

工業高校課題研究としての音響装置の提案と授業実践

川 井 勝 登 埼玉大学教育学研究科
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、音響装置、設計、バックロードホーン、工業高等学校

1. 緒言

戦後、日本のものづくりは、他に類を見ないスピードで発展し、大量生産型のものづくりによって我が国に繁栄をもたらした。しかし、バブル崩壊に伴った景気低迷により、これまでのものづくりに関する価値観を考え直す機会となった。すなわち、大量生産型のものづくりから、高付加価値型のものづくりへと変化したのである。日本の限られた資源の中で、世界でトップをとれるような高付加価値製品を生み出すためには、製品を生み出す創造力と製品を製作する技術が求められている¹⁾。

平成30年に告示された高等学校学習指導要領解説・工業編の中にある課題研究²⁾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、新しく提示された目標を達成できる題材の開発が求められる。

課題研究に関する先行研究を調べて見ると、谷口ら (2019)³⁾は、アレロパシー（植物の他感作用）をサンドイッチ法を取り入れることで教材化し、授業実践を行っている。実験値などから、教材としてのアレロパシーの有用性が確認されている。また、高校生でも簡単に実施できる実験であり、試行錯誤できる場面も確認されている。しかし、生徒の反応や知識の定着など、評価に関する研究まではおよんでいない。

日高ら (2016)⁴⁾は、課題研究の題材として、3Dプリンタを用いて、生徒主導の活動により全方向移動ロボットを設計・製作をさせた実践を行った。ロボット製作終了後、設計・製作に携わった生徒らに対し、質問紙による調査を行い、その分析結果を基に、3Dプリンタを用いた学習成果について分析を行い、3Dプリンタの教育的有用性を示している。3Dプリンタによる印刷が時間がかかることや、サイズの制限がある課題も報告されている。

北吉 (2017)⁵⁾は、課題研究の製作過程の中で、課題の発見とその解決策を検討することに重点を置いた指導過程の提案を行っている。グループでの活動にジグソー法などを取り入れ、“どのようなものをいかに作るか”を生徒自身に検討させている。

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、これらの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。

近年、中・高校生のスマートフォンの普及は、79.5%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⁶⁾。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になっている。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⁷⁾。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、MD、CDから、ファイル再生と音楽再生の方法が変化するとともに、身近に音楽を聴くことができるようになった。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、社会的な環境の変化と生徒の興味関心を踏まえて、本研究においては、「音響装置:スピーカのバックロードホーン型エンクロージャ」の設計・製作を課題研究の題材として、指導過程を提案するとともに、実践を通してその効果を検証することとした。

2. スピーカシステム音響装置（バックロードホーン型エンクロージャ）について

スピーカシステムの構造は、スピーカユニットとエンクロージャ（木箱）から構成されている。種類は、スピーカユニットの数により、1つのスピーカユニット（フルレンジ）、2つのスピーカユニット（2way）などがあり、複数のスピーカユニットを利用する場合、コンデンサや抵抗、コイルなどの電気部品を活用して、音域を定めている。スピーカユニットの出力より、エンクロージャのサイズが定まり、これらを設計することも、スピーカシステムの音質に大きく関わってくる。本研究においては、これらエンクロージャの設計・製作を課題研究の柱として定めることとした⁸⁾。

2-1 エンクロージャの種類

エンクロージャの種類は、大きく分けて、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の3種類である。

ブックシェルフ型は、密封型とも言われ、スピーカの前面からの音の出力のみになっている。

バスレフ型は、スピーカとは別の箇所に音の出る穴を開けることにより、スピーカの後面からの音の出力も前面から出すことができ、低音が補強されること、S/N比の向上などにつながる。ブックシェルフ型の断面図を図1、バスレフ型の断面図を図2に示す⁹⁾。

バックロードホーン型は、スピーカの裏側からの音を表から出すことを目的とした構造である。また、バスレフ型とは異なり、スピーカの裏側からの音を複雑かつ長い道を通らせることでコントロールすることを目的としている。バックロードホーン型の断面を図3に示す。

バックロードホーン型のメリットは、スピーカのエネルギーを効率よく利用し、小型のアンプ、スピーカでも十分な音圧・音量、パワーを得ることが可能な点である。しかし、バックロードホーン型エンクロージャがほとんど流通していない理由は、ホーンを音道として作るため構造が複雑であり、バックロード向きのユニットが必要であることから、生産コストがかかってしまうからである。また、欠点として、音道を長くすると、低音の遅れが感じられることも挙げられる。これらのことから、一般的なメーカーからの販売は行われていない¹⁰⁾。これらのことから、工業科の課題研究に適切な題材だと判断した¹¹⁾。

