

世界をリードする岡山のナノテクノロジー技術

金枝 敏明・横溝 精一*

岡山理科大学工学部機械システム工学科

* 岡山県工業技術センター

(2003年11月7日 受理)

1. はじめに

ナノテクノロジーのナノ (nm) とは 1m の 10^{-9} 、すなわち 10億分の1 という極小の単位である。1m を地球に例えると、ピンポン玉に相当するのが 1nm である。ナノレベルでの現象を取り扱うナノテクノロジーにはいろいろな意味があり、ナノ単位で考える材料やバイオ技術、加工や計測技術などがある。ここではナノテクノロジーの持つ意味をはじめに述べた後、ナノテクノロジー出現の背景、ナノテクノロジーへのアプローチ、将来の市場規模、さらに岡山でのナノテクノロジーを実施している例を取り上げ、解説する。

2. ナノテクノロジーの意味と出現の背景

一般の物質は、原子・分子という最小の単位から構成されている。それらのサイズは 1nm 以下 1/10nm のオーダーである。もう少し具体的な例を挙げて、説明すると図 1 のようになる。元素中で一番軽い水素を例にとると原子が 0.1nm になる。図 2¹⁾ は、身近なものを例に各種の大きさを具体的に示したものである。nm レベルでは、ウイルス、蛋白質分子、水素原子といったサイズになる。このようにナノテ

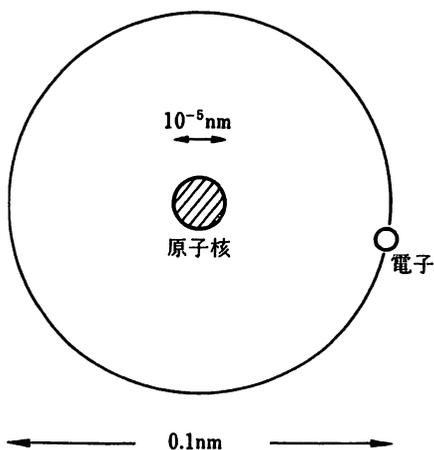


図1 水素原子の構造とサイズ

クノロジーは物質を構成する最小単位を主として対象とする分野と考えてよい。ナノレベルで原子・分子を制御し、その物質の特性を活かすナノ材料・加工技術により、新素材の開発やそれまで限界とされていた技術開発の発展が可能になり、その応用は材料・デバイス (機器) のみならず、光、IT (インターネットテクノロジー)・エレクトロニクス、医療、バイオ、環境・エネルギーなど幅広い分野に及ぶことが期待されている。このため米国は言うに及ばず先進各国では国をあげて研究開発に力を入れている。具体的には図 3²⁾ に示す。我が国が得意とする、モノづくり技術を十分に活かすことが出来るだけに、ナノテクノロジーは我が

