

『就実論叢』第52号 抜刷

就実大学・就実短期大学 2023年2月28日 発行

重度重複障害児への音楽教育に関する システムの開発と実装

**Development and implementation of a support system in music education for
children with severe and multiple disabilities**

中西 裕 ・ 安久津 太 一
岡田 信 吾 ・ 山 田 美 穂

重度重複障害児への音楽教育に関する システムの開発と実装

Development and implementation of a support system in music education for
children with severe and multiple disabilities

中西 裕 (表現文化学科)

NAKANISHI Yutaka

安久津 太一 (岡山県立大学)

AKUTSU Taichi

岡田 信吾 (初等教育学科)

OKADA Shingo

山田 美穂 (お茶の水女子大学)

YAMADA Miho

キーワード：音楽教育 重度重複障害児 障害児教育 特別支援 電子テクノロジー
ICT活用教育

1. はじめに

筆者らは、重度重複障害のある子どものための音楽教育の研究を行っている。研究内容は、コンピュータとスイッチ機器をインターフェイスで接続して、重い障害のある子どもが容易に操作することのできる音楽機器を開発し、器楽合奏への主体的参加を可能にする方策の検討である。

筆者らが初めに開発した機器は、電子キーボードや電子ドラムといったいわゆる電子楽器ではなく、一種のサンプリングマシンである。スイッチ機器を操作することにより、準備された音楽の1フレーズ（たとえば4小節）が演奏され、音楽が途切れないようにタイミングよく操作していくことによって完成度の高い楽音がスピーカーから再生されるものである。クラブDJなどが多数のボタンが縦横に並んだコントローラを操ってリアルタイムにダンスミュージックを演奏するパフォーマンスに似通ったものであるが、これを単純化し、簡単な操作でフレーズの切り替えを可能にし、音楽の特別支援教育へのICT活用の可能性を探ろうとするものである。この機器が送出する音楽に合わせて既存楽器の演奏、さらに歌や身体表現を重ねて、障害のある子どもに合奏の中心を担わせることを最終的な目標としている。コロナ禍の影響を受けて実践的研究はまだ途上といえる状態だが、本稿では、現時点までの機器開発の模索の過程について報告したい。

このうち2章に述べるグリッドコントローラを利用した実践の一部とその考察については中西 (2018) で報告しており、先行研究との関係については当該論文に述べているので繰り返さない。ここでは、技術的な側面に限定して機器開発の過程や機器の仕組み、工夫改良の様態を記述していく。

2. DAWソフトとグリッドコントローラの利用

まず最初に取り組んだのが、既存の「デジタルDJ」のシステムを活用することである。「デジタルDJ」とは、ターンテーブルとアナログレコードによるDJプレイと違って、DJ用のソフトウェアとなんらかのコントローラの組み合わせによってプレイするDJのスタイルである。

コントローラについては用語を整理する必要がある。図1に示すのは本研究で使用しているイギリスのNovation社の「LaunchPad Pro」である。マトリクス状に押しボタンが並んだこうしたコントローラは「Padコントローラ」「DJコントローラ」「グリッドコントローラ」「パフォーマンスコントローラ」など、さまざまな呼称で呼ばれており、英語圏では「Iconic grid instrument」「Iconic grid controller」「Pad MIDI controller」など、やはり複数の呼称が使われている。ここでは、我が国ではややなじみが薄いものの国際的に通じやすい「グリッドコントローラ」という呼称を使うことにする。



図1 グリッドコントローラ

2-1 グリッドコントローラの利用

グリッドコントローラは電子ピアノやシンセサイザーにも使われているMIDI規格(注1)対応のPC周辺機器である。これをPCにインストールされたDAWソフト(注2)をコントロールする外部スイッチとして使用する。本研究で使用したDAWソフトはドイツのAbleton社のDAWソフト「Ableton



図2 DAWソフト

Live]である。図2に示すのはAbleton Liveのパフォーマンス画面である。画面上部のマトリクスで色のついている部分がフレーズのアサインされたセルで、図1のコントローラ上に同じ色が表示されている。コントローラ上のボタンを押すことでDAW内に定義されている音声が発音される。音楽は一度スタートすると、リズム音に合わせて、選択されているフレーズを繰り返してループ演奏する仕組みになっている。



図3 「喜びの歌」楽譜

ベートーベンの交響曲第9番の「喜びの歌」の部分をこのシステムで演奏する場合の例を示そう。図3は「喜びの歌」全16小節を4小節ずつ、A・B・C・Dの4パートに分けた楽譜である

