

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560849
 研究課題名（和文） 不均一架橋構造を有するイオンバリアー性積層荷電膜を用いた浸透圧発電システムの開発
 研究課題名（英文） Development of osmosis power generation system using heterogeneous charge-Lamella membrane with ionic barrier properties

研究代表者

比嘉 充 (HIGA MITSURU)
 山口大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：30241251

研究成果の概要：親水性高分子のポリビニルアルコール(PVA)をベースにして高い水流束と高い耐ファウリング性を有する浸透圧発電用 NPN 積層荷電構造膜の開発を行うために変性 PVA ポリアニオンおよびポリジアリルアンモニウムクロリド (PDADMAC)のブレンド水溶液を多孔質膜の支持材上にコーティングして交互積層を形成後、架橋した。作製した NPN 積層荷電構造平膜は PVA 膜と比較して2倍以上高い水透過性と3倍以上高いイオンバリアー性を示した。さらに市販イオン交換膜と比較して2倍以上高い耐ファウリング性を有することが示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：構造・機能性材料、新エネルギー、水資源、環境技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 浸透圧発電の原理と利点

現在、環境に優しい自然エネルギーの開発が強く求められている。浸透圧発電は塩分濃度差発電とも呼ばれ、1976年にイスラエルの S.ロブにより提案された(S. Loeb, "Production of Energy from concentrated brines by pressure-retarded osmosis I and II", *J. Membr. Sci.*, **1**, 49-63, 249-269 (1976))。海水などの塩水と河口などの淡水の間に、水を選択的に透過する半透膜を挟むと淡水から塩水側に水の移動により浸透圧差が生じる。浸

透圧発電は水力発電システムで落差約300 mに相当する浸透圧差を僅か1 m長さ程度の膜モジュールで実現する。そのためこの方式は環境に熱負荷を与えず、CO₂削減効果に優れ、風力や太陽光などの自然エネルギーに特有な時間変動が殆どない。また設備面積が少ないため都市部においても高い電力供給が可能である。

(2) 国内外の研究動向

これまで市販の逆浸透膜を用いた発電実験が行われているが、まだ実用化に

至っていない。実用化には

- (1)高いイオンバリエーション性、
 - (2)高い水透過性、
 - (3)高い耐ファウリング(汚染)性、
- を持つ膜の開発が必要不可欠である。

しかし市販の逆浸透膜は酢酸セルロースなどの支持膜の表面に水分子が選択的に透過する孔を持つ構造であり、イオンバリエーション性は高いが、高い水透過性を得るのは難しく、また水中の不純物の膜表面の付着(ファウリング)により性能が大きく低下する。これらの問題を克服した新しい膜の開発が求められている(谷岡明彦, “浸透圧発電”, 日本海水学会誌, **60**, 4-7 (2006).)。

(3) 着想に至った経緯

一方、応募者はこれまで正荷電層(P層)と負荷電層(N層)のPN荷電構造膜を作製し、計算機実験によりイオン輸送特性の解析を行った(M. Higa, et al., “Effect of Membrane Constitution on the Direction of Ionic Transport Across Bipolar Membranes”, *J. Phys. Chem. B*, **104**(49), 11674-11679, (2000))。その結果NPN型バイポーラ荷電膜は中性膜と比較して高いイオンバリエーション性を示すことが判明した。また親水性高分子であるポリビニルアルコール(PVA)と高分子電解質を不均一な架橋構造を形成することで高い水透過性を有するイオン交換膜の開発が期待できる。そこでこれらの研究結果に基づいてPVAベースのモノリシック積層荷電構造を形成することで浸透圧発電を実用化するのに不可欠な高水透過性イオンバリエーション膜が得られるとの着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、浸透圧発電の実用化に不可欠な高イオンバリエーション性と高水透過性を有する膜を開発する。そのために親水性高分子のポリビニルアルコール(PVA)をベースにした正荷電層(P層)と負荷電層(N層)を多孔質膜の支持材上に交互に積層した後、不均一架橋構造を形成させることでモノリシック積層荷電構造膜の作製を行う。そしてこの膜の高イオンバリエーション性、及び水透過性を評価することで浸透圧発電に最適な荷電構造と膜作製条件を検討する。

