

- 局在振動(ILM)の説明
  - ILM励起条件
  - ILMのイメージ
  - ILM励起・観測装置の先行研究
- 研究背景,および目的
- 提案装置の紹介およびシミュレーション結果
  - 提案装置の紹介
  - 振動シミュレーション結果
- 改良した提案装置の紹介およびシミュレーション結果
  - 改良が必要となる理由
  - 振動シミュレーション結果
- まとめ・今後の展望

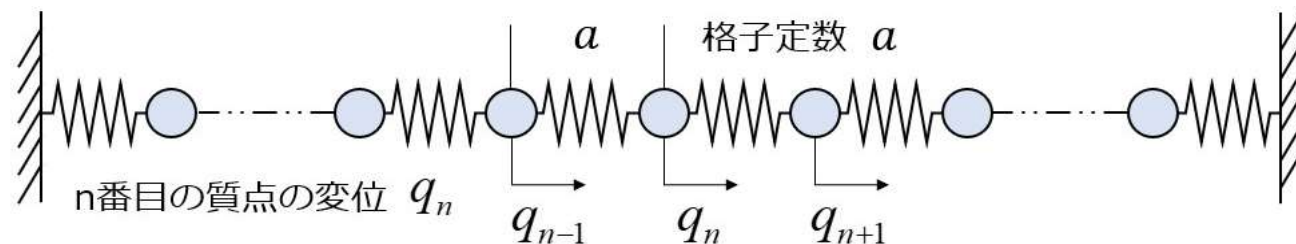
## 非線形局在モード (Intrinsic Localized Mode: ILM)

→ **非線形振動子**においてエネルギーが**空間的に局在する**特異な振動モード

### 励起条件

材料の結晶構造を微視的スケールで考えたとき

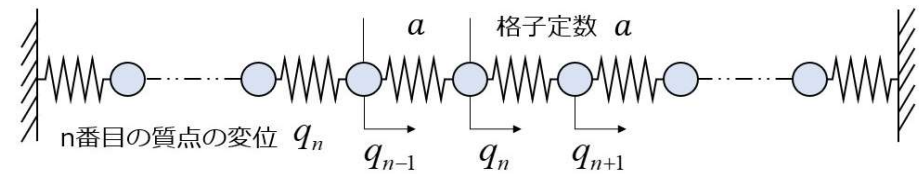
- ①原子・分子は周期的・離散的に配列 (**離散性**)
- ②その相互作用ポテンシャルは非線形 (**非線形性**)



結晶構造の例：一次元格子系

# 局在振動のイメージ

一次元格子系の中心部質点に初期変位を与える。



一次元格子系

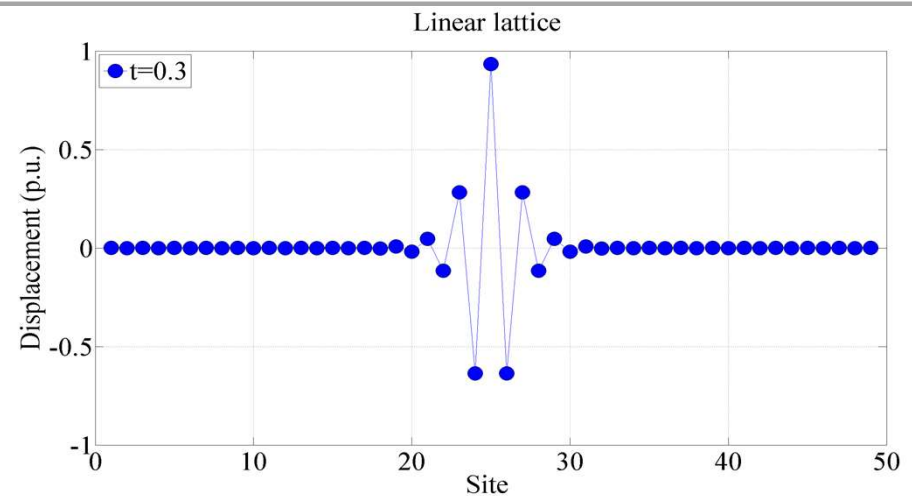
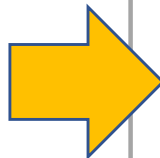
線形格子  
(複数の質点 + 線形ばね)

離散性のみを持つ

$$F = k_1 x$$



振動が空間的に広がっていく

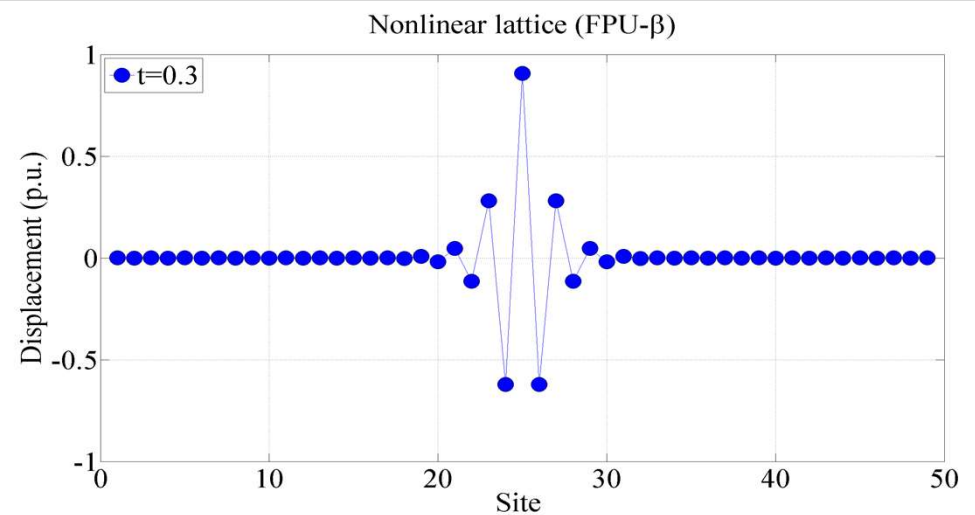
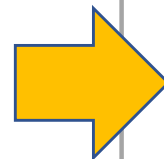


