

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5773697号
(P5773697)

(45) 発行日 平成27年9月2日 (2015.9.2)

(24) 登録日 平成27年7月10日 (2015.7.10)

(51) Int.Cl.

F I

FO4D 27/00 (2006.01)

FO4D 29/58 (2006.01)

FO4D 27/00 N

FO4D 29/58 N

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2011-68739 (P2011-68739)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成23年3月25日 (2011.3.25)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-202336 (P2012-202336A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成24年10月22日 (2012.10.22)	(73) 特許権者	310010564
審査請求日	平成26年1月10日 (2014.1.10)		三菱重工コンプレッサ株式会社
			東京都港区芝五丁目34番6号
		(74) 代理人	100134544
			弁理士 森 隆一郎
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100126893
			弁理士 山崎 哲男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多段圧縮機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

低圧側圧縮機で圧縮された中間ガスが冷却器で冷却され、その後、該中間ガスが高压側圧縮機に供給される多段圧縮機において、

前記冷却器から吐出されて前記高压側圧縮機に供給される前記中間ガスに、該中間ガスよりも温度の高い高温ガスを混合するバイパス流路と、

該バイパス流路における前記高温ガスの流量を調整する流量調整手段と、

前記高温ガスの混合後であって前記高压側圧縮機への供給前に前記中間ガスの温度及び圧力を検出するセンサと、

該センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力の値に基づいて、前記流量調整手段の動作を制御する制御装置と、

を備え、

前記制御装置は、前記センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力に基づいて該中間ガスの T－S 線図上の位置を算出し、算出した前記中間ガスの位置が前記 T－S 線図上における臨界点の近傍に予め定められた危険領域の内部である場合に、前記バイパス流路の流量を増加させるように前記流量調整手段の動作を制御することを特徴とする多段圧縮機。

【請求項2】

低圧側圧縮機で圧縮された中間ガスが冷却器で冷却され、その後、該中間ガスが高压側圧縮機に供給される多段圧縮機において、

10

20

前記冷却器から吐出されて前記高圧側圧縮機に供給される前記中間ガスに、該中間ガスよりも温度の高い高温ガスを混合するバイパス流路と、

該バイパス流路における前記高温ガスの流量を調整する流量調整手段と、

前記高温ガスの混合後であって前記高圧側圧縮機への供給前に前記中間ガスの温度及び圧力を検出するセンサと、

該センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力の値に基づいて、前記流量調整手段の動作を制御する制御装置と、

を備え、

前記制御装置は、前記低圧側圧縮機に前記中間ガスを供給するガス供給源から排出される前記中間ガスの流量が変動したことを検知すると、前記センサにより検出された前記中間ガスの温度と予想される温度変化量とに基づいて前記中間ガスの予想温度を算出するとともに、算出した前記予想温度と前記センサにより検出された前記中間ガスの圧力とに基づいて前記中間ガスのT－S線図上の位置を算出し、算出した前記中間ガスの位置が前記T－S線図上における臨界点の近傍に予め定められた危険領域の内部である場合に、前記バイパス流路の流量を増加させるように前記流量調整手段の動作を制御することを特徴とする多段圧縮機。

【請求項3】

前記高温ガスは、前記低圧側圧縮機によって圧縮された後、前記冷却器に導入される前の前記中間ガスであることを特徴とする請求項1 または請求項2に記載の多段圧縮機。

【請求項4】

前記高温ガスは、前記高圧側圧縮機から吐出される前記中間ガスであることを特徴とする請求項1 または請求項2に記載の多段圧縮機。

【請求項5】

前記高圧側圧縮機は回転駆動される複数段の羽根車を備え、前記高温ガスは、前記複数段のうち最下段以外の羽根車から吐出される前記中間ガスであることを特徴とする請求項4に記載の多段圧縮機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、低圧側圧縮機で圧縮したガスを冷却器で冷却した後、高圧側圧縮機で再度圧縮する多段圧縮機に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、プラント等から排出されたCO₂ガス（炭酸ガス）を圧縮する圧縮機として、複数段の羽根車を備えた多段圧縮機が広く用いられている。ここで圧縮機では一般的に、CO₂ガスを導入する側の吸込温度を下げれば、同じ圧力上昇を得るのに必要なヘッド（単位質量当たりの仕事量）が少なく済み、羽根車を駆動する駆動機の軸動力を低減することができる。従って多段圧縮機では、所定段数の羽根車ごとに、前段側の羽根車から吐出されたCO₂ガスを冷却して後段側の羽根車に供給する冷却器が設けられる。

【0003】

ところで、CO₂ガスは、臨界点近傍でその物性（密度や圧縮係数や分子量等）が大きく変化する特性を有している。従って、冷却器から吐出されるCO₂ガスが臨界点に近付くと、CO₂ガスの上記特性により、CO₂ガスの濃度の変化或いは状態量（圧力や温度等）の変化に大きな影響を受けることによって羽根車のヘッドが不安定になるため、多段圧縮機を安定して運転することができない。

【0004】

従って、多段圧縮機を安定して運転するためには、最も後段側の冷却器から吐出されるCO₂ガスが臨界点に近付かないよう、その圧力及び温度を臨界点からある程度余裕を持たせて遠ざけた条件に設定する必要がある。しかし、このような設定によれば、羽根車に導入されるCO₂ガスの吸込温度が高くなるため、当該羽根車のヘッドを十分に確保す

10

20

30

40

50

るためには駆動機の軸動力を増加させる必要がある。このため、多段圧縮機全体として圧縮効率が低下するという問題がある。

【0005】

そこで、最も後段側の冷却器から吐出される CO_2 ガスを臨界点からある程度近い範囲内に設定しつつ、物性が変化しても CO_2 ガスが臨界点に近付かないようにするために、冷却器から吐出される CO_2 ガスの温度を一定に制御する多段圧縮機が従来提唱されている（例えば、特許文献1を参照）。

