

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7625014号

(P7625014)

(45)発行日 令和7年1月31日(2025.1.31)

(24)登録日 令和7年1月23日(2025.1.23)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 L 27/38 (2006.01)

A 6 1 L 27/38

A 6 1 L 27/20 (2006.01)

A 6 1 L 27/20

A 6 1 K 35/39 (2015.01)

A 6 1 K 35/39

A 6 1 K 47/36 (2006.01)

A 6 1 K 47/36

A 6 1 K 9/06 (2006.01)

A 6 1 K 9/06

請求項の数 16 (全123頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-570823(P2022-570823)

(86)(22)出願日 令和2年12月22日(2020.12.22)

(86)国際出願番号 PCT/JP2020/047944

(87)国際公開番号 WO2022/137345

(87)国際公開日 令和4年6月30日(2022.6.30)

審査請求日 令和5年11月13日(2023.11.13)

(73)特許権者 000181147

持田製薬株式会社

東京都新宿区四谷1丁目7番地

(73)特許権者 510192802

国立研究開発法人国立国際医療研究セン

ター

東京都新宿区戸山1丁目21番地1号

(74)代理人 100092783

弁理士 小林 浩

(74)代理人 100149010

弁理士 星川 亮

(74)代理人 100217663

弁理士 末広 尚也

(72)発明者 霜田 雅之

東京都新宿区戸山1-21-1 国立国

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 化学架橋アルギン酸を用いた移植用デバイス

(57)【特許請求の範囲】

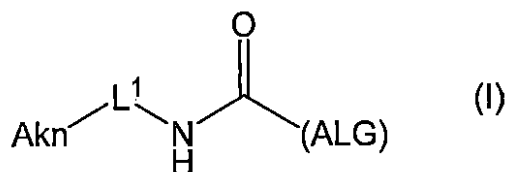
【請求項1】

インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスであって、前記ハイドロゲルが以下の(A)及び(B)に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせにより形成される化学架橋によりゲル化したものであり、前記ハイドロゲルの厚さが、 $100\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 未満である、移植用デバイス。

(A)：

アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(−L¹−)を介して、環状アルキン基(Akn)が導入された、下記式(I)：

【化1】

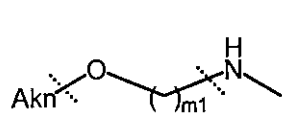


〔式(I)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；−NHCO−は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；−L¹−は、下記部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕：

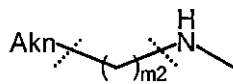
10

20

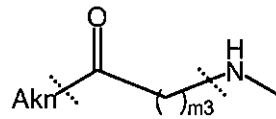
【化 2】



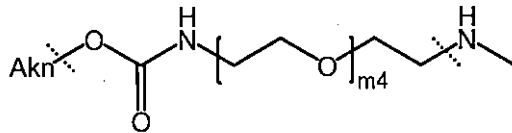
(LN-1) m1=2-6



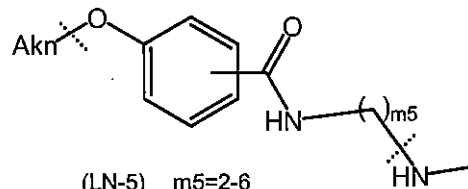
(LN-2) m2=1-6



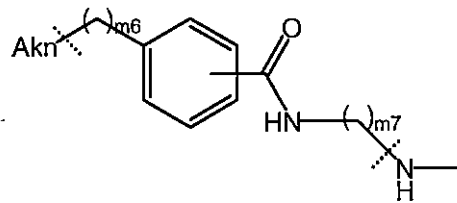
(LN-3) m3=1-6



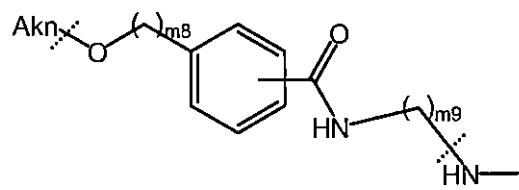
(LN-4) m4=1-6



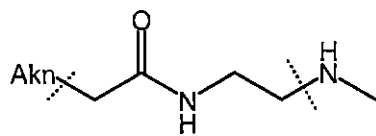
(LN-5) m5=2-6



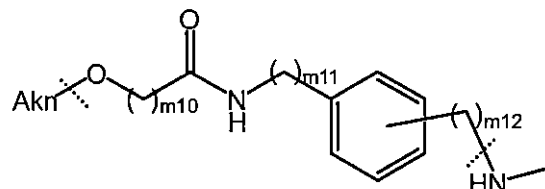
(LN-6) m6=1-6, m7=2-6



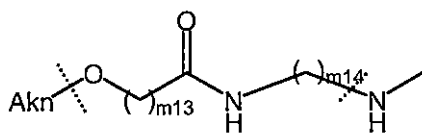
(LN-7) m8=1-6, m9=2-6



(LN-8)

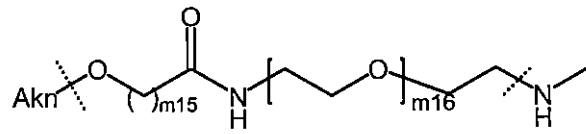


(LN-9) m10=1-4, m11=1-6, m12=1-6



m13=1-4, m14=2-6

(LN-10)



m15=1-4, m16=1-6

(LN-11)

の群から選択される 2 価のリンカーを表わし；A k n は、下記部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕：

10

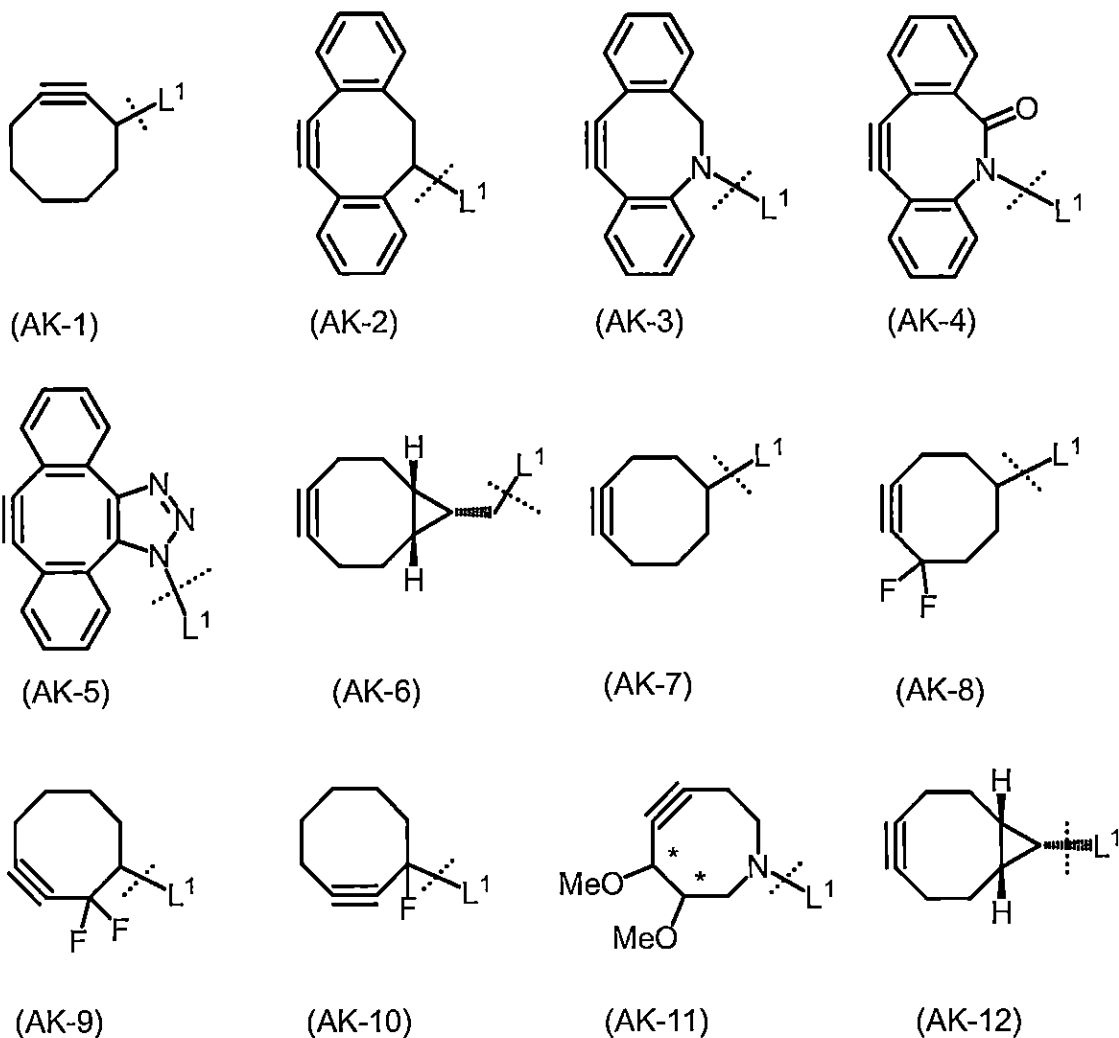
20

30

40

50

【化 3】

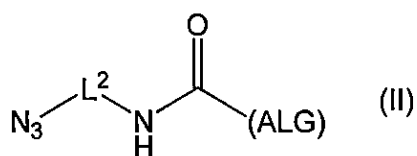


の群から選択される環状アルキン基を表わし、星印はキラル中心を表す] で表わされるアルギン酸誘導体；

(B)：

アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(—L²—)を介して、アジド基が導入された、下記式(II)：

【化 4】



[式(II)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；—NHCO—は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；—L²—は、下記部分構造式[各式中、両端の破線外側は含まない]：

10

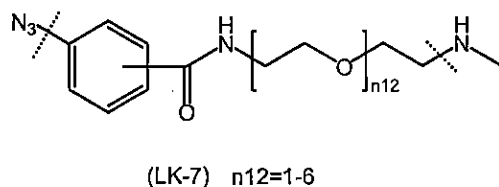
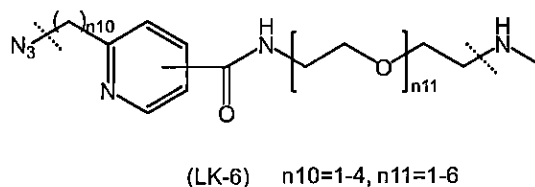
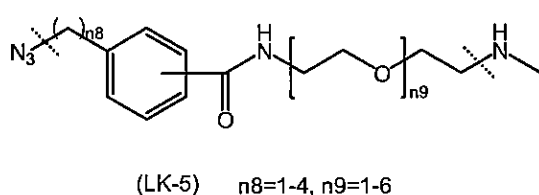
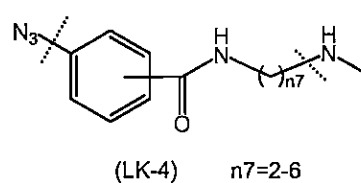
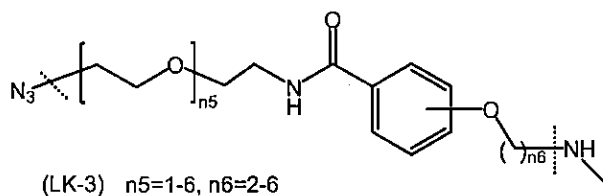
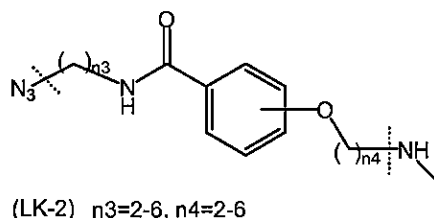
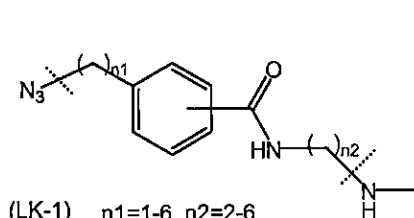
20

30

40

50

【化 5】

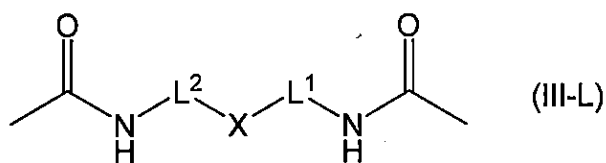


の群から選択される 2 価のリンカーを表わす] で表わされるアルギン酸誘導体。

【請求項 2】

前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第 1 のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第 2 のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式 (III-L) :

【化 6】



[式 (III-L) 中、両端の $-\text{CONH}-$ 及び $-\text{NHCO}-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

$-\text{L}^1-$ は、前記請求項 1 中の定義と同じであり；

$-\text{L}^2-$ は、前記請求項 1 中の定義と同じであり；

X は、下記部分構造式：

10

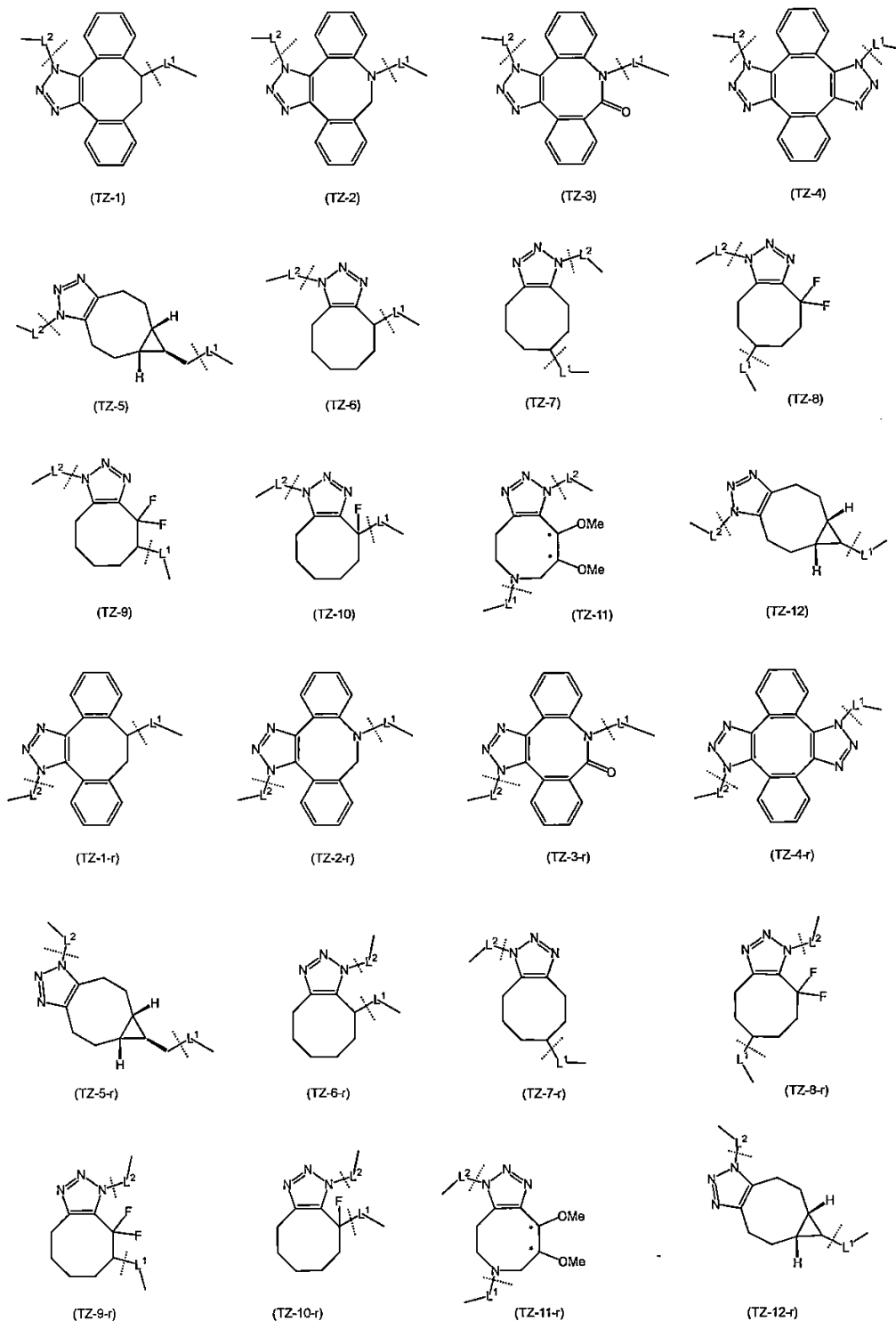
20

30

40

50

【化 7】



の群から選択される環状基であり（各式中、両端の破線外側は含まない）、星印はキラル中心を表す] を介して結合した架橋アルギン酸である、請求項 1 に記載の移植用デバイス。

【請求項 3】

下記式（ⅠⅠⅠ-L）：

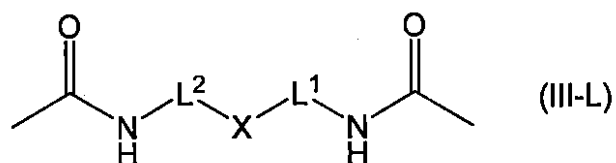
10

20

30

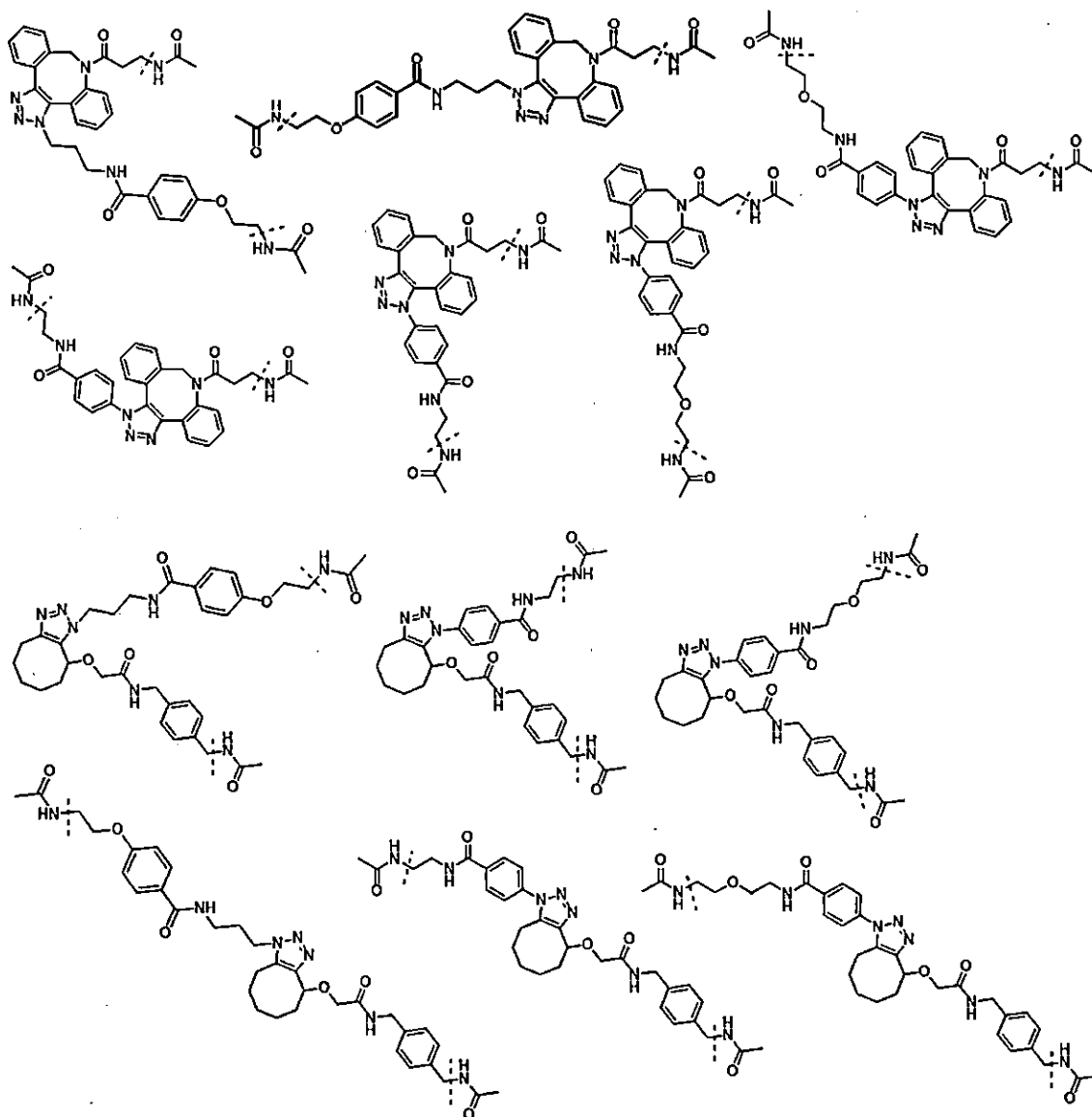
40

【化 8】



の $-L^2-X-L^1-$ の組み合わせが、下記部分構造式：

【化 9】



の群から選択される基である（各式中、両端の破線外側は含まない）、請求項 2 に記載の移植用デバイス。

【請求項 4】

インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスであって、前記ハイドロゲルが以下の（A）及び（B）に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせにより形成される化学架橋によりゲル化したものであり、前記ハイドロゲルの厚さが、100 μm 以上 500 μm 未満である、移植用デバイス。

（A）：アルギン酸の任意の 1 つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び 2 価のリンカー（ $-L^1-$ ）を介して、環状アルキン基（Akn）が導入された、下記式（I）：

10

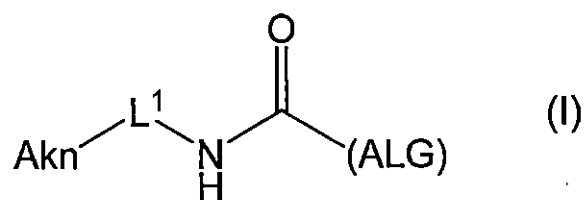
20

30

40

50

【化 10】



〔式（I）中、（ALG）は、アルギン酸を表わし；－NHCO－は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；－L¹－は、下記表：

10

20

30

40

50

【表 1 - 1】

No.	- L ¹ -	
(L1-1)		m1=1-6 n1=2-6
(L1-2a)		m2a=1-6 n2a=2-6 p2a=2-6
(L1-2b)		m2b=1-6 n2b=1-6 p2b=2-6
(L1-3)		m3=1-6 n3=1-6 p3=2-6
(L1-4a)		m4a=2-6 n4a=2-6
(L1-4b)		m4b=0-6 n4b=2-6
(L1-5a)		m5a=1-6 n5a=2-6 p5a=2-6 q5a=1-6
(L1-5b)		m5b=1-6 n5b=1-6 p5b=2-6 q5b=1-6
(L1-6a)		m6a=1-6 n6a=0-6 p6a=2-6
(L1-6b)		m6b=1-6 n6b=1-6 p6b=2-6

10

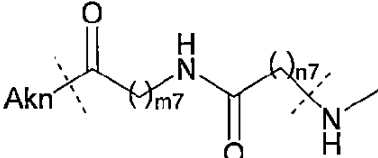
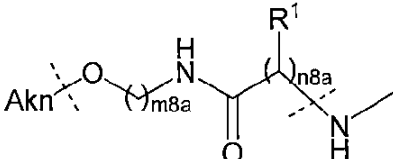
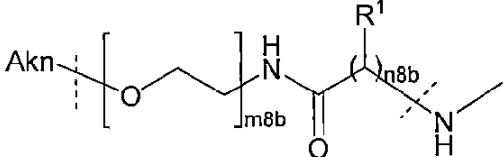
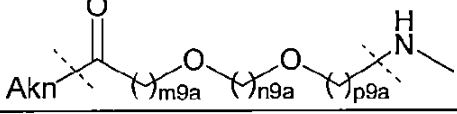
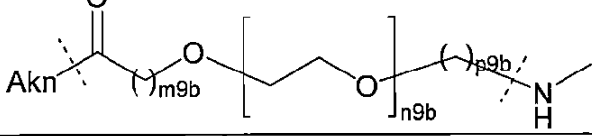
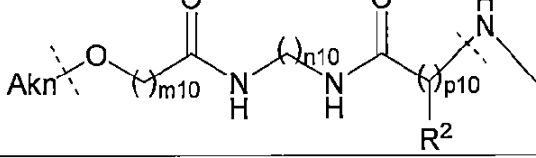
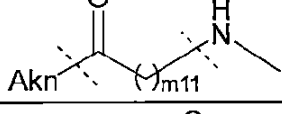
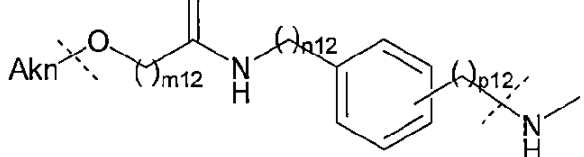
20

30

40

50

【表 1 - 2】

No.	-L ¹ -	
(L1-7)		m7=1-6 n7=1-6
(L1-8a)		m8a=2-6 n8a=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-8b)		m8b=1-6 n8b=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-9a)		m9a=1-6 n9a=2-6 p9a=2-6
(L1-9b)		m9b=1-6 n9b=1-6 p9b=2-6
(L1-10)		m10=1-6 n10=2-6 p10=1-6 R ² =H, Me, Et, Bn
(L1-11)		m11=2-6
(L1-12)		m12=1-6 n12=0-6 p12=1-6

に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表わし；

Aknは、下記表：

10

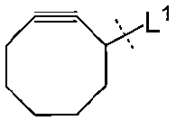
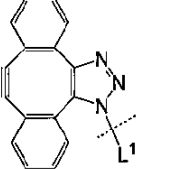
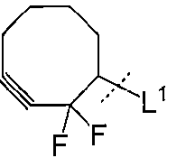
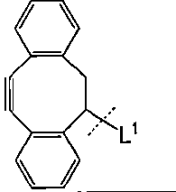
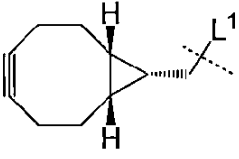
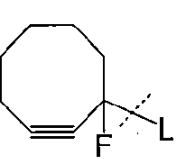
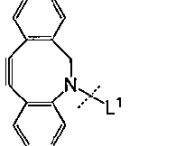
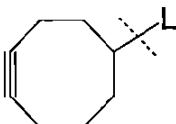
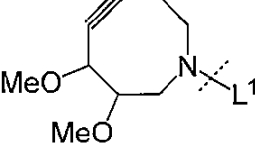
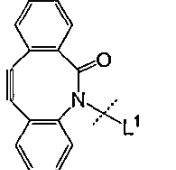
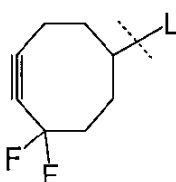
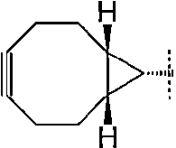
20

30

40

50

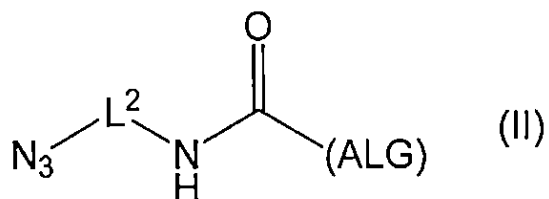
【表 2】

No.	A k n	No.	A k n	No.	A k n
(AK-1)		(AK-5)		(AK-9)	
(AK-2)		(AK-6)		(AK-10)	
(AK-3)		(AK-7)		(AK-11)	
(AK-4)		(AK-8)		(AK-12)	

に記載された部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕からなる群より選択される環状アルキン基を表わす〕で表わされるアルギン酸誘導体；

(B)：アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(—L²—)を介して、アジド基が導入された、下記式(I I)：

【化 1 1】



〔式(I I)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；—NHCO—は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；—L²—は、下記表：

10

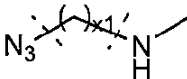
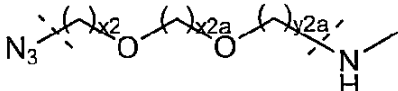
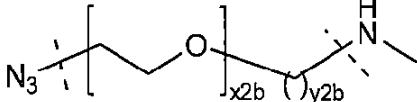
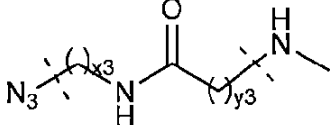
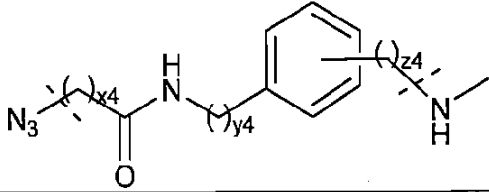
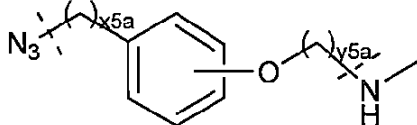
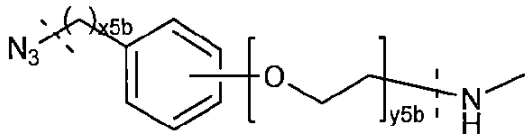
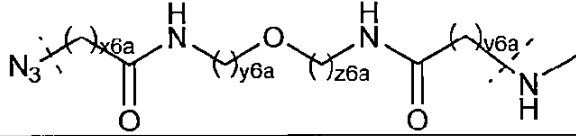
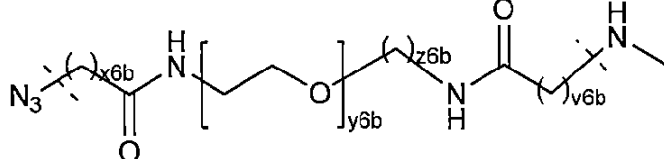
20

30

40

50

【表 3 - 1】

No.	-L ² -	
(L2-1)		x1=2-6
(L2-2a)		x2=2-6 x2a=2-6 y2a=2-6
(L2-2b)		x2b=1-6 y2b=2-6
(L2-3)		x3=2-6 y3=1-6
(L2-4)		x4=1-6 y4=1-6 z4=1-6
(L2-5a)		x5a=0-4 y5a=2-6
(L2-5b)		x5b=0-4 y5b=1-6
(L2-6a)		x6a=1-6 y6a=2-6 z6a=2-6 v6a=1-6
(L2-6b)		x6b=1-6 y6b=1-6 z6b=2-6 v6b=1-6

10

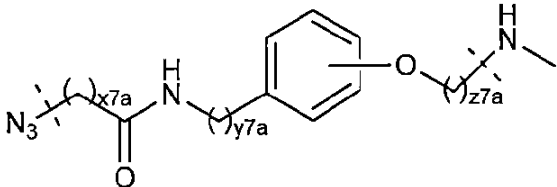
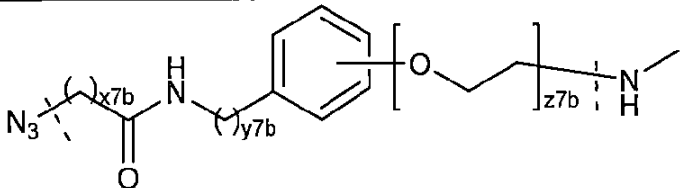
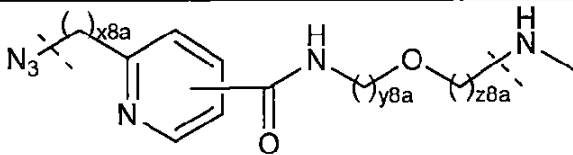
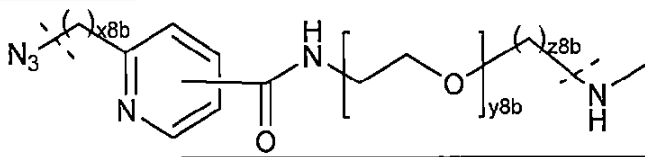
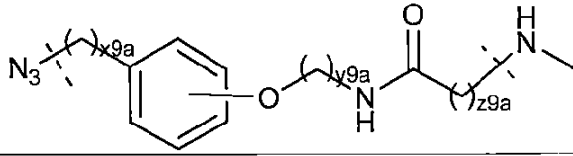
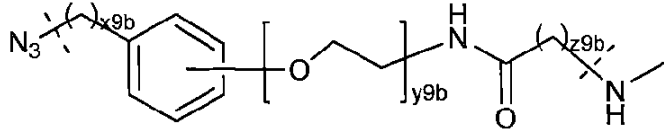
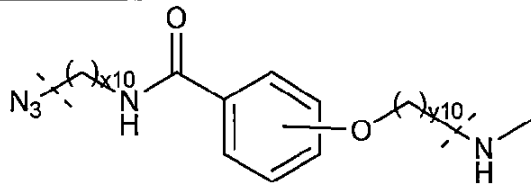
20

30

40

50

【表 3 - 2】

No.	-L ² -	
(L2-7a)		x7a=1-6 y7a=1-6 z7a=2-6
(L2-7b)		x7b=1-6 y7b=1-6 z7b=1-6
(L2-8a)		x8a=0-4 y8a=2-6 z8a=3-6
(L2-8b)		x8b=0-4 y8b=1-6 z8b=3-6
(L2-9a)		x9a=0-4 y9a=2-6 z9a=1-6
(L2-9b)		x9b=0-4 y9b=1-6 z9b=1-6
(L2-10)		x10=2-6 y10=2-6

に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表す〕で表されるアルギン酸誘導体（但し、式（I）で表わされるアルギン酸誘導体において-L¹-が（L1-1）、（L1-2a）、（L1-2b）、（L1-11）又は（L1-12）の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式（II）で表わされるアルギン酸誘導体において-L²-が（L2-10）のリンカーである誘導体との組み合わせによる化学架橋は除く）。

【請求項 5】

前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式（III-L）：

10

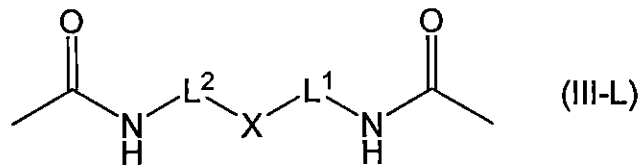
20

30

40

50

【化 1 2】



〔式（III-L）中、両端の－CONH－及び－NHCO－は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

－L¹－は、前記請求項 4 中の定義と同じであり；

－L²－は、前記請求項 4 中の定義と同じであり； X は、下記表：

10

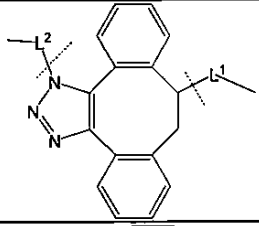
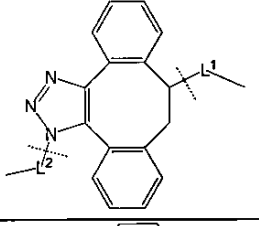
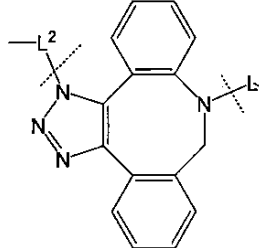
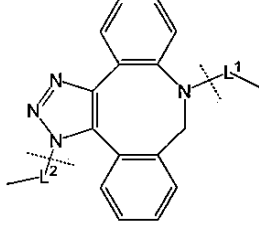
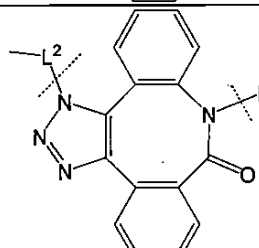
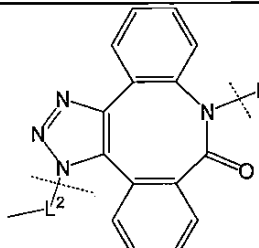
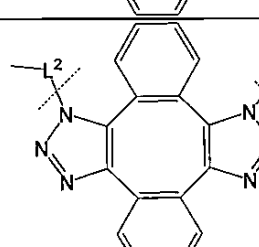
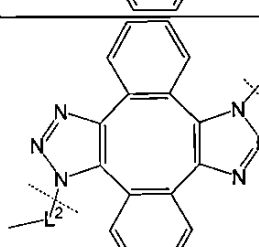
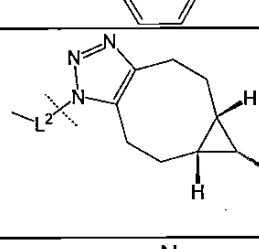
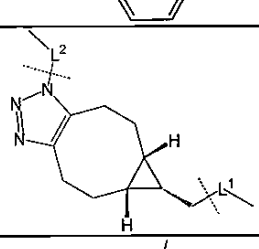
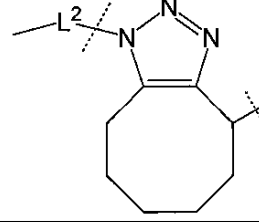
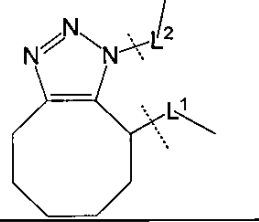
20

30

40

50

【表 4 - 1】

No.	X	No.	X
(TZ-1)		(TZ-1-r)	
(TZ-2)		(TZ-2-r)	
(TZ-3)		(TZ-3-r)	
(TZ-4)		(TZ-4-r)	
(TZ-5)		(TZ-5-r)	
(TZ-6)		(TZ-6-r)	

10

20

30

40

50

【表 4 - 2】

No.	X	No.	X
(TZ-7)		(TZ-7-r)	
(TZ-8)		(TZ-8-r)	
(TZ-9)		(TZ-9-r)	
(TZ-10)		(TZ-10-r)	
(TZ-11)		(TZ-11-r)	
(TZ-12)		(TZ-12-r)	

に記載された部分構造式の群から選択される環状基である（各式中、両端の破線外側は含まない）を介して結合した架橋アルギン酸である（但し、式（I）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^1-$ が（L1-1）、（L1-2a）、（L1-2b）、（L1-11）又は（L1-12）の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式（II）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^2-$ が（L2-10）のリンカーである誘導体との組み合わせによる架橋アルギン酸は除く）、請求項4に記載の移植用デバイス。

【請求項6】

式（I）のアルギン酸誘導体が、下記式：

10

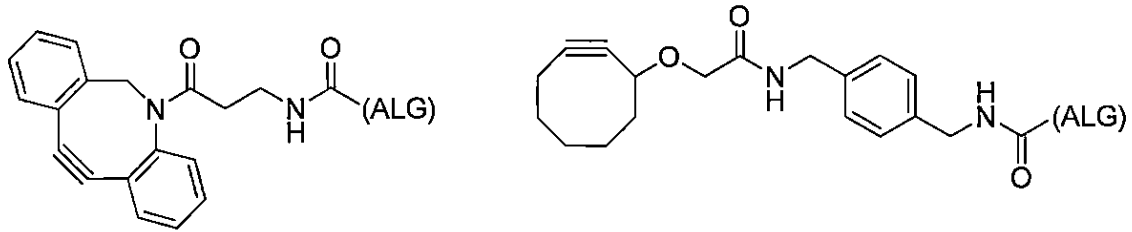
20

30

40

50

【化 1 3】



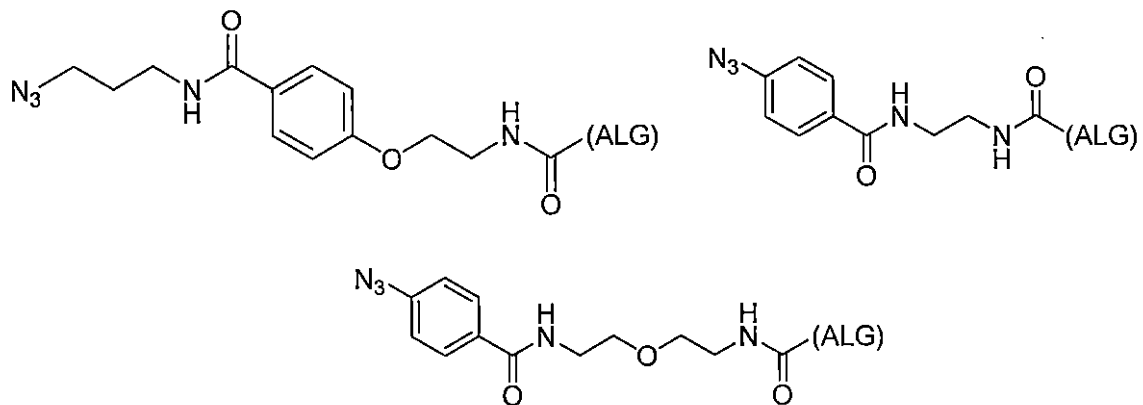
〔式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する —NHCO— は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす〕の群から選択される、請求項1に記載の移植用デバイス。

10

【請求項7】

式(II)のアルギン酸誘導体が、下記式：

【化 1 4】



20

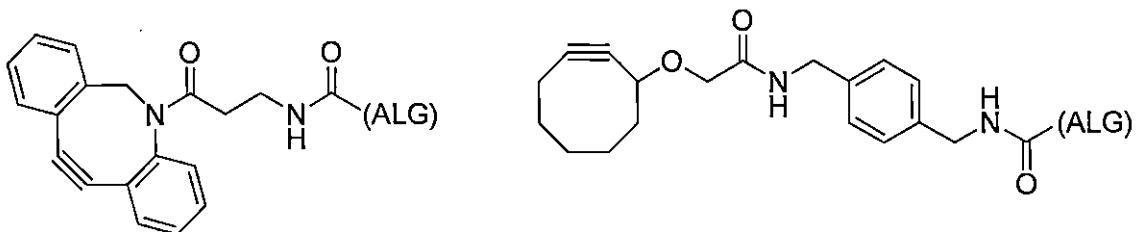
〔式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する —NHCO— は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす〕の群から選択される、請求項1に記載の移植用デバイス。

30

【請求項8】

式(I)のアルギン酸誘導体が、下記式：

【化 1 5】

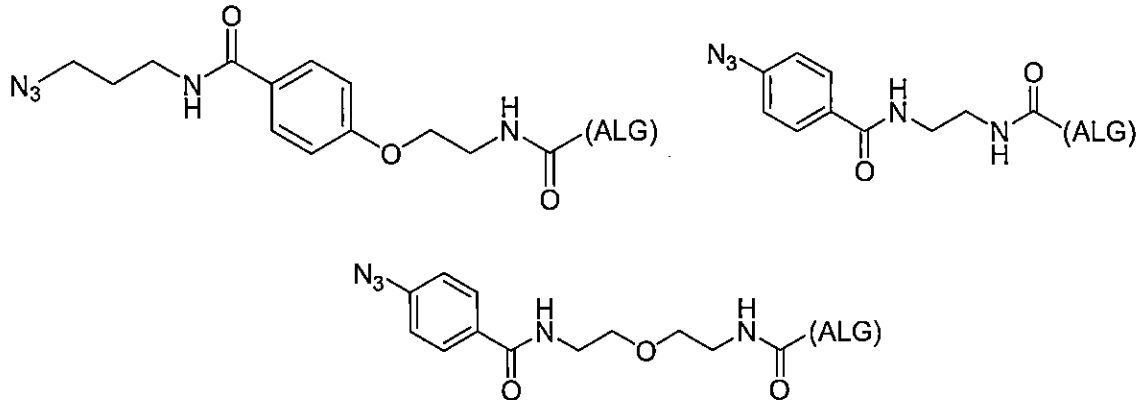


40

〔式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する —NHCO— は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす〕の群から選択され、式(II)のアルギン酸誘導体が、下記式：

