

キャパシタフォーラム

キャパシタ基礎講座

木下 繁則

第3回(2015-12-18)

EDLCとは？

参考テキスト: ECaSS フォーラム会報誌第3号
(電気二重層キャパシタ解説シリーズ(第2回))

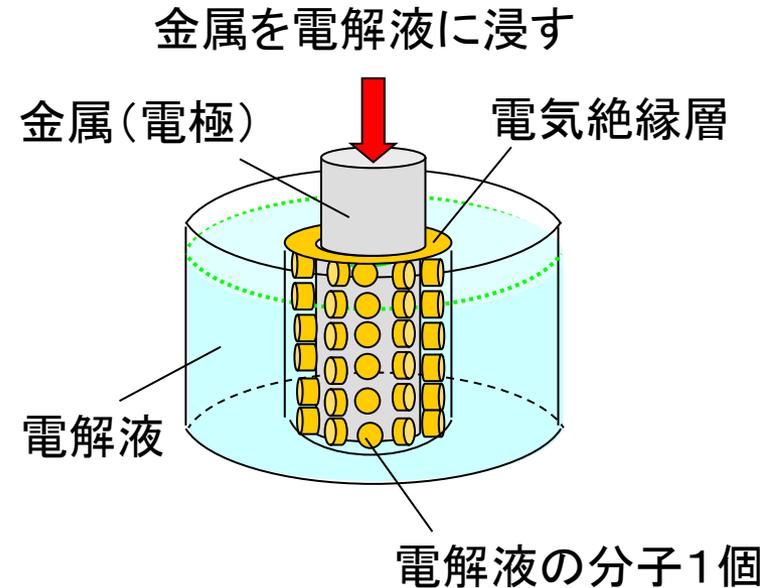
1. 電気二重層の発見
2. 電気二重層キャパシタの基本的構造
3. 電気イオン
4. 電気二重層キャパシタが電気を蓄える原理

キャパシタ基礎講座シリーズ

| 基礎講座 | 基礎講座の該当フォーラム | 基礎講座のテーマ | 対応解説シリーズ | 備考 |
|------|--------------|----------------------------------|----------------|----|
| | | 主な講座内容 | 掲載会報誌号（発行年） | |
| 1回 | 10月度フォーラム | 基礎講座 プロローグ | | |
| | 2015年10月16日 | 電気と電気エネルギーの復習 | | |
| 2回 | 11月度フォーラム | 電気を貯める | 第1回 | |
| | 2015年11月13日 | 電池、電気を貯める、充電・放電 | 2号(2007年) | |
| 3回 | 12月度フォーラム | EDLCとは？ | 第2回 | |
| | 2015年12月18日 | 電気二重層キャパシタの蓄電原理 | 3号(2008年) | |
| 4回 | 1月度フォーラム | EDLCの放電 | 第3回 | |
| | 2016年1月18日 | EDLCの放電/充電、オームの法則、クーロンの法則) | 4号(2009年) | |
| 5回 | 2月度フォーラム | EDLCの内部抵抗、 ΩF (オームファラッド) | 第4回 | |
| | 2016年2月19日 | 内部抵抗の発生、EDLCの ΩF | 5号(2010年) | |
| 6回 | 3月度フォーラム | セパレータ | 第5回 | |
| | 日程未定 | EDLCのセパレータ | 6号(2011年) | |
| 7回 | | EDLCの電解液 | 第6回 | |
| | | EDLCの電解液とは | 7号(2012年) | |
| 8回 | | EDLCの構造・形状 | 第7回 | |
| | | | 8号(2013年) | |
| 9回 | 定例フォーラム | EDLCの特性(1) | 第8回 | |
| | | 等価回路、充電/放電特性、電圧特性 | 9号(2014年) | |
| 10回 | で順次 | EDLCの特性(2) | 第9回 | |
| | | 温度特性、電圧依存性、劣化 | 10号(2015年) | |
| 11回 | | EDLCの特性(3) | 第10回 | |
| | | 残存余命(予定) | 11号(2016年)(予定) | |
| 12回 | | 未定 | 12号(未定) | |

