

# NC 工作機械シミュレータ：NCSIM

栗原 徹（システム情報 3 研助教）\*

平成 26 年 4 月 20 日

## 1 はじめに

### 1.1 NC 工作機械

工具の動きを数値制御することにより加工を行う工作機械を数値制御工作機械、もしくは NC<sup>1</sup> 工作機械という。NC 工作機械は G コードと呼ばれる工作機械の動作手順を指定するプログラムに従って加工を行う。G コードは工作機械内蔵のインタプリタにより解釈され、基本的な動作に分解される。工具のアクチュエータなどからなる機械系は、解釈された G コードに対応する制御信号に従って動作を実現し、対象物の加工を行う。

### 1.2 NC 工作機械シミュレータ (NCSIM)

NC 工作機械は G コードを解釈し、動作を実現するが、その結果については保証しない。つまり、工具に無理な負担をかけたり、工具が障害物にぶつかるといった危険な動作を含んだ G コードであっても、記述通り加工を行おうとする。このため、G コードのプログラミングに際しては、G コードを記述するユーザーが工具の動きや工具にかかる負荷の大きさなどについて十分に注意する必要がある。また、G コードは動作の手順を指定するコマンドの集合であり、加工結果に対する見通しが非常に悪い。

このような問題点を解決するため、加工時の安全性を検査し、加工結果を確認するためのツールとして、計算機上で G コードによる加工をシミュレートする NC 工作機械シミュレータ（以下 NCSIM）が開発された (Fig. 1)。

### 1.3 NCSIM 開発の歴史

NCSIM の開発は、当時計数工学科の学部三年生であった下平、長橋、天田（平成 2 年卒業）の三氏の手による、当時のファナック社製 NC 工作機械用のシミュレータに始まる。その後、現行の NC 工作機械である IMAC-TP（ヤマザキマザック社）の購入に伴い、計数工学専攻安藤研究室及び計数工学技術室のメンバーからなる NCSIM 開発チームによって大幅な改良が加えられた。またそれまでの UNIX/X Window から Windows への移植も行われ、さらに OpenGL を用いた高度なグラフィクス機能の導入など、時代の流れに則したより高機能で使いやすいツールへと進化を遂げつつ現在に至っている (Table 1)。

