

# ナノスケールサーボのための新しい制御技術協同研究委員会

## 設置趣意書

産業計測制御技術委員会

### 1. 目的

本研究委員会では、ナノメートルの精度で超高速かつ超高精度に位置決めを行なう技術を「ナノスケールサーボ」と定義し、マスストレージシステムや半導体露光装置を中心に据えつつも、この分野の幅広い調査を行なう。

計算機の外部記憶装置や各種メディアの情報記憶装置として用いられている磁気ディスク装置 (HDD)、および DVD などの光ディスク装置といったマスストレージシステムの性能はここ数年で飛躍的に向上している。特に記録容量の向上はめざましく、これを実現するための記録密度を上げる技術の開発が重要である。記録密度を向上させるための技術の1つとして、トラックピッチの狭小化に対応した記録再生ヘッドの位置決め技術がある。一方、記憶容量の増大に伴い大容量のデータを処理するためのデータアクセス速度も上げなければならない。したがってヘッドを目的のトラックに高速に移動、位置決めする技術の向上も求められている。

このようなマスストレージに必要とされているヘッド位置決め系の高速化かつ高精度化の課題に対応して、電気学会では平成11年6月から平成13年5月にかけての「マスストレージシステムのための新しいサーボ技術調査専門委員会」、平成13年10月から平成15年9月にかけての「マスストレージシステムのための超精密超高速サーボ技術調査専門委員会」、平成15年12月から平成17年11月にかけての「マスストレージシステムのための次世代サーボ技術調査専門委員会」にてマスストレージシステムにおける制御系の実状やそれらが抱える問題点の洗い出しを行ってきた。

これらの活動において、マルチレート制御、サンプル値制御、2段アクチュエータ制御方式、繰り返し制御、ヘッド移動時の目標軌道生成、制振フィードフォワード制御、および機構系の振動特性を考慮した統合化設計などに関連した制御手法について調査を行い、最新の制御理論を適用することによって位置決め精度やシーク時間などの性能の向上がはかられ、実用化が進んでいることが明らかになった。

一方、これまでの6年間の委員会活動で、マスストレージシステムのサーボという非常に狭い研究分野に対して深く議論をするという社会的役割りは、ほぼ完了したといっても過言ではないレベルに達した。しかし、サーボライタなど製造設備にも焦点を当てることにより、新たな展開が得られる可能性が判明した。また、これまでもごく稀に半導体露光装置の精密位置決め制御の調査を行なったが、このような他のナノスケールサーボ装置の制御技術と情報交換こそ、重要であることを強く認識した。

そこで本委員会では、これまでのようにマスストレージシステムのサーボのみに注目するのではなく、より広いナノスケールサーボ制御技術の調査を目的とする。すなわち、マスストレージサーボで培った高度な制御技術を、他の製品に適用できないかというシーズ技術の調査と、他の製品で開発された技術をマスストレージに応用できないかといったニーズ技術の調査を行なう。これにより、両者が融合した全く新しい技術が生まれる可能性を探る。より具体的には、半導体露光装置 (ステップ、スキャナ)、ナノスケールサーボに適したアクチュエータ及びその制御技術、精密位置決め制御に適した制御理論など関連する要素技術、ミリピードに代表されるプローブストレージの基礎となる原子間力顕微鏡 (AFM) や走査型トンネル顕微鏡 (STM) の制御、さらには MEMS のナノスケールサーボまでをも含めた調査を行なう。

### 2. 内外の趨勢

ナノスケールサーボシステムの中で、最も出荷台数が多く代表的な製品である磁気ディスク装置は、電子情報技術産業協会 (JEITA) の資料によると、2004年に全世界で2億9,580万台出荷された。これは前年に比べて17%の増加であり、そのうち日本国内向けは2,755万台となっている。今後は HDD レコーダなど情報家電市場分野やモバイルやウエアラブルタイプといった携帯型コンピュータの市場拡大、監視カメラ用記録機器、車載機器、プリンタ、コピー機等の事務機器への HDD 搭載が進展し、今後も年率10%以上の伸び率が予測され、2007年には3億8千万台に到達すると予想されている。

一方性能に関しては、磁気ディスク装置では継続的な記録密度の向上が続き、現在のトラックピッチは 0.25  $\mu\text{m}$  程度であり、要求位置決め精度は 30 nm 以下のサブサブミクロン領域に達した。個々の誤差要因では、ナノメートルレベルの振動低減が要求されている。今後、HDD レコーダや音楽プレーヤの大容量化に対する要求から、より高い位置決め精度が必要となる。

現在のハイエンド磁気ディスク装置の回転数は、最高で15,000 rpm、平均シークタイムは3~4 ms 以下であり、外乱抑圧性を高めるための閉ループサーボ帯域は約4 kHz 程度である。一方では、HDD レコーダの

普及拡大により、低コスト化、大容量化、静粛性が求められるなど、製品により多種多様なニーズがあり、それに対応したサーボ技術の開発も必要である。実環境下で、しかもモバイルなどの厳しい使用条件のもとで、ナノメートルレベルの振動低減と、ミリ秒の高速アクセスを両立させるための制御技術は、他の分野に比べ大変特徴のある技術であると言える。

磁気ディスク装置の制御研究に関しては、国内では企業における研究開発が主体であるが、本委員会の委員を中心に大学との共同研究は着実に進んでいる。海外特に米国では、産学協同体制がより進んでおり、たとえばカルフォルニア大学バークレー校コンピュータメカニクスラボ、カーネギーメロン大学のデータストレージシステムセンタ、コロラド大学などで磁気ディスク装置関連技術の研究が行われ、ヘッド位置決め制御の研究も盛んに行われている。またアジア地域でも、シンガポールのデータストレージ研究所や韓国において研究が進んでいる。

