

NC旋盤スライドの高速化及び位置決め精度向上の研究

森本研究室 B4 中村 直弥

1. 緒言

送り系を設計するにあたって各部品メーカーの推奨データを用いても所望の性能が得られるとは限らないため、送り駆動系と位置決め実験と制御シミュレーションを組み合わせることにより、各部の制御パラメータを同定し、同定した制御パラメータを用いて高速・高精度化を測る際の設計指針を作成することを目的としている。

2. 送り駆動系の摩擦モデル

図1に示すのは送り駆動系の摩擦モデルです。入力信号は τ ですが、値は特に関係なく、エンコーダの動作と連動できるように入力しています。行きと帰りでの摩擦を制御するために図1の左から2つめの「Sign」ブロックを用いている。また、摩擦トルクを表わすために一次遅れ系と伝達関数を用いて摩擦トルクを再現しています。エンコーダの摩擦トルクを表わしたのを図2に示します。また、テーブルが動作した際に発生する摩擦力もエンコーダの摩擦トルクに使用されているブロック線図と同様のモデルを使用している。

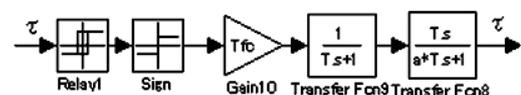


図1 摩擦モデルのブロック線図

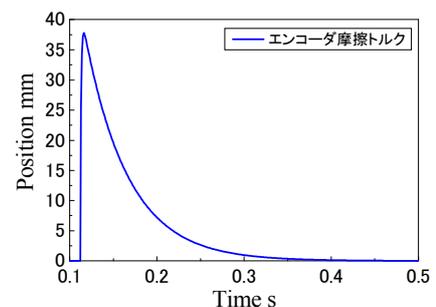


図2 エンコーダ摩擦トルク

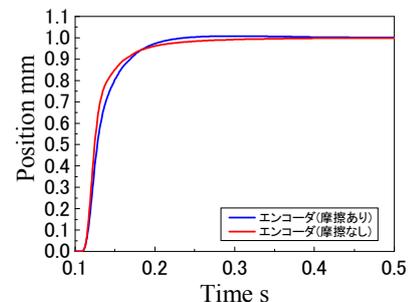


図3 エンコーダ出力

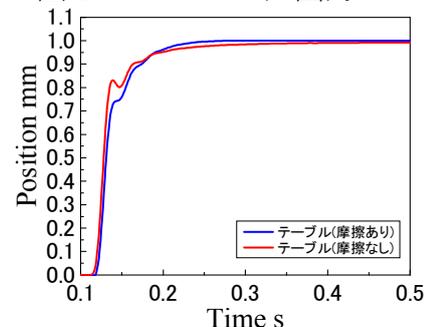


図4 テーブルの動作

3. エンコーダ出力とテーブル動作

図3にエンコーダ出力の摩擦ありと摩擦なしの結果です。エンコーダの摩擦ありが摩擦なしよりも立ち上がりが遅いのは摩擦によって動くのを抑えられているためです。標準偏差で摩擦ありの場合は $21.5\mu\text{m}$ 、摩擦なしは $26.8\mu\text{m}$ のばらつきがありました。図4はテーブル動作の動きとなっておりこれもエンコーダと同じく摩擦のありと摩擦なしの結果です。テーブルの場合は摩擦ありが $20.8\mu\text{m}$ で摩擦無なしが $31.9\mu\text{m}$ となりました。

参考文献

著 佐藤隆太, 堤正臣, AC サーボモータ直動転がり案内を用いた送り駆動系の数学モデル, 精密工学会誌, 71,5(2005), 633.

多軸工作機械の精度評価と姿勢制御

森本研究室 B4 多田真士 B4 室市悠介

1. 目的

近年、多軸マシニングセンタの出現により3次元自由曲面等の複雑な加工が可能となっている。そのことから、多軸制御のため各軸の誤差が累積し精度に影響する。

本研究では、マシニングセンタの各軸を独立して動作させて工作物を加工し、3次元測定機により間接的に測定を行い、その評価結果を用いて精度補償を行う。

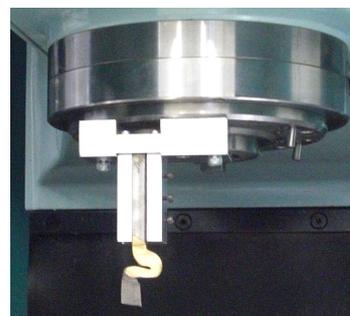


図1 ヘールバイト固定治具

2. 主軸静止状態における工作物加工方法の提案

性能評価を行うために、回転工具により工作物を加工した場合、加工による熱や振動が発生し工作精度に影響し、暖機運転に時間がかかる。そこで、ヘールバイトにより主軸を回転させずに外乱による加工誤差要因を抑えた溝加工を行う方法を考案した。

