



21世紀の生産環境を試行する

——伊東・新野研究室～生産機械工学科——



伊東 諄 教授

産業活動の基盤は生産である。この生産システムの善し悪しは、直接産業活動に影響を与えるばかりでなく国際競争力の面でも重要な要素となる。日本は工業技術力で他国を凌駕していると言われているが、こうした生産分野で行なわれている最先端の研究が我々の目に触れる機会は非常に少ない。東工大ではこの分野の研究を生産機械工学科の伊東研究室と新野研究室が共同で行っておら

れる。取材では主に新野助教授にお話を伺ったが両研究室では「機械」という名前から想像される研究のほかにも、幅広い研究を行なっておられる。第三者が研究室で実際に行われている研究の間に関連性を発見することは難しいかもしれない。しかし多様な研究が行なわれている背景には大きな方向性が存在し、それは「21世紀へ向けた生産システムの構築」という言葉に集約できる。



生産システム概念—FMSとは

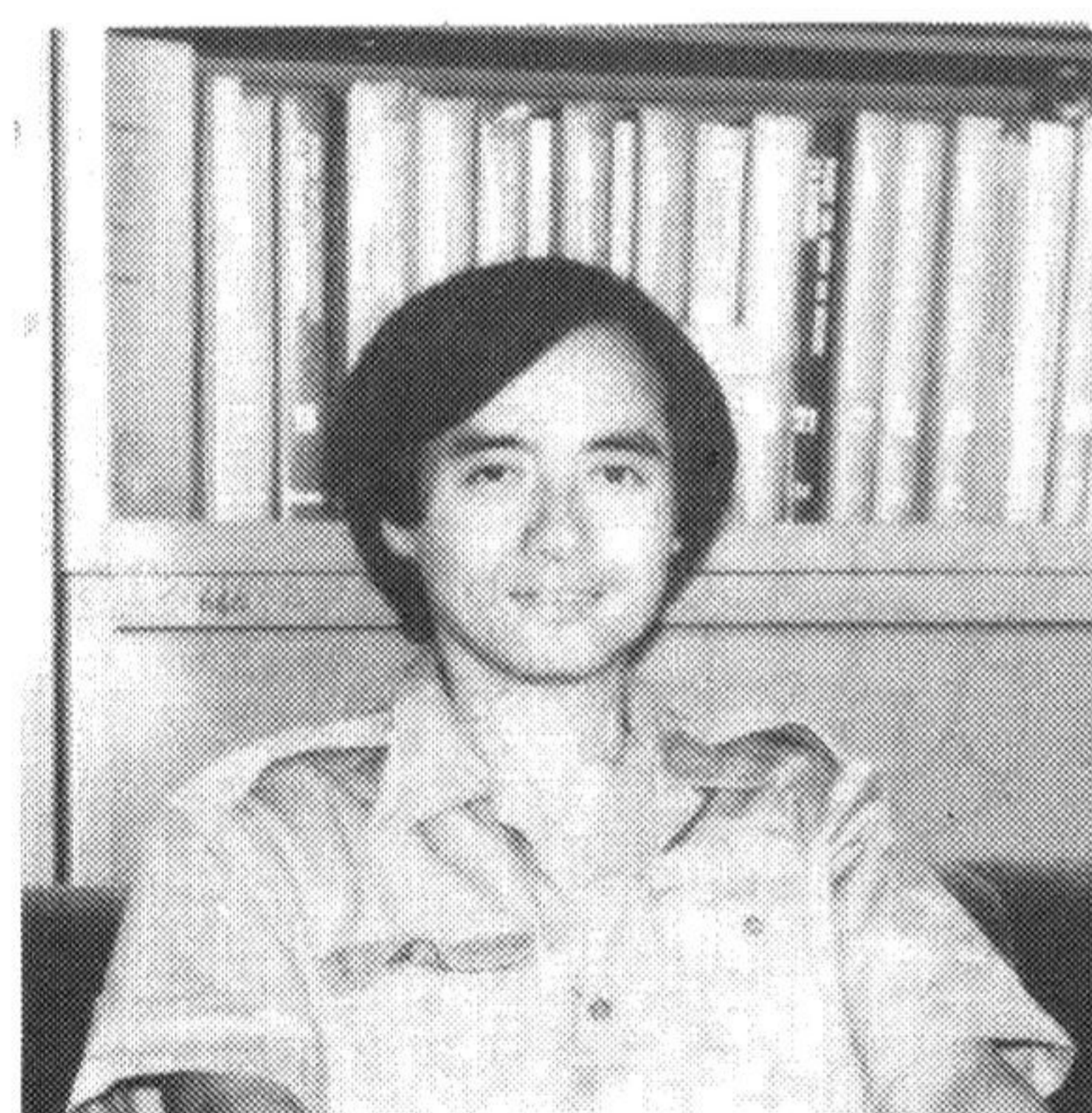
生産システムの研究と一口に言っても、その内容を説明するのは難しい。はじめに、現在生産システムの主流となっている「FMS」を紹介する。



