

# 磁気吸引力を利用した可撓支持微動テーブルの開発

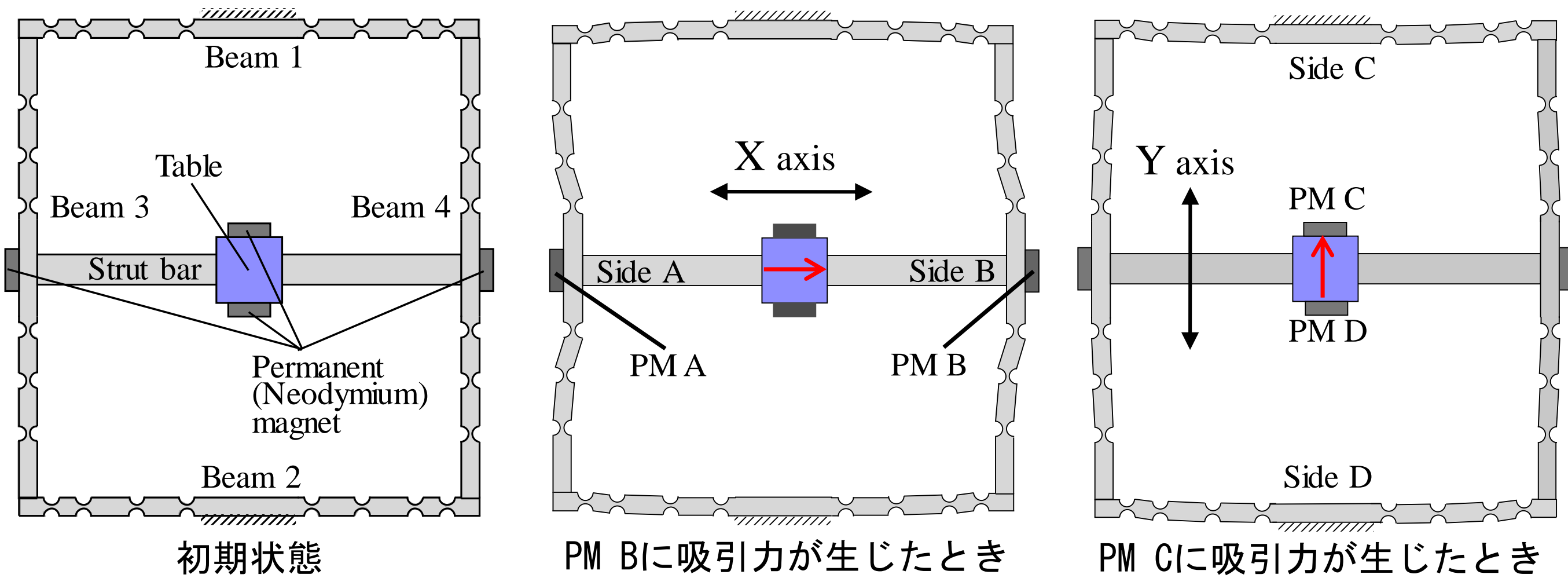
九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系