非線形格子  
(複数の質点 + 非線形ばね)  
離散性 + 非線形性を持つ

$$F = k_1 x + k_3 x^3$$

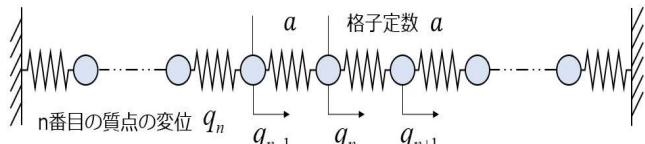


振動が空間的に局在する

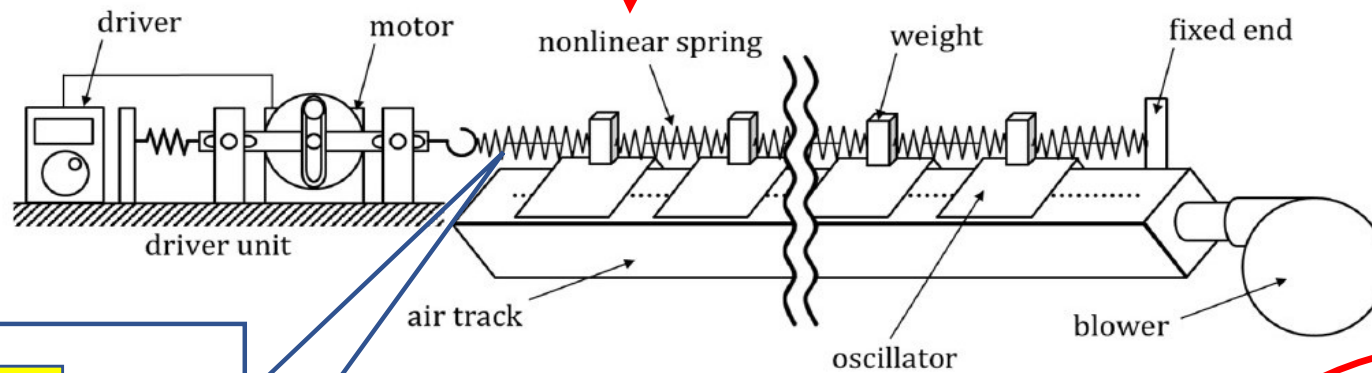


非線形格子の一種であるFPU- $\beta$ 格子を模した振動子列を非線形コイルばねと質点で作成

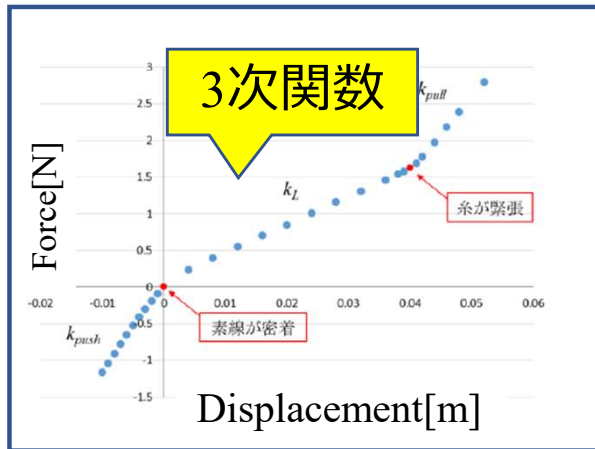
## 非線形ばねと質点を利用したILM励起・観測装置



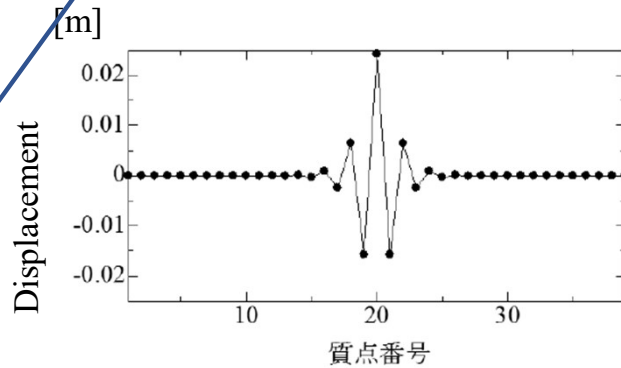
一次元格子系と同様に、  
質点とばねを直列に結合させる



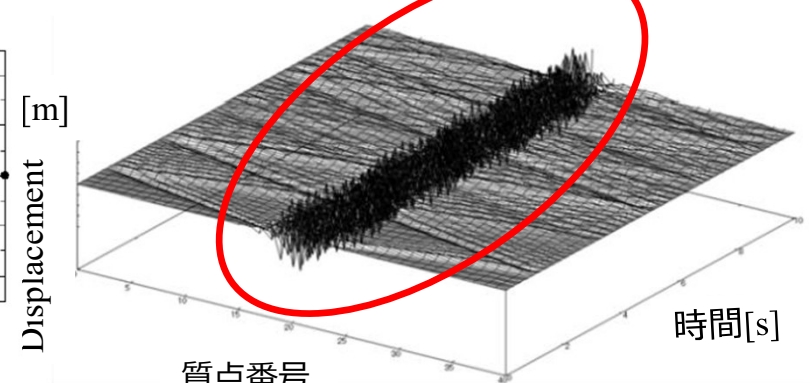
局在振動が励起



ばねの反発力特性



中心部に初期変位を与える



格子系の時空間発展

- 非線形局在振動(ILM)についての研究は理論解析によるものが大半を占めていて、**実験的な研究が少ない**.
- ILMは装置のサイズや時間スケールによらない振動モードであるが、**直接目で観測できるスケールのILMの実験報告例は非常に限られている**.



