

# レーザー加工機を活用した積層エンクロージャー型 バックロードホーン的设计・製作 ～工業高等学校課題研究の題材と指導過程の提案～

川井勝登 所沢市立安松中学校

山本利一 埼玉大学教育学部

荻窪光慈 埼玉大学教育学部

キーワード：課題研究、設計、積層エンクロージャー型バックロードホーン、音道、  
デジタルファブリケーション、レーザー加工機

## 1 緒言

近年、ものづくりで注目されているデジタルファブリケーションとは、令和元年版情報通信白書<sup>1)</sup>で“デジタルデータをもとに創造物を製作する技術のことである”と記載されている。

デジタルファブリケーションでは、デザインとプロセスを一体化・融合することで、新たな発想によるものづくりが実現できるとされ、基幹となる付加製造技術は、従来の一般的な加工とは原理的に異なるため、材料、エネルギー、環境いずれの側面においても、必要最小限の資源と環境負荷での製造を実現するポテンシャルを有するとされている<sup>2)</sup>。

デジタルファブリケーションは、日本も含めた世界各国で普及が進んでいる。デジタルファブリケーションの強みは、これまでの製造技術では作製困難なものが作製できることや、個人レベルでの新しいものづくりが可能となる。これまでものをつくる行為に携わっていない人々のものづくりへの参画や、「Fab Lab (ファブラボ)<sup>3)</sup>」と呼ばれるデジタルファブリケーション機器が設置された施設を使うことで、組織に属さずとも高度な工作機器を使用した自由なものづくりが可能となり、新しいイノベーション、新しい経済、新しい働き方が生まれると期待されている。

近年、ものづくりでの要求課題が変化し、「どうつくるか」ではなく、「何をつくるか」になり、新しいものを生み出す力が必要となっている。新しいものを生み出す過程では、「考える」、「試す」、「改良する」が一般的な流れになり、このプロセスの能力を高める教育が求められる。ここで、デジタルファブリケーションの技術の活用は、効果的であり、教育的に活用できることもデジタルファブリケーションの強みと言える<sup>4)</sup>。

平成30年に告示された高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説・総則編では、「社会に開かれた教育課程を重視」、「確かな学力の育成」、「高大接続改革」が言及されており、確かな学力を育成するために、ICTの積極的な活用が示されている。ICT活用の中でも、近年デジタルファブリケーションの活用が注目されるようになってきた<sup>5)</sup>。

また、高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説・工業編の中にある課題研究<sup>6)</sup>では、“工業に関する課題を発見し、工業に携わる者として独創的に解決策を探究し、科学的な根拠に基づき創造的に解決すること”や“身に付けてきた専門的な知識、技術などを活用し、さらに新しい知識と技術を学びながら作品や製品を完成できるようにする”ことが重要とされ、これらの目標を達成できる題材の開発が求められている。

このように、工業高校における課題研究は“これまで学習した内容の深化”と“生徒自身の独創性を形として仕上げる”の2つに力点が置かれている。生徒の興味・関心を基に、適切な技術的解決ができる題材の設定が求められている。

そこで、デジタルファブリケーションを活用した教育実践研究を調査すると、杉本ら（2019）<sup>7)</sup>は、デジタルものづくり教育として、3DCADを用いて製作品を立体モデルとして設計し、二次元の平面図に部品図を展開した後に、レーザ加工機で部品を製作する指導法と製作例を示している。しかし、授業実施例はなく、指導でどのような資質・能力が獲得できるのかなどの提案はなされていない。

森岡ら（2019）<sup>8)</sup>は、教員養成大学の学生に対する、3DCADや3Dプリンタを利用したデジタルファブリケーション環境の構築とそれを利用したカリキュラムおよび教材の開発を提案している。デジタルファブリケーション技術を利用すると、研究室で保有している従来の切削型の工作機械（NCフライスやマシニングセンター）では、製作が困難であった教材なども、比較的容易に製作できることの報告がなされている。デジタルファブリケーション技術を初等・中等教育の教育内容として将来的に担当できる教員の養成に効果があることが示されている。

伊豆（2017）<sup>9)</sup>は、デジタルデータを基に、コンピューターに接続された工作機械を用いて素材を加工するデジタルファブリケーションをデザイン教育に活用した実践事例を報告している。これらにより、これまで再現できなかった新しいモノづくりが可能になったことを示している。

