

第2編 化学反応とエネルギー
2章 電池と電気分解

1節 電池 A. 電池の原理

酸化還元反応を利用して、電気エネルギーを取り出す装置を(電池(化学電池))という。

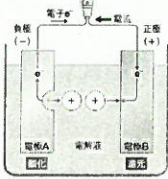
電子は負の電荷をもっているため、電流の向きと電子の流れは([逆]・同じ)になる。

化学エネルギー → 電気エネルギー

1節 電池 A. 電池の原理

(電流) : 正極 → 負極

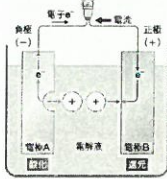
(電子) : 負極 → 正極



1節 電池 A. 電池の原理

負極: 電子が流れ出す(酸化)反応が起こる。
正極: 電子が流れ込む(還元)反応が起こる。
電池から電流を取り出すことを(放電)といい、両極間に生じる電位差を電池の(起電力)という。

酸化される = 電子⁻を解放す
還元される = 電子⁻を受け取る



1節 電池 A. 電池の原理

(活物質) ……電池内で、酸化還元反応に直接関わる物質

(負極活物質) ……負極で還元剤としてはたらく物質

(正極活物質) ……正極で酸化剤としてはたらく物質

1節 電池 A. 電池の原理

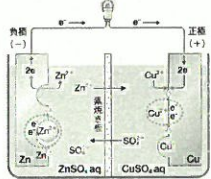
●ダニエル電池

1836年ダニエルによって考案された。

起電力は約1.1Vである。

1節 電池 A. 電池の原理

●ダニエル電池
この電池の構成は次のように記される。
負極 \rightarrow 電解質水溶液 \leftarrow 正極
(-)Zn | ZnSO₄ aq | CuSO₄ aq | Cu (+)
aq=水溶液を表す
電池の構成は、左から負極・電解液・正極の順にそれぞれ化学式で書く。



7

1節 電池 A. 電池の原理

負極活物質: (亜鉛Zn)
正極活物質: (CuSO₄)
イオン化傾向 Zn (>) Cu

8

1節 電池 A. 電池の原理

負極では
亜鉛[Zn]が亜鉛イオン[Zn²⁺]になる
(酸化)反応
反応式 (Zn \rightarrow Zn²⁺ + 2e⁻) --- ①
負極溶液: Zn²⁺が増加
(SO₄²⁻は変化せず)

9

1節 電池 A. 電池の原理

正極では
電解液の銅(II)イオン[Cu²⁺]が
銅[Cu]になる(還元)反応
反応式 (Cu²⁺ + 2e⁻ \rightarrow Cu) --- ②
正極溶液: Cu²⁺が減少
(SO₄²⁻は変化せず)

10

\rightarrow ・負極溶液から正極溶液へ Zn²⁺が移動 }
 ・正極溶液から負極溶液へ SO₄²⁻が移動 } \leftarrow したが、+e⁻の均衡が保たれる。

1節 電池 A. 電池の原理

全体をまとめると、次のようなイオン反応式で表される。
全体での反応式 ①+②
(Zn + Cu²⁺ \rightarrow Zn²⁺ + Cu)
この装置では、硫酸銅(II)の溶液の濃度が ([高い ・ 低い])ほど電池が長持ちする。

11

1節 電池 A. 電池の原理

問1 次の金属を組み合わせてダニエル型の電池をつくった。下の問いに答えよ。
(ア) 銅と鉄 (イ) 亜鉛と銅 (ウ) 亜鉛と銀
(Fe) (Zn) (Zn)

(1) それぞれ負極となる金属は何か。元素記号で答えよ。

《解説》イオン化傾向の大きい金属が電子を失いやすいので、電池の負極になる。

12

1節 電池 A. 電池の原理

問1 次の金属を組み合わせでダニエル型の電池をつくった。下の問いに答えよ。

(ア) 銅と鉄 (イ) 亜鉛と銅 (ウ) 亜鉛と銀

(2) (ア)~(ウ)の中で、最も大きな起電力が得られるものを選びなさい。

《解説》 電池では、金属のイオン化傾向の差が大きいほど起電力は大きくなる。

$Zn > Fe > Cu > Ag$

13

1節 電池 A. 電池の原理

●ボルタ電池

1800年ボルタによって考案された。

起電力は最初約1.1Vであるが、放電するとすぐに0.4V程度まで低下する。

14

1節 電池 A. 電池の原理

この電池の構成は次のように記される。

負極 正極
 (-) Zn | H₂SO₄ aq | Cu (+)

15

1節 電池 A. 電池の原理

負極活物質: (亜鉛 Zn)

正極活物質: (H₂SO₄)

イオン化傾向 Zn (>) Cu

16

1節 電池 A. 電池の原理

負極では

亜鉛 [Zn] が 亜鉛イオン [Zn²⁺] になる

(酸化) 反応

反応式 (Zn → Zn²⁺ + 2e⁻) --- ①

ダニエル電池と同じだ...

