

学位論文要旨

データに基づく学習評価方法と支援に関する研究

広島大学大学院教育学研究科
教育学習科学専攻 教科教育学分野
技術・情報教育学領域

D191961 玉井 輝之

第1章 序論

2016年に内閣府から示された第5期科学技術基本計画の中で、今後日本が実現すべき社会として Society 5.0について示された。Society 5.0は、「サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取組により、人々に豊かさをもたらす超スマート社会」として提唱された。そして、Society 5.0の実現に向け、様々な「もの」がネットワークを介してつながり、それらが高度にシステム化されるとともに、複数の異なるシステムを連携協調させることが必要である。それにより、多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々と生まれることが期待されている。このような社会の変化は教育に対しても例外ではなく、教育の情報化が急速に進展している。学校でICT環境を基盤とした先端技術や教育ビッグデータを活用することは、これまで得られなかった学びの効果が生まれるなど、学びを変革していく大きな可能性があると考えられている。一方で、課題として、どのような場面でどのような先端技術を活用した機器を利活用することが効果的なのか実証的な検証等が少なく明らかではないことが挙げられている。このように、学習者の学びをデータから評価し、この評価を根拠にした指導が期待されており、具体的な実践場面を示すことが求められているといえる。これまでの学校教育における設計や製作の活動では、個人やグループによって作られた製作品の機能や精度、学習課題の記録などから技能の評価がされてきた。このような学習評価では、学習者が改善・修正を繰り返すことで、理論と現実の関係について気づいた内容を、データを根拠に述べさせることが困難であった。しかし、製作品の作動音や動作などから、その特性や特徴を示すデータを得ることができるようになった。これらのデータを分析することで技能の評価や支援に活用できると考える。

教師が学習者に指導や支援を行う際には、「児童生徒にどのような力が身に付いたか」という学習の成果を的確に捉えて指導や支援の改善を図る、いわゆる「指導と評価の一体化」が重要である。学習評価の尺度として、心理学の分野では、名義尺度、順位尺度、間隔尺度、比尺度の4水準での区別がなされてきた。学習評価の客観性を確保する際には、間隔尺度や比尺度などを用いた測定が重要とされている。これは、間隔尺度や比尺度などを用いた測定で得られたデータ(定量データ)で、定量的分析や量的な基準づくりができるためである。学習評価のための定量データとしては、学習課題に取り組んだ時間やアンケート結果などが一般的である。データに基づく学習評価方法の研究としては、様々な手法が提案されている。また、川田らは進化的計算法を用いて設計力を評価する手法を提案しており、その中で定性的な評価の割合が大きい学習内容に対して定量データに基づく学習評価を行う有効性について検証している。このように、定性的な評価がなされている学習内容について、定量データに基づく評価方法を検討していくことは必要であるといえる。

本研究の対象としている中学校の技術教育は、明治14年の中学校教則大綱で中学校が普通教育と職

業準備教育を担うとされたことに伴い設置された専修科(農業, 工業, 商業)に始まる。平成29年告示の中学校学習指導要領では, 技術・家庭科(技術分野)(以下, 技術科)の目標は, 次のように示されている。

技術の見方・考え方を働かせ, ものづくりなどの技術に関する実践的・体験的な活動を通して, 技術によってよりよい生活や持続可能な社会を構築する資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 生活や社会で利用されている材料, 加工, 生物育成, エネルギー変換及び情報の技術についての基礎的な理解を図るとともに, それらに係る技能を身に付け, 技術と生活や社会, 環境との関わりについて理解を深める。
- (2) 生活や社会の中から技術に関わる問題を見いだして課題を設定し, 解決策を構想し, 製作図等に表現し, 試作等を通じて具体化し, 実践を評価・改善するなど, 課題を解決する力を養う。
- (3) よりよい生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて, 適切かつ誠実に技術を工夫し創造しようとする実践的な態度を養う。

以上のように, 設計や製作の技能についての目標が定められており, 設計や製作に関わる技能の評価との関りの深い教科であるといえる。

本研究の目的は, 技術科において学習者が作った製作品の作動音や動作などから定量データを得て, 数理モデルやグラフで表すことによりデータに基づく評価や分析をする手法を提案し, これらの提案手法を用いた学習評価方法と支援について考察することである。そのために, 定量データとして単数を扱う場合や複数を扱う場合, 必要となるデータから評価や分析をして得られる結果から場面を分けて授業の実践を行う。

