

技術情報

ハイデンハイエンコーダによる完璧な表面処理加工

完璧な表面加工を施すには多大な時間と工数を必要とします。例えば、シカゴのミレニアム・パークにある彫刻家アニッシュ・カプーアの彫刻作品 "クラウド・ゲート" は、数ヶ月間に及ぶ仕上げ工程において 24 名の職人により研磨されました。ステンレススチールで出来た彫刻作品は重さ 99 トン以上、10 m x 20 m x 13 m という巨大な外観で、シカゴのスカイラインを映し出す完璧で継ぎ目のない表面を特徴としています。

同様に、工作機械産業、特に金型製作においては、完璧な表面加工の実現がたびたび要求されます。しかしそこでは、経済的側面が重要です。公差が厳しく、表面品質の高い部品を短時間で製造することが大きな課題となります。金型製作で高品質なワークを製造するには、粗加工の段階では大きな加工量が求められる一方、切削後の工程では完璧な表面処理を要します。表面品質が最適と判断される場合のみ、手動での研磨作業等のコストを抑えることが可能です。最適な切削結果を実現するための責任を担う要素として、工作機械の構造の品質や、それに対応する制御の性能に加えて、測定技術が第三の柱となっています。

高品質な表面処理を達成するためには、1 信号周期内での偏差（内挿誤差）が非常に小さな値である信号を出すエンコーダが決定的に重要です。例えば、内挿誤差はワーク表面の形成において周期的に繰り返して生じるムラの要因であり、金型製作工程では特に妨げとなります。



クラウド・ゲート—完璧な表面処理加工例

目立つ表面傷

人間の目は構造上の変化や、表面上のどんなに小さな傷にでも大変敏感です。例えば、最大 500 万画素ディスプレイのモニター上で、1 画素のエラーを瞬時に見分けます。人間の目は周期的な表面の傷に対して、さらに敏感であるといえます。テストワークの 0.2 μm 程の小さな周期的形状ムラも、はっきりと見分けることができます。特に金型製作においては、精度に影響はないのですが、この形状偏差が妨げとなり、高価な手直しを要します。

高表面品質の必要条件

周期的な表面ムラ発生のお考えられる理由

影や揺らぎとは対照的に、表面上での表面ムラははっきりと見て取ることができます。通常の視界では、人間の目は表面ムラを障害物と認識します。表面ムラの要因としては、根本的に異なる以下事由が挙げられます。

- 加工工程の妨げとなる、工作機械の振動（技術情報 *Dynamic Precision* を参照ください）
- エンコーダ軸の短周期的誤差（1 信号周期内の位置誤差、すなわち内挿誤差）

この技術情報では、1 信号周期内の位置誤差によって生じる表面ムラについて説明します。

1 信号周期内の位置誤差

エンコーダ本体が出す分解能はたいていの場合、最新の工作機械には十分であるとはいえません。よって、周期的なアナログ正弦波信号 A 相と B 相の内挿分割が行われます。分割倍率は通常、4 096 (12 ビット) 以上です。これにより、スケール本体を比較的大きな目盛間隔のものから選び、工作機械を制御するために必要とされる $0.1 \mu\text{m}$ またはそれ以下の分解能を達成することが可能です。ハイデンハインのエンコーダ LC 100 および LC 400 シリーズは、分解能 $0.001 \mu\text{m}$ を実現しています。

2 つの正弦波出力信号が最適である限り、内挿分割が正常に行われます。つまり出力信号は全く同じ波形、レベル、on/off 比で、正確に 90° の位相差を有します。

偏差が誤差を生み出し、その誤差は走査信号の各周期で繰り返り起こります。よって、1 信号周期内の誤差または内挿誤差と呼ばれます。

1 信号周期内の位置誤差の値は、以下の各要素で決まります。

- 信号周期の大きさ
- 目盛の均質性とエッジ明瞭度
- 走査フィルタ構造の質
- 検出器の特性
- アナログ信号の二次処理の間の安定性と動特性

1 信号周期内の位置誤差による影響

金型産業は、ますます複雑な形状をしたワークを要求しています。5 軸加工では、軸の動きをすべて組み合わせることが一般的です。複数の NC 軸の補間により傾斜またはカーブした加工面を製作する場合、内挿誤差はワーク上に直接見て取ることができます。

