

技術革新続く MC・NC工作機械特集

省エネ化を実現する 工具経路生成

金沢工業大学
工学部 先進機械システム工学科
教授 林 晃生

製造業では、カーボンニュートラル(温室効果ガス排出量実質ゼロ)やグリーン・トランスフォーメーション(GX)への対応を背景に、生産設備の省エネ化要求が高まっている。工作機械分野においても、「ISO14955」に対応した工作機械の環境評価における規格「JIS B 09515」が制定され、工作機械の環境負荷や省エネ性能を評価する取り組みが進められている。

軸運動の エネルギーロスに着目

従来、工作機械の省エネを目的とした研究・エネ化では、クリーン 開発が数多く行われてきた。また近年では、削減、高効率モーター、機械構造や切削具、の採用、機械本体の小 加工方法の工夫による型化など、設備そのも 環境負荷低減技術を提の消費エネルギー低 案されている。

そのため、既存設備を ども登場している。し 活用したまま実施可能 かし電力エネルギーに ついては待機時間削減 2に測定対象とした工 などを中心であり、加 作機械の構成と、各軸 の消費電力測定結果の 工運動そのものの省エ 示す。測定の結 果、Z軸では重力の影 響により、上昇時と下 降時で消費電力が大きく 異なることが分かつ ている。特に上昇動作で は、主軸頭の重量を支 えるから駆動する必要 があるため、大きな電 力を消費する。

また、本工作機械で は、Y軸が2本のボール 軸加工では、B軸動作 の時に消費電力が大きく 変動していることが確 認できる。

消費電力評価と見える化

工作機械の消費電力 のものだけでなく、各 周辺機器の動作によっ ては、主軸回転や切削そ 送りの運動状態や周 中も変化する。図1に加 工中の工作機械全体の 消費電力推移の一例を 示す。加工時には送り 軸、主軸、クランプ 装置など複数の要因が 同時に電力を消費して おり、加工条件や工具 経路によってその変動

は大きく異なる。しか いるのかを把握するこ とは、機械全体の総消費 電力だけでは、どの軸 運動や機械動作が消費 型5軸MCマシニングセン ター(MC)を対象 加工であっても、加工 搭載されている構造と なっている。このた め、X軸方向よりもY 軸方向の送り運動にお いて消費電力が大きく 軸の運動だけでなく、 待機電力やクランプ 装置など周辺機器の消 費電力も無視できな い。例えば切削条件を 変更して送り速度を低 下させた場合、加工時 間が長くなることで待 機電力やクランプ使用 時間が増加し、加工 全体の消費エネルギー が増大する場合もあ る。そのため、図1の ような瞬間的な電力値 だけでなく、加工時間 を含めた総消費エネル ギーとして評価する必 要がある。

このため近年では、 材料除去率や切削条件 に基づき切削エネルギー を推定する研究も進め られている。筆者らも 現在、送り駆動系だけ でなく切削エネルギー を含めた統合的なシミュレーションモデル の構築を進めている。 これにより、加工全体 のエネルギー変化を事 前に予測し、より高精 度な省エネ加工条件の 検討が可能となる。 しかしながら特に多 軸工作機械では、この ような消費電力変化を 詳細に把握することは 容易ではない。

