

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5054706号
(P5054706)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int.Cl. F I
F 1 6 L 57/00 (2006.01) F 1 6 L 57/00 A

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-551476 (P2008-551476)	(73) 特許権者	508220308
(86) (22) 出願日	平成19年1月23日(2007.1.23)		エンジニアリング・メカニクス・コーポレーション・オブ・コロンバス
(65) 公表番号	特表2009-523985 (P2009-523985A)		ENGINEERING MECHANICS CORPORATION OF COLUMBUS
(43) 公表日	平成21年6月25日(2009.6.25)		アメリカ合衆国オハイオ州43221-1735・コロンバス・リバーサイドドライブ 3518・スイート 202
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/001740		3518 Riverside Drive, Suite 202, Columbus, OH 43221-1735 (US)
(87) 国際公開番号	W02007/087287	(74) 代理人	100089266
(87) 国際公開日	平成19年8月2日(2007.8.2)		弁理士 大島 陽一
審査請求日	平成21年12月11日(2009.12.11)		最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	60/761, 202		
(32) 優先日	平成18年1月23日(2006.1.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	11/656, 093		
(32) 優先日	平成19年1月22日(2007.1.22)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 パイプライン用の軟質な亀裂アレスタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高エネルギー流体を輸送するパイプラインの管軸方向の延性破壊伝播をアレスタするためのアレスタであって、

該アレスタは、延性破壊伝播を受けたとき、十分に変形するような材料で形成され、前記アレスタの厚さと前記アレスタのフープ強度との積が、前記パイプの厚さと前記パイプの終局強度との積の2倍を超えず、

前記アレスタの最低限の延性は、前記亀裂の長さが前記アレスタの必要最小長さの2倍に達したとき、前記延性破壊伝播の先端部角度である材料の亀裂先端開口角(CTOA)に適合することができるように定められたことにより、

前記延性破壊伝播は少なくとも前記アレスタの内側へ入り込むが、前記パイプラインのリングオフを生じることなく前記伝播を停止するようにされたことを特徴とするアレスタ。

【請求項 2】

前記アレスタが、1つ或いは複数の鋼又は繊維強化複合材料から形成されることを特徴とする請求項1に記載のアレスタ。

【請求項 3】

高エネルギー流体を輸送するパイプラインの管軸方向の延性破壊伝播をアレスタするための方法であって、

前記パイプラインの外周の周囲にアレスタを配置するステップを含み、

10

20

前記アレスタは、延性破壊伝播を受けたとき、十分に变形するような材料で作られており、

前記アレスタの厚さと前記アレスタのフープ強度との積が、前記パイプの厚さと前記パイプの終局強度との積の2倍を超えず、

前記アレスタの最低限の延性は、前記亀裂の長さが前記アレスタの必要最小長さの2倍に達したとき、前記延性破壊伝播の先端部角度である材料の亀裂先端開口角（CTOA）に適合することができるように定められたことにより、

前記延性破壊伝播は少なくともアレスタの内側へ入り込むが、前記パイプラインのリングオフを生じることなく前記伝播を停止するようにされたことを特徴とする方法。

【請求項4】

前記アレスタが、1つ或いは複数の鋼又は繊維強化複合材料から形成されることを特徴とする請求項3に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、パイプラインの亀裂に関するものである。より詳しくは、「リングオフ」を生じることなく延性破壊伝播をアレストすることに関する。

【0002】

<関連する出願の参照>

【0003】

本出願は、2006年1月23日付け出願の米国仮特許出願番号第60/761/202号に対する優先権を主張する。

【0004】

<連邦政府による資金提供を受けた研究開発の記載>

【0005】

該当なし。

【背景技術】

【0006】

パイプラインの管軸方向の亀裂をアレストするためのアレスト性能は、高エネルギー流体を輸送するパイプライン（又は単に「パイプ」）における1つの設計検討事項である。「高エネルギー流体」とは、天然ガス、炭化水素添加物が豊富な天然ガス、又は液体CO₂などの圧力が急速に減少しないものことである。油又は水をその中に含むパイプラインは、そのような場合、圧力が急に減少し、亀裂は迅速にアレストされることになる。

