

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-508557**(P2007-508557A)**(43) 公表日 **平成19年4月5日(2007.4.5)**(51) Int. Cl.
G 0 1 B 11/25 (2006.01)F I
G O 1 B 11/25H
テーマコード (参考)
2 F O 6 5

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2006-534812 (P2006-534812)	(71) 出願人	500056231
(86) (22) 出願日	平成16年9月28日 (2004.9.28)		アイシス・イノベーション・リミテッド
(85) 翻訳文提出日	平成18年6月7日 (2006.6.7)		I S I S I N N O V A T I O N L I M
(86) 国際出願番号	PCT/GB2004/004135		I T E D
(87) 国際公開番号	W02005/040850		イギリス国、オクスフォード、サマータ
(87) 国際公開日	平成17年5月6日 (2005.5.6)		ウン、ユワート プレース、ユワート ハ
(31) 優先権主張番号	0324179.1		ウス
(32) 優先日	平成15年10月15日 (2003.10.15)	(74) 代理人	100090398
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 大淵 美千栄
		(74) 代理人	100090387
			弁理士 布施 行夫
		(74) 代理人	100101649
			弁理士 伊奈 達也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元物体を走査するための装置

(57) 【要約】

物体の三次元モデルを構築するための走査システム及び方法であって、走査システムは走査装置(2)と走査テンプレート部材(4)とを含む。走査装置(2)は光を投影するためのエミッター(20)と像を撮像するためのセンサー(22)とを有し、エミッターとセンサーが使用時に相対的に固定された位置に配置される。走査テンプレート部材(4)は既知の二次元テンプレート(42)を有する。処理手段は、データを生成して走査装置(2)と走査テンプレート(42)との間に配置された物体(8)の三次元モデルを構築することができ、使用時に走査テンプレート(42)に対する物体(8)の情報を生成し、この情報はエミッターによって投影光が投影される同一の像から生成される。測定は同一の基準面に対して行われる。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体の三次元モデルを構築するための走査システムであって、
光を投影するためのエミッター、および像を撮像するためのセンサーを有し、前記エミッターおよび前記センサーが使用時に相対的に固定された位置に配置される走査装置と、
既知の二次元テンプレートを有する走査テンプレート部材と、
データを生成して前記走査装置と前記走査テンプレートとの間に配置された物体の三次元モデルを構築することができる処理手段と、
を含み、

前記処理手段は、使用時に前記走査テンプレートに対する前記物体の情報を生成し、前記情報は、前記エミッターによって前記投影光が投影される同一の像から生成される、走査システム。 10

【請求項 2】

請求項 1 において、
前記処理手段は、前記センサーによって撮像された像に対して、
前記像内の前記走査テンプレートの少なくとも一部の位置を特定する工程と、
前記走査テンプレートの平面上の前記エミッターによって投影された光の平面と前記走査テンプレートの平面との交差位置である光線の位置を特定する工程と、
前記光線に沿って移動して、前記光線における 1 以上のディスパリティを特定する工程と、
を行う、走査システム。 20

【請求項 3】

請求項 2 において、
前記走査プロセスを加速するために複数の光線を使用する、走査システム。

【請求項 4】

物体の三次元モデルを構築するための走査方法であって、
走査装置と、既知の二次元テンプレートを有する走査テンプレート部材との間に走査される物体を配置すること、
光を投影するためのエミッターと、像を撮像するためのセンサーとを有し、前記エミッターと前記センサーが使用時に相対的に固定された位置に配置される走査装置を使用して物体を走査すること、
前記走査テンプレートに対する前記物体の情報であって、前記エミッターによって前記投影光が投影される同一の像から生成される情報を生成し、データを生成して前記物体の三次元モデルを構築すること、
を含む、走査方法。 30

【請求項 5】

請求項 4 において、
前記センサーによって撮像された像に対して、
前記像内における前記走査テンプレートの少なくとも一部の位置を特定すること、
前記走査テンプレート上の前記エミッターによって投影される基準光線の位置を特定すること、
前記光線に沿って移動して、前記光線における 1 以上のディスパリティを特定すること、
をさらに含む、走査方法。 40

