

中学生に魅力ある理科授業展開 (第2報) †

山田 洋一*・南 伸昌*・村上 歩**

宇都宮大学教育学部*

宇都宮大学教育学部附属中学校**

中学校理科教育の分野では、中学生に魅力ある理科の授業展開を志向し、学校で使える科学実験を紹介する書籍も豊富になってきた。さらに、近年ではインターネットによる情報交換が活発に行われるようになってきた。しかしながら、このような情報の発信・流通が活発になってきた反面、個々の実験教材については、必ずしも十分検討が加えられているという状況ではない。実際に実験教材を利活用して授業を組み立てる教員の立場から、客観的な吟味がもとめられている。

今回はこのような観点から、第2報として液体窒素を用いた極低温での実験教材について、教育的効果と安全面の両方から検討を行った。

キーワード：理科教材，科学実験，液体窒素，密度，状態変化，電気抵抗

はじめに

極低温といえば「マイナス50度の世界ではバナナでくぎが打てます」という語り出しの、自動車エンジンオイルのテレビ・コマーシャルがよく知られている。あのコマーシャル以来、各地のサイエンス・ショーなどで、液体窒素で凍結させたバナナで実際にくぎを打つデモンストレーションを、よく見かけるようになった。バナナを凍結させてくぎを打つだけなら、家庭用冷蔵庫の冷凍室で凍らせるだけでも十分実験可能であるが、やはり目の前ですぐにバナナが凍結する様は、インパ

クトが大きい。そのために子どもから一般を対象とするサイエンス・ショーなどでは、欠かせない実験の一つになっているようだ。

液体窒素は日頃私たちの目にする物質ではなく、また -196°C という非日常的な温度で沸騰している物質である。近年では、中学校理科の教科書 [1,2] や資料等 [3-5] の中でも、写真で紹介されていることもある。

今回は低温物質である液体窒素の安全面に注意しつつも、教材としての利活用について、教育的効果を次の三つの視点から検討した。

一つは、宇都宮市立雀宮中学校との連携による“お楽しみ理科体験講座”という企画での実践 [6]。二つ目は、公立中学校の理科の授業の際、密度、状態変化 (1年次)、新しい化学技術 (3年次) などのところで実際に教師が液体窒素を提示する、体験的な学習の試行 [7]。第三は、小中学生から教員・一般大人までを対象とした“科学お楽しみ広場”という企画へ出展 [8] である。

† Yoichi YAMADA*, Nobumasa MINAMI*, and Ayumu MURAKAMI**: Attractive Teaching Materials for Science Education of Junior High School Students (Part 2) – Application of Liquid Nitrogen as Teaching Materials for Learning Physical Properties of Materials –

* Faculty of Education, Utsunomiya University.

** Junior High School Attached to the Faculty of Education, Utsunomiya University
E-mail: yamadayo@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. お楽しみ理科体験講座での実践

本学教育学部では、宇都宮市立雀宮中学校、本学教育学部附属小学校、及び宇都宮市教育委員会との教育連携のもとに、宇都宮市内の小学生親子や中学生を宇都宮大学に招待する形の「おもしろ理科体験講座」を冬休み（平成16年12月～平成17年1月）に計7回実施した（実行責任者：理科教育講座松居誠一郎教授）。その中で、平成16年12月25日、宇都宮市立雀宮中学校との連携によるクリスマス・レクチャーの企画として実施したのが「マイナス200℃の世界 - 液体窒素を用いた実験 -」である。以下にそのあらましを示す。

【企画の目的】

熱と温度の学習から、液体窒素を用いた極低温での物質の様子、化学的・物理的ふるまいについて観察実験する。マイナス200℃での、普段観察体験できない低温下での現象を考察する。また、水銀と他の金属との対比により、融点などの性質と室温との関係を実感する。

【用意するもの】

液体窒素 20L、発泡スチロール製容器 10個、酸素、二酸化炭素、エタノール、水銀、ビーカー200mL 10個、試験管 30本、試験管立て 10台、ビニール袋（30cm×45cm）20枚、輪ゴム 1箱、ネオジム磁石 10個、超伝導実験セット 4組、フィルムケース 10個、ゴム栓（小）10個、ゴム栓（大）10個、プラスチック製注射器（20mL）10本、マジック 10本