島崎ら（2019）<sup>10)</sup>は、楽しいものづくりを目指して、小学校低学年・中学年を対象にレーザ加工機を用いたティッシュ箱入れづくり学習教材の開発を行った。また、学習教材を用いて小学生向けのものづくり体験学習を実施し、小学生のものづくりに関する興味・関心の向上や学習教材の有用性を確かめている。

このように、デジタルファブリケーションを活用することで、これまで再現できなかったものづくりが、専門的な教育を受けていない者であっても可能となり、創造性を育む教育に活用され始めていることが報告されている。これらは、工業高校における課題研究の目標である“これまで学習した内容の深化”と“生徒自身の独創性を形として仕上げる”の観点と一致する。生徒の興味・関心を基に、適切な技術的解決をデジタルファブリケーションが支援できれば、これまで以上に発展的な学習が可能になることが予想される。

一方、近年、中・高校生のスマートフォンの普及は、約80%とほとんどの生徒がこれらを活用する情報化社会となっている<sup>11)</sup>。スマートフォンは、情報通信以外にも、カメラ機能や音楽再生など、生徒達の生活に欠かせないものとなっている。スマートフォンの通信以外の利用として、音楽再生を利用している割合は、76.8%と、音楽に対する興味・関心は高いものである<sup>12)</sup>。デジタルオーディオが普及することで、これまでレコード、テープ、CD、MDから、ファイル再生と音楽再生の方法が変化すると共に、身近に音楽を聴くことができるようになってきている。しかし、これらの音源を再生する装置が、スマートフォン本体では、再生音には限度がある。また、本格的なスピーカからの鑑賞を行う機会は少なくなっている。

これらの経緯から、筆者ら<sup>13)</sup>は高等学校工業科の課題研究において、バックロードホーン型エンクロージャーの設計・製作の指導過程を提案し、授業実践してその効果を検証した。生徒が設計・製作したエンクロージャーの例を図1に示す。

生徒の実践後の改良点の指摘として「製作工程に制限があるため、より自由な設計を行いたい」、「複雑な形状は加工が難しい」という課題が確認された。そこで、「自由な設計」、「それらを

簡易に加工する技術」をデジタルファブリケーションで支援できないかを検討すると共に、工業高等学校の課題研究の題材としての可能性を模索することを研究の目的と定めた。



図1 生徒が設計・製作したエンクロージャー

## 2 積層エンクロージャー型バックロードホーン

### 2.1 積層エンクロージャー型バックロードホーンと従来型バックロードホーンの比較

従来型のエンクロージャーは、構造上および製作上の制限から、スムーズに音道が拡大する設計は困難なものであるとされてきた<sup>14)</sup>。

これらを解決するために、音道を切り出した板材を複数枚重ねてエンクロージャーを製作する、積層エンクロージャー型バックロードホーン<sup>15)</sup>が、長谷弘工業株式会社（2000年特許取得）によって開発された。積層エンクロージャー型バックロードホーンは、製作者の想定した音道の設計が比較的自由に行え、音道も滑らかになり、高音質の音楽再生が可能になるものである。特許法第68条<sup>16)</sup>に記された「業として」以外の活用は、特許権の侵害にならない。つまり、個人的または家庭内での利用などであれば特許権の侵害にはならないことを確認し、これらの設計を教材化することとした。

### 2.2 レーザ加工機を活用するメリット

本研究では、板を切断する機材として、レーザ加工機を選択した。レーザ加工機では、彫刻・カット・マーキングが可能である<sup>17)</sup>。

レーザ加工機を使用した場合、3DCADによる設計が必要となる。これは、設計の変更・修正が容易になると共に、加工時間が短縮でき、構想・設計に一定の時間をかけることが可能になる。

また、スピーカのエンクロージャーを製作する際、製作者には、木材加工に関する一定のスキルが必要である。しかし、レーザ加工機を活用した場合には、木材加工に関するスキルの有無に関わらず正確な加工ができる。



