

身近な環境の化学

鉄の酸化還元反応を通して

- 1.鉄の酸化反応
- 2.鉄の還元反応
- 3.リサイクルの有用性

1.鉄の酸化反応



鉄鉱石



磁鉄鉱



カイロ



成分

鉄粉

食塩

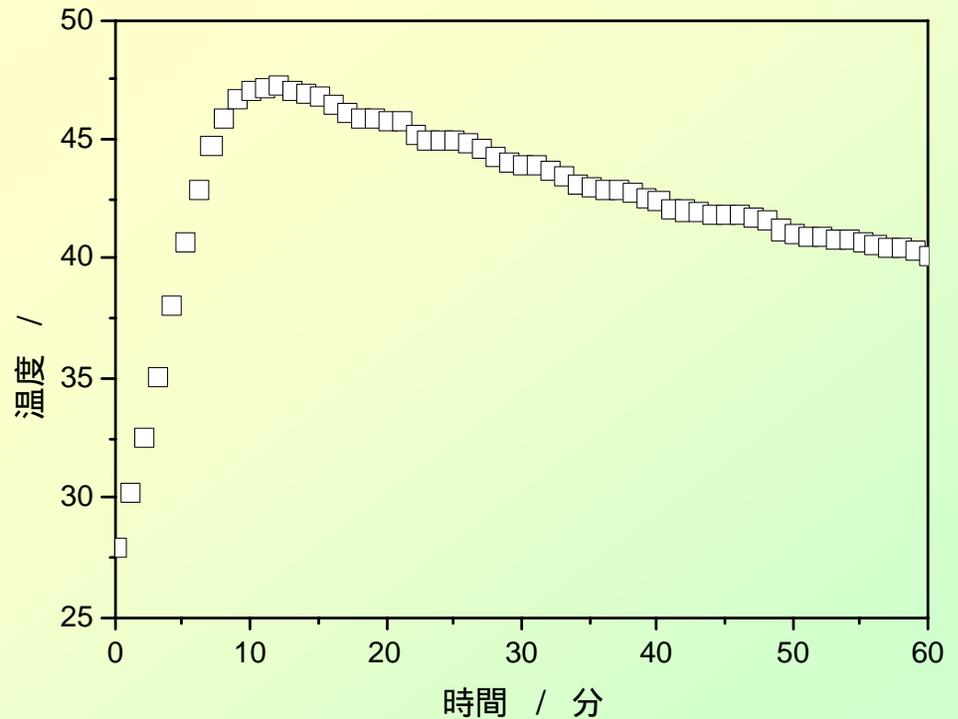
水

活性炭

化学カイロの実験



活性炭	6g
10%食塩水	5ml
鉄粉	4g



活性炭(C)



活性炭の役割

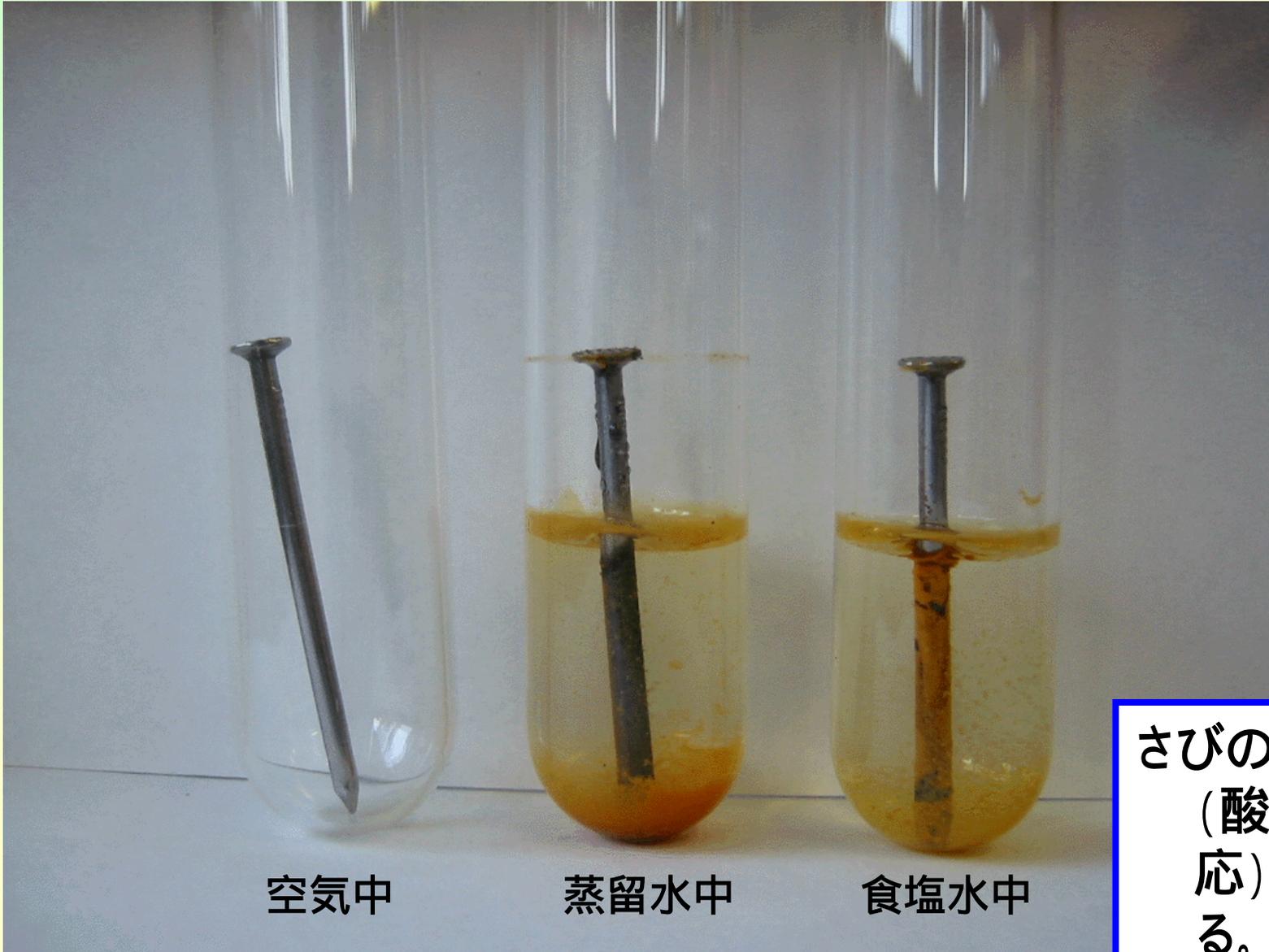
空気を吸着する

(酸化に必要な酸素)

空気中の水分を吸着する。

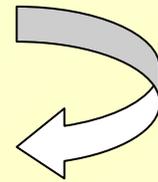
(酸化に必要な水をカ
イロ中に保持する)

