

# エネルギー条件に基づく自己同期現象の解析と応用 に関する研究

末田, 美和

<https://hdl.handle.net/2324/6787602>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 末田 美和

論 文 名 : エネルギー条件に基づく自己同期現象の解析と応用に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

自己同期現象とは、異なる振動数を持つ複数の非線形自励振動子が結合されると、相互作用によりすべての振動数が同一の振動数に引き込まれる現象である。この現象は 17 世紀に Huygens によって発見されたと言われており、機械系に加えて電気系、化学系、生物系など幅広い分野で確認・応用されてきた。機械振動における自己同期現象については、往復型振動子や回転型振動子を対象として発生メカニズムの解明を目的とした多くの研究が行われてきたほか、特別な制御を行うことなく複数の振動子を同一の振動数に揃えられるという自己同期現象の特長は振動搬送機や振動ふるいといった振動機械に応用されている。この自己同期現象に対する十分な理解と現象を応用した振動機械の合理的な設計を実現するためには、現象の特性を見通しよく把握できる手法の整備が不可欠である。

本研究では、同期発生時には振動子間の相互作用によるエネルギーのやり取りが行われることに着目し、振動系（以下、支持系と呼ぶ）に DC モータで駆動される 2 つの回転型振動子が設置された系で発生する自己同期現象を対象としてエネルギーに基づく解析手法を提案している。提案手法の概要は以下の通りである。まず、運動方程式をエネルギー積分し、その結果にモータに対する角速度一定の近似を導入することで、自己同期現象が発生する際に満足すべき 2 本の条件式を解析的に導出する。1 本目は基礎支持の減衰やモータの回転軸に作用する減衰で消費される散逸エネルギーに関する式であり、2 本目は振動子間の相互作用によってやり取りされる同期エネルギーに関する式である。これらの条件式を用いることで次の 2 種類の解析が可能となる。その一つは、2 本の条件式を連立して求められる解に調和バランス法による安定判別を組み合わせた効率的かつ高精度な周期解の近似計算である。もう一つは、それぞれの条件式が個別に成立しうるパラメータ範囲を記述する式の導出とそれらの活用による自己同期現象が発生し得るパラメータ範囲の把握であり、これによって近似解を求めるまでもなくパラメータと同期状態の関係を大域的に明確化できる。

本論文は以下の 7 つの章から構成される。

第 1 章では、自己同期現象の歴史を述べた上で機械振動分野における従来の研究事例および応用事例をまとめ、本研究の目的を示した。

第 2 章では、最も基本的なモデルである、並進 1 自由度を有するブロックを介して 2 つの回転型振動子が結合された 2 振動子 3 自由度モデルを対象として、2 本のエネルギー条件式と角速度一定の近似に基づく解析手法を提案した。提案手法により求められた近似解とシューティング法により得られた高精度解を比較し、近似解が安定性を含めて高精度に計算できることを示した。さらに、2 本の条件式を満足する同期可能領域を求めたところ、近似解が領域の境界に沿うような形で存在することから、同期可能領域を求めることで同期し得るパラメータの範囲と自己同期現象の特性が把握できることを明らかにした。

第3章では、第2章で扱った解析モデルについて、提案手法を用いた解析により自己同期現象に及ぼすパラメータの影響を調べた。解析的に求められる2本の条件式に基づいた考察を行い、パラメータが自己同期現象に与える影響を定性的かつ包括的に把握できることを示した。

第4章では、多自由度支持系に搭載された回転型振動子の自己同期現象に対する提案手法の拡張を実施した。その対象として、支持系が2つの並進自由度を有する2振動子4自由度モデル、支持系がさらに回転自由度も有する2振動子5自由度モデルの2種類のモデルを扱った。前者では並進1自由度系と同様にモータの角速度を一定と近似することで、後者ではそれに加えて回転自由度に関する線形化と調和バランス法を併用することで、それぞれ提案手法を拡張できることを示した。

第5章では、第4章で拡張した提案手法を用いて、多自由度支持系で特に重要となる固有振動数が自己同期現象に与える影響について考察した。固有振動数近傍の振動数で同期する解については、固有振動数が高いほど解分枝の形状が拡大することを明らかにした。また、一定の条件の下では支持系の自由度に関する対称性が存在することに着目し、自由度を2つのグループに分類することで固有振動数の大小関係や差異の影響を統一的に把握できることを示した。

第6章では、実機に近い構造の系に対する提案手法の応用として、振動搬送機を模した装置を用いた実験的検証を実施した。まず、実験結果とシューティング法により得られる周期解の比較を行い、装置の解析モデルの妥当性を検証した。さらに、提案手法の同期可能領域によって周期解の特性を精度よく把握できることを示した。これらの結果から、実際の振動機械に対しても提案手法を用いた解析は有効であると考えられる。

第7章では、第6章までの内容を踏まえ本論文を総括した。