永久磁石間の反発力による局在振動観測装置を提案し、**新たな観測装置を作成することを目的**とする。

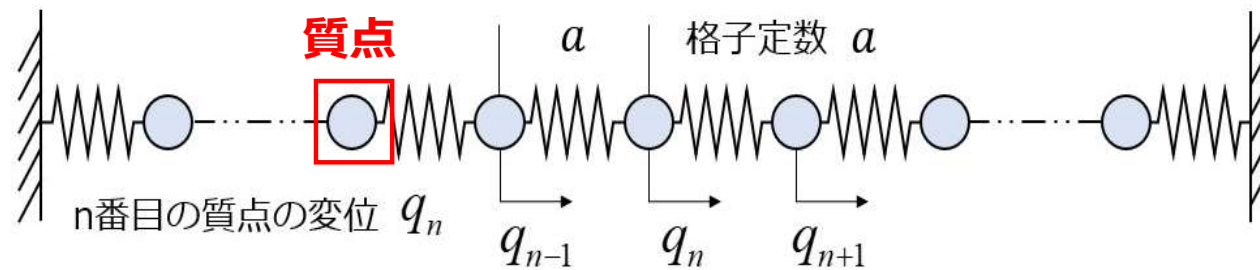
- 局在振動(ILM)の説明
  - ILM励起条件
  - ILMのイメージ
  - ILM励起・観測装置の先行研究
  
- 研究背景,および目的
  
- **提案装置の紹介およびシミュレーション結果**
  - 提案装置の紹介
  - 振動シミュレーション結果
  
- 改良した提案装置の紹介およびシミュレーション結果
  - 改良が必要となる理由
  - 振動シミュレーション結果
  
- まとめ・今後の展望

# 磁気ばねを利用したILM励起・観測装置 7

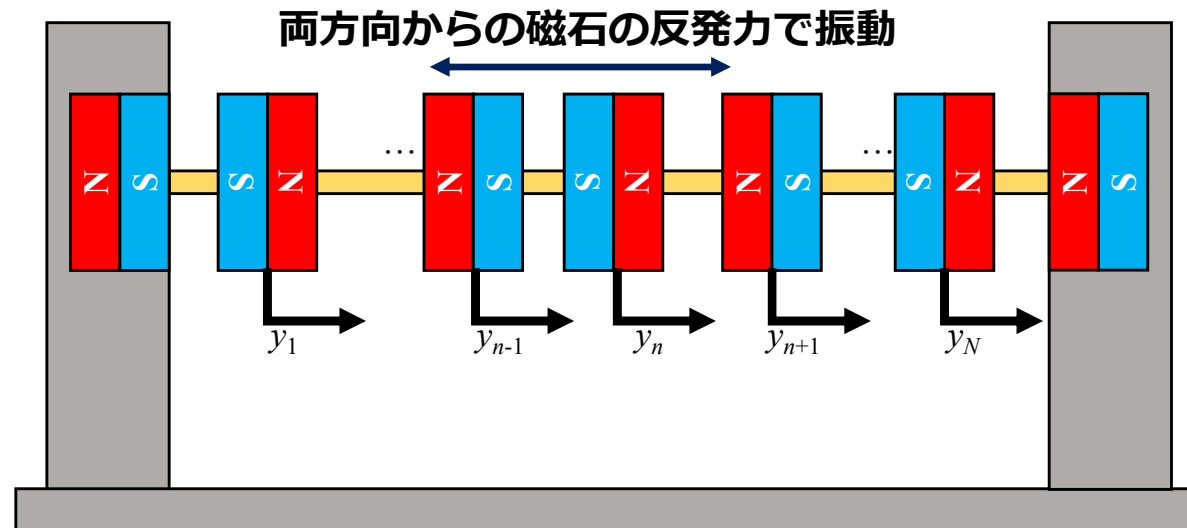
新たな観測装置として、質点の代わりにリング型永久磁石を平行に配置した装置を提案する。



リング型磁石

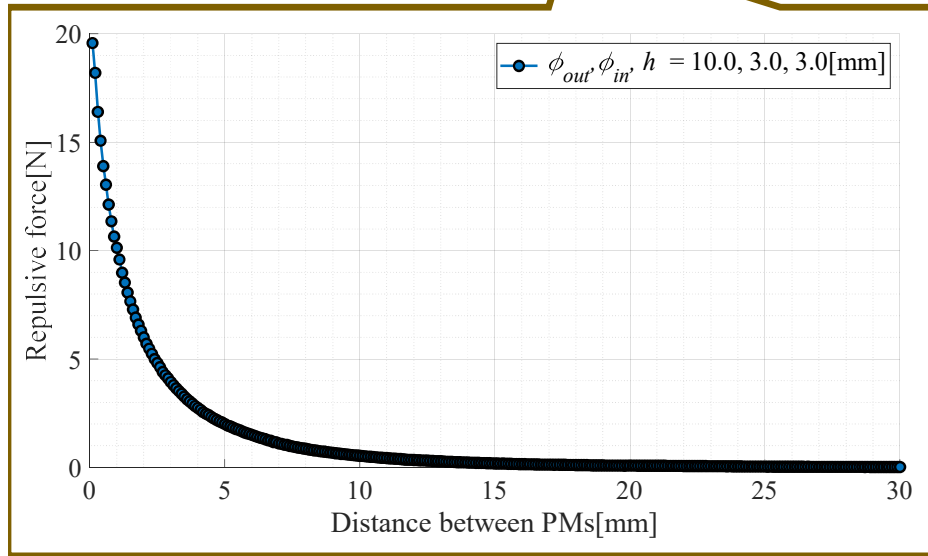
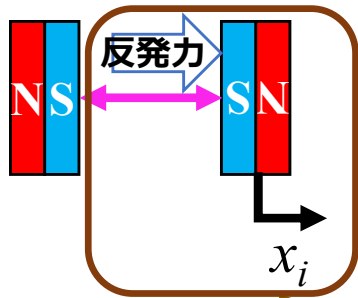


