随筆

革命期に入った工業と学会の対応

航空宇宙技術研究所　松　木　正　勝

日本ガスタービン学会は来年で十周年を迎えるが，この間我が国のガスタービン工業界は着実な成長を遂げた。今後の一層の発展の為には工業の技術的基盤を支える工学の研究が不可欠であり，学会のあり方もこれに対応する必要がある。

人類が文明を築いたのは，(1)物質の合目的的利用技術，(2)エネルギーの変換利用技術，(3)知識の交換蓄積法の確立にもとずいている。

特に近代文明は，鉄を主体とする金属材料とその加工技術と熱エネルギーを機械エネルギーに変換利用する技術の組合わせ，およびこれらを支配する法則と経験の蓄積利用によってもたらされたものと云える。

然しこの１０年間を振りかえって見ると，これら三つの面すべてにわたって大きな変革が進み始めていることを見出さずにはおられない。

材料では多くの非金属材料が開発され，特に複合材料，セラミックスが発展しつつある。エネルギーでは石炭，石油に代って原子力，太陽エネルギー（再生可能エネルギーの総称）の利用技術が強力に進められつつある。また最も画期的と考えられるのはコンピューターの発達による知識集積速度の増大と，コンピューターによる自動生産システムの発達である。

言語の獲得による同時代間の情報の交換による対自然対応力の増大は，人類文化の発達を増速したが，次いで文字の発明は過去の知識経験を子孫に伝え，知識の蓄積固定化を可能にした。然しこれらはソフトウェアであり，物としてハードウェア化するには教育と労働とを必要としていた。

（昭和５６年１１月２５日原稿受付）

ところが，コンピューターの発明と発達によって事情は革命的に変化して来た。無人化工場が示す様に過去に蓄積されたソフトウエアによって，教育も労働も必要とせずに物が生産される様な場面が急速に増大しつつあるのである。

農業では植物の生産過程を蓄積したＤＮＡを内蔵する種子と肥料，水などの原材料を投入することによってエネルギーとしては太陽光を吸収して自動的に果実が生産される。工業も非常にこれに近くなり，材料とエネルギーをコンピュータープログラムによってコントロールされた生産工場に投入すると自動的に生産物が生産されることになり，今迄の様に全工程で必要とされた労働は不要となる。これは生産労働分野が極端に縮少されると共に生産物の量の非常な増大をもたらす。

これは工業の農業化とも云えるもので，既に先進諸国においては必要とされる農産物は全労働人口の数％の労働力を必要とするのみであるのと同様に，必要とされる工業生産物を生産するのに必要な工業人口も全労働力の１０％以下で充分となる日も遠くないのではないだろうか。しかも大量の物が生産されるのである。

このような事態に対応して工業界としては，

1）生産量の増大に伴って信頼性の格段の向上と保守の不用化が必要となり，生産から運用および廃棄までを含めたライフサイクルコストの低減が求められる。このためには有能な技術者が必要である。

2）材料，構造の変革が急速に進むため，学際的知識を必要とし，巾広い技術者が求められる。

3）運転制御，監視のためシステムの頭脳神経系の製作整備が必要で，システム全般を理解し制

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

御できる能力を有する技術者が必要となる。

4）エネルギー源が多様化し，各種のエネルギー源が適所で使用される様になるため，これに対応できる能力が必要である。

5）多量の生産物が多方面で使用されるため，使用条件の範囲が広くなり，使用者の能力がライフサイクルコストに大きな影響を持つことになり，生産者，使用者間の情報交換が重要性を増してくる。

6）生産過程のソフトウエアのハード化が進み，生産現場の労働人口は減少し，少数の高級技術者と単純労働が残るのみとなる。

この様な変化に対して学会としての対応は，

1）ガスタービン本体の性能，信頼性，経済性の向上のため学会の学問レベルの向上を計る。

2）新らしい材料を利用する技術およびエネルギーの多様化に対応する技術が必要であり，高度な研究者，技術者間の情報の交換の必要性が増すので学会の技術内容の多様化を計る。

3）ガスタービンの使用箇所が増大し，運用分野の技術者との情報交換が重要となるので，この分野にまで会員層を広げ，ガスタービンが社会により良く貢献できる状況を作り上げるよう組織を広げる必要がある。

以上人類が未踏の新しい時代に入りつつあり，工業も大きな変革期を迎え，学会も新たな対応をせまられている状態を考えて見た。思考不足の点も多々あることと思われるが，２１世紀に向って進むための対応の参考ともなれば幸である。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

論説・解説

高温ガスタービンをめぐるエネルギー事情

エネルギー総合工学研究所　武　田　　康

（まえがき）

エネルギー利用効率の画期的な向上をめざす省エネルギー技術開発の大きな柱の１つとして，ムーンライト計画のもとで高効率ガスタービンの開発が進められている。ガスタービンによる発電は古くから行なわれており，わが国にもかなりの実施例があるが，本稿ではガスタービンの電力系統上，エネルギー需給上の位置づけを探るべく，脱石油時代の電力供給，エネルギー供給の今後の方向を述べることとしたい。

1. ガスタービン発電の利用形態

(1) 現在までの利用形態

わが国の火力発電の主流は蒸気タービン発電であり，ガスタービンは特殊なケースについてその開発が進められてきた。たとえばローカル的なピーク電源であり，環境上の制約が少なく，建設期間も短いことなどから。この十年間各地で数万KW級のガスタービン発電所が設置されてきた。

このような補完的役割にとどまっているのは，蒸気タービン発電が，１基100万KWというような大規模開発であるのに対して，ガスタービンはその単機容量が小さいこと，熱効率も蒸気タービンの40%に対して30%程度であるなどによるものである。しかし，冷却水が不要であるなどの立地環境上の有利性と，ピーク発電用としては起動停止が容易であるとともに，建設費単価が安いこと，さらに電力需要急増時代に比較的短かい建設期間が魅力的であつたことなどにより，遂次普及してきたといえよう。

この他火力発電の熱効率向上をねらって，ガスタービンと蒸気タービンとを組み合わせて利用する試みも行なわれている。すなわちガスタービン排気再燃形の四国電力坂出火力（ガスタービン30MW，蒸気タービン195MW）が以前から稼動しており，また高温ガスタービンの開発の進展と関連して最近注目されている排熱回収ボイラ型のコンバインド・サイクルを採用した国鉄川崎火力発電所（ガスタービン97MW，蒸気タービン44MW）が昭和５６年４月運転を開始している。

わが国に比べ電力系統の強国な連繋が必らずしも国のすみずみにまでは普及しておらず，また水力のようなピーク電源が豊富でない欧米では，かなり多くのガスタービン発電所がピーク用，ローカル需要適合用として稼動しており，またコンバインド・サイクルの試みもかなり古くから行なわれ，現在では欧米で100基程度のコンバインド発電（トータル容量は2,000万KWをこしている。）が運転している。

このコンバインド発電は総合効率の向上をねらったもので，中間負荷ないしベース負荷に対応するものである。

(2) 今後の利用形態

今後ともガスタービン発電単体としての，ローカル的，ピーク対処的開発は続いていくものと考えられるが，将来に向って大きく期待されるのは高温ガスタービンと蒸気タービンの組合せによる高効率の発電方式である。

現在の主流である蒸気タービン発電の熱効率は年々向上してきたがこのところ頭打ちしており，ボイラ伝熱管の温度限界からみて蒸気温度566℃，熱効率40%が従来方式のほゞ限界と考えられている。

（昭和56年10月22日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

この限界を越すための有力かつかなり現実的な方式が，高温ガスタービンとのコンバインドであり，もしガスタービン入口温度を1,500℃程度にまで高められれば総合熱効率55%を実現できるとされている。

これと同等の熱効率向上策はMHD発電であり，まだ技術開発進展中で実用までにはかなりの期間が必要とみられているが，総合熱効率50〜60%になりうるものといわれている。（わが国とアメリカ，ソ連が技術開発を進めており，ソ連は50万KW MHD発電所の建設に着手するといわれている）。

高温ガスタービンと蒸気タービンの組合せによる高い熱効率の実現は，燃料資源の有効利用がますます重要になるであろう今後のエネルギー供給，電力供給において，大きな価値をもつものとして期待されているのである。

2. 電力経済の変化

(1) 電力供給の各種課題

電力供給は1次エネルギー量ベースでエネルギー供給全体の1/3を占め，今後次第にその比重を高めようとしている。電力用のエネルギー源としては多種多様なものが利用できるので，電力部門は石油危機以降のエネルギー源多様化の中核となっており，石油に代って原子力，LNG，石炭をはじめ各種各様の電力用燃料の活用が図られている。

しかしこのエネルギー源多様化の中核である電力供給も数多くの問題をかゝえている。その第1は原子力その他大規模電源開発の立地難航により将来の電力需要に十分対処できるかどうかであり，第2は電力供給コストの高騰で何とかこれを抑える手段がないかということである。そして第3は原子力などの大規模ベース電源と組合わせるべきローカル的，ピーク的な電源の開発である。

この他火力，原子力などの熱効率の低さ，すなわち発熱量の半分以上を廃熱として海洋に放出していることを何とかできないかということも，エネルギー有効利用上の大きな話題である。

これらの問題の解決のために多様な対策が考えられているが，高温ガスタービンの活用はその中でかなり大きな寄与をなしうるものと期待されている。

(2) 将来の電力需要への対応

わが国の経済は石油危機以来高成長から低成長へと移り，産業と国民生活の基盤である電力需要の伸びも同様にスローダウンしている。しかし年率数%の伸びは続いており，また電力ピークの伸びは年間電力量の伸びよりもやゝ高い傾向を保っており，この一両年冷夏と省エネルギーにより夏の電力ピークの伸びも低迷してはいるものの，今後はやはり着実な増大傾向を辿るものと予想される。

この電力需要増に対して，原子力，石炭火力，LNG火力などの電源開発が進められているが，いずれも安全，環境問題などを要因とする地元合意の遅れなどにより，必らずしも順調には進展していない。

こうして電力供給力の拡充は遅れているものの，一方で経済成長が低迷しまた省エネルギーが進んだ結果電力需要の伸びも低迷して，今までのところ需給のバランスが保たれ，極端な供給不足を生ずることなしに推移してきている。しかし，今後需要の伸びが復活するようなことになれば，また中長期の期間を考慮すると，電力需給の先行きは楽観視できないものがある。

現在の開発の主力である原子力，大規模火力はいずれもその立地選定から運転開始までのリードタイムが長く，急場には間に合わないところが1つの問題であり，環境，公害的な問題が少なく，建設期間が短かく，ピーク対応として適しているガスタービンはこの点で今後とも有効に活用される可能性があると考えられる。

また現在の電源開発は大規模原子力，火力中心となっているが，送電および電力系統構成上は比較的小さい電源の分散配置もまた必要である。この点にもローカル的な電源の1つとして，地元の合意を得やすいガスタービン発電が活躍しうる場があるものと考えられる。

(3) 電力供給の経済性の確保

石油価格の上昇に伴なう電力原価の高騰傾向は電力供給上の大きな問題である。石油危機前は電力原価の2〜3割を占めるに過ぎなかった燃料費が，現在では6割程度を占めるようになっており，電源構成の原子力化が大きく進展しない限り，燃料費が電力原価の過半を占め，石油価格が2倍に

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

なるとその直接的な波及で電力コストも5割上昇するいうような状態が続く可能性が強いと考えられる。

大規模な設備をもち，原価構成上も資本費の比重が高く，長い間設備産業といわれてきた電気事業も，最近の原価構成からみるとむしろ燃料加工業とでも呼ぶ方が適切なようになってきているのである。

各種の発電方式についてのコスト比較をみると第1表のとおりであり，原子力発電が最も優位にたっており，その燃料費比率が低いことから，今後ともその優位性を続けていくものと予想されている。

第1表　発電コストの比較
（55年度運転開始発電所の初年度原価）

	建設単価（万円／kW）	発電原価（円／kWh）	燃料費比率
水　力	51～52	17～18	
原子力	18～19	8～9	2.5割
石炭火力	17～18	12～13	5　割
LNG火力	16～17	16～17	6.5割
石油火力	11～12	17～18	8　割

ところで今や燃料加工業になった電気事業での今後の合理化の大きな方向は，主原料である燃料をより一層有効に利用することである。石炭火力で5割，石油火力で8割を占める燃料費をいかに低減することができるかが大きな課題なのである。

現在の火力発電は蒸気タービンによっており，その熱効率は遂年向上してきたものの現在の40％でほゞ頭打ちであり，一方石油，石炭など燃料価格は上昇傾向にある。そこで火力発電コストの過半を占める燃料費の低減を図る方策として浮かび上がるのがガスタービンと蒸気タービンの組合せによるコンバインド・サイクルの採用とMHD発電であり，いずれも現在の熱効率40％を格段に向上させるものである。

この熱効率向上にはそれなりの追加投資が必要であるが，最近における燃料価格上昇傾向からみて追加投費の価値が年とともに大きくなってきているのである。省エネルギーはエネルギーの代りに資本や技術を使うことであると言いかえることもできるが，一般の場合と同様に火力発電の効率向上のための省エネルギー投資もその効果が従来以上に評価されるようになったのである。

今後の電力供給において原子力の拡大に伴なって化石燃料による火力発電の比率は年々低下していくものと予想されてはいるが，絶対値としての火力発電量，化石資源消費量は増大していく。その見通しを第2表に示すが，火力発電熱効率向上は将来の電力供給にとって大きな課題である。

第2表　将来の発電量の予測（億kWh）

	1978年	1990年	2000年
水　力	689	1,080～1,150	1,500
地熱等	5	130～200	700
原子力	590	2,680～2,910	6,000
石炭火力	176	950～1,040	2,000
LNG火力等	514	1,930～2,100	2,400
石油火力	2,834	2,440～1,810	700
（火力計）	（3,524）	（5,320～4,950）	（5,100）
合　計	4,970	9,370	13,300