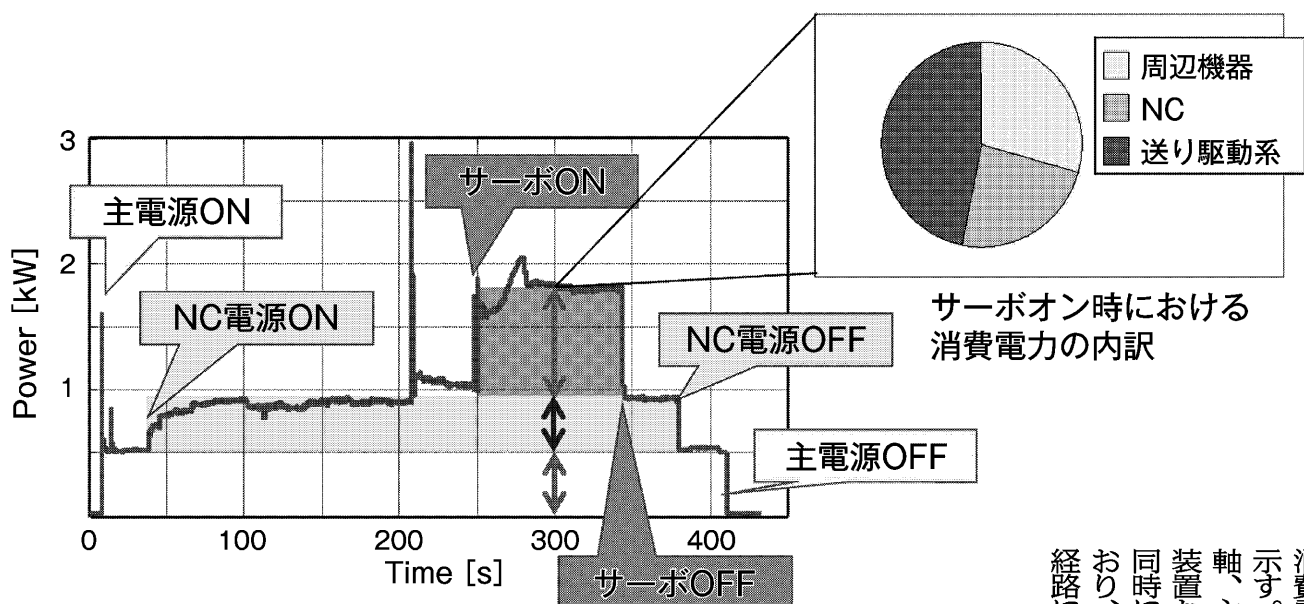


図1 工作機械全体の消費電力推移

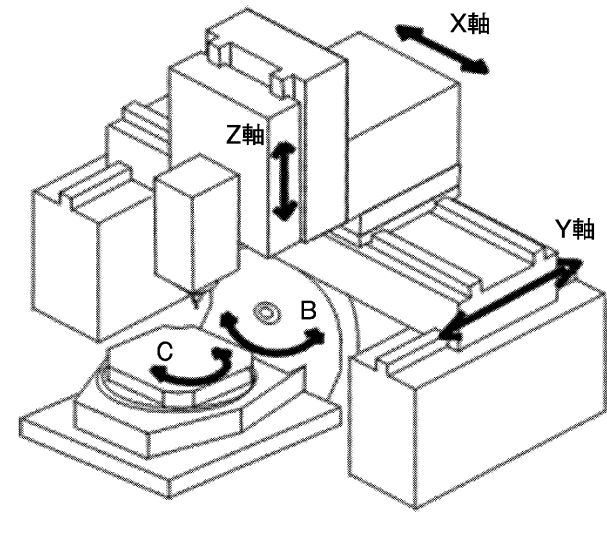
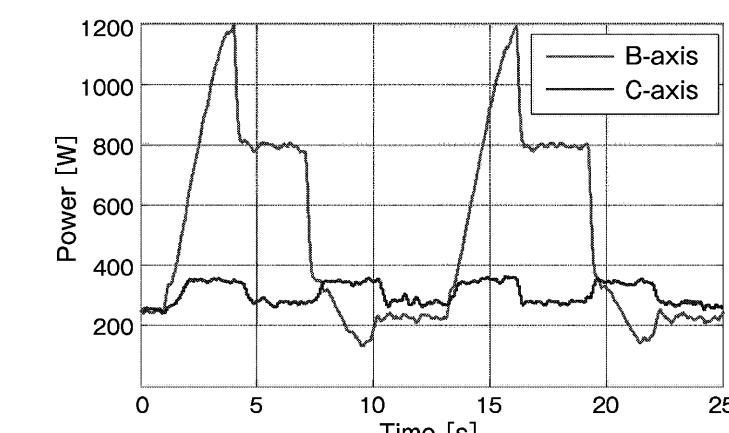
