

ヴィクター・オーベンドラウフ  
オーストリア、グラーツ大学化学研究所  
A-8010 Graz, Schubertstraße 1, Austria  
e-mail: viktor@obendrauf.com

## 教えやすく学習効果の高いスモールスケール実験

MORE SMALL SCALE HANDS ON EXPERIMENTS FOR EASIER TEACHING AND LEARNING

„A pretty experiment is in itself often more valuable than twenty formulae extracted from our minds. *Albert Einstein (1879-1955)*

„素晴らしい実験は、それだけで理論から導き出された20の公式より価値がある。  
アルベルト・アインシュタイン(1879–1955)

現在では、神経生物学の研究によって、印象に残る学習と感動とが密接な関係があることが証明されている。「きれいな」反応とは、危険な実験や危険そうに見える実験と同じように、人に感動を与えるものである。多くの化学教員が、生徒には「美しい」「危険な」実験しか記憶に残らないことを痛感している。美的に計画され、本当の感動を与える実験を通して、生徒達は相互に関連する理論と概念をずっと容易に理解するのである。

もちろん危険な実験は学校では絶対に行ってはならない。化学教育は、教員と生徒の双方にとって極力安全であるべきである。しかし、生徒たちから危険と思われるような化学の実演や実験を行った場合に、生徒に感動を与え、学習の助けとなることがある。マイクロスケールレベルで実験を行えば、危険なはずの反応も安全でかつ安価に行うことができるのである。

美的科学的現象とは何か、ということを経験的に定義することはできない。しかし、一般的に化学の演示実験と生徒実験は、ある程度美しくデザインできることは分かっている。美的な反応と過程を美的に示した古典的な例として、シャーレ上で様々な色に結晶を育て、結晶構造をスライドガラス上で顕微鏡観察するものがある。多くの人は花火のような効果を美しいと感じる。アイス・キャンドルを燃やすだけでも感動を与えられるし、単純に数字や文字のように並べたたくさんのアイス・キャンドルは、空気中でチタン粒子と酸素を単に熱する反応よりも美しい。

生徒にとって、込み入った実験装置はスマートでもなければ美しくもない。生徒達は、できるだけ早く実験とその背景にある概念を理解したいと考えている。

マイクロスケール実験は、多くのスタンドやクランプを必要としない単純明快な実験なので、もともと危険な実験であっても、大講堂でも最新のビデオを用いて拡大映写することで、美しく、しかも安全に見せることができる。

教員や講師は、高価で準備に時間を要し、大量の廃棄物の処理と片づけに骨の折れるような実験は、洗練されたきれいな実験ではない。そこでマイクロスケールにすれば、時間、費用が節約され、廃棄物が削減でき、しかも、化学反応の美しさと

安全性を高めることができる。

6年前、ブダペストで行われた第16回国際化学教育会議において、スモールスケール・マイクロスケール気体反応の基調講演をするという非常に光栄で喜ばしい機会をいただいた。ビデオモニターを使った講演を、大講義室で行うことで時間と費用が節約でき、環境を汚染しないと、聴衆に好評であった。入手容易で安価な実験装置と、最新のデジタルビデオの活用で、非常に毒性の強い気体であっても、排気装置を必要とせず安全に演示実験を行うことができた。ブダペストの講演でのトピックは、塩素、アセチレン、水素、硫化水素、二酸化硫黄、アンモニア、そして酸素の発生、および、ナトリウムと塩素、水素と塩素、塩素とアセチレン、水素と酸素、硫化水素と二酸化硫黄の反応であった。

安価な実験装置とデジタルビデオの活用例 — ヨーロッパのどのスーパーマーケットにもある商品を利用し、少量の有毒な気体の発生、蓄積、廃棄方法などを工夫し改良 — を、ここソウルでの講演でもお示しする。

ここまで説明したどのスモールスケール実験も、もともとビデオと組み合わせるために計画されたものではない。安全のために排気装置を使い、防護板の向こう側で行う実験は非効果的で、生徒の感動を呼び起こさない。スタンドが不要なスモールスケールで講師が生徒の近くで実演し、携帯可能な器具を用いて実験を繰り返す方がずっと効果的である。これが教室での哲学である。

2000年にハンガリーで行われた第16回化学教育会議の要旨集に、安価な気体発生法とスモールスケールの気体反応に必要な器具についての詳細な説明と図が記載されている。ヨーロッパで10年以上これらの器具を用いて成功を収めて来ているので、今までこのような実験の提案を聞く機会のなかったアジアの同僚や教員の皆さんにもお伝えしたい。

### 気体生成、気体反応のための安価な器具類 © [1,2,3]:

- (a) 試験管 16/160 mm 1本 (Schott Fiolax®製) リップ型

この試験管内で気体を発生させる。試験管は薄い耐熱性の素材なので、非常に短時間で内部の試料を加熱できる。この試験管は、必要に応じて水浴か水道水で数秒以内に冷却できる。

- (b) 軟質ゴム栓 1個 (Verneret製18D)

1本または2本の注射針(1.2/40 mm)をFigure 1のように刺す。ゴム栓に刺した後、針の先端をFigure 2のように切り落とす。尖っていない針は、ルーア型の微小スチール管として用いることができる。先端のない針は、もはや針ではない。ゴム栓は、いろいろな強酸を使ったとしても、スチール管を何ヶ月も交換せずに使うことができる。

- (c) 使い捨て注射器 2 ml 1本 (e.g. Braun®製)