（1990年は電気事業審議会の見通，2000年は筆者が延長予測したもの）

3. エネルギー経済の変化

(1) 省エネルギーの進展

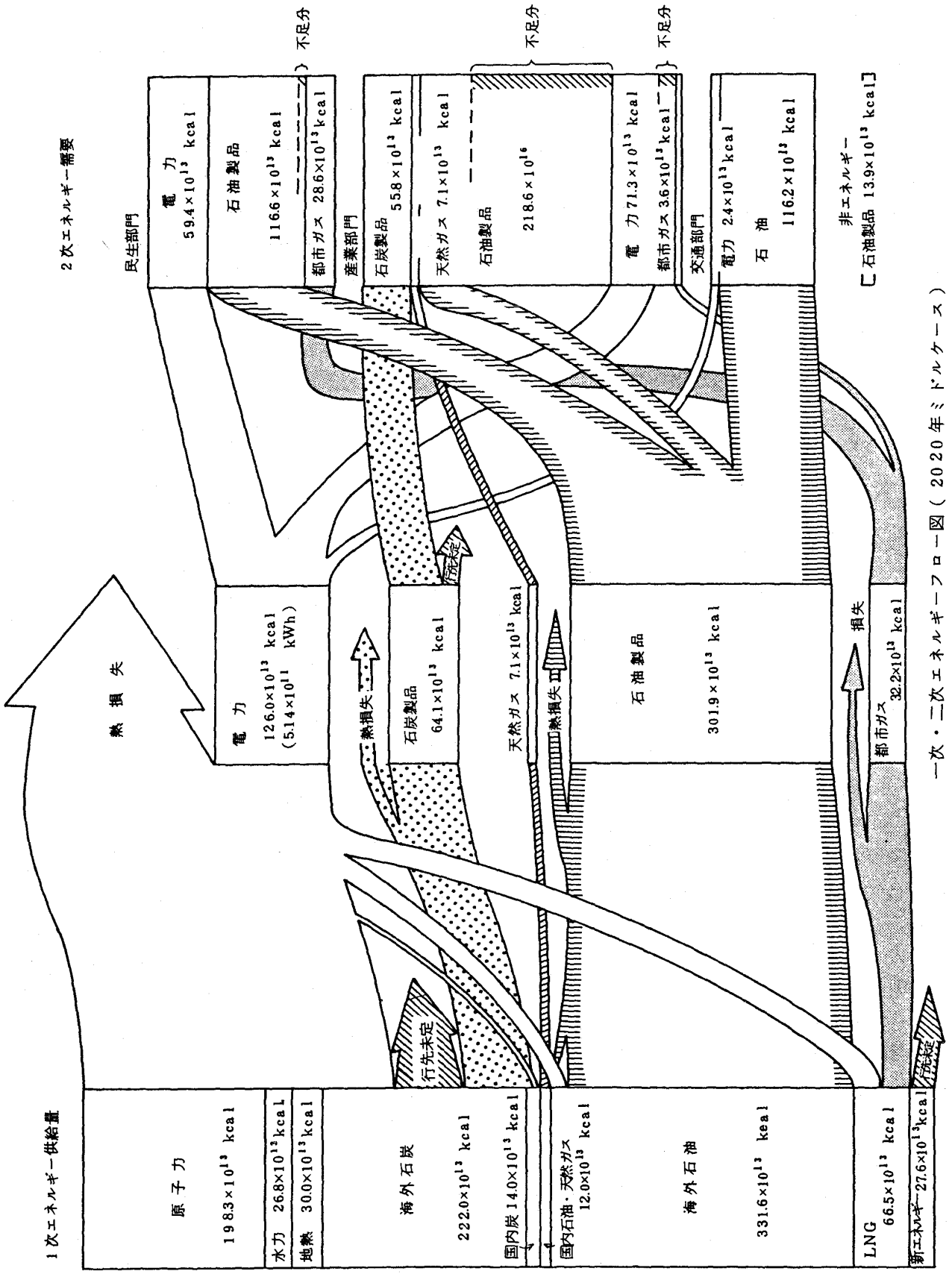
エネルギー経済全体に目を広げると，石油危機以来の大きな方向は省エネルギーの推進と代替エネルギー開発利用による脱石油への動きである。

省エネルギーはまず家庭，産業を通じての節約からスタートして第1次石油危機での量的不足をカバーし，次いで石油価格上昇への対応として主として産業面での省エネルギー投資へと中心が移り，また民生用でも使用機器のエネルギー効率改善が進んで，今までも大きな効果をあげており，石油消費節約に役立ってきた。

その量的大きさを昭和56年度石油消費節約目標によって概観すると第3表のとおりである。

今後とも石油価格の上昇を一つの原動力として各分野での省エネルギーが一層進展するものと期待される。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.



一次・二次エネルギーフロー図（2020年ミドルケース）

第1図 エネルギー・フロー（エネルギー総合工学研究所による2020年の予測の一例）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

第3表　昭和56年度石油消費節約目標

用途区分	項　　目	節　約　効　果
民生用	暖房温度の調整	約 830 万kℓ
	冷房温度の調整	約 140 〃
	窓際照明などの消灯	約 85 〃
	エレベーター運転削減	約 10 〃
	消費機器の効率的使用	約 30 〃
	ソーラーシステム，ガス冷房等の導入	約 25 〃
輸送用	社用車等の削減	約 50 〃
	マイカーの使用自粛	約 215 〃
	経済速度の励行	約 15 〃
電力用	使用合理化と燃料転換	約 500 万kℓ以上
産業用	使用合理化と燃料転換	約 600 万kℓ以上
合　　計		約 2,500 万kℓ以上

(2)　エネルギー供給の効率化

上述のようにエネルギー消費サイドでの使用効率向上は逐年向長しているが，2次エネルギー供給サイドの効率化にはそれほど大きな進展がみられていない。

現在1次エネルギーの3割強が発電用に利用され，そのうち火力発電用化石燃料が7割を占めている。そして発電用燃料の熱量の6割が冷却用海水の加熱に使われ，電力に変換されるのは4割にすぎない。火力の熱効率は既に10年以上前から約40％で頭打ちになっているのである。

一方流通面で送配電ロスの低下が続き，LNG冷熱発電，変電所廃熱の回収などが行なわれているが，全1次エネルギー供給の2割にもなる発電所排熱（第1図参照）に比べると量的には微々たるものである。

さて1次エネルギーから電力への変換効率がもし向上できれば，その効果は非常に大きなものとなるが，これには2つの方向が考えられる。

その1つは現在主流の蒸気タービン発電の最高温度566℃を越える温度部分の有効活用であり，もう1つは低温の排熱になる部分の活用であり，いずれも熱のカスケード的な利用である。

前者の有力候補は高効率ガスタービンまたはMHD発電を蒸気タービン発電の前段につなぐものであり，総合熱効率50％以上を期待して国のプロジェクトとして開発が進められている。

後者の広く普及している実例は，化学工業，紙パルプ工業などに広く普及している蒸気・電気併給の自家発電である。これら工場では大量のプロセス用蒸気を必要としまた電気も使用しているが，中圧，低圧の蒸気を発生させるボイラーの効率は余り高くなく，高圧のボイラーにより発電を行ない，抽気または背圧タービンを利用して必要な蒸気を得る組合せ方式により，総合効率を向上させているのである。

同じ方式を電気事業用の発電所に適用して地域暖房用の蒸気を供給する熱併発電は寒冷地であるソ連，北欧などで広く行なわれている。しかしわが国では気候の差などで地域暖房が普及していないため，電気事業用発電所の熱併給は殆んど例がないが，電源立地と地域発展との調和などの観点から各種の検討が行なわれている。すなわち原子力（軽水炉）の多目的利用，コミュニテイ発電の調査，検討などである。

このほか復水器冷却水，いわゆる温排水を利用できないかという研究も行なわれている。温排水養魚の試験的実施などである。

(3)　石油価格と将来のエネルギー需給

以上述べた省エネルギーの進展の基礎となっているのは石油価格の上昇傾向である。その推移をみると1970年に1バーレル1.8ドルであったのが第1次石油危機により1975年には10ドルをこし，現在では32〜36ドルとなり，名目で20倍の価格上昇である。

石油生産の半分を占める中東の生産コストは非常に安いが，採掘条件の悪い北海などでは生産コストそのものがかなり高いこと，石油に代るものとして期待されている石炭液化油，オイル・シェール，オイルサンドなどからの新らしい燃料油などの生産コストはなお当面石油よりも高いと想定されていることなどが石油価格上昇の背景であり，今後当分の間価格上昇傾向が続くものと予想されている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

これを産油国の立場でみると，限りある石油資源を有効に活用してポスト石油に備える経済開発を行なっていくことが必要であり，そのための輸入資材の価格上昇（先進国のインフレ傾向），先進国の経済成長，代替エネルギー価格との対比，世界経済への影響の点などを勘案しながら可能な範囲の価格上昇をしていくこととなろう。

また石油の供給量そのものも石油危機以来低迷を続けている。石油危機前まで増産を続けてきた中東諸国が資源を温存する方向に政策変更したこと，新らしい資源開発も北海やメキシコなど特定の地域以外ではそれ程大きな実績をあげていないことなどによるものである。

このような石油情勢を反映して世界各国で代替エネルギーの開発促進が進められている。これをサミット参加7ケ国の計画によってみると第4表のとおりであり，総需要はこの10年で2割増大するのに対し石油は絶対量としても減少し，エネルギー供給全体に占める比率については現在の5割から10年後4割以下に減らそうとするものである。

第4表　サミット7ケ国の計画

（石油換算：億トン）（ ）内は比率%

	1979 年	1985年	1990年
石　油	16.8（51）	16.6（45）	15.2（38）
ガ　ス	6.8（20）	7.1（20）	7.9（20）
石　炭	6.6（20）	7.9（22）	9.8（24）
原子力	1.2（ 4）	2.7（ 7）	4.2（10）
水力等	1.8（ 5）	2.3（ 6）	3.1（ 8）
計	33.1（100）	36.6（100）	40.2（100）

さらに長期のエネルギー予測では，石油中心から多様なエネルギーの組合せへの動きが一層はっきりと表われてくる。世界エネルギー会議などの資料をもとに今後数十年の供給予測をみると第5表のとおりであり，石油の比重は一層低減し，石炭と原子力とが供給の主力となるものと予測，期待されている。

第5表　エネルギー供給予測

（石炭換算：億トン）（ ）内は比率%

	1980年	2000年	2020年
石　油	50（44）	61（25）	38（11）
天然ガス	20（17）	54（23）	41（12）
石　炭	28（24）	59（25）	92（26）
非在来石油	−（−）	2（ 1）	14（ 4）
（化石計）	（98）（85）	（176）（74）	（185）（53）
原子力	3（ 3）	30（13）	108（31）
水　力	5（ 4）	12（ 5）	19（ 6）
自然・再生	9（ 8）	19（ 8）	34（10）
合　計	115（100）	237（100）	346（100）

(4)　エネルギー資源の賦存量

将来予測の期間が長くなるほど石油の比重が低下し，石炭，原子力が供給の主力となること，また原子力への期待が21世紀に入りさらに加速すると見られていることの背景には，それぞれの資源の賦存量と将来の生産継続ないし拡大可能性という問題がある。

世界エネルギー会議の調査によれば，世界のエネルギー資源量は第6表のとおりである。これによれば石炭は石油より1桁賦存量が多く，また原子力は今世紀中に実用化が期待される高速増殖炉によるプルトニウム再利用を前提として石炭なみの資源量なのである。

そのため石炭，原子力が石油の次の供給の主力として期待されているのであるが，さらに先の百年単位の超長期を眺めると，いかに豊富な資源といえどもその効率的な利用を図り，資源を温存していくことが重要である。そのため，需要サイドの省エネルギーとともに，供給サイドでのエネルギー変換効率の向上，高温領域から低温領域にわたる熱のカスケード的な利用の発展が期待されるのである。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

第6表　世界のエネルギー資源

	単　位	確認可採埋蔵量	推定追加埋蔵量	計
（総　括）				
石　炭	石炭換算億トン	6,900	101,000	107,900
炭化水素	〃	3,800	17,300	21,100
ウ ラ ン	〃	650	900	1,550
	（ウラン資源はFBRを前提にすると数十倍になる）			
合　計	〃	11,400	119,200	130,600
（石炭の内訳）				
石　炭	〃	4,900	63,000	67,900
亜炭・褐炭	〃	2,000	38,000	40,000
（炭化水素内訳）				
合　計	石油換算億トン	2,650	12,000	14,650
石　油	〃	890	2,120	3,010
天然ガス	兆m³	74	192	266
オイルシエール	石油換算億トン	460	2,930	3,390
オイルサンド	〃	400	760	1,160

（あとがき）

以上ガスタービンをめぐる電力供給上，エネルギー経済上の問題と将来の方向を述べてきたが，省エネルギーと代替エネルギー開発の促進とならんで，1次エネルギーから電力への変換効率などエネルギー供給サイドの効率向上は非常に大きな役割をもっている。

その有力候補である高温ガスタービンの技術の発展とその早期の実用化を期待したい。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

石炭ガス化発電とガスタービン

石川島播磨重工業株式会社　杉　谷　恒　雄
東京芝浦電気株式会社　片　寄　成　実

1. はじめに

第2次石油ショック後，石油価格の高騰により石油と石炭の価格が逆転し，石油の代替エネルギーとして石炭が見直されてきた。

一方，燃料の多様化ということで，LNG，太陽熱，地熱等のエネルギー源開発がなされているが，至近年代に実用化されること，およびエネルギーの大量供給の面から石炭の利用が注目されている。

