

特集 高品質なモノづくりを指向した生産技術の情報化*

Information Oriented Production Technology to Achieve High Quality Products

小島 史夫

Fumio KOJIMA

From the viewpoint of manufacturing, highly qualified production technologies are important in order to achieve competitiveness in automobile equipment, as are highly productive production technologies and product design technologies. This paper describes the activities of DENSO concerning production technologies focused on high quality from the viewpoint of information technology. Firstly, the activities for highly qualified production are discussed to clarify the relationship between quality and information technologies. Secondly, there is a discussion of actual examples which employ; processing CAE technology, control technology using a vision system for highly precise grinding, knowledge based control technology for highly precise grinding, and flexible inspection technology using a vision system and robot for external appearance. Finally future expectations are discussed.

Key words : Quality, Production technology, Information, CAE, Vision system, Precision control, Knowledge

1. はじめに

日本のモノづくりの競争力の一つとして品質が注目されている。自動車部品においては、グローバルに展開する自動車メーカーへ同一品質の部品を迅速に供給することが、競争力を増すための要件の一つであり、生産現場でも、これまで取り組んできた100%良品を顧客に納入する活動を基本とし、小型化、軽量化、高精度化、低コスト化を指向した生産技術開発が行われており、技術革新の著しい情報技術もコア技術の一つとして、その適用が進んでいる。以下、高品質なモノづくりを実現するための生産技術の取り組みの状況を情報活用の観点から述べる。

2. 品質と情報

2.1 高品質化への取り組み

生産の立場から高品質化に向けての取り組みの概要をFig. 1に示す。

製品開発段階での高品質化、すなわち設計品質は、魅力ある品質を創造するための活動ともとらえることができる。生産準備活動もこの段階から、生産技術の視点で魅力ある品質を製品へ創造する活動が、製品開発とコンカレントに行われる。具体的には、作りやすさ・品質確保のしやすさを意図した生産要件の反映、製品開発へ参画し、製品仕様および生産環境を考慮した材料選定や、生産工程簡略化のための標準化活動、顧客ニーズの多様化と生産性・高品質を両立させるために部品の組み合わせによる多種化や組付け基準の共

通化などによって多種製品であっても作りやすい生産システムを実現する多種整理などの活動と、設計品質を先取りし生産品質へ反映させる、生産性向上および生産品質向上を目指した、新工法開発、新設備開発などの早期生産準備活動が行われる。

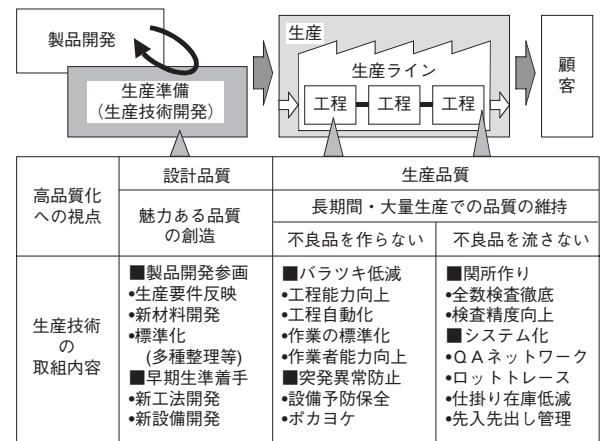


Fig. 1 Approach concerning production technologies focused on high quality

生産活動の段階での高品質化、すなわち生産品質は、生産工程で設計品質を長期間・安定的に高品質な部品・製品へ転写し、顧客に100%良品を納めることである。このためには、基本的に各工程では不良品を作らないこと、生産システムとしては、万が一発生した不良品の流出防止を図ることが重要となる。前者は工程能力をバラツキ少なく安定的に維持・向上すること、および工程の突発異常による大量不良発生を未然

* (社) 精密工学会の了解を得て、「精密工学会誌」 Vol.69, No.12, 2003より転載

防止することが求められ、設備自動化、作業の標準化、作業者自身の品質検知能力の向上、設備予防保全、ポカヨケによる突発異常の防止などが行われる。後者は各工程で確実に流出防止を図る品質の関所を設けることと、全工程を通して不良品の確実な流出防止を行う生産システム面からの取り組みが求められ、各工程で検査工程の導入、検査精度の向上、生産システムを構成する工程全体で確実に不良流出を防止するQAネットワークによる工程設計、品質データに着目したロットトレース、検出時間短縮のための仕掛り在庫低減や先入れ先出しなどが行われる。

