

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7101771号  
(P7101771)

(45)発行日 令和4年7月15日(2022.7.15)

(24)登録日 令和4年7月7日(2022.7.7)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 1 M	8/18 (2006.01)	H 0 1 M	8/18
H 0 1 M	8/026(2016.01)	H 0 1 M	8/026
H 0 1 M	8/0263(2016.01)	H 0 1 M	8/0263
H 0 1 M	8/0258(2016.01)	H 0 1 M	8/0258

請求項の数 19 (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-523917(P2020-523917)	(73)特許権者	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(86)(22)出願日	平成30年6月6日(2018.6.6)	(73)特許権者	504176911 国立大学法人大阪大学 大阪府吹田市山田丘1番1号
(86)国際出願番号	PCT/JP2018/021776	(74)代理人	100100147 弁理士 山野 宏
(87)国際公開番号	WO2019/234867	(74)代理人	100111567 弁理士 坂本 寛
(87)国際公開日	令和1年12月12日(2019.12.12)	(72)発明者	花房 慶 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内
審査請求日	令和2年12月14日(2020.12.14)	(72)発明者	伊田 尚馬

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 双極板、セルフフレーム、セルスタック、及びレドックスフロー電池

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも1つの溝とを備える双極板であって、前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも1つは曲線部を有し、

前記溝の開口幅が先端側に向かって小さくなる、

双極板。

## 【請求項2】

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも1つの溝とを備える双極板であって、前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも1つは曲線部を有し、

前記溝の少なくとも一部に開口幅が2mm以上の幅広部を有し、前記幅広部内に底部から突出する凸部が形成されている、

双極板。

## 【請求項3】

前記溝は、樹枝状に形成され、幹溝部と、前記幹溝部から分岐する少なくとも1つの枝溝部とを備え、

前記枝溝部の少なくとも1つは、前記幹溝部に対して非直交に交差する請求項1又は請求項2に記載の双極板。

## 【請求項4】

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも1つの溝とを備える双極板であって、  
前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも1つは曲線部を有し、  
前記溝は、樹枝状に形成され、幹溝部と、前記幹溝部から分岐する少なくとも1つの枝溝部とを備え、  
前記枝溝部の少なくとも1つは、前記幹溝部に対して非直交に交差する、  
双極板。

【請求項5】

前記枝溝部の少なくとも1つに前記曲線部を有する請求項3又は請求項4に記載の双極板。

【請求項6】

前記枝溝部の少なくとも1つは、当該枝溝部から更に分岐する枝溝部を有する請求項3から請求項5のいずれか1項に記載の双極板。

【請求項7】

前記枝溝部の枝分かれ回数をN（N：自然数）とするとき、Nが3以下である請求項6に記載の双極板。

【請求項8】

枝分かれ後の前記枝溝部の開口幅が枝分かれ前の前記枝溝部の開口幅よりも小さい請求項6又は請求項7に記載の双極板。

【請求項9】

前記流路は、  
前記電解液の導入口及び排出口と、  
前記導入口から前記電解液を導入する導入路と、前記導入路とは連通せずに独立して、前記電解液を前記排出口に排出する排出路とを備え、  
前記導入路及び前記排出路がそれぞれ少なくとも1つの前記溝を備えており、  
前記導入路及び前記排出路の少なくとも一方は、前記導入口又は前記排出口に接続されて前記双極板の縁部に沿って形成される整流部を備える請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の双極板。

【請求項10】

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも1つの溝とを備える双極板であって、  
前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも1つは曲線部を有し、

前記流路は、

前記電解液の導入口及び排出口と、  
前記導入口から前記電解液を導入する導入路と、前記導入路とは連通せずに独立して、前記電解液を前記排出口に排出する排出路とを備え、  
前記導入路及び前記排出路がそれぞれ少なくとも1つの前記溝を備えており、  
前記導入路及び前記排出路の少なくとも一方は、前記導入口又は前記排出口に接続されて前記双極板の縁部に沿って形成される整流部を備え、  
前記導入路の溝と前記排出路の溝とが互いに向かい合って交互に配列される対向歯領域を有する、  
双極板。

【請求項11】

前記双極板と前記電極とが対向する有効電極領域が矩形状で、前記導入口と前記排出口とが前記有効電極領域の対角位置に設けられており、  
前記整流部と前記有効電極領域の対角線とがなす角度が40°以上50°以下である請求項9又は請求項10に記載の双極板。

【請求項12】

前記双極板において、前記導入口側を下側、前記排出口側を上側とするとき、  
前記流路が、上下非対称になっている請求項9から請求項11のいずれか1項に記載の双極板。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 3】

前記曲線部の曲率半径が  $0.1\text{ mm}$  以上である請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の双極板。

## 【請求項 1 4】

前記双極板の前記対向面のうち、前記電極と接触する接触面積を  $A$ 、前記溝の平面開口面積を  $B$  とするとき、 $A / (A + B)$  が  $0.5$  超  $0.95$  未満である請求項 1 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の双極板。

## 【請求項 1 5】

前記溝の電解液の流通方向に直交する断面において、前記溝の開口部側の幅が底部側の幅以上である請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の双極板。

10

## 【請求項 1 6】

前記溝の断面形状が開口部側から底部側に向けてテーパ状に形成されている請求項 1 5 に記載の双極板。

## 【請求項 1 7】

請求項 1 から請求項 1 6 のいずれか 1 項に記載の双極板と、前記双極板の外周に設けられる枠体とを備えるセルフフレーム。

## 【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載のセルフフレームを備えるセルスタック。

## 【請求項 1 9】

請求項 1 8 に記載のセルスタックを備えるレドックスフロー電池。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、双極板、セルフフレーム、セルスタック、及びレドックスフロー電池に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

大容量の蓄電池の一つとして、レドックスフロー電池（以下、「RF電池」と呼ぶ場合がある）が知られている（例えば、特許文献 1、2 を参照）。一般的に、RF電池では、セルフフレーム、正極電極、隔膜、負極電極をそれぞれ複数積層してなるセルスタックが使用されている。セルフフレームは、正極電極と負極電極との間に配置される双極板と、双極板の外周に設けられる枠体とを備えている。セルスタックは、隣接するセルフフレームの双極板の間に、隔膜を挟んで正負の電極が配置され、1つのセルが形成される。RF電池は、電極が内蔵されたセルに電解液をポンプで循環させて充放電を行う。

30

## 【0003】

特許文献 1、2 には、双極板の電極側の面に電解液が流通する複数の溝を形成して流路を構成することが記載されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【文献】特開 2015 - 122230 号公報

40

特開 2015 - 210849 号公報

## 【発明の概要】

## 【0005】

本開示の双極板は、

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも 1 つの溝とを備える双極板であって、前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも 1 つは曲線部を有する。

## 【0006】

本開示のセルフフレームは、

上記本開示の双極板と、前記双極板の外周に設けられる枠体とを備える。

50

## 【 0 0 0 7 】

本開示のセルスタックは、  
上記本開示のセルフフレームを備える。

## 【 0 0 0 8 】

本開示のレドックスフロー電池は、  
上記本開示のセルスタックを備える。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 実施形態に係るレドックスフロー電池の動作原理図である。

【 図 2 】 実施形態に係るレドックスフロー電池の一例を示す概略構成図である。

10

【 図 3 】 実施形態に係るセルスタックの一例を示す概略構成図である。

【 図 4 】 実施形態に係る双極板を備えるセルフフレームを、双極板の一面側から平面視したときの概略平面図である。

【 図 5 】 図 4 に示す電解液の流路を構成する溝の 1 つを抜き出して示す拡大図である。

【 図 6 】 実施形態における溝の断面形状を模式的に示す概略断面図である。

【 図 7 】 実施形態に係る双極板の変形例を示す概略平面図である。

【 図 8 A 】 試験例 1 に用いた試料 No. 1 の双極板を示す平面図である。

【 図 8 B 】 試験例 1 に用いた試料 No. 2 の双極板を示す平面図である。

【 図 8 C 】 試験例 1 に用いた試料 No. 3 の双極板を示す平面図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

20

## 【 0 0 1 0 】

[ 本開示が解決しようとする課題 ]