発電用燃料としての石炭利用は，生焚，COM（石炭と石油の混合液体燃料），ガス化，液化，メタノール化等が考えられている。

このうち石炭ガス化発電は，高効率および環境対策が容易なことから最近特に注目されている。

本報告は，石炭ガス化発電の基本構成要素について紹介するとともに，石炭ガス化発電用に用いるガスタービンについて特徴および開発要素について述べる。

2. 石炭ガス化発電の位置付けと構成

ガスタービンが高温化され，タービン入口温度1000℃以上の機種が現在実用化されている。

これと蒸気タービンを組合せた排熱回収形複合発電設備は通常の蒸気タービン設備を上まわる熱効率となるが，燃料としては高温作動のガスタービンを損傷しない程度に清浄な品質を必要としている。

一方，前章で指摘した化石資源量からの制約から石油又は天然ガス系の清浄な燃料は発電あるいは動力用として充分な供給に不安があり，又その価格も極めて高価になりつつある事から，代替燃料として資源的に豊富な石炭の使用が発電用等大規模な用途に対し考慮されている。

石炭は多量の灰分，硫黄分等を含み，そのままではガスタービンの損傷がはげしく，使用はほとんど不可能である。一つの方法として加圧下で燃焼し，その燃焼ガスを脱じんの上タービン駆動に使用する「加圧流動床燃焼方式」の開発が行われているが，高温脱じんの技術的困難と，高温化が望めないという不利がある。

石炭を使ってガスタービンの使用に耐える清浄な燃料を得るには，ガス化，液化，メタノール化等の方法があり，いずれも十分に清浄な燃料を得られるが，後2者は燃料輸送上の便宜を最大限考えたもので，エネルギー転換効率はガス化による利用に比べ相当に低いものとなる。

一方石炭のガス化は，液化，メタノール化に比べプロセスが単純で，熱効率も高く，石炭使用のガスタービン燃料としては最も有効な手段と考えられている。

石炭のガス化プロセスには生成ガスにより大別すると表1に示す如き3種があり，ガスタービンへの適用上の特性も表記の通りである。

石炭のガス化でガスタービン用燃料として利用する場合最も有望として着目されているのは石炭の中低カロリーガス化で，ガス化プラントとガスタービン，スチームタービンの複合サイクル発電とを一体化して計画するもので，前述の他の方法に比べ次のような特徴が得られる。

a）ガス化の反応熱および精製装置で回収した熱量のほぼ全量を複合発電設備で利用できるため，熱効率の高いプラントにすることが可能。

b）ガスタービンの高温化による高効率複合発電設備の組合せにより，石炭生焚の通常蒸気タービン発電設備より高効率化が達成できる。

c）燃料ガス段階で脱硫・脱じんを行うため通常火力プラントの排ガス処理に比べて体積流量が小さく，また高濃度の所で処理できるため，低コストの環境対策が行える。

（昭和56年11月4日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表1　生成ガス別石炭ガス化プロセス

生成ガス	ガス化プロセス	主な用途，特徴	ガスタービンへの適用
高カロリーガス	酸素＋水蒸気によるガス化および水素化分解。 生成ガス中の一酸化炭素はメタン化する，ガスは極めて高度の精製を行う。	パイプラインガスとして天然ガス代替用。下記2者に比し熱効率は低い。	天然ガス同様に利用可能。ガス化プラントの効率が下記2者に比し低い分だけ総合効率上不利。
中カロリーガス化	酸素＋水蒸気によるガス化，熱分解，水素化の反応が加わる事あり。 メタン化工程を加えて高カロリーガスの製造も可能。	工業用燃料。 化学合成原料(メタノール合成等)。 中距離以下のパイプライン輸送も可能。 ガス化の熱効率が高い。	ガスタービンに於ける技術的問題はない。 酸素製造の分だけ高価である。ガス化以降の効率は高い。
低カロリーガス化	空気によるガス化。 熱分解を加えてなるべく高いカロリーのガスを得ることがある。	工業用燃料。 ガス化してその場で直ちに使用する用途に適する。	ガスの価格は最も安いガス生成量が多いため,その顕熱を有効利用する事により効率上さらに有利になる。

図1にこのようなプラントの代表的な構成例を示す。

以下ではこのようなプラントを中心とした石炭のガス化炉等構成要素について述べる。

3. 石炭のガス化

本章では前章図1中のガス化炉部分につき，その反応，ガス化炉の基本形式について記し，その上で現在具体的に提案，開発又は実用化されている主要なガス化プロセスについて記述する。

3−1　ガス化の主要反応およびガス化炉の基本構成　石炭のガス化は高温で石炭を酸素，水蒸気等と反応させて水素，一酸化炭素，メタン等を生成するもので，その主要反応は下記の通りである。

a. 乾　留

石炭→ $CH_4 + H_2 + C$

b. 炭素と酸素との反応

$C + O_2 \rightarrow CO_2$　　発熱

$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$　　発熱

$C + CO_2 \rightarrow 2CO$　　吸熱

c. 炭素と水蒸気との反応

$C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$　　吸熱

d. 炭素と水素との反応

$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$　　発熱

e. 生成ガスの改質

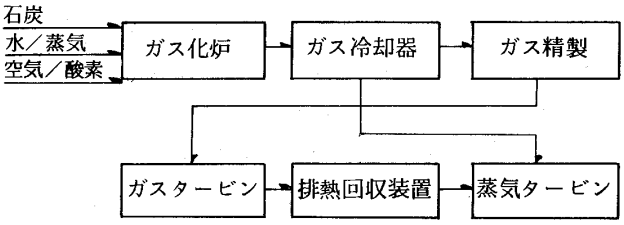


図1　石炭ガス化複合発電設備の構成

$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$　　発熱

$CO + 3H_2 \rightleftarrows CH_4 + H_2O$　　発熱

実際のガス化は前章表1に示す如く目的別にも各種のものがあり上記反応を熱収支等の影響から適当に組合わされたものとなっている。使用するガス化剤の種類(空気か純酸素か)，運転条件(温度，圧力)，石炭の供給および灰の取出し方法，石炭とガス化剤の接触形態(向流型，完全混合，多段式等)および炉内での石炭の保有形態によって様々なプロセスが提案されている。

石炭の保有形態については図2[1]に示す如く,固定床式，流動床式および噴流床式の3種がありさらに灰分の溶融浴中でガス化反応を行う型式も開発されている(溶融浴式)。

固定床式は約5㎜以上の塊炭を使用するもので,竪型円筒型の容器の上部から石炭を投入し炉内に

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

ほぼ一杯に充填された状態に保ちながらガス化する。灰分は下部から抜出し炉内では石炭はゆっくり下方へ移動しながらガス化される。一方，ガス化剤は底部から供給され炉内を上昇し，石炭と向流式に接触する。

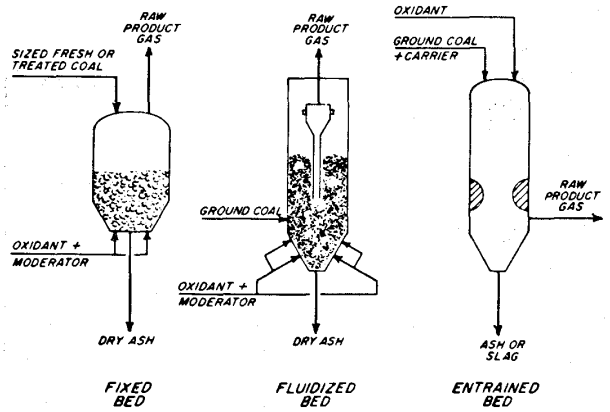


図2　石炭ガス化炉の型式

次の流動床式は0.1～3㎜粒径の石炭を使い，炉内を上昇するガス化剤により炉内で浮遊状態に保たれながらガス化される。石炭粒子は浮遊状態ではげしく移動するため全体がほぼ完全な混合状態となり，流動床内は均一な温度となる。このため，乾留又は水蒸気との反応を酸素との反応と同一温度で行うことが出来る。

さらに，炉内に保有される石炭量が多いため反応速度の比較的遅い水蒸気との反応等を充分に進行させる事が出来るため高い効率が得られる。反面粘結性を持った石炭，灰粒子が粘着性を持つような高温では運転が困難であり，又炉内が完全混合型である事から排出灰中に若干の未燃分が含まれる欠点がある。

噴流床式は0.1㎜以下程度に微粉砕した石炭を，ガス化剤と共に反応器中に吹込んでガス化するもので，石炭とガス化剤は併流型の接触となる。反応器中での石炭の保有量が少く，他型式に比べ反応に与える石炭の表面積が少いが，一方流動床式のごとく灰の粘着性を避ける必要がないため反応速度の速い高温度の条件で運転が可能で，これにより高いガス化率が達成される。

大部分の噴流床式ガス化炉は高温運転のため石炭中の灰分は溶融状態となり，液状でガス化炉から取出す方式が採られている。高温度で運転されるため，温度調節のための水蒸気量が少く経済的であるが，生成ガスの温度が高くガス中に占める顕熱の割合が多くなる。又生成ガス中にメタン等の炭化水素が少く生成ガスの発熱量は比較的低い値となる。生成ガスはタール分，有機硫黄等のいわば汚い成分のないきれいなガスとなる。

表2　石炭ガス化炉型式

型式	固定床	流動床	噴流床	溶融浴床
原料炭種	非粘	非粘～弱粘	任意	任意
石炭粒径	数～数10ミリ	0.数～数ミリ	0.1ミリ以下	特に制限なし
開発課題	粘結炭対策 タール対策 大容量化	粘結炭前処理 タール低減 未反応炭素低減	微粉砕技術 カロリーアップ 炉熱損対策	炉材料 溶融剤再生 金属塩蒸気対策

溶融浴式はガス化炉底部に溶融灰，アルカリ金属塩又は鉄等を溶融状態で保有し，その中に石炭を溶かし込み，ガス化剤を吸込んでガス化を行わせる型式で，高温運転である事から前記噴流床式と近似の特徴を持ったものになる。表2[(2)]。

3－2　各種ガス化プロセス　本項ではガスタービン用燃料ガス製造用として検討された主要なガス化プロセスについてその概要を紹介する。

a. ルルギ式加圧ガス化炉

20～30kg/cm²の加圧下に運転される固定床式のガス化炉で図3にその構成の一例を示す[(3)]。このガス化炉は全世界で既に数十基が稼動しており，完全に実用化された技術となっている。

石炭は塊状で供給され，ガス化炉上方のロックホッパーを通って加圧下に送入され，ガス化炉内上部の回転式分配機により固定床の上に均等に分散される。石炭は固定床を下るに従い，上昇するガスにより加熱されて先ず乾留され，次いで高温になり水蒸気，炭酸ガスと反応ガス化される。ガス化炉の下部では底部から送入されたガス化剤中の酸素と反応しその発熱により，それより上部での乾留および吸熱反応であるガス化に必要な熱を供給する。燃焼時に灰が溶融し固着するのを防ぐため炉底から吹込むガス化剤には比較的多量の水蒸気を混合して温度を抑える必要がある。燃焼反応によって石炭はほぼ完全に消費され，排出する灰中にはほとんど炭素は残らない。灰は炉底部の回転格子により炉の全断面から均一に抜出され，

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

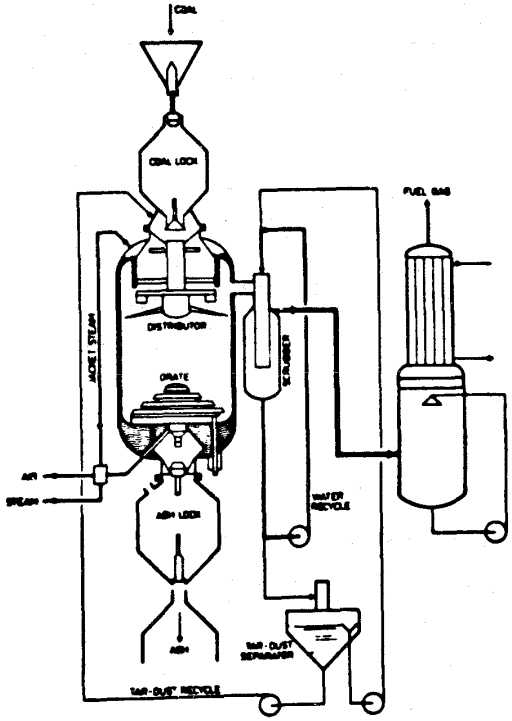


図3　ルルギ法石炭ガス化炉

炉の下方のロックホッパーに溜され，ここで減圧され取出される。

炉の生成ガスは乾留の生成物を含むので，水素，一酸化炭素の他相当量のタール，油分炭化水素ガス，フェノール，有機硫黄，アンモニア，硫化水素等を含む。又少量の石炭粉，灰，等を含んでいる。このガスは約450℃位でガス化炉を出て，通常は水洗浄により高沸点のタールおよび粉じんを除き，さらに廃熱ボイラ等により熱回収冷却した上で次の精製装置に送られる。

ガス化炉は鋼製の耐圧容器で，内張りは特に設けず，水ジャケットにより高温から保護し，ここから発生する水蒸気でガス化剤として使用する水蒸気の一部を供給する。

ガス化剤としては本来純酸素を使用し，生成ガスは化学合成用等に使用するものであるが，ガス化剤として空気を使用し，水洗浄の上ガスタービン燃料として使用した例が西独，STEAG社のルーネン発電所にあり，これが世界唯一の石炭ガス化〜ガスタービン，蒸気タービン複合サイクルの組合わせ実績となっている。

b.　BCG溶融灰ガス化炉

前記ルルギ式が燃焼部温度を低く保つため，多量の水蒸気を必要とするのに対し，燃焼部温度を灰の融点以上の高温とし，水蒸気の使用量を少くし，同時にガス化炉の効率を高めるため英国の，British Gas Corporationによって開発が進められているもので未だ商用装置は運転されていないが，150 T/D級の大型パイロットプラントの運転から技術的にはほぼ確実なものとなっている。

このガス化炉は純酸素使用時に水蒸気消費量がルルギ方式の約1/5で，生成ガスも水蒸気，炭酸ガスを多量に含まない発熱量の高いものが得られる。但し乾留部分は存在するので，タール等の含有に関しては前述のルルギ式と同様である。

c.　U−ガス法[4]