このヘールバイトをマシニングセンタに取り付けるための固定治具を図1に示すように製作した。

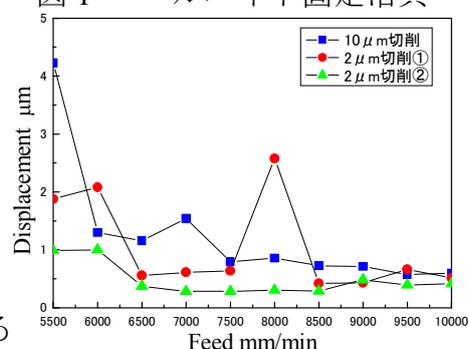


図2 変形量の変化

3. 幾何学的精度評価用加工条件の選定

ヘールバイトを使用し最良常態で加工をするために、切削速度を変化させ変形量と表面粗さの測定結果を図2、図3に示す。選定した結果、切削速度は6500mm/minとし、切込み量は2μmとした。

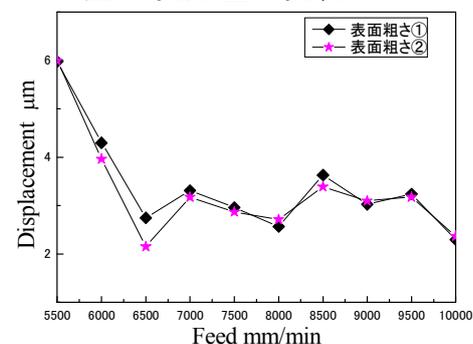


図3 表面粗さ

4. 幾何学的精度評価用工作物の提案

マシニングセンタの精度を測定する工作物を考案した。この工作物はヘールバイトで溝加工することにより、マシニングセンタの各軸 (X, Y, Z, A, C 軸) の誤差を3次元測定機により間接的に測定できるものとなっている。その結果に基づき精度補正を行う。

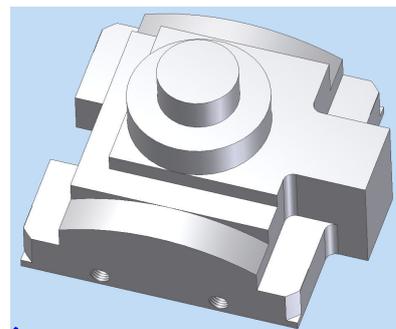


図4 設計した工作物

新しい構造を持つ NC 工作機械に関する研究

森本研究室 B4 内水智也 B4 呉山幸司

1. 目的

工作機械フレーム構造に中空パイプによるトラス構造を採用し、さらに、熱変位補償と振動制御を同時に可能とする新しい工作機械構造を開発する。機械構造のなかでも剛性を確保しつつ計量化を実現でき、省スペースも同時に可能となるトラス構造に着目して、これを工作機械に適用することを目指す。

2. トラス構造

工作機械の構造にパイプを基本要素にしたトラス構造を用いることにより、外力および熱による変形がパイプ軸方向を主とした変形となるように設計することにより、変形の簡易化と制御の容易さを両立させることを考える。

3. 制御方法

熱変形補償

熱変形による中心部の移動は、加工誤差の主要因となる。開発した工作機械の場合、パイプに熱源を与えると、パイプ軸方向に変位することが確認されたので、パイプ部に別の熱源を設置し、これを用いて新たな熱変形を発生させることにより熱変位の制御を行う。

振動補償

スピンドルなどの振動は、加工精度に大きく影響する。パイプに振動を与えるとパイプ軸方向に振動が発生することからスピンドルの振動に対して、圧電素子によりを用いて逆位相の振動を与えることにより振動制御を行う。

