

マルチフィジックスシミュレーション環境を利用した 学生・子どもへの科学イベントの実例紹介

Case Studies of Science Events

for Students and Children Using a Multiphysics Simulation Environment

高橋隼永, 西岡将輝

Junei Takahashi and Masateru Nishioka

みなも株式会社代表取締役 (E-mail: junei.takahashi@minamo.science)

Multiphysics simulations provide an effective tool for science education by visualizing complex physical phenomena that are difficult to observe in traditional experiments. This study explores their application in science events for elementary students and seminars for high school students. In the elementary event, students conducted microwave heating experiments and compared results with simulations to enhance understanding. In the high school seminar, students optimized CPU cooling designs using COMSOL, supported by a pre-distributed simulation app for independent exploration. The results indicate that simulations improve intuitive learning, foster scientific inquiry, and support hypothesis testing. Future efforts should focus on adaptive curricula and integrating simulations with real-world experiments to enhance educational impact.

Key Words : Multiphysics Simulation, Science Education, COMSOL, STEM Learning

1. はじめに

科学教育において、実験を通じた体験学習は重要な役割を果たす。しかし、実験には安全性や設備の制約が伴い、特に一般向けのサイエンスイベントでは、再現可能な実験の種類が限られることが多い。例えば、高温・高圧を伴う現象や電磁波を扱う実験は、安全上の理由から簡単に実施できず、視覚的な理解が難しいことが課題となる。

このような課題を解決する手段の一つとして、シミュレーション活用が注目されている。シミュレーションは、複数の物理現象（熱、流体、電磁場、応力など）を統合的に解析し、可視化できる技術である。近年、コンピュータの性能向上とともに、この技術は研究開発だけでなく、教育分野においても活用され始めている。特に、実験が困難な現象のシミュレーションを活用することで、物理現象の理解を深めることができると期待されている。[1]

さらに、シミュレーション結果をデジタル教材として提供することで、イベント参加者が家庭でも科学に触れる機会を持ち、学習を継続できる可能性がある。特に、子どもたちが興味を持ちやすいインタラクティブなシミュレーションを提供することで、科学への関心を持続させることができると考えられる。

本論文では、小学生向けのサイエンスイベントおよび高校生向けのセミナーにおけるシミュレーションの活用事例を紹介し、その教育的効果について考察する。これらの事例を通じて、シミュレーションが科学教育にどのように貢献できるのかを明らかにし、今後の展望について議論する。

2. シミュレーションの概要

シミュレーションとは、複数の物理現象を同時に考慮し、数値解析によってそれらの相互作用を可視化・解析する手法である。例えば、熱伝導と流体の流れなど、異なる物理現象が相互に影響を及ぼす場合に有効であり、複雑なシステムの挙動を精度高く再現できる。そのため、近年では工学分野を中心に、研究・開発や製品設計に幅広く活用されている。

シミュレーションは、教育現場においても有用なツールとなる。その最大の特徴は、実験では観察が難しい物理現象を可視化できる点にある。例えば、電磁波の伝搬や流体の乱流などは、肉眼では直接確認できないが、シミュレーションを用いることで、これらの振る舞いを視覚的に理解することができる。これにより、学生や子どもたちは直感的に物理現象を把握しやすくなり、理論と実践の橋渡しをする役割を果たす。

