

# ベベルギヤも素材からワンチャックで全加工

複合加工と歯車加工機能を兼ね備えるインデックス社 G シリーズ



ベベルギヤをバー材からワンチャック全加工を実現する INDEX G シリーズ

## 1.はじめに

近年急速に市場が拡大しているロボットや小型減速機に使用される歯車は、位置決め精度向上や低騒音・低振動などの静粛性に対する要求が高まっている。また、急激に増加する生産量に対応するため、生産工程の高能率化も重視されている。

従来の歯車部品加工では旋盤やホブ盤、ギヤシェーパ、面取り盤等を並べた工程分割の生産方式が主流であった。しかし単工程の機械の場合、製造コストに占める段取りの回数が増し、工程間の精度管理や仕掛在庫が必要となる。

こうした中、「歯車部品を1台で仕上げる」というコンセプトは理想的な加工方法の1つとして考えられ、複合加工機とスカイビングカッタによる工程集約が注目を集めている。複合加工機では正面主軸、および背面主軸を活用し、バー材から機械加工を一台で完結することが可能だ。結果、部品着脱による精度の劣化や、工程間で起こりうる加工不良を排除できる。

さらに、非加工時間を大幅に削減できることも複合

加工機のメリットである。製造における付加価値が高い工程とは、すなわち生産する機械が稼働している工程である。多工程の場合、段取りや搬送時間、品質管理、仕掛在庫の滞留時間等を加味すると、リードタイム全体に占める合計加工時間はわずか数%に過ぎないことが多い。一方、工程を集約し段取りが1回のワンクランプ加工に置き換えることで、リードタイムにおける機械稼働時間の比率を大幅に押し上げることができる(図1)。

## 2.インデックス社 ATC 搭載型複合加工機 G シリーズ

世界最大の旋盤専門メーカーであるドイツ・インデックス社はこれまで自動車、航空・宇宙、医療業界を中心に多くの複合加工機を送り出してきた。とりわけ INDEX G シリーズは卓越した同時加工能力と優れた歯車加工技術を集約し、モジュラー設計により用途に最適な機械を選択できる(図2)。本稿では INDEX G シリーズを下記5つの観点から解説するとともに、加工事例を紹介する。

### 従来の多工程製造ライン



### インデックス機



図1 INDEX Gシリーズによる工程集約と生産の高効率化



歯科器具用部品  
 材質：ステンレス鋼SUS303  
 サイズ：φ11×L51mm  
 加工時間：約11分\*



航空機向け出力シャフト  
 材質：ステンレス鋼SUS303  
 サイズ：φ44×L170mm  
 加工時間：約25分\*



ドッグクラッチギヤ  
 材質：機械構造用クロム合金鋼  
 サイズ：φ113×L55mm  
 加工時間：約20分\*\*

\*バー材から全加工  
 \*\*鍛造品から加工

図2 INDEX Gシリーズ機種一覧及び加工事例

- ・加工時間を短縮する最大3箇所同時加工
- ・多種多様な部品に備える自由度
- ・ベベルギヤを素材からワンチャックで全加工
- ・ベベルギヤ加工事例
- ・INDEX G220 導入事例

で固定して外径を仕上げ、仕上げた外径をステディレストで固定することが可能だ。

図4の場合、加工に応じてステディレストおよびテールストックの使用を切り替えながら、主軸側で粗・仕上げ旋削・パワースカイピングを行いつつ、背面主軸側で内面・外径の粗・仕上げ旋削を行うことができる。長尺部品も同時加工でサイクルタイムを削減する。

