



Y Ito

これからの生産システムに望まれる姿

— 10年及び20年前に行われた予測研究の妥当性評価を基に —

東京工業大学 名誉教授
伊東 諒

キーワード：生産環境予測，製品・プロセス革新，仮想産業集積

生産技術は、一国の富を産み出すと云われているように、国の存立や繁栄に対して大きな役割を果たしている。その結果、国際協調が強調される環境下でも他国に対して優位性を確保する、あるいは後塵を拝している場合には、他国に追いつき、追い越すために、一般的には5～10年先という将来を見越した研究・技術開発が試みられている。当然ではあるが、そのような先行的な試みに投資するためには、10～20年先の状況を長期予測して、その成果を判断に援用した上で投資対象である技術開発課題の妥当性を評価するのが望ましい。

しかし、そのような将来予測は、云うまでもなく不確定因子が多く、非常に難しい作業である。例えば、2000年の生産環境予測では、「ベルリンの壁の崩壊」は予想されていなかった。又、技術面に限定しても、これ迄の将来予測研究では、「関連する中核技術の開発速度の推定」、あるいは「ある技術の適用可能な時期の予測」の面で難点が認められる。しかし、工業先進国では、国の生存圏を確保するという必然性から、生産技術の場合には、これ迄にも1980年代半ばに2000年、又、1990年代後半に2015、あるいは2020年の生産環境の予測が行われてきた。この生産環境予測では、対象とする年代の技術的、経済的、並びに社会的な影響因子を想定して、生産システムの望ましい姿、中核となるべき技術、創り出すべき戦略製品などを提示している。特筆すべきは、このような生産環境予測研究では、これまで我が国は、国際的にも優位に立っていたことである。

さて、そのような過去の経緯を踏まえて、現時点で将来を眺めるとすれば、対象とする時期は、2030年となるであろう。しかし、残念ながら2030年を対象とした長期の予測研究は活発にはなされておらず、現時点では、数年先の競争力維持に関わるプロジェクト研究が主に行われているに過ぎない。これは、将来の生産環境の予測研究に於いて、かつ

で一翼を担っていた英国や米国が物づくりの場から脱落して、「中国大陸が世界の工場」と云われていることと無縁ではないようである。ちなみに、欧州で進められているプロジェクト研究では暗黙のうちに競争相手と目しているのは日本である。

そこで、本文では、まず、2000年の生産環境に関わる予測研究の妥当性を評価するとともに、2020年の予測研究で想定したものと異なる、現時点での新しい潮流を説明している。ついで、それらを基に2030年に望まれる生産システムの姿について私見を述べている。

1. 1980年代半ばに行われた将来予測研究の妥当性

2000年の生産環境を予測する研究は、1980年代半ばに米国、ドイツ、英国、並びに日本で行われている[1]。ここで、それらのうちから、「未来工場の姿」及び「戦略製品」に関わる予測の妥当性を2005年の現状と比較して評価してみよう。

さて、表1にはベルリン工科大学の Spur 教授による未来工場の予測例、又、表2には、我が国の国際ロボット・FAセンターにより提示された戦略製品の予測例を現時点での評価とともに示してある。これらの表から判るように、大規模FMS（フレキシブル生産システム）が全盛の時代に、未来工場の姿としてセルの重要性及びセルの中核機が「単純化」することを指摘して、これは現時点で自動車産業の加工設備を眺めると、まさに的中している。一方、戦略製品については、無難なところを予測して、その結果、ほぼ妥当という評価になるであろう。しかし、建設機械、農耕機械、並びに工作機械が2000年代初めに我が国にとって戦略製品という図式は、予測した当時でも陳腐的な発想とも思われたが、現実は見事に現在の状況を言い当てている。なお、表中で兵器システムは、予測とは異なると評価されているが、これは見方によっては「予測どおり」とも評価できる。その典型的な例は、小火器への情報及び電子技術の取込みで進

表1 1985年ごろに予測された2000年の工場の姿
(Spurによる)

提案された工場・生産システムの姿	2005年での実現度	備考
情報ネットワークを利用した在宅分散工場	△	Localised Globalisation生産体制として実現（但し、「在宅」のキーワードは未だ不十分）
移動工場	×	
分散配置に適した単純化機械を核とするセルからなるシステム	○	セル生産は、加工及び組立の分野で主流／加工の場合は、「器用な機械」も核
先進形フレキシブル生産	○	アジャイル、リーン生産として実現
海中・地中工場	×	（地中工場は、数は多くないが、例えばスウェーデンに1940年代から存在）
宇宙工場	×	（実験レベルは存在）