田丸雄摩

## 緒言

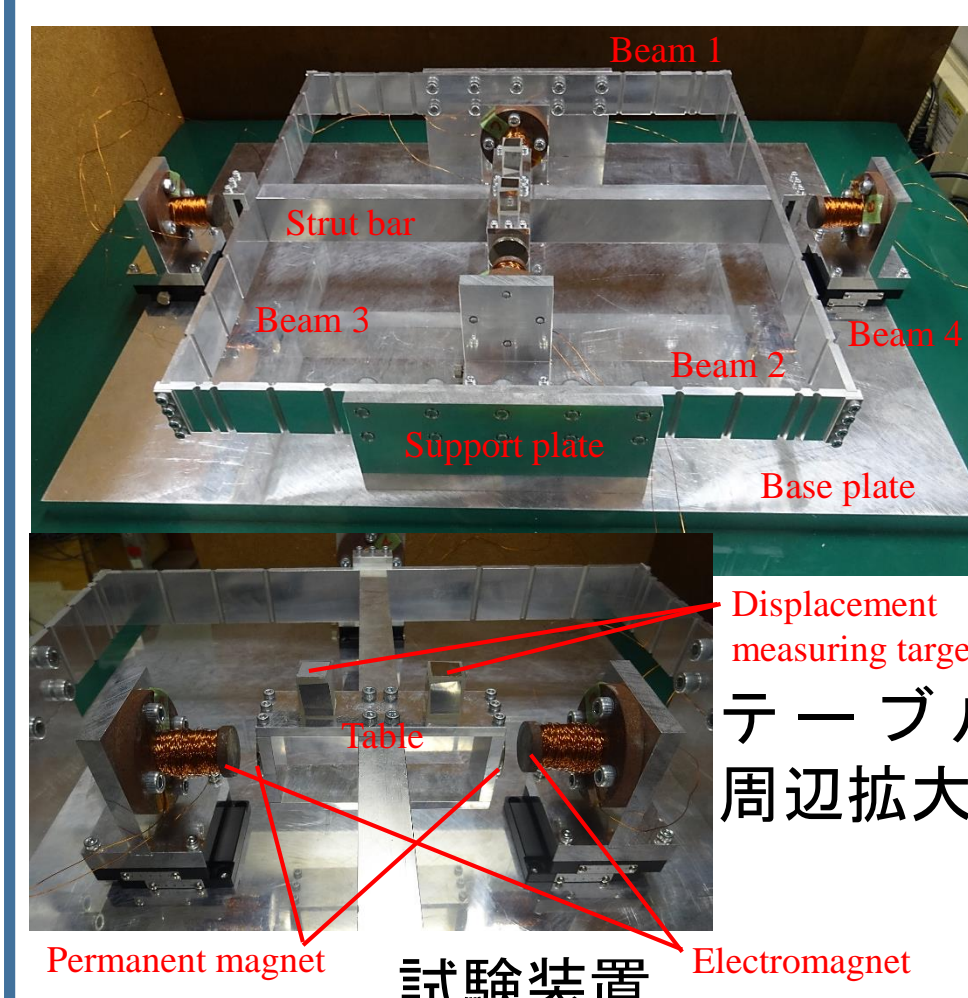
機械加工品の超小型・超微細化の進展に伴って位置決めもそれに適応する性能が要求される。位置決め性能向上には微動で生じる摺動摩擦の低減が効果的である一方、剛性確保の観点では可撓支持が有効である。そこで本研究では永久磁石と電磁石相互間を磁気吸引力とする可撓支持微動テーブルを提案する。非接触で駆動伝達されるため高精度位置決めに有利であり、電磁石への印加電流で自在に吸引力を調整できるため簡単なヒンジ構造で長ストロークから高分解能に至る微動性能を期待できる。本微動装置の特徴は微動各軸に対して永久磁石と電磁石を2対設けた点にある。これにより磁極間隔の一方を広く、他方を狭くすることでそれぞれ個別に吸引力を生じさせられるため長ストロークから高分解能に至る微動を容易に出力できる。今回、吸引力の校正と可撓機構の剛性解析をもとに微動変位を予測し、またその予測に基づいて装置を製作した。そして長ストロークと高分解能微動を個別、あるいは両者を連係させた場合の微動試験を行い、その性能を評価した。