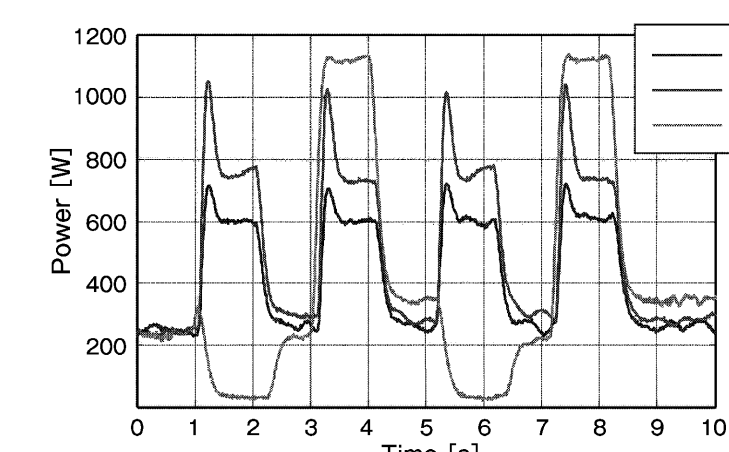
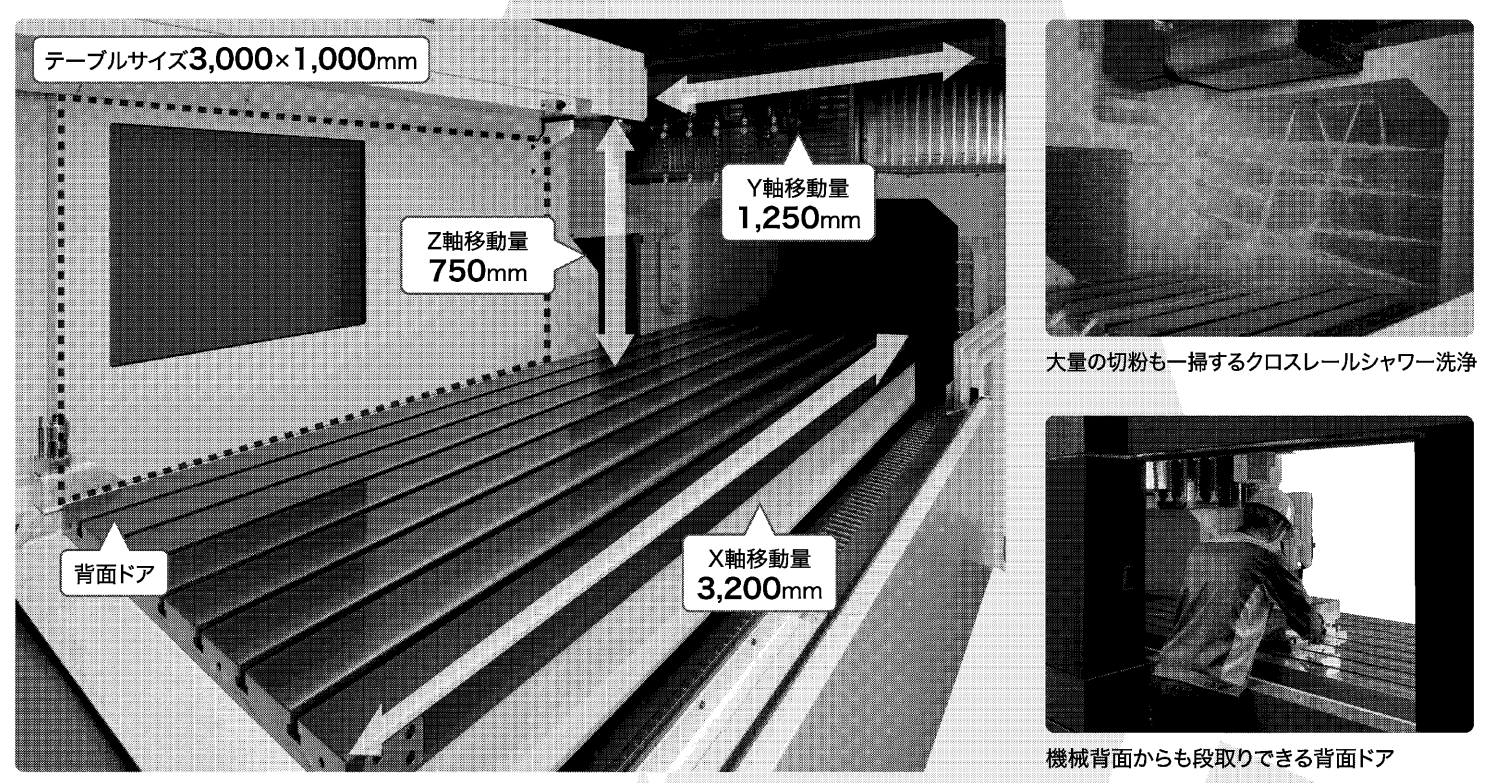
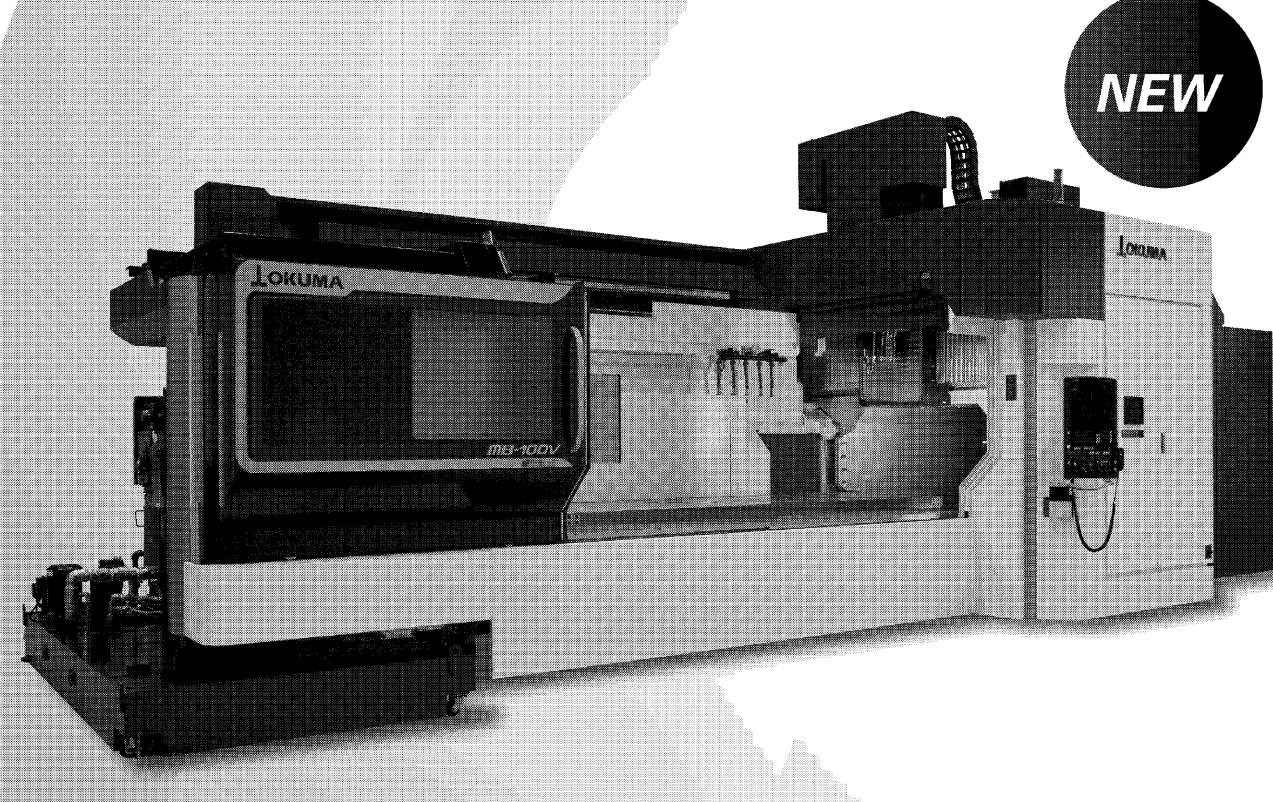


