

流動接触分解装置における動力回収設備の開発 ——排ガス膨張タービンとサイクロンセパレータ——

Development of Fluid Catalytic Cracking Gas Turbine and Cyclone Separator

湯川康正* Yasumasa Yukawa

滝 孝光** Takamitsu Taki

世界のエネルギー需給事情は、最近いっそうの厳しさと不安定さを増してきており、各産業界は競って省エネルギー設備の新設計画が立てられつつあるが、石油精製業界でも重質軽油から分解ガソリンを生産するFCCからの高温排ガス圧力の動力回収を検討してきた。

日本鉱業株式会社は、日立製作所と共同でFCCの高温排ガス圧力を動力回収し、FCCへ空気を供給する圧縮機を駆動するFCC排ガス膨張タービンを開発し、モデルタービンによるFCC排ガス寿命試験を経て、実機が昭和54年7月から日本鉱業株式会社水島製油所で稼動を開始し、目下順調に運転中である。このタービンは、FCC排ガス中に含まれる触媒粉を除去するマルチサイクロン形セパレータを備え、長時間のノズル、動翼寿命をもつ1段落軸流タービンである。

1 緒 言

FCC(Fluid Catalytic Cracker:流動接触分解装置)とは、重質軽油を流動状態にある固体触媒の存在下で加熱して、気相で分解させオクタン価90~93の分解ガソリンを得る装置であるが、これに用いる固体触媒は20~100 μ の粉状であり反応塔で重質軽油を分解した後、触媒再生塔へ送られ触媒に付着したコークスを燃焼させて再生される。

この触媒再生塔からの触媒粉を含む高温排ガスの圧力を利用して動力回収する装置の開発を行なった。開発項目のうち、システムに関するものは本号同時掲載論文「流動接触分解装置における動力回収システムの開発」に述べられているので、ここでは、ガス膨張タービンとタービン内のガス通路部の摩耗を防ぐために、タービン入口に設けた触媒粉除去用マルチサイクロン形セパレータ開発の成果について述べる。

2 FCC排ガス膨張タービンの概要

FCC排ガス膨張タービンは、次の目標を達成するために開発を展開した。

- (1) タービンの排ガス通路部材料として、FCC排ガス耐腐食性があり、触媒粉耐摩耗性がある耐熱材料を選定すること。
- (2) 高温FCC排ガスに対する回転体、その支持構造及び耐熱ケーシング構造を検討すること。
- (3) タービンガス通路部材料の触媒粉による摩耗を減らすために、タービン入口で大部分の触媒を除去する高性能セパレータを開発すること。
- (4) 上記の(1)と(3)の組合せにより、長時間の触媒粉による耐摩耗寿命をもっていること。

以上の目標に沿って開発されたFCC排ガス膨張タービンとマルチサイクロン形セパレータの開発成果を次に概略述べる。図1に、運転中のFCC排ガス膨張タービンとマルチサイクロン形セパレータの全景を示す。

2.1 FCCにおける動力回収系統

図2に、FCCでの動力回収系統を示す。FCCの触媒再

生塔からの高温排ガス、すなわちFCC排ガスは動力回収系統が追設される以前は、スタック弁(減圧弁)を通じてCOボイラに送られFCC排ガス中に含まれる約10%のCOを燃焼させ蒸気発生させることでエネルギー回収を図っていた。今回開発されたFCC排ガス膨張タービンは、スタック弁(減圧弁)で減圧することで消費されていた圧力エネルギーを動力として回収するものである。回収された動力は、触媒再生塔へ供給する空気を圧縮する既設の蒸気タービン駆動圧縮機を駆動し、蒸気タービンの蒸気消費量を減らすことで省エネルギーを図った。今回、本タービンを追設したFCCのFCC排ガス流量バランスは、触媒再生塔出口で、
流量………74,000N.m³/h

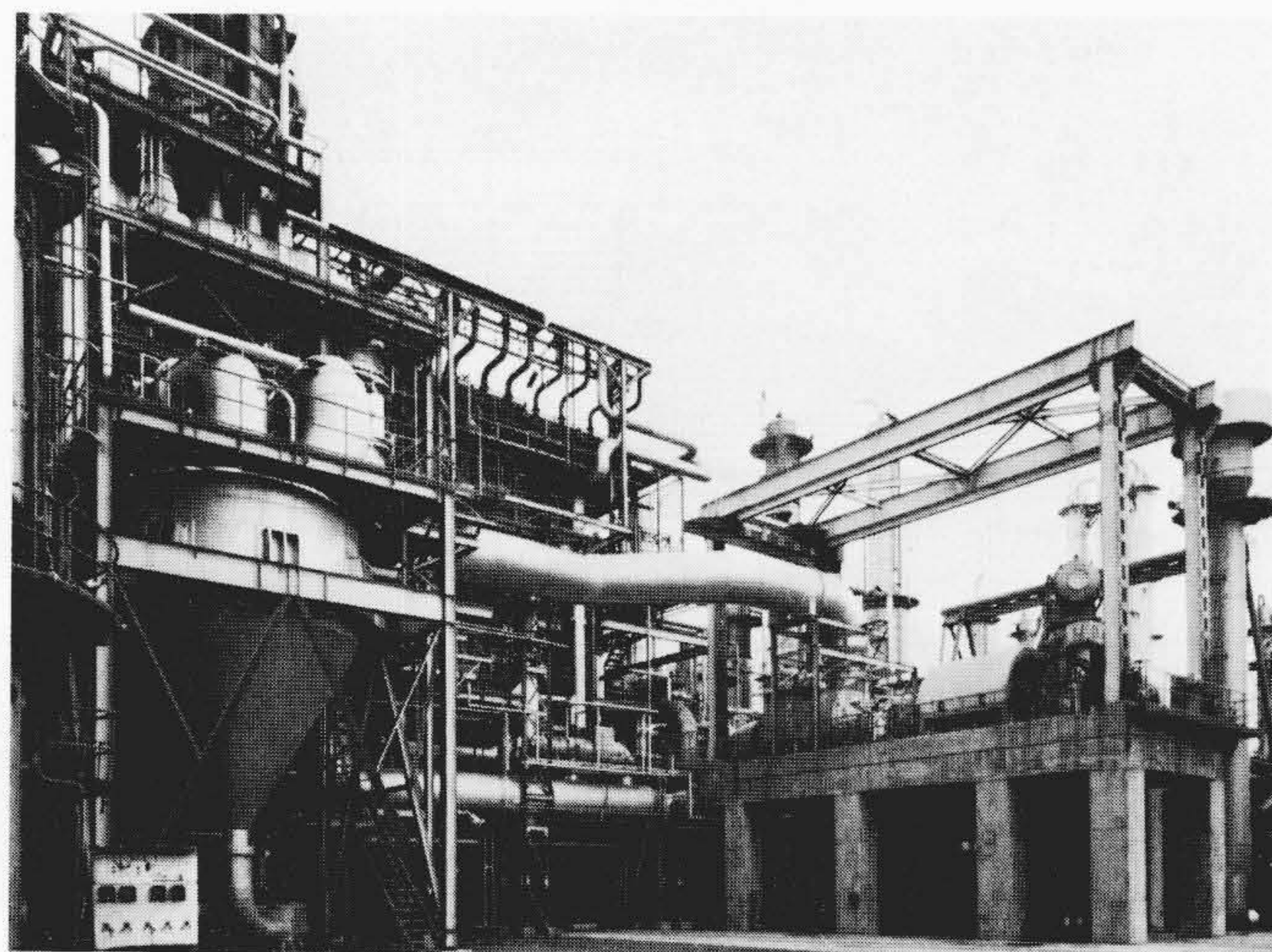


図1 運転中のFCC排ガス膨張タービンとマルチサイクロン形セパレータの全景 左手がセパレータで、右手のコンクリート架台上に左からFCC排ガス膨張タービン、空気圧縮機及び蒸気タービンが一軸で連結されている。