電気二重層現象の発見

1878年 ドイツの
Helmholtz氏によって
発見された現象



分子1個の大きさ: ナノメートルレベル

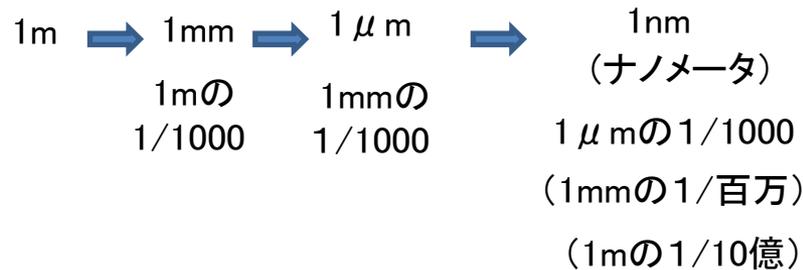


図1 電気絶縁層発生 の原理

EDLCの電気二重層発生原理

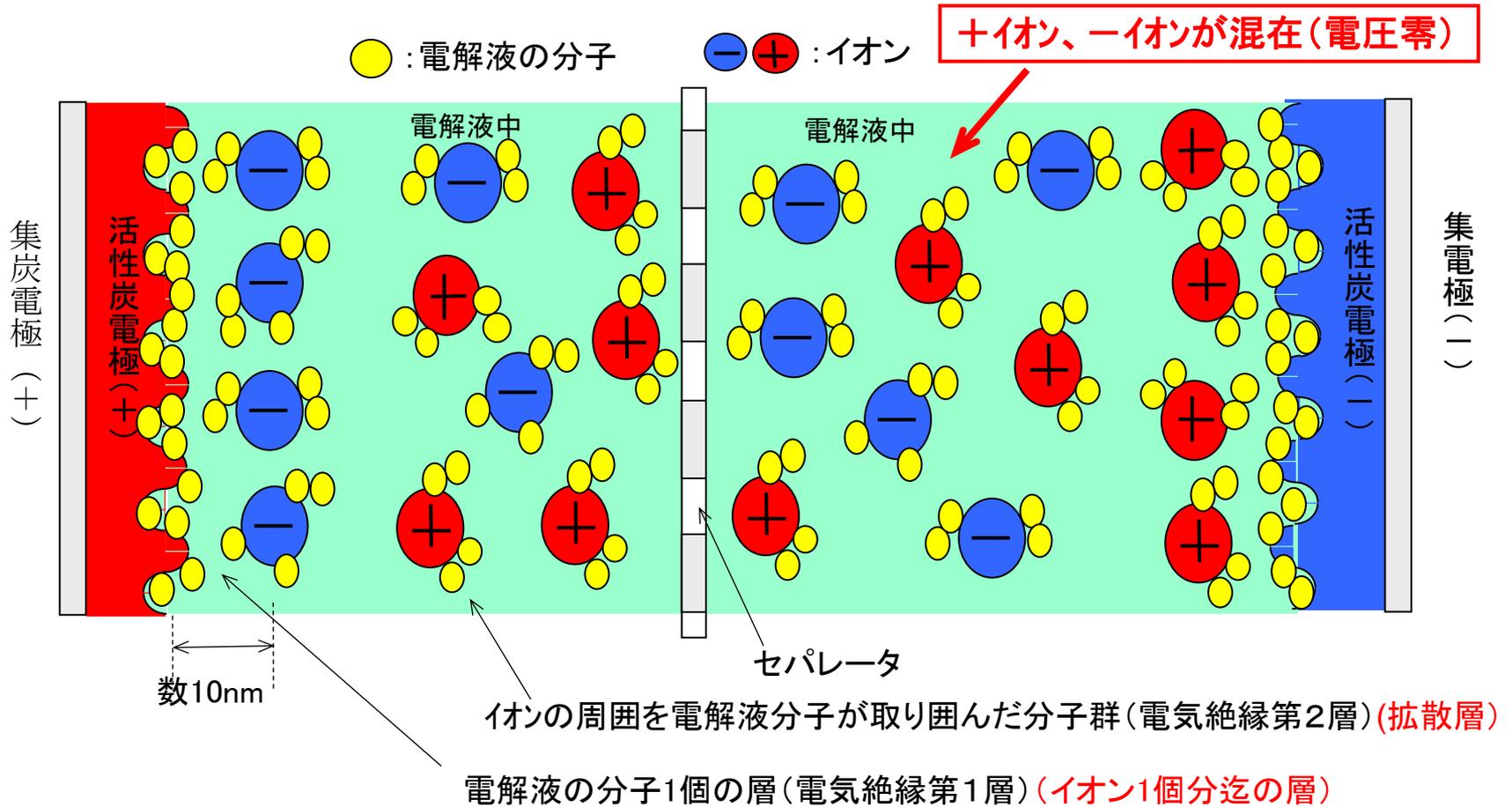
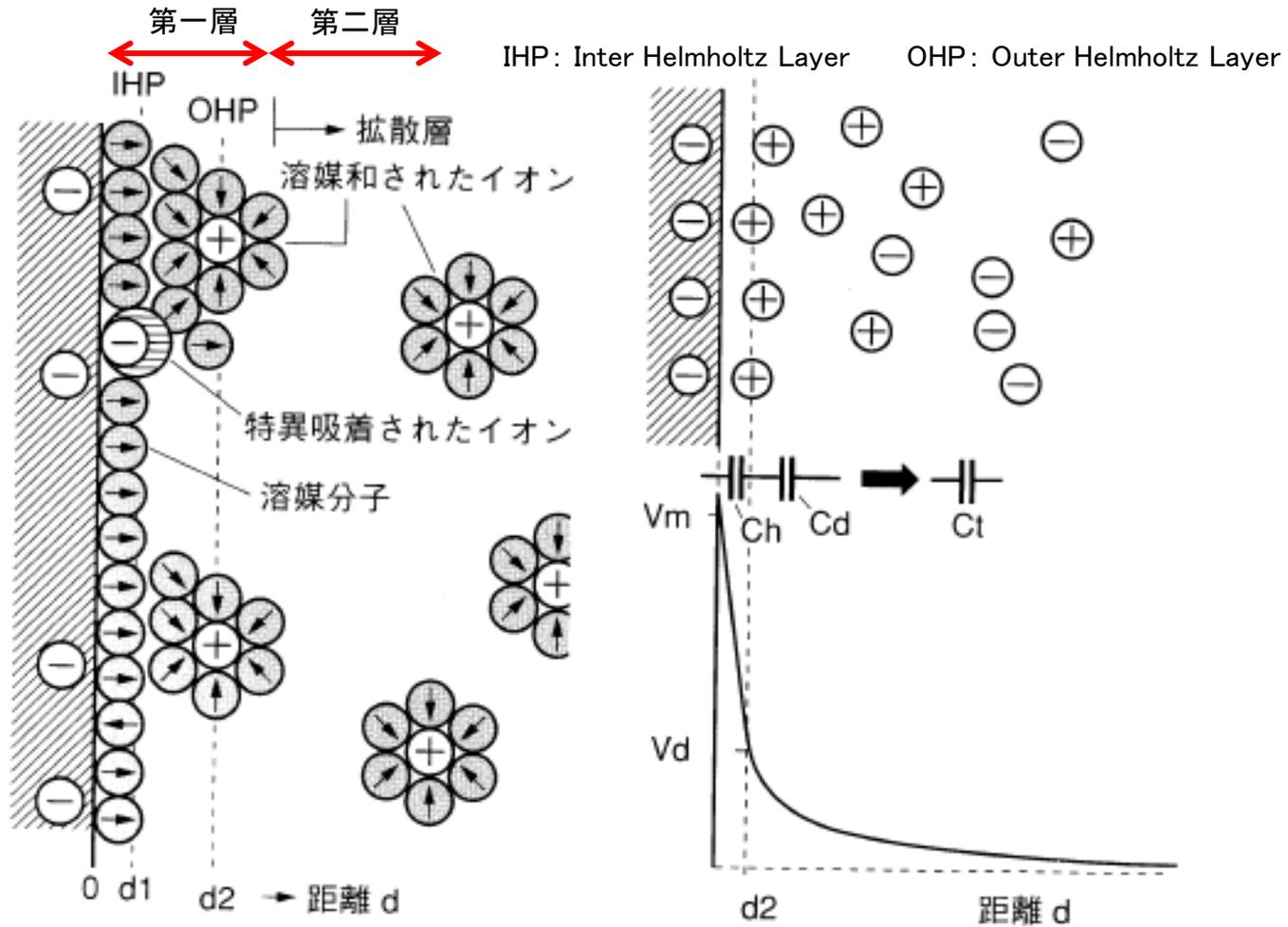


図2(一部加筆)

EDLCの電気二重層説明図



EDLCの電解液中のイオンの状態

●: 電解液の分子 ●- ●+ : イオン

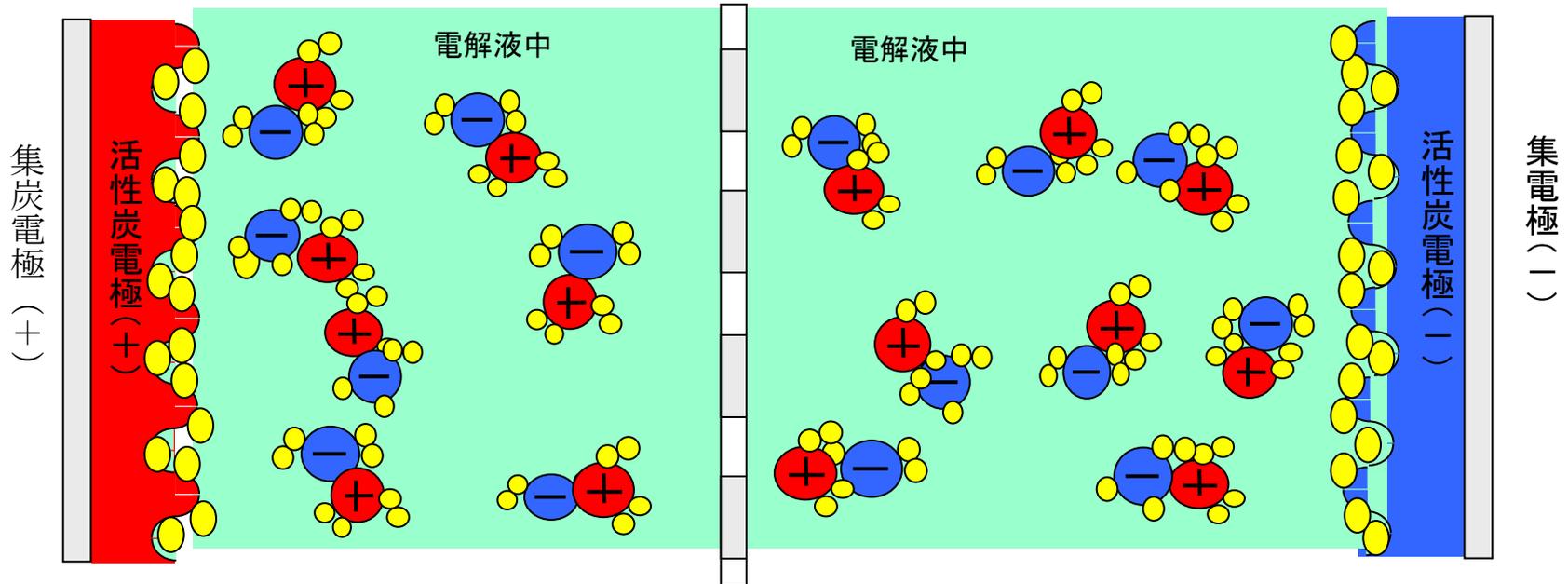


図2に示した+イオンと-イオンはクーロン力によって結合している。

(クーロン力については次回解説します。)

