

PBLによる工作実験の新しい試み — テーマの選定とテキストの検討 —

山中 昇・立山 義浩

New Approach of Experiment for Manufacturing By Using PBL
- Theme Selection and Text Investigation -

Noboru YAMANAKA and Yoshihiro TACHIYAMA

(平成18年9月11日受理)

あらまし 近年工学教育でも注目を浴びている問題設定解決型学習(PBL)は従来の授業形態(LBL)と対比して用いられることが多い創造力育成の一つの手法である。PBLを取り入れた教育ではLBLと比べて学生が楽しんで授業に参加するなどの教育効果が期待できる。本報告では著者が担当している機械工学科の実験においてPBLを実施することを念頭に置いて、PBLを実施するのに適当なテーマの選定及びそのテキスト概要などについて検討した。そして、3年生、4年生の実験の中では3年生の基礎実験が適切であると考えられ、切削抵抗の測定の実験テーマのテキストを検討した。その結果、実験条件の範囲を広げて実験し、エクセルでそのデータをグラフ化し、近似式を求めるなどを工夫することでPBLを実施できることが分かった。この内容でテキストを作成し、今後は実際に実験で検証する予定である。

キーワード [工学教育、問題設定解決型学習、PBL、工学実験、切削抵抗、累乗近似]

1 はじめに

創造力育成の必要性・重要性が叫ばれて久しい。創造力育成の一つの手法としてPBLが近年注目を浴びている。ここで、PにはProblem、Project、Product、Process、Peopleが含まれており¹⁾、BはBased、LはLearningである。また、PBLは、例えば、タイ国アジア工科大学のSuebnuakarnらが、“A Bayesian approach to generating tutorial hints in a collaborative medical problem-based learning system”と記している²⁾ようにProblem-Based Learningという形で従来の授業形態(Conventional-Based Learning、あるいはLecture-Based Learning(LBL))と対比して用いられることが多いようである。従って、ここでは、PBLを問題設定解決型学習として扱う。以上のことからLBLは教える教育、PBLは考えさせる教育ととらえることができ、どこで考えさせ、どのように取り組ませるか

を指導者側が準備しておく必要がある。また、PBLを取り入れた教育で効果が必ず上がると示すはつきりとした証拠はない³⁾とするものの、LBLと比べて学生が楽しんで授業を受けるとの報告⁴⁾などがあり、この手法を試す価値は充分にあると思われる。PBL教育は1960年代半ばにカナダMcMaster大学医学部で始められた⁵⁾。PBLに関する論文ではその多くが実験や臨床などの科目に対しての報告である⁶⁾。

さて、本校機械工学科における創造教育的科目としては設計製図、創造設計、工学実験や卒業研究などを挙げることができ、これらの科目を充実することが本校が理念として掲げている創造型技術者を育成するために重要であると考えられる。また、大がかりな取り組み⁶⁾ではなく個人で実施できることを前提にすると、著者の担当している科目の中でPBLを実施してその効果を期待できるものとして、工学実験や卒業研究があるが、本報告では、機械工学科3年生で実施する基礎

実験において実施することを念頭に置き検討する。基礎実験は、工作実習の後半1/3で平成13年度まで実施されていた総合実習を変更したものである。総合実習は創造力や応用力のみならず、協調性や責任感の育成にも大きな効果が期待できる⁷⁻¹⁰⁾とされている科目であるが、本校では諸般の事情から総合実習を行っていた時間に実験を行うこととなった。4年時に実施していた時の実験の所要時間は4時間であったが、基礎実験は3時間で実施するため変更された際に内容を削減せざるを得なかった。これらのことを考慮するなら基礎実験をより充実することが望まれよう。

以上のことから著者の担当する基礎実験をよりよくすべく、実施している基礎実験テーマの中でPBLを実施するのに適当なテーマの選定及びそのテキストについて検討した。本報告ではその概要について述べる。

2 テーマの選定

どのテーマをPBLに選定するかを検討するに当たり、まず、著者の担当する工作実験のテーマとその概要を説明する。表1に実験のテーマとその概要などの一覧を示す。機械工学科の学生実験は、1クラスを4人の教員が担当し、4班に分けて実施している。従って、1班の人数は約10人で1週間毎にテーマを替えて、ロー