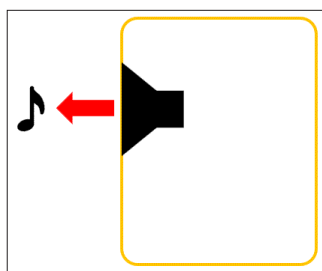


図1 ブックシェルフ型

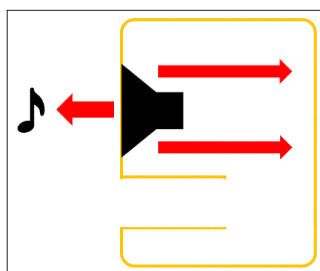


図2 バスレフ型

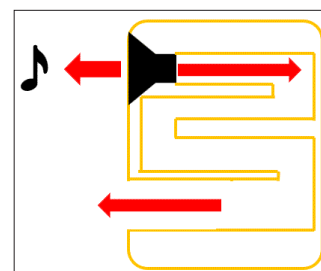


図3 バックロードホーン

3. 工業高等学校課題研究としての学習可能項目

3-1 コンセプト

高等学校で課題研究を行う上では、自ら課題を発見し、それを解決するための製品を製作することから、市販の製品を模倣して製作することとは、全く違った学習になる。一般的なメーカーから販売されていないバックロードホーン型エンクロージャは、これに当てはまっていることや、自分の独創的なものを製作できる点が課題研究の題材に適している。さらには、小型のユニットを選択することは、製作した後に実生活でも使用できるため、生徒の私生活にも深く関わる題材である。また、製作を行う上で、材料に関するコストで社会とのつながりや、限られた材料でより良いものを製作することは、環境面も考慮した学習になる。さらには、材料加工の切断などは、デジタルファブリックを活用するなどの選択肢もある。これらのことから、生徒が、スピーカユニットの選択、エンクロージャの設計、材料取りおよび切断・組み立てなどの加工全ての工程を自らが行うものである。

3-2 設計

設計では、音道の設計と共に、規定材料からの木取り（材料取り）を行う。音質は、音道の広がりや長さ、それらを構成する木材の強度や曲がりによって大きく変化する。音道の設計を基に、それらの各部品の材料取りをすることが、一番重要な設計場面である。音道に応じて、材料取り図をけがきすることとなるが、本実践ではシナ合板（1830×910×12）1枚から、2つのスピーカを作ることを課題と設定した。そのため、音道の設計をした後、材料が不足した場合は、再度、音道の設計変更が必要となる。材料の無駄をなくし、最大限に活用するとともに、音道の太さや長さの調整が求められる。最後に、設計と材料取り図から、製作工程を考える。製作工程に無理が生じた場合には、設計を見直さなければならず、材料取り図も見直しを要するようになる。つまり、設計、材料取り図、製作工程と進行していくが、どこかに無理が生じた場合には、修正が必要になる。限られた材料などの製作条件から、音道の設計を行い、より良い音質の出るバックロードホーン型エンクロージャを製作するために、設計に多く時間が必要であるところが本題材の特徴と言える。

3-3 製作工程

3-3-1 材料取り（けがき）

材料取りは、バックロードホーン型エンクロージャの各種材料を、シナ合板に書き写すもので

ある。どの部品をどこから取るのかを含めて、 $1830 \times 910 \times 12$ の中に、部品を配置する必要がある。側面にあたる合板に製作した各部品がどの箇所にあたるかのけがきを行う。ここで2枚ともに同じけがきをしないことが注意点として挙げられる。材料取り図を図4に示す。