レドックスフロー電池の更なる電池性能の向上が望まれており、電池性能を向上する観点から、電池の内部抵抗（セル抵抗）を低減することが求められている。内部抵抗の要因としては、電解液の流通状態、例えば、電解液の流通抵抗、電極での反応抵抗などが挙げられる。

## 【 0 0 1 1 】

レドックスフロー電池の電極は、供給された電解液に含まれる活物質（金属イオン）の電池反応を促進させる反応場として機能する。電極には、通常、炭素繊維からなるカーボンフェルトなどの多孔質材料が利用されており、電極内に電解液が流通する。双極板の電極側の面に電解液が流通する溝を有する流路を備える場合、電解液の流通抵抗を低減でき、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できる。また、溝を有する流路を備える双極板を用いることで、電極内に浸透する電解液の流れを制御して、電極内での電解液の分布が不均一になることを抑制できる。電極内に浸透する電解液の分布のバラツキを抑制することにより、電極と電解液との反応性を向上でき、電極での反応抵抗を低減できる。

30

## 【 0 0 1 2 】

しかしながら、従来では、電極での電解液の流通状態を十分に考慮した上で内部抵抗を低減することについて、必ずしも十分な検討がなされているとはいえなかった。従来の双極板は、流路が主として直線状の溝で構成されているため、溝のレイアウトの自由度が低く、電極内での電解液の分布の均一性を十分に高めることが難しいなど、電極と電解液との反応性を改善する余地がある。

40

## 【 0 0 1 3 】

そこで、本開示は、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極と電解液との反応性を向上できる双極板を提供することを目的の一つとする。また、本開示は、電池性能を向上できるセルフフレーム及びセルスタックを提供することを目的の一つとする。更に、本開示は、電池性能に優れたレドックスフロー電池を提供することを目的の一つとする。

## 【 0 0 1 4 】

[ 本開示の効果 ]

本開示によれば、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極と電解液との反応性を向上できる双極板を提供できる。また、本開示によれば、電池性能を向上できるセルフフレーム及びセ

50

ルスタックを提供できる。更に、本開示によれば、電池性能に優れるレドックスフロー電池を提供できる。

【0015】

[本願発明の実施形態の説明]

最初に本願発明の実施形態の内容を列記して説明する。

【0016】

(1)実施形態に係る双極板は、

レドックスフロー電池の電極が配置され、前記電極に対向する対向面と、前記対向面に電解液が流通する流路を構成する少なくとも1つの溝とを備える双極板であって、

前記双極板を平面視したとき、前記溝の少なくとも1つは曲線部を有する。

10

【0017】

上記双極板によれば、電極に対向する対向面に電解液の流路が形成されていることで、電解液の流通抵抗を低減できると共に、電極内に浸透する電解液の分布を制御できる。流路を構成する少なくとも1つの溝が曲線部を有することで、直線状の溝に比べてレイアウトの自由度が上がるため、電極内における電解液の分布が均一になるように溝を効率的に配置することが可能である。これにより、電極内での電解液の分布の均一性を十分に高めることができ、電極と電解液との反応性を向上させることができる。したがって、上記双極板は、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極と電解液との反応性を向上できる。よって、上記双極板をレドックスフロー電池に用いた場合、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極での反応抵抗を低減することが可能であるので、電池の内部抵抗(セル抵抗)を低減することが可能である。

20

【0018】

溝の「曲線部」とは、溝の長手方向において曲線状をなす部分をいう。曲線部は、代表的には、非周期的な曲線状である。

【0019】

(2)上記双極板の一形態として、

前記曲線部の曲率半径が0.1mm以上であることが挙げられる。

【0020】

曲線部の曲率半径が0.1mm以上であることで、曲線部を有する溝の形成が容易である。曲線部の曲率半径の上限は、特に問わないが、例えば100mm以下である。

30

【0021】

(3)上記双極板の一形態として、

前記溝の開口幅が先端側に向かって小さくなることが挙げられる。

【0022】

溝の開口幅が先端側に向かって小さくなることで、先端側に近づくにつれて電解液の圧力が高くなり、溝から電極内へ電解液を浸透させ易い。

【0023】

(4)上記双極板の一形態として、

前記双極板の前記対向面のうち、前記電極と接触する接触面積をA、前記溝の平面開口面積をBとすると、 $A / (A + B)$ が0.5超0.95未満であることが挙げられる。

40

【0024】

双極板の対向面の面積(A+B)に占める電極の接触面積(A)の割合 $[A / (A + B)]$ が0.5超であることで、電極と双極板との接触面積を確保して、電極と双極板間の接触抵抗を低減できる。これにより、電池の内部抵抗(セル抵抗)を低減することが可能である。また、双極板の対向面における溝の形成面積(電解液の流路面積)を確保する観点から、電極の接触面積の割合 $[A / (A + B)]$ は0.95未満であることが好ましく、これにより、電解液の流通抵抗を効果的に低減できる。

【0025】

溝の「平面開口面積」とは、双極板を平面視したとき、対向面における溝の開口面積をいう。

50

## 【 0 0 2 6 】

( 5 ) 上記双極板の一形態として、

前記溝の電解液の流通方向に直交する断面において、前記溝の開口部側の幅が底部側の幅以上であることが挙げられる。

## 【 0 0 2 7 】

溝の断面において、溝の開口部側の幅が底部側の幅以上であることで、開口部側の幅よりも底部側の幅の方が広い場合に比べて、溝を形成し易い。

## 【 0 0 2 8 】

( 6 ) 上記 ( 5 ) に記載の双極板の一形態として、

前記溝の断面形状が開口部側から底部側に向けてテーパ状に形成されていることが挙げられる。

10

## 【 0 0 2 9 】

溝の断面が開口部側から底部側に向けてテーパ状に形成されていることで、溝から電極内へ電解液を浸透させ易い。

## 【 0 0 3 0 】

( 7 ) 上記双極板の一形態として、

前記溝は、樹枝状に形成され、幹溝部と、前記幹溝部から分岐する少なくとも1つの枝溝部とを備え、

前記枝溝部の少なくとも1つは、前記幹溝部に対して非直交に交差することが挙げられる。

## 【 0 0 3 1 】

溝が樹枝状に形成されていることで、溝から電極内の広範囲にわたって電解液を浸透・拡散させ易く、電極内での電解液の分布をより均一にすることが可能である。よって、電極と電解液との反応性をより向上できる。また、幹溝部から分岐する枝溝部が幹溝部に対して非直交に交差することにより、枝溝部が幹溝部に直交する場合に比べて、電解液の流通抵抗を低減することが可能である。

20

## 【 0 0 3 2 】

( 8 ) 上記 ( 7 ) に記載の双極板の一形態として、

前記枝溝部の少なくとも1つに前記曲線部を有することが挙げられる。

## 【 0 0 3 3 】

枝溝部に曲線部を有することで、溝を効率的に配置することが可能である。

30

## 【 0 0 3 4 】

( 9 ) 上記 ( 7 ) 又は ( 8 ) に記載の双極板の一形態として、

前記枝溝部の少なくとも1つは、当該枝溝部から更に分岐する枝溝部を有することが挙げられる。

## 【 0 0 3 5 】

枝溝部から更に分岐する枝溝部を有することで、電極内に電解液を効果的に浸透・拡散させ易い。

## 【 0 0 3 6 】

( 10 ) 上記 ( 9 ) に記載の双極板の一形態として、

前記枝溝部の枝分かれ回数を  $N$  ( $N$  : 自然数) とするとき、 $N$  が 3 以下であることが挙げられる。

40

## 【 0 0 3 7 】

幹溝部から枝分かれを繰り返すことによって、枝分かれした枝溝部の溝幅 ( 開口幅 ) が減少し、狭小化する。枝溝部の枝分かれ回数 ( $N$ ) を 3 以下に制限することで、枝分かれによる枝溝部の溝幅の過度な狭小化を回避できる。

## 【 0 0 3 8 】

「枝分かれ回数」とは、幹溝部から数えて枝溝部が分岐する回数を意味する。幹溝部から分岐する枝溝部 ( 1 次枝溝 ) があるときは、その枝分かれ回数を 1 とし、この枝溝部から更に分岐する枝溝部 ( 2 次枝溝 ) があるときは、その枝分かれ回数を 2 と数える。そして、この 2 次枝溝から更に分岐する枝溝部 ( 3 次枝溝 ) があるときは、その枝分かれ回数を