## 可撓機構と微動原理

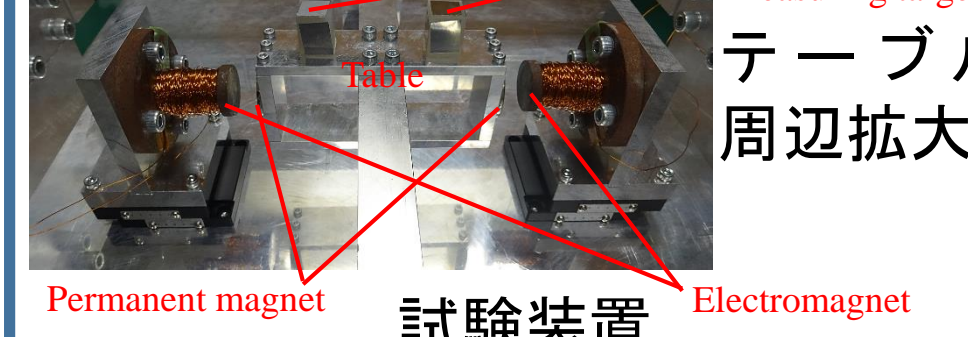


(左図) 可撓機構は円弧切欠きの弾性ヒンジを施した4本のビームで構成される。ビーム1,2の中央部を固定支持、ビーム3,4は中央にテーブルと両側面に永久磁石を設置したストラットで結合している。永久磁石(PM)は $\phi 30$ 、厚み $t=2,1$ (磁束密度:40mT, 79mT)の2種類を用いる。 $t=2$ を予め取付けて $t=2:1$ 枚の場合と $t=2$ に $t=1$ を吸着させた $t=2+1:2$ 枚の場合で磁力を生じさせる。(中図) PM Bに対して適当な間隔で電磁石(以下EMと称する)を対向設置した場合に、異極間に作用する吸引力でB側に微動(X軸微動)する様子を示す。(右図)同様にC側に微動(Y軸微動)する様子を示し、各々逆方向に吸引力を作用させればA, D側に微動する。また、可撓機構は各軸に対して対称構造であるため幾何形状的には軸間干渉は生じない。