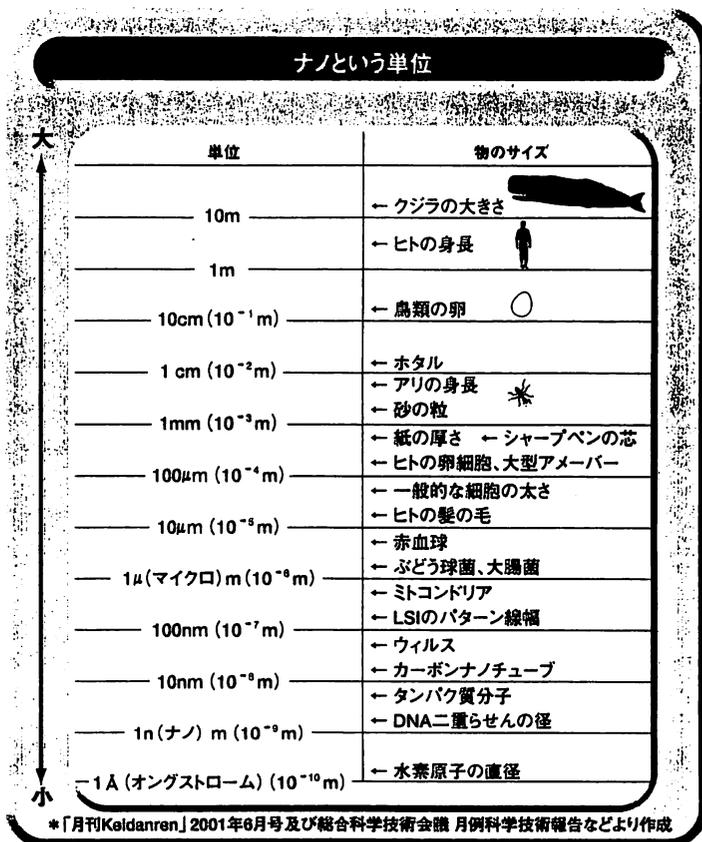


図2 各種物体のサイズ¹⁾

表1 各国のナノテクノロジー戦略²⁾

国名	内容・取組み
日本	<ul style="list-style-type: none"> ・80～90年代：大学、関係省庁所管研究機関、研究制度による研究開発 ・2000年3～12月：科学技術会議における第2期科学技術基本計画の検討。4月：国家産業技術戦略の策定。・10～12月ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会。・12月：次世代半導体、材料ナノテクノロジープログラム策定。 ・2001年3月：総合科学技術会議「月例科学技術報告」。1～9月：第6回重点分野推進戦略専門調査会、プロジェクト会合。8月：来年度予算概算要求(主要省庁分360億円)。9月末：今後の推進概要が決定。
アメリカ	<ul style="list-style-type: none"> ・国家ナノテクノロジー戦略(NNI)を2000年1月策定。2001年度総予算4.95億ドル(約600億円。対前年比183%) ・五つの活動(①基礎的研究、②グランドチャレンジ、③COE、ネットワーク構築、④研究基盤整備、⑤社会倫理法制度/教育訓練)。 ・2010年におけるアメリカの競争力を確保するためのアクションプラン ・省庁タテ割りではなく産学官の研究者が有機的に情報交換。
スイス	<ul style="list-style-type: none"> ・国家推進戦略「TOP NANO21」を発表(2001年から実施。4年計画) ・精密機械、医薬品等の強みを活かした連携の推進(材料/デバイス/バイオの連携の力点)。
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ・98年、教育・研究省が6テーマの研究ネットワーク組織(Nanotechnology Competence Centers)を設立。
イギリス	<ul style="list-style-type: none"> ・2000年、EPSRC(工学・物理科学研究会議)が五つのナノテクノロジーネットワークを創設。
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ・1999年、科学技術委員会が五つの優先研究分野(ライフサイエンス、情報通信、社会・人間科学、エネルギー・輸送、地球・宇宙)を選定。ナノテック研究はこれら各優先分野の中で実施。

(政府資料。http://www.cao.go.jp/cstp/project/nanotech/index.htmなど)

国における最先端技術の生命線とも言われている。

数年前まではナノテクノロジーは日本が世界をリードしている感があったが、2000年1月当時の米国の大統領クリントンが、将来のキーテクノロジーの三項目の一つに挙げ、にわかにその様相が変化してきた。すなわち、NNI(ナショナル・ナノテクノロジーイニシアティブ、国家ナノテック戦略)を国家戦略とした。そし

て国民にその内容が理解できるように具体的な例をもって説明した。以下その内容を列挙する。

- ・議会図書館のすべての情報が、角砂糖サイズのメモリに収容できる記憶装置が開発される。*(図3参照)