図2 5軸MCの構成例と各軸消費電力測定

“人に優しく、精度に厳しく”大物部品の高精度安定加工

ベストセラー立形マシニングセンタMB-Vシリーズ
高精度大型立形マシニングセンタ
MB-100V



- 優れた切粉処理性能による長時間安定稼働
- 加工精度を高いレベルで安定維持 経時熱変位7μm以下 (環境温度 8℃変化時)
- 広い加工領域と段取り作業に配慮した機械構造

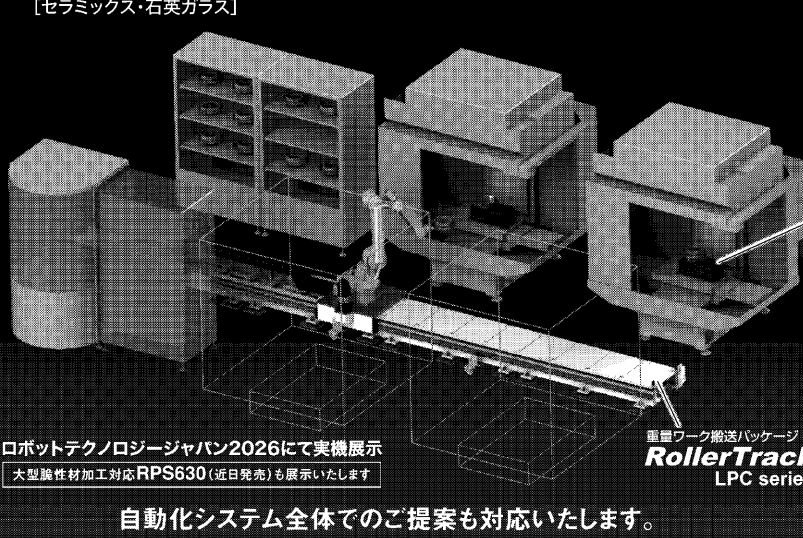


OPEN POSSIBILITIES

オークマ株式会社 www.okuma.co.jp

OKUMA

三共パレットシステムにより外段取りと長時間無人稼働を実現する 脆性材加工の自動化提案



脆性材研削加工用テーブル
RPSシリーズパレット仕様 近日発売予定

高速連続回転: 300 (r/min) RPS200 / 200 (r/min)
長時間連続運転: 24時間以上
熱変位 (5mm径): 5μm以下
位置決め精度: ±20μm以下 (RPS330, RPS630)
適量環境対応: 保護等級IP66 (防塵防湿性能)

エアークリーニングを備えた2重拘束クランプ機構により高精度、高剛性を長時間維持します。

RPSシリーズ用パレット・ワークサンプル

	RPS200	RPS330	RPS630
テーブル径	φ200 [mm]	φ330 [mm]	φ630 [mm]
許容積載質量	50 [kg]	100 [kg]	700 [kg]

●パレット仕様はRPS200, RPS330のみオプションとして対応 ●上記能力はRPSの標準仕様

ロボットテクノロジー展2026にて実機展示
大型脆性材加工対応RPS630 (近日発売) も展示いたします

自動化システム全体でのご提案も対応いたします。

株式会社 三共製作所
本社 〒114-8538 東京都北区田端新町3-37-3 PHONE.03-3800-3305 https://www.sankyo-seisakusho.co.jp/
東京営業所 PHONE.03-3800-3330 名古屋営業所 PHONE.052-857-0577 大阪営業所 PHONE.06-6618-7000 静岡営業所 PHONE.0537-36-5715

