

産総研

2009 No.1
SAN・SO・KEN
<http://www.aist.go.jp>

ミニマル マニユフル アクチャリ ング

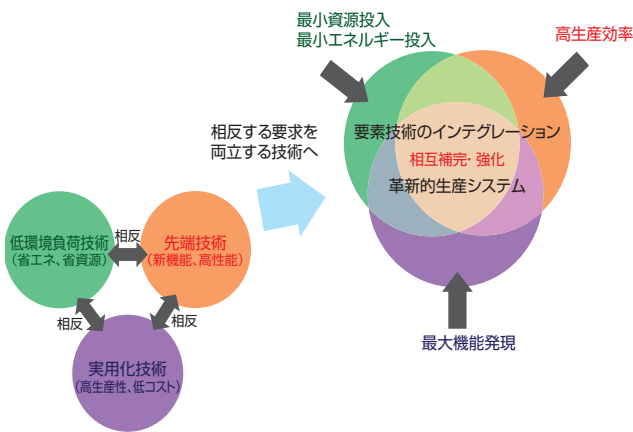
究極の未来工場



モノづくり(マニユファクチャリング)、 の姿となるでしょう。

モノづくりの三課題を同時に解決すべく生まれた
新コンセプト、それがミニマルマニユファクチャリングです

【ミニマルマニユファクチャリングとは？】



製品を製造するとき、あらゆる無駄を省けば、製品コストを下げ、国際的な競争力が培われ、さらに地球環境への影響も抑えることができます。これを実現する方法がミニマルマニユファクチャリング(MM)です。MMは、最小限(minimal)の製造(manufacturing)を意味します。「最小のインプット(省資源・省エネルギー)で、高い実用性(高生産性、低コスト)をもちながら、最大の機能(新機能、高性能)をアウトプットする製造技術の新しい概念」です。

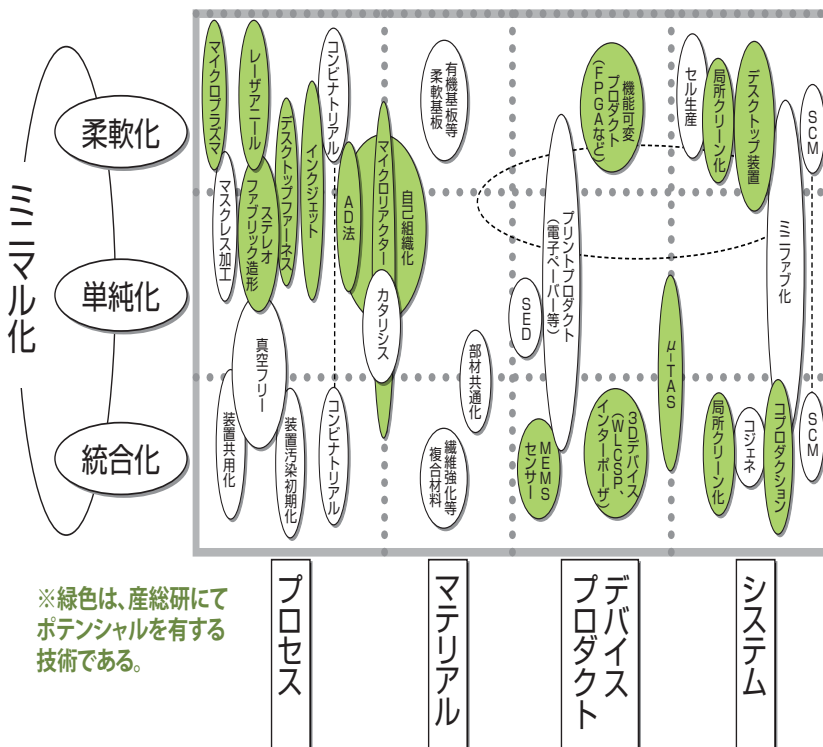
モノづくりには、ヒト・モノ・カネが必要だと言われます。ヒトには、労力・

経験・知恵・技術なども含まれます。同様に、モノには、資源・材料・エネルギー・機械・機器・設備などが含まれます。さらに時間と情報もこれに含めることができます。そしてカネとは、それにかかるすべての費用です。

MMは、この中から「モノ」を必要最低限にする、つまりミニマルにしようという考え方です。「モノ」を必要最低限に

すれば、ヒトもカネも最小化できるはずだからです。また、現在の製造者が抱えているコスト・競争力・環境への配慮という普通は相反する三課題を一気に解決しようという大胆な試みでもあります。