ーションで実施する。表1に示すように多くの実験が実験条件を様々に変化させ、例えば切削抵抗などの測定値を求め、これらに関数で表現して現象を理解するものである。これまで改善した実験内容を略記する。3学年の切削抵抗の測定では、電磁オシログラフによるデータのアナログ表示からパソコンなどを用いて計測値をデジタル表示にする内容にした。切削と表面粗さでは、粗さ計を最新の装置に切り替えた。4学年の変形抵抗の測定と押し出し実験では、昨年度ADコンバータ、パソコンを最新のものに変更する改善を行った。また、専攻科特別実験には有限要素解析プログラムを導入している。なお、改善に要した機器等購入予算には経常的経費の他に財団支援経費や校長裁量経費などを充てた。

実験で使用する主な関数の例を表2に示す。本科の実験で用いる関数について説明する。3学年の切削抵抗の測定では累乗関数により切削抵抗と切削条件を関数表示し、定数、指数を求めることを課題としている。切削と表面粗さでは、送りと仕上げ面粗さより2乗関数の定数を求める。4学年の変形抵抗の測定では、3学年の切削抵抗の測定と同様に累乗関数の定数、指数を求める。そして、押し出し実験では変形抵抗の測定で求めた関数を利用して押し出し力の理論的見積を行う。以上のように機械工作に限らず、機械工学などでの多くの現象は、線形的な関係ばかりではなく、累乗

表1 著者の担当する実験のテーマ

クラス	科目名	実験テーマ名	実験概要(目的など)
本科3学年	基礎実験	1. 切削抵抗の測定	旋盤による鋼材の外丸削りを種々の条件で行い、切削抵抗の測定原理・技術を習得し、切削条件と切削抵抗との関係を理解する
		2. 切削と表面粗さ	旋盤による鋼材の外丸削りを種々の条件で行い、表面粗さの測定技術を習得し、切削条件と仕上げ面粗さとの関係を理解する
本科4学年	工学実験	1. 変形抵抗の測定	純アルミニウム円柱試験片の圧縮試験を行い、変形抵抗(真応力-真ひずみ)曲線を求め、ひずみの変形抵抗に及ぼす影響について検討する
		2. 押し出し実験	押し出し実験で荷重を求め、上記実験で求めた変形抵抗を用いた理論的押し出し荷重と比較検討し、解析手法と実験手法を理解する
専攻科2年	特別実験	材料の弾性的、塑性的特性の測定	引張り、圧縮、曲げ共振、四点曲げ試験にて純アルミニウムの各種試験(均質材料の弾性的、塑性的特性を測定及び有限要素法による曲げ解析を行い、測定方法や測定値の検討を通して、均質材料の機械的特性を理解する

表2 各実験で使用する主たる関数の例

クラス	科目名	実験テーマ名	関数の例
本科3学年	基礎実験	切削抵抗の測定	$P_z = C_1 t^x$ t: 切込み f: 送り C ₁ : 定数 x: 切削条件を特徴づける定数
		切削と表面粗さ	$R_{th} = \frac{f^2}{8R} \times 10^3 + C$ R _{th} : 理論仕上げ面粗さ f: 送り R: ノーズ半径 C: 工作機械の剛性などにより決まる定数
本科4学年	工学実験	変形抵抗の測定	$\bar{\sigma} = c \bar{\epsilon}^n$ $\bar{\sigma}$: 真応力 $\bar{\epsilon}$: 真ひずみ n: 加工硬化指数 c: 塑性係数
		押し出し実験	$\bar{\sigma}_m = \frac{1}{\bar{\epsilon}_m} \int_0^{\bar{\epsilon}_m} \sigma d\bar{\epsilon}$ $\bar{\sigma}_m$: 平均相当応力 $\bar{\epsilon}_m$: 平均相当ひずみ
専攻科2年	特別実験	材料の弾性的、塑性的特性の測定	4学年の変形抵抗の測定などと同じ

関数的な変化になる。これらの実験の中でPBLに適用して教育効果の期待できると思われるテーマはその内容から3学年の切削抵抗の測定と4学年の変形抵抗の測定である。変形抵抗の測定では累乗近似曲線の形状が2段階になり判断に迷う要素があることと測定精度の関係からPBLのテーマには切削抵抗の測定の方がより適していると考えられる。

そこで、本報告では3年生の切削抵抗の測定にPBLの適用が可能かどうかを従来の方法と対比してPBLによる実験の方法について検討する。まず、従来の方法で累乗関数の定数、指数を求める方法を平成17年度3年機械工学科の学生が行った1班分の実験データを用いて示す。三次元切削時の抵抗には、主分力、送り分力及び背分力の3分力があるが、旋削では主分力が最も大きく、重要な分力であるので、ここでは主分力について解析する。主分力と切込みの関係を図1に方眼表示する。図1の縦軸は主分力、横軸は切削条件の切込み、◇印は実験データである。図1より主分力と切込みは線形関係にあるようである。図1に示す近似曲線の実線は実験データの線形近似直線で、破線は累乗近似曲線である。図1の近似曲線を見ると線形近似でも累乗近似でも実験データはよく近似されており、これらに差はほとんど見られない。

