

計測サイクルタイムの最適化

要約

工作機械におけるプローブ計測サイクルに最優先で求められるのは、妥当かつ信頼できる計測であることで、加えて、許容できる時間で計測できることも必要である。そのため、計測サイクルタイムの最適化は、製造加工プロセス内で計測ソリューションを構築する中での重要な部分であり、計測サイクルタイムに影響する要素を理解したうえで、最適化を試みる必要がある。本書では、それらの要素とその影響を紹介する。

TE412「シングルタッチとダブルタッチの比較」で述べたとおり、プローブ計測サイクルの方式は、繰り返し精度とサイクルタイムに大きく影響する。本書では、他の影響要因として、送り速度、引戻し量、およびオーバートラベルについて考察する。

送り速度

プローブ計測サイクルでは、工作機械がプローブをスタート位置から計測面まで移動させる必要がある。サイクルの高速化とは、送り速度を上げ、その面に短時間で到達するだけのことと考えられるかもしれない。だが、TE412 に記載のとおり、工作機械コントローラがプローブからのトリガー信号に応答するのに時間も要する。そのため、サイクルを高速化すると計測精度に影響が出て、計測に大きな不確かさが生じる。また同書では、シングルタッチの場合に、計測の不確かさが送り速度に正比例することも示されている。シングルタッチでは、トリガー信号への応答が速い CNC への直接入力により、計測の不確かさをある程度減じることができる。

スキャンタイムが例えば 4ms といった遅いコントローラだと、送り速度が 3000mm/min の場合で不確かさは 0.2mm となり得る。工作機械側は計測対象の面を認識できていないため、面にタッチする直前に、例えば 30mm/min といった正確に計測できるレベルにまで送り速度を確実に落とすことができない。こういったケースで必要になるのがダブルタッチ計測である。

送り速度 3,000mm/min、スキャンタイム 4μs の直接入力コントローラの場合で、計測の不確かさは 0.2μm になる。不確かさがこのように低い場合には、送り速度を上げることによってサイクルを最適化できる可能性があるが、工作機械の加速特性によっても有意な影響が出て、最適化が妨げられる。

加速と減速

工作機械の加速減速の方法を決定するアルゴリズムは、制御システムメーカーによって設定される。ロジックスキームと計算はメーカーによって異なるが、工作機械は一般に、固定の割合では加速しない。一部の機械では、図 1 に示すとおり、プログラミングされた送り速度に設定時間で到達するように加速度が計算される。その結果、プログラミングされた送り速度に到達するために軸が移動する距離が、送り速度に応じて直線的に長くなる。

$$2 \times \text{加速距離 (mm)} = [\text{送り速度 (mm/min)} \times \text{時定数 N(s)/60}]$$

$$[2 \times \text{加速距離} = \text{加速距離} + \text{減速距離}]$$

時定数が例えば 0.06 秒の場合、加速距離と減速距離の総計は、50mm/min 時は 0.025mm で、5000mm/min 時は 2.5mm に延びる。減速距離は変わらない。したがって、プログラミングされた送り速度を達成するのに軸が要する最少移動距離は、50mm/min で 0.05mm、5000mm/min で 5mm になる。