【請求項 6】

請求項 5 において、
複数の光線を使用する、走査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は走査装置に関し、特に、三次元物体を走査して実在する物体の三次元モデルの再構築するために好適な方法及び走査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ここに背景として記載するアプローチを追求することができるが、必ずしも既に着想または追求されたアプローチであるとは限らない。従って、特に記載しない限りは、背景として記載するアプローチは本願の請求項の従来技術ではなく、ここに記載することによって従来技術であると認められるものではない。

【0003】

一般に、三次元走査装置は、２段階のデータ取込プロセスと、それに続く三次元像の再構築とを行う。データ取込では、走査されている物体の初期ジオメトリを生成するために使用される生データを収集する。データ取込プロセスの典型的な例としては、接触技術（例えば、物体の表面を追跡する機械的プローブ）及び非接触技術（例えば、撮像及び範囲特定技術）が挙げられる。再構築では、データを三次元計算機援用設計（ＣＡＤ）及び／またはアニメーションに好適なデータに処理する。 10

【0004】

そのような非接触技術の１つは、構造光のパターンを物体に投影する光学的技術を含む。「構造光に基づく低コスト三次元スキャナー（A low cost 3D scanner based on structured light）」, C. Rocchiniら, Eurographics 2001, 第20巻, 第3号には、非接触光学的走査技術を使用した構造光に基づく技術が記載されている。光の構造パターンを物体に投影し、センサーが物体の表面上の光の歪みパターンの像を取得する。次に、センサー、エミッター、抽出点の間の三角測量（triangulation）によって深さ情報が再構築される。そのような技術では、深さ情報を正確に再構築できるように、特にエミッター、センサー、抽出点の監視位置の高い精度が必要である。そのような技術では、精密な装置と使用時ごとの装置の較正が必要である。 20

【0005】

「立方体フレームの光ストライプ投影を使用した三次元再構築の較正不要アプローチ（Calibration-Free Approach to 3D Reconstruction using Light Stripe Projections on a Cube Frame）」, Chuら, Proceedings of the Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modelling 2001には、光平面プロジェクターによって三次元フレーム内の物体に光を投影するシステムの例を記載している。三次元フレームは、フレームの角部に設けられた複数の発光ダイオード（LED）を含む。ユーザーは物体上でレーザーストライパー（laser striper）を揺り動かす。カメラであるセンサーが、フレーム及びフレーム内の物体の表面によって反射された光の歪み投影パターンの像を取得する。取り込まれた像はLEDの像も含み、センサーは立方体フレームを検出することができる。 30

【0006】

Chuらが記載している装置に使用されるカメラは内部較正を必要としない。しかし、正確な立方体フレームを製作するためには注意が必要であり、複雑な画像処理も必要である。また、立方体フレームは物体の閉塞（occlusion）を引き起こす場合がある。具体的には、立方体のエッジで影が発生し、エッジを検出することができる精度が数ピクセル以内に低下する。従って、立方体の像は立方体とはかけ離れてしまい、像の特徴点を見出すためにロバスト（robust）な統計値を使用しなければならない。 40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した状況に基づき、複雑な処理工程または複雑な基準フレームを必要とすることな 50

く必要な精度を達成する走査装置が必要とされている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下、本発明を実施例によって添付図面を参照しながら説明する。ただし、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。図1は、走査システムの一実施形態の概略図である。図2は、走査装置の一実施形態の動作を説明するフロー図である。

【0009】

三次元物体を走査するための方法と装置について説明する。以下の説明では、本発明が完全に理解されるように特定の詳細な事項について説明する。ただし、当業者には、これらの特定の詳細な事項によらずに本発明を実施することができることは明らかであろう。また、本発明が不必要に曖昧になることを避けるために公知の構造と装置はブロック図によって示す。

【0010】

上述した要求及び以下の説明から明らかになるその他の要求及び目的は、物体の三次元モデルを構築するための走査システムであって、一態様において、光を投影するためのエミッターと像を撮像するためのセンサーとを有し、エミッターとセンサーが使用時に相対的に固定された位置に配置される走査装置と、既知の二次元テンプレートとを有する走査テンプレート部材と、を含む走査システムによって達成される。処理手段は、データを生成して走査装置と走査テンプレートとの間に配置された物体の三次元モデルを構築することができる。処理手段は、使用時に走査テンプレートに対する物体の情報を生成し、この情報はエミッターによって投影光が投影される同一の像から生成される。