生産システムの分野では、新しいシステムを導入しても数年でシステムが旧型となってしまう。これはこの分野の話題を理解していく上で出現する多量の用語群を見れば納得できる。というのは新しい生産システムが開発されると、それらに対して新たな呼称が与えられていくからである。現在稼働している生産システムは「FMS (Flexible Manufacturing System): フレキシブル生産システム」と呼ばれるものである。

FMSとは「工場などの生産ライン全体をコンピュータで統括的に制御して、多品種少量生産を実現するシステム」と定義できる。具体的に説明しよう。まず、生産ラインを業

務分担された機械の集合体ととらえてみる。FMSでは一般に、工作機械、ロボット、搬送用システム、倉庫、保守及び点検、コンピュータ中央管理の6要素に区分される。これらの要素がLAN (Local Area Network) で結ばれ各要素に生産情報が伝えられて生産ラインが稼働する。このような方法で、多品種少量生産を実現しようというのがFMSの考え方である。ところで各要素においてLANからの生産情報を受けとるのは、要素ごとに搭載されているコンピュータである。このコンピュータの働きは、例えば工作機械という要素について見た場合、LANからの指令通りに工具の交換や工作物の供給を無人で行う事である。ほかの要素についても制御信号を受け取って要素ごとに動作を行うためにコンピュータが搭載されている。要素の独立性によって、生産ラインに出現する多様な生産物に対し最適な生産



新野 秀憲 助教授

システムが迅速に構築できる事——これが多品種少量生産を実現できる理由である。

ところで大規模な生産システムではFMSを導入することができるが、中小の工場では困難な場合が多い。そのため生産ラインの一部に小規模のFMSを導入して、一部の自動化

を達成しているような場合もある。このような生産システムは、FMSとは区別して「FMC (Flexible Manufacturing Cell)」と呼ばれている。



素材加工からのアプローチ～フレキシブルチャック～

FMSによる生産において研究改善していかなければならないことは個別の要素における、機能と構造の高度化である。旋盤用に開発された「フレキシブルチャック」は、工作機械について行われている研究の一つである。



材料を加工する工具、ここでは旋盤を考えた時、材料をいかにつかむかは生産精度の面や柔軟な材料加工を行う上で重要な問題である。FMSにおける多品種少量生産では多様な材料を加工していく必要がある。そのため、①材料がどのようなものであるかを把握する ②高速で精度よくつめ（ジョー(jaw):つかみ口のこと）を自動的に交換する、という2点をふまえて、つめをどのように設計するかというのが重要な課題となる。

旋盤におけるこうした問題を解決したのが、伊東・新野研究室で開発された「トップジョー同時迅速交換方式フレキシブルチャック」である（トップジョー：ジョーの先端部にある工具の名称／チャック：削材をつかむ部分の名称）。現在一般に用いられているチャックは「スクロールチャック」と呼ばれている。このチャックでは、ジョーを交換する方法は人間がボルトをしめて行う以外にはない。そのため、このチャックを使用するシステムには人間の手が

不可欠であり自動化の妨げとなる。そこであらかじめいろいろなジョーを用意しておいて、工作物によってジョーを選び交換する研究が行われた。こうしてフレキシブルチャックが開発されたのだが、従来のチャックと比べて、ジョーの固定部分が改良されている。トップジョー（以下ジョーと略記）とシャフトはボルトで結合され（図1-④）、ボルトを回すだけでジョーの固定状態を調整することができる。シャフトとマスタージョーはテーパ結合（シャフトをマスタージョー側に作られた台形状の穴に挿入して固定する結合法：図1-⑥）させて高剛性の結合を行い、カム（図1-③）を油圧により回転してシャフトをくわえこんでいる。シャフトとジョーはボルトでつながっているから、ジョーはこの動作で固定されるのである。ところでチャックは3つのジョーで構成されているから、それらを迅速に交換するために図2のような構造を作り、図2-⑧の直線運動を3つのカムの回転に変換してジョーの同時交換を実現している。

