

一般セッション(口頭講演) | 1 応用物理学一般: 1.2 教育

2025年3月14日(金) 12:30 ~ 15:30 皿 K310 (講義棟)

**[14p-K310-1~9] 1.2 教育**

羽淵 仁恵(岐阜高専)

12:30 ~ 12:45

[14p-K310-1]

電流計・電圧計の指針読み取り技能向上を支援する補助教具の開発

○(M2C)小林 雄一郎<sup>1</sup>、庭瀬 敬右<sup>1</sup> (1.兵庫教育大)

12:45 ~ 13:00

[14p-K310-2]

Arduinoによる2次元音圧分布測定システムの製作

○高田 泰地<sup>1</sup>、丸目 勝斗<sup>1</sup>、成田 憲一<sup>1</sup>、畑中 信一<sup>2</sup>、小塚 晃透<sup>1</sup> (1.愛工大、2.宇都宮大)

◆ 奨励賞エントリー

13:00 ~ 13:15

[14p-K310-3]

立体一筆書きのこまを使ったモーターの提案

○佐々木 晶<sup>1</sup>、佐久間 鈴帆<sup>1</sup>、井口 長洋<sup>1</sup>、大山 晴生<sup>1</sup>、荒川 悦雄<sup>1</sup>、沖津 康平<sup>2</sup> (1.東京学芸大、2.東大院工)

13:15 ~ 13:30

[14p-K310-4]

Ag ナノインクを用いたインクジェット印刷によるフレキシブルな回路作製の検討

○伊藤 光樹<sup>1</sup>、神谷 優太<sup>1</sup>、井戸川 槇之介<sup>1</sup> (1.釧路高専)

13:30 ~ 13:45

[14p-K310-5]

MHzオーダーのカットオフ周波数帯域を有するフレキシブルなLPF回路の作製の検討

○伊藤 光樹<sup>1</sup>、市川 颯太<sup>1</sup>、白樫 淳一<sup>2</sup> (1.釧路高専、2.東京農工大)

14:00 ~ 14:45

[14p-K310-6]

[第25回業績賞(教育業績)受賞記念講演] リフレッシュ理科教室をはじめとする科学教育・啓発活動による青少年人材育成の推進

○平松 信康<sup>1</sup>、高井 吉明<sup>2</sup>、香野 淳<sup>1</sup> (1.福岡大、2.愛知工大)

14:45 ~ 15:00

[14p-K310-7]

[第2回シリコン系半導体エレクトロニクス高専活性化奨励賞(名取研二高専活性化奨励賞)受賞記念講演] 半導体ナノ加工におけるシミュレーション技術と半導体人材育成

○多田 和広<sup>1</sup> (1.富山高専)

15:00 ~ 15:15

[14p-K310-8]

物理的運動の数学的な側面として微分の意味に着目した概念問題と詳細な解説ページのWebサイトの開発

○工藤 知草<sup>1</sup>、中村 晃<sup>1</sup> (1.金沢工大)

15:15 ~ 15:30

[14p-K310-9]

光速度可変と質量不変

○土田 成能<sup>1</sup> (1.ダビンチ研)

---

# 電流計・電圧計の指針読み取り技能向上を支援する補助教具の開発

## Supporting Tool for Improving Ammeter and Voltmeter Pointer-Reading Skills



兵庫教育大<sup>1</sup> ○(M2C)小林 雄一郎<sup>1</sup>, 庭瀬 敬右<sup>1</sup>

Hyogo Univ. of Teacher Edu.<sup>1</sup> Yuichiro Kobayashi<sup>1</sup>, Keisuke Niwase<sup>1</sup>

E-mail: yuichiro.kobayashi@scramble-robot.org

### 1. はじめに

中学校理科の電気単元では、回路実験を通じて電流や電圧、電力などの概念を学習しているが、他の単元と比較して統制感が低いことが指摘されている<sup>[1]</sup>。要因として、平成24年度全国学力・学習状況調査では「最小目盛りの1/10まで読みとることに課題がある」「端子の接続位置を考慮した読み取りができていない」と報告されている<sup>[2]</sup>。

