

機関番号：13401
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20300253
 研究課題名：ポインター方式分子模型教材の新展開－結合角可変型模型と自然環境学
 習への応用－
 研究課題名：Progress in the molecular modeling using pointers for chemical
 education –Development of flexible angle modeling and application
 for natural environmental science education–
 研究代表者
 藤井 豊 (FUJII YUTAKA)
 福井大学・医学部・教授
 研究者番号：80211522

研究成果の概要（和文）：ポインター方式を応用して、新しくソケット・ディンプル方
 式分子模型教材を開発した。ポインター作業を低減するため、 sp^3 混成軌道、 sp^2
 混成軌道および d^2sp^3 混成軌道用のそれぞれ円形、三角および経緯線を付けたディ
 ンプル球（30mmΦ）を開発した。また、解体自由とするため、陥没防止用リムと
 抜け落ち防止用の礎を持つソケットを開発した。軟質ポリエチレンパイプを化学
 結合として使うことで壊れない分子模型教材が出来上がった。これにより、モデ
 ルを組立てる時間が大幅に節減され、授業に使える分子模型教材が出来上がった。
 また、簡易型のモデル製作法を採用することで、遺伝子 DNA の複製のメカニズム
 などの学習も容易になった。

研究成果の概要（英文）：We performed the development of new molecular modeling using socket
 and dimple method, which has been improving the pointer method. To reduce the
 pointer work, styrene foam ball having round dimples for sp^3 hybrid orbital, triangular
 dimples for sp^2 hybrid orbital and three orthogonal lines for d^2sp^3 hybrid orbital on
 its surface were developed. And the socket having rim and anchor was also developed
 to insert it in the styrene foam ball. Soft polyethylene pipes were used as chemical
 bonds. It became more easy to use molecular modeling in the class of science and
 chemistry using this new method. Using the new modeling, the simplified DNA molecular
 model was developed. The student can easily study the mechanism of the reproduction
 of DNA by handling this model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科：科学教育・教育工学，細目：科学教育（1601）

キーワード：化学、教育、分子模型、ポインター、ディンプル、ソケット

1. 研究開始当初の背景

(1) 分子模型教材の歴史は古く、理科化学教育には欠かせない教材である。しかし、市販教材は、1セット数万円もする高額なものが多く、肝心の教育現場で充分活用されているとは言えない。科学技術創造立国を目指す日本の理科(化学)教育の充実を図るには、安価で実用性のある普及型の分子模型教材の開発が望まれる。

(2) そこで、発泡スチロール球と爪楊枝を使った非常に安価なポインター方式分子模型キットを開発した。また、ポインター方式をベースとした中学化学反応学習キットを開発している。

(3) これらの分子模型教材の普及を図るため、福井県内の教育機関と連携しながら多くの活動を展開している。

2. 研究の目的

(1) ポインター方式は特定の分子模型を組立てることを目的としており、解体を想定していない。そのため、教育現場からは、より授業に効果的な解体できる教材を望む声は、次第に高まってきた。こうした要望に応えるため、安価な発泡スチロール球をベースとし、ポインター作業を軽減するためのディンプル付球と結合パイプの差込ソケットを開発する。このディンプル・ソケット方式分子模型教材の実用化を図るため、各種原子に対応したユニバーサルなディンプルの設定・デザイン、および結合パイプの差込保持安定性・操作性を最適化するためのソケット形状設計を行う。

(2) 市販を含め現行キットは全て結合角固定式で可変式のものはない。無理に繋ぐと結合棒が折れて再使用できなくなることもしばしばである。この難問を解決して欲しいという要望も絶えないので結合角可変型モデルの開発も試みる。

(3) 新しい分子模型教材を活用して地域理科環境教育および医学他学部教育への応用展開を推進する。

3. 研究の方法

(1) ポインター方式分子模型の解体・結合軸回転自由型モデルへの展開

従来のポインター方式の欠点であるボンド固定式をソケット方式に改良し、解体が可能なモデルとする。また、結合の手にはプラスチックパイプまたは棒を採用し、結合軸の回転の自由度を付加したものとする。大型模型でのノウハウを活かし、生徒学生用小型ソケット方式分子模型教材を開発実用化する。大学教養専門教育教材として実践活用する。