(ハ長調に転調)。これをグリッドコントローラの縦1列に、一番上のボタンAにフレーズA、二番目のボタンBにフレーズBという具合に4つのボタンにアサインする。DAWソフト上で音楽をスタートさせると、予め用意したリズムパート（ドラムス音）がガイドとして鳴り始める。演奏者がグリッドコントローラのボタンAを押すと、「次の小節」の頭からフレーズAがガイドのリズムパートにぴったりと同期する形で演奏される。演奏者が何もせずにいると、DAWソフトはフレーズAを繰り返し演奏し続ける。演奏者がフレーズAの最後の小節（図3の赤枠内）の間にボタンBを押すと、次の小節からフレーズBが演奏される。

以下同様に、フレーズBの最後の小節の間にボタンCを押すと、次の小節からフレーズCになり、フレーズCの最後の小節の間にボタンDを押すと、フレーズDが演奏される。ボタンを押すタイミングは80bpmで3秒、96bpmで2.5秒の許容幅があり、一般の打楽器や電子ドラム、サンプラーのようにリズムにぴったりと同期したタイミングでボタンを押す必要はない。打楽器を叩く力がなくても指先が動きさえすれば操作が可能である。何もしないと同じフレーズを繰り返してしまったり音楽が壊れるし、各フレーズの第1～3小節内で次のフレーズのボタンを押してしまうとそれぞれ次の小節から次のフレーズになってしまうので、やはり音楽が破綻する。タイミングよく正しいボタンを押し続けることで演奏が成立するのである。単なる音楽再生の「スタート操作」でもなく、「楽器の演奏」でもない中間的なスキルによる音楽演奏への参加を実現する仕組みである。

2-2 大型スイッチの導入

2018年1月、実際に特別支援学校の小学部の生徒に大人が介助・指導しながら操作してもらったところ、指先をスムーズに動かさない子どもが少なくないことがわかった。2cm角程度の小さなボタンでは操作の難易度が高かったのである。さらにグリッドコントローラに

は、演奏を停止させるボタンなど「触ってはいけない」機能ボタンが多数あり、それらを押ししてしまうケースもあって、なかなかスムーズな操作は難しかった。

そこで、グリッドコントローラを直接操作するというをやめて、図4に示す障害者用のビッグスイッチを使う方法を検討した。グリッドコントローラの各ボタンの上に、電源がオンになるとコイルから磁性体が押し出される push 型のソレノイド（電磁スイッチ）を設置し、ビッグスイッチを押すことで対応したグリッドコントローラのボタンが押下される機構を試作した。図4は自作したプロトタイプ機である。

これを使って実践を試みたところ、ボタンを押す操作については大きな改善が見られた。指を繊細に動かすことができなくても、手全体でビッグスイッチを叩くことができれば操作可能になった。しかし、次の課題はフレーズの最後の小節の間に次のフレーズを指定するボタンを押す、という操作の難しさであった。音楽のリズムに合わせてタイミングよくボタンを押すことができる演奏者でも、次のフレーズに入る「少し前」にボタンを押すという操作のコツがなかなか呑み込めないケースが少なくなく、当該フレーズの一拍目のタイミングでボタンを押してしまってフレーズの出だしが1小節遅れてしまうということも多かった。

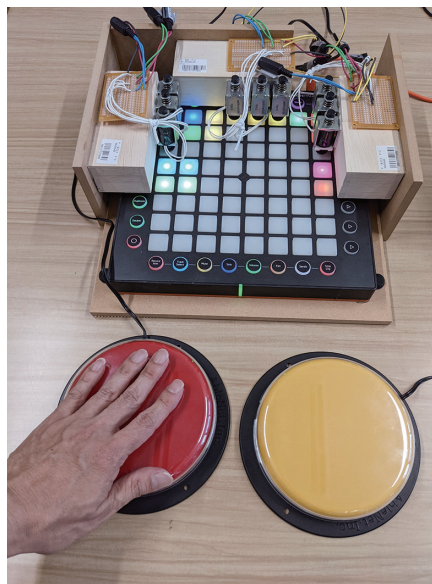


図4 大型ボタンとソレノイド

2-3 LEDの導入

そこで次に行った工夫が、ボタンを押すタイミングを光で合図する、という方法である。これは実践に参加した障害のある子どもの母親のひとりから提案されたものだった。ボタンそのものを光らせる方法を検討し、テープ型のLEDをビッグスイッチの周囲に貼り付けて、DAWがフレーズを演奏する際に同時にLEDを光らせるタイミングをMIDI信号で出力することとした。具体的にはPCにUSB-MIDIインターフェイスを接続し、MIDI



