

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6124621号
(P6124621)

(45) 発行日 平成29年5月10日 (2017.5.10)

(24) 登録日 平成29年4月14日 (2017.4.14)

(51) Int.Cl.		F I	
FO1D 5/22	(2006.01)	FO1D 5/22	
FO1D 5/28	(2006.01)	FO1D 5/28	
FO1D 5/16	(2006.01)	FO1D 5/16	

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2013-38335 (P2013-38335)
 (22) 出願日 平成25年2月28日 (2013.2.28)
 (65) 公開番号 特開2014-163371 (P2014-163371A)
 (43) 公開日 平成26年9月8日 (2014.9.8)
 審査請求日 平成27年7月31日 (2015.7.31)

(73) 特許権者 514030104
 三菱日立パワーシステムズ株式会社
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3
 番1号
 (74) 代理人 110001829
 特許業務法人開知国際特許事務所
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 浅井 邦夫
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所
 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン動翼

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チタン合金からなる翼部と、前記翼部に一体に形成されたチタン合金からなる連結部材とを有する動翼と、

前記動翼と隣接する他の動翼とが、遠心力によるねじり戻り力により互いのチタン合金からなる連結部材を介して接触連結するタービン動翼において、

前記チタン合金からなる連結部材の前縁部の接触面と前記チタン合金からなる連結部材の後縁部の接触面のうち、少なくともいずれか一方の接触面に硬質セラミックス被膜を施工し、前記硬質セラミックス被膜の材質はクロムカーバイド (CrC) 及びNiCrを含み、前記硬質セラミックス被膜のうち前記クロムカーバイドが占める配合比が70%以下、NiCrが占める配合比が30%以上である

ことを特徴とするタービン動翼。

【請求項2】

請求項1に記載のタービン動翼において、

前記チタン合金からなる連結部材は、前記翼部の先端に前記翼部と一体に形成されたカパーである

ことを特徴とするタービン動翼。

【請求項3】

請求項1に記載のタービン動翼において、

前記チタン合金からなる連結部材は、前記翼部の半径方向の略中央部に前記翼部と一体

に形成されたタイボスである

ことを特徴とするタービン動翼。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のタービン動翼において、
前記翼部が 50 インチ以上の長さを有する
ことを特徴とするタービン動翼。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のタービン動翼において、
低圧蒸気タービンの最終段に用いられる
ことを特徴とするタービン動翼。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、タービン動翼に関する。

【背景技術】

【0002】

火力発電等に用いられる蒸気タービンの動翼において、翼先端のカバーおよび翼先端と翼根元の間に設けられたタイボスの部位で、隣接する翼と接触連結するものがある。この動翼は、運転中に接触面がすべり変形するので、翼振動の減衰効果を得ることができると共に、剛性を高めることができる。

20

【0003】

この動翼の接触面には、遠心力による接触面圧が作用した条件の下で、翼振動による微小往復振動が付加されるため、フレッティング摩耗や疲労を抑制することが重要になる。接触面における摩耗損傷を低減すると共に耐摩耗性を向上させるために、接触面にパルス放電や溶射によりセラミックス硬質被膜を施工する技術が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2002 - 89203 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、蒸気タービンの低圧最終段の長翼には、一般的な翼材である鋼と比較して比強度が大きく、耐食性が良いために、チタン合金が翼材として採用されることがある。

