

少し話が逸れましたが、これで衣類の話は終わりです。
服の素材としてよく使われているポリエステルと綿の構造がわかりましたね。

5 | 電池の化学

5 章の最後のトピックは「電池」です。
電池にも化学式が登場するんですよ。

普段、実際に私たちが目にすることが多い電池は、乾電池だと思えます。

リビングや寝室を見渡してみると、掛け時計、テレビやエアコンのリモコンなどに乾電池が使われていますよね。

リビングや寝室に限った話ではありませんが、スマートフォンやノートパソコンにも、乾電池とは形が違いますが電池が使われています。

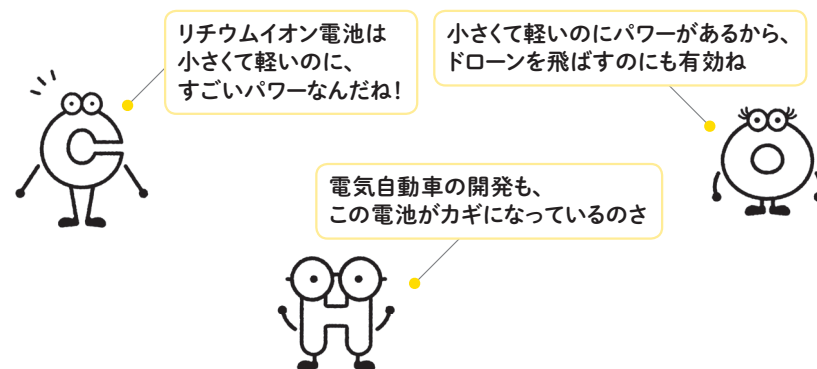
さて、2019年のノーベル化学賞は、ジョン・グッドイナフ先生、スタンリー・ウィッティンガム先生、そして吉野彰先生に授与されました。

受賞理由は「リチウムイオン電池」の開発でした。

リチウムイオン電池は、ノーベル賞を受賞する理由になるぐらい、特別な電池なんですよ。

この電池は、小さくて軽いのに、大きなパワーをもつものなんです。このことにより、電池で動く製品を小型化して持ち運ぶことが可能になったわけです。

携帯電話やスマートフォン、そしてノートパソコンが普及したのは、リチウムイオン電池のおかげといっても過言ではありません。



リチウムイオン電池について説明する前に、まずは、電池がどういうものなのかを見ていきましょう。

初めて産業的に利用されたといわれている、「ダニエル電池」を例にして説明しますね。

この電池の名前は、発明者の名前（ジョン・フレデリック・ダニエル先生）に由来しています。

一般に電池は、金属を使って化学反応を起こし、電気を起こしています。

ダニエル電池では、「亜鉛」と「銅」の2種類の金属を使います。

亜鉛の元素記号は「Zn」で、銅の元素記号は「Cu」です。

電池の仕組みをざっくりと説明すると、片方の金属からもう一方の金属に向かって「電子」が動くということです。

この「電子」が動くというのが、電気が流れるということなんです。

じつは、この2つは完全に同じ意味ではないのですが、それは後ほど説明しますね。

さて、「電子」という用語が初めて登場しました。

電子とは、なんなのでしょう？

これを説明するために、塩……つまりNaClを例に挙げますね。

NaClはNaとClではなく、Na⁺とCl⁻でしたよね（28ページ）。

まずはNa⁺（ナトリウムイオン）について、電子を含めて考えてみましょう。

じつは、Naから電子が1つ飛び出したものが、Na⁺だったのです。式で表すと、次のようになります。



「e⁻」で表したものが、電子です。

マイナスの電気を帯びた非常に小さい粒（粒子といいます）です。Na⁺もちろん小さいのですが、それよりもはるかに小さいのです。式の右側のプラスとマイナスを数えてみると、Na⁺の+1とe⁻の-1、これらの値を足すと0になります。

式の左側は電気を帯びていないNaなので（プラスでもマイナスでもなく0）、式の左側と右側は電氣的に釣り合っていますよね。

逆にCl⁻（塩化物イオン）は、Clが電子を1つ受け取ったものなんです。

下に式を示しました。



今度は式の左側と右側がマイナス1で釣り合っていますね。

このように、イオンについて考える際には、電子の存在を考慮する必要があります。

前に述べたように、Naはプラスの電気を帯びやすく、Clはマイナスの電気を帯びやすいのでしたね（30ページ）。

電子の存在を含めて説明すると、Naは電子を放出しやすいためプラスの電気を帯びやすく、Clは電子を受け取りやすいためマイナスの電気を帯びやすかったというわけです。

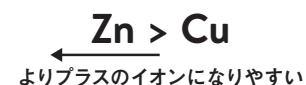
それでは、ダニエル電池に使われている亜鉛（Zn）と銅（Cu）の話に戻しましょう。

