

分子を作ろう！ ～原子の凹凸モデルの提案～

長崎工業高等学校 山本 文隆

1. はじめに

典型元素において、原子は大きく凸型の金属と非金属に分けられ、非金属はまた□型の不活性ガスとその他の凹型原子に分けられる。凸型は最外殻の原子が離れやすく、陽イオンになりやすい。また、凹型は最外殻に電子を取り込みやすく、陰イオンになりやすい。原子同士の結合法においては、凹凸の組み合わせに凹凹、凹凸、凸凸の3種があり、それぞれ共有結合、イオン結合、金属結合が対応している。ここではまず、これらの結合の凹凸モデルによる説明を行い、最後に共有結合について最外殻の構造までを含めて理解しやすい分子モデルを紹介する。

2. 原子の分類と凹凸モデル

元素の周期表(短周期表)上での電子配置を図1上に、その凹凸モデルとしての分類を図1下に示す。

元素の周期表(短周期)

	1族	2族	3族	4族	5族	6族	7族	0族
1周期	① H							② He
2周期	③ Li	④ Be	⑤ B	⑥ C	⑦ N	⑧ O	⑨ F	⑩ Ne
3周期	⑪ Na	⑫ Mg	⑬ Al	⑭ Si	⑮ P	⑯ S	⑰ Cl	⑱ Ar
4周期	⑲ K	⑳ Ca						

	1族	2族	3族	4族	5族	6族	7族	0族
1周期	① H							② He
2周期	③ Li	④ Be	⑤ B	⑥ C	⑦ N	⑧ O	⑨ F	⑩ Ne
3周期	⑪ Na	⑫ Mg	⑬ Al	⑭ Si	⑮ P	⑯ S	⑰ Cl	⑱ Ar
4周期	⑲ K	⑳ Ca	金 属	凸型原子 (仮称) 非金属	凹型原子 (仮称) 金属	不活性ガス		

図1 メンデレエフの短周期表と原子の凹凸モデル

金属では、最外殻電子(価電子)はその最大許容数に対し十分に少ないので、原子からとれやすい状態に

ある。この意味で金属は凸型に分類する。また、不活性ガスでない非金属では、最外殻電子(価電子)はその最大許容数に近いので、不足分の電子が外から引き込まれやすい状態にある。この意味でこれら原子は凹型に分類する。なお不活性ガスには唯一凹凸がないので□型に分類する。

3. 各型の特徴

形の不安定な凸型原子と凹型原子の一部は、それぞれ電子の出入りによって形を安定にすることができるが、その代償として電気的安定が崩れる。これをイオンと呼ぶ。

イオンとは、電気的性質を持った原子(多原子イオンの場合は分子)と考えればよい。

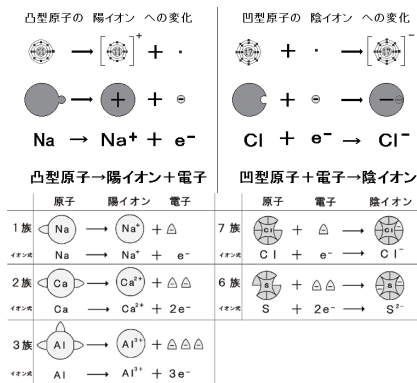


図2 凸型の陽イオン化、凹型の陰イオン化

[補足] 原子は原子核とその周りを回る核外電子からできており、原子核の中には陽子と中性子が含まれる。陽子と電子は電気的性質が+と-で異なるものの、力の大きさは等しい。原子全体としては陽子と電子が同数ずつ入ることで電気的中性を保つ。

原子の種類は、原子核の中に入っている陽子の数で決まり、この数を原子番号と呼ぶ。また、原子の重さは原子核中の陽子と中性子の数(両者の和を質量数という)でほぼ決まり、電子の重さはおよそ無視してよい。これは陽子と中性子がほぼ同じ質量を持つのに対し、電子はその約1/1840しかないからである。従って、イオンも原子も重さはほとんど変わらない。

3.1 凸型原子(仮称)

金属原子のすべてと水素原子。最外殻電子がとれやすく、とれたとき不安定な形は安定になる(凸→□+電子、□+の電子配置は1つ下の周期の□原子と同じ)。

しかし、逆に電気的中性は破れ、とれた電子の数だけ原子核中の陽子が勝って陽イオンとなる。
[補足] 典型元素ではイオン価は凸部がすべてとれたとき、すなわち族数(最外殻電子数)に一致する。

3.2 凹型原子(仮称)

