視野と手先移動に基づく工学実験の技能評価の検証

比嘉 健太郎[1]　小池 直[2]　大村 廉[1]　野口 健太郎[2]　神里 志穂子[3]

概要：日本のモノづくり産業において，職人の技能を伝承していくことが重要である．この問題に対し，工場等の生産現場では生産管理手法を取り入れることにより作業者の能力評価と作業全体の改善を図っているが，工学系の教育機関で行なわれている工学実験授業において直接的な能力評価は行なわれていない．本研究は，工学実験を行う実験者の動作に着目して，学生の実験技能を定量的に評価する手法を提案する．次に我々は，実験者の技能を評価するシステムの構築を行う．これは，実験者の視野移動と手先移動を赤外線 LED および赤外線センサによって検出し，タブレット端末へとその動作をデータとして記録するものである．実験者の技能の評価値は，これらのデータを用いて得られる．実際に工学実験を行い，技能評価手法の妥当性を示し，システムによる評価手法の検証を行った．

Verification of skill evaluation of engineering experiments based on movement of eyes and hands

Kentaro Higa[1]　Nao Koike[2]　Ren Ohmura[1]　Kentaro Noguchi[2]　Shihoko Kamisato[3]

1. はじめに

日本のモノづくり産業において，2007 年問題として表面化した，職人の技能を伝承することが難しいという現状がある [1], [2]．これは，熟練者の指導が必ずしも上手いとは限らないか，もしくは指導を受ける者の能力がそのレベルに達していないためであると考える．一方，工学系の高等教育機関では，技能修得の取り組みのひとつとして工学実験が行われている．この工学実験において，職人の技能伝承問題と同様に，教員から学生へ工学実験に関する技能を伝えることが難しいという現状がある．

この技能伝承の問題に対して，工学系の教育機関では技能修得に関わる実験内容と手法について改善が行われている．具体的な改善の取り組み例として，実験内容のアンケート調査を行うことで工学実験において学生が苦手とする箇所を教員が把握し，実験内容の修正と実施により，学生の技能修得レベルを高める改善が行われている [3], [4]．また，我々はこれまでに，学生が実験中に行き詰まる箇所を推測し，その箇所について教える動画教材作成法を検討している [5], [6]．

これらの改善に加え実験者の実験技能の評価を定量的に提示することで，学生が自身の技能について現在のレベルを把握できると考える．さらに，教員は学生に対して目標とする技能基準の提示と実験教材および実験内容の吟味が容易に行え，よりスムースな学生の技能修得につながると考える．そこで，工学実験における実験者の定量的な技能評価を行うことを目的として，実験者の実験中の動作から技能を評価する手法について検討する．この手法は，まず実験者の視野移動と手先移動の回数，機器を見ていた時間，機器に触れていた時間の計 4 項目を計測する．次に，それらパラメータを用いて実験者の評価を定量的に求める．また，赤外線マーカおよび赤外線センサを用いて実験者の動作を記録するシステムを構築する．

本論文では，まず生産管理に関する作業能力評価の基礎と教育現場における取組みについて述べる．次に，実験者の動作をパラメータ化し，そのパラメータから実験技能を評価する手法と，実験者のパラメータを自動的に記録するシステムについて述べる．そして，技能評価手法の正当性を検証するために工学実験を被験者に行ってもらい，被験

1 豊橋技術科学大学
TUT, Toyohashi-city, Aichi 441–8580, Japan
2 東京工業高等専門学校
TNCT, Hachioji-city, Tokyo 193–0997, Japan
3 沖縄工業高等専門学校
ONCT, Nago-city, Okinawa 905–2171, Japan

者の実験動作をビデオカメラとシステムによりそれぞれ記録し，それらの結果について考察する．最後に本稿をまとめる．

1.1 技能評価に関する取組み

工場の生産ライン等の現場では，作業者を評価する方法のひとつとして MODAPTS(Modular Arrangement of Predetermined Time Standards) と呼ばれる評価手法が用いられている [7]．これは，工場で通常行われている動作の種類がおよそ 21 種類の動作に集約できるという報告を元に，主に作業者の上肢動作と作業の重みを対応させ，作業全体でどの程度の動作量が発生するのかを表すものである．この動作量は MOD という単位で表され，人間が作業を行うために必要な最小時間が 0.129 秒であるという報告から 1MOD = 0.129 秒と定義されている．生産ライン等の現場では，この MOD の値により作業全体の中でどの作業に無駄な部分があるかを把握し，その改善を行うことで作業者の技能評価と作業効率の向上を図っている．図 1 に MODAPTS 法において主となる動作である移動動作と終局動作の作業負担レベルを示す．例えば，指でつかめる程度の物体をつかむという動作は MODAPTS 法では M1G1 と表記される．動作ごとに動作の対象の形状や大きさによってその負担の大きさが変わり，負担が大きいほど MOD 値が大きい値を示す．

