

## 研究ノート

# Society5.0 時代に向けた木を使った STEAM 教材の試作

本池巧

**【要旨】** 2020 年度より小学校において必修化されるプログラミング教育を契機として STEAM 教育への関心が高まりつつある。ただ、STEAM 教育の本質が理解されないまま、AI、IoT など表層的なテクノロジーへの適応に関心が集まっている。改めて、これから訪れる Society 5.0 社会において求められるスキルとはどのようなものか考察し、今のプログラミング教育に欠けているものを補完する教材を、身近な木材を題材として構築することを試みた結果を報告する。

**【キーワード】** Society 5.0、STEAM 教育、プログラミング教育、計算論的思考

## 1. はじめに

ここ 2、3 年、小学生を対象としたプログラミング教室が人気である。その背景には、2020 年度に施行される新学習指導要領で、小学校でプログラミング教育が必修化となることが影響しているのは明らかである。世界全体では、2000 年代から、ICT (Information and Communication Technology) リテラシー教育の必要性が認識されており [1、2]、これからの知識基盤社会において人材育成の一つの柱として積極的に取り組んでいるが、今までは、諸外国に比べると日本の初等中等教育における ICT リテラシー教育への取り組みは盛んであるとは言えなかった。しかし、この 2、3 年、急速に社会での実装が進む AI (人工知能)、IoT (Internet of Things) などの新しい技術基盤に対応できる人材不足、今後急速に進行する少子高齢化社会の到来に備えた一人一人の生産性向上など、社会の大きな変革に対する政策の後押しもあり、プログラミング教育・統計教育の充実が図られることとなった [3]。

プログラミング教育の必修化といっても、小学校に新たにプログラミングを教える教科が導入され

るわけではなく、国語・算数・理科・社会などの科目の中で教えることになる。2020 年度施行の学習指導要領の総則においては、「各教科の特質に応じてプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考能力を身に付ける」と示されている。実際に、このような指導ができる小学校教諭は少なく、Scratch などプログラミングの素養がなくとも操作できるビジュアルプログラミングを使用し、メーカーが作成したロボット学習キットを使って LED を光らせる、モータを動かしてロボットを移動させるなど、画一的なものが多い。テクノロジーの活用 (例えばタブレットを使うなど) に重点が置かれており、各教科が教える内容に即してテクノロジーを使うのではなく、使うテクノロジーありきで進められているものが少なくないことも否めない。特に、文部科学省では PC の利用を重視し、プログラミング教育の目的のなかでコンピュータの仕組みを知ることの重要性を強調している。プログラミング教育によってコンピュータが「魔法の箱」でなくなると述べているが [4]、コンピュータを含む情報処理システムは、内部構造を隠蔽し、決められたルールでしか利用

できないように設計されている。ブラックボックス化されたコンピュータに頼る教育では、結局は、生徒にとってコンピュータは「魔法の箱」のまま、その仕組みを理解し、課題解決に活用できるようになるとは思われない。

また、視点を変えて、今の大学生のコンピュータの利活用に目を向けると、大学の専門課程で使用する高度なアプリケーションの操作方法の指導の際、むやみにマウスをクリックしメニューを開くなど、意味のない操作をする学生が増えている。その背景には、ユーザを迷子にさせずに目的地までうまく誘導しているゲーム等で、受け身で何となくクリックすれば目的を達成できるという体験を重ねてきた結果ではないかと思われる。メール送信、Webで検索など比較的簡単な処理では問題にはならないが、大学の専門課程で 사용되는高度なアプリケーションの場合、処理の内容やアプリケーションの仕組みを理解した上で、目的を達成するために定められた多数の手順を踏む必要がある。しかし、仕組みを理解せず感覚的な操作に慣れてしまった学生にとっては、このようなアプリケーションを活用することが難しいものであると思われる。

この論文では、あらためて Society 5.0 社会で求められるスキルについて考察し、文部科学省が進めようとしているプログラミング教育で見落とされている課題を明らかにする。その結果をもとに、試作した教材を実際の小中学校で実施した結果を報告する。