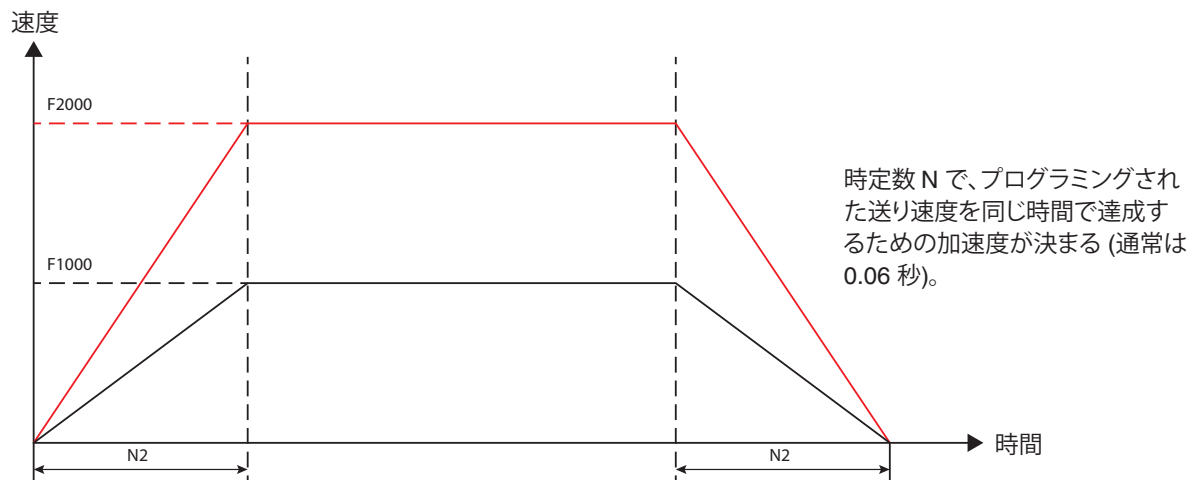


図 1: 設定された時間にわたって機械が加速することにより、送り速度に応じた加速度が必要となる。

CNC がプローブのトリガー信号を認識した後も、スタイラスが変位し続ける中、プローブはワークに向かって移動し続ける。プローブ計測速度が上がると、トリガーポイントを越えた後のプローブ減速距離が延びる。そのため、スタート位置への復帰に必要な移動距離が延びてしまう。

時定数が 0.06 秒の工作機械で考えてみるとする。

30mm/min でのプローブ計測後に面から 2.5mm 離れたポイントまで 5000mm/min で戻るには、2.52mm の移動が必要であり、0.085 秒かかる。

30mm/min ではなく 5000mm/min でのプローブ計測後だと、同じポイントへの戻り移動の距離が 5.833mm となり、0.13 秒かかる。

これは、プローブ計測サイクルの継続時間を判断するうえで極めて重要であり、2000mm/min を超える送り速度でのプローブ計測でメリットと考えられているものの多くが失われている。