この注射器は、液体の滴下漏斗として使う。ピストンは動きにくくする必要がある。そこで、注射器の内側を細いスチールウー



ルで粗くしたものを用いると非常に便利である。

容量10-20 mlの細口ビンに試薬を入れておくと、必要な時にスポイトで液体を吸い取るのに便利である。それによって、濃塩酸や濃アンモニア水でさえ、排気装置のない場所でも問題なく扱える。注射器で吸引した後、外側に付着した試薬との接触を防ぐため、外側を紙タオルで拭くか、ビーカーの水か水道水でよく洗浄する。そして、注射器に特製のゴム栓に付けられたスチール管をしっかりと接続する。

(d) 注射器 20 ml 1本、ルアー型(ONCE®製)

この注射器に、発生した気体と化学量論比の混合気体を集め蓄える。器具内の圧力が高くなりすぎて破裂しないようにするため、ピストンは2mlの注射器より動きやすくしなければならない。そのためピストンの末端部分には、潤滑油として沸点の高いシリコン油を少量塗っておくとよい。

(e) ピストンなしの注射器 10 ml 1本

まず、粒状の活性炭を詰め、Figure 1にあるように注射針を1本刺したゴム栓で蓋をする。

この装置は、20 mlの気体発生用注射器から必要以上の毒性気体が発生し、外に溢れて流出するのを防ぐ。

(f) 圧電式発火装置を挿入した注射器 20 ml (ONCE®製) (Figure 3)

20 mlの使い捨て注射器と圧電発火方式ライターからつくられたこの装置に、混合気体を集めて爆発させると、化学量論比による反応の違いを注射器内で直接見せることができる。

装置の組み立て方：釘を炎で加熱し、この釘で注射器の下部に小さな穴を空ける。その穴にビニール電気コードの被覆をむいた端を差し込む。接点はFigure 3にあるように、熱した固着剤で封じる。電気コードのもう一方の端を、圧電式発火装置につなげるとでき上がる(Figure 3参照)。

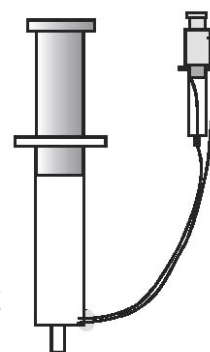


Figure 3

(g) ルアー型スチール管 1.2/40 mm (先端を切り落とした注射針)。

先端を切り落としたスチール管は気体の噴射に使う。

例えば、a) 注射器から押し出した水素やアセチレンの噴流に火を点ける。b) 必要な気体を試験管や他の注射器に注入する。

などである。気体の噴射に用いた軟質ゴム栓とスチール管は、濃い酸を用いても腐食せず何ヶ月間も使える。保管している間の腐食を避けるために、スチール管の内部を水でよく洗い、空気乾燥させておく。この操作はたった2秒でできる。20 ml注射筒内部の水を押し流し、その後、空気を吸ったり押し出したりすれば良い。

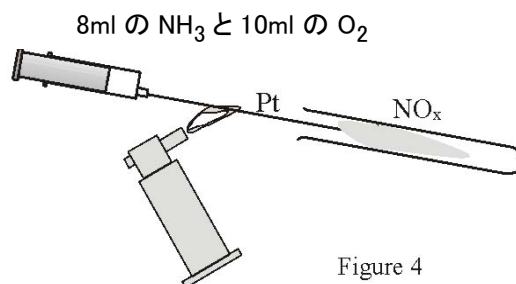


Figure 4

(h) ルアー型スチール管 0.8/120 mm

(先端を切り落とした注射針)。

長い注射針は、大きな表面積を必要とする反応管(触媒作用の有無によらない)として使うことができる。例えば、化学量論比の二酸化硫黄と酸素の加熱実験、または、アンモニアと酸素との触媒反応(オストワルト法 Figure 4参照)の触媒管として利用できる。

強熱した長い注射針は、気体の分解反応に使うこともできる。例えばアンモニアの熱分解やパラフィン油から炭化水素への熱分解反応などである。

(i) 小型バーナー

携帯用の圧電式発火装置付きのバーナーである。ライターの燃料に用いられるブタンの詰め替えができ、加熱時間の限度がなく、炎の大きさを自由に調節でき、いろいろな角度で使える(Figure 4参照)。

(j) 15-20 cmのビニール管(電気コードから銅線を取り除いたもの)

細いビニール管として用いる。

(k) 100 ml 使い捨て注射器、カテーテルコネクタ付き(Figure 5)

この注射器はより多くの気体を集め、蓄めて重量を量るために使う。カテーテルは小さい注射器の先端と特製のワインオープナーの先にはめ込む。ワインオープナーは、市販の炭酸用二酸化炭素やホイップクリーム用亜酸化窒素のカートリッジにぴったり合うものを使う。

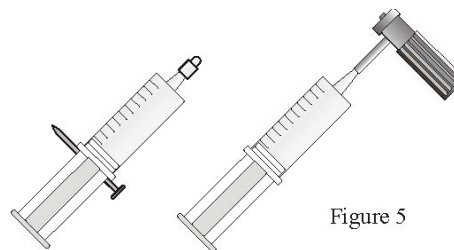


Figure 5

(l) 携帯型の小型オゾン発生装置

普通の小型酸素発生装置を、シリコン管を用いて、塩溶液(e.g. 硫酸銅)入りの細いガラス管の入った試験管につなげる。この溶液を小さい高電圧装置(スタンガン、Figure 6参照)と接続する。