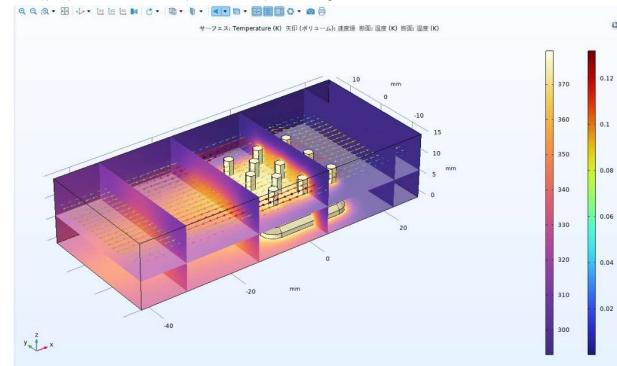


図1. CPUのシミュレーション結果

さらに、シミュレーションを用いた教育の利点として、参加者が自由に試行錯誤できることが挙げられる。従来の実験では、材料や設備の制約によって試せるパターンが限られることが多い。しかし、シミュレーションでは、条件を自由に変更しながら結果を観察できるため、仮説を立て、それを検証するプロセスを何度も繰り返すことができる。特に、小学生や高校生向けの教育においては、自らの発想で様々なシナリオを試しながら、科学的な思考力や問題解決能力を養う機会となる。

本研究では、このようなシミュレーションを科学イベントに導入することで、どのような教育的效果が得られるのかを検討する。次節では、実際に小学生向けのサイエンスイベントや高校生向けのセミナーでどのようにシミュレーションが活用されたのかについて、具体的な事例を紹介する。

3. 小学生向けサイエンスイベントでの事例

本研究では、シミュレーションを活用した科学教育の実践例として、「令和5年度 広島中央サイエンスパーク 夏休みオープンラボ！」（広島中央サイエンスパーク、東広島市鏡山三丁目）における取り組みを紹介する。本イベントは、小学生を対象に科学への興味を促進することを目的とし、実験とシミュレーションを組み合わせた学習を行った。

(1) 実施内容

本イベントでは、身近な液体の加熱特性をテーマに、電子レンジを用いた実験、ネットワークアナライザを用いた電磁波吸収特性の測定、そしてシミュレーションによる解析を組み合わせたプログラムを実施した。参加者は、まず実験を通じて液体の加熱の仕組みを観察し、その後シミュレーションと計測を通じて理論的な理解を深めた。

a) 実験：異なる液体の加熱と温度測定

参加者には、水、油、スポーツドリンクといった異なる種類の液体を用意し、これらを電子レンジで加熱してもらった。加熱後、サーモグラフィを使用して各液体の温度分布を観察し、液体ごとに加熱のされ方が異なることを確認した。例えば、スポーツドリンクは効率よく加熱されたが、油はほとんど温度が変化せず、水はスポーツドリンクほど温度が上昇せず、加熱の効率がやや低いことが観察された。

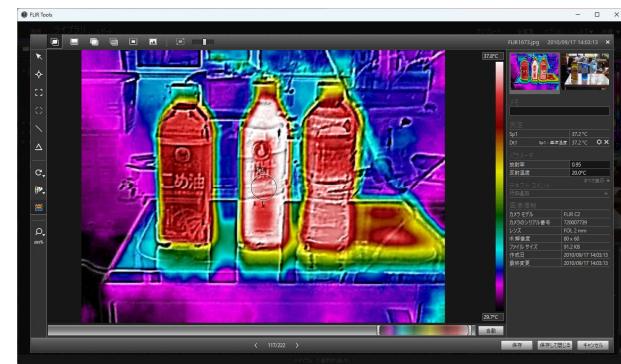


図2. 電子レンジでの加熱後のサーモグラフィの結果

b) 計測：ネットワークアナライザによるマイクロ波吸収特性の測定

電子レンジでの加熱特性の違いの要因を調べるために、ネットワークアナライザを用いて各液体のマイクロ波吸収特性を測定した。この測定では、各液体が異なる周波数のマイクロ波をどの程度吸収しやすいかを評価し、スポーツドリンクが特にマイクロ波をよく吸収すること、油はほとんど吸収しないことを数値的に示した。これにより、実験結果とマイクロ波の吸収特性との関係を理解することができた。