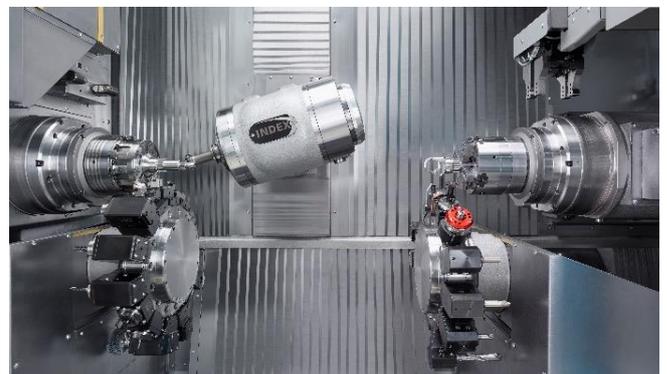
### 3.加工時間を短縮する最大3箇所の同時加工

加工時間の短縮において最も重要なことはタレットの数と安定した同時加工である。INDEX Gシリーズでは上部ミーリングヘッドと下部タレット2式の3箇所同時加工により、複雑部品の加工時間短縮を実現する。下部タレットを1つしかもたない一般的な国産の複合加工機と比較し、最大4割加工時間を短縮することもできる(図3)。

同時加工はタレットを増やすことで対応可能だが、タレットを支える軸構造や機械ベースの剛性が不可欠になる。インデックス機のユーザからは、難削材のステンレス鋼やチタン合金においても、背面主軸で粗加工をしながら、主軸側で仕上げ加工ができることが評価されている。

また、下部タレットにステディレストおよびテールストックを取り付けることで、長尺部品の最大2箇所同時加工にも対応する。インデックス社のステディレストは機械式センサにより、異なる径のシャフトに応じたクランプ調整機能を備えている。

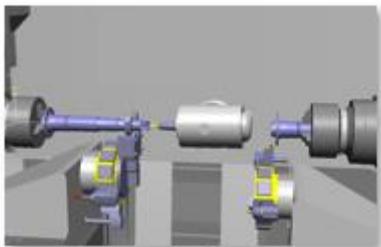
例えば、まずはステディレストでシャフトをクランプし、センタ穴を加工する。次にテールストック



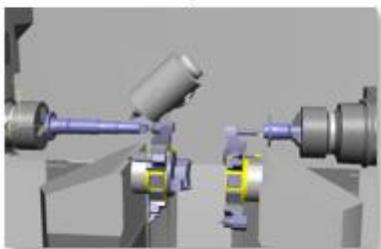
	INDEX G220	下部タレット1式の複合加工機
 リールシャフト 材質：42CrMo4 サイズ：φ190×650mm バー材から全加工	17.5分	29分

図3 最大3箇所同時加工によるサイクルタイム短縮

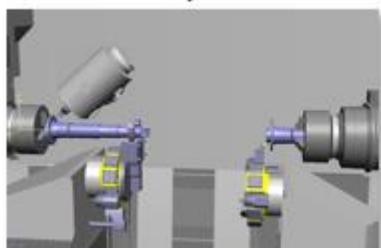
①主軸側でミーリング加工しつつ、背面主軸側で粗旋削



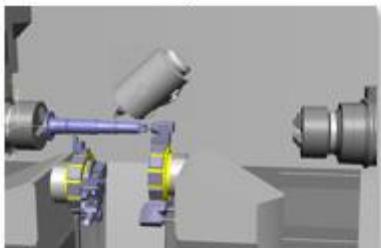
②左タレットのステディレストをテールストックに切り替えて、背面主軸側で内径を粗旋削



③主軸側で粗旋削しつつ、背面主軸側で粗・仕上げ旋削



④右タレットをテールストックに切り替え、主軸側で2箇所同時に粗・仕上げ旋削



⑤主軸側でパワースカイピング加工

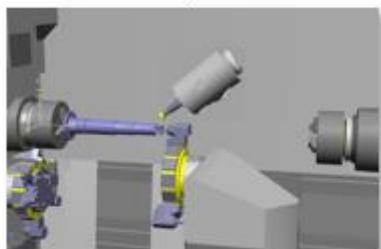


図4 ステディレストとテールストックを用いた加工例（上）と、INDEX Gシリーズが得意とする長尺部品例（下）

#### 4. 多種多様な部品に備える自由度

(1) タレットに備わる Y 軸が生む加工の柔軟性

旋回 B 軸付きミーリングヘッドを持つ一般的な ATC 搭載型複合加工機のタレットは X、Z 軸に限定されることが多い。チャックサイズ 19 インチの大型部品に対応する INDEX G520 は X 軸ストロークを確保するため Y 軸を搭載していないものの、他の INDEX G シリーズでは全てのタレットに Y 軸を搭載している。ミーリング加工に不可欠な Y 軸を付加することで、複雑形状部品への対応力が格段に向上する。