高電圧装置の二つ目の接続は、試験管の外側の銅板か真鍮板につなげる。これによって、放電が試験管の外から内部の細いガラス管に向かって発生する。

試験管内の純酸素が部分的にオゾンに変わる。こうしてオゾンと普通の酸素の混合気体が20ml注射器に集められる(Figure 6参照)。

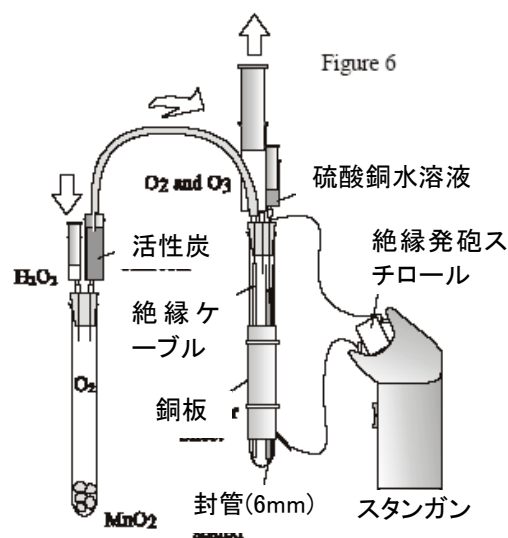


Figure 6

(m) 爆発限界実験用フィルムケース

圧電式発火装置を接続したフジ®製フィルムケース(キャップ付き)は、アセトンや酢酸エチルのように非常に沸点の低い有機溶媒の爆発限界を調べる実験に用いることができる。フィルムケースの容積はおよそ33 cm<sup>3</sup>である。極少量で正

確な量のアセトンや酢酸エチルが完全に揮発すると、爆発限界内の空気との混合物気体となる。

例：アセトン－空気の混合気体の爆発下限 (LEL: 60g アセトン/m<sup>3</sup> 空気 = 約 2 mg アセトン/33 cm<sup>3</sup>、爆発上限 (UEL) : 310 g アセトン/m<sup>3</sup> 空気 = 10 mg アセトン/33 cm<sup>3</sup>.) 1 滴のアセトンの質量は約 7-9 mg である。つまり、アセトン 1 滴が完全に揮発し、閉じたフィルムケース内の空気と混合すると、ちょうど爆発限界内に納まる。2 滴以上のアセトンでは過剰の混合気体になる。

ZIPPO®ライター燃料のような特殊なライター燃料(ライターガスではない)には、オクタンや他に良く知られた炭化水素が、約 0.0147 bar という適切な蒸気圧になるように封入されている。過剰な液体のおかげで、閉じたフィルムケース内には不適切な割合の混合気体が作られない。

例：フィルムケース内の酸素量の計算値は、約 6.9 cm<sup>3</sup>。また、過剰の液体が入った密閉フィルムケース内の気体 x の体積は、約 0.5 cm<sup>3</sup> (x cm<sup>3</sup> : 0.0147 bar = 33 cm<sup>3</sup> : 1.0147 bar) を超えることはない。

酸素量 6.9 cm<sup>3</sup> と炭化水素蒸気の体積比を計算すると、次の化学量論比の混合気体の体積比に近い。



従って、ケース内の空気を入れ替えて容器を閉めれば、何度でも危険のない爆発を起こすことが可能である。

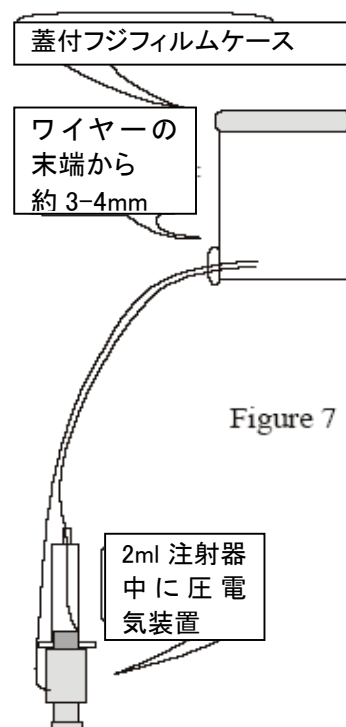


Figure 7

### 3-5分以内に終了するようにデザインされた スモールスケール実験の例：

#### 1. 水素と塩素の光反応

塩素発生装置内の空気は、塩素を発生させると塩素に置換される。同様に、水素発生装置内の空気も、水素に置換される。フラッシュを毎回働かせるためには水素から塩化水素を除かなくてはならない。

活性炭を詰めた 10 ml 注射器を水素発生装置と接続し、活性炭内の空気を水素で置換する。次に、10 ml の純粋な塩素を入れた 20 ml 注射器を活性

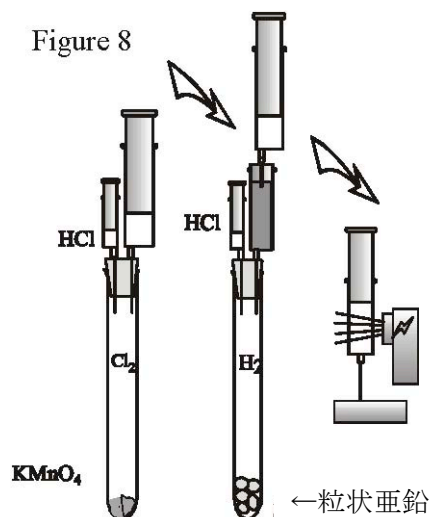


Figure 8



炭入り注射器に接続し、精製した水素を10 ml追加する(Figure 8)。この混合気体の入った注射器を、先端を切った針を使って発泡スチロールの台座に垂直に刺す。20ml注射器にフラッシュをまんべんなく照射すれば、フラッシュのUVフィルターを取り除かなくても反応を開始するであろう。(Figure 8参照)

## 2. 銅と硝酸を用いた $\text{NO}_x$ の発生、および、 $\text{NO}$ , $\text{NO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}_3$ , $\text{N}_2\text{O}_4$ の性質の観察