○ 予測通りに実現 △ すべてでなく、一部実現 × 実現せず

表2 1985年頃に予測された2000年の戦略製品
(国際ロボット・FAセンターによる)

将来の戦略製品		妥当さ	将来の戦略製品		妥当さ
ハードウェア志向	乗用車	○	ソフトウエア志向	情報機器	○
	超コンパクト移動車	×		生産システム	△
	建設機械	○	その他	個人対応機器	△
	農耕機械	○		生体補綴機器	○
	工作機械	○			
	宇宙機器	△			
	兵器システム	×			

○ 妥当 △ 一部妥当 × 妥当ではない

められている「C4ISR」で示されている^{注1)}。

2. 1990年代後半に行われた2015年、あるいは2020年の生産環境予測でみるべきものとそれらの達成可能性

2020年の生産環境予測は、1990年代後半に、日本、英国、米国、並びにドイツで7プロジェクト程行われている。これらの活動では、英国の20/15ビジョンで、先端的設計工房、あるいはハイテクノロジー・高度熟練技能集積形高品質製造工房のような姿が提示されているものの、一般的には、生産システムの姿を描き出すためのキーワード群が提示されているに過ぎない[2]。そこで、まず表3には米国、Bollinger教授が提示したキーワード[3]に対して、現時点での評価を示してある。表3にみられるように、かなりの確度で2005年の時点での様相を予測していると判断されるが、問題は、この路線上で2020年頃まで進むか否かである。なお、表中の「備考：具現化しつつある姿」は、理解を容易にするために筆者が追記したものである^{注2)}。

次に、表4には、1990年代後半に行われた予測研究を参考に、筆者が2000年の時点で個人的に想定した2020年の「生産システム」及び「工作機械」の姿を、現時点での評価とともに示してある[4]。表3の場合よりも更に将来を展望しているので、「高齢者対応の生産システム」や「工芸品の製品の生産システム」については不透明なところが存在する。また、そのようなシステムの中核と目される工作機械についても、「重切削・多量生産可能な超精密工作機械」を除けば、これからというところであろう^{注3)}。なお、同時5軸制御MC（マシニングセンター）への需要が急速に増加していることにみられるように、情報パッケージ付工作機械は、2020年には普遍化していると予測される。

ここで、工作機械について、少し詳しく触れると次のよう

になる。

(a) 超精密、あるいは精密部品の多量生産は、家電情報機器の急速な普及とともに、必然的な動向と考えられてきた。ところが、自動車の燃費向上を「稼動部分の摩擦の極端な低減により達成」という新たな方向への展開が始まり、自動車部品の精密加工への要求も急速に高まっている。例えば、歯切り加工後シェービング仕上げをして使用していた歯車を焼入れ、研削加工したり、深穴ドリルの溝部を鏡面仕上げすることも行われるようになった。また、精密加工を要求される生体補綴機器では、個体差へこまめに対応しながら性能向上を期する方向が強まり、精密部品の多種多量生産という新しい要求が顕在化しつつある。

(b) いずれの方向へ発展するにしろ、「コンパクト・軽量化構造」に関わる技術開発が将来の工作機械に共通の課題として指摘できる。具体的には、「傾斜機能材料やスマート材料の利用」、「剛性方向依存性を取り入れた構造設計」、「多機能集積形 Entity（機能複合体）の開発」^{注4)}などの個別課題を挙げられる。

ここで、表5にはドイツ工作機械工業会の主導の下で行われているプロジェクトで2010年頃までに開発すべきとしている、切削加工用及び塑性加工用工作機械の技術開発課題の例を示してある。切削加工用では、表4で示唆されているものと同様、あるいは類似の課題が指摘されている一方、塑性加工用では、切削加工用を追いかける形の課題が多く示されている。注目すべきは、多量生産用の技術と一般的には目されている塑性加工技術において、少量生産や試作品生産のための塑性加工機械の開発が試みられていることである。これは、部品生産で切削加工か塑性加工かという、いわゆる「悪問題」を将来的にさらに複雑化させるであろう。