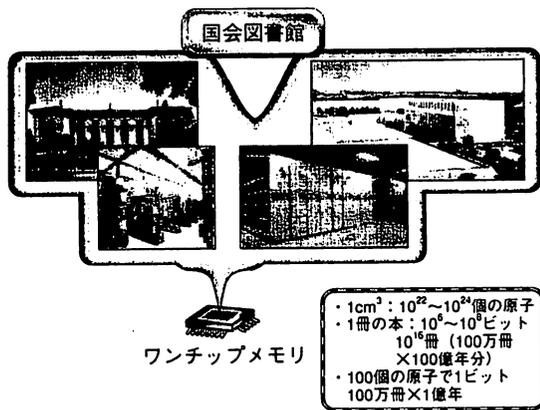


図3 ワンチップメモリ³⁾

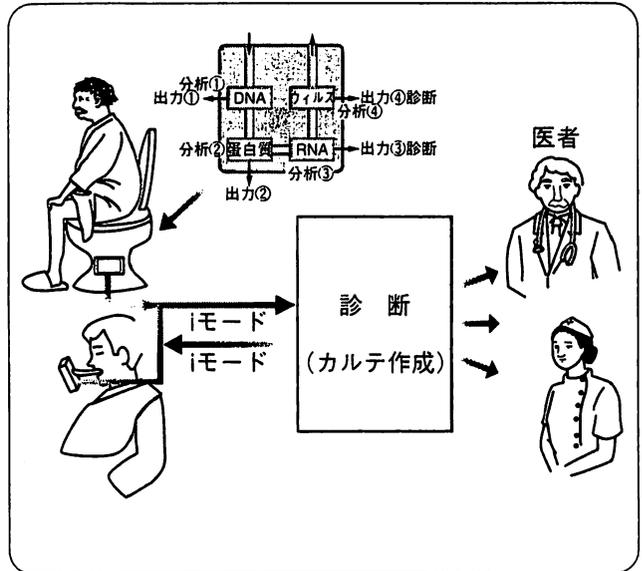


図4 バイオチップ⁴⁾

* これが開発されると、日本の国会図書館では年間100万冊の書籍が、一億年分所蔵できる。

- ・原子や分子レベルから様々な材料や原料を作り出す技術が生まれ、乗り物に用いるとエネルギー効率が格段に向上する。
- ・計算速度が今の数百万倍にも達するコンピュータが開発される。
- ・ガン細胞が数個生じた段階で検出が可能になる診断技術が実現する。(例えば、図4のバイオチップ)
- ・水や大気からごく微量の環境汚染物質を取り除く物質やプロセスが可能になる。
- ・エネルギー変換効率がこれまでの2倍の太陽電池が開発される。

すでにこのような技術開発を全く新しいビジネスとして展開している企業がある。Arizona州ScottsdaleのALCOR生命延長財団社は、病気でなくなった人を-200℃で冷凍保存し、将来壊れた細胞を治癒する細胞サイズのマイクロロボットが開発されれば、細胞を修復し、死人を生き返らせようとしている。すでに2000年現在では38体を冷凍保存している。⁹⁾ これは今まで想像さえもできなかったことである。

さて、話題は戻り、日本のナノテクノロジーでは、森前首相も首相当時に将来のキーテクノロジーの一つとして挙げたが、衝撃を受けたのは政府でなく、経済界であった。以上の米国のNNI戦略に対抗し、経団連が2001年3月立ち上げたのが「n-PLAN21」で、この中でナノテクノロジーは国を挙げて戦略的に取り組むべきとし、以下の重要な項目を挙げた。

- (1) IT、バイオ、エネルギー、環境、材料をナノテクノロジーでブレイクスルーし、豊かで環境に優しい社会の実現に取り組むべきである。
- (2) 日本が強みを持っている分野で、かつ、社会や産業インパクトの大きい分野への重点投資を行うべきである。
- (3) 5～10年先の実用化・産業化を意識したフラッグシップ型の研究開発テーマと、革新的な基盤的技術を軸にしたチャレンジ型の研究開発テーマの設定、および基礎研究を含めた適正なりソース配分が必要である。
- (4) ナノテクノロジーの推進には、国家レベルでのナノテクノロジー戦略の推進、大学・公的研究機関における目的基礎研究の推進、基礎研究や基盤研究の成果実用化の推進が必要である。

日本のこの分野の権威である大阪大学川合知二教授は「アメリカが、テクノロジーで日本が進んでいるという考えを持っているのは事実ですが、その意味は、『バイオや情報では自分達は圧倒的に日本に勝っている。それに対しナノテクノロジー・材料のところでは拮抗している。』ということなのです。日本は、個々の技術では世界的に

優れており、優秀な人もおります。それでも日本が少しかすんでしまうのは優れた部分を中心に盛りたてて産業と結びつけたり、広く世界に影響力をもたらすようなシステムが弱いからです。」と、指摘している。⁶⁾ つまり産官学の協調システムが機能していないということが言われている。

以上述べたようにナノテクノロジーの出現は歴史の必然であり、科学技術で世界のトップクラスに位置していた日本も、米国のみならず世界の工場と言われている中国の躍進もあり、うかうかしてはいられない。特に科学技術に興味を持たない日本人が増加しているので一部の識者が憂えているのが現状である。