塩化ナトリウム水溶液

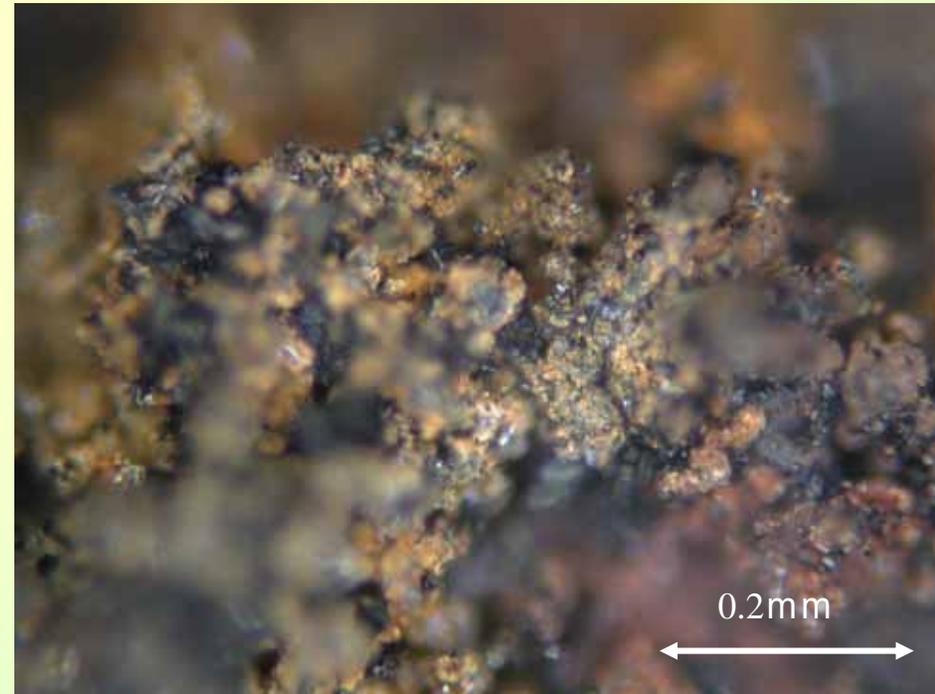


さびの進行
(酸化反
応)を早め
る。

鉄粉



酸化



鉄が酸化したときに
熱が出る。

カイロとして利用

実験による成分分析(ナトリウム)

炎色反応



ナトリウム

炎色反応

金属は、強く熱せられると特有の炎色を示す。

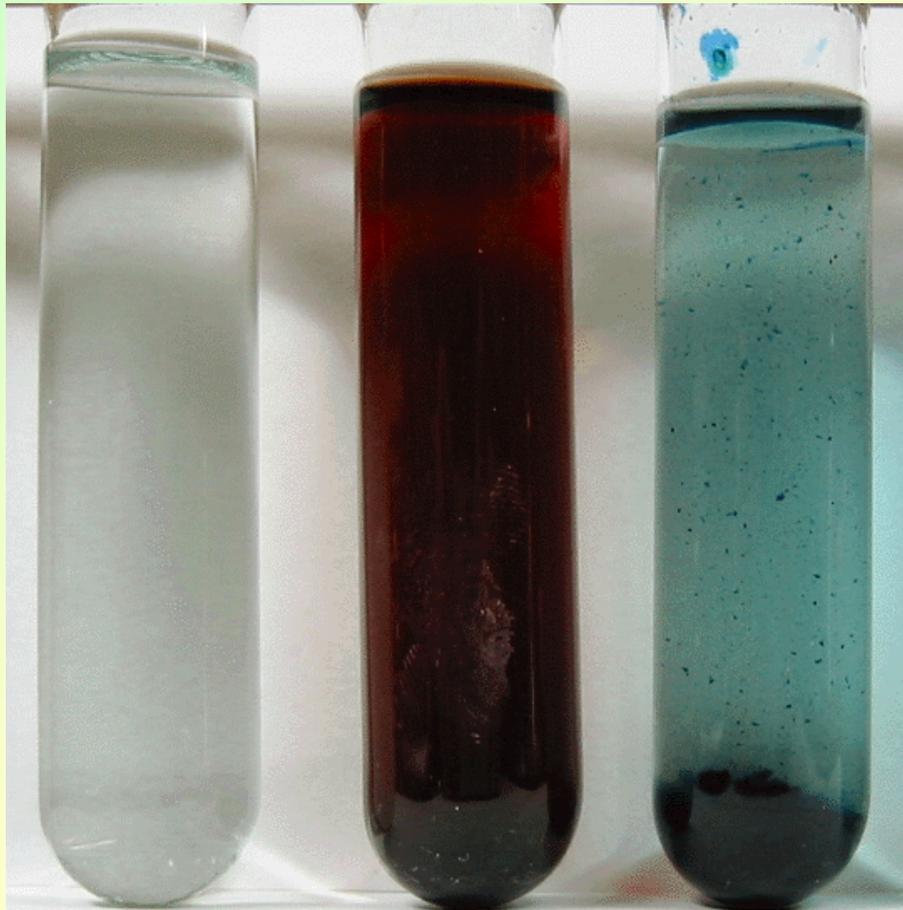
Na・・・黄色

Cu・・・緑色

K・・・赤紫

Ba・・・黄緑色

実験による成分分析(鉄イオン)



カイロのろ液
加えた試薬

KSCN

$K_3[Fe(CN)_6]$

- KSCN

鉄()イオンと反応し、
溶液が赤色のになる。

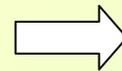
- $K_3[Fe(CN)_6]$

鉄()イオンと反応し、
濃青色沈殿が生成す
る。

実験による成分分析 (Cl⁻塩化物イオン)

