

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)

研究期間：2007～2008

課題番号：19800041

研究課題名（和文） シミュレータにおける複数技能の共通性を考慮した訓練計画

研究課題名（英文） Training program with considering similarity of skills in simulator

研究代表者

橋本 宣慶 (HASHIMOTO NOBUYOSHI)

青山学院大学・理工学部・助手

研究者番号：00433699

研究成果の概要：

シミュレータを用いた溶接技能訓練において、被覆アーク溶接と TIG 溶接における技能の共通性に着目し、両技能が効果的に向上する訓練計画の構築するための基礎データを得ることを目的としている。被覆アーク溶接と TIG 溶接を訓練する順序の違いによる技能レベルの変化に与える影響を実験により検討した。実際の溶接訓練では訓練した溶接法に対応する技能が向上し、シミュレータ訓練では両溶接に共通する技能の向上が確認された。この結果は、溶接技能の共通性を解明するための重要な知見となった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	0	1,200,000
2008 年度	810,000	243,000	1,053,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,010,000	243,000	2,253,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：教育工学

キーワード：バーチャルリアリティ, ヒューマセンタード生産, 教育工学, 機械工作・生産工学

1. 研究開始当初の背景

知能化、ロボット化が叫ばれる現今においても、多くの生産現場で熟練者の技能は必要とされている。熟練技能者でなければ扱いが難しい製造工程は未だに数多く存在し、工程を最適化しようとする際にもその動きが参考にされることは少なくない。そのため今後も熟練技能者の持つ高度な技能の存在は重要であり、それを後世に伝えること、すなわち技能者の育成は重要な課題である。特に溶接分野では安全で効果的な技能伝承が切望

されている。溶接とは放電やガスの燃焼により発生した熱により金属を接合する加工法であり、種々の構造物や大型部材のほとんどが人間の手による溶接作業により組み立て製作されている。この作業は接合部に対して一定の隙間を保つように溶接トーチや溶接棒を動かしていくもので、作業者の技能が品質に影響しやすい。また、新規技能者に対する訓練では火傷や火災などの危険も伴う。

これらを解決する方法のひとつとして考えられているのが、人工現実感技術を利用し

た訓練である。VRは、視覚、聴覚、触覚等の感覚を呈示する機器を用いて、コンピュータで構築した仮想空間を操作者に体験させることができる。安全、低コスト、繰り返しの容易性などの理由から技能教育にも用いられ、工業分野や医療分野において熟練技能者の技能を未熟練者に伝達する試みも行われている。

溶接分野においても、被覆アーク溶接、MAG溶接などの溶接方法を対象とした訓練用シミュレータが多数開発されている。また、これらの訓練効果は対象とする溶接方法を限定して評価されている。

2. 研究の目的

通常、溶接訓練の現場では、初めに被覆アーク溶接の訓練を行った後、TIG溶接やMIG溶接などの訓練を行うことで訓練の効率化を図っている。このような方法は、各溶接法の技能が共通していることを利用するためと考えられ、シミュレータ訓練においても、同様に訓練効果の向上が期待できる。そこで本研究では、シミュレータにより複数の溶接方法を段階的な訓練を行い、訓練効果を検討するとともに、訓練効果が向上する訓練計画の構築するための基礎データを得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) TIGアーク溶接シミュレータの開発

すでに開発されている被覆アーク溶接シミュレータをもとにして、TIG溶接シミュレータを開発する。これは、人工現実感技術を用いて視覚、聴覚、力覚の感覚を訓練者に呈示することで、安全に訓練できるシステムにする。

(2) 訓練順序による習熟度変化の検討

① 溶接部形状測定装置の製作

本研究において、実際の作業およびシミュレータが対象とする作業はTIG溶接と被覆アーク溶接ともに、図1に示す2枚の母材の間を溶接するものとした。図中に示す座標系は、形状測定およびシミュレータの溶接部形状計算で使用するものである。また、作業の技能レベルは、実際の溶接作業を行ったときの接合部の形状から評価する。そのため、接合部の形状を3次元で測定する装置を製作し、開先内の面積に対する作業後に形成されたビードの面積の比（ビード面積比）、突合せ面上のビード高さの平均（ビード高さ）、突合せ面上のビード高さの標準偏差（ビードの凹凸）の3項目で評価する。

