

3D CADとARを活用した工業高校における機械製図学習 の設計・実践・評価

学 籍 番 号	2 4 9 3 2 1
氏 名	小 島 佑 太
主指導教員	成 田 一 人
副指導教員	篠 澤 一 彦

1. 緒言

工業高校の機械製図は、立体図形を空間的に把握し、二次元図面として正確に表現・解釈する高度な認知スキルを要求する基礎科目であり、他の専門科目の理解を支える土台となっている。しかし、図形・空間分野の理解が十分でないまま入学する生徒も少なく、「図面が読めない」「立体が頭に浮かばない」といった困難が学習意欲の低下や成績不振として表出しやすい。

一方、産業界からは図面読解力に加え、3D CADや3Dモデル等のデジタルツールを活用できる人材育成が求められているが、多くの学校では依然として手書き製図中心の授業が主流であり、ICT環境やソフトウェア整備にも格差が残されている。こうした背景から、手書き製図の教育的価値を生かしつつ、3D CADと拡張現実（AR）を統合した機械製図カリキュラムの構築が課題となっている。

2. 研究目的

本研究の目的は、手書き製図・3D CAD・ARを段階的に導入した機械製図学習プログラムを開発し、工業高校生の立体図形の空間認識能力および学習成果に与える影響を実証的に検証することである。「手書き→3D CAD→AR」という導入順序が、作業記憶の認知負荷をどのように調整し、立体概念の質的変容やメタスキルとしての空間認識力の形成にどのように寄与するかを明らかにすることを目指した。あわせて、認知負荷理論や空間認識研究、体化的認知理論などに基づき、本プログラムの教育的メカニズムを整理し、学習指導要領工業編「機械製図」の目標に照らしてその意義を検討することも目的とした。

3. 研究方法・授業設計

本研究では、工業高校の機械系学科1年生を対象とした準実験的デザインを採用し、3D CADとARを統合した授業を受けた年度を実験群、従来の手書き製図のみで学習した別年度を統制群として比較した。実験群は機械系2クラス（最終 $n=50$ ）、統制群は同一校・同一学科の1年生（最終 $n=46$ ）であり、いずれも同一教員が指導を担当した。授業は約9か月間、週2時間以上実施した。段階1（手書き製図）では、投影図法の基礎と立体と三面図の対応付けに焦点を当て、基

本立体の作図と相互批評を通して製図規則を体験的に理解させた。段階2（3D CAD）では、クラウド型3D CADソフトを用いて基本形状から複雑な立体へとモデリングを進め、複数視点からの観察や2D-3D相互変換により立体イメージの再構成と心的操作スキルの向上を図った。段階3（AR）では、3D CADで作成したモデルをARアプリに読み込み、教室空間に実物大に近いスケールで重ねて表示し、投影図との整合性や寸法の妥当性を身体を伴う操作の中で検証する活動を実施した。評価には、1・2学期の期末試験成績、空間認識に関する自己評価アンケートを用い、試験結果については平均点・標準偏差・得点分布、t検定、効果量を算出し、アンケートにはU検定を適用した。

4. 研究結果

期末試験成績では、1学期期末試験時点で両群の平均点に大きな差は見られなかったが、2学期期末試験では実験群の平均点が統制群を数点上回る方向の差が確認されたものの、統計的有意差には至らなかった。一方で、標準偏差と得点分布に注目すると、実験群では1学期から2学期にかけてばらつきが縮小し、中位層への集中と低得点層の減少が見られたのに対し、統制群では低得点層が残存し、分布の二極化傾向が続いていた。これは、平均点の差としては小さいものの、「もっとも支援を必要とする層」の成績が底上げされ、集団全体の基礎学力が一定水準へ近づいたことを示唆している。

空間認識自己評価アンケートでは、「立体図形を頭の中で想像する」「奥行きのある絵や図を描く」「文字や記号を紙面にバランスよく配置する」といった項目で実験群が統制群を有意に上回った一方、「方向感覚」のような日常的空間定位に関する項目では有意差は見られなかった。自由記述では、約半数の生徒が立体図形の空間認識力の向上を、約1割の生徒が整理整頓やデザインなど他領域への転移を報告し、多くの生徒が「立体や製図が好きになった」「難しいができるようになりたい」といった学習動機の高まりを記述していた。

5. 考察・結論

手書き製図・3DCAD・ARを統合した段階的学習環境は、平均点における統計的有意差こそ限定的であったものの、成績分布の収束や低得点層の減少、空間認識力の自覚的向上、学習意欲および学習の転移といった複数の指標において教育的有意味差をもたらしたと解釈できる。

認知負荷理論の観点からは、手書き段階で投影図法の原理解を身体感覚を伴って形成し、3DCAD段階で2D-3D変換や視点変更など負荷の高い処理の一部をツール側に委ね、AR段階で実物大スケールの体験を通じて抽象的な図面情報と現実空間を結びつけたことにより、作業記憶負荷の調整と空間概念の再構成が促進されたと考えられる。また、整理整頓やデザインへの応用に関する記述は、機械製図学習で培われた空間構成力が日常生活や他教科へ転移し、汎用的なメタスキルとして機能しつつあることを示している。一方で、CAD操作に困難を感じる生徒も一定数存在することから、達成度に応じた課題設定やピアサポートを含む個別支援の工夫が今後の課題である。

結論として、本研究で構築した「手書き→3DCAD→AR」による段階的インターフェース設計は、設備条件や生徒構成が異なる学校においても再現可能なカリキュラムの一モデルとして、図面読解力と空間認識力の育成を両立させる有効な枠組みとなりうることを示唆された。