EDLCの構造(模式図)

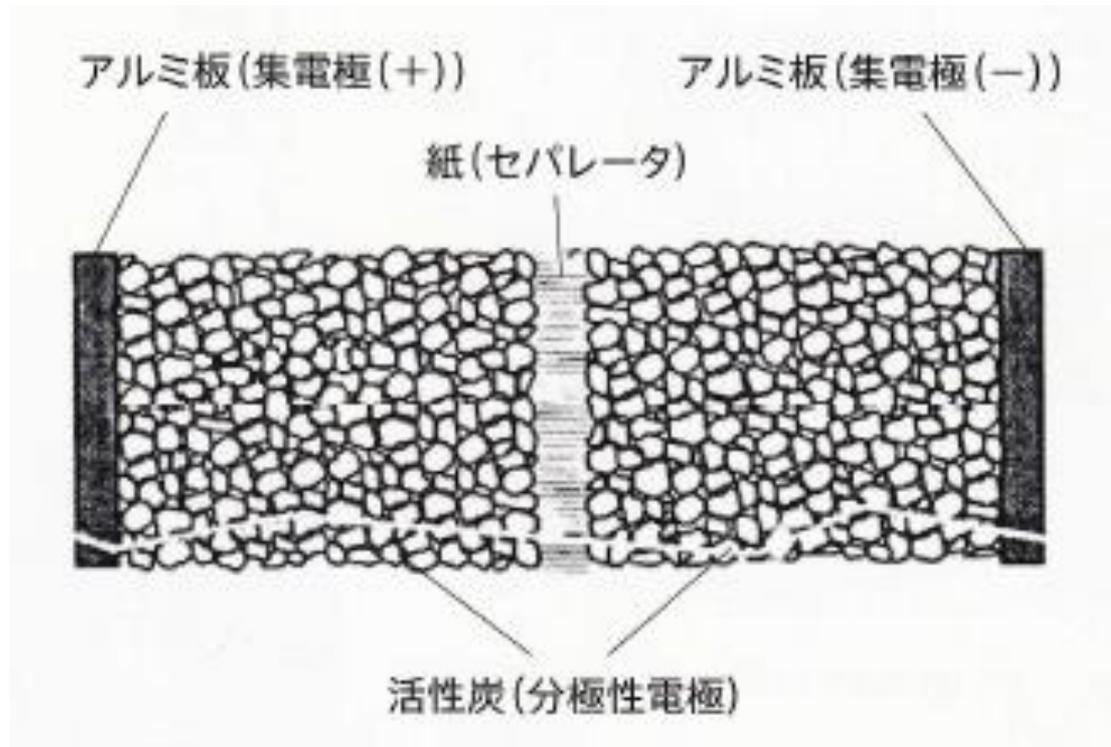


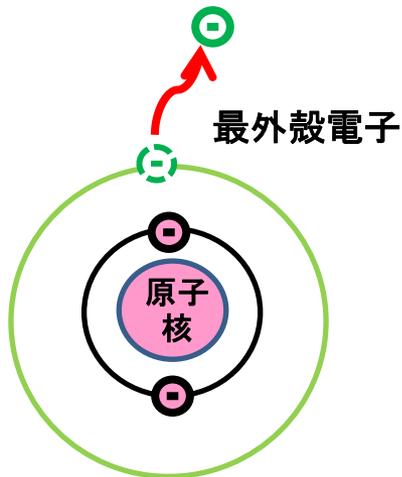
図3

分極性電極: 電極が電解液と反応せず、電流を流すと平衡電位から大きくずれる現象(分極)を呈する電極。例えば、電気二重層キャパシタの活性炭電極。(岡村 廸夫著「電気二重層キャパシタと蓄電システム」初版 付録 電子キャパシタ用語集より)

イオンとは？

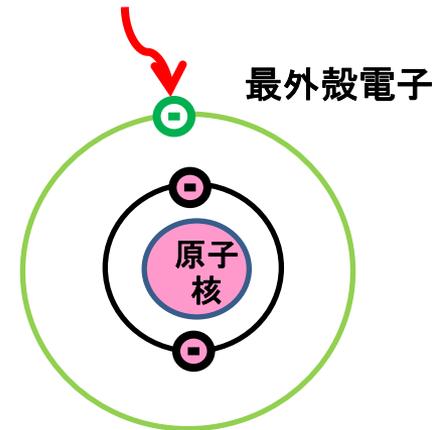
イオン=電荷を帯びた原子(原子団)