makino seiki

DB1

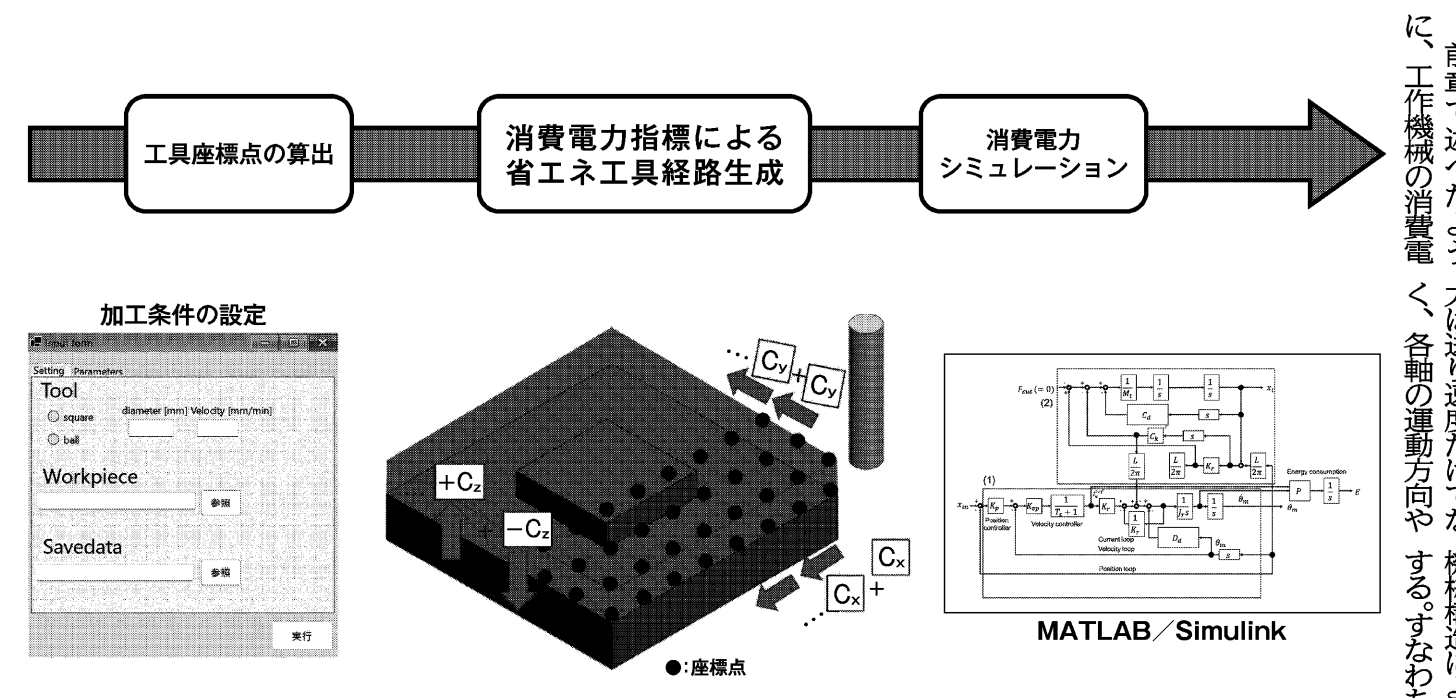
高精密CNC極小径工具研削盤

243-0303 神奈川県東甲斐郡粟川町中津 4029
Tel: (046)285-0446 https://www.makino-seiki.co.jp

2024年(第67回)日刊工業新聞 十大新製品賞受賞
2024年(第59回)日刊工業新聞 日本産業広告賞佳作受賞

株式会社 牧野フライス精機株式会社

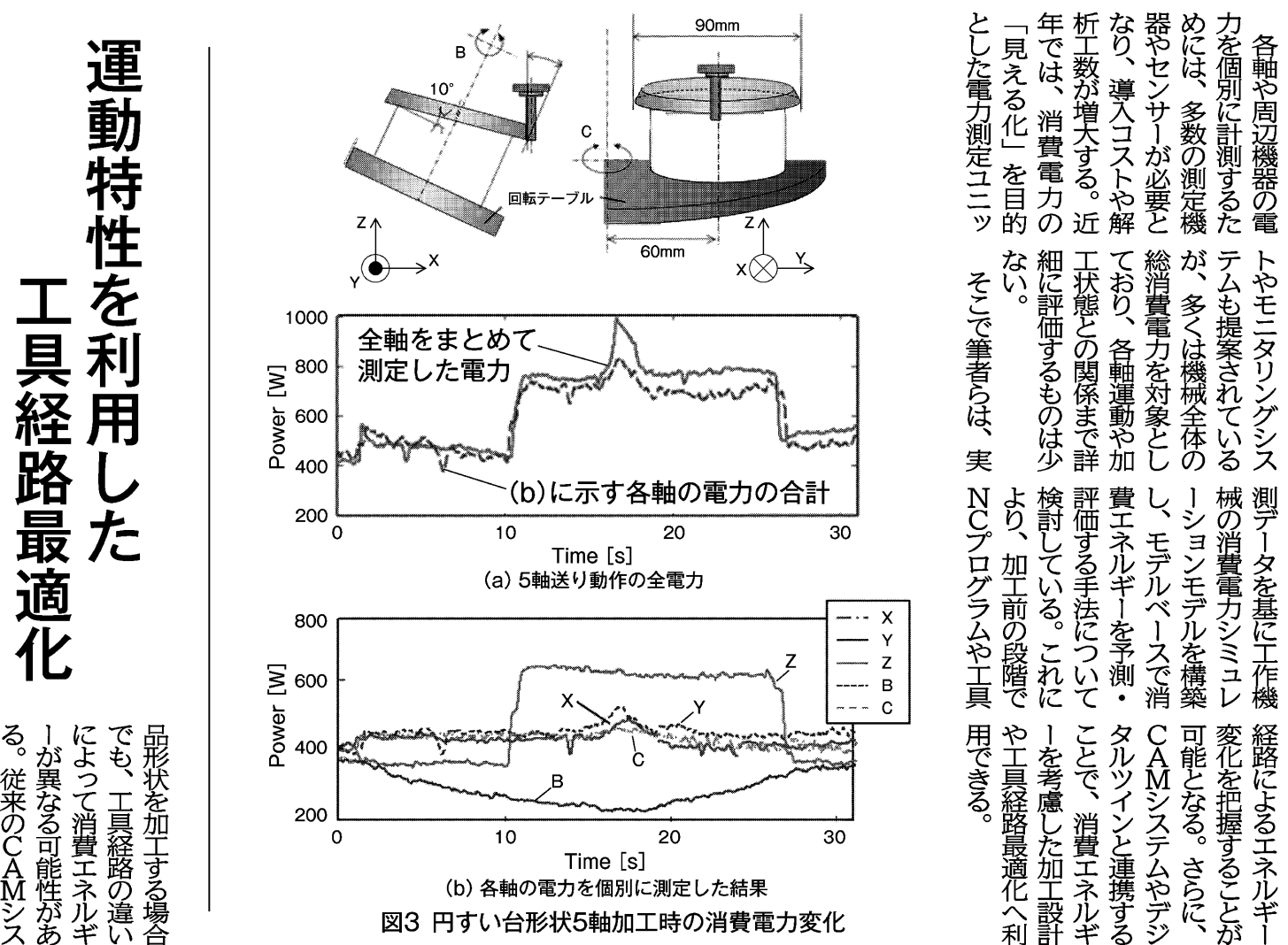
MC・NC工作機械特集



前章で述べたような力は送り速度だけでなく、機械構造によって変化に、工作機械の消費電、各軸の運動方向や、すなわち、同じ製

運動特性を利用した 工具経路最適化

品形状を加工する場合でも、工具経路の違いによって消費エネルギーが異なる可能性がある。従来のCAMシステムでは、加工精度や加工時間を重視した工具経路生成が主であり、消費エネルギーを考慮した経路設計はほとんど行われていなかった。そこで筆者らは、工作機械各軸の運動特性を利用した省エネ工具経路最適化手法を提案している。本手法では、各軸方向の運動に対して、消費電力測定結果を基にしたコストを設定し、その値を用いて工具経路探索を行う。図4に提案手法の概念図を示す。各軸方向の移動コストを設定することで、消費エネルギーの小さい方向を優先した工具経路を自動生成することができる。例えば、前ページの図2で示した工作機械では、Y軸方向の送り運動がX軸方向より大きな電力を消費することが確認されている。そこで、X軸方向のコストを小さく、Y軸方向のコストを大きく設定することで、システムは自動的にX軸方向主体の工具経路を生成する。



DMG MORI 史上最高の次世代ターニングセンタ NLX 2500 | 700 2nd Generation



“高精度、最小熱変位”で多種多様なワークにフレキシブルに対応

“40番マシニングセンタと同等のミーリング能力”

DBB測定 (実測値) ダブルボールバーを用いた円運動精度試験 3.3 μm XY平面 (両方向) ステール仕様

アウターレース // S50C φ95 mm × 200 mm 自動車

マニホールドブロック // SUS303 35 mm × 40 mm × 100 mm 油圧機器

スプール // S45C φ70 mm × 360 mm 油圧機器

ギヤシャフト // S45C φ100 mm × 200 mm 産業機器

スプロケット // S45C φ180 mm × 80 mm 産業機器

BMT (ビルトインモニター・タレット)