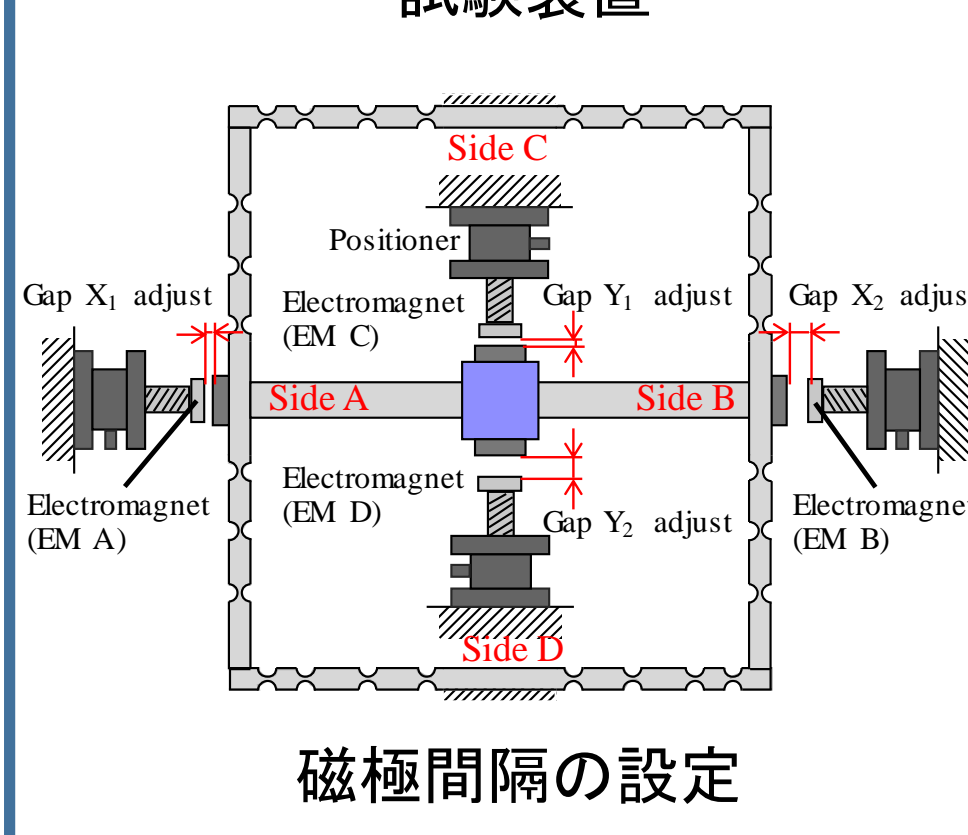
## 試験装置と磁極間隔の設定による吸引力調整



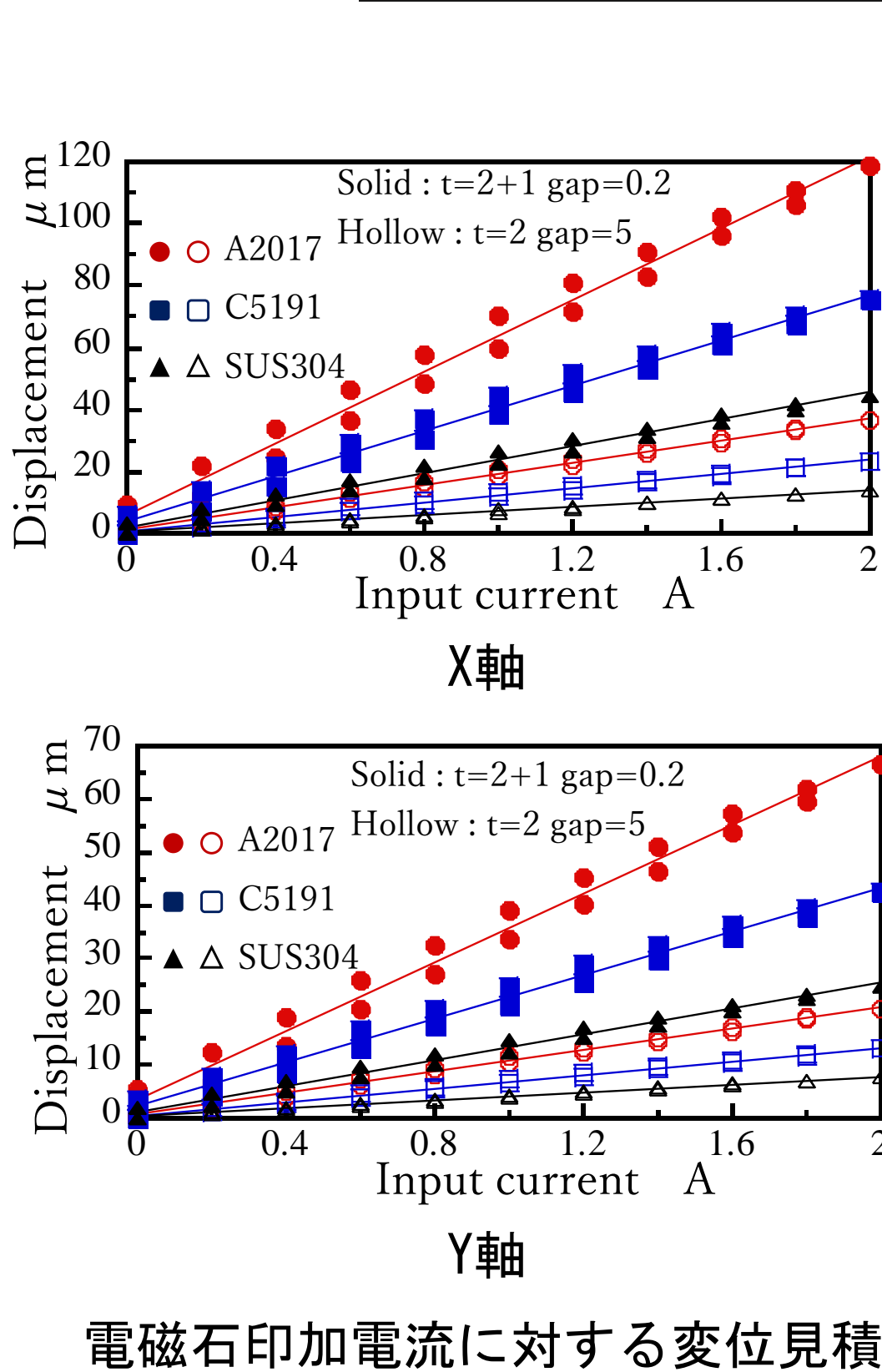
(上図) 可撓機構は基板上に設置した支持板にビーム1,2を接続して基板とは接触していない。4組の永久磁石と電磁石は各々の磁力が影響しないよう配置され、装置はゴム式の除振動上に設置されている。