この方式によれば、ジョーの交換と工作物の着脱が1動作のみで迅速に行われ、柔軟性の高いジョー交換を実現できる。精度の面でも位置決め、剛性、加工精度共に十分な性能を持っている。

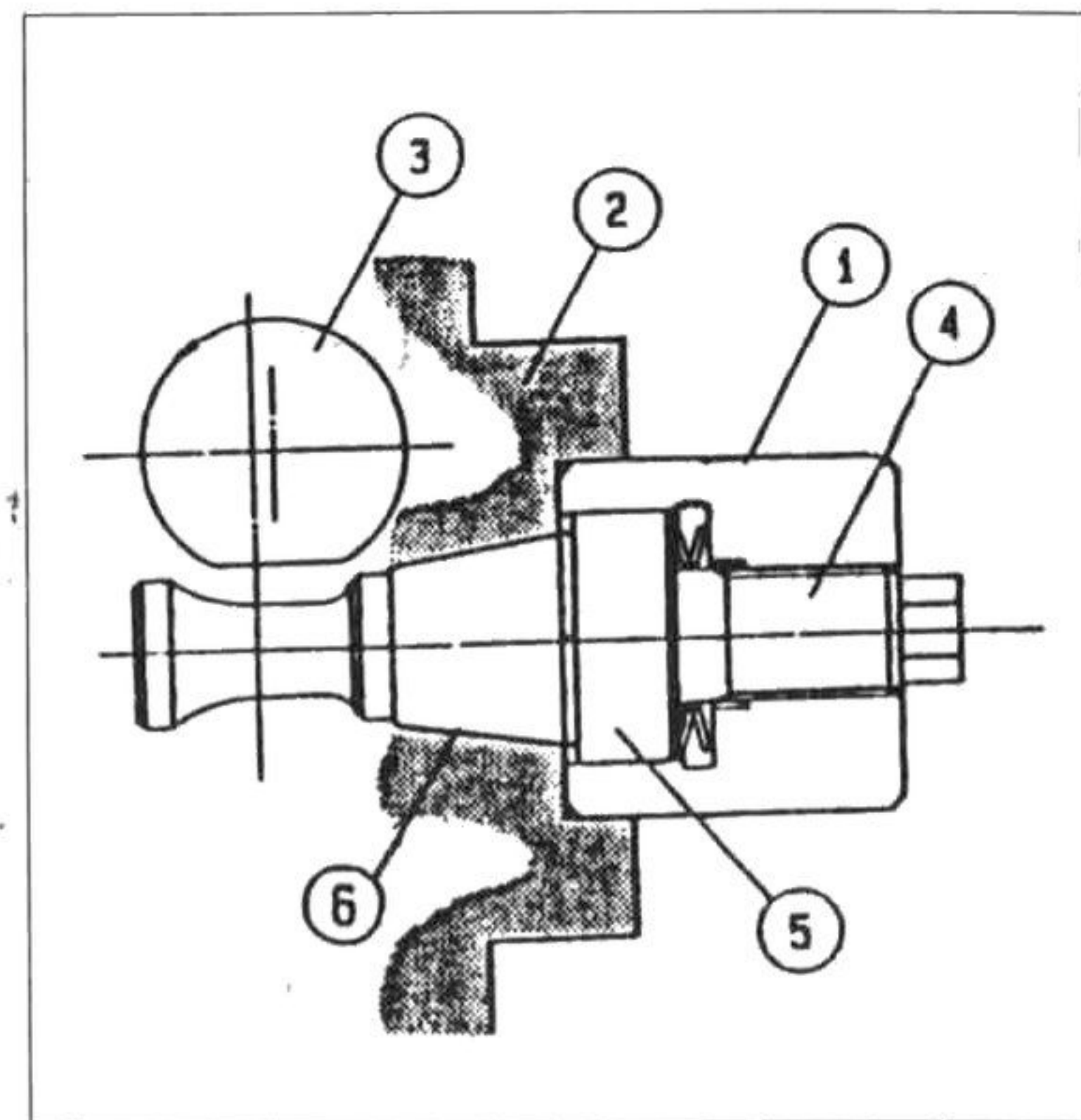


図1

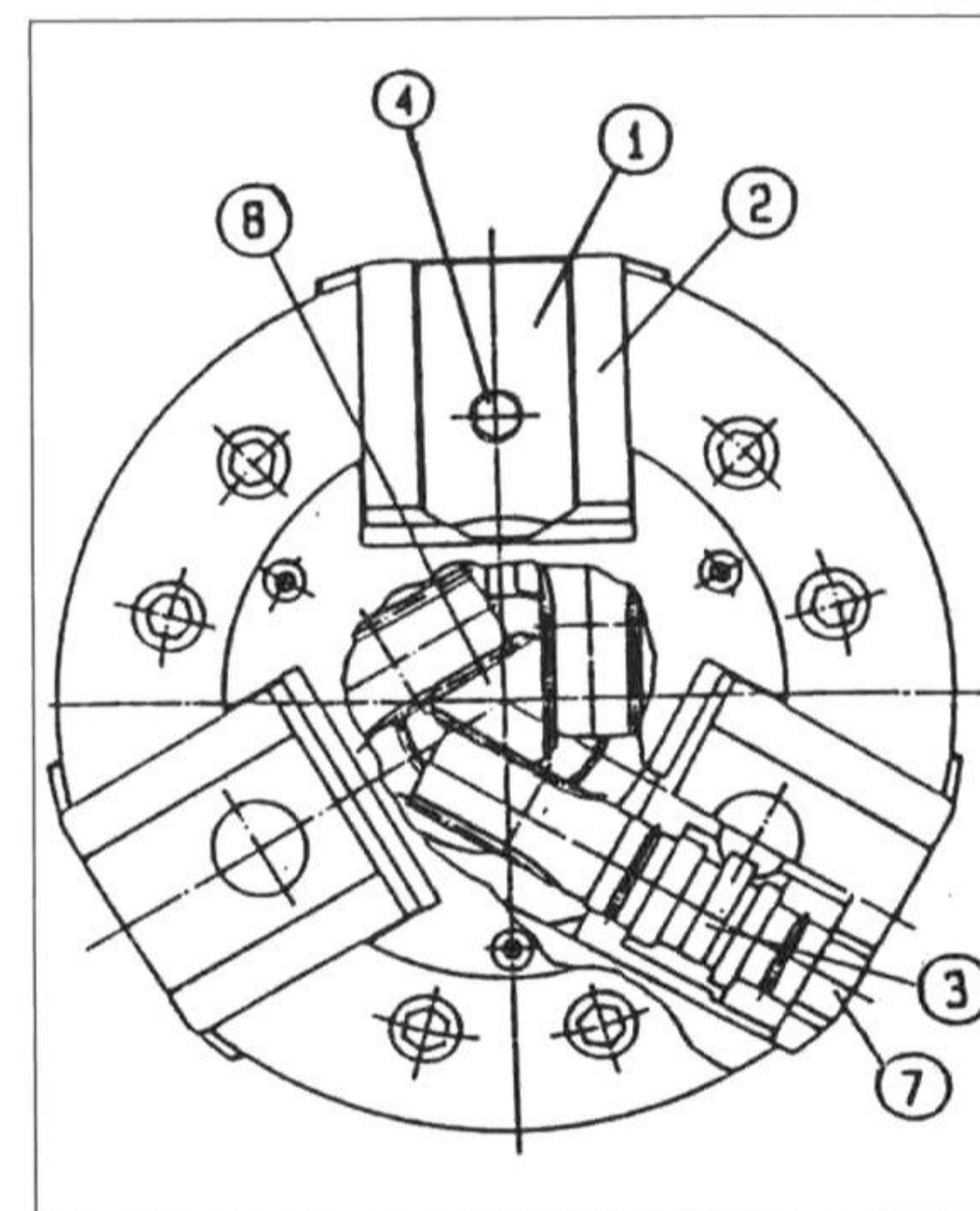


図2

- ①トップジョー (top jaw)
- ②マスタージョー(master jaw)
- ③カム (eccentric cam)
- ④ボルト (adjusting bolt)
- ⑤シャフト (tapered shaft)
- ⑥テーパ (taper)
- ⑦カムシャフト (eccentric cam shaft)
- ⑧ラック (rack)

図1、2に共通



コンピュータによる意志決定

FMSのような自動生産システムを実現する上での重要な課題の一つとして、設計者の要求をどのように生産に結びつけるかということがある。この分野において「多次元評価ベクトル」を用いる系統的なアルゴリズムの研究が、現在新野助教授を中心に行われている。これは後述する「CIM」の問題でもある。



