

テーマ

⑦ 職業能力開発の実践

副題

幾何公差の読図力向上に向けた訓練教材の開発

(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構

沖縄職業能力開発大学校

戸田 将弘

目 次

1. 緒言	1
2. 調査・研究	2
2.1 専門課程におけるカリキュラム調査	2
2.2 訓練教材の位置づけ	2
2.3 研究方法	3
2.4 事前アンケート	3
2.5 事前アンケートに対する調査結果および考察	4
2.6 幾何公差の直角度を実際に測定するための課題	5
2.7 幾何公差の直角度測定における調査結果	7
3. 幾何公差の読図力向上のための訓練教材の開発	8
3.1 訓練教材の概要	8
3.2 幾何公差の読図力向上のための訓練教材の活用	10
3.3 訓練後アンケートに対する調査結果	10
3.4 訓練教材活用後の幾何公差の直角度測定における調査結果	11
3.5 測定知識と読図力の関係	11
4. 結言	13
参考文献	15
謝辞	15

1. 緒言

近年、国際競争力の観点から機械部品は日本で設計し、海外での製作に移行されている。一方で、海外で製作された部品を機械装置に組み込んだ結果、仕様を満たせない等のトラブルが一部で報告されている^{[1][2]}。これまでの国内製作を前提とした機械図面では、幾何公差が記入されていない、または不足している機械図面が多く見受けられており、幾何公差が不十分な図面で加工された機械部品を納入されたことがトラブルの一因にある^{[1][2]}。このトラブルを未然に防ぐためには、ISO 規格の幾何公差を適切に機械図面に指示することが設計側の意図を加工側に的確に伝える上で、重要であると報告されている^{[1][2]}。さらに、JIS 規格においても ISO 規格の幾何公差の定義に準拠する形で整備が進められている。すなわち、機械図面に携わる者にとって、国際社会に対応した機械図面を作図するためには、幾何公差の理解が重要となる。したがって、幾何公差を含めた読図力は今後の技能者・技術者の育成をする上で、極めて重要な位置づけに捉えている。

昨今では、DTPD (Digital Technical Product Documentation) 規格と呼ばれる 3D 製図規格を用いて 3DCAD 上に幾何公差情報等のものづくりに必要な属性情報を付与するなど、幾何公差の適用範囲が広がる動きがある^[3]。幾何公差に関する研究報告として、伊藤ら^[4]は、許容限界で幾何公差を指示する方法論について示し、幾何形状個差指示支援システムが有効であることを示した。里中ら^[5]は、機械製品の幾何学的偏差の解析について示し、最大実体公差方式が適用される場合に偏差パラメータを用いて良品率を求める手法が有効であることを示した。幾何公差に関して学術的な研究は多数^{[6][7][8][9][10]}あるが、幾何公差の読図力についての評価や読図力向上の訓練方法についての研究報告は見当たらない。

ここで、本研究では、幾何公差の読図力を、幾何公差が記入された機械図面を見た時に、形状に対する幾何公差であればどの形状（平面や円筒など）に幾何的な許容値が指定されている形状かを把握する力と定義する。また、姿勢に対する幾何公差であれば、どの形状（平面や円筒など）が基準とされているかについて把握するとともに、基準形状に対して、どの形状（平面や円筒など）に幾何的な許容値が指定されている形状か把握する力と定義する。

一般的に職業訓練を行う場合、目的とする習熟度に応じて、訓練教材を選定後に訓練教材を活用して受講生に訓練を行うこととなる。訓練教材の候補となるものは、厚生労働省認定教科書、一般的に市販されている市販図書、離職者訓練用に開発されているシステムユニット訓練テキストおよび指導員が教科書を自作するいわゆる自作テキストである。自作テキスト以外では、幾何公差の製図としての表記は書かれているものの、幾何公差の測定、評価方法については示されておらず、測定など別の教科書を確認しなくてはならない。幾何公差の読図力を大きく向上させるためには、幾何公差の測定、評価方法と製図上の表記のルールを関連付けて教える必要があるが、幾何公差の測定や評価までを一体とした訓練教材は市販されていない。職業能力開発大学校等のポリテクカレッジの学卒者訓練においても、これからの日本のものづくりを支えるために、海外での製作に対応できる図面を作図する必要があり、幾何公差の読図力向上が必須である。

そこで本研究では、幾何公差の読図力向上を目的とした訓練教材を開発した。さらに、開発した訓練教材を職業訓練の現場で使用し、訓練教材の評価を行った結果を報告する。

2. 調査・研究

2.1 専門課程におけるカリキュラム調査

専門課程における幾何公差のカリキュラムについて高齢・障害・求職者雇用支援機構が定めた生産技術科における標準シラバスを表 2.1 に示す。幾何公差を取り扱う授業科目は、基礎製図、精密測定、機械要素設計となる。幾何公差の記述がある授業科目はすべて 2 単位となり、1 週あたり、4 時間の授業時間で 9 週に渡って開講となる。その中で幾何公差についての授業はすべて 1 週（4 時間）のみである。さらに幾何公差のみを扱っている講義はなく、機械加工など他の内容の一部として幾何公差が含まれている状況である。すなわち、現在の標準シラバスのみでは、幾何公差の内容が不足していると考えられる。