表3 1990年代後半に2020年の生産環境予測に用いたキーワードの現実度（Bollingerらによる）

将来予測のキーワード	現実度	備考：具現化しつつある姿
情報伝達の迅速化と知識の共有化による競争の激化	○	
地域市場に対応できる地域共同体密着形の製造業	△	生産活動がGlobalisationからLocalised Globalisationへ
新たな工場製品消費国を視野に入れた市場要求への迅速な対応	○	工業先進国に於けるロシアや印度の次にアフリカを市場と捉えた企業活動の胎動
新しいアイデアの迅速な商品化	○	例：Digital engineering + Rapid prototypingの普及
全企業活動の高度集積	○	Concurrent engineering から ERM (Enterprise Resources Management) やSCM (Supply Chain Management) へ
全企業活動の情報と知識の迅速な意識決定への利用	○	
熟練した人的資源を含む競争力ある生産資源のグローバルな分散配置とその組合せによる協調生産	△	Localised Global 生産、仮想地域集積生産体制の普及
ネットワークベースの学習活動による新技術の迅速な習得	△	
革新的な生産プロセス技術の導入	△	
ナノ・ファブ리케이션	△	
バイオ駆動形生産プロセス	×	
環境保全と資源再利用	○	Re-manufacturing を専業とする企業の増加

○：現実化

△：一部現実化

×：現実化せず

表4 2020年に於ける生産システム及び工作機械として想定されている姿の妥当性

想定されている生産システムの姿		進展の状況	2005年の時点での該当する姿
大前提 高度情報化・高齢化 社会の急速な進展	Localised Globalisation 方式の生産システム	○	企業の生産活動の国際展開及び仮想地域集積の進展
	高齢者対応生産システム	△	
	高齢者用製品を創出する 生産システム	△	
環境問題への 積極的な対応	環境調和形生産システム	○	進む Re-manufacturing の普遍化
熟練技術・ 技能の保存	工芸的製品を創出 する生産システム	×	○：想定通りに進展 △：想定通りに一部進展 ×：想定通りに進展せず
技術や技倆の創発 に於ける文化の違い とその重要な役割	文化風土調和形生産システム	×	
想定されている工作機械の姿		進展の状況	2005年の時点での該当する姿
情報パッケージ付工作機械 重切削・多量生産可能な超精密工作機械 文化風土適応形 「ゆるぎ・くもり」なし工作機械		△	加工ノウハウ・データベース組込みNC、遠隔診断機能付NC、 並びに機械の個体差対応NC、として実現中 家電情報機器、自動車部品、生体補綴機器で加工要求が急増中 一部で商品化されているものの、生産量はわずか 大形高精度横形MCで宇宙望遠鏡部品を加工
		○	
		△	
		—	

表5 システムの核となる切削加工及朔塑性加工用工作機械の研究・技術開発課題
(ドイツ工作機械工業会が主導, 2005年頃)

工作機械	塑性加工機械
複合加工機と複雑形状部品用取付け 技術の高度化による品質向上と工程短縮	新しい塑性加工、接合、並びに検査 プロセスの統合と短縮化
迅速な生産対象とロット数の変換を 容易とする、再構築性の高い革新的な 軽量化機械	大形量産製品のための機械構想
情報技術利用による工程の洗練化と信頼性 の向上	少量生産及びプロトタイプ創出のための 機械構想
全寿命サイクルに対する機械と工程の流れ のモデル化とシミュレーション	仮想機械

注8：工作機械：「将来の工作機械への要求課題」として2004年にドイツ連邦文部科学省（BMBF）から
公告が予定されていた研究・技術開発プロジェクト

塑性加工機械：BMBFの「明日の生産のための研究」計画中で「塑性加工工作機械ビジョン2010」として
示されている、将来実現すべき姿

注9：中古機械の中古部品による再生修理も含まれると解釈される

3. 2005年の時点でみられる新しい潮流とそれを加味して 考えられる2030年頃を実現するであろう生産システ ムの姿

前章で述べたように、2020年の生産システムの予測研
究が数多くなされているためか、2030年頃を実現するで
あろう生産システムの予測研究は、あまり活発ではない。そ
の反面、短期的な見通しや当面の研究・技術開発課題、す
なわち数年先の製品革新や生産プロセス革新等を通じた競
争力強化に関わるプロジェクトが数多く行われている。しか