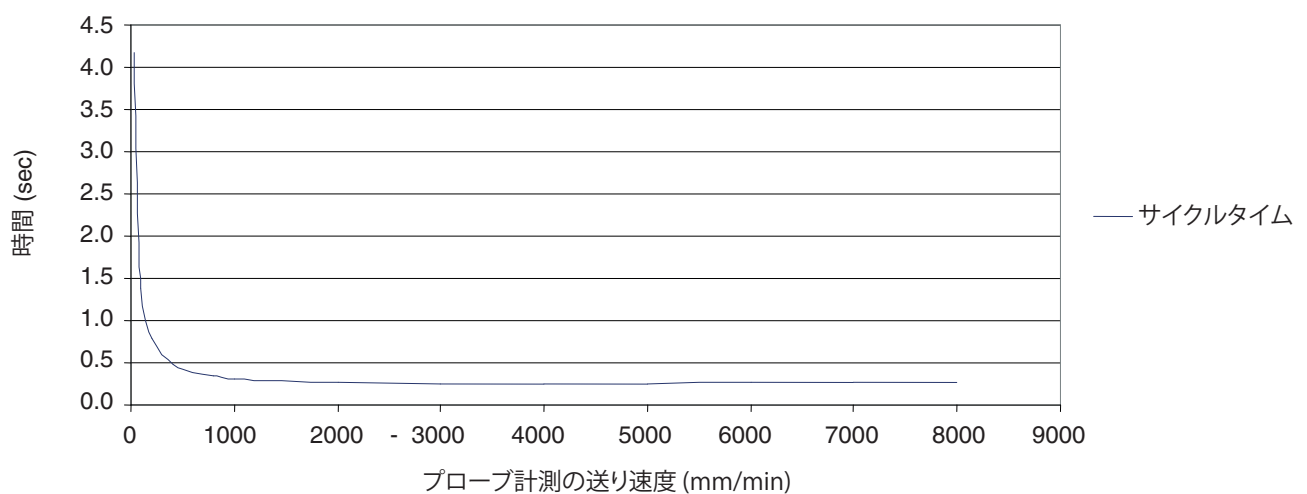


図 2: シングルタッチのサイクルタイム

図 2 は、送り速度を 2000mm/min まで上げた場合にサイクルタイムがどのように改善するかを示している。2000mm/min より速くしても改善は見られない。送り速度を上げるとトリガー後の減速距離が増すため、サイクルタイムが短縮されない。トリガー後にプローブがスタート位置に戻るのに、この距離を再度たどる必要がある。

送り速度があまりに速いと、プローブとスタイラスが損傷するリスクもある。スタイラスがワークにタッチしているときの余分な移動距離によって、オーバートラベルのリミットに近づくことがある。これは特に短いスタイラスを使用したときに顕著である。また、速すぎる送り速度で小さな形状を計測すると、スタイラスが周囲と干渉し曲がるリスクもある。

引戻し量

ダブルタッチ計測では、最初のタッチは面を速やかに見つけるためだけに、比較的高速で行う。引戻し後、プローブは (TE412 に記載のとおり) 計測の不確かさの小さい遅い送り速度で動き出す。サイクルのこの部分を最適化するために重要なのが引戻し量である。面からの引戻し量が例えば 2mm で、送り速度が 30mm/min と遅い場合、計測までのアプローチの完了に 4 秒という相当な時間がかかる。サイクルタイムを最適化するには、引戻し量を最少にする必要がある。

プローブ計測ソフトウェアには、ほとんどの工作機械でプローブがリセットするのに十分な引戻し量がデフォルトで設定されている。引戻し量は、プローブが高速でアプローチして最初にタッチし、そして停止したポイントからどの程度戻るかを定義するパラメータであり、計測面からどの程度戻るかを定義しているわけではない。次のセクションで説明するいくつかの要因により、プローブは計測面にタッチした後、一定の時間の経過後 (すなわち距離を進んだ後) に停止する。これはオーバートラベルと呼ばれる。計測サイクルの引戻し量を最適化するには、機械特性を考慮する必要があり、高速アプローチのときに機械で生じる通常のオーバートラベルと、プローブがリセットするのに必要な面からの最小距離とを加味して設定しなければならない。

オーバートラベル

オーバートラベルとは、計測面から、計測後のプローブが停止する地点までの距離を指す。オーバートラベルは、図 3 に示すとおり、トリガーシーケンスにおける 3 段階から成る。

