

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	バースペクトルを用いた不規則励振系の非ガウス応答解析
Title(English)	
著者(和文)	伊藤大造
Author(English)	Daizoh Itoh
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12362号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中尾 裕也,早川 朋久,天谷 賢治,原 精一郎,高原 弘樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12362号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		伊藤大造	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	中尾 裕也	教授	審査員	高原 弘樹	教授	
	審査員	早川 朋久	准教授				
		天谷 賢治	教授				
		原 精一郎	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「バイスペクトルを用いた不規則励振系の非ガウス応答解析」と題し、全 7 章より構成されている。

第 1 章「緒論」では、本論文の目的と各章の構成を述べている。本論文は、不規則励振系のバイスペクトルを用いた非ガウス応答解析を目的とする。まず、不規則励振系の応答に非ガウス性が生じる原因を 3 種類に分類し、各場合について、既往研究の成果をまとめ、課題を示している。その後、本論文の構成と各章の概略を以下のように述べている。第 2 章ではガウス性白色ノイズが加わる非線形系の非ガウス過渡応答の近似解析手法を提案し、第 3 章では本論文の主題であるバイスペクトルを導入する。第 4 章ではバイスペクトルを用いて非ガウス不規則励振による線形系の応答を解析する。第 5 章から第 7 章では、応答の非対称性が係数励振と外部励振の同時励振に由来する場合を解析する。特に、同時励振の非白色性と相関性の両方を考慮して解析を行い、1 自由度系に相関を有する 2 つのガウス性非白色ノイズが係数励振と外部励振の形で与えられる場合を考え、入力のパワースペクトルや相関性が応答の確率密度関数の非対称性に与える影響をバイスペクトルを用いて考察する。第 8 章で本論文の結果を総括する。

第 2 章「複素非整数次モーメントを用いた剛性と減衰に非線形性を持つ不規則励振系の過渡応答解析」では、応答の非ガウス性が系の非線形項に由来する場合として、減衰項と剛性項の両方に非線形性が含まれる系にガウス性白色ノイズが加わる問題を考え、過渡応答の確率密度関数の近似解析手法を提案している。提案手法では、従来の複素非整数次モーメントと確率平均化法を用いた近似解析手法に等価線形化法を組み合わせることで、従来手法では適用できなかった非線形剛性項を有する幅広い非線形系に対して容易に適用可能な過渡応答解析手法を実現している。具体的に、3 種類の性質の大きく異なる非線形系に対して提案手法を適用することで、提案手法による近似解析解が、確率密度関数を裾部を含めて高い精度で再現できることを、モンテカルロ法による直接数値シミュレーションとの比較により示している。

第 3 章「バイスペクトルの定義と諸性質」では、本論文の主題となる高次スペクトルの一種であるバイスペクトルを導入している。バイスペクトルが確率変数の 3 次のキュムラントの 2 重フーリエ変換として定義され、また複数の確率過程間にはクロスバイスペクトルが定義されること、さらにそれらの諸性質と物理的意味を述べている。

第 4 章「バイスペクトルに着目した非ガウス性励振が応答の非対称性に与える影響の考察」では、応答の非対称性が入力非ガウス性に由来する場合として、Cai and Lin モデルで表現される非対称非ガウス性不規則励振を受ける 1 自由度線形系の応答を考察している。このモデルでは、確率密度関数とパワースペクトルの帯域幅パラメータにより励振の非ガウス過程が規定され、入力非対称性に起因して応答の確率密度関数に非対称性が現れる。この系に対し、帯域幅パラメータによって特徴づけら

れる入力周波数領域における性質と、応答の確率密度関数に現れる非対称性の強さの関係を、バイスペクトルを活用することで明らかにしている。特に、Cai and Lin モデルのバイスペクトルの解析解を導出し、帯域幅パラメータに依存した非対称性の周波数領域における分布の変化を示している。さらに、非対称性の周波数領域における入出力関係を可視化するクロスバイスペクトルから、入力の帯域幅パラメータに従って、非対称性の伝達を担う周波数成分や、応答に伝達される入力の非対称性の大きさが変化することを明らかにしている。

第5章「同一な非白色ノイズによる係数・外部同時励振下の系の応答非対称性のバイスペクトル解析」では、係数励振と外部励振の両者が同一のノイズで与えられる場合を考え、入力のパワースペクトル形状が応答の確率密度関数の非対称性に与える影響を調査している。まず、モンテカルロ法により、入力パワースペクトル形状に依存して応答に現れる非対称性が複雑に変化することを示し、次に、摂動法による応答のバイスペクトルの高精度な近似解析手法を提案して、モンテカルロ法による結果との比較によりその有効性を示している。得られた近似解に基づいて、応答の非対称性の変化は入力のパワースペクトル形状に依存した応答バイスペクトルのピークの大きさや符号の変化によって引き起こされ、応答の非対称性の向きに大きな影響を与えるバイスペクトルのピークの符号の変化は系の作用により生じる応答の位相遅れに起因するという知見を得ている。

第6章「任意のクロススペクトルを考慮した係数・外部同時励振系の応答バイスペクトル解析」では、第5章よりも広いクラスの励振として、係数励振と外部励振が任意のクロススペクトルを有する場合を対象に、入力のフーリエ級数展開近似と摂動法を組み合わせた応答バイスペクトルの近似解析手法を提案している。性質の大きく異なる3組の励振に対して提案手法を適用し、モンテカルロ法による結果との比較により、提案手法の有効性を示している。また、係数励振が存在することによって生じる応答の非対称性に関して、応答の非対称性の周波数領域における分布は、係数励振よりも外部励振のパワースペクトルから、より大きな影響を受けることを近似解析解から明らかにしている。

第7章「係数励振と外部励振の相関係数が応答歪度に与える影響の調査」では、係数励振と外部励振の相関性に関して、第5章で考慮された状況をより一般化して、係数・外部励振のクロススペクトルが2つの励振間の相関係数に比例する場合を考え、相関係数の大きさおよび正負が応答の確率密度関数の非対称性に与える影響をモンテカルロ法により調査している。さらに、前章の提案手法を通して得られるバイスペクトルの近似解析解を用いて、応答の2次の統計量と3次の統計量では、相関係数の及ぼす影響が大きく異なることを示している。また、応答歪度は、相関係数に対して概して線形に変化すること、その傾きは第5章で求めた2つの励振が同一な場合の応答歪度で近似でき、結果として入力パワースペクトルの卓越振動数や帯域幅に依存して様々に変化することを明らかにしている。

第8章「結言」では 本論文の成果を総括している。

以上を要するに、本論文は不規則励振系のバイスペクトルを用いた非ガウス応答解析手法を提案してその有効性を示したもので、工学的・工業的に貢献するところ大である。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。