【0011】

図1は、走査システムの実施形態を示す。走査システムは、走査装置2と、走査テンプレート部材4と、走査装置2または走査装置2が接続された独立した処理装置6に保存することができる走査ソフトウェアと、を含む。処理装置6は、通常はパーソナルコンピュータPCである。ソフトウェアは、走査テンプレート4の詳細を含む。

【0012】

走査装置2は、エミッター20とセンサー22とを有する。エミッター20とセンサー22の位置関係は概算値として既知であり、計算アルゴリズムの入力「シード (seed ; 初期値)」となる。

【0013】

両者の位置関係は走査時には固定される。例えば、非使用時にはエミッター20とセンサー22をしまっておき、使用時に既知の相対位置に相対的に移動させることができる。さらに（あるいは）、エミッターとセンサーは複数の固定位置の間を移動可能であってもよい。図1に示す実施形態では、エミッター20はアーム24によってセンサー22に固定されている。エミッター20とセンサー22は、アーム24によって制御することができる相対的に固定された位置を有する。

【0014】

エミッターは、通常はレーザーポインターであり、レーザーから投影された光を構造化するための手段を含むことができる。最良の結果を得るためには、エミッター20によって投影される光は細い線状であって、使用時には走査される物体に入射する光の平面を形成する必要がある。センサーは、例えばデジタルカメラ等のCCD装置といった撮像装置である。通常、走査装置は携帯用途に好適なサイズを有する。あるいは、走査装置2は例えば三脚等に取り付けることができる。

【0015】

走査テンプレート部材4は、既知の形状とサイズを有す二次元テンプレート42が印刷された二次元平面40を有する。図1に示すように、物体8が走査装置2と走査テンプレート42との間に配置されるように、走査される物体8を二次元走査テンプレート部材4の走査テンプレート42上に配置する。図1では、走査テンプレート42は、例えば紙などの平らな長方形の表面40に印刷された長方形として示されている。その他の形状の走

10

20

30

40

50

査テンプレートを使用することもできる。

【0016】

走査テンプレート部材は、例えば、ユーザーが紙またはカードなどの平面に走査テンプレート42を印刷するようにPC6に指示することによって生成することができる。また、ユーザーは、走査テンプレート42が走査される物体と対照をなすように走査テンプレート42の色を選択することができる。いずれの場合にも、生成または用意された走査テンプレートの詳細をその後の処理でアクセスするために保存する。

【0017】

この走査システムでは、センサー22が走査テンプレート42の平面に対する物体8の情報を生成するため、物体8に対する走査装置2の絶対位置は必要ではない。この情報は、センサー22に対して位置が固定されたエミッター20によって光の投影パターンが投影される同一の像から生成される。また、物体8上の光のストライプの位置は、ストライプの像及び走査テンプレート42の平面に対して既知である。

【0018】

センサー22によって取り込まれる像は、走査テンプレート42の像を含み、物体8に対するセンサー22の位置を推定することができる。また、走査システムには、エミッター20によって放射される光の構造パターンの詳細がプログラムされている。エミッター20からの基準ストライプの像12が、走査テンプレート平面42の表面及び物体8上に形成される。従って、走査テンプレート42の平面に対する基準ストライプ12の位置を、センサー22の校正精度を遙かに超える精度で非常に正確に知ることができる。

【0019】

基準ストライプ12が走査テンプレート平面42と交差する位置はディスパリティゾーン14と呼び、物体の表面の位置はディスパリティゾーン14における基準ストライプ12の位置によって得られる。

【0020】

このような実施形態は、同一基準平面に対して全ての測定を行うと全ての一次誤差が解消されるシステム（センサーにおける誤差も含む）によって絶対的な精度を置き換えることになる。