表 2.1 専門課程における幾何公差の記述がある標準シラバス

授業科目	授業科目のポイント	内容
基礎製図	幾何公差について知っているか.	6 週目 幾何公差
精密測定	寸法公差と幾何公差について知っているか.	1 週目 寸法公差と幾何公差
機械要素設計	—	1 週目 幾何公差の考え方

2.2 訓練教材の位置づけ

幾何公差の読図力向上に資する訓練教材の開発にあたり、対象者は専門課程を修了した応用課程に所属する沖縄職業能力開発大学の生産機械システム技術科 1 年生 18 名とした。応用課程の生産機械システム技術科で実施している授業科目の中で、どの授業科目で訓練教材を活用するのが効果的か検討を行うため、各授業科目の標準シラバスを確認した。その結果、旋盤、フライス盤を用いて精密加工した部品の幾何公差の測定および評価をする内容となっているため、「精密加工応用実習」での訓練教材の活用が適していると考えた。表 2.2 に精密加工応用実習の標準シラバスを示す。1 週から 7 週に渡り、旋盤およびフライス盤による精密加工を行い、18 週目の最後に幾何公差を測定する内容となっている。すなわち、旋盤、フライス盤を使用した機械加工から製作した部品を評価するまでは 11 週ほど期間が空いてしまう。そこで、開発教材を活用したシラバスを表 2.3 に示す。開発教材を活用することで、幾何加工前に読図力を高め、幾何公差の測定および評価方法を 1 週から 7 週の機械加工と組み合わせる職業訓練を行えるように設定した。

表 2.2 応用課程における幾何公差の記述がある標準シラバス

授業科目	授業科目のポイント	内容
精密加工応用実習	寸法公差、幾何公差の測定および評価ができる。	1～7 週 (1) 精密旋盤による精密加工 (2) フライス盤による精密加工
		18 週 寸法精度・幾何公差の測定と評価

表 2.3 開発教材を活用した精密加工応用実習のシラバス

授業科目	授業科目のポイント	内容
精密加工応用実習	寸法公差，幾何公差の測定および評価ができる。	1～7 週 (1)精密旋盤による精密加工 (2)フライス盤による精密加工 (3)幾何公差を含めた読図 (4)寸法精度・幾何公差の測定と評価 (5)旋盤およびフライス盤で精密加工した部品の評価

2.3 研究方法

学生の協力のもと職業能力開発実践・研究を行うため，協力を依頼する学生には，事前に本研究の趣旨と取得するデータの活用について，インフォームド・コンセント（Informed consent）を行った。研究の内容は，以下の通りである。

1. 幾何公差に対する学生の理解度の調査：

学生の幾何公差に対する知識および読図力を把握することを目的として，アンケートおよび実測定による調査を行う。ここで，読図力の評価は，提示する課題図面中に指示された幾何特性に関する記号に対してデータムの指示に従い，測定ができるか否かによって評価を行う。

2. 幾何公差の読図力向上に向けた訓練教材を開発：

「1. 幾何公差に対する学生の理解度の調査」結果から学生の理解度が低い項目を精査し，その内容を踏まえて訓練教材の開発を行う。

3. 開発した訓練教材を活用して学生に幾何公差の説明：

開発した訓練教材を活用し，学生に幾何公差を説明する。

4. 幾何公差に対する学生の理解度を再調査：

学生の理解度について改めて調査を行う。

5. 開発した訓練教材を評価：

開発した訓練教材を用いて訓練を行ったことに対して，幾何公差に対する理解度を再調査し，分析することで，開発した訓練教材を評価する。

以上の流れで研究を進めた。

2.4 事前アンケート

幾何公差に対する学生の理解度調査を実施するために事前アンケートを作成した。事前アンケートは自身による評価として，①自己評価，客観的な評価として，②幾何公差に関連する製図の知識および③幾何公差に関連する測定の知識を調査できる内容で作成をした。事前アンケートの詳細について表 2.4 に示す。事前アンケートを用いて学生の幾何公差に対する知識の習得度について確認を行った。

表 2.4 事前アンケートの詳細

項目	内容												
自己評価	<p>【設問 1～3】 幾何公差の表記方法, 幾何公差の指示の有無による加工部品の出来上がり形状の違い, 幾何公差の測定方法について 5 段階で評価を行う.</p> <p>【設問一部抜粋】 設問 1 幾何公差の表記方法について知っていますか. 下記の①～⑤から該当するものに○を付けてください. ①全くわからない ②あまりわからない ③少しわかる ④よくわかる ⑤完全にわかる</p>												
製図の知識	<p>【設問 7～12】 幾何公差の特性を指示する製図記号, 幾何公差の意味に対する理解については択一式で調査を行う. サイズ公差 (寸法公差) と幾何公差の違いについては記述式で調査を行う.</p> <p>【設問一部抜粋】 設問 7 下記の幾何公差の記号についてその特性の名称を A～L の中から選び記号で答えよ.</p> <table border="1" data-bbox="497 1032 1217 1182"> <tr> <td data-bbox="497 1032 603 1104">記号</td> <td data-bbox="603 1032 724 1104"></td> <td data-bbox="724 1032 845 1104"></td> <td data-bbox="845 1032 967 1104"></td> <td data-bbox="967 1032 1088 1104"></td> <td data-bbox="1088 1032 1217 1104"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="497 1104 603 1182">特性の名称</td> <td data-bbox="603 1104 724 1182"></td> <td data-bbox="724 1104 845 1182"></td> <td data-bbox="845 1104 967 1182"></td> <td data-bbox="967 1104 1088 1182"></td> <td data-bbox="1088 1104 1217 1182"></td> </tr> </table> <p>A 平面度 B 真円度 C 円筒度 D 真直度 E 平行度 F 直角度 G 傾斜角 H 位置度 I 同軸度 (または同心度) J 対称度 K 円周振れ L 全振れ</p>	記号						特性の名称					
記号													
特性の名称													
測定 の 知識	<p>【設問 4～6】 てこ式ダイヤルゲージを用いた比較測定について, 択一式で調査を行う. ブロックゲージの取り扱いについては択一式に加え, その理由を記述式で調査を行う.</p>												