3. 研究の方法

本研究では親水性高分子のポリビニルアルコール(PVA)をベースにして高い水流束と水選択透過性を有する浸透圧発電用モノリシックNPN積層荷電構造

膜の開発を行うために、ビニルアルコール基が主鎖であり種々の荷電基種を共重合組成として有する高分子アニオンを得た。そしてこのポリマーとPVAおよびポリジアリルアンモニウムクロリド(PDADMAC)のブレンド水溶液を多孔質膜の支持材上にコーティングして交互積層を形成する手法(含浸法)、および支持材上にコーティングした単膜を交互積層し、ヒートプレスで圧着する手法(積層法)により積層膜を作製し、架橋することでモノリシックNPN積層荷電構造平膜を作製した。

作製したNPN積層荷電構造平膜の含水率を測定し、市販の引張試験機を用いて機械的強度を測定した。また自作の測定セルを用いて膜電位を測定することでこれらの膜の対イオン選択性を評価した。さらに自作の毛細管付セルを用いて水透過係数を評価した。

4. 研究成果

含浸法によって調製した膜の条件をTable 1に、積層法によって調製した膜の条件をTable 2に示す。

Fig.1にNPN膜の水選択透過性(a)と

TABLE 1: Preparation conditions of NPN type charged membranes by impregnation method.

Sample	$C_{pa}^{(1)}$ [wt%]	$d_{pa}^{(1)}$ [μm]	T_{a1} [$^{\circ}\text{C}$]	C_{pc} [wt%]	T_{a2} [$^{\circ}\text{C}$]	C_{GA} [v%]
NPN-1	90	7.5	120	20	160	0.050
NPN-2	90	15	120	20	160	0.050
NPN-3	90	7.5	120	20	160	0.010
NPN-4	90	15	120	20	160	0.010
NPN-5	90	23	120	20	160	0.010
NPN-6	90	30	120	20	160	0.010
NPN-7	90	7.5	160	20	160	0.010
NPN-8	90	15	160	20	160	0.010
NPN-9	90	23	160	20	160	0.010
NPN-10	90	30	160	20	160	0.010

1) Polyanion; K-195

TABLE 2: Preparation conditions of NPN type charged membranes by x layer stack method.

Sample	C_{pa} [wt%]	C_{pc} [wt%]	T_{a1} [$^{\circ}\text{C}$]	C_{GA} [v%]
NPN-11	70 (AP-2)	20	160	0.010
NPN-12	70 (AP-2)	20	160	0.050
NPN-13	90 (K-195)	20	160	0.010
NPN-14	90 (K-195)	20	160	0.050

C_{pa} ; Polyanion contents in cast solution

d_{pa} ; Thickness of polyanion layer

T_{a1} , T_{a2} ; Annealing temperature

C_{pc} ; Polycation contents in cast solution

C_{GA} ; GA concentration for crosslinking

NaClの透過係数(P_{salt})との関係を示す。高い膜含水率を有する膜は、膨潤によ

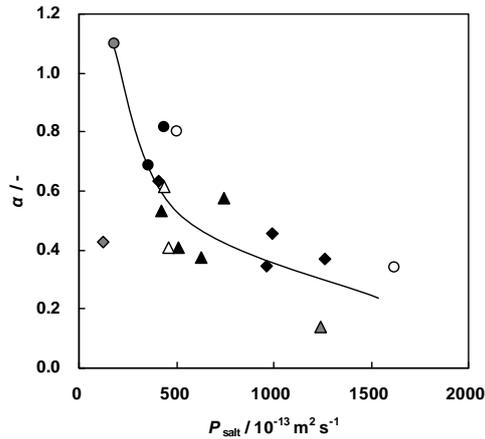


Fig.1 The permselectivity, α , of the NPN type charged membranes as a function of the permeability coefficient of NaCl, P_{salt} , in the membranes. Salt solution; 0.50M NaCl.

The plot means ●, NPN 1-2; ▲, NPN 3-6; ◆, NPN 7-10; ○, NPN 11-12; △, NPN 13-14; ●, CM-1; ▲, PVA (T_a : 120 °C); ◆, PVA (T_a : 180 °C).