第2章 構造物の部材の長さを用いた荷重の分類技能の評価

定量データとして単数のデータ(構造物の部材の長さ)を測定させることで, 構造物の部材に作用している荷重を2種類の荷重(圧縮荷重及び引張荷重)に分類する技能を評価させることについて述べる。松浦らは, 技術科の材料力学的側面として荷重が重視されていると指摘している。しかし, 身近な構造物の部材に作用する荷重に着目した教材開発はほとんどなされていない。また, 荷重について学習させる順序として, イギリスのテキストなどでは, はじめに圧縮荷重及び引張荷重を取り上げて指導がなされている。そこで, 部材に作用する荷重(圧縮荷重及び引張荷重)について学習させる身近な構造物を模擬した静力学モデル教材(フレームモデル)を提案した。まず, 部品にプラスチック製のフレームやネオジウム磁石などの入手しやすいものを使用して信号機のフレームモデルと自転車のフレームモデルを製作した。部材に作用する荷重について力の釣り合いで示し, フレームモデルを変形させて, 定量データとして部材の長さを測定することで荷重を分類させる手法の妥当性を示した。そして, 教材を使用した授業を考案し, 広島県の私立中学校で, 中学1年生(合計28人)を対象に実践した。

授業前の理解度を評価するために事前テストとして、信号機のフレームモデルの部材(フレームA～フレームB)と自転車のフレームモデルの部材(フレームC～フレームH)の荷重を分類させるペーパーテストを実施した。同様の問題を授業後の理解度を評価するための事後テストとして実施した。その結果を表2.1に示す。信号機のフレームモデルと自転車のフレームモデルの全てのフレームの正答率が向上した。このことから授業を通して、部材に作用する圧縮荷重及び引張荷重について理解を深めさせられたといえる。

表 2.1 事前テストと事後テストの正答率

問題	フレーム	正答	事前テスト 正答率(%)	事後テスト 正答率(%)
信号機のフレームモデルを 使用した問題	フレームA	引張荷重	79	96
	フレームB	圧縮荷重	68	96
自転車のフレームモデルを 使用した問題	フレームC	圧縮荷重	61	79
	フレームD	圧縮荷重	71	93
	フレームE	引張荷重	75	89
	フレームF	圧縮荷重	29	68
	フレームG	引張荷重	46	71
	フレームH	圧縮荷重	46	89

これらの実践の結果から、データに基づいて荷重を分類できているかを学習者に評価させられることや、部材の長さを測定させて分類させることが学習の支援となることが明らかとなった。

第3章 音響データを用いたギヤボックスの組立て技能の評価

定量データとして単数のデータ(ギヤボックスを作動させた音響データ)を測定することで、5種類のギヤボックスの完成度に分類し、組立て技能を評価することについて述べる。これまで音響データを用いた工業製品の故障診断や異常診断の研究は行われてきた。技術科の技能の評価では、最終的に完成した製作品から、製作品を作る技能だけを評価するのではなく、安全・適切に作業できているかを観察などから多面的に評価するといった工夫が必要であるとされている。そして、ロボット教材を利用した学習において、VTR映像を用いて作業内容を時系列にまとめることなどの研究がなされている。しかし、数値モデルを算出することで、製作品の完成度を分類し、授業目標の達成状況を評価する研究はなされていない。そこで、ギヤボックスを作動させて取得した音響データから自己回帰モデルを算出することで、ギヤボックスの完成度を分類する手法を提案した。まず、ギヤボックスを作動させ