## 2. Society5.0 社会にもとめられるもの

第4次産業革命によって、今まで経験したことがない速度と規模で社会の仕組みが大きく変化し、近い将来、社会の基盤技術を支える人材が不足することが明らかとなっている。その変化に備えるため政策の一つとして、初等・中等教育におけるプログラミング・統計教育が導入された。

来るべき社会を政府は Society 5.0 (この呼称は

日本独自で、海外ではあまり使われない)と呼んでいるが、今までの人類の社会の発展段階を数字バージョン番号で表したものであり、最初の狩猟社会を Society 1.0 とよび、農耕社会を Society 2.0、工業社会を Society 3.0、情報社会を Society 4.0 と呼んでいる。2.0 から 3.0 への変革では、まずは、紡績機・蒸気機関などの機械の発明がもたらした第1次産業革命による製造・輸送効率の飛躍的向上が実現され、次に、第2次産業革命によるガソリンエンジン・電力等の動力の発展による軽工業から重工業へ転換がおき、最終的には大工場による大量生産の Society 3.0 が実現された。この時代は、工場で多くの労働者を集約的に仕事に従事させるため、人々の協調性が求められていた。3.0 から 4.0 への変革は、コンピュータやインターネットなどの情報通信技術の発展による第3次産業革命によってもたらされ、工業社会から情報化社会へと変化した。Society 4.0 では、製造機械の自動化が進んだ結果、従業員一人一人が携わる事務処理などの効率化が重視されるようになり、自らの判断で動く個人の自律性が求められるようになった。

さて、現在進行中の第4次産業革命では、AI、IoT、ロボティクス、ビッグデータといった先端科学技術中心と進行しており、多くの専門分野の連携・統合・自動化が指数関数的な速さで進行しているだけでなく、IoT、AI、ロボティクス等によって、サイバー空間とフィジカル空間の融合が進行している。これによって、Society 4.0 までは、パターン化された処理を対象とした自動化が、Society 5.0 では、ルールや知識で表されるものが対象となる。エアコンの暖房運転の制御を例にすると、Society 4.0 では、センサが検知した温度が、設定した温度を下回れば暖房運転し、上回ると停止するという単純なものであるが、Society 5.0 では、人に指示するように「少し暖かく」といった抽象的な表現で運転制御するようになる。

Society 5.0 では、いままで人間でしかできなかった知的処理の一部が、機械に置き換えられ、「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合さ

せたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、「人間中心の社会」が到来すると予想される [5]。

フィジカル空間とサイバー空間の融合は Society 4.0 社会において始まっている (図 1 (a))。Society 4.0 での ICT 技術が扱えるものは、構造化されたデータに限定され、サイバー空間のデータは、いわゆる GAF A (Google、Amazon、Facebook、Apple) と呼ばれる IT 市場の覇権を握る企業 (プラットフォーム) が押さえているため、一般ユーザは、Google の検索サービスのように、プラットフォームが提供するサービス利用するのみで、データを直接利用することはできない。

現在は、AI 開発の主要技術である深層学習などの導入によって、従来の ICT 技術では処理が難しい業務で生成される文書などの非構造化データに基づく業務をコンピュータで自動化できるようになりつつある (図 1 (b))。最も AI の実務への応用が盛んな領域であるが、深層学習では、精度を高めるためのトレーニング用データの用意、それを実務に活かすための体制づくりなど、導入コストの面から、やはりプラットフォームが提供するサービスを利用する形態がほとんどである。

本格的な Society 5.0 社会となると、IoT やロボティックスの普及によって、フィジカル空間とサイバー空間の融合が進む。IoT によって得られる大量のデータを深層学習で処理し、その結果を使って機械で自動処理することが可能になり、我々が住む社会や生活が大きく変化する (図 1 (c))。

特に、今後、さらなる発展が期待されるのは、深層学習 + IoT + ロボティックスが有効な領域の境界部分 (図 1 (c) の斜線塗り) である。サイバー空間はフィジカル空間に比べ物理的な制約が少なく汎用システムの構築が容易である。しかし、フィジカル空間に適応する際に、Society 3.0 の時代に経験した、物理的な制約に合わせた細かな調整が必要で、高度な融合を実現するためには、AI、IoT、ロボティックスなど ICT 技術だけでなく、