り膜構造がルーズになるため、 P_{salt} の値は増加し、 α の値が低下した。一方、化学的架橋を行った膜は膨潤が制御され、膜が緻密化しており、透過イオンに対するイオンバリア性が有効に機能し、 α は向上した。イオンバリア性の向上には化学的架橋による膜の緻密化が有効と考えられるが、水透過性の低下を招くと考えられるため、架橋剤濃度の最適化を行う必要がある。

Fig.2 に NPN 膜の水選択透過性(α)と水の透過係数(P_{water})との関係を示す。含浸法による製膜において、高温で熱処理を行った膜は高い含水率を示し、高い水透過量を示した。これは膜中の結晶化領域の増大による影響と推測される。しかし塩透過性も増加したため、水選択透過性は低い結果となった。また高濃度の GA 溶液により架橋を行うと、水透過性も低下しているが、塩透過性の低下が大きく、水選択透過性は向上した。

ここで、市販の陽イオン交換膜 CM-1 の結果から、膜含水率の異なる PVA 膜の結果を結んだ破線と平行な線を引き、膜含水率の異なる市販膜の結果を推定した。推定線の右上にプロット(○, ●)が得られた膜は市販の膜をベースにした膜よりも高い性能を示すと考えられる。これは十分な膜含水率による高い水の流束と、GA による架橋により高いイオンバリア性を両立させた結果と考えられる。

本研究で作製した N 層膜および P 層

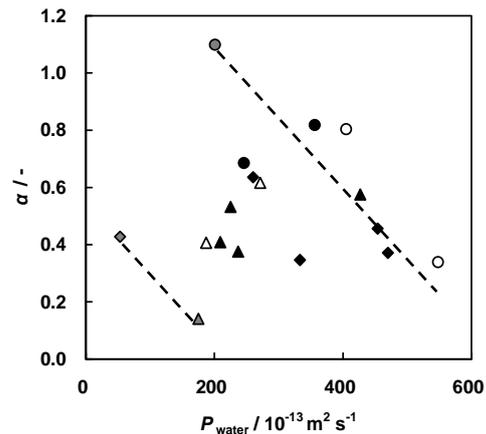


Fig.2 The permselectivity, α , of the NPN type charged membranes as a function of the permeability coefficient of water, P_{water} , in the membranes. Salt solution; 0.50M NaCl.

Markers in this figure are the same as those in Fig.1.

膜はそれぞれ市販陽イオン交換膜および陰イオン交換膜と同等以上の機械的強度(引張強度: 30MPa 以上、ヤング率: 600MPa 以上)を示した。またこれらの膜の対イオン選択透過性は市販イオン交換膜と同程度(動的輸率 0.96 以上)であり、また低い膜抵抗(2~10Ω/cm²)が得られた。これらを積層した NPN 積層荷電構造平膜は PVA 膜と比較して 2 倍以上高い水透過性と 3 倍以上高いイオンバリア性を示した。

しかし本研究で得られた膜における水流束は最大で従来の逆浸透膜と同程度であり、目標となる 10 倍以上高い水流束を有する膜は得られなかった。この目標を達成するためには現在の積層荷電層の厚み(約 150 μm)を 10 分の 1 以下にする必要がある。膜を中空糸化することで単位体積あたりの表面積を大きくすることが可能であり、膜の耐圧性が高まる。そのため PVA 系中空糸荷電膜や PVA 系多孔中空糸膜の表面に荷電層を薄くコーティングした膜が作製できれば浸透圧発電に適した高水透過性イオンバリア膜が実用化できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. Nobutaka Endo, Kousou Matsuda, Kazuaki Yaguchi, Zhaoxia Hu, Kangcheng Chen, Mitsuru Higa, and Kenichi Okamoto, Cross-Linked