【0006】

この特許文献1の図1に示される多段圧縮機では、上段側圧縮機1と後段側圧縮機2とを接続する中間ガスライン10には、 CO_2 ガスを冷却する中間熱交換器3（冷却器に相当）が設けられている。また中間ガスライン10には、中間熱交換器3をバイパスしてその上流側と下流側とを連通するバイパスガスライン11が設けられるとともに、このバイパスガスライン11における CO_2 ガスの流量を調整するバイパスコントロール弁6が設けられている。更に、中間ガスライン10における中間熱交換器3より下流側であってバイパスガスライン11の接続箇所より更に下流側には、 CO_2 ガスの温度を検出する温度検出器7が設けられている。そして、温度検出器7が検出した CO_2 ガスの温度に基づいて温度コントローラ7がバイパスコントロール弁6の動作を制御することにより、中間熱交換器3をバイパスして中間ガスライン10に戻される高温の CO_2 ガスの流量が調整される。これにより、上段側圧縮機1に導入される CO_2 ガスの温度が一定に制御される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第2753392号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、従来の多段圧縮機によれば、中間熱交換器3から吐出される CO_2 ガスがその温度変化によって臨界点に近付くことは防止できるものの、その圧力変化によって臨界点に近付くことは防止できないという問題があった。より詳細に説明すると、臨界点近傍において CO_2 ガスの密度が大きく変化する温度域では、中間熱交換器3の内部の圧力損失が変動することにより、中間熱交換器3から吐出される CO_2 ガスの圧力が大きく変化する。具体的には、 CO_2 ガスの密度が大きくなると、中間熱交換器3の内部の圧力損失が小さくなることにより、吐出される CO_2 ガスの圧力が上昇する。これにより、中間熱交換器3から吐出される CO_2 ガスが臨界点に近付き、後段側圧縮機2のヘッドが不安定になる。

【0009】

本発明は、このような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、臨界点近傍で物性が大きく変化するガスを圧縮する多段圧縮機において、冷却器から吐出されるガスの温度を臨界点に比較的近い低い温度域に設定することによって駆動機の軸動力を低く抑えつつ、冷却器から吐出されるガスが臨界点に近付いてヘッドが不安定化することを確実に防止する手段を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明は以下の手段を採用している。すなわち、本発明に係る多段圧縮機は、低压側圧縮機で圧縮された中間ガスが冷却器で冷却され、その後、該中間ガスが高压側圧縮機に供給される多段圧縮機において、前記冷却器から吐出されて前記高压側圧縮機に供給される前記中間ガスに、該中間ガスよりも温度の高い高温ガスを混合するバイパス流路と、該バイパス流路における前記高温ガスの流量を調整する流量調整手段と、前記高温ガスの混合後であって前記高压側圧縮機への供給前に前記中間ガスの温度及び圧力を検出するセンサと、該センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力

の値に基づいて、前記流量調整手段の動作を制御する制御装置と、を備え、前記制御装置は、前記センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力に基づいて該中間ガスのT－S線図上の位置を算出し、算出した前記中間ガスの位置が前記T－S線図上における臨界点の近傍に予め定められた危険領域の内部である場合に、前記バイパス流路の流量を増加させるように前記流量調整手段の動作を制御することを特徴とする。

【0011】

このような構成によれば、中間ガスの温度及び圧力の両方に基づいてバイパス流路における高温ガスの流量が調整されるので、臨界点近傍で冷却器から吐出されるガスの圧力が大きく変化しても、中間ガスが臨界点に近付くことを確実に防止することができる。

【0013】

このような構成によれば、制御装置は、算出した中間ガスの位置が危険領域の内部である場合に、中間ガスが臨界点に近付いたと判断し、高温ガスの流量を増加させて中間ガスの温度を上昇させることにより、中間ガスの位置を危険領域の外部へ移動させる。これにより、中間ガスを臨界点から遠ざけることによってヘッドの不安定化を防止することができる、多段圧縮機の安定した運転が可能となる。

【0014】

また、本発明に係る多段圧縮機は、低压側圧縮機で圧縮された中間ガスが冷却器で冷却され、その後、該中間ガスが高压側圧縮機に供給される多段圧縮機において、前記冷却器から吐出されて前記高压側圧縮機に供給される前記中間ガスに、該中間ガスよりも温度の高い高温ガスを混合するバイパス流路と、該バイパス流路における前記高温ガスの流量を調整する流量調整手段と、前記高温ガスの混合後であって前記高压側圧縮機への供給前に前記中間ガスの温度及び圧力を検出するセンサと、該センサにより検出された前記中間ガスの温度及び圧力の値に基づいて、前記流量調整手段の動作を制御する制御装置と、を備え、前記制御装置は、前記低压側圧縮機に前記中間ガスを供給するガス供給源から排出される前記中間ガスの流量が変動したことを検知すると、前記センサにより検出された前記中間ガスの温度と予想される温度変化量とに基づいて前記中間ガスの予想温度を算出するとともに、算出した前記予想温度と前記センサにより検出された前記中間ガスの圧力とに基づいて前記中間ガスのT－S線図上の位置を算出し、算出した前記中間ガスの位置が前記T－S線図上における臨界点の近傍に予め定められた危険領域の内部である場合に、前記バイパス流路の流量を増加させるように前記流量調整手段の動作を制御することを特徴とする。

【0015】

このような構成によれば、ガス供給源から排出される中間ガスの流量が変動したことを検知した制御装置は、中間ガスの流量が変動することによって冷却器から吐出される中間ガスが臨界点に近付くと予想される場合には、高温ガスの流量を増加させる。これにより、ガス供給源がガスの流量を変更するように操作された場合に、冷却器から吐出されるガスが臨界点に近付くことを未然に防止することができる。

【0016】

また、本発明に係る多段圧縮機は、前記高温ガスは、前記低压側圧縮機によって圧縮された後、前記冷却器に導入される前の前記中間ガスであることを特徴とする。

【0017】

このような構成によれば、冷却器に導入される前の中間ガスを高温ガスとして使用するので、高压側圧縮機に導入される中間ガスの流量は、低压側圧縮機から吐出される中間ガスの流量と同じである。従って、高压側圧縮機の軸動力を低压側圧縮機の軸動力と略同じ大きさに抑えることができる。

