

特集 生産加工CAE技術

概況

生産加工CAE分野の概況

中西広吉

Development and Applications of Numerical Methods in Industrial Forming Processes

Koukichi Nakanishi

要 旨

生産技術の使命は、生産準備期間短縮、低コスト化、品質向上と考えられ、良い製品を適時生産するためには、試作段階に、短期間で加工の適正条件を求める必要がある。その達成手段のひとつとして、生産加工CAE (Computer Aided Engineering) 技術があり、その役割は期間短縮、開発費低減、品質向上を担うものとして極めて重要である。

当所では1980年代から、高分子加工、板成形、鋳造、鍛造の各加工のCAE技術開発を行っている。その研究は、工程設計作業でのニーズを的確に認識して、目的に適応した現象モデリングと計算技術の提案の両面から取り組むという、他にはない解析力・分析力を主体

として進め、物性値や特性値の測定、設計現場での応用展開例の提示なども取り組んでいる。また、各加工分野においてCAE研究会を設立するなど、CAE利用技術の普及についても注力してきた。

これまでに各加工の基本現象を対象にモデリングと計算技術を提案し、実用的な解析ツールを構築してきており、いずれも実際の設計作業プロセスで使用されて効果を挙げつつある。今後は、試作回数削減による開発費低減だけでなく、量産コストや製品品質にも言及できるような現象予測へ発展させていく予定である。

キーワード 高分子加工、板成形、鋳造、鍛造、数値解析

Abstract

The numerical analysis method used in industrial forming processes, which is called CAE (Computer Aided Engineering), is a very important way of shortening lead times, reducing costs and improving quality.

Since the 1980's, we have developed numerical analysis methods for polymer processing, sheet metal forming, casting and forging processes. These studies consist of

modeling of the phenomenon that serves the analysis purpose and the development of new computing methods. Furthermore, we have suggested a method of measuring the mechanical properties and thermal properties, and have shown an application example for the design process.

At present, the developed systems have been put into practical use and results have been obtained.

Keyword Polymer processing, Thin sheet metal forming, Casting, Forging, Numerical analysis

1. はじめに

自動車はおおよそ1万点以上の部品で構成されている。自動車の製造工程を、高強度部品のエンジン・足回り、車体としてのボディ、バンパー等の車体・内装品としての樹脂塗装の三つに区分して示すとFig. 1のようになる。鍛造、鋳造、プレス、樹脂成形という素形材作りから始まり、溶接、熱処理、機械加工、焼結、塗装、機械組立、組立などの生産加工を経て1台の自動車が完成する。近年、自動車製造を取り巻く環境は大きく変化してきており、従来からの収益力向上・短周期モデルチェンジへの対応・低燃費への寄与に加え、世界規模での生産戦略・カスタマーインへの対応・ゼロエミッションへの寄与が強く求められている。そのため、生産加工の使命は一層の低コスト化と、企画からラインオフまでの開発・生産準備期間短縮、さらに軽量化などの品質向上にあると考えられる。具体的に言い替えば、新たな良い製品を適時生産するために、試作段階に短期間で生産加工の適正条件を求めることが一層必要になっている。

その達成手段として、IT技術もしくはデジタルエンジニアリングという言葉に代表される設計・生産における一層のコンピュータ利用技術が挙げられ、その実用展開が着実に進められている。その中で生産加工現象のシミュレーション技術 (CAE; Computer Aided Engineering) が果たす役割は、Fig. 2に示すように試作回数の低減による期間短縮、試作開発費低減による低コスト化、複数案の評価・選択による品質の向上を担うコンピュータによる仮想評価技術として極めて重要

である。

生産加工時の現象は、Fig. 3に示すようにほとんどが非線形・非定常現象であり、型と製品など複数の物体が接触や界面を通じて強く影響し合い、力学と熱や相変化などとの連成問題である。そのため、線形解析から出発した構造解析などに比べて研究の開始は遅く、1970年代後半から1980年代に大学・研究機関で盛んに研究が行われ、これまでに各加工の基本的な単一現象の解析は確立されてきた。

この加工ごとに対応したシミュレーション技術の研究は、1990年代半ばでひとつの区切りを迎え、設計現場での試用が開始されるとともに、現在ではソフトハウスでの開発が主体になっている。ソフトハウスでは計算技術に重点が置かれているため、現場での設計作業に組み込むための潜在ニーズに対応した現象モデルそのものの拡張展開や、計算精度に強く影響する物性値や特性値のモデル化と測定まで踏み込むことは少ない。