この MODAPTS 法による評価は手順が固定された作業については最効率の動作を算出できるが，工業大学等で行われている工学実験のように，グループごとの実験機器の設置場所の差異や作業手順の細かい違い等によりその都度実験者の動作を逐次記録し手作業で評価し直さなければならず，工学実験の指導を行う教員が用いる評価法としては負担が大きいと考える．このことについて，実験における評価の最高基準は MODAPTS で求めてもよいが，実験を行う学生への評価はより簡易に求める手法を検討することで，評価のフィードバックにより熟練者である教員との技能差をどれだけ埋められるかがポイントであると考える．

これまでに我々は，工学実験の熟練者である教員は初心者である学生よりも無駄な視野移動が少ないという仮説について，我々は正当性の検証を行っている [6]．図 2 と図 3 にそれぞれ教員と学生が行った工学実験における視野と手先の移動比を視覚的に表現したグラフを示す．図 2 および図 3 のグラフは，実験機器を円，実験機器間の移動を矢印で表現しており，円の大きさはその実験機器を見ていた時間，矢印の太さは機器間における視野移動の回数の多さを示す．工学実験を指導する教員は，実験機器を見ていた時間が短く，視野移動回数も少ないことが示されている．工学実験の初心者である学生は機器を見ている時間が長い箇所があり，視野移動回数も多いことが示されている．このことから，教員と学生の技能差を視野と手先の移動比から見出すことが可能だとわかる．本稿ではこの視野と手先の移動に関する差を，2 章で述べる技能評価のための基礎となる考え方として扱う．