【0007】

管軸方向の破壊が始まると、その破壊は脆性挙動又は延性挙動で伝播される。現代のパイプラインは鋼を用いることにより、パイプの長さ方向に沿って約1,500フィート/秒以上で伝播する脆性破壊を容易に防止するように設計することができる。しかしながら、高エネルギーのパイプラインにおいて、約300乃至約1,200フィート/秒の間で伝播する延性破壊伝播を制御するのはより困難なことである。そのような破壊伝播の最も一般的な原因は、パイプラインの腐食や、掘削又は建設用機械によるパイプラインの損傷などの外部的なものである。

【0008】

亀裂アレスタは、パイプラインの長さ方向への制御できない延性破壊伝播を制限するために設計され、パイプラインに取り付けられている。これら亀裂アレスタは、通常、所定の間隔にてパイプラインに取り付けられる機械的な装置であり、この装置が延性破壊を受けると、延性破壊を即座にアレストする。

【0009】

次のような様々な亀裂アレスタが提案されている。Wilkowski, G., Scott, P.及びMaxey, W.らの「パイプライン用の機械的亀裂アレスタの設計及び最適化」（「Design and Optimization of Mechanical Crack Arrestors for Pipelines」、NG-18 Report 134, July

10

20

30

40

50

1983)、米国特許番号第4,327,473号、同第4,559,974号、同第4,676,276号、同第4,700,752号、同第4,195,669号、同第4,180,104号、同第4,176,691号、同第4,148,127号、同第4,224,966号、同第4,284,107号。

【0010】

これら亀裂アレスタの多くは、どのように亀裂がアレスタされているか(すなわち、破壊アレスタ事象の間にパイプは溝から飛び出しているのか、又は最初に配設された溝及びパイプラインの通路内で停止されているのか)ということ を考慮せずに、更なる伝播を停止させるべく設計されている。パイプラインの管軸方向の亀裂伝播がアレスタの端部にて円周方向へ向きを変え、外周に沿って伝播してパイプラインでギロチン破断が生じるとき、亀裂のアレスタによるパイプラインの全開の開口を伴うことがよくある。そのようなアレスタ挙動は「リングオフ」とも呼ばれるものであり、パイプラインの完全な分離をもたらすものである。アレスタにおいて、「リングオフ」挙動はパイプラインの一部をそのパイプラインが埋められていた溝から飛び出させるようにする。実規模実験では、そのような「リングオフ」アレスタが起きたとき、パイプの直径が大きい部分は、最初に配設された溝から最大で1/4マイル離れたところまで飛ばされた。この距離はパイプラインの通常の通路からはかなり離れており、その範囲内の人や物にとって非常に危険であることはいうまでもない。

10

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

20

【0011】

高エネルギー流体を輸送するパイプラインの管軸方向の延性破壊伝播をアレスタするためのアレスタは、破壊伝播を受けたとき、アレスタを十分に变形させられるような材料で作られており、前記破壊伝播は少なくともアレスタの内側へ入り込むが、パイプラインのリングオフを生じることなく前記伝播を停止するようにする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の本質及び利点のより十分な理解のために、添付の図面とともに以下の詳細な記述を参照されたい。図面は以下の記述により詳細に説明される。

【0013】

30

本発明の目的は、既存の亀裂アレスタの技術を改良することであり、非常に短い距離で生じる延性破壊のアレスタを行うだけではなく、「ソフトアレスタ」と呼ばれる挙動でアレスタを行う。「ソフトアレスタ」とは、パイプを分離させることなく亀裂を停止し(すなわち、「リングオフ」挙動が生じない)、パイプラインが最初に配設された溝の外へパイプが出ることがないものであるとして定義される。図1及び2は、パイプの破壊実験中に見られた典型的な「リングオフ」及び「ソフトアレスタ」挙動をそれぞれ示す図である。具体的には、図1では、パイプライン10には、その外周に沿って従来技術のアレスタ12が取り付けられている。アレスタ12は前端14を有し、前端14にてリングオフの破壊が発生している。