3. ナノ加工の二つのアプローチ

ナノ加工のアプローチには、トップダウンとボトムアップの二つの方法がある。前者は上から下というように、大から小へとマイクロ化していく方法である。後者は、物質の根源である原子から出発し、逐次それらを積み上げ、拡大していく方法である。1959年、ノーベル物理学賞受賞のリチャード・ファインマン博士が米国物理学会で「底には大きな場所がある」という表題で講演した。底とは原子、分子を指し、物質を構成するそれらを見直すことで新しい世界が開ける可能性を示唆した。これが端緒となってナノの分野に注目が行くようになった。この発想が前者のトップダウンである。博士は、「ものをより小さく削る微細加工の技術は、ミクロンの領域まで達したが、今後レー

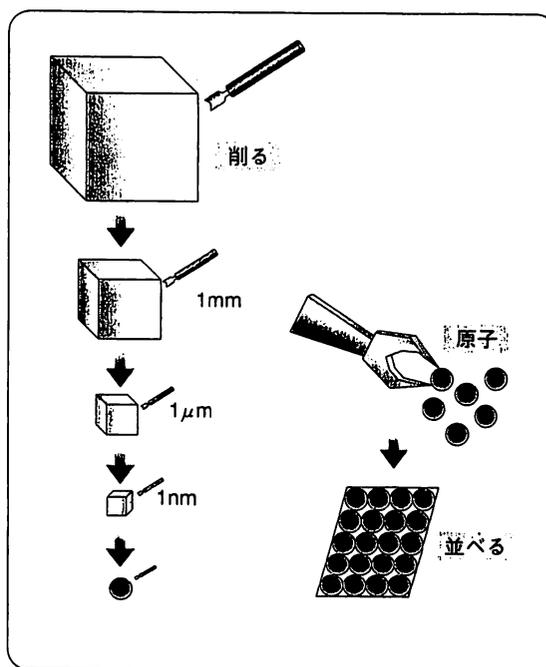


図5 ファインマンのナノテクノロジーのイメージ⁷⁾

ザー光線等の光による極微細加工技術を開発進展させ、ナノの領域まで進めるべきである。」図5⁹⁾に、その概念を示す。具体的な例としては、電子回路がある。電気回路からトランジスタ、IC、LSIと集積度を上げ、発展してきている。

また、精密加工の権威である故谷口紀男東京理科大学教授も日本の加工の分野で”ナノテクノロジー”という表現を最初に使い始め、世に知らしめた研究者として有名で、その内容は1988年に発行された著書「ナノテクノロジーの基礎と応用」(工業調査会)⁹⁾に書き記されている。

一方、ナノテクノロジーブームをつくったといわれ

ているエリック・デクスラー博士は、その著書「創造する機械」の冒頭で「石灰とダイヤモンド、砂とコンピュータチップ、そしてガン組織と正常組織、原子の配列しただいでもうもいいものが大変価値あるものになったり、病気が治って健康になってしまうことは、過去の歴史がはっきりと示している。(中略)だからテクノロジーのもっとも基本は原子をならべるところにあるとも言える。」と記している。図6⁸⁾にドクスラー博士の概念を表す。

加工技術においては、基本的には前者のトップダウンが主流となる。

4. 今後の発展と市場規模

図7⁹⁾に高精度およびナノテクノロジー製品の精度を図示する。図8¹⁰⁾、9¹¹⁾に今後のナノテクノロジー市場の予測を示す。図8では各種の分野の総計で2010年には19兆円という額を三菱総研と日本経済新聞社の調査で算出している。図9は日立総研の予測で、バイオテクノロジーを除く分野での世界と日本を対比させている。世界、日本とも2010年は2005年のほぼ10倍になると算出している。

ナノテクノロジーは将来の科学の基盤の一つであり、市場規模が爆発的に拡大する可能性が示された。三菱総研が企業各社に「ナノメートル構造を利用した製品を販売しているか」というアンケートを実施した結果、材料・エレクトロニクス分野の企業では半数以上がイエスと回答している。ナノテクノロジー製品は図7に示