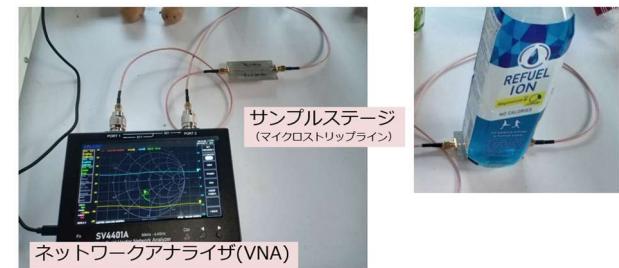


図3. ネットワークアナライザで計測している様子

c) シミュレーション：電子レンジ加熱の再現と比較

実験と計測の後、同じ条件をシミュレーションで再現し、加熱の様子を可視化した。シミュレーションでは、電子レンジ内の電場分布を計算し、どの部分に強い電場が発生しているかを確認した。また、各液体の電磁特性を考慮したシミュレーションを行い、実験結果と一致することを確認した。

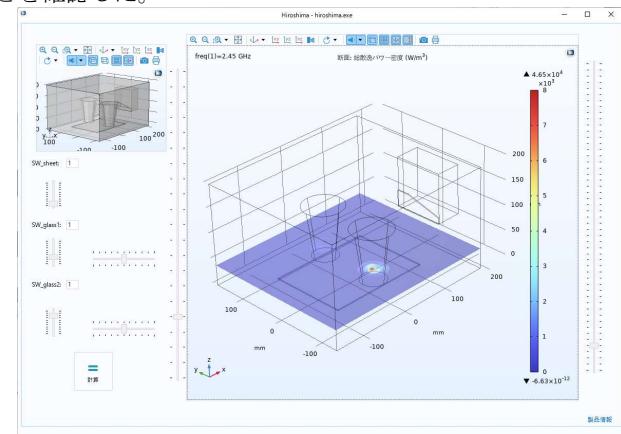


図4. COMSOLでのシミュレーション結果

d) 変数変更によるシミュレーション結果の変化

さらに、参加者にシミュレーション上の変数（グラスの置く場所）を変更してもらい、その結果がどのように変化するかを観察した。このプロセスを通じて、実験では簡単に試せない条件の変化による影響を確認し、科学的な探究心を刺激することを目的とした。

(2) 参加者の反応と学習効果

イベント中の参加者の反応として、実験結果を目の当たりにした際には「水はすぐに熱くなるのに、油は全然温まらない！」といった驚きの声が多く聞かれた。また、サーモグラフィを見ながら「スポーツドリンクは水と違つて、温まり方がちょっと変わるね」といった比較をする姿も見られた。ネットワークアナライザの測定結果を確認した際には、「水がマイクロ波を吸収しやすいから温まりやすいんだ！」といった納得した様子の声が上がった。

シミュレーションでは、「実験と同じ結果になってる！」「こっちの液体だとどうなるの？」と興味を持って試行錯誤する姿が見られ、特に変数を変更した際に結果が変わることに対して「やってみたら全然違う！」「長く加熱したらもっと熱くなるのかな？」と、科学的な思考を促すような反応が見られた。

本イベントを通じて、実験・計測・シミュレーションを組み合わせることで、参加者は電子レンジ加熱の仕組みをより深く理解することができた。特に、ネットワークアナライザを用いた測定結果と、シミュレーションによる可視化を比較することで、マイクロ波が水に吸収されやすいことを理論的に納得する様子が見られた。また、シミュレーションの変数を変更することで、加熱の条件による違いを自ら試し、実験とは異なるアプローチで科学現象を探究する機会を得ることができた。さらに、参加者が実験結果を見て「なぜこのようになるのか？」と考えたり、シミュレーション結果に驚いたりする場面があり、科学的な思考力や探究心の促進にもつながったと考えられる。

この事例から、シミュレーションを活用することで、小学生が直感的に物理現象を学び、探究心を育む効果があることが示された。次章では、高校生向けセミナーでの活用事例について述べる。