プラスイオン



自由電子が飛び出して、原子全体がプラスの性質を持つ

マイナスイオン

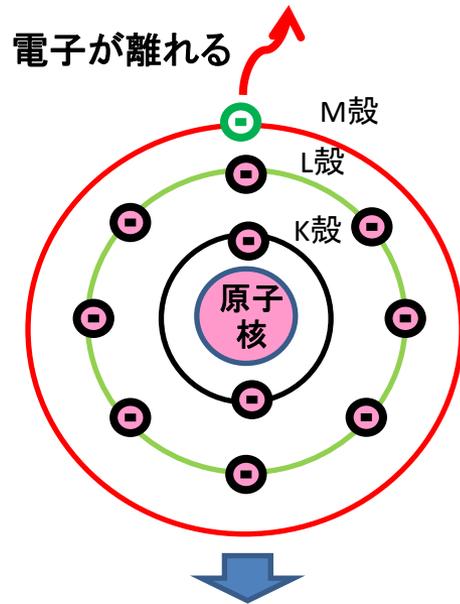


外部から自由電子が飛び込み、原子全体がマイナスの性質を持つ

イオンの一例

ナトリウム(Na)イオン

原子番号: 11

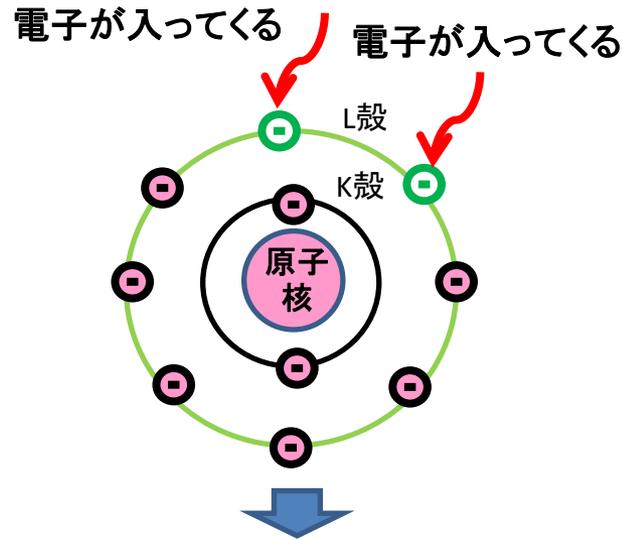


陽(+)イオン

表示 Na^+

酸素イオン

原子番号: 8

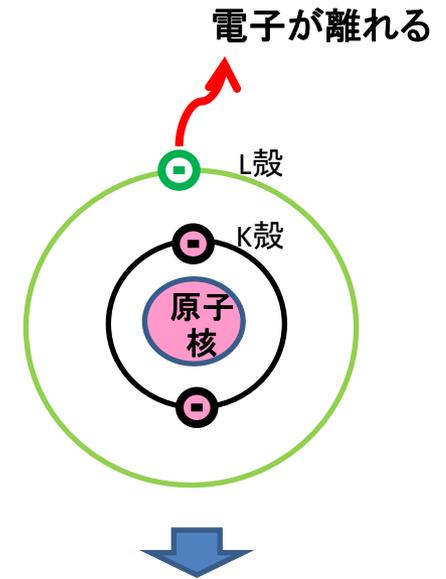


陰(-)イオン

表示 O^{2-}

リチウムイオン

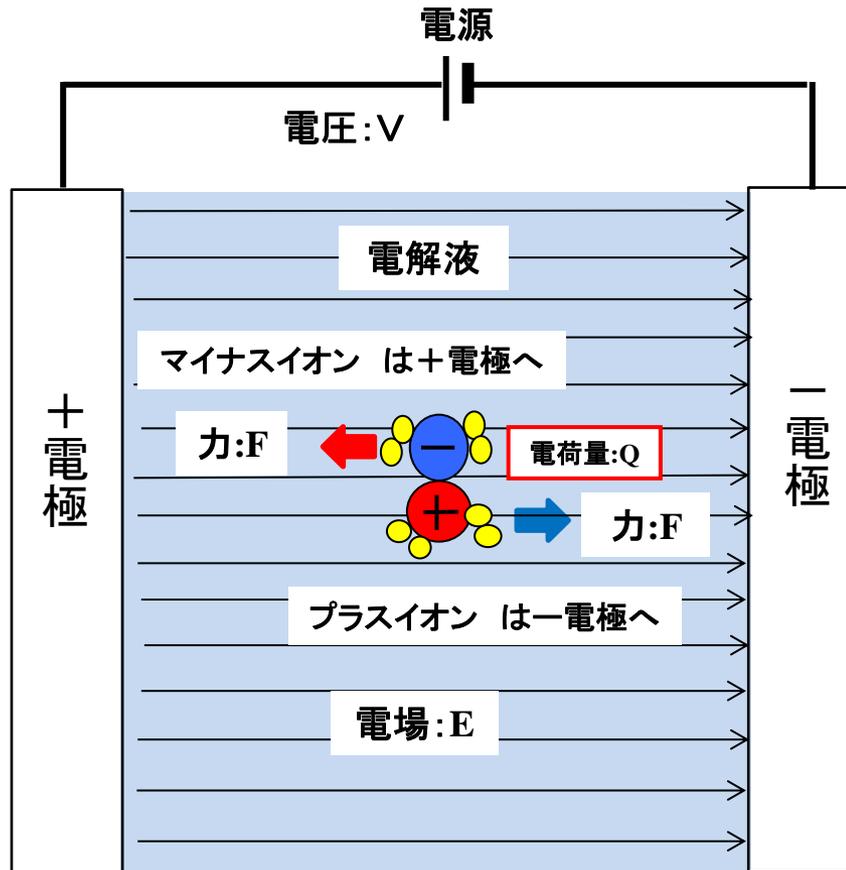
原子番号: 3



陰(+)イオン

表示 Li^+

充電時の電解液中のイオンの動き



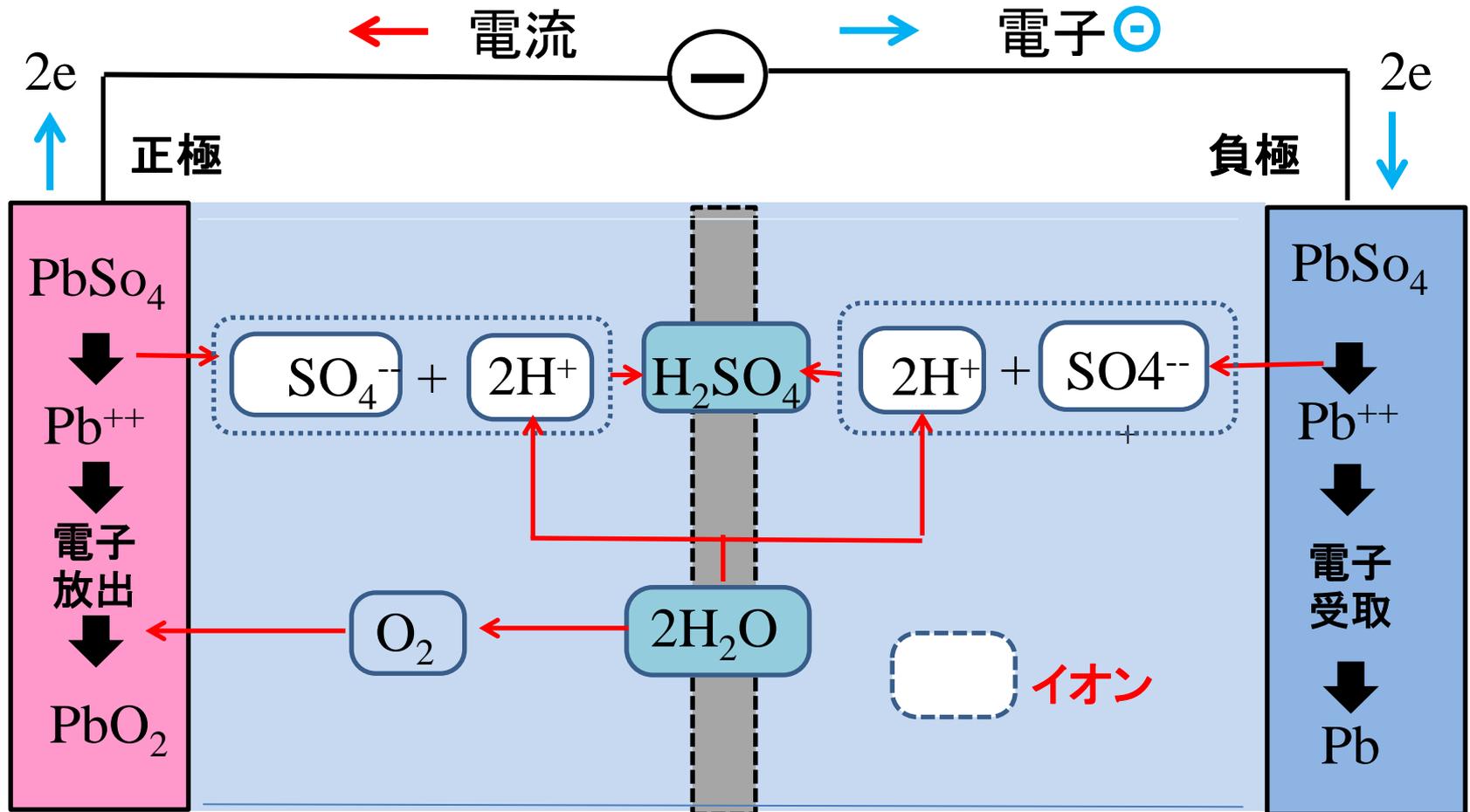
+電極と-電極に電圧Vを印加すると電解液には電場:Eが発生する。電解液中の結合イオンにはクーロン力Fが働き、+イオンは-電極の方へ、-イオンは+電極の方へ引かれる。力Fは電場Eとイオンの電荷量Qの積に比例する。

$$F \propto E \cdot Q$$

電場:何らかの電荷を置いたとき静電力(クーロン力)が発生する空間を電場(あるいは電界)。

イオンによる蓄電メカニズム

—鉛電池(充電動作)—



鉛電池の充電動作

負電極動作

- ・負電極材の硫酸鉛(PbSO_4)は、正電極から移動して来た電子を受け取り、硫酸イオン(SO_4^{--})を希硫酸に放出して、鉛(Pb)に変質する。
- ・希硫酸に放出された硫酸イオンは希硫酸の水の水素イオンと結合して硫酸(H_2SO_4)になる。