50

【化 1 6】



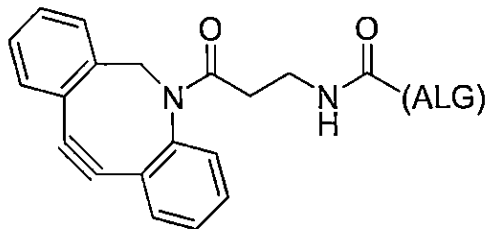
10

【式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する-NHCO-は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす】の群から選択される、請求項1に記載の移植用デバイス。

【請求項9】

式(I)のアルギン酸誘導体が、下記式：

【化 1 7】

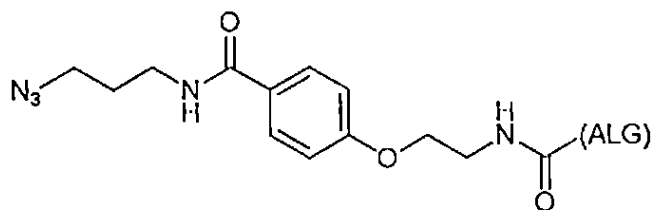


20

【式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する-NHCO-は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす】であり、式(II)のアルギン酸誘導体が、下記式：

30

【化 1 8】



【式中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；(ALG)に結合する-NHCO-は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わす】である、請求項1に記載の移植用デバイス。

40

【請求項10】

前記腓島が、ヒト腓島またはブタ腓島である、請求項1～9のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【請求項11】

前記腓島が、ブタの成体の腓島である、請求項10に記載の移植用デバイス。

【請求項12】

前記腓島が、胎生期、新生児期、または周産期のブタ腓島である、請求項10に記載の移植用デバイス。

【請求項13】

50

前記ハイドロゲルが、更に半透膜で被覆された、請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の移植用デバイス。

【請求項 14】

前記半透膜が、セルロースエステルより形成された透析膜である、請求項 13 に記載の移植用デバイス。

【請求項 15】

前記セルロースエステルが、酢酸セルロースである、請求項 14 に記載の移植用デバイス。

【請求項 16】

前記ハイドロゲルが、更に 2 価金属イオンにより部分的に形成されるイオン架橋を含む、請求項 1 または 4 に記載の移植用デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、細胞などを生体に移植するためのデバイスに関する。より具体的には、化学架橋アルギン酸を用いた移植用デバイス、及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

I 型糖尿病の治療法としては、従来のインスリン注射や膵臓移植の他、国内外で膵島移植も実施されてきているものの、特に国内ではドナー不足等の問題もあり、未だ少数例に限られている。ブタ膵島を用いた異種移植は、このドナー不足を解消する有効な技術にはなり得るが、同種移植も異種移植の場合も、免疫による拒絶反応は避けられず、長期に亘る免疫抑制剤の服用が必須となり、それによる合併症の危険性や残存する移植膵島の悪影響の可能性も報告されている（非特許文献 1：Organ Biology, VOL 24, No. 1, 7-12 頁, 2017）。

【0003】

これを解決する技術として、レシピエントの免疫細胞等からは隔離可能で、栄養分やインスリン等は透過可能な高分子ゲルや半透膜等で膵島を被覆（カプセル化）し、体内に移植するバイオ人工膵臓（bioartificial pancreas (BAP)、バイオ人工膵島ともいう）の技術が以前より検討されてきている（特許文献 1：特開昭 55-157502 号公報、特許文献 2：特開昭 60-258121 号公報、特許文献 3：国際公開第 95/28480 号パンフレット、特許文献 4：国際公開第 92/19195 号パンフレット、特許文献 5：特開 2017-196150 号公報）。

【0004】

バイオ人工膵島の種類については、主に（1）個々の膵島を高分子ゲル等で被覆した「ミクロカプセル型」、（2）多数の膵島を高分子ゲルや半透膜等で被覆した「マクロカプセル型」、（3）半透膜で作製された免疫隔離デバイスや中空系モジュール等に膵島を封入し、デバイス中に血液を灌流させる「血液灌流型」に分類される（非特許文献 1）。

【0005】

ミクロカプセル型は、免疫細胞からの隔離が可能で栄養分やインスリン等は透過可能な高分子ゲルを用いて個々の膵島をカプセル化し、通常の膵島移植と同様に体内（主として腹腔内）に移植する技術である。レシピエントの免疫細胞から隔離できる上、比較的隔離膜厚が薄いために拡散による透過時間が短く、栄養分の透過や細胞の応答が早くなるというメリットがあるが、膵島の機能が低下した際に回収することは困難である。

【0006】

血液灌流型は、膵島を半透膜で隔離した流路に血液を灌流させる技術で、人工透析やバイオ人工肝臓等の技術の蓄積を応用しており、多数の基礎研究が行われてきたが、装置サイズが大きくなることや血栓形成のリスクが大きいことが課題であり、長期使用時に血栓を作って詰まり易いという欠点があり、実用化には至っていない。

【0007】

マクロカプセル型は、ミクロカプセル型の欠点、即ち、膵島の機能低下時の摘出を可能にする目的で改良された技術である。しかしながら、マクロカプセル型の異種膵島を使った膵島移植における研究では、優れた成績を示すものはまだ報告されてなく、ドナー不足、免疫抑制剤の使用、膵島の長期生着・機能維持等の膵島移植における問題点を克服する、異種膵島を用いたバイオ人工膵島は未だ見出されていない。

【0008】

クリック反応を用いたアルギン酸ヒドロゲルカプセルの合成とそれらの安定性、水膨潤および拡散のイオン架橋アルギン酸塩カプセルとの比較に関する報告がある（非特許文献2：JOURNAL OF BIOMEDICAL MATERIALS RESEARCH, Part B / VOL 103 B, ISSUE 5, P1120-1132 (2015)）。当該文献には、クリック反応で形成されるアルギン酸カプセルはイオン架橋（ C^{2+} ）架橋より安定であることが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【文献】特開昭55-157502号公報

【文献】特開昭60-258121号公報

【文献】国際公開第95/28480号パンフレット

【文献】国際公開第92/19195パンフレット

【文献】特開2017-196150号公報

【非特許文献】

【0010】

【文献】Organ Biology, VOL 24, No. 1, 7-12頁, 2017

【文献】JOURNAL OF BIOMEDICAL MATERIALS RESEARCH, Part B / VOL 103 B, ISSUE 5, P1120-1132 (2015)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

上記のような状況において、実用可能な新たな移植用デバイスなどが求められていた。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意研究を重ねた結果、以下の（１）～（１０）の事を見出し、これらの知見に基づいて、本発明を完成するに至った。

（１）ここで使用される新規なアルギン酸誘導体（例えば、式（HA-I）及び式（HA-II）のアルギン酸誘導体）は、例えば、化学架橋形成でヒドロゲル化するものであり、当該化学架橋するアルギン酸誘導体を用いて平板型に調製したアルギン酸ゲルが、生体内（健常マウスの腹腔内）に移植したところ、５週間後でも平板型ゲルのサイズに大きな変化がなく、当該ゲルが溶解せずに形状を維持し、生体内安定性に優れること。

（２）また、当該マウスの腹腔内の癒着や炎症が見られないこと。

（３）平板型ゲル内にMin 6細胞を包埋させ３～４週間培養したところ、Min 6クラスターの生存が確認でき、増殖が良好で、細胞毒性はないこと。

（４）ブタ膵島を包埋した化学架橋アルギン酸ゲルを半透膜で被覆した移植用デバイスを糖尿病モデルマウスに移植したところ、７５日間に及ぶ血糖値抑制効果が示されたこと。

（５）上記（４）において、移植後１０週経過してから当該移植用デバイスを摘出したところ、癒着、血管新生、及び炎症などの障害は認められなかったこと。更に、移植用デバイス中の膵島についてジチゾン染色によりその生存を確認したところ、十分生存していることが確認されたこと。また、移植後１０週間後摘出した移植用デバイスを開き、中のアルギン酸ゲルを確認したところ、その形状状態が維持されていたこと。

（６）デバイス内外への物質透過性に優れること。

(7) ハイドロゲルの厚みが500 μm未満の薄型のデバイスである場合に、500 μm以上の場合と比べ、デバイスを移植した動物の治癒率が高いこと。

(8) ハイドロゲルの厚みが500 μm未満の薄型のデバイスである場合に、500 μm以上の場合と比べ、デバイスの表面に対する中心部の酸素濃度の割合が高いこと。

(9) ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲルが崩壊しない又はしにくいこと。

(10) ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲル中に含まれる脾島のゲルからの脱落が少ないこと。

【0013】

ここで使用される新規なアルギン酸誘導体（例えば、式（HA-I）及び式（HA-II）のアルギン酸誘導体）は、例えば、化学架橋形成に使用することができるものであり、即ち、化学架橋形成に用いることができる反応性基又は当該反応性基の相補的な反応性基が導入されたものである。

【0014】

前記化学架橋形成は、例えば化学架橋形成に用いることが出来る反応性基が導入されたアルギン酸誘導体と当該反応性基の相補的な反応性基が導入されたアルギン酸誘導体との間で生じてよい。反応性基と当該反応性基の相補的な反応性基はアルギン酸の1分子中に双方導入されていてもよく、別々に導入されていてもよい。また、前記化学架橋形成は、アルギン酸誘導体の分子内で行われてもよく、分子間で行われてもよく、反応性基又は当該反応性基の相補的な反応性基が導入された他の分子と行われてもよい。

【0015】

前記化学架橋形成は、例えば、Huisgen反応（1, 3-双極子付加環化反応）による架橋反応にて行われ、例えば、式（HA-I）及び式（HA-II）のアルギン酸誘導体間で行われても良く、又は、例えば、式（HA-I）のアルギン酸誘導体とアジド基を有する他の分子間で行われても良く、又は、式（HA-II）のアルギン酸誘導体とアルキン基を有する他の分子間で行われても良い。

また、前記化学架橋形成は、例えば、Huisgen反応（1, 3-双極子付加環化反応）による架橋反応にて行われ、例えば、式（HB-I）及び式（HB-II）のアルギン酸誘導体間で行われても良く、又は、例えば、式（HB-I）のアルギン酸誘導体とアジド基を有する他の分子間で行われても良く、又は、式（HB-II）のアルギン酸誘導体とアルキン基を有する他の分子間で行われても良い。

【0016】

ここでは、化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体を用いて調製された、細胞などを生体に移植するためのデバイス、より具体的には、例えば、インスリン分泌細胞又は脾島などが包埋された化学架橋アルギン酸ゲルと、必要に応じて当該ゲルを被覆する半透膜とを含む移植用デバイス、その製造方法などが提供される。化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体は、例えば、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に、アミド結合及び2価のリンカーを介して環状アルキン基又はアジド基が導入された式（HA-I）又は式（HA-II）のアルギン酸誘導体であり、式（HA-I）及び式（HA-II）のアルギン酸誘導体を用いてHuisgen反応（1, 3-双極子付加環化反応）を行うことで新規な架橋アルギン酸が得られる。

あるいは、化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体は、例えば、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に、アミド結合及び2価のリンカーを介して環状アルキン基又はアジド基が導入された式（HB-I）又は式（HB-II）のアルギン酸誘導体であり、式（HB-I）及び式（HB-II）のアルギン酸誘導体を用いてHuisgen反応（1, 3-双極子付加環化反応）を行うことで新規な架橋アルギン酸が得られる。

例示的な態様は、以下の〔1-1〕～〔3-4〕の通りであり得る。

【0017】

なお、本明細書において、式（HA-I）及び式（HB-I）に係るアルギン酸誘導体は、いずれも共通して式（I）の構造を有する。したがって、式（HA-I）及び式（H

10

20

30

40

50

B-I)に係るアルギン酸誘導体の一般式は、ともに式(I)で表される。

また、本明細書において、式(HA-I)及び式(HB-I)に係るアルギン酸誘導体は、いずれも共通して式(II)の構造を有する。したがって、式(HA-I)及び式(HB-I)に係るアルギン酸誘導体の一般式は、ともに式(II)で表される。

また、本明細書において、式(HA-II-L)及び式(HB-II-L)に係る架橋アルギン酸は、いずれも共通して式(III-L)の構造を有する。したがって、式(HA-II-L)及び式(HB-II-L)に係る架橋アルギン酸の一般式は、ともに式(III-L)で表される。

【0018】

本発明の第1の態様は、以下の〔1-1〕～〔1-34〕の通りであり得る。

10

【0019】

〔1-1〕インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスであって、前記ハイドロゲルがアルギン酸誘導体を化学架橋によりゲル化したものである、移植用デバイス。

【0020】

〔1-2〕前記ハイドロゲルが、架橋としてアルギン酸誘導体間で形成される化学架橋を含む、前記〔1-1〕に記載の移植用デバイス。

【0021】

〔1-3〕前記ハイドロゲルが、架橋としてHuisgen反応により形成されるトリアゾール環による化学架橋を含む、前記〔1-1〕又は〔1-2〕に記載の移植用デバイス。

20

【0022】

〔1-4〕前記化学架橋が、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に導入された環状アルキン基と、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に導入されたアジド基より生じる、前記〔1-1〕～〔1-3〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0023】

〔1-5〕前記化学架橋が、第1のアルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に導入された環状アルキン基と、第2のアルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に導入されたアジド基より生じる、前記〔1-4〕に記載の移植用デバイス。

【0024】

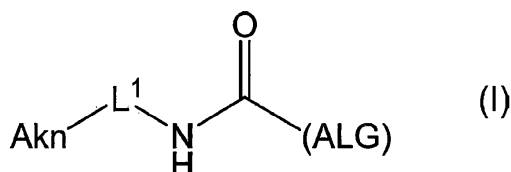
〔1-6〕前記化学架橋が、以下の(A)及び(B)に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせによる化学架橋である、前記〔1-1〕～〔1-5〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス

30

(A)：

アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(-L¹-)を介して、環状アルキン基(Akn)が導入された、下記式(HA-I)：

【化1】

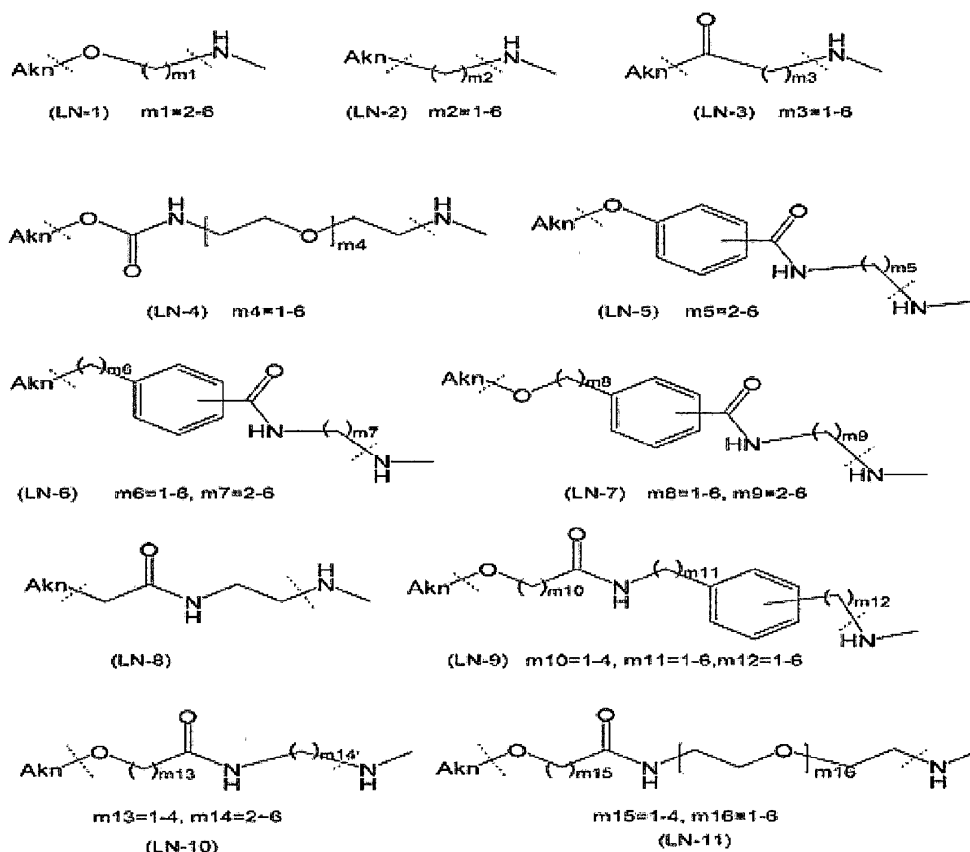


40

〔式(HA-I)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；-NHCO-は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；-L¹-は、下記部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕：

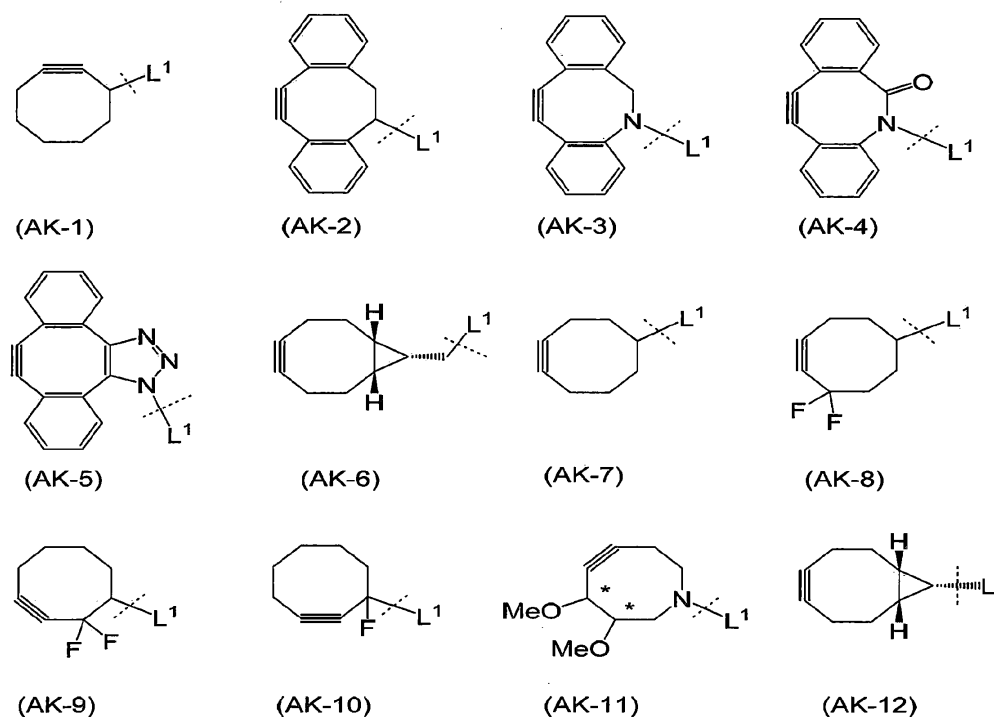
50

【化 2】



の群から選択される 2 価のリンカーを表わし；A k n は、下記部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕：

【化 3】



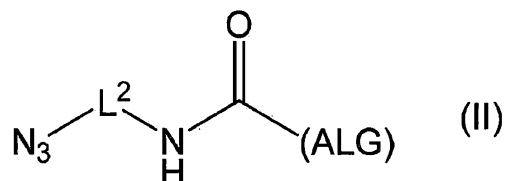
の群から選択される環状アルキン基を表わし、星印はキラル中心を表す〕で表わされるア

ルギン酸誘導体；

(B)：

アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー（ $-L^2-$ ）を介して、アジド基が導入された、下記式（HA-I I）：

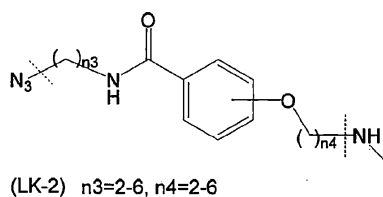
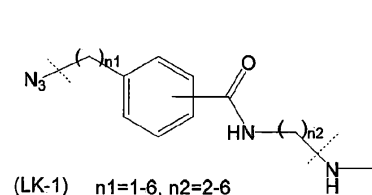
【化4】



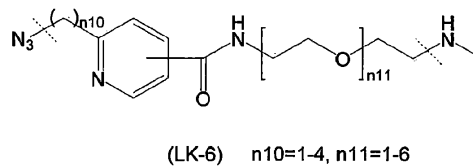
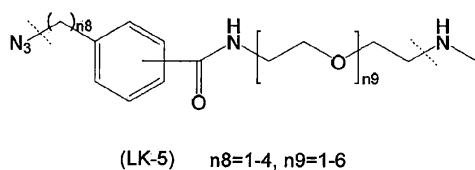
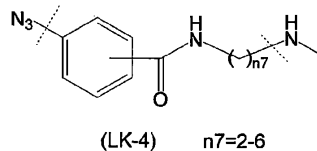
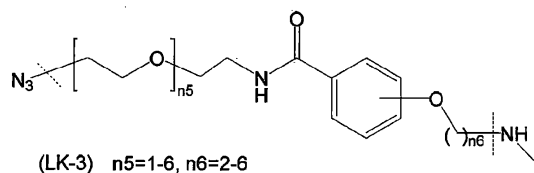
10

〔式（HA-I I）中、（ALG）は、アルギン酸を表わし； $-\text{NHCO}-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし； $-L^2-$ は、下記部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕：

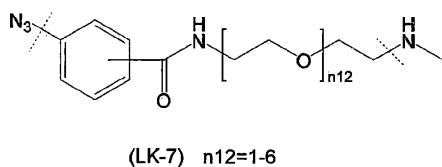
【化5】



20



30



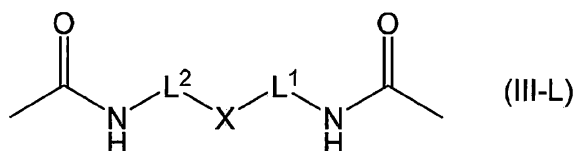
40

の群から選択される2価のリンカーを表わす〕で表わされるアルギン酸誘導体。

【0025】

〔1-7〕前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式（HA-I I I-L）：

【化6】



50

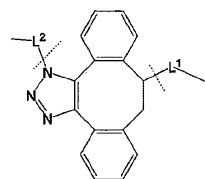
〔式 (HA-I I I-L) 中、両端の $-\text{CONH}-$ 及び $-\text{NHCO}-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

$-\text{L}^1-$ は、前記態様〔1-6〕中の定義と同じであり；

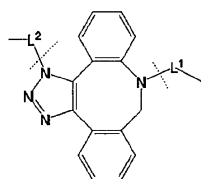
$-\text{L}^2-$ は、前記態様〔1-6〕中の定義と同じであり；

X は、下記部分構造式：

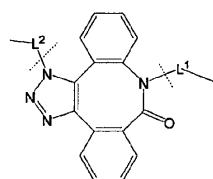
【化 7】



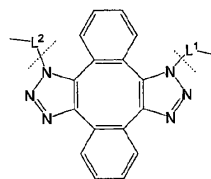
(TZ-1)



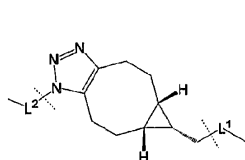
(TZ-2)



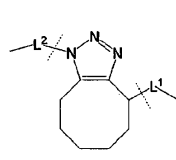
(TZ-3)



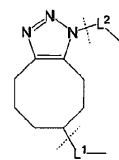
(TZ-4)



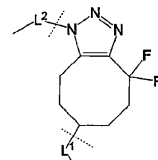
(TZ-5)



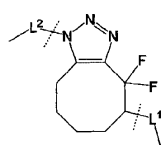
(TZ-6)



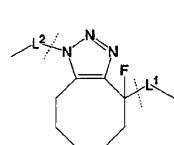
(TZ-7)



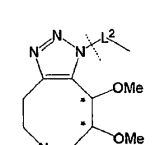
(TZ-8)



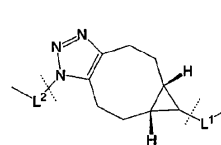
(TZ-9)



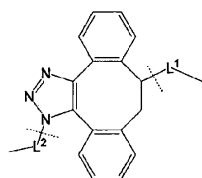
(TZ-10)



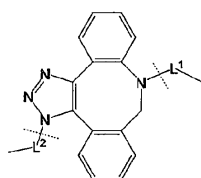
(TZ-11)



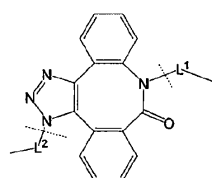
(TZ-12)



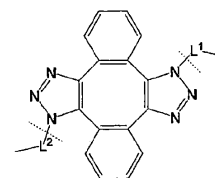
(TZ-1-r)



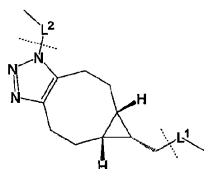
(TZ-2-r)



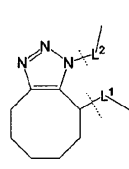
(TZ-3-r)



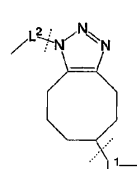
(TZ-4-r)



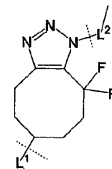
(TZ-5-r)



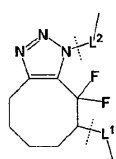
(TZ-6-r)



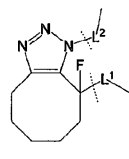
(TZ-7-r)



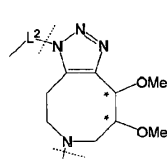
(TZ-8-r)



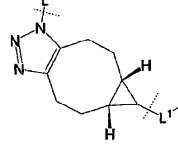
(TZ-9-r)



(TZ-10-r)



(TZ-11-r)



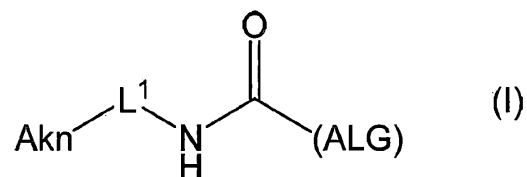
(TZ-12-r)

の群から選択される環状基であり（各式中、両端の破線外側は含まない）、星印はキラル中心を表す] を介して結合した架橋アルギン酸である、前記〔1-6〕に記載の移植用デバイス。

【0026】

〔１－８〕前記化学架橋が、以下の（Ａ）及び（Ｂ）に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせによる化学架橋である、前記〔１－１〕～〔１－５〕のいずれか１項に記載の移植用デバイス

（Ａ）：アルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び２価のリンカー（ $-L^1-$ ）を介して、環状アルキン基（ Akn ）が導入された、下記式（HB-I）：
【化８】



10

〔式（HB-I）中、（ ALG ）は、アルギン酸を表わし； $-NHCO-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし； $-L^1-$ は、下記表

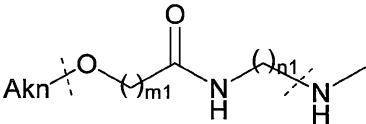
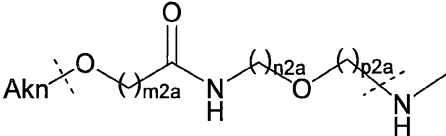
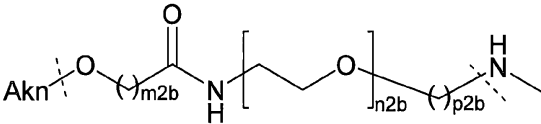
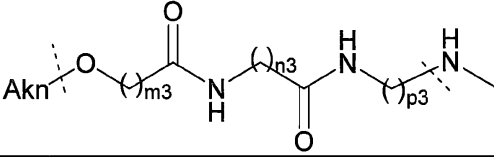
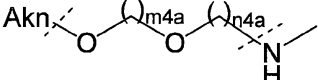
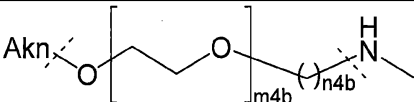
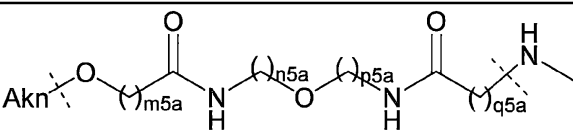
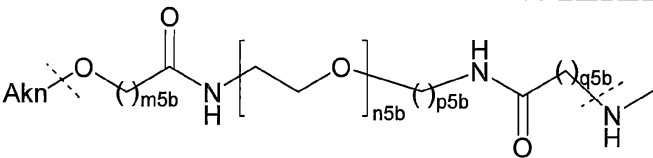
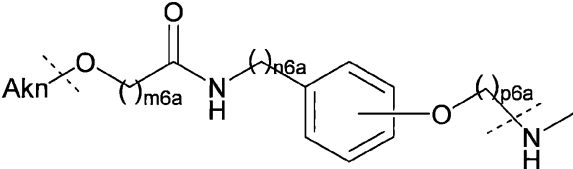
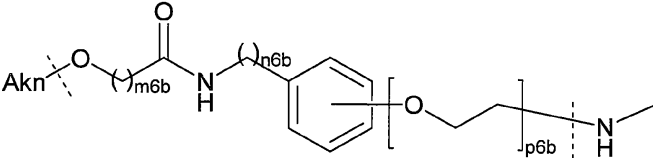
20

30

40

50

【表 1 - 1】

No.	-L ¹ -	
(L1-1)		m1=1-6 n1=2-6
(L1-2a)		m2a=1-6 n2a=2-6 p2a=2-6
(L1-2b)		m2b=1-6 n2b=1-6 p2b=2-6
(L1-3)		m3=1-6 n3=1-6 p3=2-6
(L1-4a)		m4a=2-6 n4a=2-6
(L1-4b)		m4b=0-6 n4b=2-6
(L1-5a)		m5a=1-6 n5a=2-6 p5a=2-6 q5a=1-6
(L1-5b)		m5b=1-6 n5b=1-6 p5b=2-6 q5b=1-6
(L1-6a)		m6a=1-6 n6a=0-6 p6a=2-6
(L1-6b)		m6b=1-6 n6b=1-6 p6b=2-6

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

No.	—L ¹ —	
(L1-7)		m7=1-6 n7=1-6
(L1-8a)		m8a=2-6 n8a=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-8b)		m8b=1-6 n8b=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-9a)		m9a=1-6 n9a=2-6 p9a=2-6
(L1-9b)		m9b=1-6 n9b=1-6 p9b=2-6
(L1-10)		m10=1-6 n10=2-6 p10=1-6 R ² =H, Me, Et, Bn
(L1-11)		m11=2-6
(L1-12)		m12=1-6 n12=0-6 p12=1-6

に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表わし；

A k n は、下記表：

10

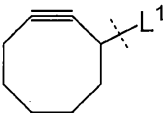
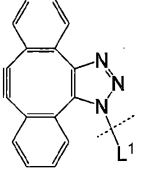
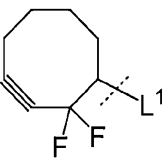
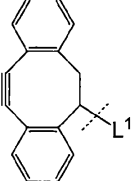
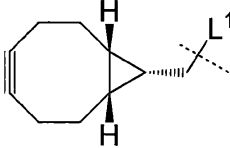
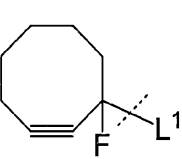
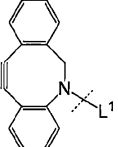
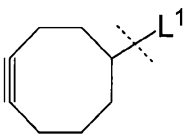
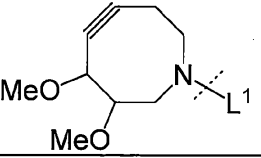
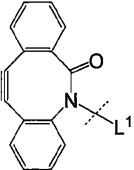
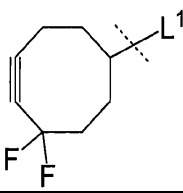
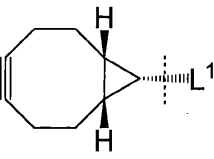
20

30

40

50

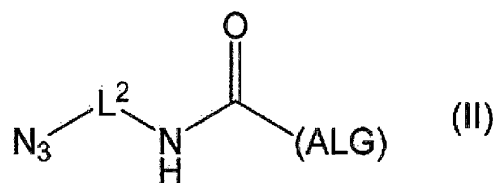
【表 2】

No.	Akn	No.	Akn	No.	Akn
(AK-1)		(AK-5)		(AK-9)	
(AK-2)		(AK-6)		(AK-10)	
(AK-3)		(AK-7)		(AK-11)	
(AK-4)		(AK-8)		(AK-12)	

に記載された部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕からなる群より選択される環状アルキン基を表わす〕で表わされるアルギン酸誘導体；

(B)：アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(—L²—)を介して、アジド基が導入された、下記式(HB-II)：

【化9】



〔式(HB-II)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；—NHCO—は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；—L²—は、下記表：

10

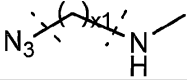
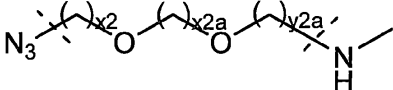
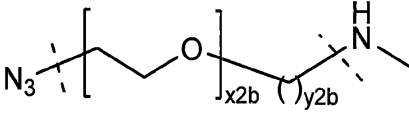
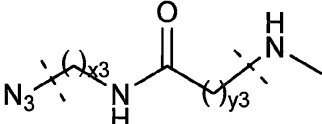
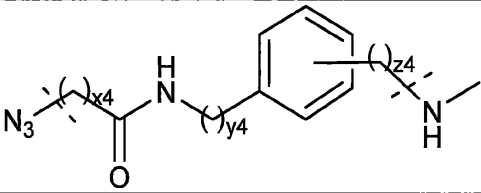
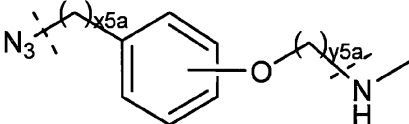
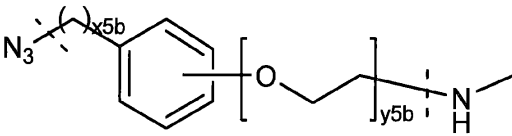
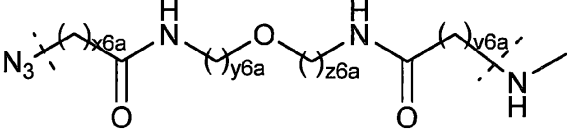
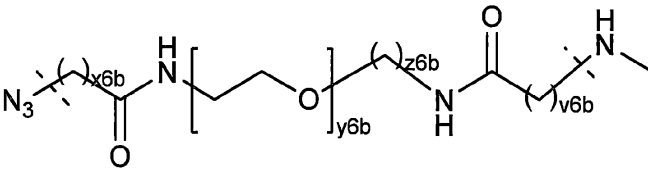
20

30

40

50

【表 3 - 1】

No.	$-L^2-$	
(L2-1)		x1=2-6
(L2-2a)		x2=2-6 x2a=2-6 y2a=2-6
(L2-2b)		x2b=1-6 y2b=2-6
(L2-3)		x3=2-6 y3=1-6
(L2-4)		x4=1-6 y4=1-6 z4=1-6
(L2-5a)		x5a=0-4 y5a=2-6
(L2-5b)		x5b=0-4 y5b=1-6
(L2-6a)		x6a=1-6 y6a=2-6 z6a=2-6 v6a=1-6
(L2-6b)		x6b=1-6 y6b=1-6 z6b=2-6 v6b=1-6

10

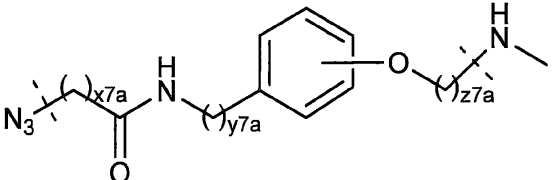
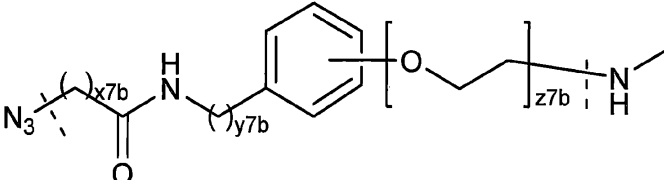
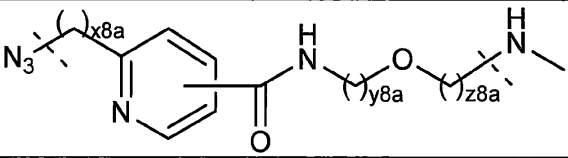
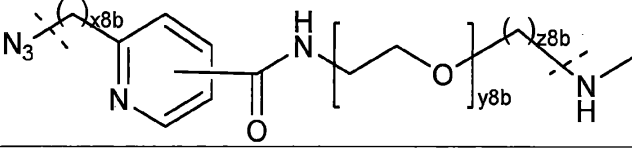
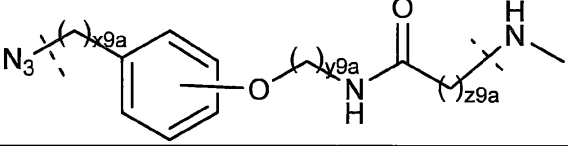
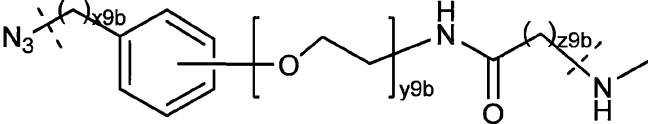
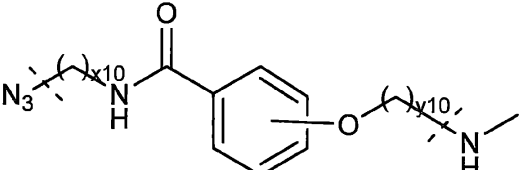
20

30

40

50

【表 3 - 2】

No.	$-L^2-$	
(L2-7a)		x7a=1-6 y7a=1-6 z7a=2-6
(L2-7b)		x7b=1-6 y7b=1-6 z7b=1-6
(L2-8a)		x8a=0-4 y8a=2-6 z8a=3-6
(L2-8b)		x8b=0-4 y8b=1-6 z8b=3-6
(L2-9a)		x9a=0-4 y9a=2-6 z9a=1-6
(L2-9b)		x9b=0-4 y9b=1-6 z9b=1-6
(L2-10)		x10=2-6 y10=2-6

に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表す〕で表されるアルギン酸誘導体

(但し、式 (HB-I) で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^1-$ が (L1-1)、(L1-2a)、(L1-2b)、(L1-11) 又は (L1-12) の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式 (HB-II) で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^2-$ が (L2-10) のリンカーである誘導体との組み合わせによる化学架橋は除く)。

【0027】

〔1-9〕前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式 (HB-III-L) :

10

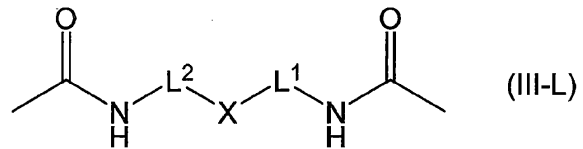
20

30

40

50

【化 10】



〔式 (HB-III-L) 中、両端の -CONH- 及び -NHCO- は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

$\text{-L}^1\text{-}$ は、前記 (1-8) 中の定義と同じであり；

$\text{-L}^2\text{-}$ は、前記 (1-8) 中の定義と同じであり； X は、下記表：

10

20

30

40

50

【表 4 - 1】

No.	X	No.	X
(TZ-1)		(TZ-1-r)	
(TZ-2)		(TZ-2-r)	
(TZ-3)		(TZ-3-r)	
(TZ-4)		(TZ-4-r)	
(TZ-5)		(TZ-5-r)	
(TZ-6)		(TZ-6-r)	

10

20

30

40

50

【表 4 - 2】

No.	X	No.	X
(TZ-7)		(TZ-7-r)	
(TZ-8)		(TZ-8-r)	
(TZ-9)		(TZ-9-r)	
(TZ-10)		(TZ-10-r)	
(TZ-11)		(TZ-11-r)	
(TZ-12)		(TZ-12-r)	

に記載された部分構造式の群から選択される環状基である（各式中、両端の破線外側は含まない）] を介して結合した架橋アルギン酸である（但し、式（HB-I）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^1-$ が（L1-1）、（L1-2a）、（L1-2b）、（L1-11）又は（L1-12）の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式（HB-II）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^2-$ が（L2-10）のリンカーである誘導体との組み合わせによる架橋アルギン酸は除く）、前記〔1-8〕に記載の移植用デバイス。

【0028】

〔1-10〕式（HA-I）のアルギン酸誘導体が、下記式（EX-1-（I）-A-2）

10

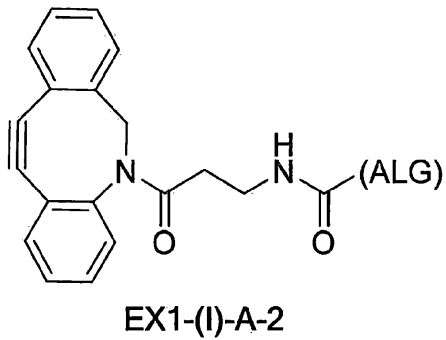
20

30

40

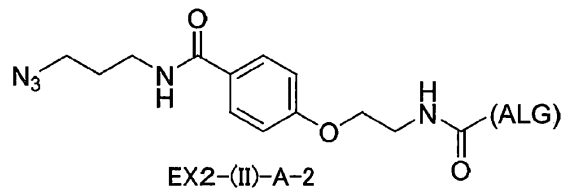
50

であり、
【化 1 1】



10

式 (HA-I I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-2-(I I)-A-2) である、
【化 1 2】

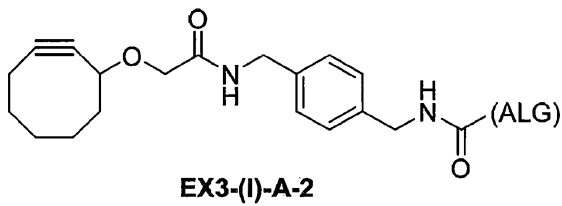


20

前記〔1-6〕又は〔1-7〕に記載の移植用デバイス。

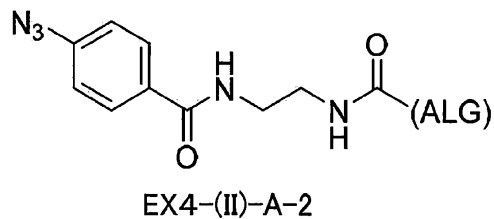
【0029】

〔1-11〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、
【化 1 3】



30

式 (HA-I I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-(I I)-A-2) である、
【化 1 4】



40

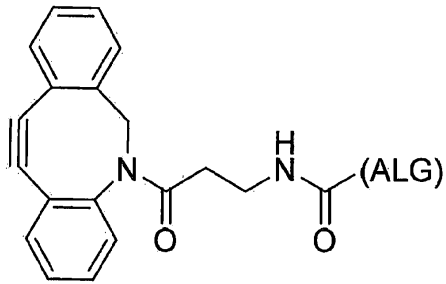
前記〔1-6〕又は〔1-7〕に記載の移植用デバイス。

【0030】

〔1-12〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-1-(I)-A-2) であり、

50

【化 15】

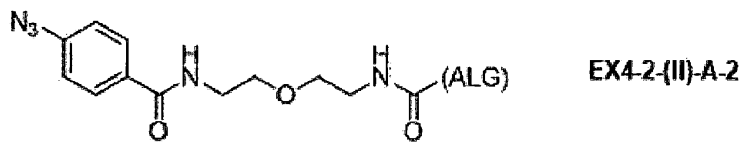


EX1-(I)-A-2

10

式 (HA-II) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-2-(II)-A-2) である、

【化 16】



EX4-2-(II)-A-2

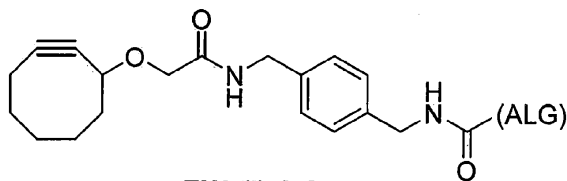
20

前記 (1-6) 又は (1-7) に記載の移植用デバイス。

【0031】

(1-13) 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、

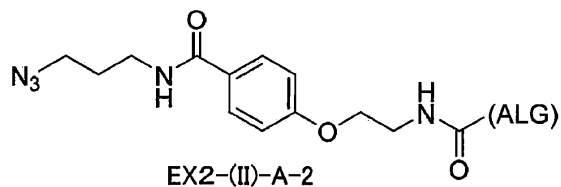
【化 17】



EX3-(I)-A-2

30

式 (HA-II) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-2-(II)-A-2) である、
【化 18】