## 2 設計

### 2.1 システム構成

NCSIM の目的は、G コードの安全性を検査し、加工状況を表示することにある。従って、NCSIM に求められる機能は

---

\*平成 26 年度より本課題を担当する深山 理（システム 7 研助教）による追記あり。

<sup>1</sup>Numerical Control（数値制御）の略

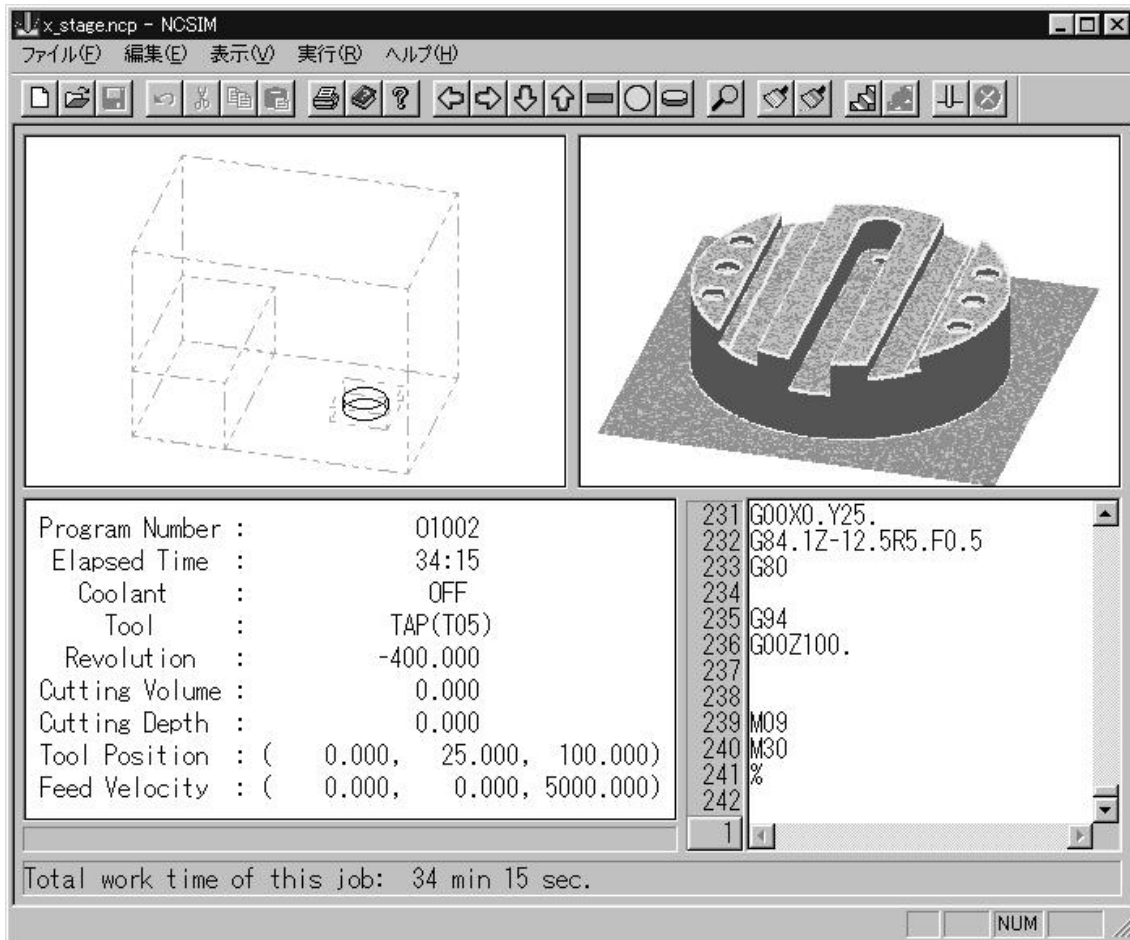


Fig. 1. NCSIM 起動画面 (NCSIM for Windows 2.0).

Table 1. NCSIM 開発の歴史

年次	開発チームメンバー	開発内容
昭和 63 年度 (1988-1989)	下平、長橋、天田 (計測コース 3 年)	ファナック社 FANUC TAPE CENTER-MODEL DV 対応 X Window による基礎開発
平成 9 年度 (1997-1998)	安藤教授、安部助手、藤森、寺尾 (安藤研究室) 鈴木助手、瀬原技術官 (計数工学技術室)	ヤマザキマザック社 IMAC-TP への仕様変更 プログラム各部の独立性強化
平成 10 年度 (1998-1999)	安藤教授、安部助手、小野 (安藤研究室) 瀬原技術官 (計数工学技術室) 丹下、住田 (計測コース 3 年)	Visual C++ による Windows への移植
平成 11 年度 (1999-2000)	安藤教授、来海助手、小野、丹下 (安藤研究室) 瀬原技術官 (計数工学技術室) 狩野、岸本 (計測コース 3 年)	OpenGL による加工物体のポリゴン表示 (Windows/UNIX)

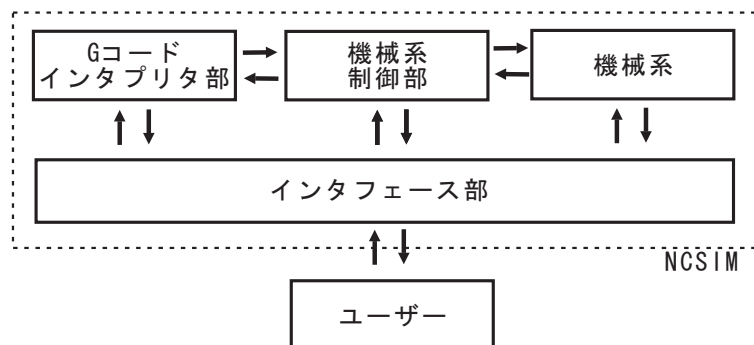


Fig. 2. NCSIM のシステム構成

- Gコードの解釈
- NC 工作機械の内部機構、及び加工工程のシミュレート
- ユーザーが必要とする情報（内部パラメータやエラーの有無など）の提供

の三つに集約される。実際の NC 工作機械においては、G コードの解釈は内蔵のインタプリタによって行われる。また、加工は内部装置のアクチュエータとそれらを制御するコントローラにより実現される。そして、ユーザーとの情報のやりとりは NC 工作機械のコントロールパネルのボタンやパラメータ表示画面に相当する。このような NC 工作機械の実際の構造を考慮し、NCSIM のシステムは Fig. 2 に示すように、大きく四つの部分からなる構成をとる。