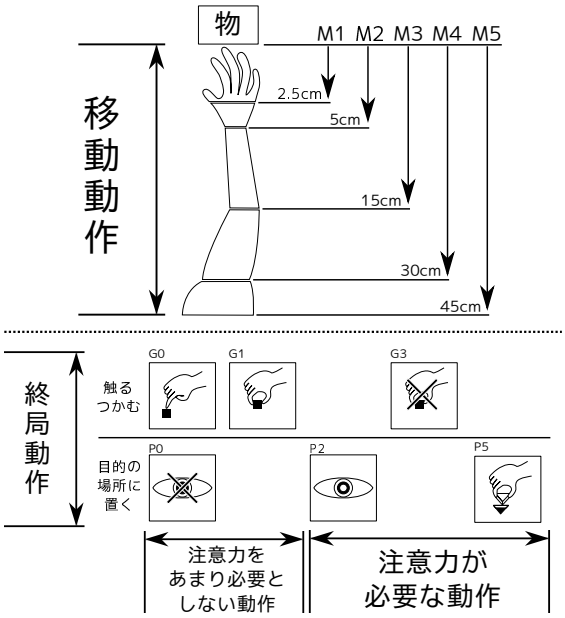

図 1 移動動作と終局動作の作業レベル

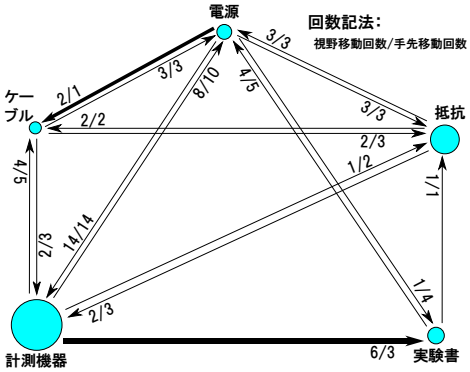

図 2 教員の実験動作の視覚化グラフ

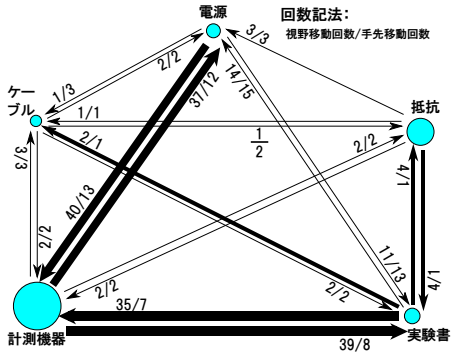

図 3 学生の実験動作の視覚化グラフ

2. 実験技能の評価

2.1 技能評価手法の提案

2.1.1 評価に用いるパラメータ定義

本稿では実験者の身体について，実験者の顔が向いている正面を実験者の視野，実験者の左右の手首から先を手先とする．ある実験機器から他の実験機器へ顔の向いている方向が変わることを視野移動，ある実験機器から他の実験機器へ触れている手先が移動することを手先移動とする．工学実験の被験者には，これら動作について前提条件として事前に認識してもらう．図 4 に本稿における実験動作のパラメータ定義を示す．実験技能を評価するために，上記の実験者の動作を基に技能評価のためのパラメータを 4 つ定義する．本稿において定義したパラメータは，ある実験機器から他の実験機器へ視野が移動した回数 (以後，視野移動回数) を表す e，ある実験機器から他の実験機器へ手先が移動した回数 (以後，手先移動回数) を表す h，視野移動が発生するまで実験機器を見ていた時間の総和 (以後，視野滞留時間) を表す t_e，手先移動が発生するまで実験機器に触れていた時間の総和 (以後，手先滞留時間) を表す t_h の 4 つとする．視野移動回数 e および手先移動回数 h を用いるのは，先行事例において視野移動と手先移動の様子から実験者の技能差を抽出できる可能性の示唆があることから，e および h を用いることで技能評価を行うことを考慮するためである．視野滞留時間 t_e および手先滞留時間 t_h を用いるのは，滞留時間の長短から実験をスムースに行えているかどうかを把握することも実験技能の評価内容のひとつとして有効である考えるためである．

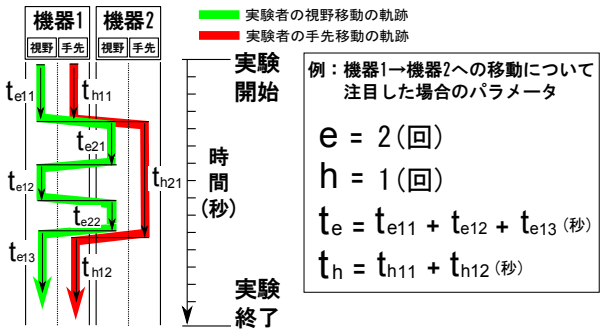

図 4　実験動作のパラメータ定義

2.1.2 技能評価の手順

次に，上述の考えに基づいて実験技能を定量化する評価式を式 (1) および式 (2) に示す．

$$\gamma_{\alpha\beta} = e - h \tag{1}$$

$$\delta_\alpha = |t_e - t_h| \tag{2}$$

$$\gamma = \sum_{\alpha=1}^{N}\sum_{\beta=1}^{N}\gamma_{\alpha\beta} \tag{3}$$

$$\delta = \sum_{\alpha=1}^{N}\delta_\alpha \tag{4}$$

α：移動を開始した機器の番号
β：移動を終了した機器の番号
e：視野移動回数
h：手先移動回数
t_e：移動発生までの視野滞留時間
t_h：移動発生までの手先滞留時間
N：実験機器台数