物理的なバネの代わりに磁石の反発力(磁気ばね)を利用

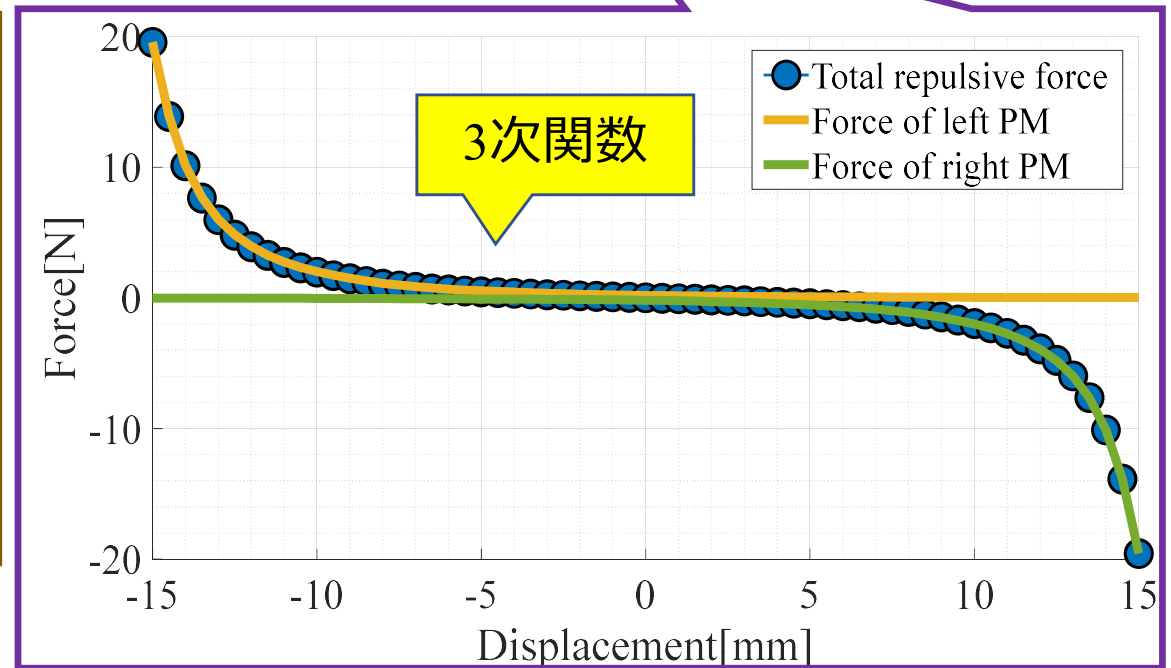
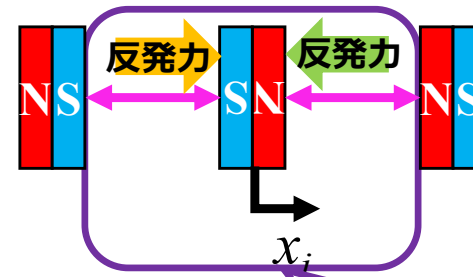


PMアレイを水平に配置した観測装置

# 永久磁石の反発力特性



磁石間距離に対する反発力特性

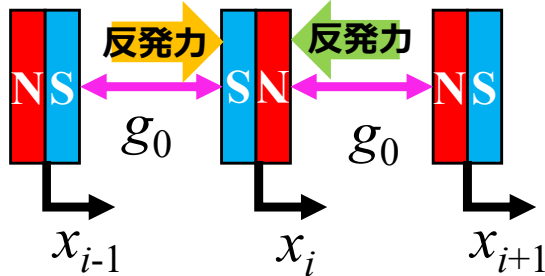


中心の磁石に働く左右磁石からの反発力の総和

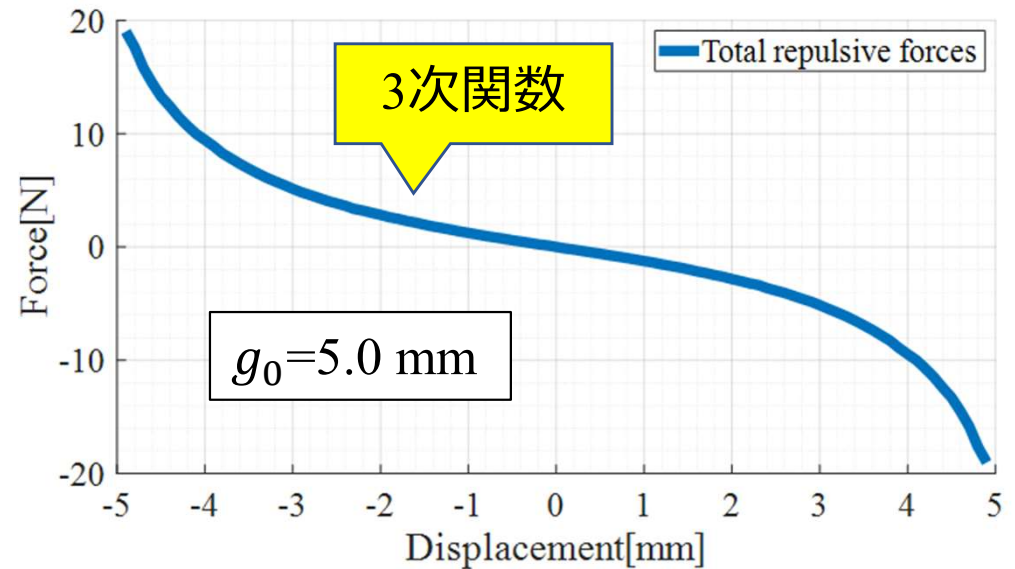
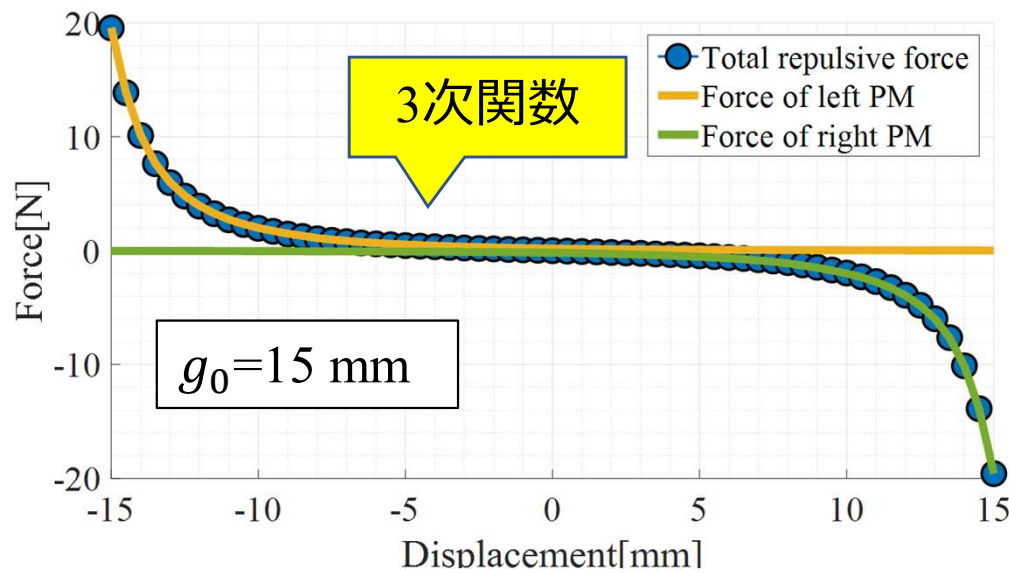
磁石間距離に対する反発力特性の総和は3次関数の形をとる。  
→磁気ばねは3次関数的な反発力を持つ。