4. 高校生向けセミナーでの事例

本研究では、シミュレーションを活用した科学教育の実践例として、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）に選定された高校生を対象に実施したセミナーを紹介する。本セミナーは、科学技術への関心が高い高校生に対して、シミュレーション技術を活用した問題解決型学習（PBL: Problem-Based Learning）の機会を提供することを目的とした。

特に、本セミナーでは、事前学習と事後学習のための仕組みとして、CPUの冷却をテーマにした専用アプリを事前に配布し、参加者が自由に変数を変更してシミュレー

ションを試せる環境を整えた。このアプリの活用によって、セミナー前に基本的なシミュレーション操作に慣れることができ、またセミナー後の復習やさらなる探究活動にも役立つものとなった。

(1) セミナーの概要

本セミナーは、午前と午後の2部構成で行われた。午前中は、シミュレーションの基礎と、COMSOLの基本的な操作方法を学ぶ講義を実施した。午後は、実際のシミュレーション課題に取り組み、CPUの冷却効率を最適化するための形状設計を行った。

高校生たちは、単にシミュレーションを体験するだけでなく、グループで試行錯誤しながら最適な冷却設計を見つけ、最後にその結果を発表することで、科学的な問題解決プロセスを実践的に学ぶ機会を得た。

(2) 実施内容

a) 事前学習：CPU冷却シミュレーションアプリの配布

セミナーに先立ち、参加者にはCPUの冷却効率を検証するシミュレーションアプリを配布した。このアプリでは、冷却柱の数や形状、材質、配置などのパラメータを自由に変更し、その影響をシミュレーションで確認できる仕組みを導入した。これにより、参加者はセミナー前にシミュレーションの基本操作を体験できるだけでなく、CPUの冷却に影響を与える要因について事前に考察する機会を持つことができた。

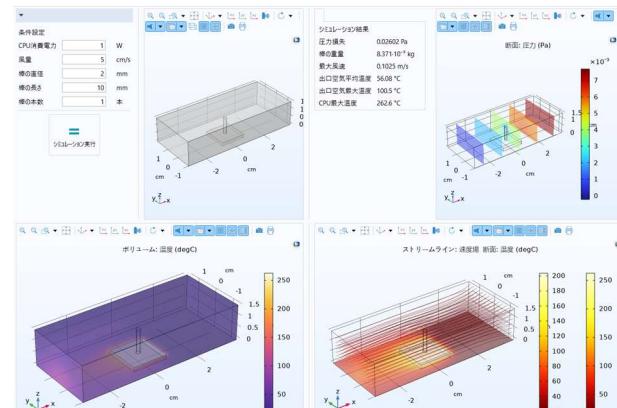


図5. 事前配布したCPU冷却シミュレーションアプリ

b) 午前のセッション：COMSOLの基礎学習

午前中は、まず「COMSOLとは何か？」という導入から始まり、シミュレーション技術がどのように研究や産業で活用されているのかを説明した。その後、COMSOLの基本的な操作方法を学び、簡単なモデルを作成しながら、シミュレーションの概念を体験してもらった。

c) 午後のセッション：CPU冷却シミュレーション

午後は、実際のシミュレーション課題として、CPU冷却の最適化に取り組んだ。参加者には、CPUを冷却するための冷却柱の形状や数を自由に設計し、熱拡散のシミュレーションを通じて、最も効率的な冷却方法を探る課題が与えられた。

高校生たちは、それぞれの仮説に基づいて冷却柱の配置や形状を変更しながら、熱分布の変化を観察し、どの設計が最も効果的にCPUの温度を下げるかを検討した。試行錯誤を繰り返しながら、冷却柱の間隔や表面積の影響について議論を深め、科学的な思考力を養う機会となった。

d) グループディスカッションと発表

各グループは、シミュレーション結果をもとに議論を行い、最も効果的な冷却設計を選定した。その後、全体発表の場を設け、各グループがどのような設計方針を採用し、どのような結果が得られたのかをプレゼンテーション形式で発表した。発表では、冷却効率を高めるための工夫や、実際の電子機器設計への応用可能性についての意見も交わされ、実社会でのシミュレーション活用についての理解を深める場となった。