② 実際の作業訓練における技能レベルの変化の検討

実際の作業による訓練を被験者に行わせ、訓練する作業の順序の違いによる技能レベ

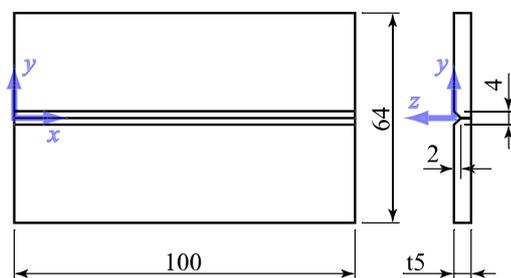


図1 作業対象とする溶接母材

ルの変化への影響を検討する。4名の被験者を2グループに分け、1日6回の溶接作業による訓練を表1に示す順序により4日間実施する。すなわち、グループAは被覆アーク溶接を訓練した後にTIG溶接を訓練し、グループBはTIG溶接の後に被覆アーク溶接を訓練する。この訓練中にできた溶接部の形状から技能レベルの評価を行う。

表1 訓練作業回数

日程	内容	グループ	
		A	B
1日目	被覆	5回	1回
2日目	TIG	1回	5回
3日目	被覆	1回	5回
4日目	TIG	5回	1回

③ シミュレータ作業訓練における技能レベルの変化の検討

被覆アーク溶接シミュレータとTIG溶接シミュレータによる訓練の順序の違いによる技能レベルの変化への影響を検討する。6名の被験者を3グループに分け、2セットのシミュレータ作業訓練を表2に示す回数を行う。すなわち、グループCは被覆アーク溶接を訓練した後にTIG溶接を訓練し、グループDはTIG溶接の後に被覆アーク溶接を訓練し、グループEはTIG溶接と被覆アーク溶接を同時に訓練する。この訓練において、1セット目の前、1セット目と2セット目の間、2セット目の後に実際の被覆アークとTIG溶接作業を1回ずつ行い、できた溶接部の形状から技能レベルの評価を行う。

表2 シミュレータ訓練作業回数

シミュレータ訓練	内容	グループ		
		C	D	E
1セット目	被覆	6回	—	3回
	TIG	—	6回	3回
2セット目	被覆	—	6回	3回
	TIG	6回	—	3回

4. 研究成果

(1) TIGアーク溶接シミュレータの開発

図2に本研究で構築したTIG溶接シミュレータの構成を示す。本シミュレータは、へ

ッドマウントディスプレイ (eMagin Z800, 解像度 800x600pixel, 以下 HMD), 擬似溶接トーチユニット, 擬似溶加棒ユニットおよび 2 台の PC で構成されている。作業者は HMD に映し出される仮想の溶接トーチ, 溶接母材など作業の様子を観察し, 両ユニットを操作することで TIG 溶接作業を擬似的に体験することができる。

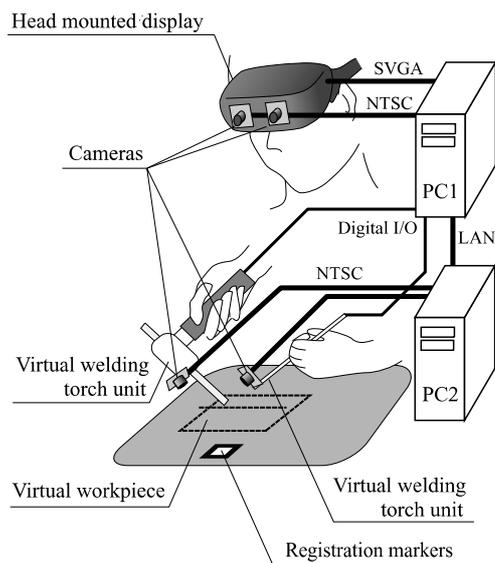


図2 TIG 溶接シミュレータ

作業者に提示される画像例を図3に示す。視覚提示は HMD にて行い, 溶接トーチ, 溶加棒, 溶接母材, アーク, スパッタは仮想物体として CG で立体表示させるので, 訓練者には火傷, 感電等の事故の危険はない。これら仮想物体は作業者の視点からの映像として提示され, 仮想の溶接トーチ, 溶加棒の位置や角度は各ユニットのそれらに対応している。位置検出に ARTToolKit を利用するため, HMD と各ユニットにはカメラが取り付けられている。HMD の位置検出処理は PC1, 両ユニットのそれは PC2 で行っており, PC2 の計算結果は LAN(1000base)を介して PC1 に送信される。PC1 は HMD と各ユニットの位置をもとに計算した溶接作業状況から, 仮想物体の映像を生成する。

