NC加工シミュレーションに基づく機械制御システム

沼津工業高等専門学校
制御情報工学科　教授
地域共同テクノセンター長
藤尾　三紀夫

世界中で価格競争が続けられるローエンドな工作機械に対し、ハイエンドでは日本の優位性が維持され、中国や韓国、台湾などの追従を許さない状況にある。これは日本の数値制御（NC）技術の向上と知能化によるところ大きいが、多軸CAMは欧米製品を中心としており、日本のNC技術を十分に生かし切れていない。ここでは、日本の工作機械の優位性を維持するため、CAMとNCだけではなく、NC加工シミュレーション技術を統合した次世代の加工システムの一手法について紹介する。

■工作機械の発展とNC制御技術

工作機械は、機械を作る機械「マザーマシン」と呼ばれ、そのマシンを制御しているのがNC制御装置である。工作機械のNC化に早急に取り組んだ日本は、1982年から2008年までの27年の間、工作機械生産額で世界第1位を維持してきた。現在でも、5軸を含めたハイエンドなNC工作機械では日本の優位性が維持され、中国や韓国、台湾の追従を許さない状況にある。近年のNC制御装置における位置検出器の高精度化で、NC制御装置の補間指令精度は高精度化が進み、工作機械の進歩も伴ってナノ精度の位置指令で加工が行われている。このように加工の高精度化が進むと、さまざまな誤差要因に対する補償が重要になってくる。これらの例として、実加工時における工具の熱膨張、たわみ、摩耗に起因する誤差といった時間的変化を伴う誤差要因が挙げられる。これに対応するには、高精度な加工シミュレーションにより誤差を求めて誤差補正を行うか、リアルタイムに測定し、サーボデータに補正をかける必要がある。

◇◇

■NC制御技術と加工システムの現状と問題点

このようにNC工作機械は著しい進歩を遂げ、NC制御装置の出力であるサーボデータは格段の進歩を遂げた。一方、入力であるNCプログラムはAPT（オートマティカリー・プログラムド・ツール）に始まり、媒体を変えながらも、半世紀にわたり、円弧と直線を基準としたデータ形式を利用している。NCプログラムの利用はCAMが持つ高精度な幾何情報を劣化した直線と円弧で近似していることを意味する。また複雑な加工や5軸加工においては、熟練者でもNCプログラムの中身からその経路を予測することは困難になってきている。この問題を解決する手法としてNURBS（CGによる曲線表現法）補間が開発されたが、入力となるNCプログラムがCAMで計算された点群データから予測されていたため、形状を正確に再現できず、その効果を十分発揮できていない。逆に、NC制御装置の中でNCプログラムから形状を予測する先読み補間前加減速処理が行われているが、幾何情報が劣化したNCプログラムの点群からの幾何情報の再現（形状予測）は不可能である。

◇◇

■NC加工シミュレーションに基づく機械制御システムの提案

NCプログラムを利用することによる幾何情報の劣化と加工誤差の補償に対応する一手法として筆者らはNC加工シミュレーションに基づく機械制御システムを提案している。**図1**は提案するシステムの構成図である。加工対象形状の幾何情報から形状に適したサーボモーターを直接生成する形状補間とともに、このデータから加工中の誤差を予測するNC加工シミュレーション、そして得られた誤差から補正制御する予測補正の三つの機能から構成されている。提案システムでは、NC制御装置は基本的な手動運転機能とサーボデータを元に工作機械を駆動する機能、およびHMI（ヒューマン・マシン・インターフェース）機能のみを有することで、自動運転においては制御機能を持たず、サーボデータをサーボモーターに配信するクライアントとなる。

そして、提案するシステムをサーバに配置し、工作機械ごとに適切な機械特性などのパラメーターを与えてサーボデータを生成することで、どのような特性を持った工作機械であっても、同じ精度で加工することが可能となる。これまでの研究で、形状補間は最新のコンピューター数値制御（CNC）のNRUBS補間や先読み予測制御機能と比較して優位性を持つことを確認している。