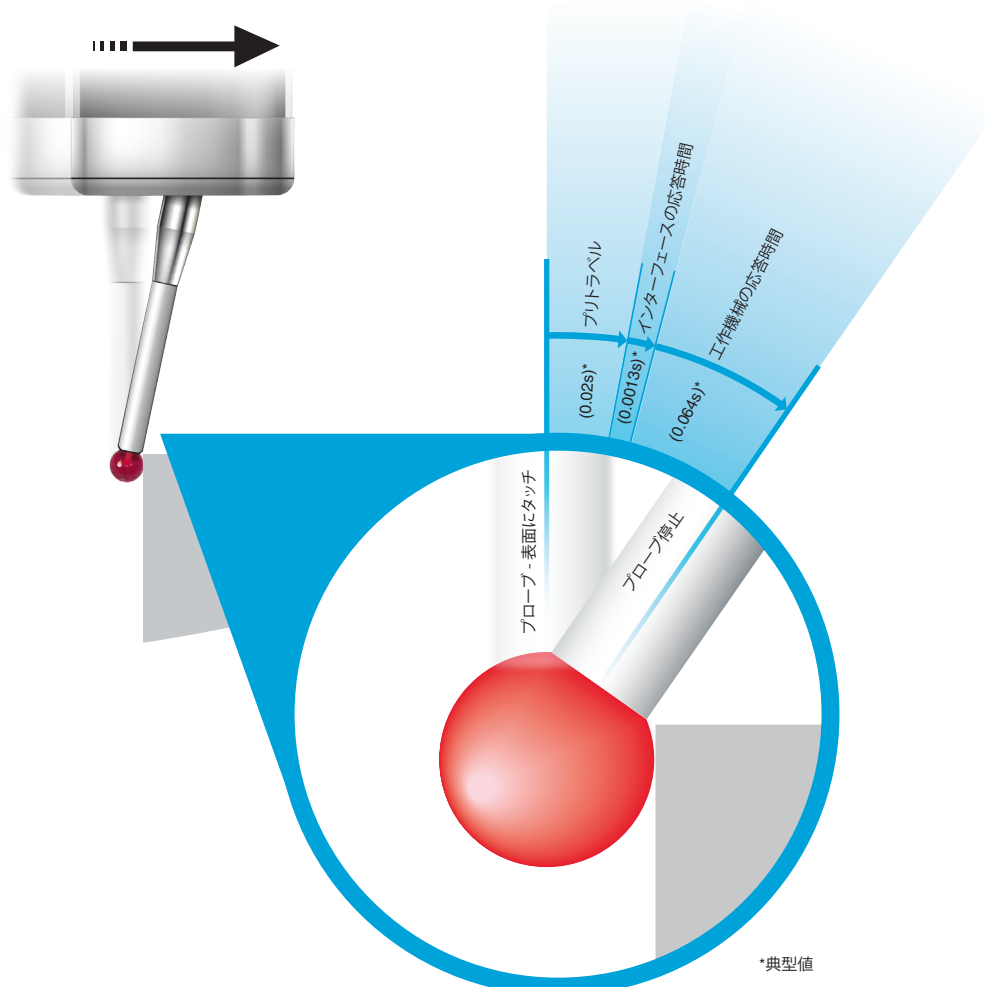


図 3: プローブのトリガーシーケンスと信号送信

プローブのトリガーシーケンスは 3 段階に分かれる。

第 1 段階 - 表面へのタッチから、プローブが機械的にトリガーするまでの「機械的プリトラベル」

第 2 段階 - 機械的トリガーから、トリガー信号が CNC コントローラに送信されるまでの「インターフェース応答時間」

第 3 段階 - トリガー信号の送信から CNC 応答までの「工作機械応答時間」

第 1 段階 - 機械的プリトラベル

機械的プリトラベルとは、面にタッチしたポイントからプローブの感知しきい値到達までに必要とされる移動距離のことを指す。プリトラベルはプローブそれぞれで個体差があるが、計測の送り速度によって変わることはないため、適切なキャリブレーションとソフトウェアを用いて相殺することができる。

機械的プリトラベルの終わりは、プローブがトリガー信号を出力したタイミングではなく、インターフェースが機械的トリガーの発生を認識し、応答を開始したタイミングである。プリトラベルおよびプリトラベルバリエーションは、プローブの重要な機械特性であり、計測の質を決定する非常に大きな要因である。

機械的プリトラベル (μm)	速度 30mm/min	速度 1000mm/min
	プリトラベルの時間 (s)	プリトラベルの時間 (s)
2	0.004	0.0001
10	0.02	0.0006
50	0.1	0.003

表 1: プリトラベルがサイクルタイムに及ぼす影響

表 1 から、プリトラベルはサイクルタイムに影響を及ぼすものの、影響が大きいのは、プリトラベルの大きいプローブを遅い計測速度と組み合わせ使用した場合に限られることがわかる。

第 2 段階 - インターフェースの応答時間

インターフェースの応答時間は、プローブがトリガーしたタイミングから、そのトリガー信号が CNC コントローラに伝達されたタイミングまでの差を指す (TE412 に記載)。インターフェースは、プローブのステータスを常時モニタリングしており、面にタッチするとトリガー信号を機械に送信する。この応答時間は変更できるものではなく、この応答時間を考慮しつつ、この要素を調整しなければならない。