そこで、近似曲線とデータとの相関関係を求める。エクセルでは相関を決定係数として求めるようになっている。決定係数は相関係数の2乗である。エクセルで求めた近似曲線 P_z と決定係数 R^2 をそのまま以下に示す。

1) 線形近似の場合

$$P_z = 444.44 t + 75.968, \quad R^2 = 0.9971 \quad (1)$$

2) 累乗近似の場合

$$P_z = 534.12 t^{0.7932}, \quad R^2 = 0.9994 \quad (2)$$

式(1)、(2)の決定係数の値が示すように累乗近似の方

がより適正であることが分かる。しかし、これらの決定係数の差は0.0023でそれらの値に差はほとんど無く、このことからやはり線形近似でも累乗近似でも近似できているといえる。従って、この時点では累乗近似が最適とは断定できない。

さて、一般的には主分力と切込みの関係は累乗の関係にあることが示されており¹⁾、従って、学生実験ではデータの近似を累乗近似で行うこととしている。従来は問題設定解決型ではないためにテキストでは始めから両者の関係を累乗関数の次式で近似することを前提に定数 C_1 、指数 x を求めるようにしている。

$$P_z = C_1 t^x \quad (3)$$

最近では学生の中にもパソコンを所有している者も多く、エクセルなどでグラフを描いている。この方法によるとグラフ形式などを簡便に作成できるためどのグラフ形式で表示するのが最適かを容易に判断できる。この点ではPBL適用の環境が整ってきたといえるが、以前は方眼紙や対数方眼紙に測定点を記入して測定データの形状を検討しなければならず、手間がかかっていた。図1を両対数方眼表示すると図2のようになる。図2に示す近似曲線は図1と同様に実線が線形近似曲線で、破線は累乗近似直線である。図2のように累乗曲線は両対数グラフでは直線で近似されるため、従来はこの方法により解析した。累乗近似では全実験値をよく近似していることが分かるが、線形近似では切込みが0.3 mmより小さい方ではずれが大きくなっていることが分かる。つまり、図2より累乗近似式(3)がよりよく当てはまることが理解できる。ここで図2より近似式を求める方法を示す。この手法は従来の実験の手法であり、後述する実験テキストにも記載しているが、昨年度まで授業で採用している方法である。

1) 定数 C_1 の求め方

式(3)の両辺の対数をとると式(3)は、

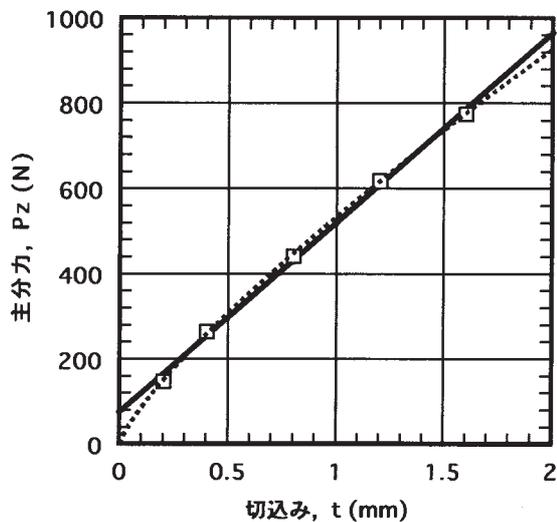


図1 主分力と切込みの方眼表示

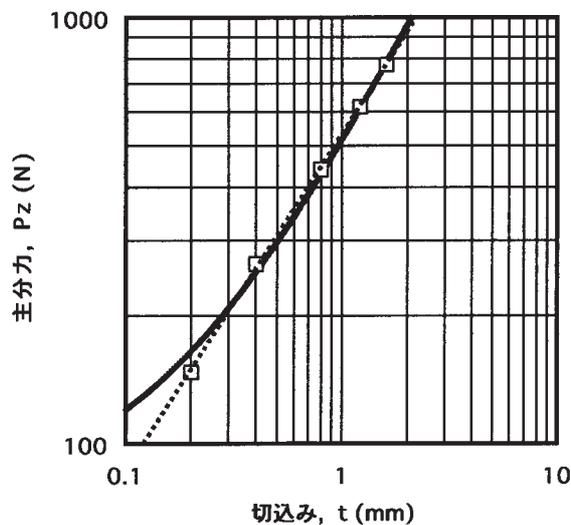


図2 主分力と切込みの対数方眼表示

$$\begin{aligned} \log P_z &= \log C_1 t^x \\ &= \log C_1 + \log t^x \\ &= \log C_1 + x \log t \end{aligned} \tag{4}$$

