

1 概要

本装置は 塩酸を電気分解し 陽極側で塩素ガスを 陰極側で水素ガスを生成する装置です。
陽極で生成した塩素ガスを洗浄槽へ供給し 洗浄液の再生を行うものです。
陽極液に35%塩酸を供給し 電気分解後 所定の濃度となった陽極液は陰極へ送液されます。
陽極液は液中に塩素ガスを溶解しているため 陰極液として使用する前に脱塩素処理され陰極へ送られます。電気分解の進行と共に陽極で生成した水素イオンは陰極側へ移行し 水素イオンと共に水分子が移行してきます。陰極液を一定の液量に保つため 陰極液を抜き出します。
一方 陰極で生成した水素ガスは陰極液と分離され大気中へ放出されます。

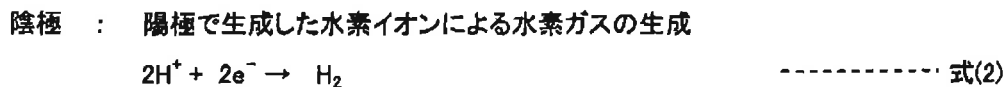
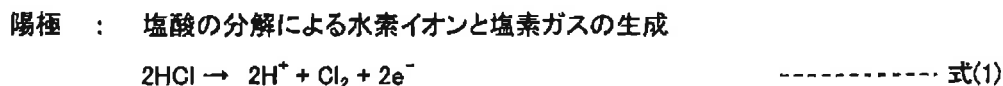
2 塩酸の電気分解

2-1 塩酸電解法の沿革

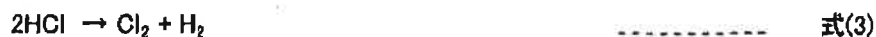
塩酸電解による塩素と水素の製造法は、主としてヨーロッパで発達し 塩酸電解は1800年代に研究され 第2次世界大戦中にドイツで運転された電解槽が実用電解槽の最初といわれています。現在、運転されている塩酸電解工場は確認されているもので9工場(ヨーロッパ 6工場,ロシア2工場 中国 1工場)で 電解はいずれも堅型隔膜法を採用しており 特にドイツのKrupp-Uhde槽はドイツのみならず 海外でも採用され 能力合計は65万t/年(1997年)を超えています。

2-2 塩酸の電解反応

塩酸は水に溶解し塩酸(HCl)は水素イオン(H⁺)と塩素イオン(Cl⁻)に解離しています。
塩酸を電解槽に供給し 直流電流を流すと陽極と陰極の極面上で電気化学反応を起こします。
即ち 陽極面上では塩素ガスが生成し、陰極面では水素ガスが生成されます。
当電解槽内で起こる反応は次式で表せます。