【0018】

また、本発明に係る多段圧縮機は、前記高温ガスは、前記高压側圧縮機から吐出される前記中間ガスであることを特徴とする。

【0019】

このような構成によれば、低压側圧縮機から吐出される中間ガスを高温ガスとして使用

10

20

30

40

50

する場合と比較すると、高圧側圧縮機から吐出される高温の中間ガスを使用する分、少量の高温ガスによって中間ガスの温度調整を行うことができる。

【0020】

また、本発明に係る多段圧縮機は、前記高圧側圧縮機は回転駆動される複数段の羽根車を備え、前記高温ガスは、前記複数段のうち最下段以外の羽根車から吐出される前記中間ガスであることを特徴とする。

【0021】

このような構成によれば、高圧側圧縮機の構成上、最下段の羽根車から吐出される中間ガスを高温ガスとして使用することが難しい場合でも、高温ガスを確実に確保することができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明に係る多段圧縮機によれば、臨界点近傍で物性が大きく変化するガスを圧縮する多段圧縮機において、冷却器から吐出されるガスの温度を臨界点に比較的近い低い温度域に設定することによって駆動機の軸動力を低く抑えつつ、冷却器から吐出されるガスが臨界点に近付いてヘッドが不安定化することを確実に防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の第1実施形態に係る多段圧縮機を備えたプラントの全体構成を示す模式図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る多段圧縮機の構成を示す模式図である。

【図3】制御装置に格納されたT-S線図を示す図である。

【図4】図3における危険領域の一部を拡大した部分拡大図である。

【図5】制御装置に格納された温度変化量予想テーブルを示す図である。

【図6】制御装置による流量調整バルブの制御の流れを示すフローチャートである。

【図7】CO₂ガスの予想温度についての説明図である。

【図8】本発明の第2実施形態に係る多段圧縮機の構成を示す模式図である。

【図9】本発明の第3実施形態に係る多段圧縮機について、第4圧縮機の内部構造を示す概略断面図である。

【図10】本発明の第4実施形態に係る多段圧縮機について、第4圧縮機の内部構造を示す概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

(第1実施形態)

以下、図面を参照し、本発明の実施の形態について説明する。まず、本発明の第1実施形態に係る多段圧縮機の構成について説明する。図1は、第1実施形態に係る多段圧縮機10を備えたプラント1の全体構成を示す模式図である。

【0025】

プラント1は、図1に示すように、CO₂ガス(中間ガス)を排出するプラント本体2(ガス供給源)と、このプラント本体2に電氣的に接続された操作盤3と、プラント本体2に配管を介して接続されるとともに操作盤3に電氣的に接続された多段圧縮機10と、を備えるものである。

【0026】

操作盤3は、オペレータがプラント本体2を操作するためのものである。より詳細には、オペレータはこの操作盤3を介することにより、プラント本体2から排出されるCO₂ガスの流量を変動させるような操作、本実施形態ではプラント本体2の負荷を変更できるようにになっている。すなわち、オペレータが操作盤3を操作すると、図1に示すように、操作盤3からプラント本体2に対して操作信号が発せられることによりプラント本体2の負荷が変更され、その結果としてプラント本体2から排出されるCO₂ガスの流量が変化する。また、オペレータがプラント本体2の負荷を変更すると、図1に示すように、操作

盤 3 から多段圧縮機 10 に対して負荷変更信号が通知されるようになっている。尚、操作盤 3 は、プラント本体 2 の負荷を変更する機能だけでなく、その他の設定を変更する機能を有していてもよい。

【0027】

多段圧縮機 10 は、プラント本体 2 から排出された CO_2 ガスを圧縮するためのものである。ここで、図 2 は、多段圧縮機 10 の構成を示す模式図である。多段圧縮機 10 は、4 個の圧縮機 11 と、これら 4 個の圧縮機 11 を順に接続するガス流路 12 と、このガス流路 12 において 4 個の圧縮機 11 の間の位置にそれぞれ設けられた 3 個の冷却器 13 と、最下流部の冷却器 13 をバイパスして設けられたバイパス流路 14 と、このバイパス流路 14 に設けられた流量調整バルブ 15（流量調整手段）と、ガス流路 12 において最も下流側の圧縮機 11 の直前位置に設けられたセンサ 16 と、流量調整バルブ 15 及びセンサ 16 に対して電氣的に接続された制御装置 17 と、を備えるものである。

10

【0028】

4 個の圧縮機 11 は、プラント本体 2 から排出された CO_2 ガスを圧縮するためのものである。この 4 個の圧縮機 11 は、ガス流路 12 に沿って上流側から順に設けられた第 1 圧縮機 111、第 2 圧縮機 112、第 3 圧縮機 113（低压側圧縮機）、及び第 4 圧縮機 114（高压側圧縮機）によって構成されている。そして、4 個の圧縮機 11 はそれぞれ回転駆動され、図に詳細は示さないが、吐出する CO_2 ガスの圧力が一定になるように、その回転数が制御装置 17 によってそれぞれ制御されている。

20

【0029】

ガス流路 12 は、図 2 に破線で示すプラント本体 2 から排出された CO_2 ガスが流通する経路である。このガス流路 12 は、プラント本体 2 から排出された CO_2 ガスを第 1 圧縮機 111 に導入する第 1 導入流路 1S と、第 1 圧縮機 111 から CO_2 ガスが吐出される第 1 吐出流路 1D と、第 2 圧縮機 112 に CO_2 ガスを導入する第 2 導入流路 2S と、第 2 圧縮機 112 から CO_2 ガスが吐出される第 2 吐出流路 2D と、第 3 圧縮機 113 に CO_2 ガスを導入する第 3 導入流路 3S と、第 3 圧縮機 113 から CO_2 ガスが吐出される第 3 吐出流路 3D と、第 4 圧縮機 114 に CO_2 ガスを導入する第 4 導入流路 4S と、第 4 圧縮機 114 から CO_2 ガスが吐出される第 4 吐出流路 4D と、を有している。

