非接触給電を利用したミュージックシーケンサ型電子楽器の試作

吉池 俊貴[†] 東藤 絵美[††]
馬場 哲晃[†] 串山 久美子[†]

近年非接触給電技術は，プロダクトのデザインや機能設計において，従来の電源供給方法では必須であった接触面の配置などによる形状等への制限を自由にすることから，家電製品のみならず様々な用途への応用が期待されている．著者らはこの非接触給電の技術を応用した玩具アプリケーションを開発している．開発中のデバイスは円状の給電デバイスと，受電デバイスで構成される．本稿ではこれらシステムをミュージックシーケンサ型楽器に応用する．給電デバイスの最適な位置に受電デバイスを置くだけで，電力が供給され，ソレノイドアクチュエータを動かし鉄琴の音板を鳴らすシーケンサタイプの楽器を提案する．

Prototype of music sequencer using contactless power transmission

Toshiki Yoshiike,[†] Emi Todo ,[††] Tetsuaki Baba[†]
and Kumiko Kushiyama[†]

Recently Contactless charging technology is maked proprogress.It is not only expected to use consumer electronics and electromobile,but also various application. We develop new application by contactless charging tecnology. This device consists of supplying electricity device and receiving electricity device. Receving electricity device is supplied electric power by user place receiving electricity device in the best position of supplying electricity device. Then Solenoid actuator hit glockenspiel. User can use it like a music sequencer.

1. はじめに

近年非接触給電の技術が進歩し様々な用途への応用が期待されている．著者らはこの非接触給電技術を応用し，玩具アプリケーション開発を行っている．非接触給電技術によって受電側のデバイスはコネクタ等で給電側のデバイスと繋ぐ必要はなく，置くだけで電力が供給され，アクチュエータを動かすことが出来る．これによりユーザビリティの高いインタラクション設計が可能になる．本稿ではシーケンサタイプの楽器を提案しているが，開発している給電デバイスを用いることによって受電側のデバイスは汎用性のある様々なアプリケーションへ展開することを想定している．非接触給電は「使いやすさ」や,「メンテナンス性」等のユーザビリティが向上するだけでなく，それを扱うユーザにとって新しい発見や驚きを提供することができる．無線や非接触の技術は人間の目に見えない電気等の力や情報等がやりとりされるため，ユーザがシステムを楽しむ際，驚きや疑問を持つことが考えられる．このことがユーザに対し，新たな経験的デザインプロダクトを提供できる．本研究では石井らが提案する Tangible user interface[1] の概念を参考にし，それに加えユーザは受電デバイスを置くだけというシンプルで直感的に操作できるインタフェースを制作し，制作者自らが魅力的なパフォーマンスを提供することを目的としている．

2. 関連研究

非接触給電はシェーバや電動歯ブラシなどの家電製品やその効率のみならず電気自動車への応用も研究されている[2)3)]．非接触による給電方法には数種類あるが，本研究ではコイルの相互誘導による非接触給電方法を用いている[4)]．非接触な電力供給をインタラクション作品に用いた事例に木村らによる VITA(visualization system for interaction with transmit audio signals)[6)] がある．これはビーム状に放出された特殊な音波から

† 首都大学東京大学院システムデザイン研究科
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University
†† 首都大学東京システムデザイン学部インダストリアルアートコース
Industrial Art Course, Faculty of System Design The Tokyo Metropolitan University

