

解説7 精密位置決めのための コントローラ活用法

システムの機能研究所 二見 茂*

*ふたみ しげる：代表取締役 工学博士(東京工業大学)

はじめに

“ナノメーターさらにはサブナノメーターの位置決め”ということが平気で言われるようになってきた。もちろんそれは、そのような分解能を有する位置センサが実現されたからである。何事も測ることができなければ始まらない。しかし、測れさえすればセンサ分解能の位置決めが実現できるかという点、そう簡単なことではない。遥かに複雑でやっかいな“機械”を動かさなければならぬからである。

精密位置決め制御系に要求される主たる性能は、

- (1) 高速で移動する
- (2) 位置センサの分解能で位置決めし、停止する
- (3) 位置決め整定時間が短い

ことである。これらの性能は主としてコントローラの機能で実現されるものである。

コントローラとは、与えられた位置指令と位置センサ出力とができるだけ一致するように、機械に適切な駆動力を与える機能を担う装置である。したがってコントローラ内部に機械の精密な運動力学をはじめ、システム全体の情報を持ち、それらを勘案して適切な出力を発生する必要がある。この意味において、コントローラが分担する役割は大きい。

本稿では実用的な精密位置決めを構成するために必要なコントローラの機能を具体的に説明する。

特に20年以上前に実現されたナノメーター位置決め^{1), 2), 3)}を例にとる。

ナノメーター位置決め簡単な歴史

筆者は1985年に、DCモータに1回転100万パルスのエンコーダを直結し、アナログアンプとアナログコントローラを用いて、1パルス分解能の回転サーボ系を実現した。もしこの回転サーボ系にリードが1mmのボールねじを結合すれば1nmの直線運動が発生できる計算になるが、ボールねじには10 μ m以上のロストモーションが存在するため、そのような運動を得ることはできなかった。ボールねじを用いた1nmの位置決め¹⁾が実現されたのは約7年後で、ナノメーターレベル分解能の位置センサが実現されてからである。

ナノメーターレベルの位置制御は圧電素子を用い、その駆動電圧を変化させることで早くから容易に実現できていた。しかしそれはたかだか10 μ mのストロークでしかなかった。粗動位置決め機構(たとえばストローク150mm、分解能1 μ m)と圧電素子とを組み合わせることで、大ストロークでナノメーター分解能の2軸ステージが作られ²⁾、半導体露光装置として用いられた。粗・微動制御である。

単一の機構を用いた大ストローク、高速かつ1nm分解能の位置決めは筆者らにより1990年に