* 日本鉱業株式会社水島製油所 ** 日立製作所日立工場

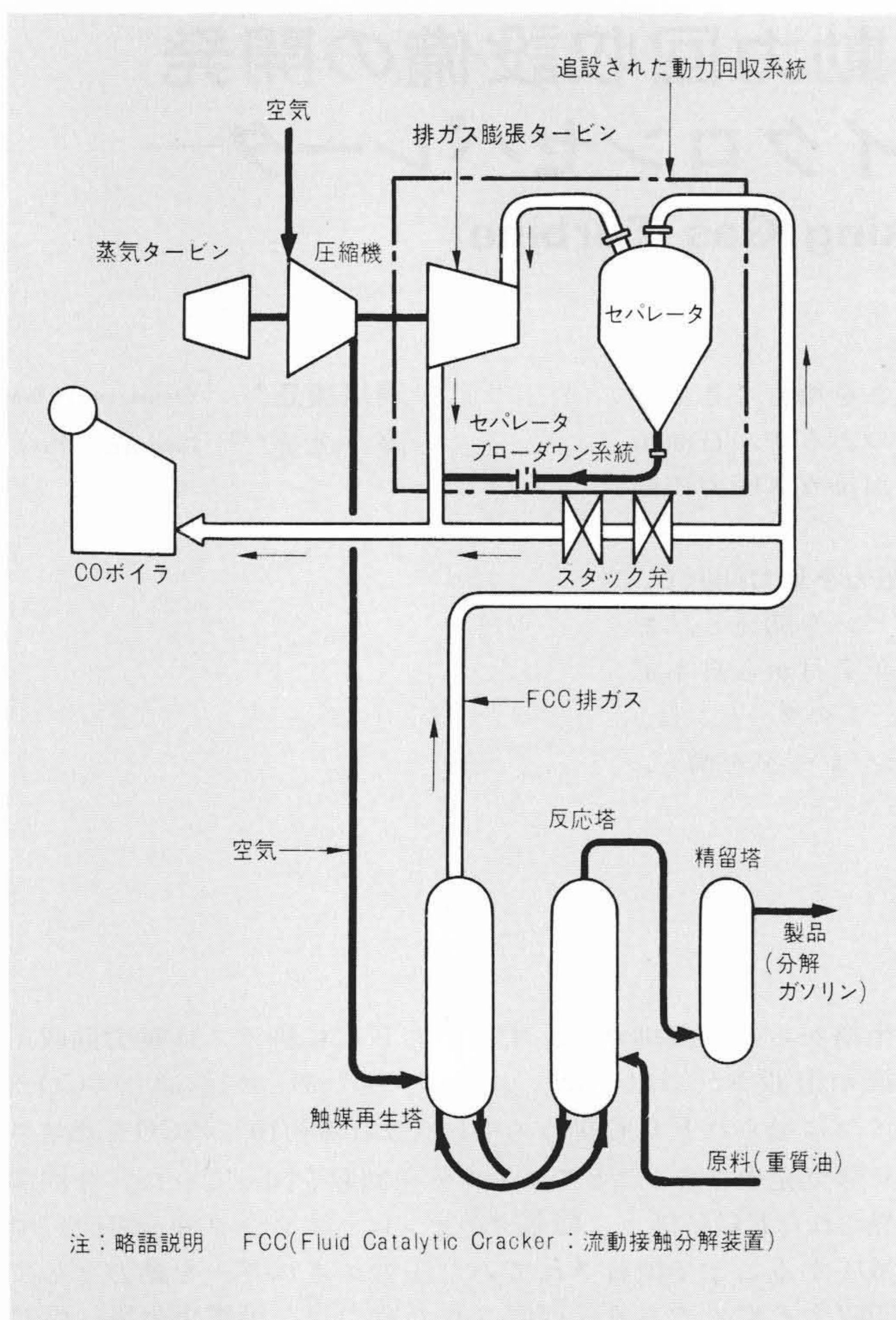


図2 FCCにおける動力回収系統 動力回収装置は、触媒再生塔から排出されるガス中のダストを除去するサイクロンセパレータと、ガスのエネルギーを回収するガス膨張タービンとで構成される。

温度……………635℃

圧力……………ゲージ圧力1.6kg/cm²

であり、FCC排ガスのおよその組成、触媒粉濃度は次に示すとおりである。

(1) 組成

CO ……………10vol.%

CO₂ ……………7 vol.%

N₂ ……………62vol.%

O₂ ……………0.1vol.%以下

H₂O ……………20vol%

(2) 触媒濃度

0.5～1.3g/N・m³

2.2 空気圧縮機駆動機器構成

図3に、FCC排ガス膨張タービンを追設した空気圧縮機駆動機器構成を示す。今回開発されたFCC排ガス膨張タービンは、既設の蒸気タービン駆動空気圧縮機の蒸気タービン駆動軸の反対側の軸へクラッチを介して追設した。