### 3.4 切断

切断は、レーザ加工機を活用する。切断された材料を図5に示す。正確な加工が容易となり、同じ材料を複数枚、短時間で製作することが可能になる。

### 3.5 組み立て

組み立てでは、切断した板をボルトで締める。その様子を図6に示す。ここでは、木材と木材の間に隙間を空けないために、木材用接着材を用いて固定することも考えられる。また、取り外して、修正する場合は、薄いパッキンなどを活用することも効果的である。



図5 切断した木材板の外観

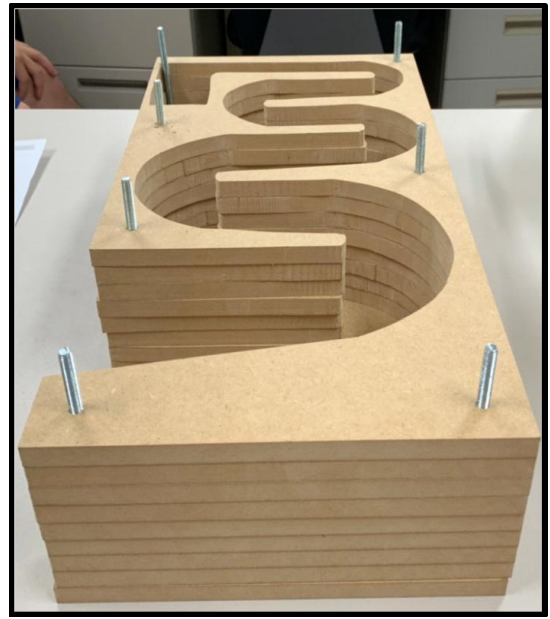


図6 積層に組み立てた外観

### 3.6 表面研磨と塗装

やすり#180で表面研磨を行い、角などに丸みを持たせる。次に、塗装がきれいになるようにサンディングシーラを塗り、やすり#240でサンディングシーラを軽く削り、平らにする。その後、着色塗料で塗装を行い、やすり#320で表面を平らに削り、仕上げ塗りをを行う。

### 3.7 配線と接続

塗料が乾いてから、スピーカの取り付けを行う。まず、スピーカとケーブルをハンダで接合させる。その次に、スピーカと接合されていない側のケーブルを積層エンクロージャー型バックロードホーンの中に通し、裏面などから外側に出す。外側に出たケーブル末端をスピーカターミナルとハンダ接続する。スピーカターミナルをエンクロージャーにネジ止めして、スピーカユニットは完成する。

### 3.8 試聴と調整

試聴を行い、エンクロージャーの振動、びびり（共振などの振動）がないかを確認し、必要に



応じて、吸音材や砂利を入れ、音質の調整をする。完成品を図7に示す。音質の確認として、スペクトラムアナライザなどを活用して、周波数特性を確認する。近年、スマートフォンやタブレットPCなどを活用した簡易のアプリケーション（例えば、Advanced Spectrum Analyzer PRO）も提供されており、数量的な評価も可能になっている。

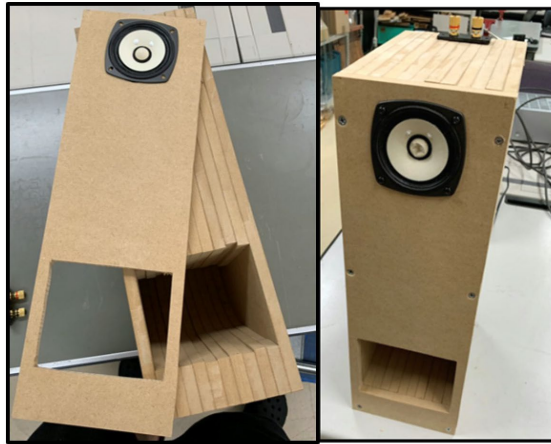


図7 完成した積層エンクロージャー型バックロードホーン

### 3.9 学習可能項目

この題材において、下記に示す学習内容が履修できる。①製図（3D-CADと二次元展開図）、②音道的设计、③強度设计、④振動対策、⑤材料加工（切断、切削、穴開け）、⑥仕上げ（表面研磨、塗装）、⑦レーザ加工機のパラメータ設定、⑧組み立て、⑨スピーカとエンクロージャー・ターミナルの配線、⑩防塵対策（サランネットなど）、⑪調整（吸材、砂利）、⑫試聴テスト、測定などが学習可能である。また、2wayとする場合は、⑬ネットワークの設計、⑭周波数のカット（コンデンサ、コイル）なども学習可能となる。