【0014】

40

図2A及び2Bでは、本発明のアレスタ16が、パイプライン18の外周に沿って取り付けられている。アレスタ16は、前端20を有している。図2Aでは、パイプライン18の長手方向に沿って、アレスタ16の前端20に至る亀裂22が入っている。図2Bでは、ソフトアレスタを示しており、発生した亀裂24が単にアレスタ16を越えて延在し、停止している。本発明のアレスタは、「リングオフ」タイプの故障を防止するために、アレスタのそのデザインにおいて要求される強度の最適化に加えて、亀裂アレスタ装置の延性も考慮するものである。現在の最新の亀裂アレスタの設計では、通常、過度の強度の検討が含まれているにすぎない。

【0015】

パイプラインの管軸方向の亀裂伝播の可能性を予測するためのモデル及び延性破壊を制

50

御するように亀裂アレスタの設計を進展させるためのモデルが過去に開発されている。これらの予測及び設計に影響を与える変数には、次のようなものが含まれる。

【 0 0 1 6 】

1 . ガスの減圧挙動。

【 0 0 1 7 】

2 . 裏込め土の種類（埋め込まれたパイプを覆うのに使用されるもの）。

【 0 0 1 8 】

3 . パイプの直径。

【 0 0 1 9 】

4 . パイプの壁の厚さ。

10

【 0 0 2 0 】

5 . パイプの材料（鋼）の強度又はパイプラインの等級。

【 0 0 2 1 】

6 . パイプの材料の靱性。

【 0 0 2 2 】

7 . 延性破壊伝播の速度。

【 0 0 2 3 】

8 . 亀裂アレスタの形状及び寸法（厚さ、長さを含む）、並びにパイプ及びアレスタの間の隙間。

【 0 0 2 4 】

9 . 亀裂アレスタの材料の強度。

20

【 0 0 2 5 】

1 0 . 亀裂アレスタ及びパイプの間の隙間に対し用いられる充填材の種類及び特性。

【 0 0 2 6 】

本発明のアレスタは、亀裂アレスタの代表的な設計パラメータ（上述の変数 8 ~ 1 0）を、追加のアレスタの延性の変数、従来の設計では考慮されていなかった設計変数とあわせて最適化するものである。これらアレスタの設計パラメータは、延性破壊伝播の「ソフトアレスタ」をうまく行えるように、任意の一連の所与のパイプラインの設計条件（変数 1 ~ 7）を調整することができる。新たな設計手順は、アレスタの強度を最適化することに加えて、他のアレスタの設計において考慮されていなかった変数であるアレスタの材料の延性を考慮する。従来、一般に、他のアレスタの設計ではアレスタの強度が過剰に設計されやすく、「ソフトアレスタ」タイプのアレスタを実行することができない。この「ソフトアレスタ」を設計検討事項とすることにより、アレスタを構成するために、例えば、金属（すなわち、鋼）、複合材料（すなわち、繊維強化したもの）、金属又は複合材料からなるスリーブと金属又は複合材料からなるアレスタ及びパイプの間へ注入されるより軟質な注入材料との組み合わせ、又は金属及び複合材料の組み合わせを適用することができる。

30

【 0 0 2 7 】

実際の「ソフト亀裂アレスタ」の動作の背景にある原理は、次のようなものである。

【 0 0 2 8 】

A . アレスタの材料の強度は、亀裂の推進力を抑制し、亀裂伝播の先端へ亀裂が続くパイプのフラップ開口を破壊せずに制限するのに十分に強いが、強度に関して著しく過剰に設計されていない。

40

【 0 0 2 9 】

B . アレスタには十分な延性があり、亀裂をアレスタの前端間で抑制し、図 3 で示すように、亀裂をアレスタの範囲内又はアレスタのわずかに後方で停止させる。

【 0 0 3 0 】

具体的には、図 3 は、パイプラインに沿った距離に対する亀裂の速度をグラフ化したものであり、アレスタの幅 2 8、及びアレスタの前端 2 9 とともに曲線 2 6 によって示している。アレスタがない場合、グラフの連続線 3 0 で示すように、亀裂は減速することなく

50

伝播する。従来の硬質なアレスタで結果としてリングオフが生じる場合、急な下向きの矢印 3 2 で示すように、亀裂はパイプラインの外周の周囲を伝播する。本発明の軟質な亀裂アレスタの場合、曲線 3 4 で示すように、亀裂速度を減速させ、亀裂の伝播をアレスタにて又はアレスタのすぐ後方にて停止させる。