EX2-(II)-A-2

40

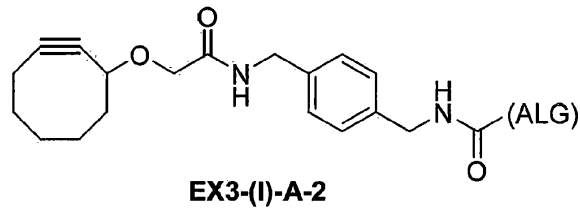
前記 (1-6) 又は (1-7) に記載の移植用デバイス。

【0032】

(1-14) 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、

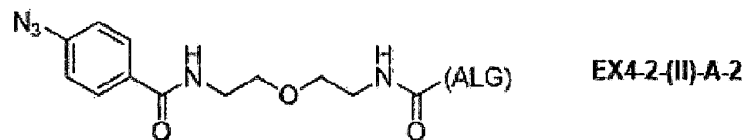
50

【化 19】



式 (HA-II) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-2-(II)-A-2) である、

【化 20】



前記〔1-6〕又は〔1-7〕に記載の移植用デバイス。

【0033】

〔1-15〕前記膵島が、ヒト膵島またはブタ膵島である、前記〔1-1〕～〔1-14〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0034】

〔1-16〕前記膵島が、ブタの成体の膵島である、前記〔1-15〕に記載の移植用デバイス。

【0035】

〔1-17〕前記膵島が、胎生期、新生児期、または周産期のブタ膵島である、前記〔1-15〕に記載の移植用デバイス。

【0036】

〔1-18〕前記インスリン分泌細胞又は膵島が、ドナーであるヒトから得られた膵島、膵島細胞、またはβ細胞であるか、ドナーであるブタから得られた膵島、膵島細胞、又はβ細胞であるか、ヒト由来の幹細胞から分化させて得られた膵島、膵島細胞、又はβ細胞である、前記〔1-1〕～〔1-14〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0037】

〔1-19〕前記インスリン分泌細胞又は膵島が、ドナーであるヒトから得られた膵島、膵島細胞、またはβ細胞である、前記〔1-18〕に記載の移植用デバイス。

【0038】

〔1-20〕前記ハイドロゲルが、更に半透膜で被覆された、前記〔1-1〕～〔1-19〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0039】

〔1-21〕前記半透膜が、セルロース誘導体より形成された透析膜である、前記〔1-20〕に記載の移植用デバイス。

【0040】

〔1-22〕前記セルロース誘導体が、酢酸セルロースである、前記〔1-21〕に記載の移植用デバイス。

【0041】

〔1-23〕前記移植用デバイスの移植部位が、皮下又は腹腔内である、前記〔1-1〕～〔1-22〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0042】

〔1-24〕前記移植用デバイスの厚さが、0.1～5mmである、前記〔1-1〕～〔1-23〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0043】

〔1-25〕前記移植用デバイスの厚さが、100 μm 以上1000 μm 未満である、前記〔1-1〕～〔1-23〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0044】

〔1-26〕前記ハイドロゲルの厚さが、0.1～5 mmである、前記〔1-1〕～〔1-23〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0045】

〔1-27〕前記ハイドロゲルの厚さが、100 μm 以上500 μm 未満である、前記〔1-1〕～〔1-23〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0046】

〔1-28〕前記インスリン分泌細胞又は膵島を含むハイドロゲルを作製した後、半透膜で被覆した、前記〔1-1〕～〔1-27〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0047】

〔1-29〕化学架橋によってハイドロゲル化するアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞又は膵島を懸濁し、当該インスリン分泌細胞又は膵島を懸濁した溶液を半透膜中に封入した後、当該半透膜を2価金属イオンを含む溶液と接触させることで、半透膜中のアルギン酸誘導体をゲル化して得られる、前記〔1-1〕～〔1-28〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0048】

〔1-30〕前記2価金属イオンを含む溶液が、カルシウムイオンを含む溶液である、前記〔1-29〕に記載の移植用デバイス。

【0049】

〔1-31〕縦10 mm及び横20 mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12 mLの生理食塩水溶液中で、振幅25 mm、振とう速度180 rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま96時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルが崩壊しない、〔1-1〕～〔1-30〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0050】

〔1-32〕縦10 mm及び横20 mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12 mLの生理食塩水溶液中で、振幅25 mm、振とう速度180 rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま96時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルの崩壊率が30%以下である、〔1-1〕～〔1-31〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0051】

〔1-33〕縦10 mm及び横20 mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12 mLの生理食塩水溶液中で、振幅25 mm、振とう速度180 rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま24時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルから細胞がほとんど脱落しない、〔1-1〕～〔1-32〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0052】

〔1-34〕縦10 mm及び横20 mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12 mLの生理食塩水溶液中で、振幅25 mm、振とう速度180 rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま24時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルに封入した細胞数を100%とした場合の振とう攪拌後のハイドロゲルからの細胞の脱落率が30%以下である、〔1-1〕～〔1-33〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0053】

本発明の第2の態様は、以下の〔2-1〕～〔2-34〕の通りであり得る。

【0054】

〔2-1〕インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスであって、前記ハイドロゲルがアルギン酸誘導体を化学架橋によりゲル化したものであり、前記ハイドロゲルの厚さが、100 μm 以上500 μm 未満である、移植用デバイス。

【0055】

〔2-2〕前記ハイドロゲルの厚さが、150 μm 以上500 μm 未満である、前記〔2

10

20

30

40

50

－１）に記載の移植用デバイス。

【００５６】

〔２－３〕前記ハイドロゲルの厚さが、２００μｍ以上３００μｍ未満である、前記〔２－１〕又は〔２－２〕に記載の移植用デバイス。

【００５７】

〔２－４〕前記ハイドロゲルが、架橋としてアルギン酸誘導体間で形成される化学架橋を含む、前記〔２－１〕～〔２－３〕のいずれか１項に記載の移植用デバイス。

【００５８】

〔２－５〕前記ハイドロゲルが、架橋としてHuisgen反応により形成されるトリアゾール環による化学架橋を含む、前記〔２－１〕～〔２－４〕のいずれか１項に記載の移植用デバイス。

10

【００５９】

〔２－６〕前記化学架橋が、アルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基に導入された環状アルキン基と、アルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基に導入されたアジド基より生じる、前記〔２－１〕～〔２－５〕のいずれか１項に記載の移植用デバイス。

【００６０】

〔２－７〕前記化学架橋が、第１のアルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基に導入された環状アルキン基と、第２のアルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基に導入されたアジド基より生じる、前記〔２－６〕に記載の移植用デバイス。

【００６１】

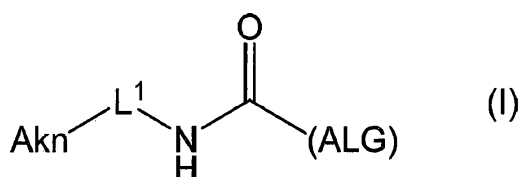
20

〔２－８〕前記化学架橋が、以下の（Ａ）及び（Ｂ）に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせによる化学架橋である、前記〔２－１〕～〔２－７〕のいずれか１項に記載の移植用デバイス

（Ａ）：

アルギン酸の任意の１つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び２価のリンカー（－Ｌ^１－）を介して、環状アルキン基（Akn）が導入された、下記式（HA-I）：

〔化２１〕



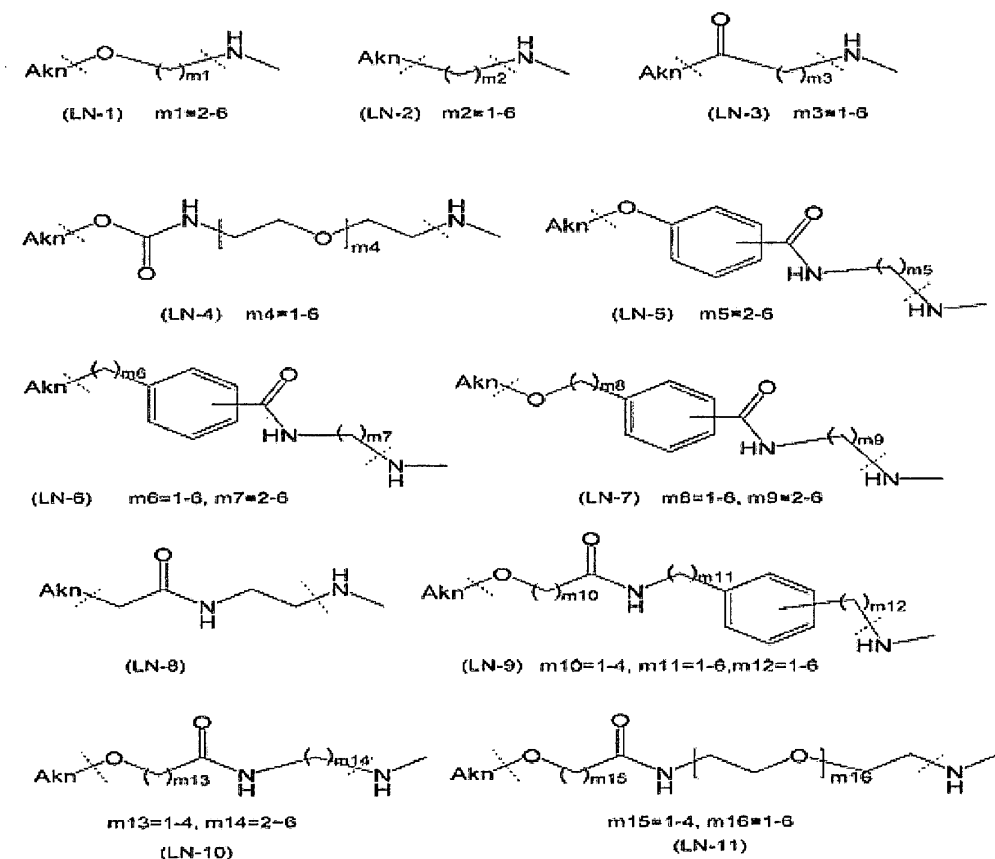
30

〔式（HA-I）中、（ALG）は、アルギン酸を表わし；－NHCO－は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；－Ｌ^１－は、下記部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕：

40

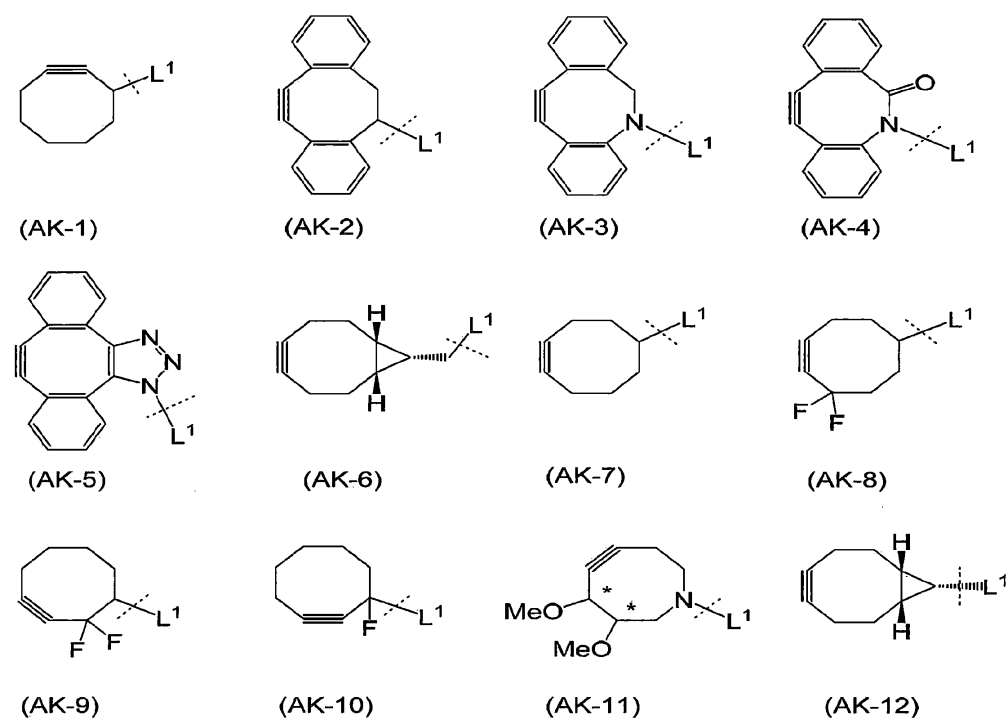
50

【化 2 2】



の群から選択される 2 価のリンカーを表わし；A k n は、下記部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕：

【化 2 3】



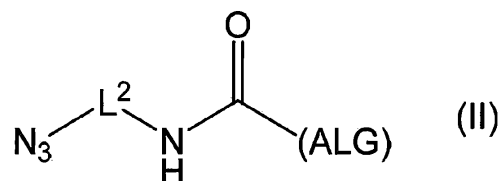
の群から選択される環状アルキン基を表わし、星印はキラル中心を表す〕で表わされるア

ルギン酸誘導体；

(B)：

アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー（ $-L^2-$ ）を介して、アジド基が導入された、下記式（HA-I I）：

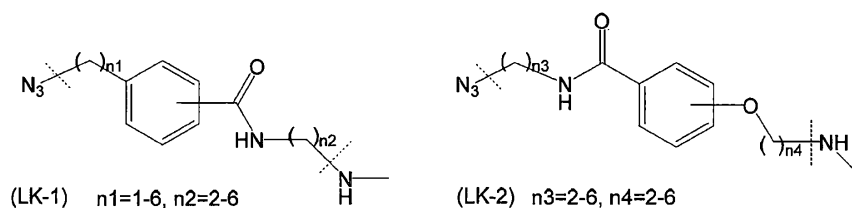
【化24】



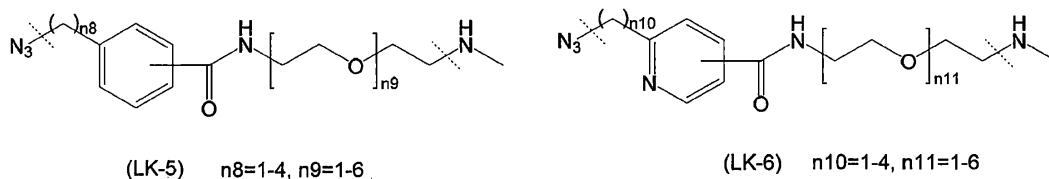
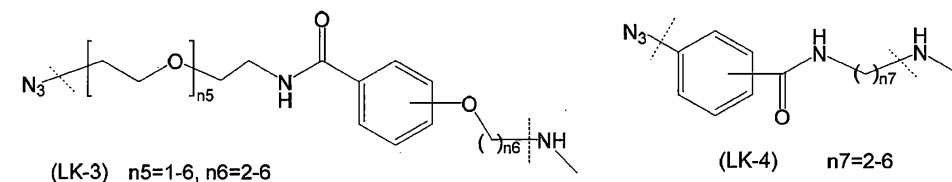
10

〔式（HA-I I）中、（ALG）は、アルギン酸を表わし； $-\text{NHCO}-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし； $-L^2-$ は、下記部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕：

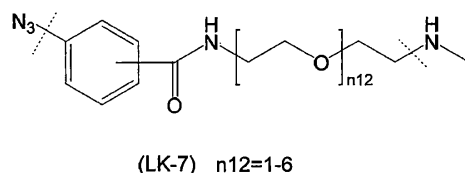
【化25】



20



30



40

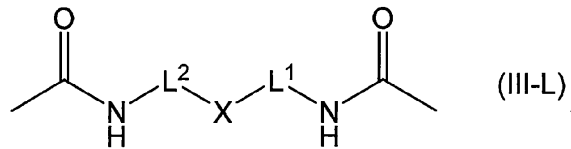
の群から選択される2価のリンカーを表わす〕で表わされるアルギン酸誘導体。

【0062】

〔2-9〕前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式（HA-I I I-L）：

50

【化 2 6】



〔式 (HA-ⅠⅠⅠ-L) 中、両端の -CONH- 及び -NHCO- は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

$\text{-L}^1\text{-}$ は、前記態様〔2-8〕中の定義と同じであり；

$\text{-L}^2\text{-}$ は、前記態様〔2-8〕中の定義と同じであり；

X は、下記部分構造式：

10

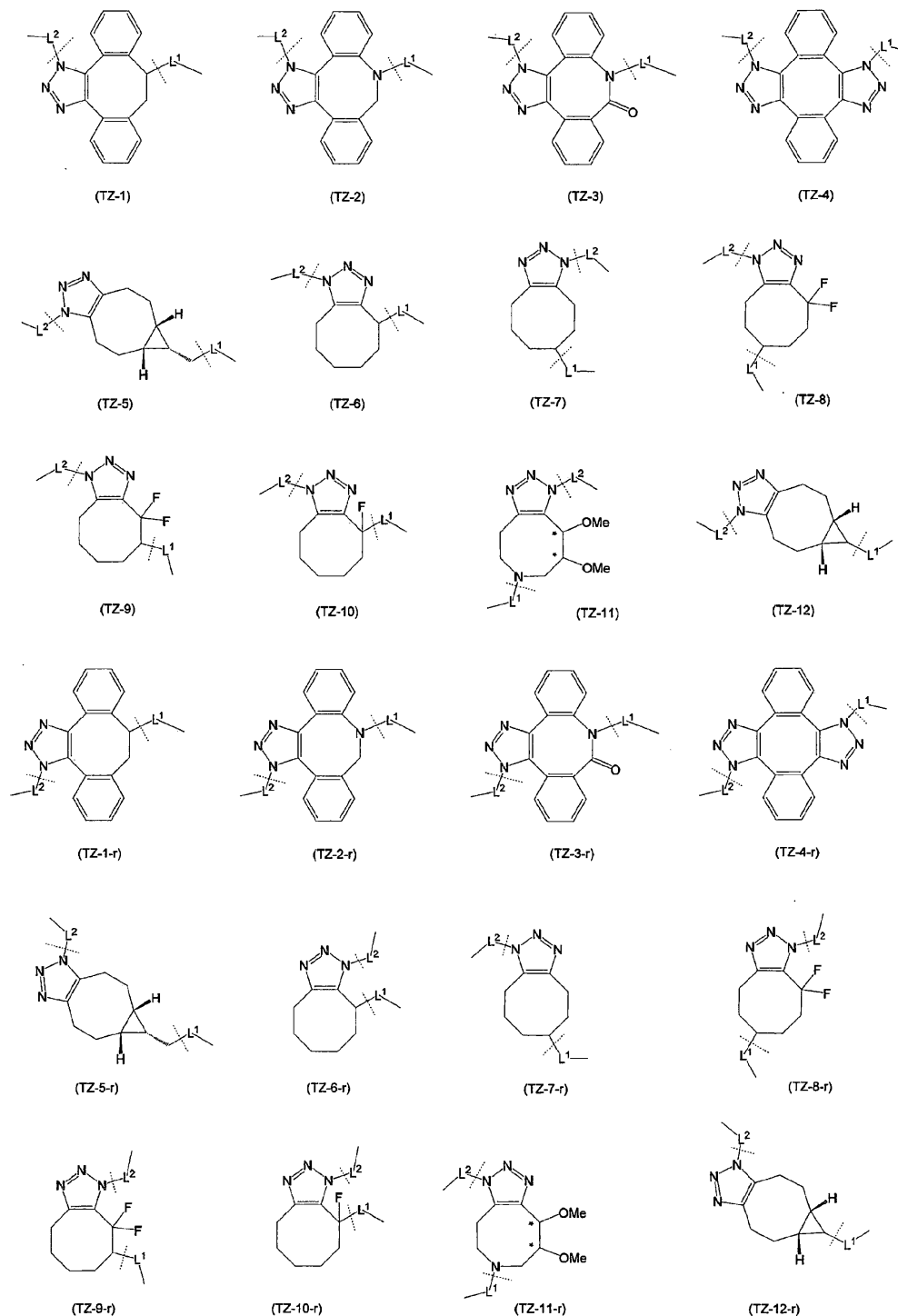
20

30

40

50

【化 27】



の群から選択される環状基であり（各式中、両端の破線外側は含まない）、星印はキラル中心を表す]を介して結合した架橋アルギン酸である、前記〔2-8〕に記載の移植用デバイス。

【0063】

〔2-10〕前記化学架橋が、以下の（A）及び（B）に記載のアルギン酸誘導体の組み合わせによる化学架橋である、前記〔2-1〕～〔2-7〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス

（A）：アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー（ $-L^1-$ ）を介して、環状アルキン基（Ak n）が導入された、下記式（HB-I）：

10

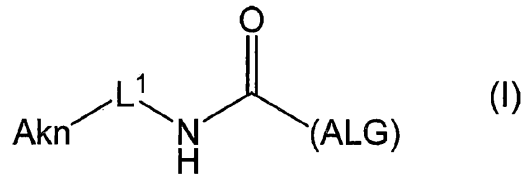
20

30

40

50

【化 2 8】



〔式（HB-I）中、（ALG）は、アルギン酸を表わし；－NHCO－は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；－L¹－は、下記表：

10

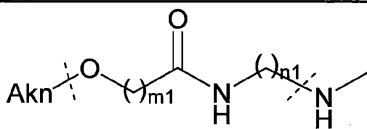
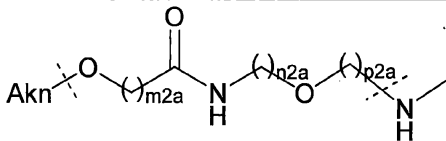
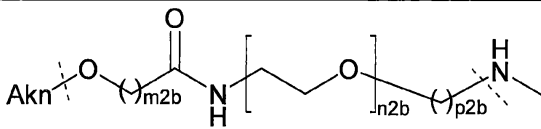
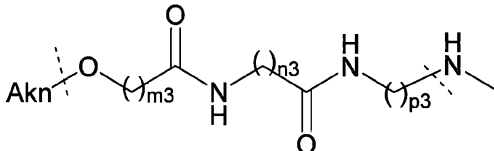
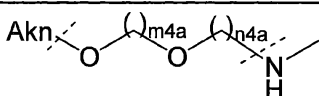
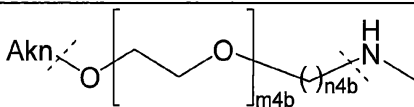
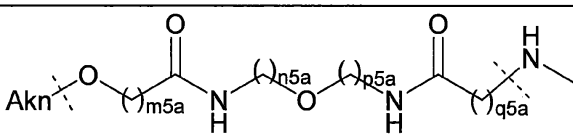
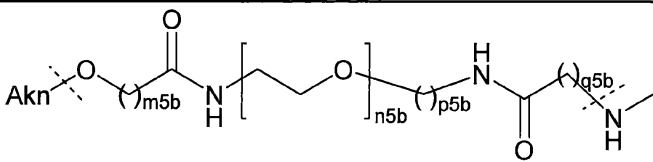
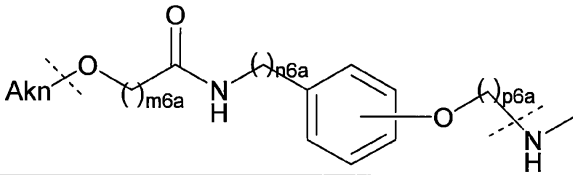
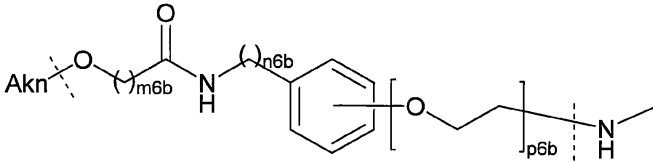
20

30

40

50

【表 5 - 1】

No.	-L ¹ -	
(L1-1)		m1=1-6 n1=2-6
(L1-2a)		m2a=1-6 n2a=2-6 p2a=2-6
(L1-2b)		m2b=1-6 n2b=1-6 p2b=2-6
(L1-3)		m3=1-6 n3=1-6 p3=2-6
(L1-4a)		m4a=2-6 n4a=2-6
(L1-4b)		m4b=0-6 n4b=2-6
(L1-5a)		m5a=1-6 n5a=2-6 p5a=2-6 q5a=1-6
(L1-5b)		m5b=1-6 n5b=1-6 p5b=2-6 q5b=1-6
(L1-6a)		m6a=1-6 n6a=0-6 p6a=2-6
(L1-6b)		m6b=1-6 n6b=1-6 p6b=2-6

10

20

30

40

50

【表 5 - 2】

No.	-L ¹ -	
(L1-7)		m7=1-6 n7=1-6
(L1-8a)		m8a=2-6 n8a=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-8b)		m8b=1-6 n8b=1-6 R ¹ =H, Me, Et, Bn
(L1-9a)		m9a=1-6 n9a=2-6 p9a=2-6
(L1-9b)		m9b=1-6 n9b=1-6 p9b=2-6
(L1-10)		m10=1-6 n10=2-6 p10=1-6 R ² =H, Me, Et, Bn
(L1-11)		m11=2-6
(L1-12)		m12=1-6 n12=0-6 p12=1-6

に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表わし；

A k n は、下記表：

10

20

30

40

50

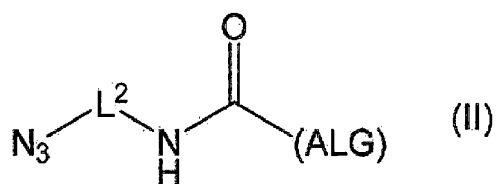
【表 6】

No.	Akn	No.	Akn	No.	Akn
(AK-1)		(AK-5)		(AK-9)	
(AK-2)		(AK-6)		(AK-10)	
(AK-3)		(AK-7)		(AK-11)	
(AK-4)		(AK-8)		(AK-12)	

に記載された部分構造式〔各式中、破線右側は含まない〕からなる群より選択される環状アルキン基を表わす〕で表わされるアルギン酸誘導体；

(B)：アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカー(—L²—)を介して、アジド基が導入された、下記式(HB-II)：

【化29】



〔式(HB-II)中、(ALG)は、アルギン酸を表わし；—NHCO—は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；—L²—は、下記表：

10

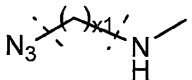
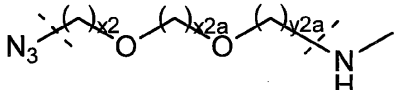
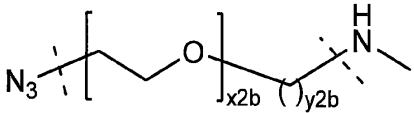
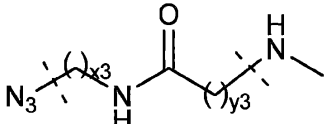
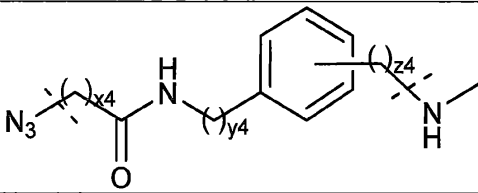
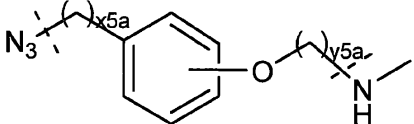
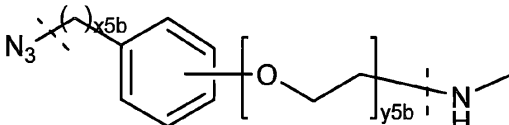
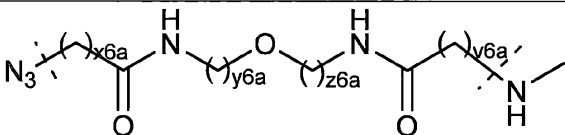
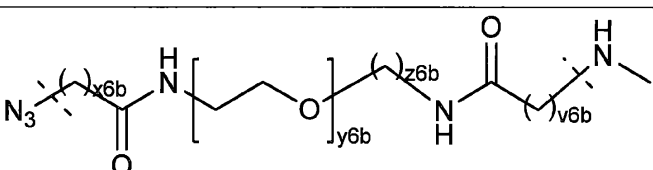
20

30

40

50

【表 7 - 1】

No.	$-L^2-$	
(L2-1)		x1=2-6
(L2-2a)		x2=2-6 x2a=2-6 y2a=2-6
(L2-2b)		x2b=1-6 y2b=2-6
(L2-3)		x3=2-6 y3=1-6
(L2-4)		x4=1-6 y4=1-6 z4=1-6
(L2-5a)		x5a=0-4 y5a=2-6
(L2-5b)		x5b=0-4 y5b=1-6
(L2-6a)		x6a=1-6 y6a=2-6 z6a=2-6 v6a=1-6
(L2-6b)		x6b=1-6 y6b=1-6 z6b=2-6 v6b=1-6

10

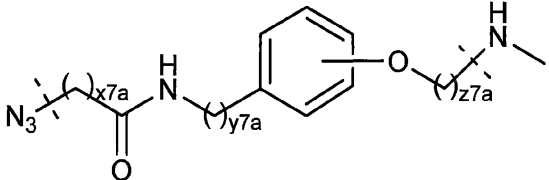
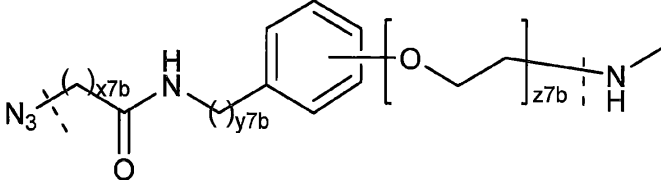
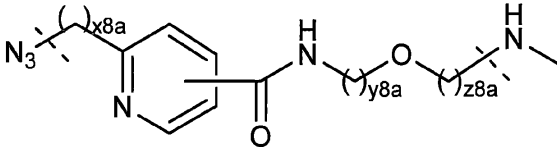
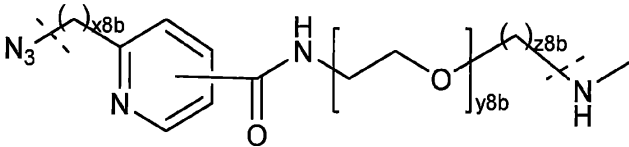
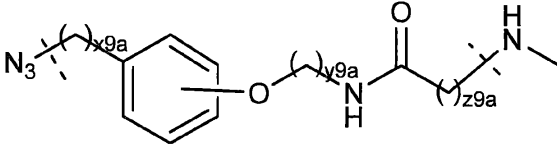
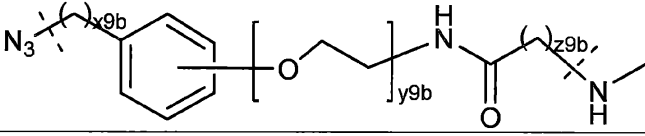
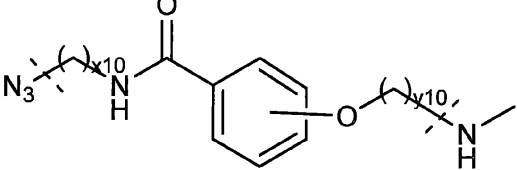
20

30

40

50

【表 7 - 2】

No.	$-L^2-$	
(L2-7a)		x7a=1-6 y7a=1-6 z7a=2-6
(L2-7b)		x7b=1-6 y7b=1-6 z7b=1-6
(L2-8a)		x8a=0-4 y8a=2-6 z8a=3-6
(L2-8b)		x8b=0-4 y8b=1-6 z8b=3-6
(L2-9a)		x9a=0-4 y9a=2-6 z9a=1-6
(L2-9b)		x9b=0-4 y9b=1-6 z9b=1-6
(L2-10)		x10=2-6 y10=2-6

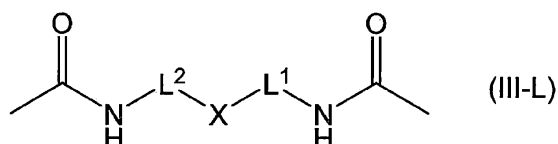
に記載された部分構造式〔各式中、両端の破線外側は含まない〕からなる群より選択されるリンカーを表す〕で表されるアルギン酸誘導体

（但し、式（HB-I）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^1-$ が（L1-1）、（L1-2a）、（L1-2b）、（L1-11）又は（L1-12）の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式（HB-II）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^2-$ が（L2-10）のリンカーである誘導体との組み合わせによる化学架橋は除く）。

【0064】

〔2-11〕前記化学架橋したアルギン酸誘導体が、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と、第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基が、下記式（HB-III-L）：

【化30】



10

20

30

40

50

〔式 (HB-I I I-L) 中、両端の $-\text{CONH}-$ 及び $-\text{NHCO}-$ は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし；

$-\text{L}^1-$ は、前記〔2-10〕中の定義と同じであり；

$-\text{L}^2-$ は、前記〔2-10〕中の定義と同じであり；X は、下記表：

【表 8-1】

No.	X	No.	X
(TZ-1)		(TZ-1-r)	
(TZ-2)		(TZ-2-r)	
(TZ-3)		(TZ-3-r)	
(TZ-4)		(TZ-4-r)	
(TZ-5)		(TZ-5-r)	
(TZ-6)		(TZ-6-r)	

10

20

30

40

50

【表 8 - 2】

No.	X	No.	X
(TZ-7)		(TZ-7-r)	
(TZ-8)		(TZ-8-r)	
(TZ-9)		(TZ-9-r)	
(TZ-10)		(TZ-10-r)	
(TZ-11)		(TZ-11-r)	
(TZ-12)		(TZ-12-r)	

に記載された部分構造式の群から選択される環状基である（各式中、両端の破線外側は含まない）を介して結合した架橋アルギン酸である（但し、式（HB-I）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^1-$ が（L1-1）、（L1-2a）、（L1-2b）、（L1-11）又は（L1-12）の群から選択されるいずれか1つのリンカーである誘導体と、式（HB-II）で表わされるアルギン酸誘導体において $-L^2-$ が（L2-10）のリンカーである誘導体との組み合わせによる架橋アルギン酸は除く）、前記〔2-10〕に記載の移植用デバイス。

【0065】

〔2-12〕式（HA-I）のアルギン酸誘導体が、下記式（EX-1-（I）-A-2）

10

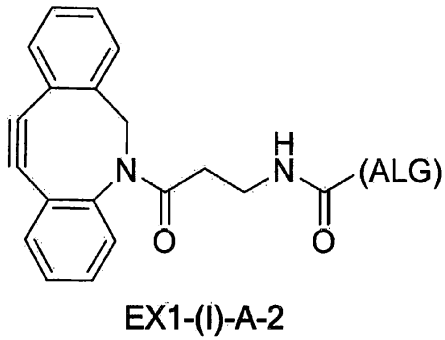
20

30

40

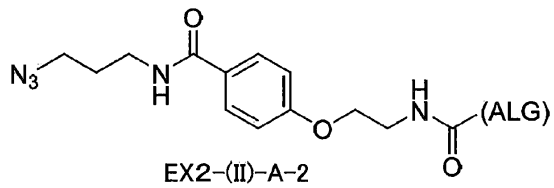
50

であり、
【化 3 1】



10

式 (HA-I I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-2-(I I)-A-2) である、
【化 3 2】

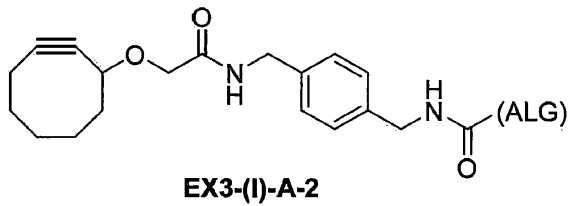


20

前記〔2-8〕又は〔2-9〕に記載の移植用デバイス。

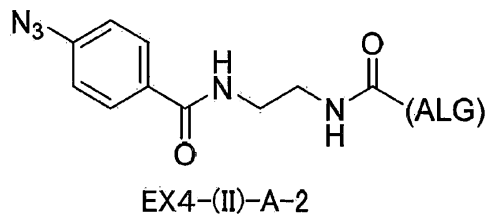
【0066】

〔2-13〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、
【化 3 3】



30

式 (HA-I I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-(I I)-A-2) である、
【化 3 4】



40

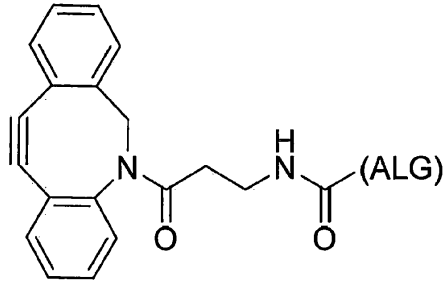
前記〔2-8〕又は〔2-9〕に記載の移植用デバイス。

【0067】

〔2-14〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-1-(I)-A-2) であり、

50

【化 3 5】

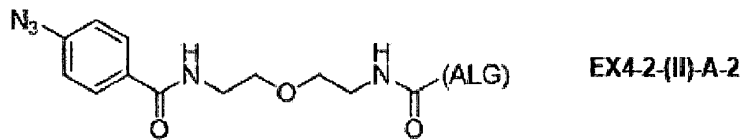


EX1-(I)-A-2

10

式 (HA-II) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-2-(II)-A-2) である、

【化 3 6】



EX4-2-(II)-A-2

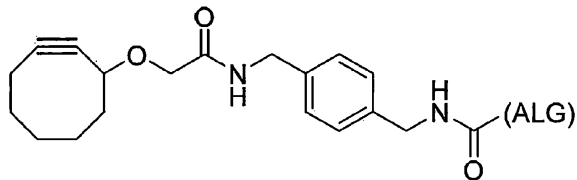
20

前記〔2-8〕又は〔2-9〕に記載の移植用デバイス。

【0068】

〔2-15〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、

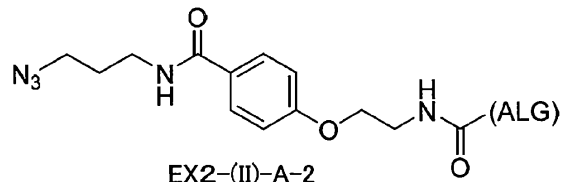
【化 3 7】



EX3-(I)-A-2

30

式 (HA-II) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-2-(II)-A-2) である、
【化 3 8】



EX2-(II)-A-2

40

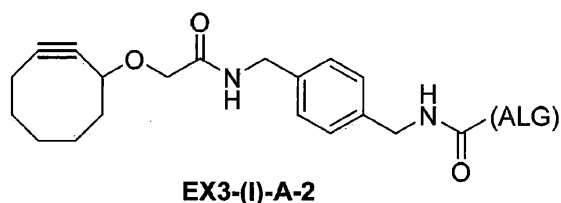
前記〔2-8〕又は〔2-9〕に記載の移植用デバイス。

【0069】

〔2-16〕 式 (HA-I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-3-(I)-A-2) であり、

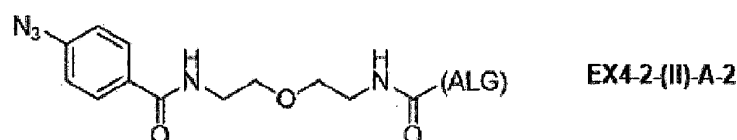
50

【化 3 9】



式 (HA-I I) のアルギン酸誘導体が、下記式 (EX-4-2-(I I)-A-2) である、

【化 4 0】



前記〔2-8〕又は〔2-9〕に記載の移植用デバイス。

【0070】

〔2-17〕前記膵島が、ヒト膵島またはブタ膵島である、前記〔2-1〕～〔2-16〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0071】

〔2-18〕前記膵島が、ブタの成体の膵島である、前記〔2-17〕に記載の移植用デバイス。

【0072】

〔2-19〕前記膵島が、胎生期、新生児期、または周産期のブタ膵島である、前記〔2-17〕に記載の移植用デバイス。

【0073】

〔2-20〕前記インスリン分泌細胞又は膵島が、ドナーであるヒトから得られた膵島、膵島細胞、またはβ細胞であるか、ドナーであるブタから得られた膵島、膵島細胞、又はβ細胞であるか、ヒト由来の幹細胞から分化させて得られた膵島、膵島細胞、又はβ細胞である、前記〔2-1〕～〔2-19〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0074】

〔2-21〕前記インスリン分泌細胞又は膵島が、ドナーであるヒトから得られた膵島、膵島細胞、またはβ細胞である、前記〔2-20〕に記載の移植用デバイス。

【0075】

〔2-22〕前記ハイドロゲルが、更に半透膜で被覆された、前記〔2-1〕～〔2-21〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0076】

〔2-23〕前記半透膜が、セルロース誘導体より形成された透析膜である、前記〔2-22〕に記載の移植用デバイス。

【0077】

〔2-24〕前記セルロース誘導体が、酢酸セルロースである、前記〔2-23〕に記載の移植用デバイス。

【0078】

〔2-25〕前記移植用デバイスの移植部位が、皮下又は腹腔内である、前記〔2-1〕～〔2-24〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0079】

〔2-26〕前記移植用デバイスの厚さが、100 μm以上1000 μm未満である、前記〔2-1〕～〔2-25〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0080】

〔2-27〕前記移植用デバイスの厚さが、150 μm 以上500 μm 未満である、前記〔2-26〕に記載の移植用デバイス。

【0081】

〔2-28〕前記インスリン分泌細胞又は膵島を含むハイドロゲルを作製した後、半透膜で被覆した、前記〔2-1〕～〔2-27〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0082】

〔2-29〕化学架橋によってハイドロゲル化するアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞又は膵島を懸濁し、当該インスリン分泌細胞又は膵島を懸濁した溶液を半透膜中に封入した後、当該半透膜を2価金属イオンを含む溶液と接触させることで、半透膜中のアルギン酸誘導体をゲル化して得られる、前記〔2-1〕～〔2-28〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

10

【0083】

〔2-30〕前記2価金属イオンを含む溶液が、カルシウムイオンを含む溶液である、前記〔2-29〕に記載の移植用デバイス。

【0084】

〔2-31〕縦10mm及び横20mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12mLの生理食塩水溶液中で、振幅25mm、振とう速度180rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま96時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルが崩壊しない、〔2-1〕～〔2-30〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

20

【0085】

〔2-32〕縦10mm及び横20mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12mLの生理食塩水溶液中で、振幅25mm、振とう速度180rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま96時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルの崩壊率が30%以下である、〔2-1〕～〔2-31〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0086】

〔2-33〕縦10mm及び横20mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12mLの生理食塩水溶液中で、振幅25mm、振とう速度180rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま24時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルから細胞がほとんど脱落しない、〔2-1〕～〔2-32〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

30

【0087】

〔2-34〕縦10mm及び横20mmとした前記ハイドロゲル3枚を37℃、12mLの生理食塩水溶液中で、振幅25mm、振とう速度180rpmの往復振とうの条件で37℃を維持したまま24時間振とう攪拌したときに、ハイドロゲルに封入した細胞数を100%とした場合の振とう攪拌後のハイドロゲルからの細胞の脱落率が30%以下である、〔2-1〕～〔2-33〕のいずれか1項に記載の移植用デバイス。