【0006】

タービン動翼の翼材をチタン合金とすると、鋼製の動翼に比べて、以下の課題が生じる。

（１）材料の相違により、翼振動の減衰特性が鋼製の動翼の減衰特性より低い。

（２）チタン合金製の動翼の接触面に施工するセラミックス硬質被膜には、以下の疲労強度低下が生じる。

40

【0007】

上述した翼先端のカバーおよびタイボスの部位で隣接する翼と接触連結するタービン動翼において、動翼の接触面に施された被膜に発生するひずみは、被膜の厚みが十分に薄いことから、翼材のひずみに依存する。チタン合金のヤング率は鋼の約 60 % であるため、同じ振動応力が作用した時の発生ひずみは、チタン合金の方が鋼より大きくなる。このため、鋼製の動翼の接触面に施工された被膜に発生する応力に比べて、チタン合金製の動翼の接触面に施工された被膜に発生する応力が高くなり、被膜の割れが発生しやすくなる。また、チタン合金は切欠き感受性が高いので、接触面の被膜に微小な割れが発生すると、これを起点に疲労き裂が進展しやすくなり、これらの疲労強度低下に対する対策が必要と

50

なる。このようなチタン合金製の動翼における接触面の疲労強度低下に対する施策は、上述した従来技術を含めて、十分には開示されていなかった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上述した事柄に基づいてなされたものであって、その目的は、カバーの接触面とタイボスの接触面とにおけるフレット疲労強度を向上させたチタン合金からなるタービン動翼を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記課題を解決するために、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。本願は、上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、チタン合金からなる翼部と、前記翼部に一体に形成されたチタン合金からなる連結部材とを有する動翼と、前記動翼と隣接する他の動翼とが、遠心力によるねじり戻り力により互いのチタン合金からなる連結部材を介して接触連結するタービン動翼において、前記チタン合金からなる連結部材の前縁部の接触面と前記チタン合金からなる連結部材の後縁部の接触面のうち、少なくともいずれか一方の接触面に硬質セラミックス被膜を施工し、前記硬質セラミックス被膜の材質はクロムカーバイド (C r C) 及び N i C r を含み、前記硬質セラミックス被膜のうち前記クロムカーバイドが占める配合比が 7 0 % 以下、N i C r が占める配合比が 3 0 % 以上であることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、適切な組成に設定したセラミックス硬質被膜をタービン動翼の連結部材であるカバーの接触面とタイボスの接触面とに施工したので、チタン合金からなるタービン動翼の接触面におけるフレット疲労強度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】本発明のタービン動翼の一実施の形態を示す斜視図である。

【図 2】図 1 における A 矢視から見た本発明のタービン動翼の一実施の形態であって、カバー部の接触面を説明する図である。

【図 3】図 1 における B 矢視から見た本発明のタービン動翼の一実施の形態であって、タイボス部の接触面を説明する図である。

【図 4】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験機器の構成を示す模式図である。

【図 5】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験における、応力振幅と接触面圧との関係を説明する特性図である。

【図 6】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、応力振幅と接触面圧との関係を示す特性図である。

【図 7】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、接線力係数とすべり量との関係を示す特性図である。

【図 8】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、相対変位と接線力との関係を示す特性図である。

【図 9 A】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、C r C 配合比とチタン合金母材に対するフレット強度比との関係を示す特性図である。

【図 9 B】本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、C r C 配合比と摩擦係数との関係を示す特性図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

以下に、本発明のタービン動翼の実施の形態を図面を用いて説明する。図 1 は本発明のタービン動翼の一実施の形態を示す斜視図、図 2 は図 1 における A 矢視から見た本発明のタービン動翼の一実施の形態であって、カバー部の接触面を説明する図、図 3 は図 1 にお

10

20

30

40

50

けるB矢視から見た本発明のタービン動翼の一実施の形態であって、タイボス部の接触面を説明する図である。

【0013】

図1において、タービン動翼は、複数の動翼100の連結により構成されている。動翼100は、翼部1と、翼部1の先端に翼部1と一体に形成されたカバー2と、図示しないロータの植込部に嵌め込み、翼部1を支える翼根元3と、カバー2と翼根元3との間であって翼部1の半径方向略中央部に翼部1と一体に形成され、周方向に複数の動翼100を連結するための連結部材であるタイボス4とを備えている。隣接する2つの動翼100は、タービン回転にともなう遠心力から生起するねじり戻力により、隣り合うカバー2及び隣り合うタイボス4がそれぞれ接触連結する構造になっている。

