研究論文

匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発

五十嵐　晃[*]　大野　宏[*]　中部　昇[**]　今泉　祥子[***]

Development of Technical Skill Succession Support System

IKARASHI Akira[*], OHNO Hiroshi[*], NAKABE Noboru[**]and IMAIZUMI Shoko[***]

抄　　録

新潟県の中でも，とくに県央地区の金属製造業では，研磨や鍛造，溶接等，自動化や機械化が難しく，熟練技能者の技に大きく依存した製造工程であり，それらの技の伝承が大きな課題となっている。そこで，当所において平成 19 年度に，IT，センサ，計測技術を利用することにより，金属製品製造工程の中でも研磨工程における熟練技能者の技を初心者へ円滑に継承するための，技能伝承支援システムを考案し，その試作を行った。そこで得られた技術をもとに，本研究では，研磨工程の現場において，その場で作業状況が確認可能な技能伝承支援システムを考案し，その基礎技術を確立したので報告する。また，加工と同様に匠の技と言われる検査工程への本開発システムの適用可能性についても述べる。

1.　緒　　言

様々な製造工程で重要な位置を占めている熟練作業者に蓄積されていたノウハウの継承が企業の大きな課題となっている。そこで，平成 19 年度の研究 [1)]では，初期段階として，熟練技能者と初心者の作業についての計測可能性を確認する目的で，両者の作業の計測および，作業を経た製品の評価を行い，両者の結果に明らかな差異のあることを確認した。しかし，それらは計測後，オフラインでデータを解析を行った後にようやくわかったものであったため，作業現場でリアルタイムに評価結果がわかるシステムが求められていた。

そこで本研究では，作業現場において，技能を短期間かつ高度に継承可能とすることを目的とした，新しい技能伝承支援システムの開発を行った。当該支援システムは，(1)作業計測システムと，(2)画像評価システムの 2 つから構成されている。本研究では，それらのシステムを作業現場において製造作業中に使用することを想定し，(1)作業計測システムでは，リアルタイムに計測結果を表示できる仕様とした。一方，(2)画像評価システムでは，熟練技能者の加工物（以下，ワークと表記）と初心者のワークの光沢のわずかな違いを強調する仕様とした。これらの 2 つのシステムをまとめて，研磨作業の技能伝承支援システムとし，その基礎技術を確立した。

さらに，上述の成果を踏まえ，製造工程のみならず，検査工程における熟練技能者の技能継承の，県内企業における現状とニーズに関して調査を行った。そしてその調査結果をもとに，本研究成果である研磨作業の技能伝承支援システムの基礎技術を検査工程に適用することの有用性について検討を行った。

*　　研究開発センター
**　　県央技術支援センター
***　下越技術支援センター

2.　作業計測システムの開発

従来，技能の伝承は熟練技能者がその作業，すなわち工具や工作物の動かし方を手本として

見せる，あるいはそのノウハウを口頭で伝えるといった方法が主に行われてきた。例えば，図1に示すバフ研磨においては，工作物全体を均一に研磨するためにワークの動かし方やバフに押し付ける際の力加減を微妙に調整して作業を行っているが，一般にこれらの情報を作業の初心者に伝えることは難しく，特にバフへ押し付ける力加減については，見た目ではわからないため，口頭での伝承に限定される。

ワークの動かし方や力加減は，先の報告[1)]において熟練技能者と初心者間で差があることが示されており，作業中においてこれらの情報をモニター，提示することは，熟練技能者の技能の教示，さらには初心者が作業する際のフィードバックのためのデータとして利用するのに有効であると考えられる。そこで，ワークの動かし方や力加減をリアルタイムに計測し，PC の画面上に表示するシステムを開発した。

作業計測システムの概要を図2に示す。システムはワークの動きを計測する装置とワークに作用する荷重の計測装置，およびこれらのデータを入力，表示する PC から構成される。ワークの動き・姿勢計測にはモーションキャプチャー（NaturalPoint 社製 OptiTrackFLEX:V100）を用いた。自作のワーク台にビデオマーカーを取り付け，作業時におけるマーカーの三次元座標の変化を計測した。あらかじめマーカーとワークの位置関係を求めておくことによって、作業中におけるワークの位置，姿勢をリアルタイム

