

感覚情報の技能伝承への有効性に関する基礎的研究

Basic study on effect to skill transfer by sensory information

中村 健太†
Kenta Nakamura

山中 仁寛‡
Kimihiro Yamanaka

1. はじめに

近年、生産現場では技能保有者の高齢化による技術・ノウハウの喪失が懸念されており、総務省の発表によると 50 年後には人口の 30%が高齢者になると報告されている^[1]。また東京都産業労働局の中小企業に対する調査によると、若者の人材不足のみならず高齢作業者の技能をどのように継承していくかが重要な課題として挙げられている^[2]。技能伝承に関する問題の解決策として、OJT やシミュレーションによる教育方法もあるが、近年では触覚、聴覚、振動覚といった複数のモダリティを組み合わせた AR(Augmented Reality)や VR(Virtual Reality)を用いた教育方法が注目されており、現場への応用が期待されている^[3]。

中小企業の製造業における保有技能は、加工技術が多く、工作機械に関する技能の伝承が重要であると考えられる。工作機械は、加工時のハンドル回転操作だけではなく、切削中に生じる加工音が重要であり、それが初心者と熟練者の技能の差であるといわれている。しかしながら、旋盤等を用いた技能訓練ではシミュレーションによるものが多いものの、実際の熟練作業者の情報（力覚、聴覚等の暗黙知情報）を組み入れた訓練は少ない。

本研究では、熟練作業者の力覚と聴覚情報を技能訓練へ組み入れた場合の有効性について検討する。技能の対象は、力加減と加工音が重要である旋盤とし、測定した熟練者の作業情報であるハンドル回転操作の力加減と加工音を初心者に提示することで、作業習熟の効率化の評価を行うことを目的とする。本報では、熟練者の作業時に測定した加工音を初心者が比較する実験結果から、旋盤技能の獲得に重要であると考えられる加工音の周波数帯を明らかにした内容について報告する。

2. 熟練作業者の旋盤作業情報計測実験

図 1 に、実験の写真を示す。対象作業は旋盤であり、ハンドル部にモーショセンサ（MVP-RF8-BC, MicroStone）を設置し、熟練者の加工時におけるハンドル回転操作の力加減（力覚情報）を計測した。また、作業時の加工物、切り子を撮影するためのマイク付カメラ（HDC-HD100-K, Panasonic）を装着し、加工時の切削音（聴覚情報）を計測した。なお、本報告では力覚情報は使用しない。

作業内容は、図 2 に示すように外形加工、端面加工、内径加工、溝加工の 4 種類の加工方法での荒加工とした。作業での回転速度、バイト等の加工条件については、熟練作業者の普段行っている条件を参考に表 1 のように決定し、作業は各種類につき 2 回行った。計測した加工時の切削音は、音声編集ソフト（Audacity, NCH Software）により周波数、音の大きさを算出した。

熟練作業者としては、首都大学東京の工作室指導員（機械加工技術師 1 級保有、70 歳）に協力を依頼した。



図 1 実験の写真（熟練者旋盤作業）

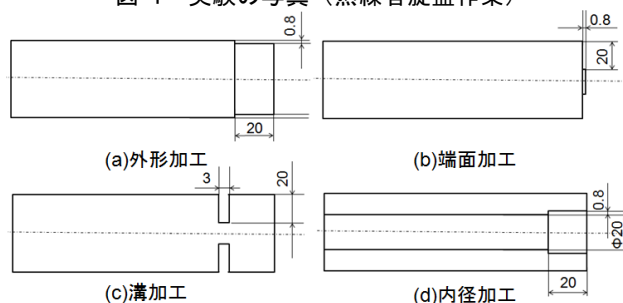


図 2 旋盤による加工の種類

表 1 加工条件

	加工の種類			
	外形加工	端面加工	溝加工	内径加工
回転数	550(rpm)		275(rpm)	
工具材料	サーメット		超硬合金	サーメット

3. 初心者による加工音の一対比較実験

3.1 実験方法

熟練作業者の加工計測実験により得られた加工音に対して加工前（作業なし）、加工中（作業あり）のそれぞれ 5 秒間のデータにより周波数分析を行った結果を図 3 に示す。図は、外形加工による結果であり周波数帯域によっては作業の有無に差があることがわかる。この傾向は、他の加工方法でも同様であった。しかしながら、この結果のみでは熟練作業者が旋盤操作の判断に加工音のどの周波数帯域が重要であるかが明らかとならない。

図 4 に、実験の写真を示す。被験者は、防音シールドルーム内で着座し、設置したスピーカー（HK695-07, harman/kardon）により連続して提示される 2 つの加工音が同じか否かを回答する。提示する音声の組み合わせは、

†首都大学東京大学院 システムデザイン研究科

‡首都大学東京 システムデザイン学部

各周波数帯域における加工の有無によるものであり、周波数帯域の種類としては、0-1000, 1000-2000, 2000-3000, 3000-4000, 4000-5000, 5000-6000, 6000-7000(Hz) の 7 種類をランダムな順序で提示した。周波数帯域の上限を 7000(Hz)としたのは、高齢者には 7000-8000(Hz)以上の音が聞こえない^[4]こと、計測した加工音の 7000(Hz)以上の音が非常に小さいことが理由であった。実験では、各周波数帯域において 10 試行としたため、4 種類の加工方法で一人の被験者は計 70 試行を実施するものであった。