（1）液体窒素の用意

液体窒素取り扱い上の注意を与えてから、発泡スチロール製容器に液体窒素をつぎ分ける。白い煙が発生するが、それは水蒸気が凍結したものであり、液体窒素は無色透明の液体で極めて低温の状態でも盛んに沸騰していることを確認する。少量、床にまいてみても良い。

（2）二酸化炭素の状態変化、気体 \leftrightarrow 固体（昇華）の観察

ビニール袋に二酸化炭素を満した後、試験管の口にかぶせて、輪ゴムで止める。気体が漏れないことを確認したら、試験管の下半分を液体窒素にひたす。試験管の内壁にドライアイスができてくる様子を観察する。再び室温に戻すと、ドライアイスはとけて液体になること無く気体になることを観察する。

さらに、ドライアイスの一部を取り出し、ゴム栓で口をふさいだ注射器の中で加圧し、高圧下では融解して液体になることを観察する。あるいは、図1のようにビニールチューブの中に入れ、両端を閉じてよい[3,4]。

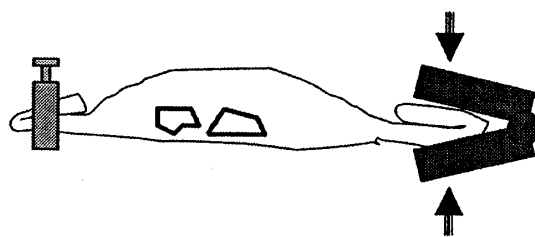


図1. ドライアイスの融解

（3）酸素の状態変化、気体 \leftrightarrow 液体（凝縮・沸騰）の観察

ビニール袋に酸素を満した後、（2）と同様に試験管の口にかぶせて、輪ゴムで止める。気体が漏れないことを確認したら、試験管の下半分を液体窒素にひたす。試験管の内壁に液化した酸素がたまるので、液体の色を観察する。

ある程度液体酸素がたまったら、試験管を液体窒素浴から取り出し、試験管の側面からネオジム磁石を近づけると液体窒素が磁石の方へ引き寄せられることを観察する。

別に写真のフィルムケースを用意し、『液体窒素を入れた後、すぐにふたをするとどうなるか』予想させた後、実際にやってみる。液体が気化するときの体積変化の大きさを実感する。

(4) 水銀およびエタノールの状態変化、液体←→固体(凝固・融解)の観察

試験管に水銀を5cmほど注意して入れ、安全のためゴム栓をする。まず、水銀の密度の大きさを実感する。次に液面のところにマジックで印を付けておく。これを液体窒素で冷却すると凝固するので、体積が減ることを観察する。

同様に試験管にエタノールを5cmほど入れ、固体のエタノールをつくってみる。エタノールが固化したら、別に50mLのエタノールを取り分けたビーカーの中に固体のエタノールを入れてみる。固体のエタノールは液体の中に沈むことを観察する。

(5) 銅線への電流の流れやすさが変わることを観察

長い銅線をコイル状に巻いておき、乾電池、豆電球とつないで回路を形成する。銅線が長いと電気抵抗が大きくなり、豆電球が点灯しないことを確認しておく。コイル状の部分を液体窒素にひたし冷却すると、しだいに豆電球が明るくなることを観察する。 -196°C では電気抵抗が7分の1まで減少することを説明する。再び室温に戻したときの豆電球の点灯具合を観察する。

つぎに回路から銅線のコイルを取り外すと、豆電球が点灯することを確認しておく。『今度は乾電池を冷却すると豆電球の明るさはどうなるか』予想させてから、電池ボックスごと液体窒素にひたし、冷却する。豆電球が消えることを観察した後、 -200°C では電池の内部が完全に凍結するので、まったく電池の化学反応が進まなくなることを説明する。