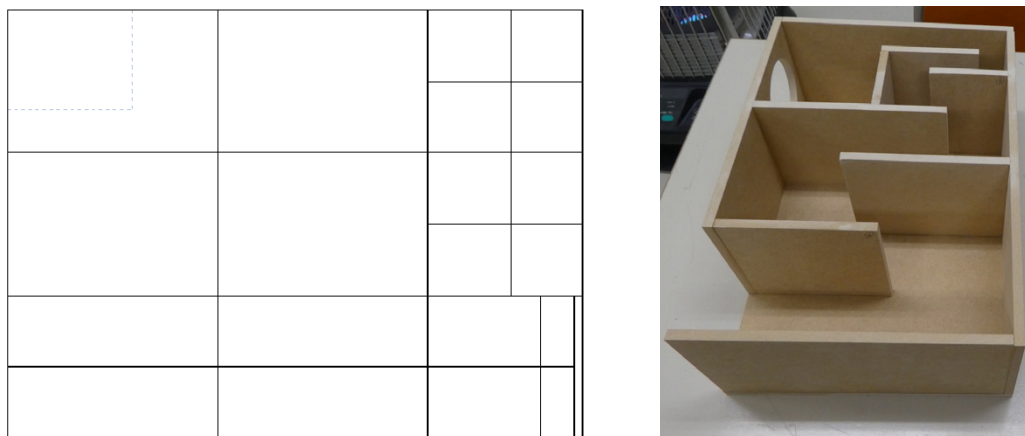


図4 材料取り図

3-3-2 各部品の組み立て

側面の合板に、切断した板を組み立て工程を考え、接着していく。最終的な組み立てでは、ズレが生じる場合もあるので、いくつかの部品を接合して、それらを組み立てることで、接合が容易になる。

組み立て工程は、複数の部品を接合した後、側面になる合板の片面にネジと接着剤で接合する。その次に、もう片方の側面の合板に接合していく。

3-3-3 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。

3-3-4 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バックロードホーン型エンクロージャの中に通し、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にネジ止めして、スピーカユニットは完成する。

3-3-5 試聴と調整

試聴を行い、エンクロージャの振動、びびりがないかを確認し、必要に応じて、吸音材や砂利を入れ、音質の調整をする。

3-4 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回路設計（ネットワーク）、②周波数のカット（コンデンサ、コイル）、③コンデンサ・コイルの配線、④音道の設計、⑤材料取り（けがき、CAD、強度、振動対策）、⑥部品加工（切断、研磨、レーザ加工機）、⑦組み立て（接着、工具）、⑧塗装、⑨スピーカとエンクロージャ・ターミナルの配線、⑩調整（吸材、砂利）、⑪試聴テスト・測定など

また、設計の段階で、CADを用いて、そのデータを基にレーザ加工機で切断するなど、デジタルファブリックを活用した設計も可能である。3Dプリンタに小型なエンクロージャを印刷するなどして、製作前の試作機を作ることなども今後検討していきたい。

4. 工業高校においての実践

4-1 期日および対象

2019年4～6月、S県内にあるT高等学校で1名の生徒を対象に実践を行った。

4-2 学習目標

学習目標は、「バックロードホーン型のスピーカエンクロージャを製作しよう」とし、制約条件(サイズ、製作時間、コスト)の下、より効率の良いスピーカシステムを作成することとした。

4-3 指導過程

はじめに、生徒はバックロードホーン型エンクロージャを設計するため、基本設計を基にした小型のプロトタイプ(以後、試作機と記す)を製作し、次に、試作機での課題を改善することと、基本設計から製作までの一連の学習を行う本題材を製作することとした。本実践では、以下の提案した全16時間の配時計画を基に実践を行った。

第1校時の活動内容は、スピーカシステムの特徴を学習とした。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があることを学び、それぞれのエンクロージャの特徴について学習した。

第2～3校時の活動内容は、音道の設計と材料取り図のけがきとした。試作機を製作する過程で、バックロードホーン型エンクロージャの特徴や課題を掌握することと目的とした。そのため、基本の設計については、教員から事例を示し、それらを基に音道について設計を行った。次に、材料取りを含めた、材料取り図のけがきを記した。

第4校時の活動内容は、製作工程の検討と側面にあたる合板へのけがきとした。ここでは、円滑に作業を進めるために、製作しておく部品も確認した。製作工程を熟考する過程で、音道の設計や材料取り図の見直しをする必要も生じるため、教員と繰り返し設計について確認した。

第5～6校時の活動内容は、バックロードホーン型エンクロージャの組み立てとした。まず、はじめに仮組立を行い、生じている板のズレを確認した。それらを修正しつつ、接着剤と、ネジで固定をする。乾いた後に、やすりで全体に丸みを持たせた。

第7～8校時の活動内容は、スピーカの取り付けと、視聴テストとした。スピーカユニットをバックロードホーン型エンクロージャに接続した後に、視聴テストを行い、吸音材や砂利などを入れ、音の調節をした。試作機の設計・製作を通して生じた課題や、音質の改善などを振り返り、本題材のバックロードホーン型エンクロージャの構想を練った。