MMは、21世紀のモノづくりの指針として共感の輪が広がり、多くの産業分野でこの指針を意識した研究と技術開発が進み始めています。



※緑色は、産総研にて
ポテンシャルを有する
技術である。

ミニマルマニユファクチャリングに適したテクノロジーのマッピング

最小限(ミニマル)の原料や装置でも それが未来の工場の

革新的な概念や思考は時代を読み、 次代を見据え 次代のビジョンをもつことから生まれます 【導入メリットと環境テクノロジー】

ミニマルマニュファクチャリング(MM)は産業システム全体の問題を解決する考え方ですが、そのメリットは計り知れないほど大きなものになります。

MMの特徴は、『必要なことを、必要な時に、必要なだけ』行うことです。この具体例を見てみましょう。

例えば、製造物を加熱する工程を考えてみます。普通は加熱炉全体を断熱材で覆い、断熱材自体も加熱されるので、加熱する体積は製造物の100倍以上になり、消費エネルギーも約100倍にふくれあがります。また、昇温するのにも室温に戻すのにも、時間がかかります。

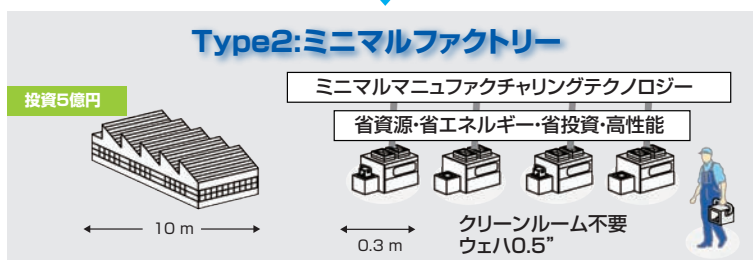
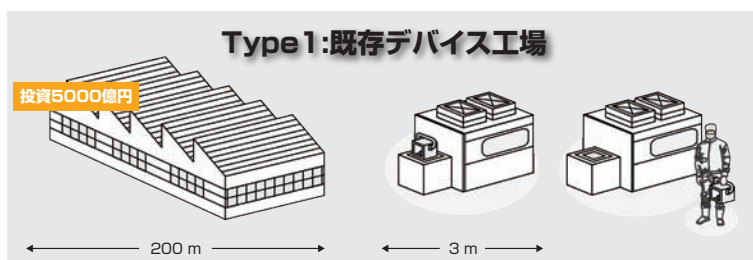
一方、ミニマル方式を取り入れたミニマル炉では、集光技術で製造物だけを加熱します。消費エネルギーは $\frac{1}{1000}$ 、加熱時間が約 $\frac{1}{100}$ で、合計10万分の1まで省エネし、約100倍もスピードアップします。

インクジェットというミニマル技術を配線などに使うと、金属を用いる必要な配線だけを描画するので、資源利用効率が100%になります。捨てるものがないのです。例えば集積回路製造では、堆積しては削って捨てていましたから、資源の利用効率は $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$ でした。インクジェットによって、100~1000倍の省資源になります。高価な原材料費も削減できます。

このように、MMは、資源、エネルギー、コストを飛躍的に低減させます。大抵の

環境対策はコストアップになりますが、MMは、企業が求める低コスト性と、地球全体の要請である環境負荷低減の両立を可能にします。

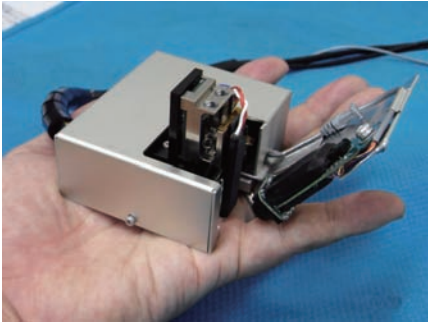
また、MMでは、製造や加工の単位もミニマル化します。必要なところだけ加工しますので、小型装置が適しています。製造装置の体積は $\frac{1}{1000}$ になり、投資額もミニマル化されるので、さまざまな分野で新規参入の機会を創造し、産業の活性化に貢献します。