#### (2) 旋回 B 軸搭載の上部ミーリングヘッド

複雑形状部品の機械加工を 1 台で完結させるためには、斜め加工用の旋回 B 軸の必要性が高い。タレットに直動軸しかない場合、任意角度の斜め穴、テーパ面の加工に専用工具やアタッチメント、または別工程での加工が必要となる。

INDEX G シリーズには旋回可動範囲 230 度の B 軸が装備されている。タレットに B 軸があることで、任意の角度で標準工具によるアプローチが可能となり、工程を分割することなく機械加工を完結することができる。また、ミーリングヘッドに搭載可能な工具長は最大 500mm であり、長尺部品の深穴加工も可能だ。

#### (3) 最大 169 本の工具で多彩な加工をアシスト

複雑な部品形状に応えるには工具搭載本数が重要なポイントとなる。INDEX G シリーズは下部タレットに 15 又は 12 本、ミーリングヘッド用 ATC に最高 141 本、合計 169 本の工具を利用できる。僅か 6 秒の工具交換時間は、短いダウンタイムと高い生産性を確保する。

#### 5. ベベルギヤを素材からワンチャックで全加工

##### (1) インデックス社ベベルギヤパッケージ

歯車部品加工は旋盤に加え、ホブ盤、ギヤシェーパー、面取り盤といった専用機が求められ、大規模な設備投資と床面積が必要である。このような課題に対し、旋回 B 軸を利用し工具を傾け、主軸と高速同期加工することで、歯車を創生するスカイピング加工の採用が広がっている。

しかし、スカイピング加工は内歯・外歯の歯切りに応えるものの、ベベルギヤには非力である。5 軸マシニングセンタで時間をかけて対応も可能である

が、ベベルギヤの加工で高い生産性を維持する場合、特定の海外製専用機と専用工具で加工されていることが多い。

INDEX Gシリーズではベベルギヤ専用機と同様の機械的な動作と独自の刃物を活用し、素材から旋削、穴あけ、ベベルギヤ加工、バリ取り、面取りを含む工程をワンチャックで加工できる。複数の機械による工程を一台の機械に集約することで、仕掛在庫や工程ごとの精度管理が不要となる。管理する手間や人、場所も省くことができ、工場の生産性が向上する。

ストレートのベベルギヤに加えて、スパイラルベベルギヤやハイポイドギヤの加工も特殊工具、加工用ソフト、そして機械本体とギヤ加工専用パッケージで対応する(図5)。ソフトウェアは歯車の諸元、加工条件を入力するだけの簡単プログラムで、必要に応じて補正もできる。モジュール m0.6~4.0 の小モジュールのギヤにも対応し、歯車加工の専用機と同等レベルの生産性と、加工精度 IT5 も実現する。

(2) インデックス社提案のベベルギヤ用工具

ベベルギヤ専用機の加工では一本の工具で加工をするため、補正には工具の調整も必要となる。インデックス社の提案するベベルギヤ用工具は凸歯面の内側切刃と凹歯面の外側切刃用の2本に分けているため、通常より加工に必要な刃数を増やせる(図6)。より多くの刃を利用することで刃物への負荷を低減し、工具の寿命を延ばすことが可能だ。加えて、凸歯面と凹歯面の加工を分けることで、工具の修正なく加工プログラムによる補正も可能だ。