第9～10校時の活動内容は、本題材の音道の設計と材料取り図のけがきとした。試作機の設計・製作から明らかとなった課題を改善するため、複数の音道を検討し作図した。ここでは、特に規定材料内に、材料取りをするため、どのような配置で、各種部品を切り出すかを検討した。教員との検討を踏まえて、1種類のバックロードホーン型エンクロージャを選定し、材料取り図をけがきした。

第11校時の活動内容は、製作工程の検討と側面にあたる合板へのけがきとした。ここでは、円滑に作業を進めるために、製作しておく部品も確認する。試作機と比べ、複雑な音道となっているため、製作工程を熟考した。

第12～14校時の活動内容は、バックロードホーン型エンクロージャの組み立てとした。まず、はじめに仮組立を行い、生じている板のズレを確認する。それらを修正しつつ、接着剤と、ネジで固定をする。乾いた後に、やすりで全体に丸みを持たせる。

第15～16校時の活動内容は、スピーカの取り付けと、試聴テストとした。スピーカをバックロードホーン型エンクロージャに接続した後に、試聴テストを行い、吸音材や砂利などを入れ、音の調節をする。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、今後の課題をまとめた。

5. 調査

5-1 調査の手続きおよび調査項目

本実践では、プロトタイプ（試作機）のバックロードホーン型エンクロージャ製作後に調査1を、本題材製作後に調査2を行った。質問項目は、問1「バックロードホーン型エンクロージャの認知」、問2「製作時間」、問3「製作の難易度」、問4「音質の確認」、問5「設計の改善」、問6「感想」であり、記述式で回答してもらい、生徒の実態とバックロードホーン型エンクロージャに関する学習内容を把握することとした。調査項目は、調査1、2とも同じものとした。

5-2 結果とまとめ

調査1、2の質問項目と回答を表1に示す。対象生徒は、バックロードホーン型エンクロージャに関する知識を持たないものであった。

問2の製作時間に関しては、試作機では、はじめて作業を行うことや、基本設計は提供のものを改良するのみであったので、総学習時間は7.5時間であった。本題材は、基本設計を生徒自身で行うため、設計に時間を多く要していたが、製作に関しては、複雑な形状であるにもかかわらず、工程や段取りを1度学習しているので、比較的スムーズに進めていることが確認された。総学習時間は、9時間であった。

問3の製作の難易度については、板の切断や接合などの基本的な技能と、直方体形状に仕上げる観点などが、学習を繰り返すことで身につけていることが確認された。

問4の音質の評価は、試作機では、バックロードホーン型エンクロージャが高効率（市販品との比較）であることを体験的に学習することができた。スピーカの音声信号が、裏面にも同様に出力され、それらが音道を通して前面に出ることを確認することができた。本題材では、音道を伸ばすことで、低音の調整ができ、バランスが取れたことで、高音が綺麗に聞き取れた回答があった。

問5の設計については、試作機は、基本設計を改良したのみであったが、本題材では、自分自身のアイディアを生かした工夫がある程度できた。試作機を製作したことから、自ら設計を行いたいという、意欲的な意向も確認された。自由に設計するためには、サイズの制限があるとやりずらいため、大型のものを設計したいという希望を出していた。それを受けて、本題材では、試作機と比べ、約1.5倍程度の材料を用いて、設計を行い高音の改善が確認された。そのため、低音の補

表1 質問項目と回答

	調査1（試作機）	調査2（本題材）
問1 バックロードホーンという言葉を知っていましたか	「いいえ」	「はい」
問2 バックロードホーンの製作時間は？	総学習時間 7.5時間 設計 1.0時間 材料取り 2.0時間 製作 4.5時間	総学習時間 9時間 設計 1.5時間 材料取り 1.5時間 製作 6.0時間
問3 製作は難しかったですか？	<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤をつけての接合（音道） ・スピーカーの取り付け 	<ul style="list-style-type: none"> ・板の切断 ・スピーカの取り付け ・板の貼り付け・組み合わせ ・底面を平らにさせる
問4 予想していた音質とくらべ、再生した音質はどのように感じました？	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率で響きが良い ・予想以上の高音質 	<ul style="list-style-type: none"> ・高音のキレが良かった ・バランスが良くなった
問5 設計・製作に関する改善点は？	<ul style="list-style-type: none"> ・大型のエンクロージャを設計 ・音道を長くする ・より効率的 ・サイズの許す範囲の大型のもの 	<ul style="list-style-type: none"> ・音質のバランス ・低音を強くしたい ・音道を長くする ・開口サイズの拡大
問6 バックロードホーンの製作した感想を教えてください	<ul style="list-style-type: none"> ・とても面白かった ・木材の配置で音質が変わる ・自分オリジナルのもの 	<ul style="list-style-type: none"> ・完全に材料のサイズ・音道などの設計も自由にやりたい。 ・新方式の積層型も製作したい