(2) ポイントディンプル付き発泡スチロール球の設計と実用化

50分授業で活用するためポイント設定に掛かる時間の節約を図る目的で、予めポイントディンプルが付された発泡スチロール球の開発を行う。使用頻度の高い順に sp^3 、 sp^2 、 d^2sp^3 などのポイントを○、□、△などの図形でディンプル化した球体の設計と製造を実現する。

(3) 結合角可変型原子球の試作開発と実用化

60mm 球を使って試作品を作り検討する。

(4) 中高連携授業による実践授業への展開と自然環境学習への応用

中高連携授業を展開し、環境汚染物質ダイオキシンを代表とする化合物を題材に環境教育を実施し、自然体験および自然環境保全活動へと応用展開する。

4. 研究成果

(1) ソケット方式分子模型の開発

従来のポインター方式は、原子として使う発泡スチロール球と化学結合棒として使う爪楊枝を接着剤で固定する方式を取っている。そのため、回転の自由度がない。そこで、化学結合の回転の自由度を与えるため、結合用プラスチックパイプを差込むためのソケットを



写真1 大型ソケット(左)と小型ソケット(右)

発泡スチロール球に埋め込む方式に改良し、解体が可能なモデルとした。

ソケットは、円筒状の結合パイプ装着部（内径 3mm と 8mm）とその外縁に陥没防止用のリム袴を有し、また、発泡スチロール球埋め込み部には回転応力に抵抗するためのアンカー部を有している大小の 2 種を開発した（写真 1）。大型ソケットは直径 35～100mm サイズの発泡スチロール球用であり、小型ソケットは、直径 15～35mm サイズの発泡スチロール球用である。初期の試作ソケットには、袴がなかったため、結合パイプを押し込む際に陥没する不具合があったが、袴を装備したことでその不具合が効果的に解消された。また、アンカーを取り付けたことで、結合パイプの抜き差しおよび回転時に生じる応力に十分対応できるため、ソケットの脱落を効果的に抑制できるようになっている。ソケットを埋め込むときには、発泡スチロール用接着剤をつけて固定する。ソケットの金型が完成したので、大量生産が可能でコストの削減が達成されている。

(2) 結合用パイプ

従来の pointers 方式では、結合棒に爪楊枝を使用していたが、過度の付加で破損する。一度折れたりすれば修復ができないなどの問題点があった。これは他の市販品のキットでも同様で、多くは硬質プラスチック棒を採用している。そのため、よく原子球に差込んだところで破断してしまうケースがよく見られる。こうした不具合を避けるため、軟質ポリエチレンパイプを結合パイプとして採用している。軟質ポリエチレンパイプは、適度なしなりがあり、大きな負荷がかかっても折れたり破断したりすることはない。また、歪の大きな分子模型を製作するときに必要な結合角可変モデルは、実質この結合パイプを用いることでその目的は達成されたため終了とした。

(3) 結合ポイント識別用のディンプル付き発砲スチロール球の開発

pointer はあらゆる結合角および結合数を任意に設定するにはきわめて有効な

道具であるが、毎回 pointer 設定する労力は大変なものであり、学習者にかなりの負担がかかった。この pointer を軽減するため、予め pointer ディ



写真 2 ディンプル付き 30mm 発泡スチロール球

ンプルが付けられた発砲スチロール球の開発を行った。使用頻度の高い順に sp^3 , sp^2 , および d^2sp^3 の混成軌道ポイントをそれぞれ、○、△および直交経緯線溝で図案化したディンプル付原子球（直径 30mm 球）を設計し試作した（写真 2）。小型ソケットを○ディンプルの 4 箇所に埋め込めば sp^3 原子球が、△ディンプル 3 箇所と直交経緯線溝の 2 箇所の交点（pz 軌道）に 5 つのソケットを埋め込めば pz 軌道を持つ sp^2 原子球が、そして直交経緯線溝の 6 箇所すべての交点に 6 つのソケットを埋め込んで d^2sp^3 原子球がそれぞれ用意できる。