【0021】

スキャナーを使用するためには、最初にカメラを校正することが必要である。校正は、最小二乗アルゴリズム、好ましくは再帰的最小二乗アルゴリズムを使用することによって行うことができる。カメラは、ユーザーのプリンタによって印刷した校正パターンの複数の像を撮像することによってユーザーが校正する。そのような平面像に基づくカメラの校正方法は公知であり、http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html に公開されているJ. Y. Bouguetによる「Matlabのためのカメラ校正ツールボックス（Camera Calibration Toolbox for Matlab）」等に記載されている。

【0022】

本発明の好ましい実施形態では、ユーザーが走査される物体の推定サイズをシステムに入力するが、この工程は正しい効果を達成するために必要ではない。また、推定サイズの入力を自動化するために便利なメカニズムを提供するいくつかの変形があり、例えば、異なるサイズ及び形状を有する複数の走査テンプレートを用意し、ユーザーが走査される物体のサイズに最も一致するテンプレートを選択することが挙げられる。異なる各走査テンプレートのエッジに特定用パターンを設けることによって、スキャナーとプロセッサは、物体を走査しながら、どのサイズのテンプレートがユーザーによって選択されたかを特定することができる。これによって、物体の推定サイズを自動的に入力することができる。このアプローチには、機器ソフトウェア設計の熟練者によって容易に行うことができるいくつかの変形がある。

【0023】

10

20

30

40

50

次に、図 2 を参照して走査システムの詳細な動作について説明する。エミッター 20 が、物体 8 と走査テンプレート部材 4 に光 10 を投影する。センサー 22 は、走査テンプレート部材 4 の表面 40 に投影された基準ストライプ 12 の像とディスパリティゾーン 14 内の物体 8 と光の交差部分を含む撮像された像を受信する (201)。それに応じて、走査テンプレート 42 の形状の詳細がプログラムされているプロセッサは、走査テンプレートの一部の位置を特定する (202)。例えば、プロセッサは走査テンプレート 42 の角部を見つけ出す。次に、プロセッサはたたみこみ演算子 (convolution operator) を使用して走査テンプレート 42 の辺を見つけ出す。このために、システムは、前進後退適応拡張カルマンフィルタを使用して走査テンプレート 42 の辺を横切る (203)。

10

【0024】

プロセッサが走査テンプレート 42 の辺の位置を特定すると、プロセッサは走査テンプレートの形状とサイズに関する情報を有しているため、プロセッサは走査装置に対する走査テンプレートの位置を知ることができる。従って、システムはカメラに対する走査テンプレートの位置を決定し (204)、決定した位置の統計値を生成する。なお、本発明が基づいている全てのジオメトリはねじれた線を使用するため、センサーは動作のために走査テンプレートの平面に垂直である必要はない。

【0025】

次に、システムは、光パターンの概算モデルと上述したように生成した統計値を使用して基準ストライプ 12 の走査テンプレート 42 の平面との交差部分の事前分布を生成する (205)。プロセッサは、走査テンプレートの辺に沿って像を処理することによって、像における投影された基準ストライプ 12 の位置を特定する。例えば、プロセッサは図 1 に示す走査テンプレート 42 の左下隅の角部から開始し、走査テンプレートの辺 A に沿って処理を進める。走査テンプレートの辺 A と交差する基準ストライプ 12 の点 B を特定するためにエッジ検出アルゴリズムを使用することができる。走査テンプレート 42 の各辺上で点 B が見つかり、プロセッサは、基準ストライプ 12 における不連続性を探しながらディスパリティゾーン 14 内で B-B 線に沿って検索を行う。次に、プロセッサは線近似によって撮像されている物体 8 の厚みを推定する。

20

【0026】

工程 205 の事前分布は、ベイズフィルタ (Bayesian filter) を使用して、走査テンプレート 42 の外部の走査平面上の光パターンのアフィン (Affine) 近似値を再構築するために使用される (206)。次に、走査パターンのアフィン近似値を、走査テンプレート 42 の走査される三次元物体との交差位置を予測するために使用する (207)。