G コードインタプリタ部 .....G コードを文法的に解釈し、加工の手順を把握する

機械系制御部 .....加工手順に従い、機械系の動作を制御する

機械系 .....制御信号に基づいて動作する内部装置のアクチュエータに相当し、物理的な加工工程をシミュレートする

インタフェース部 .....上記の三つのレベルにおける内部パラメータを把握し、ユーザーからの入力を受け取り、必要な情報を表示する

G コードは一行単位で解釈が行われ、行末の改行コードによってその行に含まれる内容が実行される。NCSIM では上記のシステム構成に基づき、四つの部分が相互に情報をやりとりしてこの動作のシミュレートと表示をすることになる。また、G コードの文法や加工動作の検査は各部分で行われ、インタフェース部を介してユーザに提示される。

## 2.2 G コードインタプリタ部

G コードインタプリタ部では、G コードの解釈と文法の検査を行う。本来は NC 工作機械に内蔵されたインタプリタと同様のアルゴリズムを用いて G コードの解釈を行うべきであるが、その詳しい内容は公開されていないため、NCSIM では G コードの文法に矛盾しない独自のアルゴリズムを用いて G コードの解釈を行っている。

しかし、現行のアルゴリズムでは解釈の方法論が整理されておらず、また、G コードインタプリタ部が G コードの実行も行うため、G コードの解釈及び検査という本来の機能を独立した形で実現できていないという問題点を抱えている。

## 2.3 機械系制御部

G コードインタプリタで解釈された動作手順に従い、機械系に対して制御信号を送る。現実の NC 工作機械においては、機械系へ動作信号パルスを送るコントローラに相当し、機械系の持つ基本的な動作を組み合わせることで複雑な動作を実現する役割を担う。例えば、円補間による切削加工については、制御部において一工程を微小な直線切削工程へ分解し、機械系を動作させる必要がある。

このような構造を考慮し、NCSIM では実現したい G コードに応じて（機械系に属する）基本的なルーチンを組み合わせることで呼び出すアルゴリズムをとっている。

## 2.4 機械系

機械系は内部装置のアクチュエータに相当し、機械系制御部からの動作信号に従い、基本動作を実現する。NCSIMでは、個々の基本動作に相当するルーチンを用意し、これを機械系制御部が呼び出す構造になっている。

このような機械系制御部と機械系からなる構造は、現時点では加工工程の物理的シミュレーションをある程度正確に実現している。しかし、障害物との衝突や過負荷な切削動作の検出など、物理的な動作の検査方式が統一されていない点が問題点である。

## 2.5 インターフェース部

インターフェース部は、Gコードインタプリタ部、機械系制御部、機械系の内部パラメータを参照して必要な情報を表示する出力機能と、ユーザーからの入力によりNCSIMの動作モードやパラメータを切替える入力機能を実現している。

インターフェース部はNCSIMの使いやすさを大きく左右する点で重要な役割を担う。現行のシステムは現時点で考えられる必要最小限の機能を実現しているが、今後もユーザーのニーズに応じて新たな機能を追加する必要がある。

## 2.6 加工対象物のモデル

NCSIMでは加工対象の表現に垂直方向に伸びた線分を $xy$ 平面上に敷き詰めたモデルを採用している。これは、三次元の物体を $x, y$ を変数とする高さの関数 $z(x, y)$ の分布とみなし、 $x, y$ について離散化したモデルである(ハイトデータ)。実際の加工では $xy$ 平面内の切削が大部分であるため、NCSIMではこのようなモデルを採用しているが、切削によっては正しい形状を表現できないという問題点を抱えている。

数値制御による加工の特徴の一つでもある三次元方向の複雑な切削結果を表現するのに適した手法として、現在ポリゴン表現の導入に着手しており、Windows 2.0版ではすでにこの方式により加工物体の表示を行っている(NCSIM Viewer、付録C参照)。将来的には加工中のデータそのものをハイトではなくポリゴンに置き換えたいと考えているが、切削が進むにつれ次々と新たな立体表面が生成されていくというNCSIMの大きな特色は、まさにポリゴン表現における本質的な難しさであるとともに面白さでもあり、具体的な実装方法については十分な検討を要するものの魅力的な課題であると言える。

## 2.7 エラーと警告

NC工作機械稼働時のトラブルや事故を未然に防ぐため、NCSIMではGコードプログラムに対して詳細な検査を行う。検査対象はGコードプログラムの書法と加工動作の安全性である。

Gコードプログラムの検査はGコードインタプリタ部で行う。Gコードの記述に文法的な間違いがある場合や不明確な記述が問題がある場合、致命的な時にはエラー、それ以外の場合は警告を表示する。