2.5 事前アンケートに対する調査結果および考察

事前アンケートに対する調査結果を表 2.5 に示す. 設問 1 の幾何公差の表記方法について知っているかに対して, 80%以上の学生がわかると回答をしていた. 実際に幾何公差の表記方法を問う設問 7 については, 平行度の製図記号は 100%の学生が正解であったが, 同軸度 (同心度) 44.4%, 真円度 38.9%, 円周振れ 11.1%の低い正解率であった. 以上の事前アンケート結果より, 80%以上の学生が幾何公差についてわかると回答していたにもかかわらず, 同軸度 (同心度), 真円度, 円周振れについては 50%以下の正解であった.

また, 各項目に対する自己評価と設問に対する正解率には差が見られた. 正解率に差があった原因としては, 専門課程において旋盤, フライス盤の機械加工実習で接する機会によるものと考えられる.

表 2.5 事前アンケートに対する調査結果

設問 1

	割合 (人数)
①全くわからない	0% (0)
②あまりわからない	16.7% (3)
③少しわかる	50% (9)
④よくわかる	33.3% (6)
⑤完全にわかる	0% (0)

設問 7

	正解率 (人数)	不正解率 (人数)
同軸度 (同心度)	44.4% (8)	55.6% (10)
円周振れ	11.1% (2)	88.9% (16)
真円度	38.9% (7)	61.1% (11)
平行度	100% (18)	0% (0)
直角度	100% (18)	0% (0)

2.6 幾何公差の直角度を実際に測定するための課題

機械図面中に指示された幾何特性およびデータム記号の指示に従い、正しい測定ができるか否かによって読図力の評価を行った。実測定用の課題図として、直角度を規定している機械図面（以下、課題図面とする）を用いた。課題図面として直角度を選定した理由は、学生が課題図面を測定する様子を見ることで読図力の有無を評価できるためである。幾何公差の形状に対する公差であれば学生が測定しているときに戸惑ったとしても測定方法自体に戸惑っているのか、読図ができないことによって戸惑っているのか測定の様子を見ただけでは判断できない。しかし、直角度、平行度のような姿勢に対する幾何公差であれば基準となるデータム平面を定盤等にあて、許容値が指定されている平面に測定子を当てているかという測定の様子を見ることで読図力の有無を評価できる。そこで、姿勢に対する公差として代表となる直角度の実測定により読図力を評価した。

課題図面を基に幾何公差の実測定ができるように課題図面に対する説明ペーパー、解答用紙および実測定の動作を評価するための実技評価シートを作成した。図 2.1 に課題図面を示す。課題図面には、データム A~C を設定し、データムに対する直角度の幾何公差を指示した。

幾何公差の実測定にあたり、図 2.2(a)に示すスコヤマスタ、てこ式ダイヤルゲージ、ウエス、セーム皮、測定物を用意した。また、図 2.2(b)に学生が実際に測定している様子を示す。測定中の評価は表 2.6 に示す実技評価シートを用いた。

実技評価シートには、図面を読図することで図面の公差値から適切なダイヤルゲージが選択できるかという評価項目を設定し、課題図面に示した幾何公差の公差値 0.1mm に対して、目量 0.001mm と 0.01mm のダイヤルゲージを選択できるか、スコヤマスタに取り付けたダイヤ

ルゲージの測定子の姿勢が適切か、測定開始前にセーム皮、ウエスで清掃ができていないかという測定の知識を含めた。また、幾何公差を読図できているかについては、データム A~C を定盤上に置き、正しい測定面に測定子を当てているかで読図力を評価することとした。すなわち、実技評価シートの No. 1~4 については製図の知識を評価し、No. 5 については読図力を評価している。