気体発生装置内の空気を $\text{NO}_x$ で置換した後、発生した $\text{NO}_x$ をシリコンオイルを充分塗った20 ml注射器に集める。20 ml注射器が毒性気体で満された後、ピストンなしの10 ml $\text{HNO}_3$ 注射器は携帯型排気装置として機能する。

携帯排気装置は、まず顆粒状活性炭を注射器に詰めてからゴム栓で蓋をし、注射針を1本突き刺すとできあがる。

20 ml注射器内に発生させた混合気体を用いて、 $\text{NO}_2$ の水への溶解性、 $\text{NO}_2$ と $\text{N}_2\text{O}_4$ との平衡、 $\text{N}_2\text{O}_3$ の生成、また、他の混合気体の性質を容易に示すことができる。

$\text{CO}$ の気体発生装置を用いれば、自動車で広く用いられている $\text{CO}$ と $\text{NO}$ から $\text{N}_2$ と $\text{CO}_2$ を生成する触媒反応も、試験管内で再現することができる。

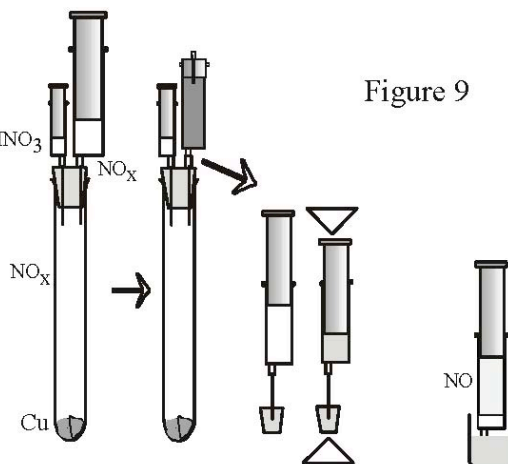


Figure 9

## 3. インスタント化学: 半永久的に使えるマイクロ-アンプル[4]

肉厚のガラスアンプルが、しばしば液化気体や非常に揮発性の高い液体容器として使われる。これらのアンプルは、一度作っておけば、化学的にも物理的にも半永久的に使うことができるので、準備や後片付けに時間を浪費せず、様々な現象を実演できるという利点がある。アンプルの容積を数 $\mu\text{l}$ まで減らせば、ガラス職人の助けなしに、少しの注意と経験で、様々な物質をアンプルに封じることができる。すなわち、細かな炎を出すバーナーを使うと、Figure 10のようなマイクロ-アンプル(直径2-3 mm!)を簡単につくることができる。

細い管は、ガラスが薄いにも関わらず大きな圧力に耐える。そのため、液化二酸化炭素や笑気さえも封じることができる。これによって、様々な物質の臨界温度という現象の演示実験が、驚くほど簡単に行えるようになった。

例えば、アンプル内の液化亜酸化窒素が、ヘアドライヤーを使えば、臨界温度の $36.5^\circ\text{C}$ に数秒以内に達し、突然消える。最後に、臨界圧は72.6 barに達する。同様の実験を、液化二酸化炭素(臨界温度 $31.6^\circ\text{C}$ , 臨界圧73.8 bar)についても行える。少し

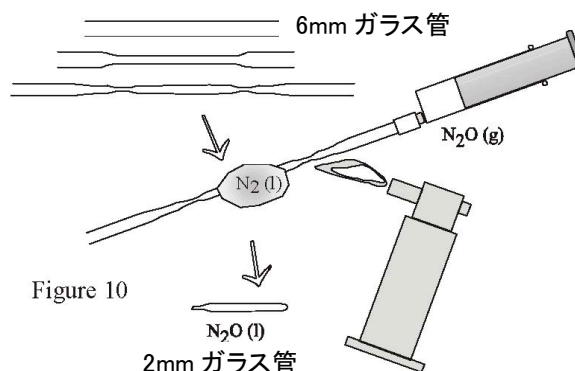
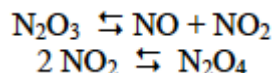


Figure 10

冷却すると、液体と気体の共存状態が終え、何もないところから再び液体が生じたかのように見える。液体、気体、そして – もし液体窒素が使えるならば – 固体の塩素が、 $\text{NO}_2$ と $\text{N}_2\text{O}_4$ の温度依存平衡と同じように素早く生成する。混合気体が $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ を含んでいれば、室温において $\text{N}_2\text{O}_3$ の深青色がいつまでも保持され、良い演示実験になる(この実験はこれまで、冷却によってのみ可能であると言われてきた)。 $\text{N}_2\text{O}_3$ は、融点( $-100.1^\circ\text{C}$ )以上の温度では、以下の平衡に従って分解する：



アンプルに封じた後冷却を続けなければ、明青色の固体は融解する。融解すると、深青色の液体になるが、内部が非常に高圧なため、室温でも深青色が消えることはない(ル・シャトリエの法則に依る)。マイクロ-アンプルをドライヤーで加熱すると、数秒以内に $\text{N}_2\text{O}_4$ から $\text{NO}_2$ が生成し、 $\text{NO}_2$ ガスの褐色が濃くなっていく変化を示すことができる。

上述の現象のほか、マイクロ-アンプルを使うと、他にもたくさんの温度依存性をもつ化学-物理的变化を実演して見せることができる(「インスタント化学」！) [4]。

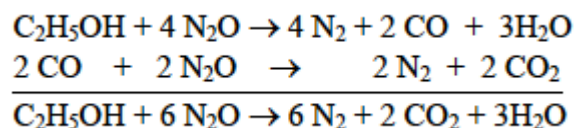
この変化は、非常に大きな講義室であっても、ビデオカメラを活用すれば簡単に視覚化することができる。