正電極動作

- ・電子を放出した正電極材の硫酸鉛(PbSO_4)は、希硫酸に硫酸イオン(SO_4^{--})を放出し、希硫酸内の酸素(O_2)と結合して過酸化鉛(PbO_2)に変質する。
- ・希硫酸に放出された硫酸イオンは希硫酸の水の水素イオンと結合して硫酸(H_2SO_4)になる。

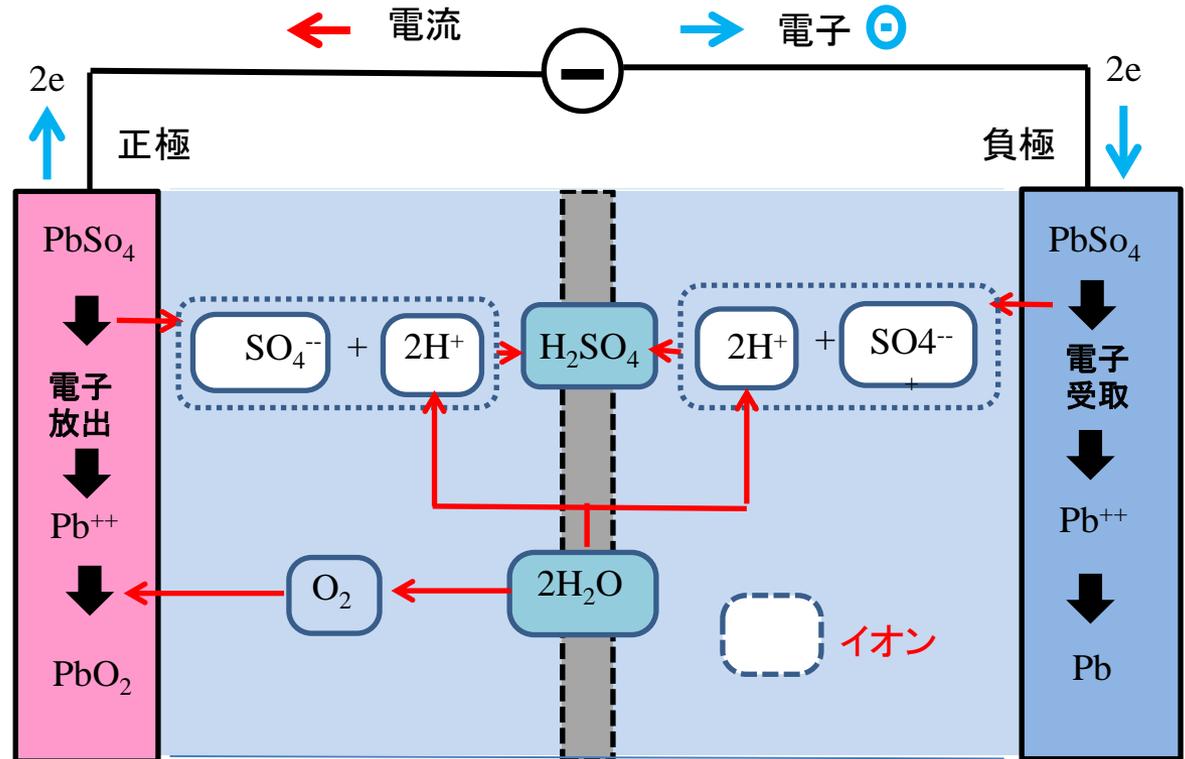
鉛電池の充電動作の説明図

負電極動作

- ・負電極材の硫酸鉛(PbSO_4)は、正電極から移動して来た電子を受け取り、硫酸イオン(SO_4^{2-})を希硫酸に放出して、鉛(Pb)に変質する。
- ・希硫酸に放出された硫酸イオンは希硫酸の水の水素イオンと結合して硫酸(H_2SO_4)になる。