評価指標は、主観評価による正判断確率とし、被験者は健康な学生 12 名(平均年齢 22.33 ± 1.15 才)であった。

3.2 結果および考察

図 5 から図 7 に各周波数帯域における加工音の正判断確率を加工方法ごとに示す。いずれの図も、縦軸は加工音

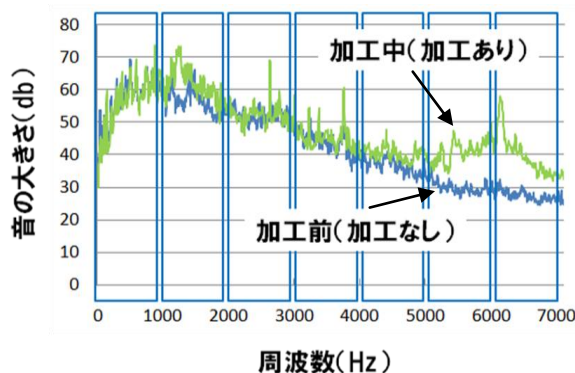


図 3 実験より得られた加工音(外形加工)



図 4 実験の写真(一対比較実験)

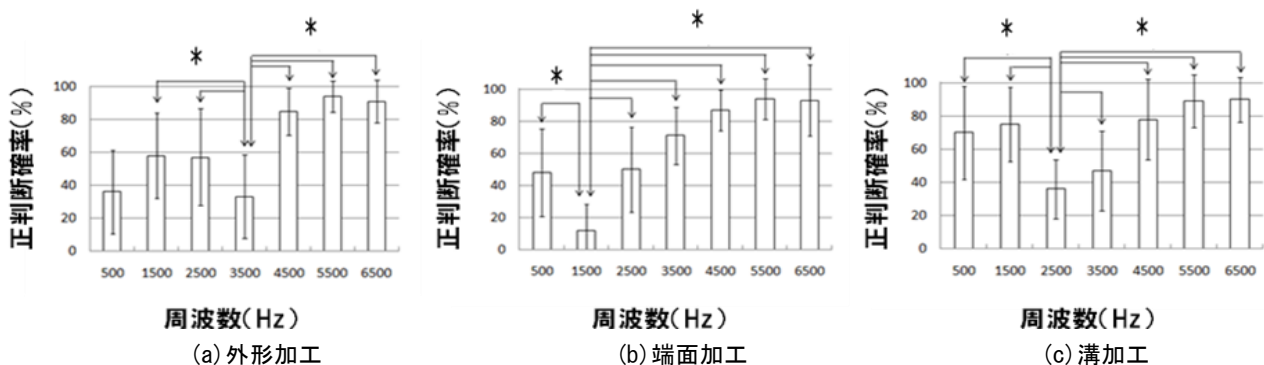


図 5 加工音の周波数帯域と正判断確率 ($p < 0.05$)

の正判断確率を、横軸は周波数帯域をそれぞれ示している。図中には、周波数帯域を要因として分散分析、多重比較検定を行った結果も併記する。図より、加工方法の種類にかかわらず、低周波数帯域と高周波数帯域にそれぞれ正判断確率のピークが出現しており、間に判断確率が最も低くなる周波数帯域が存在することがわかる。なお、内径加工での結果は溝加工と同様であった。

低周波数帯域と高周波数帯域の 2 つの山が何に起因しているのかを確認したところ、低周波数帯域は機械自体の回転する音、高周波数帯域は金属の切削音であることがわかった。加工の有無において機械自体の回転音に変化するのは、加工物とバイトの接触により剛体が高くなるものが影響していること、旋盤自体が旧式であり機械音の変化が発生しやすいことが挙げられる。熟練者からの聞き取りより、初心者と熟練者の差異は加工音の変化を聞きとる能力にあることから、この高周波数帯域の聴覚情報が旋盤作業時に重要な要素であると考えられる。

4. まとめ

本報では、旋盤作業における熟練者の作業情報のひとつである加工音を記録し、解析した。また、記録した加工音を聴覚情報として初心者に提示し、加工の有無を判断する実験の結果、加工時の金属の切削音は高周波数帯域に現れることを明らかにし、旋盤作業時における判断に重要である可能性を示唆した。今後は、初心者の旋盤の作業訓練に加工音の高周波数帯域を用いる有効性についての検証が必要である。

参考文献

- [1] 総務省 統計局: <http://www.stat.go.jp/data/nihon/g0302.html>, (2012 年 6 月アクセス).
- [2] 東京都産業労働局: <http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2010/04/DATA/60k4r201.pdf>, (2012 年 6 月アクセス).
- [3] 小池俊介, 綿貫啓一, 楓和憲, 村上大輔: パーチャルトレーニングと OJT を融合した旋盤加工技能伝承, 日本機械学会第 19 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 526-529, 2009.
- [4] 難波精一郎: 音の科学, 朝倉書店, p.3, p.173, 1989.