本研究では、これらの課題を解決し、電流計および電圧計の指針の読み取り技能向上に寄与する補助教具の開発を目的とした。

### 2. 開発した補助教具

回路実験の授業時間内で生徒自身が指針の読み取り練習を可能とするため、デジタル表示の電流・電圧計を併用することとした。電流測定実験における回路と補助教具の関係を Fig.1 に示す。

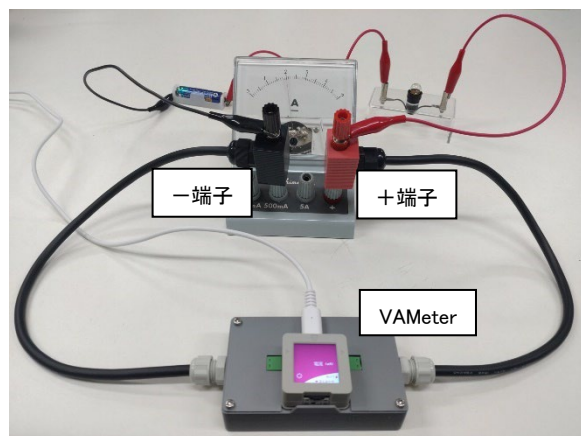


Fig.1 補助教具を用いた電流測定実験回路

補助教具は以下の要素から構成されている。

#### ① デジタル表示の電流・電圧計

M5Stack 製データロガー『VAMeter』を採用した。

本機は、構成要素全ての設計情報が公開されたオープンソースであることが最大の特徴であり、授業展開に合わせた画面表示や、電流・電圧計の特性に合わせた表示値の補正を柔軟に実現できる。

#### ② 電流・電圧計との接続用端子とケーブル

実験回路と VAMeter 間の配線作業を最小限にするため、指針式の電流・電圧計の端子に重ねて使用できる複合端子とケーブルを作成した。これにより、VAMeter を回路に組み込む際に必要となる煩雑な配線(電流測定時の直列接続、電圧測定時の並列接続)を省略できる。

### 3. 補助教具を用いた授業実践とその効果

兵庫県内の公立中学校2年生139名を対象に、開発した補助教具を用いた授業実践を行った。その後、電流計および電圧計の指針の読み取り技能に関する質問紙調査を実施した。平成24年度全国学力・学習状況調査における電流計の指針を読み取る問題の正答率は45.4%であったが、本実践後の調査では電流計の指針を読み取る問題の正答率が68.3%、電圧計の指針を読み取る問題の正答率が63.3%となった。

これらの結果から、開発した補助教具の使用が、生徒の電流計および電圧計の指針を読み取る技能習得を促す可能性が示唆された。

### 引用文献

- [1] 原田ら(2018)「いつ、なぜ、中学生は理科を好きでなくなるのか？」『理科教育学研究』第58巻、第3号、319-330。
- [2] 国立教育政策研究所(2012)「平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】報告書 理科」

## Arduino による 2 次元音圧分布測定システムの製作

### Production of the measurement system of 2D sound pressure distribution using Arduino

愛工大<sup>1</sup>, 宇都宮大<sup>2</sup> ○(B)高田 泰地<sup>1</sup>, 丸目 勝斗<sup>1</sup>, 成田憲一<sup>1</sup>, 畑中 信一<sup>2</sup>, 小塚 晃透<sup>1</sup>

Aichi Institute of Technology<sup>1</sup>, Utsunomiya University<sup>2</sup>, ○Taichi Takada<sup>1</sup>, Shuto Marume<sup>1</sup>, Ken-ichi Narita<sup>1</sup>, Shin-ichi Hatanaka<sup>2</sup>, Teruyuki Kozuka<sup>1</sup>

E-mail: kozuka-t@aitech.ac.jp

#### 1. 緒言

愛知工業大学・工学部・電気学科・電子情報工学専攻では、3年生の学生実験で、通信に関する実験の一部として超音波の送受信実験が行われている。また、超音波の指向性を示す実験では、音源から放射される超音波の 2 次元音圧分布を、手動ステージを用いて測定してきた。この実験を自動で高速かつより細かく測定するために、電動ステージを用いることを試みた。