(4) 分子模型の作製

継ぎ手として外径 3mm または 8mm の軟質ポリエチレンパイプを使い原子球同士を結合させて、小型の生徒学習



写真 3 ソケット・ディンプル方式による解体組立て自由な分子模型教材

用または教員提示用大型モデルを解体自由に製作できる（写真 3）。

(5) 実証活用事例①（写真 4）

福井市光陽中学校（福井市教育委員会視察）：化学反応と水素の燃焼および炭酸水素



写真 4 実証活用事例①

ナトリウムの熱分解

化学反応の理解を目的として、水素と酸素の燃焼反応と重炭酸ナトリウムの熱分解（カルメ焼き）を題材に分子模型教材を生徒に持たせ展開された（写真4）。生徒の化学反応への深い理解につながったとの担当教諭のコメントであった。

(6) 実証活用事例②（写真5）

坂井市三国中学校：化学反応

授業担当者の工夫がよくなされた授業が行われた。水素、メタン、エタノールなど分子の燃焼反応を担当教諭独自の教材として発展させて生徒の興味関心を高めながらわかりやすい授業展開がなされた。生徒と担当教諭の感想は以下のとおりである。分子模型を活用することでより効果的な授業が行えることが期待できる。

生徒のコメント

- ① とても難しい所でしたが、やりかたがわかってよかったです。
- ② エタノールの燃焼は難しかったです。
- ③ とても面白かったし、たいへんよくわかりました。
- ④ 模型を使ったり、シールを貼ったりして、とても楽しかったです。
- ⑤ 化学反応式がとてもよくわかりました。
- ⑥ 模型やシールを使うことで、化学反応式がとてもよくわかりました。

授業実施者のコメント

- ① 授業計画が不十分であったため、時



写真5 実証活用事例②

間が足りなかった。

- ② 模型を用いて、1人1人が楽しく活動していた。
- ③ シールだけを使用するよりも、模型を用いることにより理解度が深まった。

(7) 新開発ソケット・ディンプル方式分子模型教材を活用した簡易型DNAモデルの開発

① 簡易型DNAモデルでは、4種の塩基、リン酸およびデオキシリボースを象徴する1つの原子球でそれぞれ代表させる。これにより、1塩基対あたりに必要な球は6個となり、完全型モデルに必要な100個強と比べて大幅な簡易化が達成できる。簡易型では、DNAの側鎖を構築しているリン酸とデオキシリボースの球は sp^3 混成軌道用のそれぞれ直径35mmおよび直径30mm原子球を用いる。一方、塩基は sp^2 混成軌道の直径30mm原子球を用いる。この組み合わせが、DNAの二重らせん構造の特徴を再現するのに都合がよい。側鎖は、リン酸の原子球とデオキシリボースの原子球を交互につなぐ。これを2本作り、互いに向きを逆にして机の上に並べる。塩基対は、長めの5cm長のプラスチックパイプを2本用いて対になるようにする。AT塩基対は2本の水素結合で対をなすのでこれでよいが、GC塩基対は3本の水素結合で対をなす。GC塩基対を3本のパイプで連結することも可能であるが、らせんの軸を通すときに3本目のパイプが障害になることと、簡易型であるという事情からあえて2本でGC塩基対を表現する。

② 互いに逆平行に伸びた2本の側鎖の間に、塩基対を両サイドにあるデオキシリボースの位置で連結する。これによりDNAの相補的な構造を表現できる。側鎖のリン酸側が5'末端、デオキシリボース側が3'末端をあらわす。2本の側鎖は、塩基対の平面に対してシス型になるように配置される。このように配置することで、らせん構造にしたとき、狭い溝と広い溝を表現できるようになる。

③ 次に、塩基対を両サイドのデオキシリボースの連結部で 90° 回転させる。サイドビューでわかるように各塩基対の中心にらせん

の軸をとおす空間ができる。この空間を利用して、スタンドの支柱をとおす。らせんが右巻きになるように、塩基対を下から順に反時計回りにひねりを加えて、全体がきれいならせん構造になるよう整形する（写真6）。

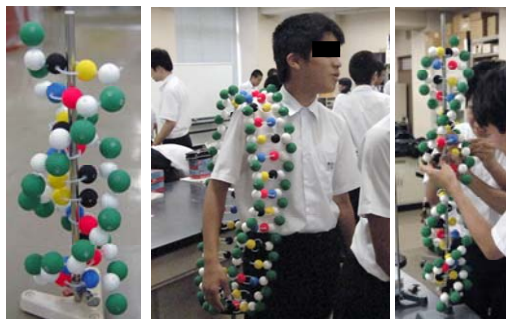


写真6 簡易型 DNA モデルの製作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文・報告等〕（計19件）