式 (1) により得た値 $\gamma_{\alpha\beta}$ を 2 機器間における視野および手先移動に関する評価値とする．式 (2) により得た値 δ_α を当該機器における視野および手先の滞留時間に関する評価値とする．式 (1)，式 (2) のいずれも，値が大きいほど実験中に行き詰まったとして低い評価を与え，値が小さいほど実験をスムースに行っているとして高い評価を与える．式 (1) は，2 機器間における視野および手先の移動に関して実験者を評価する式である．学生等の初心者は視野移動回数が手先移動回数に比べ多い傾向があるため，視野移動の回数 e と手先移動の回数 h の差 $\gamma_{\alpha\beta} = e - h$ が正の大きい値を示す．教員等の熟練者は基本的には視野と手先の移動が連動しており，かつ視野外における手先のみでの作業により手先移動回数が視野移動回数に比べ多くなる場合があるため，$\gamma_{\alpha\beta}$ がゼロから負の値を示す．式 (2) は，機器毎の滞留時間に関して実験者の動作を評価する式である．初心者は実験中に行き詰まった際，機器における視野または手先の滞留時間が長くなる傾向があるため，機器の視野滞留時間の総和 t_e と機器に手先滞留時間の総和 t_h の差 $\delta_\alpha = |t_e - t_h|$ が正の大きい値を示す．熟練者は実験中に行き詰まることが少なく，δ_α がゼロまたは正の小さい値を示す．実験全体の評価は，表 1 に示すように各機器間の移動についてそれぞれ評価値を算出し，すべての評価値の総和をその実験全体の評価として与える．2 機器間の移動に関する評価と同様に，評価値の総和が正値で大きいほど初心者という評価を与え，ゼロまたは負の値であれば熟練者という評価を与える．図 5 および図 6 にそれぞれ式 (1) および式 (2) の値変化のグラフを示す．図 5 は，視野移動回数 e が手先移動回数 h より多いと初心者である傾向を，式 (1) の算出する評価値によって示している．グラフにおいて，評価値 $\gamma_{\alpha\beta}$ が正の値であれば初心者であり，ゼロまたは負の値であれば熟練者である．図 6 は，視野滞留時間 t_e または手先滞留時間 t_h のいずれかが一方より大きい値であれば初心者である傾向を，式 (2) の算出する評価値によって示している．グラフにおいて，評価値 δ_α が正の値かつ大きい値であるほど初心者であり，ゼロに近い値であ

れば熟練者であると判断する．

表 1　機器間ごとの $\gamma_{\alpha\beta}$ の定義

移動元＼移動先	機器 1	機器 2	機器 3
機器 1		γ_{12}	γ_{13}
機器 2	γ_{21}		γ_{23}
機器 3	γ_{31}	γ_{32}	

表 2　機器毎の δ_α の定義

	機器 1	機器 2	機器 3
δ_α	δ_1	δ_2	δ_3

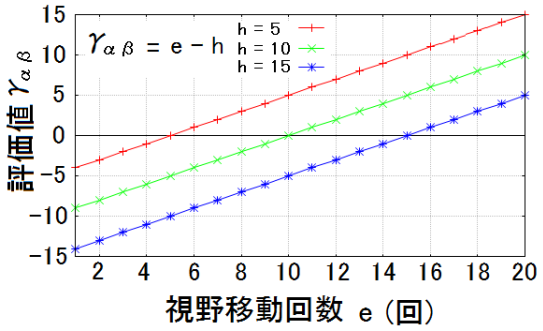

図 5　視野および手先の移動回数に関する評価式のグラフ

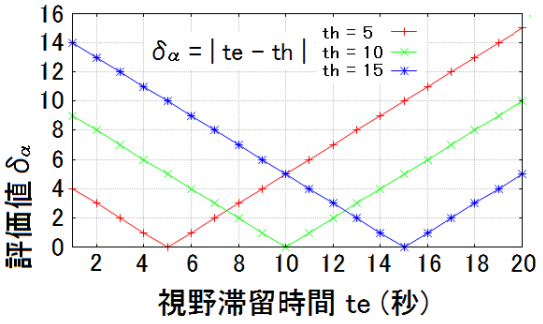

図 6　視野および手先の滞留時間に関する評価式のグラフ

2.2　技能評価手法の検証

提案する評価手法の検証として，教員と学生が行った実験について評価手法を適用し，MODAPTS 法による技能評価と比較して教員と学生の技能差を提示できるか確認する．実験内容は，図 7 に示す回路を作成し，回路中の電流計について 1mA，10mA，100mA の 3 つの測定レンジについてレンジ毎の電流値の誤差を測定する実験である．本研究の手法による評価と MODAPTS 法による評価は，実験者の実験を行なっている風景を録画し，実験後に録画映像を見ながら評価を算出する．

教員の実験 1 の評価値 γ および δ をそれぞれ表 3，表 4 に，学生の実験 1 の評価値 γ および δ をそれぞれ表 5，表 6 に示す．表 3〜6 から，教員と学生とで移動回数に関する評価値 γ および滞留時間に関する評価値 δ を比較すると，教員の方が学生に比べて評価値および総和値が共に低い値を示していることがわかる．また，表 3 および表 5 の表中の値を比較すると，教員は各評価値 $\gamma_{\alpha\beta}$ がほぼ 0 ± 1 であるのに対し，学生は直流電源からテスタへの移動経路のように評価値が大きい箇所があることがわかる．この学生については当該箇所について習熟が足りないと判断する．また，学生の評価のうち教員よりも評価値が低い箇所についてはその箇所についてのみ教員よりスムースに作業を行ったと考える．表 4 および表 6 の評価値 δ_α について，テスタと直流電源に関して教員の方が学生より評価値が小さい結果を得た．これは教員の方が実験機器の使用法に習熟しているために，機器ごとの滞留時間が短くなったことが評価として現れたと考える．