ZnとCuは金属ですが、金属の原子は基本的にはプラスのイオンになりやすい傾向にあります。

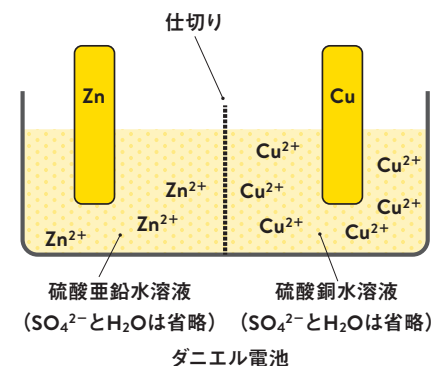
つまり、金属は電子を放出しやすいのです。

ZnもCuもプラスのイオンになりやすいのですが、どちらがよりなりやすいのかが、決まっています。

ZnはCuよりもプラスのイオンになりやすいのです。



このことを踏まえて、ダニエル電池を見ていきましょう。



ZnとCuのかたまりが液体に浸かっています。

電池に使われるこれらの金属を、一般に「電極」と呼びます。

Znの電極は「硫酸亜鉛」を水に溶かした液体（硫酸亜鉛水溶液）に、Cuの電極は「硫酸銅」を水に溶かした液体（硫酸銅水溶液）に浸かっています。

硫酸亜鉛の化学式は「ZnSO₄」、硫酸銅は「CuSO₄」です。

水の中では、 ZnSO_4 は Zn^{2+} と SO_4^{2-} に、 CuSO_4 は Cu^{2+} と SO_4^{2-} に分かれています。

Zn^{2+} （亜鉛イオン）と Cu^{2+} （銅イオン）は、歯のところで登場した Ca^{2+} （カルシウムイオン、83ページ）のように、2+と表記されています。

Na^+ と比べると、2倍のプラスの電気を帯びているという意味です。

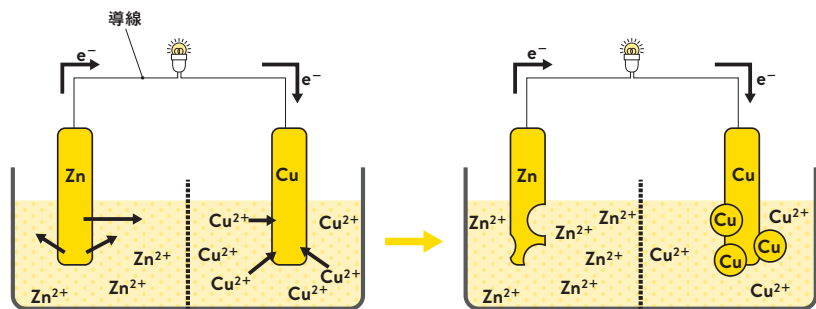
これらの電極に、次の図のように導線と豆電球をセッティングすると、Znの電極から導線に電子が放出され、Cuの電極に向かっていきます。

このときの反応を表した式を下に示しました。

Naが Na^+ になる式と比べてみると、2倍の電子が飛び出しています。



先ほど述べたように、電子が動くということは、電気が流れているということなので、導線につながれている豆電球の明かりがつかましたね。



Znの電極から電子が放出されるのと同時に、Znが Zn^{2+} （亜鉛イオン）になり、水の中に溶け出します。

右の図では、電極のZnが減り、水の中の Zn^{2+} が増えていますね。

その一方で、Cuの電極からは電子が出ていきません。

先ほど述べたとおり、Znのほうが電子を放出しやすいからです。

Znの電極から出ていった電子は、Cuの電極に向かっていくわけですが、Cuは電子を受け取ることはできません（Cuはプラスになりやすいため）。

あらかじめ水の中に溶かしておいた、Cuが電子を失っている状態である Cu^{2+} （銅イオン）が電子を受け取ります。



右の図を見てみると、電極のCuが増え、水の中の Cu^{2+} が減ったことがわかりますね。

以上の2つの化学反応によって導線に電子が流れる仕組みをつくり、導線の途中にある豆電球を光らせたわけです。

要するに、化学反応で発生したエネルギーを、電気エネルギーに変えたのです。

ちなみに、2種類の水溶液は仕切りで分けられていて、硫酸亜鉛水溶液と硫酸銅水溶液が簡単には混ざりません（仕切りは完全に水溶液の中のイオンを通さないというわけではありません）。