#### 2. 実験装置

実験で用いる音源は、距離計などに用いられる直径 10 mm の円筒形の小型超音波振動子 7 個を、六角形の蜂の巣状に配置されたものである。この振動子に 40 kHz、10 Vpp の正弦波を印加して音源とした。

Fig. 1 に装置構成図を示す。ステージはボールねじ式のもので、ボールねじをステッピングモータで回転することで、ステージを直線上で移動する。このステージを 2 台交差して配置することで、xy ステージを構成する。モータの駆動は、Arduino からドライバにパルス信号を送ることで、モータを回転させる。

ステージ上に配置されたマイクロホンは、このモータの回転により 2 次元平面上で移動することができる。ステージ上にマイクロホンを固定して、マイクロホンを 2 次元面上で移動して、各位置の音圧（マイクロホン電圧）を測定する。マイクロホンの電圧は、Arduino で AD 変換を行い、PC に転送する。PC では、Excel365 の Data Streamer 機能を用いて、電圧データを Excel ファイルとして記録する。

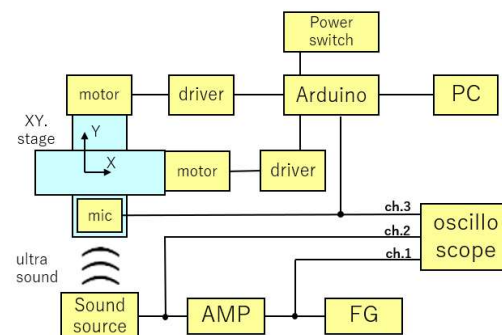


Fig. 1 Device configuration diagram.

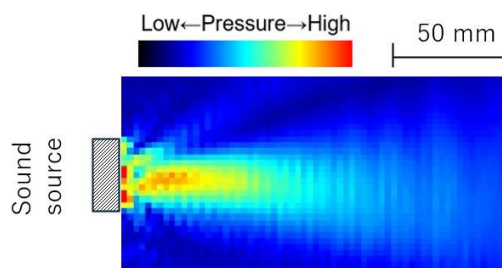


Fig. 2 Sound pressure distribution of 7 ultrasonic transducers

#### 3. 実験および結果

音軸を含む 80 mm×160 mm を 5 mm 間隔で測定した (561 データ)。測定時間は約 10 分であった。2 次元音圧分布測定結果を Fig. 2 に示す。測定結果を見ると、音源の正面に高い音圧が集中していることが確認できる。

#### 4. 結言

超音波音場の測定のために、2 次元音圧分布の自動測定システムを試作した。音場を測定したところ、最終極大位置が遠方に集中しており、指向性が高いことが確認できた。

#### 5. 参考文献

1) 丸目 他 「信学技報」 US2024-52 (2024-11)

## 立体一筆書きのこまを使ったモーターの提案 Proposing on a Motor Using Sakai Spinning Top

東京学芸大<sup>1</sup>, 東大院工<sup>2</sup>

○ (B) 佐々木 晶<sup>1</sup>, (B) 佐久間 鈴帆<sup>1</sup>, (B) 井口 長洋<sup>1</sup>, (B) 大山 晴生<sup>1</sup>,  
荒川 悦雄<sup>1</sup>, 沖津 康平<sup>2</sup>

Tokyo Gakugei Univ.<sup>1</sup>

Graduate School of Engineering, the University of Tokyo.<sup>2</sup>

○Akira Sasaki<sup>1</sup>, Suzuho Sakuma<sup>1</sup>, Nagahiro Inokuchi<sup>1</sup>, Haruki Oyama<sup>1</sup>,

Etsuo Arakawa<sup>1</sup>, Kouhei Okitsu<sup>2</sup>

E-mail: arakawae@u-gakugei.ac.jp

中学校学習指導要領解説理科編によると、電流と磁界について、簡単なモーターの製作などのものづくりを通して、理解を深める [1]。学校現場では簡単なモーターとしてクリップモーターがよく知られている。このモーターのコイルの形状が四角形ならば動作原理の理解がしやすいが [2]、通常は円形である。本研究では、立体一筆書きのこまに注目し [3]、これに電流を通すことによりモーターとして回転させることができることを紹介する。