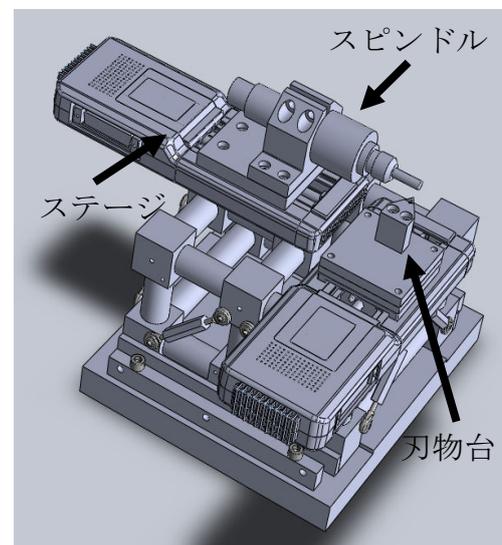


図1 プロトモデル

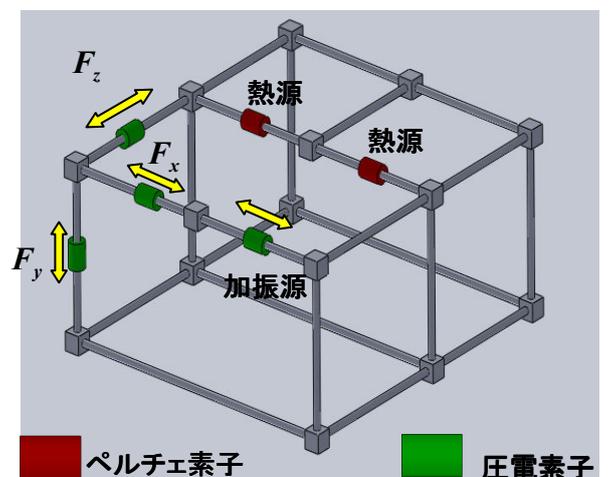


図2 圧電素子, ペルチェ素子

リニアモータ駆動 NC 旋盤の性能評価

森本研究室 B4 久保典之 B4 稲木理人

1. 概要・目的

リニアモータを使用した工作機械では、高速・高加速度運動が可能であり、生産性の向上や、非円形輪郭加工を実現できる可能性がある。生産性の向上や今後複雑な輪郭形状の部品を生産するためには旋削加工に置き換えることが不可欠であると考えられる。

そこで私達は、リニアモータ駆動 NC 旋盤による非円形加工実現のための、旋盤の性能評価や旋盤の性能に合致したプログラムを作成する研究を行っている。また NC 旋盤のイメージを図 1 に示す。

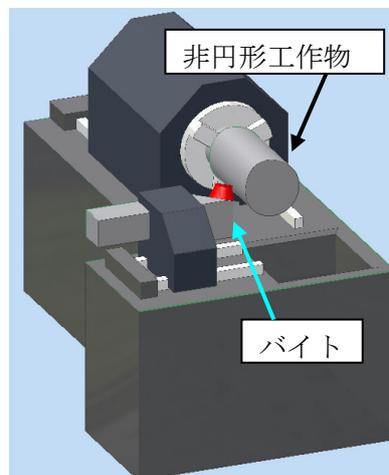


図 1. 旋盤のイメージ

2. 専用 CAM システムの開発

複雑な輪郭形状になれば、切削点位置 X,Y,Z を同期させる必要がある。また、リニアモータ NC 旋盤の性能に合わせたプログラムを作成する必要がある。そこで、CAM に頼らず IGES データから座標点を読み取り、整理し独自のプログラム作成方法を研究した。



図 2. IGES データ

2-1. IGES データの読み取り

通常は 3DCAD データとして使用する IGES データをワードやメモ帳で座標点データとして開いたものを図 2 に示す。この状態では不要な情報と混在するため座標点のみを洗い出し整理した。

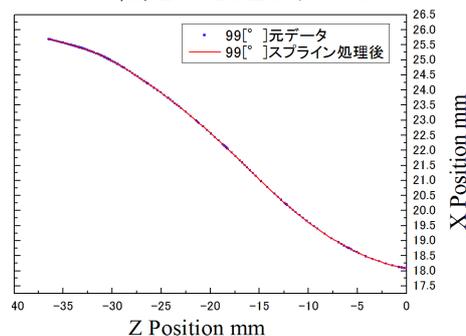


図 3. 稜線のスプライン処理

2-2. 工作物の稜線座標のスプライン処理

整理した座標点は間隔が不均一であるため送り量間隔で座標を作成する必要がある。そこでスプラインを処理し、送り量間隔で座標点を作成した。これを図 3 に示す。また、図 4 より元データとの誤差もないことがわかる。各稜線の座標点を集めプログラムを完成させた。