【0088】

本発明の第3の態様は、以下の〔3-1〕～〔3-4〕の通りであり得る。

【0089】

〔3-1〕以下の工程（a）～（d）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

40

工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

工程（c）：工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を、2価金属イオンを含む溶液と接触させて、厚さ0.1～5mm（100～5000 μm ）のゲルを作製する工程、

工程（d）：任意選択の工程として、工程（c）で得られたゲルを半透膜で被覆する工程。

【0090】

50

〔3-2〕以下の工程（a）～（d）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

工程（c）：工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を、2価金属イオンを含む溶液と接触させて、厚さ100 μm以上500 μm未満のゲルを作製する工程、

工程（d）：任意選択の工程として、工程（c）で得られたゲルを半透膜で被覆する工程。

10

【0091】

〔3-3〕以下の工程（a）～（d）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

工程（c）：工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を半透膜に封入する工程、

工程（d）：工程（c）で得られた半透膜を、2価金属イオンを含む溶液と接触させて、半透膜中のアルギン酸誘導体の溶液をゲル化する工程。

20

【0092】

〔3-4〕前記2価金属イオンを含む溶液が、カルシウムイオンを含む溶液である、前記〔3-1〕～〔3-3〕のいずれか1項に記載の移植用デバイスの製造方法。

【0093】

〔3-5〕以下の工程（a）（b）（e）（d）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

30

工程（e）：工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を任意の形状としてゲルを作製する工程、

工程（d）：任意選択の工程として、工程（e）で得られたゲルを半透膜で被覆する工程。

【0094】

〔3-6〕以下の工程（a）（b）（e）（f）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

40

工程（e）：工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を任意の容器に入れる、または、任意の表面に置く、工程、

工程（f）：工程（e）で得られた容器中又は表面上で、アルギン酸誘導体の溶液をゲル化する工程。

【0095】

〔3-7〕前記任意の容器が、半透膜、ビーカー、又はシャーレである、前記〔3-6〕に記載の移植用デバイスの製造方法。

【0096】

〔3-8〕前記任意の表面が、半透膜表面、プラスチック表面又はガラス表面である、前

50

記〔３－６〕に記載の移植用デバイスの製造方法。

【００９７】

〔３－９〕前記ハイドロゲルが厚さ０．１～５mm（１００～５０００μm）である、前記〔３－５〕～〔３－８〕のいずれか１項に記載の移植用デバイスの製造方法。

【００９８】

〔３－１０〕前記アルギン酸誘導体の溶液のゲル化に２価金属イオン又はその溶液との接触する工程を含まない、前記〔３－５〕～〔３－９〕のいずれか１項に記載の移植用デバイスの製造方法。

【００９９】

〔３－１１〕以下の工程（ａ）～（ｃ）（ｆ）を含む、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを含む移植用デバイスの製造方法。

工程（ａ）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程、

工程（ｂ）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程、

工程（ｃ）：工程（ｂ）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を半透膜に封入する工程、

工程（ｆ）：工程（ｃ）で得られた半透膜中で、アルギン酸誘導体の溶液をゲル化し、厚さ０．１～５mm（１００～５０００μm）のゲルを作製する工程。

【発明の効果】

【０１００】

本発明により、新たな移植用デバイスが提供される。好ましくは、移植用デバイスは、少なくとも下記の効果の１つ以上を示す。

（１）生体適合性や安定性に優れ、細胞毒性も少なく、移植部位における癒着や炎症もほとんどない。

（２）ゲルの溶解が少なく形状が長期間維持される。

（３）長期間にわたり、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能となる。

（４）長期間使用した後、半透膜中のアルギン酸ゲルは溶解しないで形状を維持可能であり、また膵島の生存・機能維持が可能であり、長期間使用できる。

（５）交換が可能であり、免疫隔離可能であり、癒着、炎症等も少なく、安全性の高い医療材料となる。

（６）デバイスの内外での物質透過に優れる。

（７）ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲルが崩壊しない又は崩壊が少ない。

（８）ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲル中に含まれる膵島のゲルからの脱落が少ないこと。

また、ハイドロゲルの厚みが薄い（例えば５００μm未満）移植用デバイスにおいては、好ましくは少なくとも前記（１）～（８）の効果の１つ以上、および／または、下位の効果の１つ以上を示す。

（９）デバイスを移植した場合の治癒率が厚みのあるハイドロゲルの場合と比べ高い。

（１０）デバイスの表面に対する中心部の酸素濃度の割合が高い。

【０１０１】

より好ましい態様の移植用デバイスは、移植成績や機能性に優れ、素材に関して新規であり、糖尿病患者（とりわけ、Ⅰ型糖尿病及びインスリン枯渇型Ⅱ型糖尿病）に移植することにより、長期間にわたり、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能となる。また、ハイドロゲル内のインスリン分泌細胞又は膵島の機能が低下した場合に、回収が可能である。あるいは、定期的な交換もしくは追加移植が可能となる。また、移植用デバイスのハイドロゲルに封入するインスリン分泌細胞又は膵島として、幹細胞（iPS等）から分化させたインスリン分泌細胞、又はヒト膵島を用いることも可能である。従って、より好ましい態様のデバイスは有用である。

【図面の簡単な説明】

【0102】

【図1】平板型アルギン酸ゲルの写真である。(a)移植前、(b)移植後。

【図2】平板型アルギン酸ゲルの写真である。(a)移植前、(b)移植後。

【図3】平板型アルギン酸ゲルの写真である。(a)移植前、(b)移植後。

【図4-1】作製した移植用デバイスの写真である。

【図4-2】作製した移植用デバイスの写真である。

【図5-1】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day75まで)。

【図5-2】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図5-3】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図6-1】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day75まで)。

【図6-2】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図6-3】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図7-1】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図7-2】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図8-1】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図8-2】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図9-1】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図9-2】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図10-1】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day305まで)。

【図10-2】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(リレー移植後day26まで)。

【図11-1】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day178まで)。

【図11-2】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day178まで)。

【図11-3】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(リレー移植後day40まで)。

【図11-4】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(移植後day178まで)。

【図11-5】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である(リレー移植後day40まで)。

【図12-1】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day178まで)。

【図12-2】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(移植後day178まで)。

【図12-3】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である(リレー移植後day40まで)。

10

20

30

40

50

【図12-4】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day178まで）。

【図12-5】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（リレー移植後day40まで）。

【図13-1】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図13-2】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図13-3】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図13-4】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図13-5】移植用デバイスを移植したマウスの血糖値変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図14-1】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図14-2】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図14-3】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図14-4】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図14-5】移植用デバイスを移植したマウスの体重変動を示す図である（移植後day17まで）。

【図15-1】ハイドロゲルの酸素濃度の評価部位を示す図である。

【図15-2】ハイドロゲルの断面における酸素濃度を示す図である。

【図15-3】ハイドロゲルの断面における酸素濃度を示す図である。

【図15-4】ハイドロゲルの断面における酸素濃度を示す図である。

【図16-1】移植用デバイスからのヒトインスリンの透過率を示す図である。

【図16-2】移植用デバイスからのグルコースの透過率を示す図である。

【図17】ハイドロゲルの振とう時の崩壊率を示す図である。

【図18-1】試験開始24時間後の外液の顕微鏡写真である（バーは1000 μ mを意味する）。

【図18-2】試験開始24時間後の外液の顕微鏡写真である（バーは1000 μ mを意味する）。

【発明を実施するための形態】

【0103】

ここでは、化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体を用いて調製された、細胞などを生体に移植するためのデバイス、より具体的には、例えば、インスリン分泌細胞又は膵島などが包埋された化学架橋アルギン酸ゲルと、必要に応じて当該ゲルを被覆する半透膜とを含む移植用デバイス、その製造方法などが提供される。化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体は、例えば、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に、アミド結合及び2価のリンカーを介して環状アルキン基又はアジド基が導入された式（HA-I）又は式（HA-II）のアルギン酸誘導体であり、式（HA-I）及び式（HA-II）のアルギン酸誘導体を用いてHuisgen反応（1,3-双極子付加環化反応）を行うことで新規な架橋アルギン酸が得られる。あるいは、化学架橋によりゲル化されるアルギン酸誘導体は、例えば、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基に、アミド結合及び2価のリンカーを介して環状アルキン基又はアジド基が導入された式（HB-I）又は式（HB-II）のアルギン酸誘導体であり、式（HB-I）及び式（HB-II）のアルギン酸誘導体を用いてHuisgen反応（1,3-双極子付加環化反応）を行うことで新規な架橋ア

10

20

30

40

50

ルギン酸が得られる。

【0104】

「移植用デバイス」とは、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルを用いたものである。当該ハイドロゲルは、アルギン酸誘導体を化学架橋によりゲル化したものである。したがって、アルギン酸誘導体としては、化学架橋によってゲル化することが可能なものを用いる。インスリン分泌細胞又は膵島が封入されているハイドロゲルの形状は、例えば平板型である。移植用デバイスにおいて、ハイドロゲルが更に半透膜で被覆されていてもよく、この場合、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲルが半透膜中に挿入された状態となる。

【0105】

移植用デバイスで用いる「インスリン分泌細胞」とは、インスリンを分泌する機能を有する細胞を意味し、例えば、膵島を構成する細胞においては、インスリンを分泌するβ細胞を意味する。また、「インスリン分泌細胞」は、分化、成熟や改変などによってインスリン分泌機能を有するようになった細胞であってもよく、例えば、iPS細胞、ES細胞、又は体性幹細胞（例えば、間葉系幹細胞）等の幹細胞を分化させて得られたインスリン分泌機能を有する細胞、幼若細胞や前駆細胞を成熟させて得られたインスリン分泌機能を有する細胞、及び、遺伝子組み換えによりインスリン分泌機能を付与された細胞も含み得る。ここで、当該細胞を分化や成熟させることには、当該細胞を培養させることが含まれ、すなわち、分化又は成熟させて得られた細胞とは、培養されて得られた細胞を含み得る。

「膵島」とは、別名ランゲルハンス氏島とも呼ばれる、平均約2000個の膵島細胞より構成される細胞塊である。膵島は、グルカゴンを分泌するα細胞、インスリンを分泌するβ細胞、ソマトスタチンを分泌するδ細胞、グレリンを分泌するε細胞、及び膵ポリペプチドを分泌するPP（pancreatic polypeptide；膵ポリペプチド）細胞の5種の細胞から構成される。

「インスリン分泌細胞又は膵島」とは、生物学的活性な生成物の分泌機能を有する細胞又は組織とも表現される。

【0106】

本明細書において、「膵島細胞」とは、上記の5種類の細胞うちの少なくとも1種類の細胞を含むものであればよいが、少なくともβ細胞を含むことが好ましい。いくつかの態様では、膵島細胞としては、α細胞、β細胞、δ細胞、ε細胞、及びPP細胞の全てを含む混合物でもよく、膵島に含まれた状態のものでもよい。

また、「膵島細胞」は、分化、成熟や改変などにより膵島細胞になったものであってもよい。この場合、「膵島細胞」には、例えば、iPS細胞、ES細胞、及び体性幹細胞（例えば、間葉系幹細胞）等の幹細胞を分化させて得られた膵島細胞、及び幼若細胞や前駆細胞を成熟させて得られた膵島細胞も含み得る。

「インスリン分泌細胞又は膵島（膵島細胞を含む）」としては、患者に移植した際に、患者の病的状態を回復することができる程度の生存性と機能とを有することが好ましい。インスリン分泌細胞、膵島又は膵島細胞の機能としては、例えば、インスリンを分泌することが挙げられ、移植後においてもグルコース応答性が維持されていることが好ましい。

【0107】

いくつかの態様の「移植用デバイス」は、バイオ人工膵島とも呼ばれ、バイオ人工臓器の一例である。当該バイオ人工膵島の備える細胞には、前記の「インスリン分泌細胞」、「膵島」又は「膵島細胞」が含まれ、例えば、インスリン分泌細胞が含まれる。インスリン分泌細胞は、ヒトあるいはブタなどから採取された膵島に含まれる細胞、あるいは幹細胞（例えば、ES細胞、iPS細胞、及び体性幹細胞（例えば、間葉系幹細胞））から分化した膵島のいずれかでもよい。

【0108】

本発明の移植用デバイスには、「インスリン分泌細胞、膵島及び膵島細胞」以外の細胞を用いる場合がある。

【0109】

「インスリン分泌細胞、膵島及び膵島細胞」以外の細胞は、細胞移植に用い得るものであれば任意の細胞を使用することができ、その種類は特に限定されない。また、使用する細胞は1種でもよいし、複数種の細胞を組合せて用いてもよい。使用する細胞として、好ましくは、動物細胞、より好ましくは脊椎動物由来細胞、特に好ましくはヒト由来細胞を挙げることができる。脊椎動物由来細胞（特に、ヒト由来細胞）の種類は、幹細胞（例えば、万能細胞、又は体性幹細胞）、前駆細胞、又は成熟細胞の何れでもよい。万能細胞としては、例えば、胚性幹（ES）細胞、生殖幹（GS）細胞、又は人工多能性幹（iPS）細胞を使用することができる。体性幹細胞としては、例えば、間葉系幹細胞（MSC）、造血幹細胞、羊膜細胞、臍帯血細胞、骨髓由来細胞、心筋幹細胞、脂肪由来幹細胞、又は神経幹細胞を使用することができる。

10

【0110】

前駆細胞及び成熟細胞としては、例えば、皮膚、真皮、表皮、筋肉、心筋、神経、骨、軟骨、内皮、脳、上皮、心臓、腎臓、肝臓、脾臓、口腔内、角膜、骨髓、臍帯血、羊膜、又は毛に由来する細胞を使用することができる。ヒト由来細胞としては、例えば、ES細胞、iPS細胞、MSC、軟骨細胞、骨芽細胞、骨芽前駆細胞、間充織細胞、筋芽細胞、心筋細胞、心筋芽細胞、神経細胞、肝細胞、線維芽細胞、角膜内皮細胞、血管内皮細胞、角膜上皮細胞、羊膜細胞、臍帯血細胞、骨髓由来細胞、又は造血幹細胞を使用することができる。また、細胞の由来は、自家細胞又は他家細胞の何れでも構わない。いくつかの態様では、上記の中でも、例えば、ES細胞、iPS細胞、間葉系幹細胞（MSC）を使用することができる。

20

【0111】

「インスリン分泌細胞、又は膵島（膵島細胞を含む）」のドナーは、動物、好ましくは脊椎動物であり、具体的にはヒト、ブタ、サル、ラット又はマウスなどが挙げられ、より好ましくは、ヒト又はブタである。「インスリン分泌細胞、膵島又は膵島細胞」のドナーは、いくつかの態様では、ドナー不足解消の観点からブタである。「インスリン分泌細胞、又は膵島（膵島細胞を含む）」としては、ドナーである動物から得られた膵島、あるいはドナー由来細胞から得られたインスリン分泌細胞又は膵島細胞のいずれかでもよく、例えば、ヒト由来のES細胞またはiPS細胞から分化したインスリン分泌細胞又は膵島細胞でもよい。

【0112】

「インスリン分泌細胞、又は膵島（膵島細胞を含む）」がブタ由来である場合には、成体のブタ膵島、又は、胎生期、新生児期、もしくは周産期のブタ膵島が挙げられる。当該膵島は適宜培養してから使用するようにしてもよく、胎生期、新生児期、もしくは周産期のブタ膵島を成熟させた膵島を使用してもよい。

30

【0113】

移植用デバイスの移植方法としては、切開と留置、注射、内視鏡、腹腔鏡といったものが使用可能である。

移植部位は特に限定されず、皮下、腹腔内、肝臓内、筋肉内、大網内、腎被膜下などを挙げることができるが、皮下や腹腔内に移植することが好ましい。

【0114】

ここで「半透膜（はんとうまく、semipermeable membrane）」とは、一定の大きさ以下の分子またはイオンのみを透過させる膜である。半透膜を透過しない溶質と透過性を示す溶媒の系で、半透膜を介して2つの濃度の溶液を接すると、隔てて浸透圧が発生し溶媒のみが透過する性質を有する。本明細書に記載の移植用デバイスは、半透膜を含んでいてもよいし、あるいは半透膜は必須ではなく、すなわち半透膜を含まなくてもよい。いくつかの態様の移植用デバイスは、（例えば、インスリン分泌細胞又は膵島が封入された）ハイドロゲル単体であり、すなわち、当該ハイドロゲルが半透膜で被覆されていない。ハイドロゲルが半透膜で被覆されていない移植用デバイスは、好ましくは、生体適合性や安定性に優れ、細胞毒性も少なく、移植部位における癒着や炎症もほとんどなく、ゲルの溶解が少なく形状が長期間維持され、より好ましくは、長期間にわたり

40

50

、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能なものである。別のいくつかの態様の移植用デバイスは、ハイドロゲルが半透膜で被覆されている。半透膜としては、例えば、透析に用いられる膜もしくはチューブなどが挙げられ、透析チューブ、コットンセルロース透析膜、再生セルロース透析膜、セルロースエステル透析膜等も使用可能であり、商品名としてはCellu-Sep T Tubular Membrane (Membrane Filtration Products社)、スペクトラバイオテックメンブレン (REPLIGEN社 (旧SPECTRUM社))、スペクトラ／ポアCE 透析チューブ (REPLIGEN社 (旧SPECTRUM社)) 等が挙げられる。

「半透膜」としては、セルロースエステルで作製された半透膜であることが好ましい。具体例としては、透析膜であるスペクトラ／ポアCE 透析チューブ (REPLIGEN社 (旧SPECTRUM社)) が挙げられる。当該セルロースエステルは酢酸セルロースの高分子であることがより好ましい。

【0115】

ここで用いる半透膜は樹脂を含有する。半透膜は、例えば、少なくとも一種類以上の樹脂を溶媒に溶解させ、溶解した樹脂を凝固させることで作製することができる。かかる樹脂は特に限定されるものではない。かかる樹脂として、例えば、エチレンービニルアルコール系共重合体、ポリスルホン系重合体、ポリアクリロニトリル系重合体、酢酸セルロースなどのセルロース系重合体、ポリアミド系重合体、ポリカーボネート系重合体などの樹脂を用いることが出来る。より好ましくは、酢酸セルロースなどのセルロース系重合体である。

【0116】

ここで用いられる半透膜には、「分子量カットオフ」がある。「分子量カットオフ」とは、実質的に遮断されない最大分子量の大きさを意味する。該分子量カットオフを上回る分子量を有する分子は、該半透膜を出入りすることが実質的に妨げられる。ここで用いられる半透膜の「分子量カットオフ」としては、100 kDa (キロダルトン) であるのが好ましい。例えば、セルロースエステル透析膜であるスペクトラ／ポアCE 透析チューブ ((REPLIGEN社 (旧SPECTRUM社)) であれば、当該カットオフ値を「MWCO」として、100~500 Da (ダルトン)、0.5~1 kDa、3.5~5 kDa、8~10 kDa、20 kDa、50 kDa、100 kDa、300 kDa、1000 kDa等の規格で販売されている。例えば、当該カットオフ値が、約500000ダルトンより大きい分子量カットオフを有する場合、IgGや補体のような分子はこれらの半透膜に進入できるが、免疫細胞のような宿主細胞は、当該半透膜中への進入が妨げられ、インスリンや細胞の栄養素や酸素は当該半透膜を通過できることになる。単位ダルトン記号はDa、1000 Daは1 kDaを意味する。

【0117】

ここで、移植用デバイスの厚さの定義は、後述の通りである。いくつかの態様では、移植用デバイスの厚さは、0.1~5 mm (100~5000 μ m) であり、0.1~3 mm (100~3000 μ m) であることが好ましい。あるいは、0.5~5 mm (500~5000 μ m) であることが好ましく、1~3 mm (1000~3000 μ m) であることがより好ましい。移植用デバイスの厚さは、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されているハイドロゲルが半透膜で被覆されている場合、半透膜の厚さで0.15~5 mm (150~5000 μ m) であり、0.2~3 mm (200~3000 μ m) であることが好ましい。あるいは、0.5~5 mm (500~5000 μ m) であることが好ましく、1~3 mm (1000~3000 μ m) であることがより好ましい。

【0118】

薄型の移植用デバイスの場合、移植用デバイスの厚さは、100 μ m以上1000 μ m未満であり、100 μ m以上500 μ m未満であることが好ましい。あるいは、150 μ m以上1000 μ m未満であることが好ましく、150 μ m以上500 μ mであることがより好ましい。移植用デバイスの厚さは、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されているハイドロゲルが半透膜で被覆されている場合、半透膜の厚さで150 μ m以上1000 μ

m未満であることが好ましく、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 未満であることがより好ましい。あるいは、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1000\text{ }\mu\text{m}$ 未満であることが好ましく、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ であることがより好ましい。

【0119】

また、ハイドロゲルの厚さの定義も、後述の通りである。いくつかの態様では、ハイドロゲルの厚さは、 $0.1\sim 5\text{ mm}$ ($100\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.1\sim 3\text{ mm}$ ($100\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.1\sim 1\text{ mm}$ ($100\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.15\sim 5\text{ mm}$ ($150\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.15\sim 3\text{ mm}$ ($150\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.15\sim 1\text{ mm}$ ($150\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.2\sim 5\text{ mm}$ ($200\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.2\sim 3\text{ mm}$ ($200\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.2\sim 1\text{ mm}$ ($200\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.5\sim 5\text{ mm}$ ($500\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.5\sim 3\text{ mm}$ ($500\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であるのが好ましく、 $0.5\sim 1\text{ mm}$ ($500\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。

10

移植用デバイスが半透膜を含む場合、半透膜中のハイドロゲルの厚さは、 $0.1\sim 3\text{ mm}$ ($100\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.1\sim 2\text{ mm}$ ($100\sim 2000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.1\sim 1\text{ mm}$ ($100\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.15\sim 3\text{ mm}$ ($150\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.15\sim 2\text{ mm}$ ($150\sim 2000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.15\sim 1\text{ mm}$ ($150\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.2\sim 3\text{ mm}$ ($200\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.2\sim 2\text{ mm}$ ($200\sim 2000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.2\sim 1\text{ mm}$ ($200\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $1\sim 3\text{ mm}$ ($1000\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $1.5\sim 2\text{ mm}$ ($1500\sim 2000\text{ }\mu\text{m}$) であることがより好ましい。

20

移植用デバイスが半透膜を含まない場合、ハイドロゲルの厚さは、 $0.1\sim 5\text{ mm}$ ($100\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.1\sim 3\text{ mm}$ ($100\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.1\sim 1\text{ mm}$ ($100\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.15\sim 5\text{ mm}$ ($150\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.15\sim 3\text{ mm}$ ($150\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.15\sim 1\text{ mm}$ ($150\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.2\sim 5\text{ mm}$ ($200\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.2\sim 3\text{ mm}$ ($200\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.2\sim 1\text{ mm}$ ($200\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であるのがより好ましい。あるいは、 $0.5\sim 5\text{ mm}$ ($500\sim 5000\text{ }\mu\text{m}$) であり、 $0.5\sim 3\text{ mm}$ ($500\sim 3000\text{ }\mu\text{m}$) であることが好ましく、 $0.5\sim 1\text{ mm}$ ($500\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$) であることがより好ましい。

30

【0120】

薄型のハイドロゲルの場合、ハイドロゲルの厚さは、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 未満であり、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $400\text{ }\mu\text{m}$ 未満であるのが好ましく、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $300\text{ }\mu\text{m}$ 未満であるのがより好ましい。あるいは、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 未満であり、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $400\text{ }\mu\text{m}$ 未満であるのが好ましく、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $300\text{ }\mu\text{m}$ 未満であるのがより好ましく、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $300\text{ }\mu\text{m}$ 未満であるのが更に好ましい。かかる厚さは、移植用デバイスが半透膜を含む場合と、半透膜を含まない場合とで同様である。

40

【0121】

移植用デバイスの形状は、平板状であれば、特に限定されない。平板とは、平らな板を意味し、厚さがほぼ一定で広い面積を有する板状のことを示す。当該板の形状として、例えば、三角形、四角形、五角形のような多角形や円形等の平らな板状が挙げられる。また、当該移植用デバイスは、前記の厚さであり、かつ、板状全体でほぼ一定の厚さであることが好ましい。板状の移植デバイスにおいて厚さのばらつきは、好ましくは $\pm 20\%$ 以内、より好ましくは $\pm 10\%$ 以内である。移植用デバイスの厚さは、移植用デバイスの最大厚の部分の厚さである。例えば、ハイドロゲルを半透膜である透析チューブ中に封入する際には、透析チューブの両端をシールすることにより、移植用デバイスの形状が、一見ラ

50

グビーボール状のような、両端がやや薄く、両端に比べ中央が厚くなる形状になることがある。そのような形状になる場合には、移植用デバイスの厚さは、その最大厚の部分である中央付近の厚さを意味する。

また、ハイドロゲルの形状も、平板状であれば、特に限定されない。平板とは、平らな板を意味し、厚さがほぼ一定で広い面積を有する板状のことを示す。当該板の形状として、例えば、三角形、四角形、五角形のような多角形や円形等の平らな板状が挙げられる。また、ハイドロゲルは、前記の厚さであり、かつ、板状全体でほぼ一定の厚さであることが好ましい。ハイドロゲルにおいて厚さのばらつきは、好ましくは±20%以内、より好ましくは±10%以内である。ハイドロゲルの厚さは、ハイドロゲルの最大厚の部分の厚さである。いくつかの態様では、平板型のハイドロゲルは、例えば、短直径が12～15 mm、長直径が12～18 mm、厚さが0.1～5 mm程度の大きさの架橋アルギン酸のゲルであり、円形、四角形、六角形、八角形などの形状を取ることも可能である。平板型のハイドロゲルを面積で表現すると、例えば、144～270 mm²とも表わすことができる。

【0122】

本明細書において、「IEQ」とは、Islet Equivalentsの略号であり、膵島を球形と見立て、直径が150 μmの膵島を1 IEQと定義する、膵島の量を表す国際単位である。

【0123】

日本膵・膵島移植研究会の新鮮膵島移植の基準（膵島移植実施マニュアル）によれば、新鮮膵島を移植する際の条件のひとつに、「膵島量5000 IEQ/kg（患者体重）以上」とあり、ここでも参考にする。移植用デバイスは、所望の治療効果が生じるよう算定された膵島数に適宜設定することができ、患者の体重、症状の度合い等により適宜適切なデバイスに設定することが可能である。

インスリン分泌細胞の量についても、膵島に準じて適宜設定できる。

【0124】

移植用デバイスの製造方法について、より詳細に説明する。

移植用デバイスの製造方法において、「工程（a）：任意選択の工程として、生体から膵臓を摘出し、膵島を分離する工程」とは、工程（a）が任意選択であることであることを意味する。「生体」は、例えば、ヒト、または非ヒト哺乳動物であり、非ヒト哺乳動物としては、例えば、ブタが挙げられる。工程（a）を行う場合には、例えば、ブタ膵島の単離で言えば、当技術の公知の手順、或いは、霜田ら（Shimoda; Cell Transplantation、第21巻、501～508頁、2012年）に記載された方法、もしくはエドモントンプロトコルを用いた標準のリコルディー技術等に準じて、無菌下で成体のブタから無菌の生存可能な膵臓を得て、膵島細胞を単離することができる。その他の非ヒト哺乳動物の膵島、或いはヒトの膵島の単離も、ブタ膵島の単離に準じて行うことができる。その後、単離した膵島を、そのまま用いてもよいし、あるいは、培養して用いてもよい。膵島の培養については、例えば、野口（Noguchi）ら（Transplantation Proceedings, 42, 2084～2086（2010））の方法に準じて、培地中（Connaught Medical Research Laboratory (CMRL) - based Miami-defined media #1 (MM1; Mediatech-Cellgro, Herndon, VA) - supplemented with 0.5% human serum albumin.）、5% CO₂/95% 空気の湿潤雰囲気中で37℃で1日間培養することが可能である。

【0125】

次いで、「工程（b）：化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織を混和する工程」では、化学架橋によってハイドロゲル化することができるとして、例えば、前述の式

(I) 及び式 (II) で表わされるアルギン酸誘導体を挙げることができる。工程 (b) では、例えば、前記アルギン酸誘導体の 0.1～5 重量%の水溶液もしくは生理食塩水溶液を作製し、当該溶液に、インスリン分泌細胞、膵島、培養されて得られた膵島細胞、および幹細胞より分化させて得られた膵島細胞からなる群より選択される細胞又は組織（例えば、工程 (a) で得た膵島、当該膵島から単離したインスリン分泌細胞、又は当該膵島から単離した膵島細胞を培養して得られる膵島細胞）を適宜必要量懸濁させる。

ここで、「化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液」は、例えば、前述の式 (HA-I) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液と、前述の式 (HA-II) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液の 2 種の溶液である。あるいは、「化学架橋によってハイドロゲル化することができるアルギン酸誘導体の溶液」は、例えば、前述の式 (HB-I) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液と、前述の式 (HB-II) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液の 2 種の溶液である。この場合、工程 (b) では、これらの 2 種の溶液、およびそれらに細胞又は組織を混和した溶液は、混合せずに、別々に作製される。このとき、細胞又は組織は、2 種の溶液の一方にのみ混和してもよいし、あるいは両方に混和してもよい。

【0126】

次いで、「工程 (c) : 工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液に、2 価金属イオンを含む溶液と接触させて、厚さ 0.1～5 mm (100～5000 μm) 又は厚さ 100 μm 以上 500 μm 未満のゲルを作製する工程」では、細胞又は組織（例えば、膵島）が懸濁した、工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液をゲル化させる。このとき、まず、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体の溶液と式 (HA-II) 又は式 (HB-II) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液とを、各々の化学架橋基の導入率に応じて、適宜各々の用量を混合するようにしてよい。次に、その混合溶液に、2 価金属イオンを含む溶液と接触させることで、イオン架橋が進むと同時に化学架橋も進み、ゲルが作製できる。ゲルは、より具体的には、後述する実施例 5 に記載の〔平板型アルギン酸ゲルの製造〕＜一般的な調製方法＞と同様に作製することができる。

次いで、「工程 (d) : 任意選択の工程として、工程 (c) で得られたゲルを半透膜で被覆する工程」とは、工程 (d) が任意選択であることを意味する。工程 (d) を行う場合には、工程 (c) で得られたゲルを、当該分野で公知の方法またはそれに準ずる方法で、半透膜で被覆する。例えば、ゲルを、半透膜（例えば、一端をシールした半透膜のチューブ）に挿入して、もう一端をシールすることで被覆する。

【0127】

あるいは、「工程 (c) : 工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液を半透膜に封入する工程」は、細胞又は組織（例えば、膵島）が懸濁した、工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液を、当該分野で公知の方法またはそれに準ずる方法で、半透膜で被覆する。このとき、まず、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体の溶液と式 (HA-II) 又は式 (HB-II) で表わされるアルギン酸誘導体の溶液とを、各々の化学架橋基の導入率に応じて、適宜各々の用量を混合するようにしてよい。次に、その細胞又は組織（例えば、膵島）が懸濁した混合溶液を、半透膜（例えば、一端をシールした半透膜のチューブ）に挿入して、もう一端をシールすることで被覆する。

次いで、「工程 (d) : 工程 (c) で得られた半透膜を、2 価金属イオンを含む溶液と接触させて、半透膜中のアルギン酸溶液をゲル化する工程」では、工程 (c) で得られたアルギン酸溶液を封入した半透膜を 2 価金属イオンを含む溶液と接触させて、半透膜中のアルギン酸溶液をゲル化する。

【0128】

工程 (d) により得られたデバイスは、生理食塩水等の溶媒で洗浄してもよい。また、培地中で所定期間培養してもよい。

【0129】

「工程 (e) : 工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液を任意の形状としてゲルを作製する工程」又は「工程 (e) : 工程 (b) で得られたアルギン酸誘導体の溶液を任

意の容器に入れる、または、任意の表面に置く、工程」は、細胞又は組織（例えば、膵島）が懸濁した、工程（b）で得られたアルギン酸誘導体の溶液を、当該分野で公知の方法またはそれに準ずる方法で、任意の容器や表面等を利用して一定の形に留め、化学架橋の進行によりゲル化させる。このとき、先ず、式（HA-I）又は式（HB-I）のアルギン酸誘導体の溶液と式（HA-II）又は式（HB-II）で表わされるアルギン酸誘導体の溶液とを、各々の化学架橋基の導入率に応じて、適宜各々の用量を混合するようにしてよい。

任意の容器は、溶液を一定の形状に保持できる容器をいい、例えば、半透膜、ビーカーまたはシャーレが挙げられ、半透膜が好ましい。

任意の表面は、溶液を一定の形状として載せることのできる表面をいい、例えば半透膜表面、プラスチック表面、またはガラス表面が挙げられ、半透膜表面が好ましい。

【0130】

「工程（f）：工程（e）で得られた容器中又は表面上で、アルギン酸誘導体の溶液をゲル化する工程」又は「工程（f）：工程（c）で得られた半透膜中で、アルギン酸誘導体の溶液をゲル化し、厚さ0.1～5mm（100～5000μm）のゲルを作製する工程」は、任意の容器、表面あるいは半透膜中で保持された溶液を化学架橋によりゲル化させることを意味する。このとき、2価金属イオンを含む溶液と接触させることで、イオン架橋と化学架橋を同時に進めてゲルを作製してもよく、2価金属イオンやその溶液と接触させずに化学架橋のみを進め、ゲルを作製してもよい。

【0131】

移植用デバイスに用いられる「2価金属イオン」を含む溶液とは、カルシウムイオン、バリウムイオン、ストロンチウムイオン等を含む溶液が挙げられる。好ましくは、カルシウムイオンまたはバリウムイオンを含む溶液であり、カルシウムイオンを含む溶液であることがより好ましい。

2価金属イオンを含む溶液は、例えば、2価金属イオンの塩を溶媒に溶解させることにより得ることができる。2価金属イオンの塩としては、塩化カルシウム、塩化バリウム、塩化ストロンチウム等が挙げられる。溶媒としては、例えば、水、生理食塩水、及びHEPES緩衝液が挙げられる。

いくつかの態様では、2価金属イオンを含む溶液は、カルシウムイオンを含む溶液であり、好ましくは、塩化カルシウムを含む水溶液である。

2価金属イオンを含む溶液の使用量は、アルギン酸誘導体の使用量や分子量などに応じて適宜調節するのが望ましい。

【0132】

移植用デバイスが半透膜を有する場合、デバイス中のハイドロゲルは、アルギン酸誘導体の溶液を半透膜に封入してから、2価金属イオン溶液に接触させることで作製しても、半透膜に封入する前にゲル化させ、その後半透膜中に封入してもどちらでもよい。

ここで、「接触」とは、アルギン酸誘導体の溶液を封入した半透膜を2価金属イオン溶液に浸漬すること、アルギン酸誘導体の溶液を封入した半透膜に2価金属イオン溶液をかけることなどが挙げられる。

【0133】

移植用デバイスに用いられるハイドロゲルとは、水に不溶な三次元の網目構造をもつ高分子及びその水による膨潤体を指すものとする。ここでは、ハイドロゲルのことを単に、ゲルという場合がある。

【0134】

ハイドロゲルを調製する時に使用する、高分子の濃度を変化させることにより、このゲルの網目元構造を通過できる分子の分子量を大きく自由に变化させることができる。すなわち、ゲルの網目構造は高分子の濃度の濃い場合にはメッシュが小さく、高分子の濃度が薄い場合にはメッシュが大きくなることが考えられる。網目構造のメッシュが大き過ぎると、抗体等が網目構造内に侵入する。この場合、ゲル内のインスリン分泌細胞又は膵島に対して拒絶反応が起こりやすくなる。拒絶反応はインシュリン等の必要物質の産生を阻害する。

10

20

30

40

50

【0135】

一般に、ハイドロゲルの材料は、以下のような高分子からなる。例えば、コラーゲン、ヒアルロナン、ゼラチン、フィブロネクチン、エラスチン、テナシン、ラミニン、ビトロネクチン、ポリペプチド、ヘパラン硫酸、コンドロイチン、コンドロイチン硫酸、ケラタン、ケラタン硫酸、デルマタン硫酸、カラギーナン、ヘパリン、キチン、キトサン、アルギン酸塩、アルギン酸誘導体、アガロース、寒天、セルロース、メチルセルロース、カルボキシメチルセルロース、グリコーゲン及びこれらの誘導体、加えて、フィブリン、フィブリノゲン、トロンビン、及びポリグルタミン酸、ポリ乳酸、ポリグリコール酸、乳酸-グリコール酸共重合体、ビニルアルコール系重合体、ジェランガム、キサンタンガム、ガラクトマンナン、グアガム、ローカストビーンガム及びタラガム等が挙げられる。

10

【0136】

ここで、ハイドロゲルの材料としては、生体適合性、臍島の長期生着・機能維持等の点から、アルギン酸誘導体が好ましい。

【0137】

以下、アルギン酸誘導体の各態様についてより詳細に説明する。

【0138】

1. アルギン酸

本明細書中、アルギン酸と記載する場合、アルギン酸、アルギン酸エステル、及びそれらの塩（例えば、アルギン酸ナトリウム）からなる群から選択される少なくとも1種のアルギン酸（「アルギン酸類」という場合がある）を意味する。用いられるアルギン酸は、天然由来でも合成物であってもよいが、天然由来であるのが好ましい。好ましく用いられるアルギン酸類は、レソソニア、マクロシスティス、ラミナリア、アスコフィラム、ダービリア、カジメ、アラメ、コンブなどの褐藻類から抽出される生体内吸収性の多糖類であって、D-マンヌロン酸（M）とL-グルロン酸（G）という2種類のウロン酸が直鎖状に重合したポリマーである。より具体的には、D-マンヌロン酸のホモポリマー画分（MM画分）、L-グルロン酸のホモポリマー画分（GG画分）、およびD-マンヌロン酸とL-グルロン酸がランダムに配列した画分（M/G画分）が任意に結合したブロック共重合体である。

20

【0139】

本明細書中、アルギン酸は、アルギン酸を（ALG）として、アルギン酸の任意のカルボキシル基の1つを-COOHとして、（ALG）-COOHと表記する場合がある。

30

【0140】

いくつかの態様では、アルギン酸は、アルギン酸ナトリウムである。アルギン酸ナトリウムは、市販品のアルギン酸ナトリウムを用いることができる。ここで、後述の実施例では、アルギン酸ナトリウムは、下表に記載したA-1、A-2、A-3、B-1、B-2、及びB-3のアルギン酸ナトリウム（発売元 持田製薬株式会社）を用いている。各アルギン酸ナトリウムの1w/w%の水溶液の粘度、重量平均分子量及びM/G比を下記の表に示す。

【0141】

40

【表 9】

アルギン酸ナトリウム	1 w/w%の粘度 (mPa・s)	重量平均分子量		M/G比
		GPC	GPC-MALS	
A-1	10~40	300,000 ~ 700,000	60,000 ~ 130,000	0.5~1.8
A-2	50~150	700,000 ~ 1,400,000	130,000 ~ 200,000	
A-3	300~600	1,400,000 ~ 2,000,000	200,000 ~ 400,000	
B-1	10~40	150,000 ~ 800,000	60,000 ~ 130,000	0.1~0.5
B-2	70~150	800,000 ~ 1,500,000	130,000 ~ 200,000	
B-3	400~600	1,500,000 ~ 2,500,000	200,000 ~ 350,000	

【0142】

前記アルギン酸ナトリウムA-1、A-2、A-3、B-1、B-2、及びB-3の各物性値は、下記の各種方法により測定した。測定方法は、当該方法に限定されるものではないが、測定方法により各物性値が上記のものと異なる場合がある。

【0143】

[アルギン酸ナトリウムの粘度測定]

日本薬局方（第16版）の粘度測定法に従い、回転粘度計法（コーンプレート型回転粘度計）を用いて測定した。具体的な測定条件は以下のとおりである。試料溶液の調製は、MilliQ水を用いて行った。測定機器は、コーンプレート型回転粘度計（粘度粘弾性測定装置レオストレースRS600（Thermo Haake GmbH）センサー：35/1）を用いた。回転数は、1 w/w%アルギン酸ナトリウム溶液測定時は1 rpmとした。読み取り時間は、2分間測定し、開始1分から2分までの平均値とした。3回の測定の平均値を測定値とした。測定温度は20℃とした。

【0144】

[アルギン酸ナトリウムの重量平均分子量測定]

(1) ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）と、(2) GPC-MALSの2種類の測定法で測定した。測定条件は以下のとおりである。

【0145】

[前処理方法]

試料に溶離液を加え溶解後、0.45 µmメンブランフィルターろ過したものを測定溶液とした。

(1) ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）測定

[測定条件（相対分子量分布測定）]

カラム：TSK gel GMPW-XL×2+G2500PW-XL（7.8 mm I.D.×300 mm×3本）

溶離液：200 mM硝酸ナトリウム水溶液

流量：1.0 mL/min

濃度：0.05%

検出器：RI検出器

カラム温度：40℃

注入量：200 µL

分子量標準：標準プルラン、グルコース

【0146】

(2) GPC-MALS測定

[屈折率増分 (dn/dc) 測定 (測定条件)]

示差屈折率計: Optilab T-rEX

測定波長: 658 nm

測定温度: 40 °C

溶媒: 200 mM 硝酸ナトリウム水溶液

試料濃度: 0.5 ~ 2.5 mg/mL (5 濃度)

【0147】

[測定条件 (絶対分子量分布測定)]

カラム: TSK gel GMPW-XL×2 + G2500PW-XL (7.8 mm I.D. × 300 mm × 3 本)

溶離液: 200 mM 硝酸ナトリウム水溶液

流量: 1.0 mL/min

濃度: 0.05 %

検出器: RI 検出器、光散乱検出器 (MALS)

カラム温度: 40 °C

注入量: 200 µL

【0148】

本明細書中、アルギン酸、アルギン酸誘導体、架橋アルギン酸、及び架橋アルギン酸の分子量において、単位として Da (ダルトン) を付記する場合がある。

【0149】

アルギン酸類の D-マンヌロン酸と L-グルロン酸の構成比 (M/G 比) は、主に海藻等の由来となる生物の種類によって異なり、また、その生物の生育場所や季節による影響を受け、M/G 比が約 0.2 の高 G 型から M/G 比が約 5 の高 M 型まで高範囲にわたる。アルギン酸類のゲル化能力および生成したゲルの性質は、M/G 比によって影響を受け、一般的に、G 比率が高い場合にはゲル強度が高くなることが知られている。M/G 比は、その他にも、ゲルの硬さ、もろさ、吸水性、柔軟性などにも影響を与える。用いるアルギン酸類および/またはその塩の M/G 比は、通常、0.2 ~ 4.0 であり、より好ましくは、0.4 ~ 3.0、さらに好ましくは 0.5 ~ 3.0 である。

【0150】

本明細書中、「~」を用いて示された数値範囲は、「~」の前後に記載される数値をそれぞれ最小値および最大値として含む範囲を示す。

【0151】

本明細書中、用いられる「アルギン酸エステル」、「アルギン酸塩」とは、特に限定されないが、架橋剤と反応させるため、架橋反応を阻害する官能基を有していないことが必要である。アルギン酸エステルとしては、好ましくは、アルギン酸プロピレングリコール、等が挙げられる。