(6) 希土類元素の合金が超伝導状態になることを観察

超伝導実験セットの容器に液体窒素を満たし、希土類元素の合金を液体窒素で冷却する。プラ

スチック製ピンセットで静かにネオジウム磁石を載せると、マイスナー効果により磁石が宙に浮く現象を観察する。うまく載せると、磁石が空中で回転する様子が観察できる。

超伝導現象の簡単な説明をした後、リニア・モーターカーや、人体の輪切り画像を観察する磁気共鳴画像イメージング(MRI)装置などの応用例を紹介する。

2. 中学校理科での授業実践報告

次に本学教育学部附属中学校の現場で、実際に液体窒素を使った実験を行った例を述べる。

最近、テレビ番組などでも液体窒素を用いた様々な実験が放送されていたり、科学館のような教育施設でも液体窒素を用いた実験を行っている。しかし、それらは児童・生徒が実際に体験できることは少ない。

そこで、生徒が主体となって液体窒素で様々なものを冷却しその変化を観察したり、実際に液体窒素に触れたりするなど、極低温の世界を体験する生徒参加型実験も取り入れた。

(1) 対象と実験概要

附属中学校では、1年生の選択授業で理科を選択している生徒に対して実験を行った。

同じ液体窒素を用いた実験でも、教員が演示し生徒に見せる実験(以下、演示実験という)とした方がよいものと、生徒一人一人に体験させたい実験(以下、生徒実験という)に分けることができる。今回は以下のように分類した。

<演示実験とするもの>

- ・沸騰する液体窒素の観察
- ・ゴムボールの冷却(脆性破壊)
- ・酸素の凝縮(液化)及び蒸発(気化)
- ・二酸化炭素の昇華(固化及び気化)
- ・エタノールの凝固(固化)及び融解(液化)
- ・超伝導物質の浮遊(マイスナー効果)

<生徒実験とするもの>

次のものを液体窒素で冷却し、その変化を記録する実験。

- ・生花及び葉
- ・ティッシュペーパー
- ・豆腐、バナナ、氷
- ・乳液状かゆみ止め（ムヒ）
- ・輪ゴム
- ・消しゴム（破裂するので注意が必要）
- ・インク、スティックのり、液体のり等

（2） 演示実験

演示実験ではまず常温で沸騰する液体窒素の様子を透明デュワー瓶を用いて観察した。このとき、液体窒素は -196°C で沸騰していることと、長時間素肌と接触していると凍傷になる危険性があるということなどの液体窒素を使う上での留意点を説明した。

次に、ゴムボール、酸素、二酸化炭素、エタノールを冷却し観察した。ゴムボールでは、まず冷却前に一人の男子生徒に手打ち野球の要領でバッティングしてもらい、普通のよくはねるゴムボールであることを確かめた。その後、ゴムボールを発泡スチロール箱に入れた液体窒素の中で1分程度冷却した。冷却したゴムボールを取り出し、冷却前にバッティングした男子生徒に、軍手をした上で冷却したゴムボールをバッティングしてもらい違いを確認した。ゴムボールは、冷却前ははね返り遠くまで飛んで行ったが、冷却後では打った瞬間「ボンッ」という鈍い大きな音をたて粉々に砕け散った。

酸素の冷却は、ポリエチレン製の透明の袋に酸素ボンベから酸素を目一杯入れ、輪ゴムで袋の口を密閉した。その袋を割り箸を使い発泡スチロール箱に入った液体窒素の中に入れ、冷却した。液体窒素で冷却していくと、膨らんでいたポリエチレンの袋はみるみるしぼみ、底の方

に淡青色の液体酸素が確認できた。液体酸素に袋の外からネオジム磁石を近づけると、吸い付くことが確認できた。また、冷却し液体になった酸素が入っているポリエチレンの袋を机の上に置き、液体から気体が変わっていく様子も観察した。

同様に二酸化炭素の昇華も行った。ポリエチレン製の透明の袋に二酸化炭素ボンベから二酸化炭素を目一杯入れ、輪ゴムで袋の口を密閉した。その袋を割り箸を使い発泡スチロール箱に入った液体窒素の中に入れ、液体窒素で冷却していくと、膨らんでいたポリエチレンの袋はみるみるしぼみ、内面に白色の粉末状ドライアイスが確認できた。また、固体の二酸化炭素が入っているポリエチレンの袋を机の上に置き、徐々に昇華していく様子も観察した。

エタノールの凝固では、試験管に入れたエタノールを冷凍庫で冷しても液体のままであったのを確認した後、その試験管をそのまま液体窒素の中に入れ冷却した。エタノールは徐々にドロドロとした状態になり、最終的にカチカチの固体になるのを確認した。