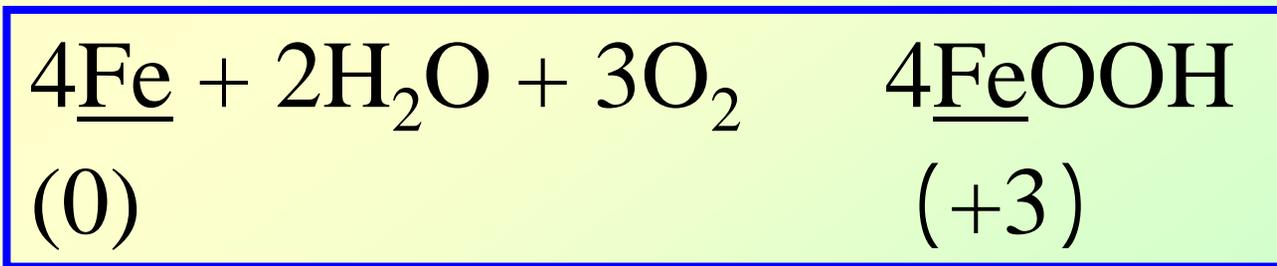
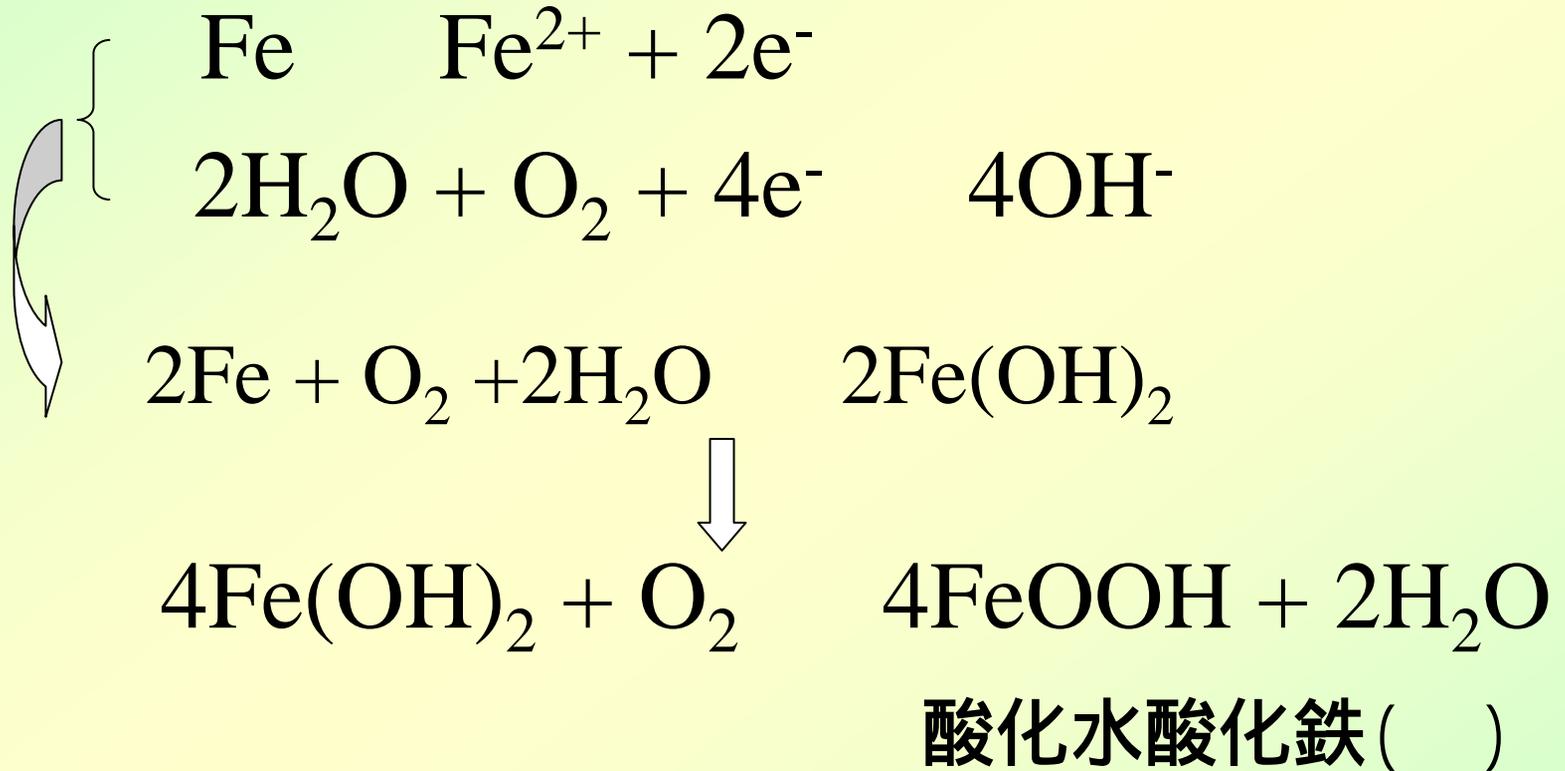


- 溶液中のCl⁻の検出には, Ag⁺との反応を用いる。



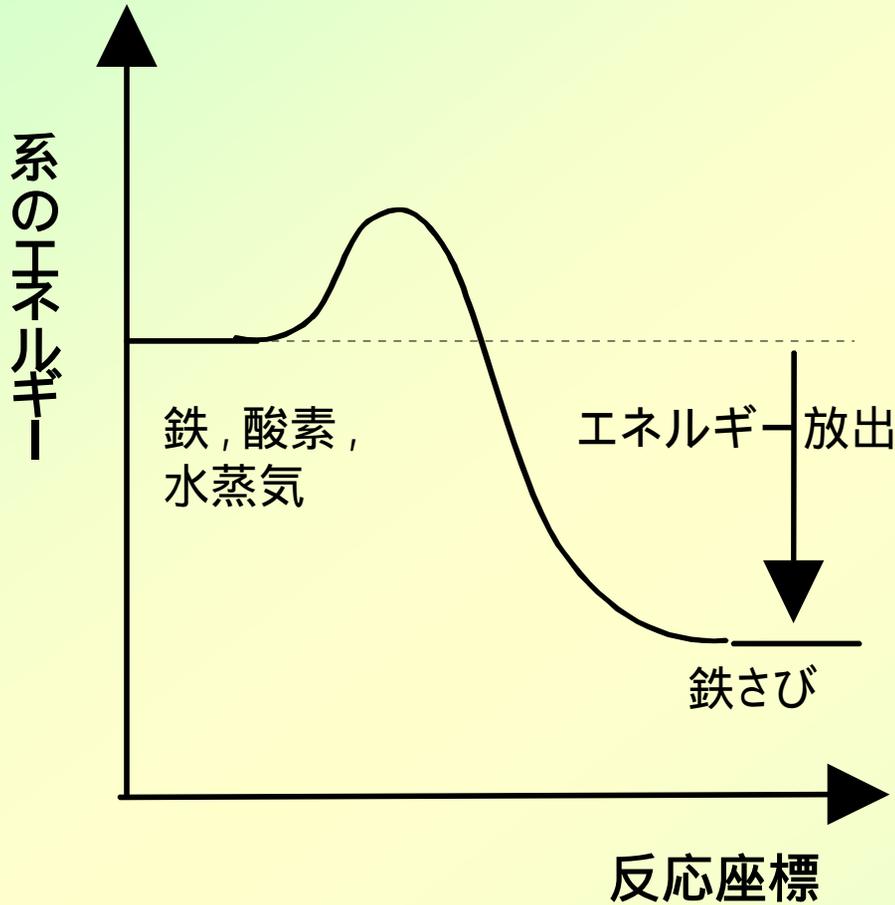
カイロ中には, 塩化物イオンが含まれている。

カイロの発熱反応



自然にさびができる理由

鉄の安定度



鉄(単体)