【0152】

本明細書中、アルギン酸塩としては、例えば、アルギン酸の 1 価の塩、アルギン酸の 2 価の塩が挙げられる。アルギン酸の 1 価の塩としては、好ましくは、アルギン酸ナトリウム、アルギン酸カリウム、アルギン酸アンモニウム、等が挙げられ、より好ましくは、アルギン酸ナトリウムまたはアルギン酸カリウムであり、特に好ましくは、アルギン酸ナトリウムである。アルギン酸の 2 価の塩としては、好ましくは、アルギン酸カルシウム、アルギン酸マグネシウム、アルギン酸バリウム、アルギン酸ストロンチウム、等が挙げられる。

【0153】

アルギン酸は、高分子多糖類であり、分子量を正確に定めることは困難であるが、一般的に重量平均分子量で 1000 ~ 1000 万、好ましくは 1 万 ~ 800 万、より好ましくは 2 万 ~ 300 万の範囲である。天然物由来の高分子物質の分子量測定では、測定方法により値に違いが生じることが知られている。

【0154】

例えば、ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）又はゲルろ過クロマトグラフィー（これらを合わせてサイズ排除クロマトグラフィーともいう）により測定した重量平均分子量は、好ましくは10万以上、より好ましくは50万以上であり、また好ましくは、500万以下、より好ましくは300万以下である。その好ましい範囲は、10万～500万であり、より好ましくは15万～300万である。

【0155】

また、例えば、GPC-MALS法によれば、絶対重量平均分子量を測定することができる。GPC-MALS法により測定した重量平均分子量(絶対分子量)は、好ましくは1万以上、より好ましくは5万以上、さらに好ましくは6万以上であり、また好ましくは、100万以下、より好ましくは80万以下、さらに好ましくは70万以下、とりわけ好ましくは50万以下である。その好ましい範囲は、1万～100万であり、より好ましくは5万～80万であり、さらに好ましくは6万～70万、とりわけ好ましくは6万～50万である。

10

【0156】

通常、高分子多糖類の分子量を上記のような手法で算出する場合、10%～20%の測定誤差を生じうる。例えば、40万であれば32万～48万、50万であれば40万～60万、100万であれば80万～120万程度の範囲で値の変動が生じうる。

【0157】

アルギン酸類の分子量の測定は、常法に従い測定することができる。

20

【0158】

分子量測定にゲルろ過クロマトグラフィーを用いる場合の代表的な条件は、後述の本明細書の実施例に記載のとおりである。カラムは、例えば、Superose 6 Increase 10/300 GLカラム（GEヘルスケアサイエンス社）を用いることができ、展開溶媒として、例えば、0.15 mol/L NaClを含む10 mmol/L リン酸緩衝液（pH 7.4）を使用することができ、分子量標準としてブルーデキストラン、チログロブリン、フェリチン、アルドラーゼ、コンアルブミン、オブアルブミン、リボヌクレアーゼAおよびアプロチニンを用いることができる。

【0159】

本明細書中で用いられるアルギン酸の粘度は、特に限定されないが、1 w/w %のアルギン酸類の水溶液として粘度を測定した場合、好ましくは、10 mPa・s～1000 mPa・s、より好ましくは、50 mPa・s～800 mPa・sである。

30

【0160】

アルギン酸の水溶液の粘度の測定は、常法に従い測定することができる。例えば、回転粘度計法の、共軸二重円筒形回転粘度計、単一円筒形回転粘度計（ブルックフィールド型粘度計）、円すい平板形回転粘度計（コーンプレート型粘度計）等を用いて測定することができる。好ましくは、日本薬局方（第16版）の粘度測定法に従うことが望ましい。より好ましくは、コーンプレート型粘度計を用いる。

【0161】

アルギン酸類は、褐藻類から抽出された当初は、分子量が大きく、粘度が高めだが、熱による乾燥、精製などの過程で、分子量が小さくなり、粘度は低めとなる。製造工程の温度等の条件管理、原料とする褐藻類の選択、製造工程における分子量の分画などの手法により分子量の異なるアルギン酸類を製造することができる。さらに、異なる分子量あるいは粘度を持つ別ロットのアルギン酸類と混合することにより、目的とする分子量を有するアルギン酸類とすることも可能である。

40

【0162】

本明細書中で用いられるアルギン酸は、いくつかの態様においては、低エンドトキシン処理されていないアルギン酸であり、又は別のいくつかの態様においては、低エンドトキシン処理されたアルギン酸である。低エンドトキシンとは、実質的に炎症、または発熱を惹起しない程度にまでエンドトキシンレベルが低いことをいう。より好ましくは、低エン

50

ドトキシシ処理されたアルギン酸類であることが望ましい。

【0163】

低エンドトキシシ処理は、公知の方法またはそれに準じる方法によって行うことができる。例えば、ヒアルロン酸ナトリウムを精製する、菅らの方法（例えば、特開平9-324001号公報など参照）、β1,3-グルカン（β1,3-glucan）を精製する、吉田らの方法（例えば、特開平8-269102号公報など参照）、アルギネート、ゲランガム等の生体高分子塩を精製する、ウィリアムらの方法（例えば、特表2002-530440号公報など参照）、ポリサッカライドを精製する、ジェームスらの方法（例えば、国際公開第93/13136号パンフレットなど参照）、ルイスらの方法（例えば、米国特許第5589591号明細書など参照）、アルギネートを精製する、ハーマンフランクらの方法（例えば、Appl Microbiol Biotechnol (1994) 40:638-643など参照）等またはこれらに準じる方法によって実施することができる。低エンドトキシシ処理は、それらに限らず、洗浄、フィルター（エンドトキシシ除去フィルターや帯電したフィルターなど）によるろ過、限外ろ過、カラム（エンドトキシシ吸着アフィニティークラム、ゲルろ過カラム、イオン交換樹脂によるカラムなど）を用いた精製、疎水性物質、樹脂または活性炭などへの吸着、有機溶媒処理（有機溶媒による抽出、有機溶剤添加による析出・沈降など）、界面活性剤処理（例えば、特開2005-036036号公報など参照）など公知の方法によって、あるいはこれらを適宜組合せて実施することができる。これらの処理の工程に、遠心分離など公知の方法を適宜組み合わせてもよい。アルギン酸の種類に合わせて適宜選択するのが望ましい。

【0164】

エンドトキシシレベルは、公知の方法で確認することができ、例えば、リムルス試薬（LAL）による方法、エンドスペシー（登録商標）ES-24Sセット（生化学工業株式会社）を用いる方法などによって測定することができる。

【0165】

用いられるエンドトキシシの処理方法は特に限定されないが、その結果として、アルギン酸類のエンドトキシシ含有量が、リムルス試薬（LAL）によるエンドトキシシ測定を行った場合に、500エンドトキシシ単位（EU）/g以下であることが好ましく、さらに好ましくは、100EU/g以下、とりわけ好ましくは、50EU/g以下、特に好ましくは、30EU/g以下である。低エンドトキシシ処理されたアルギン酸ナトリウムは、例えば、Sea Matrix（登録商標）（持田製薬株式会社）、PRONOVATM UP LVG（FMC BioPolymer）など市販品により入手可能である。

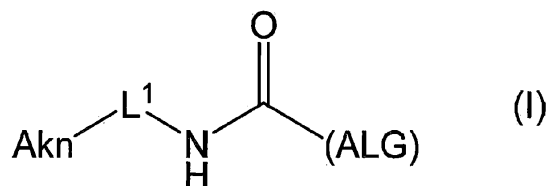
【0166】

2. アルギン酸誘導体

本明細書中、新規なアルギン酸誘導体が提供される。本明細書中、アルギン酸誘導体としては、アルギン酸の任意の1つ以上のカルボキシル基にアミド結合及び2価のリンカーを介して、Huisingen反応における反応性基又は当該反応性基の相補的な反応性基が導入されたものである。

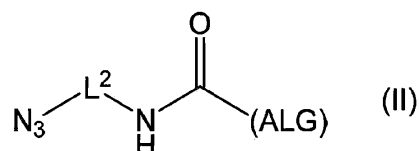
より具体的には、下記式（HA-I）又は式（HB-I）：

【化41】



〔式（HA-I）又は式（HB-I）中、（ALG）、 $-\text{L}^1-$ 、Aknの定義は、それぞれ前述の第1の態様中の定義と同じである〕で表されるアルギン酸誘導体、及び下記式（HA-II）又は式（HB-II）：

【化 4 2】



【式 (HA-I I) 又は式 (HB-I I) 中、(ALG)、 $-\text{L}^2-$ の定義は、それぞれ前述の第 1 の態様中の定義と同じである】で表されるアルギン酸誘導体である。

【0167】

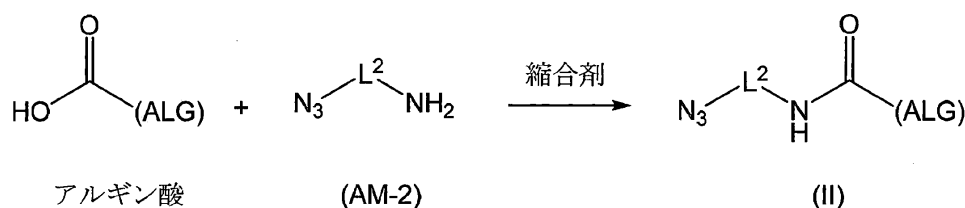
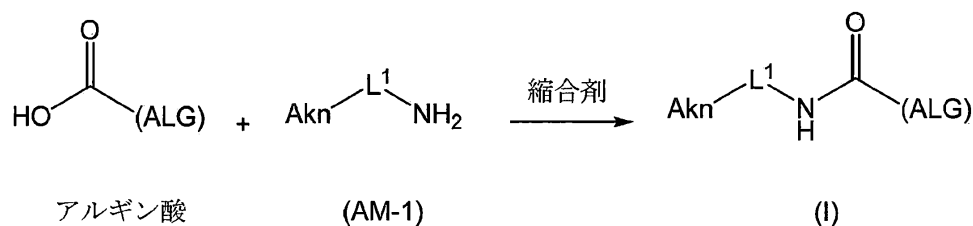
前記の 2 価のリンカー ($-\text{L}^1-$ 又は $-\text{L}^2-$) は、反応性基と当該反応性基と相補的な反応性基との反応を阻害しない限り、任意の直鎖状基の使用が可能である。具体的には、直鎖のアルキレン基 ($-(\text{CH}_2)_n-$ 、 $n=1\sim30$) (当該基中の $-\text{CH}_2-$ は、 $-\text{C}(=\text{O})-$ 、 $-\text{CONH}-$ 、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{NH}-$ 、 $-\text{S}-$ 、ベンゼン環、複素環 (ピリジン環、ピペリジン環、ピペラジン環、等の 5～6 員芳香族複素環又は 5～6 員非芳香族複素環)、等の基で複数個 (例えば、1～10 個、又は 1～5 個) 置き換えられても良く、当該 $-\text{CH}_2-$ の水素原子は、オキソ基 ($=\text{O}$)、 C_{1-6} アルキル基 (例えば、メチル基、エチル基、 n -プロピル基、*iso*-プロピル基、等の基)、ハロゲン原子 (例えば、フッ素原子、塩素原子、臭素原子、ヨウ素原子、等)、水酸基 ($-\text{OH}$)、等の基から選択される基で複数個 (例えば、1～10 個、又は 1～5 個) 置換されていても良い) が挙げられる。

【0168】

本明細書における新規なアルギン酸誘導体である式 (HA-I) 又は式 (HB-I)、及び、式 (HA-I I) 又は式 (HB-I I) で表わされるアルギン酸誘導体は、例えば、下記式の方法により製造することが可能である。

【0169】

【化 4 3】



【0170】

本明細書の式 (HA-I)、式 (HA-I I)、式 (HB-I) 又は式 (HB-I I) で表わされるアルギン酸誘導体の重量平均分子量は、10 万 Da～300 万 Da であり、好ましくは 30 万 Da～250 万 Da であり、より好ましくは 50 万 Da～200 万 Da である。当該両アルギン酸誘導体の分子量は、後述する方法により求めることができる。

【0171】

本明細書中、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) の $\text{Akn}-\text{L}^1-\text{NH}-$ 基は、アルギン酸構成単位の全てのカルボキシル基に結合している必要はなく、又、式 (HA-I I) 又は式 (HB-I I) の $\text{N}_3-\text{L}^2-\text{NH}-$ 基は、アルギン酸構成単位の全てのカルボキシル基に結合

している必要はない。

【0172】

本明細書中、式(HA-I)又は式(HB-I)の $Akn-L^1-NH$ -基を反応性基と言う場合、式(HA-II)又は式(HB-II)の N_3-L^2-NH -基が相補的な反応性基となる。又、逆に式(HA-II)又は式(HB-II)の N_3-L^2-NH -基を反応性基と言う場合、式(HA-I)又は式(HB-I)の $Akn-L^1-NH$ -基が相補的な反応性基となる。

【0173】

本明細書中、反応性基又は相補的な反応性基の導入率は、各々、0.1%~30%又は1%~30%であり、好ましくは2%~20%であり、より好ましくは3%~10%である。

10

【0174】

前記反応性基又は相補的な反応性基の導入率は、アルギン酸類の繰り返し単位であるウロン酸単糖単位のうち、各反応性基が導入されたウロン酸単糖単位の数を百分率で表した値である。本明細書中、特に断らない限り、アルギン酸誘導体(式(HA-I)、式(HA-II)、式(HB-I)又は式(HB-II))における反応性基又は相補的な反応性基の導入率に用いられる%は、mol%を意味する。各反応性基又は相補的な反応性基の導入率は、後述の実施例に記載の方法により求めることができる。

【0175】

本明細書中、式(HA-I)又は式(HB-I)中の環状アルキン基(Akn)及び式(HA-II)又は式(HB-II)中のアジド基が、Huisgen反応によりトリアゾール環を形成し、これにより架橋が形成される。

20

【0176】

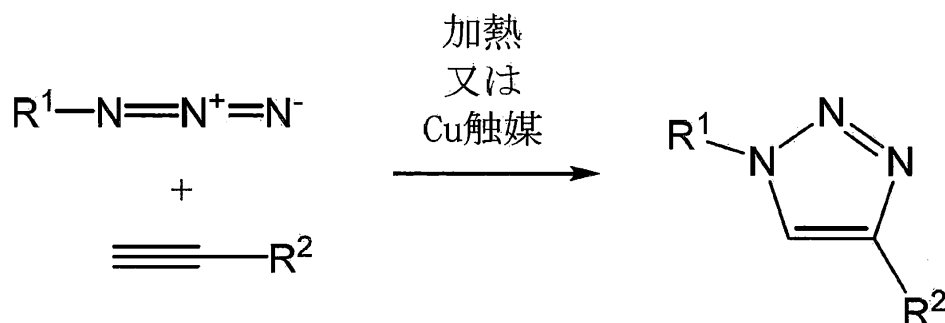
3. Huisgen反応

Huisgen反応(1,3-双極子付加環化反応)は、下記式に示される様に末端アジド基及び末端アルキン基を有する化合物間の縮合反応である。反応の結果、二置換1,2,3-トリアゾール環が収率良く得られ、余計な副生成物が生じないという特徴を有している。当該反応は、1,4-又は1,5-二置換トリアゾール環が生成し得ると考えられるが、銅触媒を用いることで位置選択的にトリアゾール環を得ることが可能である。

【0177】

30

【化44】



40

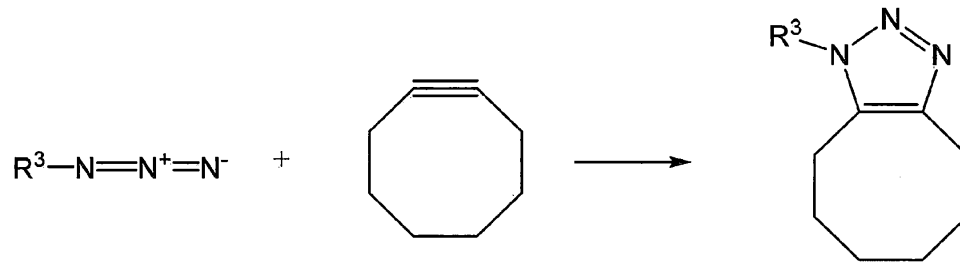
【0178】

又、銅触媒を用いないHuisgen反応がWittigとKrebsにより報告がなされている。即ち、シクロオクチンとフェニルアジドを混合するだけで環化付加体が得られる反応である(下記式中、 R^3 =フェニルである)。本反応は、シクロオクチンの三重結合が大きく歪んでいるため、フェニルアジドとの反応による歪みの解消が駆動力となり、反応が自発的に進行することにより、触媒が不要となった。

【0179】

50

【化 4 5】



10

【0180】

以上の様に、Huisgen反応は、置換された1級アジド、2級アジド、3級アジド、芳香族アジド、等を有するアジド化合物、及びアジド基の相補的な反応性基である末端又は環状アルキン基を有する化合物を用いることができる。又、Huisgen反応では、ほぼアジド基及びアルキン基のみが反応することから、反応基質中に種々の官能基（例えば、エステル基、カルボキシル基、アルケニル基、水酸基、アミノ基、等）を置換させることが可能である。

【0181】

いくつかの態様では、望ましくない副生成物を生じさせず、銅触媒による細胞毒性を回避させる為に銅触媒を用いずに、短時間、容易に、且つ効率的に1, 2, 3-トリアゾール環による架橋をアルギン酸分子間に形成させる為に、Huisgen反応のアルキン基としては、例えば、前述の第1の態様に記載した環状アルキン基（シクロオクチル基）を用いる。

20

【0182】

好ましい態様のアルギン酸誘導体の架橋方法においては、当該反応（Huisgen反応）にて望ましくない副生成物がほとんど形成されない。この場合、アルギン酸を用いた新規な形態の生体適合性材料の作製、及びアルギン酸ヒドロゲルの形成において、種々の生物活性分子を取込むこと、又、再建外科用又は遺伝子療法用のアルギン酸ヒドロゲルにて、細胞物質を取込むことが可能となる。

【0183】

4. 架橋アルギン酸

架橋アルギン酸は、(i) 2価の金属イオン結合を介したものと、(ii) 化学結合を介したものと、又は(iii) 2価の金属イオン結合及び化学結合の両方を介したものがある。何れの架橋アルギン酸は、ゲル状から半固体、場合によってはスポンジ様の形態を形成する特性を有している。

30

【0184】

2価の金属イオン結合を介した架橋アルギン酸は、超高速にて反応が進行し、可逆的であるのに対して、化学結合を介した架橋アルギン酸は、比較的温和な条件でゆっくり反応が進行し、非可逆的である。架橋アルギン酸の物性は、例えば、使用する2価金属イオンが含まれる水溶液（例えば、塩化カルシウム水溶液）の濃度、若しくは、アルギン酸に導入された反応性基の導入率を変化させる等の方法で、調整が可能である。

40

【0185】

前記の架橋反応を利用することで、種々のアルギン酸構造体を作製することが可能となる。例えば、イオン架橋反応により、アルギン酸溶液から瞬時に特定の構造体を作ることができ、当該構造体の構造強化（例えば、長期安定性の獲得、等）の為に、化学結合による架橋反応を利用すること可能である。又、例えば、2価の金属イオン結合及び化学結合の両方を介した架橋アルギン酸構造体において、イオン架橋により取り込まれた2価金属イオンは可逆的に放出されて、化学結合による架橋のみが残った構造体を作ること可能である。

なお、好ましい態様のアルギン酸誘導体を用いた架橋アルギン酸構造体は、化学結合に

50

よる架橋を含むため安定性を有し、アルギン酸ナトリウムを用いたイオン架橋のみの架橋アルギン酸構造体と比較して、形状を長期間維持することができ、有利である。

【0186】

ある態様の架橋アルギン酸は、前記式 (HA-I) 及び前記式 (HA-II) のアルギン酸誘導体を混合して Huisgen 反応を行うことにより、得ることができる。また、ある態様の架橋アルギン酸は、前記式 (HB-I) 及び前記式 (HB-II) のアルギン酸誘導体を混合して Huisgen 反応を行うことにより、得ることができる。

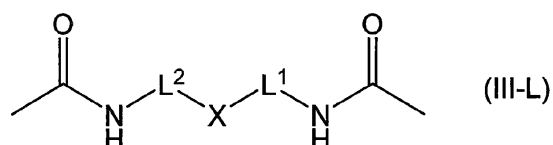
【0187】

ある態様の架橋アルギン酸は、化学架橋（アルキン基及びアジド基から形成されるトリアゾール環による架橋）を介して三次元の網目構造を形成する。好ましいアルギン酸誘導体は、架橋後の架橋アルギン酸の安定性が改善したものである。

【0188】

いくつかの態様の架橋アルギン酸は、第1のアルギン酸の任意のカルボキシル基と第2のアルギン酸の任意のカルボキシル基間が下記式 (HA-II I-L) 又は式 (HB-II I-L) :

【化46】



[式 (HA-II I-L) 又は式 (HB-II I-L) 中、両端の -CONH- 及び -NHCO- は、アルギン酸の任意のカルボキシル基を介したアミド結合を表わし； $\text{-L}^1\text{-}$ 、 $\text{-L}^2\text{-}$ 、及び X は、それぞれ前記第1の態様中の定義と同じである] を介してアミド結合した架橋アルギン酸である。

【0189】

いくつかの態様にて、架橋アルギン酸を調製する際の、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体と、式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体の混合比は、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) の誘導体と式 (HA-II) 又は式 (HB-II) の誘導体の重量比にて、例えば、1～1.5 : 1、好ましくは、1.2～1.5 : 1、または 1～1.2 : 1、より好ましくは 1 : 1 である。

【0190】

いくつかの態様にて、架橋アルギン酸を調製する際の、式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体と、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体の混合比は、式 (HA-II) 又は式 (HB-II) の誘導体と式 (HA-I) 又は式 (HB-I) の誘導体の重量比にて、例えば、1～4.0 : 1、好ましくは 1.5～4.0 : 1、または 1.2～1.5 : 1、または 1～1.2 : 1、より好ましくは 1 : 1 である。

【0191】

いくつかの態様にて、架橋アルギン酸を調製する際の、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体と、式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体の混合比は、より好ましくは式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体と式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体の反応性基の導入率 (mol%) 比にて、例えば、1～1.5 : 1、好ましくは、1.2～1.5 : 1、または 1～1.2 : 1、より好ましくは 1 : 1 である。

【0192】

いくつかの態様にて、架橋アルギン酸を調製する際の、式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体と、式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体の混合比は、より好ましくは式 (HA-II) 又は式 (HB-II) のアルギン酸誘導体と式 (HA-I) 又は式 (HB-I) のアルギン酸誘導体の反応性基の導入率 (mol%) 比にて、例えば、

1～4.0：1、好ましくは1.5～4.0：1、または1.2～1.5：1、または1～1.2：1、より好ましくは1：1である。

【0193】

尚、前記混合比において、式(HA-I)又は式(HB-I)のアルギン酸誘導体を式(HA-II)又は式(HB-II)のアルギン酸誘導体に、式(HA-II)又は式(HB-II)のアルギン酸誘導体を式(HA-I)又は式(HB-I)の誘導体に、それぞれ置き換えることも可能である。

【0194】

架橋アルギン酸は、アルギン酸の構成単位の全てのカルボキシル基が上記式(HA-II-I-L)又は式(HB-II-I-L)の架橋を有している必要はない。架橋アルギン酸における、上記式(HA-II-I-L)又は式(HB-II-I-L)で表わされる架橋の導入率(架橋率とも言う)は、例えば、0.1～80%、0.3～60%、0.5～30%、または1.0～10%の範囲である。

【0195】

架橋アルギン酸を得るためのHuisgen反応における式(HA-I)、式(HA-II)、式(HB-I)又は式(HB-II)のアルギン酸誘導体の濃度は、通常1～500mg/mLであり、好ましくは5～100mg/mLの範囲である。

【0196】

Huisgen反応の反応温度は、通常、外温4～60℃であり、好ましくは外温15～40℃の範囲である。

【0197】

架橋アルギン酸(ヒドロゲル)を形成させる為の攪拌時間は、例えば、数秒～24時間、数秒～12時間、数秒～30分間、又は、数秒～10分間である。

【0198】

Huisgen反応に用いる反応溶媒又は反応溶液は、特に限定はされないが、例えば、水道水、純水(例えば、蒸留水、イオン交換水、RO水、RO-EDI水、等)、超純水、細胞培養用培地、リン酸緩衝生理食塩水(PBS)、生理食塩水、及びHEPES緩衝液等が挙げられ、好ましくは超純水である。

【0199】

いくつかの態様の架橋アルギン酸は、架橋としてHuisgen反応により形成されるトリアゾール環による化学架橋、及びカルシウムイオンにより部分的に形成されるイオン架橋を含む、架橋アルギン酸である。

【0200】

5. 架橋アルギン酸構造体

架橋アルギン酸構造体は、前記アルギン酸誘導体に架橋反応を施すことを含む方法により得ることができる。例えば、以下の方法によって調製することが可能だが、これらに限定されるものでない。

【0201】

[混和法]

式(HA-I)又は式(HB-I)のアルギン酸誘導体及び式(HA-II)又は式(HB-II)のアルギン酸誘導体を混和して得られるアルギン酸誘導体の混合溶液を、2価金属イオンを含む溶液中に滴下することで、化学架橋(Huisgen反応によりアルキン基及びアジド基から形成されるトリアゾール環による架橋)及びイオン架橋(2価金属イオンにより部分的に形成される架橋)が形成された、特定の構造体である、架橋アルギン酸構造体を得ることができる。

【0202】

[コーティング法]

式(HA-I)又は式(HB-I)のアルギン酸誘導体を含む溶液を、2価金属イオンを含む溶液中に滴下する等して部分的に架橋された特定の構造体得られる。前記で得られた、例えばゲル等の構造体を、前述の式(HA-II)又は式(HB-II)のアルギン酸誘導

体を含む溶液に添加することにより、前記構造体の表面等にさらなる架橋反応（H u i s g e n 反応）を施すことにより、架橋アルギン酸構造体を得ることができる。尚、この方法は、式（HA-I）又は式（HB-I）のアルギン酸誘導体を式（HA-II）又は式（HB-II）のアルギン酸誘導体に、式（HA-II）又は式（HB-II）のアルギン酸誘導体を式（HA-I）又は式（HB-I）のアルギン酸誘導体に、それぞれ置き換えて実施することも可能である。

【0203】

前記方法にて用いる2価金属イオンとしては、特に限定されないが、例えば、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、バリウムイオン、ストロンチウムイオン、亜鉛イオン等が挙げられ、好ましくはカルシウムイオンである。

【0204】

前記方法にて用いるカルシウムイオンを含む溶液としては、特に限定されないが、例えば、塩化カルシウム水溶液、炭酸カルシウム水溶液、グルコン酸カルシウム水溶液、等の水溶液が挙げられ、好ましくは塩化カルシウム水溶液である。

【0205】

前記方法にて用いるカルシウムイオンを含む溶液のカルシウムイオン濃度は、特に限定されないが、例えば、1 mM～1 Mが挙げられ、好ましくは、5 mM～500 mMであり、より好ましくは、10 mM～300 mMである。

【0206】

前記方法にて用いる溶媒または溶液も特に限定されないが、例えば、水道水、純水（例えば、蒸留水、イオン交換水、RO水、RO-EDI水、等）、超純水、細胞培養用培地、リン酸緩衝生理食塩水（PBS）、生理食塩水、及びHEPES緩衝液等が挙げられ、好ましくは超純水である。

【0207】

特定の架橋アルギン酸構造体としては、例えば、繊維状構造体、ファイバー、ビーズ、ゲル、略球形のゲル、等が挙げられる。好ましい架橋アルギン酸構造体は、安定性が改善したものである。又、架橋アルギン酸構造体は、その内部に内容物を保持する能力（内容物保持性）を有していてもよい。

【0208】

アルギン酸ゲルの物性は、硬さ、弾性、反発力、断裂力、破断時応力、等の物性値により調節することが可能である。

【0209】

6. アルギン酸誘導体、架橋アルギン酸構造体の生体適合性

本明細書において、アルギン酸誘導体、又は架橋アルギン酸構造体は、生体適合性を有する。本明細書において、生体適合性とは、生体用材料（ここでは、例えば、式（HA-I）及び式（HA-II）で表わされるアルギン酸誘導体、及び当該両アルギン酸誘導体を用いて製造された架橋アルギン酸構造体のことを言う）と生体間の相互作用、前記生体用材料に隣接する組織の局所的反応、又は全身的反応等の反応を引き起こさない性質を、生体適合性（biocompatibility）を有するという。

【0210】

本明細書において、アルギン酸誘導体、又は架橋アルギン酸構造体の生体適合性に関しては、後述する生体適合性に関する実施例にて確認する。

【0211】

7. 架橋アルギン酸構造体の安定性

架橋アルギン酸構造体の安定性は、例えば、ゲル安定性を測定すること、透過性はゲル透過率を測定することなどで確認することができる。

【0212】

〔ゲル安定性の測定法〕

容器に入れた架橋アルギン酸構造体ゲルにリン酸緩衝生理食塩水（PBS）を添加し、PBS中に漏出したアルギン酸の濃度（ $\mu\text{g}/\text{mL}$ ）を測定する。測定したアルギン酸濃

10

20

30

40

50

度を、架橋アルギン酸構造体ゲルを分解することで得た全アルギン酸濃度で除した値を百分率で示した値を、崩壊率とする。ゲル安定性は、具体的には、後述の実施例に記載の方法により求めることができる。

【0213】

本明細書中、架橋アルギン酸構造体のゲル崩壊率は、好ましくは0%～90%であり、より好ましくは0%～70%であり、更に好ましくは0%～50%である。架橋アルギン酸構造体の安定性は、水溶液中に漏出するアルギン酸の濃度が低いほど、すなわちゲル崩壊率が低いほど、安定性が高いことを意味する。

【0214】

[ゲル透過率の測定法]

フルオレセインイソチオシアナート-デキストランを内包した架橋アルギン酸構造体ゲルを作製し、容器に入れた前記ゲルに生理食塩水を添加し、生理食塩水中に漏出したデキストラン濃度を測定する。測定したデキストランの濃度を、フルオレセインイソチオシアナート-デキストラン内包架橋アルギン酸構造体ゲルを分解することで得た全デキストラン濃度で除した値を百分率で示した値がゲル透過率である。ゲル透過率は、具体的には、後述の実施例に記載の方法により求めることができる。

【0215】

架橋アルギン酸の生理食塩水添加24時間後のゲル透過率は、例えば、分子量200万のデキストランを内包した場合、好ましくは0%～90%であり、より好ましくは0%～70%であり、更に好ましくは0%～50%である。又、分子量15万のデキストランを内包した場合、例えば、当該架橋アルギン酸構造体ゲルの使用目的がたんぱく質や抗体の放出・産生であるならば、好ましくは1%～100%であり、より好ましくは10%～100%であり、更に好ましくは30%～100%である。又、使用目的が免疫隔壁であるならば、好ましくは0%～90%であり、より好ましくは0%～70%であり、更に好ましくは0%～50%である。

【0216】

架橋アルギン酸構造体の透過性は、透過率が低いほど、内容物やゲル外物質の透過性が低いことを意味し、透過率が高いほど、内容物やゲル外物質の透過率が高いことを意味する。

【0217】

ゲルの透過率は、使用するアルギン酸の分子量、濃度、アルギン酸に導入する架橋基の種類や導入率、ゲル化に用いる2価金属イオンの種類や濃度、またはこれらの組み合わせによって調整することが可能である。

【0218】

[内容物が内包した架橋アルギン酸構造体ゲルの調製方法]

例えば、内容物としてフルオレセインイソチオシアナート-デキストランを内包した架橋アルギン酸構造体ゲルは以下の方法にて調製できる。

【0219】

(1) 式(HA-I)又は式(HB-I)で表わされるアルギン酸誘導体の溶液とフルオレセインイソチオシアナート-デキストラン溶液を混和する。

(2) (1)で得られた混合溶液に、式(HA-II)又は式(HB-II)で表わされるアルギン酸誘導体の溶液を混和する。

((1)の式(HA-I)又は式(HB-I)を式(HA-II)又は式(HB-II)に変更する場合、(2)の式(HA-II)又は式(HB-II)は式(HA-I)又は式(HB-I)に変更することになる)

(3) (2)で得られた混合溶液を、カルシウムイオンを含む溶液中に滴下し得られたゲルが、溶液中で、化学架橋及びイオン架橋を形成することにより、フルオレセインイソチオシアナート-デキストラン内包の架橋アルギン酸構造体ゲルが得られる。

【0220】

8. アルギン酸誘導体の合成方法

式（H A - I）又は式（H A - I I）で表わされるアルギン酸誘導体は、P C T / J P 2 0 1 9 / 0 2 3 4 7 8（2019年6月13日出願）を参照することで製造することができる。

【0221】

9. アルギン酸誘導体、架橋アルギン酸構造体の用途

アルギン酸誘導体は、前述の通り、移植用デバイスを作製するのに用いることができる。移植用デバイス以外にも、アルギン酸誘導体は、食品、医療、化粧品、繊維、製紙などの幅広い分野で、従来のアルギン酸の代わりに用いることができる。アルギン酸誘導体または架橋アルギン酸構造体の好ましい用途としては、具体的には、創傷被覆材、術後癒着防止材、薬剤徐放用基材、細胞培養用基材、細胞移植用基材等の医療用材料が挙げられる。

10

【0222】

医療用材料として用いる場合の架橋アルギン酸構造体の形状として、チューブ状、繊維状、ファイバー、ビーズ、ゲル、略球形のゲル等が挙げられ、ビーズ、ゲルまたは略球形のゲルとすることが好ましく、略球形のゲルとすることがより好ましい。

【0223】

アルギン酸誘導体を用いる特に好ましい態様の移植用デバイスは、生体適合性や安定性に優れ、細胞毒性も少なく、移植部位における癒着や炎症もほとんどなく、（半透膜の有無に関わらず）ゲルの溶解が少なく形状が長期間維持され、長期間にわたり、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能となる。

【0224】

20

本発明における治癒率とは、糖尿病患者又は糖尿病モデル動物に対し、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲル、又は、当該ハイドロゲルを含む移植用デバイスを移植し、移植後の所定期間経過時において、移植例数に対する治療例数の割合で表される。

例えば、実施例7の方法で得た複数の糖尿病モデルマウスに対し、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲル、又は、当該ハイドロゲルを含む移植用デバイスを移植し、移植後の所定期間中において、血糖値が300mg/dL以下（但し、期間中3回までは300mg/dLを超えることを許容する）である場合を治癒マウスとし、糖尿病モデルマウスに対する治癒マウスの割合で表される。

治癒率は、例えば、移植後2週間で20%以上、好ましくは35%以上、より好ましくは50%以上である。または、移植後1ヶ月で20%以上、好ましくは35%以上、より好ましくは50%以上である。

30

【0225】

本発明における酸素透過率とは、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲル、又は、当該ハイドロゲルを含む移植用デバイスの表面酸素濃度を100%とした場合の中心部酸素濃度の割合で表される。中心部とは、平板型ゲルにあっては縦方向、横方向及び厚さ方向のいずれも略中央部を意味する。

酸素透過率は、前記ハイドロゲル又はデバイスを測定することにより算出してもよく、計算により算出してもよい。測定により算出する場合は、例えばPreSens社製ニードル式酸素計（OXY-1 S T t r a c e）を使用し、表面酸素濃度と中心部酸素濃度の測定値から算出することができる。

40

【0226】

また、酸素透過率を計算により算出する場合、まず、ハイドロゲルを空間上の直交座標系に配置した時の酸素濃度の反応拡散方程式として以下の通りとなる。

【数1】

$$\frac{\partial C_{(x,y,z,t)}}{\partial t} = D_{Ae} \left(\frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial z^2} \right) - Q_{O_2} X$$

50

そして、 $Q_{O_2X} = r_{O_2}$ （0次反応）とし、定常状態（ $(\partial C / \partial t) = 0$ ）における酸素濃度分布を求めると、以下の式で表される。

【数 2】

$$0 = D_{Ae} \left(\frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial z^2} \right) - r_{O_2}$$

そして、x方向を $x=i\Delta x$ 、y方向を $y=j\Delta y$ 、z方向を $z=k\Delta z$ で等分割し、濃度を $C(x,y,z)=C_{i,j,k}$ の節点値で差分化することにより、次の式を得、かかる式により算出する。ただし、 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta$ とする。

【数 3】

$$C_{i,j,k} = \frac{1}{6} \left[C_{i-1,j,k} + C_{i+1,j,k} + C_{i,j+1,k} + C_{i,j-1,k} + C_{i,j,k+1} + C_{i,j,k-1} - \frac{\Delta^2 \cdot r_{O_2}}{D_{Ae}} \right]$$

酸素透過率は、0%でなければよく、例えば、1～100%、好ましくは10～100%、より好ましくは25～100%、更に好ましくは50～100%、特に好ましくは75～100%である。また、好ましくは25～50%、より好ましくは50～75%、特に好ましくは75～100%である。

【0227】

本発明における物質透過率とは、インスリン分泌細胞又は膵島が封入されたハイドロゲル、又は、当該ハイドロゲルを含む移植用デバイスに所定の物質を封入し、攪拌した溶液中で所定時間置いた後の前記ハイドロゲル又は移植用デバイスからの物質透過率を意味する。物質としては、グルコース、インスリン、等が挙げられる。

例えば、ヒトインスリン500mg又はグルコース250mgをハイドロゲル又は移植用デバイスに封入し、室温の0.01 Tween 20含有生理食塩水40mL中で24時間攪拌した場合のインスリン透過率又はグルコース透過率が挙げられる。

インスリン透過率は、50%以上、好ましくは70%以上、より好ましくは80%以上である。また、グルコース透過率は、50%以上、好ましくは70%以上、より好ましくは80%以上である。

【0228】

本発明のハイドロゲルは、所定条件で振とうしても破断、分解又は溶解が無いか少ない。例えば、縦10mm×横20mm×厚さ0.1～5mmもしくは約20～1000mm³のハイドロゲル、縦10mm×横20mm×厚さ100μm以上500μm未満もしくは約20mm³以上～100mm³未満のハイドロゲル、または、縦10mm×横20mm×厚さ250μmもしくは約50mm³のハイドロゲルを3枚用意し、15mLコニカルチューブ中の37℃の生理食塩水溶液12mL中に加え、振とう培養器（例えば、中型恒温振とう培養機（タイテック株式会社、バイオシェーカー（登録商標）BR-43FL・MR））を使用し、37℃で維持したまま往復振とうの方式で振幅25mm、振とう速度180rpmの条件で振とうした時に、破断、分解又は溶解が無いか少ない。

ハイドロゲルの分解又は溶解が少ないとは、例えば、ハイドロゲル中のアルギン酸を100%とし、前記条件で振とうした時に溶液中に溶出したアルギン酸の割合を崩壊率とした場合に、崩壊率が40%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下、の場合をいう。特に、前記条件で24時間振とうした時に溶液中に溶出したアルギン酸の割合を崩壊率とした場合に、崩壊率が30%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下、の場合をいう。また、前記条件で96時間振とうした時に溶液中に溶出したアルギン酸の割合を崩壊率とした場合に、崩壊率が30%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下、の場合をいう。

【0229】

本発明のハイドロゲルは、所定条件で振とうしてもハイドロゲル中の細胞が脱落しないか脱落が少ない。例えば、縦10mm×横20mm×厚さ0.1～5mmもしくは約20～1000mm³のハイドロゲル、縦10mm×横20mm×厚さ100μm以上500μm未満もしくは約20mm³以上～100mm³未満のハイドロゲル、または、縦10mm×横20mm×厚さ250μmもしくは約50mm³のハイドロゲル（いずれの場合も細胞が封入されている）を3枚用意し、15mLコニカルチューブ中の37℃の生理食塩水溶液12mL中に加え、振とう培養器（例えば、中型恒温振とう培養機（タイテック株式会社、バイオシェーカー（登録商標）BR-43FL・MR））を使用し、37℃で維持したまま往復振とうの方式で振幅25mm、振とう速度180rpmの条件で振とうした時に、細胞のハイドロゲルからの脱落が無い、脱落が少ない。

10

細胞のハイドロゲルからの脱落が少ないとは、例えば、試験開始時のハイドロゲル中の細胞数を100%とし、前記条件で振とうした時にハイドロゲルから脱落する細胞の割合を脱落率とした場合に、脱落率が30%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下、の場合をいう。特に、前記条件で24時間振とうした時の脱落率が、30%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下、の場合をいう。

【0230】

なお、本明細書に記載した全ての文献及び刊行物は、その目的にかかわらず参照によりその全体を本明細書に組み込むものとする。また、本明細書は、日本特許出願No. 2019-122063（2019年6月28日出願）及び国際特許出願No. PCT/JP2020/25324（2020年6月26日出願）の特許請求の範囲、明細書、及び図面の開示内容を参照して組み込むものとする。

20

【0231】

また、本発明の目的、特徴、利点、及びそのアイデアは、本明細書の記載により、当業者には明らかであり、本明細書の記載から、当業者であれば、容易に本発明を実施できる。発明を実施するための最良の形態及び具体的な実施例などは、本発明の好ましい実施態様を示すものであり、例示又は説明のために示されているのであって、本発明をそれらに限定するものではない。本明細書で開示されている本発明の意図ならびに範囲内で、本明細書の記載に基づき、様々に修飾ができることは、当業者にとって明らかである。

【実施例】

30

【0232】

次に、本発明をさらに詳細に説明するために実施例、試験例をあげるが、これらの例は単なる実施例、試験例であって、本発明を限定するものではなく、また本発明の範囲を逸脱しない範囲で変化させてもよい。

【0233】

核磁気共鳴スペクトル（NMR）の測定には、JEOL JNM-ECX400 FT-NMR（日本電子）を用いた。液体クロマトグラフィー質量分析スペクトル（LC-Mass）は以下の方法で測定した。[UPLC] Waters AQUITY UPLCシステムおよびBEH C18カラム（2.1mm×50mm、1.7μm）（Waters）を用い、アセトニトリル：0.05%トリフルオロ酢酸水溶液＝5：95（0分）～95：5（1.0分）～95：5（1.6分）～5：95（2.0分）の移動相およびグラジエント条件を用いた。

40

【0234】

¹H-NMRデータ中、NMRシグナルのパターンで、sはシングレット、dはダブルット、tはトリプレット、qはカルテット、mはマルチプレット、brはブロード、Jはカップリング定数、Hzはヘルツ、CDCl₃は重クロロホルム、DMSO-D₆は重ジメチルスルホキシド、D₂Oは重水を意味する。¹H-NMRデータ中、水酸基（OH）、アミノ基（NH₂）、カルボキシル基（COOH）のプロトン等、ブロードバンドであるため確認ができないシグナルについては、データに記載していない。

【0235】

50

LC-Massデータ中、Mは分子量、RTは保持時間、 $[M+H]^+$ 、 $[M+Na]^+$ は分子イオンピークを意味する。

【0236】

実施例中の「室温」は、通常約0℃から約35℃の温度を示すものとする。

実施例中の反応性置換基導入率（モル%）は、 ^1H-NMR （ D_2O ）から算出されたアルギン酸を構成する単糖（グルロン酸およびマンヌロン酸）単位のモル数に対する導入された反応性置換基のモル数の割合を示すものとする。