# ILMの発生原理



磁石間の初期間隔を $g_0$ とし、中心磁石に働く左右磁石からの反発力の総和を図に示す。

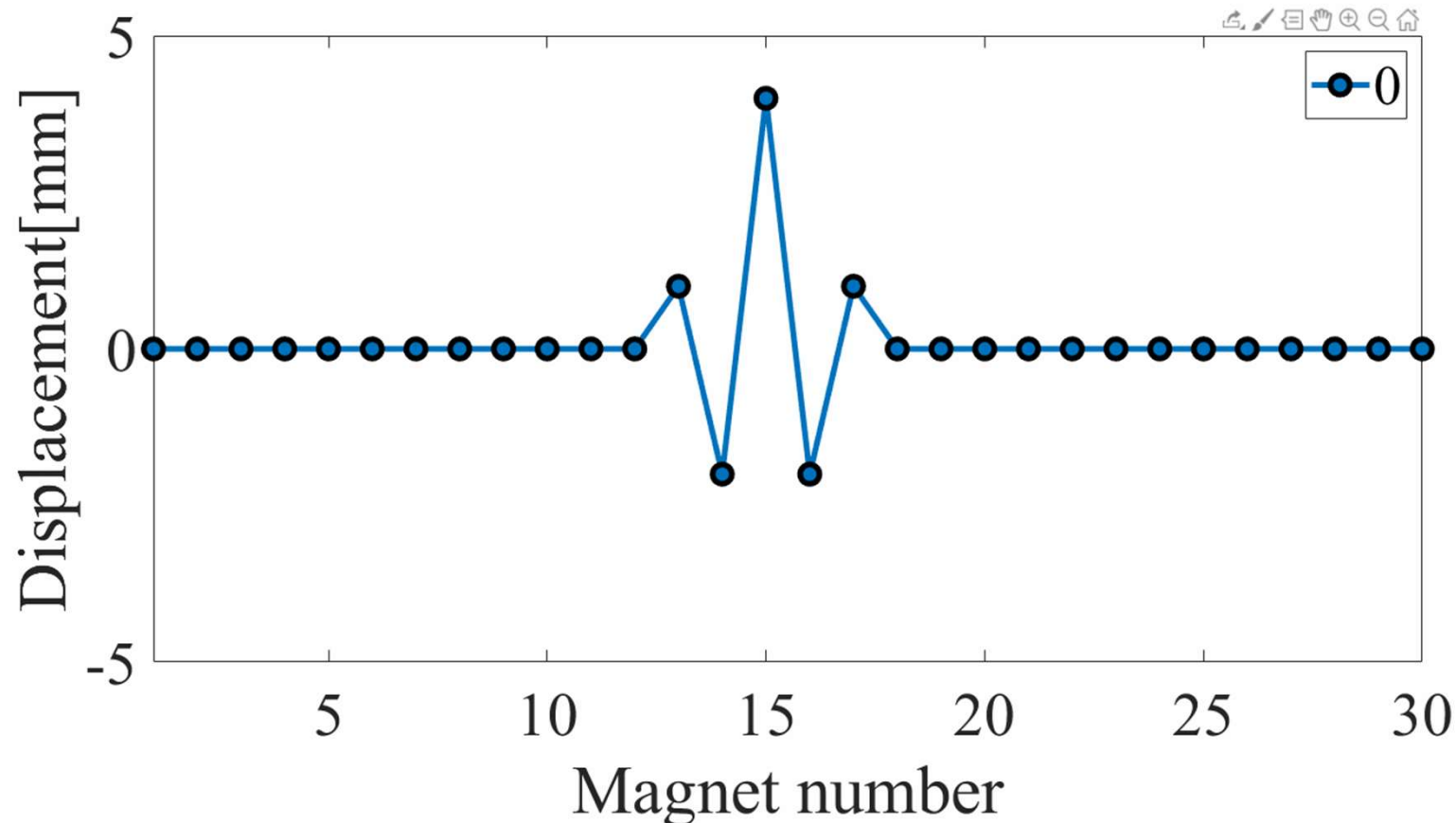


$$m\ddot{x}_i = f(x_i - x_{i-1} + g_0) - f(x_{i+1} - x_i + g_0)$$

$$\approx \underbrace{-k_1(g_0)(2x_i - x_{i+1} - x_{i-1})}_{\text{線形復元力項}} - \underbrace{k_3(g_0)((x_i - x_{i-1})^3 - (x_{i+1} - x_i)^3)}_{\text{非線形復元力項(三次関数項)}}$$

ILMの発生が確認されているFPU- $\beta$ 系と等価な運動方程式に近似することができる。

永久磁石アレイの反発力特性を考慮した運動方程式をMATLAB/Simulink上でモデリングし, ILMが励起されることを確認した.