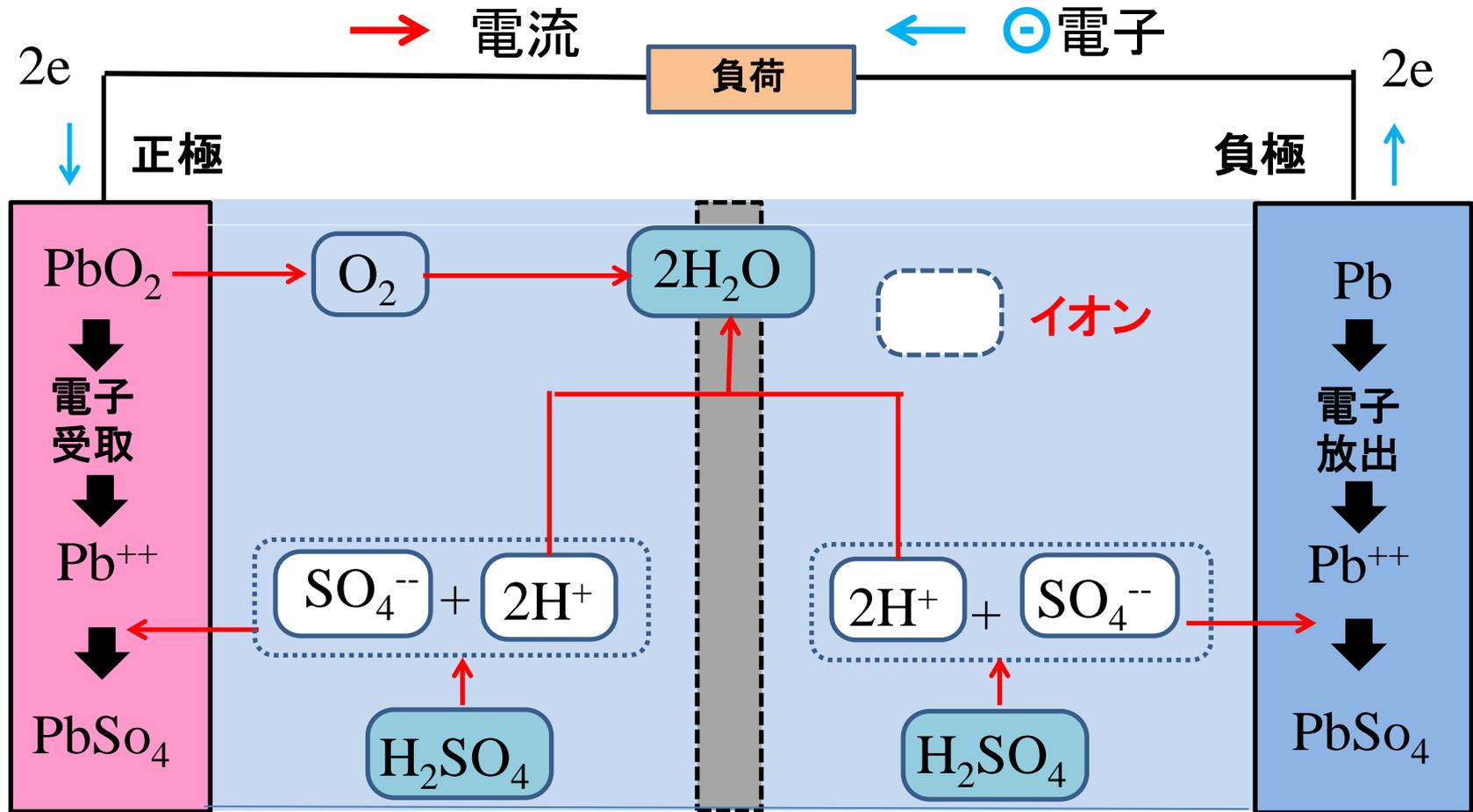
正電極動作

- ・電子を放出した正電極材の硫酸鉛(PbSO_4)は、希硫酸に硫酸イオン(SO_4^{2-})を放出し、希硫酸内の酸素(O_2)と結合して過酸化鉛(PbO_2)に変質する。
- ・希硫酸に放出された硫酸イオンは希硫酸の水の水素イオンと結合して硫酸(H_2SO_4)になる。



イオンによる蓄電メカニズム

—鉛電池(放電動作)—



鉛電池の放電動作

負電極動作

- ・負電極材の鉛(Pb)は希硫酸(H_2SO_4)の一方の硫酸オン(SO_4^{2-})と接触して化学反応し、硫酸鉛(PbSO_4)に変質する。希硫酸の他方のイオン(2H^+)は希硫酸液内を浮遊して正電極へ移動する。
- ・鉛の結晶が硫酸鉛に変質するとき、電子を放出する。この電子は電線を通して正電極に移動する。

正電極動作

- ・正電極材の過酸化鉛(PbO_2)は、負電極から移動して来た電子を受け取って、酸素(O_2)を放出する。
- ・酸素は希硫酸の水の水素イオン結合して水(H_2O)を生成する。
- ・電子を受け取った正電極材の過酸化鉛(PbO_2)は、酸素がなくなり(Pb^{2+})、希硫酸の硫酸イオンと結合して硫酸鉛に変質する。

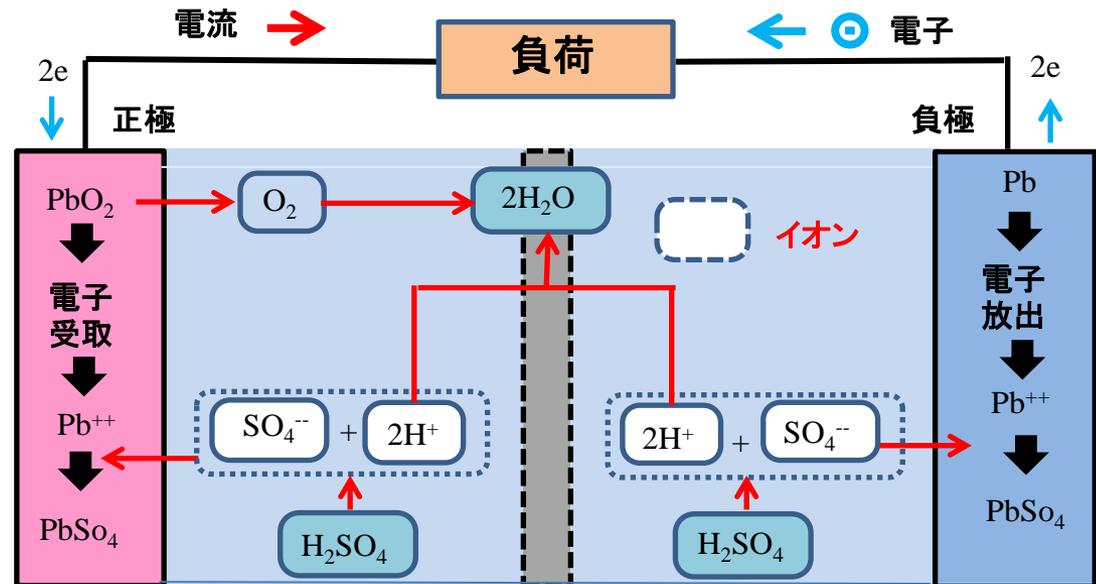
鉛電池の放電動作説明図

負電極動作

- ・負電極材の鉛(Pb)は希硫酸(H_2SO_4)の一方の硫酸オン(SO_4^{2-})と接触して化学反応し、硫酸鉛(PbSO_4)に変質する。希硫酸の他方のイオン(2H^+)は希硫酸液内を浮遊して正電極へ移動する。
- ・鉛の結晶が硫酸鉛に変質するとき、電子を放出する。この電子は電線を通して正電極に移動する。

正電極動作

- ・正電極材の過酸化鉛(PbO_2)は、負電極から移動して来た電子を受け取って、酸素(O_2)を放出する。
- ・酸素は希硫酸の水の水素イオン結合して水(H_2O)を生成する。
- ・電子を受け取った正電極材の過酸化鉛(PbO_2)は、酸素がなくなり(Pb^{2+})、希硫酸の硫酸イオンと結合して硫酸鉛に変質する。