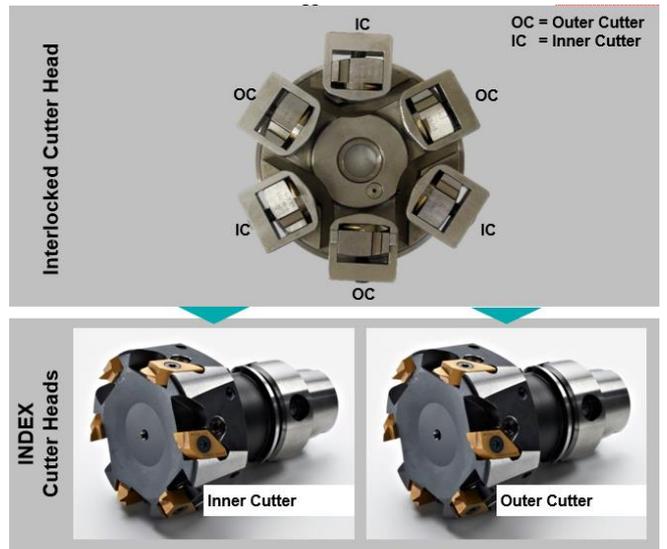


図6 外歯・内歯用で工具を分けている様子

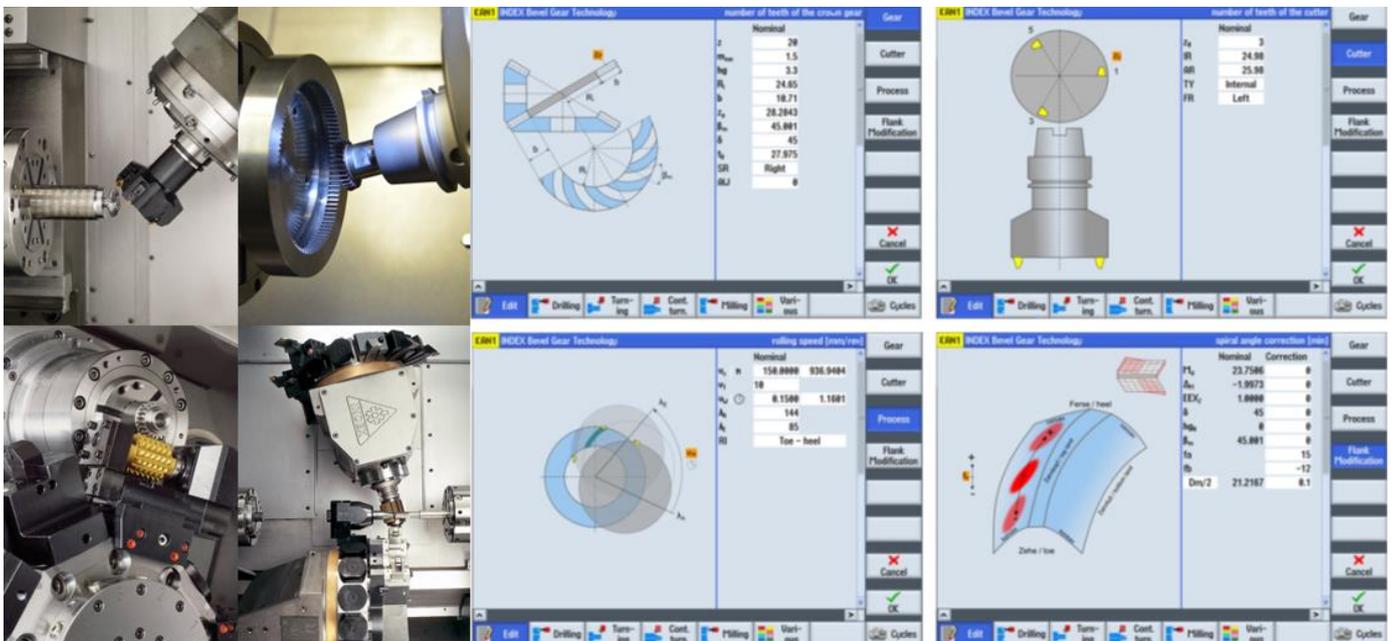


図5 ギヤ加工様子(左)と加工用ソフト(右)