ここで、送り $f=1.0$ を代入し、式(4)を変形する。

$$\begin{aligned} \log P_z &= \log C_1 + x \log t = \log C_1 \\ \therefore C_1 &= P_z \end{aligned} \tag{5}$$

すなわち、 $t=1.0$ の時の P_z の値が定数 C_1 の値になり、図2の近似直線の $t=1.0$ の時の P_z のグラフの読み取り値から求める。

2) 指数 x の求め方

図2の近似直線上に点、 $A(t_A, P_{zA})$ 、 $B(t_B, P_{zB})$ をとる。A点について、式(4)は、

$$\log P_{zA} = \log C_1 + x \log t_A \tag{6}$$

B点について式(4)は、

$$\log P_{zB} = \log C_1 + x \log t_B \tag{7}$$

となり、式(6)－式(7)とすると、

$$\log P_{zA} - \log P_{zB} = x (\log t_A - \log t_B)$$

よって、

$$\begin{aligned} \log(P_{zA}/P_{zB}) &= x \log(t_A/t_B) \\ \therefore x &= \log(P_{zA}/P_{zB}) / \log(t_A/t_B) \end{aligned} \tag{8}$$

式(8)にA点、B点の P_z 、 t の値をそれぞれ代入して指数 x の値を求める。

ここで、表3に平成16年度と平成17年度の全実験データから得られた線形近似と累乗近似の曲線 y と決定係数 R^2 をエクセルで求めたそのままの値を示す。表3で条件種類は切込み、送りを変えたときの結果をそれぞれ表記している。また、切削面積は切込みと送りの積である。両年度に用いた試験片はS45Cで同じであるが、試験片は直径 $\phi 37.4-55.0$ mmのもので異なる。両年度の切込み、送り及び切削面積に関する結果を見ると試験片直径の差はあるもののそれぞれ同じような近似式となっている。なお、従来のテキストでは、累乗近似式の指数についてその大きさは送り、切削面積、切込みの順で大きくなることを示している。表3の結果でもこのことが確認できた。また、表3の線形

近似と累乗近似の決定係数を比べるとやはり累乗近似の決定係数の方が1.0により近く、累乗近似の方が線形近似よりも適当であることが分かる。以上のように累乗近似にあてはめることを前提にして解析する場合は従来の実験条件でも累乗近似式を求めることができた。しかし、図1の考察でも述べたように従来の実験条件では線形近似と累乗近似であまり差がないので、近似式が与えられない場合にどのようにして近似式を求めるか、条件などを含めて議論することが必要である。そこで、この実験をPBLとして取り扱うために実験条件などを含めてテキストを検討する。

3 PBLテキストの検討

3.1 実験値の累乗近似の妥当性

実験値を累乗近似する場合の妥当性について、前述の切削抵抗と切込みの関係式で検討する。平成16年度と平成17年度のデータから累乗関数の指数と定数の平均を求め、式(3)の関数で表示すると、

$$P_z = 551.47 t^{0.7957} \tag{9}$$

今、定数 C_1 を551.47、パラメータを指数 x として0-1.0について0.2毎に値を求め、グラフにすると図3となる。最適近似式がPBLでは不明であるので近似する過程で間違っ線形近似する場合が考えられる。そこで、図2から明らかのように切込みが0に近い場合に線形近似曲線は累乗近似曲線から大きく外れることを考慮して0.01の値をデータに加えた場合も計算した。このときの決定係数を指数 x が0.2-0.8について原点近傍の0.01の値を含まない場合とそれを含む場合についてそれぞれ求め、表4に併せ示す。累積近似での決定係数は当然1.0である。表4の線形近似で原点近傍の値を含む場合と含まない場合の両方で指数 x が小さいほど決定係数は小さくなり、原点近傍の値を含む場合の方がより小さくなる。線形近似の場合の決定係数が小さい方が累乗近似に到達しやすいが、本実