この仕切りがないと、水溶液の中にある Cu^{2+} はZnの電極に容易に到達し、Znから直接、電子をもらってしまいます（ $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ ）。

そのため、導線に電子が流れなくなってしまいます。

さて、ダニエル電池が開発された後も、さまざまな金属で試され、いろいろな電池が開発されてきました。

例えば、マンガン電池（マンガンMn、亜鉛Znを含む）やニカド電池（電極にニッケルNi、カドミウムCdを含む）、鉛蓄電池（鉛Pbを含む）などです。

電極に使っている金属は異なりますが、基本的な原理はすべて同じです。

なお、ニカド電池と鉛蓄電池は「充電」が可能です。

ニカド電池は、リチウムイオン電池が開発される前に普及していたんですよ。

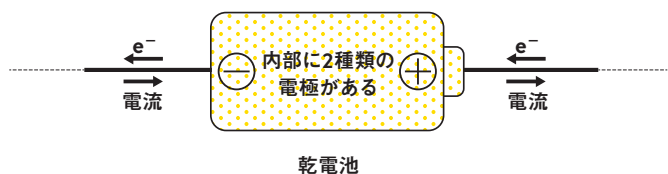
普段目にすることが多い「乾電池」は、Mnを含んでいるマンガン乾電池や、アルカリ（マンガン）乾電池ですね。