先述の通り、加工時の現象は複雑であるため、設計ニーズに依存した解析目的に応じて取り上げる現象への種類や必要な精度、設計作業上許容される計算時間の三つの要件に対して、その尺度を選択する必要がある (Fig. 3)。例えば、考慮した現象と無視した現象を自分が設定したモデルとして認識し、設計現場で有意差とされる精度と設計作業時間内に収まる計算時間を必ず意識して、CAE技術を開発・利用する必要がある。

そのような状況や考えのもと、当所では次のようにCAE技術開発に取り組んでいる。

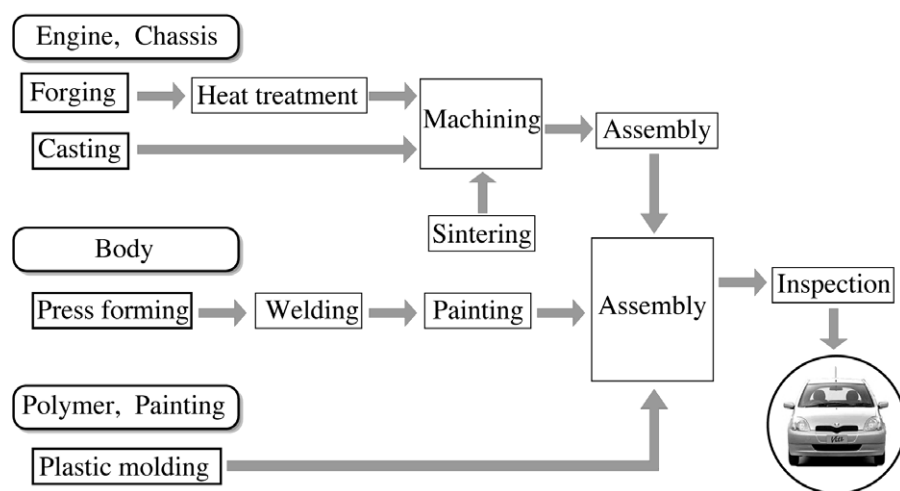


Fig. 1 Automobile production process.

2. 中研での取り組み

中研の生産加工CAE技術に関する研究は、設計作業でのニーズに的確に対応させながら、現象をよく理解したモデリングと計算技術の両面から取り組むという、大学やソフトハウスにはない解析力・分析力を核として進めている。特に、物性値や特性値の測定、設計現場での応用展開例の提示などにも取り組んでいる。

さらに、実際の利用者とのコミュニケーションが保守、新規機能開発の点で重要と考え、各加工分野において各種研究会の設立・開催をトヨタ自動車(株)と共同で行い、これらの会を通じたトヨタグループ各社と

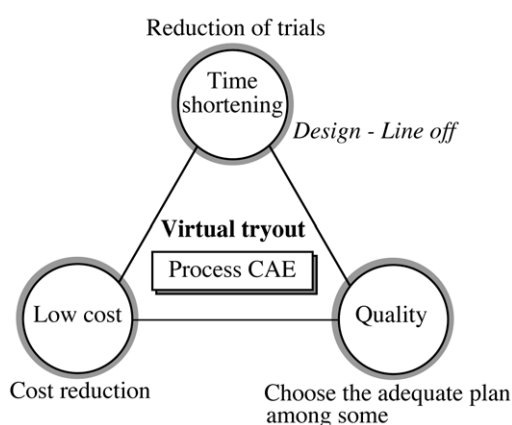


Fig. 2 Role of process CAE.

の連携やCAE利用技術の普及の支援についても注力している。

当所ではこれまでに、Fig. 1における素形材製造に対応した、高分子加工、板成形、鋳造、鍛造の四つの生産加工CAE技術に取り組んできた。ここでは、その四つのCAE技術の開発経緯の概略を先に示した現象・精度・時間の三つの要件・尺度を軸にして示す (Fig. 4)。

2.1 高分子加工CAE

高分子加工CAEの取り組み経緯をFig. 5に示す。1980年より2次元の流動解析技術の開発に着手して、その後、2次元のそり解析まで現象を拡張した。1990年より流動解析を3次元化して高精度化を図るとともに、熱硬化性樹脂への適用を可能とした。さらに現在、そり解析を3次元化して高精度化するとともに、離散化手法をボクセル要素とすることで計算時間の大幅な短縮を達成している。開発したソフトはIMAP、Remylopとして(株)トヨタシステムリサーチ(2001年4月以降(株)トヨタコミュニケーションシステム)よりリリースされており、全豊田化成分科会を通じて解析技術の普及に努めている。