30

【0027】

次に、二次元事前分布 (prior) を、既に行った走査に基づいて工程 207 を使用して予測された像に対して投影的に生成する (208)。最初の走査の場合には、予測像位置の境界を使用する。次に、構造光パターンの走査される物体との交差位置の事前分布を適応二次元拡張カルマンフィルタのテンプレートとして使用し、走査される物体上の構造光パターンを検出する (209)。

40

【0028】

次に、カルマンフィルタによって工程 209 で生成された事後分布の統計値を、走査される物体の三次元ジオメトリの事前分布を生成するために使用する (210)。次に、物体のジオメトリの事前分布をベイズ更新規則を使用して更新し、走査される物体の三次元モデルの事後分布を生成する (211)。これによって、次の撮像の準備が完了する。

【0029】

これらの工程を、走査テンプレート 42 上の物体全体が走査されるまで、走査テンプレートに対して漸進的に変化させながら投影される光線の領域について繰り返す (212)。

【0030】

50

生成されたデータは、従来の三次元CADまたはアニメーションなどのモデリングのために処理することができる。ここで、「事前分布 (prior)」は「事前分布 (prior distribution)」を意味し、「事後分布 (posterior)」は「事後分布 (posterior distribution)」を意味する。事前分布は測定前の情報の状態の確率的記述であり、事後分布は測定後の情報の状態である。一般に、ベイズ規則を使用して事前分布から事後分布に到達する。

【0031】

従って、システムに既知であって特有のパラメータ（「内部パラメータ (intrinsic parameter)」）を使用するアルゴリズムを使用することによってオフラインで較正された走査装置が提供される。センサーの「外部パラメータ (extrinsic parameter)」、すなわち、センサーの設計内で内部的に固定されていない変数（例えば、物体の位置）は、ユーザーが生成することができる既知の形状とサイズの走査テンプレートを使用して使用時に推定する。 10

【0032】

上述したスキャナーは、家庭用途（例えば、装飾品や宝石などの好みのアイテムの走査）、ゲーム娯楽分野（例えば、アニメーションのための図の走査・再構築）、学術的使用（例えば、古物の走査）、医療的使用などの多くの目的に使用することができる。なお、ここで挙げる例は単なる例示であって、本発明の用途を限定するものではない。

【0033】

当業者は、本発明から逸脱することなく開示された内容の変形が可能であることを理解されるだろう。従って、上述したいくつかの実施形態の説明は単なる例示であって、本発明はそれらの実施形態に限定されるものではない。また、当業者には、上述した動作に大きな変更を加えることなく開示された内容に小さな変更を加えることができることは明らかであろう。本発明は、請求項の範囲のみによって限定されることを意図するものである。 20