【0237】

実施例において、反応性基又は相補的な反応性基が導入される前のアルギン酸ナトリウムは、前記表10に記される物性値を示すアルギン酸ナトリウムを用いた。

【0238】

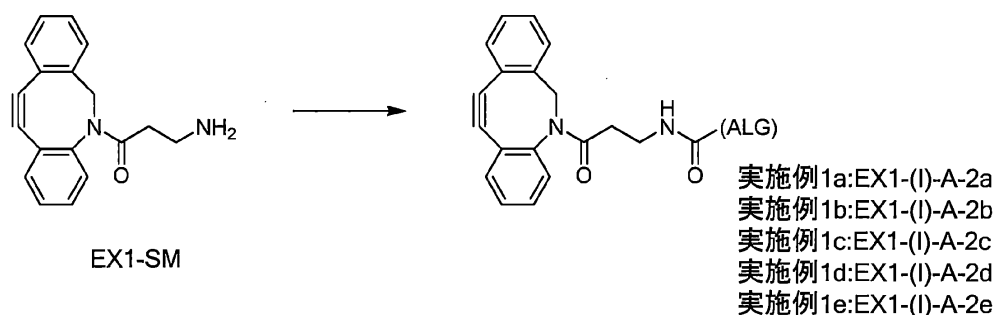
表12には、（実施例1）～（実施例4-2）で得られた、反応性基が導入されたアルギン酸誘導体（実施例1a、実施例2a）の、物性値（具体的には、反応性基導入率（mol%）、分子量、及び重量平均分子量（万Da））を示す。

【0239】

（実施例1）

ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸（実施例1a、実施例1b、実施例1c、実施例1d、及び実施例1e）の合成：

【化47】



【0240】

（実施例1a）ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸（EX1-(I)-A-2a）の合成：

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（43.6 mL）に、4-（4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（111.65 mg）、1モル濃度-重曹水（403.5 μ L）を加えた。この溶液に、市販のジベンゾシクロオクチン-アミン〔CAS: 1255942-06-3〕（EX1-SM、83.62 mg）のエタノール溶液（2 mL）を滴下し、室温で18時間攪拌した。塩化ナトリウム（400 mg）を加えた後、エタノール（87.2 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX1-(I)-A-2a（376 mg）を淡黄色固体として得た。

【0241】

反応性置換基（ジベンゾシクロオクチン-アミノ基）の導入率は6.9 mol%（ NMR 積分比）であった。

【0242】

（実施例1b）ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸（EX1-(I)-A-2b）の合成：

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（120 mL）に、4-（4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（330 mg）、1モル濃度-重曹

水 (300 μ L) を加えた。この溶液に、市販のジベンゾシクロオクチン-アミン [CAS: 1255942-06-3] (EX1-SM、80 mg) のエタノール溶液 (12 mL) を滴下し、30℃で4時間攪拌した。塩化ナトリウム (1.2 g) を加えた後、エタノール (240 mL) を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2b (1.19 g) を白色固体として得た。

当該白色固体を80 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で23時間乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2b (1.2 g) を白色アモルファスとして得た。

【0243】

反応性置換基 (ジベンゾシクロオクチン-アミノ基) の導入率は5.0 mol% (NMR 積分比) であった。

【0244】

(実施例1c) ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸 (EX1-(I)-A-2c) の合成:

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム (持田製薬株式会社製: A-2) 水溶液 (120 mL) に、4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4-メチルモルホリニウムクロリド (DMT-MM) (167 mg)、1モル濃度-重曹水 (151 μ L) を加えた。この溶液に、市販のジベンゾシクロオクチン-アミン [CAS: 1255942-06-3] (EX1-SM、42 mg) のエタノール溶液 (12 mL) を滴下し、30℃で3.5時間攪拌した。塩化ナトリウム (1.2 g) を加えた後、エタノール (240 mL) を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2c (1.2 g) を白色固体として得た。

当該白色固体を80 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で23時間乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2c (1.15 g) を白色アモルファスとして得た。

【0245】

反応性置換基 (ジベンゾシクロオクチン-アミノ基) の導入率は2.3 mol% (NMR 積分比) であった。

【0246】

(実施例1d) ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸 (EX1-(I)-A-2d) の合成:

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム (持田製薬株式会社製: A-2) 水溶液 (201 mL) に、4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4-メチルモルホリニウムクロリド (DMT-MM) (281 mg)、1モル濃度-重曹水 (253 μ L) を加えた。この溶液に、市販のジベンゾシクロオクチン-アミン [CAS: 1255942-06-3] (EX1-SM、70 mg) のエタノール溶液 (20 mL) を滴下し、32℃で3時間攪拌した。塩化ナトリウム (2.01 g) を加えた後、エタノール (402 mL) を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2d (1.94 g) を白色固体として得た。

当該白色固体を130 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、室温で2時間乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2d (1.84 g) を白色アモルファスとして得た。

【0247】

反応性置換基 (ジベンゾシクロオクチン-アミノ基) の導入率は2.4 mol% (NMR 積分比) であった。

【0248】

(実施例1e) ジベンゾシクロオクチン-アミノ基導入アルギン酸 (EX1-(I)-A-2e) の合成:

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム (持田製薬株式会社製: A-2) 水溶液 (250 mL) に、4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4

10

20

30

40

50

ーメチルモルホリニウムクロリド (DMT-MM) (307 mg)、1モル濃度一重曹水 (277 μ L) を加えた。この溶液に、市販のジベンゾシクロオクチン-アミン [CAS: 1255942-06-3] (EX1-SM、77 mg) のエタノール溶液 (25 mL) を加え、32°Cで3時間攪拌した。反応液に、塩化ナトリウム (2.5 g) を加えた後、エタノール (500 mL) を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2e (2.42 g) を白色固体として得た。

当該白色固体を160 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、室温で2時間乾燥して、標記化合物 EX1-(I)-A-2e (2.34 g) を白色アモルファスとして得た。

【0249】

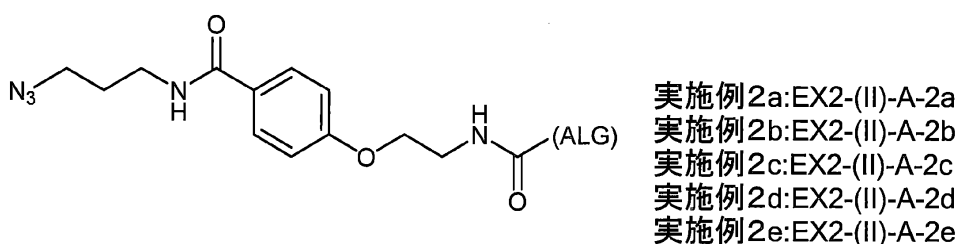
反応性置換基 (ジベンゾシクロオクチン-アミノ基) の導入率は2.2mol% (NMR積分比) であった。

【0250】

(実施例2)

4-(2-アミノエトキシ)-N-(3-アジドプロピル)ベンズアミド基導入アルギン酸 (実施例2a、実施例2b、実施例2c、実施例2d、及び実施例2e) の合成：

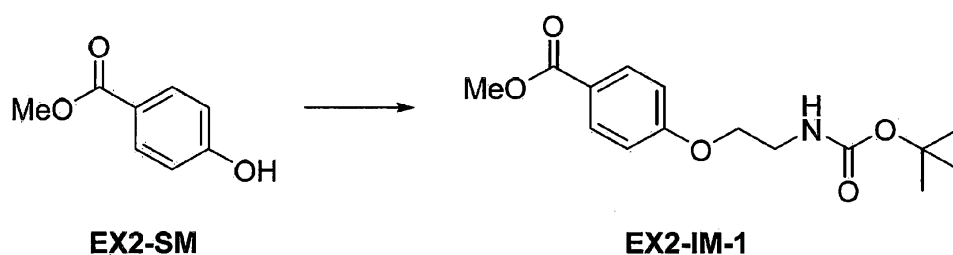
【化48】



【0251】

<工程1>メチル 4-(2-((tert-butoxycarbonyl)amino)エトキシ)ベンゾエート (化合物 EX2-IM-1) の合成：

【化49】



【0252】

トリフェニルホスフィン (0.96 g) のテトラヒドロフラン (2.59 mL) 溶液に、氷冷攪拌下、アゾジカルボン酸ジエチル (40%トルエン溶液, 1.92 mL) 溶液を加え、室温で20分間攪拌した。この溶液に対し、氷冷攪拌下、市販の4-ヒドロキシ安息香酸 メチル [CAS: 99-76-3] (化合物 EX2-SM、0.37 g) 及び2-(tert-butoxycarbonyl)エタノールアミン [CAS: 26690-80-2] (0.39 g) のテトラヒドロフラン (1.1 mL) 溶液を加え、室温で17時間攪拌した。反応液を減圧下濃縮し、残留物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (5%酢酸エチル/n-ヘプタン~40%酢酸エチル/n-ヘプタン) により精製し、化合物1と化合物2の混合物を得た。この混合物をメチル tert-ブチルエーテル (20 mL) に溶解させ、1規定一水酸化ナトリウム水溶液 (5 mL) で2回、飽和食塩水 (5 mL) で順次洗浄した。有機層を無水硫酸ナトリウムで乾燥させた後、減圧下で溶媒を留去し、化合物 EX2-IM-1 (0.45 g) をピンク色のオイル状物質として得た。

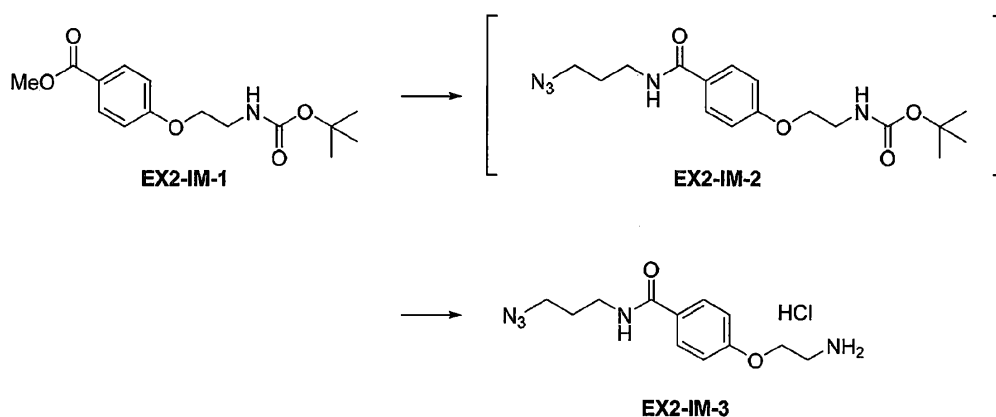
【0253】

NMRデータ (CDCl₃) (δ: ppm): 7.98 (2H, d, J = 8.8 Hz), 6.90 (2H, d, J = 8.8 Hz), 4.97 (1H, br s), 4.07 (2H, t, J = 5.2 Hz), 3.88 (3H, s), 3.56 (2H, q, J = 5.2 Hz), 1.45 (9H, s)

【0254】

<工程2> 4-(2-アミノエトキシ)-N-(3-アジドプロピル)ベンズアミド塩酸塩 (化合物EX2-IM-3) の合成:

【化50】



【0255】

(実施例2) <工程1>で得られた化合物EX2-IM-1 (0.44 g) のメタノール (4.4 mL) 溶液に水酸化リチウム水和物 (0.25 g) を加え、60℃で3時間30分撹拌した。反応液に1規定塩酸 (5 mL) を加え、酢酸エチル (10 mL) で3回抽出した。有機層を水 (5 mL)、飽和食塩水 (5 mL) で順次洗浄し、無水硫酸ナトリウムで乾燥させ、減圧下で溶媒を留去した。残留物をアセトニトリル (4.4 mL) に溶解させ、3-アジドプロパン-1-アミン [CAS: 88192-19-2] (0.15 g) とO-(7-アザベンゾトリアゾール-1-イル)-N,N,N',N'-テトラメチルウロニウムヘキサフルオロリン酸塩 (0.57 g) を加えた。続いて、氷冷撹拌下、N,N-ジイソプロピルエチルアミン (0.52 mL) を加え、室温で5時間撹拌した。反応液に対し水 (10 mL) を加え、酢酸エチル (15 mL) で3回抽出し、有機層を無水硫酸ナトリウムで乾燥させ、減圧下で溶媒を留去した。残留物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (16% 酢酸エチル/n-ヘプタン~100% 酢酸エチル) により精製し、化合物EX2-IM-2 (0.71 g) を含む画分を得た。

【0256】

化合物EX2-IM-2を含む画分 (0.71 g) に対し、4規定塩化水素/1, 4-ジオキサン (4.9 mL) を加え、室温で20分間撹拌した。反応液にジイソプロピルエーテルを加えた後、析出物を濾過することで、標記化合物EX2-IM-3 (0.49 g) を白色固体として得た。

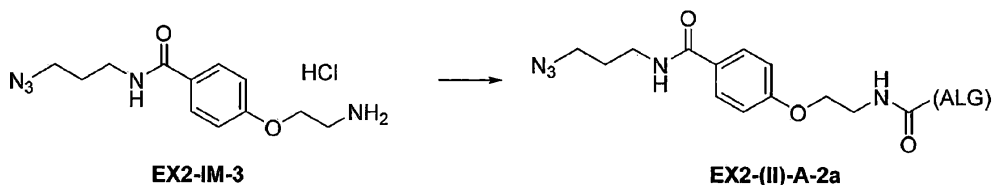
【0257】

NMRデータ (CDCl₃) (δ: ppm): 7.60 (2H, d, J = 8.8 Hz), 6.93 (2H, d, J = 8.8 Hz), 4.19 (2H, t, J = 4.8 Hz), 3.31-3.29 (6H, m), 1.77-1.71 (2H, m). LC-MS: M (free amine) = 263, RT = 0.54 (分)、[M+H]⁺ = 264

【0258】

(実施例2a) 4-(2-アミノエトキシ)-N-(3-アジドプロピル)ベンズアミド基導入アルギン酸 (化合物EX2-(II)-A-2a) の合成:

【化 5 1】



【0 2 5 9】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（19.6 mL）に、氷冷攪拌下、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（50.19 mg）、（実施例2）＜工程2＞で得られた化合物EX2-IM-3（54.37 mg）、1モル濃度-重曹水（181.4 μ L）を加え、室温で5時間攪拌した。塩化ナトリウム（200 mg）を加えた後、エタノール（39.2 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX2-（II）-A-2a（198 mg）を白色固体として得た。

10

【0 2 6 0】

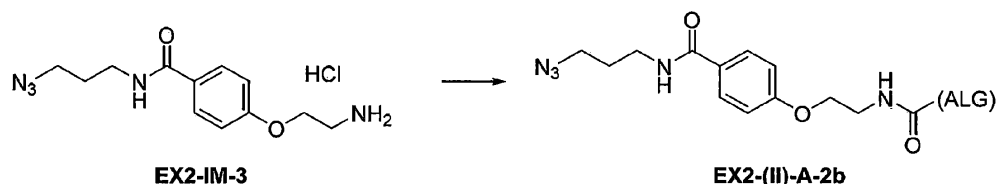
反応性置換基（4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基）の導入率は6.1mol%（NMR積分比）であった。

20

【0 2 6 1】

（実施例2b） 4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基導入アルギン酸（化合物EX2-（II）-A-2b）の合成：

【化 5 2】



30

【0 2 6 2】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（120 mL）に、氷冷攪拌下、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（330 mg）、（実施例2）＜工程2＞で得られた化合物EX2-IM-3（90 mg）、1モル濃度-重曹水（450 μ L）を加え、30℃で4時間攪拌した。塩化ナトリウム（1.2 g）を加えた後、エタノール（240 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX2-（II）-A-2b（1.22 g）を白色固体として得た。

40

当該白色固体を80 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で23時間乾燥して、標記化合物EX3-（II）-A-2b（1.19 g）を白色アモルファスとして得た。

【0 2 6 3】

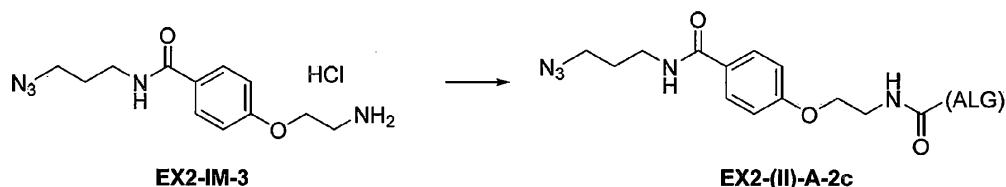
反応性置換基（4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基）の導入率は4.9mol%（NMR積分比）であった。

【0 2 6 4】

（実施例2c） 4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基導入アルギン酸（化合物EX2-（II）-A-2c）の合成：

50

【化53】



【0265】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（120 mL）に、氷冷攪拌下、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（167 mg）、（実施例2）＜工程2＞で得られた化合物EX2-IM-3（45 mg）、1モル濃度-重曹水（227 μ L）を加え、30℃で3.5時間攪拌した。塩化ナトリウム（1.2 g）を加えた後、エタノール（240 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2c（1.22 g）を白色固体として得た。

当該白色固体を80 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で22時間乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2c（1.15 g）を白色アモルファスとして得た。

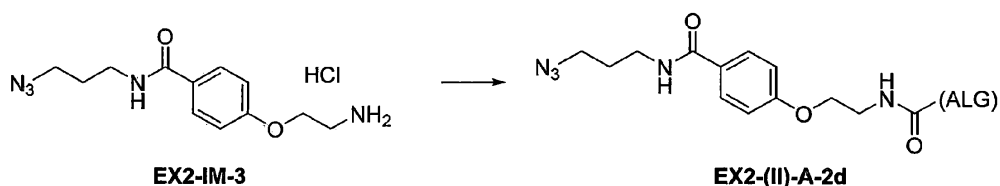
【0266】

反応性置換基（4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基）の導入率は2.3mol%（NMR積分比）であった。

【0267】

（実施例2d）4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基導入アルギン酸（化合物EX2-(II)-A-2d）の合成：

【化54】



【0268】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（220 mL）に、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（307 mg）、（実施例2）＜工程2＞で得られた化合物EX2-IM-3（83 mg）、1モル濃度-重曹水（416 μ L）を加え、32℃で3時間攪拌した。塩化ナトリウム（2.2 g）を加えた後、エタノール（440 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2d（2.13 g）を白色固体として得た。

当該白色固体を130 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、室温で2時間乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2d（1.99 g）を白色アモルファスとして得た。

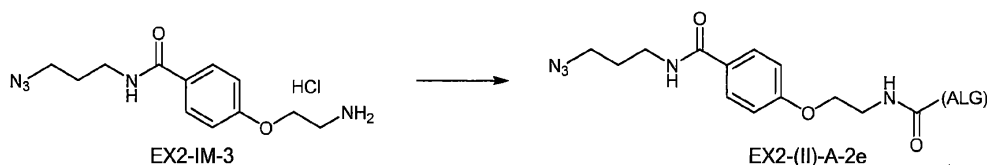
【0269】

反応性置換基（4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基）の導入率は2.3mol%（NMR積分比）であった。

【0270】

（実施例2e）4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基導入アルギン酸（化合物EX2-(II)-A-2e）の合成：

【化 5 5】



【0 2 7 1】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（270 mL）に、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（377 mg）、（実施例2）＜工程2＞で得られた化合物EX2-IM-3（102 mg）、1モル濃度-重曹水（511 μL）を加え、32℃で3時間撹拌した。反応液に、塩化ナトリウム（2.7 g）を加えた後、エタノール（540 mL）を加え、30分間室温で撹拌した。得られた沈殿をろ取り、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2e（2.60 g）を白色固体として得た。

10

当該白色固体を160 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、室温で2時間乾燥して、標記化合物EX2-(II)-A-2e（2.56 g）を白色アモルファスとして得た。

【0 2 7 2】

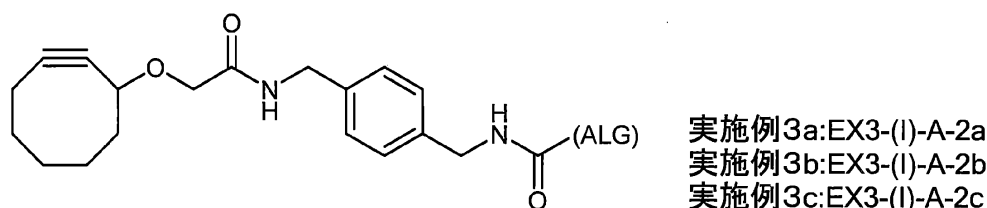
反応性置換基（4-（2-アミノエトキシ）-N-（3-アジドプロピル）ベンズアミド基）の導入率は2.4 mol%（NMR積分比）であった。

20

【0 2 7 3】

（実施例3）

N-（4-（アミノエチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イン-1-イロキシ）アセトアミド基導入アルギン酸（実施例3a、実施例3b、及び実施例3c）の合成：
【化 5 6】

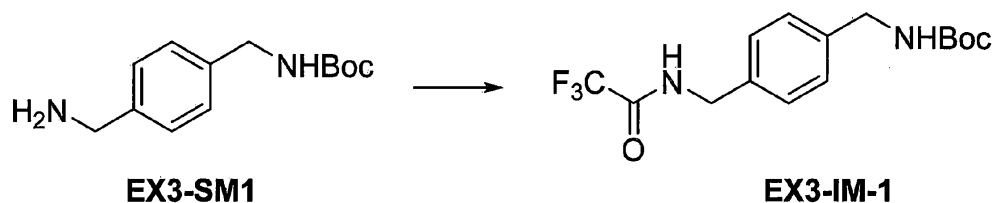


30

【0 2 7 4】

＜工程1＞ tert-ブチル（4-（4（（2，2，2-トリフルオロアセトアミド）メチル）ベンジル）カルバメート（化合物EX3-IM-1）の合成：

【化 5 7】



40

【0 2 7 5】

文献公知の方法（Bioorganic & Medicinal Chemistry（2003）11：4189-4206）を参考に、1，4-ビス（アミノメチル）ベンゼン〔CAS：539-48-0〕から合成したtert-ブチル（4-（アミノエチル）ベンジル）カルバメート〔CAS：108468-80-4〕（EX3-SM1、0.67 g）、トリエチルアミン（0.39 mL）及びメタノール（6.67 mL）の混合

50

物に対し、氷冷撹拌下、トリフルオロ酢酸エチル（0.44 mL）を滴下した。反応混合物を室温に昇温し、同温で5時間撹拌した。反応を水（10 mL）で停止し、酢酸エチル（10 mL）で3回抽出した。回収した有機層を飽和食塩水（5 mL）で洗浄し、無水硫酸ナトリウムで乾燥させた。乾燥させた有機層を濾過後、濃縮し、標記粗化合物 EX3-IM-1（0.671 g）を淡黄色アモルファスとして得た。

【0276】

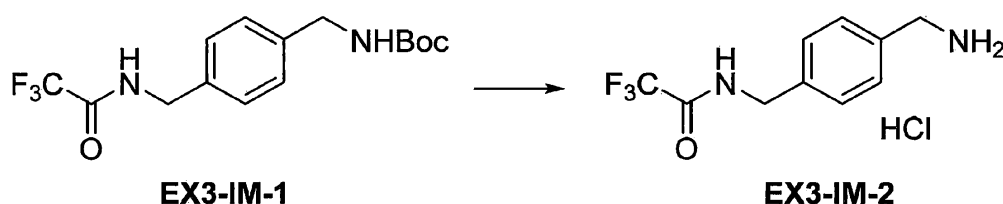
NMRデータ（CDCl₃）（ δ : ppm）: 7.29（2H, d, J = 8.4 Hz）, 7.25（2H, d, J = 7.6 Hz）, 6.51（1H, br s）, 4.86（1H, br s）, 4.51（2H, d, J = 5.2 Hz）, 4.31（2H, d, J = 6.0 Hz）, 1.46（9H, s）. LC-MS: M = 332, RT = 0.97（分）, $[M+Na]^+ = 355$.

10

【0277】

<工程2> N-（4-（アミノエチル）ベンジル）-2,2,2-トリフルオロアセトアミド塩酸塩（化合物 EX3-IM-2）の合成:

【化58】



20

【0278】

（実施例3）<工程1>で得られた化合物 EX3-IM-1（0.5 g）の1,4-ジオキサン溶液（3.5 mL）に対し、氷冷撹拌下、4規定-塩化水素/1,4-ジオキサン（3.5 mL）を加え、室温で3時間撹拌した。反応液にジイソプロピルエーテル（40 mL）を加えた後、析出物を濾過することで、標記化合物 EX3-IM-2（0.36 g）を白色固体として得た。

【0279】

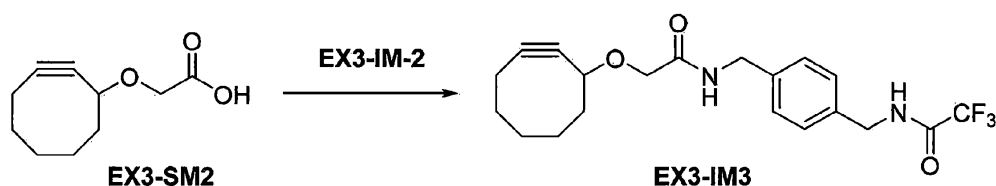
NMRデータ（D₂O）（ δ : ppm）: 7.29（2H, d, J = 8.0 Hz）, 7.25（2H, d, J = 8.4 Hz）, 4.38（2H, s）, 4.02（2H, s）. LC-MS: M （free amine） = 232, RT = 0.53（分）, $[M+H]^+ = 233$.

30

【0280】

<工程3> N-（4-（（2-（シクロオクト-2-イン-1-イロキシ）アセトアミド）メチル）ベンジル）-2,2,2-トリフルオロアセトアミド（化合物 EX3-IM-3）の合成:

【化59】



40

【0281】

文献公知の方法（Org. Process Res. Dev.（2018）22:108-110）に従い、シクロヘプテン [CAS:628-92-2] から合成したカルボン酸 [CAS:917756-42-4]（EX3-SM2、0.17 g）及びO-（7-アザベンゾトリアゾール-1-イル）-N,N,N',N'-テトラメチルウロニウムへ

50

キサフルオロりん酸塩 (0.26 g) のアセトニトリル (1.7 mL) 溶液に対し、氷冷撹拌下、(実施例3) <工程2> で得られた EX3-IM-2 (0.26 g) 及び N, N-ジイソプロピルエチルアミン (0.51 mL) を滴下し、室温で1時間30分撹拌した。水 (5 mL) を加え反応を停止させた後、酢酸エチル (5 mL) で3回抽出した。有機層を飽和食塩水 (3 mL) で洗浄した後、無水硫酸ナトリウムで乾燥させた。乾燥させた有機層を濾過後、減圧下で溶媒を留去した。残留物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (12% 酢酸エチル / n-ヘプタン ~ 100% 酢酸エチル) により精製し、標記化合物 EX3-IM-3 (0.189 g) を白色アモルファスとして得た。

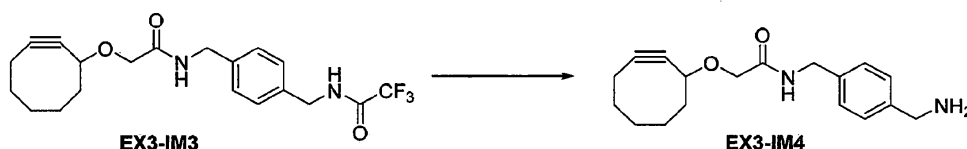
【0282】

NMRデータ (CDCl₃) (δ: ppm): 7.31 (2H, d, J = 8.4 Hz), 7.26 (2H, d, J = 8.0 Hz, Overlapped with solvent peak.), 6.84 (1H, br s), 6.52 (1H, br s), 4.52 (2H, d, J = 6.0 Hz), 4.49 (2H, d, J = 6.4 Hz), 4.26-4.23 (1H, m), 4.11 (1H, d, J = 15.2 Hz), 3.94 (1H, d, J = 15.2 Hz), 2.26-2.09 (3H, m), 2.00-1.58 (6H, m), 1.48-1.44 (1H, m). LC-MS: M=396, RT=0.99 (分), [M+H]⁺=397.

【0283】

<工程4> N-(4-(アミノメチル)ベンジル)-2-(シクロオクト-2-イン-1-イロキシ)アセトアミド (化合物 EX3-IM-4) の合成:

【化60】



【0284】

(実施例3) <工程3> で得られた化合物 EX3-IM-3 (0.18 g) 及びメタノール (1.8 mL) の混合物に対して、氷冷撹拌下、炭酸カリウム (0.126 g) 水溶液 (0.9 mL) を滴下し、室温で17時間30分撹拌した。メタノールを減圧下で留去し、酢酸エチル (5 mL) で3回抽出した。有機層を飽和食塩水 (5 mL) で洗浄後、無水硫酸ナトリウムで乾燥させた。有機層を濾過後、減圧下で溶媒を留去し、標記粗化合物 EX3-IM-4 (0.13 g) を淡黄色油状物として得た。

【0285】

NMRデータ (CDCl₃) (δ: ppm): 7.28-7.28 (4H, m), 6.80 (1H, br s), 4.48 (2H, d, J = 6.0 Hz), 4.26-4.21 (1H, m), 4.11 (1H, d, J = 15.2 Hz), 3.93 (1H, d, J = 15.2 Hz), 3.86 (2H, s), 2.28-2.07 (3H, m), 1.99-1.40 (7H, m, Overlapped with solvent peak.). LC-MS: M=300, RT=0.68 (分), [M+H]⁺=301.

【0286】

(実施例3a) N-(4-(アミノメチル)ベンジル)-2-(シクロオクト-2-イン-1-イロキシ)アセトアミド基導入アルギン酸 (EX3-(I)-A-2a) の合成:

10

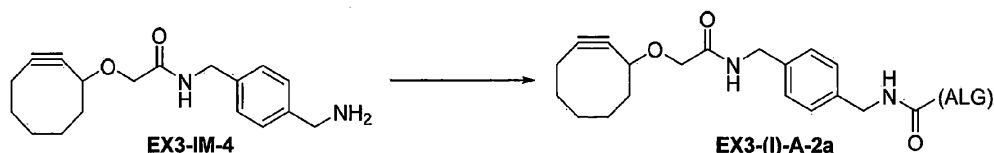
20

30

40

50

【化 6 1】



【0 2 8 7】

1 重量%に調整したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製、A-2）水溶液（60 mL）に、室温攪拌下、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（183 mg）を加えた。続いて、（実施例3）＜工程4＞で得られた化合物EX3-IM-4（41.2 mg）のエタノール（5 mL）溶液を同温で滴下し、40度で4時間攪拌した。室温に冷却後、塩化ナトリウム（600 mg）を加えた後、エタノール（119 mL）を加え、30分間攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノール（5 mL）で3回洗浄後、減圧下乾燥し、標記化合物EX3-(I)-A-2aを白色固体として得た。当該白色固体を40 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で22時間乾燥して、標記化合物EX3-(I)-A-2a（597 mg）を白色綿状物として得た。

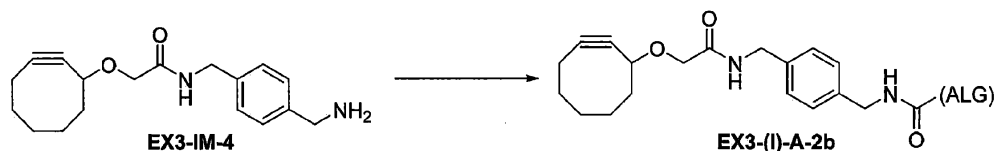
【0 2 8 8】

反応性置換基（N-（4-（アミノメチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イン-1-イロキシ）アセトアミド基）の導入率は3.7 mol%（NMR積分比）であった。

【0 2 8 9】

（実施例3b） N-（4-（アミノメチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イン-1-イロキシ）アセトアミド基導入アルギン酸（EX3-(I)-A-2b）の合成：

【化 6 2】



【0 2 9 0】

1 重量%に調整したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製、A-2）水溶液（290 mL）に、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（405 mg）、（実施例3）＜工程4＞で得られた化合物EX3-IM-4（121 mg）のエタノール（29 mL）溶液、1モル濃度-重曹水（366 μL）を加え、32℃で3時間20分攪拌した。塩化ナトリウム（2.9 g）を加えた後、エタノール（580 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX3-(I)-A-2b（2.67 g）を白色固体として得た。

当該白色固体を180 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で6時間乾燥後、一度冷蔵保存した。再度40℃で5時間乾燥して、標記化合物EX3-(I)-A-2b（2.77 g）を白色アモルファスとして得た。

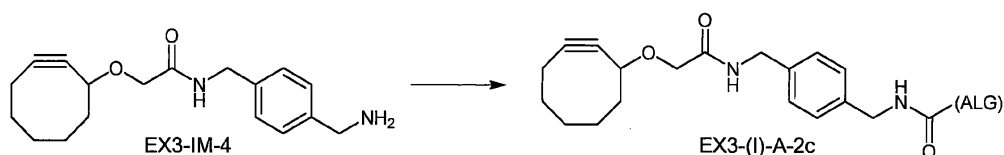
【0 2 9 1】

反応性置換基（N-（4-（アミノメチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イン-1-イロキシ）アセトアミド基）の導入率は2.1 mol%（NMR積分比）であった。

【0 2 9 2】

（実施例3c） N-（4-（アミノメチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イン

ン-1-イロキシ) アセトアミド基導入アルギン酸 (EX3-(I)-A-2c) の合成：
【化63】



【0293】

1重量%に調整したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製、A-2）水溶液（260 mL）に、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（363 mg）、（実施例3）＜工程4＞で得られた化合物EX3-IM-4（109 mg）のエタノール（26 mL）溶液、1モル濃度-重曹水（328 μ L）を加え、32℃で3時間攪拌した。反応液に、塩化ナトリウム（2.6 g）を加えた後、エタノール（520 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX3-(I)-A-2c（2.69 g）を白色固体として得た。

当該白色固体を180 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で2.5時間乾燥して、標記化合物EX3-(I)-A-2c（2.42 g）を白色アモルファスとして得た。

【0294】

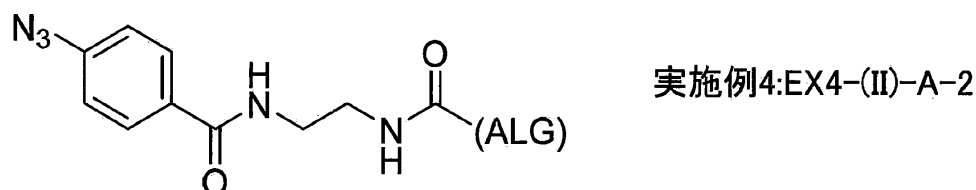
反応性置換基（N-（4-（アミノメチル）ベンジル）-2-（シクロオクト-2-イ-ン-1-イロキシ）アセトアミド基）の導入率は2.0mol%（NMR積分比）であった。

【0295】

（実施例4）

N-（2-アミノエチル）-4-アジドベンザミド基導入アルギン酸（実施例4）の合成：

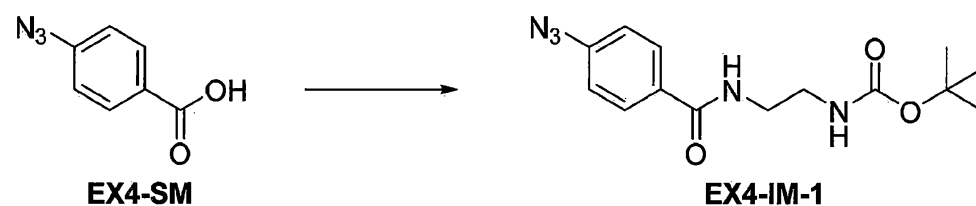
【化64】



【0296】

＜工程1＞ tert-ブチル（2-（4-アジドベンザミド）エチル）カルバメート（化合物EX4-IM-1）の合成：

【化65】



【0297】

4-アジド安息香酸（EX4-SM、[CAS: 6427-66-3] 700 mg）に、塩化チオニル（783 μ L）、N,N-ジメチルホルムアミド（3 μ L）を加え、7

0℃で1時間攪拌した。反応液を減圧濃縮し、残さに塩化メチレン(1 mL)を加えて共沸し、同様の操作を再度行った。得られた淡黄色固体の塩化メチレン(3 mL)溶液に対して、tert-ブチル(2-アミノエチル)カルバメート[CAS:57260-73-8](825 mg)、ピリジン(1.04 mL)の塩化メチレン(7.0 mL)溶液に氷水冷下で加え、室温で1時間攪拌した。反応液をtert-ブチルメチルエーテル(30 mL)で希釈し、水(10 mL)、飽和重層水(5 mL)、0.5規定-クエン酸(5 mLで2回)、水(5 mL)、飽和食塩水(5 mL)で順次洗浄した。有機層を無水硫酸ナトリウムで乾燥し、減圧濃縮した。残さをtert-ブチルメチルエーテル/ヘプタンでトリチュレートし、固体をろ過した後、tert-ブチルメチルエーテル/ヘプタンで洗浄して、標記化合物EX4-IM-1(1.1 g)を白色固体として得た。

10

【0298】

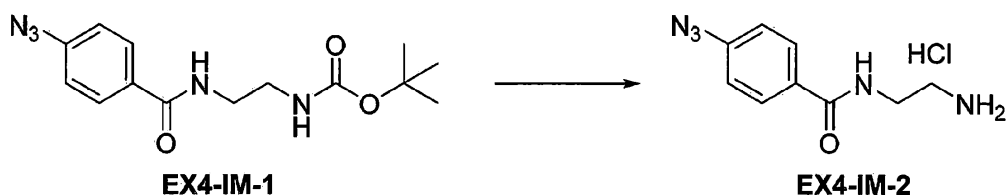
NMRデータ(CDCl₃)(δ :ppm): 7.83(2H、d、J = 8 Hz)、7.26(1H、brs)、7.05(2H、d、J = 8 Hz)、4.97(1H、brs)、3.55(2H、q、J = 5 Hz)、3.45-3.37(2H、m)、1.43(9H、s)、LC-MS:M=305、RT=0.90(分)、[M+H]⁺=306、[M+Na]⁺=328

【0299】

<工程2> N-(2-アミノエチル)-4-アジドベンザミド 塩酸塩(化合物EX4-IM-2)の合成:

20

【化66】



【0300】

(実施例4)<工程1>で得られた化合物(EX4-IM-1、500 mg)を、1,4-ジオキサン(1.5 mL)に懸濁した。氷水冷下で4既定-塩化水素/ジオキサン溶液(3.5 mL)を加え、室温で2.5時間攪拌した。反応液にジイソプロピルエーテル(10.5 mL)を加え、室温で50分間攪拌した。固体をろ過し、ジイソプロピルエーテルで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX4-IM-2(365 mg)を淡ベージュ色固体として得た。

30

【0301】

NMRデータ(DMSO-d₆)(δ :ppm): 8.68(1H、t、J = 6 Hz)、7.93(2H、d、J = 9 Hz)、7.82(1H、brs)、7.22(2H、d、J = 9 Hz)、3.49(2H、q、J = 6 Hz)、2.97(2H、t、J = 6 Hz)、LC-MS:M(free amine)=205、RT=0.56(分)、[M+H]⁺=206

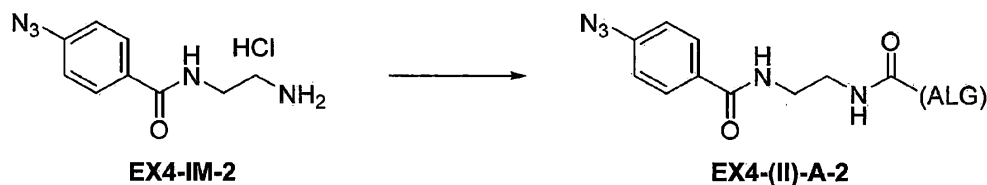
40

【0302】

<工程3-1> N-(2-アミノエチル)-4-アジドベンザミド基導入アルギン酸(EX4-(II)-A2)の合成:

50

【化 6 7】



【0303】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（60 mL）に、4-（4、6-ジメトキシ-1、3、5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（167 mg）、（実施例4）＜工程2＞で得られた化合物EX4-IM-2（37 mg）、1モル濃度-重曹水（227 μL）を加え、30℃で3.5時間攪拌した。塩化ナトリウム（600 mg）を加えた後、エタノール（120 mL）を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX4-(II)-A-2（615 mg）を白色粉末として得た。

当該白色固体を40 mLの水に溶解し、凍結乾燥後、40℃で22時間乾燥して、標記化合物EX4-(II)-A-2（583 mg）を白色アモルファスとして得た。

【0304】

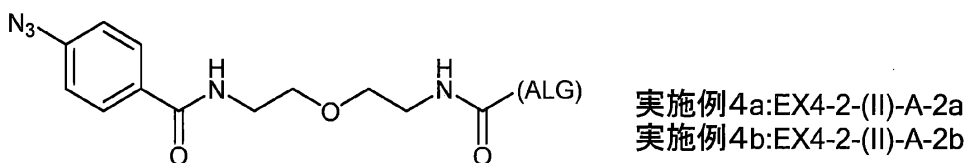
反応性基（N-（2-アミノエチル）-4-アジドベンザミド基）の導入率は、5.3 mol%（NMR積分比）であった。

【0305】

（実施例4-2）

N-（2-（2-アミノエトキシ）エチル）-4-アジドベンザミド基導入アルギン酸（実施例4-2a、及び実施例4-2b）の合成：

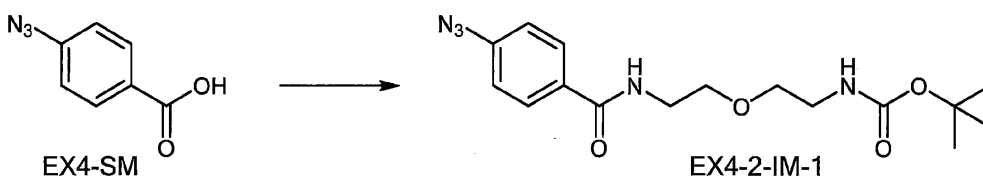
【化 6 8】



【0306】

＜工程1＞ tert-ブチル（2-（2-（4-アジドベンザミド）エトキシ）エチル）カルバメート（化合物EX4-2-IM-1）の合成：

【化 6 9】



【0307】

4-アジド安息香酸 [CAS: 6427-66-3]（EX4-SM、300 mg）、tert-ブチル（2-（2-アミノエトキシ）エチル）カルバメート [CAS: 127828-22-2]（376 mg）をアセトニトリル（6.0 mL）に溶解した。O-（7-アザベンゾトリアゾール-1-イル）-N,N,N',N'-テトラメチルウロニ

ウムヘキサフルオロりん酸塩（0.77 g）、ジイソプロピルエチルアミン（707 μ L）を加え、室温で16時間攪拌した。反応液に、酢酸エチル（20 mL）、水（10 mL）を加え、分液した。有機層を、水（10 mL）、飽和食塩水（5 mL）で順次洗浄し、無水硫酸ナトリウムで乾燥後、減圧濃縮した。残さを、シリカゲルカラムクロマトグラフィ（20%酢酸エチル／*n*-ヘプタン～70%酢酸エチル／*n*-ヘプタン）で精製して、標記化合物EX4-2-IM-1（673 mg）を淡黄色ガム状物として得た。

【0308】

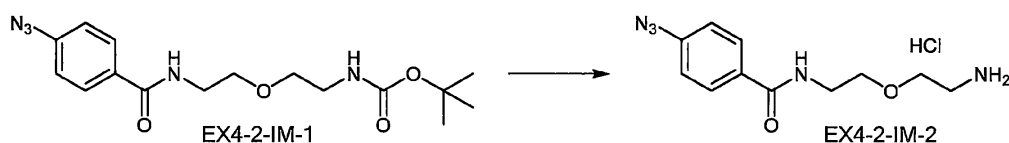
NMRデータ（CDCl₃）（ δ ：ppm）： 7.83（2H、d、*J* = 9 Hz）、7.08（2H、d、*J* = 9 Hz）、6.61（1H、brs）、4.84（1H、brs）、3.68–3.64（4H、m）、3.56（2H、t、*J* = 5 Hz）、3.34（2H、q、*J* = 5 Hz）、1.44（9H、s）

