●—このからの精密工学を見通す／解説

JSPR 65-01
89-01-23

創造科学技術推進事業 吉田ナノ機構プロジェクトのテーマ展開*

飯塚 清**

Yoshida Nano-Mechanism Project - One of ERATO System / Kiyoshi IIZUKA

Key words: Yoshida nano-mechanism project, exploratory research for advanced technology, nanotechnology, scanning tunneling microscope, X-ray multilayer, X-ray optics, nanometer positioning

1. 創造科学技術推進事業とは

日本の工業技術が成熟期に入り、貿易摩擦の問題が顕在化し始めたころ、少なからず諸外国の基本技術の模倣から始まっている状況を見直し、逆に国際社会に貢献できる日本オリジナルな基本技術を生み出す必要性を説く声の一部であった。当時の状況の中では創造制度の考え方の新しさもあり、理解を得るのに難しい面があったが関係者の努力の結果、昭和56年3月の科学技術会議の結論を踏まえ、政府は産・官・学の優秀な研究者を結集し、卓越した指導者の下にその創造性を十分に発揮させる流動研究システムとして科学技術庁関連の特殊法人である新技術開発事業団内に創造科学技術推進事業としてこの制度を実行に移した。

制度は基礎的な研究から今後の科学技術の源流となる新しい思想を生み出すと共に革新技术の芽を積極的に創り出すことを目的としている。研究領域は生命や物質の本質を理解することにより始まる広い分野とし、これまでの学問領域にとらわれることなく学際的な領域へも積極的に踏み込み、科学から技術への橋渡しの過程での革新的技術の創出の可能性の高い領域が設定される。図1に創造科学の研究領域

域を示す。

創造的な研究活動にはすぐれた個人の才能と弾力的な研究の運営が不可欠であるとの認識から、人中心に徹した研究の仕組みと運営方法がとられている。事業団により任命される卓越した指揮者（総括責任者）の下に産・官・学・海外から、才能に恵まれ、創造的意欲に燃えた若手研究者を結集し研究を進める。研究者は総括責任者の意見に基づいて選定され、派遣元機関の有無にかかわらず、一定期間事業団に移籍し総括責任者の下に研究プロジェクトを形成する。企業からの派遣の場合も個人と事業団、企業との三者契約となっており、ここでも人中心の考え方が生かされている。研究期間は5年を一応の限度とし、その期間特定のテーマの研究に集中し、期間の終了とともに研究プロジェクトは解散する。研究実施場所もその研究に適した場所を民間又は大学等から借り上げている。

各プロジェクトの研究領域は、研究主題として事業団の調査及び有識者の意見に基づき開発審議会で決定

図1 創造科学技術制度の研究対象領域

* 原稿受付 昭和63年10月11日

** 新技術開発事業団吉田ナノ機構プロジェクト事務所(東京都千代田区丸の内2-5-2, 三菱ビル)

図2 創造科学技術推進制度の仕組み

される。研究主題は基本的方向を示すだけのものであり、制度はこの主題の展開に力点を置き、予想されない発見や発明を引き出すことを運営の基本とする。主題は研究の基本的方向を示すだけのものであり具体的な領域は総括責任者により研究構想として立案され審議会の了承の上、一般に公開される。

図2にこれまでのプロジェクトの研究主題を示す。主題は又、各プロジェクトの名称にも使われ、頭に総括責任者の名前を付加してプロジェクトの名称としている。主題名は固有名詞的につけられているため直接内容を類推するのが難しいものもあるが、いずれも物質の基本的領域及び生命の基本的領域を考慮しての主題である。

2. 吉田ナノ機構プロジェクトの発足

物質と物質の変換や物質と物質の相互作用の領域はこれまで計測、制御、物理的及び化学的加工技術として研究されてきている。しかしこれらの領域での究極の現象は原子や分子相互間や原子と電磁波との相互作用であろう。従って原子・分子領域での現象を観察することにより、従来の計測、制御、加工等を見直すことにより、現在の技術では乗り越えることのできない限界を乗り越えることができる技術を生み出すこと

ができるのではないか、という考え方の基にナノ機構の主題は決定された。同時にこの分野での見識が深く、指導力のある(株)ニコンの吉田庄一郎氏が総括責任者として選任され、昭和60年10月に「吉田ナノ機構プロジェクト」が発足した。

3. 吉田ナノ機構プロジェクトでのテーマの展開

研究主題に基づき、総括責任者は研究に対する考え方をより具体的に関係者及び一般の人々、特に研究に参加を考えている人たちに理解してもらうために「研究の構想」を作成する。

