

## ワイヤカット放電加工実習におけるアクティブラーニングと教育効果

中川秀則\*

### Education Effects and Active Learning in Wire-cut EDM Training

NAKAGAWA Hidenori\*

#### Abstract,

Active learning for technical college students in the mechanical engineering department was introduced in the practical course of wire-cut electrical discharge machining, and the educational effect was verified two years later. The subjects of practical training are safety education and improvement of learning motivation.

However, in the conventional educational content, a lot of time was spent to understand the NC program code, and there was little time for students to think independently and implement it. In current production processes where computer-aided technology has developed, the ability to understand and consider the entire machining process is more important than understanding the contents of the NC program.

The improvement of education was achieved through practical training in the form of active learning for the purpose of increasing the time for students to think and act.

Key Words: Active Learning , Wire-cut EDM , Practical Training of Metal Working

#### 1. はじめに

高等専門学校の機械工学科の学生にとって実習教育は低学年から実施される専門教育であり、学生にとって安全意識の向上や専門科目への動機づけに有用である<sup>1)</sup>と杉谷らは報告している。沼津工業高等専門学校（以下、本校）の機械工作実習のテーマの一つであるワイヤカット放電加工の実習方法について大幅な変更を行った。NC（数値制御）工作機械の一つであるワイヤカット放電加工機は、他のNC工作機械同様、プログラムを作成したのちプログラムの運転で加工を行う。従来の実習では、このプログラムのコードを教える形式で進み、最後に完成したプログラムで加工を行う流れで行われていた。学生にとって実習時間の多くはコードの説明を理解し、図面を読み取りながら工具などの軌跡を座標で表すことに費やされていた。一方近年、実社会の現場では機械に備わっている機能を含めたCAD/CAMシステムによりプログラムを作成する<sup>2)</sup>ことが多く、図面を読み解き複雑な座標を手入力でプログラムする能力より、加工の流れや機械操作を理解することが重要となってきた。今回の変更では、学生が機械に何をさせたいのかを考える時

間を増やすことを試みた。すなわち受動的な実習ではなく、学生が主体的に活動する（アクティブラーニング）要素<sup>3)</sup>を取り入れた。また実習終了後2年間の知識の定着度合を調べるため、簡単な試験を実施した。

#### 2. 従来からの変更点とアクティブラーニングの取り組み

今回取り組みを行った授業は、本校機械工学科2年次におけるワイヤカット放電加工機に初めて触れる学生に行った実習である。

ワイヤカット放電加工の実習において学生に教えたポイントは以下の5つとした。

1. XY座標指示による溶融切断加工である
2. 加工条件、加工回数および噴流について
3. 加工精度について
4. はめあいについて
5. 断線について

これらに加えて、加工段取りとして人が作業する部分とプログラムにより機械に作業させる部分、その両方どちらでも可能な部分との理解が必要となる。

本校ワイヤカットではUV軸を有しており、XY座標

\* 技術室 Technical Support Division

面に対してワイヤを垂直に維持することなく加工を行うことが可能であるが、プログラムの複雑さなど初心者が学習するには難しいことと、実習時間との兼ね合いで、XY 座標指示のみで実習を行うこととした。また Z 軸に関しても、概ね職員が操作設定をした。

実習時間は機械工学科では 150 分が 2 週となっており、1 週ごとにレポートの提出を課している。従来行っていた実習と変更した実習の比較として時間経過と主な内容を表 1 に示す。

従来では 1 つの加工プログラムの説明に 1 週分の時間を要し、実際に加工を行うのは 2 週目からであった。これは使用コードの説明として絶対（相対）座標入力、座標系、断線復帰、水浴（噴流）加工、座標設定、加工条件、補正について、動き方（直線・円弧）およびプログラム終了と多くの説明が必要であるためであった。2 週目は実際の加工を行うため、材料取付け、スタート穴へ移動するための材料計測（座標設定）、スタート穴位置決め、シミュレーションおよび加工スタートといった一連の流れを学生に教えながら行った。加工中は年度により課題に違いはあるものの、はまる物として自由製作課題を行うことが多かった。