図5 光るボタン

信号に反応してリレースイッチをON/OFFすることができるMIDIリレーを使ってLED用の電源を制御した。DAWから「ド」の音を示すMIDI信号が出力されたら1番目のボタンのLEDが光り、「レ」なら2番目のボタンが光る、という具合に設定する。たとえば、フレーズの最後の小節に「ド」なり「レ」なりの全音符を入れておくことで対応したスイッチに貼り付けたLEDテープが、そのボタンを押すべき2～3秒の間、光り続けるのである(図5)。

これによって操作のタイミングは格段にわかりやすくなった。しかし、子どもがビッグスイッチを押しばなしにするとソレノイドのコイルに電流が流れ続けて過熱するという問題や、ビッグスイッチを連打すると強力両面テープで取り付けてあるだけのソレノイドが反動に耐え切れずに脱落してしまうという問題のほか、実践の現場での配線の煩雑さも課題になって、手作りのプロトタイプ機の限界が見えてきた。配線については、ソレノイド用電源、LED用電源、MIDIリレー用電源などいくつかの電源が必要であるばかりか、ボタンの配線、LEDの配線など、多くのケーブル類を間違いなく接続する必要があり、機器のセッティングに時間と習熟が必要であった。

2-4 プロトタイプから専用機器の製作へ

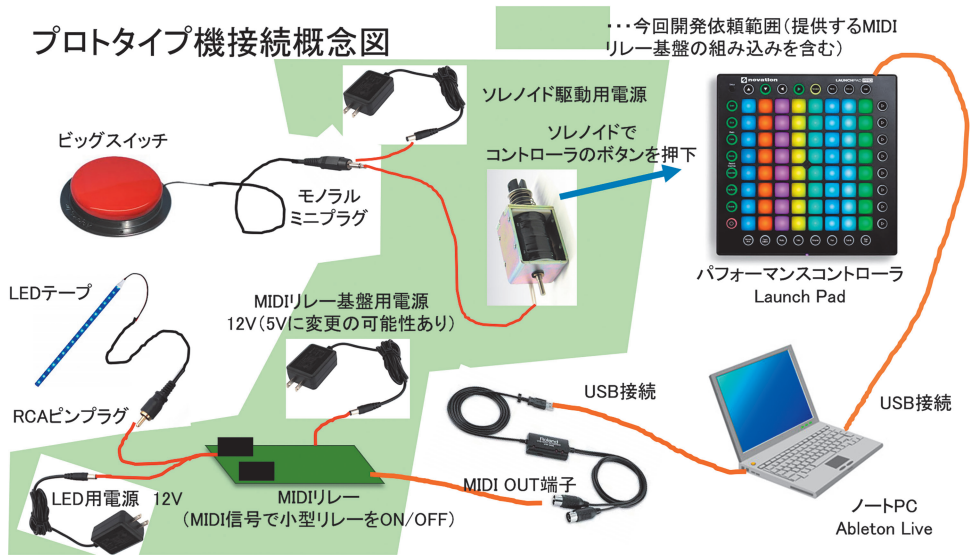


図6 発注資料

そこで、ソレノイドのメーカーでもありソレノイド利用機器の開発も行っているタカハ機工(注3)に、これまでのプロトタイプ機の機能に、上記の問題を解決し、電源も1系統で済むようなインターフェイスの制作を依頼した。図6は同社に発注した際の説明資料の一部で、プロトタイプ機の接続概念図である。



図7 メーカー製インターフェイス機

完成したインターフェイスが図7である。グリッドコントローラにはめ込んで使うソレノイドユニットと本体から成り、機械強度が劇的に増した。本体には組込み用PCを内蔵して一定時間ボタンを押し続けるとソレノイドの電源がオフになるようプログラムされた。電源も本体に1系統のAC電源をつなぐだけで済み、LEDやビッグスイッチの接続口も一か所にわかりやすく配置された。接続の必要なケーブルの数は多いものの混乱なく接続することが可能になった。

この機器によってDAWソフトとグリッドコントローラを使うシステムは一応の完成を見たが、なお課題は残った。ひとつは、光によるガイドがついたことで「音によってタイミングを取ってボタンを押す」とい