この結果について，図 8 に既存の作業能力手法である MODAPTS 法による技能評価を，図 9 に本研究の技能評価手法による評価を示す．MODAPTS 法による評価も本研究の評価手法と同様に，教員の方が学生より良い評価を得た．このことから本研究による技能評価も既存の作業能力評価法と同程度の評価が可能であることが示唆されたと考える．今後実験者数を増やし，MODAPTS による評価を算出してその精度を検証する．

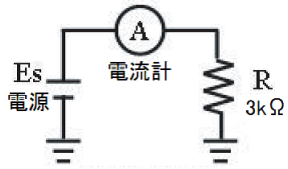

図 7　電流計の誤差測定回路

表 3　教員による実験の視野および手先の移動回数に関する評価表 (評価値 γ : 2.0)

始点＼終点	説 明 書	可変抵抗	テ ス タ	直流電源	ケーブル
説 明 書		0.0	1.0	0.0	0.0
可変抵抗	0.0		-1.0	1.0	0.0
テ ス タ	3.0	-1.0		1.0	0.0
直流電源	0.0	-1.0	-1.0		0.0
ケーブル	0.0	0.0	0.0	0.0	

表 4　教員による実験の視野および手先の滞留時間に関する評価表 (評価値 δ : 47)

	説 明 書	可変抵抗	テ ス タ	直流電源	ケーブル
δ_α[秒]	5	3	13	26	0

表 5　学生による実験の視野および手先の移動回数に関する評価表 (評価値 γ : 4.0)

始点＼終点	説 明 書	可変抵抗	テ ス タ	直流電源	ケーブル
説 明 書		0.0	-3.0	-4.0	0.0
可変抵抗	1.0		2.0	2.0	0.0
テスタ	4.0	3.0		2.0	-2.0
直流電源	-3.0	1.0	5.0		-1.0
ケーブル	-2.0	0.0	-1.0	0.0	

表 6　学生による実験の視野および手先の滞留時間に関する評価表 (評価値 δ : 119)

	説 明 書	可変抵抗	テ ス タ	直流電源	ケーブル
δ[秒]	5	3	68	32	11

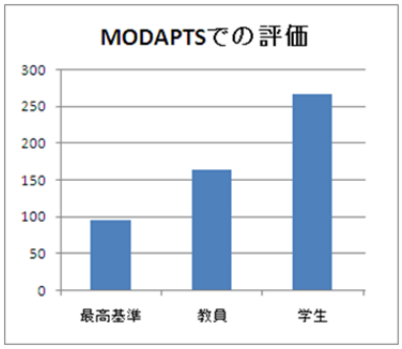

図 8　MODAPTS 法による実験動作の評価

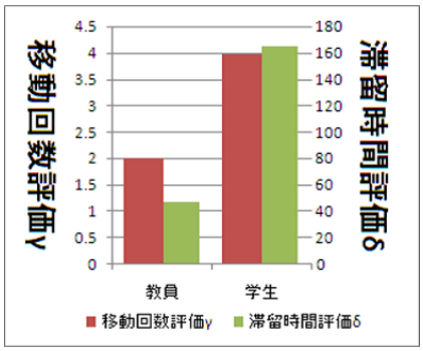

図 9　本研究の手法による実験動作の評価

3.　技能評価システムの構築

3.1　技能評価システム

ここでは，前節で述べた視野と手先の移動軌跡をシステムで自動的に記録する技能評価システムを構築する．図 10 は技能評価システムの構成を示している．本システムは大きく分けて次の三つから構成されている．一つ目は実験者の動きを検出する赤外線マーカ・赤外線センサである．二つ目はセンサをまとめて各センサの状態等を管理するマイコンボードである．三つ目は集約されたセンサデータを記録するタブレット端末である．タブレット端末を用いる理由として，リアルタイムな動作記録を行うにあたり，マイコンのみではデータ形式の整理および不揮発な保存等の処理を行う能力が不足するためである．まず，実験者は顔および両手首に，図 13 と図 14 に示す赤外線マーカを装着する．このとき，視野用マーカの使用条件として，視線と顔の向きが一致するように作業を行ってもらう．次に，赤外線センサを各機器へ取り付ける．そして，各機器に取り付けた赤外線センサを制御するために，まとめてセンサ制御用のマイコンボードへと接続する．また，センサ制御用マイコンボードは全体制御用ボードを介して Bluetooth 経由でタブレット端末と接続している．