NC工作機械の加工動作の安全性検査は機械系制御部と機械系で行う。検査は大きく「工具先端位置の動作範囲」と「工具にかかる負荷」の二点に注目して行われ、危険な加工が行われた場合はその時点でエラーを表示し、動作を止める。

検査項目の詳細に関しては付録A.3にまとめてある。

## 3 ソフトウェア実装

NCSIMは現在Table 2に示すようにUNIX(X Window Release 6.0)およびWindows(95/98/NT/2000/XP)の2つのバージョンが用意されている。ソースファイルは機能に応じてGコードインタプリタ部、機械系制御部、機械系、インターフェース部に対応するものに分類して個々の役割を明確にした。機械系制御部及びインターフェース部は扱う内容が多いため、さらに二つのソースファイルに分類している。OSに依存しない箇所はいずれのバージョンでも修正なしにそのまま使えるよう設計することにより、高い移植性を実現している。

各ルーチンについては上記のような整理を行っているが、複数人で開発を行っている影響もあり、変数や構造体については未整理の部分も多い。今後の開発のためにもソースコードの整理が必要である。

Table 2. NCSIM の対応 OS と使用言語・ライブラリ

OS	使用言語	ライブラリ
UNIX	C	Xlib, X Toolkit (Xt Intrinsics + Athena widget)
Windows 95/98/NT/2000/XP	C++	Windows グラフィクス標準, OpenGL 1.1, GLUT 3.6

## 4 おわりに

NCSIM の使命は、加工対象と工具との間の物理的な相互作用まで綿密に考慮した実際の加工の状況をできる限り正確にかつ理解しやすい形で伝えることにより、よりよい設計のための環境を利用者に提供することである。そのために実際の NC 工作機械のシステム構成を忠実に模擬しつつユーザインタフェースを充実させたシミュレータ開発のための努力が続けられていることをここまで述べてきた。

これに対し、現状で不十分であり改善すべきだと考えられる点がまだいくつか残っている。2.2 節で指摘した通り、現在の NCSIM では G コードインタプリタ部が解釈とコマンドの実行を同時に行い、本来は独立して行われるべき両機能の分離が明確でない。また、G コード解釈のアルゴリズムも整理されておらず、わかりにくい構造になっている。その他、複数人で開発を行っていることで、ソースコードの書式や変数名などの統一が完全でないことや、他のアルゴリズムについても改善の余地があるという点で、NCSIM はまだまだ開発段階にあると言える。

一方、新たな技術の導入による今後のさらなる発展に向けての構想も練られている。2.6 で述べた通り、近年急速に進歩しているグラフィクスツールがポリゴン表現という形で NCSIM に整合性よく導入できることから、加工対象のモデルを完全にポリゴンで記述する方式への移行が検討されている。また使用可能 G コードや表示パラメータの拡張により機能性を向上させる試みや、さらに G コードエディタまで含む統合開発環境を構築し、インターネットを活用しつつオンラインで NC 工作機械と通信し加工を実行するという大きな目標も視野に入れている。

このように現行の問題点を解決しつつさらに有用なツールへと進化させることを目指し、今後も開発を続けていく予定である。

## A NCSIMにおけるGコードプログラミングの注意点

### A.1 NCSIMの動作モード

NCSIMの使用目的には、加工形状や加工時間など、全体の実行結果が知りたい場合と、Gコードの各行の動作について詳細に知りたい場合の二つがある。これらに対応して、NCSIMは以下の二つの動作モードを備えている。

連続実行モード                    Gコードの解釈、実行を中断することなく連続して行うモード  
シングルステップモード        Gコードを一行ずつ解釈、実行するモード<sup>2</sup>

これらのモードはメニューやボタン<sup>3</sup>、Gコード中のコメント<sup>4</sup>により指定、変更することができる。

### A.2 使用可能なGコード及びMコード

NCSIMで使用可能なGコード及びMコードの一部を以下に示す。

G00	早送り位置決め	G01	直線補間
G02	円弧補間・ヘリカル補間 CW	G03	円弧補間・ヘリカル補間 CCW
G17	XY平面選択	G21	メトリック座標指定
G40	工具径補正キャンセル	G49	工具長補正キャンセル
G53	機械座標系選択	G54	ワーク座標系設定
G80	固定サイクルキャンセル	G84.1	タッピングサイクル(同期式)
G85	ボーリングサイクル	G90	アブソリュート(絶対値)指令
G90	インクリメンタル(増分値)指令	G94	毎分送り
G95	毎回転送り	G98	イニシャル点復帰
G99	R点復帰		
M00	プログラムストップ	M03	主軸正転起動
M05	主軸停止	M08	クーラント <sup>5</sup> ・オン
M09	クーラント・オフ	M30	プログラムエンド