<h3>工程集約</h3> <p>従来工程*からサイクルタイム</p> <h1>49%短縮</h1> <p>*ターニングセンタ × 1台・2工程、立形マシニングセンタ × 1台・1工程をNLX 2500 2nd Generation × 1台、2工程に置き換えた場合</p>	<h3>自動化</h3> <p>大貫通穴主軸 両軸搭載 + 大型パーフィード</p> <p>豊富な“自動化ラインナップ”と徹底した“加工3要対策”により自動化を推進</p>	<h3>GX</h3> <p>省エネでサステナブルな生産を実現</p> <p>年間CO₂削減量 -1,890 kg</p> <p>樹木の植樹に換算すると クスノキ 63本分</p> <p>*年間稼働時間2,000時間 / ワーク3,500個 / クスノキ1本あたりCO₂吸収量を年間30 kg-CO₂として換算</p>
---	--	--

by DX デジタルの力で業務効率化を図り作業環境改善

新操作盤 ERGOline X標準搭載 MAPP5仕様 FANUC F31B Plus

SIEMENS仕様 SIEMENS SINUMERIK ONE

変革を通じて生まれる新たな時代

UNITED GRINDING JAPAN

2025年1月から、日本市場において
プロファイル平面研削、円筒研削、工具加工技術が統合され、
「ユナイテッドグライディング株式会社」が発足しました。

ユナイテッドグライディング株式会社 | grinding.jp
東京本社オフィス 東京都大田区大森北4-10-8 | TEL 03-6801-6140
名古屋オフィス 愛知県安城市三河安城町1-10-14 | TEL 0566-71-1666

UNITED FOR YOUR SUCCESS



MÄGERLE | BLOHM | JUNG | STUDER | SCHAUDT | MIKROSA | WALTER | EWAG | IRPD

MITSUI SEIKI

<https://www.mitsuseiki.co.jp>

5軸制御立形マシニングセンタ

Vertex 55X III

直線3軸が箱型一体ベッドの上
にある構造を生かし、φ400mm
テーブルを搭載しながら、コンパクトな機械本体で工具やワーク
への接近性が良好です。

高精度シグ研削盤

J350G

従来機に比べ砥石自動切込み
ストロークを大幅に拡張したこ
とにより異径穴の自動加工範囲
が拡大しました。

本社工場：〒350-0193 埼玉県比企郡川島町八幡6-13 TEL:049-297-5555 (代表)
営業所：東日本営業所、名古屋営業所、西日本営業所

技術革新続く

また、本研究では単
なる監視だけでなく、
VR空間内で切削シミ
ュレーションを行う機
能についても検討して
いる。従来のVR加工
は、視覚的な切削表現
が中心であり、除去体
積や切削負荷を定量的
に扱うことは難しくか
つた。そこで筆者らは、
ポータル法およびメッシ
ュ法を用いた切削
加工条件や工具経路に
関する情報を、VR空間
上で可視化すること
で、加工状態や消費電
力、切削速度、切削エ
ネルギをリアルタイム
で把握可能となること
を目標としている(図8)。