3.1.1　実験者の動作検出方法

図 11 に赤外線マーカと赤外線センサ IC を用いた動作検出手法のイメージを示す．実験者が実験機器を見ることでゴーグルに取り付けられた視野用マーカの信号がセンサ IC に入光する．同様に，実験者が実験機器に触れることで手先用マーカの信号がセンサ IC に入光する．この時のセンサ IC の出力をマイコンに入力することにより，実験動作を自動的に得ることが可能となる．

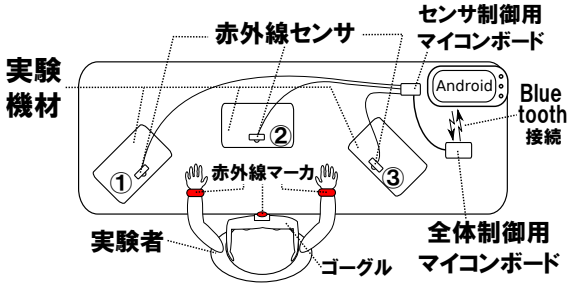

図 10　技能評価システム

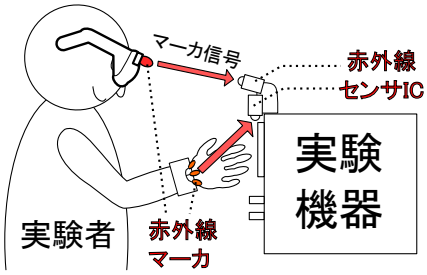

図 11　赤外線マーカと赤外線センサ IC による動作検出

図 12　赤外線センサを取り付けた実験機器

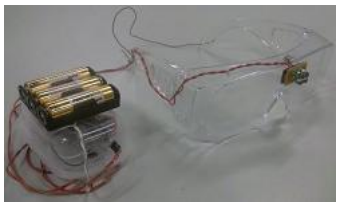

図 13　視野用赤外線マーカ

図 14　手先用赤外線マーカ

3.1.2　動作データの記録

図 15 に技能評価システムの内部実装の構成を示す．赤外線マーカは，38kHz の搬送波を持った赤外線光を出力し，それぞれ右手用器具・左手用器具・視野用ゴーグルが個別に動作する．そして，マーカ毎に 8bit 長の ID を設定し，非同期シリアル送信モジュールを用いて赤外線光

に ID を 1667bps のビットレートで重畳して出力することにより，マーカの識別を行っている．視野マーカの ID は ASCII コードの'e'，左手のマーカは'l'，右手のマーカは'r' である．赤外線センサは，38kHz の搬送波で変調された赤外線光のみを受光するフィルタを内蔵し，マーカの赤外線光を受光後マイコン内部の非同期シリアル受信モジュール (以降 RX8) へ信号を渡す．センサが赤外線光を受光した際，受光したセンサの ID として RX8 のモジュール番号を用い，センサ制御用ボード内に保持する．センサ制御用ボードは各自固有のボード ID を持っており，全体制御用マイコンボードは各センサ制御用ボードに対してボード ID をアドレスとして指定し，セレクタ回路を経由して各ボードに対してセンサデータの送信許可を与える．この時，センサ制御用ボードは全体制御用ボードに対して「ボード ID:センサ ID:受信したマーカの ID」というフォーマットのデータを送信する．全体制御用ボードは，センサ制御用ボードのアドレス順にデータを受信していき，最後のセンサ制御用ボードからデータを受信するまで全てのデータを保持する．全てのセンサ制御用ボードからデータを受信し終えた時に，SPP(SerialPortProfile) スタックを内蔵した Bluetooth モジュールを経由して，タブレット端末へとデータをシリアル送信する．タブレット端末では端末内のアプリケーションを用いて受信したデータに受信した時の時間を付加し，テキストファイルとして動作記録データを保存する．データは，記録が行われた時刻，視野マーカが反応したセンサの番号，左手のマーカが反応したセンサの番号，右手のマーカが反応したセンサの番号の 4 つが記録されている．