【0030】

そして、第 1 吐出流路 1D の下流端と第 2 導入流路 2S の上流端とが互いに接続されている。また、第 2 吐出流路 2D の下流端と第 3 導入流路 3S の上流端とが互いに接続されている。更に、第 3 吐出流路 3D の下流端と第 4 導入流路 4S の上流端とが互いに接続されている。

30

【0031】

3 個の冷却器 13 は、ガス流路 12 を流通する CO_2 ガスを冷却するための熱交換器である。この 3 個の冷却器 13 は、第 1 吐出流路 1D と第 2 導入流路 2S の接続部分に設けられた第 1 冷却器 131 と、第 2 吐出流路 2D と第 3 導入流路 3S の接続部分に設けられた第 2 冷却器 132 と、第 3 吐出流路 3D と第 4 導入流路 4S の接続部分に設けられた第 3 冷却器 133 と、を有している。そして、第 1 圧縮機 111 が吐出する CO_2 ガスを第 1 冷却器 131 が、第 2 圧縮機 112 が吐出する CO_2 ガスを第 2 冷却器 132 が、第 3 圧縮機 113 が吐出する CO_2 ガスを第 3 冷却器 133 が、それぞれ冷却するものとなっている。

40

【0032】

バイパス流路 14 は、第 3 冷却器 133 から吐出された CO_2 ガスに対してそれより高温の CO_2 ガス（高温ガス）を混合させるための流路である。このバイパス流路 14 は、図 2 に示すように、第 3 吐出流路 3D における第 3 冷却器 133 より上流側の位置と、第 4 導入流路 4S における第 3 冷却器 133 より下流側の位置とを配管で接続することによって設けられている。

【0033】

流量調整バルブ 15 は、バイパス流路 14 における CO_2 ガスの流量を調整するための

50

ものである。この流量調整バルブ15は、図2に示すように、バイパス流路14の中間位置に設けられ、その開度が制御装置17によって制御されている。

【0034】

センサ16は、ガス流路12を流通するCO₂ガスの温度及び圧力を検出するためのものである。このセンサ16は、図2に示すように、第4導入流路4Sにおいてバイパス流路14の接続箇所より下流側の位置、すなわち第4圧縮機114の直前位置に設置されている。これによりセンサ16は、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガス、すなわち第3冷却器133から吐出されたCO₂ガスに対してバイパス流路14から高温のCO₂ガスが混合された後のCO₂ガスの温度及び圧力を検出する。

【0035】

制御装置17は、多段圧縮機10を構成する各部の動作を制御するものである。この制御装置17は、図2に示すように、センサ16による検出結果が検出信号として入力されるとともに、操作盤3から負荷変更信号が通知される。そして制御装置17は、これら検出信号及び負荷変更信号に基づいて、流量調整バルブ15に対して制御信号を発することによりその開度を調整する。ここで、制御装置17の内部には、流量調整バルブ15の制御に用いるためのT-S線図171と温度変化量予想テーブル172とがそれぞれ格納されている。

【0036】

図3は、制御装置17に格納されたT-S線図171を示す図である。T-S線図171は、CO₂ガスの状態を示す図であって、縦軸が温度を、横軸がエントロピーをそれぞれ示している。そして、このT-S線図171上におけるいわゆる臨界点Rの近傍には、図に二点鎖線で示す危険領域Kが予め設定されている。この危険領域Kとは、CO₂ガスが臨界点Rに近付いたか否かを判断するための基準として使用するものである。ここで、図4は、図3における危険領域Kの一部を拡大した部分拡大図である。本実施形態では、図4で横方向に延びる等圧ラインLaと縦方向に延びる等密度ラインLmとが90°に近い角度をなす領域を、危険領域Kとして設定している。尚、T-S線図171上における危険領域Kの設定は本実施形態に限定されず、ガスの種類や状態等に応じて適宜変更が可能である。

【0037】

また、図3に示す8個のプロット1S、1D、2S、2D、3S、3D、4S、4Dを結ぶ線分Xは、4個の圧縮機11を通過するCO₂ガスの状態変化の一例を、第1導入流路1Sから第4吐出流路4Dまで示したものである。具体的には、プロット1Sは第1圧縮機111に導入されるCO₂ガスの位置を、プロット1Dは第1圧縮機111から吐出されるCO₂ガスの位置をそれぞれ示している。また同様に、プロット2S、3S、4Sは、第2圧縮機112、第3圧縮機113、第4圧縮機114に導入されるガスの位置をそれぞれ示している。更に同様に、プロット2D、3D、4Dは、第2圧縮機112、第3圧縮機113、第4圧縮機114から吐出されるCO₂ガスの位置をそれぞれ示している。

【0038】

一方、図5は、制御装置17に格納された温度変化量予想テーブル172を示す図である。温度変化量予想テーブル172は、プラント本体2の負荷が変更された時に、最下流部の圧縮機11すなわち本実施形態では第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度がどの程度変化するかを予想するために使用するものである。図5に示す温度変化量予想テーブル172では、縦軸がCO₂ガスの温度変化量を、横軸がプラント本体2の負荷の変化速度をそれぞれ示している。本実施形態の温度変化量予想テーブル172は、負荷の変化速度が増加すると、これに比例して温度変化量も増加する関係にあることを示している。例えば、プラント本体2の負荷を10(%/sec)の速度で上昇させると、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度は5℃だけ低下することが予想される。尚、この温度変化量予想テーブル172の設定も、ガスの種類や状態等に応じて適宜変更が可能である。

10

20

30

40

50

【0039】

次に、第1実施形態に係る多段圧縮機10の作用効果、特には制御装置17による流量調整バルブ15の制御について説明する。ここで、図6は、制御装置17による流量調整バルブ15の制御の流れを示すフローチャートである。まず制御装置17は、図1及び図2に示す操作盤3から負荷変更信号が通知されたか否かを判定する(S1)。その結果、負荷変更信号の通知はないと判断した場合(S1:No)、制御装置17は、後述するS7へそのまま進む。