50

3 と数える。上記「N」は自然数 ( 1 , 2 , 3 , ... ) である。

【 0 0 3 9 】

( 1 1 ) 上記 ( 9 ) 又は ( 1 0 ) に記載の双極板の一形態として、枝分かれ後の前記枝溝部の開口幅が枝分かれ前の前記枝溝部の開口幅よりも小さいことが挙げられる。

【 0 0 4 0 】

枝分かれした枝溝部の開口幅が分岐を経るごとに段階的に小さくなることで、電極と双極板との接触面積が増え、電極と双極板間の接触抵抗を低減できる。

【 0 0 4 1 】

( 1 2 ) 上記双極板の一形態として、  
前記流路は、

前記電解液の導入口及び排出口と、

前記導入口から前記電解液を導入する導入路と、前記導入路とは連通せずに独立して、前記電解液を前記排出口に排出する排出路とを備え、

前記導入路及び前記排出路がそれぞれ少なくとも1つの前記溝を備えており、

前記導入路及び前記排出路の少なくとも一方は、前記導入口又は前記排出口に接続されて前記双極板の縁部に沿って形成される整流部を備えることが挙げられる。

【 0 0 4 2 】

流路が導入路と排出路とを備えることで、電解液が導入路と排出路との間を渡るように流通し、その際に電解液が電極内に浸透・拡散して、電解液を電極全体に均一に行き渡らせることができる。これにより、電極内での電解液の分布をより効果的に均一にすることが可能であり、電極と電解液との反応性をより向上できる。また、整流部を備えることで、導入路及び排出路の少なくとも一方に対し、導入口又は排出口から電解液を効率よく導入又は排出することが可能である。

【 0 0 4 3 】

( 1 3 ) 上記 ( 1 2 ) に記載の双極板の一形態として、

前記双極板と前記電極とが対向する有効電極領域が矩形状で、前記導入口と前記排出口とが前記有効電極領域の対角位置に設けられており、

前記整流部と前記有効電極領域の対角線とがなす角度が  $40^\circ$  以上  $50^\circ$  以下であることが挙げられる。

【 0 0 4 4 】

整流部と有効電極領域の対角線とのなす角度が  $40^\circ$  以上  $50^\circ$  以下であることで、整流部での圧力損失を低減できる。

【 0 0 4 5 】

( 1 4 ) 上記 ( 1 2 ) 又は ( 1 3 ) に記載の双極板の一形態として、

前記双極板において、前記導入口側を下側、前記排出口側を上側とすると、

前記流路が、上下非対称になっていることが挙げられる。

【 0 0 4 6 】

流路が導入側と排出側とで上下非対称になっていることで、電解液の圧力が低下する排出側の電解液の流れを改善することが可能である。

【 0 0 4 7 】

( 1 5 ) 上記 ( 1 2 ) ~ ( 1 4 ) のいずれか1つに記載の双極板の一形態として、

前記導入路の溝と前記排出路の溝とが互いに向かい合って交互に配列される対向 歯領域を有することが挙げられる。

【 0 0 4 8 】

流路が対向 歯領域を有することで、導入路と排出路との間を渡るように流通する電解液の量が増加し、電極内に浸透・拡散する電解液が増える。これにより、電極と電解液との反応効率を高めることができる。

【 0 0 4 9 】

( 1 6 ) 上記双極板の一形態として、

10

20

30

40

50

前記溝の少なくとも一部に開口幅が 2 mm 以上の幅広部を有し、前記幅広部内に底部から突出する凸部が形成されていることが挙げられる。

【 0 0 5 0 】

溝の幅広部内に凸部が設けられていることで、電極が溝内に埋没することを抑制できる。

【 0 0 5 1 】

( 1 7 ) 実施形態に係るセルフフレームは、

上記 ( 1 ) から ( 1 6 ) のいずれか 1 つに記載の双極板と、前記双極板の外周に設けられる枠体とを備える。

【 0 0 5 2 】

上記セルフフレームは、上記した実施形態に係る双極板を備えることで、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極と電解液との反応性を向上できるので、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極での反応抵抗を低減することが可能である。よって、上記セルフフレームをレドックスフロー電池に用いた場合、電池の内部抵抗 ( セル抵抗 ) を低減することが可能であり、電池性能を向上できる。

10

【 0 0 5 3 】

( 1 8 ) 実施形態に係るセルスタックは、

上記 ( 1 7 ) に記載のセルフフレームを備える。

【 0 0 5 4 】

上記セルスタックは、上記した実施形態に係るセルフフレームを備えることで、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極での反応抵抗を低減することが可能である。よって、上記セルスタックをレドックスフロー電池に用いた場合、電池の内部抵抗 ( セル抵抗 ) を低減することが可能であり、電池性能を向上できる。

20

【 0 0 5 5 】

( 1 9 ) 実施形態に係るレドックスフロー電池は、

上記 ( 1 8 ) に記載のセルスタックを備える。

【 0 0 5 6 】

上記レドックスフロー電池は、上記した実施形態に係るセルスタックを備えることで、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極での反応抵抗を低減することが可能であるので、電池の内部抵抗 ( セル抵抗 ) を低減することが可能である。よって、上記レドックスフロー電池は、電池性能に優れる。

30

【 0 0 5 7 】

[ 本願発明の実施形態の詳細 ]

本願発明の実施形態に係るレドックスフロー電池用の双極板、セルフフレーム及びセルスタック、並びにレドックスフロー電池 ( R F 電池 ) の具体例を、以下に図面を参照しつつ説明する。図中の同一符号は同一又は相当部分を示す。なお、本願発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 0 0 5 8 】

図 4 は、実施形態に係る双極板 3 1 を備えるセルフフレーム 3 を、双極板 3 1 の一面側から平面視した概略平面図である。実施形態の双極板 3 1 の特徴の 1 つは、図 4 に示すように、電極 1 4 に対向する対向面に電解液が流通する流路 4 を構成する少なくとも 1 つの溝 5 を備え、双極板 3 1 を平面視したとき、溝 5 の少なくとも 1 つは曲線部を有する点にある。

40

【 0 0 5 9 】

以下では、先に、図 1 ~ 図 4 を参照して、実施形態に係る R F 電池 1、並びに、R F 電池 1 に備えるセル 1 0 ( セルスタック 2 ) 及び双極板 3 1 ( セルフフレーム 3 ) の概要を説明する。その後、主に図 4 ~ 図 6 を参照して、実施形態に係る双極板 3 1 に備える流路 4 及び溝 5 について詳しく説明する。

【 0 0 6 0 】

《 R F 電池 》

初めに、図 1 ~ 図 3 を参照して、実施形態に係る R F 電池 1 及びセル 1 0 ( セルスタック

50

2) の一例を説明する。図 1、図 2 に示す R F 電池 1 は、正極電解液及び負極電解液に酸化還元により価数が変化する金属イオンを活物質として含有する電解液を使用し、正極電解液に含まれるイオンの酸化還元電位と、負極電解液に含まれるイオンの酸化還元電位との差を利用して充放電を行う電池である。ここでは、R F 電池 1 の一例として、正極電解液及び負極電解液に V イオンを含有するバナジウム電解液を使用したバナジウム系 R F 電池を示す。図 1 中のセル 10 内の実線矢印は充電反応を、破線矢印は放電反応をそれぞれ示している。R F 電池 1 は、交流/直流変換器 C を介して電力系統 P に接続され、例えば、負荷平準化用途、瞬低補償や非常用電源などの用途、太陽光発電や風力発電といった自然エネルギー発電の出力平滑化用途に利用される。

#### 【0061】

R F 電池 1 には、充放電を行うセル 10 と、電解液を貯留するタンク 106、107 と、タンク 106、107 とセル 10 との間で電解液を循環させる循環流路 100P、100N とを備える。

#### 【0062】

##### 《セル》

セル 10 は、図 1 に示すように、正極電極 14 と、負極電極 15 と、両電極 14、15 間に介在される隔膜 11 とを有する。セル 10 の構造は、隔膜 11 を挟んで正極セル 12 と負極セル 13 とに分離され、正極セル 12 に正極電極 14、負極セル 13 に負極電極 15 が内蔵されている。