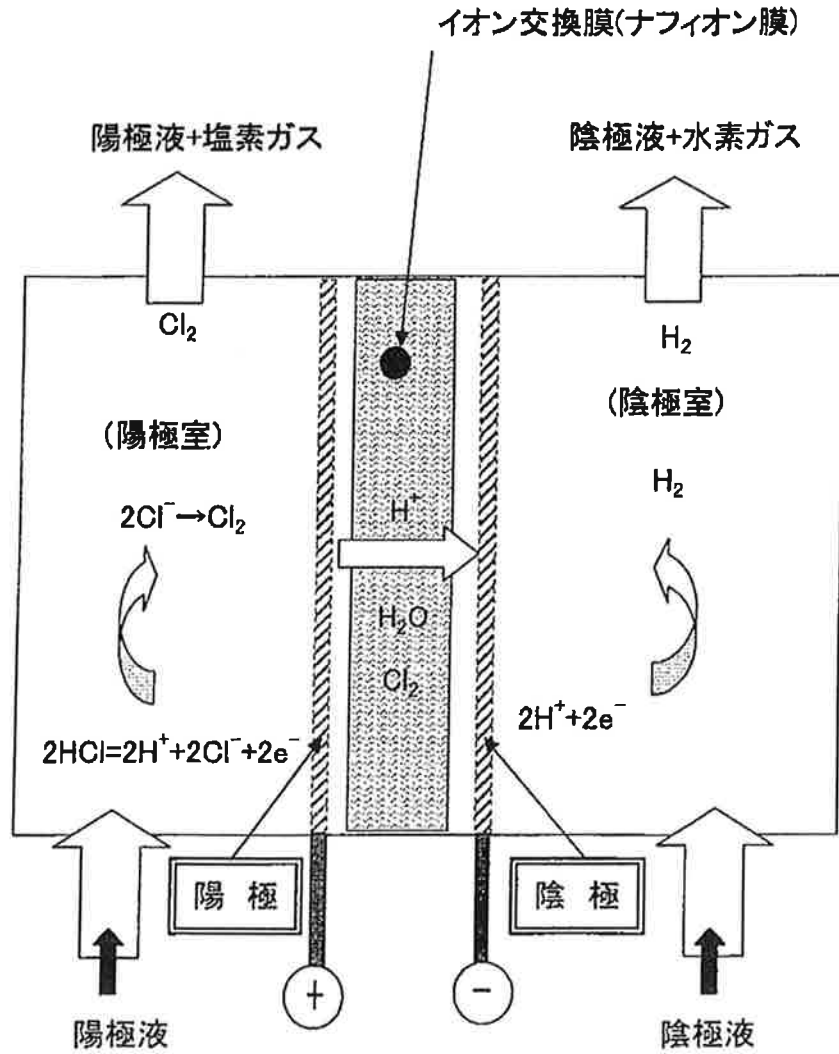
従って 総合反応として



となります。

上記の電解反応を図式モデルにすると以下の様になります。

図1. 塩酸電解の原理図



イオン交換膜はデュボン社製のナフィオン膜を使用しています。
 陽極電極表面で生成した塩素イオンは塩素ガスとして生成します。
 一方 生成した水素イオンはイオン交換膜を透過し 陰極電極で水素ガスを発生します。
 陽極で生成した水素イオンがイオン交換膜を透過する際に陽極側より陰極側へ水が水素イオンに
 対し1.5~2.0のモル比で移動します。 陽極で生成した塩素ガスは極く微量イオン交換膜を透過
 して陰極側へ移行します。

2-3 電解槽の性能の評価

電解槽の性能評価は下記の電流効率及び電力原単位等により行います。

(1) 基準となる電解槽の陽極での塩素ガスの生成量

Faradayの法則により塩酸電解での塩素ガスの理論生成量は下式となります。

$$W_e = n \times M_i \times 3600 / F = 7 \times 35.45 \times 3600 / 96487 = 7 \times 1.323 \text{g/Amp} = 9.261 \text{g-Cl}_2/\text{Amp}$$

ここで

W_e :	電流1Amp当たり生成する理論塩素ガス量(g)	
M_i :	塩素分子量	35.45
F :	Faraday定数	96,487 クーロン
n :	電解槽のセル数(今回納入分は 7セル)	

(2) 電流効率及び電力原単位の算出

電流効率(Φ)及び電力原単位(W)は各々 下式で表されます。

$$\Phi = 100 \times W_a / W_t (\%)$$

$$W = (E \times V) / W_a (\text{kWh/Cl}_2\text{-kg})$$

ここで

Φ :	電流効率 (%)
W :	電力原単位 (kWh/Cl ₂ -kg)
W_a :	塩素ガス生成量(kg)
W_t :	塩素ガス理論生成量(kg)
E :	電解槽電流 (Amp)
V :	電解槽電圧 (Volt)

塩素ガス理論生成量 W_t は各々下式で表されます。

$$W_t = E \times W_e / 1000 (\text{kg/h})$$

(4) 水素ガス発生量の算出

電流1Amp当たりの水素ガスの発生量(V_h)は下式で求められます。

$$V_h = W_j \times 22.4 \times (273+t) \times P_i / (273 \times M_h) (\text{L/Amp})$$