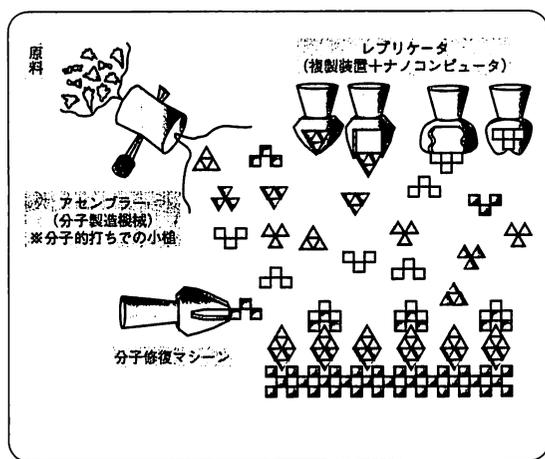


図6 ドクスラーのナノテクノロジーのイメージ⁹⁾

	1nm	10nm	100nm	1μm	10μm	100μm
光学 部品		X線回折格子		精密級レンズ	レンズ	カメラ部品
			フレネルゾーン プレート	プリズム	プリズム	
			光学スケール	IC露光マスク	光ファイバ コネクタ	
			レーザー鏡			
電子 部品		超LSI (厚さ方向)	ICメモリ ビデオ ディスク LSI素子	VTR 磁気ヘッド 磁気スケール CCD素子	ディスク メモリ シリコン 基板 (厚さ)	精密 モータ トラン ジスタ
		超精密基準面 超精密ガイド	ブロック ゲージ ダイヤモンド 圧子 マイクローム 刃	ボール ベアリング 精密軸受 空気 ベアリング 精密プレス金型	ボールねじ 印刷原版 機械軸受	ねじ 時計部品 エンジン 部品
						家庭用 機器

図7 各種製品の精度⁹⁾

ナノテクノロジーの市場予測 (例)

	(億円)	
	2005年	2010年
分子エレクトロニクス材料	290	2,213
量子デバイス	282	1,380
高密度記憶用磁気材料	27,075	95,813
光メモリ用材料	10,313	17,063
次世代超メモリ	5,051	16,309
薄膜製造装置	1,875	1,875
半導体製造装置	24,450	31,950
超精密加工装置	2,025	2,963
ナノメートル水準の検査機器	137	368
マイクロマシン	5,020	7,723
フラレン、ナノチューブ	143	292
インテリジェント材料	1,026	1,139
高選択性・高性能触媒材料	581	680
光触媒材料	583	1,826
分子設計タンパク質	153	178
バイオリアクター	616	1,387
遺伝子治療薬	4,346	4,510
遺伝子診断	359	1,071
医療用マイクロマシン	287	1,200
バイオセンサー	443	1,193
合計	85,055	191,133

(株式会社三菱総合研究所と日本経済新聞社の共同調査)

図8 ナノテクノロジー市場の将来予測¹⁰⁾

したように結構、我々の身近なところにある。コンピューター（IC回路、メモリ等）、ビデオディスク、デジタルカメラ、携帯電話、形状記憶繊維といったものである。

5. 岡山のナノテクノロジー

ここでは、著者の専門である加工技術でのナノテクノロジーを紹介する。身近にある携帯電話はナノテクノロジーの塊と言ってもよく、小型化、高性能化、高機能化といった点でその技術的な発展は凄まじい。岡山でも

(1) シャープタカヤ電子工業（浅郡里庄町里見、資本金3億、従業員1,000名）

携帯電話関連、特に最近「写メール」（カメラ付き携帯）のカメラのCCDが好調なので、大幅な増収増益を記録している。半導体やICはさらなる小型化が要求され、その精度はまさにナノレベルである。

(2) タツモ株式会社（井原市木之子町、資本金8,310万、従業員360名）

半導体製造装置であるスピニングコーターで世界的に有名。「岡山より、日本の中央で、さらにシリコンバレーの方が名が通っている」とPR。液晶カラーフィルター製造装置の新工場を立ち上げる。増収増益。

(3) フェニテックセミコンダクター株式会社（井原市木之子町、資本金1億500万、従業員550名）

IC製品の加工ゆえ、ナノテクノロジーの典型。同業他社と異なるオリジナルIC製品に特化して独自性を打ち出し、いずれも好調。膨大な投資をせず他者よりサブミクロンのオーダーで勝負。試作では0.35μmに対応。増収増益。

(4) 化繊ノズル株式会社（井原市西江原町、資本金1,000万、従業員350名）

化学繊維を造り出す際の一本一本の繊維は細いノズル（穴）を通る。その際の形状が非常に微妙なものになっている。その径は最小で0.03mmに達する。超精密加工では、ノズル表面の粗さは5nmである。ノズルの寸法ならびに形状にナノテクノロジーが必要。そのノズルの加工は超精密で、一部職人技、匠の技術も駆使されている。したがって世界をリードできる。例えば、直径が250mmのサラダボール状のものに直径0.3mmノズルを寸法公差±1μmで120,000個あけたものも製造している。また、その技術を利用してマイクロマシンを開発、文部科学省の補助金を獲得し、さらに発展させようとしている。ノズルのシェアは日本の80%、世界の25%を占める。