空気圧縮機駆動機器の動力バランスは常用時で、

空気圧縮機所要負荷……………4,009kW

FCCガス膨張タービン出力……………3,343kW

クラッチ損失……………約168kW

蒸気タービン出力……………834kW

であり、膨張タービンの出力変動は、蒸気タービンで吸収させる構成とした。

2.3 FCC排ガス膨張タービン

本タービンは触媒粉を含む高温ガスで駆動されるため、

(1) ガス通路部のノズルと動翼には耐摩耗・耐熱材料が使用されていること。

(2) 高温部に軸受部を設けず、回転体を片持2点支持構造としていること。

(3) 動翼が取り付けられている回転円板は、材料強度を保持するため低温蒸気又は窒素による冷却系統が設けられている

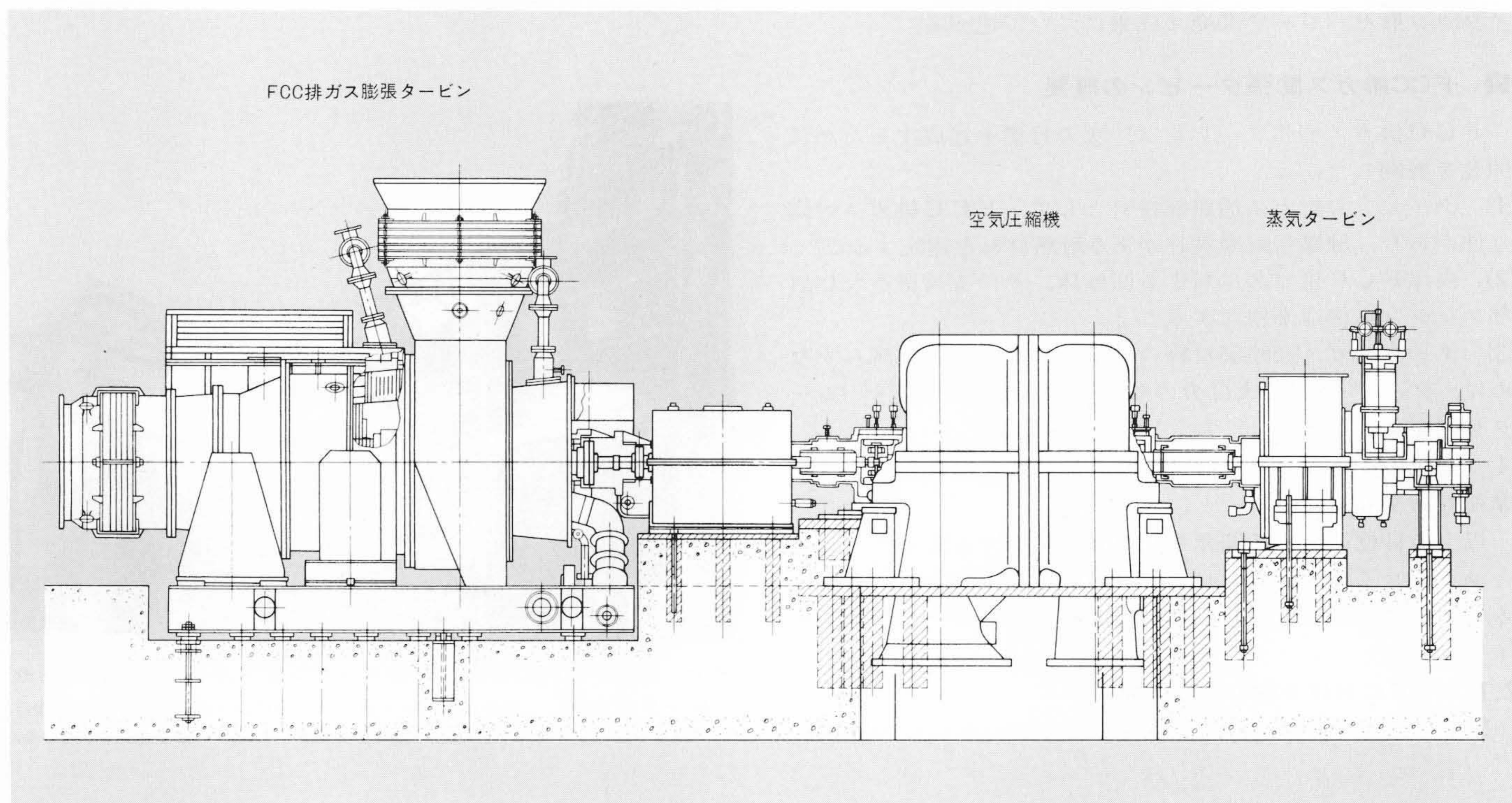


図3 空気圧縮機駆動機器構成 既設の蒸気タービン駆動空気圧縮機に、FCC排ガス膨張タービンを追設した。

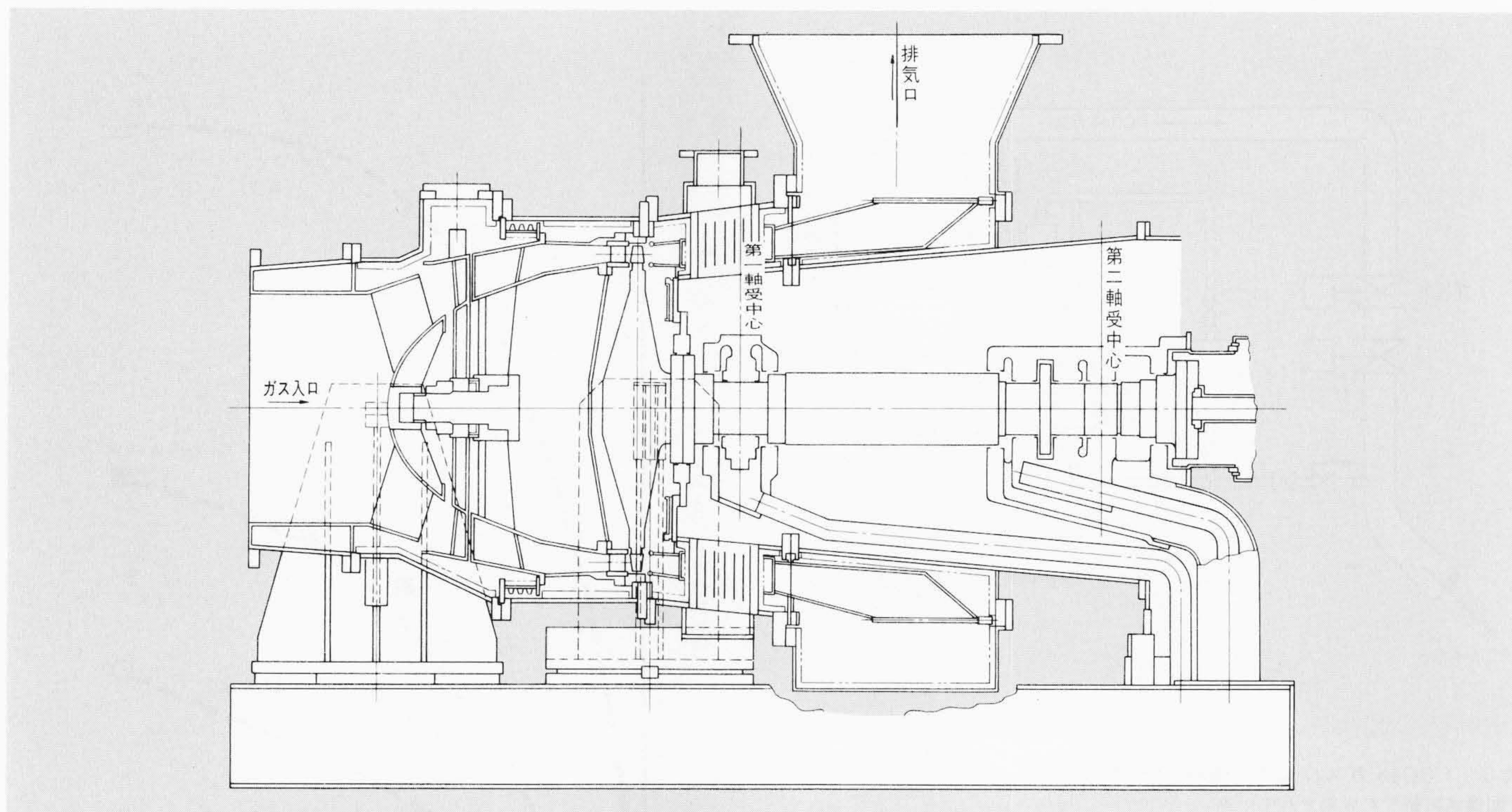


図4 FCC排ガス膨張タービン断面図 タービンロータは高温側へ軸受を置かないために、片持2軸受支持とした。

こと。

- (4) タービンケーシングは不銹鋼板の内部ケーシングと、断熱材を内張りした外部ケーシングから成り、高温ガスの外部ケーシングへの影響を少なくしていること。
- (5) 外部ケーシングはFCC排ガスの漏れを防ぐため、円筒形

で垂直フランジだけを持ち、その垂直フランジには外部ガスによるガスシール構造を採用していること。

- (6) 軸受部が高温となりアライメント変化を防ぐため、軸受部周辺の空気をケーシング上部に設けた空気エゼクタにより強制的に吸い出して、冷却効果をもたせる構造としていること。