電力を無線で供給し多数配置されたLEDを光らせるインタラクションを実装している．本研究では給電と受電2つのコイルの相互誘導による電力供給によるもので無線で電力を供給する方法は異なる．その他にも例えば無線通信をしてドミノを倒すような「エスパードミノ」[5]のように無線や非接触であることのインタラクションは普段人間にとって意識していない電気の力や情報を可視化している為に「驚き」や「疑問」をユーザや鑑賞者に体験として提供できる．そして同時に，目に見えないテクノロジーを人間が把握できる事も可能である．また金井ら[7]はソレノイドアクチュエータを利用したPocoPocoという音楽演奏インタフェースを提案している[7]．本研究ではこのソレノイドの特徴を生かし受電デバイス部分のアクチュエータを実装する．磁力を利用したテーブルトップインタフェースにはThe Actuated Workbench[8]やMadgets[9]が挙げられる．The Actuated Workbenchは電磁石を配置したテーブルトップ上をオブジェクトが移動するのに加え，位置をセンシングし上方から映像をプロジェクションしている．Madgets[9]では，オブジェクトの移動に加え電力供給によりソレノイドを動かしたりLEDを光らせることもできる．またFTIR技術によりオブジェクトの位置や向きを認識して下方からプロジェクションし，タンジブルなユーザインタフェースを実現している．著者らが開発している玩具アプリケーションでは薄型の空芯コイルを用いて構成されており，ユーザは受電デバイスを置くだけで演奏できるため以上の研究とは異なる．

3. 実　　装

本稿で提案するデバイスは給電デバイスと受電デバイスから構成される．給電デバイスには給電ポイントを8箇所円状に設置した．給電ポイントはリレースイッチを用いて隣に次々移動させていくように制御し，それがループする仕組みである．受電デバイスには，受電用コイルと整流変換用の回路によって給電デバイスから電力を供給される．給電された電力によってソレノイドアクチュエータを上下動させ，鉄琴の音板を叩いて鳴らす．

3.1 給電デバイス

給電デバイスを**図1**に示す．円状の給電デバイスには8箇所の給電ポイントがあり，このポイントをリレースイッチを用いて切り替えていく．また，切り替わりの速さを変えることが出来るつまみも設置した．つまみにはスイッチ付き可変抵抗を使い，スイッチのon/offとともに給電ポイントの切り替わりの速さを制御することが出来る．また，ユーザがどこに受電デバイスを置いたら良いかアフォードするように給電されている状態のポイントはLEDを点灯するようにした．

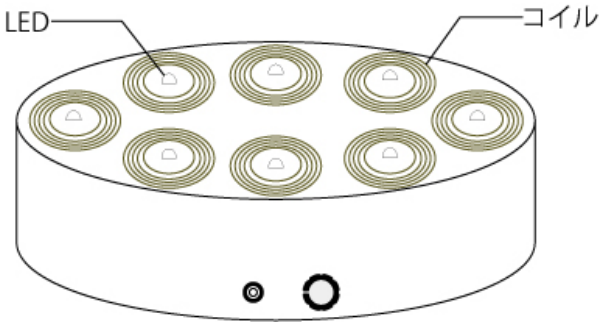

図1　給電デバイス
Fig. 1　Figure of electric supply device

給電デバイスは，給電回路とコイル，それぞれの給電されるコイルを切り替えるためのリレースイッチ，給電ポイントの切り替えの速さを変えるためのつまみ，そしてそれらを制御するためのマイクロコンピュータから構成される．使用したコイルは空芯コイルでありφ50，厚さ0.9mm，φ0.07の銅線を7本撚ったリッツ線を7本並べた線を17回巻いてさらに2層になっているものを使用している[4]．この空芯コイルは受電デバイスでも使用している．給電デバイスのシステム構成を**図2**に示す．

また本研究で扱う非接触給電の給電コイルと受電コイルの最適な間隔は10mm程度である[4]．そのため，ユーザが受電デバイスを置いた時にコイル間の間隔が10mmになり，むき出しのコイルを覆うような筐体を