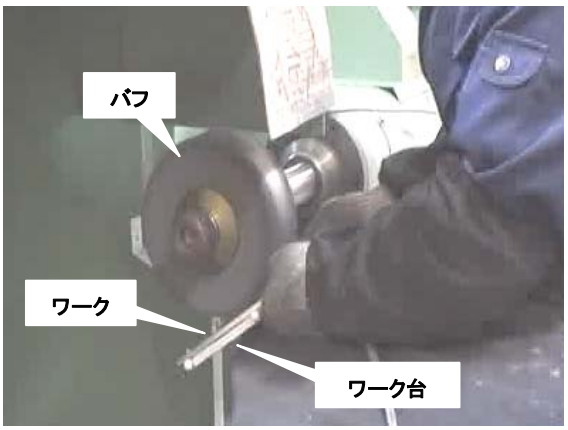


図1　バフ研磨の様子

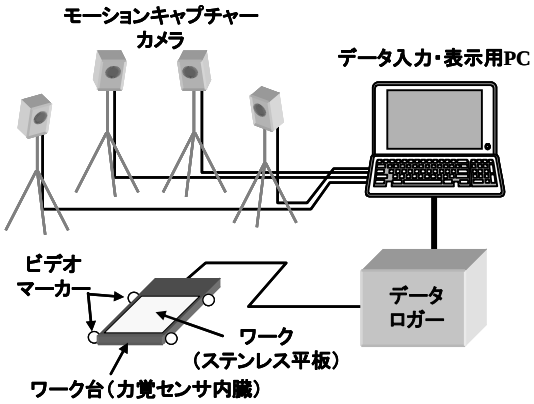
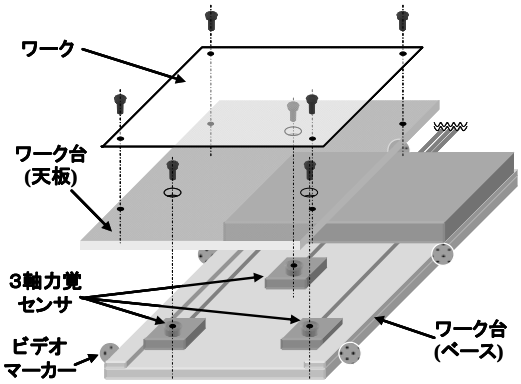


図2　作業計測システムの概要

に算出し，PC 画面上にグラフィック表示できるようにした。

ワークに作用する荷重は，図3に示すようにワーク台中に配置した3個の3軸小型力覚センサ（テック技販製 USL06-5H-100N）によって計測した。センサの出力値はデータロガー（横河電機製 WE-7000）を介してリアルタイムに PC に入力し，ワークへの 3 軸方向の作用荷重，およびその荷重中心を算出した。これらのデー