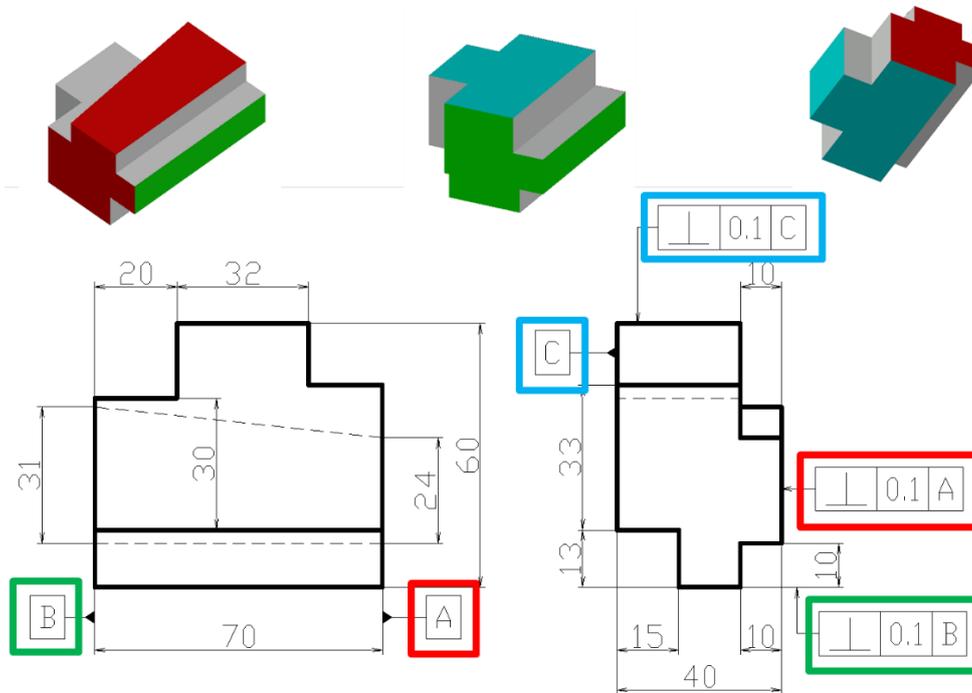
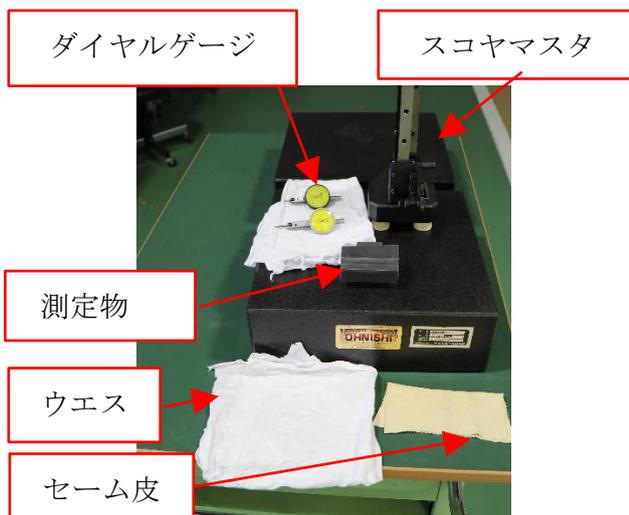


図 2.1 課題図面 (直角度)



(a) 実測定の段取り



(b) 学生が測定している様子

図 2.2 実測定の調査時の様子

表 2.6 実技評価シート

No.	チェック項目
1	てこ式ダイヤルゲージを正しく選定できているか。 (目量 0.01mm を選定できているか)
2	てこ式ダイヤルゲージの姿勢は正しいか。 (測定子をなるべく測定面と平行にする)
3	測定開始前に測定子をセーム皮で拭いているか。
4	測定開始前に測定面をウエスで拭いているか。
5	データム A を定盤に置き, データム A に対する測定面に測定子を当てているか。 ※データム B, C も同様

2.7 幾何公差の直角度測定における調査結果

幾何公差の直角度を実際に測定させた。評価項目に対する正解率を表 2.7 に示す。幾何公差の読図に間接的な位置づけとなる幾何公差の測定については、評価項目 1 のてこ式ダイヤルゲージの目量を正しく選定できた学生は 77.8%であった。加えて、評価項目 2 のてこ式ダイヤルゲージの姿勢を正しく設定できた学生は 5.6%であった。

測定が実際にできるということは、データムと測定面の関係を適切に理解し、読図ができているということになる。しかし、読図が必要とされる実測定では、評価項目 5 のとおり、3 平面とも正しい箇所を測定できていた学生は 27.8%と低い結果となった。誤った測定としては、読図ができていないことに起因して、定盤上に基準として置く平面がデータムではない平面を置いて測定を行う、データム平面を正しく定盤上に置いたがデータムに対応していない平面を測定するなどの動作が見られた。

表 2.7 直角度測定における調査結果

評価項目 1		評価項目 2	
正解 (人数)	不正解 (人数)	正解 (人数)	不正解 (人数)
77.8% (14)	22.2% (4)	5.6% (1)	94.4% (17)

評価項目 5				
	3平面正解	2平面正解	1平面正解	すべて不正解
人数	5	4	2	7
割合	27.8%	22.2%	11.1%	38.9%

3. 幾何公差の読図力向上のための訓練教材の開発

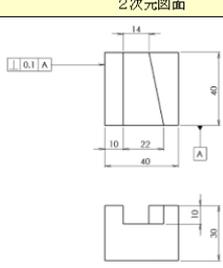
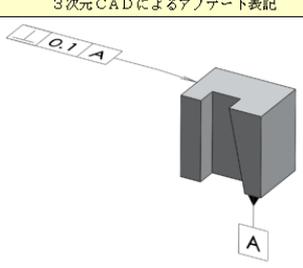
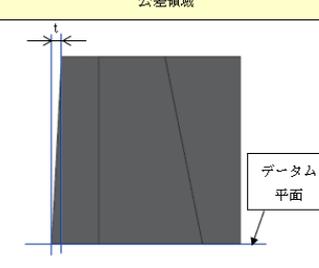
2.5 事前アンケートに対する調査結果および 2.8 幾何公差の直角度測定における調査結果による訓練教材活用前の調査結果において、学生の理解度が 50%以下の内容を取り入れた訓練教材を開発した。すなわち、製図の知識、読図に関わるデータムと測定面の関係に加えて、幾何公差に関わる測定の知識を含めた内容とし、これらを体系立てて教えることができる教材とした。