多くの流動層ガス化炉が開発されており古くはウインクラ法等の商用装置の稼動実績もあるが，ガス化発電用として考慮され，先に記した流動床方式の特性，特に欠点を大幅に改善する構想で開発が進んでいるU−ガス法について記述する事とする。

本法は米国シカゴにあるIGT(Institute of Gas Technology)が開発を進めているもので図4に示す構成を持っている。

石炭は容易に取扱えるまで乾燥し，20メッシュ程度に粉砕した後，ロックホッパーを通して高圧下に導入，気流輸送によって流動層内に供給する。流動層内で石炭は950〜1050℃で酸素と水蒸気によりガス化される。この流動層温度は石炭特にその灰の性状により融着しない温度に調節される。炉の運転圧力は3〜25kg/cm²の範囲でガスの使用先

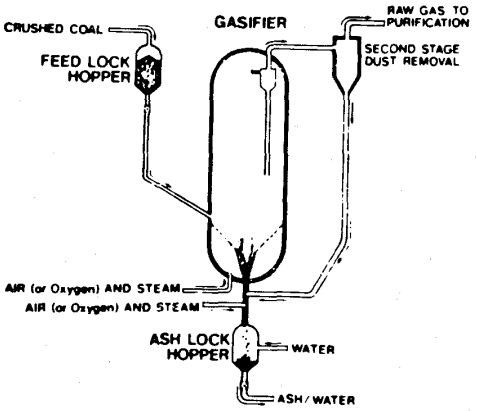


図4　U−ガス法石炭ガス化

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

によって好ましい値に選定できる。

生成ガスは水素，一酸化炭素を主成分とし，炭酸ガスおよび少量のメタンを含んだものとなりタール，油分等は高温度に保たれるガス化炉内に滞溜する間に大部分は分解され生成ガス中にはほとんど含まなくなっている。

流動層内でガス化された石炭の灰分は炉底部の特別な構造により，灰分のみが造粒され大径の球形粒子となって石炭から分離排出される。

流動層へのガス化剤供給は，空気又は酸素と水蒸気の混合物であるが，その一部は炉底の円錐形の目皿から吸込まれる。残りは高速で灰の造粒部分に吹込まれる。この部分は流動層の他の部分よりはるかに高温に保たれ，炭素分の少なくなった灰のみがここで相互に融着して大きく生成し，それによって沈下して下部の水槽に落下する。こうして灰は水スラリーとして下部のロックホッパーから排出される。この特別な機構によってこのU－ガス法では流動層中の石炭（炭素）濃度を高く保ちガス化反応を多く進めながら，取出灰中の残留炭素を極めて少くする事が可能になっている。又流動層式の一つの欠点である生成ガス中に同伴し損失となる微粉の石炭についても，この灰造粒部に，生成ガス中から回収した微粉分を吹込むことにより，ガス化可能になるよう工夫されている。又粘結炭についても流動層への石炭の供給システムの改善により充分処理可能となっている。

このように，このガス化炉は先に記した流動層式の欠点をほぼ解決したガス化炉となっているが，24 t/Dのパイロットプラントが1974年から試験に入り，現在迄約6年間の試験によりほぼその技術を確立しているが未だ商用規模での実績がなく実用化には今一歩の状態である。

d. テキサコ石炭ガス化[1]

高圧で運転される噴流床式のガス化炉の中で，最も典型的な型式でかつ開発も進んでおり，ほぼ実用の域に達しているものである。

このプロセスは世界で80基余りの実績を持ち安定した重質油のガス化技術とされているテキサコ合成ガスプロセスを石炭に転換したものです。

ガス化炉の構成は図5(5)に示す。ガス化炉は耐火物の内張りにより断熱された堅型の耐圧容器で水スラリーとした微粉炭と酸素又は空気と水蒸気

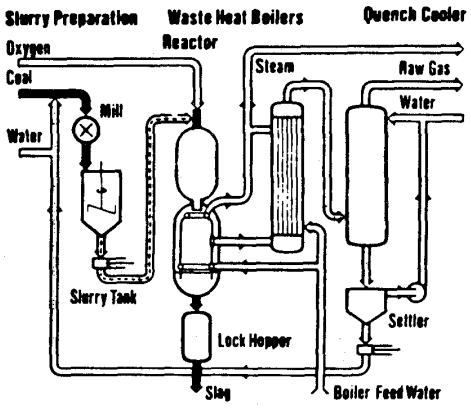


図5　テキサコ法石炭ガス化

等のガス化剤とを頂部から特殊のバーナを使って吹込み炉内で短時間に部分酸化ガス化を行う。炉内は石炭灰が完全に溶融状態となる高温に保たれる。生成ガス及び灰分は炉の下部から流出する。ここで水で洗浄急冷し灰分は，水スラリーとし，生成ガスは冷却されてガス化炉を出る。灰の取出しはこの方式の他に，炉の下部に熱回収ボイラを設けガスを間接的に冷却，熱回収し落下した灰分をさらにその下方に設けた水浴に投入取出す方法とがある。

スラリーとして排出された灰分中の炭素分(煤)は一部ガス化炉へリサイクルする事によりほぼ完全なガス化を行えるようになる。このような構成によりガス化炉は次のような特徴をもったものになっている。

i. ほとんど全ての石炭が使用可能である。
ii. 石炭はほぼ完全にガス化され，排出灰中の残留炭素は極めて少い。
iii. 生成ガスはタール分，等を全く含まず，精製等後処理が容易である。
iv. 石炭は水スラリーで送入するため最も安全にかつ正確に供給出来る。
v. 灰分は一度完全溶融状態となるため硝子のごとく緻密粗粒で排出後，水に対する溶出分がほとんどない。
vi. 85kg/cm²程度までの高圧化が可能である。

現在このガス化炉はテキサコ社のモンテベロ研究所に15T/Dのパイロットプラント2基があり，その他150 T/Dのものが西独で1978年から試験的に稼動しておりさらに米国内で同様規模で運転に入ろうとしているものがあり，開発段階をほぼ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

終了しているといえる。

図5は西独のルールコール，ルールケミで使用されているプラントの構成を示す。

このガス化プロセスについてはさらに大型実証プラントの計画も多く提案されている。

e. その他

石炭ガス化複合発電用として検討されたガス化プロセスはこの他，常圧で運転する2段噴流床式のCEの方式(Combustion Engineering Inc.)や，2段噴流床式のガス化炉(Foster Wheeler Corp. 提案)，溶融浴式の西独オットー社の方法等があり，それぞれ優れた特徴を持っているが，多数にわたるので，詳細説明は省略する。

一方日本においてもサンシャイン計画の一環として通商産業省，資源エネルギー庁からの委託で財団法人石炭技術研究所が開発を進めている2段流動床式のガス化炉がある。この炉は流動層を2段重ねる事により，生成ガスの発熱量を高くし，しかも，通常の流動層式におけるより排出灰中の残留炭素の低減を計っている。現在40 T/D規模のパイロットプラントが運転に入っており，順調な開発が期待されている[(2)(6)]。

4. ガス精製

前章で述べた各種石炭ガス化方法のいずれも生成ガス中には，微細な炭じん，灰分，灰分中の揮発性金属塩，硫化水素を主体とする硫黄化合物，アンモニア等窒素化合物，等を含み，又ガス化方法によってはタール等の油分，有機硫黄化合物をも含む。これらはガスタービン燃料としては好ましくなく，また環境対策を必要とする。

そこで，この生成ガスは許容される程度に精製する必要がある。

石炭ガス化複合発電の特長の一つは，その高熱効率の他，これら汚染物質の除去を，石炭をガス化した燃料ガスの段階で行うため，通常の排ガス処理に比べ，ガス量が燃焼ガスの数分の一であり，さらに高圧下で処理するため装置が小型になる事である。又硫黄化合物は処理の容易な硫化水素の形態である事等から安価で高度の除去が可能である等公害の面から好ましいクリーンなシステムとなる。

ガス精製は，脱じんおよび脱硫が主体となるが，石炭のガス化炉生成ガスの顕熱を出来るだけ多量にガスタービンに利用する高温乾式法と，主として水溶液又は直接溶媒を主体とする吸収剤を使用して脱硫を行う湿式法とがある。

表3　代表的な湿式脱硫プロセス

方法	プロセス名	主吸収剤	吸収条件 温度(°C)	吸収条件 圧力	線動基数
物理的吸収	Flour Solvent	プロピレンカーボネート	常温	高圧	10〜20
	Rectisol	メタノール	0〜−70	〃	20〜30
	Selexol	ポリエチレングリコールのジメチルエーテル	常温〜−10	〃	〜10
化学的吸収	ADIP	ジイソプロパノールアミン	常温	加圧	70〜80
	Benfield	炭酸カリ＋ジエタノールアミン	90〜120	〃	約400
	DGA	ジグリコールアミン	常温	〃	20〜30
	MEA	モノエタノールアミン	〃	〃	約100
酸化	Fumaks	炭酸ソーダ ピクリン酸（酸化剤）	常温	常圧	20〜30
	Stretford	炭酸ソーダ，アントラキノンスルフォン酸（酸化剤）	〃	〃	50〜60
	Takahax	炭酸ソーダ，ナフトキノンスルフォン酸ソーダ（酸化剤）	〃	〃	90

後者では先ずガスを冷却後水洗によりタール，油分および粉じんを完全に除去した上で脱硫を行う。この脱硫は化学工業等で多数の実績ある各種のプロセス(表3)[(2)]の内一つを使用するもので，プロセス自身は充分実績もあり，技術的に確立されたものであるが，ガス化発電システムにとっては，次の高温乾式法に比べ次のような不利がある。

- 操業温度が低いためガス化炉生成ガスの顕熱を十分ガスタービンに利用できず，又ガス中の水蒸気および一部プロセスを除き炭酸ガスをも除去してしまい，それらガスの膨張動力が回収出来ない。
- 吸収液の再生に必要な熱が比較的多く，又その温度レベルが低いため回収再利用が出来ない。
- 一部プロセスを除き硫化カルボニル等有機硫黄化合物の除去が出来ない。
- 有機溶媒の場合は C_3 以上の炭化水素がガス中に含まれる場合これを吸収溶解してしまうための希釈が起こる。

しかしながら湿式法による場合はその前段にガスの水洗工程が設けられるため，脱じんおよびアルカリ金属塩類の除去が完全に行われ，又ガス中に存在するアンモニアがほぼ完全に除去される等の特長がある。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

一方高温乾式精製法は石炭ガス化炉の生成ガスが持つ顕熱をなるべく多くガスタービンに利用するべく計画された方法で，カルシウム，鉄，銅，亜鉛等の金属の酸化物による脱硫工程とその操作温度に合わせた脱じん工程を組合わせたものとなる。

脱硫についてはカルシウム系の脱硫剤が900℃付近で操作され，ガス化炉生成ガスの持つ顕熱のほとんど全てをガスタービンに持込み高効率で発電し得るため熱効率上最も有利であるが，脱硫率が不十分である事，高温度であるため蒸気として存在するアルカリ金属塩の除去が困難と見なされている事および900℃付近の高温での脱じん技術に確実な見込みが立たない事等のため有望と見なされていない。

現在最も有望と考えられ，開発が進められているのは酸化鉄系の脱硫剤を使用する400～500℃で操作するプロセスで米国鉱山局で開発が始められた固定床切換式のプロセスと日本のサンシャイン計画で取上げられている流動床式のプロセスがある。前者は米国電力研究所(EPRI)で比較評価が行われ[7]，ある程度有効との結果を得ているが，固定床切換式のため，吸収剤再生時の発熱が断続的となり，有効利用に不利なため熱効率上の有利さが一部相殺されている。一方流動床式のプロセスではこの再生時の熱が連続的に発生するため蒸気発生等に充分有効に利用され，熱効率上も有利となる。

図6にサンシャイン計画で開発を目指している脱硫装置の構成を，以下にその主反応を示す[8]。

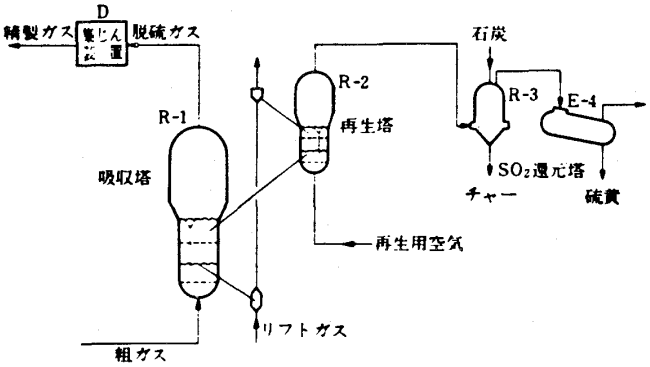


図6　石炭ガス化高温乾式脱硫システム

吸収　$Fe_2O_3 + 2H_2S + H_2 \rightleftarrows FeS + 3H_2O$

再生　$2FeS + \frac{7}{2}O_2 \rightleftarrows Fe_2O_3 + 2SO_2$

還元　$SO_2 + C \rightleftarrows CO_2 + \frac{1}{2}S_2$

この脱硫プロセスは流動層式の吸収塔で，400～500℃で運転される事からガスの脱じんはこの温度で脱硫ガスについて行う事になる。この温度域では，脱じんは比較的容易と考えられ，表4に示す各種型式が考えられるがサイクロンと粒子充填フィルタの組合わせが最も確実と見られている。

この高温乾式ガス精製では，ガス化炉生成ガス

表4　各種高温乾式脱じん装置

装置	脱じん機構	主要特性
サイクロン	慣性力(遠心力)	構造が単純堅ろうで高温高圧化が容易，運転が簡単。 1～3 μm以下の粒子に対しては捕集効率が低い。
電気集じん	静電気力，電気泳動	圧力，温度，粒子性状に対し原理的制約あり。 高温，高圧装置は未知の点が多い。
充填層沪過(移動床)	深層沪過(主として慣性力による衝突)	構造，運転は複雑であるが，本質的問題点は少い。 開発進行中。
沪布	表層沪過(閉塞沪過)	金属又はセラミック系繊維による沪布を用い，ある程度の高温化(～500℃位)が可能。 高圧下でちりの払落し機構は未開発。
焼結材沪過	表層沪過(閉塞沪過)	金属又はセラミック系材料により高温化が可能。 高圧下でちりの払落し機構は未開発。 目詰りの完全な再生が困難。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