非金属原子の中で不活性ガスを除く原子。水素も含む(水素は凹凸共通)。最外殻電子を満杯にするには電子が一部不足しているため、外から電子が引き込まれやすい状態である。電子が引き込まれたとき、不安定な形は安定になる(凹+電子→□-, □-の電子配置は同一周期の□原子と同じ)。

しかし、逆に電気的中性は破れ、引き込んだ電子の数だけ核外電子が勝って陰イオンとなる。

[補足] 典型元素では、イオン価は凹部がすべて埋まったとき、すなわち最外殻電子最大許容数-族数(最外殻電子数)に一致する。

3.3 □型原子(仮称)

不活性ガス(希ガス)。形は安定。また、電気的性質も安定(電気的中性)である。全てに安定で変化の可能性が少ないので、他との結合すなわち化学反応は起きにくい。また、自ら同士も結びつきにくく通常は気体である。

3.4 例外的原子=水素

水素原子には凹型と凸型の2面性がある。水素の場合、最も内側の軌道K殻が関係し、ここには電子が最大2個しか入れない。従って、電子が1個入ってもすでにその半分は占められてしまう。この場合、凹型と見ても凸型と見てもおかしくはない。凸型の例としては、水素イオン(1価の陽イオン)があり、また、凹型の例としては、水、炭化水素他諸々の分子に共有結合で結びつく水素がある。

[補足] 水素イオンは一般に、1価の陽イオンH⁺として示されるが、現実にはオキシニウムイオンH₃O⁺として存在する。これは水素原子と水分子の配位結合により電子が1個飛び出して+1価の多原子

イオンとなったものであり、その意味では水素原子は凹型の性質しか示していないことになる。

4. 4つの結合

4つの化学結合のうち、共有結合、イオン結合、金属結合の3つは凹凸モデルで説明可能である。また、分子間力(数種ある)は共有結合する原子の種類の違いで生じることなどがある程度までは説明できる。しかし構造上対称、非対称の説明などに難があり、他の手法との併用が望ましい(本モデルは平面的で現実とは異なる)。

次に凹凸モデルで説明可能な3つの結合を示す。

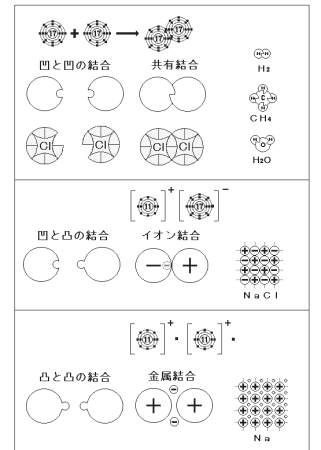


図3 凹凸モデル、3つの結合

4.1 共有結合・凹凹結合(仮称)

互いに不足した電子を補い、共有し合って結びつく結合。それぞれに電子配置が同一周期の□原子と同じ型を取り形の上で安定を保つ。電気的には元々それぞれの原子が電気的中性であるから、合体した全体としても電気的中性である。

1つの準軌道(方位量子数, 磁気量子数に関係)では電子を常に2つずつ(スピン量子数に関係)収容可能である。そして、その2つが対を作って収まると安定する。しかし、またパウリの排他律に従う安定性もあり、他の準軌道が空いているときは、電子は先にバラバラに入る。これは例えば、バスで2人掛けの座席がいくつか空いているとき、あかの他人がわざわざ詰めて座ることはしないことに似ている。

皆バラバラに空いた席を探し、すべての座席に1人ずつ座って落ち着く。その後は仕方なく相席をし、2人掛けとなる(図4)。原子の場合は、最外殻電子8個の軌道に2人掛け座席が4つあると考えればよい。そして、原子番号の増加と共にまず4つの座席に1個ずつ電子が入り込み、その後から対が出来始める。このときできた対を非共有電子対、その時点で未だ対になってない電子を不對電子と呼ぶ(図5に凹凸モデルを示しその中に最外殻電子を示す)。

共有結合の場合は、パウリの排他律
2原子の最外殻(軌道)が重なり合い、
不対電子同士を共有
し合って結びつく。
このときできた対を
共有電子対と呼ぶ。

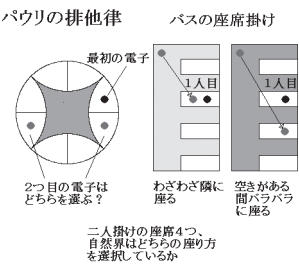


図4 パウリの排他率の説明

原子において一般に
いわれる”結合の手”とは、
電子の不足した部分、あるい
はこの不対電子の数を表す
言葉である。
共有結合は互いの軌道が交
差しているため最も強い結
合となる。モデルにすれば
欠けた部分同士が