【0040】

一方、S1での判定の結果、負荷変更信号の通知があったと判断した場合(S1:Yes)、制御装置17は、プラント本体2の負荷が変更されることによってプラント本体2から排出されるCO₂ガスの流量が変動したと判断し、図2に示すセンサ16から、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度及び圧力をそれぞれ取得する(S2)。

10

【0041】

次に制御装置17は、センサ16から取得したCO₂ガスの温度及び圧力に基づいて、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの予想温度を算出する(S3)。ここで図7は、CO₂ガスの予想温度T_yについての説明図である。予想温度T_yとは、プラント本体2の負荷が図に一点鎖線で示すように変更された場合に、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度が図に二点鎖線で示すように一瞬遅れて一時的に低下するが、この低下時の最低温度を意味している。ここで、このようにCO₂ガスの温度が一時的に低下するのは、CO₂ガスの流量の変動に対する冷却器13の応答性が悪いことに起因している。すなわち、例えば負荷が変更されることでCO₂ガスの流量が減少すると、流量に対する第3冷却器133の伝熱面積が負荷変更前より広くなるため、第3冷却器133によるCO₂ガスの冷却度合いが増すことにより、第3冷却器133から吐出されるCO₂ガスの温度が低下する。しかし、第3冷却器133から吐出されるCO₂ガスの温度は、所定の設定温度で一定に制御されているため、時間の経過と共にCO₂ガスの温度は設定温度まで上昇して、負荷変更前の状態に戻る。尚、本実施形態では、プラント本体2の負荷を低下させた場合に第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度が一時的に低下する場合を例に説明したが、これとは逆に、プラント本体2の負荷を増大させた場合に第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度が一時的に上昇してもよい。

20

【0042】

ここで、予想温度T_yの算出について具体的に説明すると、制御装置17はまず図2に示す温度変化量予想テーブル172を参照することにより、操作盤3から通知された負荷の変化速度に対応する温度変化量を導き出す。そして、前述のようにセンサ16から取得したCO₂ガスの温度に、導出した温度変化量を合算することにより、予想温度T_yを算出する。

30

【0043】

次に制御装置17は、センサ16から取得したCO₂ガスの圧力及び算出した予想温度T_yに基づいて、図2に示すT-S線図171上におけるポイント4Sの位置、すなわち第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの位置を算出する(S4)。

【0044】

そして制御装置17は、算出したポイント4Sの位置がT-S線図171上における危険領域Kの内部に位置しているか否かを判定する(S5)。その結果、ポイント4Sは危険領域Kの外部に位置していると判断した場合(S5:No)、制御装置17は、後述するS7へそのまま進む。

40

【0045】

一方、S5での判定の結果、ポイント4Sが危険領域Kの内部に位置していると判断した場合(S5:Yes)、制御装置17は、流量調整バルブ15の動作を制御する(S6)。すなわち制御装置17は、流量調整バルブ15の開度を大きくすることにより、図7に示すように、バイパス流路14を流通する高温ガスの流量を一時的に増大させる。従ってプラント本体2の負荷が低下しても、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度

50

は、図7に太い実線で示すように、一時的に低下することなく一定に維持される。

【0046】

このように、オペレータがプラント本体2の負荷を変更したことにより、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスが臨界点Rに近付くと予想される場合には、流量調整バルブ15を制御することにより、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスが臨界点Rに近付くことが抑制される。これにより、プラント本体2の負荷が変更されることに伴って多段圧縮機10のヘッドが不安定化することを未然に防止することができる。

【0047】

その後、S1、S5、及びS6のいずれかからS7へ進んだ制御装置17は、図2に示すセンサ16から、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度及び圧力をそれぞれ取得する(S7)。

10

【0048】

そして制御装置17は、センサ16から取得したCO₂ガスの温度及び圧力に基づいて、図2に示すT-S線図171上におけるポイント4Sの位置、すなわち第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの位置を算出する(S8)。

【0049】

次に制御装置17は、算出したポイント4Sの位置がT-S線図171上における危険領域Kの内部に位置しているか否かを判定する(S9)。その結果、ポイント4Sは危険領域Kの外部に位置していると判断した場合(S9:No)、制御装置17は、S1へ戻って上記と同様の処理を繰り返す。

20

【0050】

一方、ポイント4Sは危険領域Kの内部に位置していると判断した場合(S9:Yes)、制御装置17は、流量調整バルブ15の動作を制御する(S10)。すなわち制御装置17は、流量調整バルブ15の開度を大きくすることにより、バイパス流路14を流通する高温ガスの流量を増大させる。そうすると、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度が上昇し、ポイント4SがT-S線図171上で上方へ移動することにより、危険領域Kの内部から外部へと移動する。これにより、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスを臨界点Rから遠ざけることができるので、多段圧縮機10のヘッドが不安定化することを防止することができる。以上により、制御装置17による流量調整バルブ15の制御が終了する。

30

【0051】

このように、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度及び圧力の両方の検出結果に基づいて流量調整バルブ15を制御するので、当該CO₂ガスを正確且つ確実に臨界点Rから遠ざけることによってヘッドの不安定化を防止することができる。また、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの温度を臨界点Rに比較的近い低い温度域に設定することができるので、第4圧縮機114を駆動する駆動機の軸動力を低く抑えることができる。

【0052】

尚、以上説明した本実施形態では、プラント本体2から排出されるCO₂ガスの流量を変動させるような操作として、プラント本体2の負荷を変更する場合を例に説明した。しかし、CO₂ガスの流量が変動するような操作は、負荷の変更以外に、例えば冷却器13に汚れ等が生じた場合に予備の冷却器13に切り替える操作や、プラント本体2をシャットダウンする操作等であってもよい。

40

【0053】

また、本実施形態では、多段圧縮機10でCO₂ガスを圧縮する場合を例に説明したが、臨界点R近傍で物性が大きく変化する特性を有するガスであれば、CO₂ガス以外のガスを圧縮することに本多段圧縮機10を適用することも可能である。