変更後は、まずお手本として加工 1 を実際に行い、そののち同様の加工を再現させる課題とした。学生は再現するために必要なことを班内討議 1 で話し合うこととした。また加工 1 の形状は円弧を含まない直線のみで図形とし、対辺を測定できるような 3 組の互いに平行な辺を持つ六角形（図 1）とした。学生の話し合いにより出た疑問や質問に答える形で、聞かれた項目のみ回答および解説を行った。これにより絶対（相対）座標入力、座標系、断線復帰、水浴（噴流）加工および円弧の加工の説明は質疑の対象とならない場合、割愛した。班内討議の質疑応答だけでは加工がうまくいかず断線がおきる班が多数である。失敗に対して学生が気付かなかったことのみで解説を行った。また加工手順も学生が考えて行っているため段取りの説明もある程度は省略できた。加工がスタートすることが出来た場合、その待ち時間を利用して円弧に関するプログラムを解説することで時間の有効利用を図った。

加工後の測定（加工 1）において製作物をマイクロメータで測定し、予定の寸法にならなかった場合は班内討議 2 としてその理由を検討した。様々な問題を解決し、図面に示された形状を正しく加工できるプログラム（加工 2）が製作できたところで 1 週目を終了とした。

2 週目は 1 週目の復習として加工 2 のプログラムを運転した。そののち加工 2 と加工 3 が嵌め合うよう（図 2）

製作することを課題とした。また加工 3 は仕上げ回数を 3 回とした。加工回数が増えることに関し今までとは違うこと、どのように加工を進めていくかを班内討議 3 として検討した。また仕上げ回数の違いによる表面粗さの違いとして加工後その表面粗さを測定した。

実際に嵌め合うか確認し、はまらなかった場合はその理由を班内討議 4 として考察した。

アクティブラーニングの要素として極力班内討議で授業を進めることを意識し、問題点など自分たちの話し合いで可能性を模索させた。

そのため必ずしも表 1 のスケジュール通り進まないグループもあった。

### 3. 変更後における学生の反応

#### 3. 1 班内討論 1

加工 1 を直線のみにしたことにより図面とプログラムの理解が容易となった。班内討議は想定より活発に行われている印象を受けた。お手本を見ているとはいえ、すべてを学生で考えて行うためグループごとで違う加工手

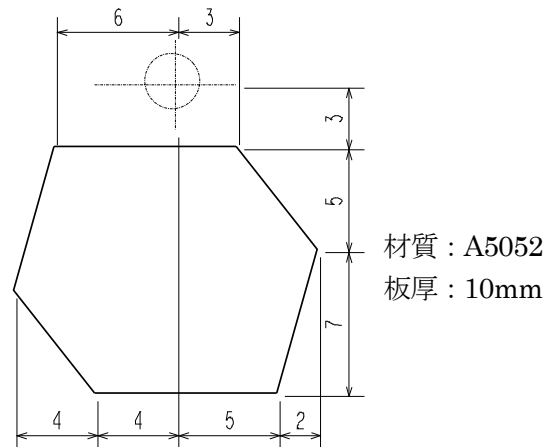


図 1. 3 組の互いに平行な辺を持つ六角形（加工 1）

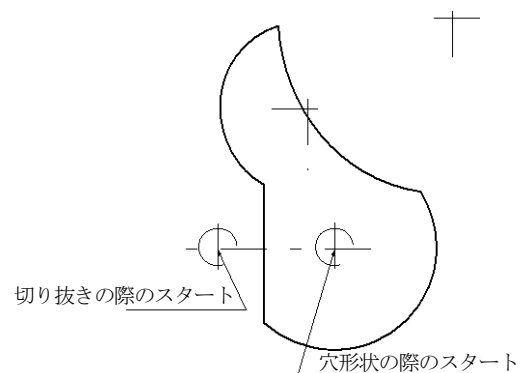


図 2. 円弧を含む嵌め合わせの形状（加工 2、3）

表 1. 従来と変更した実習内容の比較

経過(分)	1 週目	
	従来	変更後
0		
	概要説明	概要説明
20		お手本指南(加工 1)
	使用コード(プログラム)説明 (準備部・動き・補正・加工条件など)	班内討議 1
40		
60		質疑応答
80		加工段取り～加工スタート
	学生によるプログラム作成演習	不具合修正指南
100		
		リスタート
	プログラム入力	円弧プログラム(加工 2)説明
120		加工後測定(加工 1)
	エラーチェック	班内討議 2
140		補正の追加
	保存・まとめ	プログラム入力
150		
	2 週目	
	従来	変更後
0		
	加工段取り	作成済プログラムの加工段取り
20		
	前週の加工スタート	加工スタート
40		はまるものの加工 3 説明
	追加説明 (切り残し部・はまる物の作成)	班内討議 3
60		
80		質疑応答・プログラム作成
	学生によるプログラム作成演習	加工 3 段取り、スタート
100		
		一般的加工手順まとめ 表面粗さについて
120		加工 3、加工 1 表面粗さ測定比較
	加工段取り 加工スタート	班内討議 4
140		
	まとめ	まとめ
150		