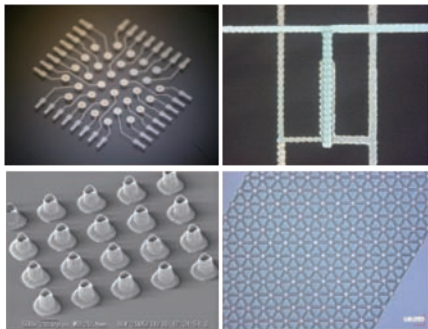
必要な製造物だけが現に加熱されている様子をはっきりわかります。

必要な量の資源を、必要な場所に必要な最小エネルギーで配置する、
ミニマルマニファクチャリングの申し子

【インクジェットプロセス】



手のひらサイズのスーパーインクジェット



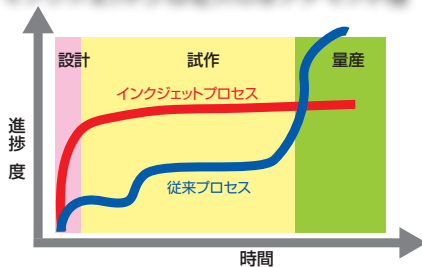
インクジェットによる微細加工の例

インクジェットプロセスによる ミニマル工場の理想

工場面積	1/100 以下	□100 m → □10 m
エネルギー	1/100 以下	数十 MW → 数十 kW
設備投資	1/1000 以下	数千億円 → 数億円
資源利用効率	10 倍以上	数 % → 数十 %



インクジェットプロセスのオンデマンド性



設計→試作期間の大幅短縮化
多品種少量生産への適性
省資源・省エネルギー・省設備・省プロセス

ミニマルマニファクチャリング (MM) コンセプトにおける典型的な技術の一つが、インクジェットプロセスです。いままでは、私たちの生活の中で身近になったインクジェット方式の印刷技術。これを産業用のプロセス技術として用いるものです。これまでのものづくりが材料やエネルギーの利用効率の点で抱えている大きな問題を、解決できる可能性があるからです。

例えば半導体素子では、必要なものがたった一本の配線だとしても、シリコンウエハ全面に版を作り、全面に金属を蒸着します。それを一本の配線だけを残して版ごと取り除くプロセスが必要です。作りたい物がたった一個でも、何万個でも、必要な版の数やプロセス、設備は同じです。

こうしたプロセスは大量生産には向いていますが、多くの設備とエネルギー、時間が必要です。また、プロセスで使用される材料や、溶媒はほとんど廃棄され、最終製品の上には残っていないのです。これは、もったいないことです。

この製造プロセスにインクジェット技術を導入しますと、設計図に従って必要な場所だけに直接材料を描画するので、材料の利用効率がとても高くなります。また、必要な設備や消費エネルギーを、格段に減らせます。版や型を作製しなくてもよいので、設計図ができたらずに製造に取りかかることができ短時間で完成するというわけです。また、設計図を変えるだけで、さまざまな製品を製造することもできるようになります。

このように、インクジェット技術は、多品種少量生産には最適のプロセス技術といえます。大きな期待がかかるインクジェット技術ですが、これまではインク滴の大きさが、微細加工用には大きすぎました。産総研では、これまでの1/100以下の体積のインク滴を用いる「スーパーインクジェット技術」の研究開発を行っています。

省資源、省エネルギー、省スペース、製造コストの大幅な低減、製造時間の短縮、地球環境への負荷の低減……。インクジェットプロセス技術はMMコンセプトの申し子といっても過言ではありません。

大きなモノを小さくつくることで大きな柔軟性とメリットをもたらす 【ステレオフィブリック造形】

ファイナセラミックスは、ほかの材料に比べて軽量で、高温下での安定性、低熱膨張性や耐熱・耐食性、耐摩耗性、高剛性といった点で優れています。こうした特徴を活かして、液晶、半導体露光装置用のテーブルやステージ、アルミ製造用ストーク、ヒーターチューブなどの生産用部材として、さまざまな産業分野で活用されています。基幹産業を支える重要な生産部材として、また、最終製品の品質や生産効率に大きな影響を与える貴重な材料として、重宝されています。

ステレオフィブリック造形技術とは、このセラミックスを精密な構造をもつ小さなブロックに分けて製造と結合を一体化させて、多様な形状やサイズをもった部材に仕立て直す形状付与技術です。

具体的には、液晶や半導体露光装置用のテーブルやステージなどに使われるセラミックスは、メートルを超える大型の部材です。そのため、品質の不均一性や製造歩留まりの低下、長い納期、大型セラミックス用設備の高価格化による高コストといった問題があります。