ここで

t :	電解槽温度 (°C)
P_i :	電解槽内圧力 (Atm)
W_j :	電流1Amp当たり生成した水素ガス生成量(g)
M_h :	水素ガス(H ₂)分子量

計算例として水素ガス発生電流効率 Φ_h を92% 電解槽温度 25°C 圧力を1Atm.とした場合

$$W_j = \Phi_h \times W_h / 100 = 92 \times 0.261 / 100 = 0.240 (\text{g-H}_2/\text{Amp})$$

ここで

Φ_h : 水素ガス発生 of 電流効率 92%

W_h : Faradayの法則による理論水素発生量 0.261g-H₂/Amp

従って電流1Amp当りの水素ガスの発生量は

$$V_h = 0.240 \times 22.4 \times (273+25) / (273 \times 2) = 2.93(\text{L/Amp})$$

となります。

3 電解槽の構造と材質

3-1 電解槽の構造

弊社の塩酸電解槽はフィルタープレス型のバイポーラタイプで陽極/陰極のターミナルとその間に陽極・陰極を外面に取り付け中枠を挟みこんだ構造となっています。

下図の組立図2の概略を参照下さい。

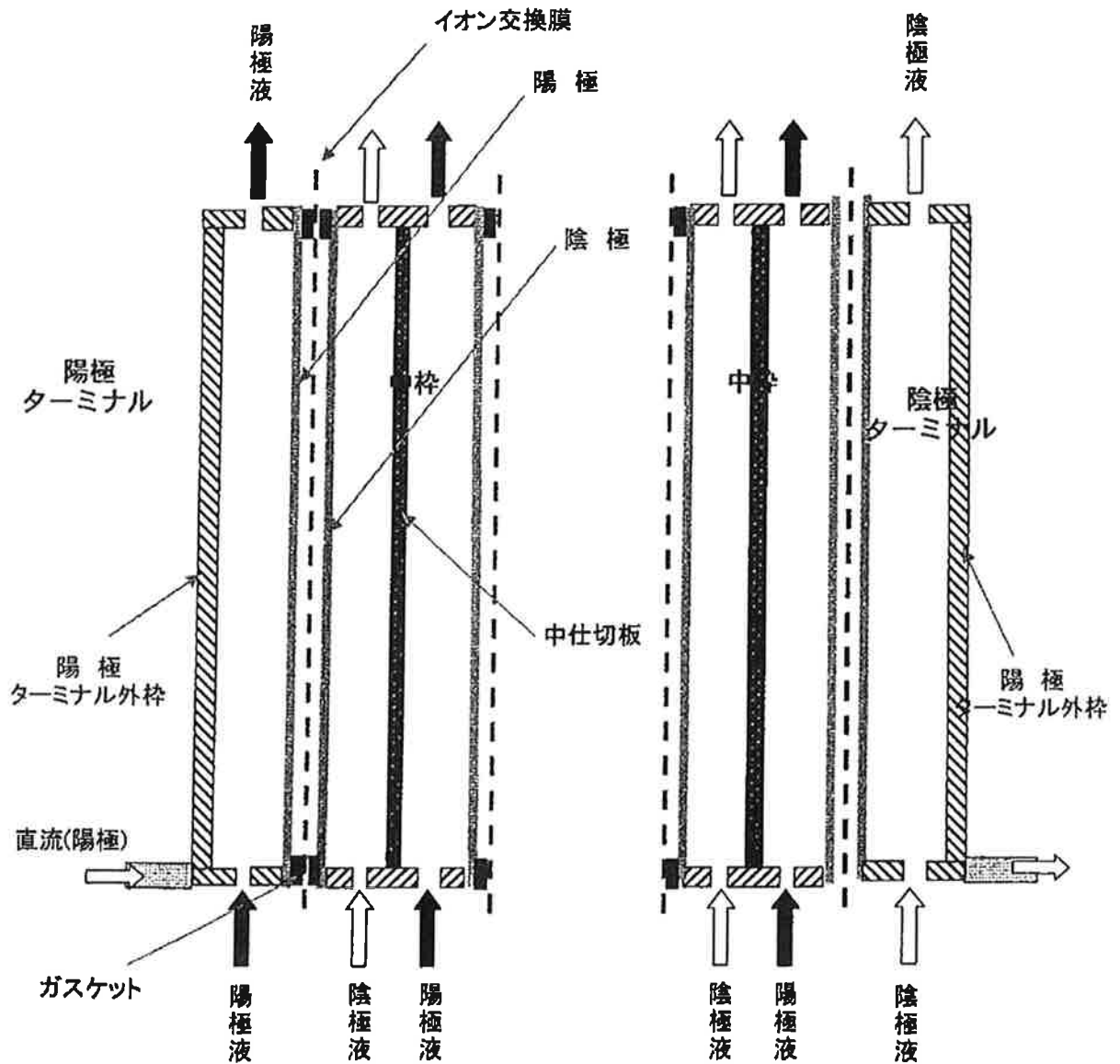


図2. バイポーラ型塩酸電解槽の組立図

イオン交換膜は陰極と陽極の間に挟まれた構造となっており 直流電源は陽極ターミナル側と陰極ターミナルに接続されます。陽極ターミナルと陰極ターミナルの間に挟まれた中枠は中仕切板で仕切られ 両側に各々陰極と陽極を取り付けてあります。中枠の数を増減することにより電解槽の能力を増減することが出来ます。

各セルはブラケットを介して接続され 電流を陽極より陰極へ流すことが出来ます。

陽極/陰極ターミナルの外側へセルを固定する固定枠がセットされ タイロッドによりセルを所定のトルクで締め付ける構造となっています。

3-2 電解槽の材質

陽極の材質はチタンを基材とし 表面にイリジウム系の合金をコーティングし優れた性能と耐久性を示します。又 陰極はチタン材を採用しています。