17

1節 電池 A. 電池の原理

正極では

電解液の水素イオン [H⁺] が

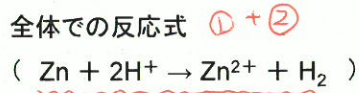
気体の水素 [H₂] となる (還元) 反応

反応式 (2H⁺ + 2e⁻ → H₂) --- ②

18

1節 電池 A. 電池の原理

全体をまとめると、次のようなイオン反応式で表される。



1節 電池 B. 実用電池

- (放電)……電池から電流を取り出すこと
- (充電)……電池の起電力を回復させる操作
- (一次電池)……放電後、起電力を回復させることができない電池
- (二次電池(蓄電池))……放電後、充電により起電力を回復させることができる電池

1節 電池 B. 実用電池

電池の名称	電池の構成			起電力 [V]	用途の例
	負極活物質	電解質	正極活物質		
一次電池 マンガン乾電池	Zn	ZnCl ₂ NH ₄ Cl	MnO ₂	1.50	懐中電灯、置き時計、アルカリリモコン
	Zn	KOH	MnO ₂	1.50	
	Zn	KOH	Ag ₂ O	1.55	腕時計、電子体温計
	Li	リチウムの塩	MnO ₂	3.0	電卓、カメラ
	Zn	KOH	O ₂	1.65	補聴器

1節 電池 B. 実用電池

電池の名称	電池の構成			起電力 [V]	用途の例
	負極活物質	電解質	正極活物質		
二次電池	Pb	H ₂ SO ₄	PbO ₂	2.04	自動車のバッテリー
	Cd	KOH	Ni(OH) ₂	1.33	コードレス機器
	MH	KOH	Ni(OH) ₂	1.33	携帯電話、ハイブリッド自動車
	黒鉛に取り込まれたLi	リチウムの塩	LiCoO ₂	4.10	携帯電話、ノートパソコン、電気自動車
燃料電池(リン酸形)	H ₂	H ₃ PO ₄	O ₂	1.23	病院やホテルの電源

1節 電池 B. 実用電池

●一次電池

(マンガン乾電池)の電池の構造
 $(-)\text{Zn} \mid \text{ZnCl}_2 \text{ aq}, \text{NH}_4\text{Cl aq} \mid \text{MnO}_2(+)$

負極活物質:
 (亜鉛)
 正極活物質:
 (酸化マンガン(IV))



1節 電池 B. 実用電池

(アルカリマンガン乾電池)の電池の構造
 $(-)\text{Zn} \mid \text{KOH aq} \mid \text{MnO}_2(+)$

負極活物質:
 (亜鉛)
 正極活物質:
 (酸化マンガン(IV))



1節 電池 B. 実用電池

●二次電池 なまじ

代表的な二次電池が(鉛蓄電池)で、自動車のバッテリーなどに用いられる。

負極活物質に(鉛 Pb)、
正極活物質に(酸化鉛(IV) PbO₂)、
電解液に(希硫酸 H₂SO₄)を用いる。

25

1節 電池 B. 実用電池

起電力は約2.0 Vである。
この電池の構成は次のように記される。

負極 正極
(-)Pb | H₂SO₄ aq | PbO₂(+)

26

1節 電池 B. 実用電池

負極では
鉛[Pb]が硫酸鉛(II)[PbSO₄]になる
(酸化)反応が起こり
極板はPbSO₄で覆われる。

反応式 (Pb + SO₄²⁻ → PbSO₄ + 2e⁻)