これは傾斜面を小さな角度で加工する場合、顕著に現れます。エンコーダの Z 方向の内挿誤差は、ワーク傾斜面の断面図で確認することができます。傾きにより、 n 倍に増えた信号周期がツールパスに現れます。Z 方向の軸が 1 信号周期のみ動くのに対して、X 軸は n 倍以上移動します。ワーク傾斜面に、Z 軸エンコーダの n 倍信号周期と対応した波長をもつ A 波が発生します。

あらゆる傾斜面は自由曲面の加工中に製作されるため、常に対応する信号周期の増幅が生じるのです。0.5 mm ~ 5 mm の波長は人間の目で非常に容易に見つけることができます。

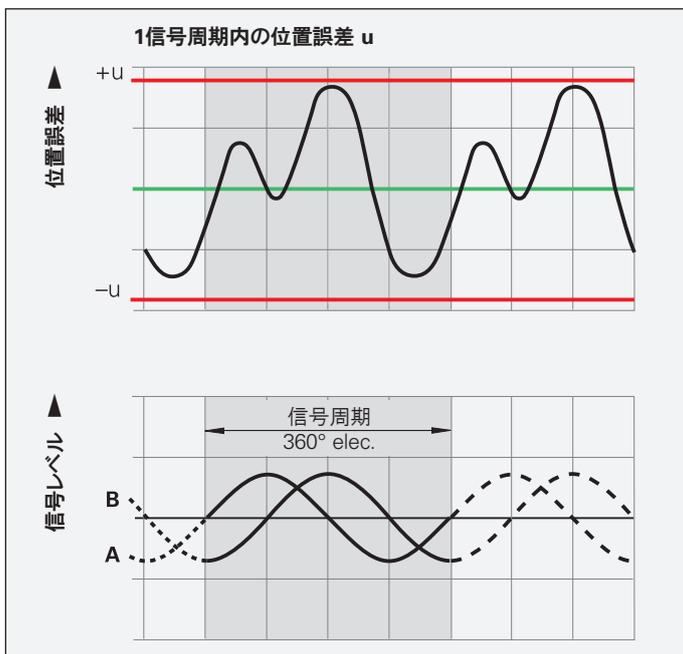


図 1: 1信号周期内の位置誤差(内挿誤差)

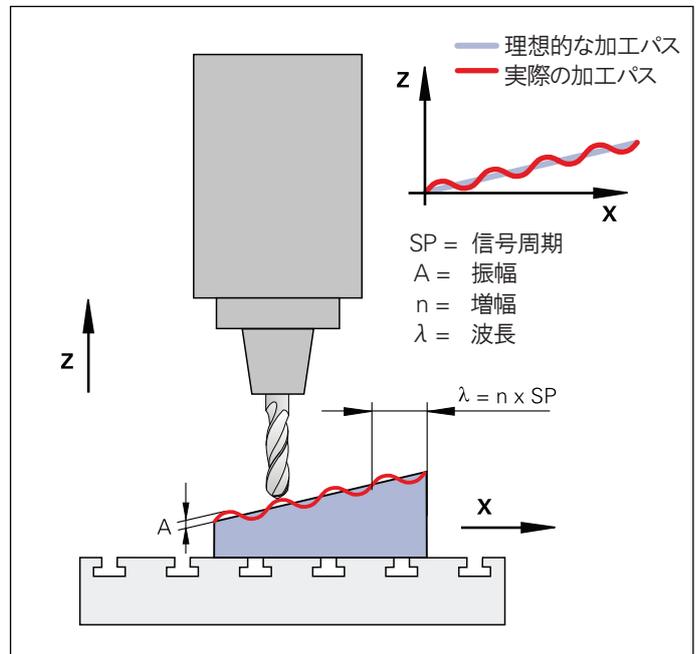


図 2: 傾斜ワークでの内挿誤差

内挿誤差の振幅が 100 nm 以下の場合、ワーク表面は完璧な外観です。内挿誤差の振幅が約 200 nm のあたりから、加工結果の影響が外観に出始めます。大きな内挿誤差が、目視でも確認できるような形状偏差として現れます。