### A.3 検査項目

#### (1) 加工動作の検査項目

NCSIMでは、NC工作機械の加工動作について主に「工具先端位置の動作範囲」と「工具にかかる負荷」の二つの点に注目して安全性の検査を行っている。加工動作に関する主な検査項目の一部を以下に示す。

工具の逆回転

不可能な工具の移動(ドリルの横方向切削など)

工作対象付近での高速移動

工具回転数の不足や過剰

工具移動速度の過剰

工具負荷の過剰(切削量過大)

<sup>2</sup>“Start” ボタンをクリックすると次の行が実行される。

<sup>3</sup>B.2 参照

<sup>4</sup>A.5 節参照

<sup>5</sup>切削液：冷却及び切削くずの排出のための液体。

障害物との接触

ツール交換時の工作対象との接触

## (2) G コードの検査項目

NCSIM では G コードの文法に対しても詳細なチェックを行う。G コード記述に問題がある場合はエラーや警告を表示する。以下に G コードに関する検査項目を示す。

NCSIM で使用可能なコマンドのみを使う

プログラムの最初の行に%、第二行目にプログラム番号を書く

G コードプログラムの第一行目には、記号“%”のみを書く。また、第二行目にはアルファベット“O”に続いて“Oxxxx”という形式でプログラム番号を書く(“O”はアルファベットであり、数字“0”と間違えやすいので注意)。例えば“O5007”など。

初期化 / 前処理用 G コードをもれなく記入する

NC 工作機械を正しく動作させるためには、各種モジュールの初期化や座標系選択などの前処理について、明確な記述が不可欠であり、これらを省略すると未確定要素が増大し、重大な事故につながる可能性がある。NCSIM では特に重要と思われる初期化、前処理用 G コード<sup>6</sup>について確認を行い、記述がない場合には Warning を表示する。

工具交換の際には必ず工具長補正 (G43) をする

文字 A-Z とそれに与える数値の間にはスペースを置かない

例えば

正 G01

誤 G 01

正 G00 X-60.0 Y-60.0 F200.0

誤 G00 X -60.0 Y -60.0 F 200.0

座標の小数点の書き忘れ

小数点の指定ない場合, [um] と解釈される。

G コードは大文字で書く

日本語文字 (全角文字 / 半角カナ文字) を使用しない

G コードプログラム中に日本語文字 (全角文字・半角カナ文字) を使用してはならない (コメントにも使用しない)。特に全角スペースは Mule などのエディタ上では発見しにくいので注意。

最後の行には“%”を書き、必ず改行する

---

<sup>6</sup>A.2 参照。

## A.4 プログラミング上の注意点

### コメント

命令文とコメントの間にスペースがあると問題が生じる。コメント行として独立させるか、命令文の直後に書く。NC 機械へ転送時にエラーが生じるため、日本語コメントは書かない。

### 工具長補正 G43

z 値を指定しないと、ソフトリミット (z+) というエラーが発生することがある。z の値指定に小数点を忘れないように注意。

### 数値

小数点を忘れない。小数点の指定ない場合、[um] と解釈される。有効数字は 3 桁と考えてよい。5 桁以上指定すると NC への転送に失敗してしまう。

### G85 の命令

G85 Xxx Yyy Rrr Zzz

G85 Xxx Yyy

G85 Xxx Yyy

というように、G85 を省略しないで書くときには、R,Z は省略しない。新たな G85

があると R,Z の値は破棄される。望ましいのは、

G85 Xxx Yyy Rrr Zzz

Xxx Yyy

Xxx Yyy

という感じ。

### 穴あけ/タッピング時の注意

6mm 以上の穴あけ/タッピングを実施しようとする時、切削が刃先に詰まり刃先とワークが固着してドリル刃/タッピング刃が折れてしまう。1 回目は最大 6mm を加工上限として、2 回目以降は 3mm を上限して複数回に分けて行うこと。つまり 10mm の穴あけ/タッピングの際は、6mm+3mm+1mm と 3 回に分けて加工するようにする。送り速度 F は上限 150mm/min とすること。