乾電池内部の構造の詳細は、ダニエル電池とは違うのですが、原理は同じです。

乾電池の内部に2種類の電極があり、いわゆるマイナス側から電子が放出されて、プラス側に流れていきます。

注意してほしいのは、ややこしい話ではありますが、電流の流れ（電流）は電子の動く方向とは逆向きであるということです。

これは、電子のことがまだよくわかっていなかったときに、電流がプラスからマイナスに流れると決めた（定義した）からなんですよ。

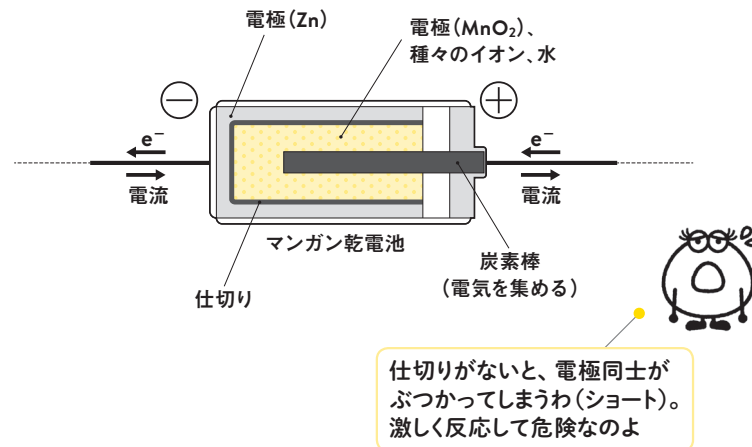


乾電池の一例として、マンガン乾電池の内部構造を覗いてみましょう。

次の図は、細かい部分は省略して単純にしたマンガン乾電池です。

それでも少々複雑ですが、たしかに2種類の電極がダニエル電池のときとは違う形でとりつけられていることがわかりますね。

ちなみに、この乾電池で使われているのは亜鉛 (Zn) と、二酸化マンガン (MnO_2) という Mn を含む電極です。



続いて、「充電」の話に移りたいと思います。

ここまでは電池を消費する「放電」の説明でしたが、充電の際はどうのような化学反応が起こっているのでしょうか？

実際に充電電池として使うことはできないのですが、わかりやすいのでダニエル電池を例にして充電の原理を説明しますね。

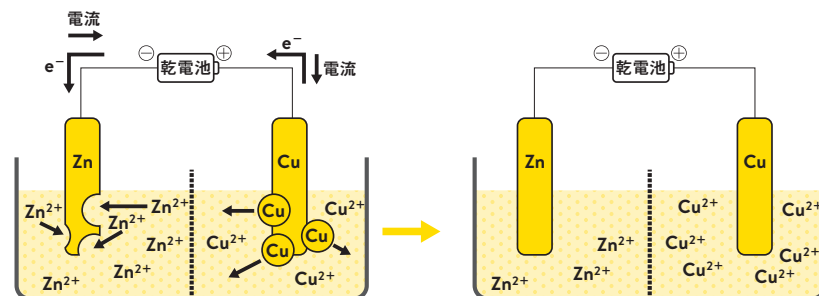
Znの電極がだいぶ消耗している状態の図を下に示しました。

乾電池を使って充電していますね。

乾電池のマイナス側から電子が出て、プラス側から電子が入っています。

ダニエル電池の放電とは、電子の動きが逆になりますね。

乾電池の力によって、放電のときとは逆向きの化学反応が起こるのです。



Znの電極のほうでは、次の式で示す反応が起こっています。
水溶液の中の Zn^{2+} が電子と反応し、Znが電極にくっつきます。



一方、Cuの電極のほうでは、電極のCuが Cu^{2+} になって水溶液の中に溶け出し、電極からCuがとれていきます。



これらの反応は、放電のときのように自然には起こらず、乾電池を使うことによって初めて起こったわけです。

別の電池を使って（もしくはコンセントにつないで）、放電時とは逆の反応を起こすことが充電だったんですね！

なお、このようにダニエル電池を充電することはできるのですが、硫酸銅水溶液中の Cu^{2+} が徐々に仕切りを越えて左側に向かい、電子と反応して発生したCuがZnの電極上にくっついてしまう可能性があります（ $\text{Cu}^{2+} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$ ）。

そのため、充電してももとの状態に戻るとは言い難く、上で述べたとおり、実際に充電電池として使うことができないのです。

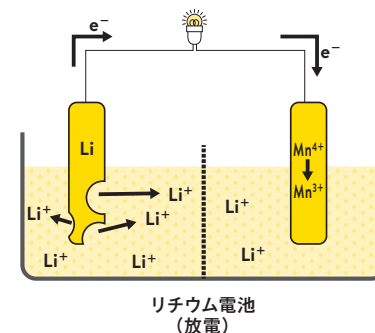
6 リチウム電池とリチウムイオン電池 Li、 Li^{+}

前

節では、電池の放電と充電を中心にお話ししました。

ここでは、前節の冒頭で紹介したリチウムイオン電池の話題に移りたいのですが、その前に「リチウム電池」の説明をしておきます。

この電池は、リチウムイオン電池より以前に開発されたものです。名前にイオンが入っていませんが、どういうものなのでしょう？下に、リチウム電池の図を示しました。



リチウム電池の左側の電極は、その名のとおり「リチウム」という金属でできていて、放電の際はリチウムの電極から電子が放出されます。

リチウムの元素記号は「Li」で、電子を1つ放出してリチウムイオン「 Li^{+} 」になります。

ちなみに、Liは水と化学反応を起こしてしまうので、電池内部の液体は有機溶媒（油系の液体）を使っています。



放出された電子は反対側の電極に向かいます。

反対側の電極には Mn^{4+} と書かれています（実際は MnO_2 の形で存在）。

Mnは先ほども登場しましたが、「マンガン」という金属の元素記号です。

導線から入ってきた電子を1つ受け取って、 Mn^{4+} から Mn^{3+} になります。

電子を1つ取り込んだので、マンガンの+が1減少していますね。



ここでは式を簡単に書いているよ。
実際は $\text{MnO}_2 + \text{e}^{-} + \text{Li}^{+} \rightarrow \text{LiMnO}_2$
と表され、右側の電極に Li^{+} が取り込まれているのさ



ちなみに、電子を受け取る右側の電極には、他にもさまざまな種類があります。

例えば、 FeS 、 CuO 、 $(\text{CF})_n$ 、 SOCl_2 などが使われています。

金属が含まれている電極は、 FeS （硫化鉄、Feは鉄）、 CuO （酸化銅）です。

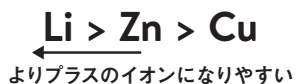
残りの $(\text{CF})_n$ （フッ化黒鉛）、 SOCl_2 （塩化チオニル）には金属が含まれていません。