デジタル技術による 省エネ加工技術の発展

本稿では、工作機械
の各軸運動時の消費電
力測定と、その結果を
利用した省エネ工経路
最適化について述べ
た。従来、工作機械の
省エネ化では、高効率
モーターや周辺機器の
更新など設備側の改良
が中心であったが、実
際の生産現場では設
備更新に伴うコストや
停止期間が課題とな
る。そのため、既存設
備を活用した省エネ技
術の導入が重要とな
っている。筆者らは、
工作機械の運動方向
や機械構造を用いた
デジタルツイン技術
により、加工状態を
リアルタイムで把握
させ、加工条件や工
具経路を最適化する
ことで、加工条件や
工具経路によるエネ
ルギ消費を削減する
ことを目指している。
今後、送り駆動系
の省エネ化や、加工
設計の重要な指標と
して、省エネ加工技
術の発展が期待され
る。

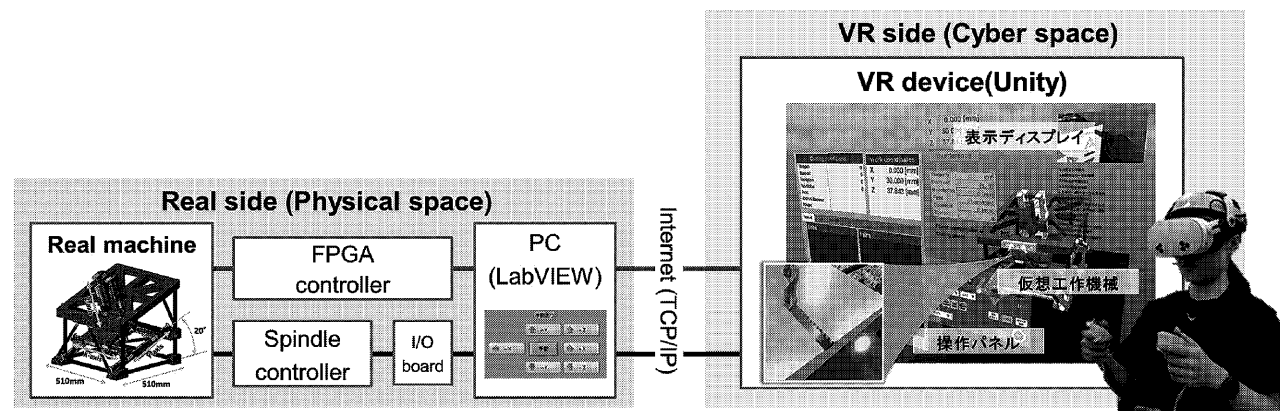


図7 デジタルツインVR工作機械操作シミュレーターの概要

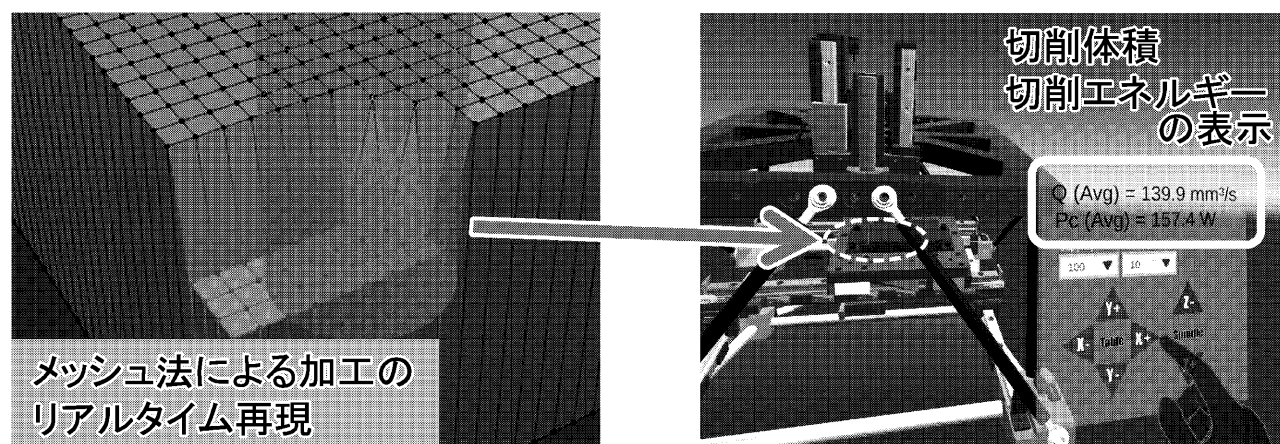


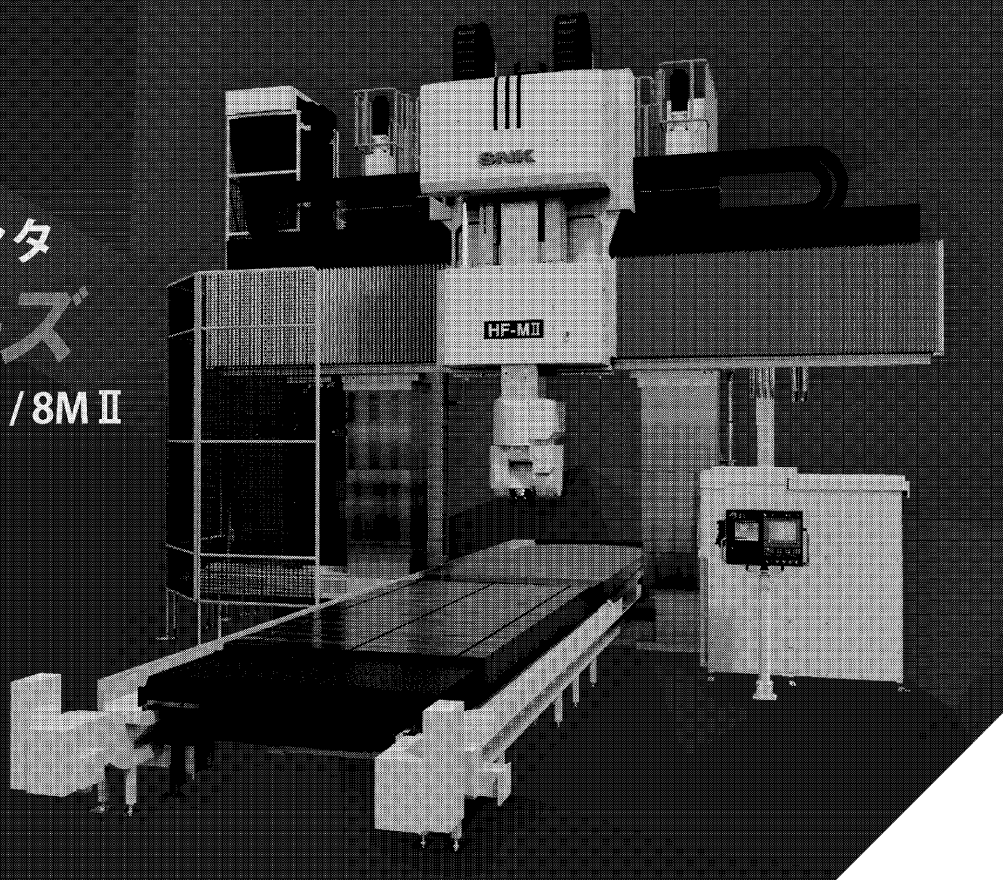
図8 メッシュ変形法による加工再現と切削動力シミュレーション

また、本研究では単
なる監視だけでなく、
VR空間内で切削シミ
ュレーションを行う機
能についても検討して
いる。従来のVR加工
は、視覚的な切削表現
が中心であり、除去体
積や切削負荷を定量的
に扱うことは難しくか
つた。そこで筆者らは、
ポータル法およびメッシ
ュ法を用いた切削
加工条件や工具経路に
関する情報を、VR空間
上で可視化すること
で、加工状態や消費電
力、切削速度、切削エ