強として、開口サイズの拡大を提案していた。

問6の製作の感想では、試作機では初めての設計・製作を通して、バックロードホーン型エンクロージャの良さを確認することができた。本題材では、一定の工夫を組み入れることができたが、さらに良いものを製作したいという意欲的な意見も確認された。これらのことから、バックロードホーン型エンクロージャの設計・製作は、工業高校生の課題研究として所期の目的を果たすことができた推察される。

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音響装置(バックロードホーン型エンクロージャ)の設計・製作を検討し、S県のT高等学校の生徒1名を対象に実践を行った。以下にその結果をまとめる。

- ①課題研究としてのバックロードホーン型エンクロージャの設計・製作を提案した。
- ②事後調査から、設計・製作の難易度はやや高いが、バックロードホーン型エンクロージャに関する興味・関心の向上が確認された。
- ③事後調査から、音質に関する記述が確認され、低音や高音など、自分の目的を持って製作している様子が確認された。

以上の結果より、課題研究の題材としてのバックロードホーン型エンクロージャは、生徒の興味・関心を向上を促し、試行錯誤できる題材であることが確認された。しかし、規定の材料からの設計では、自由度が低く、オリジナルの設計が難しく、似たような製品になってしまうことも確認された。今後は、より自由度が高い設計を行えるような条件・設計と、デジタルファブリック（レーザ加工機など）を活用した学習内容の検討を行う。

【参考文献】

- 1) 厨川常元:機能創成加工が招く新しいものづくり, PaNasonic Technical Journal, Vol.62, No.2, p.76 (2016)
- 2) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説, 工業編, 開隆堂出版 (2018), pp.24-26
- 3) 谷口太一・大石州紀・岡博昭: アレロパシーの教材化とその実践—学校実習における「課題研究」の授業を中心に—, 教育実践研究No.12, pp.17-29 (2019)
- 4) 日高義浩・永野雄作・佐藤雅紀: 3Dプリンタを用いたものづくり教育の学習成果に関する実践研究—全方向移動ロボットの設計・製作とその学習成果—, 教育情報研究 32(2), pp.49-58, (2016)
- 5) 北吉美大: 「課題研究」における実践的な技術を育成する学習指導の在り方—ものづくりに生かせる対話のあり方—, 工業教育資料, 372, pp.21-24 (2017)
- 6) 総務省: 平成30年度情報通信白書, 第1部, p.157 (2018)
- 7) MMD研究所, URL: https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1643.html
- 8) 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 1, 音楽之友社, pp.10-15 (2007)
- 9) 長岡鉄男: 長岡鉄男のオリジナルスピーカー設計術 図面集編II Special Edition 2, 音楽之友社 (2007)
- 10) 長岡鉄男: 長岡鉄男の傑作スピーカー工作, 音楽之友社 (1984)
- 11) 河田敦也・福武憲明: スピーカー製作, 岡山県立水島工業高等学校平成27年度課題研究のまとめ, URL: <http://www.mizuko.okayama-c.ed.jp/joho/H27ProjectStudyPDF/09-CreatedSpeaker.pdf>

(2019年9月17日提出)

(2019年10月10日受理)

Proposal of audio equipment and lesson practice as research on technical high school

KAWAI,Masato

Graduate of Education, Saitama University

YAMAMOTO,Toshikazu

Faculty of Education, Saitama University

OGIKUBO,Koji

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

In technical high school, a subject which is called as “Project Study” is prepared for students. The main purpose of this Project Study is to make students deepen and integrate what they have learned. To achieve this purpose, it is important for students to find problems and set a detailed objectives by themselves. In this study, the theme of the Project Study was set as a design and production of “an acoustic device: Loudspeaker Back Load Horn Type Enclosure.” The justification of the theme and educational plan was evaluated through the actual design and assembling. As a result, we concluded that the acoustic device: Loudspeaker Back Load Horn Type Enclosure as a theme of the Project Study has an ability to promote students’ curiosity and interest and let them do various trials and errors. In the future, we will consider the conditions and design of the theme of Project Study that enables students to design and study much flexibly and also consider educational contents that uses digital fabric.