- Sulfonated Polyimide Membranes for Polymer Electrolyte Fuel Cells, *J. Electrochem. Soc.*, **156**, B628-B633, 2009, 査読有
2. Kangcheng Chen, Xinbing Chen, Kazuaki Yaguchi, Nobutaka Endo, Mitsuru Higa, Ken-ichi Okamoto, Synthesis and properties of novel sulfonated polyimides bearing sulfophenyl pendant groups for fuel cell application, *Polymer*, **50**, 510-518, 2009, 査読有
 3. Mitsuru Higa, Dai Masuda, Eisuke Kobayashi, Megumi Nishimura, Yoko Sugio, Takeshi Kusudou, Naoki Fujiwara, Charge mosaic membranes prepared from laminated structures of PVA-based charged layers Charge mosaic membranes prepared from laminated structures of PVA-based charged layers: 1. Preparation and transport properties charged mosaic membranes, *Journal of Membrane Science*, **310**, 466-473, 2008, 査読有
 4. Megumi Nishimura, Mitsuru Higa, Kento Akamine, Sou Masudaya, Preparation and characterization of anion-exchange membranes with a semi-interpenetrating network structure of poly(vinyl alcohol) and poly(allylamine), *Desalination*, **233**, 157-165, 2008, 査読有
 5. Mitsuru Higa, Tomoko Yamakawa, Design and Preparation of a Novel Temperature-responsive Ionic Gel. 3. Valence Selective Control of Transport Modes of Ions in Response to Temperature, *J. Phys. Chem. B*, **112**(21), 6585-6593, 2008, 査読有
 6. 比嘉 充, 水・塩の安全性と陰イオン交換膜, 日本海水学会誌, **62**(3), 134-138, 2008, 査読無
 7. K. Okamoto, K. Matsuda, Z. Hu, K. Chen, N. Endo and M. Higa, Sulfonated Polyimide Membranes for Polymer Electrolyte Fuel Cells, *ECS Transactions*, **12**(1), 5-12, 2008, 査読有
 8. Nobutaka Endo, Yoko Hashizume, Mitsuru Higa, Development of Dye-sensitized Solar Cell Using Solid Polymer Electrolyte Consisting Hyper-branched Graft Polymer, *Transactions of Materials Research Society of Japan*, **32**(3), 685-688, 2007, 査読有
- [学会発表] (計 45 件)
1. 西村 恵美, 桑田 修一, 清水 恵里子, 比嘉 充, ポリマーブレンド法により作製した PVA 系陰イオン交換膜におけるイオン輸送特性, 化学工学会 第 74 年会, 2009 年 3 月 19 日, 横浜
 2. 長瀬 みなみ, 西村 恵美, 田中 伸幸, 比嘉 充, 陰イオン交換膜における有機汚染物質のファウリング特性, 化学工学会 第 74 年会, 2009 年 3 月 19 日, 横浜
 3. 西村 恵美, 比嘉 充, ポリマーブレンド法により作製したイオン交換膜における膜作製条件とそのイオン輸送特性との関係, 膜シンポジウム 2008, 2008 年 11 月 15 日, 大阪
 4. Shuichi Kuwada, Kento Akamine, Mitsuru Higa, Characterization of anion-exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and polycations, International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2008), 2008 年 7 月 14 日, Honolulu, Hawaii
 5. Megumi Nishimura, Mitsuru Higa, Electrolytic transport properties of anion exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and poly(diallyl dimethyl ammonium chloride), International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2008), 2008 年 7 月 14 日, Honolulu, Hawaii
 6. Hatsumi Maruoka, Kento Akamine, Mitsuru Higa, Characteristic of cation exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and polyanion: dependence of cross-linking conditions on ionic transport properties, International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2008), 2008 年 7 月 14 日, Honolulu, Hawaii
 7. 桑田 修一, 西村 恵美, 比嘉 充, 親水性マトリックスを有する陰イオン交換膜のイオン選択輸送特性, 第 45 回化学関連支部合同九州大会, 2008 年 7 月 5 日, 北九州
 8. 西村 恵美, 比嘉 充, PVA 系陰イオン交換膜の電気透析システムにおけるイオン輸送特性, 第 45 回化学関連支部合同九州大会, 2008 年 7 月 5 日, 北九州
 9. 丸岡 初美, 赤嶺 健人, 比嘉 充, PVA とポリアニオンから作製した陽イオン交換膜-架橋条件とイオン輸送特性, 第 45 回化学関連支部合同九州大会, 2008 年 7 月 5 日, 北九州
 10. 西村 恵美, 比嘉 充, 親水性高分子マトリックスを有する電気透析用陰イオン交換膜の作製とその特性評価, 日本海水学会第 59 年会, 2008 年 6 月 5 日, 長崎