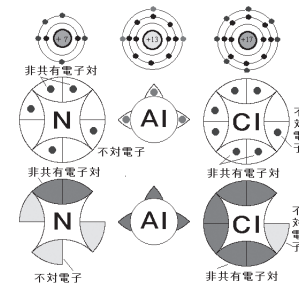


図5 不対電子と非共有電子対

昔なつかしいバックマン式にかみ合う形となり、
強力な力で結びつく。(図3上段、図10、図11)

4.2 イオン結合・凹凸結合(仮称)

凸型原子は、最外殻電子(価電子)を放して陽イオンになり、凹型原子は最外殻に電子を取り込み陰イオンになる。そして両者は純粋に電気的正負の力で引き合う。価数が同じときは、例えばNaCl(塩化ナトリウム)のように陽イオンの周りに陰イオン、陰イオンの周りに陽イオンと互い違いに整列する。価数が異なる時も、全体で電気的中性を保つように、そして+-の力関係が立体的に釣り合うように配列している。

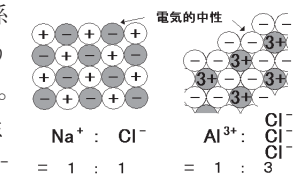


図6 イオン結合

例えば、塩化アルミニウムではAl³⁺とCl⁻が1:3の割合で配列し電気的中性を保つ。

4.3 金属結合・凸凸結合(仮称)

凸型原子の最外殻電子が取れ、取れた電子と残された陽イオンが電氣的に結びつく結合。電子の電氣的力と1価の陰イオンの電氣的力はほぼ同じであるから、この引き合いは力の大きさにおいてイオン結合に近い(図7右)。ただし、次の点は大きく異なる。

陰イオンはほぼ原子の大きさだが、電子はそれより十分に小さい。そのため内部をわりと自由に通り抜けられる。この電子を一般に**自由電子**と呼ぶ。金属結合は、自由電子が金属イオンを引きつけて結びつく結合である(図3下段、図7右上)。この結合では、仮に外から力を加えて変形しても、変形した部分を補って電気的中性を保つように、自由電子が素早く入り込む。その結果、変形前とほぼ変わらない状態に戻るため、金属は**展性・延性**に優れている(図8左上)。

また、自由電子のために熱伝導性や電気伝導性が良い。熱伝導性は同じ運動量なら小さな質量ほど激しく動くことから説明され(図8左下)、電気伝導性は自由電子が金属イオンの中をすり抜け可能なことから説明される。しかし、自由電子も金属結合の一面を担っている以上、そう素早くはすり抜けられない。仮定の電流は非常に早く流れるが、その原因となる電子の動きは人の歩く速さ程度である(図8右)。

[補足] なお電流が速く伝わる理由は、空のホースと一度使って中に水が残っているホースで水道水を流したとき、水の飛び出す時間が異なることから理解できる。水分子の移動速度は遅いが、水を伝える水圧は力であるから光速と考えていい(図8右)。

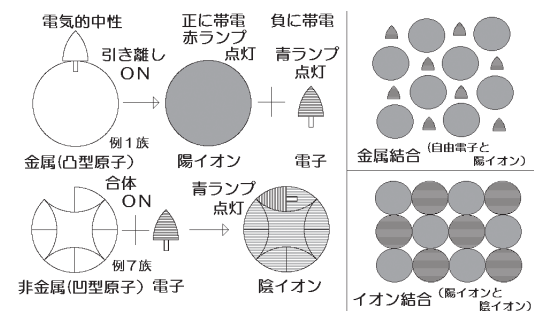


図7 金属結合とイオン結合の類似性を示すモデル

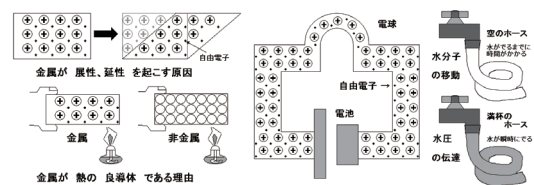


図8 金属結合の特徴

5. 分子モデル

凹型原子モデルをパーツにして切り取り、これを組み合わせることで平面的な分子モデルの作成が可能である(図9)。パーツは水素以外では、まず一定

半径の円を切り取り、その4方に同半径の円の部分的重なり(弧角90°)を描く。これが4つの座席に当たる。また、この座席を弧の中央を通る法線で2等分すると、最外殻電子最大許容数分の電子収納庫が確保出来る。後は各原子の種類に合わせパウリの排他律を考慮しながら不要な収納庫を切り取ればよい。最外殻電子最大許容数-族数 より例えば、