超電導物質の浮遊では、液体窒素で冷却する前の超伝導物質とネオジム磁石のお互いに反発も吸引もしない状態を観察し、冷却した後の様子と比較させた。液体窒素で超電導物質を冷却すると、ネオジム磁石が超電導物質の上で宙に浮く。強力な磁石の反発のように安定して浮いている状態を見ることができる。

（3） 生徒実験

生徒実験では、生徒が実際に液体窒素を用い自ら自由に冷却し、その変化を確認した。液体窒素は発泡スチロールの小箱を容器としてその中に入れ、各グループに容器を一つずつ配った。生徒は、割り箸を使い、前述した身の回りのものの中から様々なものを冷却し、変化を観察し

た。冷却した物質を触るときには、素手で触らず軍手を用いることを指示した。

例えば、生花や中庭にある植物の葉などは、そのまま液体窒素の中に入れ冷却し、取り出し軍手をした手で握ってみたり、たたいてみたりしていた。また、乳液状かゆみ止めは、直接液体窒素の中に入れ、凍ったところを取り出し、様子を確認した。輪ゴムは、直接液体窒素の中に入れ、取り出したところを割り箸で伸ばしてみたり、たたいて砕いてみたりしていた。

(4) 生徒の感想

<酸素、二酸化炭素、エタノールの状態変化>

- ・酸素の液体なんて見たことがなかったので、見られてよかった。(男)
- ・酸素の液体が水色をしているなんて知らなかった。(男)
- ・ドライアイスが二酸化炭素なのは知っていたけど、実際に液体窒素の中でできてすごいと思った。(女)
- ・ゴムボールがすごく硬くてびっくりした。しかも、割れたらこなごなになったのですごかった。(男)
- ・あんなに簡単にゴムボールが割れると思わなかった。(女)
- ・エタノールは冷凍庫ではこおらなかったのに、液体窒素の中ではだんだんこおっていった。エタノールがドロドロしていたのはびっくりした。(女)

<超電導物質の浮遊>

- ・液体窒素で冷す前は、何の変化もなかったのに、冷したら磁石が浮いたのでびっくりした。(女)
- ・超伝導という言葉は聞いたことがあったけど、本物は見たことがなかったのですごかった。(男)

<液体窒素の中に指を入れる・液体窒素を手の

平の上を流す等>

- ・-196℃と聞いていたので、すごく冷たいかと思っていたのに、指を入れてみると意外に冷たくなかった。(男)
 - ・指をちょっと入れたとき、ひやっとしたけど指はかわいていて変な感じがした。(女)
 - ・指を入れて出したら、何もなくて感動！(女)
 - ・指を一瞬だけ入れてみたら、ひんやりとして、出したら指のまわりに液体がついていなかったから、とてつもなく驚いた。(男)
 - ・床や地面にこぼした液体窒素は、玉みたくなくなって転がってすごかった！(女)
- <さまざまな物質を冷却しその様子を観察>
- ・ぐつぐつして天ぶらをあげているみたいでおもしろかった！(女)
 - ・花を入れて、軍手でにぎるとパリッとわれてすごかった。(男)
 - ・ほとんどのものがパリパリになってので、びっくりした。(女)
 - ・花の様子はテレビなどで見たことがあったけど、実際にやってみておもしろかった！(女)
 - ・とても楽しかった。(女)
 - ・氷は溶けると思ったけど、全然変化がなかったので驚いた。(男)
 - ・液体窒素で凍こおらせてこおったものも、時間がたつともとの状態にもどってすごいと思った。(男)
 - ・乳液状かゆみ止めはカチカチにこおったけど、時間がたつともにもどったらこおる前と同じように使えた。(女)
 - ・豆腐があんなにかたくなるとは思わなかったもので、おもしろかった。(男)
 - ・消しゴムは液体窒素の中にずっと入れておくと、こなごなに割れていた。どうしてそうだったのか知りたい。(女)
 - ・消しゴムを冷してから、机の上においておいたら爆発して、びっくりした！！(男)