一方で、上述したように今後も磁気ディスク装置がストレージ装置の中心となることは予想されるものの、記憶容量の伸び率は年々低下していることも事実である。このような問題点に対して、これまでの磁気や電子を使って記録する従来技術の延長線ではなく、全く新しい原理に基づく記録装置の開発も進められている。例えばIBM チューリッヒ研究所が2002年に発表した「ミリビード」では、原子力顕微鏡(AFM)で用いられているナノスケールの針(カンチレバー)を32×32本、平面上に並べてプラスチックフィルムに微細な穴を空けることによりビットを記録するものである。デモでは1平方インチあたり1テラビットという驚異的な記憶容量が達成されたと報告され、世界中の研究者を驚かせたことは記憶に新しい。コストや信頼性、熱管理やデータ転送速度などで課題もあるので製品化に関してはまだ疑問な部分も多いが、将来的にはこのような全く新しい技術が磁気ディスク装置やメモリに置き換わる可能性も否定できない。将来的にも、我が国のストレージ技術が世界の最先端レベルを保ち続けるためには、産業界と大学が協力して、このような未来の大転換期に備えた基礎研究を進める必要がある。その重要なキーワードとなるのがナノスケールサーボ技術であることは言うまでもなく、この分野の調査を行なうのが本委員会の社会的使命である。

このように、ナノテクノロジーは次世代の産業の最重要技術と位置付けられ、例えば米国ではNSFがスポンサーになり、制御関係の国際会議でもナノテクノロジー関連のワークショップを開催するなど、ナノスケールサーボ技術の重要性は確実に認識されている。国内ではナノテクと言えば材料工学やデバイスのみしか注目されていないのが現状であるので、この分野に対する学会のバックアップは急務であると考えられる。

### 3. 調査検討事項

- (1) マスストレージシステムのナノスケールサーボ技術調査：前身のマスストレージ委員会で作成したベンチマーク問題を中心に、各種制御理論の比較検討を行なう。またサーボトラックライタなど製造装置における制御技術や、コンシューマエレクトロニクスが求める制御技術を調査する。
- (2) 上記以外の各種ナノスケールサーボ装置における制御技術の調査：半導体露光装置、ナノスケールサーボに適した新アクチュエータ、圧電アクチュエータや原子間力顕微鏡(AFM)の制御、MEMSの制御、ナノスケールマニピュレーションのための要素技術
- (3) ナノスケールサーボのための制御理論：マルチレート制御やロバスト制御だけではなく、制振制御や目標軌道生成、モード切替やスイッチングを含むハイブリッドシステム論など、超高速超精密位置決めのための新制御理論について調査する。

### 4. 予想される効果

本委員会ではマスストレージシステムのみならず、ナノスケールサーボシステム全般に調査対象を広げることにより、他分野の研究者を数多く巻き込み、他流試合を増やすことによりナノスケールサーボシステムにおける革新的な議論の場を提供することが可能となる。それにより、下記の結果が予想される。

- (1) マスストレージシステムで適用された新技術の他の精密位置決め機器への応用
- (2) 他の精密位置決め装置で適用されている新技術のマスストレージシステムへの応用
- (3) 上記の両者に含まれないナノスケールサーボのための新技術
- (4) ナノスケールサーボにおける共通課題の認識共有と、それを解決する研究課題の設定

### 5. 調査期間

平成18年1月～平成19年12月(2年間)

## 6. 委員会の構成

委員長	藤本 博志	横浜国立大学
幹事	佐渡 秀夫	東芝
幹事	川福 基裕	名古屋工業大学
幹事補佐	呉世訓	東京大学
委員	熱海 武憲	日立製作所
委員	石本 努	ソニー
委員	伊藤 和晃	豊田高専
委員	伊藤 博	九州工業大学
委員	伊藤 博仁	キャノン
委員	岩崎 誠	名古屋工業大学
委員	内田 博	日立グローバルストレージテクノロジーズ
委員	浦川 禎之	ソニー
委員	大石 潔	長岡技術科学大学
委員	大内 茂人	東海大学
委員	大野 敬太郎	富士通研究所
委員	奥山 淳	日立製作所
委員	小出 大一	NHK 放送技術研究所
委員	佐藤 孝雄	兵庫県立大学
委員	高倉 晋司	東芝
委員	長縄 明大	秋田大学
委員	中村 裕司	(株)安川電機
委員	橋本 誠司	群馬大学
委員	原 進	豊田工大
委員	原 武生	富士通
委員	坂東 信尚	宇宙航空研究開発機構
委員	平井 洋武	名古屋工業大学
委員	平田 光男	宇都宮大学
委員	藤岡 久也	京都大学
委員	堀 洋一	東京大学
委員	牧野内 進	株式会社ニコン
委員	山浦 弘	東京工業大学
委員	山口 敦史	株式会社ニコン
委員	山口 高司	日立グローバルストレージテクノロジーズ
委員	弓場井 一裕	三重大学
委員	楊 暁峰	ニコン
委員	涌井 伸二	東京農工大学

## 7. 活動予定

委員会 6回/年

## 8. 報告形態

国際会議のオーガナイズドセッションやベンチマーク問題中心のフォーラムを企画する。また技術報告書、あるいはシンポジウムにて成果報告をおこなう。

## 9. その他

設置が認められた場合、委員の一部は公募を行いたいと考えている。

## 10. 収支予算案

収入 各委員からの徴収金：1,500円/年×30人=45,000/年

支出 会議費：20,000円/年

印刷・消耗品：25,000/年