う音楽的行為が、「光っているボタンを押す」という一種のゲームになってしまったことである。ゲームセンターの「もぐらたたき」のようでもあり、楽しくはあるがこれは「音楽」実践なのか、という疑問が生まれた。もうひとつは、障害の程度にもよるが「音を切り替えたい瞬間」の「直前の2～3秒」にボタンを押すということが困難な場合が多いということである。このシステムによって演奏が可能になる子どもはかなり限られる。うまく操作できなくて音楽が破綻してしまうケースも少なくなかった。そこで、もっと多くの障害のある子どもが音楽を操る楽しさを感じることができる仕組みは作れないか、というのが我々の研究の次の段階のテーマになった。

3. ビジュアルプログラミング環境とスイッチインターフェイスの利用

これまで、ある程度タイミングよくボタンを押すという動作によって音楽への主体的な参加が可能になる、逆にタイミングよくボタンを押さないと失敗する、失敗することもあるから成功したときの喜びがある、という考え方だったが、重度重複障害のある子どもにとって、タイミングよくボタンを押すということのハードルが高い場合が多いことから、タイミングよくボタンが押せなくても演奏はとりあえず破綻しないシステムが必要ではないかと考えた。グリッドコントローラとDAWソフトを使うDJ風のシステムでは、これ以上の改善は困難と判断し、2020年に抜本的にシステムを見直すこととした。

これまでのシステムではボタンを押した「次の小節」に所定のフレーズの演奏が始まると

いう形だったが、これだとタイミングの失敗によって演奏が破綻してしまう。そこで、ボタンを押した瞬間にフレーズの途中でも即座に曲調が切り替わる、という演奏形態に変更することとした。つまり、一つの楽曲を複数の全く違う曲調（たとえばクラシック調とロック調、歌ありと歌なしなど）で演奏した音源を用意し、その複数の音源をコンピュータ内部では同期させて同時に演奏しておいて、演奏者のボタン操作によって、そのうちのひとつの音源のみがスピーカーから出力されるようにするのである。そうすれば、ボタン操作によって変わるのは曲調だけなので、いつボタンを押しても演奏の進行は妨げられない。しかしボタンを押した瞬間に曲調が大きく変わるので、演奏者は自分の操作によって音楽ががらりと様相を変えるという手ごたえを感じることができる。

これを実現するシステムとしては、カナダのDERIVATIVE社のビジュアルプログラミング環境「TouchDesigner」が適していた。TouchDesignerは3DCGや音声、映像などをキーボード操作やカメラ入力、各種センサー入力などによって制御するプログラムを構築することのできるシステムで、VJ（Video Jockey）やプロジェクションマッピングを含むさまざまな映像作品の制作に利用されるソフトウェアである。これを使うと、複数の曲調の違う音源をタイムラインに同期して同時演奏しながら、ボタンの切り替えに応じてそのうちのひとつの音源のみを音声デバイスに出力するというプログラムが組める。さらに、TouchDesignerでは音声だけでなくプロジェクタの映像などもコントロールできるため、ボタン操作によって音声と映像の両方を同時に切り替えることも可能である。ボタン操作の結果を音と映像の両方でよりビビッドに演奏者にフィードバックすることができる。

ボタン操作はやはり障害者用ビッグスイッチを使う必要があるので、ビッグスイッチの操作をTouchDesignerの入力信号として使うために、PC用のスイッチインターフェイスである「できマウスS2。」を使用した。「できマウス」は日本のDekimouse Project^(注4)が障害者用の支援機器として開発製造しているデバイスで、これをシェアウェア「JoyToKey」^(注5)を使ってドライブすることで、デバイスに接続した接点式のスイッチがPC側からは



図8 できマウスS2

キーボード入力として認識されるという仕組みになっている。こうしたインターフェイスデバイスは他にも存在するが、「できマウス」とJoyToKeyの組み合わせはTouchDesignerとの相性も良く、安定して動作するため採用することとした。「できマウス」の導入によってPC周りの配線は劇的に簡素化された。PCに「できマウス」をUSB接続し、「できマウス」にビッグスイッチを接続するだけで配線が完了するのである。

ここで、童謡「きらきら星」を使った2021年11月実施の音楽イベント「きらきら『星』のコンサート」^(注6)での実践を例にあげて、

TouchDesignerでのプログラム例を紹介したい。まず「きらきら星」を、本来の童謡らしい綺麗な音で作った「音源A」、ロック調で元気な曲調にした「音源B」、ボーカロイドを使ってオリジナルの岡山弁の歌詞でボーカルを入れたコミカルな「音源C」をDTM(注7)で作成する。このイベントは、音楽ホールを使った親子向けのコンサートで、フロアの観覧者には簡易なペンライトが配布されている。ステージ上の演奏者のボタン操作によって