#### 【0063】

正極電極 14 及び負極電極 15 の各電極は、炭素繊維を含む炭素繊維集合体で形成されている。炭素繊維集合体の電極は多孔質であり、電極内に空隙を有しているため、電極内に電解液が流通し、電解液を浸透・拡散させることができる。炭素繊維集合体としては、例えば、カーボンフェルト、カーボクロス、カーボンペーパーなどが挙げられる。炭素繊維としては、例えば、ポリアクリロニトリル (PAN) 繊維を原料とする PAN 系炭素繊維、ピッチ繊維を原料とするピッチ系炭素繊維、レーヨン繊維を原料とするレーヨン系炭素繊維などが挙げられる。隔膜 11 は、例えば、水素イオンを透過するイオン交換膜で形成されている。

#### 【0064】

セル 10 (正極セル 12 及び負極セル 13) には、循環流路 100P、100N を通して電解液 (正極電解液及び負極電解液) が循環する。正極セル 12 には、正極電解液を貯留する正極電解液タンク 106 が正極循環流路 100P を介して接続されている。同様に、負極セル 13 には、負極電解液を貯留する負極電解液タンク 107 が負極循環流路 100N を介して接続されている。各循環流路 100P、100N は、各タンク 106、107 からセル 10 へ電解液を送る往路配管 108、109 と、セル 10 から各タンク 106、107 へ電解液を戻す復路配管 110、111 とを有する。各往路配管 108、109 には、各タンク 106、107 に貯留される電解液を圧送するポンプ 112、113 が設けられており、ポンプ 112、113 により電解液をセル 10 に循環させる。

#### 【0065】

##### 《セルスタック》

セル 10 は、単数のセル 10 を備える単セルで構成されていてもよいし、複数のセル 10 を備える多セルで構成されていてもよい。セル 10 は通常、図 2 に示すような、セル 10 を複数積層して備えるセルスタック 2 と呼ばれる形態で利用される。セルスタック 2 は、図 3 の下図に示すように、サブスタック 200 をその両側から 2 枚のエンドプレート 220 で挟み込み、両側のエンドプレート 220 を締付機構 230 で締め付けることで構成されている。図 3 では、複数のサブスタック 200 を備えるセルスタック 2 を例示している。サブスタック 200 は、セルフフレーム 3、正極電極 14、隔膜 11、負極電極 15 の順に複数積層され (図 3 の上図参照)、その積層体の両端に給排板 210 (図 3 の下図参照、図 2 では図示略) が配置された構造である。給排板 210 には、各循環流路 100P、100N (図 1、図 2 参照) の往路配管 108、109 及び復路配管 110、111 が接

10

20

30

40

50

続される。

【 0 0 6 6 】

《セルフフレーム》

セルフフレーム 3 は、図 3 の上図に示すように、正極電極 1 4 と負極電極 1 5 との間に配置される双極板 3 1 と、双極板 3 1 の周囲に設けられる枠体 3 2 とを有する（図 4 も参照）。双極板 3 1 の一面側には、正極電極 1 4 が対向するように配置され、双極板 3 1 の他面側には、負極電極 1 5 が対向するように配置される。枠体 3 2 の内側には、双極板 3 1 が設けられ、双極板 3 1 と枠体 3 2 により凹部 3 2 o が形成される。凹部 3 2 o は、双極板 3 1 の両面側にそれぞれ形成され、各凹部 3 2 o 内に正極電極 1 4 及び負極電極 1 5 が双極板 3 1 を挟んで収納される。各凹部 3 2 o は、正極セル 1 2 及び負極セル 1 3（図 1 参照）の各セル空間を形成する。正極電極 1 4 及び負極電極 1 5 の各電極の平面形状は、特に問わないが、本実施形態では、矩形形状である。また、凹部 3 2 o の平面開口形状は電極と同じ矩形形状であり、凹部 3 2 o と電極のサイズが実質的に同じである。そして、双極板 3 1 における各電極が積層方向に重なる領域（図 4 に示す双極板 3 1 と電極 1 4 とが対向する有効電極領域）が矩形形状である。

10

【 0 0 6 7 】

双極板 3 1 は、例えば、プラスチックカーボンなどで形成され、枠体 3 2 は、例えば、塩化ビニル樹脂（PVC）、ポリプロピレン、ポリエチレン、フッ素樹脂、エポキシ樹脂などのプラスチックで形成されている。セルフフレーム 3 は、双極板 3 1 の周囲に枠体 3 2 が射出成型などにより一体化されている。

20

【 0 0 6 8 】

セルスタック 2（サブスタック 2 0 0）では、隣接する各セルフフレーム 3 の枠体 3 2 の一面側と他面側とが互に対向して突き合わされ、隣接する各セルフフレーム 3 の双極板 3 1 の間にそれぞれ 1 つのセル 1 0 が形成されることになる。各電極 1 4、1 5 は、セル 1 0 を組み立てたとき、枠体 3 2 の各凹部 3 2 o 内に厚さ方向に圧縮された状態で収納される。各セルフフレーム 3 の枠体 3 2 の間には、電解液の漏洩を抑制するため、リングやパッキンなどの環状のシール部材 3 7 が配置されている。枠体 3 2 には、シール部材 3 7 を配置するためのシール溝 3 8（図 4 参照）が形成されている。

【 0 0 6 9 】

セル 1 0 内の電解液の流通は、セルフフレーム 3 の枠体 3 2 に貫通して形成された給液マニホールド 3 3、3 4 及び排液マニホールド 3 5、3 6 と、枠体 3 2 に形成された給液スリット 3 3 s、3 4 s 及び排液スリット 3 5 s、3 6 s により行われる。この例に示すセルフフレーム 3（枠体 3 2）の場合、正極電解液は、枠体 3 2 の下部に形成された給液マニホールド 3 3 から枠体 3 2 の一面側に形成された給液スリット 3 3 s を介して正極電極 1 4 に供給され、枠体 3 2 の上部に形成された排液スリット 3 5 s を介して排液マニホールド 3 5 に排出される。同様に、負極電解液は、枠体 3 2 の下部に形成された給液マニホールド 3 4 から枠体 3 2 の他面側に形成された給液スリット 3 4 s を介して負極電極 1 5 に供給され、枠体 3 2 の上部に形成された排液スリット 3 6 s を介して排液マニホールド 3 6 に排出される。給液マニホールド 3 3、3 4 及び排液マニホールド 3 5、3 6 は、セルフフレーム 3 が積層されることによって電解液の流路を構成する。これら流路は、給排板 2 1 0（図 3 の下図参照）を介して各循環流路 1 0 0 P、1 0 0 N（図 1、図 2 参照）の往路配管 1 0 8、1 0 9 及び復路配管 1 1 0、1 1 1 にそれぞれ連通しており、セル 1 0 内に電解液を流通させることが可能である。

30

40

【 0 0 7 0 】

この例に示すセル 1 0 では、正極電極 1 4 及び負極電極 1 5 の下側からそれぞれ電解液が導入され、各電極 1 4、1 5 の上側から電解液が排出されるようになっており、各電極 1 4、1 5 の下縁部から上縁部に向かって電解液が流れる。図 2 及び図 3 の上図中、各電極 1 4、1 5 内の矢印は電解液の全体的な流通方向を示す。

【 0 0 7 1 】

《双極板》

50

双極板 3 1 の各電極 1 4、1 5 に対向する対向面には、図 4 に示すように、電解液が流通する流路 4 が形成されている。本実施形態では、流路 4 が複数の溝 5（導入溝 5 1 a ~ 5 1 c 及び排出溝 5 2 a ~ 5 2 c）によって構成されている。双極板 3 1 に流路 4（溝 5）が形成されていることで、電解液の流通抵抗を低減できる。図 4 では、分かり易くするため、流路 4（溝 5）が形成されていない部分にハッチングを付している。図 4 に示す双極板 3 1 の一面側（紙面表側）は、正極電極 1 4 に対向する対向面であり、他面側（紙面裏側）は、負極電極 1 5（図 3 参照、図 4 では図示略）に対向する対向面である。また、図 4 に示す双極板 3 1 において、給液スリット 3 3 s がつながる下側が正極電解液の導入側であり、排液スリット 3 5 s がつながる上側が正極電解液の排出側である。図 4 中、紙面左側の太線矢印は、電解液の全体的な流通方向を示す。