物を設計しようとする場合、設計者の頭の中では生産物が使用目的に対して最適となるように設計段階でいろいろな判断が行われている。その際どこを重要視するかで設計方針が変わってくる。例えば、機械の軸受け部分（軸受け：回転軸を支える部分の総称）を例にとってみよう。考慮すべき要素としては、駆動系・ベアリング系・回転体の重量・精度・コストなどがある。さらにそれぞれの要素において複数の選択肢が存在する。これらの重要度を一定の指標に基づいて数学的に表現し、どのような設計が最も望ましいかを決定

することができれば便利である。そこで新野助教授が中心となって「多次元評価ベクトル」を導入してこのような表現を試みる研究を行っている。評価ベクトルというのは、ベクトルに評価重みを乗じたものである。つまりベクトルが任意の評価対象を示しているとき、重みを乗じてやることで対応づけられた要素がどの程度重要であるかを表わす目安とすることができるのである。ところで軸受け設計において評価すべき要素は、新野助教授が軸受け設計担当者にインタビューをされて、20項目あることが分かっている。これらの要素を前述したように20次元のベクトルとして表現したとき、どのように最適な設計を行うのかを以下に説明していくことにする。

まず考慮すべき要素を対応するベクトルの中から選ぶ。次に、設計者がどの程度各要素を重要視しているかを示すために、各ベクトルに重みを乗ずる。こうして与えられた設計要求評価ベクトルを X_j 、あらかじめ

め設計候補としてあげられている評価ベクトルを Y として、その差

$$D_j^2 = \sum_{k=1}^{20} w_k \{y(e_k) - x_j(e_k)\}^2$$

(w : 評価重み) を求める。このとき値が最も小さくなる X_j を最も理想的な設計解として求めることができるというわけである。この理論に基づいてアルゴリズムをコンピュータ上に実現し実際に検証された結果多次元評価ベクトルによる方法は設計評価を行う上で有効な手法であることを確認できたそうである。

ところでこの設計方式の利点として、どのような要素を考慮するかさえ分かっていたら設計担当者に特殊な知識が要求されないことがある。軸受け設計以外にも多分野に応用することのできるおもしろい研究である。