この立体一筆書きのこまは、図のように、円周の一部が扇形に欠けている。製作の際には、重心の位置が円の中心と一致するよう、この扇形部分の中心角を  $53.130^\circ$  にする [3]。本研究では、このこまをスズめつき線で作り、回転軸を水平にして、交流電流 (50 Hz) を通し、さらに円周面と垂直方向に磁界をかけ回転させた。クリップモーターは、固定磁石の磁界の方向が回転軸から見た動径方向と平行な配置のラジアル型のモーターである。一方、我々のモーターは、固定磁石の磁界の方向が回転軸の方向と平行な配置のアキシアル型のモーターである。モーターの動作原理を説明する際、従来の磁石の配置に加えて、本研究の配置でも説明できる利点がある。

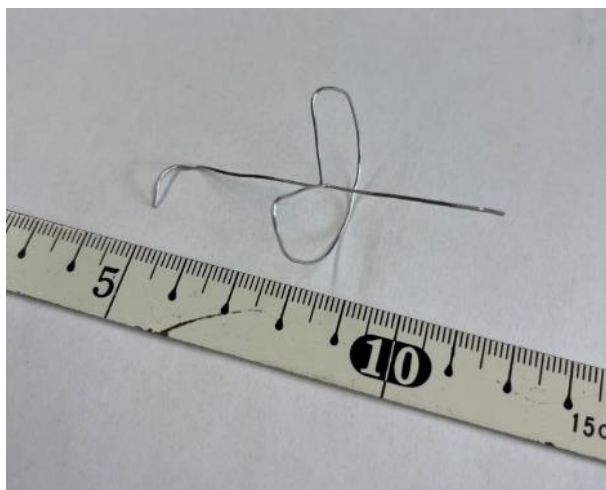


図 立体一筆書きのこまの例

### 文献

- [1] 文部科学省 (2017d) 「中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説, 理科編」平成 29 年 7 月 (令和 3 年 8 月 一部改訂).
- [2] 例えば、FEYNMAN, R. P., LEIGHTON, R. B., SANDS, M. (1975), The Feynman LECTURES ON PHYSICS, VOLUME II, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, California, Chap. 16 “Induced Currents”.
- [3] 酒井高男 「独りで楽しむこまの話」 数理科学, 271(1986) 18.

# Ag ナノインクを用いたインクジェット印刷による フレキシブルな回路作製の検討

Printed flexible circuit on  
semitransparent paper by using Ag nano-ink

釧路工業高等専門学校

○伊藤光樹、神谷優太、井戸川 稔之介

National Institute of Technology, Kushiro College

°M. Ito, Y. Kamiya, and S. Idogawa

E-mail: m-ito@kushiro-ct.ac.jp

近年、メカトロニクスの基材に紙を使用する"ペーパーメカトロニクス"が注目されている。紙ならではの特性を活かした環境に優しいメカトロニクスであり、シンプルで安価な構造を組み立てるシステムとしても教育現場で活用が検討されている[1]。一方で、近年扱様々な任意の回路パターンを作製できることから、導電性インクを用いたインクジェット印刷が注目されている。そこで本発表では、今後のペーパーメカトロニクスへの応用を見据えて、Ag ナノインクによる回路パターンの作製システムの構築を行った。特に、従来の同様な銀ナノインクによるインクジェット印刷された回路では、その抵抗値が比較的高いことが報告されているが、そのような課題を重ね印刷により克服できる可能性が示されたので、その結果についても報告する。

はじめに、インクジェットプリンターに Ag ナノインクをインクカートリッジに注入して回路パターンを作製した。この時、プリンターは一般的に市販されているものを使用した。図 1 に印刷回数とシート抵抗の関係を示す。このときの回路パターンは長さ・幅一定の長方形としており、印刷回数のみを変化させた。図より、重ねの印刷回数を増加させる毎に抵抗値は低下していることがわかる。また、複数サンプル間での抵抗値のばらつきも非常に小さい。これは他の同様な報告でのシート抵抗  $10^1 \Omega/\text{sq}$  [2] という結果を下回るものであった。また、図 2 に示すように長さに対する抵抗特性を検討したところこれまでの本研究での Pencil-Trace を用いた検討[3]と同様に、より低抵抗な重ねの印刷回数 2 回のもの方が、長さに対する抵抗値の変化が小さいことがわかる。以上の結果から、Ag ナノインクを用いたインクジェット印刷による回路作製システムを構築できたことが示された。

