

# 塑性加工技術者のためのリフレッシュ教育システムの構築

一関工業高等専門学校 物質化学 工学科

助手 小野寺和宏

(平成6年度奨励研究助成 AF-94036)

## 1. 研究背景

塑性加工における各種加工において、CAD、CAM、CAEが用いられコンピュータと密接に結びつき、コンピュータの存在なくしては塑性加工は語れなくなってきている。そこで、塑性加工技術者再教育において充実しなければならない最大課題の一つはコンピュータ利用技術とその実際への応用のための知識の修得である。また、マルチメディアを中心とする情報・通信手段が発達し、これらが社会において広く活用される、いわゆる「マルチメディア時代」に向けて、主に関連産業の情報通信基盤の整備等の面から官民を越えた各種の取組が進められている。一方、マルチメディアはその特長からみて、適切・効率的な活用がなせれば、極めて有益な機能が発揮される。このためには利用者の視点に立った利用の在り方の検討や多用なモデルの開発・提供が重要な課題である。そこで本研究では、塑性加工技術者の再教育に視点を置いた計算機援用による工学教育システムの構築を目的とする。

## 2. ネットワークシステム上での教育システム構築

大学・高专におけるネットワークシステムの基盤整備によって、そのネットワークの活用がなされれば極めて有益な機能が期待される。本研究では、ネットワーク環境下での教育システム構築として、タイピング練習システムの構築、より使い易い電子メール環境の構築およびプリンタ等の周辺機器の共有システム構築を行った。本システムはワークステーション (NEWS5000WI)、パーソナルコンピュータ (Macintosh)、X端末およびプリンタ・モデム等の周辺機器がローカルトーク方式のネットワークで接続され、またコンピュータ本体およびX端末はインサernet方式でも接続されている。以下に本システムの特長を簡条書きする。

- (1) ネットワークがインサernet方式とローカルトーク方式の二種類のネットワークによって、処理の分散化が可能。
- (2) ローカルトーク方式の接続形態は、ディジーチェーン方式で、装置間は電話等で広く用いられているツイストペア線でモジュラーコネクタ (RJ-11) により接続するため、インサernet方式のインターフェースが

装備されていない場合でも、安価に接続が可能。

- (3) ワークステーションは、ファイルサーバおよびプリンタサーバとして作動し、パーソナルコンピュータと相互にファイルを共用可能である。
- (4) ネットワークプロトコルとしてTCP/IPおよびAppleTalkが使用可能。また、ワークステーション上にルータ機能を備え、ローカルトークからイーサートクにデータを相互通信可能。
- (5) ワークステーション上のアプリケーションでAppleTalkのパケットの数などを表示したり、ネットワークが通じているのかなどのAppleTalkの状況を監視することが可能。

ネットワーク環境下における実用的な教育システムの第一段階としてタイピング練習システムの構築を試みた。タイプ練習用システムはUnixのX Window上でタイプの練習を行うもので、プログラムはC言語によって開発した。システムの構成は練習は前半のブライドタッチの練習と後半のキー入力のスピードアップを図ることを目的に分かれている。前半では、キーボードと指の絵が出て、それを見ながら、次ぎに示す4ステップによってブライドタッチの練習を行う。

STEP1: 問題の文字に対して、該当するキーボードと指の爪の部分に相当する位置が反転し、手元を見ないでキーボードを打つ練習。また、各STEPから次ぎのSTEPへはミス3回以内でクリアすると次ぎのSTEPに移れる。

STEP2: 反転は指の爪の部分に相当する位置のみとした。ここでの段階の目的は指の位置を覚える段階とした。

STEP3: 反転は無くなり、キーボードの文字の表示もなくなります。

STEP4: 最後の段階で仕上げとして、問題の文字のみ表示。

それぞれのSTEPで、ミスがある量を越えると、STEPを戻って練習し直す。

ネットワークが提供するサービスとして電子メールは教育システムにおいても指導者と学習者の情報を交換するために大変有効な手段である。一般に電子メールを利用する

ためには24時間メールサーバとして動いているUNIXマシンにログインしてメールツール利用する方法がある。これに対して今回とった方法は、より使い易いシステムとして、POP (Post Office Protocol) を利用し、UNIX以外のプラットフォーム (Mac) から、POPインタフェースをもつメールリーダ (Eudora - J) を使ってメールの送受信するシステムの構築を行った。この環境を構築してからは、一研究室レベルの運用ではあるが飛躍的にメールの利用が増した。