このことから、リチウム電池はダニエル電池とは少し異なる電池のような感じがしますが、一方の電極で化学反応が起きて電子が発生し、もう一方の電極に電子が到達して化学反応が起きるという一連の流れは共通しています。

続いて、リチウム電池の長所についてお話ししましょう。

一方の電極にLiを使うと大きなメリットがあるんですよ。

なぜなら、Liはプラスのイオンにとってもなりやすい金属だからです。先ほど登場したZnよりも、プラスのイオンになりやすいのです。



リチウム電池は、それまでの電池と比較して、とても大きいパワーをもっています。

これは、Liがイオンになりやすいことが要因です。

つまり、電極のLiが Li^{+} としてどんどん溶けて、その分の電子が電極から放出されるわけです。

パワーがすごく大きいので、リチウム電池はコイン型の電池のように小型化しても使うことができます（円筒型のものもあります）。

コイン型電池の内部構造の詳細は先ほどの図とは異なりますが、原理や電極は同じものです。

また、リチウムは最も軽い金属であるため、電池を軽量化できるというメリットもあります。

さて、先ほど充電について説明しましたが、電池は充電できるかどうか大事なポイントですよ。

身近な例でいえば、スマートフォンを使っている人は、日常的に充電していることと思います。

リチウム電池はすごいパワーをもち、軽くて小さい優れた電池なのですが、充電電池として使うことはできません。

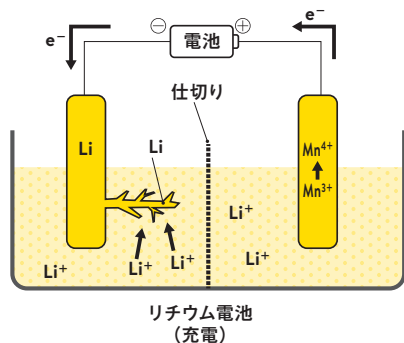
これはいったいどういうことなのか、リチウム電池の充電について見ていきましょう。

充電とは、放電のときとは逆の反応が起こるんですね。

充電を行なうと、液体の中の Li^{+} が電子を受け取り、Liになります ($\text{Li}^{+} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Li}$)。

生じたLiが左側の電極にくっついていくわけですが、そのときに電極の表面がデコボコした状態になってしまいます。

放電と充電を繰り返していくうちに、そのデコボコが大きくなっていき、イメージとしては下図のような状態になります。



樹状の（木の枝のような）突起が伸びていき、仕切りを突き破ってもう一方の電極とぶつかってしまうのです。

この突起はもちろんLiでできているので、電極の間で直接、電流がたくさん流れてしまいます。

その結果、電池内部の温度が上昇して、爆発の恐れもあり非常に危険です。

このことが大きな問題となり、リチウム電池を充電電池として使うことは難しいのです。

では、本題のリチウムイオン電池は、どのような電池なのでしょうか？

冒頭でお話しましたが、この電池もリチウム電池と同様に小型化してもパワーがあり、しかも軽いのです。

これだけならリチウム電池の特徴と同様ですが、リチウムイオン電池には充電が可能であるという大きなメリットがあるのです。

この電池を表した図を次に示しました。

左側の電極では炭素が層状になっています。

こちらの電極をAとしておきましょう。

右側の電極は「コバルト酸リチウム」でできています。

「コバルト」は金属の名称で、元素記号は「Co」です。

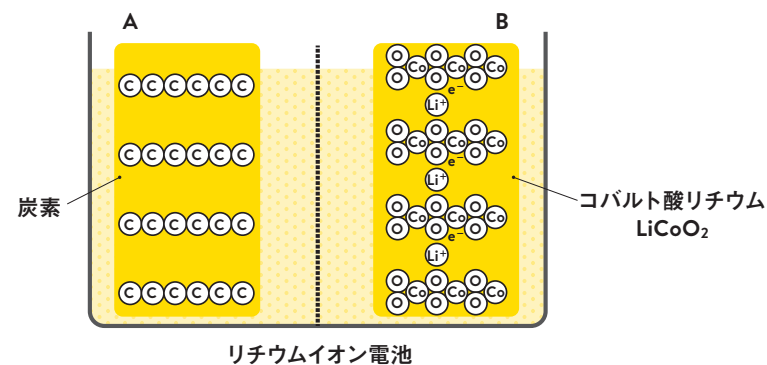
図を見てみると、Co以外にはO（酸素）とLi⁺、そしてe⁻（電子）が存在していますね。