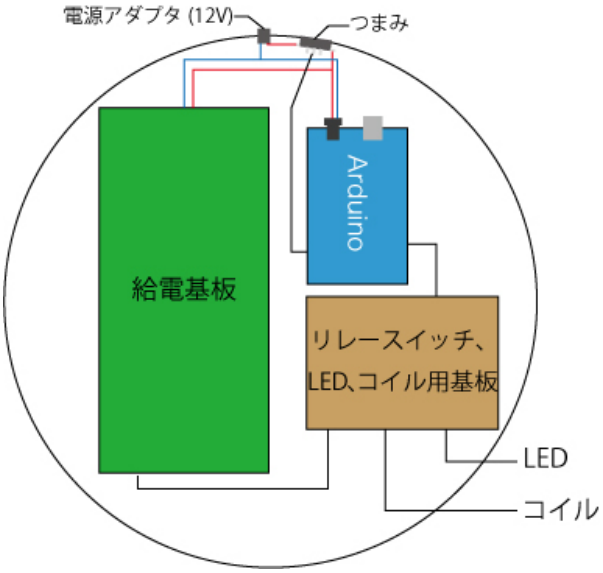

図2　システム構成図
Fig. 2　System configuration

図 3　筐体
Fig. 3　Case of device

表 1　給電デバイスの仕様
Table 1　Details of the supplying electricity device

動作電圧	12V
筐体寸法	20.5 × 20.5 × 4.6(W × H × D)mm
材質	ABS 樹脂
マイクロコントローラ	Arduino
使用リレースイッチ	Y14H-1C-5DS

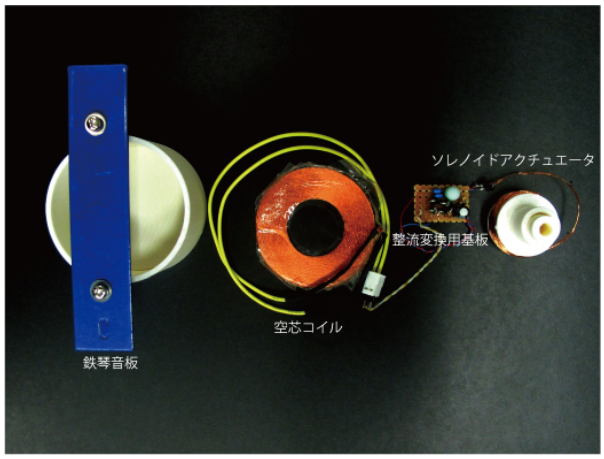

図 4　受電デバイスの構成
Fig. 4　Make up of receiving electricity device

作成した．これはさらにユーザが受電デバイスを置く位置がわかりやすいように LED をコイルの形に光るようにするため筐体上面の厚みを変え，工夫した．外側の筐体を**図 3** に示す．

デバイスの仕様を表 1 に示す．

3.2　受電デバイス

受電デバイスは相互誘導用コイルと整流変換用基盤，ソレノイドアクチュエータによって構成される (**図 4**, **図 5**).

受電デバイスの整流変換用の基板では 100 μ F の電解コンデンサ使い，約 2V の電圧が受電できた．その様子をオシロスコープ (Agilent Technologies 社製

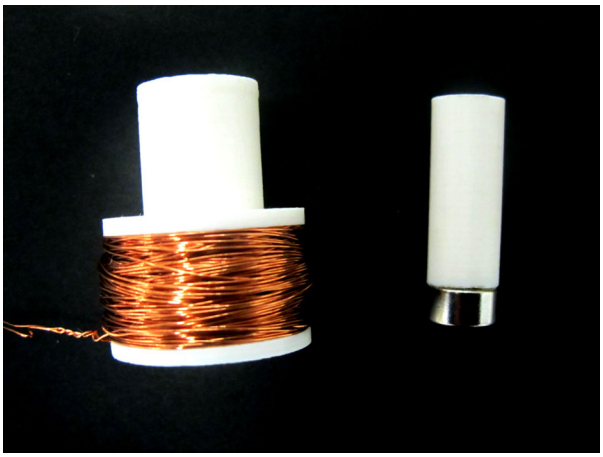

図 5　ソレノイドアクチュエータ
Fig. 5　Solenoid actuator

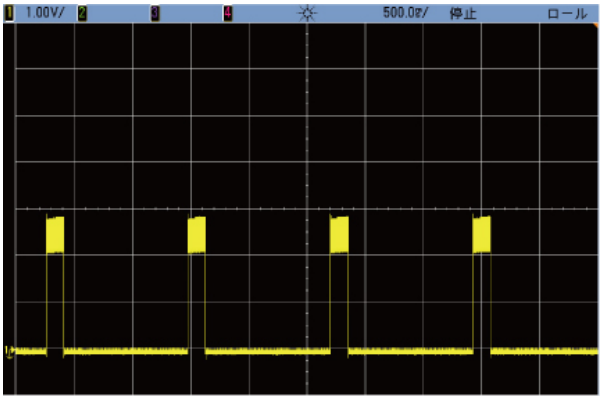

図 6　受電電圧
Fig. 6　Receiving voltage

デジタルオシロスコープ DS0514A) で計測した図を以下に示す（**図 6**）.