(5) 今後の課題

液体窒素は -196°C という低温で沸騰しているのであるが、無色透明の液体ということもあり、生徒は液体窒素も水と同じような物質というイメージを持っているようだ。したがって、デジタル温度計などを用いて実際の温度を計測するなど、実際の温度を確認する必要がある。また、生徒の感想をみても、氷が液体窒素の中で溶けたりしないことや液体窒素が床や机の上ですぐに蒸発し液体の水のように跡が残らないことなど液体窒素の性質について詳しく説明すると、よりいっそう理解が深まると思われる。

また、今回実験を行った学年は状態変化を学習した後であったので、物質がいろいろな状態に変化することに関して理解がしやすかったのではないかと考えられる。液体窒素で冷却することで、普段では見ることのできない物質の状態を観察することができるので、生徒の興味・関心をひく上でとてもよい教材であると考えられる。したがって、もっと液体窒素を用いた物理変化について詳しく解説できる時間が確保できるとよい。

3. 科学お楽しみ広場での実践

2004年11月7日(日)に鹿沼市東部地区コミュニティセンターで、地域の子どもから大人まで広く一般を対象に、「科学お楽しみ広場」の企画が催された。子どもから大人まで、約100名の参加があった。

当日は鹿沼東地区の「地域活性化のお祭り」としての要素が強く、科学お楽しみ広場の企画も、屋外での餅つきや参加型ゲームと平行して行われた。そのため、液体窒素実験のブースを出展する際、冒頭に述べたバナナの凍結や、凍結させたお菓子の試食など、より娯楽性の強いものを多く取り入れた。また、図2に示すような視覚的にわかりやすい実験を多く扱った。

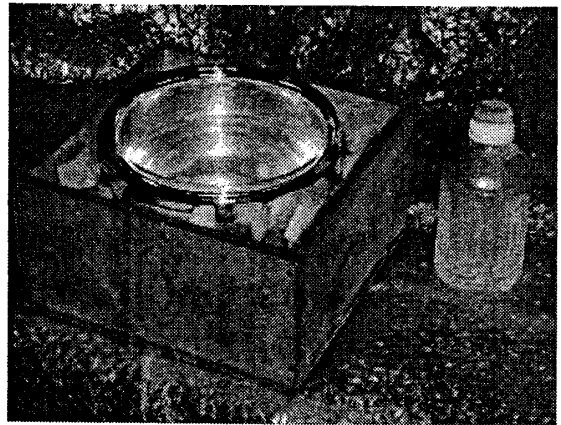


図2. 300 mL ペットボトルの内側にふくらんだ風船

4. 本研究の位置付け

本研究は、平成16年度本学教育学部長裁量経費により実施した公立中学校教員との共同研究プロジェクト「中学生に魅力ある理科の授業展開について - 大学理科教育・中学校理科との連携-」の成果である。

(1) 共同研究概要

以下に示す公立中学校及び宇大教育学部附属中学校と連携して、各中学校の理科の授業の中で液体窒素を用いたマイナス 200°C の世界に関する実験を行い、理科に関する興味・関心を高めることを試みた。単元は1分野状態変化と、選択理科である。

その効果について、授業担当者にアンケート調査をお願いし、教育学部で詳細に検討した。

平成16年

- 11/7 高根沢町立北高根沢中1年4クラス 120名
- 11/11 塩谷町立大宮中1年2クラス 60名
- 11/17 矢板市立矢板中1年5クラス 150名
- 11/22 塩原町立塩原中3年1クラス 30名
- 11/27 塩谷町立大宮中1年2クラス 60名

平成 17 年

1/11 宇大教育学部附属中 1 年 2 クラス 80 名

2/14 宇大教育学部附属中 3 年 2 クラス 80 名

2/21 佐野市立北中 1 年 7 クラス 230 名

3/2 南那須町立荒川中 3 年 1 クラス 20 名

3/4 小山市立桑中 3 年 7 クラス 220 名

(2) 共同研究組織

理科教育講座 山田洋一（代表），鈴木 勲，南伸昌。教育学部附属中学校 理科 村上 歩。

研究協力者：栃木県内公立中学校教員 7 名，栃木県総合教育センター職員 1 名 [7]。

(3) 全体を通して得られた成果

当該授業について，生徒の理解度，集中度，興味・関心の度合い等を調査した。その結果，いずれの項目についても極めて高い評価が得られた。また，各中学校の授業担当教員の印象でも，生徒たちの目の輝きが違う，ふだん見ることのできない世界を体験した驚きなどが感じられた，とのことであった。