2.2 板成形CAE

板成形CAEの取り組み経緯をFig. 6に示す。1986年より3次元薄板変形解析技術の開発に着手し、SR (Stören & Rice) 流理論による割れ予測まで取り扱える現象に拡張した。その後、静的陰解法と動的陰解法を時間的・空間的に複合化することで、大寸法複雑形状品の変形予測の計算時間を短縮した。最近では、材料特性のモデリングによりスプリングバック予測の高精

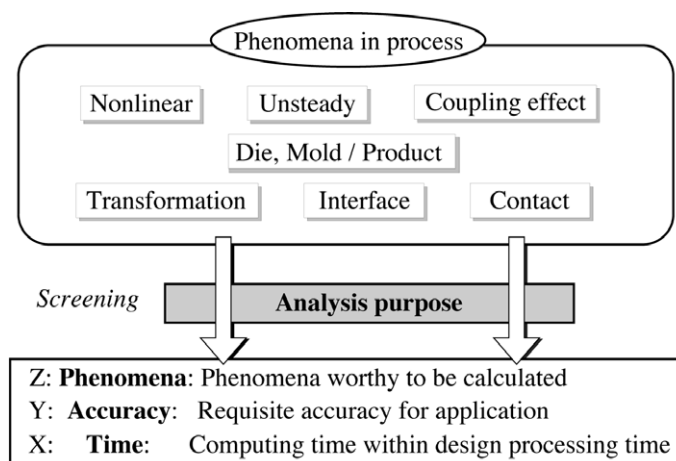


Fig. 3 Required condition of process CAE.

度化を図った。開発した材料特性モデルなどの解析要素技術は、市販ソフトに組み込まれて利用可能となっており、トヨタグループ板成形シミュレーション研究会をトヨタ自動車(株)と共同で発足させて、解析技術の普及に努めている。

2.3 鋳造CAE

鋳造CAEの取り組み経緯をFig. 7に示す。1985年より疑2次元板状鋳物の湯流れに着手し、その後、3次元化して高精度化を図った。1990年より金属固液共存状態での粘性係数の測定による精度向上に取り組ん

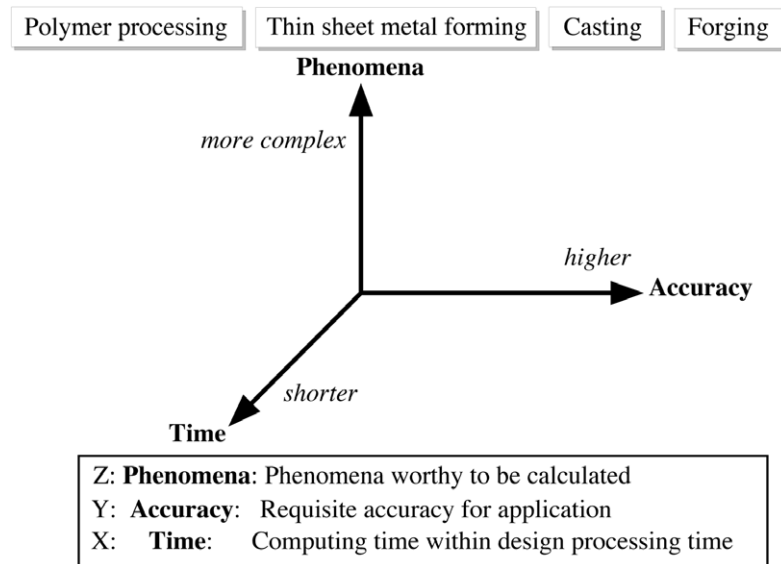


Fig. 4 Representation of developing step.