(下図) EMとPMはX,Y軸に対して各々2対設置し、EM A~D(心棒:S45C,線材:銅, $\phi 0.4$ ,330巻,磁極面径 $\phi 25$ )は直動ステージで磁極間隔を調整できる。例えばGapを $X_1 < X_2$ ,  $Y_1 < Y_2$ とすると吸引力の差でBおよびD側ではストロークは小さいが高分解能変位の位置決め、AおよびC側ではその逆の特性が生じる。さらに両者を連係させることで長ストロークと高分解能位置決めを両立できる。

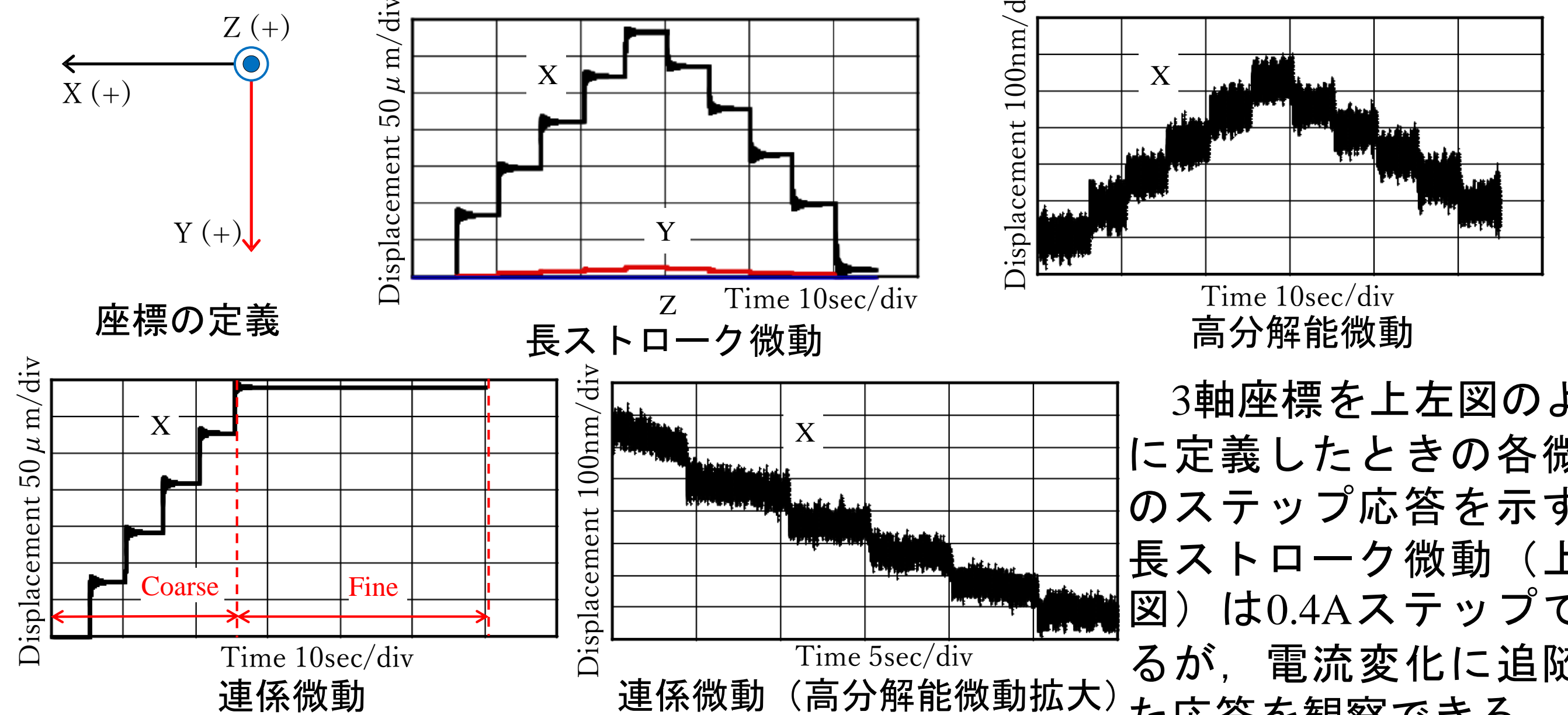