【 0 0 3 1 】

本発明の重要な側面は、亀裂がアレスタの前端から内側へ入り込むようにし、亀裂をアレスタするために亀裂先端開口角が十分に小さくされるように、アレスタの延性を定める必要があるということである。アレスタの延性は、変形したパイプラインの壁からのアレスタに対する荷重を、より均一に分配し、アレスタの端部に集中しないようにするのに十分なものである。これにより、図 4 のパイプライン 3 6 及び軟質な亀裂アレスタ 3 8、管軸方向の亀裂 4 0 で示すように、「リングオフ」の故障モードを発生し得るアレスタの前端にてパイプラインの円周方向の亀裂を生じないようにする。アレスタの前端 4 2 における変形可能量 4 1 は、亀裂が開いている形状に関連する。亀裂が開いている形状は、材料の靱性の関数であり、亀裂先端開口角 4 4 によって特徴付けられることがよくある。亀裂の入ったパイプラインは、アレスタの前端にてパイプラインが円周方向へ裂けることなく亀裂をアレスタの中で停止させることによって、後続の長手方向のパイプラインが損傷しないようにし、結果として所望の「ソフトアレスタ」を実現する。

【 0 0 3 2 】

本発明を、様々な実施形態を参照しつつ説明してきたが、本発明の範囲及び本質から逸脱することなく、様々な変更を加えることができ、また様々な要素をその均等物と置き換えることができることは、当業者には明らかであろう。さらに、本発明の教示に対し、本発明の本質的な範囲から逸脱することなく、特定の状況又は材料に適合させるために様々な変更を加えることができる。したがって、本発明は、上述の特定の実施形態に制限されるものではなく、添付の特許請求の範囲の範囲内に含まれるあらゆる実施形態を含むものである。本願明細書では、特に明確に指示していない限り、全ての単位はメートル法で示し、全ての量及び割合は重量で示している。また、本願明細書で参照された引用は、それに言及することをもって、本出願に組み込まれるものとする。

【 0 0 3 3 】

< 設計の計算例 >

【 0 0 3 4 】

この計算例は、4 . 4 (華氏 4 0 度) にて濃厚な天然ガスを搬送し得る直径が 1 . 2 1 9 m m (4 8 イ ン チ)、厚さが 1 8 . 3 m m (0 . 7 2 イ ン チ)、等級が 5 5 2 (X 8 0) のパイプに対する「軟質な亀裂アレスタ」の設計要件を決定するためのものである。作動圧力は、規定の最低降伏強度 (S M Y S) の 8 0 % であるとみなされる (8 0 % の S M Y S、ただし、5 5 2 M P a (8 0 k s i) は、等級 5 5 2 (X 8 0) のパイプの S M Y S である)。パイプのこの応力レベルは、1 3 . 2 4 M P a (1 , 9 2 0) p s i g の圧力レベルを提供する。パイプラインは未凍結の土中に埋められ、パイプの材料に要求される最低シャルピーエネルギーは、2 0 0 ジュール (1 4 7 f t - l b) であるとみなす。ガスの組成は、メタンが 8 4 %、エタンが 9 %、プロパンが 6 %、残りは等量の C O ₂ 及び窒素であるとみなす。

【 0 0 3 5 】

上述の設計条件から予測される破壊速度は、ガスの減圧挙動を計算する状態方程式プログラム、及びバツテルの 2 曲線延性破壊法 (Battelle Two-Curve ductile fracture method) から計算することができる (Maxey, W., Keifner, J. F. 及び Eiber, R. J. らの「ガスパイプラインにおける延性破壊のアレスト」 (「Ductile Fracture Arrest in Gas Pipelines」)、A.G.A. catalogue number L32176, May 1976)。この例では、濃厚な天然ガスの減圧挙動を計算するために、状態プログラムの G A S D E C O M 方程式を使用した。

【 0 0 3 6 】

シャルピーエネルギーについてより高い等級の鋼に対し有効なバツテルの 2 曲線法の場合、過去の実規模のバースト試験の統計分析 (9 G. Wilkowski, D. Rudland, H. Xu 及び N.