本稿で提案するミュージックシーケンサ型の楽器ではソレノイドアクチュエータを上下動させる機構を用いている．ソレノイドアクチュエータは 500 回巻き，抵抗が 8.6 Ωである．受電電圧が 2V であるとすると約 233mA の電流が流れソレノイドを動かすことができた．本稿では回路の小型化などの利点により 100 μ F のコンデンサを使用している．

受電デバイスの外観を**図 7** に示す．

4.　アプリケーション例

本稿では非接触給電を用いた音楽シーケンサタイプのアプリケーションについて提案する．例えば，PocoPoco[7] ではソレノイドアクチュエータが上下動をし，音に連動してアクチュエータが動いているのが視覚や触覚でも感じる事の出来るミュージックシーケンサを開発している．今回実装したデバイスは，8 箇所に配置した円状の給電ポイントに鉄琴の音板を有

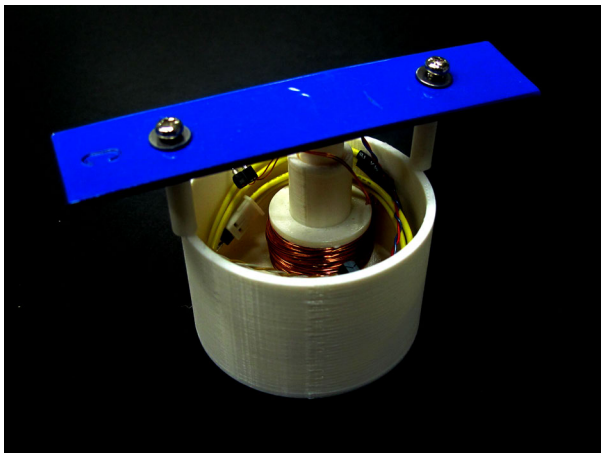

図 7　受電デバイス
Fig. 7　Receiving electricity device

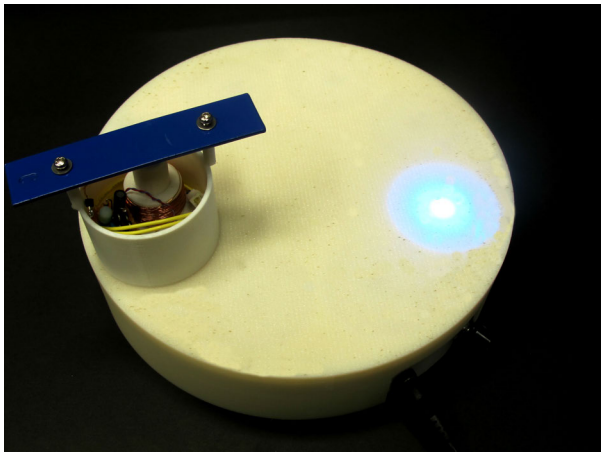

図 8　アプリケーション
Fig. 8　Application

する受電デバイスを置いていくと一定のリズムで給電し，給電された際にソレノイドアクチュエータが上下動し鉄琴の音板を叩いて鳴らす．鉄琴には EMUL MTGL-8C カラフル鉄琴 8 音を使用した．現在開発しているアルゴリズムでは BPM などを厳密に指定できるようにはなっていないが，リズムとなる給電ポイントの切り替わりの速さは筐体側面に取り付けたつまみによって変えることが可能である．ユーザは鳴らしたい音のモジュールを鳴らしたいポイントに置いていくだけで自動演奏が可能なアプリケーションである．使用例を**図 8** に示す．