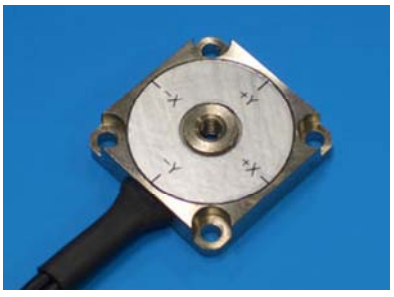


図3　3軸小型力学センサと設置状況

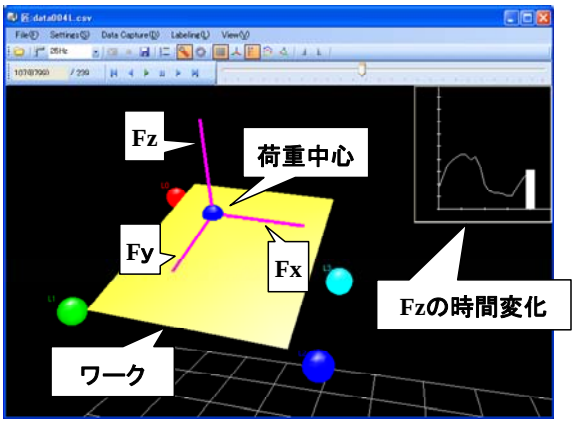


図 4　作業計測中の画面の様子

タは前述の PC 画面上に示したワークのグラフィックに重ねて表示できるようにした。

作業計測中における PC 画面の一例を図 4 に示す。本計測システムにより，研磨作業におけるワークの動かし方や力加減をリアルタイムに表示できるようになった。

3.　画像評価システム

研磨されたワークについて，表面の輝度とそのばらつきを画像評価システムで計測し，熟練技能者と初心者の違いについて調べた。

3.1　画像評価システムの概要

試作した画像評価システムの概要を図 5 に示す。基本的には，研磨されたワークの表面の輝度を CCD カメラで測定する装置である。ワークの表面は鏡のように反射するため，本装置では，ハーフミラーを利用し，周囲の状況の映り込みを防いで，横側に設置してある LED 照明の光をカメラの同軸方向から照射することが可能である。また，XY テーブルによりワークを移動させながら複数回に分けて画像を取り込むことにより，面積の大きなワークに対応することが可能である。ここで，照明の強さやカメラのゲイン等により，カメラで得られる輝度は変化してしまうため，本装置は，複数のワークの表面の比較を行う場合は，それらを相対的に比較できるシステムとなっている。

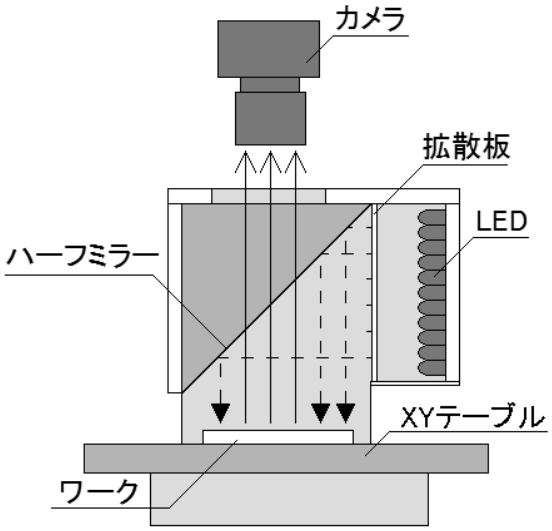
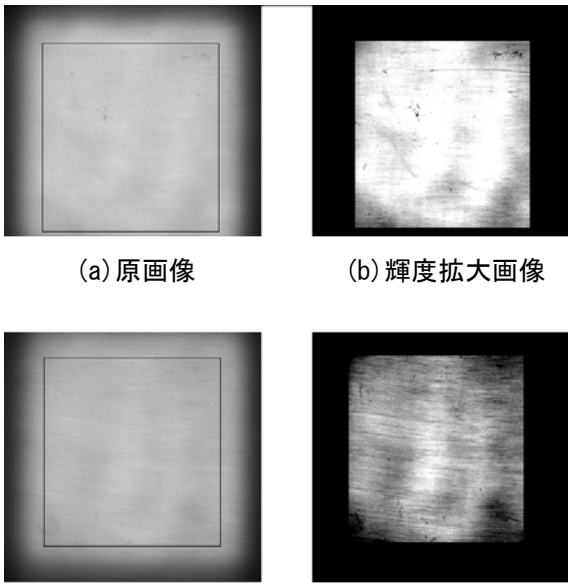


図 5　画像評価システム

3.2　測定結果

熟練技能者と初心者が研磨したステンレス製平板（100×200mm，厚さ 2mm）の輝度を，画像評価システムで測定した。その結果を図 6 に示す。原画像とわかりやすくするために輝度を 6 倍に拡大したものを並べた。また，表 1 は熟練技能者と初心者の明るさの平均値とその分散を示す。これより，熟練技能者と初心者を比較すると，熟練技能者の方が輝度が大きく，かつ，ばらつきが小さいことがわかった。