### 3. 有限要素法教育システムの構築

本システムは教育用に新たにプリ・ポストプロセッサおよび有限要素法プログラムを開発し、また、学習者が一人で有限要素法の基礎を学ぶためのコースウェアとしてチュートリアル部を付加したシステムを構築した。図1にシステム構成図を示す。

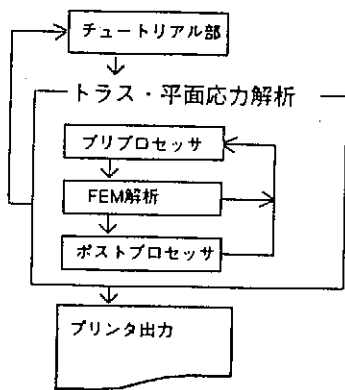


図1 有限要素法教育システム構成図

チュートリアル部では説明と質問を交互に繰り返しながら学習を進めていく部分で、ここで有限要素法の基礎をマスターする。なお、チュートリアル部は以下のような方針で開発を進めた。

- (1) 本システムは有限要素法の知識を全く持っていない者を対象としているので、その概念から教えるようにし、チュートリアル部をさらに5部に分け、段階的に繰り返し学習できるようにした。
- (2) 全体の流れを把握するために、学習者はいつでも目次を参照できる。
- (3) 途中に問題を設ける。問題に入ったら正解を答えるかまたは前に戻るまで他のキーは受け付けない。

また、チュートリアル部修了後、トラス構造の解析、平面応力問題の解析実習を行う。

有限要素解析に必要な情報は大きく分けて、モデルを支配するパラメータ、節点に関する情報、要素に関する情報の三つである。本システムのプリプロセッサでは会話的に入力データを受入れる。データ入力には新規入力モードと

変更・訂正のモードがあり、どちらもグラフィック画面上で視覚によって確認しながら作業を進めるように配慮してある。作業者はあらかじめ節点情報および要素情報をデータシートに準備し、プリプロセッサを起動し、キーボードとマウスを使いながら会話的にデータの作成を行い、またデータの修正などを施し、有限要素法プログラムに引き渡すデータを作成する。なお、本システムでは、有限要素法データの作成の準備の大変さを体験させることも一つの目的とし、トラスおよび平面問題とも、節点や要素の自動創成機能は付加していない。

有限要素解析プログラムではプリプロセッサによって作成された入力ファイルを読み込み、解析を行ない、出力結果として、ポストプロセッサに引き渡すデータおよびプリンタ出力イメージのデータを作成する。なお、プリプロセッサによって作成されたデータは平面応力弾性解析のみの解析が可能となっている。有限要素解析結果として得られる情報は、それぞれの節点の変位（と支持力）およびそれぞれの要素の応力とひずみである。ポストプロセッサでは、有限要素解析プログラムによって解析され作成されたポストプロセッサ用出力データを読み込み、変形図および要素における応力レベルを視覚化する。

開発の当初、チュートリアル部のテキストもすべてC言語プログラムに埋め込まれていたため、C言語を熟知している者が開発者自身でなければ、加筆および訂正等の作業は不可能であった。現在のシステムでは、チュートリアル部はオーサリングシステムによって書かれており、チュートリアル部中の文章および図形の変更・挿入が容易になっている。

運用の手順は、以下のとおりである。

- (1) 解析の対象となる領域を分割し、要素で埋め尽くす。ただし、トラス構造の課題は図2のような分割が4問与えられている。また、平面応力問題は図3または図4の問題を学習者ごとに別々のパラメータを割り当て、すなわち穴径や面圧が作用する寸法を変えた問題を指定し、節点数を30以上および荷重の掛かる面の要素分割は等分割としメッシュ分割と入力データの作成をあらかじめ用意させた。