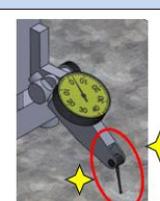
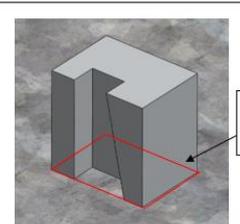
3.1 訓練教材の概要

訓練教材の全体を通しての特徴は、イラストを多用することによって視覚的に理解しやすい構成とした。幾何公差の読図力を向上させるためには機械図面に記載された幾何公差の表記からデータムと測定面の関係を把握し、公差領域がどのようになっているのかを読み解く必要がある。図面を正しく読むことによって、幾何公差の設計意図を理解することができる。図 3.3 に開発した訓練教材の一部を示す。本教材では、イラストを用いることで図面に示した情報とその内容を関連させながら、身に付けられるものを目指した。

訓練教材で取り上げる内容の詳細として、幾何公差に関して一般的な項目となる幾何公差の必要性、幾何公差の種類と記号、幾何公差の個別指示（製図としての表記）、幾何公差を図面に一括指示する場合（製図としての表記）、幾何公差と寸法公差の独立の原則とする。なお、今回の調査で読図力を正しく身に付けている学生は約 30%であった。そこで学生の読図力向上のため、開発する訓練教材では、それぞれデータムと測定面の関係を明確に説明する。さらに、学生の理解度が 50%を切っている項目の内容を訓練教材に取り込むため、開発する訓練教材では、直角度、同軸度、円周振れ（半径方向）、円周振れ（軸方向）、真円度について、データムと測定面の関係を取り扱うこととする。

■ 2次元図面、3次元CADによるアノテート表記及び公差領域

2次元図面	3次元CADによるアノテート表記	公差領域
		
<p>【設計意図】 対象となる母線がデタム平面Aに垂直で、0.1mmだけ離れた2平面間にあること。</p> <p>【評価方法】 デタム平面Aを定盤に置き、スコヤマスタに取り付けたダイヤルゲージを幾何公差が指定されている面にあててダイヤルゲージの振れを直角度として読み取る。</p>		<p>【説明】 デタム平面に垂直な幾何学的平行2平面でその平面形体を挟んだ時の2平面間の間隔(t)で表す。</p>

No	内容	図解	急所	急所の理由
①	ダイヤルゲージ測定子をセーム皮でふく。		測定子をセーム皮できれいにふく。	ゴミが付着していると測定誤差となるため。
②	定盤の上に測定物を置く。		デタム平面を定盤の上にゆっくり置く。	図面で定義されている通り測定するため。

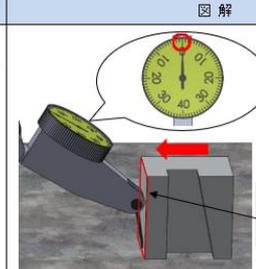
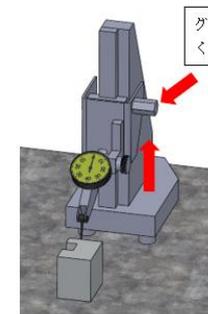
No	内容	図解	急所	急所の理由
③	ダイヤルゲージ測定子に測定物をあて、目盛をゼロにする。		<ul style="list-style-type: none"> 幾何公差記入がされている平面にダイヤルゲージの測定子をゆっくりあてる。 ダイヤルゲージの測定子は指針が半回転程度するくらいまであてる。 	<ul style="list-style-type: none"> 図面で定義されている通り測定するため。 ダイヤルゲージの測定子が測定面から離れないようにするため。
④	スコヤマスタのスライド部を上に移させる。		スコヤマスタのグリップを握ってスライド部をゆっくり上に移動させる。	ダイヤルゲージ姿勢を安定させるため。

図 3.3 開発した訓練教材の一部

3.2 幾何公差の読図力向上のための訓練教材の活用

幾何公差の読図力向上のための訓練教材を用いて、事前アンケートを行った18名の学生に対して幾何公差の説明を行った。開発した訓練教材の評価をするため、説明については訓練教材に書いてあることを説明し、それ以外の説明を加えていない。訓練教材を活用して説明した後、2.4事前アンケートおよび2.7幾何公差の直角度を実際に測定するための課題と同様の調査としてアンケート（以下、訓練後アンケートとする。）を実施した。訓練後アンケートの内容は、事前アンケートと同じである。

3.3 訓練後アンケートに対する調査結果

訓練用教材の活用前後における正解率を表3.1に示す。設問1の幾何公差に関する幾何公差の自己評価について、訓練教材を活用後は、活用前より、よくわかると回答した割合が少なくなっている。さらに、少しわかる、あまりわからないと回答した学生が増えている。これは、訓練教材を活用した幾何公差の説明を受ける中で、今までわかっていると思っていたものから、教育訓練を受けることによって実はわかっていなかったと考えたためだと考えられる。