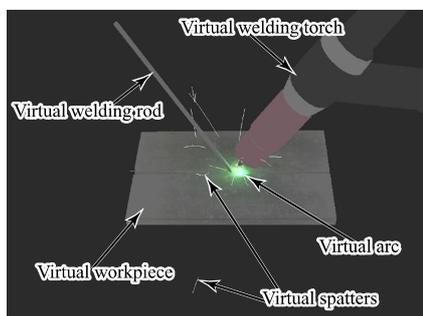


図3 画像提示例

図4に示す擬似溶接トーチユニットは, 実際の溶接作業と同様の操作感を得るため, 市販の溶接トーチ(ダイヘン製 TIG 溶接用トーチ AW-18)を改造した。また, 溶接トーチユニットの電源をスイッチは PC1 のデジタル入力に接続されている。擬似溶加棒ユニットの外観を図5に示す。実作業において溶加棒を手で送る動作は, 擬似溶加棒ユニットのスライドスイッチを動かすものに置き換え, この動きはユニット後端のフォトインタラプタにより検知する。

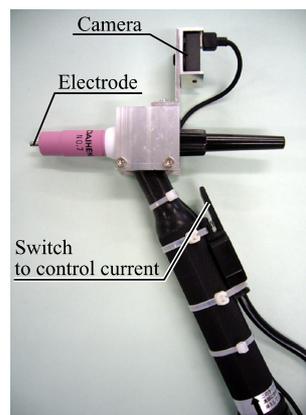


図4 擬似溶接トーチユニット

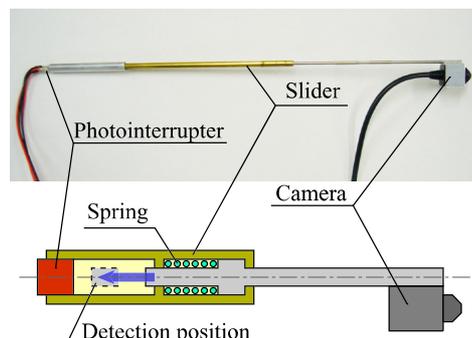


図5 擬似溶加棒ユニット

人工現実感のシミュレータにおいて作業者に高い現実感を与えるためには, できるだけ実際の現象に近い表現をする必要がある。溶接の分野では, アーク放電, 溶融池表面形状の変化や溶融池内の対流などの現象を詳細に物理的なモデルで記述する試みは多く行われている。しかしこれらのモデルによる数値計算を実時間で行うことは困難であり, 実時間処理が必須となる訓練用シミュレータにおいて不向きである。そこで本研究では, 以下に述べるような溶接ビード形成過程を大幅に単純化した計算量の少ないモデルを用いる。

まず, 対象を図1に示す板状母材の突合せ溶接に限定し, 母材表面が直交座標系の xy 平面にするよう設定する。母材形状は表面を1辺0.5mmの正方形に分割した要素で表し, 溶接ビードは対応する要素の高さを変化さ

せることで表した。図6に示すように溶接棒先端が $(x_{tip}, y_{tip}, z_{tip})$ にあるときアーク柱は高さ z_{tip} mm, 上面直径 D_{arc} mm, 頂角 θ_{arc} radの円錐台形状とした。式1で示すアーク柱内部において母材表面が加熱され, その上昇温度 $\Delta T(x, y)$ Kは式2により求める。ただし, ここでは熱伝導および熱伝達は考慮していない。母材表面の温度が T_{melt} K以上になると溶融し, 式3によりビードの形状が変化するものとした。また, 溶解した溶加棒は溶接棒先端の真下 $(x_{tip}, y_{tip}, 0)$ に添加されるとした。

$$(x-x_{tip})^2 + (y-y_{tip})^2 < r^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$r = z_{tip} \tan \frac{\theta_{arc}}{2} + \frac{D_{arc}}{2}$$

$$\Delta T(x, y) = \frac{q\Delta t}{c\rho} \left\{ 1 - \frac{(x-x_{tip})^2 + (y-y_{tip})^2}{r^2} \right\} \dots \textcircled{2}$$

$$z_i(x, y) = z_{i-\Delta t}(x, y) + \frac{V_{arc}}{S_{arc}} + a \{ \bar{z} - z_{i-\Delta t}(x, y) \} \Delta t \dots \textcircled{3}$$

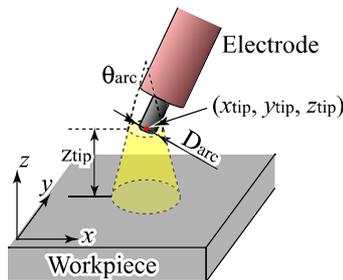


図6 アーク柱の幾何学モデル

(2) 訓練順序による習熟度変化の検討

① 溶接部形状測定装置の製作

溶接部の形状測定装置を図7に示す。図のように溶接母材をxyテーブル上に置き, 上からレーザ変位センサでz方向(高さ)を測定する。本研究が対象としている作業では, 測定できない形状は現れにくく, 測定方法としては十分である。