• Pb → Pb²⁺ + 2e⁻
• Pb²⁺ + SO₄²⁻ → PbSO₄↓

27

* PbSO₄は溶液中で生じると白色沈殿
→ 負極上でPb²⁺がどきると、すぐにSO₄²⁻と反応し、負極上にPbSO₄が生じる

1節 電池 B. 実用電池

正極では
酸化鉛(IV)[PbO₂]が
硫酸鉛(II)[PbSO₄]になる
(還元)反応が起こり
極板はPbSO₄で覆われる。

反応式
(PbO₂ + 4H⁺ + SO₄²⁻ + 2e⁻ → PbSO₄ + 2H₂O)

28

1節 電池 B. 実用電池

全体をまとめると、次のようなイオン反応式で表される。

全体での反応式 (放電)
Pb + PbO₂ + 2H₂SO₄ ⇌ 2PbSO₄ + 2H₂O

(充電)

• 負極も正極も PbSO₄となる

29

1節 電池 B. 実用電池

それぞれの極板では、次のような変化が起きる。

	初め (完全充電時)	放電すると	極板の重さ
負極	Pb	PbSO ₄	重くなる
正極	PbO ₂	PbSO ₄	重くなる

30

1節 電池 B. 実用電池

放電すると、 H_2SO_4 が消費され、 H_2O が生成するので、硫酸の濃度は、
([大きく・小さく])なる。

31

1節 電池 B. 実用電池

●燃料電池

燃料と酸素を外部から供給し、その酸化還元反応で得られる(化学エネルギー)を直接、電気エネルギーに変換する装置を燃料電池という。

32

1節 電池 B. 実用電池

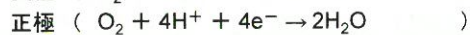
燃料電池の生成物は(水)だけで、
(二酸化炭素)を排出しないため、新しいエネルギー源として注目されている。

燃料電池の起電力は約1.2 Vで、負極活物質に(水素)、正極活物質に(酸素)を用いる。

33

1節 電池 B. 実用電池

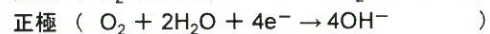
電解液にリン酸水溶液を用いた場合
(-) H_2 | H_3PO_4 aq | O_2 (+)



34

1節 電池 B. 実用電池

電解液に水酸化カリウム水溶液を用いた場合
(-) H_2 | KOH aq | O_2 (+)



35

2節 電気分解 A. 電気分解

(電気分解)

……電解質の水溶液や高温の融解塩に電極を入れ、直接電流を流して酸化還元反応を起こさせる。

電気エネルギー → 化学エネルギー

36

2節 電気分解 A. 電気分解

●陽極と陰極
 (陰極)……電源の負極(-)につないだ電極
 電子が電極に流れ込んでくるため、
 電子を受け取る(還元)反応が起こる。

37

2節 電気分解 A. 電気分解

(陽極)……電源の正極(+)につないだ電極
 電子が電極から流れ出ていくため、
 電子を失う(酸化)反応が起こる。

38

電池は「正極」と「負極」
 電気分解は「陽極」と「陰極」

2節 電気分解 A. 電気分解

●水溶液の電気分解
 電解質水溶液の電気分解では、陰極・陽極
 でそれぞれ次のような反応が進行する。

陰極での反応	電解質水溶液に含まれるイオン	電気分解の結果
	イオン化傾向の小さい金属イオン (Cu ²⁺ やAg ⁺ など)	これらが還元され金属として析出する。 (例) Ag ⁺ + e ⁻ → Ag
	イオン化傾向の大きい金属イオン (K ⁺ やNa ⁺ など)	H ₂ O(酸性溶液ではH ⁺)が還元されて、H ₂ が発生する。 (2H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + 2OH ⁻) 酸性溶液 (2H ⁺ + 2e ⁻ → H ₂)

39

→覚えろ!!

酸性 2H⁺ + 2e⁻ → H₂
 両辺に 2OH⁻ を加えると、
 中性・塩基性 2H₂O + 2e⁻ → H₂ + 2OH⁻

2節 電気分解 A. 電気分解

電解質水溶液の電気分解では、陰極・陽極
 でそれぞれ次のような反応が進行する。

陽極での反応	白金、黒鉛を陽極にした場合	その他のイオン (SO ₄ ²⁻ やNO ₃ ⁻ など)を含む場合
	ハロゲン化物イオン (Cl ⁻ やI ⁻ など)を含む場合 (例) 2Cl ⁻ → Cl ₂ + 2e ⁻	ハロゲン化物イオンが酸化されてCl ₂ やI ₂ を生じる。 (例) 2Cl ⁻ → Cl ₂ + 2e ⁻
	白金や金以外の金属を陽極にした場合	H ₂ O(塩基性溶液ではOH ⁻)が酸化されて、O ₂ が発生する。 (2H ₂ O → O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻) 塩基性溶液 (4OH ⁻ → O ₂ + 2H ₂ O + 4e ⁻)
		その金属自身が酸化されて電子を放出し、陽イオンとなって溶け出す。(例) Cu → Cu ²⁺ + 2e ⁻

40

→覚えろ!!