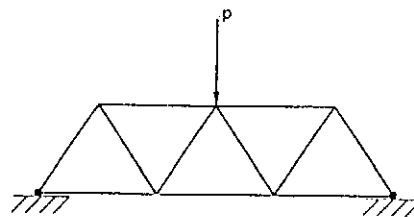


図2 トラス構造の課題

- (2) 節点と要素に番号付けをする。必ず1番から欠番のないようにする。
- (3) 節点とその座標値を一組にしてリストアップする。
- (4) 節点のx, y自由度ごとに既知量が荷重であるか変位であるかを区別し、その既知の値をリストアップする。
- (5) 要素とその要素を構成する節点番号を一組としてリストアップする。平面応力問題の解析では、一つの要素内のどの番号を節点の先頭においてもかまわないが、必ず反時計回りになるように節点番号を並べる。
- (6) 材料の力学特性等をリストアップする。なお、材料は全要素に共通としている。

トラス構造：縦弾性係数、棒要素の断面積

平面応力問題：縦弾性係数、ポアソン比、板の厚み

- (7) 以上のようにデータを準備し、プリプロセッサによって解析データを作成し、有限要素法プログラムによって解析を行い、ポストプロセッサによって、解析結果を検討し、最後に解析結果をプリントアウトする。
- (8) 平面応力問題のレポートの課題として、円孔を有する無限平板の一樣引張りの理論解である式(1)を与え、これと有限要素解を比較・考察させている。式(1)において $\theta = 0$ とおき、 $\sigma_{\theta r}$ の関係および図3の底辺に対するすべての要素の応力成分 $\sigma_y$ を要素重心のx座標に対してプロットさせた。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{T}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \left\{1 - \left(1 - 3 \frac{a^2}{r^2}\right) \cos 2\theta\right\} \\ \sigma_\theta &= \frac{T}{2} \left\{1 + \frac{a^2}{r^2} + \left(1 + 3 \frac{a^2}{r^2}\right) \cos 2\theta\right\} \\ \tau_{r\theta} &= \frac{T}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \left(1 + 3 \frac{a^2}{r^2}\right) \sin 2\theta \end{aligned} \right\} (1)$$

また、半無限平板の一樣面圧の作用する課題においては式(2)を与え、全ての要素の中で $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ の最大値を取る要素をピックアップし、その要素重心の座標値を要素の位置として式(2)に代入し、有限要素解との比較・考察を課した。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{p}{\pi} \left\{ \text{ATAN} \frac{y-a}{x} - \text{ATAN} \frac{y+a}{x} \right. \\ &\quad \left. + \frac{x(y-a)}{(y-a)^2 + x^2} - \frac{x(y+a)}{(y+a)^2 + x^2} \right\} \\ \sigma_y &= \frac{p}{\pi} \left\{ \text{ATAN} \frac{y-a}{x} - \text{ATAN} \frac{y+a}{x} \right. \\ &\quad \left. - \frac{x(y-a)}{(y-a)^2 + x^2} + \frac{x(y+a)}{(y+a)^2 + x^2} \right\} \\ \tau_{xy} &= -\frac{p}{\pi} x^2 \left\{ \frac{1}{(y-a)^2 + x^2} - \frac{1}{(y+a)^2 + x^2} \right\} \end{aligned} \right\} (2)$$

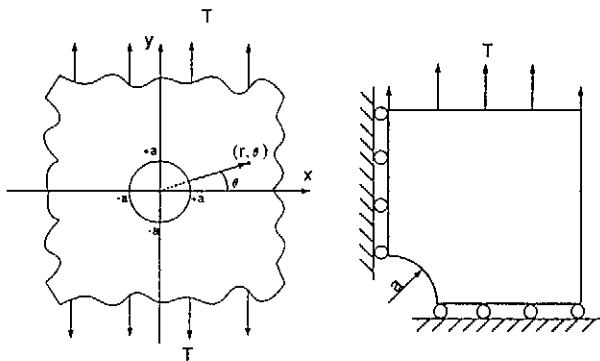


図3 平面応力問題の課題  
(円孔を有する無限平板の一樣引張り)