10

20

30

40

50

Sandersonらの「ガスパイプラインの延性破壊のアレストの基準に関する等級の効果」(「Effect of Grade on Ductile Fracture Arrest Criteria for Gas Pipelines」)、paper # IPC2006-10350, 2006、国際パイプライン会議)が、1.45までの大きさ(～1.45)の補正係数が必要であることを示している、すなわち、延性破壊のアレストに対し有効なシャルピーエネルギーは、実質的に200 J / 1.45、換言すれば138ジュール(102 ft-lb)である。

【0037】

バツテルの2曲線法による結果は、図5で示すように、破壊及び減圧曲線の交点にて破壊速度を予測する。ただし、「減圧された圧力、psig」に対する「破壊速度及び波速、fps」がグラフ化されている。この例では、予測された破壊速度は、122 m/s (400 fps)である。

10

【0038】

予測破壊速度を知ることにより、アレスタの強度の設計は、次のように決定される。まず、パイプと同じ終局強度及び厚さを有する鋼からなるスリーブ形のアレスタの設計が行われる。パイプのSMYSは、552 MPa (80 ksi)であり、そのようなパイプの終局強度に対する典型的な降伏は0.85である。さらに、典型的な降伏強度は、SMYSの値より5%大きい。したがって、アレスタの材料の典型的な終局強度は、552 * 1.05 / 0.85、換言すれば682 MPa (98.9 ksi)である。図6は、実験計画データに基づく鋼のスリーブ形のアレスタの最小長さを示す(G. M. Wilkowski, D. Rudland及びB. Rothwellらの「機械的亀裂アレスタの設計の最適化方法」(「How to Optimize the Design of Mechanical Crack Arrestors」)、paper # IPC2006-10357, 2006、国際パイプライン会議、「アレスタの長さ/パイプの直径」に対する「破壊速度、fps」のグラフ)。122 m/s (400 fps)の破壊速度において、鋼のスリーブ形のアレスタの管軸方向の必要最小長さは、パイプの直径の0.08倍である、換言すれば管軸方向の必要最小長さは97.8 mm (3.85インチ)である。やや慎重な設計では、パイプの直径の0.1倍にされるようにすることができ、換言すれば管軸方向の長さは122 mm (4.8インチ)であり得る。

20

【0039】

アレストのフープ強度と厚さとの積が、輸送パイプラインのフープ強度と厚さとの積に等しい限り(すなわち、1,103 MPa (160 ksi)の終局強度を有する複合材料は、18.3 * 1103 / 682、換言すれば11.43 mm (0.45インチ)の最小厚さを有していなければならない)、アレスタの材料には、異なる強度の材料を使用することができる。

30

【0040】

ソフトアレストをするための条件としては、2つの追加係数が必要である。「ソフトアレスト」をするための第1の条件は、アレスタの強度は、必要最低強度の2倍を超えてはならない、すなわち、アレスタの厚さとアレスタのフープ強度との積が、パイプの厚さとパイプの終局強度との積の2倍より小さくならないというものである。これよりも大きな強度にすると、リングオフ破壊が発生しやすくなる。

【0041】

40

ソフトアレストをするためのアレスタの材料の第2の条件は、アレスタの管軸方向の長さに沿って荷重が分配されるように、アレスタは、アレスタの前端において十分な延性を有する必要があるというものである。これにより「リングオフ」タイプの破壊挙動の原因となり得るアレスタの前端における集中荷重を避けられる。アレスタの最低限の延性は、亀裂がアレスタの必要最小長さの2倍に達したとき、延性破壊伝搬の先端部の角度である材料の亀裂先端開口角(CTOA)に適合することができるようなものである。Rudland, D. L. Wilkowski, G., Wang, Y-Y, Horsley, D., Rothwell, B及びGlover, A.らの「高靱性の鋼のパイプラインにおける動的な定常状態の伝播抵抗の決定のための単一試料の使用に関する研究」(「Investigation Into The Use Of A Single Specimen For The Determination Of Dynamic Steady State Propagation Resistance In High Toughness Linep