10

## 【 0 0 7 2 】

図 4 では、正極電極 1 4 に対向する双極板 3 1 の一面側しか図示していないが、負極電極 1 5 に対向する双極板 3 1 の他面側にも、一面側と同様に、電解液の流路が形成されている。双極板 3 1 の他面側に形成された負極電解液の流路の構成は、図 4 に示す正極電解液の流路 4 と同様であるので、その説明を省略する。

## 【 0 0 7 3 】

( 流路 )

導入口・排出口

流路 4 は、電極 1 4 内に浸透する電解液の分布を制御し、電極 1 4 内の電解液の分布が均一になるようにデザインされている。流路 4 は、電解液の導入口 4 i 及び排出口 4 o を備える。導入口 4 i 及び排出口 4 o はそれぞれ、給液スリット 3 3 s 及び排液スリット 3 5 s が接続される部分であり、給液スリット 3 3 s を通じて導入口 4 i から電解液が導入され、排出口 4 o から排液スリット 3 5 s に電解液が排出される。本実施形態では、導入口 4 i が有効電極領域の下辺中央部に位置し、排出口 4 o が有効電極領域の上辺中央部に位置している。

20

## 【 0 0 7 4 】

導入路・排出路

流路 4 は、導入口 4 i から電解液を導入する導入路 4 1 と、電解液を排出口 4 o に排出する排出路 4 2 とを備える。導入路 4 1 と排出路 4 2 とは互いに連通せずに独立している。導入路 4 1 は導入溝 5 1 a ~ 5 1 c を備え、排出路 4 2 は排出溝 5 2 a ~ 5 2 c を備える。流路 4 が導入路 4 1 と排出路 4 2 とを備える場合、電解液が導入路 4 1 と排出路 4 2 との間を渡るように流通し、その際に電解液が電極 1 4 内に浸透・拡散して、電解液を電極 1 4 全体に均一に行き渡らせることができる。これにより、電極 1 4 内での電解液の分布をより効果的に均一にすることが可能であり、電極 1 4 と電解液との反応性をより向上させることができる。

30

## 【 0 0 7 5 】

整流部

更に、導入路 4 1 及び排出路 4 2 は、導入口 4 i 及び排出口 4 o に接続される整流部 5 1 0、5 2 0 をそれぞれ備える。導入側の整流部 5 1 0 は、双極板 3 1 の下縁部に沿って形成され、排出側の整流部 5 2 0 は、双極板 3 1 の上縁部に沿って形成されている。導入路 4 1 は整流部 5 1 0 に接続され、各導入溝 5 1 a ~ 5 1 c は整流部 5 1 0 を介して導入口 4 i に連通している。排出路 4 2 は整流部 5 2 0 に接続され、各排出溝 5 2 a ~ 5 2 c は整流部 5 2 0 を介して排出口 4 o に連通している。整流部 5 1 0 は、導入口 4 i から導入された電解液を双極板 3 1 の下縁部に沿って拡散し、導入路 4 1（導入溝 5 1 a ~ 5 1 c）に電解液をまんべんなく導入する。整流部 5 2 0 は、排出路 4 2（排出溝 5 2 a ~ 5 2 c）から排出された電解液を双極板 3 1 の上縁部に沿って排出口 4 o に集約する。整流部 5 1 0、5 2 0 により、導入路 4 1 及び排出路 4 2 のそれぞれに対し、導入口 4 i 及び排出口 4 o から電解液を効率よく導入・排出することが可能である。

40

## 【 0 0 7 6 】

図 4 に示す流路 4 は、導入口 4 i と排出口 4 o とを結ぶ中心線（図中、一点鎖線で示す）

50

を対称軸とする線対称（左右対称）になっており、更に、導入口 4 i 側（下側）と排出口 4 o 側（上側）とで上下非対称になっている。流路 4 が導入側と排出側とで非対称に形成されていることで、電解液の圧力が低下する排出側の電解液の流れを改善することが可能である。

【 0 0 7 7 】

（溝）

導入路 4 1 を構成する導入溝 5 1 a ~ 5 1 c は、導入側の整流部 5 1 0 に接続され、導入側（下側）から排出側（上側）に向かって伸び、排出側の先端側が閉鎖端になっている。排出路 4 2 を構成する排出溝 5 2 a ~ 5 2 c は、排出側の整流部 5 2 0 に接続され、排出側（上側）から導入側（下側）に向かって伸び、導入側の先端側が閉鎖端になっている。

10

【 0 0 7 8 】

各溝 5（導入溝 5 1 a ~ 5 1 c 及び排出溝 5 2 a ~ 5 2 c）は、双極板 3 1 の電極 1 4 との対向面に開口しており、図 4 に示すように、各溝 5 の開口幅が先端側に向かって小さくなるように形成されている。導入溝 5 1 a ~ 5 1 c の場合、開口幅が先端側に向かって小さくなることで、先端側に近づくにつれて電解液の圧力が高くなり、導入溝 5 1 a ~ 5 1 c から電極 1 4 内へ電解液を浸透させ易い。溝 5 の「開口幅」とは、溝 5 の長手方向に直交する溝幅をいう。

【 0 0 7 9 】

溝 5 の開口幅（溝幅）や深さ（溝深さ）は、双極板 3 1 のサイズや厚さに応じて適宜選択することができ、特に限定されない。溝幅は、例えば 0 . 2 mm 以上 1 0 mm 以下、更に 0 . 5 mm 以上 5 mm 以下、溝深さは、例えば 0 . 5 mm 以上 5 mm 以下、更に 1 mm 以上 3 mm 以下であることが挙げられる。

20

【 0 0 8 0 】

溝 5 の形成方法としては、例えば、双極板 3 1 の表面をエンドミルなどの切削工具で切削加工することが挙げられる。或いは、双極板 3 1 を成形する金型に溝 5 の形状に対応した凸部を設けておき、射出成型などの金型成形により溝 5 を形成することも可能である。

【 0 0 8 1 】

電極の接触面積の割合

双極板 3 1 の電極 1 4 との対向面（即ち、有効電極領域）のうち、電極 1 4 と接触する接触面積（図 4 に示す双極板 3 1 のハッチング部分の面積）を A、溝 5 の平面開口面積（図 4 に示す双極板 3 1 の白抜き部分の面積）を B とするとき、 $A / (A + B)$  が 0 . 5 超 0 . 9 5 未満であることが好ましい。双極板 3 1 の対向面の面積（A + B）に占める電極 1 4 の接触面積（A）の割合  $[A / (A + B)]$  が 0 . 5 超であることで、電極 1 4 と双極板 3 1 との接触面積を確保して、電極 1 4 と双極板 3 1 間の接触抵抗を低減できる。これにより、電池の内部抵抗（セル抵抗）を低減することが可能である。また、双極板 3 1 の対向面における溝 5 の形成面積（電解液の流路面積）を確保する観点から、電極 1 4 の接触面積の割合  $[A / (A + B)]$  は 0 . 9 5 未満であることが好ましく、これにより、電解液の流通抵抗を効果的に低減できる。電極 1 4 の接触面積の割合  $[A / (A + B)]$  は、例えば 0 . 6 以上 0 . 9 以下、更に 0 . 7 以上 0 . 8 以下であることがより好ましい。溝 5 の「平面開口面積」とは、双極板 3 1 を平面視したとき、対向面における溝 5 の開口面積をいう。

30

40

【 0 0 8 2 】

断面形状

図 6 は、本実施形態における溝 5 の断面形状を示している。本実施形態では、図 6 に示すように、溝 5 の電解液の流通方向に直交する断面において、溝 5 の開口部 5 6 側の幅が底部 5 7 側の幅以上であり、更に、溝 5 の断面形状が開口部 5 6 側から底部 5 7 側に向けてテーパ状に形成されている。そのため、溝 5 の開口部 5 6 側の幅が底部 5 7 側の幅以上であることで、開口部 5 6 側の幅よりも底部 5 7 側の幅の方が広い場合に比べて、溝 5 を形成し易い。また、溝 5（特に導入溝 5 1 a ~ 5 1 c）の断面形状が開口部 5 6 側から底部 5 7 側に向けてテーパ状に形成されている場合は、溝 5 から電極内へ電解液を浸透させ易