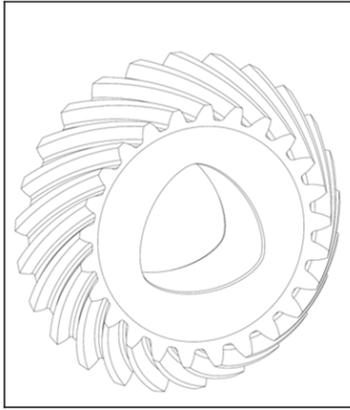
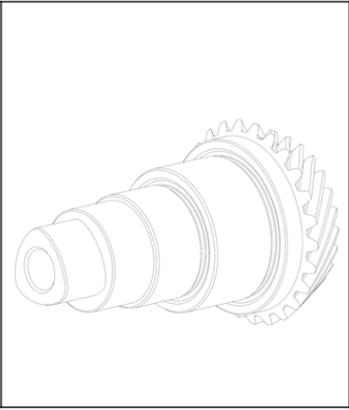
	<p><b>加工事例1：</b> <b>スパイラルベベルギヤ</b> (z=50、モジュールm1.5)</p> <p>素材：機械構造用クロム合金鋼 ／バー材</p> <p>加工時間：約3分</p> <p>精度：IT5</p>		<p><b>加工事例2：</b> <b>ピニオンシャフト</b> (z=50、モジュールm1.5)</p> <p>素材：機械構造用クロム合金鋼 ／バー材</p> <p>加工時間：約3.5分</p> <p>精度：IT5</p>
--	--	--	--

図7 加工事例（左：スパイラルベベルギヤ、右：ピニオンシャフト）

## 6.ベベルギヤ加工事例

INDEX G シリーズでは小型スパイラルベベルギヤのモジュール m1.5 まで対応可能だ。図7の加工事例はバー材から旋削、穴あけ、ギヤ加工、バリ取り、ポリゴンミーリング、ポリゴンの面取りをワンチャックで対応する。

## 7. INDEX G220 導入事例

ドイツのツールホルダメーカーにおける INDEX G220 の導入事例を以下に紹介する。同社は旋盤・複合加工機向け固定工具・回転工具用ツールホルダを量産だけでなく、特注仕様の少量多品種までも受託し、その数は年間約 30,000 種類にもわたる。従来はベベルギヤ用のブランク加工を単工程の機械で加工後、ベベルギヤの加工は協力会社へ外注し、最終的に社内でツールホルダを組み立てていた。しかし市場からの短納期・コスト削減の要望、並びに製品開発における柔軟性の必要性が高まった。同社は複合加工機でありながらベベルギヤの加工が可能な INDEX G220 を 2017 年に導入した。これにより社内での一貫生産が可能になっただけでなく、工程集約を実現した。

旋削、穴あけ、ベベルギヤ加工、バリ取り全ての工程を INDEX G220 一台でのワンチャック全加工へ置き換えたことにより、加工時間わずか3分（ベベルギヤ加工工程は約1分）で、IT5 以下の精度を達成することに成功した（図8）。これまでブランクの内製及びベベルギヤ加工の外注に充てていた時間を驚異的に短縮し、ギヤの試作及び精度検査、そして修

正作業をより効率化させることで、より一層の顧客満足度向上に貢献することができた。



部品：ベベルギヤ  
素材：機械構造用クロム合金鋼／バー材  
サイズ：φ50mm  
加工時間：約3分  
精度：IT5

図8 ツールホルダに採用されているベベルギヤ（写真：EWS 社 [www.ews-tools.de](http://www.ews-tools.de)）

## 9.おわりに

INDEX G シリーズは難削材の複雑形状部品を高速で加工する能力に優れている。加えて、インデックス社のギヤ加工専用パッケージを組み合わせ、バー材からベベルギヤをワンチャックで全加工する高い歯車加工技術を兼ね備えている。段取り替えのない高能率加工によりリードタイムの短縮、精度の安定性、そして省人化・省スペース化も叶う設備として、日本のモノづくりに貢献していきたい。

以上