Z座標	X座標 (元データ)	計算したX座標 (スプライン補間後)	誤差
-5.092147	18.621256	18.621256	0.000000
-11.301273	19.943598	19.943598	0.000000
-17.003643	21.664572	21.664572	0.000000
-23.600973	23.557659	23.557659	0.000000
-28.200161	24.613756	24.613756	0.000000
-35.033920	25.569162	25.569162	0.000000

単位 mm

図 3. 元データとの誤差

高速管理車輛の動作状況モニタリングの研究

森本研究室 B4 長谷川拓哉

1. 概要・目的

高速道路のように走行パターンがある程度限定されている状況においても、燃料消費量の改善は重要な課題であり、特に、2年から3年の間に20万km近くを走行する管理車輛の燃料消費量を抑制することは、単に経費節減のみならず、地球環境への負荷低減につながる。

よって、高速道路の管理車輛の燃料状況をモニタリングし、運転状況を把握し、燃料消費を抑える運転パターンを決定する。また、中回転域以下でエンジン制御用コンピュータにデータを教示することによりさらに燃料消費を抑え、燃料向上を達成する。

そこで、各種データを走行中にモニタリングすることにより、操作者ごとに異なる運転パターンを評価し、燃料消費が少ない走行パターンを求め、操作者に教示するシステムを開発する。

2. 管理車輛車種での走行実験

管理車輛に使用されているエクストレイルでの走行実験を行い、燃料消費が少ない走行パターンを求めた。現在の巡回時の速度80km/hの実験結果を図1に示し、実験の際に最も燃料消費が少なかった速度90km/hの結果を図2に表す。

今回、測定に使用した装置で車速を測ったところ、スピードメータに表示される速度と実際に走行している速度に10km/h近い誤差が生じていることが分かった。つまり、80km/hで走行していても、実際は70km/hで走行していることになる。

80km/hでは、速度維持が難しく維持しようとする余計に燃料を使用してしまう。90km/hでは、速度維持が容易のために燃料噴射に無駄が少ない。

3. 標識装置の解析

現在使用されている標識装置の形状での空気抵抗などを調べるために標識装置の解析を行った。解析した結果、標識装置内部で渦が発生していることが分かり、その抵抗が走行に悪影響を及ぼしていることが分かる。標識装置の空気の流れを表したものを図3に示す。

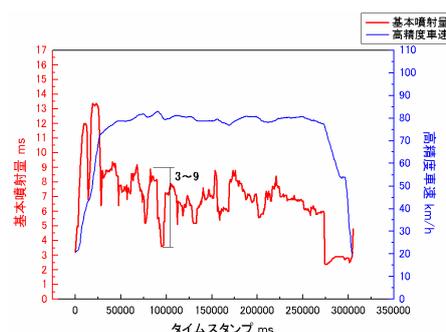


図1. 80km/hの実験結果

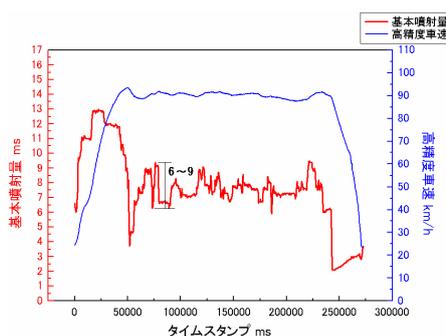


図2. 90km/hの実験結果

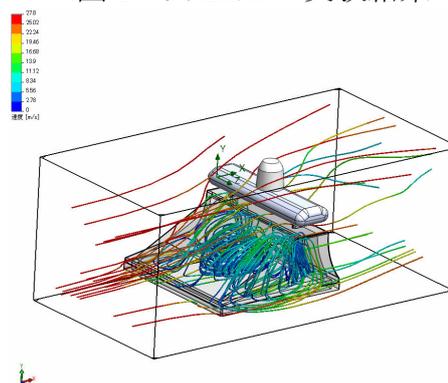


図3. 標識装置周辺の空気の流れ

NC旋盤スライドの高速化及び位置決め精度向上の研究

緒言

送り系を設計する時
部品メーカーの推奨値を用いるが...
所望の性能が得られるとは限らない

一般的な改善は...

機械の剛性を上げて改善
問題発生
製造コストアップ!!!

改善するために!!