- 塩素 8 - 7 = 1 個切り取り
- 酸素 8 - 6 = 2 個切り取り
- 窒素 8 - 5 = 3 個切り取り
- 炭素 8 - 4 = 4 個切り取り

また、水素の場合は円を少し小さく切り取り、他の元素の座席の大きさに合わせて2人掛け座席を1つ描き、2つに割って電子収納庫を作る。

後はこれらを組み合わせて図10、11のように、各分子を作ればよい。ただしこれらは単結合の場合で、原子によっては2重結合、3重結合のパーツも必要である。これを図9の中、下段に示す。(本パーツでは2重、3重結合においてσ、π結合の区別は出来ない)

- 酸素 2重結合用1種、
- 窒素 2重結合用1種、3重結合用1種
- 炭素 2重結合用2種(2, 1, 1)(2, 2) 3重結合用1種

なお、炭素の2重結合用(2, 1, 1)では3つの座席(1つは2重)を弧角120度で作ると、ベンゼン、ナフタレン等の分子作成も可能となる。

また、水素は他の原子の半径に対し十分小さくないと、炭化水素の枝分かれ等で重なりがでてうまくいかない。

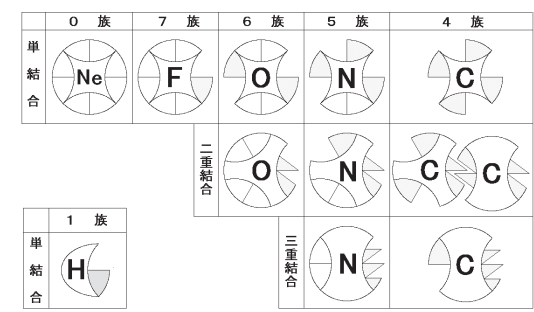


図9 共有結合凹型原子モデルのパーツ

6. 利点と欠点

この平面モデルの利点は、すべてをかみ合わせた時点で、最外殻電子が満杯に満たされることを視覚的、直感的に捉えられることであり、電子式の理解

に優位である。また、電子配置は不活性ガスと同じになることも確認できる。(図10)。

しかし、このような平面的なモデルは逆に生徒に強いイメージを与え、立体的量子的描像を遠のかせるという不安がある。しかし、これまでの経験では、並行して量子モデルを説明すれば、本質的な部分が先に理解され、効果は逆に上がるようである。

なお、現在化学教育は長周期表に移行しており短周期表と長周期表の混乱を避ける工夫は必要である。

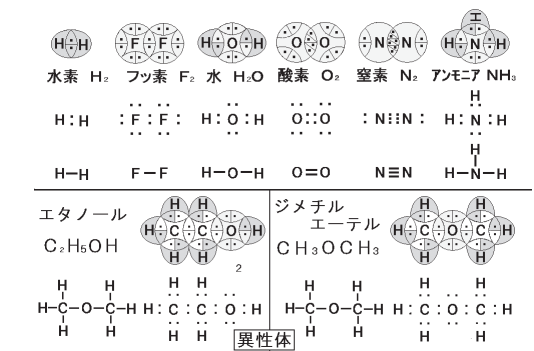


図10 分子モデルと電子式、構造式

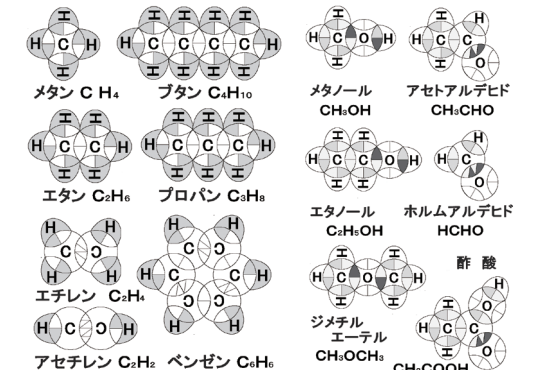


図11 分子モデルのいろいろ(有機化合物)

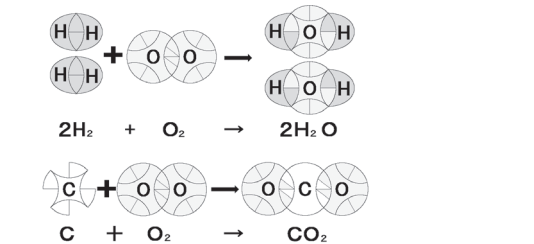


図12 化学反応式 質量保存の法則の拡張
化学反応前後で各種原子は生成も消費もしない。ただその組み合わせを替えるのみ。