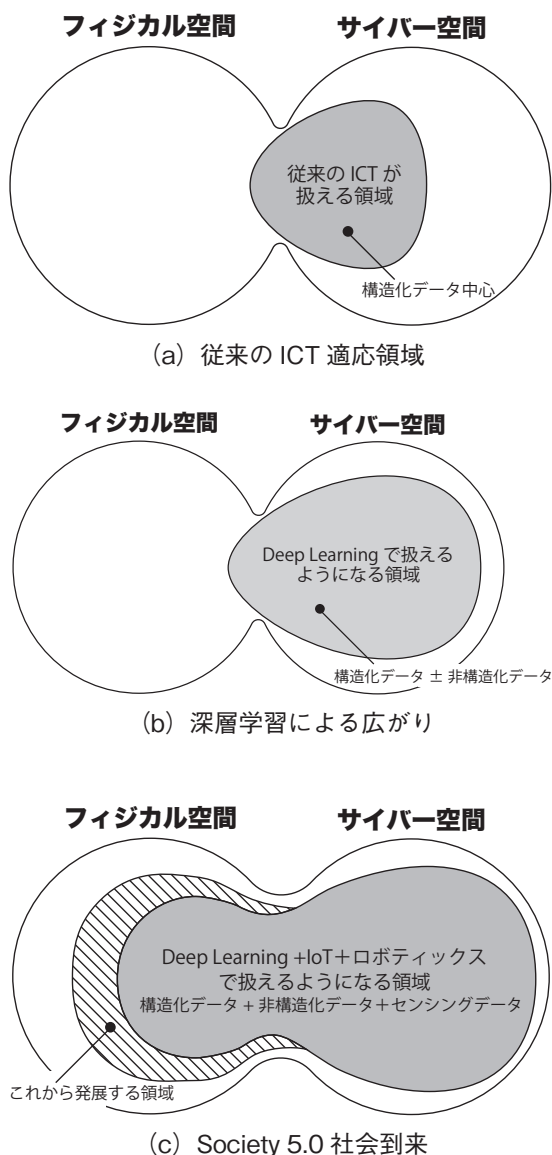


図 1：フィジカル空間とサイバー空間の融合

自然科学、社会科学など幅広く知識と経験を有する人材が必要となる。そのために、現在、世界的に STEAM (Science、Technology、Engineering、Art、Mathematics) 教育の本格的な導入が進められているところである。

### 3. プログラミング教育に求められること

文部科学省が考えるプログラミング教育の概要を示した「小学校学習指導要領(平成29年告示)解説総則」においては、

『また、子供たちが将来どのような職業に就くとしても時代を越えて普遍的に求められる「プログラミング的思考」(自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力)を育むため、小学校においては、児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動を計画的に実施することとしている。』

と述べられている。あえて「プログラミング的思考」という特殊な言葉を使っているが、内容はコンピュータシステム設計の三つの基本的な考え方、「要素分解」・「抽象化&汎化」・「組み合わせ」を初等教育の内容に合わせて表現したものである。

プログラミング的思考教育が効果的に実施されるためには、子供たちがフィジカル空間およびサイバー空間にどのように接し、どう認識しているかを考慮しなければならない。今の子供たちは、スマートフォンネイティブ世代と呼ばれるように、小さいころから、スマートデバイスに接している。手書きで文字を書けばわかるよう、スマートデバイスのタッチ位置検出の精度はそれほど高くないが、ソフトウェアを使って自然な操作に感じられるように補正している。このように、サイバー空間での体験は、様々な物理法則に基づくフィジカル空間での体験とは異なり、人為的に作り上げられたものである。Society 3.0 社会→ Society 4.0 社会への移行において、フィジカル空間に慣れた人がデジタル機器への適応に苦労したように、サイバー空間になれた人が、Society 5.0 に

おいて現れる、フィジカル空間と融合した製品やサービスへの適応に苦労することが予想される。そこで、今の若い世代が、本格的な Society 5.0 社会に適応するためには、どのような教育が必要なのかまとめてみたい。

#### 3.1 ホワイトボックスでの教育

専らコンピュータ上で行われるプログラミング教育では、コンピュータは中身の見えないブラックボックスであるため、プログラミングの命令がどのような働きをなすかは理解できても、なぜそうなるかという仕組みは分からない。自然界の法則、機器の仕組みなどを正しく理解するためには、コンピュータ上の教育では充分ではない。仕組みが目に見えたり触ったりできるホワイトボックス的なものを教材とする必要がある。