2.2 高品質化と情報

高品質化の取り組みは、情報に着目し整理すると、Fig. 2に示すように、製品・部品などの処理すべき対象を要求品質を的確に表現する可視化手法によって認識し、要求との差分から、処理・操作手法によって、加工・組立・検査のいずれか、あるいは複合された手段によって処理される内容を決定し、品質向上された処理結果を得る仕事の流れ、と表すことができる。この仕事の流れでは、可視化するためにはモデル化、特徴認識・抽出の手法、処理・操作のためには定式化、アルゴリズム化、データベース化、知識化などの情報処理技術を生産技術に積極的に融合させることが重要

であり、品質面での競争力となっている。高品質化の各視点での情報処理量の状況を事例で示すが、いずれも増加する傾向にあることが分かる。例えば、視覚装置を用いた外観検査では2次元のモノクロ画像・2値化処理からカラー画像処理へ、最近では3次元カラー画像処理へと推移している。画像処理技術の進化によって情報処理量が増大しており、これによって外観検査の対象範囲が増加し活用が増えている。情報技術の進化による処理能力および処理速度の大幅な向上が、高品質化への取り組みを加速させているとも言える。

具体的な可視化および処理・操作の技術事例を図中に示すが、単なる情報処理システムの展開ではなく、現場の人の作業を支援する、人の作業と強調する、人の能力を自動化して機械に組み込み代替するなど、現地現物を基本に情報技術をうまく活用した技術が多いのが特徴である。

3. 生産技術の情報化による高品質化

本節では前節で取り上げた情報化を指向した生産技術開発による高品質化の事例を紹介する。

3.1 加工CAE

製品開発段階で加工時の品質・生産性をコンピュータシミュレーションで予測し、設計仕様と比較して必

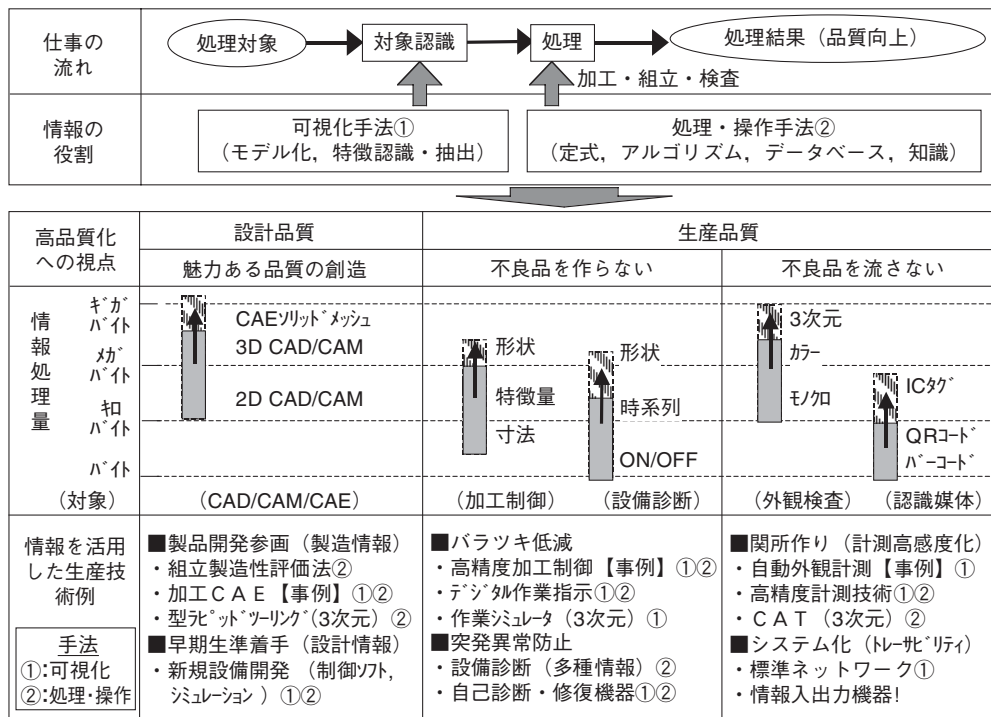


Fig. 2 Relationship between quality and information technologies

要に応じて製品仕様や型仕様を変更し、事前に高品質・高生産性を実機試作レスで実現する加工CAEの実用化が、プレス、冷鍛、ダイカスト、モールドなどの型物部品を中心に進んでいる。加工硬化や成形時の充填不良による強度低下や気密性不足などが、従来の実型確認や専門家の知識依存から、定量的かつ迅速に現物を模擬した品質確認が行えるようになり、製品設計品質の早期完成度向上に貢献している。

