

精密サーボシステムの深化と水平展開に関する調査専門委員会 設置趣意書

産業計測制御技術委員会

1. 目的

近年、生成 AI の急速な普及に伴い、それを駆動するための高性能半導体に対する需要が世界的に拡大している。半導体デバイスの高集積化・高性能化を実現するには、それを生産する半導体製造装置やファクトリーオートメーション (FA) システムのさらなる高度化が不可欠であり、そこでは高速かつ高精度な精密サーボシステムが基盤技術として重要な役割を果たす。

また、ハードディスクドライブ (HDD)、産業用ロボット、工作機械、半導体製造装置、さらにはそのサブシステムであるコントローラ、サーボアンプ、サーボモータなどのメカトロニクス機器は、我が国が高い国際競争力を保持する分野である。この優位性を将来にわたり強化し、世界をリードしていくためには、精密サーボシステムの基盤である電流制御、速度制御、位置制御をさらに深化させる必要がある。その実現に向けては、システム同定、フィードバック制御、フィードフォワード制御、学習制御、機械学習の理論研究に加え、物理的直感を活かしたモデル駆動設計と最適化に基づくデータ駆動設計をシームレスに架け渡すことが求められている。

本調査専門委員会では、精密サーボシステムに関する調査を継続すると同時に、精密サーボ技術を核とする研究者・技術者を広く結集し、当該分野のさらなる深化を図る。加えて、位置制御の新たな応用展開を探索するとともに、力制御、温度制御、流量制御など異なるドメインへの水平展開の可能性を追究することを目的とする。

2. 背景および内外機関における調査活動

近年、生成 AI の急速な普及により、その学習や推論を支えるためのビッグデータの処理・蓄積が社会基盤として不可欠となっている。この情報爆発を支えるストレージインフラとして、HDD は依然として重要な役割を担っており、特にデータセンター用途では大容量化・高記録密度化が必須である。その実現には、磁気ヘッド位置決め制御を支える精密サーボ技術のさらなる革新が不可欠である。

同時に、高性能半導体デバイスに対する需要も急速に拡大しており、その生産を担う半導体製造装置や FA システムのさらなる高速化・高精度化が求められている。ここでは、ナノスケール加工を支えるための精密位置決めステージ制御が基盤技術として極めて重要である。工作機械においても、摩擦や振動の影響を克服した高精度な位置制御 (軌跡制御・同期制御) の深化が性能向上のために求められている。さらに近年では、精密サーボ技術の水平展開として、プロセスガス流量制御や温度制御など従来はプロセス制御領域に属していた分野にも応用が広がりつつある。

また、産業用ロボットでは、人との協働や自律化を進める上で力制御や複数センサを統合する制御が重要となっている。レーザー加工機では、ガルバノミラーの精密角度制御、ステージの高精度位置制御、レーザーの光出力制御といった、それぞれ独立した制御系を統合的に協調させる制御が求められている。加えて、ストローク制約や異なる周波数特性をもつ粗動・微動複合システムの協調制御は、HDD や精密位置決めステージにおいて不可欠であり、サーボ技術の高度化を象徴する課題となっている。

このように精密サーボ技術は、位置制御を核とし、力制御・流体制御・熱制御・光学制御へと応用範囲を広げている。その中でも、HDD の制御系設計以来培われてきた周波数特性を軸としたループ整形技術は、異なるシステムを結合し最適化する際の共通言語となり得るものであり、今後の水平展開を進める上で重要な

基盤になると期待されている。

海外では米国・欧州を中心に産学連携の下で精密サーボシステムに関する研究開発が積極的に行われている。また IEEE IES の Technical Committee on Motion Control では、precision control に関する sub-committee が設置され、様々な会議で特別セッションを組織するなど、活発な情報交換が行われている。国内においても、精密工学会の超精密位置決め専門委員会、日本機械学会の情報・知能・精密機器部門などで、メカニカル制御の観点から調査研究が実施されている。

電気学会産業応用部門では、マストレージシステム (MSS) を冠した調査専門委員会が 1999 年から 2005 年までの 3 期にわたり設置され、磁気ディスク装置や光ディスク装置における位置決め制御系の高速・高精度化と実践的な制御系設計論の体系化が進められた。その後、ナノスケールサーボ (NSS) を冠した協同研究委員会 (2006-2014 年) においては、半導体や液晶製造装置、ガルバノスキャナ、原子間力顕微鏡などに調査対象を拡大し、コア技術である高速・精密位置決めへの水平展開が進められた。さらに 2014 年から 2025 年にかけては、精密サーボシステム (PSS) を冠した専門委員会が、位置決め制御のみならず速度・加速度・力の次元への展開や、アクチュエータ駆動回路やセンサシステムを含めたシステム全体の調査を進め、精密サーボ技術を核とした幅広い成果を挙げってきた。

本委員会は、これらの成果をさらに発展させ、位置制御技術のさらなる深化と、新たな応用分野探索、そして力・温度・流量・光学など多様な分野への水平展開を調査・検討し、実践的な知の共有を通じて学界および産業界に貢献すべく設置されるものである。

3. 調査検討事項

- (1) 各種製品における高速・高精度位置決め制御技術、速度制御や力制御技術における最新の制御技術および課題を整理しつつ、その新たな応用探索について調査検討する。
- (2) 精密サーボシステムの基盤である電流制御、速度制御、位置制御系と、それを構成するフィードバック制御器、フィードフォワード制御器の、モデルおよびデータ駆動設計理論の深化について調査検討する。
- (3) 精密サーボシステムを構成するアクチュエータ、駆動回路、センサ、案内／伝達機構の各要素の特性が制御性能に及ぼす影響を調査するとともに、それらのモデリング方法や統合的な制御系設計手法について調査検討する。
- (4) 複数のセンサやアクチュエータを活用した精密サーボシステムを実現するための新たな制御手法や実装方法について調査検討する。
- (5) 他委員会との交流も視野に入れながら、様々な技術分野への精密サーボシステムの水平展開の可能性について調査検討する。

4. 予想される効果

本委員会では、これまでに培ってきた精密サーボ技術を核として、位置決め制御、速度制御、力制御などの高速・高精度化に向けて共通課題を調査し、その解決方法を整理・体系化するだけでなく、最新の応用事例を広く学界および産業界で共有する。知の共有により、多種多様な製品群における高速高精度システムの実現のみならず、精密サーボシステムを実現するさらなる深化と、異なる分野への水平展開が期待される。また、このような精密サーボシステムに特化した共通の議論の場を提供することで、技術の発展と共に人材育成にもつながり、学術的にも産業界でも実りの多い活動になることが予想される。

5. 調査期間

2026年（令和8年）3月～2028年（令和10年）2月

7. 活動予定

委員会 5回／年 幹事会 5回／年 見学会 1回／年

8. 報告形態

技術報告をもって報告とする。