50

い。溝 5 の断面形状としては、例えば、矩形形状、三角形形状（V 字状）、台形状、半円形状や半楕円形状などが挙げられる。

#### 【 0 0 8 3 】

##### 樹枝状溝

図 4 に示す溝 5 のうち、導入溝 5 1 a、5 1 c 及び排出溝 5 2 a、5 2 c は、樹枝状に形成された樹枝状溝であり、幹溝部 6 0 と、幹溝部 6 0 から分岐する少なくとも 1 つの枝溝部 6 1 とを備える。溝 5 の少なくとも 1 つが樹枝状に形成されていることで、電極 1 4 内の広範囲にわたって電解液を浸透・拡散させ易く、電極 1 4 内での電解液の分布をより均一にすることが可能である。よって、電極 1 4 と電解液との反応性をより向上できる。ここでいう「幹溝部」とは、導入口 4 i 又は排出口 4 o に直接、或いは整流部 5 1 0、5 2 0 を介して間接的に接続される溝部をいう。「枝溝部」とは、幹溝部 6 0 から枝分かれして幹溝部 6 0 よりも開口幅が小さい溝部をいう。

10

#### 【 0 0 8 4 】

更に、導入溝 5 1 c 及び排出溝 5 2 a のように、枝溝部 6 1 は、枝溝部 6 1 から更に分岐する枝溝部 6 2 を有していてもよい。枝溝部 6 1 から更に分岐する枝溝部 6 2 を有することで、電極 1 4 内に電解液を効果的に浸透・拡散させ易い。ここでは、枝溝部 6 1 を 1 次枝溝、枝溝部 6 2 を 2 次枝溝と呼ぶ。本実施形態では、枝分かれ後の枝溝部 6 2（2 次枝溝）の開口幅が枝分かれ前の枝溝部 6 1（1 次枝溝）の開口幅よりも小さい。

#### 【 0 0 8 5 】

図 5 に導入溝 5 1 c の抜き出し図を示し、導入溝 5 1 c を例に挙げて、幹溝部 6 0 と枝溝部 6 1、枝溝部 6 1 と枝溝部 6 2 のそれぞれの関係について説明する。図 5 に示すように、幹溝部 6 0 から枝溝部 6 1 が分岐する箇所では、枝溝部 6 1 の開口幅（ $W_{a1}$ ）が幹溝部 6 0 の開口幅（ $W_{a0}$ ）よりも小さい。また、枝溝部 6 1 から枝溝部 6 2 が分岐する箇所では、枝溝部 6 2 の開口幅（ $W_{a2}$ ）が枝溝部 6 1 の開口幅（ $W_{b1}$ ）よりも小さい。枝分かれした枝溝部 6 1、6 2 の開口幅が分岐を経るごとに段階的に小さくなることで、電極 1 4 と双極板 3 1 との接触面積が増え、電極 1 4 と双極板 3 1 間の接触抵抗を低減できる。

20

#### 【 0 0 8 6 】

##### 枝分かれ回数

上記樹枝状溝において、枝溝部の枝分かれ回数を  $N$ （ $N$ ：自然数）とすると、 $N$  が 3 以下であることが好ましい。ここでいう「枝分かれ回数」とは、幹溝部から数えて枝溝部が分岐する回数を意味する。例えば導入溝 5 1 c や排出溝 5 2 a において、幹溝部 6 0 から分岐する枝溝部 6 1 の枝分かれ回数  $N$  は 1 であり、枝溝部 6 1 から更に分岐する枝溝部 6 2 の枝分かれ回数  $N$  は 2 である。仮に、枝溝部 6 2 から更に分岐する別の枝溝部があるときは、その枝分かれ回数  $N$  は 3 である。本実施形態では、幹溝部 6 0 から枝分かれを繰り返すことによって、枝分かれした枝溝部 6 1、6 2 の溝幅（開口幅）が減少し、狭小化する。本実施形態のように、枝分かれ回数  $N$  を 3 以下に制限することで、枝分かれによる枝溝部 6 1、6 2 の溝幅の過度な狭小化を回避できる。

30

#### 【 0 0 8 7 】

更に、本実施形態では、図 4 に示すように、例えば導入溝 5 1 c や排出溝 5 2 a において、枝溝部 6 1 が幹溝部 6 0 に対して非直交に交差している。枝溝部 6 1 が幹溝部 6 0 に対して非直交に交差することにより、枝溝部 6 1 が幹溝部 6 0 に直交する場合に比べて、電解液の流通抵抗を低減することが可能である。「非直交に交差する」とは、代表的には、幹溝部 6 0 の延伸方向に対する枝溝部 6 1 の延伸方向の傾斜角（図 5 参照）が鋭角である場合をいう。傾斜角は、例えば  $10^\circ$  以上  $80^\circ$  以下である。

40

#### 【 0 0 8 8 】

##### 対向 歯領域

本実施形態では、導入路 4 1 の導入溝 5 1 a ~ 5 1 c と排出路 4 2 の排出溝 5 2 a ~ 5 2 c とが互いに向かい合って交互に配列された対向 歯領域を有する。更に、図 4 に示す流路 4 の場合、例えば、導入溝 5 1 a の枝溝部 6 1 と排出溝 5 2 a の枝溝部 6 2 とが互いに

50

向かい合って交互に配列されており、これらによっても対向 歯領域が形成されている。流路 4 が対向 歯領域を有することで、導入路 4 1 (導入溝 5 1 a ~ 5 1 c) と排出路 4 2 (排出溝 5 2 a ~ 5 2 c) との間を渡るように流通する電解液の量が増加し、電極 1 4 内に浸透・拡散する電解液が増える。これにより、電極 1 4 と電解液との反応効率を高めることができる。

【 0 0 8 9 】

#### 凸部

溝 5 の少なくとも一部に開口幅が 2 mm 以上の幅広部を有する場合、この幅広部内に底部から突出する凸部 5 9 が形成されていてもよい。溝 5 の幅広部内に凸部 5 9 が設けられていることで、電極 1 4 が溝 5 内に埋没することを抑制できる。本実施形態では、図 4 に示すように、導入溝 5 1 a 及び排出溝 5 2 a の各々の基端側 (整流部 5 1 0、5 2 0 に接続される側) が部分的に幅広部になっており、その部分に凸部 5 9 が設けられている。平面視したときの凸部 5 9 の形状は、特に限定されるものではなく、例えば、三角形や四角形といった多角形状、円形状や楕円形状などの種々の形状を採用できる。また、幅広部内に配置する凸部 5 9 の個数は、1 つでもよいし、複数でもよい。

10

【 0 0 9 0 】

#### 曲線部

本実施形態の特徴の 1 つは、溝 5 の少なくとも 1 つが曲線部を有する点にある。「曲線部」とは、溝 5 の長手方向において曲線状をなす部分をいい、代表的には、非周期的な曲線状である。本実施形態では、例えば、導入溝 5 1 c の枝溝部 6 1、6 2 や排出溝 5 2 a の枝溝部 6 1、6 2 が湾曲して形成されており、それぞれが曲線部で構成されている。曲線部の曲率半径は、例えば 0 . 1 mm 以上、更には 1 mm 以上、より更には 3 mm 以上であることが挙げられる。

20

【 0 0 9 1 】

#### [ 実施形態の効果 ]

上述した実施形態に係る双極板 3 1 は、電極 1 4 に対向する対向面に電解液の流路 4 が形成されていることで、電解液の流通抵抗を低減できると共に、電極 1 4 内に浸透する電解液の分布を制御できる。そして、流路 4 を構成する少なくとも 1 つの溝 5 が曲線部を有することで、直線状の溝に比べてレイアウトの自由度が上がるため、電極 1 4 内における電解液の分布が均一になるように溝 5 を効率的に配置することが可能である。これにより、電極 1 4 内での電解液の分布の均一性を十分に高め、電極 1 4 と電解液との反応性を向上させることができる。したがって、双極板 3 1 は、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極 1 4 と電解液との反応性を向上できる。よって、実施形態の双極板 3 1 を R F 電池 1 に用いた場合、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極 1 4 での反応抵抗を低減することが可能であるので、電池の内部抵抗 (セル抵抗) を低減することが可能である。

30

【 0 0 9 2 】

溝 5 が曲線部を有する場合、溝 5 に流れる電解液の向きを円滑に変えることができ、直角や鋭角に屈曲する場合に比べて円滑に電解液が流れることでも流通抵抗を低減させ易い。