10

【0014】

タービン動翼100は、一般的な翼材である鋼と比較して、比強度が大きく耐食性が高いチタン合金を翼材としている。具体的には、高い強度と靱性とを兼ね備えたTi-6Al-4Vが好適である。

【0015】

図2は、連結部材であるカバー2において、隣接する動翼100のカバー2と接触連結する接触面を示すものである。図2において、7はカバー2の厚みを示す。図2に示すカバー2の前縁側の接触面5aは、図1に示す右側の動翼100の更に右側に配置される図示しない動翼100のカバー2の後縁側の接触面5bと接触する。

【0016】

20

また、図2に示すカバー2の後縁側の接触面5bは、図1に示す左側の動翼100のカバー2の前縁側の接触面5aと接触する。

【0017】

図3は、連結部材であるタイボス4において、隣接する動翼100のタイボス4と接触連結する接触面を示すものである。図3において、前縁側の接触面6aは、図1に示す右側の動翼100の更に右側に配置される図示しない動翼100のタイボス4の後縁側の接触面6bと接触する。

【0018】

また、図3に示すタイボス4の後縁側の接触面6bは、図1に示す左側の動翼100のタイボス4の前縁側の接触面6aと接触する。

30

【0019】

図2及び図3で示した各接触面5a, 5b, 6a, 6bには、硬質セラミックス被膜が施工されている。本実施の形態において、セラミックス被膜の材質はクロムカーバイドCrCであり、バインダにはNiCrを用いて、高速フレイム溶射（以下、HVOF溶射という）により施工している。HVOF溶射は、酸素と燃料を使用した高速度ジェットフレイムの溶射であり、超音速で溶射するために材料が火炎にさらされている時間が少なく、基材の温度上昇を最小に抑えることができる長所がある。また、高い衝撃エネルギーにより高い密着性を獲得でき、厚み方向に均一な硬さの緻密な被膜を形成することができる。

【0020】

また、本実施の形態においては、被膜の配合比として、CrCを70%以下に、バインダであるNiCrを30%以上にしたことを特徴とする。また、被膜の厚みとしては、50 μ m~200 μ mとすることが望ましい。これは、被膜の厚みが小さいと摩滅しやすくなり、被膜の厚みが大きいと被膜割れや剥離が生じやすくなるという問題があるためである。

40

【0021】

チタン合金に硬質セラミックス被膜を施工する場合における、疲労強度の低下に対する施策として、本実施の形態においては、上述した被膜の組成に係る配合比や厚みを設定した。

【0022】

本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を検証するために、タービン動翼のカバー

50

接触面を模擬したフレットング試験を実施した。以下に試験内容と結果について図面を用いて説明する。図４は本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験機器の構成を示す模式図、図５は本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験における、応力振幅と接触面圧との関係を説明する特性図、図６は本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、応力振幅と接触面圧との関係を示す特性図、図７は本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、接線力係数とすべり量との関係を示す特性図、図８は本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、相対変位と接線力との関係を示す特性図である。

【００２３】

図４において、１０Ａと１０Ｂは、Ｔｉ－６Ａｌ－４Ｖの母材からなる試験体を、１１Ａと１１Ｂは、２体の試験体１０Ａ、１０Ｂの相対変位を２か所で計測する変位計を、１２は、２体の試験体１０Ａ、１０Ｂが接触する接触面をそれぞれ示す。本試験では、接触法線力 F_n を図示しないボルトにより負荷し、図４の上下方向に図示しない油圧荷重により振動荷重 F_t を負荷した。振動荷重 F_t が接触面１２の接線力に一致する。試験は変位制御で行い、２体の試験体１０Ａ、１０Ｂの相対変位を計測した。