順やプログラムとなった。3 年間 (18 班) 行った結果、加工 1 が断線せずスタートできた班は 2 班だけであった。

断線の原因は高圧噴流の未実施と加工条件を設定してないものである。3 班を除く 15 班が高圧噴流を出すことに気付かなかった。これは予め教授していないため想定通りであった。また 8 班は加工条件が必要なことに気付かなかった。

### 3. 2 班内討論 2

ワイヤカット放電加工において XY 座標指示はワイヤの中心であるためワイヤの半径および溶融量を考慮して加工する必要がある。考慮して加工しなかった場合は予定のサイズより小さくなる。

ここに気付かずに加工を行った場合は班内討議 2 を行った。18 班中 10 班が気付かなかった。また半径については考慮できたが溶融量まで考慮できなかった班が 4 班あった。

2 年目のクラスは横のつながりがあり、事前に受講済の班から情報の共有があったと聞いている。事前に考慮できた班については補正をかけることを教えたため表中の質疑応答に多くの時間を要した。

### 3. 3 班内討論 3

加工 2 の課題は切断物が製品であるため、3 回仕上げを行う際は切り残し部を設定する必要がある。その際、切断経路をどのように設定するかも協議する必要がある。また加工条件、補正量、高圧噴流など回数によって変更する必要があることに気付くことが出来るかも試される。

切り残しを設定せず切り落としてしまった班は 1 班あった。また加工条件を変更しない、補正量を変更しない、補正量変更気付いてもプログラムのやり方を間違えて思った通りに補正をかけられていない班も多くあった。

### 3. 4 班内討論 4

180° 未満の角部の加工においてワイヤ断面が円形であることから削り残しが生じることに気付くことができ、その対策を行うことで嵌めることが可能となる。

これに気づき、実際に嵌った班は 1 班だけであった。

討論 2 および討論 4 に関しては明確な解答が存在するため、解答に辿り着けない学生や誤答に対しては正解に辿り着けるよう導いた。

また、討論により加工を進めていく討論 1 や討論 3 は極力学生に任せ、失敗を許容したが、機械が壊れる恐れがある場合や、シミュレーションを忘れている場合など、作業を中止させ解説を行った。

## 4. 知識の定着調査

ワイヤカット放電加工における知識がどの程度定着しているか調べるため、表 2 の試験を実施した。本実習は機械工学科 2 年生 (M2) 後期に実施しているため、その 1 年後の 3 年生 (M3) 後期および 2 年後の 4 年生 (M4) 後期に同じ試験を行った。

4 年生後期実施後にはじめて模範解答の掲示を行った。平成 28 年度の 3・4 年生から今年度まで行った試験の各設問の正解率を図 3 に示す。

平成 28 年度 2 年生から本改良を行ったため、平成 29 年度 3 年生および平成 30 年度 3・4 年生が改良実習後の試験結果となる。

## 5. 結果

### 5. 1 アクティブラーニングを行うことによる指導者観点の考察

受講学生は実習終了後、レポートの作成提出が必要となる。各班、同じ工程で作業が行われなため、レポートの複製防止に非常に有効である。同じ内容で授業を行っても他の班とは違う作業手順や失敗となるため、自分たちが受講した内容をしっかりと復習しなければならず、レポート作成の効果の一つである振り返りが確実に行われる点は良いと考える。

実際の班別討議をみていると、班で一つの作業 (加工) が行われるため、積極的に作業する学生が 1 人 (リーダー) 存在すれば、そのリーダーに従ってあまり考えず進める班もあった。結果リーダーはいろいろ考え失敗を糧にできるが、リーダーに従ったものは報告書を見る限り理解が進んだとは言えない学生もいた。