設問7の製図記号の表記の知識については、直角度の正解率が活用前の100%から1名不正解者がいたため、正解率が下がっているが、同軸度（同心度）、真円度については正解率が上昇している。平行度、円周振れについては活用前と同じ正解率となっている。

表 3.1 アンケートにおける訓練用教材活用前後の正解率

設問 1

	活用前		活用後
	割合 (人数)		割合 (人数)
①全くわからない	0% (0)	→	0% (0)
②あまりわからない	16.7% (3)	↗	33.3% (6)
③少しわかる	50% (9)	→	50.0% (9)
④よくわかる	33.3% (6)	↘	16.7% (3)
⑤完全にわかる	0% (0)	→	0% (0)

設問 7

	活用前		活用後
	正解率 (人数)		正解率 (人数)
同軸度 (同心度)	44.4% (8)	↗	55.6% (10)
円周振れ	11.1% (2)	→	11.1% (2)
真円度	38.9% (7)	↗	50.0% (9)
平行度	100% (18)	→	100% (18)
直角度	100% (18)	↘	94.4% (17)

3.4 訓練教材活用後の幾何公差の直角度測定における調査結果

幾何公差の直角度を実際に測定させた結果を表 3.2 に示す。読図が必要とされる実測定では、活用前が評価項目 5 のとおり、3 面とも正しい箇所を測定できていた学生は 27.8%であったが、活用後は 50.0%と上昇した。また、幾何公差の読図に間接的な位置づけとなる幾何公差の測定については、評価項目 1~2 の項目においても活用後は正解率が上昇した。以上の結果を基に活用前後の読図力について調べた。

表 3.2 直角度測定における調査結果

評価項目 1

正解 (人数)	正解 (人数)
77.8% (14)	83.3% (15)

評価項目 2

正解 (人数)	正解 (人数)
5.6% (1)	44.4% (8)

評価項目 5

	3平面正解		2平面正解	
	活用前	活用後	活用前	活用後
割合(人数)	27.8% (5)	50.0% (9)	22.2% (4)	22.2% (4)

	1平面正解		すべて不正解	
	活用前	活用後	活用前	活用後
割合(人数)	11.1% (2)	5.6% (1)	38.9% (7)	22.2% (4)

3.5 測定知識と読図力の関係

幾何公差の実技における測定、評価方法の知識（以下、測定知識とする。）と幾何公差の読図の 2 つを合わせた訓練教材を活用することで幾何公差の読図力向上が期待できる。そこで、訓練教材活用前後で測定知識と幾何公差の読図力についてスコアを出し、人数の分布を図 3.1 に示す。ここでのスコアは、測定知識に関する各評価項目対して正しい手順で測定できていたら 1 点として合計点を計算した後、評価項目数で除して 1 点満点に換算した。同様に幾何公差の読図力の評価については、各幾何公差の指示に対して測定面とデータムの関係を正しく理解していたら 1 点として合計点を計算した後、幾何公差の指示数で除して 1 点満点に換算した。横軸に測定知識、縦軸に幾何公差の読図力とし、円の大きさにそのスコアにいる人数の多さを表す。訓練教材活用前後を比べると円は右側および上側に増えている。すなわち、測定知識の向上に伴って幾何公差の読図力についても向上している傾向が見られた。

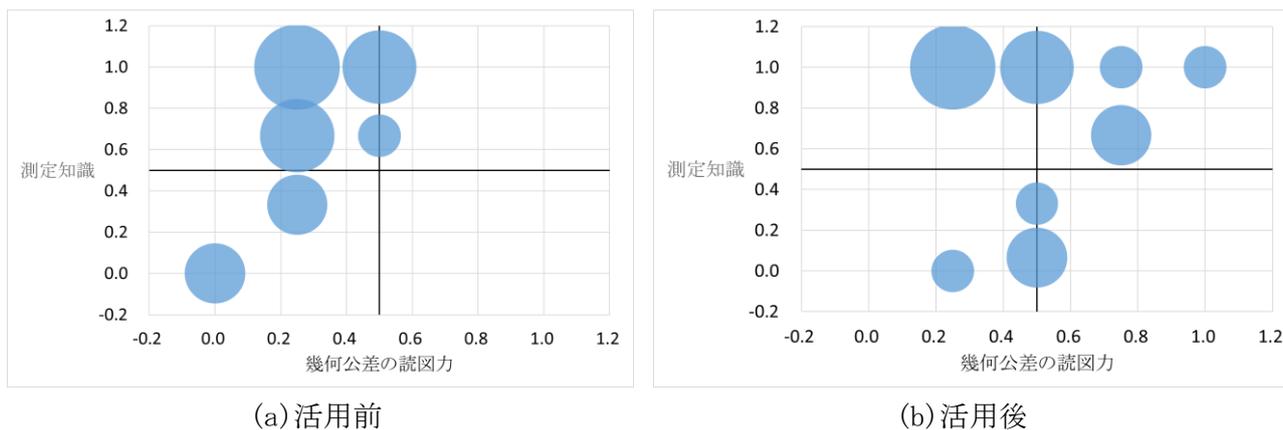


図 3.1 測定知識と幾何公差の読図力における分布

訓練教材活用後は表 3.2 評価項目の読図力において、3 平面とも正しい箇所を測定できた学生の割合が 27.8%から 50.0%に上昇し、活用前と比べて約 1.8 倍となった。18 名の学生の内、3 平面とも正解（読図力が向上している学生）が 5 名から 9 名に増加したものの、残り半分の 9 名の学生においては読図ができていない結果となった。9 名の学生は訓練教材活用後も 3 平面すべて読図できているわけではないため、なぜ正しく読図できなかったのかについて調査を行った。加えて、訓練教材について良かったとする点、悪かった点を知るために、調査対象の全学生へアンケートを実施した。なお、3 平面の内どれか 1 平面でも読図ができていない学生については、個別に聞き取り調査を実施した。アンケート結果として訓練教材を良かったとする点、悪かったとする点で挙げられた意見等の一部として以下に示す。