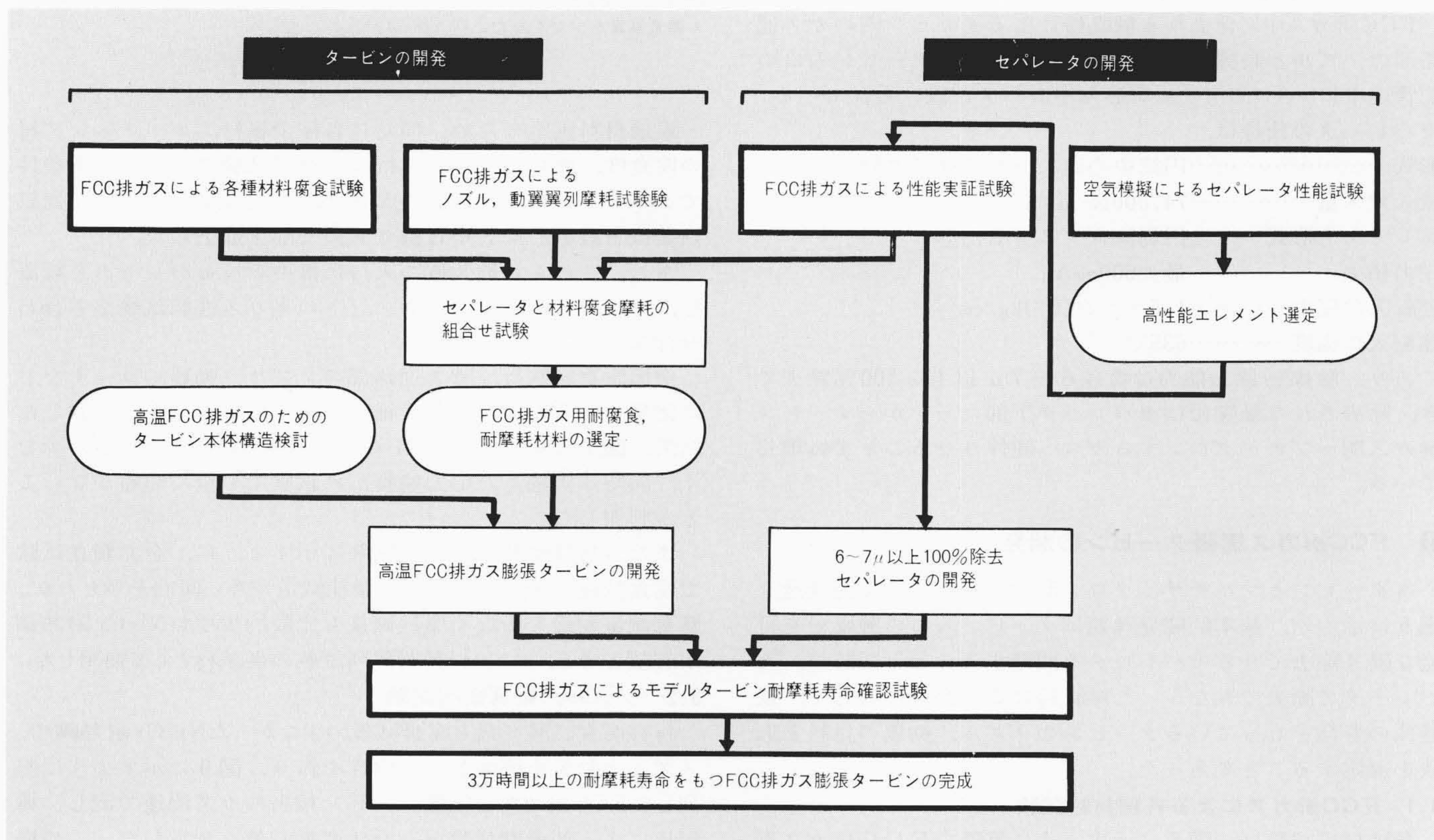


図5 タービンとセパレータの開発経過 本タービンの開発重点課題は、高性能セパレータの開発と耐摩耗材料の選定の2点であった。

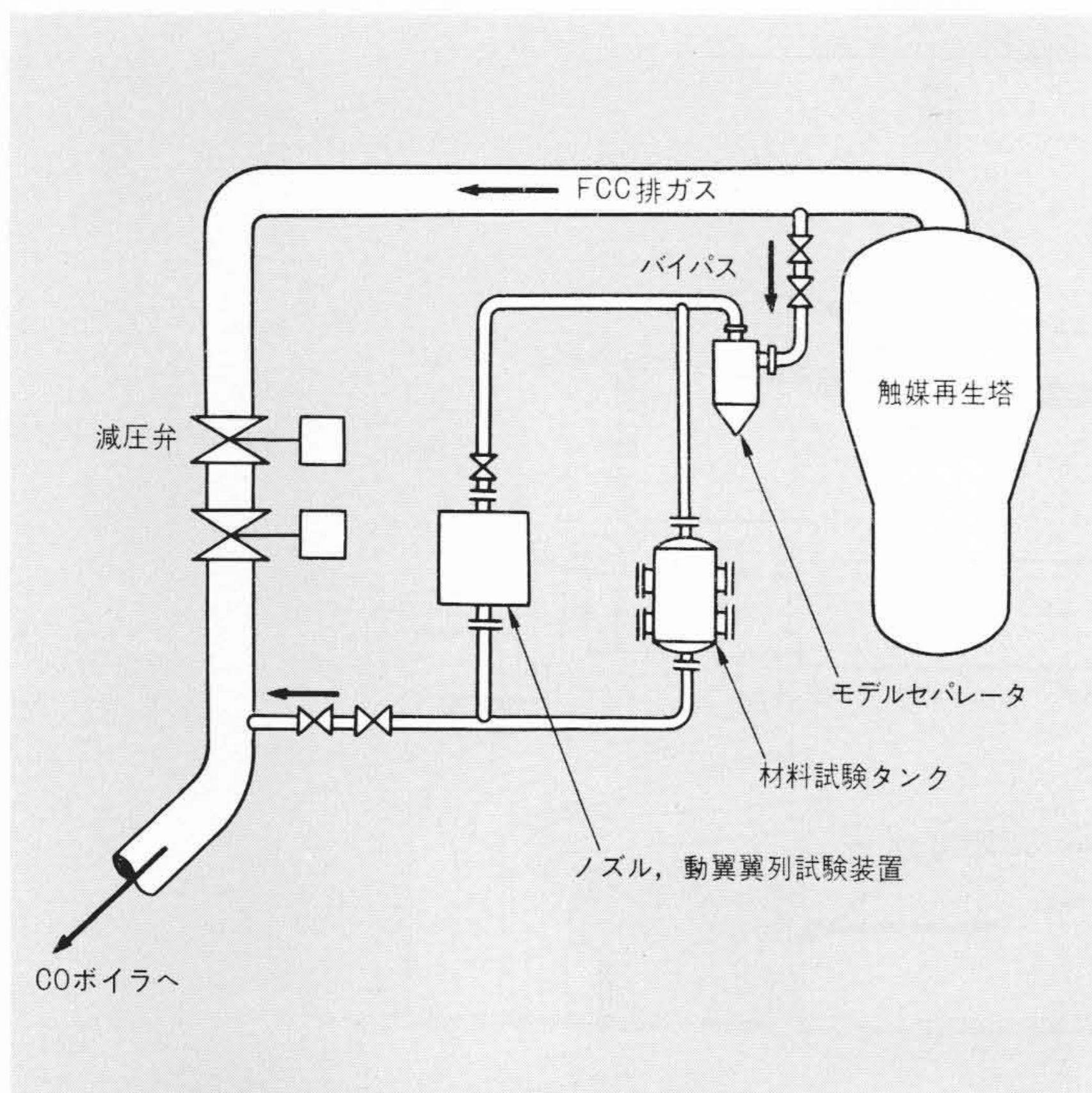


図6 FCC排ガスによる各種材料試験装置 材料試験タンクの中へ全面腐食試験片が収納されている。

などの特長をもち、その仕様は次のとおりである。

定格出力……………3,343kW

形式……………軸流1段垂直分割形

定格回転数……………4,708rpm

また、本タービンは瞬時負荷しゃ断時の過速を防止するために、油圧駆動の回転翼形緊急しゃ断弁をタービン入口部へ設けてある。図4に、FCC排ガス膨張タービンの断面図を示す。

2.4 マルチサイクロン形セパレータ

FCC排ガス中に含まれる触媒粉によるタービン内のガス通路部のノズルと動翼の摩耗を軽減するため、タービン入口の配管途中にマルチサイクロン形セパレータが設けられている。セパレータの仕様は、

形式……………円筒中心流入マルチサイクロン

流入ガス量……………74,000N・m³/h

エレメント形式……………円周流入ダスト噴出形

圧力損失……………最大500mmAq

運転入口圧力……………1.6ゲージ圧力kg/cm²

運転入口温度……………635℃

であり、触媒粉除去能力は粒径6～7μ以上を100%除去でき、除去された触媒粉はセパレータ下部コーンからタービン排ガス側へブローダウンするガスへ随伴させることで処理している。

3 FCC排ガス膨張タービンの開発

本タービンとマルチサイクロン形セパレータの開発経過を図5に示すが、基本的開発課題はタービン入口の触媒粉を可能な限り除去できるセパレータを開発することと同時に、セパレータで除去できなかった触媒粉による摩耗に対して、長時間の寿命をもっているタービンのノズル、動翼の材料と形状を選定することであった。