吉田ナノ機構プロジェクトの研究の構想は次のように決められた。

1) 研究主題「ナノ機構」

急速に発展を遂げつつある先端技術分野に共通するものとして精密化、微細化の方向がある。微細化により著しい性能向上がみられる半導体分野があり、細胞や遺伝子のように対象そのものが微細であるバイオテクノロジーの分野がある。なかんずく、半導体の超微細加工技術はサブミクロンのパターン形成を可能にし、細胞を操作するマイクロマニピュレータ技術は核

移植を可能にする段階にまで達しつつある。これまで、精密工学のさまざまな技術は、これらの先端技術の微細化、精密化を支える基盤技術として重要な役割を果たしてきた。最近、先端技術の急速な発展に伴い、微細化・精密化技術の飛躍的な進展が要請され、その目標はナノメートル（ 10^{-9} m）領域となりつつある。

微細化・精密化技術はcm, mm, μ mと、従来の精密工学理論と相まって開発されてきたが、これらの技術をそのままナノメートル領域まで発展させることは極めて難しいものと予測される。障害は、ナノメートル領域が従来の計測手段を越えた微細な領域であること、固体や流体を一樣に連続性のある対象としてのみ扱うことができない領域であることなどである。しかし、従来微細化・精密化に使われなかったさまざまな物理的な作用や機械的性質を巧みに活用することによって、こうした障害を取り除く可能性も生まれてきている。例えば、X線干渉を計測に適用することによって、非接触で1 nmを切る精度で物質の面粗さ等を測ることや圧電素子と弾性変形機構を用いてnmの分解能で微動する機構がある。

本研究主題は、ナノメートル領域における物質の物理的性質に着目、その解析を行うとともに、新しい計測、加工法の研究を通じ、その機械・機構の要素技術を探究する。研究は、計測技術が精密化研究の中核となることを念頭に置き展開する。

このような研究は、半導体、バイオテクノロジーを始め、広い分野の基盤技術の確立に寄与するばかりでなく、ナノ工学ともいうべき新しい分野を切り拓く基礎となろう。

2) 研究の進め方

精密工学は総合技術としての特徴をもつ。

本研究主題は、この特徴を踏まえ、種々の分野で研究されている材料や手法についての知見を体系的に駆使し、ナノメートル領域の要素技術を探究するものである。そのため、物理学、光学、材料工学、計測工学、電子工学等広い分野から人材を結集して組織的な研究を推進する。

研究は、ナノメートル領域において、(1) 種々の物理的作用と機械的性質の精密工学技術への適応性の解析、(2) 光波、X線による計測方法の探索と位置決め方法の探索及びその要素技術の検討、(3) 切削、研磨、薄膜形成等の加工法の探索及びその要素技術の検討について下記の研究項目を相互に密接な連携を保ちつつ総合的に展開する。

3) 研究項目

a) 基本解析

ナノメートル領域における物理的作用と機械的性質の基本特性を解析し、温度・振動等外部要因の基本特性への影響の解析を行う。さらに、物理的作用と機械的性質を変化させる方法の調査・分析を行い、精密工学技術への適応性を探る。このため、解析は、可視光、紫外光、X線光等を用いて行い、その手法についても検討する。

b) 計測・制御

物体の一次元（長さ）情報に限らず三次元（形状）情報を得るべくnm単位の計測を追求する。具体的には、可視光、紫外光、X線光を応用してその手法を探索する。あわせて、計測情報に基づきnmオーダの精度で計測対象物を位置決め制御できる手法を探索する。また、位置決め制御に必要な位置検出機構、送り機構、動力伝達機構等の要素技術を追求する。

c) 加工

加工とは、固体・流体の間の相互作用によって起こる現象であるとの視点に立ち、既存の技術の微細化、精密化の限界を見極めつつ、ナノメートル領域における新しい加工法を探索する。具体的には、加工の基本となる切削、研磨等の除去加工、薄膜形成等の付加加工について、その手法と要素技術を検討する。

さらに、それらの手法を駆使して、X線光学素子等の作成を試みる。

以上示した「構想」はまだ具体的研究テーマを決めているのではない。一部X線光学素子のように具体的ターゲットが示されているが、創造科学推進事業では装置、部分品そのものが研究の最終目標ではなくそれらを実現するべく工夫した技術、又はその装置で得られた新たな知見が重要となる。例えばX線光学素子の作成を目的として研究した技術が他の目的に利用したほうが有効である場合は目標を変えることも可能である。「主題」はより細かい要素に分解し具体的テーマを決定するためのガイドラインを示している。但し構想の段階でナノ機構の示す領域がNano-Precision Technologyの領域を主に研究することに絞られた。これに対し、微細な構造の加工や微細な構造そのものの動作を解明する技術領域はNano-Structure Technologyであり、これら2つの領域を含めNano-Technologyと総称されるのが一般的である。