加工例

ワーク加工例 (図 4) は $\phi 12$ mm のボールノーズカッターを用い、マルチパスミリングで製作されました。3 つの加工面それぞれに対し、違う大きさの内挿誤差が現れています。

図 4、一番上のワーク加工には内挿誤差が非常に小さなエンコーダ、ハイデンハインのリアエンコーダ LC 100 シリーズを使用しました。この場合、標準的な内挿誤差は 100 nm を大幅に下回ります。ワーク表面は完璧に見えます。

内挿誤差がより大きなエンコーダの場合、異なった様相を見せます。送り軸は高い内挿誤差を伴うため、ワーク表面に目立つ波模様が生じます。

図 4、真ん中の写真は、エンコーダの内挿誤差 200 nm の場合の加工結果です。波の形がはっきりと見て取れます。内挿誤差が 500 nm の場合では、ワーク表面の波形がより顕著です。(図 4、一番下)

結論

目に見える波模様のないワーク表面を加工するには、内挿誤差の非常に小さいエンコーダ、例えばハイデンハインのリアエンコーダ LC 100/ LC 400 シリーズ、または LF が必要です。

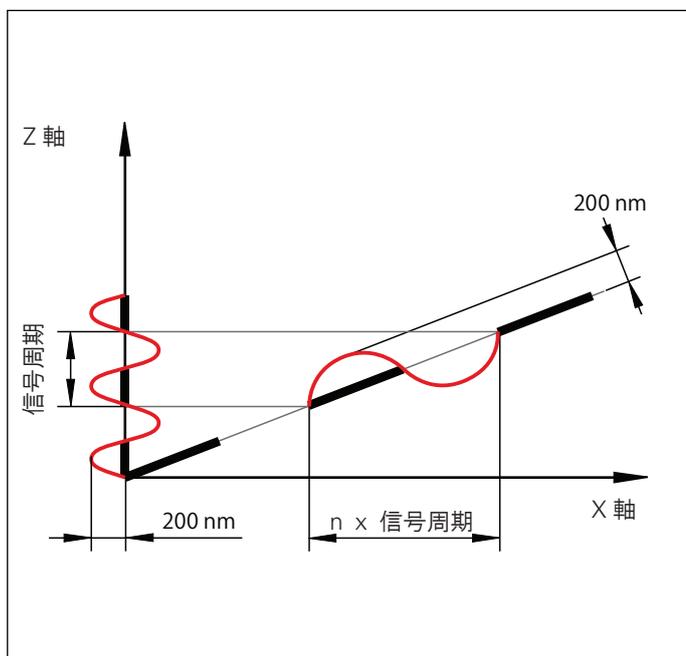


図 3: 傾斜面での内挿誤差(例、200 nm)の影響

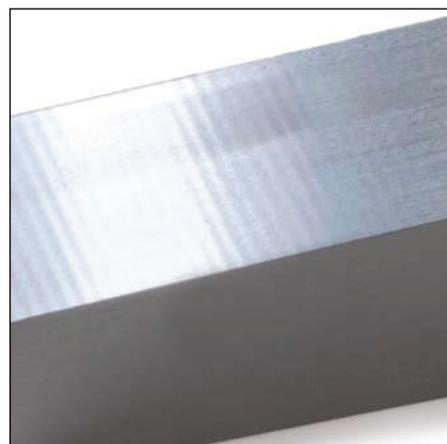
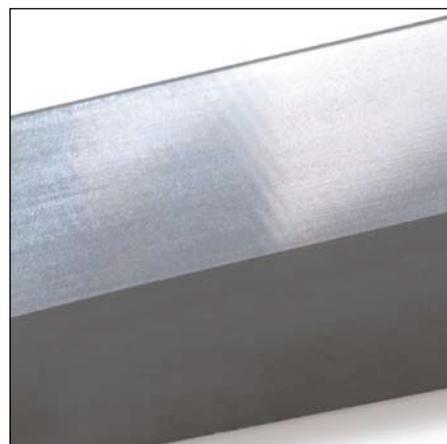