安定

酸素と化合した状態

自発反応は, エネルギー的に安定な方向に進む。

金属のさび



- 金属は、放置しておくとさびができる。

酸化した状態が安定



鉄イオンの色



Fe²⁺

Fe³⁺

FeCl₂水溶液

FeCl₃水溶液

鉄イオンの色

- 鉄()イオン
淡緑色
- 鉄()イオン
黄色

鉄()イオンの濃度による色の変化



- 0.01M以下の濃度では、色の変化がみにくい。

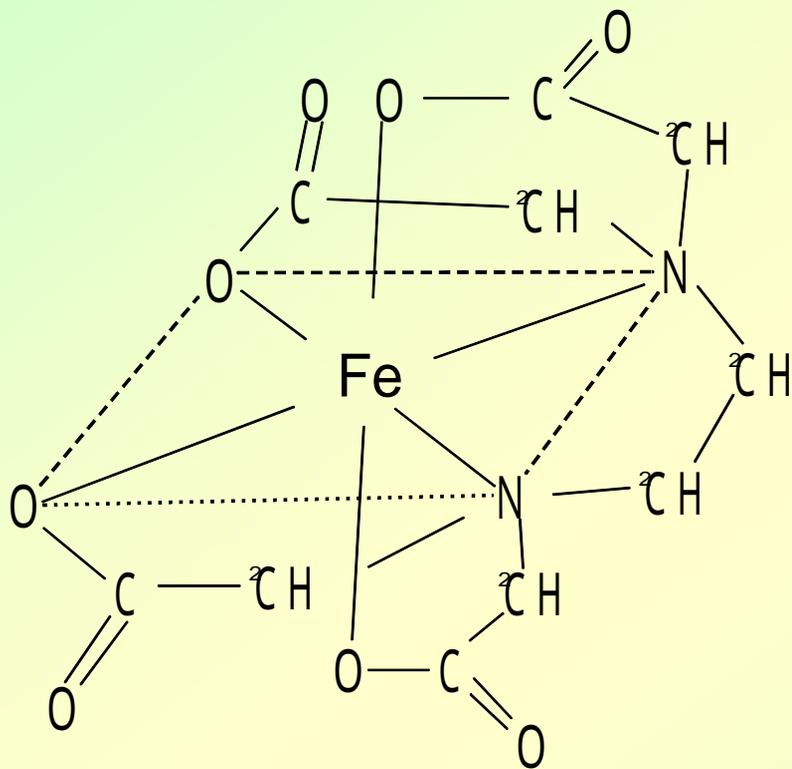
鉄()サリチル酸の色の変化



- サリチル酸は、鉄()イオンの指示薬に使うことができる。

指示薬とは、滴定を行うときに反応の終点を判定するのに用いる試薬

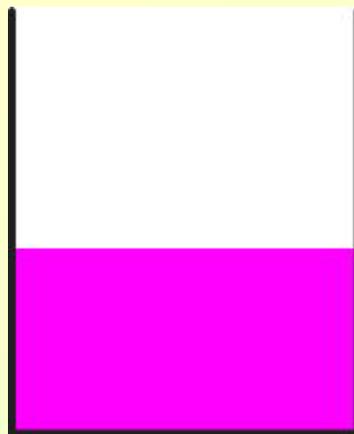
鉄()-EDTA錯体



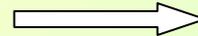
鉄のEDTAキレート

鉄錯体の安定度

鉄-サリチル酸 < 鉄-EDTA



鉄 サリチル酸錯体



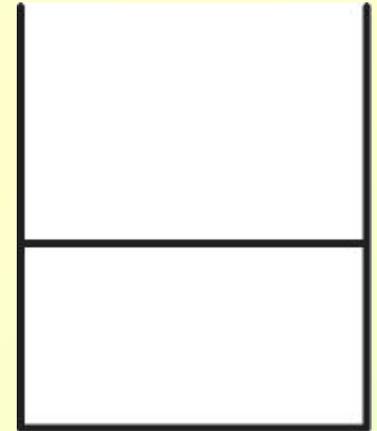
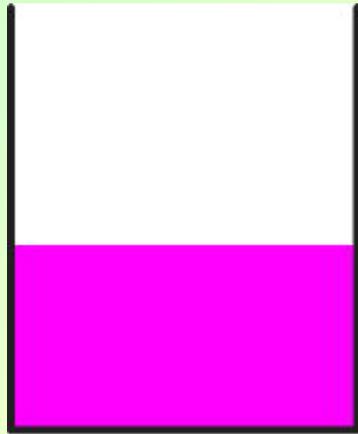
EDTA
を加える



鉄-EDTA錯体

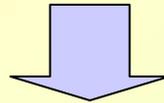
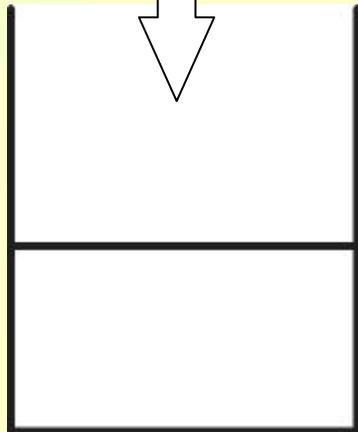
キレート滴定

緩衝溶液を用いて, pH = 1.7 ~ 2.8に調整する。
サリチル酸アルコール溶液を数滴加える。

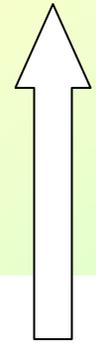
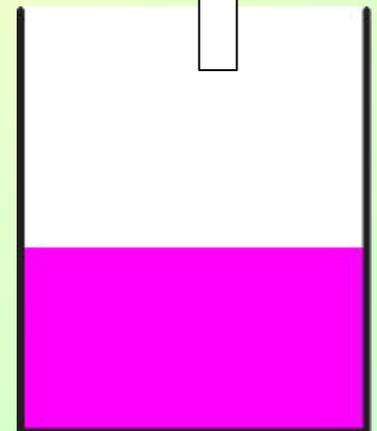