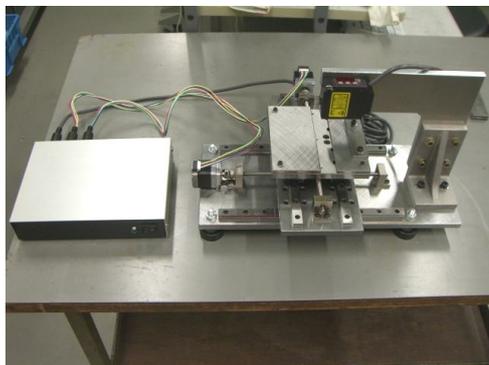


図7 溶接部形状測定装置

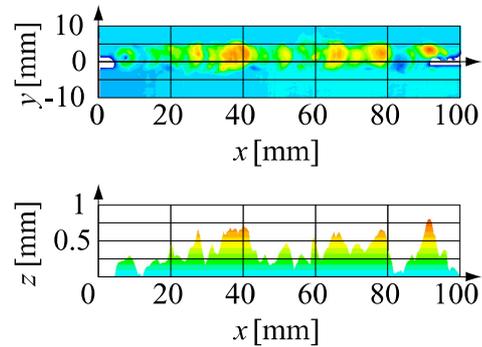


図8 溶接部形状測定例

② 実際の作業訓練における技能レベルの変化の検討

実際の訓練において, 全被験者が行った全作業によりできた溶接ビードの形状を測定し, ビード面積比, ビードの平均高さ, ビードの凹凸を計算した。そのグループごとの平均値の訓練日に対する変化を図9, 10, 11に示す。なお, ビード面積比とビードの平均高さでは値が1に近づくほど, ビードの凹凸では値が0に近づくほど技能レベルが高いとしている。

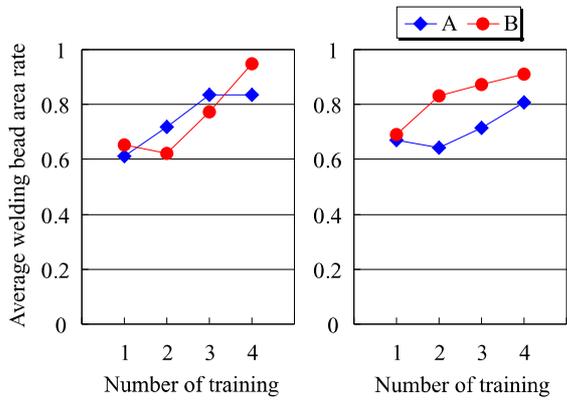
図9をみると, 第1, 2日目では被覆アーク溶接訓練を行うグループAの方が, TIG溶接訓練を行うグループBよりも被覆アーク溶接の技能の上昇が大きく, 3, 4日目では, グループBの方がグループAよりもTIG溶接の技能の上昇が大きいことが分かる。この傾向は, 図10と図11(b)においても現れており, 訓練する作業に対応した技能レベルが上昇していることが確認できる。

また, 4日目においてグループBの技能レベルの方が高いことから, 4日間程度の短期間の訓練では, TIG溶接を先に訓練する方が高い訓練効果を得られることを意味している。

③ シミュレータ作業訓練における技能レベルの変化の検討

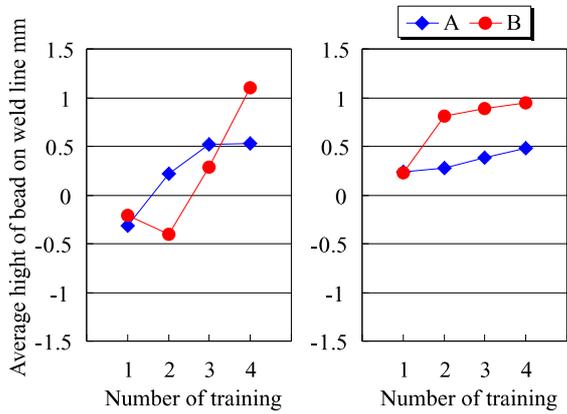
2セットのシミュレータ訓練において, 3回の技能評価の結果を図12~14に示す。②で述べたような, 訓練する作業に対応した技能レベルが上昇は, 図14で確認できたが, 図12, 13では, グループC, D, Eともに同様の技能の上昇が見られた。これは, 被覆アーク溶接とTIG溶接シミュレータの訓練によって, 両対象作業に共通する技能が向上したことが考えられ, その原因として, 両シミュレータのシステムの多くの部分が共通しているからと考えられる。