#### 4. ワインオープナーを利用する $\text{N}_2\text{O}$ の供給 – $\text{NO}$ や $\text{CS}_2$ を使わない「ほえる犬」の音と青い閃光の観察[6]

高圧スチールアンプルに封じられた $\text{N}_2\text{O}$  (笑気)は、ホイップクリームを作るのに使われている。特製のワインオープナーは、同じタイプの $\text{CO}_2$ にも $\text{N}_2\text{O}$ スチールアンプルにも使える。そこで、 $\text{N}_2\text{O}$ を使うたくさんの実験を「インスタント化学」の例として考案することができる [5,6,7,8,9]。

例：ワインオープナーを用いると、広口の1ℓガラス瓶を1分以内に笑気で満たすことができる。毒性のある $\text{CS}_2$ の代わりに、普通のラム酒(80%エタノール)中のエタノールをお湯で温めて揮発させ、ワインオープナーから出る $\text{N}_2\text{O}$ と反応させると、有名な「ほえる犬」の音と青い閃光を実演することができる。スーパーマーケットで購入した材料だけで実験可能となる例である。この興味深い反応は以下のような経路で起こる：





### 5. マイクロスケールでのドライアイス生成と笑気の液化[10]

二酸化炭素と笑気という、わくわくする素晴らしい2種の気体が台所で見つかる。笑気も二酸化炭素もありふれた単純な物質である。これらは非常に似通ったスチールカートリッジに入っており、それぞれホイップクリーム用カートリッジ、ソーダサイフォン カートリッジに保存されている。どちらの気体も特製のワインオープナーを使って化学教育に十分な量を用意することができる[3,4,5]。



二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )と亜酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )は非常によく似た物理的性質を持った気体である(表 1参照)。密度、分子量、水に対する溶解度、そして臨界温度など、類似点が多い物理的性質が非常にわかりやすく示されている。学校にある器具とスーパーマーケットで手に入る商品で充分実験ができるのである。

亜酸化窒素と二酸化炭素の電子構造は等しいが、化学的性質、生理作用は全く異なる。

多くの生徒は、笑気がホイップクリームに使われるだけではなく吸引用にも使え



ることをよく知っている。もちろん病院で麻酔のためであるが、それよりも燃焼機関の中で非常に効果的な酸化剤として働くことの方がもっとよく知られている。少量の笑気を使い、酸化剤としての性質を、いろいろな単純な方法で短時間で実演することができる[4-7]。

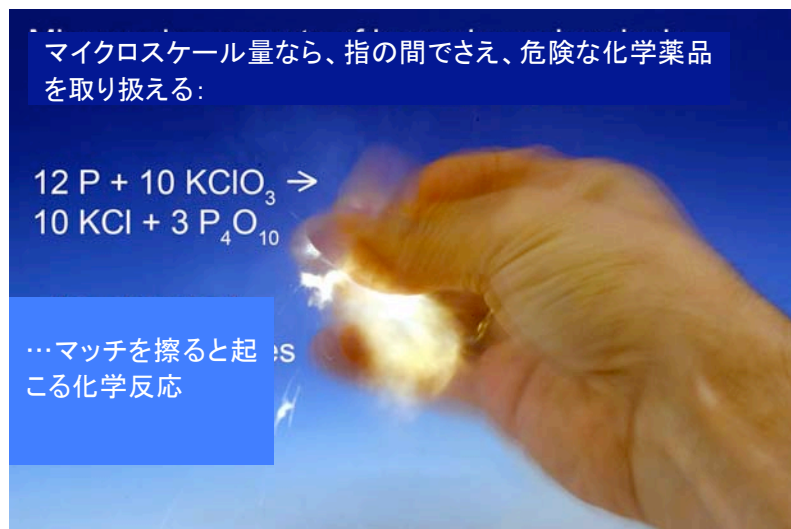
表 1

|      | N <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> |
|------|------------------|-----------------|
| 構造   | N=N=O            | O=C=O           |
| 分子量  | 44.01 u          | 44.01 u         |
| 密度   | 1.997g/l         | 1.977g/l        |
| 融点   | -90.8°C          | -57°C (5.2 bar) |
| 沸点   | -88.8°C          | -78.5° (昇華)     |
| 臨界温度 | 36.5°C           | 31.06°C         |
| 臨界圧  | 72.6 bar         | 73.83 bar       |
| 臨界密度 | 0.457g/l         | 0.464 g/l       |

一方、ソーダサイフォンカートリッジには、消火器にも使われる二酸化炭素が含まれている。聴衆が大人数であっても、1本のソーダサイフォンカートリッジから少量のドライアイスを作り、小さな注射器の中で昇華と三重点を見せることが可能である[6-10]。

## 6. 安全マッチの成分[11]

マッチの先端の主成分はKClO<sub>3</sub>からなり、無害な赤リン(およそ 50%)が塗布したマッチ箱の表面をこすると発火する。赤リンがマッチの先端ではなく箱の外側に塗ってあり、摩擦を加えない限りマッチは発火しない。これが安全マッチの基本原理である。マイクロスケールであれば、危険な化学物質が少量含まれていても、実験室用の装置を使わずに原理を示すことができる。マイクロスケールレベルの実験では、化学量論計算、安全メガネの使用によって、起こりうる事故を防ぐことができる。0.00010 mol (およそ 12.3 mg の微粉末) の KClO<sub>3</sub> と 0.00012 mol (およそ 3.7 mg の乾燥したリン) の比に配慮すると、理論通り美しい閃光が得られる。赤リンが固体の酸化剤と完全に反応し、また、反応後に赤リンが残り、空気中の酸素と反応し火傷をする