### G40,G49

G40, G49 はプログラム中であってはならない。過去に暴走したことがある。

## A.5 特殊機能

NCSIM には画面表示およびシミュレーションの実行をコントロールするために、NC 工作機械にはない特殊機能が用意されている。これらは“( #コマンド)”のような、特殊なコメントとしてプログラム中に書かれる。“(” と “#” と番号との間にスペースを空けてしまうと単なるコメントとして無視される。また NC 工作機械では括弧で括られた文字列をコメントとして無視するので、機械にかけるときにこれを取り除く必要はない。

#stepoff 連続実行モード (シングルステップモード OFF)

#stepon シングルステップモード ON

#pause 一時停止

#draw 工作結果を三次元表示する

#stepoff,#stepon の切替えは “Single Step” ボタンでも操作できる。デフォルトは連続実行モードである。

#pause はシミュレーションを一時停止させる。“Start” ボタンをクリックすることでシミュレーションが再開する。

#draw は途中で指定しても構わないが、多少時間がかかる。“Draw” ボタンをクリックすれば、いつでもその時点での工作結果を表示することができる。



## B NCSIM for Windows Ver.2.0 の使用法

演習で用いる NCSIM for Windows Ver.2.0 の使用法の概略を述べる。なお NCSIM 付属のヘルプも参照されたい。

### B.1 NCSIM の起動画面

NCSIM を起動すると Fig. 3 のような画面が現れる。起動画面は以下の各部から構成されている。

プルダウンメニュー	各項目に NCSIM の詳細なメニューが並べてある
ツールバー	NCSIM の機能に対応するボタンが並べてある
刃先位置の三次元表示	工具の刃先の位置を三次元表示する
切削対象の三次元表示	切削対象を三次元表示する
切削情報の表示	G コード実行中の切削に関する情報を表示する
G コードの表示	実行中あるいは編集中の G コードを表示する
切削体積表示バー	G コード実行中の切削体積を最大許容体積に対する比率として表示する
コマンド / エラーメッセージ	実行中の G コードの内容あるいはエラー内容を表示する

### B.2 NCSIM の機能

NCSIM for Windows 2.0 では以下の 5 つの機能が実行できる。

1. ファイル入出力
2. G コード編集
3. G コード実行
4. 刃先位置・切削対象表示
5. ヘルプ

それぞれの具体的な内容は Fig. 3 の起動画面のプルダウンメニューにまとめられている。またそれらの機能の多くは対応するツールバーのボタンをクリックしても実行できる。上記の 5 つの機能の内容は以下に示す通りである。なお括弧内は Fig. 3 に示すツールバーのボタンの番号と対応する。

#### 1) ファイル入出力メニュー

新規ファイル (1)	G コードを新たに編集する
開く (2)	既存の G コードのファイルを読み込む
上書き保存 (3)	編集した G コードをそのままのファイル名で保存する
名前を付けて保存	編集した G コードに新たなファイル名を付けて保存する
EPS 形式で保存	切削対象の三次元表示画面を EPS 形式で保存する
印刷 (8)	印刷を実行する
印刷プレビュー	印刷コマンドで出力される内容を画面表示する
プリンタの設定	印刷のための出力先プリンタを設定する
アプリケーションの終了	NCSIM を終了する