表3 平成16年度と平成17年度の各年度全実験データから得られた線形近似と累乗近似の近似曲線と決定係数

実験年度	近似方法 条件種類	線形近似		累乗近似	
		近似式	決定係数 (R ²)	近似式	決定係数 (R ²)
平成16年度	切込み	$y = 492.46x + 79.069$	0.9827	$y = 569.96x^{0.8008}$	0.9977
	送り	$y = 1687.6x + 130.66$	0.9959	$y = 1523.2x^{0.7228}$	0.9987
	切削面積	$y = 1873.5x + 92.785$	0.9903	$y = 1680.3x^{0.7818}$	0.9947
平成17年度	切込み	$y = 441.6x + 77.373$	0.9965	$y = 532.98x^{0.7805}$	0.9992
	送り	$y = 1600.4x + 116.51$	0.9949	$y = 1422.5x^{0.723}$	0.9957
	切削面積	$y = 1708x + 92.445$	0.9925	$y = 1532.4x^{0.7888}$	0.996

表4 累乗関数データを線形近似した場合の決定係数

近似方法 指数	決定係数 (R ²)		
	線形近似		累乗近似
	原点近傍の値を含まない場合	原点近傍の値を含む場合	
0.2	0.949	0.683	1.0
0.4	0.972	0.854	1.0
0.6	0.988	0.954	1.0
0.8	0.997	0.991	1.0

験の場合は指数 x が約0.8であることを考慮すると前述のように従来の実験でのデータ範囲では線形近似と累乗近似に差はほとんど見られない。そこで、その差をより大きくする方法として実験する条件の範囲を広げること検討した。

3.2 PBLテキストの検討

前節の結果を考慮して、PBLテキストの内容を検討する。従来の実験テキスト¹²⁾と今回提案するPBL実験テキストでの問題の取り組み方についてまとめたものを表6に示す。従来の実験ではデータは取るもののテキストの手順に従って与えられた式の定数と指数を求める。一方、PBLではデータ取りは従来の方法と同じであるが、データの処理のところグラフや式とデータの適合性などを自ら調べて最適と思われる式とその定数求める。

以下に従来の実験テキスト¹²⁾と今回提案するPBL実験テキストとを併記し、併せて変更内容を表5(a)～(b)に分けて示す。PBLテキストに変更することで大きく変更した内容についてはテキスト案の画像を示し、それ以外については内容を記載した。この表で各セルの名称は、例えば、従来の実験テキストの目的のところは表5(a)・1(a)、PBL実験テキストの場合は表5(a)・1(b)、両者の変更点の内容は表5(a)・1(c)のように表記する。以下に検討した内容を箇条書きに示す。

- 1) 表5(a)・1(c)に示すようにPBLテキストの目的には関係式を求めることを入れた。また、切削抵抗についての説明は同じ。
- 2) 表5(a)・2(c)に示すように主分力と切込み、送りなどの切削条件の関係をPBLの対象とし、問題解決型とするためにPBLテキストでは削除する。
- 3) 切削抵抗に及ぼす他の要素についてはPBL対象外のため表5(a)・3(c)に示すようにほぼ同じ内容とする。
- 4) 用いる装置など計測方法は表5(b)・4(c)に示すように同じであるのでそのまま変更しない。
- 5) 従来の方法では表5(a)・5(c)に示すように切込み、送りの条件に切削速度を変える実験も行っていたが、PBLに時間を割くために切削速度の条件を削除する。また、実験条件の見直しを行い、従来のテキ

ストでは切込みが0.2～1.6 mmの範囲であったものをPBLテキストでは0.1～2.2 mmの範囲に広げた。送りは従来のテキストでは0.1～0.35 mm/revであったものを0.1～1.2 mm/revの範囲に広げた。この結果、切削面積も0.025～1.2 mm²の範囲に広がった。平成16、17年度の実験データをPBLテキストの実験範囲で累乗近似し、推測した切削抵抗を測定値として表3と同様に近似式と決定係数を求める。その結果を表6に示す。表6のように当然であるが累乗近似の決定係数は1となる。また、表3と表6の線形近似の決定係数を比較すると送りではPBLテキストの条件の方が小さくなっており、累乗近似の妥当性を高められる結果になっている。なお、切込みと切削面積については、平成16年度と平成17年度の中間にあり、本解析が両年度のデータの平均値を用いているためと考えられるが、実験での検討が必要である。

- 6) 実験方法は表5(a)・6(c)に示すように同じであるので、そのまま変更しない。
- 7) 従来は切削動力較正図より係数を求めていたが、最近の装置ではこの手法は必要ないので、PBLでは係数を与えて、ひずみの測定値から各分力を求めるこ