3.1 FCC排ガスによる各種材料試験

各種材料試験は、図6に示すように実際のFCC排ガス雰囲気下で実施した。

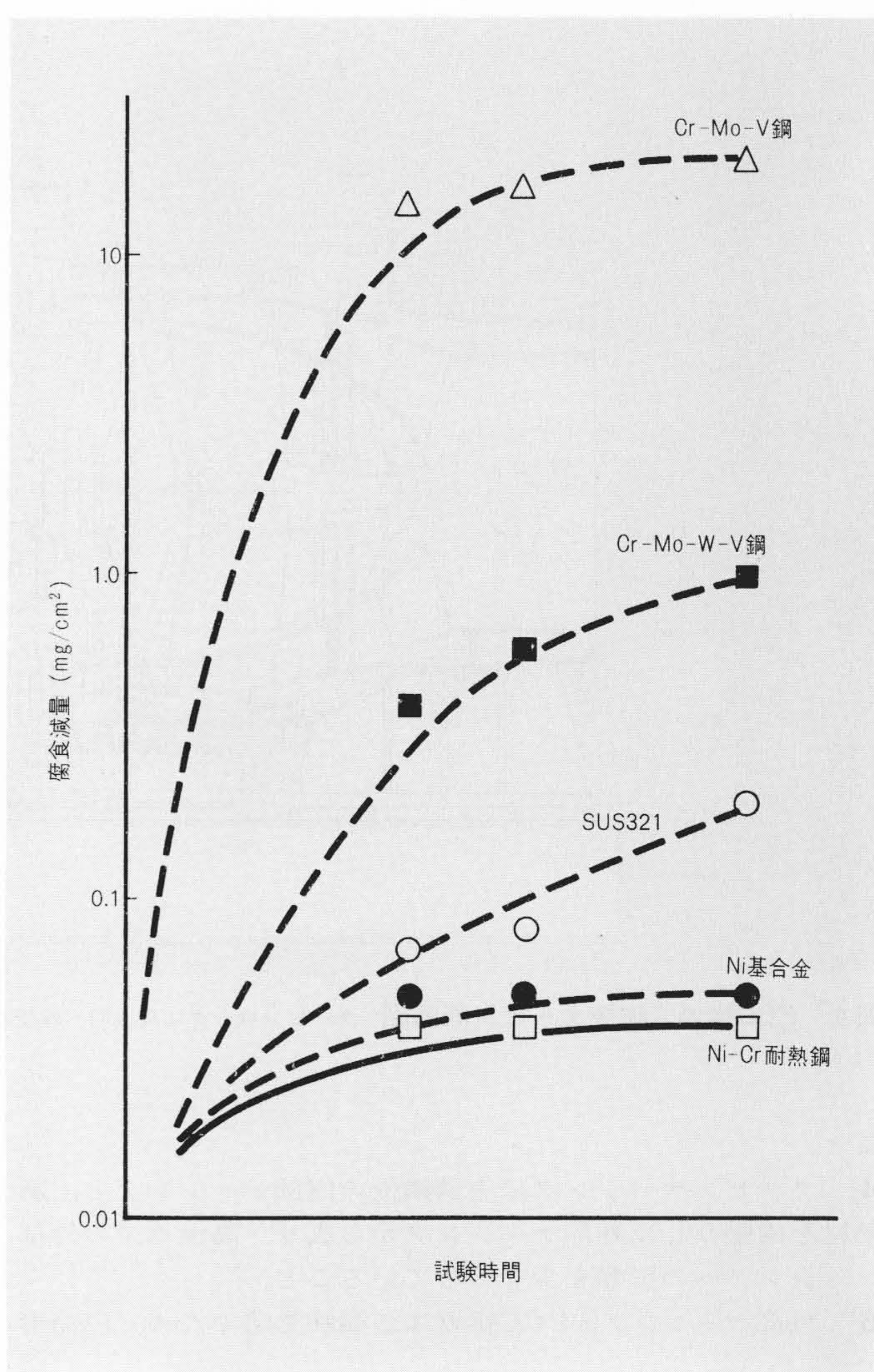


図7 全面腐食試験結果 各種材料を試験した結果、Ni-Cr耐熱鋼が最も腐食減量が少なかった。

最適材料選定のため、同時に各種金属材、コーティング材の腐食度、摩耗度の比較を行なう材料試験タンクと、実条件でタービンノズル、動翼の摩耗状況を把握するための翼列試験装置を設置し、FCC排ガスの一部を通気した。

また、これら試験装置の入口にはモデルセパレータを設置し、マルチサイクロンエレメントの実ガス性能試験をも合わせ行なった。

全面腐食試験は、ガス通路部のノズル、動翼、ロータなどに使用できるとされる候補材をFCC排ガス中で試験した結果、図7に示すようにNi-Cr耐熱鋼が最も腐食減量が少なく、同時に実施した応力腐食割れ試験でも全く問題がないことが判明した。

また、材料摩耗試験では図8に示すように、全面腐食試験で腐食減量が少ない鋼種ほど摩耗減量が多い傾向を示したが、腐食減量が最も少なく摩耗減量も比較的少ないNi-Cr耐熱鋼が有望と考え、ノズル、動翼翼列試験の供試材として使用した。

3.2 ノズル、動翼翼列試験

材料腐食試験で最も腐食減量の少なかったNi-Cr耐熱鋼で、ノズルと動翼を模擬した試験片を作り、図9に示すように配列してFCC排ガスを実機タービン相当のガス流速で流し、翼形状による部分摩耗状況と全体摩耗減量を測定した。この場合、翼摩耗減量はモデルセパレータの性能により大きく左右