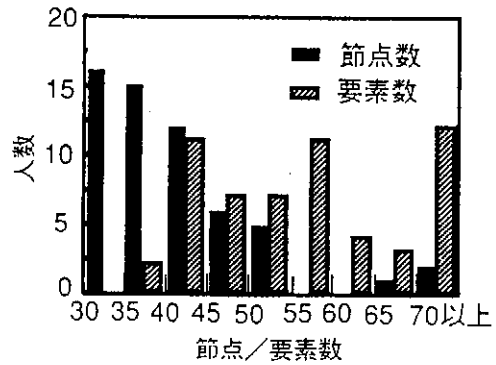


図5 節点および要素分割数の分布

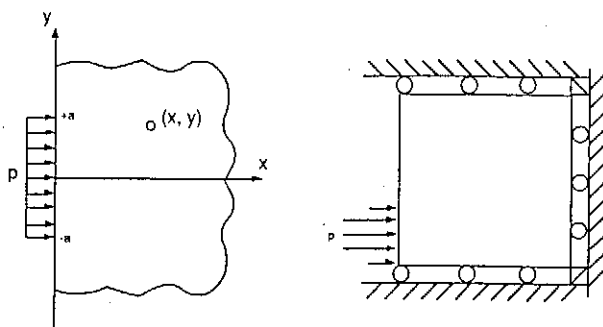


図4 平面応力問題の課題  
(半無限平板の一樣面圧が作用する場合)

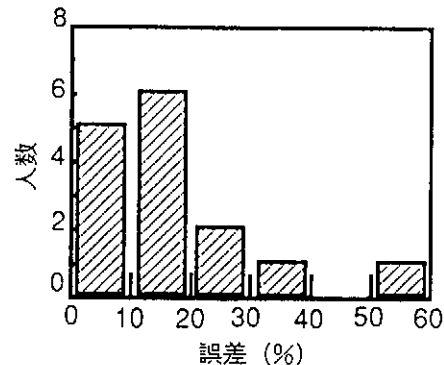


図6 円孔を有する無限平板の一樣引張りにおける $\sigma_y$ の理論値に対する誤差

有限要素教育システムの運用の以下の結果を得た。

- (1) 学習者の本システムに対する受けとめかたを、レポートの感想等から推察すると、他の従来からの実験装置を用いた実験に比べて比較的感心が高く、また、材料力学の理論的な背景と実用的な数値解析の橋渡しの役割を果たしているように思われる。
- (2) 図5は円孔を有する無限平板の一樣引張りの解析における節点数および要素数の分割数の人数の分布を示したものである。内部節点と境界上節点の分割数のばらつきが節点数と要素数の分布に差を生み出している。
- (3) 図6は円孔を有する無限平板の一樣引張りの有限要素法による解析における穴径の割合が0.2の場合に $\sigma_y$ の最大値をとる要素の理論値（無限平板に対する解）に対する誤差を示したものである。なお、要素の重心をその要素の応力としてある。結果にはかなりのばらつきがみられるが、分割方法によつては理論値と数%以内で一致する。

#### 4. 結 言

ここで構築したシステムはまだ初歩的でまだ不十分な所も多数あると考えている。しかし、コンピュータに熱中して取り組む態度は従来どうりの実験装置をもちいた教育や黒板を使った講義における学習者のそれを考えると、格段の差が認められた。また、ネットワーク環境の変化に対応

した教育ソフトはどのように活用していたらよいのか、まだ経験が浅く、教材開発の新しい可能性としてますます注目される。ローカルなネットワーク環境からインターネット環境に対応したシステムではネットワークのスピードがネックとなるが、利用者の視点に立ったネットワークの活用の在り方や多様なモデルの開発・提供が塑性加工教育の分野においても重要になると思われるが、本稿で示した方式がこの種のシステム構築にあたっての何らかの参考になれば幸いである。

#### 謝 辞

本研究の実施に当たり、ご支援をいただいた財団法人天田金属加工機械技術振興財団に、心より厚く御礼申し上げます。また本研究の遂行に当たり、ご指導を賜わった電気通信大学機械制御工学科横内康人助教授に心から厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

1. 山田嘉昭、横内康人：有限要素法による弾塑性解析プログラム－EPIC－IV解説－、培風館、(1981)。
2. 小野寺和宏、横内康人：パーソナルコンピュータを用いた有限要素法教育システムの構築・運用、工業教育、22－26 (1995)。