【0054】

また、本実施形態では、最下流部の圧縮機11である第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスが臨界点Rに近付くのを防止する場合について説明したが、第1～第3圧縮機1

50

11, 112, 113に導入されるCO₂ガスが臨界点Rに近づくのを防止する場合には、バイパス流路14及びセンサ16を設置する位置を適宜変更すればよい。また、多段圧縮機10が有する圧縮機11の個数は4個に限られず、任意の個数とすることが可能である。

【0055】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る多段圧縮機の構成について説明する。図8は、第2実施形態に係る多段圧縮機20の構成を示す模式図である。第2実施形態の多段圧縮機20は、第1実施形態の多段圧縮機10と比較すると、バイパス流路21の構成だけが異なっている。それ以外の構成は第1実施形態と同じであるため、図8では図2と同じ符号を付し、ここでは説明を省略する。

10

【0056】

バイパス流路21は、第3冷却器133から吐出されたCO₂ガスに対してそれより高温のCO₂ガス(高温ガス)を混合させるための流路である。このバイパス流路21は、図8に示すように、第4導入流路4Sにおける第3冷却器133より下流側の位置と、第4吐出流路4Dとを配管で接続することによって設けられている。

【0057】

ここで、第4圧縮機114から第4吐出流路4Dへ吐出されるCO₂ガスは、第3圧縮機113から第3吐出流路3Dへ吐出されるCO₂ガスよりも高温である。従って、第4吐出流路4Dを流通するCO₂ガスの一部を高温ガスとして第4導入流路4Sへ戻す本実施形態は、第1実施形態と比較すると、第4圧縮機114に導入するCO₂ガスを臨界点Rから遠ざけるために使用する高温ガスがより少量で済むという利点がある。

20

【0058】

但し、本実施形態の場合、第4吐出流路4Dから第4導入流路4SへCO₂ガスを戻すことにより、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスの流量が増加することになる。ここで、圧縮機11を構成する羽根車(インペラ)は一般的にCO₂ガスの流量が増加するとヘッドが低下する流量特性を有し、ヘッドがどのような曲線を描いて低下するかは羽根車ごとに固有のものである。従って、羽根車の流量特性を予め把握し、CO₂ガスの流量増加に対してヘッドが急激に低下する領域では、第4吐出流路4Dから第4導入流路4Sへ戻すCO₂ガスの戻し流量について上限値を予め設定することが好ましい。

30

【0059】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態に係る多段圧縮機の構成について説明する。第3実施形態の多段圧縮機も、第1実施形態の多段圧縮機10と比較すると、バイパス流路の構成だけが異なっている。尚、第1実施形態と同じ構成については第1実施形態と同じ符号を用い、ここでは説明を省略する。

【0060】

図9は、第3実施形態に係る多段圧縮機30について、最後段の圧縮機11である第4圧縮機114の内部構造を示す概略断面図である。第4圧縮機114は、回転駆動される駆動軸31と、この駆動軸31の周面に軸方向に所定間隔で固定された3段の羽根車32と、これら3段の羽根車32を接続して設けられたガス流路33と、このガス流路33をバイパスして設けられた2本のバイパス流路34と、を有している。

40

【0061】

3段の羽根車32は、図9に示すように、ガス流路33に沿って上流側から順に設けられた第1羽根車321と、第2羽根車322と、第3羽根車323とを有している。

【0062】

ガス流路33は、図9に示すように、第1羽根車321にCO₂ガスを導入する第4導入流路4Sと、第1羽根車321から第2羽根車322へCO₂ガスを案内する第1案内流路35と、第2羽根車322から第3羽根車323へCO₂ガスを案内する第2案内流路36と、第3羽根車323からCO₂ガスが吐出される第4吐出流路4Dと、を有して

50

いる。

【0063】

2本のバイパス流路34は、図9に示すように、第1案内流路35と第4導入流路4Sとを配管で接続して設けられた第1バイパス流路341と、第2案内流路36と第4導入流路4Sとを配管で接続して設けられた第2バイパス流路342と、を有している。尚、第1バイパス流路341及び第2バイパス流路342に流量調整バルブ15（流量調整手段）がそれぞれ設けられ、流量調整バルブ15それぞれの動作が不図示の制御装置17によって制御されている点は第1実施形態と同様である。

【0064】

本実施形態の2本のバイパス流路34は、第4圧縮機114に導入されるCO₂ガスを臨界点Rから遠ざけるために、第4導入流路4Sより下流側のガス流路から高温のCO₂ガスを戻す点では第2実施形態のバイパス流路21と同じである。しかし本実施形態の第1バイパス流路341及び第2バイパス流路342は、第4吐出流路4DからCO₂ガスを戻す第2実施形態と異なり、第4吐出流路4Dより上流側の第1案内流路35及び第2案内流路36からCO₂ガスを戻すものである。このような構成によれば、第4圧縮機114の構成上、第4吐出流路4DからはCO₂ガスを戻すことができない場合でも、高温のCO₂ガスを確実に確保することができるという利点がある。

【0065】

尚、本実施形態では、バイパス流路34として第1バイパス流路341及び第2バイパス流路342を設けたが、第1バイパス流路341または第2バイパス流路342のいずれか一方のみを設けた構成としてもよい。また、バイパス流路34の本数は、本実施形態の2本に限定されず、羽根車32の数に応じて適宜設計変更が可能である。

【0066】

（第4実施形態）

次に、本発明の第4実施形態に係る多段圧縮機の構成について説明する。図10は、第4実施形態に係る多段圧縮機40について、最後段の圧縮機11である第4圧縮機114の内部構造を示す概略断面図である。本実施系形態の第4圧縮機114は、図9に示す第3実施形態の第4圧縮機114と比較すると、バイパス流路41の構成だけが異なっている。それ以外の構成は第3実施形態と同じであるため、図9と同じ符号を用い、ここでは説明を省略する。

【0067】

本実施形態のバイパス流路41は、図10に示すように、第1案内流路35と第4導入流路4Sとを接続して設けられている点で第3実施形態の第1バイパス流路341と同じであるが、両者を配管で接続するのではなく、ケーシング42を貫通した穴として形成されている点で第3実施形態とは異なっている。