#### 3.2 多様なメンタルモデルの構築

フィジカル空間とサイバー空間を比較すると、フィジカル空間内のオブジェクトは、自然界の様々な制約を受け、その制約によって多様性に富み、操作方法などは千差万別である。サイバー空間のオブジェクトは、逆に制約がほとんどないため、スマートデバイスのように操作方法は均一化されている。プログラミング講座を例にすると、サーボモータを使ったロボットの動作において、DC モータに変えた場合、制御素子や使用する命令等、多くの変更が必要になる。また、サイバー空間のスケラビリティは広いが、フィジカル空間のスケラビリティは狭い。すなわち、サイバー空間では対象の規模が倍になっても同じシステムが使えるが、フィジカル空間では、規模が倍になると別の仕組みが必要となる。先のサーボモータを使ったロボットを例にすると、より複雑な動きを実現するためにサーボモータを増やした場合、倍の定格のコントローラへの交換やそれに合わせたプログラミング環境の変更などが求められる。このように、フィジカル空間の現物を対象とする場合、対象の性質や仕組みを理解し、適切なアプ

ローチを選ぶ必要がある。

我々が、新しい道具の使い方を習得する際、頭のなかで「こうしたら、こうなる」というメンタルモデルを考えながら道具の操作方法やその意味を理解し、道具を使いこなしていく。フィジカル空間の多様性に対応するためには、多様なメンタルモデルを考えることができなければならない。仕組みの理解と同じ状況であるが、学校の授業をコンピュータやタブレットだけで済ませてしまうことは、こどもたちのメンタルモデルの多様性が狭まることになる。

### 3.3 計算論的思考

J.M. Wing は、コンピュータ科学を基に、社会の様々なところで活用されているコンピュータを効果的に利用するための思考方法として、「計算論的思考」を提唱している [6]。計算論とは様々な課題をコンピュータによる計算で解決するものであるが、この思考方法は、コンピュータに特化した課題を扱うのではなく、日常的に発生する様々な課題を対象とし、計算を用いて効果的に対処する方法を提供する。計算論的思考は、コンピュータの利用を前提としておらず、例えば、財布を落としたとき、来た道を逆戻りすることは計算論でのバックトラックにあたり、マルチサーバシステムの効率運用は、切符売り場の前の行列の処理に使うことができる。

コンピュータ科学では、様々なプログラミングのパラダイムを理解する際、昔からある問題を例題に説明している。例えば「ハノイの塔」を例に、関数型プログラミングで必要な再帰計算とはどういう考え方を示している。日常的な様々な課題を計算論的思考で考えることで、コンピュータ内部で実行されている処理の本質を理解することができると言える。

## 4. 教材の試作と実施例

今までの、Society 5.0 社会およびプログラミン

グ教育の考察に基づいて試作した教材を、2019 年度、飯能市教育委員会の協力を得て、南高麗小学校および南高麗中学校において実施結果を報告する。

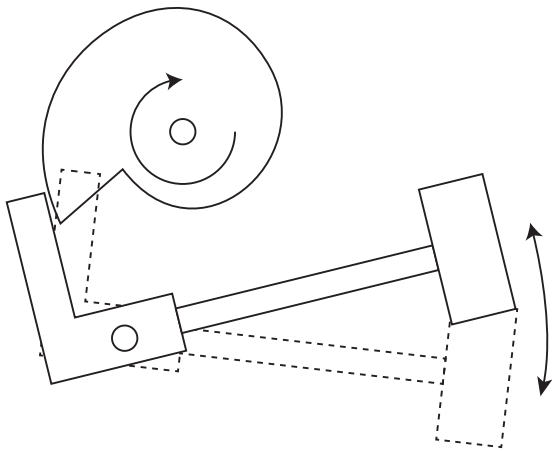
試作する教材は、小学校 6 年生向けには、レオナルド・ダ・ヴィンチが考案したカムハンマーの製作を通じてカム機構を学ぶ教材を、中学 1 年生向けには、3D CAD を用いて設計した形状データから CNC (Computerized Numerical Control) マシンを用いて実際の加工を学ぶ教材を試作した。