11. 桑田 修一, 比嘉 充, PVA と PDADMAC から作製した親水性マトリクス陰イオン交換膜—化学的架橋条件とイオン選択性との関係—, 日本膜学会第 30 年会, 2008 年 5 月 15 日, 東京
12. 西村 恵美, 比嘉 充, 親水性マトリクスを有する陰イオン交換膜の作製—化学的架橋条件とイオン選択性との関係—, 日本膜学会第 30 年会, 2008 年 5 月 15 日, 東京
13. 小林 真由美, NUR DIANA, 比嘉 充, ポリビニールアルコールマトリクス両性荷電膜の作製とそのイオン選択透過性, 化学工学会第 73 年会, 2008 年 3 月 19 日, 浜松
14. 赤嶺 健人, 西村 恵美, 桑田 修一, 比嘉 充, ポリビニールアルコールと高分子カチオンから作製した親水性マトリクス陰イオン交換膜のイオン輸送特性, 化学工学会第 73 年会, 2008 年 3 月 19 日, 浜松
15. 原尻 孔明, 杉本 健洋, 比嘉 充, NIPA/PVA ゲルを用いた温度応答性アクチュエータデバイスの特性評価, 第 8 回 MRS-J 山口大学支部研究発表会, 2007 年 11 月 17 日, 宇部
16. 赤嶺 健人, 西村 恵美, 比嘉 充, NIPA/PVA ゲルを用いた温度応答性アクチュエータデバイスの特性評価, 第 8 回 MRS-J 山口大学支部研究発表会, 2007 年 11 月 17 日, 宇部
17. 桑田 修一, 比嘉 充, ポリビニールアルコールと高分子カチオンから作製した陰イオン交換膜のイオン輸送特性, 第 8 回 MRS-J 山口大学支部研究発表会, 2007 年 11 月 17 日, 宇部
18. 杉田 幹典, 前唄 晋一, 比嘉 充, 親水性マトリクスを用いた DMFC 用固体高分子電解質膜の作製とその特性評価, 第 8 回 MRS-J 山口大学支部研究発表会, 2007 年 11 月 17 日, 宇部
19. 比嘉 充, 藤井政臣, 電場応答性荷電膜の作製とそのイオン輸送制御特性評価, 膜シンポジウム 2007, 2007 年 11 月 15 日, 宇部
20. 西村 恵美, 赤嶺 健人, 桑田 修一, 比嘉 充, 親水性マトリクスを有する陰イオン交換膜の作製とその特性評価, 膜シンポジウム 2007, 2007 年 11 月 15 日, 宇部
21. 遠藤 宣隆, 橋詰 洋子, 尾野本 広志, 比嘉 充, 多分岐グラフトポリマーによる完全固体型色素増感太陽電池の作製法の検討, 第 48 回 電池討論会, 2007 年 11 月 15 日, 福岡
22. 前唄 晋一, 杉田 幹典, 遠藤 宣隆, 比嘉 充, 遠藤 了慶, 大木 弘之, DMFC 用ポリビニールアルコール系固体高分子電解質膜の発電特性評価, 第 48 回 電池討論会, 2007 年 11 月 15 日, 福岡
23. 遠藤 宣隆, 橋詰 洋子, 尾野本 広志, 比嘉 充, 多分岐グラフトポリマーを用いた固体高分子電解質の色素増感太陽電池への適用, 第 56 回 高分子討論会, 2007 年 9 月 21 日, 名古屋
24. 大月 昌也, 豊田 拓也, 杉田 幹典, 比嘉 充, 楠藤 健, ポリビニールアルコール複合荷電膜の作製とそのイオン輸送特性評価, 第 56 回 高分子討論会, 2007 年 9 月 21 日, 名古屋
25. 杉田 幹典, 比嘉 充, 遠藤 了慶, ポリビニールアルコールをマトリクスにした DMFC 用固体高分子電解質膜の作製とその特性評価, 第 56 回 高分子討論会, 2007 年 9 月 21 日, 名古屋
26. 白水 由紀, 杉本 健洋, 赤嶺 健人, 比嘉 充, イオンバリア性を有する NPN 型複合荷電膜の作製と特性評価, 第 56 回 高分子討論会, 2007 年 9 月 19 日, 名古屋
27. Mitsuru Higa, Charged Membranes Responding External Environmental Conditions, The Fourth Conference of Aseanian Membrane Society, 2007 年 8 月 17 日, 台北
28. Mitsuru Higa, Megumi Nishimura, Sou Masudaya, Characterization of Anion exchange Membranes prepared from Poly(vinyl alcohol) and Polycation, The Fourth Conference of Aseanian Membrane Society, 2007 年 8 月 17 日, 台北
29. Mitsuru Higa, Mayumi, Kobayashi, Amphoteric charged membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and polycation, The Fourth Conference of Aseanian Membrane Society, 2007 年 8 月 17 日, 台北
30. 比嘉 充, 堀 憲次, 上村 明男, 遠藤 宣隆, 親水性高分子を用いたナノ構造制御イオン交換膜の開発, 第 19 回助成研究発表会, 2007 年 7 月 31 日, 東京
31. 小林真由美, 比嘉 充, PVA をベースにした両性荷電膜の作製とその電解質選択透過性, 第 44 回 化学関連支部合同九州大会, 2007 年 7 月 7 日, 北九州
32. 杉田 幹典, 比嘉 充, ポリビニールアルコール系固体高分子電解質膜のプロトン選択透過性と膜構造, 第 44 回 化学関連支部合同九州大会, 2007 年 7 月 7 日, 北九州
33. 赤嶺 健人, 比嘉 充, 変性 PVA 高分子電解質から作製した陽イオン交換膜におけるイオン輸送特性, 第 44 回 化学関連支部合同九州大会, 2007 年 7 月 7 日, 北九州