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

●塩化銅(II) CuCl₂水溶液の電気分解
 両極の極板に炭素棒を用いると、
 [陰極] (Cu²⁺ + 2e⁻ → Cu)
 [陽極] (2Cl⁻ → Cl₂ + 2e⁻)
 全体としての反応式
 (Cu²⁺ + 2Cl⁻ → Cu + Cl₂)

41

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

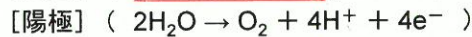
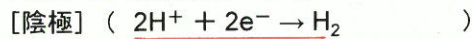
●水の電気分解
 ・水酸化ナトリウム水溶液の電気分解
 両極に白金極板を用いると、
 [陰極] (2H₂O + 2e⁻ → H₂ + 2OH⁻)
 [陽極] (4OH⁻ → O₂ + 2H₂O + 4e⁻)
 全体としての反応式
 (2H₂O → 2H₂ + O₂)

42

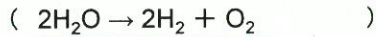
2節 電気分解 B. 電気分解における反応

・硫酸水溶液(希硫酸)の電気分解

両極に白金極板を用いると、



全体としての反応式



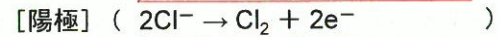
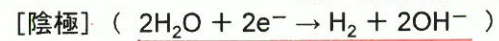
43

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

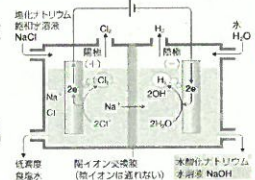
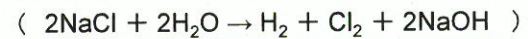
●水酸化ナトリウムの製造

・塩化ナトリウム水溶液の電気分解

両極に炭素電極を用いると、



全体としての反応式



44

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

この反応は、水酸化ナトリウムと塩素の製造にも応用されている。その際、より純度の高い水酸化ナトリウムを得るために、両電極間に陽イオンだけを通過させる膜(陽イオン交換膜)を用いて塩化ナトリウム水溶液を電気分解する(イオン交換膜法)が主流となっている。

45

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

●銅の電解精錬

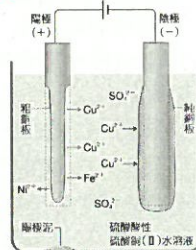
黄銅鉱などの銅を含んだ鉱石を還元すると、粗銅(純度約99%)が得られる。電気分解をすることによって、粗銅から純銅(純度99.99%以上)が得られる。

これを銅の(電解精錬)という。

46

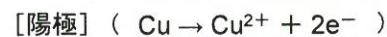
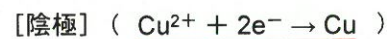
2節 電気分解 B. 電気分解における反応

純度低い
粗銅板を(陽極), *純度高い*
純銅板を(陰極)として、硫酸酸性の硫酸銅(II)水溶液中で電気分解を行うと、陽極の銅Cuは銅(II)イオン Cu^{2+} となって溶け出し、陰極に純粋な銅が析出する。



47

2節 電気分解 B. 電気分解における反応



48

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

1 Aの電流が1秒間流れたときの電気量を
 「クーロン」と読み
 (1 C)とする。また、一定量の電流を一定時間流したときの電気量は、次のようになる。

55

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

(電気量[C])
 = (電流[A]) × (時間[s])

1 Aの電流が1秒流れて電気量1Cが動く
 (ファラデー定数)
 ……電子1 molのもつ電気量の大きさ。
 記号Fで表す。
 $F = (9.65 \times 10^4) \text{ C/mol}$
 電子1molが動く・反応するとこの電気量

56

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

問2 (1) 0.500 Aの電流を32分10秒間流したときの、電気量は何Cか。

$9.65 \times 10^2 \text{ C}$

《解説》
 電気量[C] = 電流[A] × 時間[s]
 $= 0.500 \text{ A} \times (32 \times 60 + 10) \text{ s}$
 $= 9.65 \times 10^2 \text{ C}$