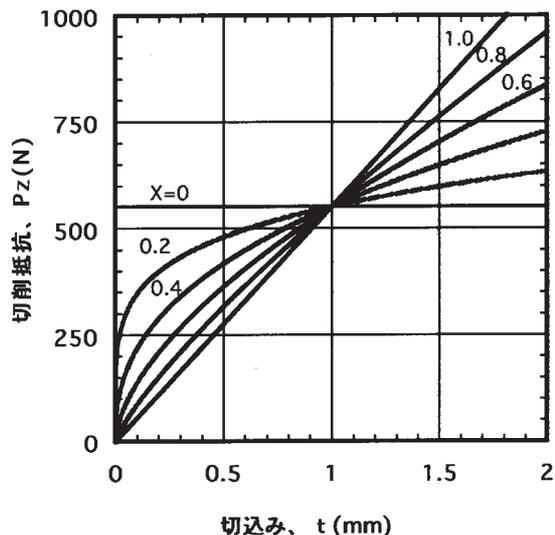


図3 定数 C_1 一定で指数 x を変化させた時の切削抵抗と切込みの関係

表6 従来の実験テキスト¹²⁾と今回提案するPBL実験テキストでの問題の取り組み方

	従来の実験テキスト	PBL実験テキスト
課題	与えられた式の定数、指数を求める	実験で得られたデータがどのような関係になっているかその関係式を求める
解決方法	実験条件を変えて、データを取り、与えられた式に代入して、式の定数、指数を求める	実験条件を変えて、データを取り、そのデータをグラフ表示して関係を導き出し、その式の定数、指数を求める
実施内容	方眼紙及び対数方眼紙にデータを記入し、テキストに記載された方法に従い実施する	データをエクセルのシートに記入し、どのグラフによく当てはまるかを見つけ出す

ととする。

- 8) 表5(b)・8(c)に示すように従来のこの部分をPBLの対象にしたため、試行錯誤の手順とヒント¹³⁾を記す。切削抵抗の関係式を求める内容が問題設定とその解決方法を検討する学習であり、学生に主体的に動いてもらうところである。描くグラフとしては「散布図」にたどり着くことを期待する。また、近似の手法は「累乗近似」にたどり着くことを期待する。さらに、最適な近似曲線を定量的に判断する尺度として「R-2乗値」にたどり着き、その意味を理解することを期待する。
- 9) 表5(c)・9(c)に示すようにグラフに関する考察は同じであるのでそのまま変更しない。得られた関係式が過去に行われた実験結果と定性的に同じ結果(累乗関数)となっているか文献¹⁴⁾を調べる内容を追加する。これによって学生自身が導き出した式が妥当であったかを調べることができる。なお、PBLに変更した効果などは、実験レポートの最後に感想を記入するようにしており、この感想のところで得られるであろう。
- 10) 表5(a)・7(c)に示すように従来のテキストの切削

動力較正図は表5(c)・10(c)に示すように使用しないので削除する。また、同様に主分力と送りの両対数グラフは試行錯誤の過程で学生自ら探し出すために削除する。

5 むすび

著者の担当する実験の中でPBLを実施するのに適当なテーマの選定及びそのテキスト概要などを検討した。3年生、4年生の実験の中では3年生の基礎実験が適切であると考えられ、切削抵抗の測定の実験テーマを念頭に置いてテキストを検討した。その結果、実験条件の範囲を広げて実験し、エクセルでそのデータをグラフ化し、近似式を求めるなどを工夫することでPBLを実施できることが分かった。本報告をまとめるに当たり、これまで行ってきた実験の内容を精査するよい機会となった。従来の方法では、テキストで予想した実験結果のまとめ方に従えば、テキストに記載の式で近似してまとめられるが、問題解決には不十分であることが分かり、この点を改善したPBLテキストを作成できた。