EDTAを滴下

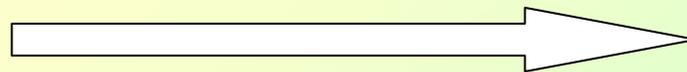
EDTAを滴下



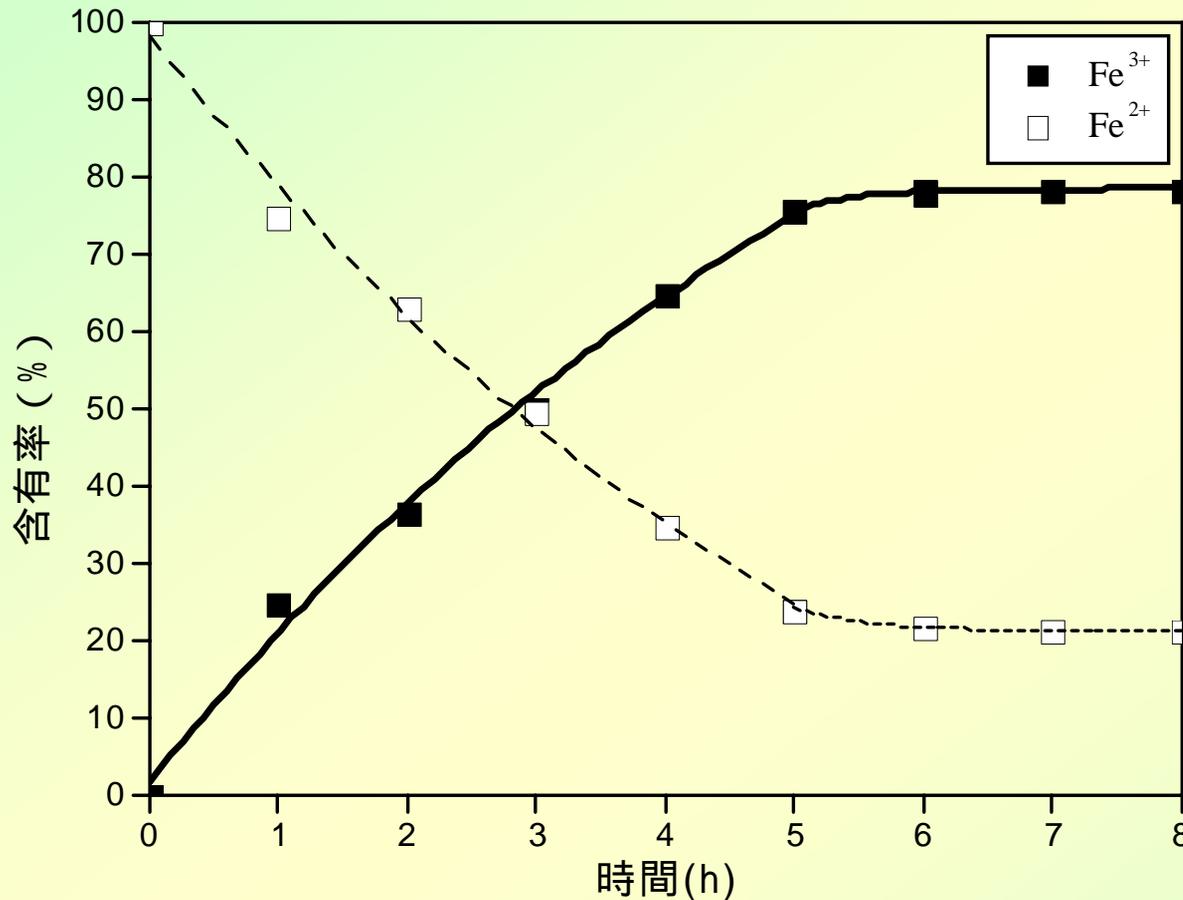
鉄()イオン : 鉄()イオン



H₂O₂で鉄()イオンを鉄()イオンに酸化する。



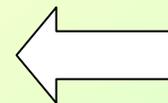
鉄イオン含有率の経時変化



6時間後まで
時間経過とともに
割合が変化

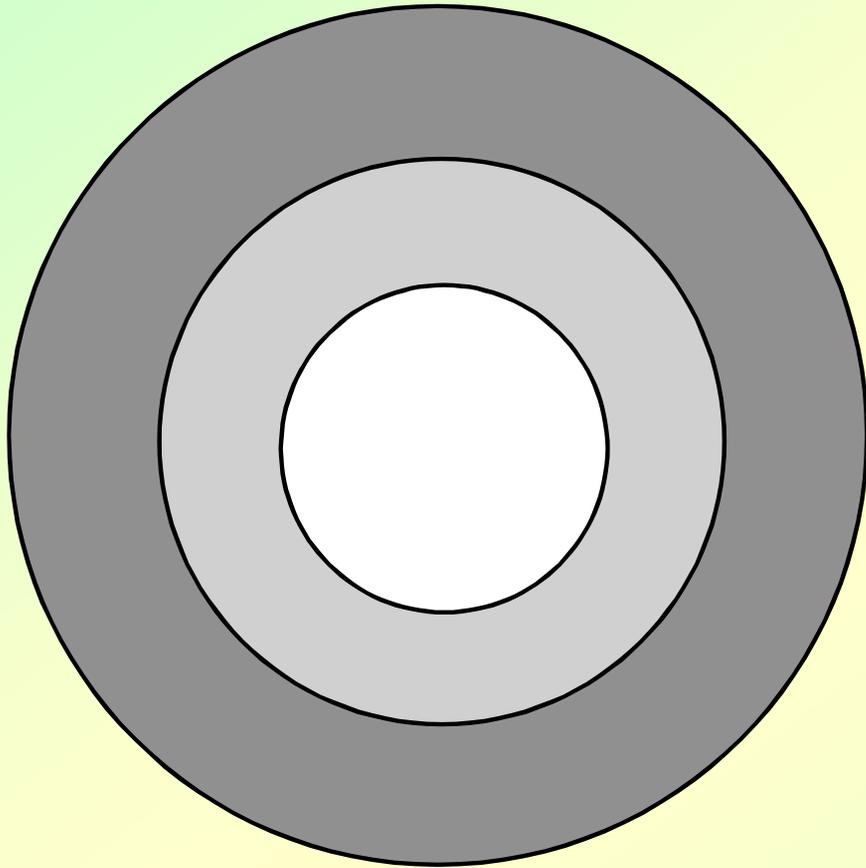
6時間以降
割合の変化はほ
とんど変化なし

未反応の鉄 or Fe_3O_4
2価と3価



8時間反応させた試料
鉄()イオンが検
出される

鉄の酸化反応(スチールウール)