Fig. 3はアルミダイカスト分野でのCAEを用いて機密性を向上させた事例を示している。3次元CADによる設計モデルを加工CAEに展開し、流動凝固解析の結果からひげ巣の発生懸念が判明し、それを防止するために流動凝固解析により薄肉化・肉盗みを行い、その結果生じる強度低下を強度解析によってリブで補強する構造設計を行い、設計図面へ反映している。この一連の設計作業が加工CAEにより容易となりつつあるが、正確な結果を得るためには、可視化技術としての計算機モデルの開発、適切な処理をするための材料データの充実が必要である。

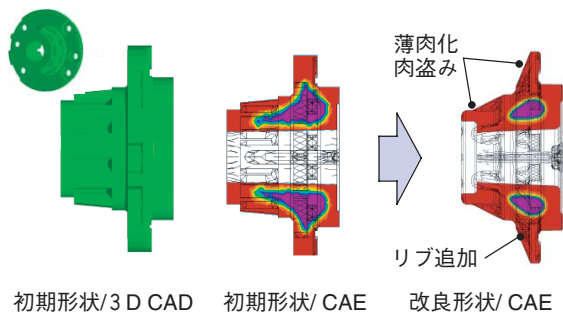


Fig. 3 Diecast CAE analysis case study

Fig. 3に示したアルミ溶湯の充填性に起因する鑄造品質解析¹⁾はFig. 4に代表される流れの可視化実験²⁾により実際のアルミ溶湯の流れの挙動を明らかにし、これから得られた知見を計算方法(定式化、アルゴリズム)の見直しに反映している。多数個取りを想定した可視化モデルの3カ所の湯路は同形状であるが、中央部入口の細くなった部分まで溶湯がまず入り、その抵抗で両端部に流れ、その時間で中央部の細くなった部分は固まり始めることによって両端が流れやすくなるメカニズムを特定した。この知見を解析手法に反映し実用化した。

加工CAEの適用領域の拡大と精度向上が期待されるが、残された領域は対象部品の複雑さ、挙動の定式化の難しさ、高精度化のための要素分割数増加への対応など、情報技術面、加工技術面ともに課題が多く、開

発コスト低減、開発期間短縮のために企業の枠を越えた活動が期待される。

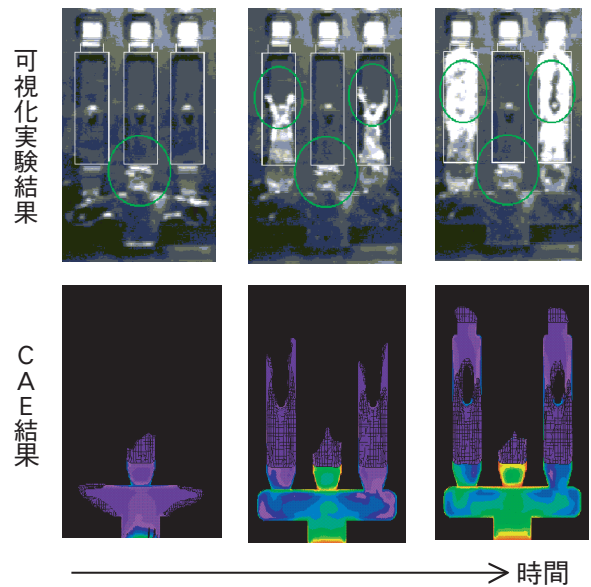


Fig. 4 Visualization experiment for CAE precision improvement

3.2 画像インライン計測技術を導入した高精度加工
燃料噴射製品は、燃費向上、排出ガス清浄化のために、燃料噴射量を高精度で調量することが求められ、バルブ部品加工の高精度化がますます重要となりつつある。高精度加工は、現状では加工中あるいは加工後に加工精度を計測し、その結果を加工機にフィードバックする方式が採用されている。この場合、長さ、径といった1次元寸法をマイクロメータ、レーザ測長器などの1次元計測によって制御パラメータを直接可視化しているが、要求部位の複雑化および精度向上によって、求められる制御パラメータの直接可視化が従来技術では難しくなり、間接的な計測情報を用いて可視化し、定式化あるいはアルゴリズム化された処理によって所要の制御パラメータへ変換し、加工精度向上を実現する制御技術開発が行われている³⁾。