の持つ顕熱の半分近くをガスタービンに利用出来る事，ガス中の炭酸ガス，水蒸気が除去されず，ガスタービンでの膨張動力として回収出来る事，硫化カルボニル等有機硫黄に対しても充分な吸収能力がある事，再生工程の発熱が高温度であるためその熱の有効利用が計れる事等多くの特長があり又アルカリ金属塩蒸気もこの温度水準では僅少と考えられる等最も有望なプロセスであり，その開発は大いに期待される所である。

5. ガスタービン

複合発電設備の構成要素であるガスタービン，排熱回収装置，蒸気タービンのうち，排熱回収装置および蒸気タービンは，単体では完成された技術であり問題点は少い。

開発要素は，ガスタービンおよびシステム全体の組合わせ技術と制御にあると考えられる。

そのうちガスタービンは，現在もなお性能向上のため研究開発が続けられている発展途上の機械であり，ガスタービンの性能向上によってガス化複合発電設備の性能を向上させることが可能である。また，ガスタービン燃焼器および静動翼は，システム全体の中でも高温，高圧，しかもタービンは高速回転機械であることから解決すべき点は多い。

以下石炭ガス化複合発電用ガスタービンの特徴と，問題点について述べてゆく。

5−1　石炭ガス化複合発電用ガスタービンの特徴　石炭ガス化複合発電設備用ガスタービンの1例を図7に示す。ガス化炉が空気酸化炉の場合，空気圧縮機吐出部に，ガス化炉へ高圧空気を送るための抽気口を設ける。ガス化炉が酸素酸化の場合は，抽気口は必要ない。

次に，石炭ガスが低発熱量であるため，燃焼器は特別な設計を行う必要がある(後述)。

また，石炭ガスが低発熱量で流量が多いことから，通常の高カロリー燃料焚きのガスタービンに比べタービンの体積流量が多く，タービンのガス通路面積を増やす必要がある。設計点におけるタービンの体積流量決定方法の一例を図8に示す[9]。

5−2　タービン入口温度と翼冷却　ガスタービンのタービン入口温度上昇は，石炭ガス化複合発電設備の熱効率を左右する一つの要素であり，現在もなお高温化の研究が進められている。

図9は，各国で行われている石炭ガス化複合発電設備の熱効率をタービン入口温度で整理したものであるが，タービン入口温度50℃の上昇によって2％熱効率が向上することを示している[10]。

タービン入口温度上昇は，翼冷却方法の改良および新材料開発の二つの方向から開発が進んでいる。新材料開発は，セラミック翼の開発および金属材料の表面にセラミックコーティングを行うことが考えられている[11]。セラミック翼は，衝撃に対する特性改善を中心に開発が進められている。セラミックコーティングにおいても，灰分等による侵食の対策が必要になろう。

翼冷却を強化する場合，空冷翼の冷却効率を高くして高温化を計る方法の他，水冷翼を採用することが考えられる。

空冷翼の冷却効率向上は，翼内面の対流冷却(インピンジメント冷却を含む)の強化，翼表面のフィルム冷却化，およびしみ出し冷却が考えられているが，フィルム冷却およびしみ出し冷却を考える場合は，灰分による冷却空気孔の目づまりを防止することを考えねばならない。

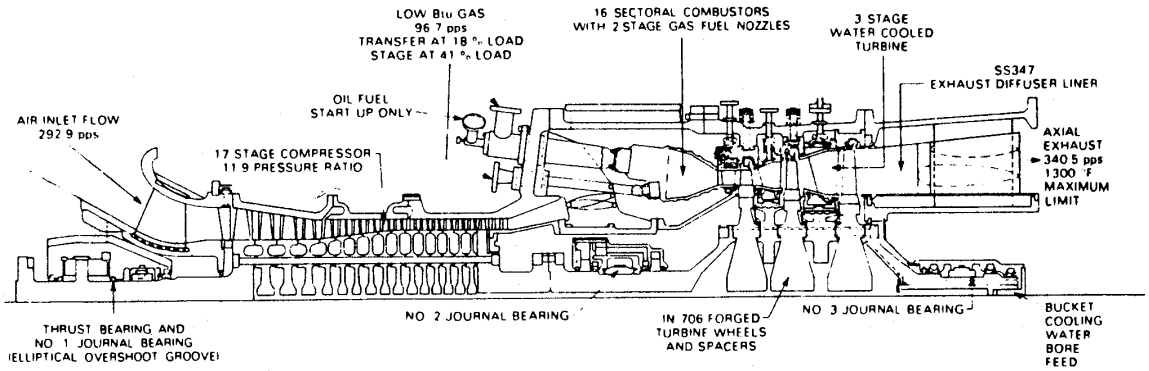


図7　石炭ガス化複合発電用ガスタービン

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

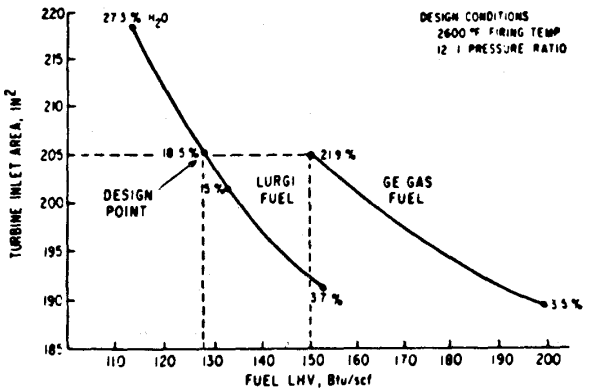


図8　ガスタービン入口環状面積

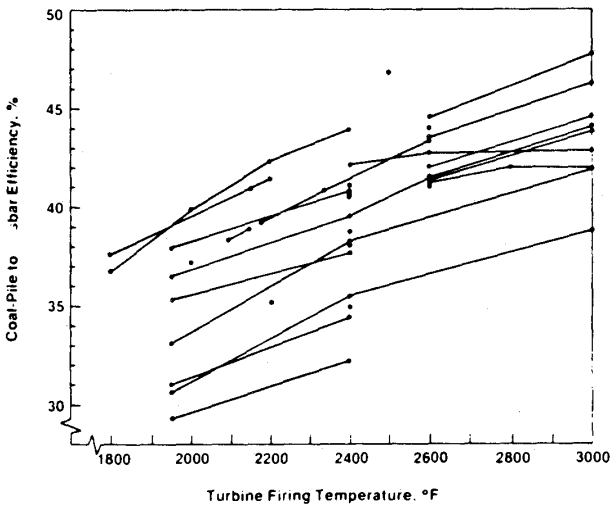


図9　タービン入口温度と熱効率

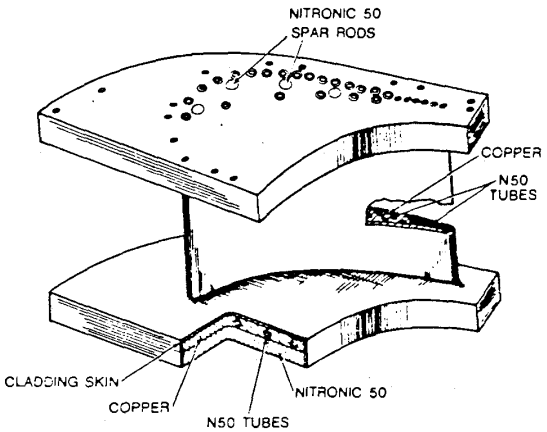


図10　水冷第1段静翼

対等としては，フィルム冷却孔を大きくすることおよび灰付着の少い位置にフィルム冷却孔を設ける必要がある。別の対策としてガス精製装置の能力を向上させる必要が生じる。

水冷翼を採用した場合，翼のメタル温度を538℃(1000°F)以下にすることが可能であり，硫酸腐食の問題から解放される。また高温でのクリープラプチャによる問題を解決できることから翼の寿命も長くすることができる[12]。

しかし水冷翼は，冷却による熱応力が大きくなり温度分布をできるだけ均一にする冷却方法が必要になる。図10にGE社がDOE(Depatment of Energy)のHTTT計画によって設計した銅合金を使用した第1段ノズルの構造を示す[13]。

水冷動翼は，静止部からロータへの水の供給，およびロータから動翼へ水を配分することに高度の技術を要す。

水冷翼でも灰付着は空冷翼と同様に発生するが付着灰が柔らかく，水洗により比較的簡単に洗浄することが可能である[14]。

水冷翼を使用したガスタービンは，より高温化できること，腐食から解放されること等から石炭ガス化複合発電設備用のガスタービンとしては適している面が多い。しかし翼のメタル温度を低くすることから冷却による放熱損失が多く，高温化による熱効率の上昇がそれほど大きくならない面もある。従って水冷翼を使用したガスタービンも将来は，より放熱損失の少い動静翼開発が必要になろう。

5−3　燃焼器　石炭ガス化複合発電設備用ガスタービンの燃焼器は，ガスの性状によって設計を変更する必要がある。

石炭ガス発熱量は，ガス化炉のガス化剤によって大きく異なり，空気酸化の場合800〜1300kcal/Nm³の低カロリーガスが発生する。酸素酸化の場合は2500〜3500kcal/Nm³の中カロリーガスが発生する。ガスタービン用燃料としては，石炭ガスのカロリーが低くなるほどまたガスタービンのタービン入口温度が高くなるほど，燃焼器の設計が難しくなる。

空気酸化による低カロリーガスの場合，断熱火炎温度が1600〜1700℃となり，タービン入口温度は断熱火炎温度から冷却によるマージンを引いた値となり，タービン入口温度が制限されることになる。

低カロリーガスは，可燃限界が狭いことおよび

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

燃料の体積流量が多く，(一次燃焼用空気と同等以上の体積の流量)燃料噴射弁まわりの設計が重要となる。

図11には，GE社がDOEのHTTT計画で開発中のセクトラルコンバスタを示す[15]。これは，タービン入口温度1427℃(2600°F)機の石炭ガス用燃焼器である。可燃範囲が狭いことから燃料噴射弁を2段(プライマリー1個，セカンダリー2個)に分けて使用する。一次空気と燃料ガスの混合を良くするため，燃料と空気のスワール方向を逆にしている。また，プライマリーノズルには起動用の液体燃料噴射弁を装備している。

燃焼器の問題点として乾式ガス精製装置と組合わせた場合のフューエルNO_x対策がある。これは，乾式ガス精製装置内で石炭ガス中のNH_3が吸収除去できないため，燃焼器内でNO_xに変換されるものである。

このフューエルNO_x対策としては，著者等の実験によれば二段燃焼法が効果を上げている。

5−4 石炭ガス中の灰分対策 石炭ガス中の灰分は，ガスタービン燃焼器および静・動翼にデポジットとして付着する他，静・動翼のように高速気流中では侵食の問題がある。従って，ガスタービンで許容される量までガス精製装置で灰分を除去する必要がある。

5−5 石炭ガス中の不純物およびガスタービン材料 石炭ガス中の不純物は，主としてNa，K，Ca等のアルカリ金属およびVバナジウムがあげられる。特にアルカリ金属は石炭中に比較的多く含まれている場合があり，また海上輸送中に海水の混入によって増える場合もあって注意を要す。

アルカリ金属類は，燃焼後，ガス中の硫黄分と結合し，Na_2SO_4等の硫酸塩を作る。この硫酸塩が前記の灰分中に溶解し，溶融した状態の灰分が翼表面に付着した場合，硫酸腐食を引きおこすものである。

Vは，V_2O_5の形で灰中に溶融し，溶融状態で翼表面に付着した場合，V_2O_5が酸素のキャリアーとなって翼表面を酸化させる。石炭ガス中の不純物は，前記灰分と同様ガス精製装置の形式と能力によって絶対量が決まり，許容量はガス精製装置側の開発とガスタービン側の材料開発の両面から決める必要がある。

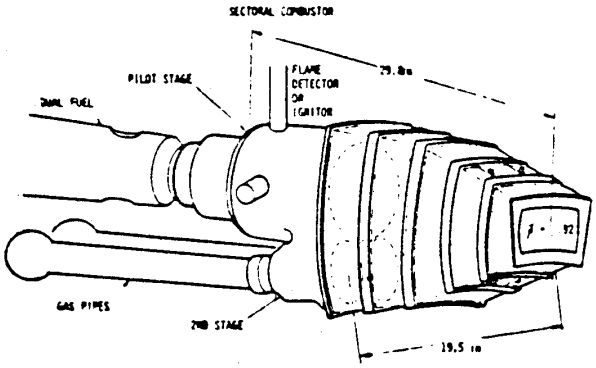


図11 セクトラル コンバスタ

また，石炭ガス中の不純物は，炭種，ガス化炉形式・ガス精製装置の形式によって条件が異って来ることが予想される。従ってできるだけ実プラントに近い条件で，材料試験を行い，対策を考える必要があろう。

6. 全体システムおよび経済性

以上で石炭ガス化複合発電システムの各構成要素について概要等説明した。

全体システムは，第3章，第4章で説明した各種ガス化炉およびガス精製装置とガスタービン，蒸気タービン複合発電設備と組合わせる。

この場合，性能・経済性・運転特性等を考慮して最適なシステム構成および，作動流体の条件を決定してゆく。

図12に，各種システムの一例を示す[16]。また，表5は，各種ガス化炉と組合わせた石炭ガス化発電設備と通常の蒸気タービン発電設備の経済性比較を行っているが，設備費，燃料費とも石炭ガス化複合発電設備が通常蒸気タービン発電設備と比べて安くなっている。これは，環境対策費が設備費を安くし，熱効率が高いことが燃料費を安くしている[16]。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