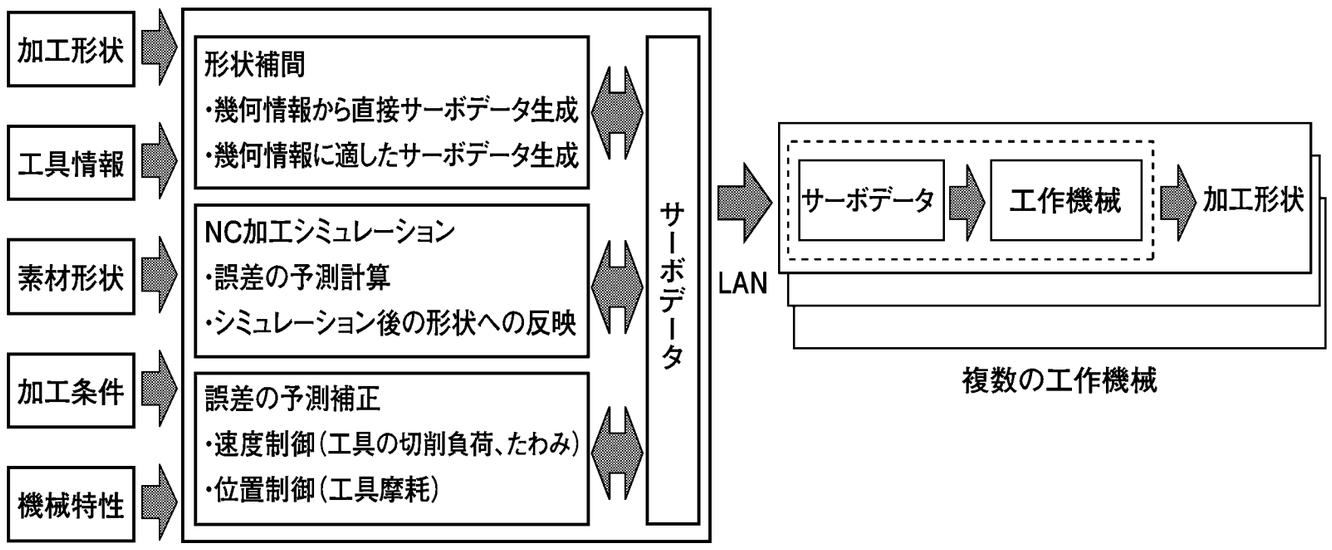


図1　NC加工シミュレーションに基づく機械制御システムの構成図

■NC加工シミュレーションによる誤差の予測

NC加工シミュレーションによる誤差の予測については、工具の切削負荷や工具のたわみ、摩耗を対象として研究を進めている。同研究では、高速処理を行うためにNC加工シミュレーションを用いて予測を行っており、得られた加工終了時の形状に誤差を再現すると同時に色により再現し、予測される誤差量の可視化を行っている。**図2**は半径50ミリメートルの円筒から直径10ミリメートルのフラットエンドミル（2枚刃ハイス）を用いて半径方向に1ミリメートル、高さ方向に5ミリメートルで反時計回りに円弧で輪郭加工した際の、NC加工シミュレーション後の表示形状の外周部の拡大図を示している。この時、工具の突き出し量80ミリメートル、主軸回転数毎分400回転で、送り速度を毎分50ミリメートルとした。図2（a）は現在一般的に用いられている工具を剛体とした場合のNC加工シミュレーション後の形状輪郭。図2（b）は開発した工具のたわみを組み込んだNC加工シミュレーション後の形状の輪郭を拡大表示した図である。図2（b）より、加工後の形状に工具たわみによる削り残しを再現できていることが確認できる。