## 4 指導過程の提案

生徒が、積層エンクロージャー型バックロードホーンを工業高校課題研究の題材と設定した際の、10時間の指導過程を下記に示す。

第1校時の活動内容は、スピーカシステムの特徴を学習する。スピーカの原理や、スピーカシステムには、ブックシェルフ型とバスレフ型、バックロードホーン型エンクロージャーがあることを学び、それぞれのエンクロージャーの特徴について学習する。また、積層エンクロージャー型バックロードホーンの特徴についても学習する。

第2～3校時の活動内容は、厚紙を活用した音道的设计である。厚紙でジグを作成し、徐々に広がっていく理想の音道を設計させることを目的とする。

第4校時の活動内容は、3DCADを活用して、製作図を仕上げる。ここでは、前時までに設計した積層エンクロージャー型バックロードホーンを、3DCADに表現する活動である。この学習過程で、3DCADの作図の中で音道に課題がないかを確認し、課題が確認された場合は、3DCADでその音道を修正・改善する。

第5校時の活動内容は、レーザ加工機を活用した材料の切断である。3DCADのデータを基に、展開図（材料取り図）に変換し、レーザ加工機の切削パラメータを適切に設定後、切断を行う。1枚の切断が終了した段階で、音道の設計や、強度を確認し、修正の必要が無いかを検討する。

第6校時の活動内容は、スピーカの取り付けと、試聴テストである。スピーカユニットを積層エンクロージャー型バックロードホーンに接続した後に、試聴テストを行い、吸音材や砂利などで音の調節を行う。

第7校時の活動内容は、積層エンクロージャー型バックロードホーンの製作の振り返りを行い、音道の修正など再設計を行う。すでに作図された3DCADデータの修正であるため短時間で作業を進めることができる。

第8校時の活動内容は、レーザ加工機を活用した材料の切断である。第5校時と同様な活動であるため、レーザ加工機の切削パラメータなどの設定には時間がかからない。

第9校時の活動内容は、第6校時同様にスピーカの取り付けと、試聴テストとした。修正前の積層エンクロージャー型バックロードホーンの音質と、新たに改良したスピーカの試聴テストを行う。

第10校時の活動内容は、積層エンクロージャー型バックロードホーンの製作の振り返りを行い、製作品を評価し、学習内容をまとめる。後輩に、自分たちの活動が報告できるような報告書を作成し、活動内容をwebなどを活用して発信する。本題材に関する自己評価を行うと共に、教員や友人からの他己評価を受け、次の課題を設定する。

## 5 試聴テスト

### 5.1 調査方法

試聴テストの対象は、教員養成系大学の学生10名および、T高等学校の教員3名と生徒1名の14名である。後者は、課題研究でバックロードホーン型エンクロージャーの製作経験者(高校生)とその指導者である。

対象スピーカは、課題研究で生徒が製作したバックロードホーン（課題研究BKと記す）、製作した積層エンクロージャー型バックロードホーン8cmユニット(積層型BK1と記す)、改良した積層エンクロージャー型バックロードホーン10cmユニット(積層型BK2と記す)と、市販品のスピーカYAMAHAのNS-1000Monitor(市販品と記す)を比較させ、インタビュー形式で行った。

### 5.2 結果

調査結果を表1に示す。市販品は、3wayのスピーカでオーディオ評論でも、高い評価を受けた製品<sup>19)</sup>であり、音域が広いことが全員から指摘された。

課題研究BKは、10cmのフルレンジで、全体的にバランスが良い音が出ていたが、低音の補強が課題点として確認された。課題研究BKは、一定の音圧も確認され、フルレンジスピーカの特徴がでているものであった。

積層型BK1は、課題研究BKと比較して低音が補強されていることが確認された。8cmのスピーカユニットであるが、大音響であっても側板のびびりなどもなく、音域がフラットであることが確認された。