## 電磁石印加電流に対する微動変位の見積



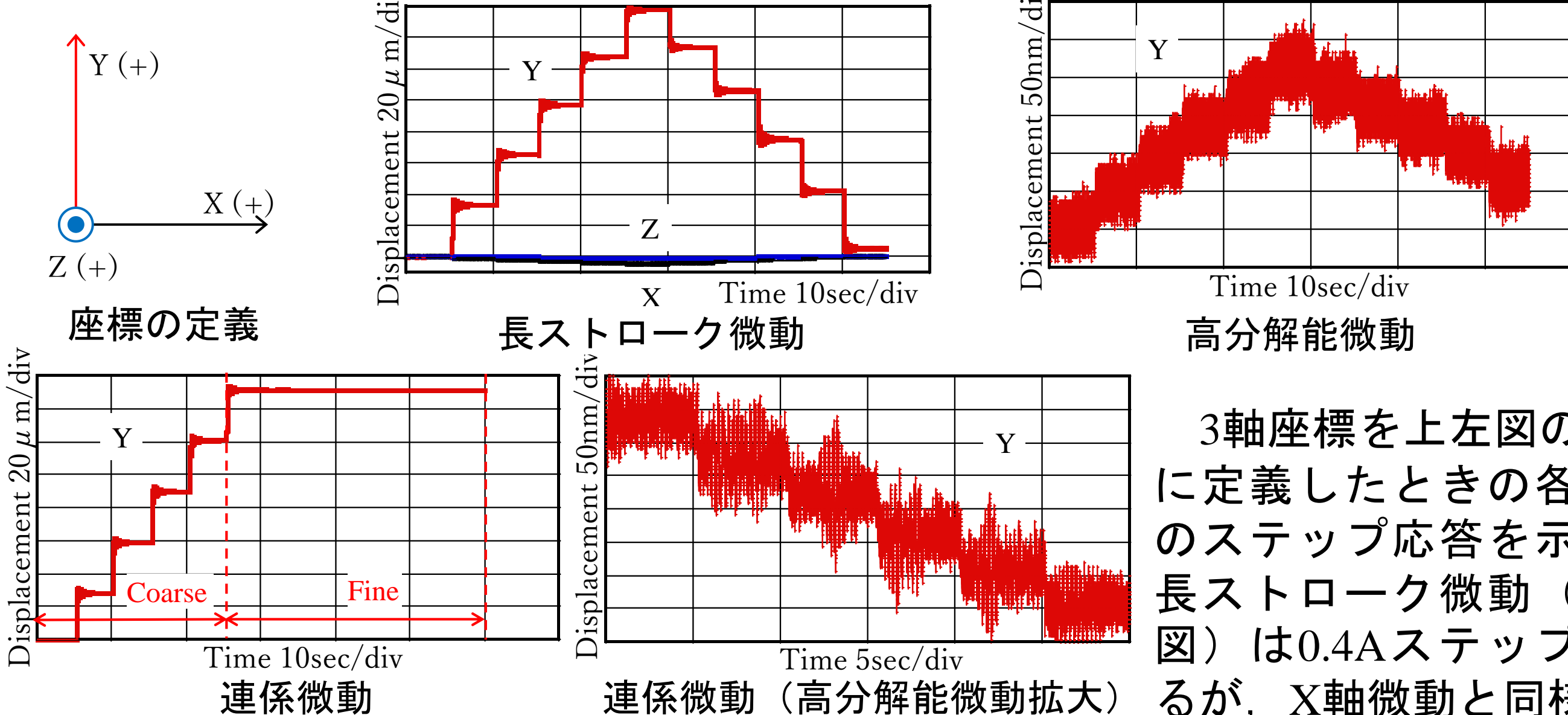
可撓機構を設計するために印加電流~吸引力~出力変位の三者間の関係を見積む必要がある。印加電流と吸引力の関係は理論的に予測し難いためEM, PMの磁極間隔と吸引力の関係を実験的に求めた。また、吸引力とX,Y各軸変位の関係をCATIAで解析した。左図はこれらより求めた電磁石印加電流に対する各軸変位の関係を示す。最大及び最小吸引力の場合を表しているが、変位の大小はビーム部材ヤング率 $A2017 < C5191 < SUS304$ に倣っている。なお、剛性の違いからX軸とY軸の変位は異なる。