素材には以下の二つの理由で木を採用した。1) 強度と加工のしやすさの点で、バランスが取れている点：加工のしやすさでは紙が優れているが、回転機構など強度が必要な部品には使えないなど問題がある。2) 状況に応じて微調整ができる点：木は生体材料で、金属やプラスチックなど工業材料と違って精度にばらつきが出る。後ほど詳しく説明するが、教育的な観点からは、設計からのずれを修正することは、仕組みを理解する上で重要なプロセスである。

### 4.1 ダヴィンチのカムハンマー

この教材は、ホワイトボックスとして構築した機構を通じて、機械の仕組みを理解することを目的とする。題材としては、ルネサンス期、レオナルド・ダ・ヴィンチが考案したカムハンマーを選択した。これは、図 2 のように、カムを回転させることで、ハンマーが繰り返し振り下ろされる道具である。

カム機構は、現在でもガソリンエンジンのバルブの開け閉めなどに活用される重要な機構である。この教材には、主に二つの目的がある。一つは、機械の仕組みを、動きによって理解することである。仕組みとは、換言すれば部品間の因果関係を理解することであり、この場合、カムがハンマーと接する部分の回転軸からの距離の変化によって、ハンマーが上下する。カムの先端部分が、振り下ろしの重要な役割を持つことを、動きの中で理解できるようにした。もう一つの目的は、軸



(a) 動作機構図



(b) 制作したカムハンマー

図2: レオナルド・ダ・ヴィンチのカムハンマー

受けやカムの穴の大きさを軸径より小さくし、穴の大きさを調整しなければ動作しないようにした点である。すべての穴を広げれば、カムは空回りする。軸受けと軸の間に遊びがなければ、ハンマーは動かない。自分で、各パーツの動作を理解し、

穴の大きさの調整を考えながら組み立てていく。

今回実施したクラスでは、木工の経験がある生徒が多く、棒ヤスリでの穴の調整など、木工道具の説明が不要であったため、50分×2回の授業で完成させることができた。

さらに次の段階の発展として、図3のようにハンマーを二つにし、カムの形状も様々なものを用意する。特に説明をせずにもどのような行動をするか眺めていると、生徒は、自発的にカムの組み合わせや位置を調整し、自ら単純な機構から多様な動きが生成されることを発見していった。

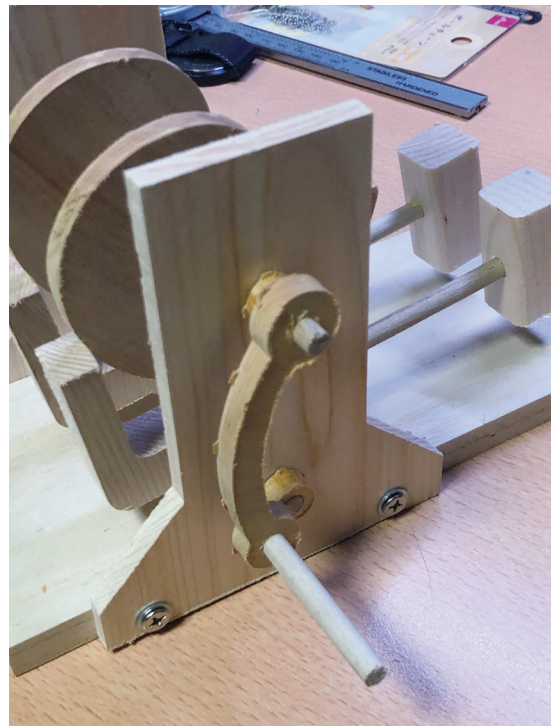


図3: カムハンマーの拡張

## 4.2 3D CAD/CAMを使った木工

Society 5.0 社会では、Society 3.0、4.0 のように大量生産品や汎用システムだけでは対応できない課題に取り組むことになる。その際、重要になるのが3D プリンタに代表されるデジタルファブリケーション技術である。今回は、以下の三つの