【００２４】

接触面１２が、Ｔｉ－６Ａｌ－４Ｖの母材のみの場合と、表１に示すＣｒＣの配合比を変えた２種類の溶射被膜のいずれかを施工した場合の３つの態様について、それぞれ試験を行った。試験に用いた溶射被膜の厚みは、いずれも約５０μｍである。試験周波数は、

【００２５】

【表１】

	配合比 (%)	
	ＣｒＣ	ＮｉＣｒ
Ａ材	７０	３０
Ｂ材	３５	６５

【００２６】

本フレットング試験による試験結果について図５と図６とを用いて説明する。

図５は本フレットング試験における、応力振幅と接触面圧との関係を説明する特性図であり、横軸は接触面圧を、縦軸は応力振幅をそれぞれ示している。図５において、特性線は、接触面圧の増加とともに応力振幅も増加するいわゆる右肩上がりの特性を備えている。この右肩上がりの特性線は、接触面圧の小さい領域で一定の傾きを有するＰ部と、このＰ部に交点Ｒで接続され、Ｐ部の傾きより小さな傾きを有するＱ部とを備えている。

【００２７】

ここで特性線のＱ部は、本フレットング試験による破断と未破断の境界を示すものである。特性線のＱ部の上方は破断を示し、特性線のＱ部の下方は未破断を示す。接触面圧が低下するほどフレットング疲労限度応力が低下する傾向を示している。

【００２８】

特性線のＰ部は試験材の摩擦係数に相当する傾きの直線である。特性線のＱ部と特性線のＰ部との交点Ｒにおいて、縦軸の値がフレットング疲労により試験材が破断する最少応力を示している。したがって、フレットング疲労強度の比較には、交点Ｒの応力振幅を用いることで評価することができる。

【００２９】

次に、Ｔｉ－６Ａｌ－４Ｖの母材のみの場合と、表１に示すＣｒＣの配合比を変えた２種類の溶射被膜のいずれかを施工した場合の３つの態様についての試験結果を図６に示す。

図６に示すように、各態様の特性線の交点Ｒの縦軸（応力振幅）の値は、Ｂ材＞Ａ材＞

10

20

30

40

50

母材のみとなっている。したがって、Ti-6Al-4Vの母材のみの場合と比較すると、CrCの溶射により、疲労限度応力が増加することが確認できた。また、CrCの配合比を変えた2種類の溶射被膜を比較すると、CrCの配合比が小さいB材の方が、A材よりもフレッティング疲労強度が増加するという結果が得られた。このことから、Ti-6Al-4Vの母材のフレッティング疲労強度を向上させるためには、CrCの含有率を低下させることが効果的であるということが確認できた。

【0030】

次に、本フレッティング試験により取得したすべり量と接線力係数との関係を図7に示す。ここで、すべり量は、図8に示す接線力 F_t と相対変位との関係におけるヒステリシスカーブの相対変位の幅と定義し、接線力係数は、接線力を法線力で除した値と定義する。図7において、菱形のシンボルはTi-6Al-4Vの母材におけるすべり量と接線力係数との関係を、四角形のシンボルはA材におけるすべり量と接線力係数との関係を、三角形のシンボルはB材におけるすべり量と接線力係数との関係をそれぞれ表記している。

【0031】

図8に示す相対変位と接線力とのヒステリシスカーブの面積が、1サイクル当たりの消費エネルギーであり、この面積が大きいほど、タービン動翼に要求される減衰比を増加することができる。

【0032】

すべり量が十分に大きく（一般に $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上）、マクロすべりが発生する条件の下においては、接線力係数は、一般的に知られている摩擦係数に相当する。接線力係数は、繰り返し回数に依存する傾向があるため、図7においては、定常状態（ 10^6 回）における値を表記している。

【0033】

図7に示すように、接線力係数とすべり量とは相関がある。すべり量が約 $10\text{ }\mu\text{m}$ まではすべり量の増加と共に接線力係数は増加している。一方、すべり量が $20\sim30\text{ }\mu\text{m}$ 以上の領域では、すべり量の増加と共に接線力係数は低下する傾向がある。