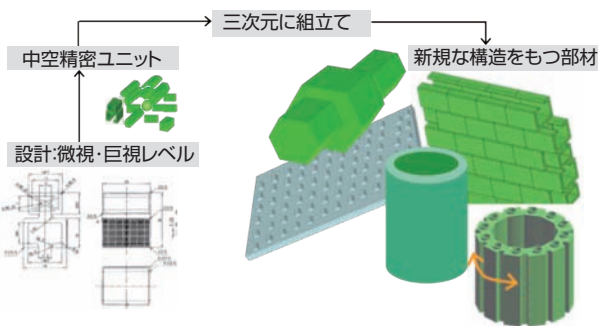
このようなセラミックス大型部材を、精密構造ユニットの集合体に分解し、それらを立体的に組み立てて一体化するような仕組みに変えるのです。このような組み立て方式に変えると、多様な形状、サイズをもったセラミック部材を自在に

作ることができるようになります。

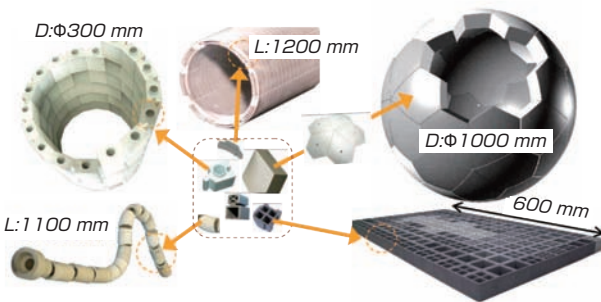
それに伴って、不均一性、コスト高などのさまざまな問題を一挙に解決しようとしています。これが「ステレオフィブリック造形」技術のポイントです。この技術により、省資源、低コスト、高機能を実現し、セラミックスを利用するメーカーの国際競争力を高め、併せて地球環境への負荷を大きく低減することが可能になるでしょう。