【0068】

そして、このバイパス流路41には、その流路断面積を変化させることによってCO₂ガスの流量を調整する流量調整部材43（流量調整手段）が設けられ、この流量調整部材43の動作が不図示の制御装置17によって制御されている。尚、流量調整部材43は、バイパス流路41におけるCO₂ガスの流量を調整可能な構成であれば足り、本実施形態の構成には限定されない。

【0069】

このように構成される本実施形態のバイパス流路41によれば、第1案内流路35と第4導入流路4Sとを接続するための配管をケーシング42の外部に這わせる必要がないため、第4圧縮機114の小型化を図ることができるとともに、配管が不要となる分だけ原材料費を削減することができるという利点がある。尚、バイパス流路41は、本実施形態では第1案内流路35と第4導入流路4Sとを接続して設けたが、これに限られず、例えば第2案内流路36と第4導入流路4Sとを接続するケーシング42を貫通した穴として形成してもよい。

【0070】

尚、上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ、或いは動作手順等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。

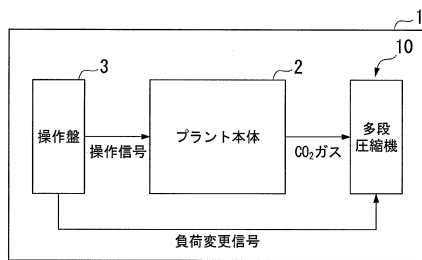
【符号の説明】

【0071】

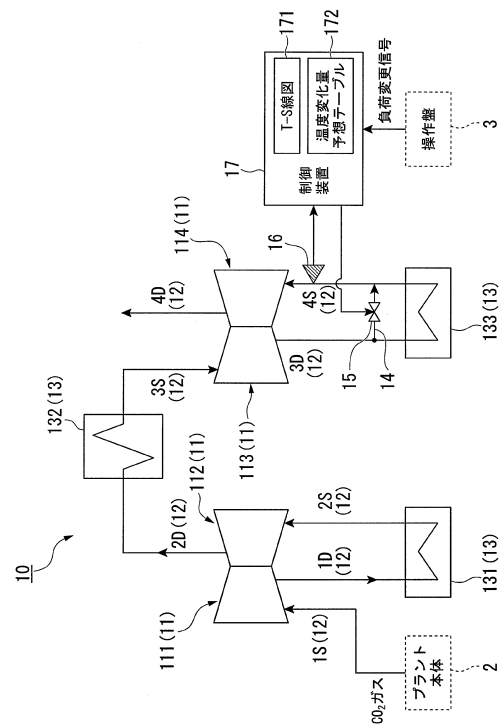
1	プラント	
2	プラント本体	
3	操作盤	
10	多段圧縮機	
11	圧縮機	10
12	ガス流路	
13	冷却器	
14	バイパス流路	
15	流量調整バルブ	
16	センサ	
17	制御装置	
20	多段圧縮機	
21	バイパス流路	
30	多段圧縮機	
31	駆動軸	20
32	羽根車	
33	ガス流路	
34	バイパス流路	
35	第1案内流路	
36	第2案内流路	
40	多段圧縮機	
41	バイパス流路	
42	ケーシング	
43	流量調整部材	
111	第1圧縮機	30
112	第2圧縮機	
113	第3圧縮機	
114	バイパス流路	
131	第1冷却器	
132	第2冷却器	
133	第3冷却器	
171	T-S線図	
172	温度変化量予想テーブル	
321	第1羽根車	
322	第2羽根車	40
323	第3羽根車	
341	第1バイパス流路	
342	第2バイパス流路	
1D	第1吐出流路	
1S	第1導入流路	
2D	第2吐出流路	
2S	第2導入流路	
3D	第3吐出流路	
3S	第3導入流路	
4D	第4吐出流路	50