図 4: エンコーダを使用した際の加工面。内挿誤差はそれぞれ、100 nm 以下 (上)、200 nm (中)、500 nm (下)。

ハイデンハインのリニアエンコーダ

ハイデンハインのリニアエンコーダは極めて高い精度と耐久性が特徴です。高い信号品質は、超高精度のスケール本体 DIADUR と、極めて精度の高いシングルフィールド走査方式とで実現します。これが、1 信号周期内の位置誤差の値が非常に小さく、高精度なエンコーダの基礎です。

例えば、ハイデンハインのリニアエンコーダ LC シリーズの最大内挿誤差は 100 nm を大幅に下回ります。

図 5 は、エンコーダ LC 183 モデルで 1,000 回一連の測定をした際の内挿誤差 RMS 値を表しています。テストしたエンコーダの内 85 % において、内挿誤差の RMS 値が 12 nm 以下でした。後継機種として、LC 115 がより低い RMS 偏差を特徴としています。

	信号周期	1信号周期内の最大位置誤差	測定長	インターフェース	モデル
小型ハウジングのリニアエンコーダ					
アブソリュート	-	± 100 nm	2040 mmまで ¹⁾	EnDat 2.2	LC 415
インクリメンタル	4 μm	± 40 nm	1220 mmまで	〜 1V _{PP}	LF 485
標準型ハウジングのリニアエンコーダ					
アブソリュート	-	± 100 nm	4240 mmまで	EnDat 2.2	LC 115
インクリメンタル	4 μm	± 40 nm	3040 mmまで	〜 1V _{PP}	LF 185

¹⁾ 測定長が1240 mmより長い場合は、マウンティングスパーが必要

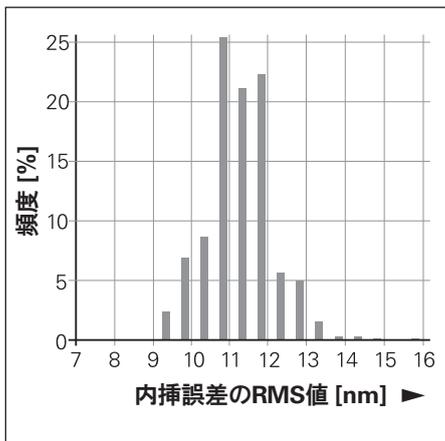


図 5: ハイデンハインLC 183の内挿誤差(RMS値)分布



詳細情報は

- カタログ: NC工作機械向けリニアエンコーダ
- 技術情報: 工作機械の加工精度
- 技術情報: リニアエンコーダによる加工精度の改善をご参照ください。

ハイデンハイン株式会社

<http://www.heidenhain.co.jp>

本社
〒102-0083
東京都千代田区麹町3-2
ヒューリック麹町ビル9F
☎ (03) 3234-7781
FAX (03) 3262-2539

名古屋営業所
〒460-0002
名古屋市中区丸の内3-23-20
HF桜通ビルディング10F
☎ (052) 959-4677
FAX (052) 962-1381

大阪営業所
〒532-0011
大阪市淀川区西中島6-1-1
新大阪プライムタワー16F
☎ (06) 6885-3501
FAX (06) 6885-3502

九州営業所
〒802-0005
北九州市小倉北区堺町1-2-16
十八銀行第一生命共同ビルディング6F
☎ (093) 511-6696
FAX (093) 511-1617