図9 きらきら「星」のコンサート

によって曲調が変化し、曲調に合わせてスクリーンにはペンライトの振り方の指示とともに星のキャラクターがゆれるアニメーションが投影される。童謡調の綺麗な曲調のときにはペンライトをゆっくり振り、ロック調の元気な曲調のときには速く、岡山弁のボーカルのときには自由に振る、という具合に、演奏者のボタン操作によってその場にいる者全員がペンライトの動きを変化させるのである。なお、このイベントは特に障害のある子どものみを対象としたものではなく、このときのボタン操作は定型発達の子どものみがおこなっている。

図10がTouchDesignerのプログラム画面である。TouchDesignerでは、「オペレータ」と呼ばれるユニットによって音声や映像やCGなどを定義したり、それらの演算・加工・出力などをしたりする。各オペレータのパラメータを設定し、オペレータどうしを線でつなぐことでプログラムを組む形のビジュアルプログラミング・ツールである。プログラムは、図中に示すように「センサー部」「音声切替部」「映像切替部」の3つの部分で構成されている。

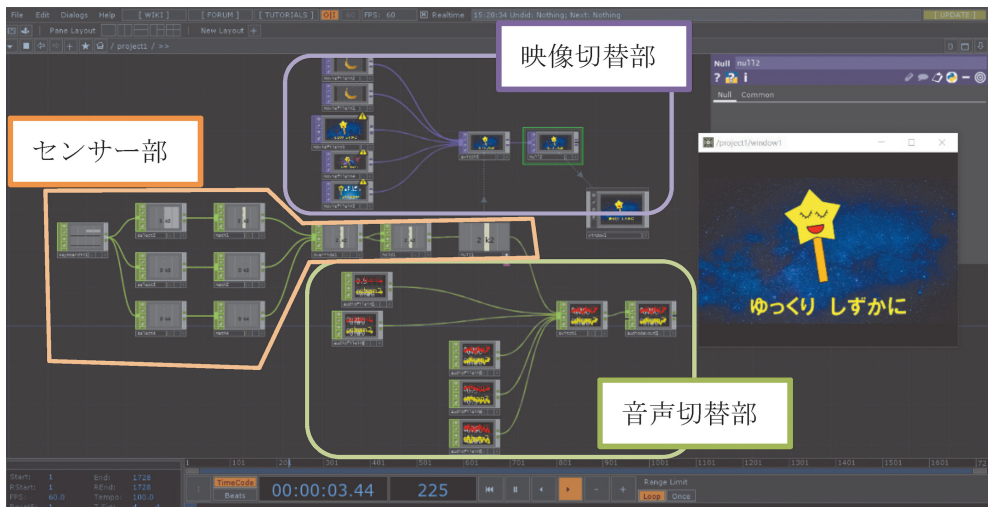


図10 TouchDesignerのビジュアル・プログラミング画面

音源A・B・Cに対応する3つのビッグスイッチを「できマウス」に接続し、JoyToKeyがボタン操作をキーボード操作に変換する。ここでは3つのボタンを数字キーの「2」「3」

「4」にエミュレートしている。センサー部では、KeyboardIn オペレータがキーボード入力を常にウォッチし、その信号を3つの Select オペレータに送ってそれぞれ「2」「3」「4」のキーボードの押下を検知し、検知したらそれぞれ Math オペレータが数値の「2」「3」「4」に変換して Override オペレータでひとまとめの信号にする。一瞬のボタン操作を次に別のボタンが押されるまでの間ずっと保持するという処理は Hold オペレータで行っている。このような処理によってセンサー部の出力は常に「最後に押されたボタンを示す数値」（2か3か4）となる。

音声切替部では、センサー部から出力された値を Switch オペレータで受け取って、AudioFileIn オペレータから入力されている3種類（数値の0と1に対応するダミー音源が必要なため、それを含めると5種類）の音源の一つのみを抽出して AudioDeviceOut オペレータに渡すことでスピーカーから音が出る。映像切替部でも同様にセンサー部から出力された値を Switch オペレータで受け取って MovieFileIn オペレータから入力されている3種類（+ダミー映像2種類）の映像から一つを抽出してプロジェクタに出力している。