学生は発展途上の段階であり、質問の方法も難しい様子も見られた。例えば「加工する際のスピードはどのように設定しますか?」と質問された場合について論じる。ワイヤカットにおいて加工スピードは加工条件を設定すれば、自動で設定される。前段階で加工条件を設定している班には「放電加工なので加工条件に従って自動でスピードを調整してくれるよ」と解答すればよいが、加工条件そのものに気付いてない班にはどのように回答するかは教員の裁量となる。そこで回答としては大きく以下の 2 パターンとなる。

1. 加工条件を設定しなければいけない
2. 加工のプログラムなら自動で運転できる

職員から学生に質疑応答して、学生が何を聞いたか見極めたうえで上記のどちらのパターンの回答をするか選択する必要がある。

一例ではあるが職員の学生とのコミュニケーション能

表2. ワイヤカット知識定着度試験（問題と解答例）

<p>ワイヤカット理解度確認テスト</p> <p>&lt;○×回答&gt;</p> <p>・[設問 1] ダイ形状は穴が製品となる [ ○ ] ・パンチ形状は穴が製品となる [ × ]</p> <p>&lt;多肢選択（該当に○）&gt;</p> <p>・[設問 2] 加工条件は何によって決定するか、2つ選べ</p> <p>材質 切削速度 切り込み量 主軸回転数 材料の大きさ 材料の板厚 温度 湿度</p> <p>・[設問 3] 加工回数（2ndcut,3rdcut…）が増えると増えるもの（大きくなる）をすべて選べ</p> <p>ワイヤ消費量 加工時間 材料 表面粗さ プログラム 放電量 水位 座標系</p> <p>&lt;並べ替え&gt;</p> <p>・[設問 4] ワイヤカットにおいて加工を行う際、一般的な工程を並べよ</p> <p>A.スタート位置決め B.ワークを測定し加工座標の設定 C.プログラム作成 D.描画確認</p> <p>E.ドライラン F.ワイヤ垂直だし G.ワークの取り付け H.プログラム運転</p> <p>[ G → F → C → D → B → A → E → H ]（一解答例）</p> <p>&lt;穴埋め&gt;</p> <p>・[設問 5~7] 補正について</p> <p>ワイヤカットで座標を指定した場合、それはワイヤの [a. 中心 ] を指定している。例えば 10 mmの正方形を切り出したい場合、x0y0→x10.→y10.→x0→y0 と動いて切断すると、10mm 正方にはならない。これは [a.] を指定しているためワイヤの [b.半 ] 径分多く溶かしていることになる。加えて放電で溶けている量（放電ギャップ）があるため、なおさら予定の形状にはならない。そこで正しい製品を得るため [b.] 径+放電ギャップをオフセットさせる必要がある。これを [ プログラム ] によって指定することを補正という。</p> <p>&lt;一般回答&gt;</p> <p>・[設問 8] G92 について</p> <p>G92 とは座標の設定コードである。例えば G92X10.Y-10.とすると現在のワイヤのある場所を X=10.0Y=-10.0と設定される。では、プログラムの冒頭で G92 座標を指定した場合、その加工における何の位置を設定したことになるか答えよ？</p> <p>[ スタート位置 ]</p> <p>・ワイヤカットで右図の加工を行いたい。</p> <p>2ndCut まで行うこととし、1stCut は矢印線の軌跡とする。</p> <p>[設問 9] ①プログラムの作成に際して加工者が最初に設定しなければならないものは何か答えよ。 [ 加工条件 ]</p> <p>[設問 10] ②1stCut（矢印線）の補正方向は進行方向右側か左側か答えよ。</p> <p>[ 右 ・ 左 ]</p> <p>[設問 11] ③この加工の場合 1stCut は③の位置まで加工してはならない。理由を述べよ。</p> <p>[ 切り離されて 2ndCutが行えないため ]</p> <p>[設問 12] ④1stCut から 2ndcut に移る場合、必ず変更しなければならないものを以下からすべて選べ。</p> <p>補正方向 絶対座標と相対座標 座標系 加工条件 噴流の高圧低圧 スタート位置</p> <p>ワイヤの材質 切削速度 補正量 水浴と噴流</p>		
---	--	--