こちら層状になっており、Li⁺は層の間に存在しています。

こちらの電極はBとしておきましょう。

2つの電極がある点はこれまでと同じですが、電極の中身の様子がなんだか違いますね。

ちなみに、リチウム電池と同様、電池内部の液体は有機溶媒（油系の液体）を使っています。



それでは、もう少し詳しく見ていきましょう。

この電池については、充電するところから説明しますね。

上図のリチウムイオン電池を充電するために、これまで通り乾電池をセッティングします。

そのときの様子を次に示しました。

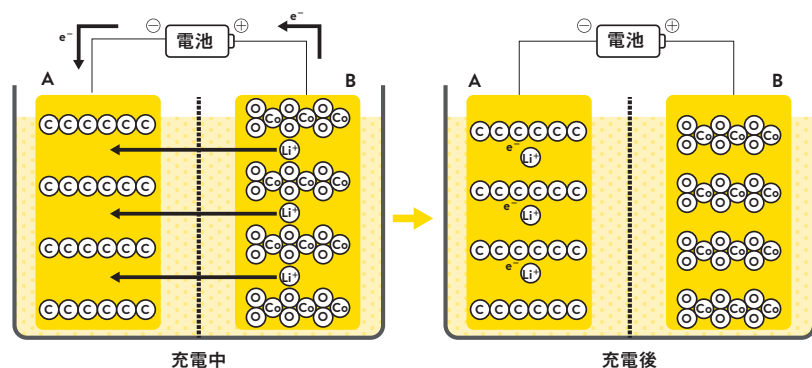
乾電池のマイナス側から電子が出て、プラス側に電子が入ってくる流れになっていますが、その過程で、電極Bにいた電子は、導線を通して電極Aに移動していきます。

移動後、電極Aでは電子が炭素の層の近くに存在しています。

また、電極Bにいた Li^+ は、電池内部を通して電極Aに移動します。

層状になっている炭素の間に Li^+ が入っていますね。

これで充電が完了しました。



続いて、放電時の説明に移ります。

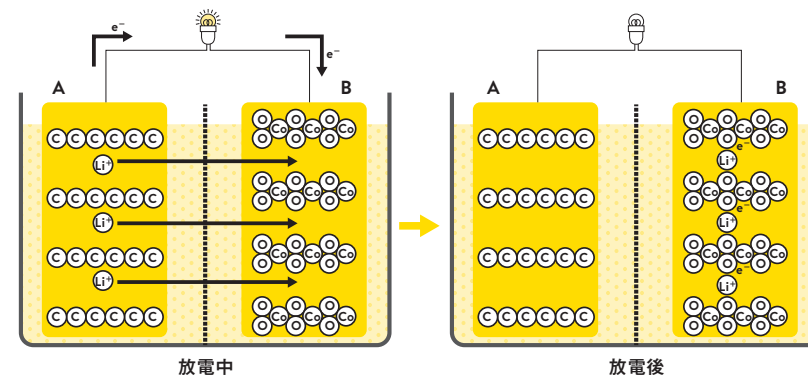
導線に豆電球をつなぐと、充電のときとは逆のことが起こります。

電極Aにいた電子は導線を通して電極Bに向かうので、導線につながれている豆電球の明かりがつかます。

Li^+ は、電池内部を通して電極Bに移動します。

こうして、電子も Li^+ も電極Bに入り、もとの状態に戻りました。

充電中も放電中も、導線に電子が流れるとともに Li^+ が電極から電極に移動していますね。



ダニエル電池やリチウム電池では、電極の金属が溶け出したり、電極に金属がくっついたりしていました。

リチウムイオン電池の電極は、そのような大きな変化が電極に起こるわけではなく、上図のとおり電極の内部でのみ変化が起こるようにつくられているのです。

リチウムイオン電池は、このおかげで効率よく充電、および放電ができるようになりました。

さて、リチウム電池は、 Li が電極に樹状にくっついて危険なため、充電電池として使うことが難しいという話でした。

リチウムイオン電池は、充電の際、電極に Li がくっついていかないように (Li^+ が Li にならないように) つくられているわけですから、安全性が高まっています。

そのため、リチウムイオン電池は充電電池として使うことができます。