積層型BK2は、積層型BK1を参考に音道の設計を変更したことから、積層型BK1以上の低音

の補強ができ、音圧とともに音質の向上が確認された。

中・高音の比較では、市販品は、3wayのものであり5KHzを超える領域においても、音が綺麗に出ていた。課題研究 BK、積層型 BK1、2とも中域から高域までのつながりがスムーズであった。

低音に関しては、市販品は、30cmのウーハーを振動させるため大きなエネルギーが必要であるが、100Hz以下の音も出ていた。課題研究 BK、積層型 BK1、2については、スピーカ前面から出る低音にプラスされ、音道を通った低音がプラスされることで、低音が補強されていた。これらについては、ほぼ全員の意見が一致した。さらには、改良を行った積層型 BK2は、積層型 BK1と比べて、より低音が出ているという意見が多く出されていた。

音圧に関しては、「ほぼ等しい」という意見に集約されたが、積層型 BK2は、約91dbの音圧であり、最も優れていることが確認された。

表1 積層エンクロージャー型バックロードホーンと市販品の比較結果

	課題研究 BK	積層型 BK1	積層型 BK2	市販品 NS-1000M(比較用)
サイズ	450×225×168	450×225×144	450×225×168	675×375×326
値段	21600円	30000円	30000円	216000円
中高音	・バランスが良い ・フラットに繋がる	・バランスが良い ・フラットに繋がる	・バランスが良い ・フラットに繋がる	・高い音が出ている ・聴き取りやすい
低音	・補強されている	・補強されている	・積層型 BK1 より力強い低音	・重低音が出る
音圧	・市販品と同等	・市販品と同等	・市販品より出ている	・課題研究 BK と同等
感想	・全体的にバランスが良い	・バランスが良い ・低音が軽い	・音のつながりが良い ・低音が軽い	・中域が聴き取りやすい ・音域が広い

## 6 結言

以上、本研究では、工業高校の課題研究の題材として、積層エンクロージャー型バックロードホーン的设计・製作を行い、指導過程を提案した。本研究における成果を下記に示す。

- ①課題研究の題材として、積層エンクロージャー型バックロードホーン的设计・製作を行った。
- ②レーザ加工機を活用した課題研究の題材としての効果や学習可能項目を抽出し、指導過程を検討・提案した。
- ③積層エンクロージャー型バックロードホーンを題材とした設計・製作に関する効果として、設計の自由度、製作時間の短縮、精度の高い加工などの有用性が確認された。
- ④積層エンクロージャー型バックロードホーンの音圧は高効率であり、高額市販品と比較して遜色ないことを確認した。

以上の結果より、デジタルファブリケーションの1つであるレーザ加工機を活用する積層エンクロージャー型バックロードホーンを題材とした設計・製作は、設計の自由度が大きく、変更も容易であり、製作時間を短縮できるため、設計を重視した学習が可能となることが確認された。これらは、深い学びに繋がる学習であると考えられる。今後は、提案した指導過程を基に高等学



校の課題研究で授業実践を実施し、指導過程の改善・修正を進めたい。また、中学校技術・家庭科技術分野におけるデジタルファブリケーションを活用した授業を検討していきたい。これらは今後の課題とする。