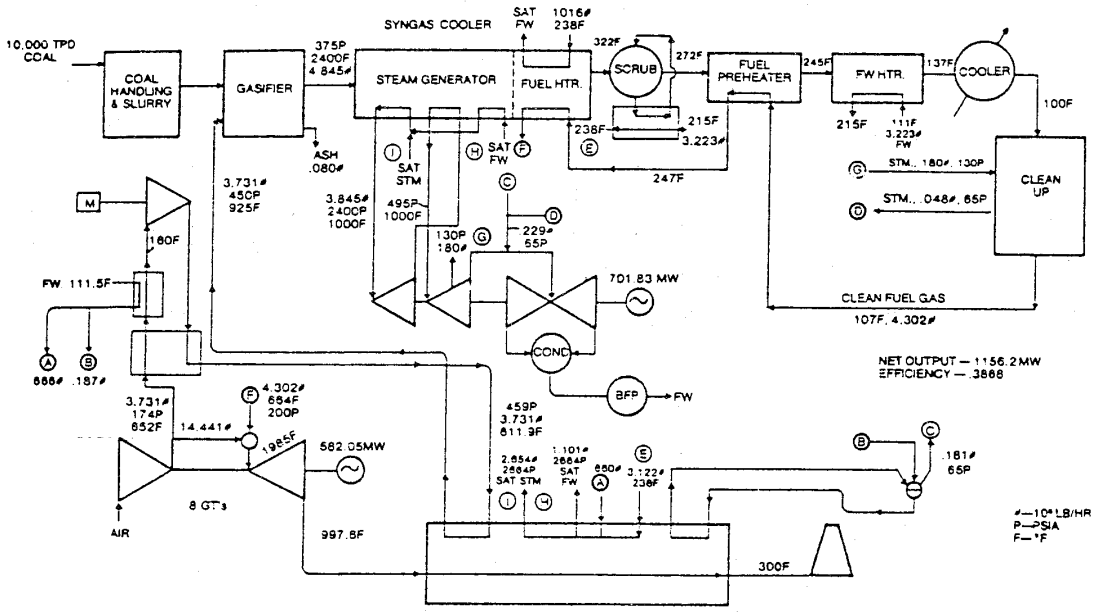


図12 全体システム構成

表5 経 済 性 計 算 例

LEVELIZED COST OF ELECTRICITY ESTIMATES (1979 mills/kWh)
(IGCC - 1985 °F Turbine)

	Texaco-Air	Texaco-O_2	Slagger	Conventional Steam with Scrubber
Fixed Costs	22.8	23.4	21.8	27.5
Coal Costs and O&M Costs (Levelized @ 1.88)	23.2	23.7	23.4	25.2
Total	46.0	47.1	45.2	52.7

7. おわりに

石炭ガス化発電の紹介といくつかの問題点を述べて来たが，ガス化炉，ガス精製装置，複合発電設備とも個々の技術を見れば，ほぼ完成の域に達している。

例えば，EPRIは，石炭ガス化複合発電設備に最も確実に使用可能なガス化炉として TEXACO 社の一段噴流床ガス化炉を選定し，米国各社のガスタービンと組合わせた複合発電システムを検討してきた。

その後，Cool Water Program として前述の TEXACO 石炭ガス化炉，アライドケミカル社の SELEXSOL脱硫装置，およびGE社の複合発電設備を組合わせた実用規模のパイロットプラントを建設する計画を進めている。

このプラントは，世界最初の実用実験プラントとして運開するため，熱効率よりも確実に運転できることに焦点を当てて計画されている[17]。

CWP計画から発展させた実用プラントとしてタービン入口温度1649℃(3000°F)の水冷ガスタービンを使用し送電端熱効率40.8%の試算結果もある(図13参照)[18]。

日本国内では，通産省のサンシャイン計画として石炭技術研究所，電源開発株式会社を中心に重電，重機械メーカーが協力して前述 CWP計画同様のプラント運開を目指して検討および実験が進められている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/03.

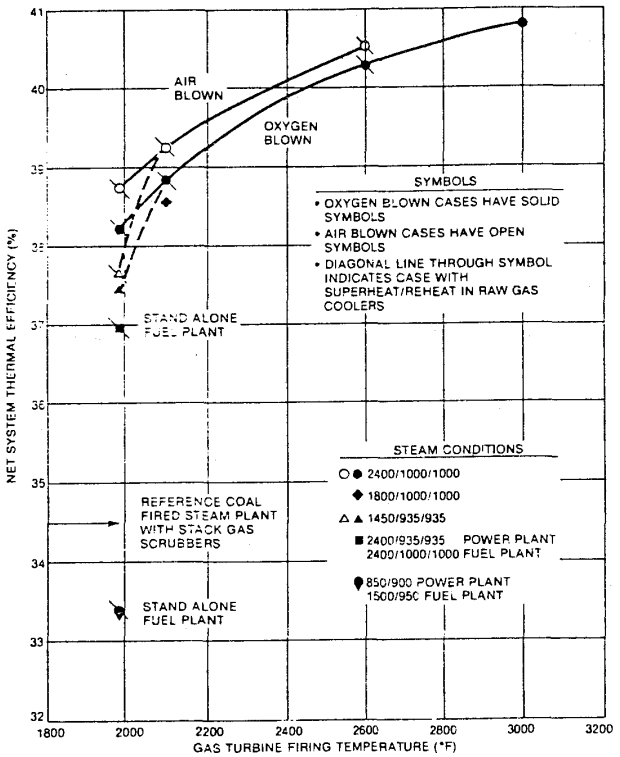


図13 タービン入口温度と送電端熱効率

日本は，資源小国であり石炭も大部分輸入に頼る必要がある事から，より熱効率の高い省資源形の石炭ガス化プラントを開発してゆく必要があると考える。

参 考 文 献

(1) Schlinger, W.G. Coal gasification Development and Commercialization of The Texaeo Coal Gasification Process 6th Annual Conference on Coal Gasification, Liquefaction, and Conversion to Electricity, Univercity of Pittsburgh, 31 July-2 August, 1979.

(2) 石栄煒，石炭利用技術研究発表会講演集,(昭54.8) 57.

(3) Rudolph, P.F.H. & Loeffler, J. Gasification and Genration of Electricity, Submitted to Symposium on gasification and Liquefaction of Coal, January, 1976.

(4) Patel, J.G. U-Gas Technology Status Symposium on Advances in coal Utilization Technology, Louisville,Kentucky, May 14-18, 1978.

(5) Schlinger, W.G., Falbe, J. & Specks, R. Coal Gasification for Hydrogen Manufacturing, ACS Symposium Series, №116, Hydrogen Production and Marketing.

(6) 石炭利用技術情報 石炭技術研究所 №6, 1981.4

(7) EPRI AF-416, Comparative Evaluation of High and Low Temperature Gas Cleaning for Coal Gasification-Combined cycle Power Systems. April 1977 Electric Power Resserch Institute.

(8) 石川島播磨技報21-4(昭56-7)274.

(9) A. Caruvana. etal. System Status of the Water-Cooled Gas Turbine Technology Program. ASME 79-GT-39

(10) J.W. Larson, Survey of Integrated Gasification Combined Cyele Power Plant Performance Estimate ASME 80-GT-113

(11) 霜島，竹田 ガスタービン部品用遮熱被覆とその開発状況 日本機械学会報83巻745号1981年 p.1176.

(12) A.Caruvana etal. Evaluation of a Water cooled Gas Turbine Combined cycle plant ASME 78-GT-77

(13) M.W.Horner etal. Test Verification of Water Cooled Gas Turbine Technology. ASME 81-GT-66.

(14) M.W.Horner etal. Near Term Application of Water Cooling. ASME 80-GT-159

(15) A.Caruvana etal. System Status of the Water Cooled Gas Turbine for the High Temperature Turbine Technology Program ASME 79-GT-39

(16) R.P.Shah etal. Performance and Cost Characteristics of Combined Cycles Integrated with Second Generation Systems. ASME 80-GT-106.

(17) EPRI AF-880 Preliminary Design Study for an Integrated Coal Gasification Combined Cycle Power Plant. August-1978.

(18) EPRI AP-1429, Texaco-Based Gasification Combined Cycle System Performance Studies June-1980.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

アルコール燃料のガスタービンへの適用

石川島播磨重工業㈱　佐　藤　幸　徳

1. まえがき

最近アルコール燃料（特にメタノール）が本格的石油代替燃料が開発されるまでの「エネルギーの谷間」を埋め，しかも永久に続く代替燃料として注目されている。その主な理由は，(1)他の代替燃料油の開発が以前の予想ほどは順調に進展しそうにもないと見られること，従って間に合う時期がずれてきそうだということ，これに対しメタノールは完全な実績に裏付けられた既存の製造プロセスで対応でき短期的に大規模導入が可能であること，(2)硫黄，窒素分を含まないクリーン燃料として環境規制の強化に対応し得る新たな電力用燃料や，石油に代る流体としての自動車用燃料が求められていることなどの事情によるものと考えられる。さらに(3) ＬＮＧ化するには経済ベースにのり難い小規模ガス田や沖合ガス田，あるいは組成的（メタノールにはCO_2を25％含むのが理想的）にＬＮＧ化に適さないガス田など未利用資源の有効利用，また膨大な埋蔵量を誇る石炭の液体化利用，(4)液体燃料として従来タンカーを使用できる，などという視点に立つものと見られる。

我国の代替燃料としてのアルコール燃料の導入・利用について，いくつかの展望，シナリオ，討論が見られるが，[(1)-(7)] 最近我国における燃料メタノール導入問題に対する動きは，54年５月の通産省資源エネルギー庁の天然ガスのメタノール化開発導入推進の発表，55年５月の石油代替エネルギー法の制定，同年７月のエネルギー庁の「メタノール・メタコール研究５カ年計画」の発表，そしてこれと前後した民間の各種団体の動き等と，54年半ば頃からあわただしさを増してきた感がある。特に「メタノール・メタコール研究５カ年計画」では既存火力燃料のメタノールへの燃料転換を図るため経済性，環境，安全性などの調査の他，ボイラ改造の可能性の調査とともにガスタービンの実機改造，燃焼試験が計画されており注目される。

54年８月に発表された政府の長期エネルギー需給暫定見通しによると，70年頃までに輸入石油は3.5億kl程度におさえてエネルギー需要の伸びは原子力，海外石炭，ＬＮＧ及び新燃料油，新エネルギー，その他でまかなうとしている。この計画では，52年には全エネルギーの約75％を石油に依存していたが70年までには約40％へと石油依存率を下げることにしている。アルコール燃料利用は石炭液化油，太陽エネルギーとともにこの計画の新燃料，新エネルギー，その他の項目に含まれ位置付けられている。

一方諸外国，特に米国では石油・天然ガスから石炭への転換政策が打ち出され，発電用の燃料に限っても，1978年に成立した国家エネルギー法の中で，新設石油・天然ガス火力の建設禁止，1990年以降既設火力の天然ガス使用の原則禁止をうたっている。このような状況を背景に燃料メタノールもクリーンな燃料として，また国内の豊富な石炭資源から製造可能な燃料として注目されており，ＤＯＥ（米国エネルギー省）が推進母体となり，精力的に可能性調査が行われてきた。

アルコールを使用したガスタービンの用途として電力用，輪送用が考えられる。電力用について我国ではＩＥＡ（国際エネルギー機構）が採択を呼びかけた「石油火力発電所の新設禁止宣言」に応じ，1985年以降新設の石油火力が認められないこと，また立地難による大型火力新設がむずかしくなりつつあり，従ってピーク処理ガスタービン発電用としてのアルコール燃料が，その輪送性と対環境性を生かして利用される事が期待されている。また輪送用としては自動車用へのガスタービン適用の可能性とあわせてアルコールが燃料の対象となることは想像にかたくない。

本稿ではアルコール燃料をガスタービンへ適用した場合の特徴，問題点などを米国の研究調査試験例を中心に紹介し参考に供したい。尚，アルコ

（昭和56年10月28日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

ール燃料といっても価格の点からメタノールが最有望と考えられるのでそれを中心に話を進め，エタノール等は比較のため一部示すにとどめる。

2. ガスタービン燃料としての特徴

現在メタノール（CH_3OH）は天然ガス，LPGあるいはナフサなどの原料から合成され化学工業の原料や溶剤として使用されている。メタノールは下の式に示すように合成ガスからつくられるので，合成ガス源となり得るものはすべてメタノール原料となり得る。

$$CO + 2H_2 \xrightarrow{\text{触媒}} CH_3OH + 21.63\,\text{kcal}$$

尚，天然ガスから製造する場合，CO_2は合成反応に寄与するので除去の必要はなく典型的な反応として

$$3CH_4 + 2H_2 + CO_2 \rightarrow 4CO + 8H_2 - 157.65\,\text{kcal}$$

で，次の工程は上式と同じになる。将来のメタノール製造の構図として図1に示す例[2]が考えられる。

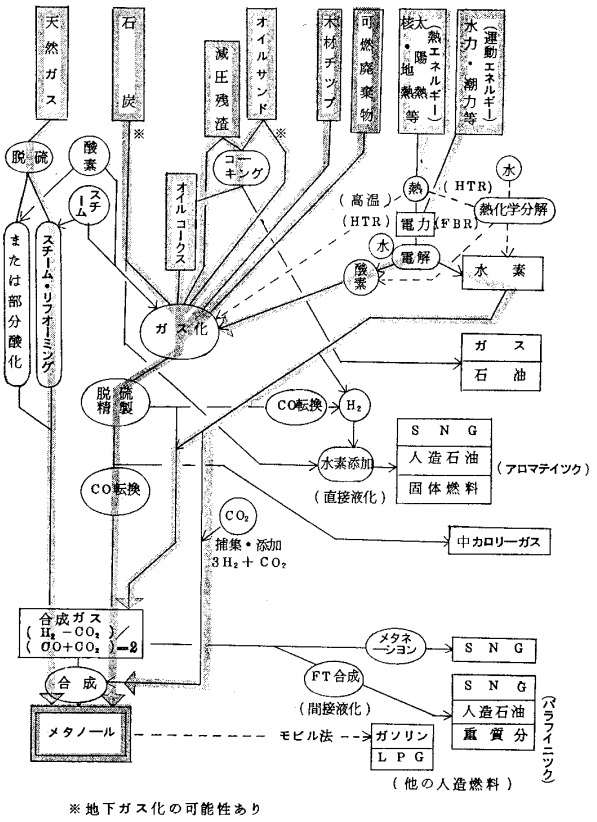


図1　将来のメタノール製造の構図
（注：原著者の意向により一部改訂）

2−1　メタノールの特性　メタノールは良く知られているように無色，刺激臭の可燃性液体であり，燃焼性も良く，ススも発生しにくく，NO_Xの排出量も少ないクリーンな燃料である。反面単位重量当りの発熱量が低いという欠点もある。表1にアルコールの性状を他のガスタービン燃料と比較して示す。表2に熱的性質を示す。表3にメタノールの性状と，ガスタービンへ適用した場合の特徴を示す。