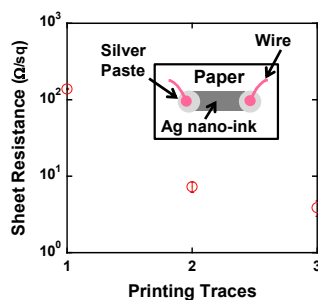


Fig. 1 The resistance of the 1-cm-square traces. Inset: Schematic of fabricated Ag nano-ink trace.

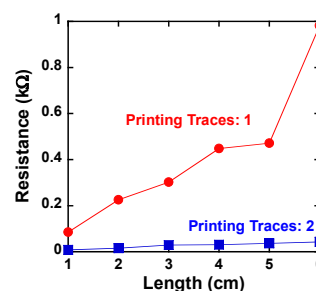


Fig. 2 The resistance of the Ag nano-ink trace on semitransparent paper.

## References

- [1] O. Hyunjoo et al., "Paper mechatronics: A design case study for a young medium," in Proc. 14th Int. Conf. Interaction Design Children, 2015, pp. 371–374.
- [2] H. Shigemune et al., IEEE Robot. Autom. Lett. 2 (2017) 1001.
- [3] 伊藤他: 第85回応用物理学会秋季学術講演会 19a-C43-2 (2024).

## MHz オーダーのカットオフ周波数帯域を有する フレキシブルな LPF 回路の作製の検討

Pencil-drawn graphitic traces on  
semitransparent paper for RC LPF with MHz order cut-off frequency

釧路工業高等専門学校<sup>1</sup>、東京農工大<sup>2</sup>

○伊藤光樹<sup>1</sup>、市川颯太<sup>1</sup>、白樫淳一<sup>2</sup>

National Institute of Technology, Kushiro College<sup>1</sup>, Tokyo University of Agriculture & Technology<sup>2</sup>

○M. Ito<sup>1</sup>, S. Ichikawa<sup>1</sup>, and J. Shirakashi<sup>2</sup>

E-mail: m-ito@kushiro-ct.ac.jp

近年、エレクトロニクスの基材に紙を使用する"ペーパーエレクトロニクス"[1]が注目されている。これは、紙ならではの特性を活かした環境に優しいエレクトロニクスである。次世代の半導体デバイスへの応用が期待されるナノカーボン材料は、現状その製法のプロセスが複雑、また構造を作ることが難しいという特徴が挙げられる。一方で、近年扱いが容易であることから Pencil-Trace[1]が注目されている。Pencil-Trace は紙面上に、鉛筆によりパターンを描くことで自在に電気回路やセンサー等を作製可能であることから、様々な応用が期待される。これまでに、本研究では今後の更なるフレキシブルエレクトロニクスの展開を見据え、光を透過する透写紙を用いてその基礎特性の制御や RC 直列回路による LPF の検討を行った。本発表では、LPF 特性について、より高周波な MHz オーダーのカットオフ周波数を有する Pencil-Trace を用いた回路の作製について報告する。

はじめに、正確な構造を作製するために、インクジェットプリンタを用いて回路素子の形状を印刷した[2]。具体的には、図 1(a)-(c)に示すように、インクジェットプリンタで回路素子の外形を印刷し、その後、鉛筆を用いて素子構造を描画した。このような素子作製プロセスによって RC 直列回路を作製して、その周波数特性を検討した。図 2 に得られた周波数特性を示す。この時の構造は濃度 12B の鉛筆を用いて作製した。図の周波数特性より、これまでの他の研究グループで報告されてきた同様な検討での数十 kHz オーダーのカットオフ周波数[3]を今回の結果は大幅に上回ることができた。これは、印刷プロセスの導入により、従来と比較してデバイスパターンをより高精度に描画することが可能になったためと思われる。また、このような印刷プロセスを用いた素子作製工程全体の自動化を今後進めることで、更なる高精度化が期待される。以上の結果から、Pencil-Trace による RC 直列回路で高周波帯域のカットオフ周波数を示す LPF を作製できることが示唆された。