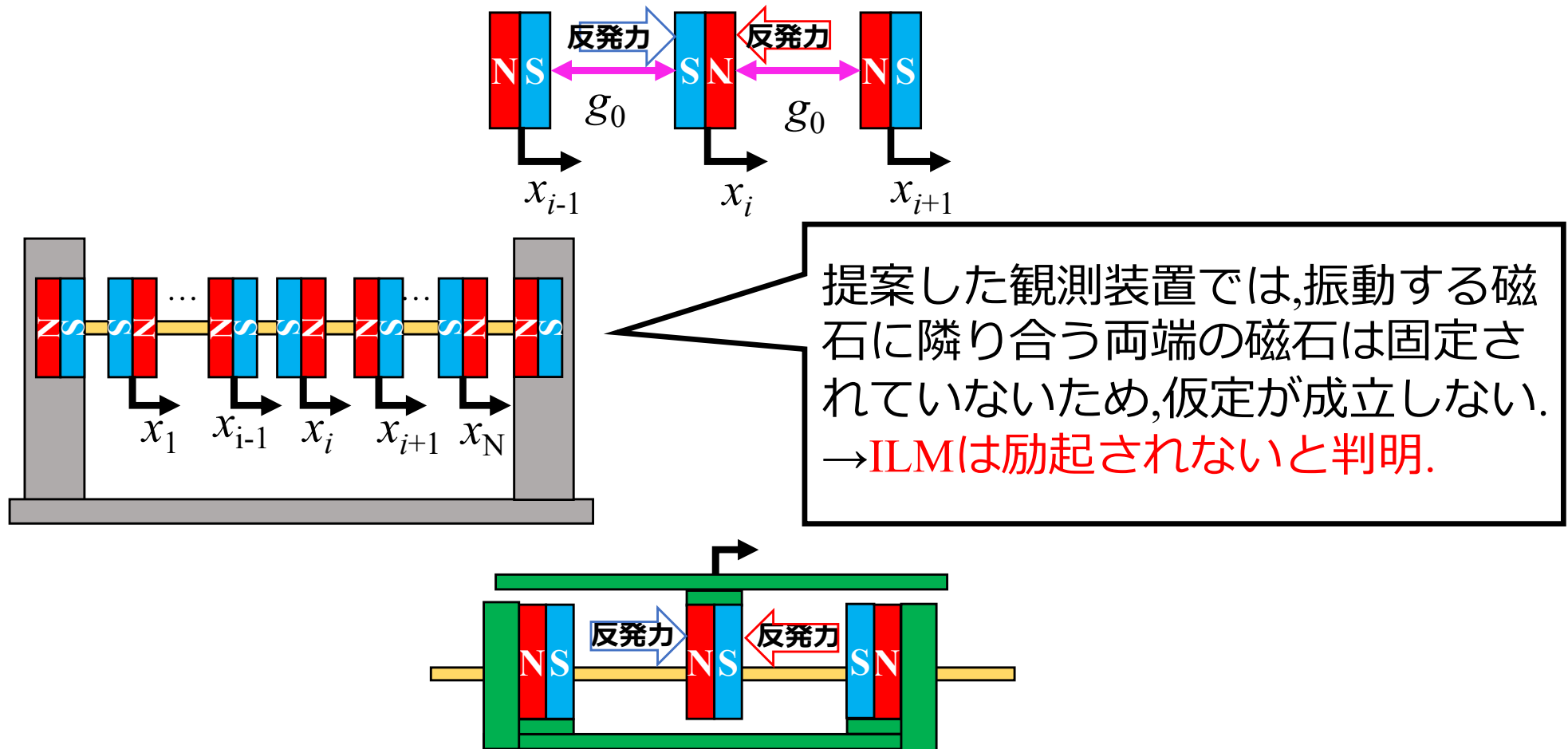
30個の磁石を配置したモデル

磁石の振動は局在せず,系全体に広がった。  
⇒この提案装置ではILMは励起されなかった。

- 局在振動(ILM)の説明
  - ILM励起条件
  - ILMのイメージ
  - ILM励起・観測装置の先行研究
- 研究背景,および目的
- 提案装置の紹介およびシミュレーション結果
  - 提案装置の紹介
  - 振動シミュレーション結果
- 改良した提案装置の紹介およびシミュレーション結果
  - 改良が必要となる理由
  - 改良した提案装置の紹介
  - 振動シミュレーション結果
- まとめ・今後の展望

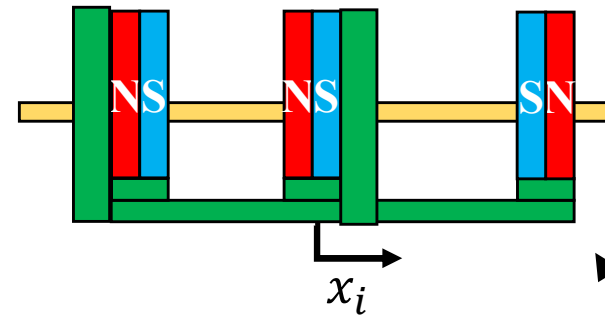
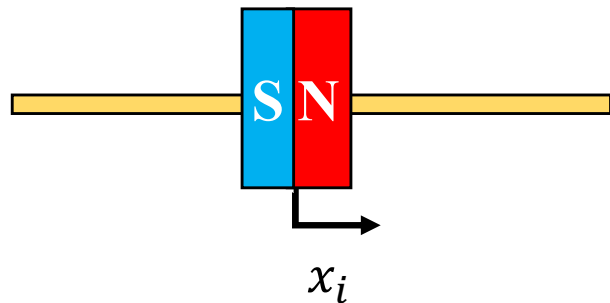
# 提案装置の改良理由