【 0 0 9 3 】

実施形態に係るセルフフレーム 3 は、上記双極板 3 1 を備えることで、電解液の流通抵抗を低減しつつ、電極 1 4 と電解液との反応性を向上できるので、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極 1 4 での反応抵抗を低減することが可能である。

40

【 0 0 9 4 】

実施形態に係るセルスタック 2 は、上記セルフフレーム 3 を備えることで、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極 1 4 での反応抵抗を低減することが可能である。

【 0 0 9 5 】

実施形態に係る R F 電池 1 は、上記セルスタック 2 を備えることで、電解液の流通抵抗による圧力損失を低減できながら、電極 1 4 での反応抵抗を低減することが可能であるので、電池の内部抵抗 (セル抵抗) を低減することが可能である。

50

## 【 0 0 9 6 】

## [ 変形例 ]

図 7 を参照して、双極板 3 1 の変形例を説明する。図 7 に示す双極板 3 1 は、電解液の流路 4 の構成が上述した図 4 に示す実施形態の双極板 3 1 と相違する。以下では、上述した実施形態との相違点を中心に説明する。

## 【 0 0 9 7 】

図 7 に示す双極板 3 1 の有効電極領域は矩形状である。変形例では、図 7 に示すように、導入口 4 i が有効電極領域の右下角部に位置し、排出口 4 o が有効電極領域の左上角部に位置しており、導入口 4 i と排出口 4 o とが有効電極領域の対角位置に設けられている。更に、変形例では、導入口 4 i に接続される導入側の整流部として、双極板 3 1 の下縁部に沿って形成される整流部 5 1 0 と双極板 3 1 の右縁部に沿って形成される整流部 5 1 1 を有する。また、排出口 4 o に接続される排出側の整流部として、双極板 3 1 の上縁部に沿って形成される整流部 5 2 0 と双極板 3 1 の左縁部に沿って形成される整流部 5 2 1 を有する。導入側の整流部 5 1 0、5 1 1 と排出側の整流部 5 2 0、5 2 1 とは互いに連通しないように形成されている。

10

## 【 0 0 9 8 】

図 7 に示す流路 4 は、導入路 4 1 と排出路 4 2 とを備える。導入路 4 1 は、導入側の整流部 5 1 0、5 1 1 に接続される導入溝 5 1 a ~ 5 1 d を備え、排出路 4 2 は、排出側の整流部 5 2 0、5 2 1 に接続される排出溝 5 2 a ~ 5 2 d を備える。これらの溝のうち、導入溝 5 1 c、5 1 d 及び排出溝 5 2 c は、樹枝状に形成された樹枝状溝であり、幹溝部 6 0 と、幹溝部 6 0 から分岐する枝溝部 6 1 とを備える。例えば導入溝 5 1 c、5 1 d や排出溝 5 2 c において、幹溝部 6 0 に対して枝溝部 6 1 が非直交に交差している。また、例えば、導入溝 5 1 c、5 1 d の枝溝部 6 1 や排出溝 5 2 c の枝溝部 6 1 が曲線部を有している。

20

## 【 0 0 9 9 】

流路 4 は、導入口 4 i と排出口 4 o とを結ぶ対角線（図中、一点鎖線で示す）を対称軸とする線対称になっている。また、整流部 5 1 0、5 2 0 と有効電極領域の対角線（導入口 4 i と排出口 4 o とを結ぶ対角線）とがなす角度が  $40^\circ$  以上  $50^\circ$  以下である。各整流部 5 1 0、5 2 0 と有効電極領域の対角線とのなす角度を上記範囲内に設定することで、整流部 5 1 0、5 2 0 での圧力損失を低減できる。

30

## 【 0 1 0 0 】

変形例では、図 7 に示すように、導入路 4 1 及び排出路 4 2 に接続されない中間溝 5 4 を有する。中間溝 5 4 は、導入側の整流部 5 1 0、5 1 1 及び排出側の整流部 5 2 0、5 2 1、並びに、導入溝 5 1 a ~ 5 1 d 及び排出溝 5 2 a ~ 5 2 d に連通しない独立した閉鎖溝である。この中間溝 5 4 は、上記対角線に沿って伸び、長手方向の中間部から両端に向かって樹枝状に形成された樹枝状溝である。詳しくは、中間溝 5 4 の長手方向の中間部に位置する幹溝部 6 0 と、幹溝部 6 0 の導入側（右下側）及び排出側（左上側）の各々の端部からそれぞれ分岐する枝溝部 6 1、各枝溝部 6 1 から更に分岐する枝溝部 6 2 とを備える。中間溝 5 4 において、枝溝部 6 1 は幹溝部 6 0 に対して非直交に交差しており、枝溝部 6 1、6 2 は曲線部を有している。

40

## 【 0 1 0 1 】

図 7 に示す流路 4 では、導入溝 5 1 c、5 1 d と排出溝 5 2 c、5 2 d とによる対向 歯領域に加え、導入溝 5 1 a ~ 5 1 c 又は排出溝 5 2 a ~ 5 2 c と中間溝 5 4 とによる対向 歯領域を有する。導入溝 5 1 a ~ 5 1 d、排出溝 5 2 a ~ 5 2 d 及び中間溝 5 4 の三者により対向 歯領域が形成されていることで、電極に対して広範囲にわたって電解液を拡散させ易い上に、電極内の電解液の分布をより均一的にし易い。

## 【 0 1 0 2 】

更に、変形例では、導入溝 5 1 a 及び中間溝 5 4 の幹溝部 6 0 にそれぞれ幅広部を有しており、各々の幅広部内に凸部 5 9 が配置されている。

## 【 0 1 0 3 】

50

## [ 試験例 1 ]

実施形態に相当する電解液の流路が形成された双極板を作製し、これを用いて R F 電池を組み立て、セル抵抗率を調べた。

## 【 0 1 0 4 】

試験例 1 では、図 8 A ~ 図 8 C に示す流路が形成された試料 No . 1 ~ No . 3 の溝付き双極板を用意した。双極板の材質はプラスチックカーボンである。試料 No . 1 ~ No . 3 の双極板は、形状・サイズが同じで、流路のみを異ならせており、電極との対向面における電極接触面積 A 及び流路を構成する溝の平面開口面積 B が異なっている。各双極板の対向面の面積 ( A + B ) は  $891 \text{ mm}^2$  (  $27 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$  ) で同じである。各試料における双極板の電極接触面積 A、及び対向面の面積 ( A + B ) に占める電極接触面積 ( A ) の割合 [  $A / ( A + B )$  ] を表 1 に示す。なお、表 1 に示す電極接触面積割合 [  $A / ( A + B )$  ] の数値は、小数点第 3 位以下を切り捨てた値である。

10

## 【 0 1 0 5 】

試料 No . 1 ~ No . 3 の双極板を用いて単セルの R F 電池を組み立てた。単セルは、隔膜の両側に正負の電極をそれぞれ配置し、その両側から双極板を備えるセルフレームで挟んで作製した。正負の各電極には、カーボンフェルトを用いた。

## 【 0 1 0 6 】

( セル抵抗率の測定 )

各試料の双極板を用いた単セルの R F 電池について、以下に示す試験条件で充放電試験を行った。そして、3 サイクル充放電時におけるセル抵抗率 (  $\cdot \text{ cm}^2$  ) を求めた。各試料におけるセル抵抗率を表 1 に示す。セル抵抗率は、下記に示す計算式により算出した。

20

## 【 0 1 0 7 】

試験条件

《 電解液 》

硫酸バナジウム水溶液 ( V 濃度 :  $1.7 \text{ mol / L}$ 、硫酸濃度 :  $3.4 \text{ mol / L}$  )

《 電解液流量 》

入口流量 :  $0.31 \text{ ( mL / min )}$

出口流量 : 自由流出

《 充放電条件 》

充放電方法 : 定電流

30

電流密度 :  $70 \text{ ( mA / cm}^2 \text{ )}$

充電終了電圧 :  $1.55 \text{ ( V )}$

放電終了電圧 :  $1.00 \text{ ( V )}$

温度 : 25

セル抵抗率

式 :  $R = ( V_2 - V_1 ) / 2 I$

R : セル抵抗率 (  $\cdot \text{ cm}^2$  )

I : 電流密度 (  $\text{ A / cm}^2$  )

V 1 : 充電時間の中間時点における電圧 ( V )