【0034】

図7に示すように、タービン動翼で想定されるすべり量（ $10\sim30\text{ }\mu\text{m}$ ）における各態様の接線力係数（摩擦係数）を比較すると、Ti-6Al-4Vの母材の値が最も大きく（約1.3）、次いでA材（約1.1）で、最も摩擦係数が低くなるのがB材であった。このことから、CrCの配合比を低下させることにより、摩擦係数を低減できることが確認された。

【0035】

接触面の摩擦係数を低減することにより、接触面のすべり量が増加できるので、構造減衰を高める効果が期待できる。

【0036】

上述した試験結果を用いて、CrCの配合比と各評価項目について整理した結果を図9A及び図9Bを用いて説明する。図9Aは本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、CrC配合比とチタン合金母材に対するフレッティング強度比との関係を示す特性図、図9Bは本発明のタービン動翼の一実施の形態の効果を確認する試験の結果であって、CrC配合比と摩擦係数との関係を示す特性図である。

【0037】

図9Aの縦軸は、Ti-6Al-4Vの母材に対するフレッティング疲労強度比を示している。図9Aに示すように、CrC配合比を低減するほどフレッティング疲労強度が向上する結果が得られた。

【0038】

次に、図9Bにおいては、CrC配合比を低減するほど摩擦係数が低下して高減衰化の効果が得られることが分かった。一般的な翼材である鋼の摩擦係数の上限値が約1.1であることから、CrC配合比を70%以下とすることにより、鋼よりも摩擦係数を低減できることが分かる。CrC配合比を低減するほどフレッティング疲労強度が向上するのは

10

20

30

40

50

、C r C 配合比の低減により摩擦係数が低下するため、接触面の局所応力（接線力）が低下することによると考えられる。

【 0 0 3 9 】

一般的に、カバー 2 の接触面のフレットング疲労を向上させるためには、図 2 に示すカバー 2 の厚み 7 を増加させる必要がある。しかし、カバー 2 の厚み 7 を増加するとカバー 2 に作用する遠心力が増加するため、カバー 2 よりも内周側に位置する翼部 1 や翼根元 3 の応力が増加するという問題がある。

【 0 0 4 0 】

本発明の実施の形態によれば、カバー接触面に C r C 溶射することで、フレットング疲労強度を高めることができるので、カバー 2 の厚み 7 を薄く形成することができる。この結果、タービン翼の長翼化による高効率化の効果が期待できる。具体的には、3 6 0 0 r p m の蒸気タービンを構成する低圧タービンの最終段に適用する翼部 1 が 5 0 インチの長さのタービン動翼に好適である。

【 0 0 4 1 】

上述した本発明のタービン動翼の一実施の形態によれば、適切な組成に設定したセラミックス硬質被膜をタービン動翼の連結部材であるカバー 2 の接触面とタイボス 4 の接触面とに施工したので、チタン合金からなるタービン動翼の接触面におけるフレットング疲労強度を向上させることができる。

【 0 0 4 2 】

また、上述した本発明のタービン動翼の一実施の形態によれば、接触面の摩擦係数を低減できるので、翼振動の減衰特性を高めることができる。

【 0 0 4 3 】

なお、本発明の実施の形態において、タービン動翼のカバー 2 及びタイボス 4 の各接触面 5 a , 5 b , 6 a , 6 b の全てに、硬質セラミックス被膜を施工した例を説明したが、これに限るものではない。タービン動翼のカバー 2 の接触面のみ、又はタイボス 4 の接触面のみに硬質セラミックス被膜を施工するものであっても良い。

【 0 0 4 4 】

また、タービン動翼のカバー 2 の 2 か所の接触面のうちのいずれか一方の接触面、又は、タイボス 4 の 2 か所の接触面のうちのいずれか一方の接触面に硬質セラミックス被膜を施工するものであっても良い。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 5 】