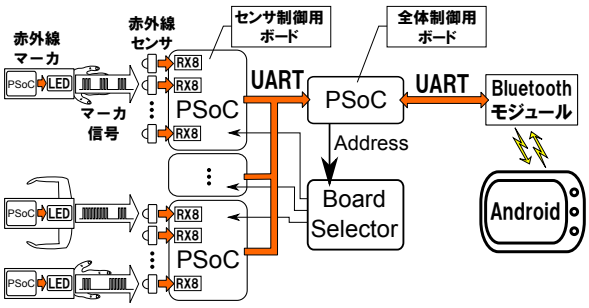

図 15　技能評価システムの内部構成

3.2　赤外線センサの反応範囲測定

技能評価システムの実験者動作のセンシングにおける基礎部分である赤外線センサ IC についてその反応特性を測定する．図 16 に示すように，赤外線センサ IC には直径 2cm のフードを装着させる．このフードは，隣接する実験機器間において実験者が操作していない実験機器の赤外線センサ IC が赤外線マーカの信号を誤って受光することを極力低減するためのものである．フード付きの赤外線センサ IC についてその反応特性を把握することで，実際の工学実験の環境に適用可能かを確認する．

図 17 および図 18 に赤外線センサ IC の赤外線光反応範囲を示す．センサ正面から鉛直方向および水平方向におよそ 20° ずつ反応範囲を計測したところ，センサの鉛直面についてはセンサ正面において最大 200cm，40° 以上の範囲において 55cm〜0cm の反応特性を得た．センサの水平面については 40° 以上の範囲において 16cm〜0cm の反応特性を得た．この反応特性から，工学実験環境において実験機器を水平方向に並べて置き，実験機器間の隙間を 16cm 以上置くことで赤外線センサ IC の誤反応について対処可能であると考える．また，実験機器のサイズ，操作する領域等に応じて，配置とセンサの取り付け位置を調整する．使用する実験機器にもよるが，実際の工学実験環境において実現可能な範囲として，赤外線センサ IC による検出は妥当であると結論付ける．

図 16　実験機器へ取り付けたフード付き赤外線センサ IC

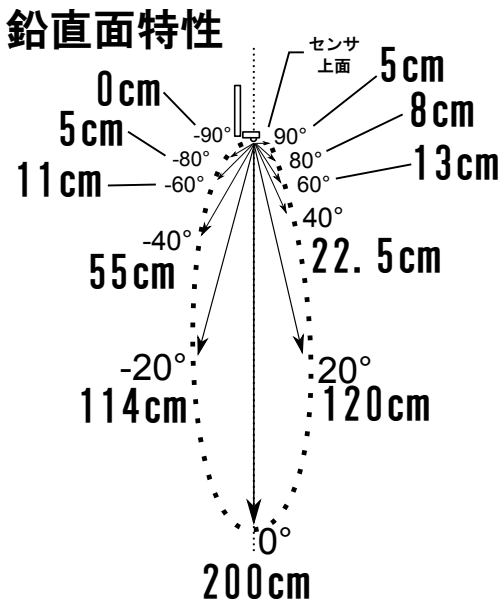

図 17　赤外線センサの鉛直面反応特性

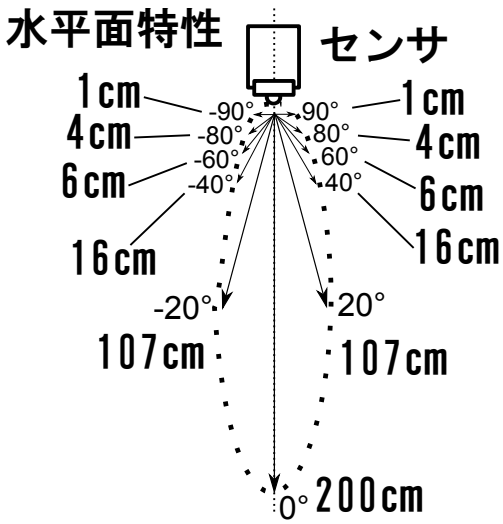

図 18　赤外線センサの水平面反応特性

3.3　技能評価システムの動作検証

技能評価システムの動作検証として，図 19 に示すように工学実験環境に本システムを導入し，工学実験を被験者に行ってもらう．被験者に行ってもらう実験テーマは，本稿の 2.2 章で行った電流計の誤差測定実験である．本システムによって記録された実験動作データの検証のため，実験者の実験中の様子をビデオカメラにて撮影し，システムによって得られたセンサデータと比較し正しく記録されているかを確認する．工学実験の被験者には，作業対象となる実験機器を見る際に必ず顔全体で実験機器を見ることを条件に工学実験を行ってもらう．