Fe



Fe₃O₄

鉄は3価と2価



Fe₂O₃

鉄は3価

鉄の固体の酸化反応

外側

内側

水素の発生量から未反応の鉄含有率を求める。

次の化学反応により鉄と等量の水素が気体として発生する



$$n_{\text{H}_2} = \frac{(p - p_{\text{H}_2\text{O}}) V_{\text{gas}}}{RT}$$

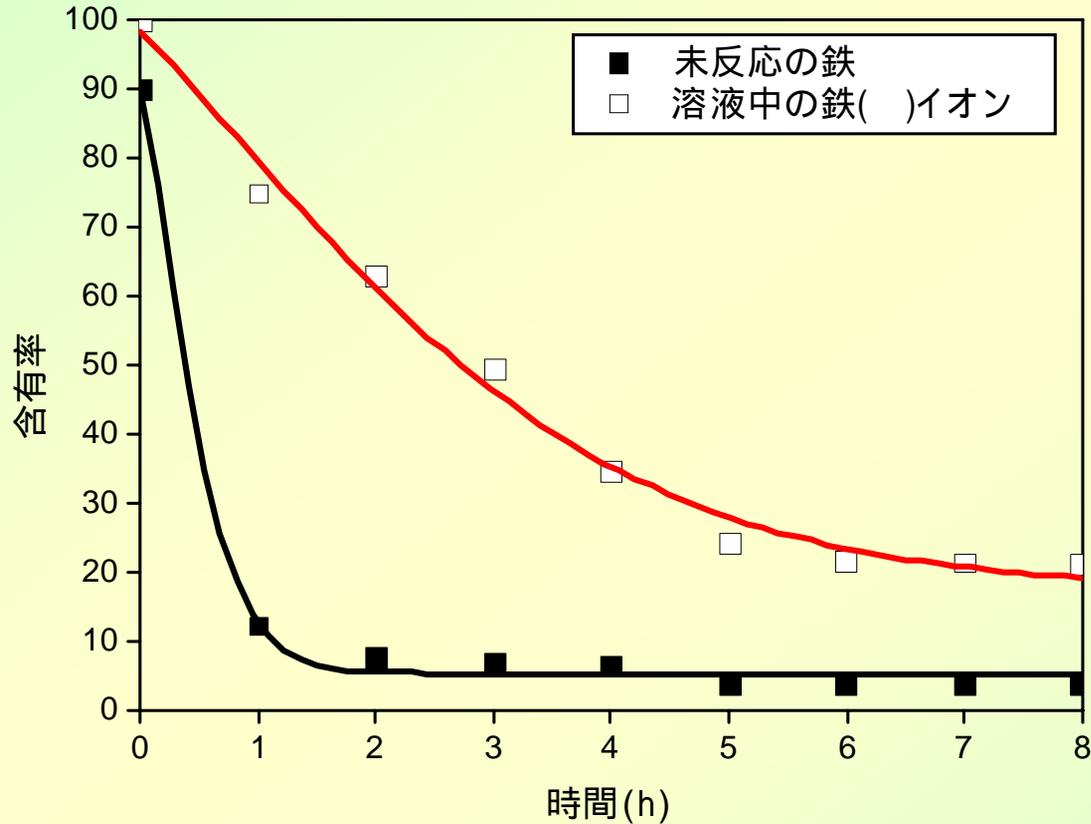
理想気体の状態方程式
を仮定する。(PV=nRT)

$$\text{Ratio} = \frac{n_{\text{H}_2}}{\frac{W_{\text{Fe}}}{Fe}} \times 100$$

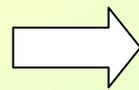
未反応の鉄の物質質量
化学カイクロに用いた鉄の物質質量

未反応の鉄含有率 (%)

未反応の鉄と鉄()イオンの割合の変化



未反応の鉄の含有率より鉄()イオンの含有率の方が高い。

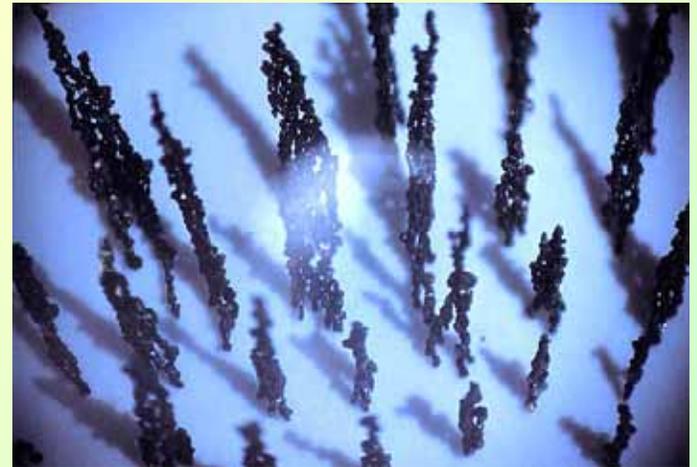


一部 Fe_3O_4

カイロにおける酸化反応のまとめ

- カイロの発熱は、鉄の酸化反応によるものである。
- 鉄の酸化状態の変化は、EDTAを用いたキレート滴定によって追跡することができる。
- 金属は(金や白金を除く)、放置しておくとも単体から酸化物の状態へと自然に(自発的に)変化する。