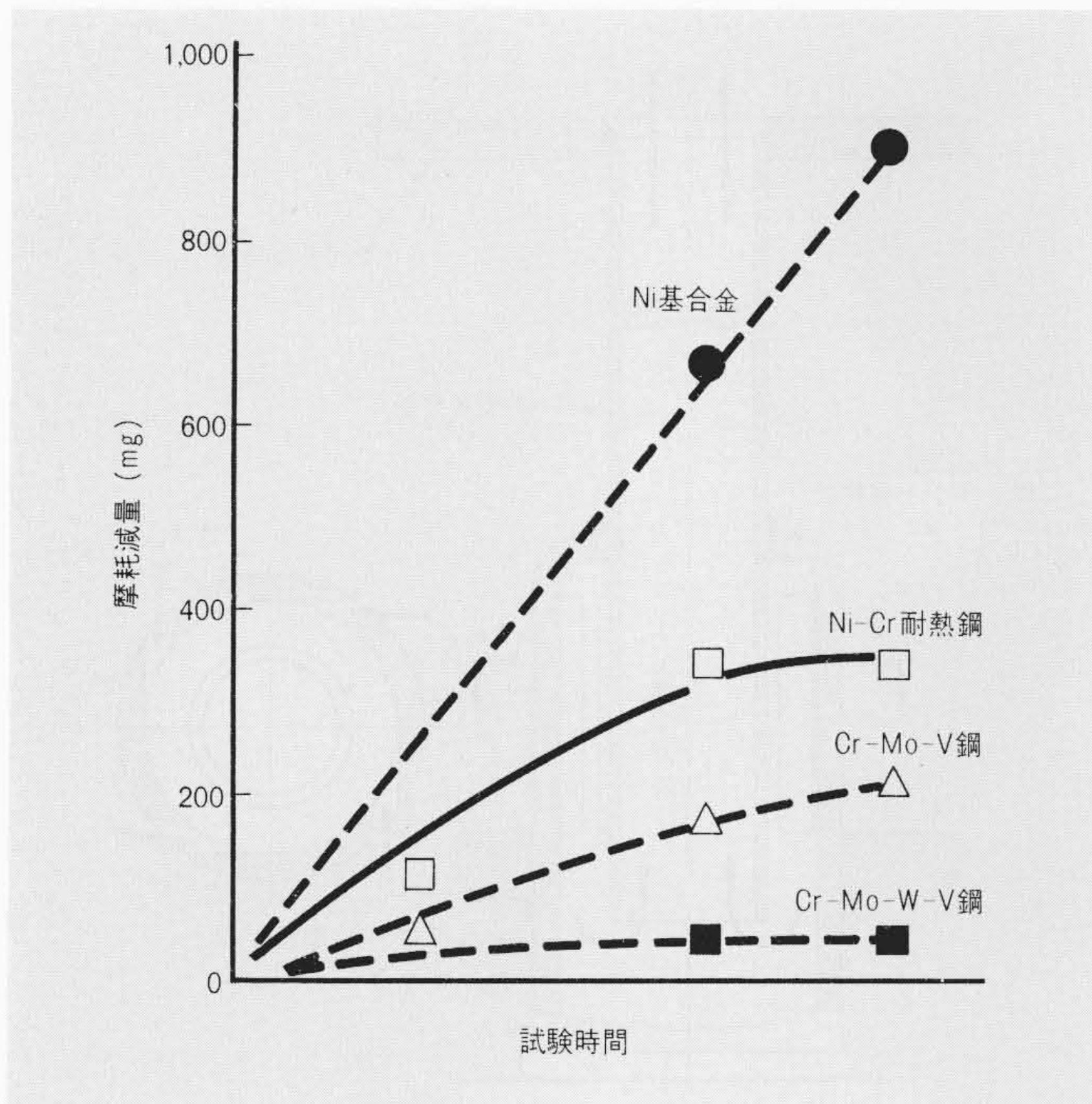


図8 材料摩耗試験結果 摩耗減量は、腐食減量の少ない鋼種ほど多くなっている。

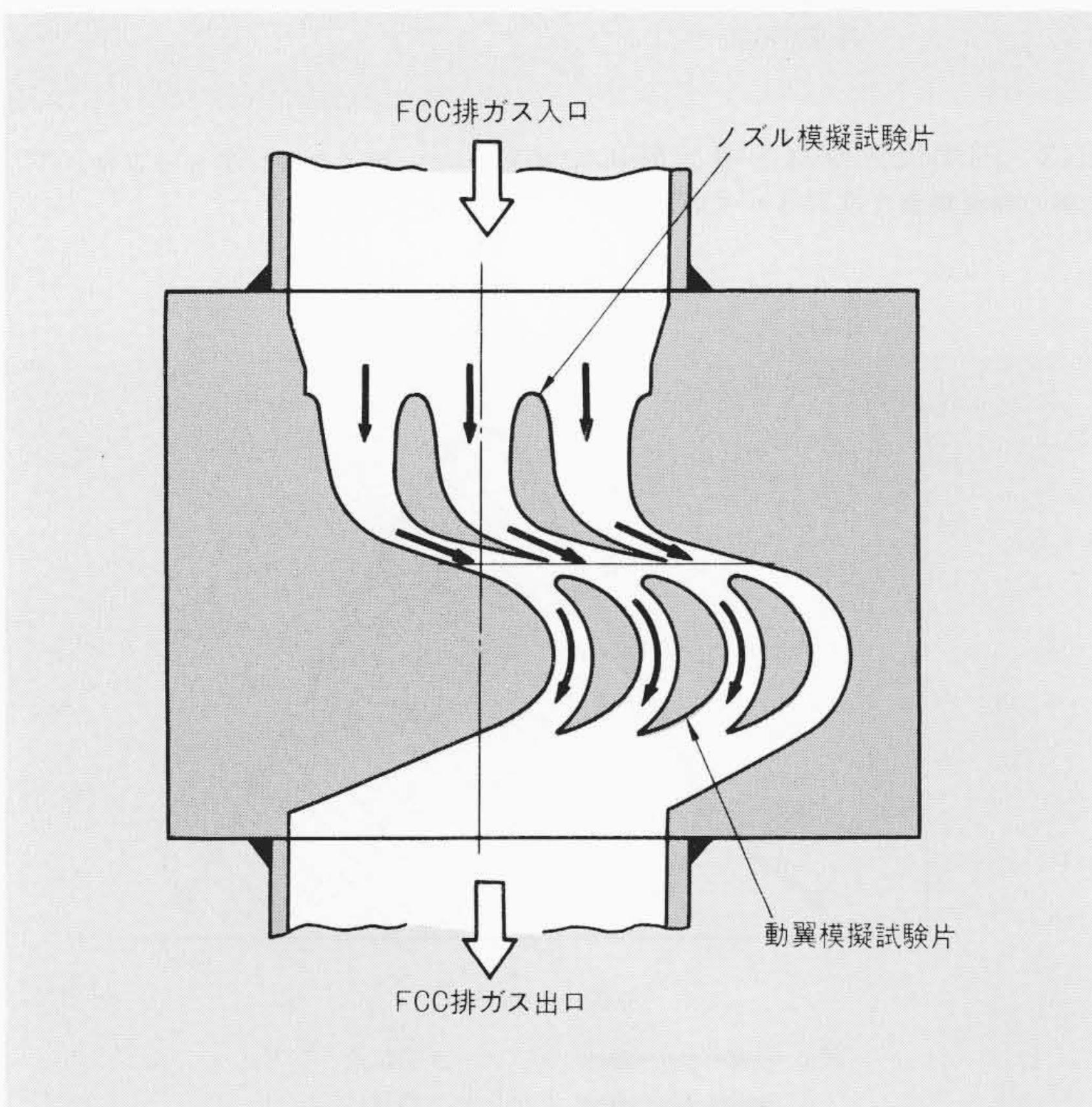


図9 ノズル、動翼翼列試験装置 ノズルで実機タービン相当のガス流速に上げ、動翼に噴射させている。

され、セパレータでの触媒粉除去率と翼摩耗減量率との関係は、図10に示すようである。

例えば、翼摩耗減量率10%に対する通ガス時間は、
除去率40%、通ガス時間 8,300時間
同 上50%、同 上 30,000時間
同 上60%、同 上 125,000時間

となり、触媒粉除去率の向上に対して指数関数的に摩耗寿命が延びている。以上の材料試験と翼翼列試験の結果から、ノズル、動翼及びロータの高温ガス通路部にはNi-Cr耐熱鋼を使

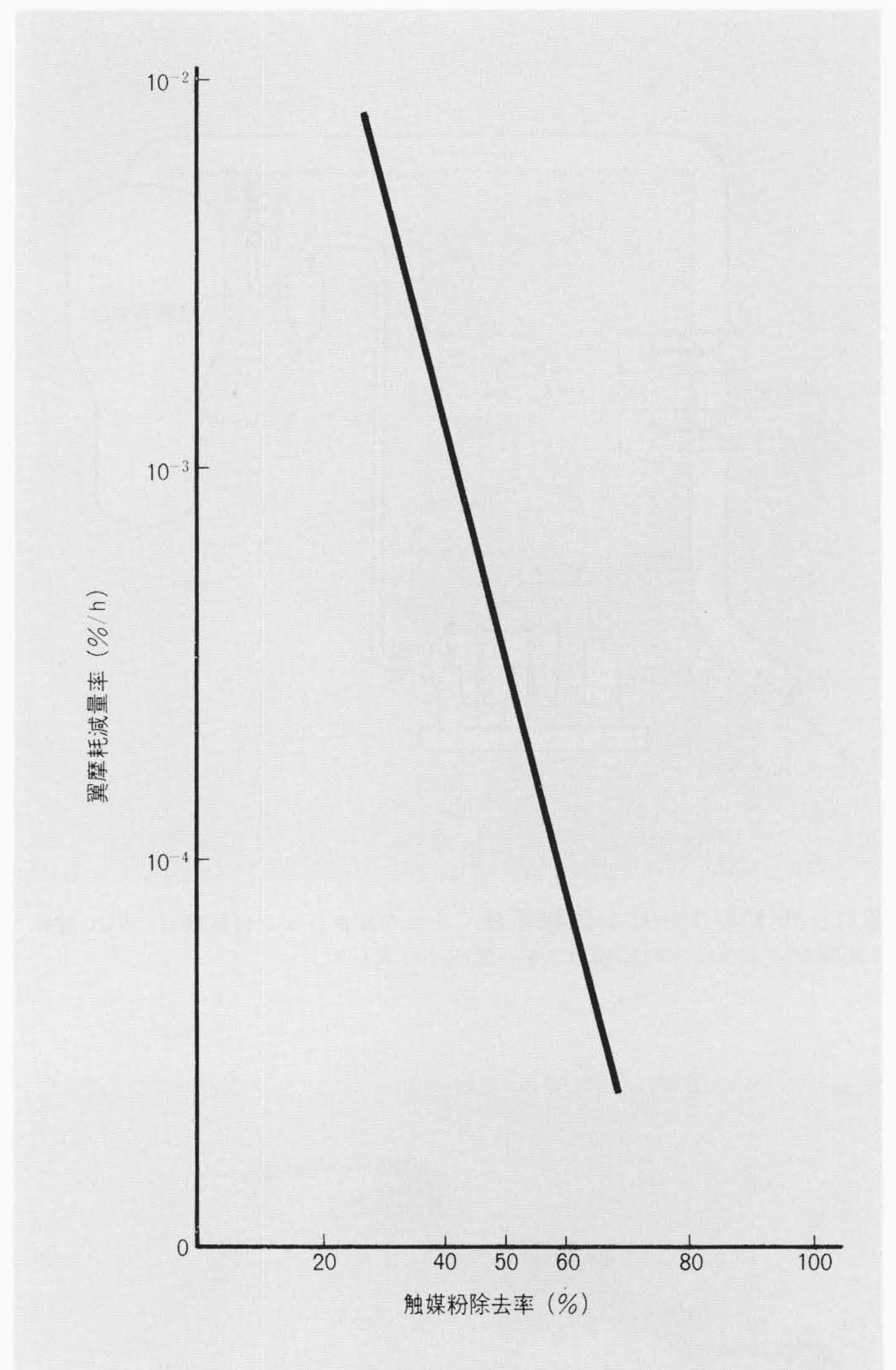


図10 セパレータ除去率と翼摩耗の関係 触媒粉除去率の向上により、翼摩耗減量率は大幅に向上する。

用することにした。なお、実際の翼形状の設計に当たっては、タービン内部での触媒粒子の運動と翼への衝突に関する解析をして、各種試験データを折り込んだ最終的な設計を行なった。

3.3 モデルタービンによる耐摩耗寿命確認試験

前述の翼翼列試験は静止試験であったが、動翼の回転中の摩耗状況確認と高温ガス中での回転体回転性能確認のために、ノズルと動翼を除き全く実機どおりのタービンを製作し、図11に示すようにFCC排ガスを一部バイパスしてモデルセパレータとの組合せ試験を実施した。ノズルと動翼は、バイパス流量に見合うように翼長を短くし、タービン出力は水動力計で回収した。モデルタービンはFCC排ガスで長時間運転したが、ノズル、動翼には全く摩耗が見られず、回転体回転性能、その他にも異常は認められず、実機タービン連続運転への確信を得ることができた。図12に、モデルタービン外観を示す。