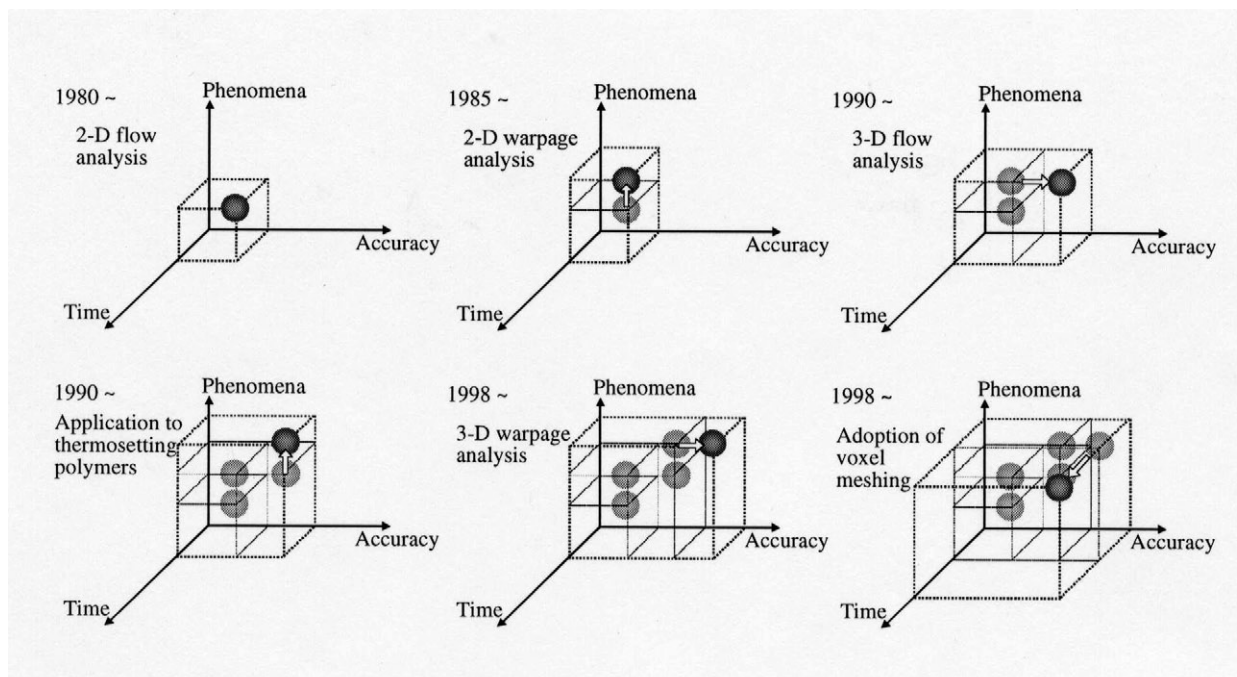


Fig. 5 Developing step in polymer processing CAE.

だ。その後、離散化手法を有限要素法とすることで形状誤差を低減して精度を高めるとともに、粘性係数の取り扱いによる計算の高速化を図った。

2.4 鍛造CAE

鍛造CAEの取り組み経緯をFig. 8に示す。1986年よ

り2次元の塑性変形解析技術の開発に着手し、その後、連続作業時の金型熱負荷を算出する熱 - 変形連成解析技術を開発して、取り扱う現象の範囲を拡張した。1990年より、金型と被加工材間の界面熱伝達特性のモデル化と測定法を考案して高精度化を図った。その後、