イオンの動き

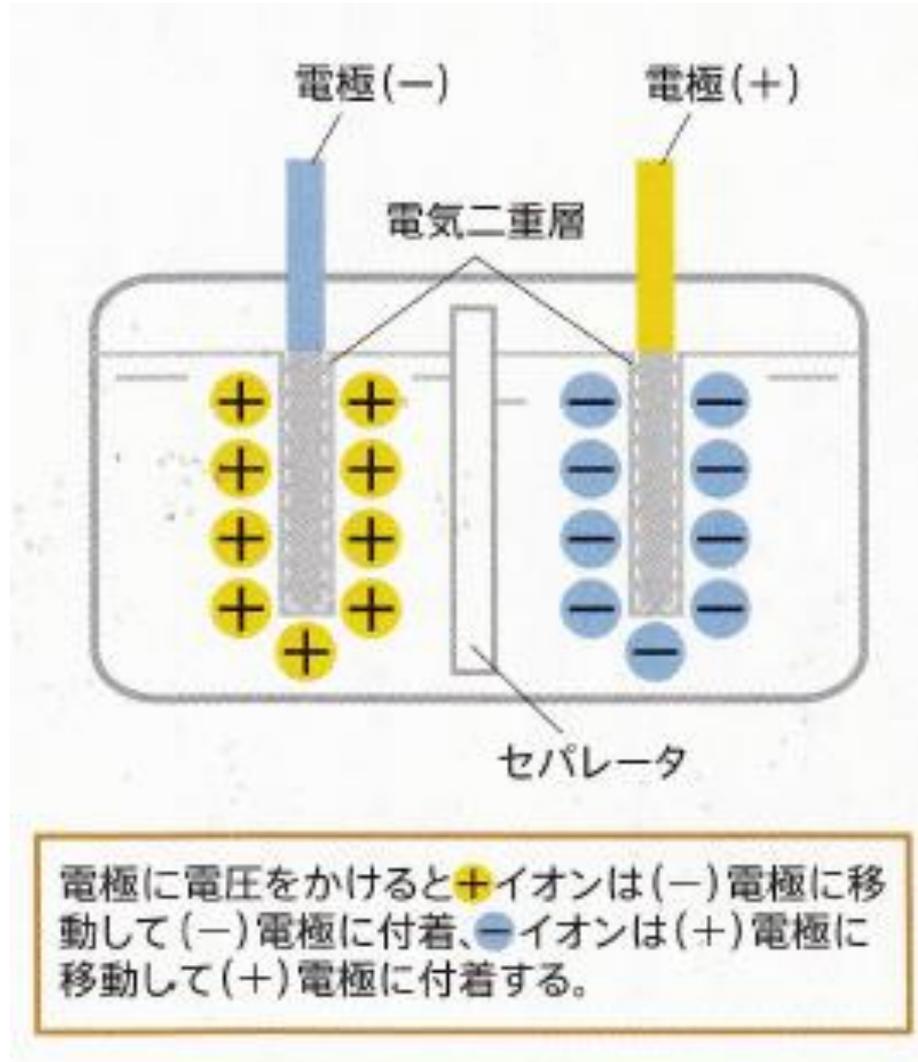
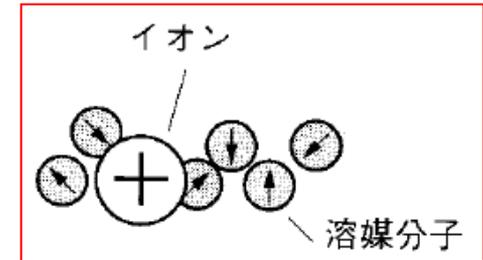
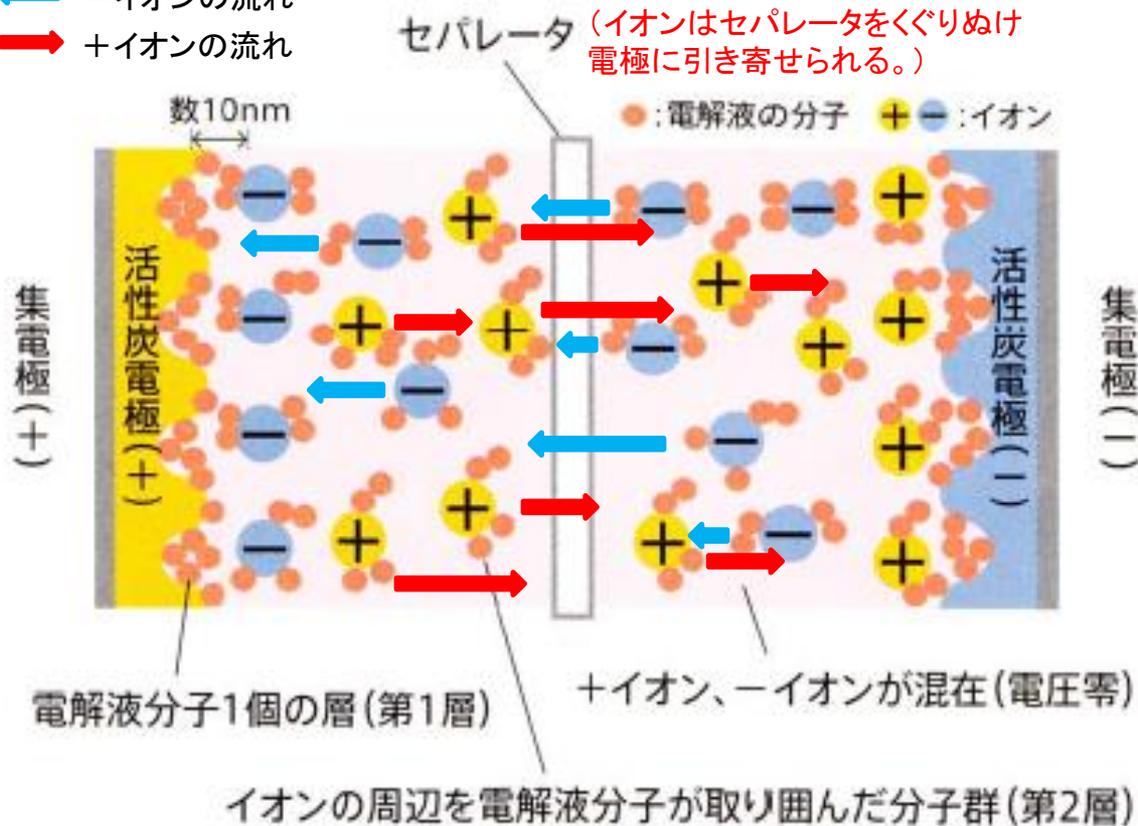


図4

EDLCの電解液の中を流れる 電流(充電時)

← -イオンの流れ
→ +イオンの流れ



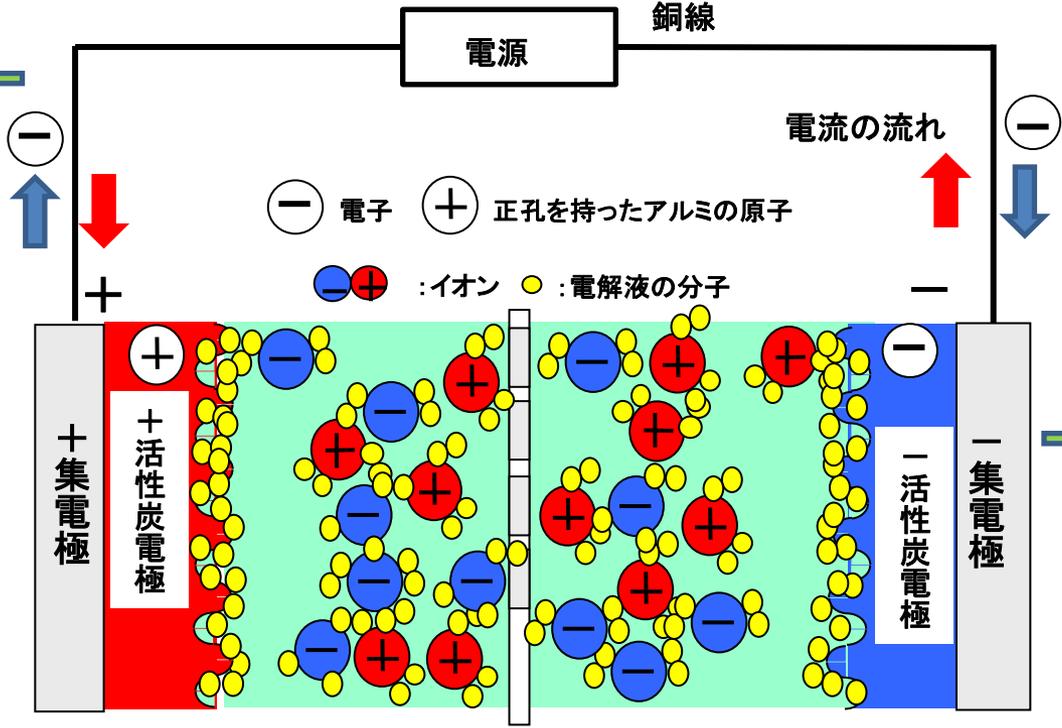
出典: 岡村勉著「電気二重層キャパシタと蓄電システム」(第3版 図2-4 (P.32))

イオンは電荷を持った原子(原子群)であるのでクーロン力が働いて、電子と同じような動きをする。

クーロン力(クーロンの法則については次回解説します。)

EDLCの充電メカニズム (充電の始まり)

+活性炭電極の+から離れた-は、銅線を流れて-集電極に向かって流れる。



-活性炭電極に流れ込んだ-に対峙する形で電解液中の+が-活性炭電極に付着する。

+活性炭電極は-を失うので、+が残り、+活性炭電極が+電圧になる。+活性炭電極が+電圧になると電解液中の-は+活性炭電極に引き寄せられる。+活性炭電極に-が付着する。