反発力の総和が3次関数であるのは、振動する磁石の両端に配置された磁石が変位(振動)しない場合のみである。

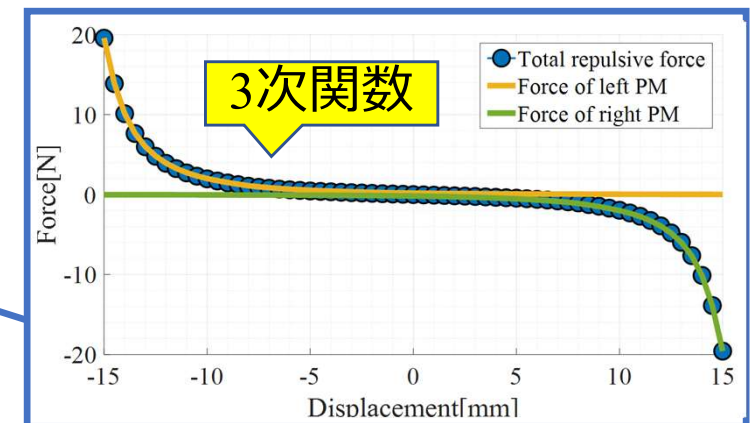
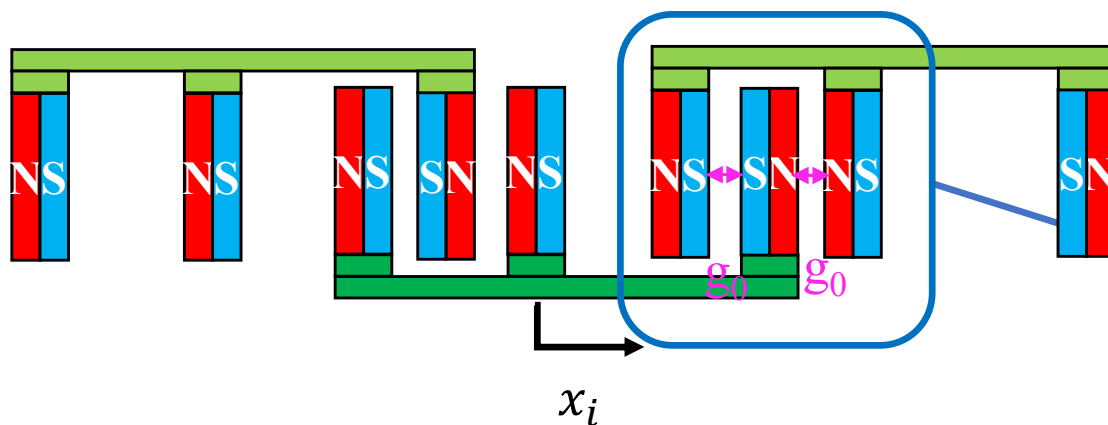


ILMを励起させるには、固定された2つの磁石で挟んだ1つの磁石にて反発力を発生させて振動するような構造が必要。

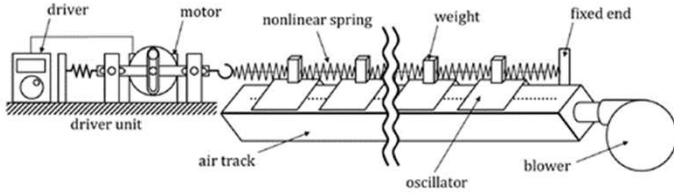
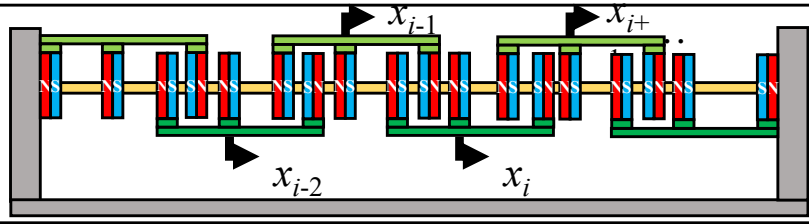
振動子をリング型永久磁石からリング型永久磁石3つを組み合わせた可動子ユニットに変更する。



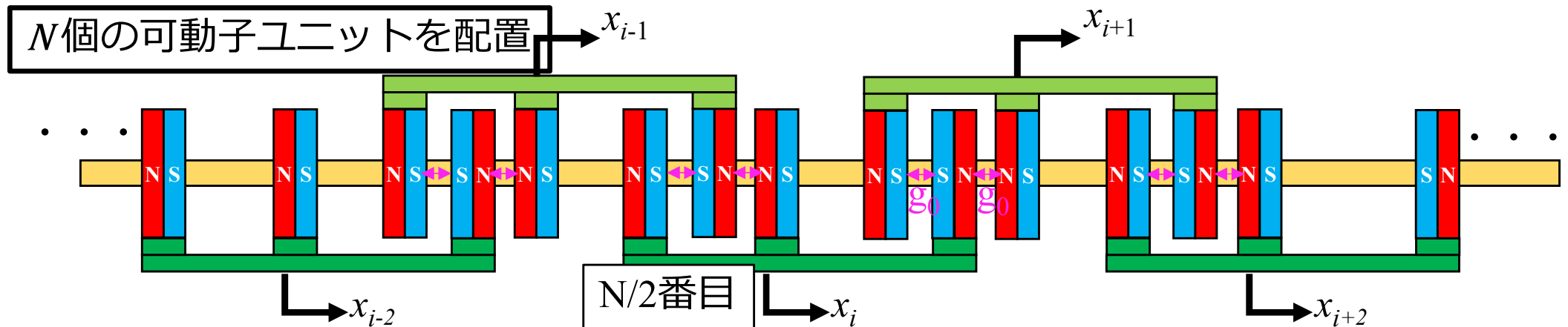
磁石固定用ホルダ(非磁性材)



3つのリング型永久磁石から成る可動子ユニットを噛み合わせるように配列。  
→中心の磁石は固定された2つの磁石から反発力を受ける。  
→磁気ばねの反発力の総和は3次関数的になりILMを励起可能となる。