- 1 翼部
- 2 カバー
- 3 翼根元
- 4 タイボス
- 5 a カバーの前縁側の接触面
- 5 b カバーの後縁側の接触面
- 6 a タイボスの前縁側の接触面
- 6 b タイボスの後縁側の接触面
- 7 カバーの厚み
- 1 0 試験体
- 1 1 変位計
- 1 0 0 動翼

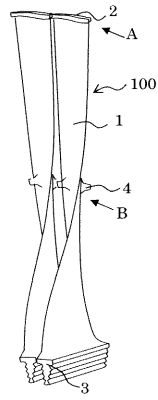
10

20

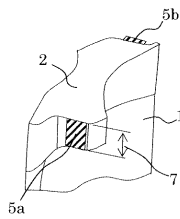
30

40

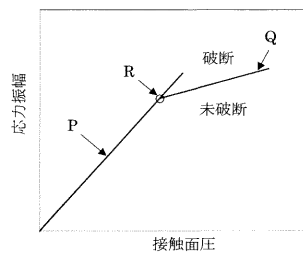
【図 1】



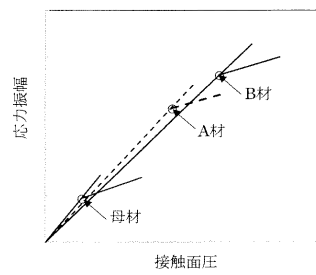
【図 2】



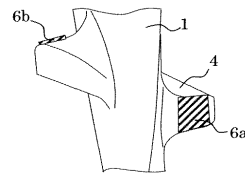
【図 5】



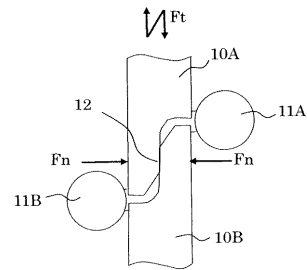
【図 6】



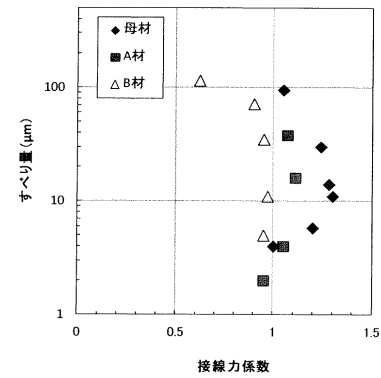
【図 3】



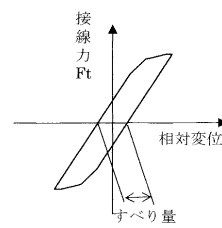
【図 4】



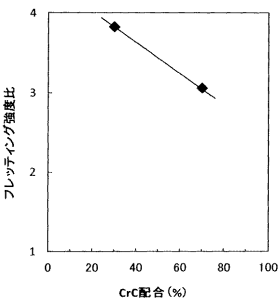
【図 7】



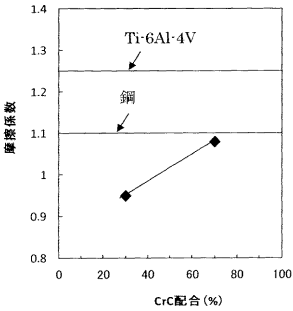
【図 8】



【図 9 A】



【図 9 B】



フロントページの続き

(72)発明者 工藤 健

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内

株式会社日立製作所 日立事業所

(72)発明者 依田 秀夫

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内

株式会社日立製作所 日立事業所

審査官 橋本 敏行

(56)参考文献 特開2002-089203(JP,A)

特開2009-216089(JP,A)

特開2004-340131(JP,A)

特開2003-065002(JP,A)

特開平11-229805(JP,A)

特開2000-144372(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D1/00-11/24