57

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

問2 (2) (1)で流れた電子の物質量は何molか。

$1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$

《解説》
 ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ より
 $\frac{9.65 \times 10^2 \text{ C}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$

58

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

問3 白金電極を用いた硝酸銀水溶液の電気分解で、陰極に銀が2.16 g析出した。次の問いに答えよ。
 原子量は、 $\text{Ag} = 108$ とする。

(1) 流れた電気量は何Cか。

$1.93 \times 10^3 \text{ C}$

《解説》
 陰極と陽極では次の反応が起こる。
 [陰極] $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} \quad \dots \textcircled{1}$
 [陽極] $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad \dots \textcircled{2}$

59

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

問3 白金電極を用いた硝酸銀水溶液の電気分解で、陰極に銀が2.16 g析出した。次の問いに答えよ。
 原子量は、 $\text{Ag} = 108$ とする。

(1) 流れた電気量は何Cか。

$1.93 \times 10^3 \text{ C}$

《解説》
 ①より、電子の物質量: $\frac{2.16 \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} = 0.0200 \text{ mol}$
 ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ より、電気量は、
 $0.0200 \text{ mol} \times 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} = 1.93 \times 10^3 \text{ C}$

60

式で表すと、
 $\frac{2.16 \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{1} \times 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} = 1.93 \times 10^3 \text{ C}$
 (1の係数はe⁻の係数、108の係数はAgの係数)

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

このとき、粗銅に含まれている銅よりイオン化傾向の([小さ ・ 大き])い銀、金などの金属は、陽極の下に(陽極泥)として沈殿する。

49

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

また、銅よりイオン化傾向の([小さ ・ 大き])い鉄、ニッケル、亜鉛などの金属は酸化されて陽イオンとなるが、陰極には析出せずに、水溶液中に残る。

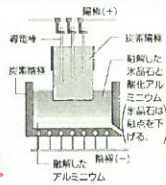
50

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

●アルミニウムの溶融塩電解

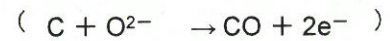
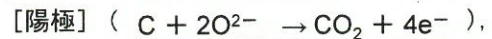
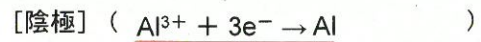
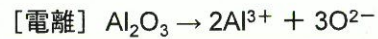
アルミニウムの製造には、Al₂O₃
(酸化アルミニウム(アルミナ))を融かして炭素電極で電気分解する(溶融塩電解(融解塩電解))が用いられる。

水溶液と異なり
固体を高温に
加熱融解して
液体の電気分解



51

2節 電気分解 B. 電気分解における反応



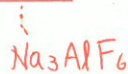
52

2節 電気分解 B. 電気分解における反応

アルミニウムの単体は陰極に析出して、陽極では、CO、CO₂が発生する。酸化アルミニウムの融点は高いので、(水晶石)を用いて融点を下げる。

Al₂O₃ の融点 2,072°C

水晶石を使ると1000°Cまで下がる



53

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

(ファラデーの電気分解の法則)

……陰極または陽極で変化する物質の量は、流した(電流量)に比例する。

54

2節 電気分解 C. 電気分解の法則

問3 白金電極を用いた硝酸銀水溶液の電気分解で、陰極に銀が2.16 g析出した。次の問いに答えよ。原子量は、Ag=108とする。

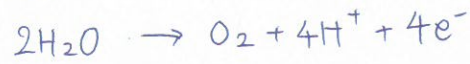
(2) 陽極に発生した気体は0°C, 1.013×10^5 Paで何Lか。

1.12×10^{-1} L

《解説》Ag⁺が受け取るe⁻とH₂Oは放出するe⁻の物質量は等しいので、②より、発生したO₂の体積(0°C, 1.013×10^5 Pa)は、

$$0.0200 \text{ mol} \times \frac{1}{4} \times 22.4 \text{ L/mol} = 1.12 \times 10^{-1} \text{ L}$$

陽極の
反応式(五場)



$$\frac{2.16 \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{4} \times \frac{1(\text{O}_2)}{4(\text{e}^-)} \times 22.4 \text{ L/mol} = 0.112 \text{ L}$$

$$\therefore 1.12 \times 10^{-1} \text{ L}$$

標準状態
→ 気体1molの体積22.4L