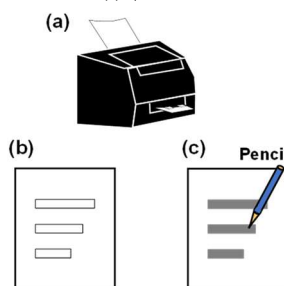


Fig. 1 (a) A paper with a printed circuit frame is printed with a commercial ink-jet printer. (b) Schematic view of printed pattern on paper. (c) Image of the fabricated pencil-trace.

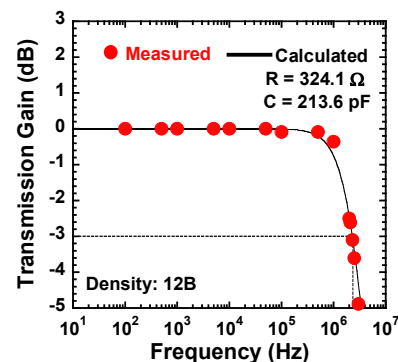


Fig. 2 The measured and calculated output response of a 2.3 MHz low pass filter circuit.

### References

- [1] N. Kurra and G. U. Kulkarni, Lab Chip 13 (2013) 2866.
- [2] A. Mansoori et al., ECS Sensors Plus 1 (2023) 044401.
- [3] J. C. Costa et al., Adv. Electron. Mater. 4 (2018) 1700600.

## リフレッシュ理科教室をはじめとする科学教育・啓発活動による 青少年人材育成の推進

Promoting the development of youth human resources through scientific awareness and educational activities such as “Refreshing Science Education in the Classroom

福岡大<sup>1</sup>, 愛知工大<sup>2</sup> ◯平松 信康<sup>1</sup>, 高井吉明<sup>2</sup>, 香野 淳<sup>1</sup>

Fukuoka Univ.<sup>1</sup>, Aichi Inst. Tech.<sup>2</sup>,

◯Nobuyasu Hiramatsu<sup>1</sup>, Yoshiaki Takai<sup>2</sup>, and Atsushi Kohno<sup>1</sup>

E-mail: nhiram@fukuoka-u.ac.jp

このたび、名誉ある応用物理学会業績賞（教育業績）を賜り、大変光栄に存じます。

応用物理学会では、1994年ころから、理科好きの青少年を育成するにはどうすればよいか、学会として科学啓発活動をいかに担うべきかについて、理事会直属の教育企画委員会を設置し、応用物理教育分科会を中心に活発な議論が行われた。

最初の具体的な取り組みとして「科学と生活のフェスティバル」を開催することを決めた。年1ヶ所本会支部を巡回し、分科会が協力する形の大型催事であった。1995年に北陸支部と結晶工学分科会が担当して第1回が行われた。東海支部とプラズマエレクトロニクス分科会が担当した第7回まで、回を重ねるたびに発展し、大盛況のうちに開催でき、社会にアピールした。

しかしながら、予算が高額であるため、1年で1ヶ所ではしか開催できない制約や、大規模イベントが開催できるのが大都市部にある科学館であることなどから、遠隔地の子供たちに成果が届きにくいことがわかってきた。ずっと少ない予算で、毎年継続的に、全国各地に広がりを持った企画ができないかということを考え、「リフレッシュ理科教室」が誕生した。

1997年に第1回リフレッシュ理科教室が福岡市で開催された。1日目が小学校教員を対象とした講演と演示実験（参加者44名）、2日目が子供たちへの実験工作教室（参加者753名）で、フェスティバルの10数分の1の少額予算で開催できた。翌年以降、開催地が増えて行って、現在でも、全国各地で開催されている。さらに、被災地や離島など、科学の恩恵が届きにくいところでの出張理科教室も実施してきた。講演では、具体的な各地での取り組みについて紹介する。