ことがないように、過剰量の $\text{KClO}_3$  (約40 mg)を使い、赤リンをすべて反応させることが肝心である！

## 7. 百聞は一見にしかず。

上述した多くのマイクロスケール気体反応のための安価な気体発生装置は、2, 3 個のビデオケースに収納することができる。この器具類を使えば、状況に応じて100以上の異なる反応を見せることができる。

ここまで説明してきた実験器具の中で、特製の試験管、注射器、そして「軟質ゴム栓」に注意すべきであることを、ここで特に強調しておきたい。これらの過程で用いられる素材は、実験を安全に成功させるために不可欠である。他種の試験管や使い捨て注射器、普通の「赤」または黒ゴム栓が、多くの化学教育業者のカタログで見つかる。しかし、これまで説明したように、これらを排気装置を使わない安価な携帯用の気体発生実験に用いたならば、おそらく失敗するだろう。



以下の写真は、マイクロスケール実験の広範にわたる可能性を示すものである。これらは潜在的に**非常に危険な反応**を、迫力を損ねることなく比較的 safely に実演するのに特に有用であることがわかった。化学の演習実験と実験室での実習は必要限り小さくすべきであるが、可能な限り小さくする必要があるという訳ではない。

### 7.1. 「逆炎」

酸素は燃えるか？逆炎の実験を通じて生じたこの謎は19世紀に広く知られるようになった。(前頁参照)。純酸素と純水素を扱うので、潜在的に危険な反応である。

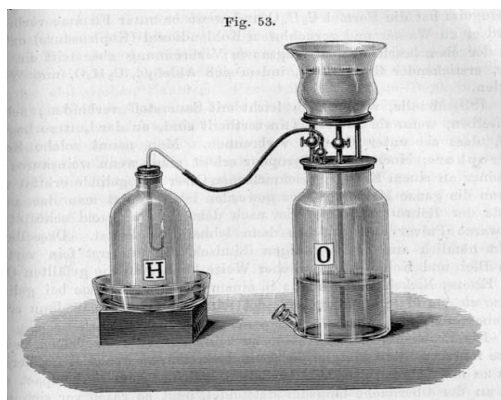
この元素同士は、体積比によっては、非常に危険な混合気体となる。そのため、危険な状態になる前に、反応を開始させる必要がある。純水素雰囲気下で、純酸素を小さな管を通して誘導された酸素が、綺麗な炎を上げて燃えているか



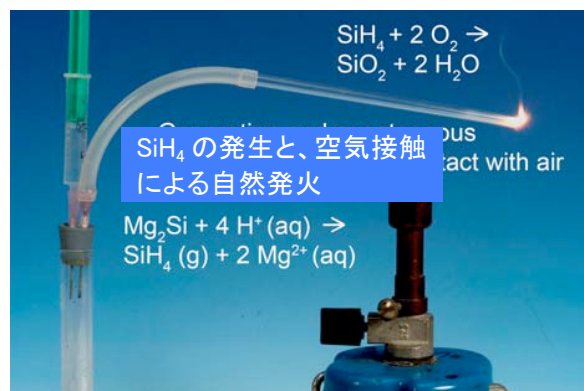
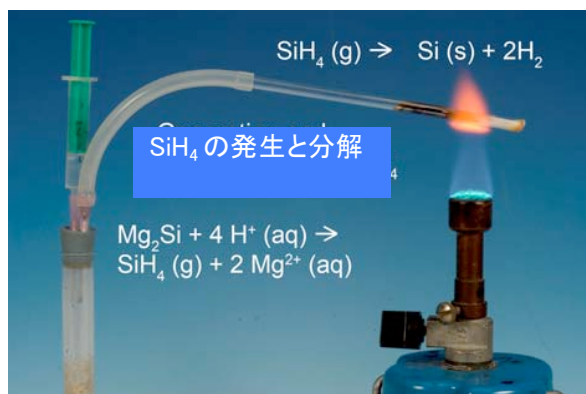
のように見える。この反応は、酸素が過剰になると爆発が起こるため、通常のスケールで行うと危険である。そのために、逆炎実験が化学教員向けの参考書の中から姿を消したのであろう。

上で説明した安価な器具<sup>©</sup>（特製の試験管、ゴム栓、そして注射器）を用いれば、純粋な塩素でも、小さなスチール管(先端を切り落とした針)から誘導することによって逆炎の実験を演示することができる。塩素が純水素中で燃えているように見える。