(5) ナカシマプロペラ株式会社（岡山市上道北方、資本金1億3,000万、従業員480名）

船のスクリューの製造が主体。シェアは日本の40%、世界の20%を占める。スクリュー自体大きな物

ナノテクノロジーの分野別市場規模予測

No	分野別	(単位:億円/年)								
		世界		日本						
		2005年	2010年	2005年	2010年	2005年	2010年			
				構成比		構成比		構成比		構成比
IT	エレクトロニクス	26,483	27.1	671,884	50.8	9,144	36.8	138,649	50.7	
	半導体	2,615	2.7	267,097	20.1	934	4.0	58,956	21.6	
	情報ストレージ	0	—	51,593	3.9	0	—	30,323	11.1	
	バイオナノセンサ	0	—	1,986	0.1	0	—	392	0.1	
	ネットワークデバイス	23,868	24.4	107,188	8.1	8,210	34.8	23,233	8.5	
	その他	0	—	244,020	18.4	0	—	25,745	9.4	
10	プロセス・マテリアル (新薬材・デバイス)	15,896	16.3	415,924	31.3	4,717	20.0	89,079	32.6	
11	計測・加工・シミュレーション	12,827	13.1	52,202	3.9	6,282	26.7	21,311	7.8	
12	先端計測技術	0	0	11,982	0.9	0	0	3,365	1.3	
13	ナノ加工技術	10,991	11.3	25,250	1.9	5,872	24.9	12,946	4.7	
14	高度シミュレーション技術	1,836	1.8	14,970	1.1	410	1.8	5,000	1.8	
15	環境・エネルギー	5,619	5.7	61,309	4.6	1,131	4.8	15,932	5.8	
16	CO ₂ フリーエネルギー技術	2,476	2.5	55,086	4.1	688	2.9	14,825	5.4	
17	環境測定	3,143	3.2	6,204	0.5	443	1.9	1,074	0.4	
18	原子力エネルギー技術	0	—	39	—	0	—	33	—	
19	ライフ・サイエンス (健康・医療)	6,968	7.1	37,951	2.9	883	3.7	4,150	1.5	
20	薬品産業 (食料不足)	600	0.6	1,725	0.1	88	0.4	210	0.1	
21	航空宇宙 (航空機・ロケット)	29,281	30.1	88,220	6.6	1,316	5.6	3,965	1.5	
22	総合計	97,674	100.0	1,329,215	100.0	23,581	100.0	273,298	100.0	

注：バイオ関連製品分野を除く 資料：日立総研

図9 ナノテクノロジーの分野別市場規模予測¹¹⁾

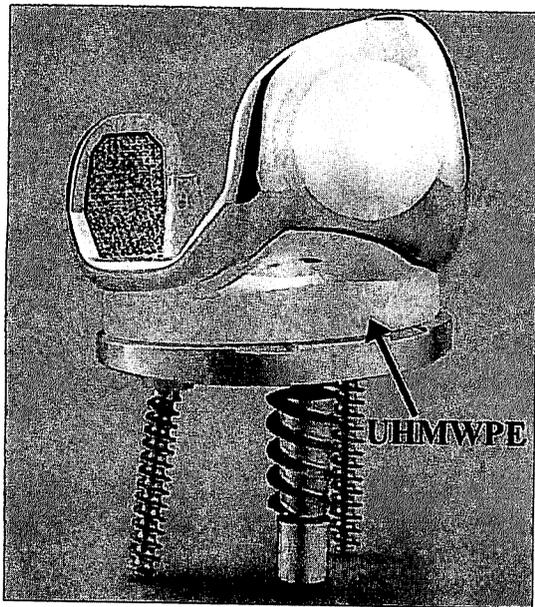


図10 人工膝関節

が多く、直径10mのものでも表面粗さは数 μm であり、職人技で仕上げられている。数年前より医療技術に着目し、人工関節等の製造をはじめ、ロボットによる遠隔手術等も研究開発中。人工関節はナノテクノロジーを利用し、強力な産学連携（岡山理科大学金枝研究室等との）を基盤に技術を発展させている。その成果¹²⁾は、内外の医学のみならず工学の学会で成果を発表している。例えば、最近の研究成果では、膝関節の摺動面を構成するCo-Cr-Mo合金やTi合金等の金属と超高分子量ポリエチレンUHMWPEの表面粗さはサブミクロンであり、前者より摩耗が大きい後者に対してはビタミンE添加等ナノレベルでの改質を実施している。図10に、人工膝関節を示す。