(1) 良かった点（わかりやすかった点など）

- 幾何公差の特性の分類や評価方法の詳細などがしっかり分かりやすく資料に書かれていたので覚えやすかった。
- 図が沢山あり分かりやすかった。
- 幾何公差について解説があり、その後に測定方法があるので納得できた。

(2) 悪かった点（わかりにくかった点など）

- 練習できるように問題があると良かった。
- 映像があるとなお良かった。
- よくあるミスなども載せると良いと思った。

次に 3 平面の内どれか 1 平面でも読図ができていない学生に聞き取り調査を行った。3 平面の内どれか 1 平面でも読図ができていない 9 名の学生に対する聞き取り調査は、読図力を調査する際に使用した直角度を指定した課題図面、測定物、開発した教材を手元に置き、学生と筆者で面談を実施した。面談の結果、読図できていなかった理由として以下の 4 通りに分類することができた。

i : 幾何公差におけるデータム平面と測定平面の関係は理解しているが、課題図面と測定物の対応する平面が理解できていない、つまり、投影図が読図できていない学生が 1 名いた。該当学生は、面談の中で普段見慣れていない図面であったため、図面上のデータムや測定平面について測定物のどこを示しているのかすぐに理解できないと回答があった。筆者とともに課題

図面と測定物を照らし合わせてデータム平面，測定平面を確認したが，学生自身も苦手意識があると認識しているとおり，課題図面が示している投影方向も認識するのが困難であり，その影響で幾何公差の読図まで至ることも困難であることが分かった。

ii：幾何公差におけるデータム平面と測定面の関係も理解しておらず，投影図も読図できていない学生が1名いた。この学生も筆者とともに課題図面と測定物を照らし合わせて，最終的にデータム平面，測定平面を確認したが，そこに至るまでかなりの時間をかけて確認を行う必要があった。学生からは，普段見ている図面より形状が複雑なため，投影図がどの平面を表しているのか理解できないとの回答であった。

iii：幾何公差におけるデータム平面と測定平面の関係を理解できていないため，測定の際にどこの平面を定盤においてよいかわかっていなかった。また，実測定による読図力の確認をする調査の際に，どのようにデータムおよび測定平面を考えたのか聞いたところ，データムは自身で自由に設定して，任意の平面の直角度を測定するものと思い込んでいたことが分かった。この理由に該当する学生は4名いた。該当学生に面談の中でデータムと測定平面の関係を開発した教材を活用して説明した上で，改めてどのように測定するか聞いたところ，3平面すべての平面について正しくデータム平面と測定平面の関係を説明できた。

iv：幾何公差におけるデータム平面と測定平面の関係および投影図も理解していた。実測定による読図力の確認をする調査の際に，課題図面が示すデータムと測定面を単純に見間違えていたことが原因と分かった。この理由に該当する学生は3名いた。3名とも3平面の内どれか1面だけ間違えていた。該当学生に補足説明など一切行わず改めてどのように測定するか聞いたところ，3平面すべての面について正しくデータム平面と測定平面の関係を説明できた。

以上をまとめると i，ii の読図できていない理由は，投影図の読図ができていないことで幾何公差も読図できていないことが分かった。開発した訓練教材は幾何公差に焦点をあてているため，投影図を理解していない学生には幾何公差の読図力向上は期待できない。iii のデータムと測定平面の関係を理解できていないことで読図できていない学生については，開発訓練教材を改めて説明すると理解できたことから，訓練教材にデータムと測定平面の関係をもう少し詳しく記載するなどする対応が効果的といえる。iv のデータムと測定面を見間違えた学生はいつもと違う環境のため見間違えたものであった。

4. 結言

本研究では専門課程の2年間で基礎的な機械製図，測定を履修した応用課程1年生を対象に，幾何公差の読図力向上に向けた訓練教材開発とその評価を行った。その過程では，学生が専門課程で身に付けた幾何公差の読図力等について現状把握するため，調査，分析を行ってきた。以下に得られた知見を示す。

(1) アンケートおよび幾何公差の直角度を実際に測定する課題を用いた調査により分かったことは以下の通りとなる。

- ◆ 幾何公差の製図の知識についてアンケートをした結果，幾何公差の使用頻度に応じて理解度に差が見られた。これは平行度や直角度がフライス盤加工実習などにおいて，他の特性記号より接する頻度が高いことから，正解している学生が多かったと考えられる。
- ◆ 学生の自己評価と実際の理解については，差があることが明らかとなった。これは過去の