究極の生産システムを目指して

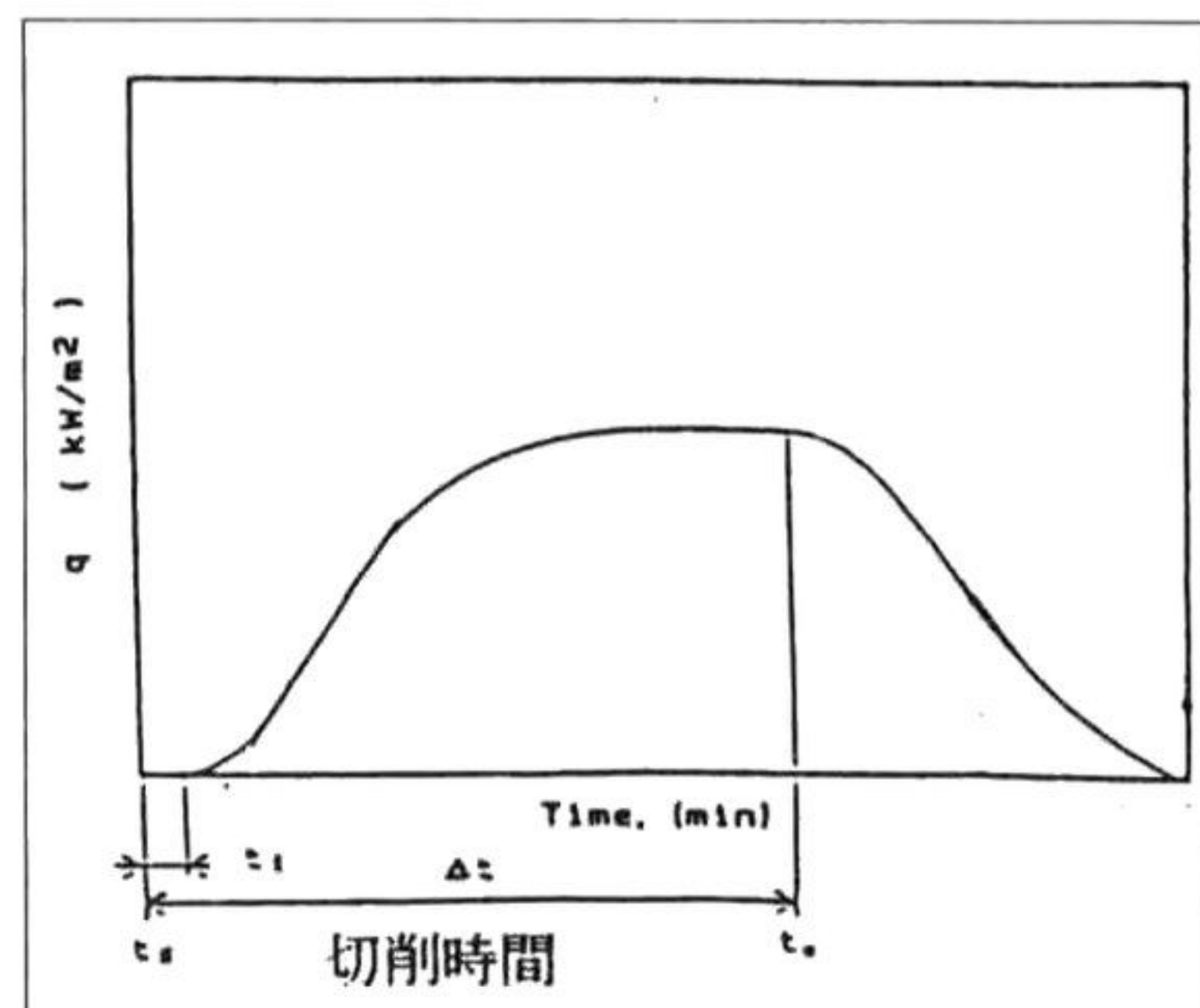


図3

これまで工作機械というのは人間の操作を前提として作られてきた。しかしここまで述べてきた事からも分かるように、生産システム全体は自動生産へ向けて進んでいる。21世紀に向けて、やがてはこのような環境で生産が行われていく事になるであろう。こうした予測のもとに今年から両研究室で研究がはじまるシェル(shell)構造の加工機に関する研究を紹介する。



この加工機は、自動化の最終目標である無人のクロズド(closed)

環境を実現するために考案されたものである。はじめから人間のアクセスが考慮されていないため、加工機械はシェル内に密閉された構造となっている。研究ではこの閉構造を利用して、CO₂などを充填した一様な気体中や温度が一定に管理された環境のもとで、どのような加工が行えるか検証しようというのである。さらにこのような安定した工作環境を実現することで、工作精度が向上すると考えられる。現在ではミクロンオーダー(μm)の加工が一般的だが、研究室には加工誤差をナノオーダー

(nm)まで測定できる機器もあり、こうした方向で研究が行われている様子がうかがえた。

しかしこのシステムを実用化するには、人が五感を用いて行っていた機械の異常の発見などを機械装置によって行わせる必要がある。伊東・新野研究室で行っておられるこうしたセンシング技術の研究の一つに、温度の単位面積あたりの時間微分値である熱流束を測定して切削時の異常を感知しようとするものがある。切削工材に切りくずが巻き付いたり工具の振動などを知る指標として、この値を用いることができるのであ



FMSからCIMへ

最近ではFMSを発展させた「CIM (Computer Integrated Manufacturing)」と呼ばれる生産システムの研究が、生産に携わる研究者たちの間で広く行われている。その違いは、FMSが工場の工作機械だけをLANでネットワーク化していたのに対して、CIMは受注から生産設計、開発、生産、管理といった生産にまつわる一連の事項を、全てコンピュータネットワークでつなぐ点にある。今後FMSからCIMへ移行することが考えられるが、その段階では次のようなことが問題となる。例えば、CAD (コンピュータによる設計) とCAM (コンピュータによる製造) の間には現在満足なインターフェースが存在しない。そのため複雑な設計では、人手によって設

る。正常な切削状態では、図3のように熱流束の分布はなめらかな曲線となる。ところが何らかの異常があると、その状況に固有のパターンの変化が現れる (図4、図5)。これまでの単純な温度変化を調べるだけのセンシングでは異常の違いを判定することができなかったので、研究内容についての問い合わせが来ることも多いそうである。