(4) 今後の課題

近年の理数離れ現象は，未だ解決の方向性を見いだしてはいない。今後も継続して中学生を惹きつける理科の授業展開の一つとして，液体窒素を用いた「マイナス 200℃の世界」に関する実験を開発し，試行的に実施していくことが必要である。また，小学校現場からの需要も強いので，安全面に配慮した後，小学校との連携も視野に入れたい。

5. 文献および注釈

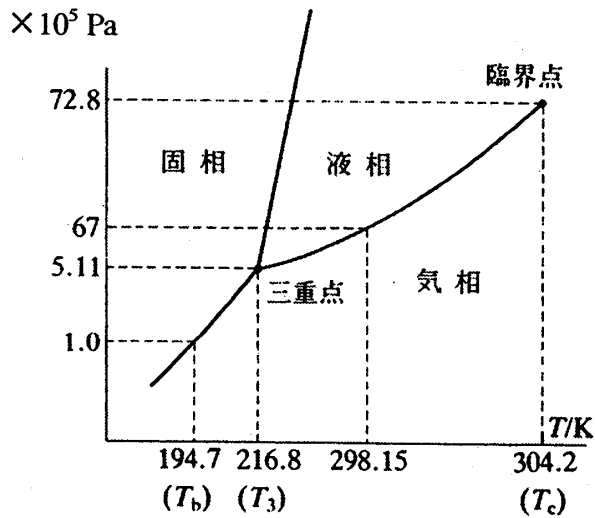
- [1] 竹内敬人，山極隆，森一夫 他，平成 14 年度用中学校教科書「理科 1 分野上」p. 45，啓林館（平成 13 年 2 月 28 日検定済，61 啓林館 理一 709）2002.
- [2] 三浦登，綿抜邦彦 他，平成 14 年度用中学校教科書「新しい科学 1 分野上」p. 72，東京書籍（平成 13 年 2 月 28 日検定済，2 東書 理一 701）2002.
- [3] 左巻健男他，「新しい科学の教科書 I 第 2 版 - 現代人のための中学理科-」p. 141, p. 152, 文一総合出版 ISBN4-8299-0071-7
- [4] 左巻健男他，「新しい科学の教科書 第 1 分野<化学・物理編> - 現代人のための中学理科-」p. 63, p. 75, 文一総合出版 ISBN 4-8299-0074-1
- [5] 小瀧貴子，化学教育ジャーナル（オンライン雑誌）創刊号，採録番号 1-5（1995）.
<http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/v1n1/kotaki/N2.html> ISSN 1344-7963
- [6] 平成 16 年度宇都宮大学個性化関連経費による事業「小中高との教育連携・地域貢献を通じた実践的な教員養成教育の調査研究」
・自然科学教育における試みー児童・生徒参加型の科学実験講座を活用した実践的な教育ー
- [7] 研究協力者（協力校）
・齋藤めぐみ教諭（高根沢町・北高根沢中）
・荒川拓之教諭（塩谷町・大宮中）
・戸村真一教諭（矢板市・矢板中）
・本澤秀二教諭（塩原町・塩原中）
・長 訓昭教諭（佐野市・北中）
・久保井芳暁教諭（南那須町・荒川中）
・磯部佳孝教諭（小山市・桑中）
・高山芳樹副主幹（栃木県総合教育センター）
なお，各校で実施していただいたアンケート調査結果については，統報で報告したい。
- [8] 科学お楽しみ広場は，栃木県内小・中・高等学校，大学教員で組織される「しもつけ理科サークル」が主催する企画である。小学生から父母，教員まで，一般を対象とした科学お楽しみ広場が平成 16 年度は 2 回（宇都宮・鹿沼にて）開催された。

【資料】

・ 1気圧下の窒素、酸素、二酸化炭素の性質 - 実験(1)～(3)

	沸点 (°C)	沸点での密度 (g/ml)
窒素 (N ₂)	-195.8	0.808
酸素 (O ₂)	-183.0	1.14
	昇華点 (°C)	昇華点での密度 (g/ml)
二酸化炭素 (CO ₂)	-78.5	1.56

・ 二酸化炭素の相図(温度、圧力による状態の変化) - 実験(2)



単位の変換 (°C ⇔ K) : T' (°C) = T (K) - 273.15

・ 固体(液体)→気体の体積変化 - 実験(2)、(3)

1 g の氷 (水) = 1 ml - 全部蒸発すると → 1.3 l [] 倍!