4.1　ユーザシナリオ

本稿で提案する玩具アプリケーションは給電デバイスと，鉄琴の音板がついた受電デバイスから構成される．給電デバイスのスイッチを入れると，給電デバイスに 8 箇所ある給電ポイントが一定の時間間隔で円状に移り変わっていく．ユーザはつまみによって好みのテンポに調節する事が出来る．LED が光る給電ポイントに丁度重なるように受電デバイスを置くと給電される際にソレノイドアクチュエータが上下動し鉄琴の音板を鳴らす．ユーザは鳴らしたい音を鳴らしたい給電ポイントに置いていく事で自動演奏が出来る．またタイミングよく置く位置を変えたり，テンポを調節するような演奏方法も可能である．

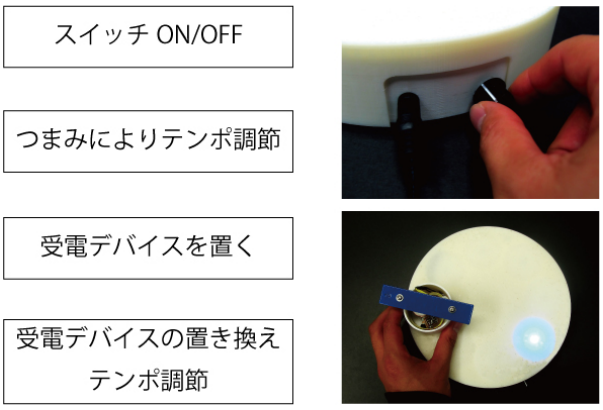

図 9　ユーザシナリオ
Fig. 9　User scenario

ユーザシナリオとその様子を**図 9** に示す．

5. 考　　察

今回開発したプロトタイプでは，給電デバイスにリレースイッチ (Y14H-1C-5DS) を使用している．このリレースイッチは電流を流すと中にあるコイルに電流が流れることでスイッチを切り替えるため，わずかな動作音が生ずる．したがって今後音の鳴らないリレースイッチを使用することを検討している．またこのプロトタイプでは給電ポイントが一つずつ切り替わっていく為に和音を成らす事はできない．現在開発している給電デバイスは給電ポイントが円状に 8 箇所ありそのポイントを移動させていくことで給電ポイントが移り変わる．受電デバイスのソレノイドアクチュエータは給電された際に上下動し，鉄琴の音板を鳴らす仕組みである．テンポが遅い際，給電されている時間だけソレノイドアクチュエータが上がった状態のままになってしまう．このため音板とソレノイドアクチュエータが接触したままの状態になり，音をミュートしてしまう．速いテンポに設定し，給電時間を短くする事で解決できるが，ゆっくりなテンポの際どの様にこの問題を解決するかは課題である．φ 50 の空芯コイルをより小さくすることで例えば 16 箇所の給電ポイントを設置でき音楽シーケンサとして 8 ビートしか出来なかったものが 16 ビートにできるといったように機能が拡張できる．しかし使用する空芯コイルのφが小さくなることで伝送される電力が小さくなる可能

性があるためアクチュエータの動作電力を考慮して設計しなければならない．今回提案しているアプリケーションではユーザは受電デバイスを置くだけという直感的かつ単純な操作で演奏が出来る．しかし最適な給電ポイントに受電デバイスが置かれていない場合効率よく電力が伝送できない場合がある．受電デバイスは電池が不要で操作方法としては給電デバイスに置くだけなので壊れにくいといった利点がある．