陽極室・陰極室等塩酸と接触する箇所はカーボンスチール材の基材表面にチタン板を貼付けてあります。

サブヘッダーは陽極はチタン、陰極はPVCのFRP巻きです。

陰極・陽極ノズルはチタン製で ヘッダーと電解槽を接続するチューブはFRP製で イオン交換膜をシールするガスケットはEPDMです。

4 塩酸電解フローと機能の概要

4-1 電解槽の仕様について

本電解装置は7枠のセルで構成され電解槽の概要は以下の通りです。

構成セル数	7 基
電極寸法(面積)	700 × 1000mm(70dm ²)
電解槽塩素生成量(設計値)	19.3 kg/h
(注: 必要塩素量	19.0 kg/h
塩素発生電流効率	85 %(設計値)

塩素ガス生成量は以下の通りとなります。

電流値を設計値の2,450Aとすると

塩素ガス量は電流効率85% で

$$W_1 = 1.323 \times 0.85 \times 2450 \times 7 / 1000 = 19.3(\text{kg/h})$$

となります。

一方 電圧は3.0V/セルであるので 電解槽の電圧は21Vとなります。

又 電力原単位は以下の通りとなります。

表2.電力原単位の計算例

塩素発生量(kg/h/槽)	19.3	但し 塩素発生効率 85 % 陽極塩酸濃度 10 wt.% 陰極塩酸濃度 3 wt.% (設計値)
セル数	7	
分解電流 (Amp)	2450	
電流密度(Amp/dm ²)	35	
電解槽解電圧 (Volt/槽)	3.0	
分解電圧 (Volt)	21	
電力 (kWh)	51.5	
電力原単位(kWh/Cl ₂ -kg)	2.67	

電力原単位の計算値は塩酸濃度が陽極 10wt%, 陰極で 3wt.%における値で 塩酸濃度が変動すると電解槽の電圧が変動し電力原単位が変動します。又 経年劣化による電極の劣化により電流効率が低下すると同様に電力原単位が悪化します。

4-2 システムの構成について

当システムは別添のフローシートに示す通り 塩酸供給部と直流電源装置と電解装置で構成されており 陽極で発生する塩素ガスはエジェクターで吸気されます。陰極で発生した水素ガスは陰極セパレーター及び陰極循環タンクより各々大気へ排出されます。