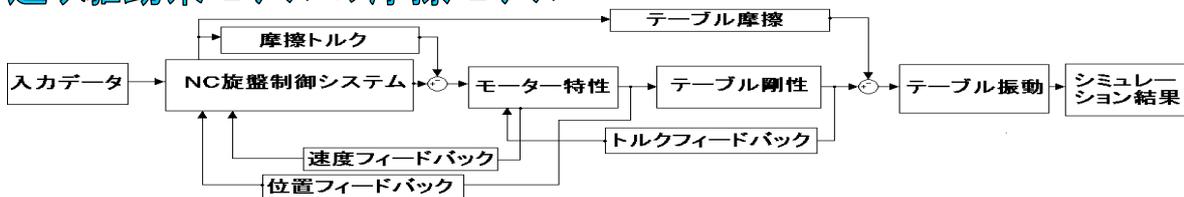
組み合わせる

パラメータ同定

機械を製造するのに必要な推奨値がわかる。コストダウンと高速・高精度化の設計指針作成可能!

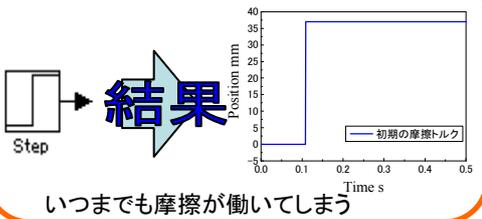


送り駆動系モデルの摩擦モデル



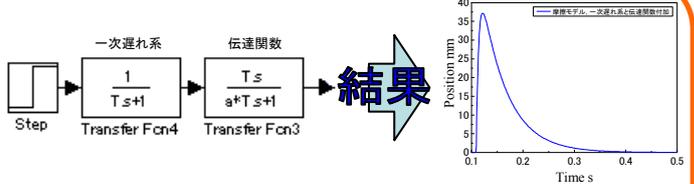
位置決め制御するにあたって摩擦は重要な要素である。摩擦によって立ち上がりや軌跡が異なってくる。

初期の摩擦モデル



ステップ入力だけでは摩擦もおかしいので改良

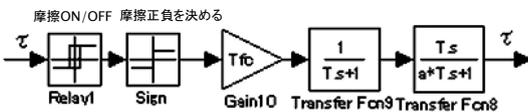
摩擦モデル, 一次遅れ系と伝達関数付加



一次遅れ系を加えることによって、最大摩擦の位置を調整できる。伝達関数を加えたことによって、徐々に摩擦を小さくすることが可能。摩擦の開始時間はステップで調整している。

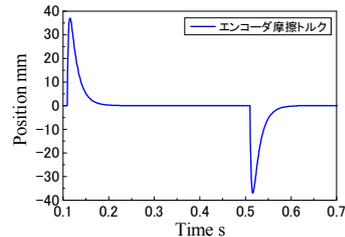
入力データとの連動する摩擦モデル

ステップ入力での摩擦の開始時間を調整していたのを入力データと連動して摩擦力を加えられるように「Relay1, Sign」を加えた。

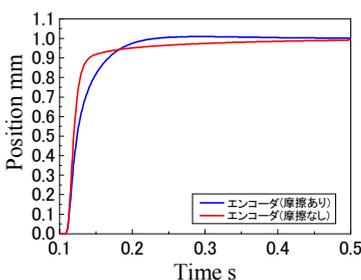


結果

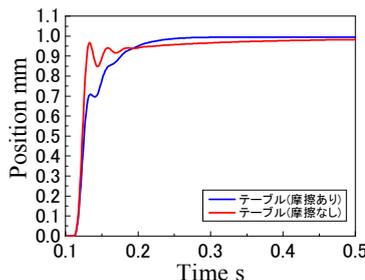
行きと帰り両方の摩擦を再現できるようになった



エンコーダとテーブルの動作



エンコーダ動作



テーブル動作

エンコーダの摩擦ありが摩擦なしよりも立ち上がりが遅いのは摩擦によって動くのを抑えられているためです。標準偏差で摩擦ありの場合は $9.61 \mu\text{m}$ 、摩擦なしは $68.9 \mu\text{m}$ のばらつきがありました。テーブルの場合は摩擦ありが $22.1 \mu\text{m}$ で摩擦無しが $88.9 \mu\text{m}$ となりました。