閉じた空間で、固体 → 気体 ⇒ 圧力 []

・ 酸素の性質 - 実験(3)

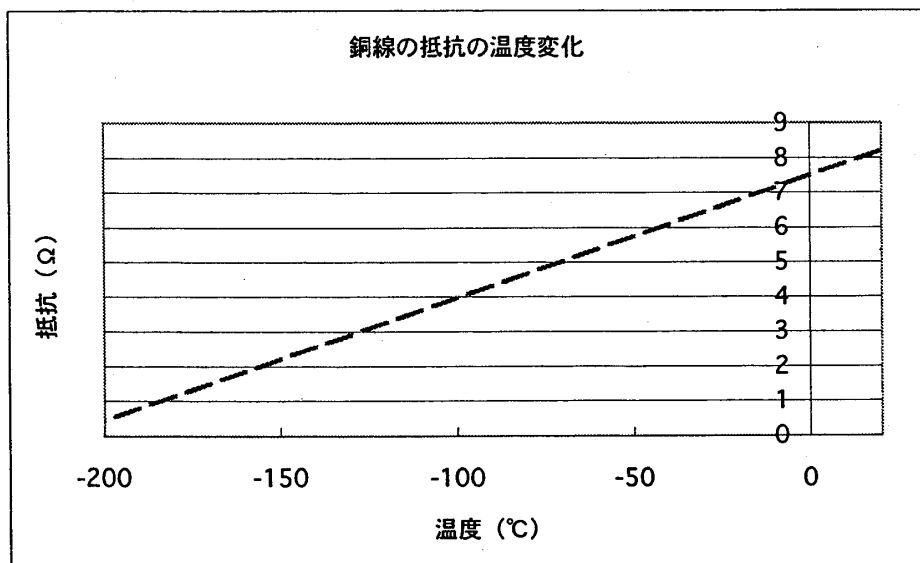
液体の色 : []

常磁性 : 強い磁石に []

・ 水銀、エタノールの性質 - 実験(4)

	融点 (°C)	20°Cでの密度 (g/ml)	固体の密度は液体よりも
水銀 (Hg)	-38.9	13.55	[]
エタノール (C ₂ H ₅ OH)	-114.5	0.79	[]

・銅の電気抵抗の温度変化 - 実験(5)



-200 °Cでの抵抗値は0 °Cのときの約 [] 倍

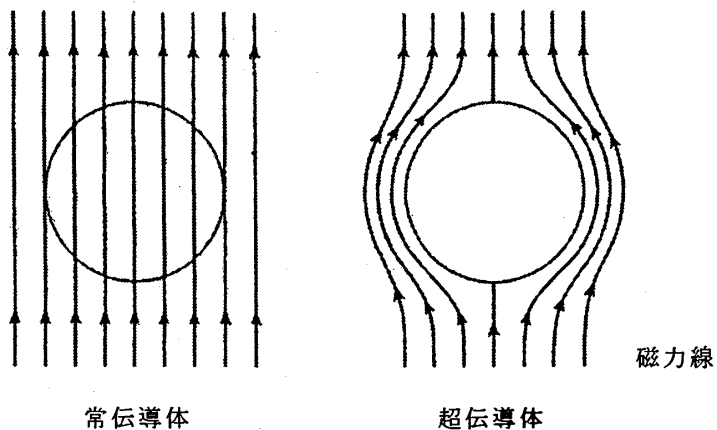
・化学反応の温度依存性 - 実験(5)

温度が低くなると反応の進行が [] → 豆電球 []

更に温度下げる → 電池内部の液体が凍り、反応は []

・マイスナー効果 - 実験(6)

[物理学辞典編集委員会編「物理学辞典」p. 2056 (培風館), 一部改変]



超伝導体に入る磁場と反対方向の磁場を作るように
表面に電流が流れる

→ 磁石との間に反発力が働く