2020年以後のコロナ禍では、実験工作教室や講演会などが開催できない状況が続き、開催中止件数が増えた。しかし、コロナ後の新しいノーマルを見据えて、オンラインコンテンツの作成やリモート理科教室の実施など、オンラインの活用を模索している。また、本会員対象の理科教室や、未来につながるネットワーク「おうぶつクラブ」やキャラクター「理科メレオン」など新しい取り組みが広がっている。これらのことについても講演で紹介する。

最後に、今回の教育業績は受賞者3人のみによって成し遂げられたものではない。長年ご尽力された本会会員同志が多数おられた。今回の受賞が、リフレッシュ理科教室事業に携わる皆さんの励みになり、ひいては本会の科学啓発活動がますます発展し、日本の将来を担う若者や子供たちの夢をはぐくむ活動となって広がることを祈念いたします。

**半導体ナノ加工におけるシミュレーション技術と半導体人材育成**  
**Simulation Technology in Semiconductor Nanofabrication**  
**and Semiconductor Human Resource Development**

**富山高専 多田 和広**

**NIT, Toyama Coll., Kazuhiro Tada**

**E-mail: tada@nc-toyama.ac.jp**

半導体微細加工においては、微細化に伴い原子、分子の挙動を考慮した現象把握が必要である。本講演では、半導体微細加工技術の中でも、ナノインプリントを中心にして、現象解析に用いる分子シミュレーションについて解説するとともに、高専における半導体人材育成に向けた教育研究の取り組みについて紹介する。

## 物理的運動の数学的な側面として微分の意味に着目した 概念問題と詳細な解説ページの Web サイト開発

Development of a website with concept tests and detailed explanatory pages focusing on  
the meaning of derivatives as a mathematical aspect of motion in physics

金沢工大 ◯工藤 知草、中村 晃

Kanazawa Inst. Tech., ◯Tomoshige Kudo, Akira Nakamura

Email: kudo@neptune.kanazawa-it.ac.jp

高校生や大学生がインタラクティブに概念問題に回答しながら、概念理解を促進するための Web サイトを開発している。<sup>1),2)</sup> 本公演では、物理的運動の数学的な側面として「微分の意味」に着目した概念問題と詳細な解説ページについての解説をする。

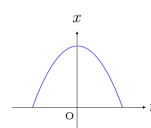
図1は「グラフ」から「運動」をイメージする問題になる。1次元上を運動する小球の位置を  $y$  [m] とし、 $y$ - $t$  グラフが2次関数になるとき、小球の運動は等加速度直線運動になるため正解は1になる。図2は「微分の意味」に関する問題で、1次元上を運動する小球が等加速度直線運動するとき加速度  $y''$  は一定になるため正解は5になる。図3では、2次元平面内を運動する小球の軌跡が2次曲線で表されるときに、小球にはたらく「力」の  $x$  成分を見出す問題で正解は5になる。小球の軌跡が曲線で表されるため、力の  $x$  成分が  $0$  N になることは予測しにくい。高校生や大学生が自然と培ってきた素朴概念から科学的概念に転換することを支援する WEB 環境を整えることが重要だと考える。ここで、概念問題に間違えた際には、詳細な解説ページのハイパーリンクが表示される仕様にした。各概念問題で開発している詳細な解説ページを閲覧し、訪問者が概念理解を深めることができるように WEB 環境を整備している。

本研究は科学研究費助成事業 (JSPS 科研費 基盤研究 (C)) 課題番号: 23K02721 の助成によるもので、記して謝意を表す。

1) 工藤 知草, 放物運動に関連した数学的側面と概念理解を促進する Web サイトの開発, 第71回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p.114, 2024.

2) 工藤 知草, 中村 晃, 微分方程式の Concept Test と詳細な解説ページの Web サイト開発, 2024年度工学教育研究講演会講演論文集, pp.472-473, 2024.