4 マルチサイクロン形セパレータの開発

セパレータエレメントは、前述の翼翼列試験と組み合わせたモデルセパレータで最も性能の良い円周流入ダスト噴出形エレメントを採用した。

4.1 セパレータ開発過程

高性能マルチサイクロンセパレータの開発に当たっては、図5に示したように空気模擬によるセパレータ性能試験で高

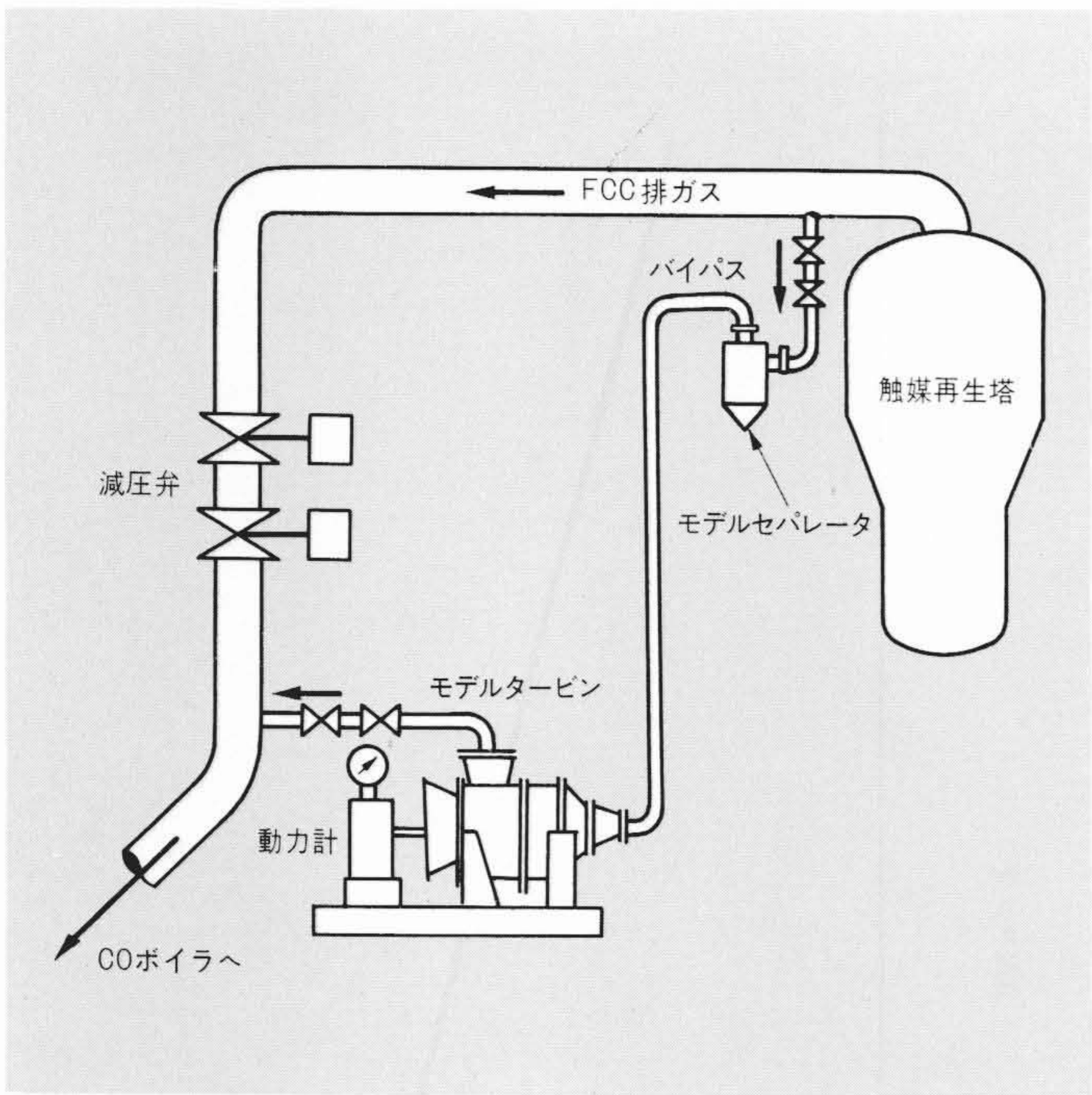


図11 モデルタービン試験系統 モデルタービンの試験は、FCC運転に支障ないように、FCC排ガスを一部バイパスした。

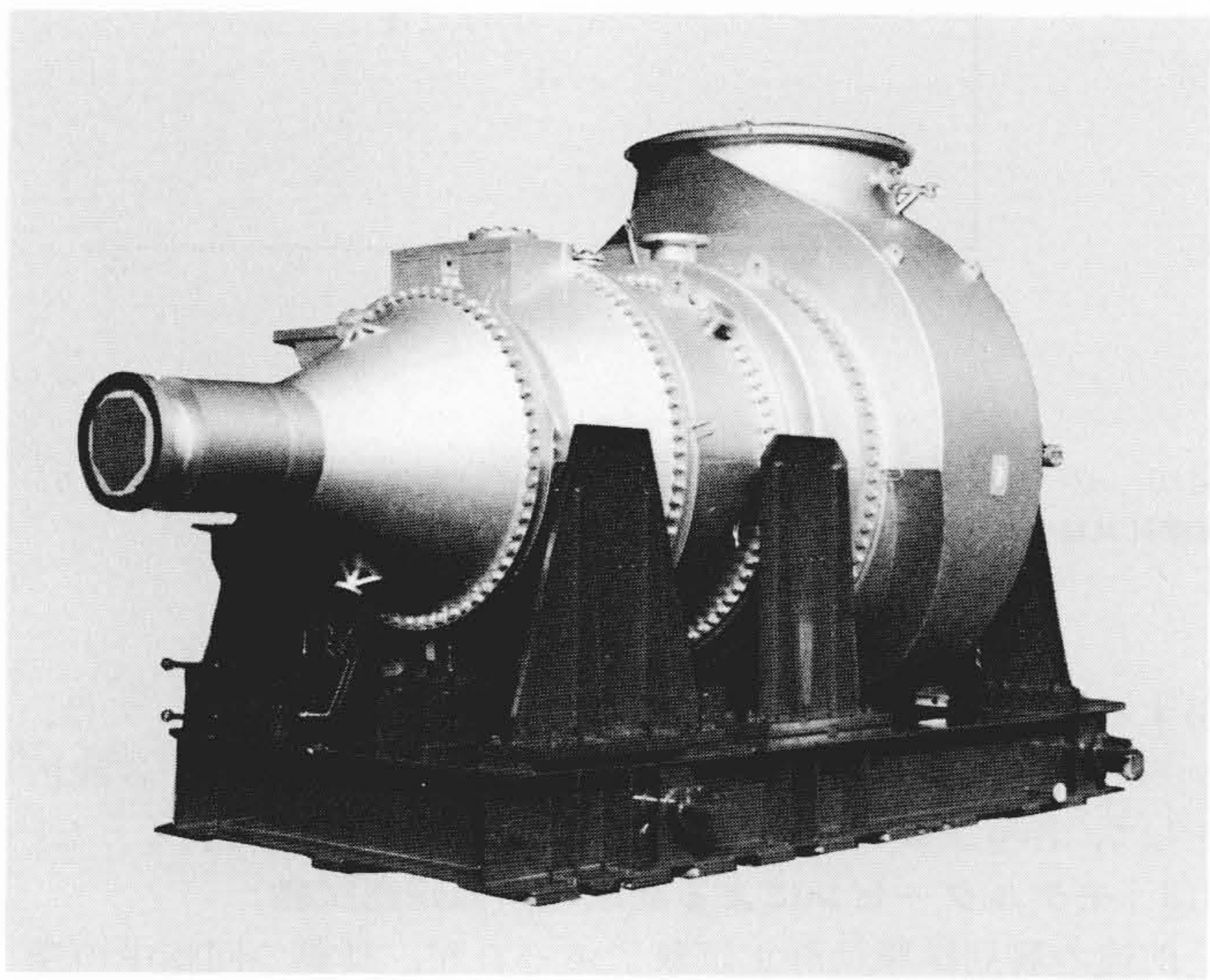


図12 モデルタービン外観 工場組立完成時の外観を示す。

性能エレメントを選定し、FCC排ガスによる性能実証試験を行ない、実機性能に生ずるとされるあらゆる問題に対し確証を得て開発した。

4.2 円周流入ダスト噴出形エレメント

図13に、円周流入ダスト噴出形エレメントの構造を示す。本エレメントはサイクロンチューブ外周から接線方向にガスが流入することでチューブ内で旋回し遠心力により触媒粉を外周に押し付け、清浄ガスは上方へ流れ触媒粉は落下して触媒粉噴出室から噴出させ除去するようになっている。触媒粉噴出室構造は、いったん噴出した触媒粉が再び上昇し、除去性能を悪化させないようにしている。