スマートフォンを使用して音響データを取得し、自己回帰モデルを算出することで、モデリング誤差を得る手順を示した。次に、分類するギヤボックスの種類を「種類1 正確に完成できている」、「種類2 グリスを塗っていない」、「種類3 ビスが締まっていない」、「種類4 ピニオンを取り付けていない」、「種類5 ピニオンの取り付けが不十分である」とした。次に、実験環境を設定して完成度の分類実験を行った。実験結果から正確に分類できていることを示した。そして、ギヤボックスを組立てる学習において組立て技能を評価する一例を考案して、大学生7名(Subject A~ Subject F)に対して実践した。大学生にギヤボックスをそれぞれ製作させた。作動させて取得した音響データを、 $a_{\text{Subject A}}(t) \sim a_{\text{Subject F}}(t)$ とした。提案する手法を用いると、表3.1に示す着色された種類に分類された。Subject A~ Subject Dの製作したギヤボックスは種類1に分類された。Subject E~ Subject Gの製作したギヤボックスは種類2に分類された。そのため、この分類をもとにして、Subject E~ Subject Gにグリスを塗っていないことを指摘し、修正させた。修正後の音響データ $a'_{\text{Subject E}}(t) \sim a'_{\text{Subject G}}(t)$ を取得した。修正後は、表3.2に示す着色された種類1に分類された。

表 3.1 組立てさせたギヤボックスの分類

		$a_{\text{Subject A}}(t)$	$a_{\text{Subject B}}(t)$	$a_{\text{Subject C}}(t)$	$a_{\text{Subject D}}(t)$
Type 1	\hat{f}_1	95.051	128.08	94.907	111.873
Type 2	\hat{f}_2	107.121	152.212	99.046	114.436
Type 3	\hat{f}_3	117.279	150.551	110.034	117.329
Type 4	\hat{f}_4	110.925	139.511	109.569	134.622
Type 5	\hat{f}_5	126.137	151.521	119.905	123.455
		$a_{\text{Subject E}}(t)$	$a_{\text{Subject F}}(t)$	$a_{\text{Subject G}}(t)$	
Type 1	\hat{f}_1	146.914	180.859	363.380	
Type 2	\hat{f}_2	141.789	166.401	333.021	
Type 3	\hat{f}_3	146.165	174.588	336.668	
Type 4	\hat{f}_4	200.922	221.672	541.108	
Type 5	\hat{f}_5	152.700	182.333	356.029	

表 3.2 修正させたギヤボックスの分類

		$a'_{Subject E}(t)$	$a'_{Subject F}(t)$	$a'_{Subject G}(t)$
Type 1	\hat{f}_1	94.233	139.268	130.444
Type 2	\hat{f}_2	105.446	142.206	138.713
Type 3	\hat{f}_3	103.235	150.113	141.479
Type 4	\hat{f}_4	110.241	169.833	157.797
Type 5	\hat{f}_5	110.036	144.556	154.310

これらの実践の結果から、提案する分類手法でギヤボックスの組立て技能を評価し、学習者に応じた支援ができることが明らかとなった。

第4章 走行性能に基づくパラメータを調整する技能の評価

定量データとして複数のデータ(プログラムのパラメータとライントレースカーの走行性能)を測定することで、プログラミングの技能の一つであるパラメータを調節する技能を評価することについて述べる。平成29年に告示された学習指導要領では、これからの社会に進出するために身に付けるべき資質・能力の一つとして、新たに情報活用能力が位置付けられた。初等中等教育段階で、プログラミングを学習させることは、主に中学校の技術科で行われており、プログラミングの教育や指導の充実が急務となっている。データに基づくプログラミング技能の評価方法の研究としては、画像情報から評価することや、学習課題の達成度とプログラミングの難易度との関係から評価することなどがなされている。しかし、学習の到達度を評価しており、学習の習熟過程を評価できていない。そこで、ライントレース教材を使用した学習課題を、走行時間と左右の振れの二つの指標の定量データを測定し、設計と製作を繰り返すことで、課題を解決するパラメータを調節させることを提案した。まず、ライントレースカーを動作させる五つのパラメータを調節させる。センサの閾値(Threshold)、左右のモータの速度を調整するPWMの割合(M1y, M2y, M1n, M2n)である。この五つのパラメータを調節することで、線に沿って直進走行させる課題を考案した。課題1は、走行時間を短くすることとした。課題2は、左右の振れを少なくすることとした。そして、ライントレースカーの走行性能を走行時間 t_R と左右の振れ具合 σ^2 の二つの定量データで評価する手法を検討した。次に、この手法を使用した授業を考案し、大学生16名を2人一組として8グループに実践した。課題1と課題2を解決するための、ライントレースカーの動きを予測させ、パラメータを設計させた。そして、設計に従ってプログラミングをさせて、ライントレースカーを動作させた。この設計と動作を各グループ4回試行させた結果の一部を表