#### 2) G コード編集メニュー

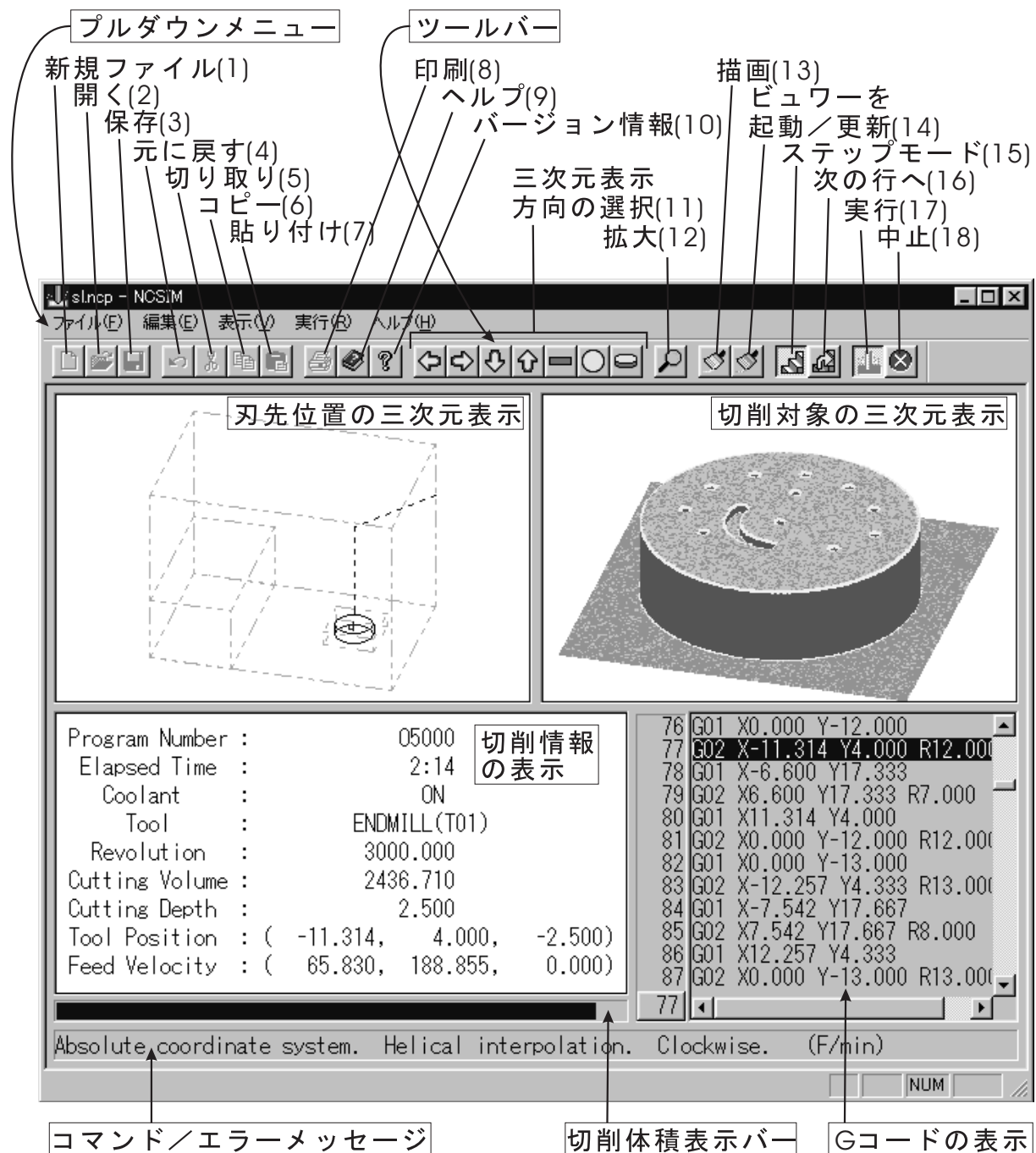


Fig. 3. NCSIM の起動画面と各部の機能。

- 元に戻す (4) G コードの変更部分を元に戻す
- 切り取り (5) G コード中のマウスで指定した領域を削除する
- コピー (6) G コード中のマウスで指定した領域をバッファにコピーする
- 貼り付け (7) バッファにコピーされた内容を G コード中に貼り付ける

### 3) G コード実行メニュー

- 実行 (17) G コードを実行する
- 中止 (18) G コードの実行を中止する
- ステップモード (15) G コードを 1 行ごとに実行する
- 次の行へ (16) ステップモードにおいて G コードの次の行を実行する

### 4) 刃先位置・切削対象表示メニュー

- 真上 (11) 三次元情報を真上から表示する
- 真横 (11) 三次元情報を真横から表示する
- デフォルト (11) 三次元情報をデフォルトの方向から表示する
- 拡大 (12) 工具の刃先の位置を拡大表示する
- 描画 (13) 切削対象の三次元形状を表示する
- ビューワーを起動 / 更新 (14) NCSIM Viewer を起動あるいはその表示内容を更新する

### 5) ヘルプメニュー

- トピックの検索 (9) ヘルプの画面を表示する
- バージョン情報 (10) バージョンおよびダウンロード先 URL を表示する

## B.3 切削に関する情報

画面下段左には切削に関する以下の情報が表示される。

Program Number	G コードプログラムの番号
Elapsed Time	作業開始からの経過時間 [min : sec]
Coolant	クーラント (切削液) の ON/OFF
Tool	現在使用中の工具 (工具番号)
Revolution	主軸の回転速度 [rpm]
Cutting Volume	現在の切削体積 [mm <sup>3</sup> /min]
Cutting Depth	現在の切削高さの最大値 [mm]
Tool Position	現在の工具先端の座標 [mm]
Feed Velocity	工具の移動速度 [mm/min]