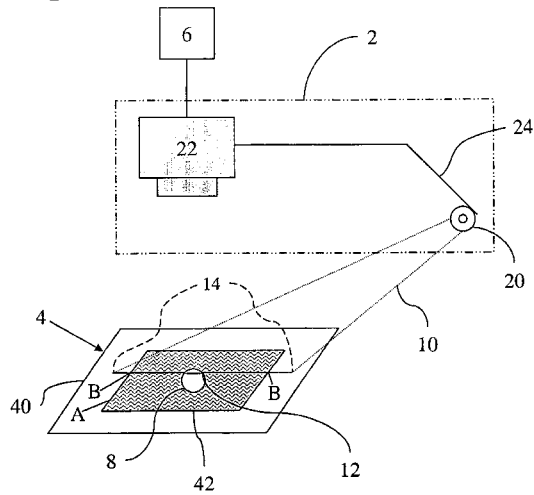
【図面の簡単な説明】

【0034】

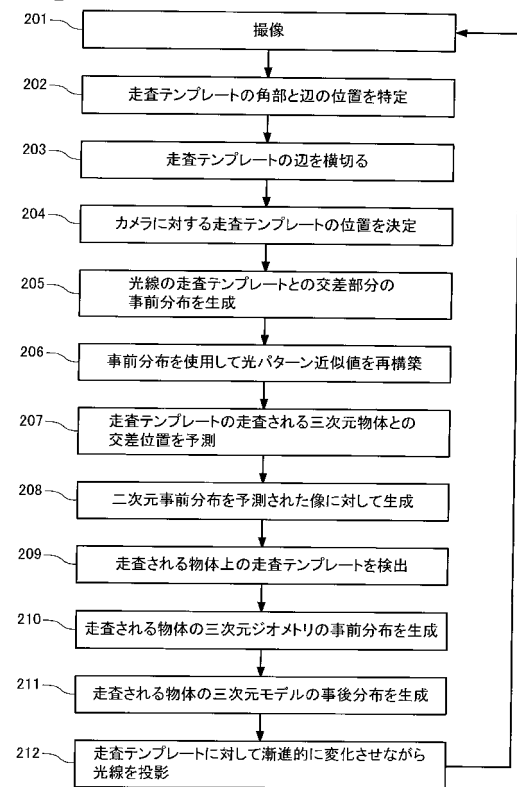
【図1】 走査システムの一実施形態の概略図である。

【図2】 走査装置の一実施形態の動作を説明するフロー図である。

【図 1】



【図 2】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

GB2004/004135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01S13/46 G01S13/89 G01B11/00 G02B26/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01S G01B G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 493 095 B1 (BEAUCHAMP DOMINIQUE ET AL) 10 December 2002 (2002-12-10) column 5, line 19 - column 8, line 67; figures 1,2,4	1-6
A	US 5 307 153 A (KANDA SHINJI ET AL) 26 April 1994 (1994-04-26) column 10, line 15 - column 14, line 20; figures 10-14	1-6
A	US 5 848 188 A (SATO YUKIO ET AL) 8 December 1998 (1998-12-08) column 13, line 6 - column 18, line 40; figures 1-5	1-6
A	EP 0 391 531 A (NIPPON KOKAN KK) 10 October 1990 (1990-10-10) the whole document	1-6



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 December 2004

Date of mailing of the international search report

15/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fanjul Caudevilla, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

'GB2004/004135

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6493095	B1	10-12-2002	CA 2267519 A1	13-10-2000
			CA 2305057 A1	13-10-2000
US 5307153	A	26-04-1994	JP 4051112 A	19-02-1992
			JP 4055710 A	24-02-1992
			JP 8020232 B	04-03-1996
			JP 2864163 B2	03-03-1999
			JP 4155205 A	28-05-1992
			CA 2044820 A1	20-12-1991
			DE 69132853 D1	17-01-2002
			DE 69132853 T2	06-06-2002
			DE 69133108 D1	17-10-2002
			DE 69133108 T2	17-04-2003
			EP 0462595 A2	27-12-1991
			EP 0660079 A2	28-06-1995
			EP 0985903 A2	15-03-2000
			US 5509090 A	16-04-1996
US 5848188	A	08-12-1998	JP 2931218 B2	09-08-1999
			JP 8075430 A	22-03-1996
			JP 2568388 B2	08-01-1997
			JP 8086622 A	02-04-1996
			JP 2668663 B2	27-10-1997
			JP 8313224 A	29-11-1996
EP 0391531	A	10-10-1990	JP 1912209 C	09-03-1995
			JP 2264808 A	29-10-1990
			JP 6041851 B	01-06-1994
			CA 2011165 A1	05-10-1990
			CA 2011166 A1	05-10-1990
			DE 69012868 D1	03-11-1994
			DE 69012868 T2	16-03-1995
			DE 69020033 D1	20-07-1995
			DE 69020033 T2	14-12-1995
			EP 0391531 A2	10-10-1990
			EP 0391532 A2	10-10-1990
			KR 9404917 B1	04-06-1994
			KR 9403917 B1	09-05-1994
			US 5104227 A	14-04-1992
			US 5102224 A	07-04-1992

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ロン ダニエル

イギリス国 OX1 3PJ オックスフォード パークスロード ユニバーシティ・オブ・オックスフォード デパートメント・オブ・エンジニアリングサイエンス

Fターム(参考) 2F065 AA12 AA53 BB02 BB05 BB27 EE05 EE08 FF04 FF61 GG04
HH04 HH05 HH06 JJ03 JJ26 MM14 QQ17 QQ18 QQ25 QQ28
QQ31 QQ33 QQ39 QQ41