結果

適正な摩擦を加えることによって位置決め精度を高めることができる

多軸工作機械の精度評価と姿勢制御

緒言

近年、多軸マシニングセンタの出現により3次元自由曲面等の複雑な加工が可能となっている。しかし、多軸制御のため各軸の誤差が累積し精度に影響する。

本研究では回転軸(A, C軸)の精度評価方法確立と、それに基づく精度評価を行い、マシニングセンタの精度補償に応用することを目的とする。

加工方法と加工条件の決定

・切削装置の特性

- 主軸静止による切削の利点
- 熱の発生減少
- 振動の発生減少
- 暖機運転時間減少

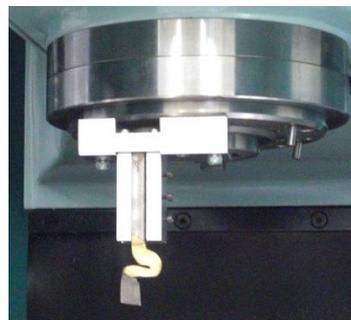


図1 ヘールバイト固定治具

・ヘールバイト条件選定

実験結果である図2、図3より切削速度は6500mm/minとする。

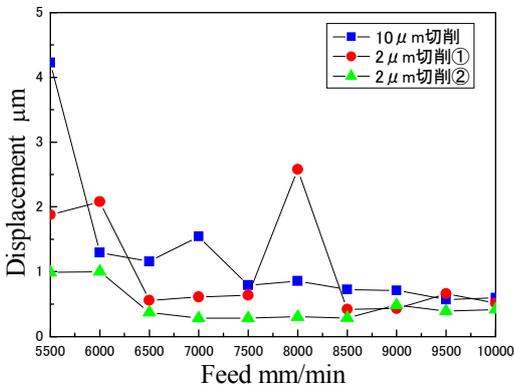


図2 加工時の工具変位量

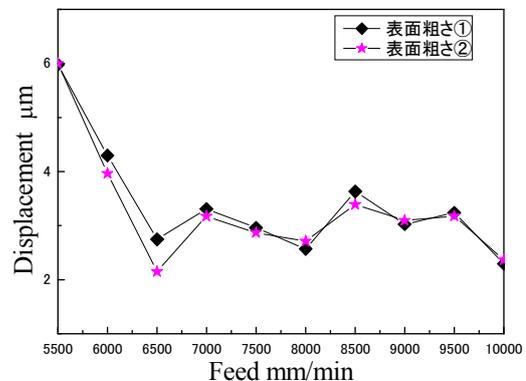


図3 加工面表面粗さ

工作物の仕様

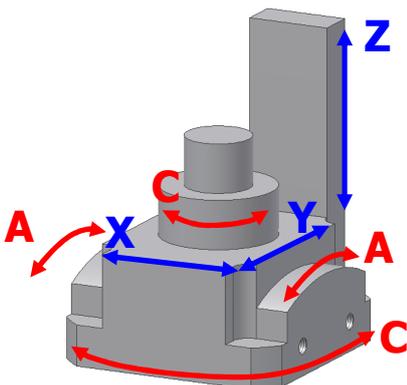


図4 工作物形状

- ①各軸(X, Y, Z, A, C)の幾何学的誤差を測定するために切削を行う。
- ②切り込み深さは、 $2\mu\text{m}$ で切削する。
- ③3次元測定機により工作物測定し、各軸誤差成分を同定する。
- ④測定結果に基づき精度補償する。

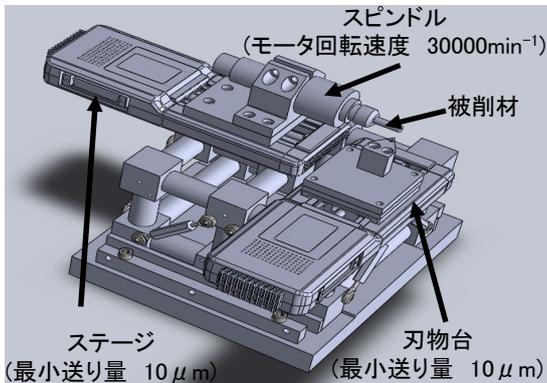
新しい構造を持つNC機械に関する研究

緒言

工作機械フレーム構造に中空パイプによるトラス構造を採用し、さらに、熱変位補償と振動制御を同時に可能とする新しい工作機械構造を開発する。機械構造のなかでも剛性を確保しつつ計量化を実現でき、省スペースも同時に可能となるトラス構造に着目して、これを工作機械に適用する。

プロトモデル

パイプとパイプを連結させた直方体の構造物をベース台に連結しており、さらに、剛性を高めるためピローボールを用いΦ3のパイプを連結させトラス構造としている。パイプとパイプの連結には、15個のジョイントを設け接着構造としている。この構造物上には、ステージを設け、スピンドルと刃物台を取り付けている。