も、これらは日本を競争相手と明確に位置づけていると云っ
ても過言ではないであろう。

そのようなプロジェクトとしては、まず、米国の
PCAST(President's Council of Advisors on Science &
Technology) が上げられる。これは、「科学技術人材とその
育成策」を対象に2001年9月から活動を開始したもので
ある。そして、2004年1月に第1報を報告しており、その
内容は、Nano-technology に重点をおいた IT Manufacturing
を対象としている。又、欧州ではMANTYS^{注5)} や Precision

4 μ^{注6)}のようなプロジェクトが行われている。後述するように、MANTYS では、工作機械が加工対象とする製品の今後の変化を考慮して、それらに対応できる生産技術のあるべき姿が色々と議論されている。又、Precision 4 μでは、我が国が先行している「超精密部品の多量生産用工作機械」が開発対象となっていて、当面は光学部品を対象としている [5]。

ここで、まず、将来予測に関わるであろう、更に新しい技術面での潮流をいくつか挙げてみよう。

(1) 生産システムの規模は、セルレベルが主流となっていて、大規模のシステムは、セルの集積体として構成される。例えば、FML (Flexible Machining Line)^{注7)} は、FMC (フレキシブル生産セル) の集積体であり、FMC は、5軸制御 MC を中核とする方向へ移行中である。

(2) 表4では、我が国は高付加価値が期待される機種へ生産の主力を移して、生産対象機種の面でドイツと棲み分けを、又、追いつけてきている韓国や台湾と差別化すべきであるという大前提で予測が行われている。しかし、市場規模が格段と大きく、2005年の時点でも我が国が圧倒的な強みをみせている汎用 MC や TC (ターニングセンター) の生産を自ら放棄して、韓国や台湾へ譲る必要もないであろう。もし、全面的に譲ったとしても、韓国や台湾は、国力からみて日本に替わって世界の汎用 MC や TC の需要に対応できる供給能力はないと考えられる。

(3) 上記の状況にも拘わらず、もし棲み分けが必要となれば、我が国としては、アフリカやラテンアメリカのような第三世界を視野に入れて、「値ごろ感」のある、リーンな仕様の機種、例えば米国、Cincinnati 社がかかって生産していたような、レール方式門形5面加工機を生産すべきであろう。

次に、2001～2002年にかけてドイツ工作機械工業会が主導して行った「2010年頃の工作機械の姿」の予測を眺めてみよう。この予測では、表6に示すように、生産技術の専門家が予測した工作機械の姿への大きな影響因子が

いくつかの開発すべき技術とともに挙げられている。当然のことながら、工作機械の最も有力なユーザである自動車産業の動向が大きく取り上げられていて、「パワートレイン」の大幅な変革及び「自動車のモジュラー構成」の進展による生産プロセスの変化がここ10年ほどの間に工作機械に大きく影響するとされている [6]。

いずれにしろ、自動車や航空機に生じるであろう変革が工作機械のあり方に大きく影響することは明らかである。そこで、主として日本工作機械工業会が2004年に行ったヒアリング調査の結果と筆者が個人的に入手した情報を基に、MANTYSでのPage氏の報告を加味して対象製品の変化を眺めてみると、表7ようになる。また、自動車の生産では、FSV (Full-Service-Vehicle) Supplier と称する企業も台頭してきている。これは、一括受注の下請け企業とも解釈され、自動車産業の生産設備にも影響を及ぼすであろう。ちなみに、FSV Supplier の一つである、Magner-Steyr 社の生産品目は、Saab 9-3 convertible, Mercedes-Benz G class & E class 4matic, BMW X3, Jeep Grand Cherokee, Chrysler Voyager & 300C である [7]。

さて、表7は、工作機械の最大手のユーザである自動車、また、ユーザとしては大手ではないが、加工技術面で工作機械に多大の影響を及ぼす航空機を対象にまとめたものである。動機は異なるものの、顕著な傾向として「部品の一体・複雑化の進行」、「素形材加工の高度化による粗加工の大幅な削減」、並びに「新素材の積極的な採用」が挙げられる。これらは、自動車及び航空機産業向けの工作機械に(1) 同時5軸制御 MC のような多機能化、(2) 情報システムとのインターフェースの完備、(3) 自動診断システムの完備などを要求する傾向を促進している。又、自動車産業では、迅速なバッチ生産へ対応できる、新しい加工システムへの要求が強まっている。ちなみに、このような加工システムとして、先進形 FML と称すべき、同時5軸制御 MC を上回る、器用な