2.鉄の還元反応



砂鉄の顕微鏡写真

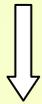
たたら製鉄の鉄精錬法

製鉄遺跡操業想像図



カイロの廃棄物からの鉄の生成

カイロの廃棄物
活性炭
酸化鉄



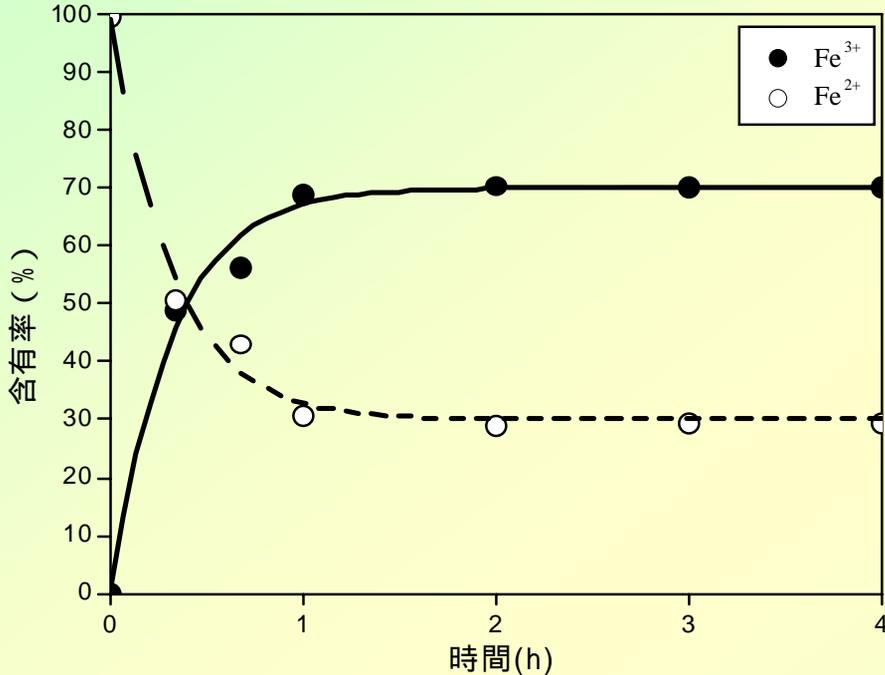
たたら製鉄の原料と同じ

900 で一時間熱すると鉄が得られる。

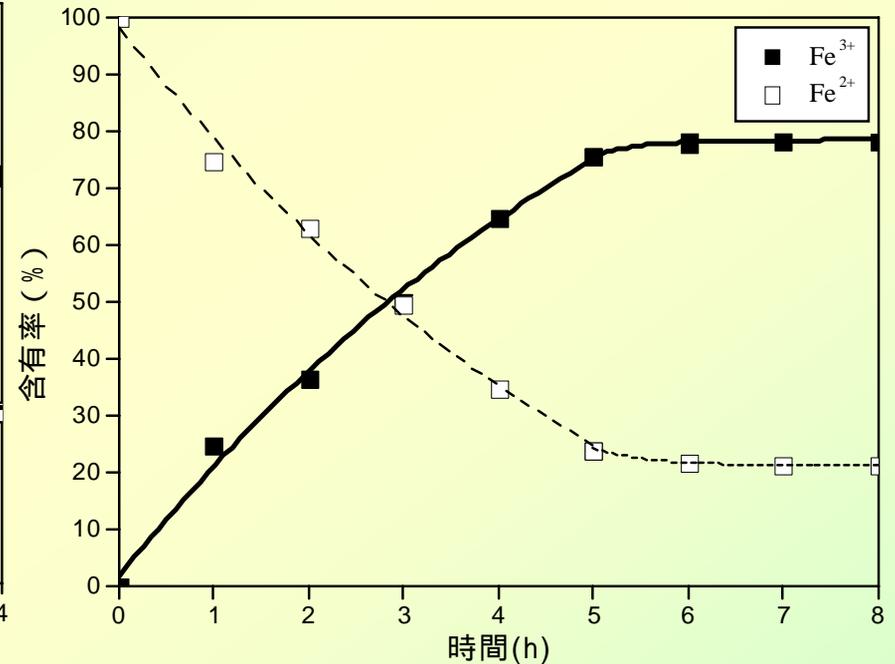


還元後の鉄イオンの反応の追跡

還元後



還元前

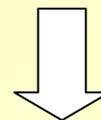


還元前の試料と比較して

- 反応が急速に進行 → 鉄の表面積が小さくなった

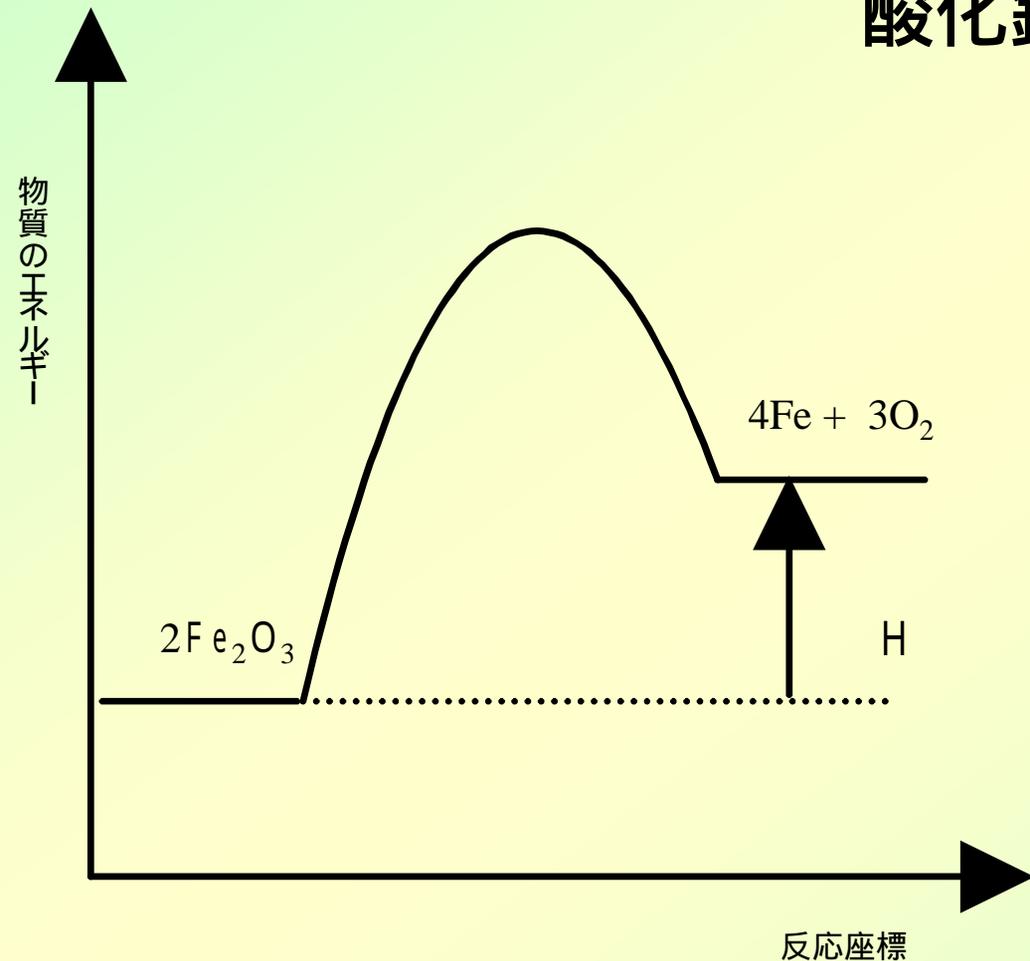
鉄の精錬

酸化鉄(鉄鉱石) 鉄+酸素



必要なエネルギー

$$H = 5150\text{kJ/kg}$$



鉄鉱石と鉄のエネルギー

鉄は単体として存在するよりも、酸素と結合した状態が安定である。

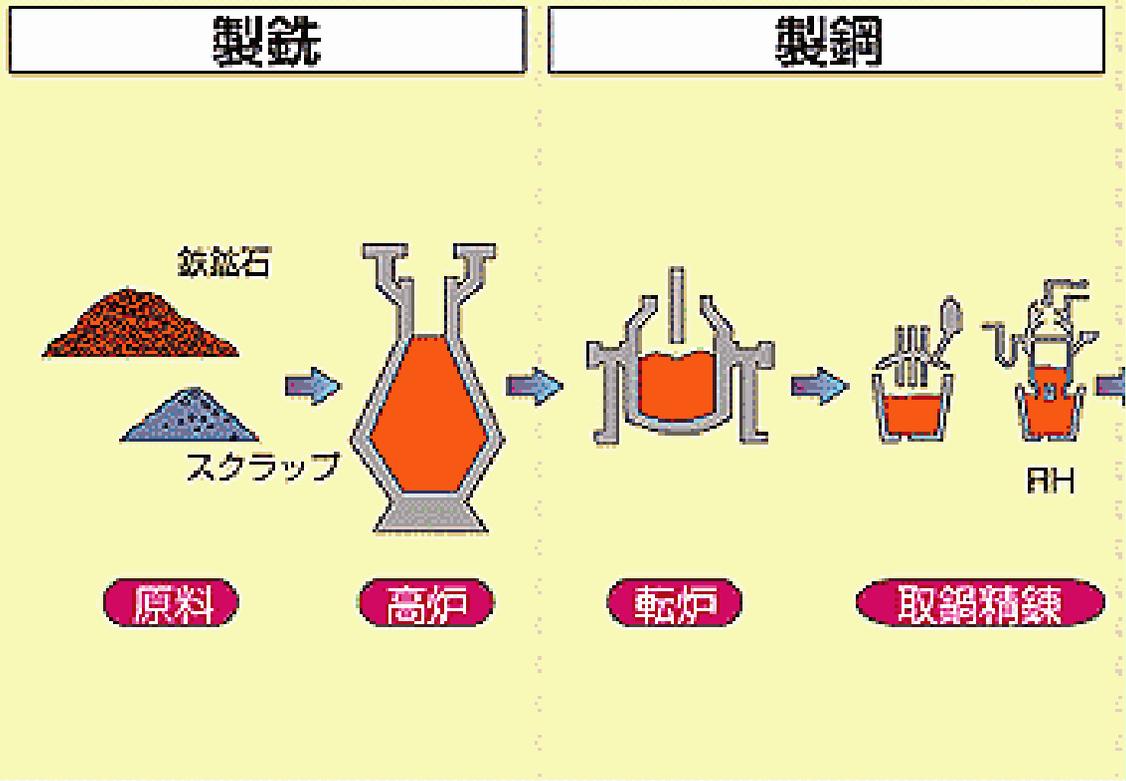
鉄の単体を作るには、多量のエネルギーが必要。

鉄の精錬法

高炉法

- 原料・・・鉄鉱石
- スクラップ
- 方法・・・化石燃料
- 一酸化炭素

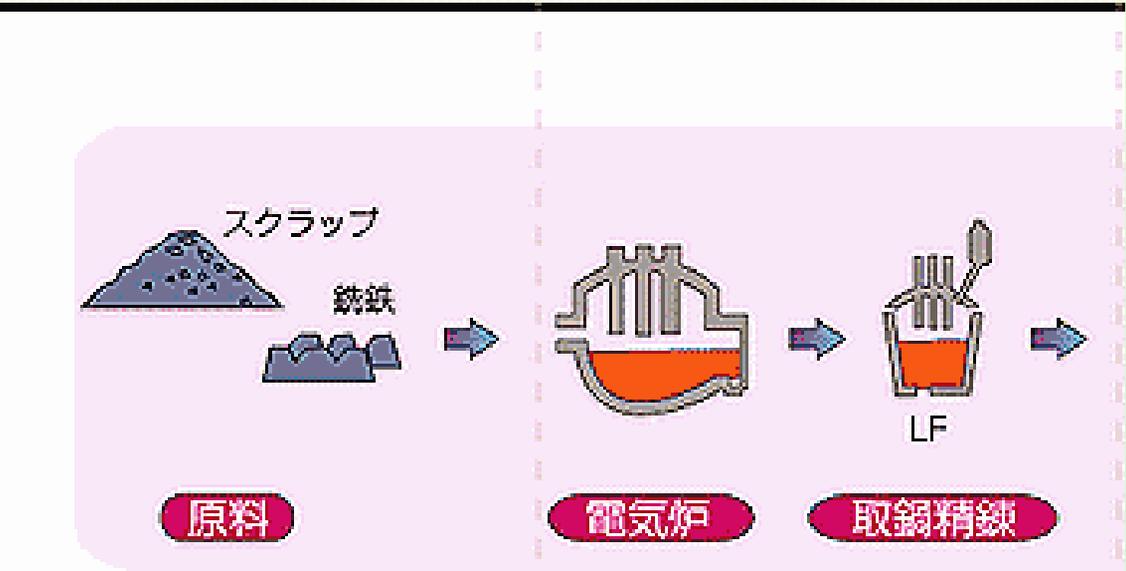
高炉



電炉法(鉄のリサイクル)

- 原料・・・スクラップ
- 銑鉄
- 方法・・・電気

電炉



鉄のリサイクル

項目	鉄鉱石からの生産	スクラップからの生産	リサイクルによって節約できる割合
鉄鉱石と水以外の物質所要量	2278t	250t	89%
用水量	63トン	37トン	41%
エネルギー消費量	2.5×10^{10} kJ	6.4×10^9 kJ	74%
大気汚染物質発生量	121t	17t	86%
水質汚染物質発生量	67.5t	16.5t	76%

高炉法による鉄の精錬

電炉法による鉄の再生



32%のエネルギー

還元反応のまとめ