34. 尾野本広志, 比嘉 充, ポリエチレングリコール含浸カチオン交換膜を用いた固体高分子電解質の作製と特性評価, 第44回 化学関連支部合同九州大会, 2007年7月7日, 北九州
35. 豊田拓也, 比嘉 充, ポリビニールアルコール系荷電膜における架橋条件とイオン選択透過性, 第44回 化学関連支部合同九州大会, 2007年7月7日, 北九州
36. 小林真由美, 比嘉 充, ポリマーブレンド法による両性荷電膜の作製とイオン選択透過性の評価, 繊維学会年次大会, 2007年6月20日, 東京
37. 尾野本広志, 比嘉 充, ポリエチレングリコール含浸陽イオン交換膜を用いた固体高分子電解質の作製と特性評価, 繊維学会年次大会, 2007年6月20日, 東京
38. 豊田 拓也, 赤嶺 健人, 比嘉 充, 楠藤 健, 藤原 直樹, ポリビニールアルコール系荷電膜における架橋条件と荷電選択透過性との関係, 繊維学会年次大会, 2007年6月20日, 東京
39. 原尻 孔明, 比嘉 充, PVA/NIPAAm ゲルを用いた温度応答性マイクロバルブの特性評価, 繊維学会年次大会, 2007年6月20日, 東京
40. 西村 恵美, 赤嶺 健人, 豊田 拓也, 比嘉 充, 親水性マトリクスを有するイオン交換膜における膜架橋条件とイオン輸送特性の関係, 日本海水学会 第58年会研究技術発表会, 2007年6月5日, 東京
41. 杉田 幹典, 赤嶺 健人, 豊田 拓也, 比嘉 充, 遠藤 了慶, 高プロトン選択透過性を有する DMFC 用ポリビニールアルコール系固体高分子電解質膜の作製条件の検討, 第56回高分子学会年次大会, 2007年5月29日, 京都
42. 原尻 孔明, 比嘉 充, PVA-NIPAAm ゲルを用いた温度応答性マイクロバルブの特性評価, 第56回高分子学会年次大会, 2007年5月29日, 京都
43. 藤井 政臣, 比嘉 充, PVA と高分子電解質から作製した荷電膜における膜荷電状態の外部イオン濃度応答性, 日本膜学会第29年会, 2007年5月10日, 東京
44. 赤嶺 健人, 豊田 拓也, 西村 恵美, 比嘉 充, 楠藤 健, 藤原 直樹, 変性 PVA 高分子電解質から作製した陽イオン交換膜におけるイオン輸送特性, 日本膜学会第29年会, 2007年5月10日, 東京
45. 小林 真由美, 比嘉 充, 電解質選択透過性を持つポリマーブレンド両性荷電膜の作製とその特性評価, 日本膜学会第29年会, 2007年5月10日, 東京

[図書] (計1件)

- ① 比嘉 充, 株式会社 工業調査会, 「図解

最先端イオン交換技術のすべて」(日本イオン交換学会編), 2008, 34-37, 42-45

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

名称: 透湿体及びこれを備えた加湿器
 発明者: 比嘉 充, 橋爪克浩, 近藤 悟
 権利者: 山口大学, 三菱重工(株)
 種類: 特願
 番号: 2007-166507
 出願年月日: 2007年6月25日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

比嘉 充 (HIGA MITSURU)
 山口大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号: 30241251

(2)研究分担者

遠藤 宣隆 (ENDO NOBUTAKA)
 山口大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号: 40314819

(3)連携研究者

(4)共同研究者

西村 恵美 (NISHIMURA MEGUMI)
 山口大学・大学院理工学研究科・大学院生