2−2　使用形態　メタノール燃料の使用形態としては，(1)ニート，(2)改質，(3)水との混合，(4)エマルジョンあるいは混焼，(5)メタコール（Methanol Coal Mixture）が考えられる。ガスタービンの場合は(1)〜(3)の形態であろう。(4)の場合は在来燃料との併用で過渡期のものと考えられるが，狙いとしてはB，C重油のエマルジョン化によってA，B重油並の燃焼を期待するものであり，(5)は脱石油という点から安価なボイラ燃料として興味ある問題であるが，ガスタービンの場合，(4)，(5)は重油や石炭中の有害物質の除去，あるいはそれらによるタービン翼の腐食や灰分の堆積など，この方面の対策研究とともに今後の研究に期待するところが大きい。

3. アルコール燃焼の特徴

メタノールをガスタービンで燃焼させた場合，従来の燃料と比較して出力・熱効率の向上，NO_Xなどの有害排出物質の低減，耐久性の向上などの特徴がある。

3−1　出力・熱効率　M.F.Bardon[8]はメタノール，エタノール，ケロシンを使った場合について，要素効率として圧縮機0.85，燃焼器0.98，タービン0.90，熱交換器0.75として現状技術の値を使い，タービン入口温度1400及び1055°Kに対してサイクル効率と比出力を圧力比を関数として計算している。その結果比出力はケロシンの代りにアルコールを使うことによって改善されるが，最適圧力比とガス流量が異なるため，最上の性能を得るには炭化水素燃料用に設計されたエンジンを使用するよりもアルコール用に特別設計する必要があるとしている。非再生サイクル，1400°Kに対し，メタノールの場合ケロシンに比較して比出力は最適圧力比で35%熱効率は3%良くなっている。メタノールの場合最大比出力となる圧力

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表 1 アルコールの性状比較

		メタノール	エタノール	メタン	軽油（JIS2号）
分子式（分子量）		CH_3OH（32）	C_2H_5OH（46）	CH_4（16）	−
比重（15／4℃）		0.795	0.790	0.3（液）	0.838
沸点あるいは沸騰範囲	℃	65	78	−161.5	173〜358
蒸発潜熱	kcal／kg	265	216	122	55
低位発熱量	kcal／kg	4,700	6,400	11,950	10,240
高位発熱量	Kcal／kg	5,375	7,100	13,300	11,540
理論空気量	kg／kg	6.4	9.0	17.2	14.6
燃焼限界（vol）	%	6.7〜36	4.3〜19	5〜15	−
燃焼速度	cm／sec	50		37	−
粘度（30℃）	cSt	0.64		−	3.73
流動点	℃	−95		−	−16
引火点	℃	11	13	−	60
H／C 原子比		4.0	3.0	4.0	1.9

表2 アルコールとガスタービン蒸留油の熱的性質の比較[10]

	メタノール	エタノール	JP4	ケロシン	Jet A
引火点 ℃	11.1	12.8	−23〜−1.1	37.7	43.3〜65.5
燃焼限界（vol） %	6.7〜36	3.3〜19	1.3〜8.0	0.7〜5.0	0.67〜4.96
発火点 ℃	385	365	240	210	−

表3 メタノールのガスタービン燃料としての特徴

項目		長所	短所	備考
発熱量			分子量の半分が酸素原子であるため，発熱量は石油燃料の半分弱。	最大燃料流量を約2.2倍で設計する必要がある。
燃焼に係るもの	火炎温度	軽油より約100℃低い。		NOxは確実に減少し，約1／4減少した例がある。
	炭素分	炭素分少なくH／C比はメタンと同じ。		クリーン燃焼で高温部品耐久性向上。
	蒸発潜熱		軽油の約4倍。	燃料粒の蒸発時間が長くなりCO，THC増加の要因となるので微粒化が必要。
	着火温度		高く従って着火遅れが大きい。	
	燃焼限界	燃料過濃域で広い。		安定燃焼の方向。
	引火点	低い。		防爆化が必要。
	燃焼速度	速くメタン，ガソリンの約1.4倍。		安定燃焼の方向。
排ガス成分		N，S分含まないためfuel NO無く，SOxも発生しない。 H_2O 分が増加する。		対環境性が良い。 出力，熱効率向上。
粘度			ナフサ（0.45〜0.48cSt，30℃）よりやゝ高く，水と同程度，軽油よりかなり低い。	摺動部の検討を要する。遠心式ポンプの採用，潤滑剤の添加。
腐食性			Mg，Al，Zn，Cu 金属を腐食させる。ゴム・プラスチック材には膨潤，劣化するものがある。	材質の変更，耐電蝕強化。
親水性		分子構造が水（H•OH）に似ているので，水と自由混合できる。		メタノールに水を加えて引火温度を上げることができる[21] 注水希釈で消火可能。
親油性			重質油と混ぜた時，軽質分を洗い出し，残渣がトラブルとなる。	重質油系統をメタノールで使用する場合はナフサ等で洗浄する。
蒸気圧			高い	ポンプのキャビテーションが発生し易い。
毒性			労働衛生上の基準は200ppm（260mg／m³，25℃）（ベンゼン：25ppm，ナフサ・ヘキサン500ppm，エタノール1,000ppm），致死量は個人差によるが30−100mℓ。	毒物及び劇物取締法に準拠する必要がある。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

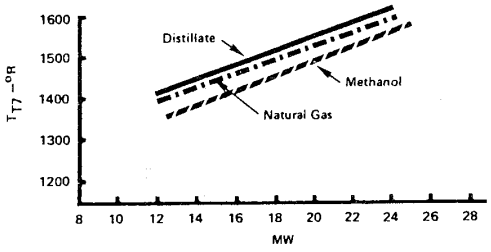
比はケロシンの場合より若干高く，最大熱効率となる圧力比は比出力最大の圧力比よりかなり高くメタノールに対して50，ケロシンに対して38である。これはタービンのガス流量が約5％増加してタービン仕事が増加したことによるもので，タービン仕事と圧縮機仕事の差があるのでわずかなタービン出力の増加が出力の増加になることと，タービン効率が圧縮機効率より良いためである。熱効率は比出力ほど大きくは向上しない。これはアルコールの蒸発潜熱が大きいことによる。非再生サイクルで熱効率改善の理由は，燃焼生成により排ガス組成中の水分が増加したため，特に比熱が変ったことでこれによりタービン出口温度が下ることによるものである。しかし再生式の場合は比出力は増加するが，このタービン出口温度低下のため効率は改善されない。表4に熱効率の計算結果を示す。

表4　熱　効　率

	Regenerated Cycles		Unregenerated Cycles	
	T_{max} = 1055 K	T_{max} = 1400 K	T_{max} = 1055 K	T_{max} = 1400 K
Methanol	.37 (6)*	.43 (12)*	.34 (17)*	.43 (50)*
Ethanol	.36 (5)*	.43 (10)*	.32 (16)*	.41 (45)*
Kerosine	.36 (5)*	.44 (8)*	.31 (15)*	.40 (38)*
Closed Cycle (External Heat Addition)	.38 (4)*	.46 (7)*	.32 (13.5)*	.41 (31)*

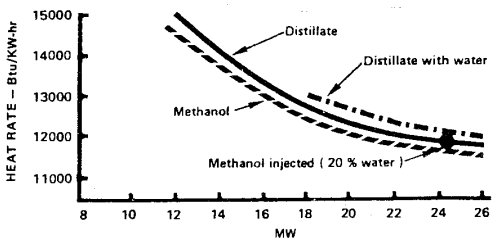
*Pressure ratio at which these maximum efficiencies are obtained.

既設ガスタービンでのメタノール試験の場合の例として4−1項で後述するFT4C[9]では出力10％（図2），熱効率1％（図3）の向上が見られGEのMS 7001[10]では出力6％，熱効率2％（表5）の向上があった。一方GMのGT−225（再生式）[10]では出力は8％向上するが，燃料消費率は1〜3％悪くなっていて，これはガスタービンがメタノール用に最適化されていないためとしている。



Corrected T_{T7} vs. Power Output

図2　出　　力（TPM　FT4C）



Corrected Heat Rate vs. Power Output

図3　熱　消　費　率（TPM　FT4C）

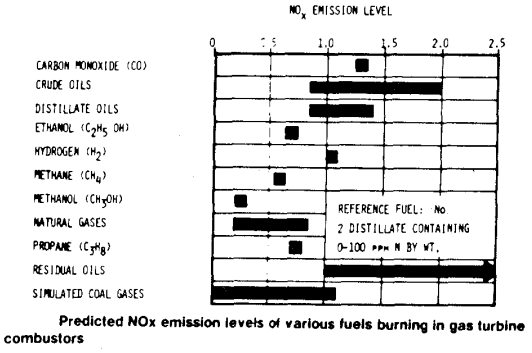
表5　性能及び排ガス特性（GE　MS 7001）

	MS-7001B-BASE LOAD, FIRING TEMP. 1850°				
	No. 2 DISTILLATE	75% No. 2 DISTILLATE, 25% CH_3OH	100% CH_3OH	80% CH_3OH, 20% H_2O	No. 2 DISTILLATE 1.5% H_2O (of airflow)
NO_x REDUCTION, %	BASE	5	60	75	75
CO INCREASE, %	BASE	0	300	600	--
POWER GAIN, %	BASE (60 MW)	+1	+6	+12	--
THERMAL EFFICIENCY INCREASE, %	BASE (31%)	0	+2	0	--

3−2　NO_x 排出特性　アルコールは燃料中にN分を含まないので燃焼時のNO_Xの発生はもっぱら thermal NO_Xである。Ford Motor の C.W.LaPointe 等は[11] 再生式ガスタービン燃焼器のNOレベルに影響を与える因子を考察するため，燃焼器内部のガス分析を行ってNOと温度を実測し計算値と比較をしている。NOのピーク値はメタノールの場合，№2ディーゼル油の20％程度であり，その理由として火炎温度（メタノールの方が200℉低い），滞留時間，N_2とO_2の濃度の差を挙げている。Santa Clara大学のH.G. Adelman 等[12]は燃焼器内をプラグ流とし，メタノールの酸化に対して28の素反応，ジェット燃料

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

に24，NO_Xに14の素反応を考慮して，NO_Xの生成量を予測しているが，当量比におけるNO_Xレベルはメタノールがジェット燃料の約20％としている。WHのW.S.Hung[13]も実用燃焼器を5つの領域に分け，燃料分布を考慮し，Zeldovich機構に基づいてNOが生成するとしてNO_Xを予測計算しているがメタノールはNo.2蒸留油の25％に過ぎない。この計算で得られた結果を図4に他の燃料と比較して示すがメタノール燃焼時のNO_Xレベルが最も低い。前述のFT4C[9]ではメタノール，Jet A，Jet A Wet（水噴射）の場合，天然ガス，天然ガスWet，メタノールの場合，メタノールに水を添加した場合（図5）について比較をしていて貴重なデータを提供してくれているが，メタノールのNO_XレベルはJet Aの約25％と低くなっている。



Predicted NOx emission levels of various fuels burning in gas turbine combustors

図4　各種燃料に対するNO_X値比較（WH）

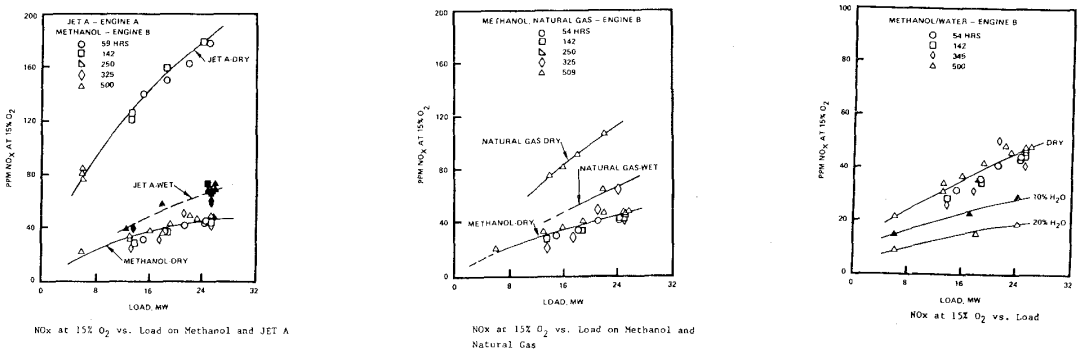


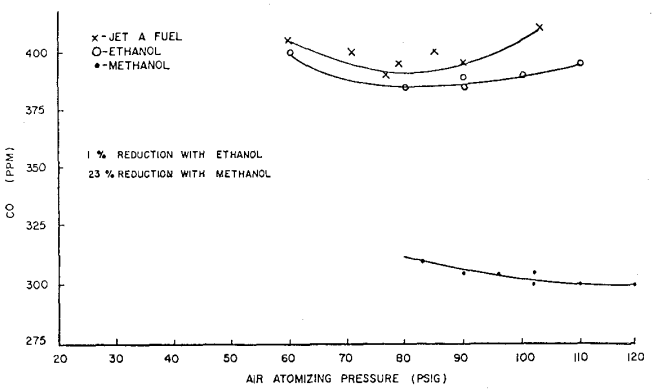
図5　NO_X（TPM　FT4C）

3－3　CO，THC，アルデヒド排出特性

CO排出の原因としては一般に燃料過濃領域が生成される，燃焼器壁近くであるいは空気噴流により冷却され反応が凍結することなどが考えられる。メタノールの場合は燃料流量が約2倍と増大するためCOが増大する可能性がある。FT4Cの場合はメタノールの方が多いが，天然ガスの場合より少ない（表6）[14]。一方Santa Clara大[10]の例では燃料噴射弁のエアアシストによりNO_Xをたいして増加させないでCOを減らしている（図6，7）。