表6 今後の工作機械の姿に大きな影響を及ぼすであろう因子 (Gausemeier による)

影響因子	具現化する時期 (西暦年)	影響因子	具現化する時期 (西暦年)
ユーザマネジメントが工作機械の購入動機の支配因子	2005～ 2010	プラグイン方式加工システムの 広範な普及	2011～ 2015
リース制度のような購入資金 モデルのユーザへの提示	2005～ 2010	工作機械関連の技術 非稼働時間の90%は、ソフト ウェア及び物流の不備に起因	2005～ 2010
製品寿命の短縮化に対応すべき 製品及び生産プロセス革新への 投資	2011～ 2015		2005～ 2010
自動車産業の影響		工作機械の30%に自己保全、 加工誤差予測、並びに遠隔サービ ス機能を完備	2005～ 2010
生産される自動車の30%がハイ ブリッド及び非化石燃料で駆動	2015～ 2020	能動形マイクロメカトロ機器の 広範に亘る使用 (例：能動形工作物把持具)	2011～ 2015
生産される自動車の50%が 個人の嗜好を満足させる仕様	2011～ 2020	高硬度材料の乾式高速加工用 切削工具への要求が増大	2011～ 2015
自動車の下請け産業では「全寿命 サイクルコスト」に基づく工作 機械購入の意思決定	2005～ 2010		
自動車のモジュラー構成の進展	2011～ 2015		

表7 自動車及び航空機にみられる製品・生産プロセス革新の例(2005年頃)

自動車	<p>製品寿命が短くなり、一車種の生産量が減少：エンジンでみれば2万台対応の加工ラインを5千台対応へ換装 FSV(一括下請け)の胎頭やRe-manufacturing専業企業の増加</p> <p>部品の集積度(一体部品化)を高めて重量軽減による燃料の向上： アルミニウム合金のダイカスト成形の普遍化/ニヤネット形状による粗加工の大幅な削減 部品仕上げ加工の高精度化による摩擦の低減(燃費の向上)：多量生産用の超精密加工技術の開発 増加するFoam材の使用 ライナー無しのアルミニウム合金製シリンダー・ブロックの採用</p>
	<p>切削加工のアジャイル化 FTL(Flexible TL)からTL(Transfer Line)への回帰、並びにFMLへの展開 EUの企業による東欧に於ける有人リーマン生産の促進</p>
航空機	<p>一機種当たり500機オーダの生産量：型代の高い鍛造材は、強度部材に10%ほど残るのみ</p> <p>素形材加工の革新により一体削り出し加工は削減：レーザー溶接の全面的な採用(2015年頃)/ニヤネット形状化による粗加工の削減 部品点数を減らすために部品の一体化と複雑化の進行 チタン合金の重切削</p>
	<p>プラスチック材と金属複合材の全面的な採用(2010年頃) 軍用機では、CFRPが50%を占有 民間機では、平板素材から削り出すアルミニウム合金部品が70%(重量比)：高速・重切削加工へ(主軸回転数は、30,000 r.p.m.)</p>

工作機械を核とするセルを集積したFMLが期待されるであろう。別の表現では、「転用性が高く、立上りが早い、又、手離れの良い」加工システムとなるであろう。

なお、表6に示されている「高硬度材料の乾式高速切削」や「能動形工作物把持具」は、自動車や航空機の部品の一体・複雑化とも密接に関係しているものと推測される。

最後に、筆者個人としての予測を述べれば、「Localised Globalisationの進展」、「情報化社会の高度化」、「工業先進国に於ける高齢化社会の進行」、並びに「Customer Delight商品の普遍化」というキーワードに対応できる生産システムが2030年には実現されるであろう。具体的には、仮想地域集積方式の生産システム、あるいは製品棲み分け生産体制で「老人の健康維持や生きがいを助ける製品」のような、個体差対応で個人の趣味に合致する製品を産み出すものと思われる。これは、現時点でのLocalised Globalisationに対応する生産システムの成熟化とも解釈できる。

更に、このようなものづくりの場を支える技術者として望ましい姿は、「地域特化形」であろう。すなわち、「深い地域専門性」を有しながら、「国際性」を有する技術者像であり、このような技術者の必然性は、生産文化論の領域で2000年代の初めから提案されている。ちなみに、生産文化論では、ある技術体系が、そのまま全世界へ適用できるとするのは神話であり、ある技術体系は全世界共通の技術と地域特化の技術の組合せで構成されるべきとする仮説を提唱している[8]。