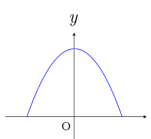
小球が1次元運動している。下図のグラフは、任意の時刻  $t$  [s] における小球の位置  $x$  [m] のグラフで2次関数で表される。この小球の運動は



1. 等速円運動
2. 等加速度直線運動
3. 単振動
4. 等速直線運動
5. 放物運動

図1 グラフと運動

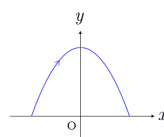
小球が1次元運動している。下図のグラフは、任意の時刻  $t$  [s] における小球の位置  $y$  [m] のグラフで2次関数で表される。 $c$  は  $c > 0$  を満たす定数とすると、 $y$  の満たす微分方程式は



1.  $\frac{dy}{dt} = c$
2.  $\frac{d^2y}{dt^2} = t$
3.  $\frac{d^2y}{dt^2} = -y$
4.  $\frac{dy}{dt} = -c$
5.  $\frac{d^2y}{dt^2} = -c$
6.  $\frac{d^2y}{dt^2} = y$

図2 微分の意味

鉛直上向きを  $y$  軸の正の向きとし、金属球を斜方投射した。ここで、重力は鉛直下向きにはたらく。下図のグラフは、任意の時刻  $t$  [s] における金属球の軌道で2次関数で表される。金属球の位置ベクトルを  $r = (x, y)$  [m] とし、金属球は矢印の向きに運動した。ただし、 $c$  は  $c > 0$  を満たす定数とする。小球に働く力の  $x$  軸成分は



1. 時間がたつと増加する。
2. 時間がたつと減少する。
3. 正の向きに一定の値である。
4. 負の向きに一定の値である。
5.  $0$  N である。

図3 運動と力

# 光速度可変と質量不変

## The Light Velocity Variable and The Mass Constant

ダビンチ研 ○土田成能  
 Davinci Lab ○Sigeyosi Tuchida  
 E-mail: davincimitsumori@gmail.com

### 波動の座標系と慣性座標系

Michelson-Morley の光の干渉実験に、光の波動としての伝搬と、光の粒子すなわち物質としての走行を慣性座標系に適用する。ここで  $c, l, v$  をそれぞれ光速度、鏡面観測点間距離、地球の公転速度。  $S, S'$  は静止および走行座標系とする。これを表1、表2にまとめる。

表1 波動の伝搬の座標系			表2 慣性粒子 (光量子) の座標系		
	S	S'		S	S'
垂直	$\frac{2\sqrt{l^2 + (\frac{1}{2}vt)^2}}{c}$	$\frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$	垂直	$\frac{2\sqrt{l^2 + (\frac{1}{2}vt)^2}}{\sqrt{c^2 + v^2}}$	$\frac{2l}{c}$
水平	$\frac{2l + (vt_1 - vt_2)}{c}$	※1	水平	$\frac{2lc - v^2t}{c^2 - v^2}$	$\frac{2l}{c}$

表1の※1には、M-M実験式に替え、水平方向のS,S'座標系の関係から導出した(1)式を提示する。この(1)式は、S'座標系垂直方向式と同値であり、M-M実験結果と一致する。

$$\frac{2lc + c(vt_1 - vt_2) - \frac{v^2}{c}\{2l + (vt_1 - vt_2)\}}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (1)$$

また、表1、表2の波動の伝搬と慣性座標は、(2)式で示 Lorentz 変換関係で結ばれる。

$$\frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \sin\theta = \frac{2l}{c} \quad (2)$$

ここで J.J. Tomson の実験は、 $v_x$  を電子の速度として、

$$y = \frac{eVx_1(x_1 + 2x_2)}{2mdv_x^2} \quad (3)$$

(3)式となる。波動の伝搬を導入し、 $m$  を  $m_0$  とすると「光速度不変」原理となる。

$$\frac{eVx_1(x_1 + 2x_2)\sin\theta}{2mdv_x^2} = \frac{eVx_1(x_1 + 2x_2)}{2\frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}dv_x^2} \quad (4)$$

(4)式の左辺  $v_x$  は、座標間の相対速度  $v_x = c - v$  であり、右辺は電子の速度である。左辺は、光の波動の伝搬と、質量不変を示し、右辺は「光速度不変」原理であり走行電子の質量の増加となる。そして両者は「同値」である。M-M実験で定義した水平式が誤りであり、これを正しいとした「光速度不変」原理は2重の誤りを犯している。