ネルギをリアルタイム
で把握可能となること
を目標としている(図8)。

SNK

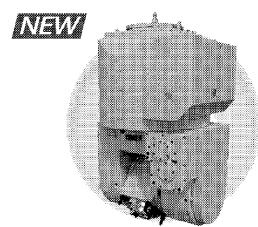
圧倒的パワーと無限のカスタマイズ性

NEW
門型5面マシニングセンタ
HF-M II シリーズ
HF-4M II / 5M II / 6M II / 7M II / 8M II



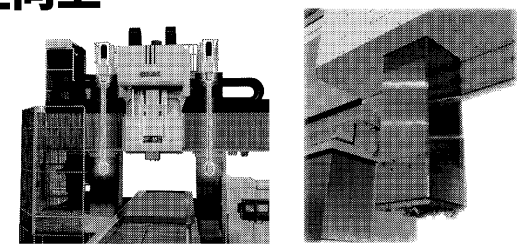
強力切削が可能な5軸アタッチメント

- B/C 軸共にギア駆動による高トルク旋回軸を有しており、鉄をバリバリ削れる5軸アタッチメントとして強力切削を実現



各機能の能力アップによる生産性向上

- 各軸の送り駆動/摺動方式の強化により
速度 20%以上アップ
- SNK 独自技術の遠心力铸造管から削りだした角ラムを採用し、剛性アップ



油と電力の消費量削減で環境負荷を低減

- X/Y軸のリニアガイド化
Z/W軸のバランスシリンダー廃止
- 油量の削減によるポンプなどの小型化
オイルマチックのインバータ化

作動油量
最大
70%削減

消費電力
最大
18%削減



SNK 新日本工機株式会社
SHIN NIPPON KOKI CO., LTD.

本社(大阪) TEL. 072-355-1310 FAX. 072-273-2810
東京支社 TEL. 03-6670-6615 FAX. 03-3636-7711
名古屋支店 TEL. 052-209-9099 FAX. 052-209-5583
広島出張所 TEL. 082-221-8556 FAX. 082-227-5009
<https://www.snkc.co.jp>