(3) 参加者の反応と学習効果

参加者からのアンケート結果[2]によると、「シミュレーションがどのようなものかを知ることができたので、とても良い機会だった」「難しそうだと思っていたが、今回の実習で使い方や活用方法がわかり、研究に活かしたい」「シミュレーションが問題解決に有用であることが分かったが、問題をシミュレーションに落とし込むのが難しい」といった声が挙げられた。

一方で、「実際に研究で使用する際にはパソコンのスペックによっては使用が難しい場面もある」「もっとCOMSOLを使えるようになりたいので、学べる場所や学び方を紹介してほしい」という課題や提案も示された。

さらに、「音響や電磁気の再現ができることに驚いた」「学校で使用できるならぜひ導入したい」といった積極的な意見も寄せられ、今後のシミュレーション活用に向けて期待が高まったことが確認された。

セミナー中、参加者は「冷却柱の形状や配置を変えるだけで温度が大きく変わるのが面白い」「実際に試すのは難しい設計も、シミュレーションなら簡単に検証できる」といった感想を述べ、シミュレーションを活用した設計の有用性を実感していた。また、グループディスカッションでは、「冷却柱を細くすると表面積が増えて効率が良くなるのでは?」「柱を増やしすぎると逆に空気の流れが悪くなるかも」といった議論が活発に行われ、科学的な仮説検証のプロセスを実践的に学ぶ様子が見られた。

さらに、事前に配布したシミュレーションアプリが、セミナー後の学習にも活用されることが期待される。実際に「セミナー後に他の条件でも試してみたい」「家でも別のパラメータを試して最適な冷却方法を考えたい」といった声が上がり、シミュレーションによる探究活動の継続につながる可能性が示された。事前に操作を試したことと、セミナー中の学習がスムーズに進み、事後学習としても活用できる点が評価され、シミュレーションの教育的な価値がより明確になった。

本セミナーを通じて、高校生たちは、シミュレーションを活用した設計検討の手法を学び、仮説を立て、それを検

証するという科学的プロセスの重要性を実感した。シミュレーションの活用によって、実験では容易に試せない設計の可能性を広げることができることを理解し、科学技術の応用力を高める貴重な経験となった。

この事例から、シミュレーションを活用することで、高校生がより実践的かつ探究的な学びを得られることが示された。次章では、本研究の考察と今後の展望について述べる。

5. 考察

本研究では、小学生向けのサイエンスイベントおよび高校生向けのセミナーにおいて、シミュレーションを活用した教育の実践事例を紹介した。これらの事例を通じて、シミュレーションが科学教育に与える影響について考察する。

まず、小学生向けのイベントでは、電子レンジ加熱の実験とシミュレーションを組み合わせることで、目に見えない物理現象を直感的に理解する機会を提供できた。特に、サーモグラフィーを用いた温度分布の観察と、ネットワークアナライザによるマイクロ波吸収特性の測定を組み合わせた点が、学習の深化につながったと考えられる。また、シミュレーションの結果が実験と一致することを確認したことで、数値シミュレーションの信頼性を実感し、科学的な思考の土台を築くことができた。

一方、高校生向けのセミナーでは、事前にシミュレーションアプリを配布し、事前学習と事後学習の機会を提供した点が特徴的であった。このアプローチにより、参加者は事前にシミュレーションの操作に慣れた上でセミナーに臨むことができ、より深い議論を行うことが可能となった。また、CPU冷却の設計課題をグループで取り組むことで、シミュレーションを活用した探究型学習が促進された。特に、シミュレーションのパラメータを変更することで設計結果が大きく変わることを体験し、科学技術における最適化の考え方を学ぶ貴重な機会となった。