	先行研究	改良した提案装置
外観		
ばね	コイルばね(金属)	磁気ばね
費用	高価 (業者に依頼する必要がある)	安価 (市販品の数百円程度の磁石で構成可能)
制作 難度	高い (専用のばねの制作が困難)	低い (磁石を固定用ホルダに組み込んで配置するのみ)
サイズ	メートルオーダー	センチメートルオーダー

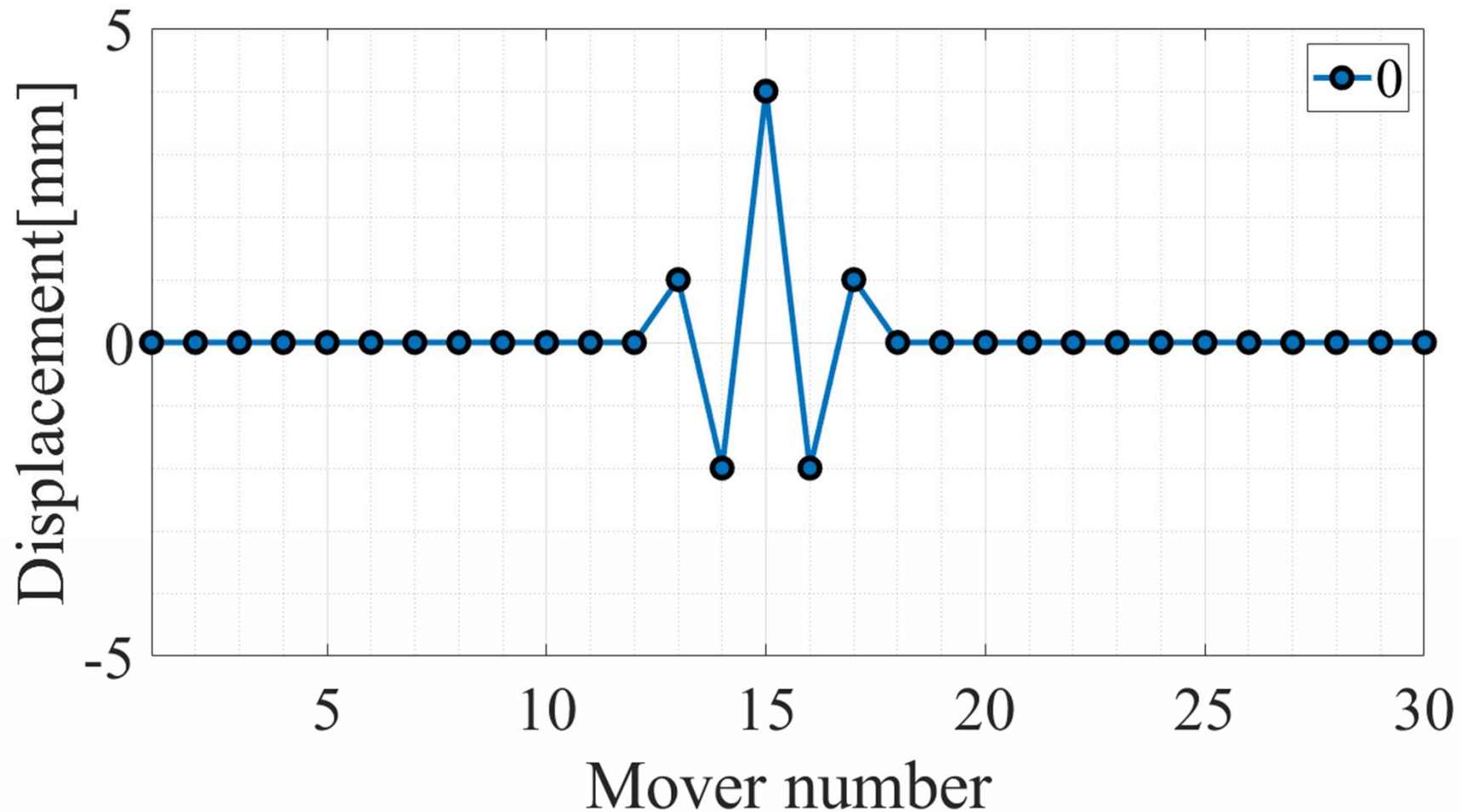
永久磁石アレイの反発力特性を考慮した運動方程式をMATLAB/Simulink上でモデリングし, ILMが励起されることを確認する



中心部に振動を局在させたいため, 配置した可動子ユニットのうち, 中心部に位置する5個にILMが励起されるような初期変位 $x_{i-2} \sim x_{i+2}$ を与えたときの磁石の振動シミュレーションを行う.

## シミュレーション条件

初期変位 $x$	$x_{i-2} = 1 \text{ mm}, x_{i-1} = -2 \text{ mm}, x_i = 4 \text{ mm}, x_{i+1} = -2 \text{ mm}, x_{i+2} = 1 \text{ mm}$
初期間隔 $g$	$g_0 = 15 \text{ mm}$ (等間隔)
利用した磁石	ネオジウム磁石N45, 外径:10 mm, 内径:3 mm, 厚み:3 mm, 残留磁束密度1.35 T, 質量1.61 g



30個のユニットを配置した場合

変位を与えた中心部可動子ユニットに振動が局在した。  
→可動子ユニットを利用した装置でILMの励起に成功。



## まとめ

1. 局在振動(ILM)を励起・観測するために永久磁石アレイを利用した励起・観測装置を提案し、振動シミュレーションを実行した。
2. 振動シミュレーションの結果、リング型永久磁石を水平に配置した装置では3次関数的な反発力が発生せず、ILMが発生しないことが判明した。
3. 3次関数的な反発力を発生させるため、励起・観測装置の振動子をリング型永久磁石3つで構成される可動子ユニットに変更し、改良した。
4. 改良した装置にて振動シミュレーションを再び実行した結果、ILMの励起に成功した。

## 今後の展望

3つの磁石から構成される可動子ユニットを試作し、実機によるILM励起・観測をする。

# 補足資料