50

ipe Steels」、2002年国際パイプライン会議（カナダ国、アルバータ州、カルガリー、2002年9月23日～10月3日）の議事）によれば、この韌性を備える材料の典型的なCTOAの値は、約10度である。亀裂がアレスタの長さの約2倍の長さまで伝播したとしても亀裂がアレスタされるようにすることができるため、この計算例の場合、アレスタの前端を越える亀裂の最大長さは、 2×122 、換言すれば244 mm（9.6インチ）であり得る。亀裂開口角が10度の場合、アレスタの前端において、対応する円周方向に開く大きさは、42.4 mm（1.67インチ）であり得る。平均直径が1,237 mm（48.72インチ）の場合、アレスタの平均外周は、3,888 mm（153.1インチ）である。したがって、外周全体で32,000 mm（1,260インチ）伸びるような公称延性を有する材料が必要である。これによりアレスタの前端における公称又は平均ひずみは0.84%になる。亀裂の端部及びアレスタの材料が接触する位置における局所的なひずみ集中係数もあり得る。このひずみ集中係数は、3という係数であるとみなし、この例では、アレスタの材料の最低限のひずみ能力（延性）は、2.5%であり得る。

10

【0042】

したがって、この計算例では、「軟質な亀裂アレスタ」の設計要件は、最小厚さが18.3 mm（0.72インチ）、アレスタの管軸方向の必要最小長さが122 mm（4.8インチ）、最低強度が682 MPa（98.9 ksi）、アレスタの最大強度と厚さとの積が最小値の積の2倍を超えることがなく、アレスタの材料の最小破損ひずみが2.5%である。

【図面の簡単な説明】

20

【0043】

【図1】従来技術の亀裂アレスタにおける「リングオフ」破壊を示す図である。

【図2】本発明の軟質な亀裂アレスタにおける本発明の「ソフトアレスタ」挙動を示す写真である。

【図3】亀裂アレスタを備えていないパイプライン、従来技術の亀裂アレスタを備えるパイプライン、及び本発明の軟質な亀裂アレスタを備えるパイプラインに沿った延性亀裂伝播を示すための、パイプラインに沿った距離に対する亀裂速度のグラフである。

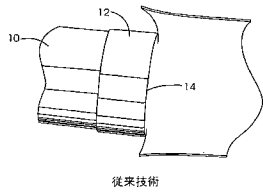
【図4】本発明の軟質な亀裂アレスタが取り付けられ、リングオフを生じることなくアレスタされている管軸方向の亀裂を有するパイプラインの概略図である。

【図5】。

30

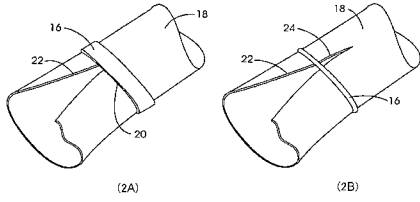
【図6】。

【図1】

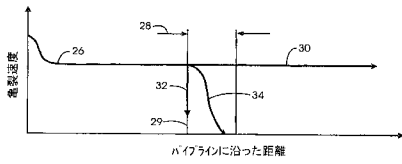


従来技術

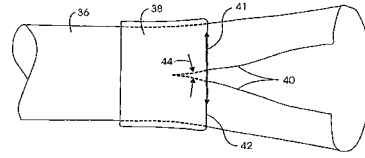
【図2】



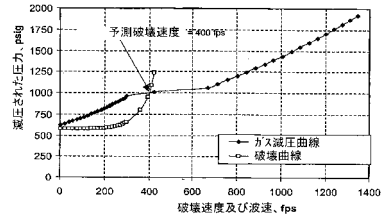
【図3】



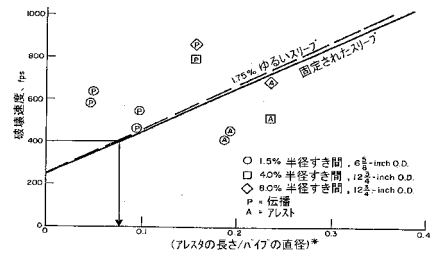
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (72)発明者 クリシュナスワミー、ブラバット
アメリカ合衆国オハイオ州43221-1735・コロンバス・リバーサイドドライブ 3518
・スイート 202
- (72)発明者 ウィルコウスキー、ゲリー
アメリカ合衆国オハイオ州43221-1735・コロンバス・リバーサイドドライブ 3518
・スイート 202

審査官 豊島 ひろみ

- (56)参考文献 特開平08-226593(JP,A)
特表昭61-501013(JP,A)
特公昭62-025477(JP,B2)
実開昭60-016079(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F16L 57/00 - 58/18
F16L 9/00 - 11/18