Fig. 5はバルブのシート面を加工するために開発されたインライン画像計測を用いた加工制御システムの構成を示す。この加工ではシート面とシート加工面の交点となるシート径の高精度加工が求められるが、従来の作業者が投影機で側面からシルエット画像を用いて計測する可視化手法では、測定精度が低く、全数計測が難しく、要求精度へ対応できず、Fig. 6に示す画像計測による計測手法を開発した。シート径を全数インライン自動計測する手法がないため、リング照明に

よるシート面での反射光によってシート径部分に現われるハイコントラスト画像をCCDカメラで軸方向正面から観察し、シート径部近傍の2次元画像として可視化、面積計測処理を行いシート径を求める手法を開発した。間接的な計測のため、計測画像に含まれるワークの傾きや長短、照明変化や加工油の付着などによる誤差情報を低減させることが不可欠で、そのための処理アルゴリズムも開発し、従来計測法に比べ5倍の計測精度を実現した。

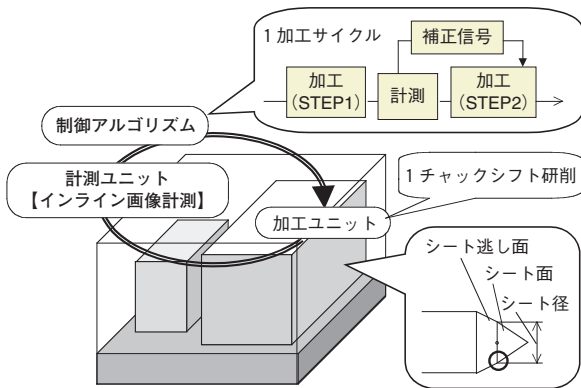


Fig. 5 Processing control system employing an inline image measurement

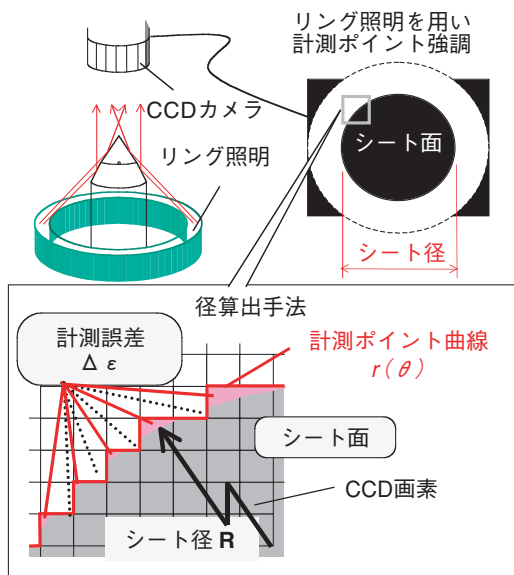


Fig. 6 Inline image measurement technology

本画像計測技術に同時研削を行う研削ユニットなどを加えた加工制御システムのシート径精度をFig. 7に示すが、シート径加工精度が3倍に向上した。

今後も制御パラメータの高信頼性化の必要性は高

く、加工方法の特徴に着目し、間接的計測量の変換により所要の制御パラメータを得る手法の開発は増加すると思われる。

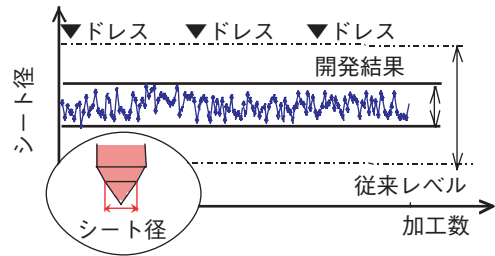


Fig. 7 Applied result of inline image measurement technology

3.3 作業者の知識を組み込んだ加工制御

前項で取り上げた事例は入出力情報の関係が1:1の手法である。高精度な制御を行う手法として、多様な計測情報を用いて、作業者の経験則、ノウハウからなる知識ベースを用いて稼働状態を予見して複数の制御アルゴリズムを起動させ、複数の制御パラメータを操作する、入出力情報の関係がN:Mの高精度制御手法も開発されている。