このように何を行うにしても未開の分野であるだけに、次々と研究材料が見つかりおもしろいと新野助教授はおっしゃっていた。

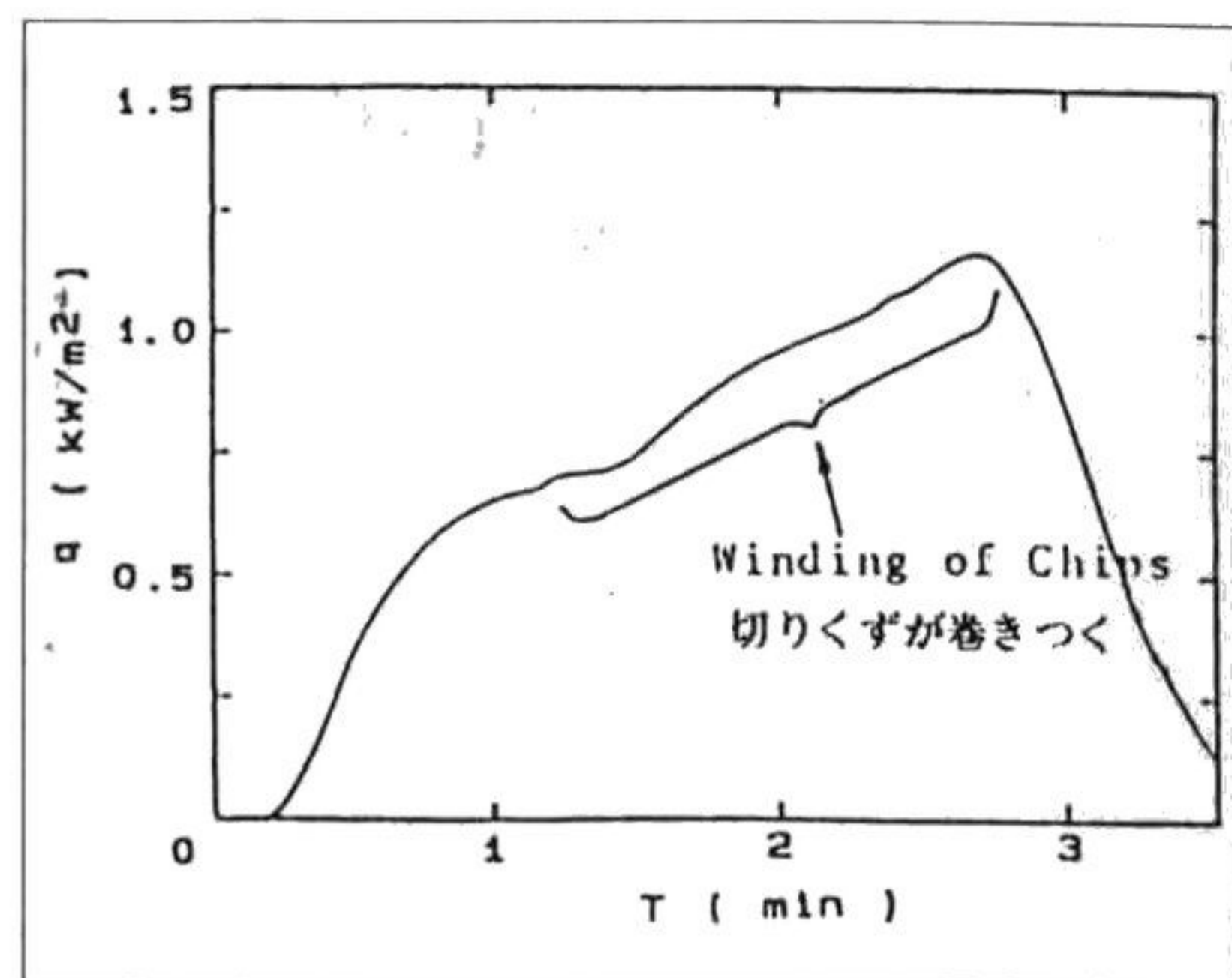


図4

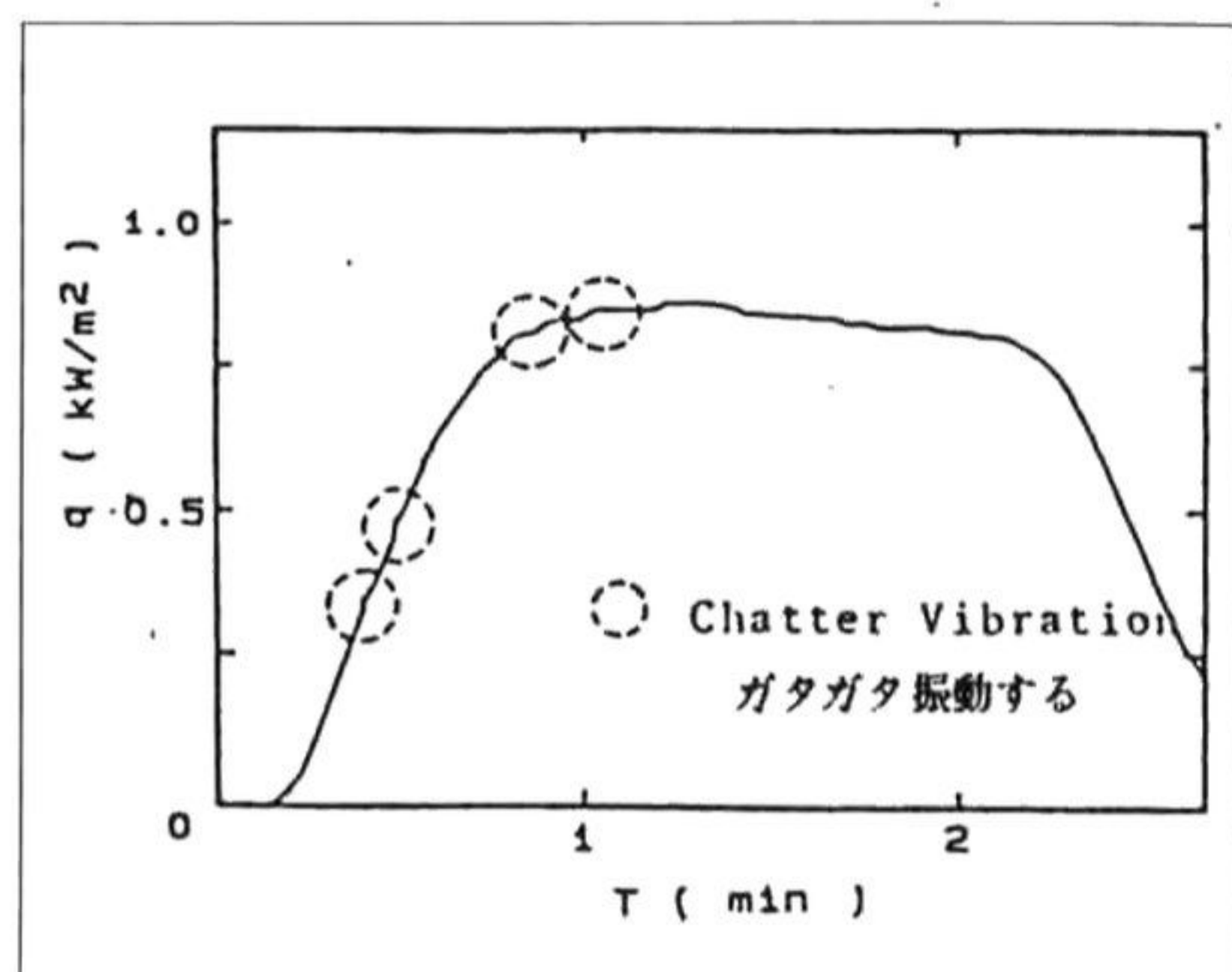


図5

計データから製造データを作らざるを得ない。これを自動化するためには充実したCAD-CAMインターフェースの開発が必要である。また前に触れた設計方針を生産に直結するという問題もある。伊東・新野研究室ではこうしたインターフェース全般についての研究も行っておられる。さらに消費者の要求を市場データとして直接生産に結びつける必要があることから、消費地に直結した生産工場を作ることが望ましい。この問題について伊東教授は、特にアパレル産業において工場を電車に乗せて輸送の手間を省くとともに、消費地に直結した生産を実現しようとする独創的な研究にも挑戦されている。

FMSは、国内で大金を投じて開発されてきたが、その地位は国内外を問わず生産システムにおいて揺るぎないものになりつつある。しかしここで次世代生産システムの研究を怠ると将来的な展望は明るくない。こうした状況をふまえた上で、生産

という分野についてもう少し深く考えてみる必要があるのではないだろうか。

(小野)