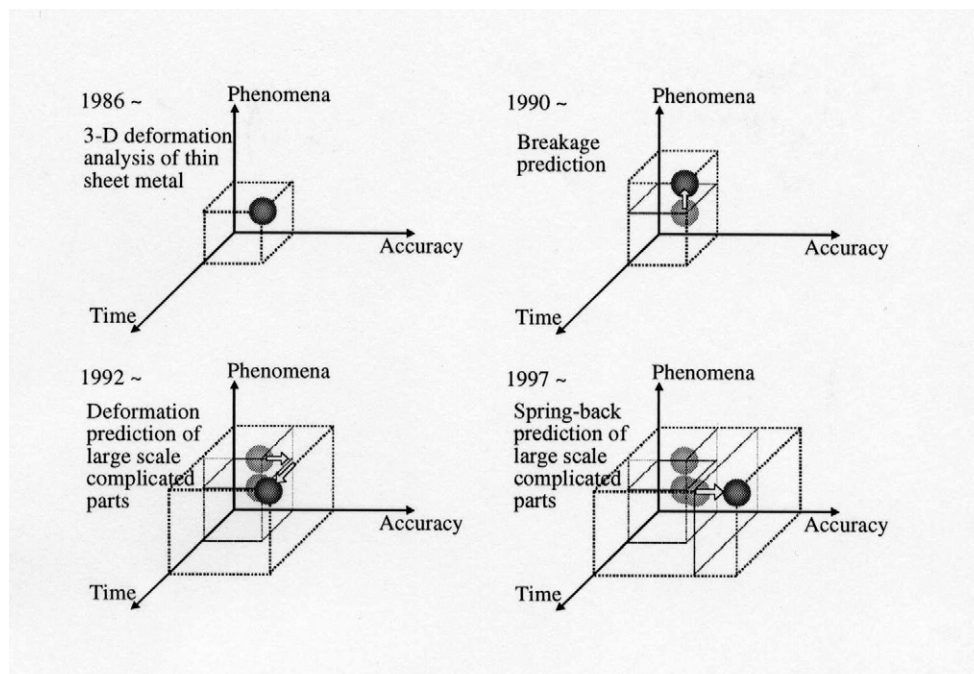


Fig. 6 Developing step in thin sheet metal forming CAE.

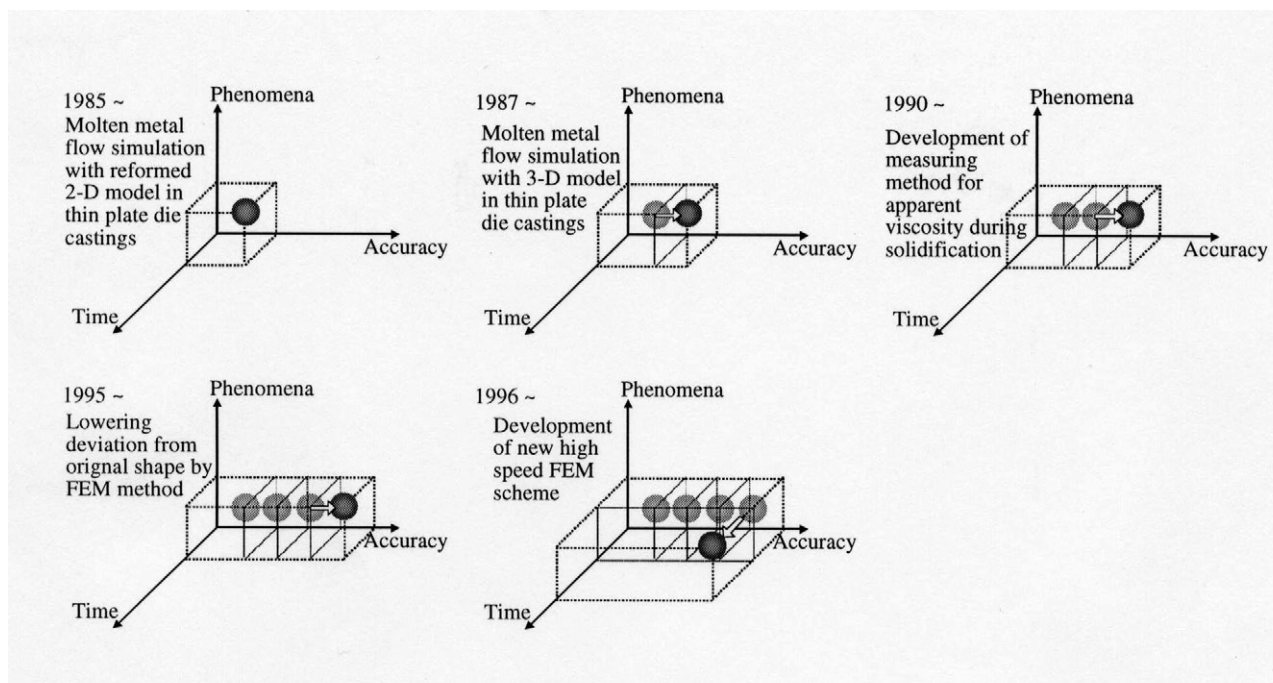


Fig. 7 Developing step in casting CAE.