(6) 安田工業株式会社（浅口郡里庄町浜中、資本金4,050万、従業員250名）

高精度の工作機械、マシニングセンターを製作し、他の工作機械メーカーでも高精度の加工には安田の機械が使用されている例も珍しくない。量よりも質を求めているユニークな社是。仕上げには、キサゲに代表される、1台ずつ丁寧に職人技で実施。最終的に部品は $\pm 0.5^\circ\text{C}$ に温度制御された工場で組立てられる。それらの点を反映して、高級スポーツカーメーカー、フェラーリの量産車やレーシングカーのエンジン部品仕上げには安田の機械が使われている。従来はナノテクノロジーまでいかない高精度領域、サブミクロン（ $1/10\mu\text{m}$ ）領域を主に対象としていたが、最近岡山理大金枝研究室、県工業技術センター等の協力のもとに進出。文部科学省の都市エリア産官学連携プロジェクト（補助額総額3億円）の財政的補助も獲得し、国家的プロジェクト「次世代加速器である線形衝突型加速管セル」の

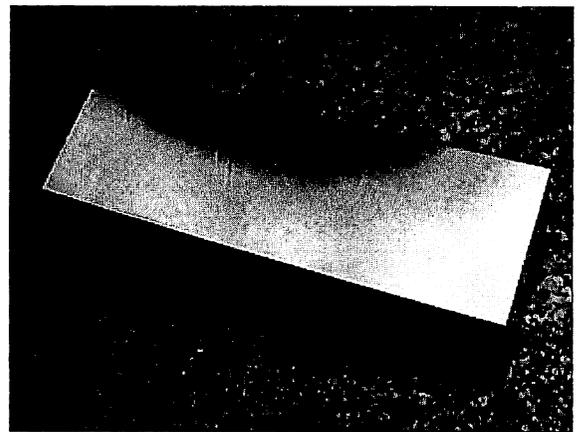
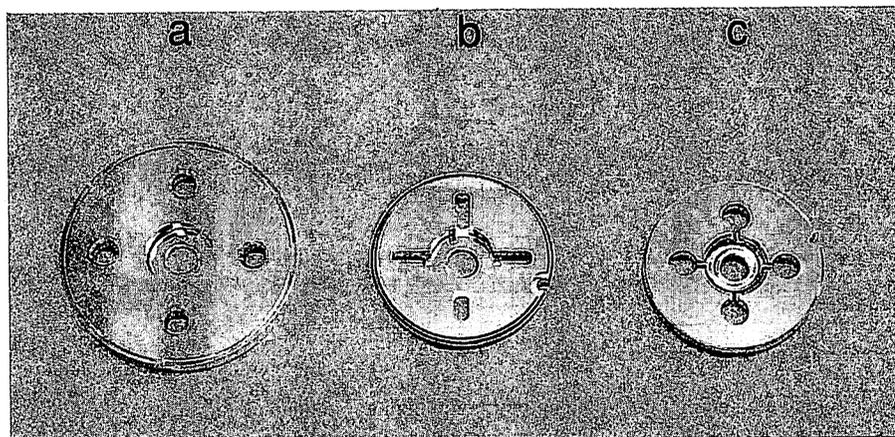


