

論文の要旨

題目 空間的周期構造を有する非線形振動系における局在化現象に関する研究
(Localization Phenomena in Nonlinear Vibratory Systems with Spatially Periodic Units)

氏名 西村 佳祐

同一形状の複数のユニットが空間的に周期的に配置され、互いに相互作用を及ぼしながら連結された系が、正弦励振を受ける場合、特定のユニットに振動エネルギーが集中して振幅が大きくなるという振動の局在化現象が発生する。当初は、この局在化現象は固体物理学の分野において研究されており、結晶格子中で見られる現象にすぎなかった。しかし、近年、非線形性を有する複数の同一形状をしたユニットが連結されているような系であれば、結晶格子に限らず、より大きな機械システムにおいても発生し得る現象であることが明らかになってきた。局在化現象がこれらの機械システムに発生した場合、機械の性能を低下させる恐れがあり、場合によっては機械の破損や重大な事故を引き起こす可能性がある。そのため、局在化現象の発生条件や発生パターン等を研究する必要がある。

研究の目的は、第一に、主に共振曲線を求めることにより、局在化現象の基本的な性質を理論解析により明らかにし、また、実験を行うことにより、理論解析の妥当性を確認することである。第二の目的は、実社会において用いられる機械システムにおいて局在化現象が発生することを、理論解析により示し、また、局在化現象が実際の機械システムに発生した場合に、システムの性能にいかなる影響を及ぼすのかを示すことである。

本研究では、はじめに局在化現象の基本的な性質を明らかにするため、空間的周期構造をもつ機械振動系の一般的な理論解析モデルとして振動子列を対象とし、振動子が2個または3個の場合の共振曲線や応答波形を計算した。振動子が2個の場合には2通りの振動パターンの局在化現象が発生し、3個の場合では6通りの振動パターンの局在化現象が発生することを確認した。また、これらの振動パターンは、初期条件の与え方次第で任意の振動パターンを発生させることができることを確認した。次に、主に連結ばねのばね定数の変化が局在化現象に及ぼす影響について調べた。連結ばねのばね定数の値が大きくなるほど、局在化現象が発生する励振振動数範囲が狭まり、ばね定数が臨界値を超えると局在化現象が発生し得なくなることを確認した。また、ばね定数が特定の値の場合は、共振曲線中の、局在化が発生する分枝の一部が不安定となり、不安定となった励振振動数域では、カオス振動を含む振幅変調運動が発生することを確認した。

次に、実際の機械システムに局在化現象が発生することを調べるために実験を行い、理論解析の妥当性を確認することを目的とした研究を行った。実験を行うことを考慮し、新たに複数の同一形状の単振子が互いに線形ばねで連結されている系を考案し、系全体が水平方向に正弦励振を受ける場合について理論的に強制振動解を求めた。理論解析結果は先に述べた振動子列を対象とした理論解析結果と同じ結果となることを確認した。これらの理論解析結果を踏まえ、振子が2個の場合の実験装置を作製し、実験を行った。実験結果は、理論解析結果と定量的に概ね一致しており、理論解析結果の妥当性を検証した。

さらに、複数の振子が連結ばねにより連結された系が鉛直励振を受ける場合において、係数励振振動に焦点を当て、理論解析と実験を行った。理論解析の結果、強制振動の場合と異なり、振子が2個の場

合には 4 通りの振動パターンの局在化現象が発生し、3 個の場合では 9 通りの振動パターンの局在化現象が発生することを確認した。ただし、連結ばねのばね定数の変化が与える影響は、強制振動の場合と同様であり、ばね定数が臨界値を超えると局在化現象が発生しなくなること、ばね定数が、特定の値の場合は、カオス振動を含む振幅変調運動が発生することを確認した。これらの理論解析結果を踏まえ、振子が 2 個の場合で実験を行った。実験結果は、理論解析結果と定量的に概ね一致しており、理論解析結果の妥当性を検証した。

次に、実際の機械システムにおいても局在化現象が発生し得ることを示し、また、局在化現象が発生した場合、機械システムの性能に及ぼす影響を調べることを目的とした研究を行った。実際の機械システムとして、回転機械の鉛直回転軸に発生するねじり振動を抑制する CPVA と呼ばれるシステムを対象に、主に共振曲線や応答波形を求める理論解析を行った。回転ムラの振動数 Ω と回転速度 ω の関係が $\Omega=\omega$ および $\Omega=2\omega$ の場合で、振子単体の固有角振動数 p_i と回転速度 ω が、それぞれ $p_i=\omega$, $p_i=2\omega$ の関係を満たさないときに、局在化現象が発生することを明らかにした。振子の支持点ばねのばね定数や、振子の取り付け位置によっては、カオス振動を含む振幅変調運動を伴う局在化現象が発生することを確認した。また、この振幅変調を伴う局在化現象の発生により、制振性能が悪化することを確認した。

次に、回転軸が水平に取り付けられており、回転体に振子が 2 個取り付けられている場合を対象とした理論解析を行った。2 つの振子の取り付け角度が $\alpha_1=0$, $\alpha_2=\pi$ である場合、局在化現象は発生しないが、超和差調波振動が発生することを確認した。 $\alpha_1=\alpha_2=0$ の場合には、局在化現象が発生し、CPVA の制振性能が悪化することを確認した。

本研究により、局在化現象が発生し得る条件や発生パターンを、理論解析と実験を行うことにより明らかにした。また、実際の機械システムとして CPVA を対象とした理論解析により、局在化現象が発生し得ることや、CPVA の性能に与える影響を確認することができた。