

## 高精度 5 軸加工技術マニュアル（概要）

本マニュアルは、四国地域でイノベーションが創出され、産業の新たな発展が始まることを目的として、研究開発を実施する際に必要となる資源（人、ノウハウ、研究設備等）の共通インフラを整備する事業（「四国地域イノベーション創出共同体形成事業」）の一貫として作成されたものである。

四国地域には、素材産業と加工組立産業の間を結び、日本の製造業を支えている素材材企業が少なからず存在する。それらの企業は組立産業の海外展開等に伴ういわゆる「空洞化」の影響を受けて経営的な課題に直面している。一方では、若者の理科離れや団塊世代の大量退職に伴う「2007年問題」により、技術伝承の課題も抱えている。これらの課題に対応するため、海外では生産できない高度な中間部品の製造に活路を見いだすこと、また IT 技術を導入して生産性を向上させるとともに、技能伝承を円滑に進めることが求められている。これらの課題への対応として 5 軸加工技術の普及による地域イノベーション基盤の整備を推進することとした。

5 軸加工技術は、機械加工において工作物と工具の相対的な位置や傾きをコントロールして目的の形状に工作物を加工する際に、そのコントロールできる自由度を 5 つ持つ加工を言う。3 次元自由曲面など複雑な形状の加工が可能で、金型などの製造に使われている。この 5 軸加工で高い加工精度や加工効率を得るためには、設計図から 5 軸加工機への動作命令を作る CAM と言われる機能を駆使することが必要である。そこに、1) 加工パス（加工手順、加工条件）の最適化、2) 工具および工具ホルダーと工作物との干渉（切削箇所以外での衝突）を如何に避けるかという技術課題がある。また、加工が適切に行われたかを検証することも合わせて必要である。さらに加工条件を加工方法や材料に合わせて決めるためには加工データの情報が必要である。本マニュアルはこれらの技術課題に答えるために作成された。

本マニュアルの作成は産業技術総合研究所（産総研）四国センターが中心となり、香川県産業技術センター、徳島県立工業技術センター、愛媛県産業技術研究所、高知県工業技術センター、産総研つくばセンター、及び中国センターの研究者が参画した。また、マニュアルの構成、内容に関する協議等の活動は素材加工分科会、四国 5 軸加工技術研究会を組織して進めた。素材加工分科会では、マニュアル作成方針の立案・策定、及び当該技術分野の動向調査等を行った。四国 5 軸加工技術研究会では、5 軸加工に関する企業のニーズを調査し、マニュアルに反映させた。

出来上がったマニュアルは、5 章からなるが、その内容については、以下の目次を参照していただきたい。

今後はこのマニュアルを使って 5 軸加工技術の普及を進め、四国地域のイノベーション創出基盤の形成に寄与したいと考えている。

平成 21 年 3 月  
四国地域イノベーション創出協議会  
素材加工分科会  
四国 5 軸加工技術研究会

# 目次

1 章 緒言	
1. 1 製造業の課題と振興策	1
1. 2 5軸加工技術の意義と課題	2
1. 3 事業の実施体制と活動実績	3
1. 4 マニュアルの構成と分担	5
2 章 多軸加工とその精度評価	
2. 1 多軸制御工作機械	
2. 1. 1 制御軸数と加工作業	8
2. 1. 2 多軸制御工作機械の種別と特長	9
2. 1. 3 5軸加工の特長	10
2. 1. 4 多軸加工工作機の動向	12
2. 1. 5 5軸加工工作機械の要素	14
2. 1. 6 NC 制御装置	16
2. 2 多軸加工CAM	
2. 2. 1 多軸加工CAMの動向	18
2. 2. 2 CAM作業の流れ	19
2. 2. 3 多軸CAM加工手順	21
2. 2. 4 多軸CAMでの加工方法・加工条件設定	23
2. 2. 5 多軸CAMでの加工シミュレーション	25
2. 2. 6 多軸加工での問題点・注意点	25
2. 3 加工精度の評価	
2. 3. 1 三次元測定機	29
2. 3. 2 表面粗さ測定と輪郭形状測定	30
3 章 5軸加工機による加工事例と留意点	
3. 1 割り出し加工を中心とした加工	
3. 1. 1 加工モデルと加工方法	35
3. 1. 2 3軸加工	45
3. 1. 3 5軸加工(事例1)	51
3. 1. 4 5軸加工(事例2)	58
3. 1. 5 3次元測定による加工精度検証	62
3. 1. 6 3軸加工と5軸加工の比較(三次元粗さ、輪郭形状)	65
3. 1. 7 3軸加工と5軸加工の比較(表面粗さ)	81
3. 1. 8 まとめ	86
3. 2 同時5軸を中心とした加工	
3. 2. 1 加工モデルと加工方法	90
3. 2. 2 多軸粗加工	94
3. 2. 3 多軸仕上げ加工	100

3. 2. 4	3次元測定とCADデータ照合による加工精度検証	108
3. 2. 5	まとめ	119
4章	加工データ	122
4. 1	穴加工	
4. 1. 1	微細ドリルによる難削材加工	124
4. 1. 2	SUS304、SUS440C、SUS630の穴あけ加工	130
4. 1. 3	SUS304、SUS316のドリル穴あけ加工	133
4. 1. 4	SUS410、SUS420J2、SUS430、SUS440Cのドリル穴あけ加工	139
4. 1. 5	純チタン及びチタン合金 (Ti-6Al-4V) のドリル加工	145
4. 2	フラットエンドミル加工	
4. 2. 1	SKD11焼き入れ鋼のエンドミル切削	150
4. 2. 2	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 のエンドミル切削	155
4. 2. 3	SUS316 および SKD61 のエンドミル切削	159
4. 2. 4	SUS304 および SUS440C のエンドミル切削	166
4. 3	ボールエンドミル加工	
4. 3. 1	冷間工具鋼 SKD11、高速度工具鋼 SKH51 のボールエンドミル切削	172
4. 3. 2	超耐熱合金 (インコネル 600、インコネル 718) およびステンレス鋼 (SUS304、SUS440C、SUS430、SUS630) のボールエンドミル切削	176
4. 4	旋削加工	
4. 4. 1	ステンレス鋼の旋削加工	181
4. 4. 2	難削材 (インコネル、SKD) の旋削加工	186
4. 5	研削加工	
4. 5. 1	難削材の研削加工	188
4. 6	特殊加工	
4. 6. 1	レーザ焼入れ	196
5章	結言	201