4.1に示す。グループ 1については、課題1は、4回目が最も速く走行しており、得られた値が最も小さくなっている。課題2は、2回目の左右の振れが大きくなり、得られた値が大きくなっている。しかし、3回目、4回目で左右の振れを改善できており、得られた値が小さくなっている。グループ2については、課題1は、3回目、4回目の走行時間が同じであり得られた値が同じである。しかし、左右の振れは、0.25から、0.16に改善されている。ここに示したグループについては、データを比較することでパラメータの調節が良くなっているといえる。このように、走行時間と左右の振れの二つの指標で評価することで、学習者が良いパラメータを調整できていることを示すことができた。

表 4.1 ライントレースカーのパラメータと走行結果

グループ 1							
	t_R [s]	σ^2	threshold	M1y	M2y	M1n	M2n
1 回目	4.17	0.085	80	55	100	100	55
2 回目	4.12	37.80	60	75	100	100	75
3 回目	4.02	0.24	60	80	100	100	60
4 回目	3.98	0.18	60	90	100	100	75
グループ 2							
	t_R [s]	σ^2	threshold	M1y	M2y	M1n	M2n
1 回目	4.01	0.32	46	100	20	20	100
2 回目	4.05	0.31	45	100	30	30	100
3 回目	3.73	0.25	43	100	80	80	100
4 回目	3.73	0.16	43	100	90	90	100

これらの実践の結果から、得られた値を比較することでプログラミングの技能の一つであるパラメータを調節する技能を評価できることや一つの指標では評価できていなかった技能の評価ができることが明らかになった。また、自グループのデータを比較させることで、パラメータを改善させる支援ができることがわかった。さらに、測定した定量データをグラフで示すことで、習熟過程を評価できることを示し、トレードオフ曲線を用いた新たな評価指標の可能性を示すことができた。

第5章 設計要素と走行性能に基づく設計技能の評価

定量データとして複数のデータ(シャシー性能に特化したモデル教材(以下、走行体モデル)の設計要素と走行性能)を測定することで、設計技能を評価することについて述べる。2019年に統合イノベーション

ヨシノ戦略推進会議で示されたAI戦略2019では、数理・データサイエンス・AI人材の育成・確保が緊急的課題であるといわれている。平成30年に告示された高等学校学習指導要領では、共通教科情報科が、新たな科目として「情報Ⅰ」、「情報Ⅱ」に整理された。そして、情報Ⅰにデータサイエンスの内容が「情報とデータサイエンス」という項目として位置付けられた。情報科の指導をする際には、学習者の興味や関心、中学校までに身に付けてくる資質・能力や学習経験を把握することが大切とされている。技術科において、情報科と関わりの深い学習内容としては、「D情報の技術」において行われている。しかし、他の内容との関りがある授業開発はほとんどなされていない。本章で述べる授業は、「Cエネルギー変換の技術」の内容に該当する。この内容では、歯車のかみ合いを利用した機構を設計するラジコンカーなどの教材開発やロボット競技形式の学習課題の実践報告がなされている。しかし、製作品の設計要素や筐体に取り付けた部品を定量データとして測定し、解決方を最適なものになるよう再設計する授業の提案はなされていない。また、一般的に自動車で高機能なシャシー性能を実現するには、タイヤやフレーム、重心などの各要素のバランスをとることが重要である。しかしながら、リンク機構などの力学的な機構の改善を注視する教材が多く、シャシー性能に特化した教材開発はなされていない。そこで、設計要素や筐体に取り付けた部品と走行結果を定量データで測定し、設計と製作を繰り返すことで、課題を解決する走行体モデルを設計させることを提案した。まず、走行体モデルの構造について示し、定量データとして測定する設計要素を限定してギヤボックスのギヤ比、トレッド、ホイールベース、車輪の直径、前輪駆動後輪駆動、キャノピーの位置を設計要素のパラメータとすることを考案した。次に、走行性能を評価するための三つの競技形式の課題(直進走行、駐車、凸凹走行)と、測定する定量データについて検討した。次に、走行体モデルを使用した授業を考案し、大学生20名を4人一組として5グループに実践した。走行体モデルの設計と製作は2回行わせた。1回目に製作させた走行体モデルの設計要素のパラメータを表5.1に示す。1回目の課題の結果から学生は、問題点を挙げた。問題点の一つは、車輪の空転である。この問題は、重心が関係する。そのため、学生は表5.1の駆動輪とキャノピーの位置を比較することで最適な位置を分析した。1回目の結果を踏まえて、学生に問題を解決する方策を考えさせ、解決方策が最適なものになるように2回目の設計と製作をさせた。2回目に製作させた走行体モデルの設計要素のデータを表5.2に示す。車輪の空転を抑制するために、前輪駆動でキャノピーを前方の位置とするグループが増えている。図5.1に課題1～課題3の主な結果の変位を示す。課題1の直進走行は、基準線からの変位を示している。課題2の駐車と課題3の凸凹走行は、走行時間を示している。グループ4については、全ての競技結果が良くなっている。一方で、その他のグループは、結果が良くなっている課題と悪くなっている課題がある。このことから、学生には操縦性と安定性の相反する性質や設計要素のトレードオフの関係についても指導を行った。