10

【0309】

<工程2> N-（2-（2-アミノエトキシ）エチル）-4-アジドベンザミド 塩酸塩（化合物EX4-2-IM-2）の合成：

【化70】



20

【0310】

（実施例4-2）<工程1>で得られた化合物（EX4-2-IM-1、670 mg）に、氷水冷下、4既定-塩化水素／1，4-ジオキサン（4.7 mL）を加え、室温で2時間攪拌した。反応液にジイソプロピルエーテル（14 mL）を加え、30分間攪拌した。得られた固体をろ取し、ジイソプロピルエーテルで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX4-2-IM-2（604 mg）を淡ベージュ色固体として得た。

【0311】

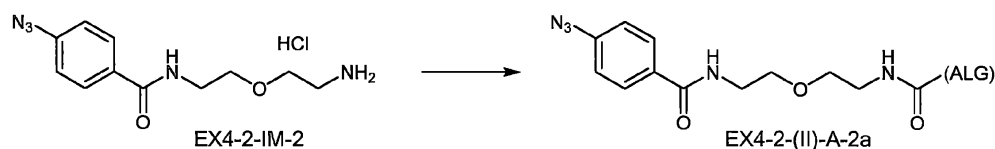
NMRデータ（DMSO-d₆）（ δ ：ppm）： 8.61（1H、t、*J* = 6 Hz）、7.95（3H、brs）、7.93（2H、d、*J* = 9 Hz）、7.20（2H、d、*J* = 9 Hz）、3.62（2H、t、*J* = 5 Hz）、3.57（2H、t、*J* = 6 Hz）、3.46（2H、q、*J* = 6 Hz）、3.02–2.93（2H、m）、LC-MS（free amine）：RT=0.57（分）、[M+H]⁺=250

30

【0312】

（実施例4-2a）N-（2-（2-アミノエトキシ）エチル）-4-アジドベンザミド基導入アルギン酸（EX4-2-(II)-A-2a）の合成：

【化71】



40

【0313】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液（118 mL）に、4-（4，6-ジメトキシ-1，3，5-トリアジン-2-イル）-4-メチルモルホリニウムクロリド（DMT-MM）（366.09 mg）、1モル濃度-重曹水（274.51 μ L）を加えた。続いて、（実施例4-2）<工程2>で得られた化合物EX4-2-IM-2（78.44 mg）の水（1 mL）及びエタノール（

50

1 mL) 溶液を室温にて加え、40℃で4時間攪拌した。塩化ナトリウム(1.2 g)を室温で加えた後、エタノール(237 mL)を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX4-2-(II)-A-2a(1.17 g)を白色固体として得た。

当該白色固体を80 mLの水に溶解し、凍結乾燥して、標記化合物EX4-2-(II)-A-2a(1.14 g)を白色綿状物として得た。

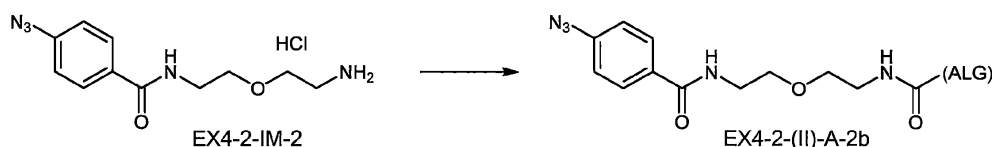
【0314】

反応性基(N-(2-(2-アミノエトキシ)エチル)-4-アジドベンザミド基)の導入率は、2.72 mol%(NMR積分比)であった。

【0315】

(実施例4-2b) N-(2-(2-アミノエトキシ)エチル)-4-アジドベンザミド基導入アルギン酸(EX4-2-(II)-A-2b)の合成:

【化72】



【0316】

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム(持田製薬株式会社製:A-2)水溶液(200 mL)に、4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4-メチルモルホリニウムクロリド(DMT-MM)(279 mg)、1モル濃度-重曹水(378 μL)を加えた。続いて、(実施例4-2)<工程2>で得られた化合物EX4-2-IM-2(77 mg)を室温にて加え、32℃で3.25時間攪拌した。反応液に、塩化ナトリウム(2.0 g)を室温で加えた後、エタノール(400 mL)を加え、30分間室温で攪拌した。得られた沈殿をろ取し、エタノールで洗浄後、減圧乾燥して、標記化合物EX4-2-(II)-A-2b(1.93 g)を白色固体として得た。

当該白色固体を130 mLの水に溶解し、凍結乾燥して、標記化合物EX4-2-(II)-A-2b(1.85 g)を白色アモルファスとして得た。

【0317】

反応性基(N-(2-(2-アミノエトキシ)エチル)-4-アジドベンザミド基)の導入率は、2.3 mol%(NMR積分比)であった。

【0318】

【表10】

実施例	測定波長 (nm)	分子量 (Da)	重量平均分子量 (Da)	導入率 (mol%)
1a	280	1万2千~265万	153万	6.9(*)
2a	255	1万5千~253万	151万	6.1(*)

(*)NMR積分比

【0319】

〔反応性基又は相補的な反応性基の導入率測定〕

反応性基又は相補的な反応性基導入率は、アルギン酸の繰り返し単位であるウロン酸単糖単位あたりに導入された反応性基又は相補的な反応性基の数を百分率で表した値を意味する。

本実施例においては、反応性基又は相補的な反応性基導入率(mol%)は、¹H-NMRの積分比により計算した。又、導入率の算出に必要なアルギン酸の量は、検量線を利用したカルバゾール硫酸法により測定し、反応性基又は相補的な反応性基の量は、検量線

を利用した吸光度測定法により測定することもできる。

【0320】

〔分子量の測定〕

実施例で得られた反応性基又は相補的な反応性基が導入されたアルギン酸固体を0.15 mol/LのNaClを含む10 mmol/Lリン酸緩衝液(pH 7.4)に溶解し0.1%溶液を調製し、孔径0.22 µmのポリエーテルスルホン製ろ過フィルター(Minisart High Flow Filter、Sartorius社)を通し不溶物を除いた後、ゲルろ過用サンプルとした。各サンプルのスペクトルを分光光度計DU-800(Beckman-Coulter社)により測定し、各化合物のゲルろ過における測定波長を決定した。特異的な吸収波長を持たない化合物に関しては、示差屈折計を用いた。

10

【0321】

ゲルろ過用サンプルの200 µLをSuperose 6 Increase 10/300 GLカラム(GEヘルスケアサイエンス社)に供した。ゲルろ過は、クロマトグラフ装置としてAKTA Explorer 10Sを、展開溶媒として0.15 mol/L NaClを含む10 mmol/Lリン酸緩衝液(pH 7.4)を使用し、室温で流速0.8 mL/minの条件で実施した。サンプルの溶出プロファイルは、各化合物で決定した波長の吸収をモニターし作製した。得られたクロマトグラムは、Unicorn 5.31ソフトウェア(GEヘルスケアサイエンス社)にて解析し、ピーク範囲を決定した。

【0322】

反応性基又は相補的な反応性基が導入されたアルギン酸の分子量は、ブルーデキストラン(分子量200万Da、SIGMA社)、チログロブリン(分子量66.9万Da、GEヘルスケアサイエンス社)フェリチン(分子量44万Da、GEヘルスケアサイエンス社)アルドラーゼ(分子量15.8万Da、GEヘルスケアサイエンス社)、コンアルブミン(分子量7.5万Da、GEヘルスケアサイエンス社)、オブアルブミン(分子量4.4万Da、GEヘルスケアサイエンス社)、リボヌクレアーゼA(分子量1.37万Da、GEヘルスケアサイエンス社)及びアプロチニン(分子量6500Da、GEヘルスケアサイエンス社)を標準品として用い、反応性基又は相補的な反応性基が導入されたアルギン酸と同じ条件でゲルろ過を行い、各成分の溶出液量をUnicornソフトウェアにて決定した。この各成分の溶出液量を横軸に、分子量の対数値を縦軸にそれぞれプロットし、直線回帰し、検量線を作成した。検量線は、ブルーデキストランからフェリチンまで、フェリチンからアプロチニンまでの2種類を作成した。

20

30

【0323】

この検量線を用いて、先に得られたクロマトグラムの溶出時間*i*における分子量(*M_i*)を計算した。次いで、溶出時間*i*における吸光度を読み取り*H_i*とした。これらのデータから重量平均分子量(*M_w*)を以下の式から求めた。

【0324】

〔数4〕

$$M_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (H_i \times M_i)}{\sum_{i=1}^{\infty} H_i}$$

40

【0325】

(実施例5)

平板型アルギン酸ゲルの製造

【0326】

〔アルギン酸溶液の調製〕

各実施例で得られたアルギン酸誘導体を用いて、1.6重量%もしくは3.3重量%の

50

水溶液を調製し、ミニザルトハイフロー（ザルトリウス、 $0.2\ \mu\text{m}$ 、Cat. 16532 GUK）を用いてろ過滅菌する。濾過滅菌後の水溶液の塩濃度を調整し、 1.5 重量%又は 3.0 重量%の生理食塩水溶液とした。

実施例 1（a, b, c）のアルギン酸： 1.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-1 a、実施 5-1 b、実施例 5-1 c の溶液）

実施例 2（a, b, c）のアルギン酸： 3.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-2 a、実施例 5-2 b、実施例 5-2 c の溶液）

実施例 3（a）のアルギン酸： 1.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-3 a の溶液）

実施例 4 のアルギン酸： 3.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-4 の溶液）

あるいは、各実施例で得られたアルギン酸誘導体を用いて、 1.0 重量%の生理食塩水溶液を調製し、MILLEX GV $0.22\ \mu\text{m}$ （Millipore, $0.22\ \mu\text{m}$ 、Cat. SLGV033 RS）を用いてろ過滅菌する。

実施例 1（d）のアルギン酸： 1.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-1 d の溶液）

実施例 2（d）のアルギン酸： 1.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-2 d の溶液）

実施例 3（b）のアルギン酸： 1.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-3 b の溶液）

実施例 4-2（a）のアルギン酸： 1.0 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-5 a の溶液）

実施例 1（e）のアルギン酸： 0.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-1 e の溶液）

実施例 2（e）のアルギン酸： 0.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-2 e の溶液）

実施例 3（c）のアルギン酸： 0.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-3 b の溶液）

実施例 4-2（b）のアルギン酸： 0.5 重量%生理食塩水溶液（実施例 5-5 b の溶液）

以下の実施例では、これらの各アルギン酸生理食塩溶液を、適宜濃度調整して試験に用いた。

実施例 1（a, b, c）又は実施例 3（a）で調製したアルギン酸と実施例 2（a, b, c）又は実施例 4 で調製したアルギン酸とを組み合わせ、化学架橋したアルギン酸ゲルを作製する。

より具体的には、実施例 5-1（a, b, c）の溶液と実施例 5-2（a, b, c）の溶液とを組み合わせ、実施例 5-3 a の溶液と実施例 5-4 の溶液とを組み合わせる。

また、実施例 1（d）又は実施例 3（b）で調製したアルギン酸と実施例 2（d）又は実施例 4-2（a）で調製したアルギン酸とを組み合わせ、化学架橋したアルギン酸ゲルを作製する。

より具体的には、実施例 5-1 d の溶液と実施例 5-2 d の溶液とを組み合わせ、実施例 5-1 d の溶液と実施例 5-5 a の溶液とを組み合わせ、実施例 5-3 b の溶液と実施例 5-2 d の溶液とを組み合わせ、実施例 5-3 b の溶液と実施例 5-5 a の溶液とを組み合わせる。

また、実施例 1（e）又は実施例 3（c）で調製したアルギン酸と実施例 2（e）又は実施例 4-2（b）で調製したアルギン酸とを組み合わせ、化学架橋したアルギン酸ゲルを作製する。

より具体的には、実施例 5-1 e の溶液と実施例 5-2 e の溶液とを組み合わせ、実施例 5-1 e の溶液と実施例 5-5 b の溶液とを組み合わせ、実施例 5-3 c の溶液と実施例 5-2 e の溶液とを組み合わせ、実施例 5-3 c の溶液と実施例 5-5 b の溶液とを組み合わせる。

10

20

30

40

50

【0327】

〔平板型アルギン酸ゲルの製造〕

＜一般的な調製方法＞

3. 5 cm培養皿に55 mmol/L 塩化カルシウム (CaCl_2) 水溶液を2 mL いれ、400 μL のアルギン酸溶液をP1000ピペットで滴下し、10分間静置する。この間、5分以上経って固まりだしたら、手で培養皿を振盪させてアルギン酸の縁を固める。10分後、塩化カルシウム溶液を4 mL追加で添加し、5分静置する。生理食塩水で3回洗浄し、平板型のアルギン酸ゲルを得る。

ここで、平板型ゲルとは、例えば、短直径が12～15 mm、長直径が12～18 mm、厚さが0.5～5 mm程度の大きさのアルギン酸ゲルであり、円形、四角形、六角形、八角形などを取ることも可能であり、特に限定されない。

10

【0328】

(実施例6)

アルギン酸ゲルの生体適合性試験

【0329】

〔実施例6-1：移植用の平板型アルギン酸ゲルの製造〕

実施例5に記載の「平板型アルギン酸ゲルの製造」に準じて、55 mmol/Lの塩化カルシウム水溶液を用いて、平板型アルギン酸ゲルを製造した。アルギン酸溶液は、1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：B-2）水溶液、アルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液、実施例5-1bの溶液と実施例5-2bの溶液とを2：1（容量比）で混和して得られる溶液、実施例5-1dの溶液と実施例5-2dの溶液とを1：1（容量比）で混和して得られる溶液、実施例5-1dの溶液と実施例5-5の溶液とを1：1（容量比）で混和して得られる溶液、実施例5-3bの溶液と実施例5-2dの溶液とを1：1（容量比）で混和して得られる溶液、実施例5-3bの溶液と実施例5-5aの溶液とを1：1（容量比）で混和して得られる溶液を用いて、下記の平板型アルギン酸ゲルを調製した。

20

調製した平板上アルギン酸ゲルをD-MEM培地で終夜培養した。翌日、無血清D-MEM培地に置換し、さらに、生理食塩水中へ置換し、1時間以上静置して、動物への移植用のアルギン酸ゲルを得た。

【0330】

30

実施例6-1a：

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：B-2）水溶液を用いて、短直径（12 mm）－長直径（15 mm）－厚さ（5 mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。この平板型アルギン酸ゲルの写真を図1（a）として示した。

【0331】

実施例6-1b：

実施例5-1bの溶液と実施例5-2bの溶液を2：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（12 mm）－長直径（12 mm）－厚さ（4 mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては1%濃度に調製した。この平板型アルギン酸ゲルの写真を図2（a）として示した。

40

【0332】

実施例6-1c：

実施例5-1bの溶液と実施例5-2bの溶液を2：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（12 mm）－長直径（12 mm）－厚さ（4 mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては2%濃度に調製した。この平板型アルギン酸ゲルの写真を図3（a）として示した。

【0333】

実施例6-1d：

1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：A-2）水溶液を用いて、短直径（約12 mm）－長直径（約12 mm）－厚さ（約4 mm）の平板上アルギ

50

ン酸ゲルを得た。

【0334】

実施例6-1e：

実施例5-1dの溶液と実施例5-2dの溶液を1：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（約12mm）－長直径（約12mm）－厚さ（約4mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては1％濃度に調製した。

【0335】

実施例6-1f：

実施例5-1dの溶液と実施例5-5aの溶液を1：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（約12mm）－長直径（約12mm）－厚さ（約4mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては1％濃度に調製した。

【0336】

実施例6-1g：

実施例5-3bの溶液と実施例5-2dの溶液を1：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（約12mm）－長直径（約12mm）－厚さ（約4mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては1％濃度に調製した。

【0337】

実施例6-1h：

実施例5-3bの溶液と実施例5-5aの溶液を1：1（容量比）で混合した溶液を用いて、短直径（約12mm）－長直径（約12mm）－厚さ（約4mm）の平板上アルギン酸ゲルを得た。化学架橋基としては1％濃度に調製した。

【0338】

〔実施例6-2：平板型アルギン酸ゲルの動物への移植試験〕

実施例6-1a～cで調製した各アルギン酸ゲルを健常マウスC57BL/6NCrの腹腔内に移植した。5週間後開腹してゲルを摘出し、ゲルの状態を確認した。また腹腔内の腹腔内の癒着や炎症も確認した。

また、実施例6-1d～hで調製した各アルギン酸ゲルを健常マウスC57BL/6NCrの腹腔内に移植した。1，2又は4週間後開腹してゲルを摘出し、ゲルの状態を確認した。また腹腔内の腹腔内の癒着や炎症も確認した。

【0339】

実施例6-1aのアルギン酸ゲル：摘出したアルギン酸ゲルは元の形状を維持しておらず、バラバラで、残存して確認できるゲルの回収量も少ない状態であった。その状態の写真を図1（b）として示した。

実施例6-1bのアルギン酸ゲル：摘出したアルギン酸ゲルは、ゲルのサイズ変化はなかった。その状態の写真を図2（b）として示した。

実施例6-1cのアルギン酸ゲル：摘出したアルギン酸ゲルは、割れてはいるが、元の形状はほぼ維持しており、ゲルのサイズ変化はなかった。その状態の写真を図3（b）として示した。

【0340】

実施例6-1dのアルギン酸ゲル：1週間後に摘出したアルギン酸ゲルは元の形状を維持しておらず、バラバラで、残存して確認できるゲルの回収量も少ない状態であった。

実施例6-1fのアルギン酸ゲル：1週間後、2週間後、4週間後に摘出したアルギン酸ゲルは、いずれもゲルのサイズ変化はなかった。

実施例6-1gのアルギン酸ゲル：1週間後、2週間後に摘出したアルギン酸ゲルは、いずれもゲルのサイズ変化はなかった。4週間後に摘出したアルギン酸ゲルは、割れてはいるが、元の形状はほぼ維持しており、ゲルのサイズ変化はなかった。

実施例6-1hのアルギン酸ゲル：1週間後、2週間後に摘出したアルギン酸ゲルは、いずれもゲルのサイズ変化はなかった。4週間後に摘出したアルギン酸ゲルは、割れてはいるが、元の形状はほぼ維持しており、ゲルのサイズ変化はなかった。

【0341】

実施例 6-1 a、実施例 6-1 b、実施例 6-1 c のアルギン酸ゲルについては、移植し、5 週間後に開腹し確認したところ、腹腔内臓器の間で癒着・炎症はなかった。当該ゲルが埋もれていた大網や腸管膜も癒着・炎症はなかった。バラバラになったゲルが接着していた肝臓に癒着・炎症はなかった。

【0342】

実施例 6-1 d、実施例 6-1 f、実施例 6-1 g、実施例 6-1 h のアルギン酸ゲルについては、移植し、1 週間後、2 週間後、及び 4 週間後に開腹し確認したところ、腹腔内臓器の間で癒着・炎症はなかった。当該ゲルが埋もれていた大網や腸管膜も癒着・炎症はなかった。バラバラになったゲルが接着していた肝臓に癒着・炎症はなかった。

【0343】

〔実施例 6-3：平板型アルギン酸ゲルの細胞生存確認試験〕

膵臓ランゲルハンス島β細胞の株化細胞である MIN 6 細胞 (5×10^6 cells) を、実施例 6-1 a、実施例 6-1 b、実施例 6-1 c、実施例 6-1 d、実施例 6-1 e、実施例 6-1 f、実施例 6-1 g、実施例 6-1 h のアルギン酸ゲルの調製に用いた各アルギン酸溶液に添加し後、アルギン酸ゲルを作製し、D-MEM 培地で 3~4 週間培養して、MIN 6 細胞の生存を顕微鏡で確認した。

実施例 6-1 a、実施例 6-1 b、実施例 6-1 c、実施例 6-1 d、実施例 6-1 e、実施例 6-1 f、実施例 6-1 g、実施例 6-1 h のアルギン酸ゲル中における細胞増殖は良好であり、顕微鏡下で十分細胞が生存していることが観察された。

【0344】

〔実施例 7〕

糖尿病モデルマウスへの腹腔内移植による移植用デバイスの評価

【0345】

〔ブタ膵島の単離〕

当技術の公知の手順、或いは、霜田ら (Shimoda; Cell Transplantation、第 21 巻、501-508 頁、2012 年) に記載された方法、もしくはエドモントンプロトコールを用いた標準のリコルディー技術等に準じて、無菌下で成体のブタから無菌の生存可能な膵臓を得て、膵島細胞を単離した。

【0346】

〔単離膵島の培養方法〕

次いで、単離した膵島を、野口 (Noguchi) ら (Transplantation Proceedings, 42, 2084-2086 (2010)) の方法に準じて、培地中 (Connaught Medical Research Laboratory (CMRL)-based Miami-defined media #1 (MM1; Mediatech-Cellgro, Herndon, VA)-supplemented with 0.5% human serum albumin.)、5% CO₂/95% 空気の湿潤雰囲気中で 37℃ で 1 日間培養した。培養した膵島を移植用デバイスの作製に使用した。

【0347】

〔移植用デバイスの調製〕

架橋基の導入率 5.0 mol% の実施例 1 b と導入率 4.9 mol% の実施例 2 b とを用いて、各々、1.5 重量% の実施例 5-1 b の生理食塩水溶液及び 3.0 重量% の実施例 5-2 b の生理食塩水溶液を調整する。

実施例 5-1 b の溶液と実施例 5-2 b の溶液を 2:1 (容量比) で混合することで、架橋基の導入率が 5 mol% 相当の 2 重量% のアルギン酸溶液が調製できる。

実施例 5-1 b と実施例 5-2 b の溶液を 2 倍、及び 4 倍に希釈した溶液を調製し、各々 2:1 (容量比) で混合し、溶液を調製する。

2 倍希釈した溶液の混合溶液を実施例 7-1 の溶液、4 倍希釈した溶液の混合溶液を実施例 7-2 の溶液とする。

また、同様な方法で、実施例 5-1 c の溶液と実施例 5-2 c の溶液とを 2:1 (容量比) で混合し、4 倍希釈した溶液の混合液を実施例 7-3 の溶液とする。

【0348】

10

20

30

40

50

実施例 7-1 及び実施例 7-2 の溶液 (100 μ L、200 μ L)、並びに実施例 7-3 の溶液 (100 μ L、200 μ L) で各々調製した移植用デバイスは以下の通りである。

<移植用デバイス>

実施例 7-1 a：実施例 7-1 の溶液を 100 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 7-1 b：実施例 7-1 の溶液を 200 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 7-2 a：実施例 7-2 の溶液を 100 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 7-2 b：実施例 7-2 の溶液を 200 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 7-3 a：実施例 7-3 の溶液を 100 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 7-3 b：実施例 7-3 の溶液を 200 μ L 用いて調製した移植用デバイス

【0349】

100 μ L または 200 μ L のブタ臍島含有 0.5 重量%~1.0 重量%アルギン酸溶液を作製するため、実施例 5-1 b のアルギン酸溶液 (B1) にデバイス 1 個分に分注した臍島ペレットを懸濁後、実施例 5-2 b のアルギン酸溶液 (C1) と混合し、ブタ臍島を懸濁させた実施例 7-1 a、実施例 7-1 b、実施例 7-2 a、及び実施例 7-2 b の溶液とした。1 デバイスあたりのブタ臍島量 10000 IEQ のペレット量 (10~30 μ L) に応じて、実施例 5-1 b のアルギン酸溶液 (B1) および実施例 5-2 b のアルギン酸溶液 (C1) は、生理食塩水にて濃度調製を行った。

また、100 μ L または 200 μ L のブタ臍島含有 0.5 重量%~1.0 重量%アルギン酸溶液を作製するため、実施例 5-1 c のアルギン酸溶液 (B1) にデバイス 1 個分に分注した臍島ペレットを懸濁後、実施例 5-2 c のアルギン酸溶液 (C1) と混合し、ブタ臍島を懸濁させた実施例 7-3 a 及び実施例 7-3 b の溶液とした。1 デバイスあたりのブタ臍島量 10000 IEQ のペレット量 (10~30 μ L) に応じて、実施例 5-1 c のアルギン酸溶液 (B1) および実施例 5-2 c のアルギン酸溶液 (C1) は、生理食塩水にて濃度調製を行った。

【0350】

実施例 7-1 a、実施例 7-2 a、実施例 7-2 b 及び実施例 7-3 b として調製したブタ臍島含有アルギン酸溶液は、迅速に半透膜 (スペクトラム社製透析チューブ「スペクトラ/ポア CE (分画分子量 10 万)」) に封入 (半透膜の一端をヒートシーリングした後、アルギン酸溶液を入れて、チタンクリップで封入) し、55 mmol/L CaCl₂ 溶液中に 10~15 分間漬し、デバイス中のアルギン酸溶液をゲル化した。

【0351】

ゲル化後、当該移植用デバイスは、生理食塩水にて 3 分洗浄し、移植用培地 (M199-ニコチンアミド-FBS+P/S) で終夜培養した。次いで、移植用無血清培地 (M199+P/S) に 30 分浸してから、移植前洗浄用の生理食塩水+P/S で 30 分浸して洗浄して、マウスへの移植用デバイスとした。作製した移植用デバイスの写真を図 4-1 に示した。

【0352】

- ・移植用デバイスの大きさ：縦 10 mm×横 26 mm×厚さ約 2 mm
- ・培養条件：M199+Nicotinamide+Fetal bovine serum+ Penicillin/Streptomycin (P/S), O/N
- ・洗浄条件：1) 移植用無血清培地 (M199+P/S), 30min, r.t.
2) 生理食塩水 (saline+P/S), 30min, r.t.

【0353】

10

20

30

40

50

【表 1 1】

移植用デバイス	アルギン酸溶液	アルギン酸
実施例 7-1 (a, b)	実施例 5-1 b 及び実施例 5-2 b の溶液の 2 倍希釈に相当	実施例 1 b と実施例 2 b のアルギン酸
実施例 7-2 (a, b)	実施例 5-1 b 及び実施例 5-2 b の溶液の 4 倍希釈に相当	実施例 1 b と実施例 2 b のアルギン酸
実施例 7-3 (a, b)	実施例 5-1 c 及び実施例 5-2 c の溶液の 4 倍希釈に相当	実施例 1 c と実施例 2 c のアルギン酸

【0354】

〔移植用デバイスの評価（移植試験）〕

使用動物：

野生型免疫正常マウス（C57BL/6NCr）の糖尿病モデルマウス。13～17週齢、雄、25～35 g。Streptozocin溶液の尾静注、110 mg/kg、単回投与にて約1週間で糖尿病モデルを作製した。随時血糖値が300 mg/dL以上、600 mg/dL以下の個体を糖尿病モデルとした。

【0355】

投与方法・移植方法：

三種混合麻酔薬（ドミトール/ミダゾラム/ベトルファール）を0.25～0.3 mL腹腔内投与にて麻酔し、麻酔下にて腹部剃毛、消毒後、腹部を約 2cm正中切開し、洗浄後の移植用デバイスを腹腔内に単純留置、固定無しで移植した。移植後、閉腹しメドミジン拮抗薬（アンチセダン）を0.25～0.3 mL皮下注射し覚醒させた。手術はヒートパッド上でマウスを保温して行った。免疫抑制剤の投与無し。補液・抗生剤・抗炎症剤等の投与も無し。

【0356】

血糖値・体重測定法：

移植前及び、移植後day1から数日置きに日中定時に随時血糖値を測定した。メスによる尾の切創からの血液1滴で、グルテストNeoアルファおよびグルテストNeoセンサーを使用し血糖値を測定した。体重は随時血糖値測定直前に電子天秤にて測定した。デバイス移植マウスの随時血糖値は、300 mg/dL未満のものを糖尿病が治癒した個体とした。

実施例 7-2 a の移植デバイスを用いた際の移植後 day75までの血糖値変動を図 5-1、体重の変動を図 6-1 に示した。また、移植後 day 305までの血糖値変動を図 5-2、体重の変動を図 6-2 に示した。さらに、移植後day 305で移植用デバイスを取り出し、別の糖尿病モデルマウスへ移植し（ここで、糖尿病モデルマウスへデバイスを移植し、移植したデバイスを所定期間経過後に取り出し、取り出したデバイスを別の糖尿病モデルマウスへ移植することを「リレー移植」と呼ぶ）、リレー移植後day 26までの血糖値変動を図 5-3、体重の変動を図 6-3 に示した。図 5-1～3 及び図 6-1～3 中、# 1 及び # 2 は各々移植したマウス固体を識別する番号を意味する。

体重変動には異常はなく、血糖値は75日間正常値に維持された。また、移植後305日間及び更なるリレー移植後26日間、体重変動には異常はなく、血糖値は正常に維持された。

【0357】

実施例 7-2 b の移植デバイスを用いた際の血糖値変動は、実施例 7-2 a と同様に、体重変動には異常はなく、血糖値は75日間正常値に維持された。

また、実施例 7-2 b の移植用デバイスを用いた際の移植後 day 305までの血糖値変動を図 7-1、体重の変動を図 8-1 に示した。さらに、移植後day 305で移植用デバイスを取り出し、別の糖尿病モデルマウスへ移植し、リレー移植後day 26までの血糖値変動を図 7-2、体重の変動を図 8-2 に示した。

移植後305日間及び更なるリレー移植後26日間、体重変動には異常はなく、血糖値は正常に維持された。

【0358】

実施例 7-3 b の移植デバイスを用いた際の血糖値変動は、実施例 7-2 a と同様に、

体重変動には異常はなく、血糖値は75日間正常値に維持された。

また、実施例7-3bの移植用デバイスを用いた際の移植後day305までの血糖値変動を図9-1、体重の変動を図10-1に示した。さらに、移植後day305で移植用デバイスを取り出し、別の糖尿病モデルマウスへ移植し、リレー移植後day26までの血糖値変動を図9-2、体重の変動を図10-2に示した。なお、#2及び#3は途中でデバイスを摘出し、試験を終了している。

移植後305日間及び更なるリレー移植後26日間、体重変動には異常はなく、血糖値は正常に維持された。

【0359】

前記移植用デバイスの作製において、アルギン酸誘導体を用いずに膵島を半透膜に封入した移植用デバイスを作製した。前記の〔移植用デバイスの評価（移植試験）〕と同様の方法でマウスに移植したところ、糖尿病マウスの血糖抑制効果は認められなかった。

【0360】

組織反応性の評価：

組織反応性の評価は以下のように行った。

移植後数週後、または随時血糖値上昇後、デバイス移植マウスを三種混合麻酔薬にて麻酔し、麻酔下にて腹部消毒、腹部を約4cm正中切開し、移植デバイスを腹腔内臓器の間から探した。臓器間にデバイスの一部が見られたら鑷子にてゆっくりと取り出し、単体でデバイスが取り出せるかどうかを調べる。取り出したデバイスの表面の状況を観察する。

＜観察項目＞

1. デバイス表面に、血管新生しているかどうかを調べる。血管新生があれば、毛細血管レベルか太い血管までできているか観察する。
2. 次に、臓器や腹膜、大網等と癒着しているか、繋がっているか観察する。臓器が鈍的に剥離が可能か、鋭的に剥離が必要か調べる。
3. 臓器と直接癒着している場合は、どの臓器とデバイスのどの部分（面全体か、一部か、辺か、デバイス折り目部分やシーリング部分か等。）が癒着しているか、確認する。
4. 臓器側に炎症等があるかどうかを確認する。

※ デバイス摘出後、閉腹。拮抗薬を皮下注射し覚醒させる。手術はヒートパッド上でマウスを保温して行う。

【0361】

実施例7-1aの移植デバイスを用いた際の、移植10週後デバイスを摘出し、組織反応性を観察した結果、（1）デバイス表面に、血管新生しておらず、（2）デバイスが臓器や腹膜、大網等と癒着しておらず、（3）臓器が鈍的に剥離が可能であり、臓器と直接癒着しておらず、（4）臓器側に炎症等は認められなかった。

【0362】

摘出したデバイス内の生存膵島細胞の様子を、以下のような染色、すなわち、（a）Dithizoneによる膵島細胞の染色、（b）Dithizoneによる膵島細胞の染色、（c）FDAによる生細胞の蛍光染色、（d）PIによる死細胞の蛍光染色を行った後、また、染色せずアルギン酸ゲル中に分散した膵島細胞を顕微鏡で観察した。その結果、デバイス中に膵島細胞が十分生存していることが確認できた。

【0363】

移植後10週後摘出したデバイスを開き、デバイス中のアルギン酸ゲルの形状を確認した。その結果、生体内に長期間置かれた移植用デバイス中のアルギン酸ゲルの形状は維持されていることが明らかとなった。

【0364】

（実施例8）

糖尿病モデルマウスへの腹腔内移植による移植用デバイスの評価2

【0365】

〔ブタ膵島の単離及び単離膵島の培養方法〕

10

20

30

40

50

移植用デバイスの作製に使用する膵島は実施例 7 に記載の単離方法及び培養方法により入手した。

【0366】

〔移植用デバイスの調製〕

実施例 7 と同様な方法で、実施例 5-1c の溶液と実施例 5-2c の溶液とを 2:1 (容量比) で混合し、4 倍希釈した溶液の混合液を実施例 8 の溶液とする。

【0367】

実施例 8 の溶液 (100 μ L、75 μ L、50 μ L) で各々調製した移植用デバイスは以下の通りである。

<移植用デバイス>

実施例 8-1: 実施例 8 の溶液を 100 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 8-2: 実施例 8 の溶液を 75 μ L 用いて調製した移植用デバイス

実施例 8-3: 実施例 8 の溶液を 50 μ L 用いて調製した移植用デバイス

【0368】

100 μ L、75 μ L または 50 μ L のブタ膵島含有 0.5 重量% アルギン酸溶液を作製するため、実施例 5-1c のアルギン酸溶液 (B1) にデバイス 1 個分に分注した膵島ペレットを懸濁後、実施例 5-2c のアルギン酸溶液 (C1) と混合し、ブタ膵島を懸濁させた実施例 8 の溶液とした。1 デバイスあたりのブタ膵島量 10000 IEQ のペレット量 (10~30 μ L) に応じて、実施例 5-1b のアルギン酸溶液 (B1) および実施例 5-2b のアルギン酸溶液 (C1) は、生理食塩水にて濃度調製を行った。

【0369】

実施例 8 として調製したブタ膵島含有アルギン酸溶液は、迅速に半透膜 (スペクトラム社製透析チューブ「スペクトラ/ポア CE (分画分子量 10 万)」) に封入 (半透膜の一端をヒートシーリングした後、アルギン酸溶液を入れて、他端をヒートシーリングして封入) し、55 mmol/L CaCl₂ 溶液中に 10~15 分間漬し、デバイス中のアルギン酸溶液をゲル化した。

【0370】

ゲル化後、当該移植用デバイスは、生理食塩水にて 3 分洗浄し、移植用培地 (M199-ニコチンアミド-FBS+P/S) で終夜培養した。次いで、移植用無血清培地 (M199+P/S) に 30 分浸してから、移植前洗浄用の生理食塩水+P/S で 30 分浸して洗浄して、マウスへの移植用デバイスとした。作製した移植用デバイスの写真を図 4-2 に示した。

【0371】

・移植用デバイスの大きさ: 縦 10 mm×横 26 mm×厚さ約 0.25~0.8 mm

・移植用デバイス中のハイドロゲルの大きさ:

実施例 8-1: 縦約 10 mm×横約 20 mm×厚さ約 0.5 mm (500 μ m)

実施例 8-2: 縦約 10 mm×横約 20 mm×厚さ約 0.375 mm (375 μ m)

実施例 8-3: 縦約 10 mm×横約 20 mm×厚さ約 0.25 mm (250 μ m)

・培養条件: M199+Nicotinamide+Fetal bovine serum+Penicillin/Streptomycin (P/S), O/N

・洗浄条件: 1) 移植用無血清培地 (M199+P/S), 30 min, r.t.

2) 生理食塩水 (saline+P/S), 30 min, r.t.

【0372】

〔移植用デバイスの評価 (移植試験)〕

実施例 7 に準じて実施した。

実施例 8-1 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 178 までの血糖値変動を図 11-1、体重の変動を図 12-1 に示した。

また、実施例 8-2 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 178 までの血糖値変動を図 11-2、体重の変動を図 12-2 に示した。さらに、移植後 day 178 で移植用デバイスを取り出し、リレー移植後 day 40 までの血糖値変動を図 11-3、体重の変動を図 12-

10

20

30

40

50

3に示した。

また、実施例8-3の移植デバイスを用いた際の移植後 day 178までの血糖値変動を図11-4、体重の変動を図12-4に示した。さらに、移植後day 178で移植用デバイスを取り出し、リレー移植後day 40までの血糖値変動を図11-5、体重の変動を図12-5に示した。

図11-1～5及び図12-1～5中、#及び数字で表した表示は各々移植したマウス固体を識別する番号を意味する。

体重変動には異常はなく、血糖値は178日間正常値に維持された。また、更なるリレー移植後40日間、体重変動には異常はなく、血糖値は正常に維持された。

【0373】

摘出したデバイスはGsIsが行われ、デバイスがインスリン分泌能を有していることを確認した。

【0374】

(実施例9)

糖尿病モデルマウスへの腹腔内移植による移植用デバイスの評価3

実施例7の方法に準じ、以下のデバイスを調製した。

<移植用デバイス>

実施例9-1：1重量%に調製したアルギン酸ナトリウム（持田製薬株式会社製：B-2）水溶液を200μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-2：実施例7-1と同様の方法で製造した溶液200μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-3：実施例7-2と同様の方法で製造した溶液200μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-4：実施例7-2と同様の方法で製造した溶液100μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-5：実施例7-3と同様の方法で製造した溶液200μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-6：実施例7-3と同様の方法で製造した溶液100μL用いて調製した移植用デバイス

実施例9-7：実施例7-3と同様の方法で製造した溶液50μL用いて調製した移植用デバイス

【0375】

・移植用デバイスの大きさ：縦10mm×横26mm×厚さ約0.25～1.3mm

・移植用デバイス中のハイドロゲルの大きさ：

実施例9-1、実施例9-2、実施例9-3及び実施例9-5：縦約10mm×横約20mm×厚さ約1mm（1000μm）

実施例9-4、実施例9-6：縦約10mm×横約20mm×厚さ約0.5mm（500μm）

実施例9-7：縦約10mm×横約20mm×厚さ約0.25mm（250μm）

【0376】

移植試験は実施例7に準じて行われた。実施例9-1～実施例9-7のデバイスをそれぞれ複数の糖尿病モデルマウスに移植した。移植から178日間、血糖値が300mg/dL以下（但し、期間中3回までは300mg/dLを超えることを許容する）であったマウスを治癒マウスと定義し、移植した糖尿病モデルマウス数に対する治癒マウス数を治癒率として算出したところ、以下の結果となった。

【0377】

10

20

30

40

50

【表 1 2】

	アルギン酸溶液	アルギン酸	溶液の 容量	糖尿病モデル マウス数 (匹)	治癒マウス 数 (匹)	治癒率
実施例9-1	1%B-2アルギン酸溶液	B-2のアルギン酸	200μl	30	5	16.7%
実施例9-2	実施例5-1b及び実施例5-2bの 溶液の2倍希釈に相当	実施例1bと実施例2bの アルギン酸	200μl	7	0	0.0%
実施例9-3	実施例5-1b及び実施例5-2bの		200μl	11	3	27.3%
実施例9-4	溶液の4倍希釈に相当		100μl	7	3	42.9%
実施例9-5	実施例5-1b及び実施例5-2bの	実施例1cと実施例2cの アルギン酸	200μl	10	4	40.0%
実施例9-6	溶液の4倍希釈に相当		100μl	13	5	38.5%
実施例9-7			50μl	21	13	61.9%

10

【0 3 7 8】

糖尿病モデルマウスの治癒率は、天然のアルギン酸で製造したハイドロゲルを含む移植用デバイスよりも本願発明のアルギン酸誘導体で製造したハイドロゲルを含む移植用デバイスの方が高いこと、を確認した。また、ハイドロゲルの厚さが薄いほど治癒率が高く、本実施例において500 μm以上の厚みで治癒率が約40%に対し、250 μmとなることで治癒率が約62%と向上することが確認された。なお、実施例9-2は治癒率0.0%となっているが、N数が少ないことに起因しており、N数が増えることで実施例9-3に記載の程度の治癒率になるものと予想される。

【0 3 7 9】

20

(実施例10)

糖尿病モデルマウスへの腹腔内移植による移植用デバイスの評価4

【0 3 8 0】

〔移植用デバイスの調製〕

脾臓として脾臓ランゲルハンス島β細胞の株化細胞であるMIN6細胞(2.5×10⁶ cells)を使用し、実施例7に準じた方法でデバイスを製造した。

2%のA-2のアルギン酸の溶液を、4倍希釈した溶液を実施例10-1の溶液とした。

実施例5-1eの溶液と実施例5-2eの溶液とを1:1(容量比)で混合した溶液を実施例10-2の溶液とした。

また、実施例5-1eの溶液と実施例5-5bの溶液とを1:1(容量比)で混合した溶液を実施例10-3の溶液とした。

30

また、実施例5-3cの溶液と実施例5-2eの溶液とを1:1(容量比)で混合した溶液を実施例10-4の溶液とした。

また、実施例5-3cの溶液と実施例5-5bの溶液とを1:1(容量比)で混合した溶液を実施例10-5の溶液とした。

実施例10-2～10-5はいずれも化学架橋基としては0.5%濃度である。

【0 3 8 1】

実施例10-1～実施例10-5の溶液(いずれも50 μL)で各々調製した移植用デバイスは以下の通りである。

<移植用デバイス>

実施例10-1: 実施例10-1の溶液を50 μL用いて調製した移植用デバイス

実施例10-2: 実施例10-2の溶液を50 μL用いて調製した移植用デバイス

実施例10-3: 実施例10-3の溶液を50 μL用いて調製した移植用デバイス

実施例10-4: 実施例10-4の溶液を50 μL用いて調製した移植用デバイス

実施例10-5: 実施例10-5の溶液を50 μL用いて調製した移植用デバイス

【0 3 8 2】

・移植用デバイスの大きさ: 縦10 mm×横26 mm×厚さ約0.4 mm

・移植用デバイス中のハイドロゲルの大きさ: 縦約10 mm×横約20 mm×厚さ約0.25 mm(250 μm)

【0 3 8 3】

50

〔移植用デバイスの評価（移植試験）〕

実施例 7 に準じて実施した。

実施例 10-1 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 17 までの血糖値変動を図 13-1、体重の変動を図 14-1 に示した。

実施例 10-2 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 17 までの血糖値変動を図 13-2、体重の変動を図 14-2 に示した。

実施例 10-3 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 17 までの血糖値変動を図 13-3、体重の変動を図 14-3 に示した。

実施例 10-4 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 17 までの血糖値変動を図 13-4、体重の変動を図 14-4 に示した。

実施例 10-5 の移植デバイスを用いた際の移植後 day 17 までの血糖値変動を図 13-5、体重の変動を図 14-5 に示した。

図 13-1～5 及び図 14-1～5 中、# 及び数字で表した表示は各々移植したマウス固体を識別する番号を意味する。

体重変動には異常はなく、血糖値は 12～17 日間正常値に維持された。

【0384】

組織反応性の評価：

組織反応性の評価は実施例 7 に準じて行った。

【0385】

実施例 10-1～5 の移植デバイスを用いた際の、移植 2 週間後デバイスを摘出し、組織反応性を観察した結果、（１）デバイス表面に、血管新生しておらず、（２）デバイスが臓器や腹膜、大網等と癒着しておらず、（３）臓器が鈍的に剥離が可能であり、臓器と直接癒着しておらず、（４）臓器側に炎症等は認められなかった。