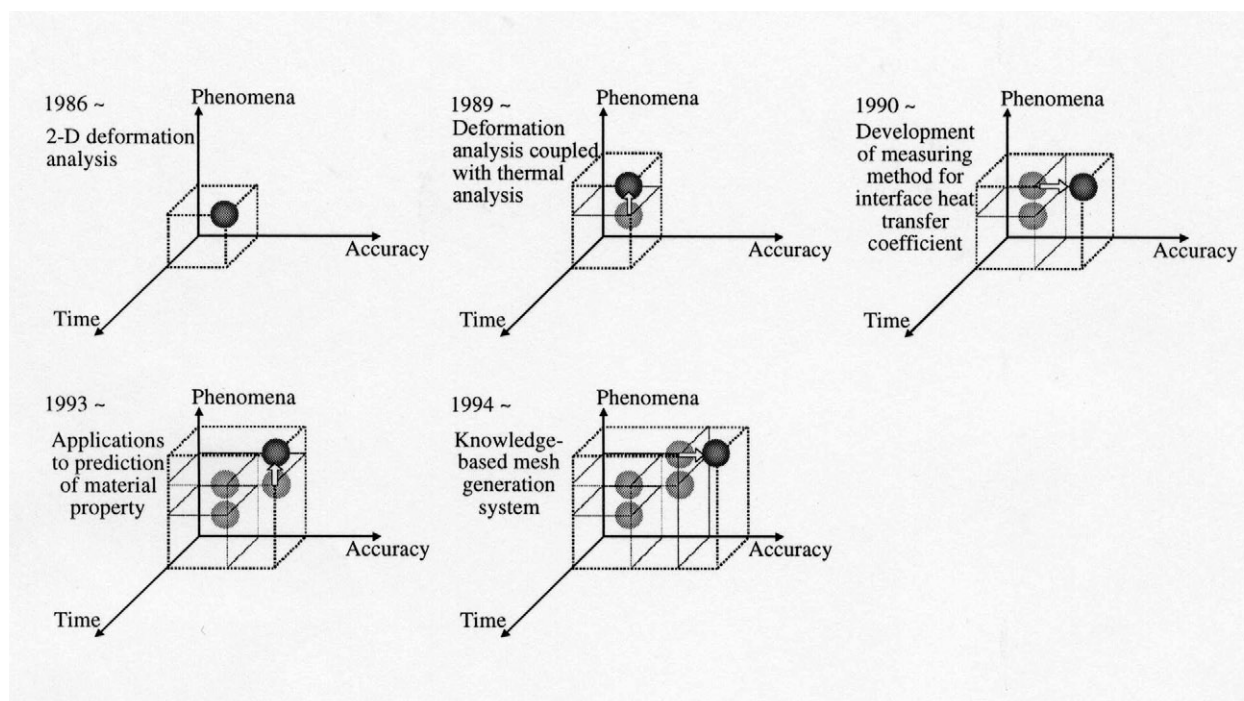


Fig. 8 Developing step in forging CAE.

加工誘起マルテンサイト変態や鍛造品内部のファイバーフローなど製品の内部特性の予測を可能として、応用先を広げるとともに、1994年よりAI(Artificial Intelligence)手法を応用した再要素分割手法を開発して精度を向上させた。開発したソフトは、トヨタ自動車(株)と共同で発足させた全豊田鍛造CAE研究会で試用版として配布された。その後、TOPFORGEとして(株)トヨタシステムリサーチ(前出:本論文p.5)よりリリースされている。

3. 今後の展開

本特集号で報告する4テーマは、いずれも、各加工の基本現象を対象にモデリングと計算法を提案し、実用的な解析ツールを構築したものである。いずれも、通常の設計作業プロセスで使用されているものであり、効果を挙げつつある。

しかし、量産時のコストや使用環境での製品機能のように、コンピュータによる仮想評価が期待されながら実現できていない設計情報がまだ多く残されている。生産加工CAEがより一層の期間短縮、低コスト化、品質向上を担っていくためにはその技術を深化させて、このような設計現場で必要な情報を算出できるよ

うにしていかなければならない。

今後は試作回数削減による開発費低減だけでなく、量産時のコストやできあがった製品強度にも言及できるよう、量産時の現象予測へ発展させるとともに、CAE技術として数値解析だけでなく、解析結果の評価ノウハウを含む加工ノウハウの知識ベース化も併せて展開していきたいと考えている。

(2001年1月9日原稿受付)

著者紹介



中西広吉 Koukichi Nakanishi

生年: 1960年。

所属: 金属加工研究室。

分野: 塑性加工, 特にコンピュータ支援技術に関する研究。

学会等: 日本塑性加工学会会員。

1994年日本塑性加工学会会田技術奨励賞受賞。

1996年IEA/AIE-96 Best Paper Award受賞。

2000年日本塑性加工学会東海支部賞技術賞受賞。

工学博士。