表5(a) 従来の実験テキスト¹²⁾とPBL実験テキスト案の対比

番号	項目	内容
1	(a)従来の実験	<p style="text-align: center;">I. 切削抵抗の測定</p> <p>1. 目的</p> <p>切削工具に作用する力を切削抵抗という。機械の剛性、材料の被削性、工具寿命、切削動力などの試験には、この切削抵抗を知ることが必要である。本実験において、切削抵抗の測定原理及び技術を習得し、種々の切削条件と切削抵抗との関係を理解することを目的とする。</p>
	(b)PBL実験テキスト案	<p style="text-align: center;">I. 切削抵抗の測定</p> <p>1. 目的</p> <p>切削工具に作用する力を切削抵抗という。機械の剛性、材料の被削性、工具寿命、切削動力などを調べる試験には、この切削抵抗を知ることが必要である。本実験において、切削抵抗の測定原理及び技術を習得すること、種々の切削条件と測定した切削抵抗との関係式を求めことを通して、切削抵抗に関する内容を深めることを目的とする。</p>
	(c)変更内容	<p>1)PBLテキストの目的には関係式を求めることを入れた</p> <p>2)切削抵抗についての説明は同じ</p>
2	(c)変更内容	1)従来は主分力と切削条件(切込み、送り、切削面積)の関係式を記載していたが、関係式を求めることをPBLの対象とするため、PBLテキストでは削除する
3	(c)変更内容	1)切削抵抗に及ぼす他の要素についての説明はPBL対象外のためほぼ同じ内容とする
4	(c)変更内容	1)計測方法などは同じであるので、そのまま変更しない
5	(c)変更内容	1)従来の方法では切込み、送りの条件に切削速度を変える実験も行っていたが、PBLに時間を割くために切削速度の条件を削除する
6	(c)変更内容	1)実験方法は同じであるので、内容はそのままで見やすいように形式を変更する
7	(c)変更内容	1)従来は切削動力較正図より力とひずみの換算率を求めて使用していたが、近年の装置ではこの手法は必要ないので、PBLでは換算率を与えて、ひずみの測定値から各分力を求めることとする

表5(b) 従来の実験テキスト¹²⁾とPBL実験テキスト案の対比

番号	項目	内容
	(a)従来の実験テキスト	<p>(2) 切込みと送りの影響を表す式(4)、(5)及び(7)の定数を求める。 求める方法を式(5)の定数C_2、yの求め方の例で示す。 1) 図1. 11のように両対数グラフ用紙に測定値を記入し、最小自乗近似直線を引く。 2) 直線上の任意の点A、Bをとり(点Aは、$f=1.0mm$の点)、それぞれの点のf、P_zの値を、 A点(f_A、P_{zA})、B点(f_B、P_{zB})とする。 $P_z = C_2 f^y \quad \dots\dots (5)$</p> <p>1)定数$C_2$の求め方 式(6)の両辺の対数をとると、式(6)は、 $\log P_z = \log C_2 f^y = \log C_2 + y \log f = \log C_2 + y \log f \quad \dots\dots (A)$ ここで、送り$f=1.0mm$の点を考えると、$y \log f = y \log 1.0 = 0$であるので、式(A)は、 $\log P_z = \log C_2 + y \log f = \log C_2 + y \log 1.0 = \log C_2 + 0$ となり、 $\log P_z = \log C_2 \quad \therefore C_2 = P_z$ すなわち、$f = 1.0$の時のP_zの値がC_2の値になる。</p> <p>2)指数yの求め方 A点について、式(A)は、 $\log P_{zA} = \log C_2 + y \log f_A \quad \dots\dots (B)$ B点について、式(A)は、 $\log P_{zB} = \log C_2 + y \log f_B \quad \dots\dots (C)$ 式(B)-式(C)とすると、 $\log P_{zA} - \log P_{zB} = \log C_2 + y \log f_A - \log C_2 - y \log f_B$ $= y \log f_A - y \log f_B = y (\log f_A - \log f_B)$ よって、 $\log(P_{zA}/P_{zB}) = y \log(f_A/f_B)$ $\therefore y = \log(P_{zA}/P_{zB}) / \log(f_A/f_B) \quad \dots\dots (D)$ 式(D)にA点、B点のP_z、fの値をそれぞれ代入するとyの値が求められる。</p>
8	(b)PBL実験テキスト案	<p>(2) 切削抵抗の関係式を求める。 これらのデータを図示し近似曲線を求め、それらの結果より送りと切削抵抗の関係式を求める。 手順を以下に示す。 1) グラフの種類を調べる。 2) 近似曲線を調べる。最適な曲線を定量的に判断することを念頭に置くこと。 3) 実験データの図表示して、どのような形状になっているか調べる 4) この図よりどの近似曲線に当てはめるのがよいかを検討し、近似曲線を求める。なお、よく当てはまっているかも検討すること。 5) それらの結果より送りと切削抵抗の関係式を求めなさい。 ※解法のためのヒント グラフの種類および近似曲線はそれぞれ付図1、2に示すようなエクセルのヘルプ画面で調べられる。</p> <div data-bbox="662 1164 1324 1467"> <p>Microsoft Office ヘルプ</p> <p>近似曲線を計算するための方程式</p> <ul style="list-style-type: none"> 線形近似 多項式近似 対数近似 指数近似 冪乗近似 R-2 乗積 移動平均 <p>付図1 「グラフの種類について」のヘルプ画面</p> </div> <div data-bbox="662 1489 1324 1937"> <p>Microsoft Office ヘルプ</p> <p>グラフの種類について</p> <p>新しいグラフを作成したり、既存のグラフの種類を変更したりする場合は、標準のグラフの種類またはユーザー設定のグラフの種類を選択する必要があります。各図の種類別のグラフを組み合わせると、複合グラフを作成することもできます。</p> <p>標準のグラフの種類</p> <ul style="list-style-type: none"> 表グラフ 縦棒グラフ 横棒グラフ 円グラフ 円グラフ ドーナツグラフ 棒グラフ 水泳道 バブルチャート レーダーチャート 等高線グラフ 円環グラフ、円柱グラフ、ピラミッドグラフ <p>ユーザー設定のグラフの種類</p> <p>読み込み済みのユーザー設定グラフ。Excel には、標準グラフに凡</p> <p>付図2 「近似曲線を計算するための方程式」のヘルプ画面</p> </div>
	(c)変更内容	1)従来のこの部分をPBLの対象にしたため、試行錯誤の手順とヒントを記す