これらの事例から、シミュレーションを活用することにより、単なる理論学習ではなく、実験と計算の両面から科学的な現象を探究することが可能となることが示された。特に、以下の3点が科学教育において重要な示唆を与えるものである。

第一に、シミュレーションの可視化効果による理解の深化である。従来、理論や実験だけでは捉えにくかった現象を、シミュレーションによって直感的に理解することができる。例えば、小学生が電子レンジ内の電場分布を色で視覚化し、液体の加熱ムラの原因を把握したり、高校生がCPUの冷却設計のシミュレーション結果を比較しながら設計の最適解を考えたりすることで、視覚的なフィードバックが学習効果を高めることが確認された。

第二に、シミュレーションによる仮説検証のプロセスの促進である。実験では再現が難しい条件変更を、シミュレーションでは簡単に試行できるため、学習者自身が仮

説を立て、それを検証するサイクルを何度も繰り返すことができる。例えば、高校生がCPU冷却の設計において、冷却柱の形状や数を自由に変えながら最適解を探索したように、シミュレーションを用いることで試行錯誤の機会が大幅に増え、創造的な問題解決能力の向上につながることが期待される。

第三に、学習の継続性の確保である。今回の事例では、高校生向けのセミナーにおいて、事前にシミュレーションアプリを配布することで、セミナー前の予習やセミナー後の復習が可能となった。このように、シミュレーションを活用することで、学習の場が一回限りの体験にとどまらず、継続的な学習活動へと発展する可能性がある。

一方で、シミュレーションを教育に活用する際には、いくつかの課題も存在する。例えば、小学生向けのイベントでは、シミュレーションの結果をどのように解釈すればよいかが難しい場面が見られた。特に、実験とシミュレーションの結果を比較する際に、それらの違いや一致する点が何を意味するのかを理解することが課題となった。このような場合、教育プログラムの設計において、シミュレーションの結果を直感的に把握しやすいビジュアル表現を用いたり、参加者が考察しやすい問い合わせを取り入れたりする工夫が必要となる。

また、高校生向けのセミナーでは、シミュレーション結果を適切に解釈し、得られたデータを基に考察を深めることが課題となった。シミュレーション自体は操作できるものの、数値結果の意味やそれが設計や最適化にどう影響するのかを正しく理解するには、ある程度の数学的知識や物理の理解が必要であった。そのため、事前学習の充実に加え、シミュレーション結果を論理的に分析するためのガイドや、シミュレーションと現実世界の関係を考察するためのディスカッションの時間を確保することが求められる。

今後の展望として、より幅広い学習レベルや知的好奇心に対応できるシミュレーション教育のカリキュラム開発が求められる。例えば、初心者には直感的な操作で基本的な物理現象を体験できるシミュレーションを提供し、一方で、より探究心の強い学習者には、パラメータを細かく調整しながら実験結果を深く分析できる高度なプログラムを設計するなど、対象者の理解度や関心に応じた柔軟な学習環境の整備が必要である。また、シミュレーションを実験と組み合わせることで、理論と実践のつながりを明確にし、よりリアルな現象の再現性を高めることができるために、今後は実験設備や実測データと連携した学習プログラムの開発が望まれる。

以上の考察から、シミュレーションは、科学教育の場において強力なツールとなり得ることが示された。本研究の事例を基に、今後さらにシミュレーションを活用した教育の可能性を探り、より多くの学習者が科学の魅力に触れる機会を提供していくことが求められる。

参考文献

- [1] 堤厚博, 太田和彦, 西岡圭太: シミュレーションを用いた振動現象の理解度向上の試み, KIT Progress No.25, pp107-117, 2017.
- [2] 東京都立多摩科学技術高等学校: 令和5年度指定スーパーイエンスハイスクール 研究開発実施報告書 (第2年次) , pp110.