まさにミニマルニューファクチャリングコンセプトを部材化プロセスにおいて実現した技術が「ステレオフィブリック造形」とも言えるのです。

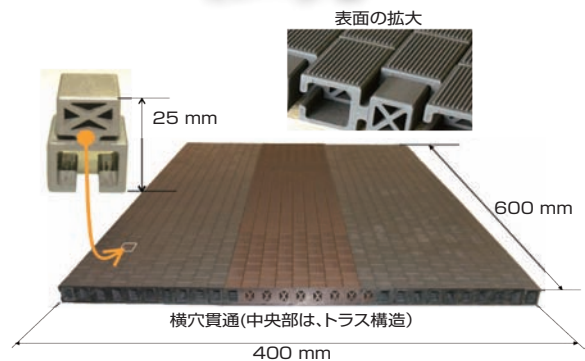
ステレオフィブリック造形の概念図



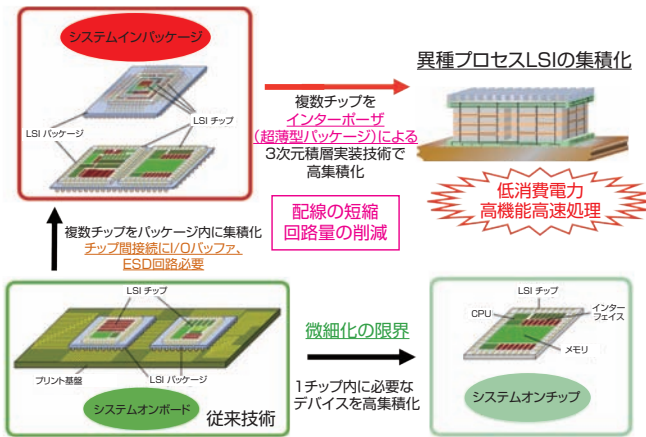
ステレオフィブリック造形 具体化 イメージ A



ステレオフィブリック造形 具体化 イメージ B



高度ネットワーク情報化社会の要請に応え
さらに小さく、しかも高性能高機能を可能にする
【三次元実装技術】



3次元LSIチップ積層実装技術

ミニマルマニファクチャリング(MM)の考え方の一つに「統合化、最適化」があります。この研究開発例として、三次元実装技術があげられます。

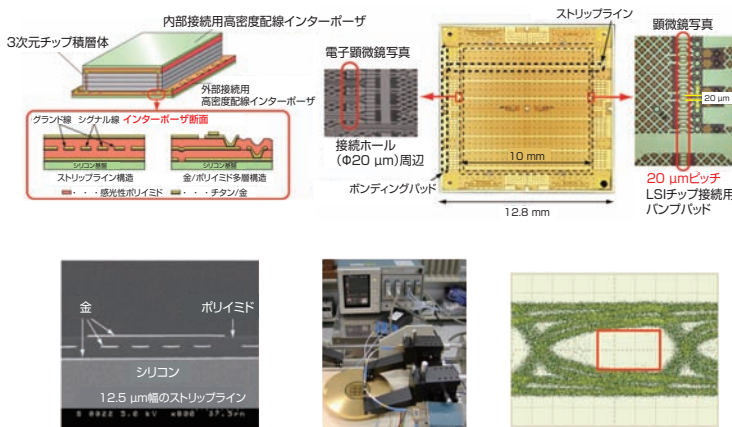
現代の高度ネットワーク情報化社会を支えているさまざまな電子情報機器は、扱う情報量の増大により、さらなる高性能高機能化が求められています。コンピュータはもちろん携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ、PDAを想像すれば実感できます。

これらは近年、軽量・小型化しながら、同時に高性能高機能化が実現されてきています。このように、相反することを可能にしているのは、いったい何なのでしょう。それは半導体デバイスの超微細加工技術の高度化です。

しかし、加工寸法が100ナノメートルを切ったあたりから、これまでの微細加工技術である光リソグラフィでは、技術の複雑化により、装置の価格や維持費の上昇など多くの阻害要因が現れて、さらなる高機能化は困難となってきました。次世代のデバイス製造技術開発にブレーキがかかっています。

そこで着目されているのが、実装技術の高度化によって、システムを高密度集積化・高速化しようという研究です。一つのLSIに機能を詰め込まないで、複数のLSIをパッケージ内で組み合わせるというやり方です。これをシステムインパッケージ(SIIP)と呼んでいます。

さらに、究極のSIIPともいえる実装技術が、三次元実装技術です。これまで平面上に組み上げられていたシステムを積層化によって高密度・高速化するものです。パッケージレベル、チップレベル、ウエハレベルの三つの方式があり、パッケージレベルはすでに実用化が進んでお

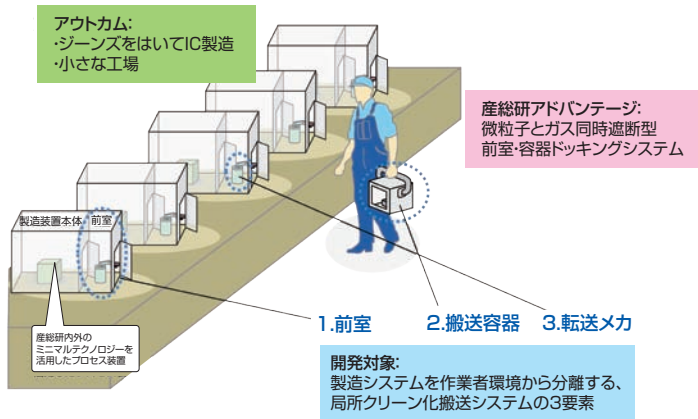


高速信号伝送(10ギガビット毎秒)

3次元LSIチップ積層実装

り、チップレベル、ウエハレベルでは、研究開発が進められています。これまでに、超先端電子技術開発機構、産総研、大学による、NEDOプロジェクトにおいて、チップレベルでの三次元積層実装技術が開発されました。現在は、実用化に向けたウエハレベルでの三次元積層実装技術の開発に取り組んでいます。

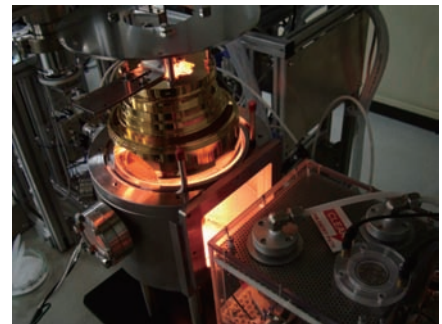
必要な環境を、必要な時に、
必要なレベルで提供する、次世代のクリーンテクノロジー
【局所クリーン化生産システム】



ジーンズをはいてIC製造を！

微細加工を施す製品を作るには、クリーンルーム（CR）が不可欠です。これまでのCRは、単一製品の大量生産に適合するように発展してきました。その典型的なCRはボールルーム（舞踏会場）方式といって、その呼び名のように、広く大きなものでした。しかし、今日の私たちは日に日にデザインが変更されるような時代、すなわち、多品種少量生産・変種変量生産の時代を迎えています。大量生産向けCRは使い勝手が悪く、柔軟