注1：C4ISRは、Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissanceの略。2004年の英国国防白書による。

注2：「仮想地域集積生産体制」とは、ある地域内に同じ、

あるいは類似の製造業が集中して存在している、いわゆる「物理的な産業集積」に対して、情報ネットワークを積極的に利用して「仮想的に産業集積」を実現するもの。すなわち、「距離」と「時間」の制約条件を克服して、一群の緊密にグループ化された企業が、あるシステム規模(地方規模、国内規模、大陸規模、世界規模など)で生産活動を展開すること。工作機械の領域では、DMG(Deckel-Maho-Gildemeister)のCross, Gidding Lewis, Hüller Hille社などを包含したグループの世界展開がある。

注3：「ゆるぎ・くもり」なし工作機械は、科学分野の機器で要求される超精密な部品、例えばレーザー核融合用の鏡の加工用として想定されているが、そのような加工へ汎用機の高精度化で対応する動きもみられる。ちなみに、表中の宇宙望遠鏡とは、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡であり、ベリリウム(質量200kg)の素材から削り出して21kgの完成品とする(日本工作機械工業会主催、工作機械トップセミナーに於ける三井精機、下村栄司氏の講演から、2007年9月13日)。なお、専用機の役割を汎用機、あるいはそれに類する機械で代替する動きは、2005年頃には活発化しており、例えば、ドイツ、Schütte社では、NC工具研削盤を、骨髄腔ラaspのような、手術用器具生産へ転用している。

注4：多機能集積の例としては、「小さな摩擦力と大きな減衰能を同時に具現化する転送面」を有する転がり軸受けが挙げられる。

注5：MANTYSは、「Thematic Network in Manufacturing Technologiesの略」であり、EUのプロジェクトの一つとして2001年9月から活動中。2003年10月にミラノで開催されたEMOにて報告会が開催され、そこでPage氏が「Product Innovation by end-users」と題する基調講演を行って、例えば2010年まで

に「カムレス・エンジン」と「42Vシステム(ブレーキ,スロットル・バルブなどの電子制御,いわゆるDrive-by-wireシステム)」が実現するなどの話題を提供した。

注6: Precision 4 μ は, 2006年5月に研究資金約20億円, 4年間の研究期間で開始されたプロジェクト. 光学部品の多量生産を対象として, ドイツ, アーヘンにあるFraunhofer IPTがリーダーを勤めて, イスラエルも加えて欧州各国から20の企業や研究機関が参加。

注7: FMLは, ドイツ, Fritz Werner社が提唱した加工システムの構想で, 自動化されたセル群の集積体としてシステムを構成するものの, 物流はマニュアル方式とすることが特徴。

参考文献

- [1] Ito Y. “ Conceptualizing the Future Factory System “. Manufacturing Review of ASME 1988; 1-4: 252-258.
- [2] 伊東 諒. “技術予測11 生産システム・加工技術”. 牧野, 江崎(編著) 21世紀の技術革新 2000, 工業調査会, pp 152-170.
- [3] Committee of Visionary Manufacturing Challenge. “ Visionary Manufacturing Challenges for 2020 “. National Academy Press, 1998, Washington D.C.
- [4] Ito Y. “ Predictive Research into Desirable Features of Machine Tools in the Year 2020 and Beyond - Private Viewpoints and Assertion “. In: Proc. of Inter. Machine Tool Technical Seminar, Korean Machine Tool Manufacturers' Association / Korean Society of Precision Engineering, Seoul, 2000, pp 3-18.
- [5] Schuh G, Nollau S. “ Herausforderungen der Prozesskettenplanung und Kostenvorhersage in der Mikroproduktion “. Zwf 2007; 102-5: 304-308
- [6] Gausemeier J et al. “WZM 20XX - Initiative für die Werkzeugmaschine von morgen”. Zwf 2005; 100-7/8: 420-424 及び Zwf 2004; 99-4: 146-151.
- [7] Coronado M Adrian E, Coronado M Christian E. “ Ready to Drive “. IEE Manufacturing Engineer Feb./Mar. 2006; 85-1: 36-39.
- [8] Ito Y. “ Growing Importance of Manufacturing Culture “. In: Ito Y, Ruth K (eds) Theory and Practices of Manufacturing Culture - Synergy of Culture and Production Vol.3, 2006, artifact Verlag, pp.35-39.