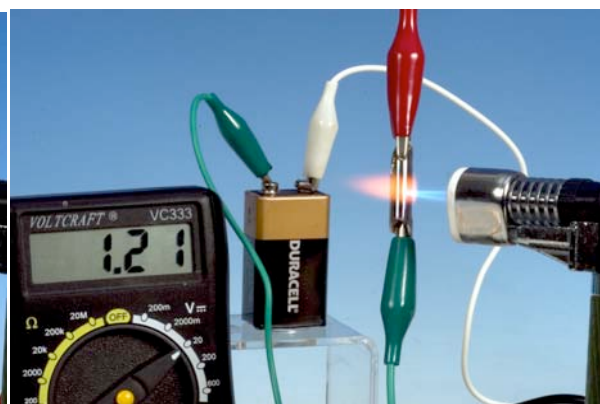
逆炎の反応: 酸素発生装置からの酸素と水素が燃える



## 7.2. 化学的蒸気沈殿(CVD)のモデル実験[12]



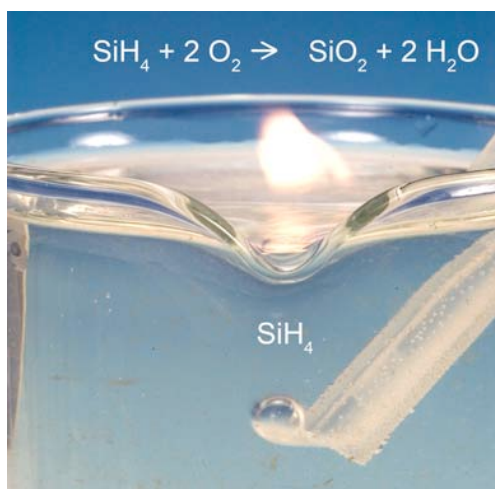
シランは、ケイ化マグネシウムと 1 M塩酸水溶液を、特製の小試験管内で反応させると生成する。この反応が開始する前に、冷却スプレー(HFC=代替フロンを用いる)を使うと、気体発生装置内の空気は簡単にシランと置換できる。発生したシラ



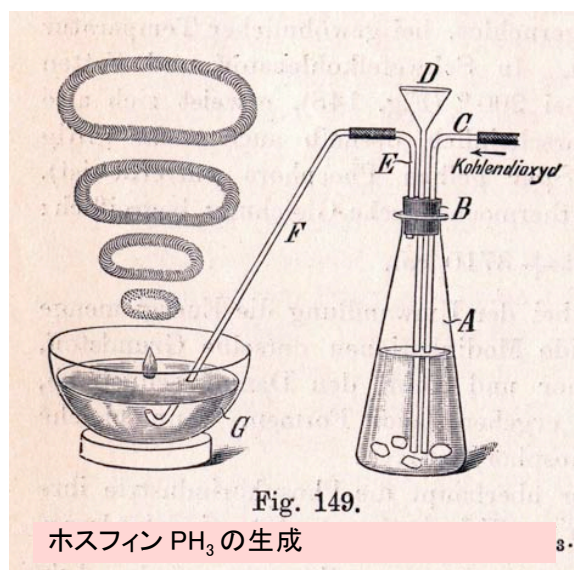
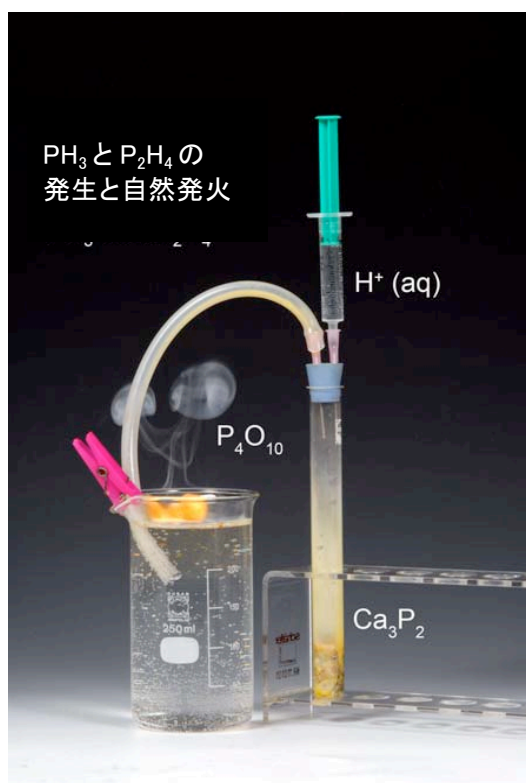


ンは上図に示すように、ガラス管の末端でのみ燃える。ガラス管を熱すると、出て来た気体が内部で分解し、ケイ素の薄膜が現れる。生成した水素は収集でき検出もできる。

微小な炎を用いて、ケイ素薄膜を熱すると、半導体膜の性質(CVD)を示すようになる。その他に、シランの自己発火も素敵な実験である。



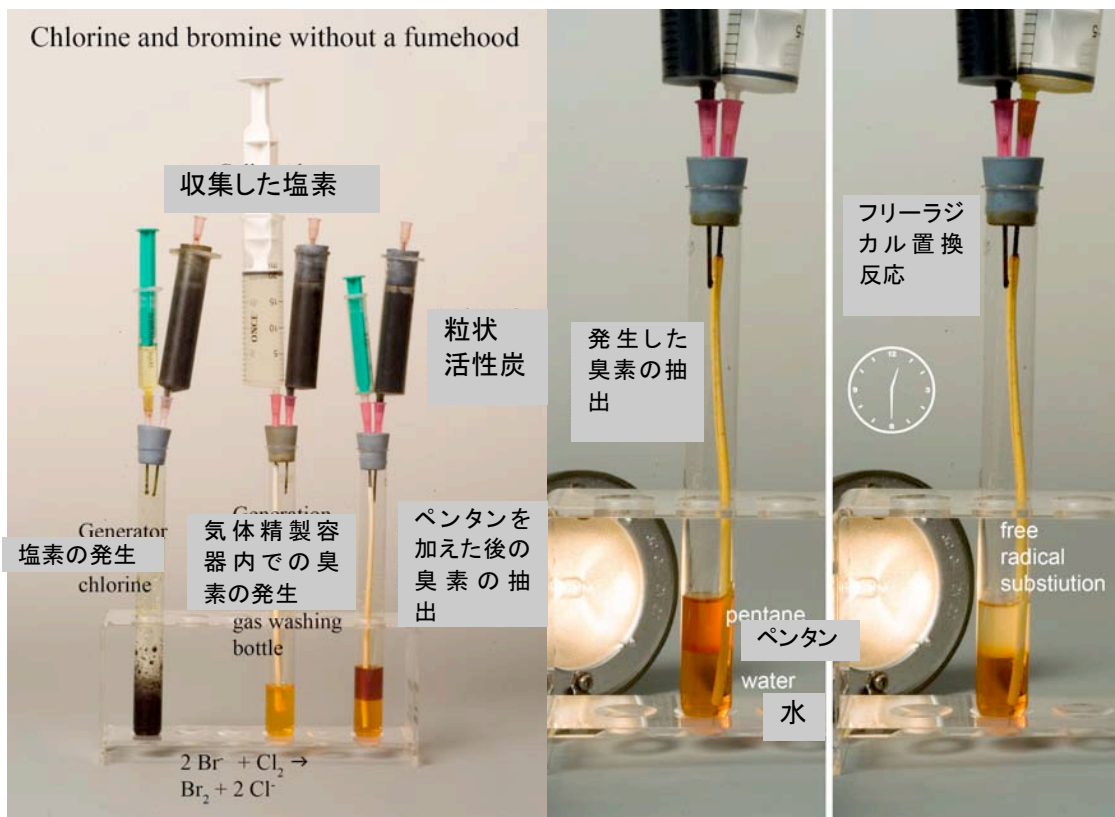
### 7.3. P<sub>2</sub>H<sub>4</sub>の自己発火[13]



Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>を28 %含んだ市販の殺鼠剤を用いると、シランの自己発火と同様、P<sub>2</sub>H<sub>4</sub>が混入した非常に毒性の強いPH<sub>3</sub>の自己発火を演示することができる。小さな気体発生装置内で少量の化学薬品しか使わないため、危険と準備に要する時間を減すことができる。



## 7.4. 排気装置を必要としない塩素、臭素の発生とペンタンとの光反応 [14]



## 7.5. 圧電気装置の発火を用いた20種以上の様々な混合気体の爆発反応 [3, 15]



警告: 上述の写真と絵で示した簡単な実験の説明は、この要旨の範囲においてのみ有用である。これらの潜在的に危険な実験を行う場合には、詳細な説明と安全のためのトラブルシューティングに役立つ参考文献が記載されている原著[1-15]にあたることを強く勧める。

参考文献：

- [1] V. Obendrauf, Low Cost Gas Generation for Small Scale Hands on Experiments, 16<sup>th</sup> ICCE, Budapest, 2000, Book of abstracts
- [2] V. Obendrauf, Experimente mit Gasen im Minimaßstab. ChiuZ 1996, 30 (3) 118
- [3] V. Obendrauf, Die Low-Cost-Lachgas-Kanone. PdN-ChiS 1999, 48 (3), 35
- [4] V. Obendrauf, Gläserne Hochdruckbehälter im Mikromaßstab, PdN-Ch 2000, 49 (5) 4
- [5] V. Obendrauf, Lachgas auf Knopfdruck, Chem.Sch.(Salzbg.) 2001, 16 (2) 4
- [6] V. Obendrauf, Der „Bellende Hund“ m. Mitteln des Alltags, Chem.Sch.(Salzbg.) 2001, 16 (4) 11
- [7] V. Obendrauf, Sichtbarer Kohlenstoff aus unsichtbarem CO<sub>2</sub>, Chem.Sch. (Salzbg.) 2002, 17 (1) 13
- [8] V. Obendrauf, Von der Sahnekapsel zur Modellrakete, Chem.Sch. (Salzbg.) 2003, 18 (3) 12
- [9] V. Obendrauf, 40<sup>th</sup> IUPAC Conference, Beijing 2005, Keynote Lecture, Book of Abstracts 2005
- [10] V. Obendrauf, Trockeneis aus dem Supermarkt, Chem.Sch.(Salzbg.) 2005, 20 (4) 6
- [11] V. Obendrauf, Amorces, Partyknaller, Knallkorken, Pyrotechnisches Spielzeug, PdN-Ch 2003, 52 (5) 22
- [11] V. Obendrauf, Inverse Flammen, „Kann Sauerstoff brennen?“ Chem.Sch.(Salzbg.) 2005, 20 (1) 9
- [12] V. Obendrauf, Chemical Vapour Deposition, Microscale-Experimente mit Silan. PdN-ChiS 2005, 54 (1), 43
- [13] V. Obendrauf, Phosphan – Historische Experimente aktuell Chem.Sch.(Salzbg.) 2006, 21 (2), 11
- [14] V. Obendrauf, Small Scale Hands On zum rotbraunen Gift T+ (Brom). Chem.Sch.(Salzbg.) 2006, 21 (1) 11
- [15] V. Obendrauf, Feuerzeugbenzin im Arbeitstakt. Chem.Sch.(Salzbg.) 2000, 51 (3) 8

This article was reproduced from the Proceedings of the 19th International Conference on Chemical Education, August 12-17, 2006, Seoul, Korea, pp. 10-21, with permission of the Organizer.

この記事は韓国のソウルで 2006 年 8 月 12－17 日に行われた、第 19 回国際化学教育会議の要旨集 pp. 10-21 から、主催者の許可を得て転載している。

#### Additional note by the author

It is an overview what is possible with my special gas generators. It is also a conclusion about the advantages of microscale chemistry. The crucial point is to use the materials described in particular for the equipment. Otherwise the colleagues could be disappointed. Different syringes have different properties. If dangerous or poisonous gases are involved it is necessary to follow the instructions in detail.

#### 著者による追記

これは私の特別な気体発生によってできることを概説したものである。また、マイクロスケール化学のメリットについての 1 つの結論でもある。特に重要な点は、説明した材料を用いることである。そうでなければ、実験は成功しないだろう。異なる注射器には異なる性質がある。もし危険で毒性のある気体が含まれるのであれば、指示に忠実に従うことが必要である。

(日本語訳：吉川宗芳、吉野輝雄)