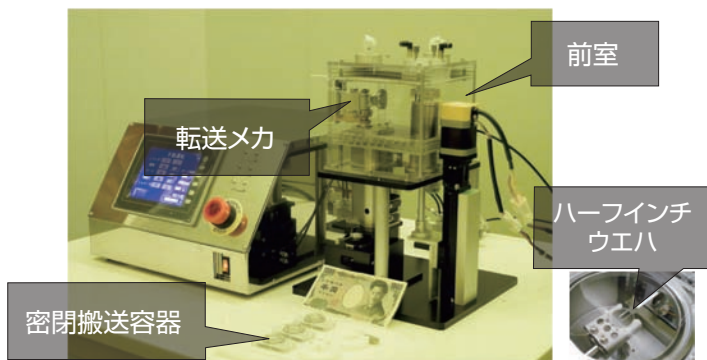
性、コスト、エネルギー消費などの点で不利になってきました。ボールルーム方式のCRは、デザインが変わるたびに、装置を気軽に増設したり撤去したりできないのです。また、1工場で5万世帯分の電力を消費し、製造していないスタンバイ状態でも、その4割もの電力を消費しています。これらの欠点を克服する「必要な環境を、必要な時に、必要なクリーンレベルで」用意するのが、ミニマルマニファクチャリングコンセプトと合致する局所クリーン化生産方式EPS（encapsulated production system）¹⁾。一言で説明すると、空間全体を「人空間」と「製造物空間」の二つに分離し、局所局所にクリーン化室を設置して、生



局所クリーン化システムに組み込まれた集光型ミニマル炉

産やモノづくりを行う方式です。EPSは、すでに2000年から最先端のIC製造工場で、空气中に漂う微粒子を排除する実用システムとして稼働しています。今後の課題は、微粒子だけでなく、ガス分子も遮断する、人と製造物を完全に遮断する高性能EPSシステムを開発すること、そして、ほかの産業へと応用するための技術開発を行い、普及させることです。そのため産総研では、ガス遮断能力を持つEPSシステムを開発中です。

微粒子とガス分子の両方を遮断するドッキングシステム



1号試作機

産業システムのミニマル化

ミニマルマニュファクチャリングの要素技術1つ1つは、高性能・低コスト・低環境負荷という優れた特徴をもっています。しかし、多くは多品種少量生産に向けた手作りの要素技術です。ですから、既存の大量生産システムに、1つのミニマル技術だけを導入しても、全体として環境負荷を多少低減できても一方でコストアップになってしまうかもしれません。ミニマルマニュファクチャリングは産業システムとして機能させることで、潜在的な真価を発揮します。

ミニマル技術を結集したシステムとして、期待されているのが、ミニマルファブです。ファブ(fab)は、ファブリケーション(fabrication)の略語で、半導体微細加工工場のことを指します。ミニマルファブでは、トータルの生産個数が10万個程度までの、しかも多くの品種がある、多品種少量デバイスを製造対象とします。年間生産量はこれまでのシステムに比べ1/1000ですが、投資も1/1000です。それをウエハサイズ1/1000(ハーフインチ)と30cm角の製造装置、そして局所クリーン化技術とで構築し、「ユーザーが望む集積回路チップを、必要な時に、必要な量だけ」供給します。それは、最小の製造単位生産、すなわち小回りの効く1個流しに最適化された製造システムで実現されます。また、将来的には、インクジェットなど資源利用効率とエネルギー利用効率で飛躍的な性能を誇るミニマル技術を多用して、さらに超高効率生産を可能にします。

産業システム応用のもう1つの例が、化学プラントを高効率化するコプロダクションです。化学プラントというと1つの大工場を思い浮かべますが、実は、大工場が集めた広大な工場群で構成されています。現状は、1つ1つの工場が、それぞれ原材料を調達し、廃熱処理し、廃棄物を捨てています。しかしよく考えてみると、廃熱は別の工場でそのまま加熱に使えるでしょうし、廃棄物も化学反応などを用いて少し違った物質に転換してやれば、別の工場の原料になるかもしれません。廃棄物、半製品、燃料、エネルギー、これらをプラント全体で活用する統合化でムダを省く考え方とその技術がコプロダクションです。コプロダクションは、「必要な物質やエネルギーを、必要な工場に、必要なだけ」というミニマルマニュファクチャリングの要請と合致した、新しいプラントテクノロジーです。



技術を社会へーIntegration for Innovation

独立行政法人

産業技術総合研究所

広報部 出版室 〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 中央第2

Tel : 029-862-6217 Fax : 029-862-6212 E-mail : prpub@m.aist.go.jp

発行 : 2009.11