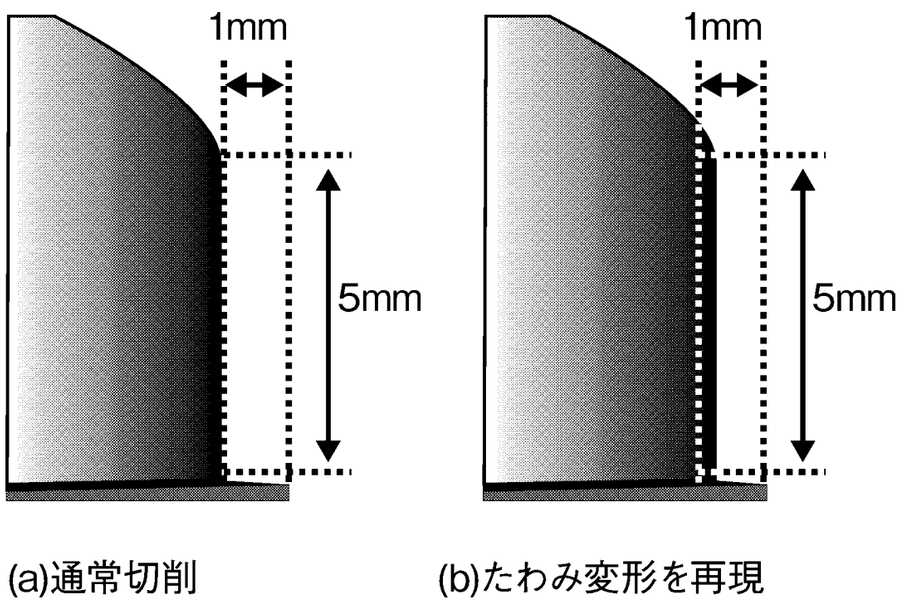
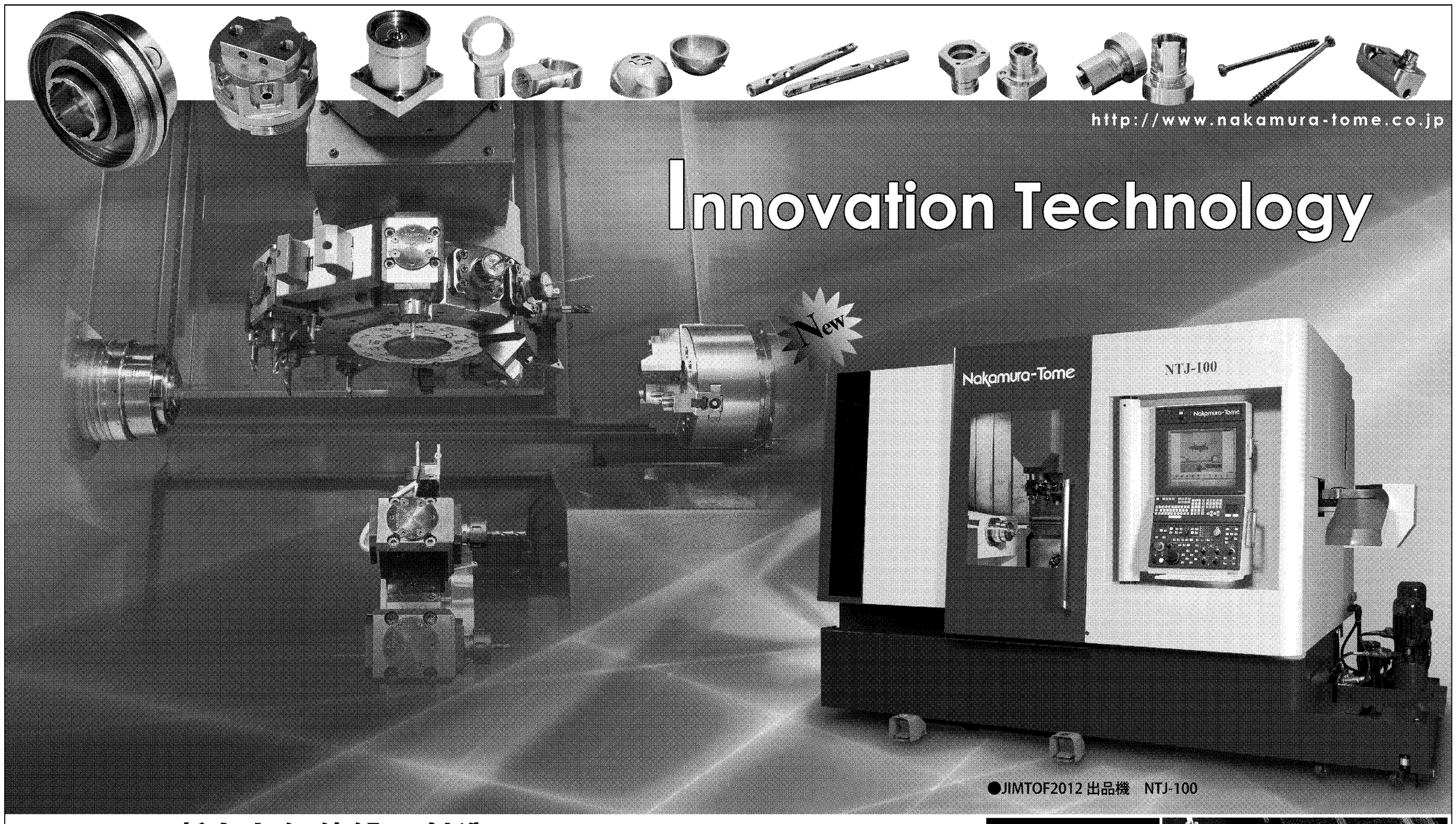


図2　NC加工シミュレーション後の形状

■誤差の予測補正システムの試作と今後の課題

提案する誤差の予測補正手法を検証するため、立型マシニングセンターを用いて、切削負荷と工具のたわみ、摩耗についてNC加工シミュレーションに基づく機械制御システムの試作を行った。工具のたわみや切削負荷の誤差の予測補正は、切削速度制御により補正し、工具の摩耗については工具の切削位置の摩耗量に基づいて、位置制御により補正している。試作システムの検証の結果、切削負荷と工具たわみの誤差の予測補正について、提案手法により誤差を低減できることを確認した。しかし、工具摩耗については切削位置の予測精度が低く、サーボデータの位置データに反映するに至っていない。

試作システムの評価の結果、提案するシステムの課題として挙げられるのがNC加工シミュレーションによる誤差の予測精度の向上である。CAMとしての処理時間を考慮し、処理に時間を要するが、高精度である切削シミュレーションの採用も検討している。今後はこれらの課題について開発と改良を行うと同時に実験と評価を行い、試作システムの完成を目指す。



新たな価値観の創造　時代の変化に俊敏に対応する中村留の複合加工機
中村留精密工業株式会社
本社〒920-2195 石川県白山市熱野町ロ-15番地　TEL 076-273-1111　FAX 076-273-4312
中村留精密工業(株)
E2030
東2ホール
第26回 日本国際工作機械見本市
26th JAPAN INTERNATIONAL MACHINE TOOL FAIR
JIMTOF2012
2012年11月1日(木)▸11月6日(火) 東京ビッグサイト
Nov 1(Thu.)▸Nov 6(Tue.), 2012 Tokyo Big Sight