Fig. 8にバルブ部品の円筒部分の高精度加工を作業者の知識を組み込むことによって実現した加工制御システムの構成図を示す。この工程では、内径寸法とテーパ寸法の2項目が要求精度が高く、設備の稼働状態の微妙な変化で、この二つの項目の精度が変化し、しかも2項目間の相関が弱く、品質の安定化に苦慮していた。作業者は段取り作業時、休憩時間後、砥石ドレス後などの稼働状態の変化を注視し、経験則によって蓄積された対処方法を用いて操作を行っていた。この方法では、作業者の変化により不良品の発生状況が異なるため作業者が特定され、入出力関係のシンプルな相関づけが難しく、改善が進まない課題があった。そこで、作業者のノウハウを知識として抽出し、この知識を制御アルゴリズムに組み込んだ加工制御システムを開発した。

入力情報の可視化および作業者の処理方法の抽出のために、設備の稼働状態、部品の加工データ、および環境変化を時系列に長期間記録し、この情報から作業者の制御方法を再現し、入力情報として13項目の寸法データと設備の稼働情報、出力情報として作業者の処置を含む10項目、処理を決定するための39の制御知識を特定した。この結果に基づき、多入力多出力の制御システムを開発した。

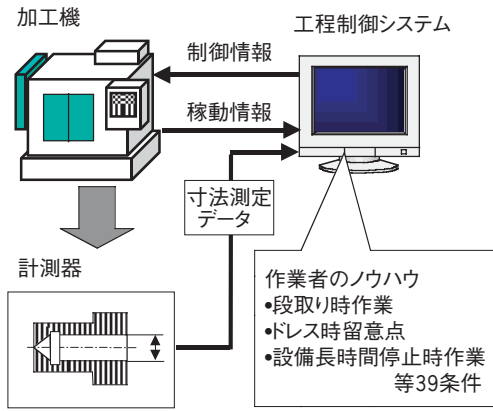


Fig. 8 Knowledge based processing control system

開発結果の一例をFig. 9に示す。設備の状態変化を確実に計測することにより制御知識から特定されるさまざまな制御が頻繁に起こり、加工狙い値に対する追従性と工程能力の高い良好な結果が得られた。制御則が特定されたことによって作業員への依存性がなくなり、長期間安定的な高精度加工が可能となった。Fig. 9に示す事例では、設備停止時、砥石交換時などの非定常作業時の微妙な加工条件の補正を経験則により行っていた状況が、設備の稼働情報、寸法測定データなど常時収集されるデータから総合的に判断し、頻繁に制御が行われ、品質が安定している状況となっていることを示している。

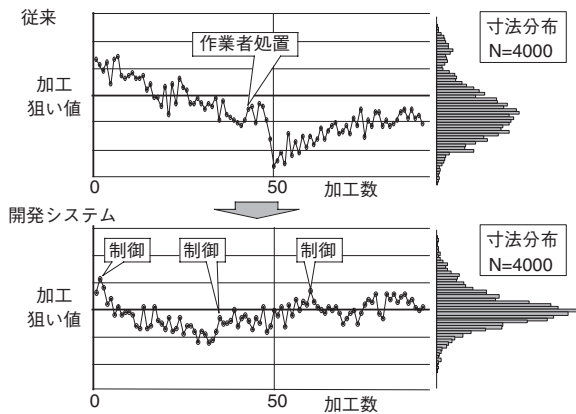


Fig. 9 Applied result of knowledge based processing control system

本手法は、従来作業員の技能・ノウハウで対応せざるを得ない技術化が困難な高品質化の主要因に適用する場合には有効である。しかし作業員の技能、ノウハウの技術化は非常に難しい技術課題であり、本事例でもいちばん苦勞した点である。知識抽出の技術開発の進歩が展開には不可欠である。

3.4 インテリジェント視覚モジュール

不良品の流出防止の最後の砦として外観検査があるが、検査部位の多さと対象機種が多さゆえに、作業員のもつ認識能力の高さと柔軟性に勝る合理化が遅れていた。しかし、生産拠点多拠点化・グローバル化の展開する中で、同一品質を確保するために品質向上の視点から人的な要因を排除する安価な自動化が求められてきた。そのためにFig. 10に示すように、ロボットにカメラをもたせ、多部位および多種類の製品に対しても柔軟かつ迅速に対応可能なインテリジェント視覚モジュールを開発・導入し、効果を上げ始めている⁴⁾。