熱変形解析

実験結果においてx、y、z軸方向の熱変位を検討



直接精度に影響する



ステージがあるため熱変形制御する必要なし



Cosエラーのため、ほとんど影響しない

刃物台の熱変位において、最も重要な変位方向はx方向である。また、ペルチェ素子の出力から30 μmの熱変形を制御できると推測されるので解析結果の軸中心変形を制御できると考えられる。

表2 軸中心変位

	x	y	z
センサー1	-1.135×10^{-6}	-1.924×10^{-6}	5.544×10^{-6}
センサー2	-0.107×10^{-6}	9.22×10^{-8}	3.731×10^{-6}

振動制御 図1 プロトモデル

スピンドルなどによる振動は、加工精度に大きく影響する。スピンドルの振動に対して、圧電素子により逆位相の振動を与えることにより振動制御を行う。

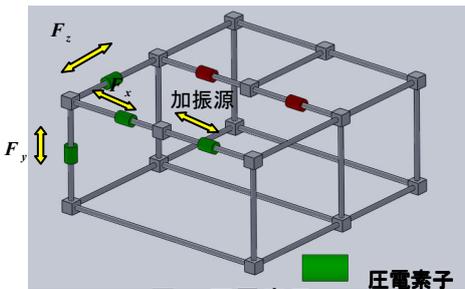


図2 圧電素子

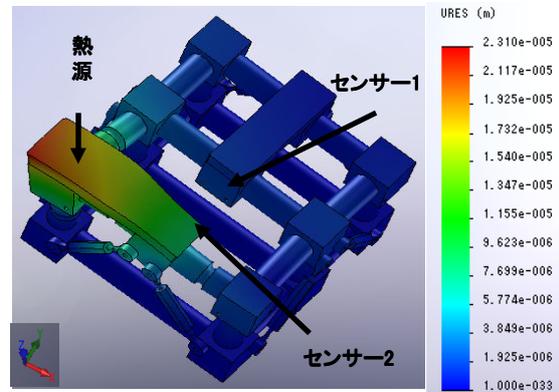


図3 非定常解析による熱合成変位(50°Cの場合)

熱変形制御

熱変形による中心移動は、加工誤差の主要な原因になる。パイプに熱源を与えるとパイプ軸方向に変形することが確認されたので、パイプ内に新たに姿勢制御用熱源(ペルチェ素子)を与えることにより熱変形補償制御を行う。