本エレメントの触媒粉除去性能は、図14にその一例を示すが、粒径6～7 μ 以上は100%除去できる性能をもっている。

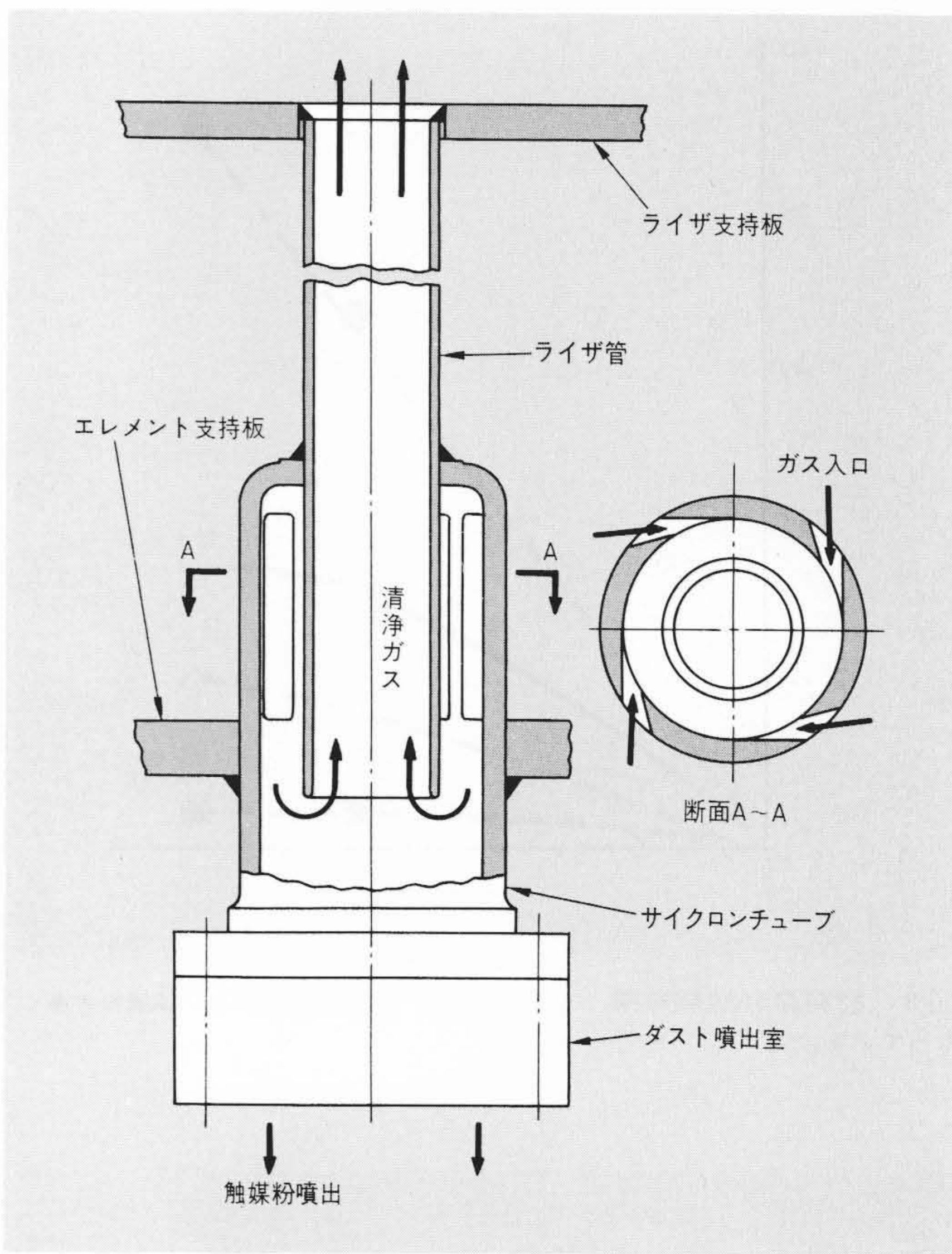


図13 円周流入ダスト噴出形エレメント サイクロンチューブは、不銹鋼の精密鑄造で成形されている。

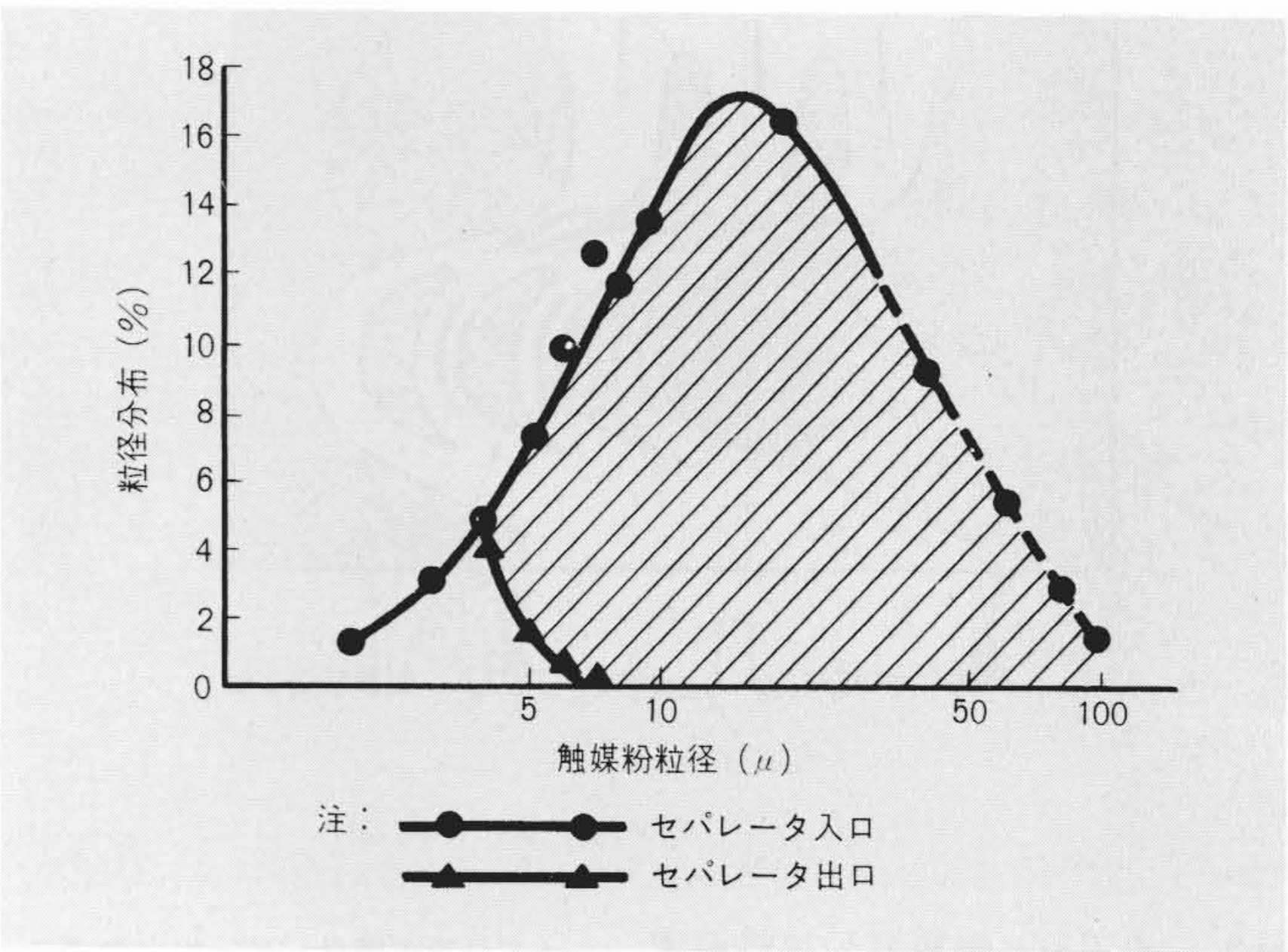


図14 セパレータ触媒粉除去性能(粒径対数正規分布) 斜線部がセパレータで、除去された粒径を示す(セパレータ入口粒子全量を100%とした)。

5 結 言

以上、FCCからの高温排ガス圧力を、動力回収するタービンとセパレータについて紹介したが、本開発が最近の省エネルギー対策の一助になり、本実績が他のFCCの動力回収計画の参考となれば幸いである。

終わりに、本開発に全面的な御支援いただいた関係各位に対し、心から感謝する次第である。