“Cutting Volume” の数字が反転している時は工具に負担がかかっているが、短時間なら大丈夫である。“Revolution” はプラスが時計周りである。

## B.4 エラーメッセージ

以下によく見られるエラーメッセージを示す。エラーが検出されたら該当箇所を十分に修正・確認すること。

Invalid numerical parameter. (不正な数値パラメータ)

本来整数であるべきアドレスに、小数点以下をつけてしまったなど。

**Undefined character. (未定義文字)**

アルファベット小文字などを使った。これらの文字を使うのを止める必要がある。

**Can't find center. (中心が求められません)**

おそらく座標の指定が間違っていて、中心の位置が与えられた情報で計算できないのであろう。例えば G02 R70.0 等とやってしまうと円の中心が求められない。こういう場合は中心を相対座標で指定する円弧補間を使用する。

**Too large volume of cutting. (切削体積が大き過ぎます)**

工具の送り速度が速過ぎる。遅くする必要がある。

**Collision will occur between a tool and the object. (切削対象にぶつかる可能性があります)**

工具の動く道筋に無理がある。切削対象との位置関係を確認し、工具の動く方向を変える必要がある。



Fig. 4. NCSIM Viewer の画面。

## C NCSIM Viewer の使用法

NCSIM Viewer は NCSIM でシミュレートされた切削結果を三次元グラフィックスとして表示するソフトウェアであり、NCSIM for Windows 2.0 に標準で装備されている。切削結果を任意の方向・距離から観察することができるため、G コードについてより詳細な検討が可能となる。

### C.1 動作環境・使用言語・ライブラリ

NCSIM Viewer は以下の条件を満たす環境で動作する。

- Windows 95/98, Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP <sup>7</sup>

<sup>7</sup>H26.4.21 開発者による公式対応ではないが、Windows Vista, Windows 7, Windows 8 において、特に問題なく動作することを確認した。

- OpenGL 1.1 以降 (Windows 95 以外では標準でインストールされている)

開発には C++ を用い、OpenGL のライブラリを利用して三次元グラフィックスの表示を行っている。またウィンドウやメニュー等の処理については、OpenGL のユーティリティライブラリである GLUT を利用した。

## C.2 操作方法

NCSIM Viewer は、NCSIM で「表示」メニューから「ビューワーを起動/更新」を選択することによって起動し、その時点での切削状態が表示される。既に起動している場合にはデータの送信のみが行われ、表示内容が更新される。マウスとキーボードにより以下の操作を行うことができる。

### 1) 視点の切り替え

回転 ウィンドウ上でマウスの左ボタンでドラッグすると、物体の向きを回転させることができる。キーボードの方向キー ( ) でも同様の操作ができる。

距離 ウィンドウ上でマウスの中ボタン (もしくはシフトキーを押しながら左ボタン) でドラッグすると、物体と視点との距離を変更することができる。キーボードの「Home」「End」キーでも同様の操作ができる。

### 2) 表示方法の変更

ウィンドウ上でマウスの右ボタンをクリックすると表示方法のメニューが現れる。各項目を選択することにより以下のコマンドを実行することができる。

視点をデフォルトに戻す 視点 (物体の向き) を起動時の設定に戻す。

座標軸を表示 / 隠す 座標軸を表示したり隠したりする。

描画モード NCSIM Viewer では以下の 3 種類の描画モードを選択することができる。

ソリッド 閉じた固体として表示する。

サーフェス 切削される上側の面のみを表示する。視点を切り替えることにより、切削状態を裏側から観察することができる。

ライン 特徴的な線 (エッジ) のみを表示する。

オプション 描画について以下の 2 つのオプションを設定できる。これらのオプションを設定すると形状の認識がより容易になるが、一方で描画速度が遅くなるので注意が必要である。

テクスチャマッピング 切削結果に木目調のテクスチャを貼り付ける。

鏡面反射 物体表面における鏡面反射を表現する。

終了 NCSIM Viewer を終了する。この操作では NCSIM 本体は終了しない。

各メニュー項目に書かれている括弧内の文字は対応するショートカットキーを表している。例えばキーボードの「D」ボタンを押すと、メニューの「視点をデフォルトに戻す」を選択したときと同様の結果を得ることができる。

## D NCSIM のダウンロード・インストール方法

1. Web ブラウザで <http://www.keisu.t.u-tokyo.ac.jp/nc/> にアクセスする。
2. Download ボタンをクリックし、ncsim20.exe をダウンロードする。
3. ncsim20.exe をダブルクリックし、解凍先を選んで「解凍」をクリックする。