## X軸の微動特性



最大変位は約340 $\mu m$ であり、計算見積の約3倍となった。また、Z軸干渉はほぼゼロだがY軸干渉がX軸変位の4%程度発生した。高分解能微動(上右図)の印加電流は階段状変位を観察できる限界の2mAとした。1ステップ変位は約85nmであった。下図は長ストロークと高分解能の両微動を連係した結果である。図より連係微動が認められる。長ストローク、高分解能ともにそれぞれを単独で微動させた場合とほぼ等しい最大変位と1ステップ変位が得られた。

## Y軸の微動特性



3軸座標を上左図のように定義したときの各微動のステップ応答を示す。長ストローク微動(上中図)は0.4Aステップであるが、X軸微動と同様に電流変化に追従した応答を観察できる。最大変位は約160 $\mu m$ であり、計算見積の約2.4倍となった。また、X軸干渉がY軸変位の3%程度発生した。高分解能微動(上右図)の印加電流は階段状変位を観察できる限界の2mAとした。1ステップ変位は約40nmであった。下図は長ストロークと高分解能の両微動を連係した結果である。X軸微動と同様に連係微動が認められるが、高分解能微動では階段状変位を識別できるように印加電流を単独より大きい3mAとした。そのため1ステップ変位は約56nmとなった。

## X軸、Y軸微動の考察

X軸、Y軸微動ともに解析による見積よりも大きい変位となった。この理由はビーム1,2固定支持部やビーム1~4端部結合部の変形が考えられる。ただし、前者については支持部の変位はほぼゼロであった。その他に各ビームサイズの誤差、特に切欠き厚みの誤差が大きく影響すると考えられる。微動原理で示したように幾何形状では軸間干渉は生じないが、実際は最大変位の3~4%で生じている。これはビームごとに若干の形状差があると推察され、変位が見積より大きくなる一因でもあると考える。

## まとめ

電磁石~永久磁石相互間の吸引力を利用して摺動摩擦フリーで駆動する2軸可撓支持微動テーブルを提案し、吸引力校正と可撓機構の剛性解析に基づいて試験装置を開発した。微動試験の結果、X,Y軸ともに長ストローク、高分解能および両者を組合せた連係微動が可能であることを確認した。

## 謝辞

本研究は公益財団法人JKA補助事業(競輪)の支援を受けて実施されたものである。ここに記して謝意を表す。