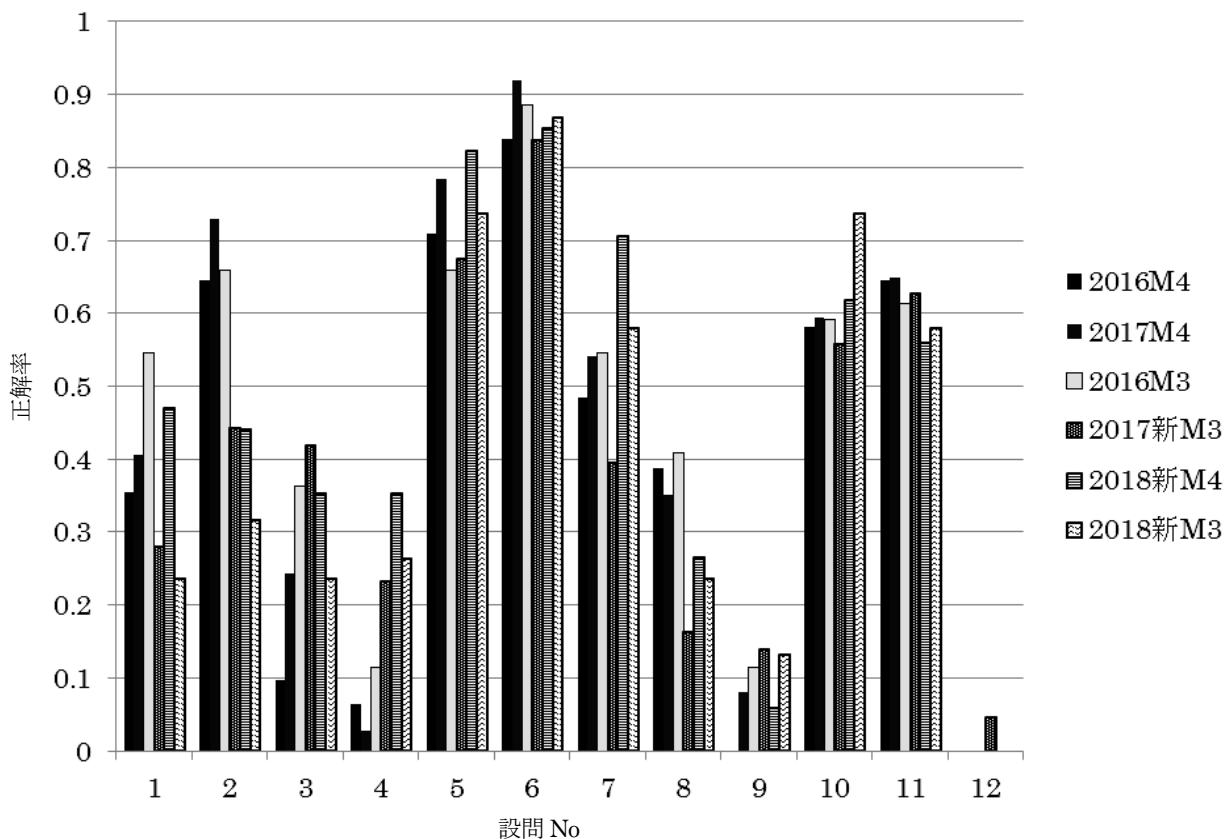


図3. ワイヤカット知識定着度試験結果

力や臨機応変な対応力が必要となる。

我々職員も知らなかった機能を知る機会があった。学生は現状思いつくことしかプログラムしないため、職員が教え込む受動型の授業では生まれないプログラムも多く作成された。その中で、例えば G29 という断線復帰コードを入力した場合、その直前の動きでプログラム上補正キャンセルを行わなくとも自動的に補正はキャンセルされた。この様な新しい発見も得られたことは非常に良かった点と言える。

#### 5. 2 定着調査試験の結果から

改良前と改良後とで試験結果に違いが現れたのは設問 2, 4, 8 である。設問 2, 8 は改良前、設問 4 は改良後においてそれぞれ正解率が上がった。

設問 2 の加工条件が決まる要件はアクティブラーニングの場合、学生は加工条件が必要だと気づくことに意識が向き、決定要素まで踏み込んで考えていない。加工条件が必要なことに気付けば加工機のタッチパネルで簡単に入力できてしまったため、知識が定着しなかった原因と考えられる。設問 8 は G92 の利用方法を問う問題である。アクティブラーニングの場合、自分たちの方法で座標設定し加工できた経験から、スタート位置でわざわざ座標の書き換えを行わなかった班が多かったことから、この結果となった。