表 5.1 1 回目の走行体モデルの設計要素

	グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5
ギヤ比	200:1	57:1	200:1	57:1	57:1
トレッド[mm]	95	85	130	170	85
ホイールベース[mm]	150	150	180	200	120
前輪径[mm]	80	60	60	80	80
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
後輪径[mm]	40	40	80	60	60
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
駆動輪	前輪駆動	前輪駆動	後輪駆動	後輪駆動	前輪駆動
キャノピーの位置	前	前	中央	後	後

表 5.2 2 回目の走行体モデルの設計要素

	グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5
ギヤ比	200:1	200:1	57:1	57:1	57:1
トレッド[mm]	150	220	185	150	140
ホイールベース[mm]	140	165	115	125	115
前輪径[mm]	80	80	60	80	60
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
後輪径[mm]	80	40	80	80	40
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
駆動輪	前輪駆動	前輪駆動	後輪駆動	前輪駆動	前輪駆動
キャノピーの位置	前	前	前	前	前

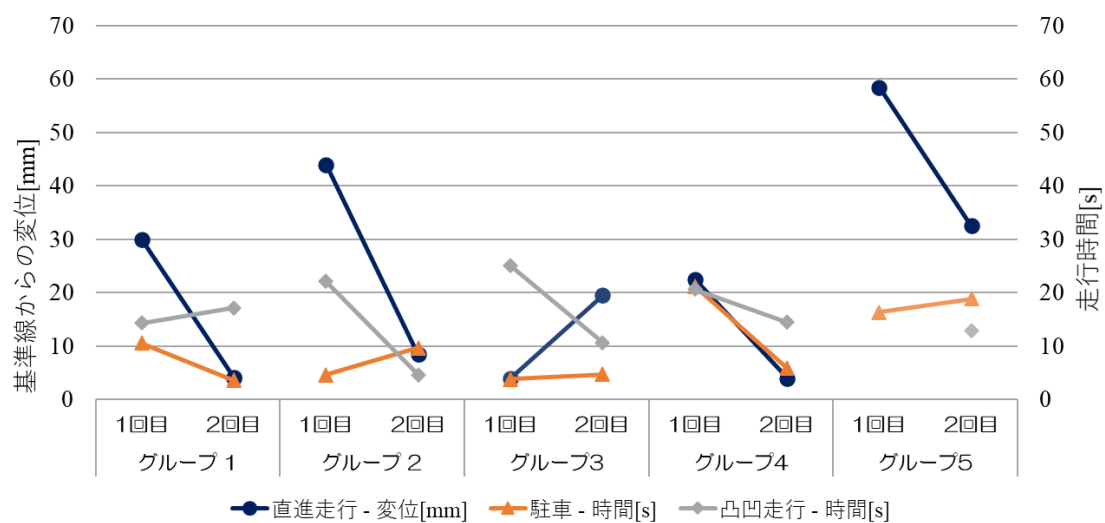


図 5.1 主要な競技結果の変位

これらの実践の結果から、学習者が製作した全てのグループの走行モデルの設計要素のパラメータと走行結果との関係を表やグラフで示すことで、データを根拠として走行性能に及ぼす要因を示せることが明らかとなった。そして、設計要素のパラメータを改善させる支援ができることと、設計技能の評価として使用できる可能性を示した。