実習等において幾何公差の図面を見たことがあるため、学生は理解しているものと認識をしていた。しかし、自己認識ほど実際には理解できていなかったと考える。

- ◆ 読図力の確認では、データムと測定面の関係を理解している学生は、約 30%のみであった。これは幾何公差が記入された図面を見たことがあるが、図面から読図を行うという目的を持った訓練を行う機会が少なかったためと考えられる。

(2) 幾何公差の読図力を向上させることを目的に訓練教材を開発し、活用した上で訓練教材を良かったとする点、悪かったとする点のアンケートおよび読図できていなかった学生への聞き取り調査を実施したことにより分かったことを以下に示す。

- ◆ 幾何公差の読図力を向上させる訓練教材としてイラストを多用した訓練教材を活用すると読図力は向上することが分かった。
- ◆ 幾何公差の測定、評価方法と製図上の表記のルールを関連付けた訓練教材を活用すると読図力は向上することが分かった。
- ◆ 開発した訓練教材では、読図力を向上させることができたもののすべての学生に効果があったとはいえないため、実際の測定物による演習と訓練教材を併用することで理解度の向上が期待できる。
- ◆ 幾何公差の読図力向上には、学生の習得状況を把握した上で、訓練教材を活用することが有効である。

以上より、機械図面に記載された幾何公差の表記からデータムと測定面の関係を把握し、公差領域を読み解く上で、今回、開発した訓練教材のように、イラストを幾何公差と関連させながら、提示することで幾何公差に関連する知識や読図力を一定程度向上させられることが分かった。ただし、今回の訓練教材は、幾何公差全体や部分的に実際の測定や読図力の向上は確認できたものの、製図知識、測定知識そのものの向上は確認できなかった。さらに、本研究を通して、専門課程の学生は、機械製図、測定など幾何公差に関する知識として一通りのテクニカルスキルは身に付けているものの、応用課程に所属してからもスキルの向上は十分期待できると考えられる。

今後の検討項目として、幾何公差の製図知識の部分も含めて、読図力を向上させるためには、今回の訓練教材の構成を基本にしながら、訓練教材で確認した幾何公差の読図について、実物を手にとって訓練教材の確認ができるように、読図力向上のための総合課題を開発する必要があると思料される。つまり、課題図面及び演習を作成すると同時に実物の測定物を開発し、実物を用いて補完することで、幾何公差の読図力向上に向けた職業訓練がより強固なものとなるのではないかと考える。また、本研究に協力を依頼した学生からは、自己の習得度を確認するため、訓練教材に演習問題を追加してほしいこと、加えて訓練教材に対する説明動画を追加してほしいとの要望があり、これらを加えることで学生の視点に立った訓練教材としてブラッシュアップできるものと考えられる。

参考文献

- [1] 金田徹：「製品の幾何特性仕様および 3D 製図の (GPS) JIS 化」，日本機械学会誌，Vol. 117, No. 1144(2014), pp. 32-33
- [2] 竹之内和樹，園田計二：「講座 機械にまつわる幾何学形状 (4)」，図学研究，Vol. 49, No2(2015), p. 23
- [3] 金田徹：「DTPD(3D 製図)規格(その現状と今後)」，精密工学会誌，Vol. 83, No. 8(2017), pp. 717-718
- [4] 伊藤公俊，弘末太郎，塚田忠夫：「設計対象モデリングにおける許容限界の表現と指示」，精密工学会誌，Vol. 62, No. 5(1996), pp. 706-711
- [5] 里中直樹，杉村延広，谷水義隆，岩村幸治：「最大実体公差方式における機械製品の幾何学的偏差の解析」，日本機械学会論文集 (C 編)，Vol. 73, No. 730(2007), pp. 285-291
- [6] 竹松良，里中直樹，吉田新，杉村延広，岩村幸治，谷水義隆：「工作機械の形状創成運動モデルに基づく構成要素の公差設計に関する研究」，日本機械学会論文集，Vol. 82, No. 834(2016), pp. 1-12
- [7] 里中直樹，杉村延広，谷水義隆，岩村幸治：「工作機械の運動偏差のモデル化と解析に関する研究(第 1 報, 構成要素の幾何学的偏差のモデル化と解析)」，日本機械学会論文集 (C 編)，Vol. 71, No. 708(2005), pp. 192-198
- [8] 里中直樹，杉村延広，谷水義隆，岩村幸治：「工作機械の運動偏差のモデル化と解析に関する研究(第 2 報, 構成要素の幾何学的偏差のモデル化と解析)」，日本機械学会論文集 (C 編)，Vol. 74, No. 737(2008), pp. 198-205
- [9] 岡本英明，佐々木豊春，田中文基，岸浪建史：「幾何学的制約条件を伴う関連形体の評価方法に関する研究(第 1 報)」，精密工学会誌，Vol. 61, No. 8(1995), pp. 1116-1120
- [10] 田中文基，岡本英明，岸浪建史：「幾何学的制約条件を伴う関連形体の評価方法に関する研究(第 2 報)」，精密工学会誌，Vol. 62, No. 5(1996), pp. 722-726

謝辞

本研究では筆者が所属している沖縄職業能力開発大学校の応用課程 1 年生に対して，令和 4 年度の 1 年近くをかけて幾何公差の読図力向上に向けた訓練教材開発とその評価を研究として取り組んできました。沖縄職業能力開発大学校生産機械システム技術科の 1 年生には，本研究を進めるにあたり快く協力して頂き感謝いたします。