図11 安田工業の高精度加工例

図12 高エネ研リニアコライダー用加速管セル¹³⁾

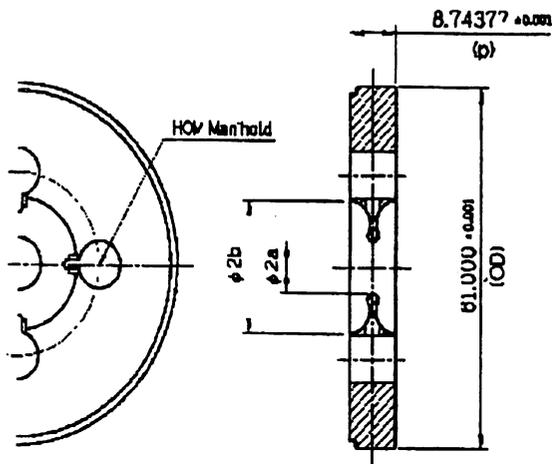


図13 加速管セルの寸法および形状例¹⁴⁾

セルを加工する超精密切削加工機を開発中。図12に安田の技術力を示す部品の加工例を示す。微妙に彎曲した表面に段差 $1\mu\text{m}$ で“YASDA”の文字を削って、表出させている。図12は、次世代電子・陽電子線形衝突型加速器(リニアコライダー、JLS)の加速管セルを示す。この加速器は約25kmにわたって電子ならびに陽電子を加速させるもので、従来の円形加速器、例えば兵庫県播磨にあるSpring 8とは異なるタイプである。後者では、電子ならびに陽電子を円形状に曲げる際、放射光が発生し、エネルギー損失が生じるが、前者ではこれがない。もしこの実験装置が完成すれば、世界一の長さを誇るものとなる。当然加速されるエネルギーが20GeV以上となり、世界一となる。加速管はセルからなり、上記の物を製作するには100万枚のセルが必要となり、セルの形状や寸法が個々に微妙に異なるので、超多品種で超多量生産となる。しかも図13に示すように寸法精度や形状精度が超精密となる。

以上の他にも新興製作所(真庭郡)等もある。同社は元々大阪の会社であり、特殊な物を研磨することに長けている会社である。ガラスの磁気ディスク、携帯電話用

ている会社である。ガラスの磁気ディスク、携帯電話用の水晶等を磨いている。

最後に、一般にはほとんどに知られてない藤昇製作所(久米郡柵原町)を紹介する。先代社長(現顧問)の高見公義氏はまさに匠の人で、難しければ闘志が湧くといった人柄である。一般の大会社でも技術的に不可能な加工を引き受けているユニークな会社である。従業員も数人程度とのこと。ダイヤモンド工具による切削加工等を実施しておられる。一度討論したが、加工理論を体験的に得ている人物であった。

ナノテクノロジーには、職人技が関与している場合が多く、結局究極の超精密マシンは人間ということになる。

[参考文献]

1. 松井高弘: ナノテクビジネス最前線, すばる舎(2002)16.
2. 政府資料
3. 川合知二: 図解ナノテクノロジーのすべて, 工業調査会(2001)11.
4. 3の13.
5. TV番組NHKスペシャル, テクノロジー あくなき挑戦, 第2集 驚異の超微小マシン
6. 1の19.
7. 3の8.
8. 谷口紀男: ナノテクノロジーの基礎と応用 超精密・超微細加工とエネルギー加工, 工業調査会(1988)
8. 3の8.
9. 田中 充, 小林直人: ナノテクノロジー ハイテクを支える超精密科学, 産業図書(1990)206.
10. 3の15.
11. 小林直哉: テクノ図解 ナノテクノロジー, 東洋経済新報社(2001)100.
12. 例えば, T. Kaneeda et al: Oxidated-Induced Dynamic Change in Morphology Reflected on Frozen Fractured Surface Gamma-Irradiated UHMWPE Components, Journal Biomedical Research, 62(2002)540-549.
13. 文部科学省高エネルギー加速器研究機構: 工作センター要覧
14. 文部科学省高エネルギー加速器研究機構: 第3回高エネルギーメカワークショップ報告集(2002)112.

Nanotechnology in Okayama Prefecture

Toshiaki KANEEDA and Seiichi YOKOMIZO*

Department of Mechanical System Engineering

Faculty of Engineering

Okayama University of Science

Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan

** Industrial Technology Center of Okayama Prefecture*

Haga 5301, Okayama city, Okayama 701-1296, Japan

(Received November 7, 2003)

This article dealt with general view of nanotechnology and nanotechnology in Okayama Prefecture, which is one the most developed area in Japan. Term “nanotechnology” has been noticed all over the world a few years ago. This content is as follows: introduction, meaning of nanotechnology and background in the development, to undertake nanotechnology, future development and the market, nanotechnology in Okayama Prefecture. There are two approaches to undertake nanotechnology from the standpoint, that is to say, one is top down system Dr. Finemann stated in 1959 after he got the Nobel Prize, another one is bottom up system which Dr. Drexler proposed. Usually top down system is the main stream in the machining. Nanotechnology market has been developing much more than the last decade. Several number of companies are introduced here as in charge of nanotechnology in Okayama Prefecture.

Key Words : nanotechnology, ultraprecision machining, Okayama Prefecture, collaboration,