設問 4 はワイヤカットにおける作業手順である。アクティブラーニングの場合は毎回すべてを自分たちで準備して行うため各工程の意味をしっかりと理解できており正解率が上がった。

他の設問においては改良前と改良後とで大きな差はない。酒井らの教育効果に関する実証研究<sup>4)</sup>にあるとおり、試験の結果という判定基準では教育効果に差異は生じないということが裏付けされた。

2016M3 と 2017M4 および 2017M3 と 2018M4 は、同一クラスである。時間経過による知識の定着の変化に着目する。ワイヤカット放電加工は M3 クラスで一部の学生が利用した後は学生が触れることはない。一般的に時間経過に伴い、記憶が薄れ、試験の正解率は下がると推測される。しかし一部の設問では逆に正解率が上がっている。特に補正に関する設問 5~7 は両クラスとも正解率が上がる傾向にあった。

これは学年が上がるにつれて、機械工作法などの座学を含め様々な経験をすることで、ものづくりの根本的概念が身に付きつつあるのではないかと考えられる。また、図 4 に両クラスの正解数に対する学生数割合のヒストグラムを示す。学年が上がると正解数の少ない学生は居なくなりヒストグラムは中央寄りに推移している。このことからワイヤカットに関する詳細な記憶は薄れても、

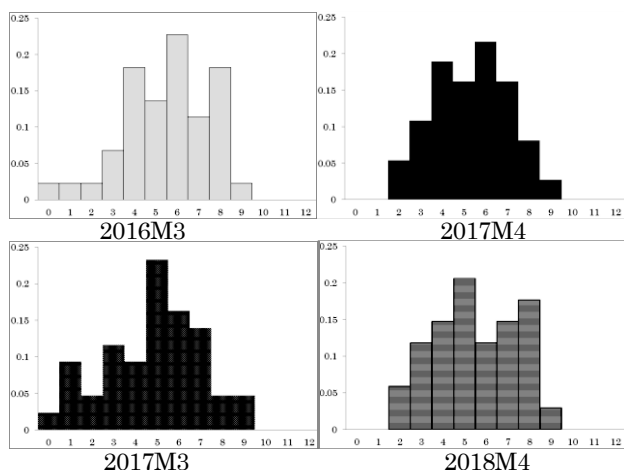


図 4. 各クラスの正解数ヒストグラム  
(横軸：正解数、縦軸：学生数割合)

一般的知識の定着が見て取れる。

## 6. おわりに

本校におけるワイヤカット放電加工実習においてアクティブラーニングを導入して授業を行い、その後2年間にわたって知識の定着度合を調査した結果、以下のことが判明した。

- ・アクティブラーニングを用いたワイヤカット放電加工の実習に変更したことで、学生は加工工程や準備といった流れを身につけることが出来た。
- ・プログラムなど加工の流れ以外の内容については、変更前と学生の能力向上に変化はない。
- ・学生が提出する報告書の複製不正防止の一助となる。
- ・班内の一部の学生は、引っ張る学生についていだけでアクティブに学習をしているとは言い難い。
- ・職員側も知らなかった新たな機能の発見につながる。
- ・学生は学年が上がるにつれて一般的な機械加工に関する知識が身につけている。
- ・実習において時間をかけた部分は、理解が進む傾向が見て取れる。

### 参考文献

- [1] 杉谷洋一, 谷本明逸, 足立俊幸, 小口英樹, 岸悠, 川添久美, 山内義一, 山口顕司: 高専機械工学科における実習授業の役割とその教育効果, 工学教育, 41-47, 2003
- [2] 宮下良平, 長坂保美: 教育用 CAD/CAM 教材の開発, 公開研究会・講演会技術と社会の関連を巡って: 技術史から経営戦略まで: 講演論文集 2017, pp232
- [3] 大崎理乃, 三浦政司, 村上健介, 田中玄洋, 大澤克

幸: 汎用的能力育成のためのものづくり型フレームワークの開発, 工学教育, 63-3, pp55-60, 2015

[4] 酒井 麻衣子, 奥山 雅之, 梅澤 佳子: アクティブ・ラーニングの学習プロセスにおける教育効果に関する実証研究, 経営・情報研究 多摩大学研究紀要, pp193-196, 2017