第6章 結論

近年の社会的な変化や技術革新を踏まえると、定量データに基づく学習評価方法と支援について実証的な検証をしていくことが求められている。そこで、本研究では、新たなアプローチとして学習者が作った製作品の作動音や動作などから定量データを得て、数理モデルで表したり、グラフに示したりすることで比較・分析することを検討した。そして、定量データとして単数を扱う場合や複数を扱う場合、必要となるデータから評価や分析をして得られる結果から場面を分けて教材や評価方法を提案し、中学生や大学生に実践した。実践結果から、学習者にデータを根拠とした分析をさせることができることや、教師がデータに基づいて学習者の技能の評価や支援ができることなどの教育効果や有用性が明らかになった。以上のことをまとめ本論文を総括した。

参考文献

- ・ 内閣府：「科学技術基本計画」 (2016)
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
(2021年12月1日参照)
- ・ 文部科学省：「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策（最終まとめ）」 (2019)
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387_02.pdf
(2021年12月1日参照)
- ・ 文部省教育課程審議会答申：「児童生徒の学習と教育課程の実践状況の評価の在り方について」
(2000)
- ・ 足立自朗：「教育評価にかかわる若干の概念の検討」, 日本教育学会教育学研究, Vol.43, No.2, pp.102-112 (1976)
- ・ 田中耕治：「教育評価」, 岩波新書 (2002)
- ・ 森山潤, 西正明：「プログラミングの学習指導におけるニューラルネットワークを用いた学習効果の予測モデルと授業評価への応用：中学3年生を対象としたLogoによる学習指導の事例」, 日本教育工学会論文誌, Vol.25, No.3, pp.207-216 (2001)
- ・ 白坂高司, 山本透：「ものづくり学習の組立てプロセスにおける Memory-Based 評価予測システムの開発」, 工学教育, Vol.58, No.5, pp.61-66 (2010)
- ・ 長松正康, 白坂高司, 川田和男, 山本透, 山根八州男：「制御工学的アプローチに基づく教師-学習者間モデルに関する考察」, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), Vol.134, No.10, pp.1537-1542 (2014)
- ・ Y. Ohnishi, S. Takechi, T. Tamai and K. Kawada : “Evaluation for Task Achievement of Robotics Programming Based on Image Information”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.3, pp.427-433 (2019)
- ・ 川田和男, 山本透, 間田泰弘：「進化的計算法を用いた機械設計力の評価方法に関する一考察」, 工学教育, Vol.53, No.1, pp.63-68 (2005)
- ・ 安孫子啓, 安藤茂樹, 魚住明生, 宮川秀俊(共編)：「新 技術科教育総論」, 日本産業技術教育学会技術教育分科会 (2009)
- ・ 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成29年告示)」, 東山書房 (2018)
- ・ 松浦正史, 神野弘良：「技術科における強さとかたちの学習展開」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.24, No.3, pp.5-11 (1982)

- Garratt, James : "Design and technology (2nd ed.)", Cambridge University Press, pp.54-61 (1996)
- 林洋次, 他 11 名 : 「機械設計 1」, 実教出版 (2018)
- 太田博光, 瀬戸邦聰 : 「正確な区分時点推定に基づく局所定常 AR モデルによる転がり軸受の音響診断」, 日本機械学会論文集(C 編), Vol.70, No.691, pp. 664-670 (2004)
- 国立教育政策研究所 : 「「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 中学校 技術・家庭」 (2020)
https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/hyouka/r020326_mid_g-gijyut.pdf
 (2021 年 12 月 1 日参照)
- 森慎之助 : 「ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習の授業実践と作業分析」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.47, No.3, pp.201-207 (2005)
- 統合イノベーション戦略推進会議決定 : 「AI 戦略 2019～人・産業・地域・政府全てに AI～」 (2019)
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ai_senryaku/pdf/aistrategy2019.pdf
 (2021 年 12 月 1 日参照)
- 文部科学省 : 「高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)」, 東山書房 (2019)
- 門田和雄, 猪股晃洋, 長嶋春樹 : 「中学校技術科における教育用小型マイコンボードを活用したラジコンカーの開発」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.61, No.4, pp.297-304 (2019)
- 川田和男, 長松正康, 山本透 : 「人命救助を題材とした中学生ロボットコンテストの取り組み」, 工学教育, Vol.58, No.2, pp.33-39 (2010)