4 S 第 4 導入流路
 K 危険領域
 L a 等圧ライン
 L m 等密度ライン
 R 臨界点
 X 線分

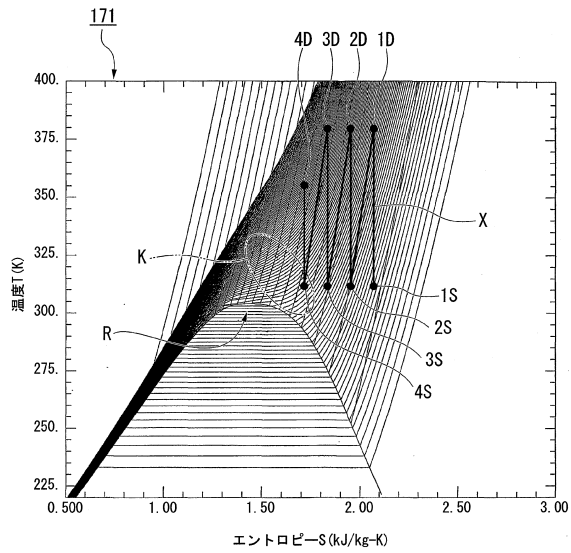
【図 1】



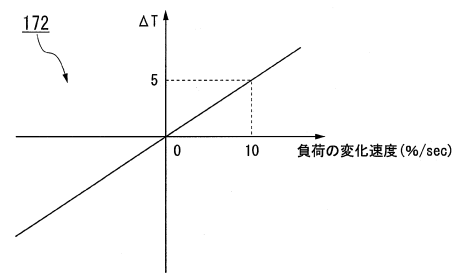
【図 2】



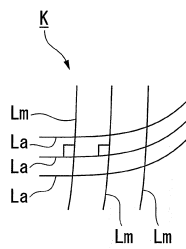
【図 3】



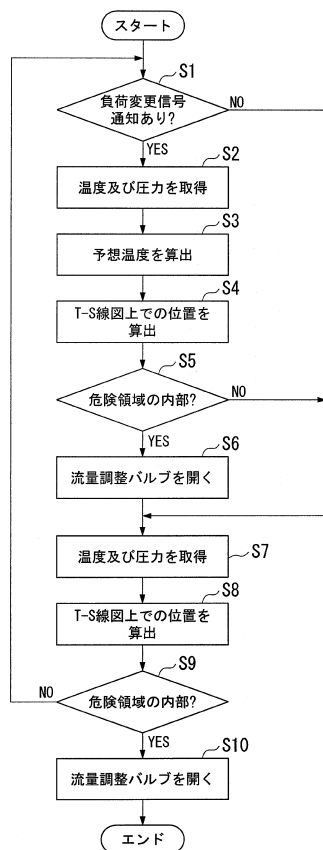
【図 5】



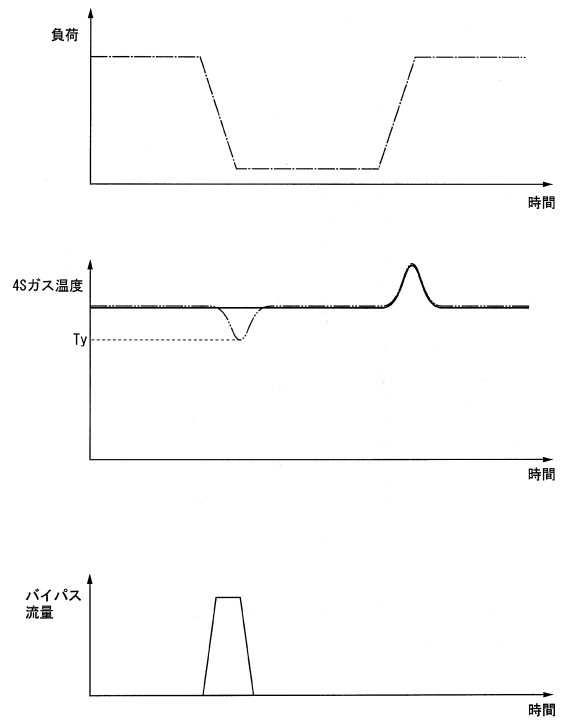
【図 4】



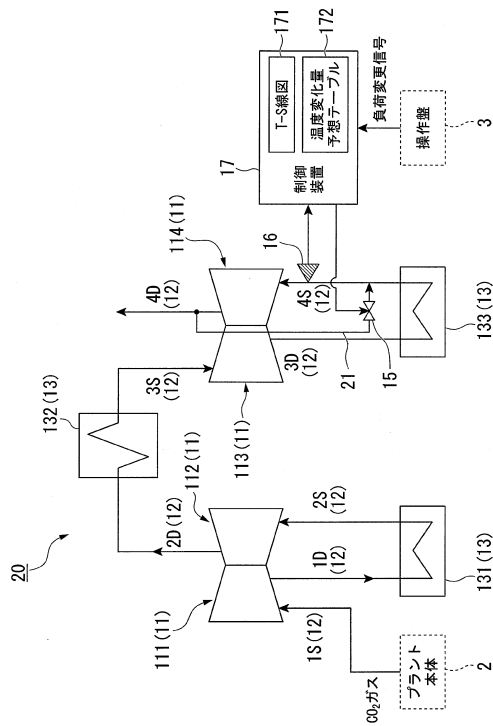
【図 6】



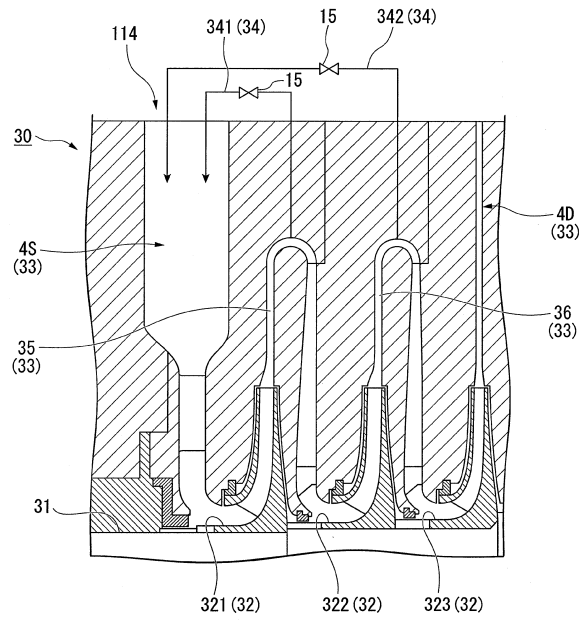
【図 7】



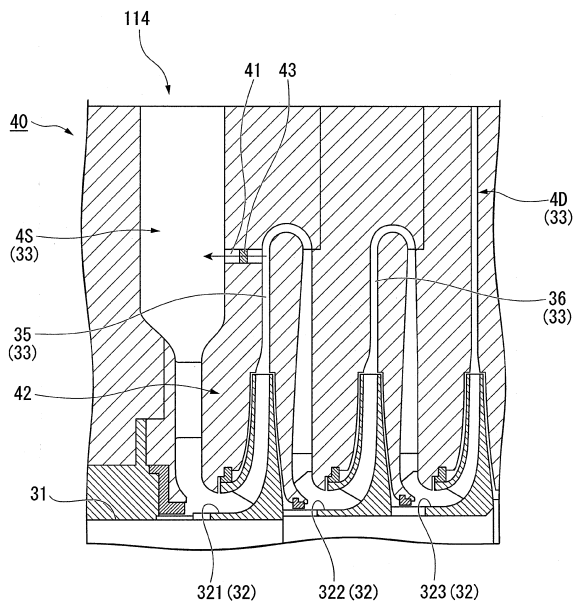
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(74)代理人 100149548

弁理士 松沼 泰史

(72)発明者 八木 克記

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 中庭 彰宏

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 篠原 仁志

広島県広島市西区観音新町四丁目6番22号 三菱重工コンプレッサ株式会社内

審査官 尾崎 和寛

(56)参考文献 特開平04-203397 (JP, A)

特開昭55-128694 (JP, A)

実開昭61-184899 (JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04D 29/58

F04D 27/00