それでは具体的テーマはどのようにして決められていったか、総括責任者及びスタッフによりナノ機構の構想を具体化する研究テーマとしていくつかのテーマ

の例が決められ、テーマ選定のガイドラインとして研究員募集のための説明会等で提示された。「表面、界面形状の解析及びその手段の研究」「材料の微小応力特性の研究」「ナノメータ位置決めの研究」「ナノメータレーザ計測システム」「微細形状計測法の研究」「サブナノメータ計測法の研究」「X線多層膜の生成」等が示された。

人中心の創造制度においては研究テーマについても研究者の提案によることが望ましい。「研究の構想」の範囲内であれば個人の意欲は何物にも換えがたい力となる。そのためテーマのいくつかは研究者が参加応募時に自分の研究したいテーマとして提案したものが採用されている。プロジェクトが提示したものと一致するものもあり、そうではないが総括責任者との協議の上、採用されたものもある。他のいくつかのテーマは研究者が参加手続きの段階でプロジェクトが示したテーマについて協議の上で自分の興味をおぼえるテーマを選択し具体化している。更に他のいくつかのテーマは研究を進めている中で研究員が新たに興味をおぼえたテーマとして採用されている。

4. 研究中のテーマ

吉田ナノ機構プロジェクトでは関連する研究テーマごとに3つのグループに分け、グループ内での研究はお互いに得られた知見を利用し合い、又グループ間では異種技術の結合によるメリットを生かすように協調して研究を進めている。

1) 基本解析グループ

- SEM-STM 複合装置を開発し、生物試料の観察、スパッタエッチング、真空蒸着による試料の変化過程の解明等の nm オーダでの STM 利用の研究
- UHV-STM 装置を開発し、イオンスパッタの原子オーダでの解明等の研究
- STM の工業的応用の基礎研究。特に半導体素子パターン形状測定のためのトポグラフィナとして大気中利用状態での諸問題の研究
- X線顕微法の一要素として位相型ゾーンプレートの研究、及びX線像を可視像へ変換する方式の研究

2) 計測・制御グループ

- ナノメータ位置制御システムとして、フィードバックシステム、リニアモータ等の駆動要素、機構の振動特性、サブナノメータの分解能でのステージの移動の様子の研究
- 2波長レーザ干渉計による空気ゆらぎの影響を除去

できる測長システムの研究

- マイクロマニピュレータの研究
- サブナノメータからミリメータまでをカバーする微動要素の研究
- 3) 加工グループ
- マグネトロンスパッタ法による W/C 等の多層膜の研究
- 吸収端を利用する Ni/V 等の多層膜の研究
- 光 CVD による薄膜生成、多層膜生成法の研究
- イオン、原子等の粒子ビームによる超平滑面加工法の研究。UHV-STM とビーム加工装置を結合し、高真空状態のままでの観測を行う
- X線多層膜材料の光学定数の測定。SOR 光を利用し材料の反射、吸収特性から求める。基本解析グループとの共同研究
- 多層膜によらない X線反射素材の研究

5. おわりに

これまで述べてきたように創造科学推進事業はテーマの下達ではなく研究の過程で研究者自身の意志でテーマを決めていける自由さと、産・官・学・外国からの参加者によるヘテロ集団での研究が効果を生み、これまでに終了したプロジェクトの中からも優れた成果が生み出されている。そして最近制度そのものの良さも認識され同じような考えを取り込んだ研究プログラムも他の組織の中で進められつつある。又、外国からも関心を持たれ、昭和63年5月に米国 JTEC (The Japanese Technology Evaluation Program) の一部として NSF (National Science Foundation) 及び大学、企業からの数人の研究者からなるチームが創造の制度及びナノ機構を含めたプロジェクトの活動についての調査に来日した。彼らの関心事も第一に創造の制度及びテーマの選択についてであった。又、昭和62年10月には英国より NPL (National Physical Laboratory) の研究者を中心としたメンバーが吉田ナノ機構プロジェクトを訪問した。この場合も自分たちが英国で発足させる Nanotechnology Project のテーマ決定の参考とするための調査であった。技術が成熟した現在どのようなテーマを選択するかはこの国でも大きな問題になっているのが現状と言えよう。研究の規模にもよるが創造科学推進事業の考え方が問題解決の一助になれば幸いである。なお、この文をまとめるに当たり参考となる資料、ご意見を頂いた新技術開発事業団本部の方々に謝意を表する。