- ① 藤井豊, 田中幸枝, 小鍛冶優, 安堂智宏, 林誠司, 竹内康高, 太田玲三, 中屋 義雄、遺伝子 DNA と生物-DNA の働きとその応用技術の体験学習と生物多様性一、JSTサイエンス・パートナーシップ・プロジェクトSPP・平成22年度講座型学習活動・BD102085 独自報告書、2011.
- ② 川内一憲, 田中幸枝, 木元久, 小鍛冶優, 藤井豊、2010年富山県での高田型トノサマガエル(*Rana nigromaculata*)の生息調査、福井大学医学部研究雑誌、11、53-55、2010. 査読有
- ③ 田中幸枝, 小鍛冶優, 浅原雅浩, 川井昌之, 上田昌範, 藤井豊、簡易型 DNA 分子モデルの開発、福井大学医学部研究雑誌、11、7-11、2010. 査読有
- ④ 田中幸枝, 浅原雅浩, 川井昌之, 小鍛冶優, 上田昌範, 藤井豊、化学教育のためのソケット・ディンプル方式分子模型教材の開発、福井大学医学部研究雑誌、11、1-6、2010. 査読有
- ⑤ 藤井豊, 田中幸枝, 小鍛冶優、遺伝子 DNA と生物-DNA の働きとその応用技術の体験学習と生物多様性一、JSTサイエンス・パートナーシップ・プロジェクトSPP・平成22年度講座型学習活動・BD102085 実施報告書、2010.
- ⑥ 藤井豊, 田中幸枝, 三竹直樹, 小鍛冶優、化学教育に向けたポインター方式分子模型教材の活用術研修、JST 科学技術振興機構・H21 年度理数系教員指導力向上研修事業(希望型)(KD091097) 独自報告書・2010.
- ⑦ T. Nakamura, H. Hayashi, M. Asahara, Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells with Electrolyzed TiO₂ Nanotube Array Films, Key Eng. Mater., 455, 69-73, 2010. 査読有
- ⑧ 藤井豊, 浅原雅浩, 川井昌之, 伊保澄子, 田中幸枝、HT22090・作って学ぶ不思議な分子の世界—分子模型で生物発光分子とABO型抗原の製作—、日本学術振興会・平成22年度 ひらめき☆ときめきサイエンス〜ようこそ大学の研究室へ〜KAKENHI、2010.
- ⑨ 藤井豊, 田中幸枝、食にまつわる化学物質のミクロな構造と機能—その美しくまた怖い分子世界の理解増進—、科学技術振興機構 JST 地域科学舎推進事業地域活動支援 No.21229 終了報告書、2009.
- ⑩ 藤井豊, 田村圭介, 伊佐公男, 浅原雅浩, 川井昌之, 田中幸枝、作って学ぶ不思議な分子の世界—分子模型でホタル・オワンクラゲの発光モデルの製作—、H21 年度ひらめき☆ときめきサイエンス〜ようこそ大学の研究室へ〜KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業) 業務完了報告書、2009.
- ⑪ 田中幸枝, 川内一憲, 稲木明浩, 池口新一郎, 藤井豊, 小鍛冶優、オワンクラゲを使ったエネルギー学習教材の開発、日本エネルギー環境教育学会第4回全国大会論文集、186-7、2009. 査読なし
- ⑫ 浅原雅浩, 伊禮三之, 橋場隆, 西田昭徳, 青山絹代, 佐分利豊, 伊佐公男、第2回体験サイエンス・サマーキャンプの実践と評価、福井大学教育実践研究、33、23-34、2009. 査読有
- ⑬ T. Nakamura, Y. Nakatani, T. Ogihara, H. Horikawa, M. Asahara, Electrical Properties of Dye-Sensitized Solar Cells Prepared by Blending SnO₂ Micro Particles and TiO₂ Nano Particles, Electroceramics in Japan, 12, 368-371, 2009. 査読有
- ⑭ 藤井豊, 浅原雅浩、スライムと遺伝子 DNA—分子模型と実験で学ぼう!—、JST平成20年度科学技術理解増進活動推進事業地域活動支援 No.20085、2008.
- ⑮ 藤井豊, 丸山千登勢、三竹直樹、化学反応学習教材と分子模型教材の活用法実践研修、JST平成20年度理数系教員指導力向上研修事業(希望型) 教大 81015、2008.
- ⑯ 藤井豊, 伊佐公男, 浅原雅浩, 川井昌之, 丸山千登勢、作って学ぶミクロな分子の世界—カーボンナノチューブでHIIロケット模型を作ってみよう!—分子と自然のミニ科学館—、日本学術振興会平成20年度ひらめき☆ときめきサイエンスよ