- カイロの実験廃棄物は、活性炭と酸化鉄の混合物であるので、高温で加熱するとカイロとして再利用することができる。
- 人類は、多量のエネルギーを使って鉱物（主に金属の酸化物）を還元させ、金属の単体を利用してきた。
- リサイクルによってエネルギー・資源の節約をすることができる。

3.リサイクルの有用性

循環型社会の構築に向けて
～家電リサイクル法の完全施行への準備～

家電リサイクル法

(特定家庭用機器再商品化法)



AIR-CONDITIONER

TELEVISION

ELECTRIC REFRIGERATOR

WASHING MACHINE



金属の残量

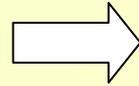
金属	鉱物名	埋蔵量(金属含有量)	可採年数
鉄	鉄鉱石	1240億トン	210.8年
アルミニウム	ボーキサイト	340億トン	-
銅	銅鉱	650億トン	53.7年
鉛	鉛鉱	1億4000万トン	44.8年
亜鉛	亜鉛鉱	4億4000万トン	58.1年
スズ	スズ鉱	1200万トン	55.0年
ニッケル	ニッケル鉱	1億4000万トン	123.8年

地球の金属は有限である。

金属が単体として存在することはあまりない。

エネルギー問題

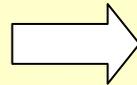
- 石油 30～40年
- 天然ガス 40年
- 石炭 200年



温室効果ガスの排出

地球温暖化

- 原子力の利用



放射線廃棄物

数万～数10万年保管する必要がある

- 火力・原子力発電は蒸気機関を利用している。

蒸気機関はエネルギーを一度熱にかえて利用するためエネルギーの30～40%程度しか利用できない。

エネルギーの60%を無駄にしている。

3R's

3R (Reduce, Reuse, Recycle)



- Reduce
- Reuse
- Recycle

例：パソコンの3R

まとめ

- 単体の金属は、自然にさびが生じる。
- 人類は、酸化した金属を還元させて金属を利用してきたように、自然に多くの影響を与え続けている。
- 地球の資源は有限であるから、3R'sを実践することが大切である。