 松崎 健一郎, 末岡 淳男, 塚本 恵三
2. 発表標題 BTA深穴加工におけるライフリングマークの検出方法に関する研究
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉武 達弘, 石川 諭, 近藤 孝広, 松崎 健一郎
2. 発表標題 集中系モデルによるスロッシングと弾性体振動の連成振動の解析
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼富 友希, 近藤 孝広, 住川 大樹, 宗和 伸行, 松崎 健一郎
2. 発表標題 大規模非線形系に対する高性能振動解析手法の開発 (合理的な高次モード消去法)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松尾 佳昭, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 森 博輝, 木村 圭佑
2. 発表標題 時間遅れに起因する自励振動に対するエネルギー的考察
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉武 達弘, 石川 諭, 近藤 孝広, 松崎 健一郎
2. 発表標題 集中系モデルによるスロッシング現象の解析
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水 康博, 森 博輝, 近藤 孝広, 宗和 伸行, 菅岡 和士
2. 発表標題 衝突系に発生する低周波異常振動に関する研究 (発生振動数に関する検討)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安倍 瞬平, 近藤 孝広, 森 博輝, 盆子原 康博
2. 発表標題 剛結合回転型振動子の同期現象 (安定性に与える自由度の影響)
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松崎 健一郎  (Matsuzaki Kenichiro)  (80264068)	鹿児島大学・理工学域工学系・教授   (17701)	
研究分担者	石川 諭  (Ishikawa Satoshi)  (60612124)	九州大学・工学研究院・准教授   (17102)	
研究分担者	森 博輝  (Mori Hiroki)  (50451737)	九州大学・工学研究院・准教授   (17102)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	盆子原 康博  (Bonkobara Yasuhiro)  (10294886)	宮崎大学・工学部・准教授    (17601)	
研究 分 担 者	宗和 伸行  (Sowa Nobuyuki)  (40304753)	九州大学・工学研究院・助教    (17102)	