(a) 原画像　(b) 輝度拡大画像

(c) 原画像　(d) 輝度拡大画像

図 6　測定結果（(a) (b)：熟練技能者，(c) (d)：初心者）

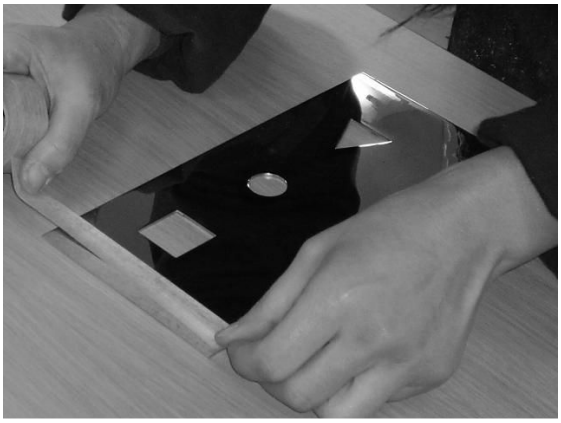
表 1　測定結果

	熟練技能者	初心者
輝度の平均値	195.64	181.04
分　散	6.92	8.14

3.3　競技会での評価

金属研磨仕上げ競技会で研磨された 3 枚のサンプルを本システムで測定した。この競技会は，平成 20 年 11 月 8 日に燕市の「磨き屋一番館」で開催されたもので，一番館の研修生と外部から合計 19 名の参加があった。競技会の様子を図 7 に示す。課題は四角形，円および正三角形の穴の開いた SUS304 の平板（120×240mm）を制限時間 60 分以内に鏡面仕上げし，一部につや消しを施すものである。ワークが大きいため XY テーブル上にサンプルを

(a) 研磨工程



(b) 仕上げ工程

図 7　競技会の様子

表 2　測定結果

	ｻﾝﾌﾟﾙ A	ｻﾝﾌﾟﾙ B	ｻﾝﾌﾟﾙ C
輝度の平均値	227.75	231.14	214.44
分散	8.91	8.22	4.09

のせ，18 回に分けて測定を行い，平均と分散を計算した。その結果を表 2 に示す。サンプル B，A，C の順に輝度が大きくなり，また C は輝度は大きくないものの，ばらつきが小さくなった。なおこの結果は，実際の審判員の目視による評価と同様の結果となった。

4.　技能伝承支援システムの検査工程への適用

これまで述べてきた研磨作業の製造工程にかかる技能伝承支援システムの基礎技術を，検査工程に適用させることの有用性について，県内企業を調査した。調査対象企業は，多岐に渡った。具体的には，表面処理，電機，スポーツ用品，米菓の各メーカーのほか，人工歯や歯茎，矯正装置といった歯科業界，および，大学である。

調査の結果，業種を問わず，検査工程の数値化への要求が大きいことがわかった。例えば，現在熟練技能者が行っている目視検査の結果，言い換えれば，OK 品か NG 品かの判断基準が，初心者にはわかりづらいため，その基準の伝承が課題となっている企業が多かった。そのため，検査工程において，熟練技能者の目視検査を機器測定による数値結果と比較し，OK 品と NG 品の境界が初心者にも理解できるようなシステムを希望する意見が多数あった。初心者には OK 品と NG 品を目視で比較しても，その違いがわからないということが現状である。装置測定により OK 品と NG 品の数値結果に明瞭な相違があれば，初心者にも容易に判断することが可能となる。

以上より，今回の調査から，検査工程に技能伝承支援システムを適用することの有用性が明らかになった。

5. 結　　言

（1）研磨作業における，ワークへの力加減等の作業の計測結果をリアルタイムに PC 上に表示するシステムを開発した。

（2）研磨作業を経たワークの表面の様子を画像で取り込み，輝度を拡大することで，熟練技能者と初心者のワークの光沢の違いを強調させることができた 。

（3）技能伝承支援システムを検査工程へ適用することに対して，県内企業のニーズは多業種に渡って非常に多いことがわかった。

（4）従来の目視検査工程を数値化し，技能伝承支援システムとして適用することの有用性が明らかとなった。

参考文献

1）五十嵐　晃，大野　宏ほか“新潟の匠の技を継承し発展させるための計測と制御に関する研究調査”，工業技術研究報告書，37，2008，p24-26.