イベントで使用した実際のプログラムはさらに複雑で、音源は3種類ではなく曲の開始と終了をきれいに演出するために前奏部や後奏部の音源も使っており、その部分だけは指導者が操作した。さらに「UFO出現!」というボタンを作って、そのボタンが押されている間だけシンセサイザーを使った不思議な音色で「きらきら星」が奏でられるようなギミックも付加している。このボタンはいつでもきまぐれに押すことができ、押している間だけ、スクリーンにはUFOが飛び回る映像と、ペンライトをぐるぐる回すよう呼びかけるメッセージが投影される。もちろんこのときも、音色は変わるが楽曲は滞ることなく進行しているのである。

4. まとめ

TouchDesigner と「できマウス」を使ったシステムによって、操作のハードルは大きく下がったと言えるだろう。今後たとえば障害のある子どもが本システムをボタンで操作し、音や映像が切り替わることでボタン操作の意味に気づいて次第に意図的に操作できるようになって音楽遊びを楽しめるようになる、といった実践を想定しているが、コロナ禍によって重度重複障害のある子どもに対する実践の機会は大きく損なわれたため、効果の観察や測定は十分できていない。ここでは試行錯誤を重ねながら進めてきた機器開発の経緯と、システムの構成や仕組みを報告することにとどめざるを得ない。

TouchDesigner は特定の用途をもったアプリケーションではなくプログラミング・ツールなので、プログラムを組むことで自由度の高い応用を可能にすることができる。さまざまなセンサーからの入力を使ってさまざまな映像や音声を作り出すことができるので、たとえばDMX規格^(注8)によってスポットライトなどの照明機器を制御することもできる。ボタン操作で単に音色と映像が変わるだけでなく、照明が変化してそれに呼応して他の参加者が

身体表現活動を行う、といった応用も考えられる。関原（2010）は、重度重複障害のある子どもへの音楽の授業は「コミュニケーションの力を伸ばすという音楽療法的視点を持つことが重要である」と言い、子どもが叩くハンドドラム等の太鼓に指導者がキーボードで呼応することで音によるコミュニケーションに気づかせる授業実践を報告している。ボタン操作に機械が呼応するだけでなく「人が呼応する」という、音楽による対人的なコミュニケーションの体験を創出する本研究のシステムは、コミュニケーションの力を伸ばす音楽療法としての意味を持つことも期待される。また、「できマウス」は接点がON/OFFできるスイッチであればなんでも接続することが可能なので、ピエゾスイッチや視線スイッチなどの各種スイッチへの対応も今後の課題である。

なお、本研究はJ S P S 科研費 JP18K02599の助成を受けたものである。

出典

中西（2018）：中西裕・岡田信吾・壽谷静香・安久津太一．Use of an iconic grid instrument at a special education school in Japan for the musical engagement of children with severe and multiple disabilities: A preliminary report. Medical Research Information Center Global, (March 22, 2018).

関原（2010）：関原彩子．重度重複障害児の音楽療法的視点を取り入れた授業：太鼓でおはなししよう．学校音楽教育研究, 14, p75-76, 2010-03-31.

注

- 1 M I D I (Musical Instrument Digital Interface) 規格とは、電子楽器の演奏データの送受信に使われる共通規格である。
- 2 D A W (Digital Audio Workstation) ソフトとは、音声信号の編集やM I D I 楽器の演奏等を統合的に行えるソフトウェアである。
- 3 タカハ機工株式会社は福岡県飯塚市のソレノイドメーカー。 <https://www.takaha.co.jp/>
- 4 Dekimouse Project 公式ホームページ <https://dekimouse.org/wp/>
- 5 JoyToKey 公式ホームページ <https://joytokey.net/ja/>
- 6 岡山参加型ミュージカル実行委員会主催「キラキラ『星』のコンサート」(於ベルフォーレ津山, 2021.11.23)。福武教育文化振興財団の助成と津山市教育委員会・学校法人美作学園の後援を受け、岡山フィルハーモニック管弦楽団(弦楽四重奏)等も出演する音楽イベントの1コーナーとして、本研究のシステムによる演奏を実践した。
- 7 D T M (Desk Top Music) とは、P C を使って音楽を制作すること。P C 上のD A W ソフトでシンセサイザーやボーカロイド等のM I D I 音源を駆動して楽曲を制作する。
- 8 D M X 規格とは、照明機器をデジタル制御する信号の送受信に使われる共通規格である。