理由で、3D プリンタではなく、CNC ミリングマシンを使った木材加工を通じてデジタルファブリケーションを学ぶ教材を作成した。

- 1) 加工時間：3D プリンタは加工に時間がかかり、授業中に生徒全員が製造することが難しい。CNC ミリングマシンであれば、小物であれば一点あたりの加工時間は5～10分で済む。
- 2) 材料コスト：教材に使う木材は、木工所の端材を利用することでコストを抑えることができる。
- 3) 加工性：紙やすりなどを使った最終仕上げが簡単である。

CNC ミリングマシンとは、エンドミルと呼ばれる刃物をモータで高速回転させ、それを、XYZの3軸方向に動かしながら、素材から造形物を削り出す加工機械である（図4）。3D プリンタは、指定された樹脂に素材が限定されるが、CNC ミリングマシンは、木、樹脂、金属など様々な素材を加工することができる。エンドミルを動かしながら材料を削り出す加工方法であるため、エンドミルがどのように動くのか、エンドミルの物理的な大きさなどを理解した上で、モデリングしなければならない。加工方法についてあまり意識せずとも造形できる3D プリンタに比べると、扱いが難しい点があるが、実際の工場でも使われている加工機械であり、フィジカル空間の制約を理解した上での意匠が必要であることを理解するには適した対象である。

この教材は、中学一年生を対象としているが、まだグラフィックソフト操作未体験の段階で、3D CAD の操作を教えることに不安はあったが、CAD ソフトの操作については特に困難な生徒はみられなかった。製造用のデザイン段階になると、加工する際の制約が、自分が作成しようとする意匠にどのような制約を与えるか実感できず、生徒の半分は、加工できないモデルを設計してしまう結果となった。残り半分の生徒は、この制約を理解し図5に示すようなアクセサリの製造に成功した。



図4：CNC ミリングマシン

## 5. まとめ

木製のホワイトボックスによるカム機構の動作原理を学ぶ教材と、CAD/CAM を使った実際の木材加工を通じた、デジタルファブリケーション技術を学ぶ教材を試作した結果をまとめる。機械の仕組みを学ぶ際に、動きの中で仕組みが分かるようにすることは、仕組みの理解を促すだけでなく、自発的に仕組みを発展させるなどの効果が期待できることが分かった。効果的な教材であるが、数をそろえることが難しいという課題もあり、効率よい製造方法を考える必要がある。

3D CAD/CAM での設計では、今のこどもたちは、アニメや漫画に囲まれているため、加工方法を理解した上で意匠を考えず、好きなキャラクターを作ることに意識が流れ、実際に制作可能かどうかを見失ってしまうケースが見られた。彼らの創造性に、アニメや漫画が強く影響を与えているこ



図5：CNC ミリングマシンでの製造例

とを改めて認識することができた。また、今回は簡単なアクセサリ製作であったため、CADを使った設計を通じて制約プログラミングの概念を身につける教育を実施することができなかった。

次の段階の教材には、CADを通じた計算論的思考の修得を組み込むことを検討したい。

### 参考文献

- [1] P. Griffin, E. Care, Assessment and Teaching of 21st Century Skills, Springer, 2016
- [2] トーマツイノベーション編著, 人材育成ハンドブック, ダイヤモンド社, 2017
- [3] 文部科学省, Society 5.0 に向けた人材育成, [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf), 2018
- [4] 文部科学省, 小学校プログラミング教育の趣旨と計画的な準備の必要性について, [https://www.mext.go.jp/content/20200210-mxt\\_jogai01-100013292\\_01.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200210-mxt_jogai01-100013292_01.pdf), 2019
- [5] 文部科学省, 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説総則編, [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017\\_001.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_001.pdf), 2017
- [6] J.M. Wing, Computational Thinking, Communications of the ACM, Vol. 49, No. 3, 2006



**Developing Prototype of STEAM Education Materials by Making Use of Wood for the Society 5.0 era.**

**By Takumi MOTOIKE**

**[Abstract]** Interest in STEAM education is growing as a result of the introduction of programming education in elementary schools from the 2020. However, without understanding STEAM education, interest is focused on adapting to superficial technologies such as AI and IoT. In this article, we will examine what skills are required in the coming Society 5.0 and report the results of trials to develop educational materials that complements the programming education by making use of wood.

**[Key words]** Society 5.0, STEAM Education, Programming Education, Computational Thinking