- うこそ大学の研究室へ、報告書、2008.
- ⑰ 藤田みすず、藤井豊、小鍛冶優、安堂智宏、地域の生物調査と生物に関する分子づくりを融合した生物・化学教育、日本理科教育学会全国大会発表論文集、2008. 査読なし
 - ⑱ 藤井豊、浅原雅浩、小鍛冶優、丸山千登勢、三竹直樹、ポインター方式分子模型教材の展開、日本理科教育学会全国大会発表論文集、2008. 査読なし
 - ⑲ 安堂智宏・田村圭介・浅原雅浩・小鍛冶優、SPP「原子のしくみを知ろう・調べよう」の取り組み、日本理科教育学会全国大会発表論文集、6号、p 395、2008. 査読なし

[学会発表] (計11件)

- ① 藤井豊、田中幸枝、浅原雅浩、川井昌之、小鍛冶優、上田昌範、川内一憲、木元久、分子模型教材の工夫による初等～高等化学教育の改善、第29回日本生化学会北陸支部大会、金沢、2011年5月28日.
- ② 藤井豊、田中幸枝、上田昌範、中学理科・高校化学教育のための新開発ディンプル・ソケット方式分子模型教材、中教研福井ブロック理科部会、福井市、2011年3月9日.
- ③ 藤井豊、田中幸枝、浅原雅浩、川井昌之、小鍛冶優、上田昌範、川内一憲、木元久、ポインター・ソケット方式分子模型教材を活用した化学教育、第83回日本生化学会大会、神戸市、2010年12月9日.
- ④ 藤井豊、田中幸枝、木元久、川内一憲、百崎孝男、小鍛冶優、牧野孝雄、福井県におけるカエルツボカビのモニタリング調査と今後の対応、福井陸水生物研究会、福井市、2010年10月30日.
- ⑤ 川内一憲、藤井豊、福井県勝山市で確認されたナガレタゴガエル、第12回両生類自然史フォーラム in 越前、越前市、2010年8月9日.
- ⑥ 藤井豊、田中幸枝、上田昌範、中学理科教育のための新開発ソケット方式分子模型教材、中教研福井ブロック理科部会、福井市、2010年3月10日.
- ⑦ 浅原雅浩、橋場隆、藤井豊、伊禮三之、西田昭徳、伊佐公男、エネルギーをテーマとした小中学生サイエンスキャンプの実施、日本理科教育学会第59回全国大会、仙台市、2009年8月18日.
- ⑧ 田中幸枝、川内一憲、稲木明浩、池口新一郎、藤井豊、小鍛冶優、オワンクラゲを使ったエネルギー学習教材の開発～SPPの取り組みから～、エネルギー学会、2009年8月10日.
- ⑨ 藤井豊、上田昌範、ダイオキシンの4億倍模型をつくり環境を考えよう、サイエ

ンスアゴラ 2008、東京、2008年11月22-24日.

- ⑩ 藤井豊、地球温暖化を引起す化学物質の正体と自然環境への影響、第23回デジタル地球大学、福井市、2008年9月13日.
- ⑪ 藤井豊、ポインター方式分子模型教材の紹介、ソニー科学教育研究会中部ブロック研修会、福井市、2008年8月9-11日.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：分子模型
発明者：藤井 豊，田中 幸枝
権利者：福井大学
種類：特許
番号：特願2009-280088
出願年月日：21年12月10日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.bunshi-mokei.com/fujii/index.php>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 豊 (FUJII YUTAKA)
福井大学・医学部・教授
研究者番号：80211522

(2) 研究分担者

浅原 雅浩 (ASAHARA MASAHIRO)
福井大学・教育地域科学部・准教授
研究者番号：70304201
(H20-22)
田中 幸枝 (TANAKA YUKIE)
福井大学・医学部・助教
(H21-22)
研究者番号：10197486
丸山 千登勢 (MARUYAMA CHITOSE)
福井大学・医学部・助手
研究者番号：20452120
(H20)