V 2 : 放電時間の中間時点における電圧 ( V )

40

## 【 0 1 0 8 】

【表 1】

試料 No.	電極接触面積 A [mm <sup>2</sup> ]	電極接触面積割合 A / (A+B) [mm <sup>2</sup> ]	セル抵抗率 [Ω · cm <sup>2</sup> ]
1	443	0.49	0.9
2	612	0.68	0.75
3	670	0.75	0.7

10

## 【0109】

表 1 に示すように、試料 No. 1 ~ No. 3 のセル抵抗率は、No. 1 > No. 2 > No. 3 の順に小さくなっており、試料 No. 2、No. 3 は、試料 No. 1 に比べてセル抵抗率を大幅に低減できている。この結果から、電極接触面積の割合 [ A / ( A + B ) ] は 0.5 超が好ましいことが分かる。

## 【符号の説明】

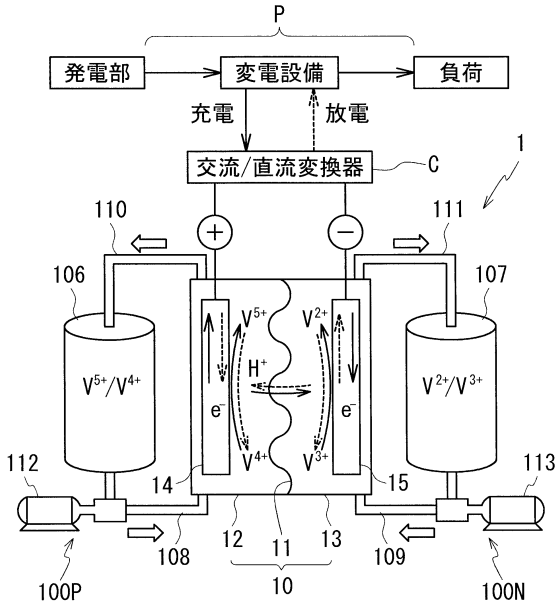
## 【0110】

- 1 レドックスフロー電池 ( R F 電池)
- 2 セルスタック 20
- 10 セル
- 11 隔膜
- 12 正極セル      13 負極セル
- 14 正極電極      15 負極電極
- 3 セルフレーム
- 31 双極板      32 枠体
- 32o 凹部
- 33、34 給液マニホールド      35、36 排液マニホールド
- 33s、34s 給液スリット      35s、36s 排液スリット
- 37 シール部材      38 シール溝 30
- 4 流路
- 4i 導入口      4o 排出口
- 41 導入路      42 排出路
- 5 溝
- 51a、51b、51c、51d 導入溝
- 52a、52b、52c、52d 排出溝
- 510、511 整流部 ( 導入側 )
- 520、521 整流部 ( 排出側 )
- 54 中間溝
- 56 開口部      57 底部 40
- 59 凸部
- 60 幹溝部
- 61 枝溝部 ( 1 次枝溝 )
- 62 枝溝部 ( 2 次枝溝 )
- 100P 正極循環流路      100N 負極循環流路
- 106 正極電解液タンク      107 負極電解液タンク
- 108、109 往路配管      110、111 復路配管
- 112、113 ポンプ
- 200 サブスタック
- 210 給排板      220 エンドプレート      230 締付機構 50

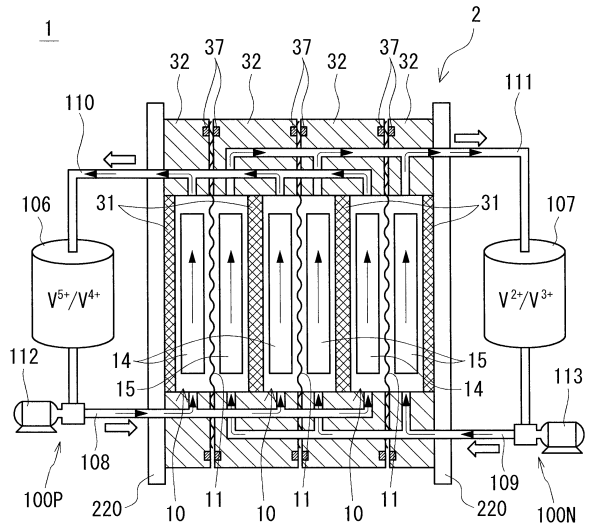
C 交流 / 直流変換器 P 電力系統

【図面】

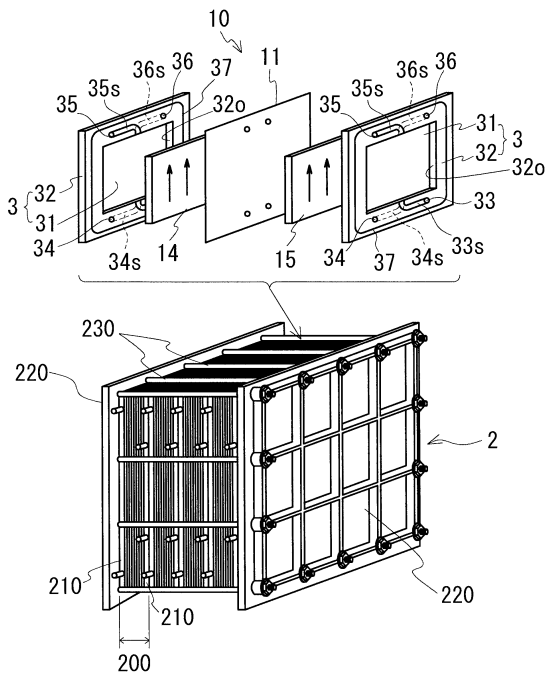
【図 1】



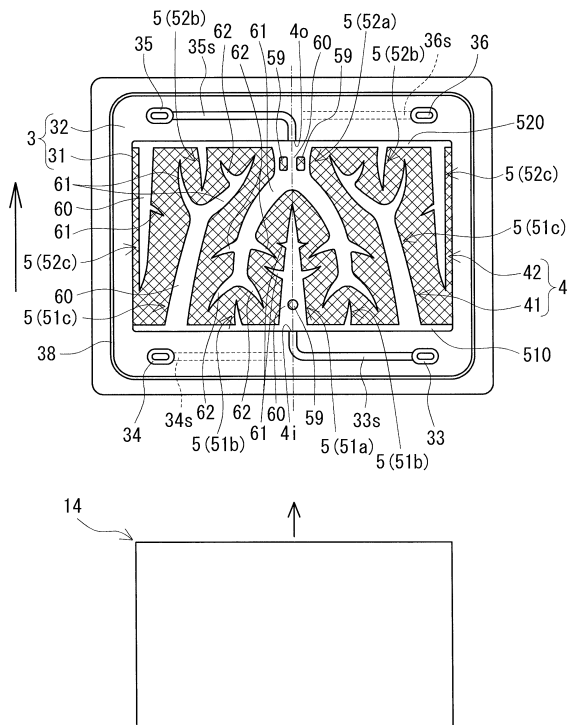
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

30

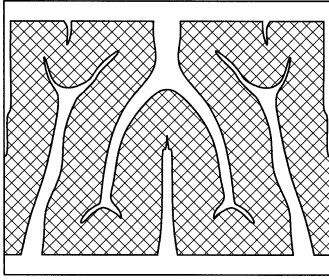
40

50



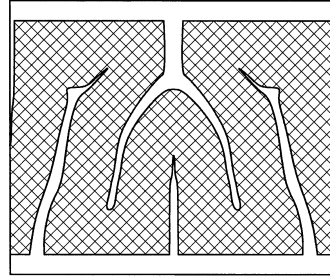
【 図 8 B 】

試料No. 2



【 図 8 C 】

試料No. 3



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内  
(72)発明者 奥村 宗一郎  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内  
(72)発明者 津島 将司  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内  
(72)発明者 藤田 喜久雄  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内  
(72)発明者 山 崎 慎太郎  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内  
(72)発明者 矢地 謙太郎  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内  
(72)発明者 鈴木 崇弘  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内  
審査官 高木 康晴  
(56)参考文献 実開昭63-008568(JP,U)  
特公昭50-040690(JP,B1)  
特開平02-148659(JP,A)  
特開平08-287923(JP,A)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01M 8/18  
H01M 8/026  
H01M 8/0263  
H01M 8/0258