【0386】

移植 2 週間後摘出したデバイスを開き、デバイス中のアルギン酸ゲルの形状を確認した。その結果、生体内に長期間置かれた移植用デバイス中のアルギン酸ゲルの形状は維持されていることが明らかとなった。

【0387】

（実施例 11）

移植用デバイスの酸素透過性の評価

【0388】

〔酸素透過性のシミュレーション〕

縦 10mm×横 20mm のハイドロゲルについて、実施例 11-1 は厚さ 1mm、実施例 11-2 は 0.5mm、実施例 11-3 は 0.25mm とした場合の、酸素透過率について以下の条件でシミュレーションを行った。

なお、シミュレーションに当たり、ハイドロゲル表面の酸素濃度は均一かつ常に一定であること、細胞の比呼吸速度は常に一定であること、細胞の体積は無視し、ハイドロゲル内で均一に酸素消費すること、ゲルの全表面から中心に対して均等に酸素拡散が生じること、を前提とした。

【0389】

まず、ハイドロゲルを空間上の直交座標系に配置した時の酸素濃度の反応拡散方程式として以下の通りとした。

【数 5】

$$\frac{\partial C_{(x,y,z,t)}}{\partial t} = D_{Ae} \left(\frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z,t)}}{\partial z^2} \right) - Q_{O_2} X$$

そして、 $Q_{O_2} X = r_{O_2}$ （0 次反応）とし、定常状態（ $(\partial C / \partial t) = 0$ ）における酸素濃度分布を求め、以下の式で表した。 r_{O_2} は表 13 に記載の豚島の比呼吸速度、ハイドロゲル

10

20

30

40

50

中に含まれる臍島の総数およびハイドロゲル形状を用いて算出した。

【数 6】

$$0 = D_{Ae} \left(\frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_{(x,y,z)}}{\partial z^2} \right) - r_{O_2}$$

そして、x方向を $x=i\Delta x$ 、y方向を $y=j\Delta y$ 、z方向を $z=k\Delta z$ で等分割し、濃度を $C(x,y,z)=C_{i,j,k}$ の節点値で差分化することにより、次の式を得、かかる式により算出した。ただし、 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta$ とした。

【数 7】

$$C_{i,j,k} = \frac{1}{6} \left[C_{i-1,j,k} + C_{i+1,j,k} + C_{i,j+1,k} + C_{i,j-1,k} + C_{i,j,k+1} + C_{i,j,k-1} - \frac{\Delta^2 \cdot r_{O_2}}{D_{Ae}} \right]$$

上記式からハイドロゲル表面と中心部の酸素濃度比率のシミュレーションを実施した。なお、シミュレーションに用いた係数は下記の通りであり、BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING/VOL 96, ISSUE 5, P 990-998 (2007) 及び THEORETICAL BIOLOGY AND MEDICAL MODELLING/6:5 (2009) を参照した。

【0390】

【表 13】

係数	数値(単位)
酸素のハイドロゲル中での有効拡散係数 D_{Ae}	$2.7 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$
ゲル表面の溶存酸素濃度	$3430 \text{ (mg/m}^3\text{)}$
臍島の比呼吸速度	$0.06 \times 10^{-12} \text{ (mol/sec/IEQ)}$
ハイドロゲル中に含まれる臍島の総数	10000 (IEQ)
ハイドロゲル形状 (縦 × 横 × 厚さ)	10 mm × 20 mm × 1 mm 10 mm × 20 mm × 0.5 mm 10 mm × 20 mm × 0.25 mm
Δ	0.2 mm 0.1 mm 0.05 mm

【0391】

図15-1はハイドロゲルを表し、黒い矢印で示す箇所の断面における酸素透過性を示したのが図15-2～15-4である。なお、凡例を図15-2に示し、表示内容は図15-3～15-4においても同様である。図15-2は実施例11-1の厚さ1mmのハイドロゲルであるが、表面の酸素透過性が100～75%であるのに対し、中心部の酸素透過率が25%以下であった。また、実施例11-2を示す図15-3では厚さ0.5mmとすることで、中心部の酸素透過率が50～25%と向上し、実施例11-3を示す図15-4では厚さ0.25mmとすることで、中心部の酸素透過率が75～50%と表面の酸素濃度の半分以上となった。

【0392】

(実施例12)

移植用デバイスからの物質透過性の評価

〔移植用デバイスの調製〕

架橋基の導入率2.2mol%の実施例1eと導入率2.4mol%の実施例2eとを

用いて、各々、2重量%の実施例12-1eの水溶液及び2重量%の実施例12-2eの水溶液を調製した。なお、水溶液の調製には生理食塩水を用いた。

実施例12-1eの溶液と実施例12-2eの溶液を1:1(容量比)で混合することで、2重量%のアルギン酸溶液が調製できる。この溶液を生理食塩水と1:1(容量比)で混合した溶液25 μ Lと、ヒトインスリン500ng又はグルコース250 μ gを含む0.01%Tween20含有生理食塩溶液25 μ Lとを混合し50 μ Lとした。この溶液は、迅速に半透膜(スペクトラム社製透析チューブ「スペクトラ/ポアCE(分画分子量10万)」)に封入(半透膜の一端をヒートシーリングした後、アルギン酸溶液を入れて、他端をヒートシーリングして封入)し、55mmol/L CaCl₂溶液中に10~15分間漬し、デバイス中のアルギン酸溶液をゲル化した。アルギン酸の最終濃度は0.5%であった。かかる溶液で調製した移植用デバイスを実施例12-1(インスリンを含む)及び実施例12-2(グルコースを含む)のハイドロゲルとした。

・ハイドロゲルの大きさ:縦10mm×横20mm×厚さ約0.25mm

【0393】

〔試験方法〕

実施例12-1又は実施例12-2のハイドロゲルを室温の0.01%Tween20含有生理食塩水溶液40mL中で24時間攪拌し、外液中のインスリン濃度あるいはグルコース濃度を測定し、ハイドロゲルに封入したヒトインスリン又はグルコースが生理食塩水溶液中に拡散した場合を100%としたときのヒトインスリン透過率又はグルコース透過率を求めた。

【0394】

実施例12の移植用デバイスを用いた際の試験開始後24時間までの外液中インスリン濃度を図16-1、グルコース濃度を図16-2に示した。ヒトインスリン及びグルコースのいずれも速やかに透過し、24時間攪拌で100%が透過したことが確認され、本発明の移植用デバイスが、ヒトインスリンやグルコースの透過性に優れることを確認した。

【0395】

(実施例13)

ハイドロゲルの崩壊性評価

〔移植用デバイスの調製〕

まず、以下の実施例13-1~13-5の生理食塩水溶液を調製した。

10

20

30

40

50

【表 1 4】

実施例	アルギン酸溶液
実施例13-1の溶液	アルギン酸ナトリウム水溶液 0.5% (持田製薬株式会社製:B-2)
実施例13-2の溶液	アルギン酸ナトリウム水溶液 1% (持田製薬株式会社製:B-2)
実施例13-3の溶液	実施例1eのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と 実施例2eのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と を1:1(容量比)で混和して得られる溶液を2倍に希釈し た溶液(化学架橋基として0.5重量%のアルギン酸溶 液)
実施例13-4の溶液	実施例1eのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と 実施例2eのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と を1:1(容量比)で混和して得られる溶液(化学架橋基と して1重量%のアルギン酸溶液)
実施例13-5の溶液	実施例1bのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と 実施例2bのアルギン酸1.0重量%の生理食塩水溶液と を1:1(容量比)で混和して得られる溶液を2倍に希釈し た溶液(化学架橋基として0.5重量%のアルギン酸溶 液)

10

20

【0396】

実施例13-1～実施例13-5の溶液で各々調製した移植用デバイスは以下の通りである。

＜移植用デバイス＞

実施例13-1：実施例13-1の溶液を50μL用いて調製したのちに、迅速に半透膜（スペクトラム社製透析チューブ「スペクトラ/ポアCE（分画分子量10万）」）に封入（半透膜の一端をヒートシーリングした後、アルギン酸溶液を入れて、反対側もヒートシーリングを実施して封入）し、55mmol/L CaCl₂溶液中に10～15分間漬し、デバイス中のアルギン酸溶液をゲル化した。その後、封入膜からアルギン酸ゲルを取り出した移植用デバイス

30

実施例13-2：実施例13-2の溶液を200μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-3a：実施例13-3の溶液を50μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-3b：実施例13-3の溶液を100μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-3c：実施例13-3の溶液を200μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

40

実施例13-4：実施例13-4の溶液を200μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-5a：実施例13-5の溶液を50μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-5b：実施例13-5の溶液を100μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

実施例13-5c：実施例13-5の溶液を200μL用いて調製したのちに、実施例13-1と同様に作製した移植用デバイス

【0397】

〔試験方法〕

50

実施例 13-1～5cのいずれかの移植用デバイス 3 枚を 15 mL コニカルチューブ中の 37℃の生理食塩水溶液 12 mL 中に加え、中型恒温振とう培養機（タイテック株式会社、バイオシェーカー（登録商標）BR-43FL・MR）を使用し、37℃で維持したまま往復振とうの方式で振幅 25 mm、振とう速度 180 rpm の条件で振とうした。試験開始 1.5 時間後、6 時間後、24 時間後、96 時間後に外液を回収し、カルバゾール硫酸法にてアルギン酸濃度を定量した。また試験開始 96 時間後の外液回収後に、移植用デバイスを回収しリアーゼ処理することでアルギン酸ゲルを溶解させたのちに、残存ゲル中のアルギン酸濃度を定量した。

試験終了時の外液中のアルギン酸濃度及び残存ゲル中のアルギン酸濃度からデバイス中のアルギン酸含量を求め、これを 100%とした場合の、各試験開始後の外液から確認されたアルギン酸濃度から計算されるデバイスからの漏出アルギン酸含量を崩壊率として算出した。

【0398】

実施例 13 の移植用デバイスを用いた際の試験開始後 96 時間までの崩壊率を図 17 に示した。また、試験開始 24 時間後及び 96 時間後の崩壊率を表 15 に示した。

【0399】

【表 15】

実施例	24時間後の崩壊率	96時間後の崩壊率
実施例13-1	125%	112%
実施例13-2	40%	44%
実施例13-3a	5%	4%
実施例13-3b	7%	3%
実施例13-3c	8%	8%
実施例13-4	7%	6%
実施例13-5a	0%	0%
実施例13-5b	0%	0%
実施例13-5c	1%	2%

【0400】

実施例 13-1 および 13-2 の天然アルギン酸を使用した移植用デバイスはハイドロゲル中のアルギン酸が速やかに溶解してハイドロゲルが崩壊したが、実施例 13-3～13-5 の本発明の移植用デバイスはアルギン酸溶出がほとんど認められず、ハイドロゲルも崩壊しないため、安定性に優れることを確認した。

【0401】

（実施例 14）

アルギン酸ゲルからの細胞脱落のモデル試験

〔移植用デバイスの調製〕

調製した移植用デバイスは以下の通りである。

<移植用デバイス>

実施例 14-1：実施例 13-1 の溶液 45 μ L に臍島細胞の代わりとしてポリスチレンビーズ（106-125 μ m, ポリサイエンス社, cat No. 19824）の溶液を 5 μ L 加えて調製したのちに、迅速に半透膜（スペクトラム社製透析チューブ「スペクトラ/ポアCE（分画分子量10万）」）に封入（半透膜の一端をヒートシーリングした後、アルギン酸溶液を入れて、反対側もヒートシーリングを実施して封入）し、55 mmol/L CaCl₂ 溶液中に 10～15 分間漬し、デバイス中のアルギン酸溶液をゲル化した。その後、封入膜からアルギン酸ゲルを取り出した移植用デバイス

実施例 14-2：実施例 13-3a の溶液 45 μ L に臍島細胞の代わりとしてポリスチレンビーズを 5 μ L 加えて用いて調製したのちに、実施例 14-1 と同様に作製した移植用デバイス

【0402】

〔試験方法〕

実施例14-1～2のいずれかの移植用デバイス3枚を15mLコニカルチューブ中の37℃の生理食塩水溶液12mL中に加え、中型恒温振とう培養機（タイテック株式会社、バイオシェーカー（登録商標）BR-43FL・MR）を使用し、37℃で維持したまま往復振とうの方式で振幅25mm、振とう速度180rpmの条件で振とうした。試験開始24時間後に外液を回収し、外液中へ脱落したポリスチレンビーズについて顕微鏡で観察した。

【0403】

実施例14-1の移植用デバイスを用いた際の試験開始24時間後の外液観察写真を図18-1に、実施例14-2の移植用デバイスを用いた際の試験開始後24時間後の外液観察写真を図18-2に、それぞれ示した。

実施例14-1の天然アルギン酸を使用した移植用デバイスの場合、外液中に多数のビーズが観察され、試験開始24時間後にほとんどのマイクロビーズが脱落していることが確認された。一方、実施例14-2の本発明の移植用デバイスの場合、マイクロビーズの脱落がほとんど認められず（脱落率10%以下と考えられる）、封入した細胞が長期にわたり脱落しないと考えられ、安定性に優れることを確認した。

【0404】

以上ことから、好ましい態様の移植用デバイスは、少なくとも下記の効果の1つ以上を示すことが明らかとなった。

（1）生体適合性や安定性に優れ、細胞毒性も少なく、移植部位における癒着や炎症もほとんどない。

（2）ゲルの溶解が少なく形状が長期間維持される。

（3）長期間にわたり、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能となる。

（4）長期間使用した後、半透膜中のアルギン酸ゲルは溶解しないで形状を維持可能であり、また膵島の生存・機能維持が可能であり、長期間使用できる。

（5）交換が可能であり、免疫隔離可能であり、癒着、炎症等も少なく、安全性の高い医療材料となる。

（6）デバイス内外への物質透過性に優れる。

（7）ハイドロゲルの厚みが500μm未満の薄型のデバイスである場合に、500μm以上の場合と比べ、デバイスを移植した動物の治癒率が高い。

（8）ハイドロゲルの厚みが500μm未満の薄型のデバイスである場合に、500μm以上の場合と比べ、デバイスの表面に対する中心部の酸素濃度の割合が高い。

（9）ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲルが崩壊しない又はしにくい。

（10）ハイドロゲルを振とうした場合において、ハイドロゲル中に含まれる膵島のゲルからの脱落が少ない。

【0405】

より好ましい態様の移植用デバイスは、移植成績や機能性に優れ、素材に関して新規であり、糖尿病患者（とりわけ、Ⅰ型糖尿病及びインスリン枯渇型Ⅱ型糖尿病）に移植することにより、長期間にわたり、血糖降下作用を持続させ、血糖を調節することが可能となる。また、ハイドロゲル内のインスリン分泌細胞又は膵島の機能が低下した場合に、回収が可能である。あるいは、定期的な交換もしくは追加移植が可能となる。また、移植用デバイスのハイドロゲルに封入するインスリン分泌細胞又は膵島として、幹細胞（iPS等）から分化させたインスリン分泌細胞、又はヒト膵島を用いることも可能である。従って、より好ましい態様の移植用デバイスは有用である。

10

20

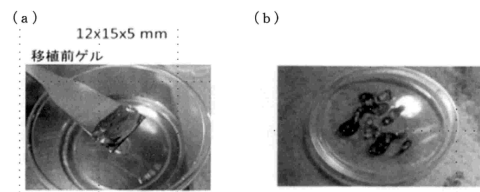
30

40

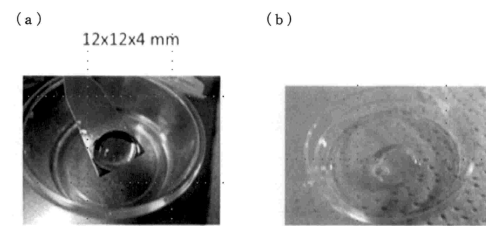
50

【図面】

【図 1】

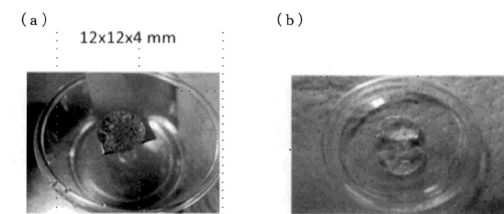


【図 2】

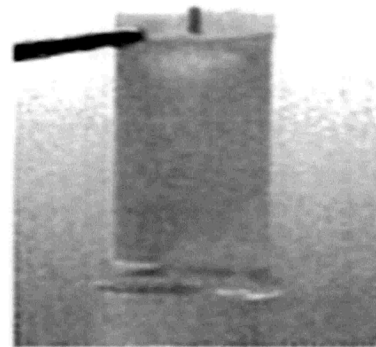


10

【図 3】

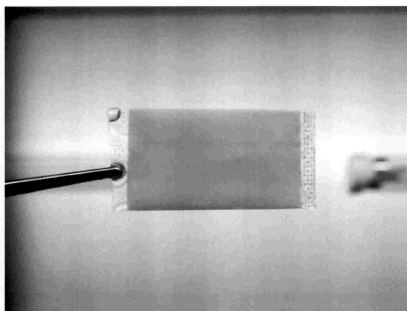


【図 4 - 1】

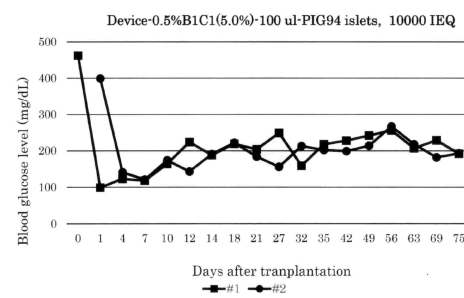


20

【図 4 - 2】



【図 5 - 1】

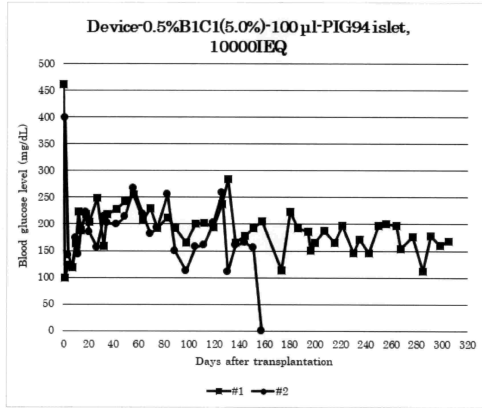


30

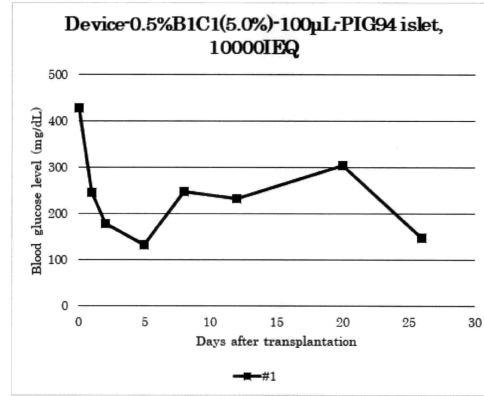
40

50

【図 5 - 2】

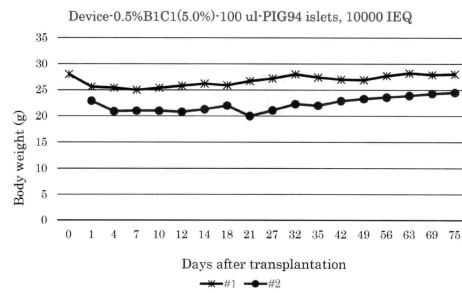


【図 5 - 3】

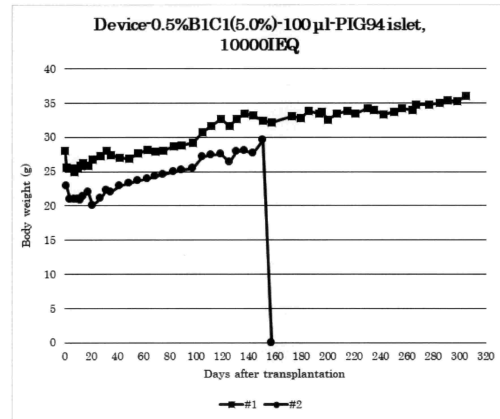


10

【図 6 - 1】



【図 6 - 2】



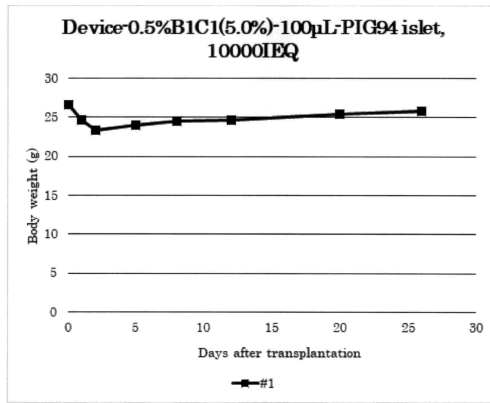
20

30

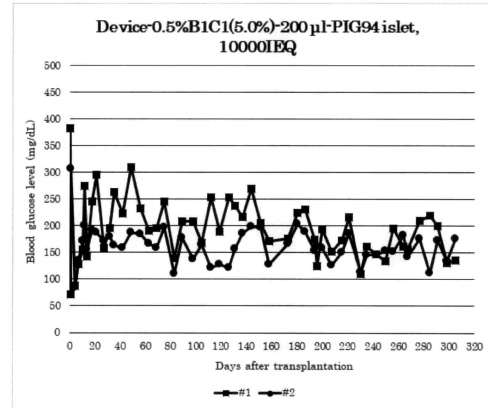
40

50

【図 6 - 3】

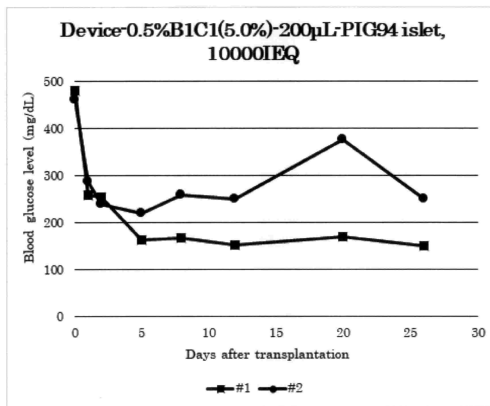


【図 7 - 1】

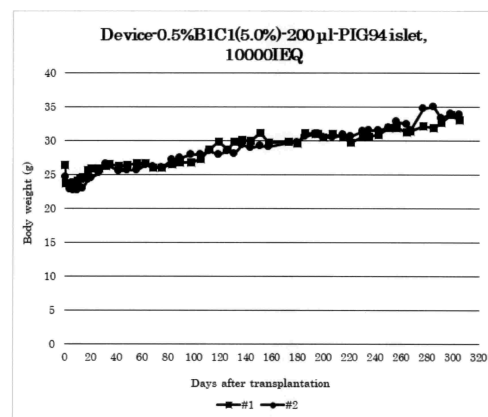


10

【図 7 - 2】



【図 8 - 1】



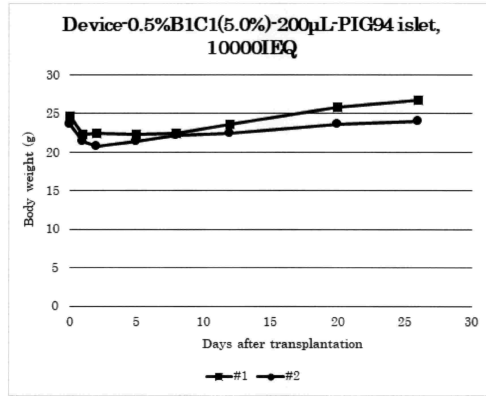
20

30

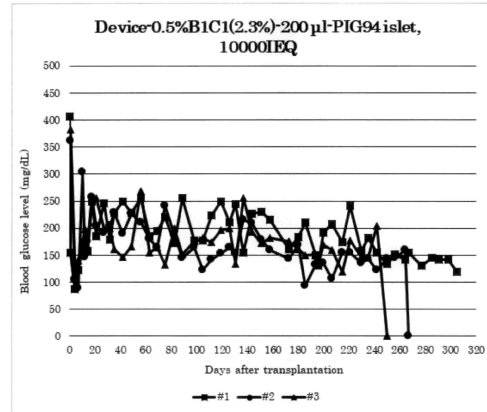
40

50

【図 8 - 2】

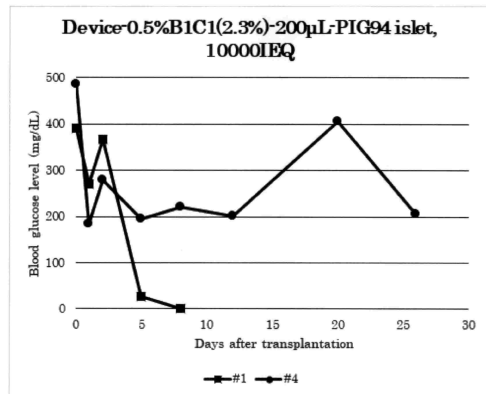


【図 9 - 1】

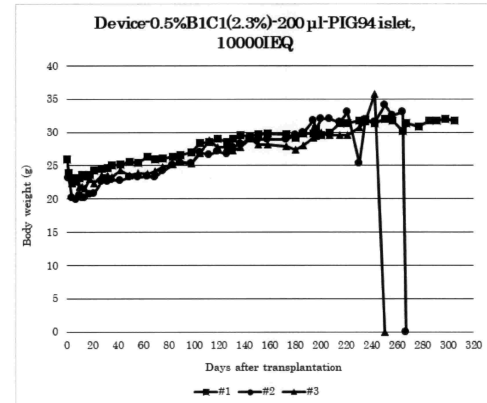


10

【図 9 - 2】



【図 10 - 1】



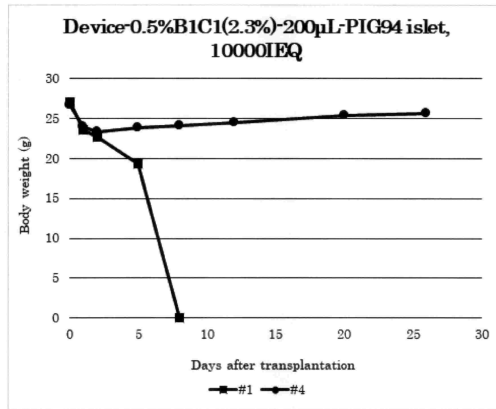
20

30

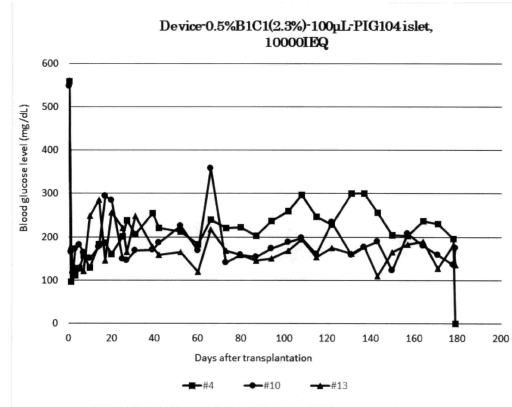
40

50

【図 10 - 2】

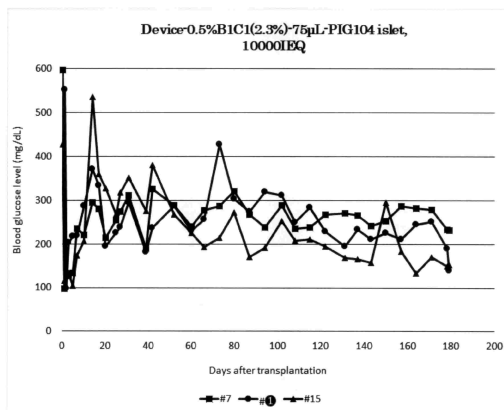


【図 11 - 1】

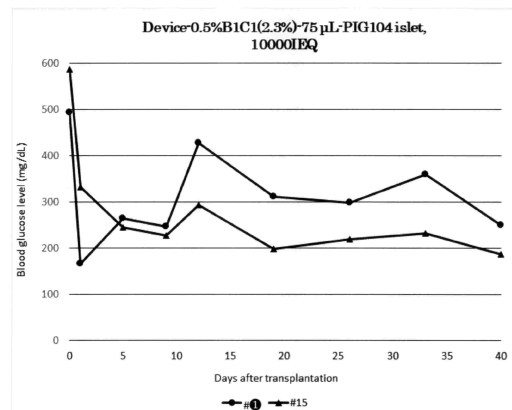


10

【図 11 - 2】



【図 11 - 3】



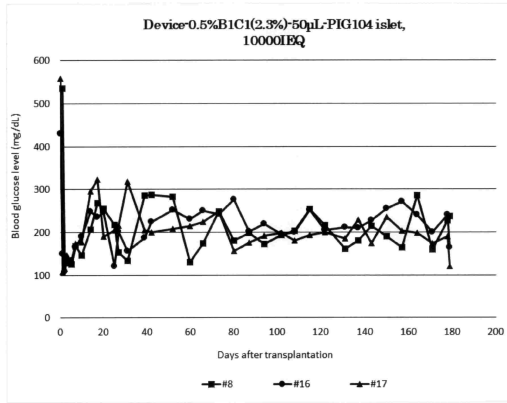
20

30

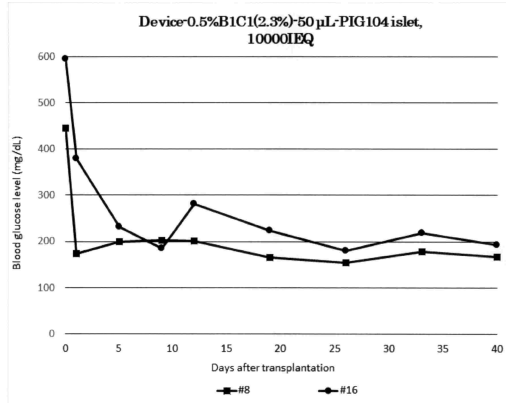
40

50

【図 1 1 - 4】

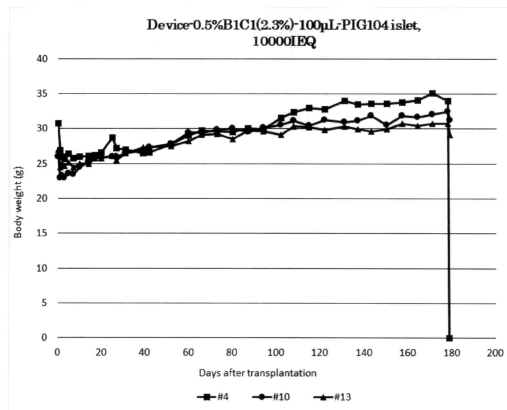


【図 1 1 - 5】

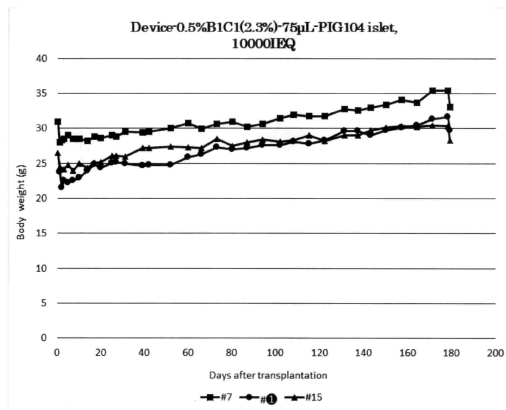


10

【図 1 2 - 1】

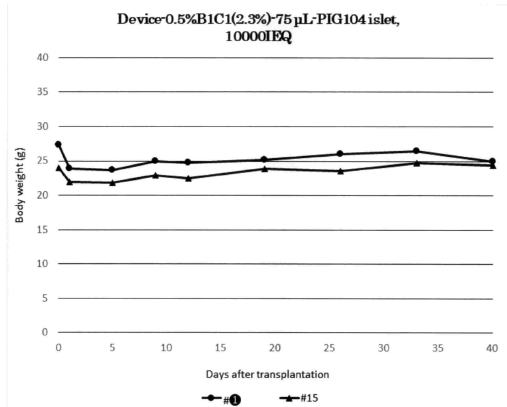


【図 1 2 - 2】

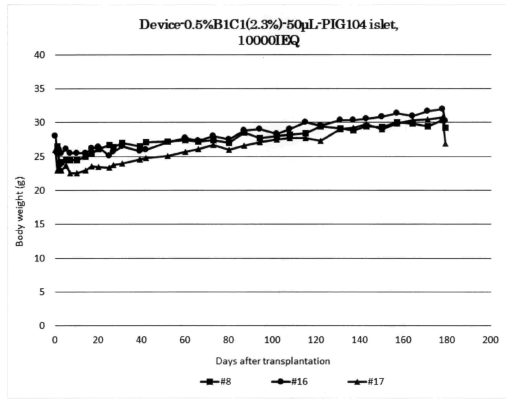


20

【図 1 2 - 3】



【図 1 2 - 4】

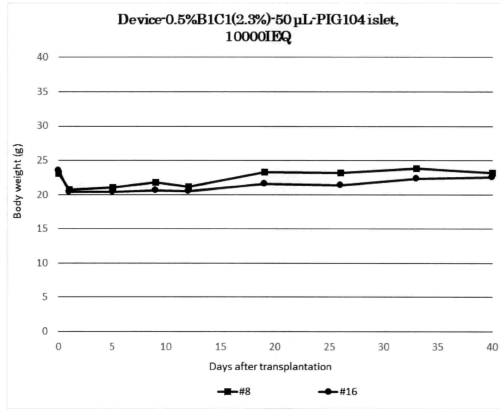


30

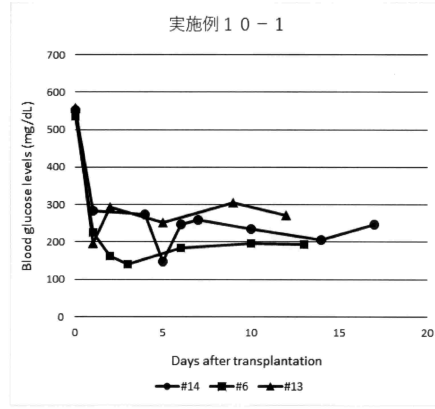
40

50

【図 1 2 - 5】

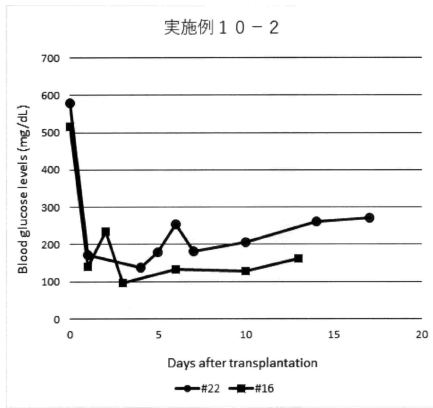


【図 1 3 - 1】

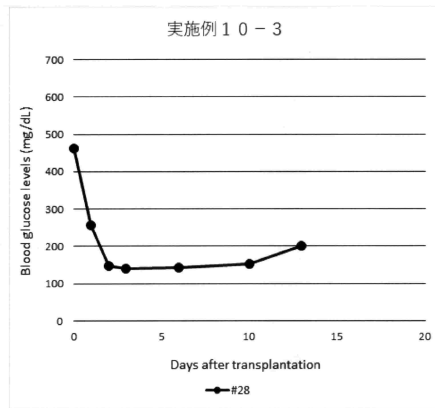


10

【図 1 3 - 2】

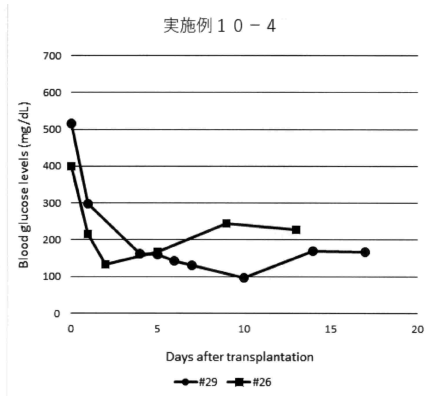


【図 1 3 - 3】

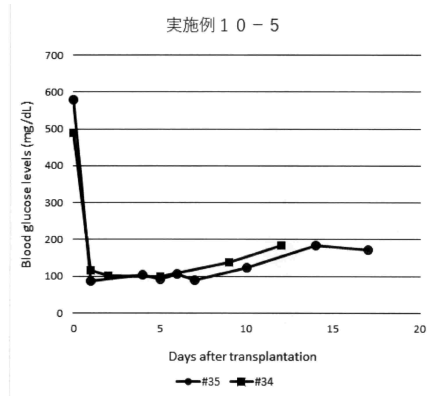


20

【図 1 3 - 4】



【図 1 3 - 5】

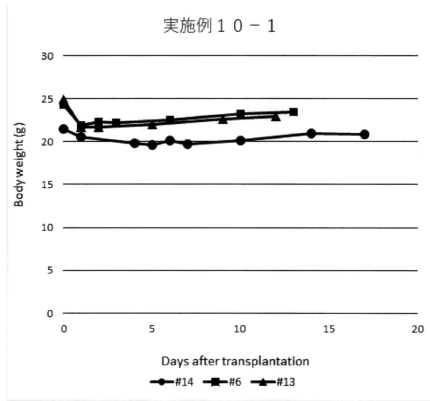


30

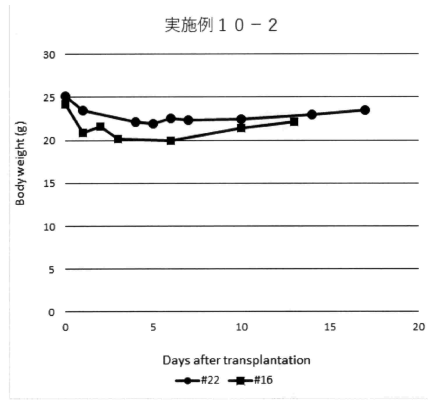
40

50

【図 14-1】

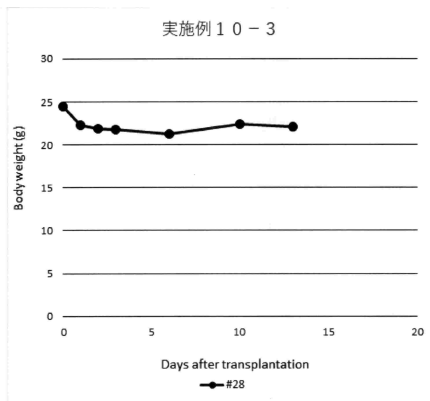


【図 14-2】

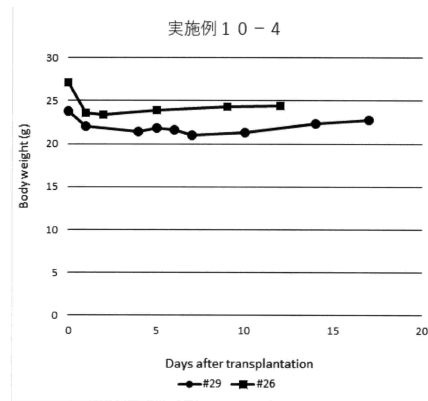


10

【図 14-3】

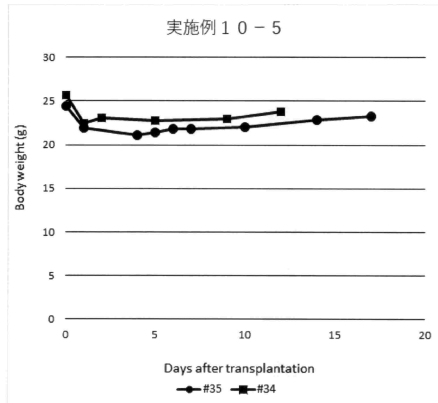


【図 14-4】

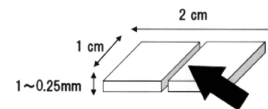


20

【図 14-5】



【図 15-1】

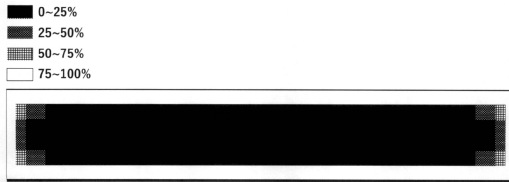


30

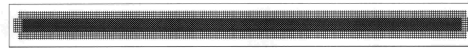
40

50

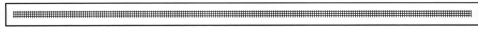
【図 15-2】



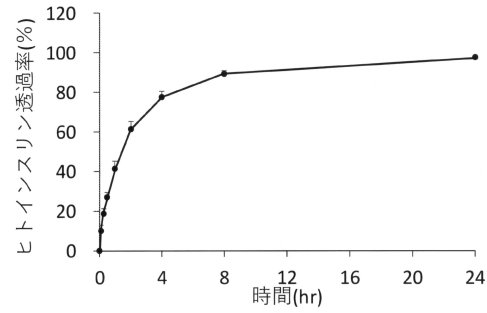
【図 15-3】



【図 15-4】

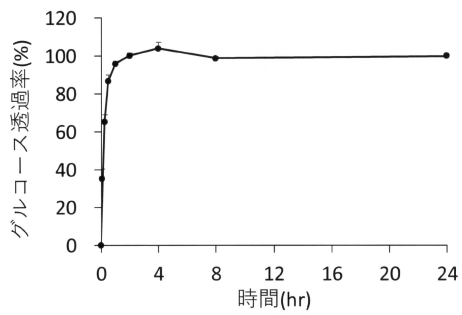


【図 16-1】



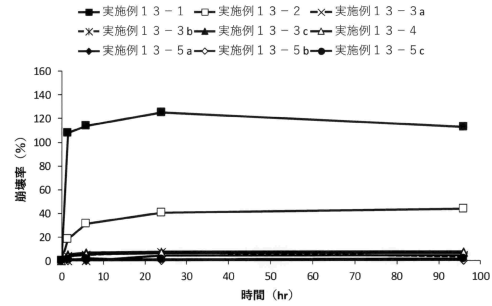
10

【図 16-2】



20

【図 17】

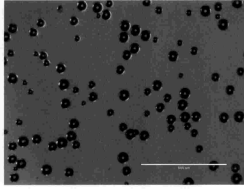


30

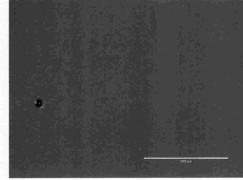
40

50

【図 18-1】



【図 18-2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

A 6 1 P 3/10 (2006.01)

F I

A 6 1 P 3/10

際医療研究センター内

(72)発明者 安嶋 久美子

東京都新宿区戸山1-21-1 国立国際医療研究センター内

(72)発明者 古迫 正司

東京都新宿区四谷一丁目7番地 持田製薬株式会社内

(72)発明者 津田 直人

東京都新宿区四谷一丁目7番地 持田製薬株式会社内

審査官 田澤 俊樹

(56)参考文献 中国特許出願公開第105078923 (CN, A)

特表2019-512522 (JP, A)

特表2000-507202 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A 6 1 L 27/00-27/60**A 6 1 K 47/00-47/69****9/00-9/72****35/00-35/768****A 6 1 P 1/00-43/00****JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)****CAPLUS/REGISTRY/MEDLINE/EMBASE/BIOSIS (STN)**