図 20 に，本システムによる実験者の動作記録データを例として示す．このデータは，センサ番号 3 の赤外線センサ IC が取り付けられた電流計を操作している途中で，センサ番号 5 番の赤外線センサ IC が取り付けられた説明書を 3 秒程度見た後，再び電流計の操作に戻る作業の部分について抜き出したデータである．この結果から，実験者の動きを赤外線マーカと赤外線センサ IC によって検出し，データとして記録できていることを確認した．

表 7 に，実験中の様子を録画した映像を基準とした本システムによる動作検出精度の結果を示す．これは録画映像および本システムによって得られたセンサデータのうち，3 秒以上実験機器に滞留したときを作業箇所として判断し，作業箇所で操作している機器が映像とセンサデータとで一致している割合を算出したものである．平均して 62.6% の動作検出精度が得られたことが結果から分かった．今後，センサモジュールの改良等によりマーカ検出の精度を向上させる．3 章で提案した技能評価手法と本システムを用いることで，実験者の実験技能を自動的に評価できることが示唆されたと結論付ける．

図 19　技能評価システムを設置した環境

実験時間	センサ：マーカ（視野）	センサ：マーカ（左手）	センサ：マーカ（右手）
11:26:25	3:e	3:l	4:r
11:26:26	3:e	3:l, 2:l	4:r, 3:r
11:26:27	3:e	3:l	3:r
11:26:28	3:e		3:r
11:26:29	3:e, 5:e		3:r
11:26:30	5:e		3:r
11:26:31	5:e, 4:e, 3:e		3:r

図 20　技能評価システムによる実験動作の記録データ

表 7　録画映像の確認を基準としたシステムの動作検出率比較

	各マーカ		
被験者	視野 (%)	左手 (%)	右手 (%)
教員	82.5	67.6	64.3
学生	57.4	60.0	43.9

4.　まとめ

本稿は工学実験における実験者の動作から定量的に工学実験技能を評価する手法を検討し，その実験動作を自動的に記録する技能評価システムの構築を行った．技能評価手法の検証として，教員と学生が行った工学実験について視野移動と手先移動の回数および視野滞留時間および手先滞留時間を測定し，検討した技能評価手法により評価値を算出した．検証の結果，工学実験の結果において，教員と学生の評価値を比較すると教員の方が評価が良いことを確認した．技能評価システムの動作検証として，本システムを導入した環境下で教員と学生が行った工学実験について，その実験動作をシステムにより記録した．結果，本システムを用いることで実験者の実験動作を記録できたことを確認した．今後，より実験動作の記録精度を高める予定である．この結果から，提案する技能評価手法と本システムを用いて，実験者の実験技能の評価が容易に行えることが示せた．

参考文献

[1] “2011 年版ものづくり白書,” 経済産業省, 2011.

[2] 安藤守, 三浦靖一郎, 丹野拓海, 渡辺博, “ものづくり教育プログラム□ー工学実験への電気工学実習の導入とその効果の検証ー,” 高専教育, 30 号, pp.299-303, 2007.

[3] 荒川雄介, 竹川真人, 加藤和夫, 佐々木整, 志子田有光, ” 個別実験を指向した学生実験支援システムの開発とその実践, ” 信学技報, ET2007-68, pp.75-78, 2007.

[4] 岸田悟, 中井生央, 伊藤良生, 小西亮介, “鳥取大学工学部電気電子工学科における教育改革と評価, ” 工学教育, vol.53-3, pp.81-86, 2005.

[5] 野口健太郎, 神里志穂子, 山城信裕, 比嘉優, 知念輝佳, 湯川高志, 鈴木龍司, “工学系実験における技能教育の取り組み事例,” 日本 e-Learning 学会会誌, vol.9, pp.136-142, May 2009.

[6] 野口健太郎, 山城信裕, 比嘉 健太郎, 神里志穂子, “工学実験におけるスキルの視覚化に関する検討, ” 電子情報通信学会技術研究報告, ET2011-14, pp.75-79, 2011.

[7] 日本モダプツ協会, “モダプツ法による作業改善テキスト, ” 日本出版サービス, pp.8-11, 2008.