第 3 段階 - 工作機械の応答時間

工作機械の応答時間は、コントローラの応答時間に減速時間を加算したものである。コントローラの応答時間は、機械がプローブトリガー入力を認識し、その入力に基づいて動作するプロセスによって決まる。プローブメーカー側がコントロールできることではなく、サイクルタイムにはほとんど影響しないものの、プローブの計測性能に直結する。インターフェースがトリガー信号を CNC コントローラに送信した後何が起こるかは、工作機械コントローラの能力とトリガー信号の処理のされ方に完全に依存する。インターフェースがプローブのトリガー信号を送信してから、コントローラ側がその信号に反応して動作するまでにかかる時間は、コントローラの仕様とオプションによるものの、わずか 4μs ということもあり、最大で 4ms ということもある (TE412 でも記述)。

以上のように、ワークにタッチしてからトリガー信号が認識されるまでに、この 3 段階によって短いディレイが生じることがわかる。第 1 および第 2 段階は、発生する時間遅延に一貫性があり補正可能なため、キャリブレーションサイクルと計測サイクルで動的条件が同じであれば、計測の一貫性には影響しない。

しかし第 3 段階は、コントローラの応答時間が不確かであり、計測性能が大きな影響を受ける可能性がある。

最後に

CNC 工作機械におけるプローブ計測のサイクルタイムには数多くの要因が影響する。

それらの中でもプリトラベルやインターフェース応答時間などは、プローブ計測のハードウェア側に起因するものである。これらは一般にキャリブレーションを用いて補正できるため、計測を常に同じ動的条件下で行うことができるようになる。しかしながら、工作機械メーカー側が設定した加速度と減速度、制御システムの選定とセットアップ、計測方式（シングルタッチまたはダブルタッチ）、そしてプローブの最適化のほうが大きく影響する。一般化できる内容を挙げるとすれば、以下のようになる。

- いかに高性能なプローブを選定しても、達成しうるプローブ計測のサイクルタイムに対してコントローラの応答時間と加速度という工作機械側の特性のほうが支配的である。
- プローブ計測ソフトウェア内で引戻し量が最適化されていれば、ダブルタッチ計測とシングルタッチ計測のサイクルタイムの差はわずかな差にとどまる。
- タッチトリガープローブの使用時には、2000mm/min を超える速度でのプローブ計測だと計測に悪影響が出ることに加え、サイクルタイム上のメリットも考えにくい。
- 工作機械は、プローブ計測のサイクルタイムが決まるうえで、プローブの選定に関係なく大きな役割を果たす。そのため、プローブ計測メーカーが速度という点で他社よりも優れていると主張することには正当性がない。
- 計測面の位置に関する不確かさが、プローブ計測のサイクルタイムに直接影響を及ぼすことがある。「既知のワーク」のプローブ計測、すなわち加工したばかりの面の場合、初期クリアランスを加工面の極めて近くにとることができる。そして、送り速度と引戻し量を最適に設定することで、プローブ計測時間を最小に抑えることができる。「未知のパーツ」の場合、ワークの表面に付随する不確かさを考慮して、プローブをワーク表面から十分に安全をみた位置に配置する必要がある。治具が正確でない場合のパーツ芯出しや、素材にばらつきがある場合（鋳型など）が該当する。

www.renishaw.com/machinetool



#renishaw

☎ 03-5366-5315

✉ japan@renishaw.com

© 2025 Renishaw plc. 無断転用禁止。RENISHAW® およびプローブシンボルは、Renishaw plc の登録商標です。レニショー製品の名称および呼称ならびに「apply innovation」マークは、Renishaw plc およびその子会社の商標です。その他のブランド名、製品名または会社名は、各々の所有者の商標です。Renishaw plc, Renishaw plc. イングランドおよびウェールズにおいて登録。会社登録番号: 1106260。
登録事務所: New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, UK.

本書作成にあたり細心の注意を払っておりますが、レニショーは、法律により認められる範囲で、いかなる保証、条件提示、表明、損害賠償も行いません。

パーツ No.: H-5650-2070-02-A