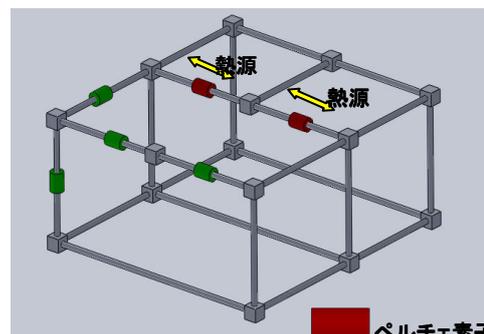


図4 ペルチェ素子

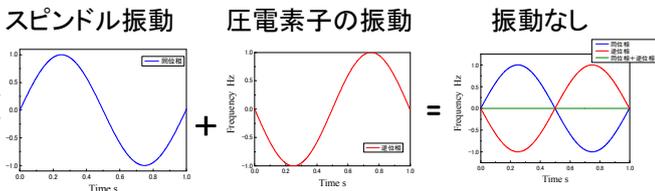


表1 固有振動

共振周波数 Hz	刃物台に対するスピンドルの位相
1567.3	同位相
1622.9	同位相
2123.1	逆位相
2405	逆位相
2468.8	逆位相

刃物台に対するスピンドルの位相が逆位相であれば、びびり振動が発生し、同位相であれば、加工精度に影響しない。

高速管理車輛の動作状況モニタリング

1. 概要・目的

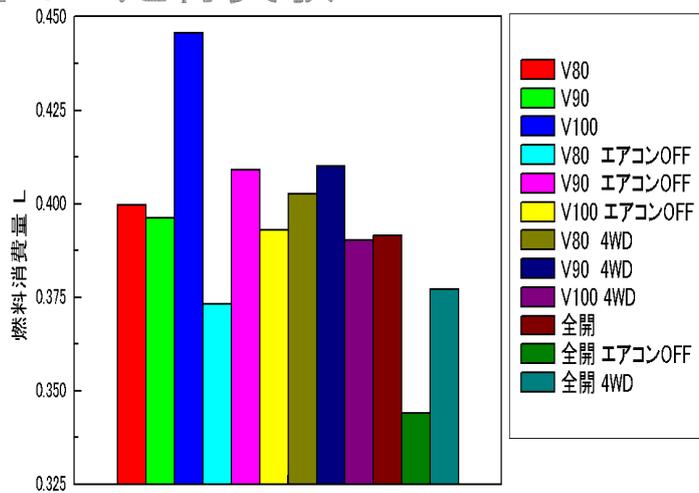
管理車輛は、2年から3年の間に**20万km近く**を走行する。その燃料消費量を抑制することは、単に経費節減のみならず、地球環境への負荷低減につながる。

よって、高速道路の管理車輛の燃料状況をモニタリングし、運転状況を把握し、**燃料消費を抑える運転パターンを決定する**。また、中回転域以下でエンジン制御用コンピュータにデータを教示することによりさらに燃料消費を抑え、燃料向上を達成させる。

2. 管理車輛車種での走行実験

実験方法・実験条件

速度 km/h	エアコン ON/ OFF	2WD / 4WD
80		
90		
100		
0~100 への 全開加速		



管理車輛に使用されている車種で実験を行い、燃料消費が少ない走行パターンを求めた。各条件での燃料消費量は図1に示す。

図4より、100km/hは**加速時に燃料を長い時間噴射する**ので、燃料を最も多く消費する結果となった。

図1. 各条件の燃料消費量

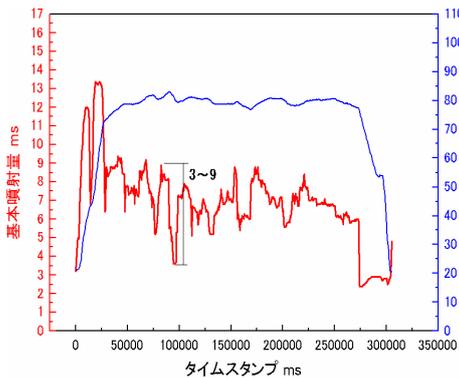


図2. 80km/hの実験結果

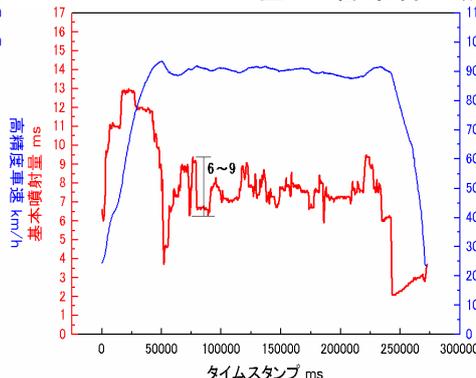


図3. 90km/hの実験結果

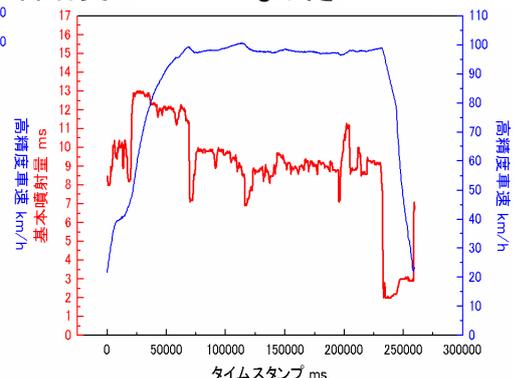


図4. 100km/hの実験結果

3. 標識装置の解析

現在使用されている標識装置の形状での空気抵抗などを調べるために標識装置の解析を行った。解析した結果、**標識装置内部で渦が発生している**ことが分かり、その抵抗が進行方向と逆方向に**191N 約20km/h**の力が発生しているので走行に悪影響を及ぼしていることが分かった。標識装置の空気の流れを表したものを図5に示す。

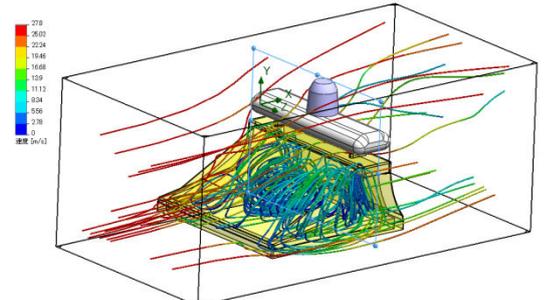


図5. 標識装置周辺の空気の流れ