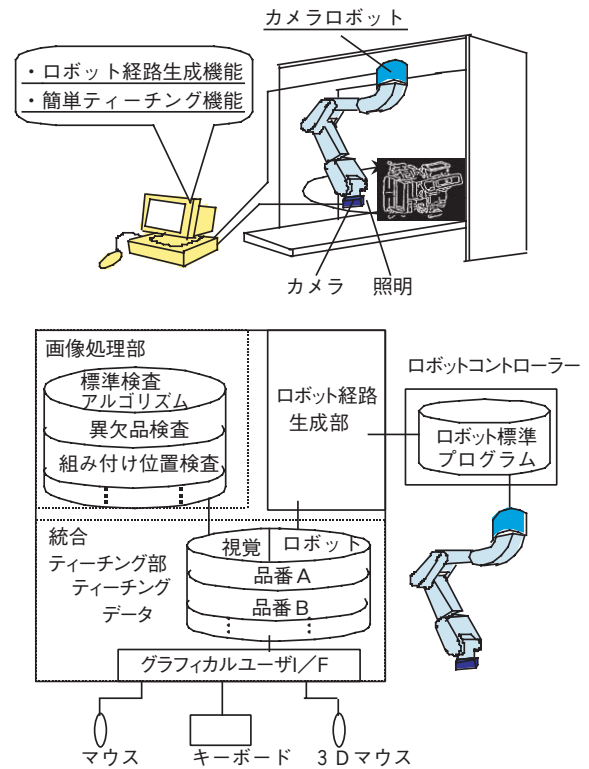


Fig. 10 Configuration of an intelligent vision module

製品最終外観検査工程では、全方位から30～50カ所もの検査項目、組立ラインに同期した作業速度が求められるので、柔軟かつ高速な検査動作が必要となる。そのためにカメラ付き多関節ロボットが設備構成としては望ましいが、製品の形状を高速で特定するためには、カメラが停止せず移動しながらワークの位置・姿勢を正確に認識しなければならない。ロボットの制御は停止点の位置は保証されるが、動作中の通過点は指示してもロボットが高速動作するために指示点近傍で一致することが困難であり、それを解消するために、動作中の通過点を指示した姿勢で正しく通過さ

せることのできるロボットの経路生成手法を開発し、移動しながら正しく製品形状を特定できるようにした。外観検査では30～200品番へ対応することが求められ、しかも新製品追加、製品変更も多いため、ロボットの経路ティーチングの簡易化が不可欠であり、このためのティーチング部も開発した。複数の画像抽出制御ポイントを正しく通過するための画像処理教示と、ロボットの経路教示を融合させて計算できる構造を特徴としている。この結果、平均35カ所の検査を平均17秒で処理、ティーチング時間も5分/1カ所と従来比1/5を実現でき、最終外観検査工程の自動化を実現した。

安定的な不良品流出防止の関所として、グローバルに拡大展開するには、さらなるコストダウン、人を生かした代替技術開発が期待される。

4. おわりに

高品質化は、製品設計技術および生産技術の構成因子が複雑に絡み合い、統合化された、巨大かつ複雑なシステムの最適化を図るものであり、一朝一夕に構築

できるものではない。原理・原則・現地・現物に根付いた高品質化に向けての地道な活動が不可欠であり、それを大量・高速・高頻度な特長を有する情報技術と融合することによってこそ、初めて情報技術を生かした高品質なモノづくりが実現される。この考え方に今後も立脚して高品質なモノづくりの技術開発に取り組んでいく。

<参考文献>

- 1) 新山英輔：鋳物，Vol.54（1982），p.30.
- 2) 飯見秀紀，加藤鋭二：日本鋳造工学会第139回全国講演大会講演概要集（2001），p.138.
- 3) 山本宗ほか：インライン画像計測を用いた高精度加工システム，日本機械学会2002年次大会講演論文集（2002），p.349.
- 4) 木村博志ほか：インテリジェント視覚モジュールの開発，日本ロボット学会第21回学術講演会講演概要集（2003）



<著 者>



小島 史夫
(こじま ふみお)
生産技術部
工学博士
生産システム開発に従事