以上の結果は, 溶接作業に共通する技能に関するものであり, 溶接技能の特徴について解明していく際の貴重な知見となった。



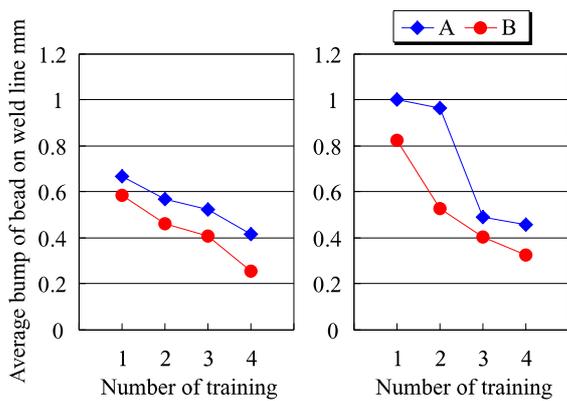
(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 9 実作業における平均ビード面積比



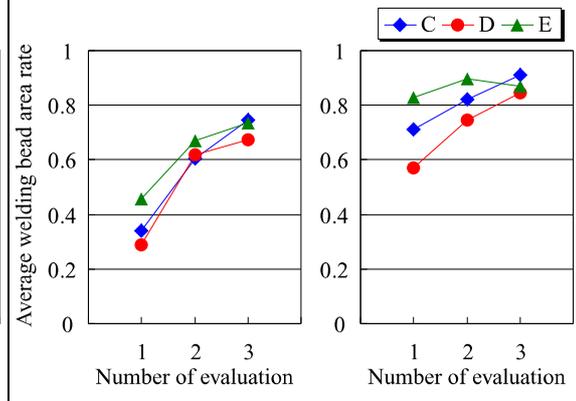
(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 10 実作業における平均ビード高さ



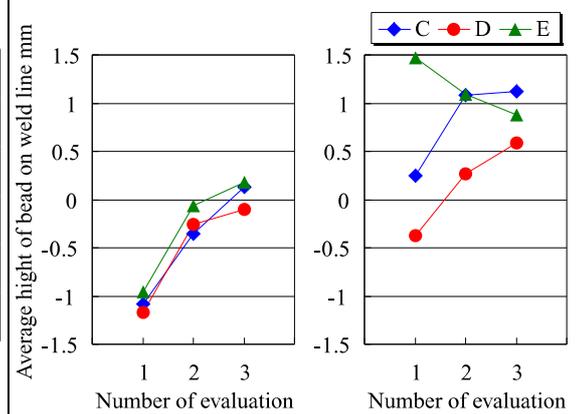
(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 11 実作業におけるビード凹凸の平均



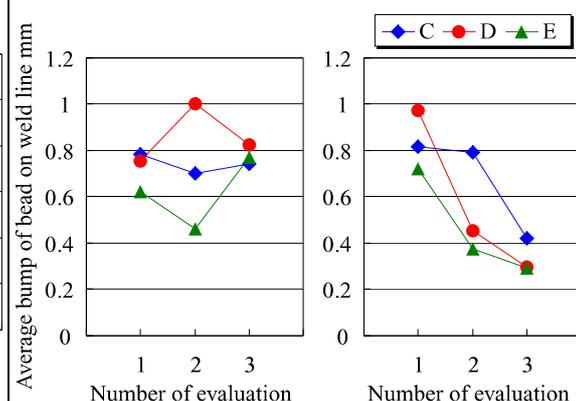
(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 12 シミュレータ作業における平均ビード面積比



(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 13 シミュレータ作業における平均ビード高さ



(a) 被覆アーク溶接 (b) TIG 溶接

図 14 シミュレータ作業におけるビード凹凸の平均

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

① 橋本宣慶, 人工現実感による手溶接訓練システム TIG 溶接シミュレータの開発, 2009年精密工学会春季大会, 2009/03/11, 中央大学

② 橋本宣慶, TIG 溶接技能訓練用シミュレータの開発, 産業システム情報化研究会, 2008/07/18, 東京理科大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

橋本 宣慶 (HASHIMOTO NOBUYOSHI)

青山学院大学・理工学部・助手

研究者番号: 00433699

(2)研究分担者

(3)連携研究者