表5(c) 従来の実験テキスト¹²⁾とPBL実験テキスト案の対比

番号	項目	内容
9	(c)変更内容	1) グラフに関する考察は同じであるのでそのまま変更しない 2) 得られた関係式が過去に行われた実験結果と定性的に同じ結果となっているか文献を調べる内容を追加する
10	(c)変更内容	1) 切削動力校正図は使用しないので、削除する 2) 主成分と送りの両対数グラフは試行錯誤の過程で学生自ら探し出すために削除する

表6 平成16、17年度の実験データをPBLテキストの実験範囲で累乗近似し、推測した切削抵抗に関する線形近似と累乗近似の近似曲線と決定係数

条件種類	線形近似		累乗近似	
	近似式	決定係数(R ²)	近似式	決定係数(R ²)
切込み	$y = 445.02x + 77.713$	0.9947	$y = 551.47x^{0.7657}$	1.0000
送り	$y = 1261.3x + 205.35$	0.9938	$y = 1472.9x^{0.7228}$	1.0000
切削面積	$y = 1477.6x + 143.65$	0.9905	$y = 1606.4x^{0.7753}$	1.0000

今後は作成したテキストを用いた学生実験をおこない、その結果を参考にしてさらに改善していく予定である。最後に、本報告が少しでも読者の方々の参考になれば幸いである。

参考文献

1) 藤久保昌彦ほか: 知識総括型PBL “Paper Bicycle Project” の試み、工学教育、50巻6号、pp. 57-62、2002
 2) Siriwan Suebnukarn, Peter Haddawy: Artificial Intelligence in Medicine, 38, pp. 5-24, 2006
 3) Ellen M. Cosgrove: 成人教育の原理を医学教育に活用する: PBL (Problem-Based Learning) は、生涯にわたる自己学習の促進につながるか?、東京大学医学教育国際協力センター講演会第2回講演会講演スライド、2006
 4) 例えば、Martin C. Michel, Angela Bischoff and Karl H. Jakobs: Comparison of problem- and lecture- based pharmacology teaching, TRENDS in Pharmacological Sciences, Vol. 23 No. 4, pp. 168-170, 2002
 5) 井上明: PBL (Problem Based Learning) による情報リテラシー教育、同志社政策科学研究、7巻、pp. 61-81、2005
 6) 例えば、工藤一彦・高橋英明・岸浪建史・三上隆: 全学初習教育および工学部専門教育における創成型教育の試み、高等教育ジャーナル—高等教育と生涯学習、10、pp. 69-84、2002
 7) 金子成彦・渡邊辰郎: PBLプログラム海外視察報告、工学教育、50巻3号、pp. 29-33、2002

8) 黒田孝春・石出忠輝: 高専における設計製図と実習の有機的結合の試行、論文集「高専教育」、17、pp. 27-32、1994
 9) 村山和裕ほか: 設計製図と工作実習の融合の試み、論文集「高専教育」、19、pp. 164-171、1996
 10) 山中昇ほか: 総合実習と卒業研究を連携したFGM平板化圧延機の製作、論文集「高専教育」、22、pp. 155-160、1999
 11) 佐久間敬三・斎藤勝政・松尾哲夫: 機械工作法、朝倉書店、p. 26、1996
 12) 都城工業高等専門学校機械工学科、機械工学実験第7号(2004年度版)、pp. 2-1 - 2-6、2004
 13) マイクロソフト: Microsoft Excel 2004 オンラインヘルプ
 14) 例えば、文献11、p. 26、1996