#### 謝辞

本研究に関する、レーザ加工機に関する情報は、富士電機 IT ソリューション株式会社 文教システム事業本部 文教第一営業部 沢田石秀昭部長様、ソリューション統括部 第一ソリューション部 大宮秀利部長様、トロテック・レーザー・ジャパン株式会社 山口耕平様からご提供頂きました。また、埼玉県秩父農工科学高等学校情報機械システム専攻科 程原春良先生、増井伸博先生、中島睦彦先生、山口智責（社会人講師：ヤマグチ技術士事務所）先生におかれましては、工業高校課題研究に関する実態と課題、本題材の可能性に関して貴重なご意見を頂きました。これらの関係者各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 総務省：令和元年版情報通信白書、日経印刷（2019）
- 2) 高野倉雅人・片桐英樹・松本光広・西川昌宏・酒井裕介：デジタルファブリケーションシステムを活用した教育・研究、神奈川大学工学研究、No.2、pp.93-95（2019）
- 3) 水谷晃啓・辛島一樹・江上史都・村松尚人：体験型モノづくりワークショップを通じた行政主導型 Fab 施設の活用事例報告、日本建築学会技術報告集、No.59、pp.309-314（2019）
- 4) 市川純章：教育・技術からみたデジタルファブリケーション、特集 デジタルファブリケーション時代の中小製造業の姿、J.Jpn.Soc.Intel Prod、Vol.11、No.1（2014）
- 5) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説、総則編、東洋館出版社、pp.1-11（2019）
- 6) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説、工業編、実教出版、pp.24-26（2019）
- 7) 杉本愧世・伊藤陽介：レーザーカッターを用いた部品の製作と組み立ての実習を含むデジタルものづくり教育の提案、日本産業技術教育学会第 34 回情報分科会（宇都宮）研究発表会講演論文集、pp.53-54（2019）
- 8) 森岡 弘・平田直樹・瀬尾優治・原田正憲・青山克輝・柏木将大・阿濱茂樹・岡村吉永：デジタルファブリケーション技術を用いたものづくり教育を担当できる技術科教員の養成、山口大学教育学部教育実践総合センター研究紀要、No.47、pp.159-168（2019）
- 9) 伊豆裕一：デジタルファブリケーションの活用によるデザイン教育、静岡文化芸術大学研究紀要、No.17、pp.183-188（2017）
- 10) 島崎貴子・今出亘彦・谷口将大・黎子椰：楽しさを重視したものづくり学習教材の開発 ―レーザーカッターを用いたティッシュ箱入れづくりを題材として―、日本産業技術教育学会第 34 回情報分科会（宇都宮）研究発表会講演論文集、pp.55-56（2019）
- 11) 総務省：平成 30 年版情報通信白書、第 1 部、p.157、日経印刷（2018）
- 12) MMD 研究所、URL：[https://mmdlabo.jp/investigation/detail\\_1643.html](https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1643.html)（最終閲覧日 2020.2.25）
- 13) 川井勝登・山本利一・荻窪光慈：工業高校課題研究としての音響装置の提案と授業実践、埼玉大学紀要 教育学部、Vol.69、No.1、pp.401-409（2020）
- 14) 長岡鉄男：長岡鉄男のオリジナルスピーカー設計術基礎編 Special Edition No.1、音楽之友社、

(2007)

- 15) 長谷弘工業株式会社：バックロード・ホーン用スピーカボックス、特許情報プラットフォーム、特開 2003-204586
- 16) 中山信弘：特許法第 4 版、法律学講座双書 (2019)
- 17) Trotec、レーザ加工機、URL：<https://www.troteclaser.com/ja/laser-machines/laser-engraving-machines-speedy/>
- 18) 長岡鉄男：新装版 世界でただひとつ自分だけの手作りスピーカーを作る、講談社 (2004)
- 19) 新 忠篤・篠田寛一・土井雄三：ヴィンテージ・オーディオ徹底試聴、ステレオサウンド社 (2014)

(2020年3月31日提出)

(2020年4月10日受理)

**Design and Manufacture of Laminated Enclosure Type  
Back-Load Horn Utilizing Laser Processing Machine  
Proposal of Subject and the Guidance Process of the Subject Research of  
Technical High School**

**KAWAI,Masato**

Tokorozawa municipal Yasumatu Junior High School

**YAMAMOTO,Toshikazu**

Faculty of Education, Saitama University

**OGIKUBO,Koji**

Faculty of Education, Saitama University

**Abstract**

In Project Study for the industry education in the High School Study Guideline Commentary , which was announced in 2018, "Discovering industrial issues, exploring creative solutions as a person involved in industry, and solving them creatively based on scientific evidence" and "Utilize the specialized knowledge and techniques that you have acquired, and learn new knowledge and techniques to complete works and products." , Subjects that can achieve the newly presented goals are essential. In addition, the project study for technical high schools focuses on the deepening of the content learned and the creativity of the students themselves. There is a need to set up subjects that can provide appropriate technical solutions. Therefore, this study proposes the design and production of a stacked enclosure, which is an acoustic device (backloadhorn) , as the project study at an technical high school. There are various types of loudspeakers, but in this study, we focused on the backload horn where sound path design is important, and organized the contents that can be learned through design and production through prototype production.

**Keywords** : Project Study, Design, Laminated enclosure type back-load horn, Sound space, Digital fabrication, Laser processing machine