-活性炭電極に-が流れ込んで、-活性炭電極は-電圧となり電解液中の+は-活性炭電極に引き寄せられる。-活性炭電極には+が付着する。

充電中のEDLCの内部状態

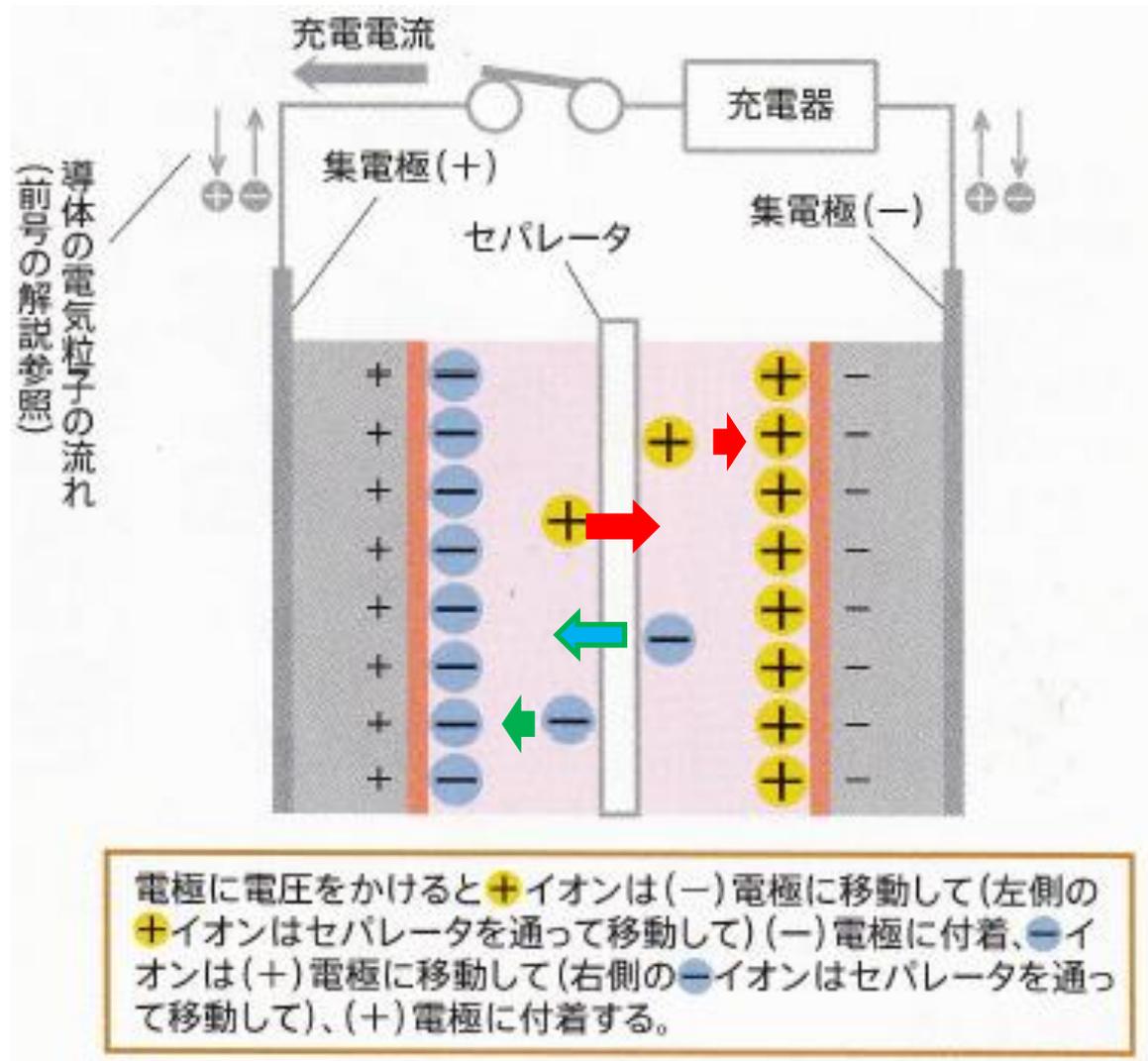
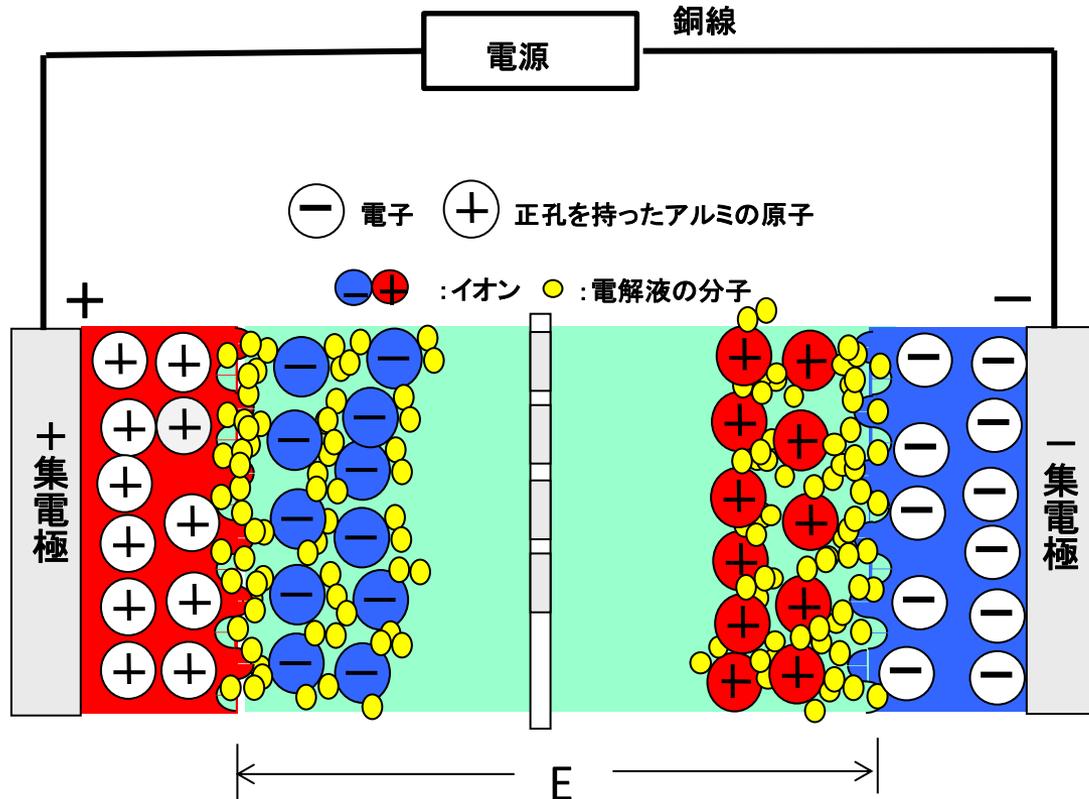


図5

EDLCの充電メカニズム

(充電の終わり)



＋集電極と－集電極間の電圧Eが規定値に達したら充電完了。この電圧を超えて充電するとEDLCの性能を悪化させる。

キャパシタフォーラム

キャパシタ基礎講座

次回(第4回)内容

開催日(予定) 2016-1-18

EDLCの放電

参考テキスト: ECaSS フォーラム会報誌第4号

(電気二重層キャパシタ解説シリーズ(第3回))

1. 電気二重層キャパシタの放電
2. オームの法則
3. 電流の流れと熱の発生
4. クーロンの法則