6. 今後の展望

この非接触給電デバイスを応用することで，電力を供給したい場所にのみ電力を供給することが出来る．本稿で提案した受電デバイスはコイルの大きさと整流用基板を中に入れる事が出来るようにオブジェクトを作成した．今後この鉄琴の音板を成らすタイプのミュージックシーケンサでは電気を彷彿とさせないような外観や材質のオブジェクトにする事で 1 章で述べた「驚き」や「疑問」をより持つ事が出来ると考えられる．そしてこのことがユーザに対し，新たな経験的デザインプロダクトを提供出来るようなデバイスを目指す．また，本稿で開発した給電デバイスは円状でつまみによってスイッチングの速さを変える事で給電ポイントを移動させていくものであるが受電デバイスが置かれたポイントを給電デバイスにセンサを取り付けセンシングすることも検討している．この技術により，置かれた順番や置かれたポイントのみに給電していくシステムができるため，ミュージックシーケンサの用途に留まらない給電デバイスが開発できる．例えば置かれた順番毎に給電ポイントの LED の色を変化させることも可能である．また上に乗せるための受電デバイスのアプリケーションの数を増やすことによって，給電デバイスは一つで済むがアプリケーションの組み合わせによって今回提案したもの以外にも多種多様な演奏方法や遊び方が可能になる．著者らは現在，受電デバイスの中にマイクロコントローラを取り付け本稿で提案しているソレノイドアクチュエータ以外のアクチュエータ制御を検討している．例としてマイクとスピーカを内蔵させ，ユーザの声を録音・再生するといったアプリケーションも検討している．また，給電デバイスに内蔵する空芯コイルのサイズを調整することによって，伝送可能電力（アクチュエータの動作電力）と稼働箇所の数のバランスを変化させ，アプリケーションの展開により幅をもたせることが可能となる．

参 考 文 献

1) Hiroshi Ishii. 2008. Tangible bits: beyond pixels. In Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction (TEI '08). ACM, New York, NY, USA, xv-xxv. DOI=10.1145/1347390.1347392 http://doi.acm.org/10.1145/1347390.1347392
2) 安倍 秀明，坂本 浩，原田 耕介：磁気結合コイルの正確な位置合せを不要にした非接触給電，電子情報通信学会論文誌. B, 通信，社団法人電子情報通信学会，2003-06-01 ，pp. 987-996 ，http://ci.nii.ac.jp/naid/110003170475/
3) 安倍 秀明，田村 秀樹，秋定 昭輔，山下 幹弘，坂本 浩，原田 耕介：出力安定化機能を有するシンプルな非接触充電回路，電子情報通信学会技術研究報告. EE, 電子通信エネルギー技術，社団法人電子情報通信学会，1999-02-19 ，pp. 23-30 ，http://ci.nii.ac.jp/naid/110003189868/
4) 山内幸長，山本宣春：長距離ワイヤレス給電の実験と研究，トランジスタ技術 2011 年 1 月号，pp. 174〜182，CQ 出版
5) 須木康之，小林茂，鈴木宣也：エスパードミノ: 近距離無線通信における情報伝達状態の顕在化，情報処理学会インタラクション 2010, http://www.interaction-ipsj.org/archives/paper2010/demo/0067/0067.pdf
6) Kentaro Kimura, Osamu Hoshuyama, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. 2011. VITA: visualization system for interaction with transmitted audio signals. In ACM SIGGRAPH 2011 Posters (SIGGRAPH '11). ACM, New York, NY, USA, , Article 54 , 1 pages. DOI=10.1145/2037715.2037776 http://doi.acm.org/10.1145/2037715.2037776
7) Takaharu Kanai, Yuya Kikukawa, Tatsuhiko Suzuki, Tetsuaki Baba, and Kumiko Kushiyama. 2011. PocoPoco: a tangible device that allows users to play dynamic tactile interaction. In ACM SIGGRAPH 2011 Posters (SIGGRAPH '11). ACM, New York, NY, USA, , Article 50 , 1 pages. DOI=10.1145/2037715.2037772 http://doi.acm.org/10.1145/2037715.2037772
8) Gian Pangaro, Dan Maynes-Aminzade, and Hiroshi Ishii. 2002. The actuated workbench: computer-controlled actuation in tabletop tangible interfaces. In Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '02). ACM, New York, NY, USA, 181-190. DOI=10.1145/571985.572011 http://doi.acm.org/10.1145/571985.572011
9) Malte Weiss, Florian Schwarz, Simon Jakubowski,

and Jan Borchers. 2010. Madgets: actuating widgets on interactive tabletops. In Proceedings of the 23nd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '10). ACM, New York, NY, USA, 293-302. DOI=10.1145/1866029.1866075 http://doi.acm.org/10.1145/1866029.1866075