表6　排ガス特性（TPM　FT4C）

	Methanol	Distillate Fuel		Natural Gas	
	No Water Injection	No Water Injection	0.55 Lbs. Water Per Lb. Fuel	No Water Injection	~0.35 Lbs. Water Per Lb. Fuel
CO @ 15% O_2, ppm	70	50	60	175	220
Hydrocarbons @ 15% O_2, ppm	10	5	5	216	280
Aldehydes @ 15% O_2, ppm	1.8	--	0.05	10.6	12.1
SO_2 @ 15% O_2, ppm	0	13	13	0	0



CO EMISSIONS VS. AIR ATOMIZING PRESSURE FOR METHANOL, ETHANOL AND JET A FUELS AT 75% ENGINE RATED LOAD

図6　エアアシストによるCOの減少
（Santa Clara大 Solar T－45M－13）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

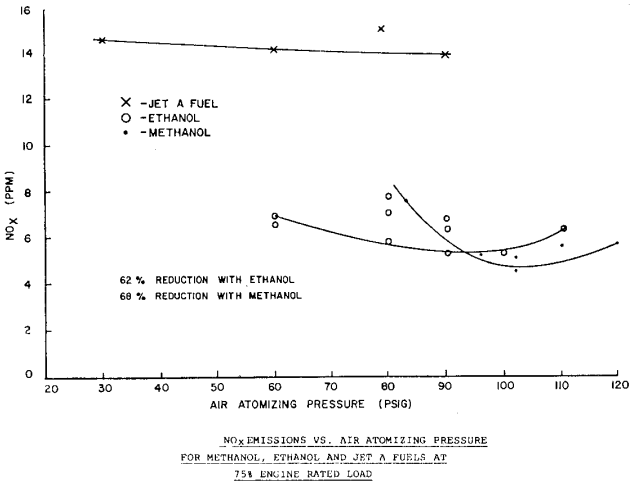


図7　エアアシストによるNO_Xへの影響
（Santa Clara大 Solar T－45M－13）

ＴＨＣ（全炭化水素）については増加する例とそうでない例がある。ＧＭ[10]ではHCは全条件下で非常に低いので測定はむずかしいが，メタノール運転ではケロシンより高いＨＣが予想され，これは燃焼器のフィルム冷却と１次空気の冷却によるもので，メタノールの場合にはケロシンの約２倍の燃料流量になるので冷却層内でのＨＣも増加するとしている。ＦＴ４Ｃの場合ＨＣはJet Aよりわずかに多いが天然ガスに比較してかなり少ない（表６）。またエアアシストによりＨＣをかなり減少させることができる（図８）。

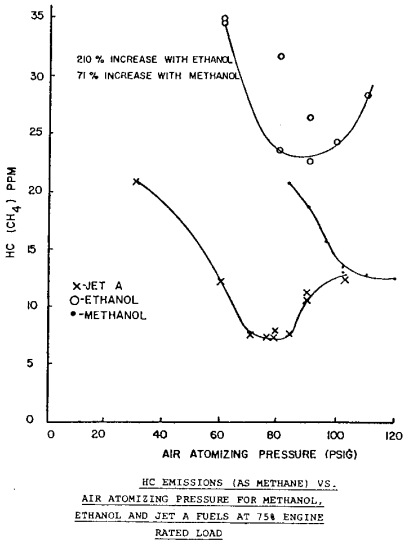


図８　エアアシストによるＨＣの減少
（Santa Clara大Solar T －45M－13）

アルデヒドの発生はメタノールの反応過程からして十分予想され，またＨＣ同様冷却層内での可燃ガス量が多いのでアルデヒドも多くなると考えられる。表６の実測例ではJet Aよりわずかに多いが天然ガスの場合に比較してはるかに少ない。

３－４　耐久性　メタノールは炭素分が少なくＨ／Ｃ比はメタンと同じで燃焼時の炭素粒子が生成されにくく火炎からの輻射が少ない。従ってボイラの場合と違い，ガスタービンのように高温ガスのみ必要で輻射熱を利用しない場合は燃焼器壁の温度低下が期待できること，カーボンの堆積を防げるので寿命向上につながる。Ｖ，N_aなどの金属分やＳ分がないのでタービン翼の高温腐食が少ない。ＦＴ４Ｃの試験では高温部点検を行い，523時間運転後で燃料噴射弁やタービンへのススの堆積は少なく，よりクリーンで高温部寿命は蒸留油より良く天然ガスと同等であろうとしている。エンジンによって差はあるが軽油時の約２倍の高温部寿命が期待されるものと思われる。

4.　アルコール燃料での試験実績

米国での場合石油消費量の63％が輸送用と発電用であり当初は自動車用にアルコールを使う研究であったが，最近ではメタノールを定置式ガスタービン発電燃料として使用することを考えている。これまで米国内ではアルコールを使用した実機プラントでの経験は1980年１月に523時間運転を終了したＳＥＣでの航空転用型ＦＴ４Ｃ－１の発電プラントの例があり，これは恐らくメタノール燃焼ガスタービン試験のこれまでの中で出力的にも運転時間の長さから言っても最も規模の大きいものと思われる。他にＧＥとＷＨの産業用ガスタービンでの燃焼器単体試験，Garret のより出力の小さい産業用ガスタービンでの要素試験，自動車用ガスタービン（ＧＭ，フォード，クライスラ）などの報告がある。ブラジルではエタノール使用ガスタービンがＣＴＡ（航空宇宙技術センター）の手で試験使用されている。国内ではイソパノール使用小型ガスタービンの試験，10ＭＷ級の当社のガスタービン燃焼器単体試験例などがある。これらの実績例と結果概要を表７に示す。以下代表例を紹介する[9,10,17]。

４－１　Southern California Edison Co.（SCE）　ＴＰＭのＦＴ４Ｃ－１ガス

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表7　ガスタービンエンジン／燃焼器／燃焼系統試験

	型	実施元	試験内容	試験結果
外国[16]	実機，電力用 26MW，FT4C－1 （メタノール）	Southern Calif Edison Company	○排ガス特性 ○耐久性 ○運転性	1980年1月500時間運転終了。
	実機，電力用 26MW，FT4C－1 （メタノール）	Florida Power Corporation	○排ガス特性 ○運転性	○NOx 74%減，CO 100%増（№2蒸留油との比較）。 ○H_2O 噴射のため燃料マニホールド，噴射弁を大容量化し良好な運転結果を得る。 ○ガス発生機出口温度低下（№2蒸留油との比較）。 ○燃料ポンプ，燃料弁の大容量化。
	燃焼器単体試験 （GEMS7001S，65MW） （メタノール*）	General Electric Company	○排ガス特性 ○運転性	○NOx 60%減，CO 300%増（№2蒸留油との比較）。 ○出力で6%増，熱効率2%増が予想される。 ○数種類の燃料系要素の再設計必要。
	実機，60HP Solar T－45M－13 （メタノール及びエタノール）	University of Santa Clara California	○排ガス特性 ○運転性	○最良のシンプレックス燃料噴射弁を使用してメタノールでNOx 4%減，CO 13%減（Jet A との比較）。 ○最良のエア・アシスト噴射弁を使用してメタノールでNOx 68%減，CO 23%減（Jet A との比較）。 ○メタノールで同一の出力を得るのに排気ガス温度40°F 低（Jet A との比較）。 ○最良のエア・アシスト噴射弁を使用してエタノールでNOx 62%減，CO 1%減（Jet Aとの比較）。
	IE－831－800 産業用ガスタービン 100時間燃料系統試験及び燃焼系統試験 （エタノール／水混合）	The Garrett Corporation	○燃料系統の耐久性 ○燃焼系統の運転性 ○排ガス特性	○燃料ポンプの改造／潤滑性の向上，燃料弁のアノダイズが必要。 ○燃焼系統（燃料噴射弁と燃焼器）のリグ試験は満足に終了，良好な着火性，メタル温度1350°F以上の部分なし。 ○NOx 76%減（液体燃料との比較）。
	実機，電力用，試験，2台のGarretガスタービン （エタノール）	Brazilian Government	不明	不明
	燃焼器単体 W－21 1800HP エンジン （エタノール）	Westing house Electric Company	○排ガス特性 ○運転性	○NOx 30%減，CO僅少，HCかなり減（№2蒸留油との比較）。 ○コーキング及び壁温超過認められず。 ○運転上の問題なし。
	実機，自動車用 GT－225 実験用エンジン （メタエール**）	General Motors Corporation	○排ガス特性 ○運転性	○エアアシスト燃料噴射弁の通路拡大，歯車式燃料ポンプを斜板式ピストンポンプに交換，燃料弁ダイヤフラム材質変更。 ○エアアシスト圧力が排ガス特性にかなり効く。 ○過渡時の運転では，NOx 73%減，CO 30%減，HC 60%増（メタノール使用時ケロシンと比較して）。 ○過渡時の運転では，燃費に差は認められない。
	燃焼器単体，自動車用 （メタノール）	Ford Motor Company	○排ガス特性	○NO 生成は燃料噴射弁の近くで行われる。排ガス特性の差は噴霧の燃焼過程及び関連する成分濃度の差による。 ○NOx 70%減，CO 240%増（№2蒸留油との比較）。
	実機，自動車用 （エタノール及びメタノール）	Chrysler Corporation	○排ガス特性	○アイドル条件でメタノール及びエタノール使用時CO 6.6 及び 1.06 倍，NOx 0.17 及び 0.37 倍，加速時はNOx 0.34 倍（№1ディーゼルとの比較）。
	実機及び燃焼器単体，自動車用 （メタノール）	Volkswagenwerk AG	○排ガス特性	○燃焼器単体試験ではHC及びCO はケロシン及び№2ディーゼルと同じ，NOx は4～5倍減。 ○エンジン試験では燃料調整器断面を大きくし，燃料噴射圧をあげても動力損失は無かった。
国内	実機，実験用[15] IHI IGF60 45PS ガスタービン （イソプロパノール）	大阪府立大学	○排ガス特性	○NOxはアイドル時29%減，75%回転で47%減。 ○アクロレインはアイドル時半分に減少。 ○CO，THC は大差なし。 ○低級炭化水素成分はエチレンを除いてほとんどなし。 （灯油と比較して）
	燃焼器単体試験[22] （MIA ガスタービン）	川崎重工業	○排ガス特性	○NOxは1／3程度に減少。 ○CO は2倍以上に増加。 ○着火性，燃焼器出口温度分布は良い。 ○燃焼器壁温も低い。 （灯油と比較して）
	燃焼器単体試験[23]，実験用 （メタノール，メタノール／重油混合）	群馬大学	○排ガス特性 ○燃焼性能 ○燃焼騒音	○火炎温度はメタノールの方が灯油より100～130℃低い。
	燃焼器単体試験，10MW級 （メタノール）	IHI	○排ガス特性 ○燃焼性能	○アイドルでCO僅少，THC増。 ○吹消え性能は劣る（希薄側）。 ○温度分布は良い。 （軽油と比較して）

* 試験は25%メタノール／75%№2，80%メタノール／20%H_2O及び№2に水噴射しても行っている。

** 試験はイソプロパノール，40%メタノール／60%ガソリン，40%イソプロパノール／60%ディーゼル，40%変性エタノール／60%ガソリン，150°ラムに対しても行っている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

タービンを使用しメタノールで総運転時間 523 時の評価試験を行ったものである。この試験にはＳＣＥの他 Electric Power Reseach Institute が参画している。5時間/日×5日/1週間でピーク負荷用であった。当初は 1979 年2月終了の予定であったが従来燃料 Jet A用防爆はメタノール用ではないのでその改造のために遅れた。装置は Twin Pacのガスタービン発電装置で，A，B２台のＦＴ４Ｃを串刺し状にして１台の発電機を駆動する。Aエンジンの方は従来の天然ガス，Jet Aの混焼方式で，Bエンジンの方で天然ガス，Jet A，メタノールを使用して試験した。両エンジンとも水噴射できるようにしてある。出力はエンジン１台あたり26MWである。燃料系統を図9に示す。ＴＰＭでは 1974 年に Florida Power Corporation で同型機で試験を行い，燃料系の流量制限から出力は 2/3しか出せなかったが，安定な運転，クリーン燃焼，低NO_X ということを確認しており（運転時間12時間），これを受けて本機でさらに商業用発電プラントでの長時間運転をしたものである。

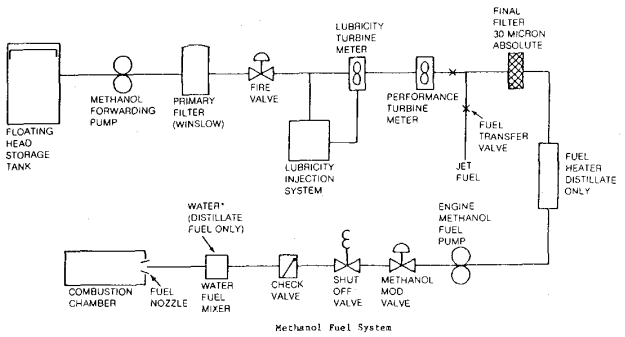


図9　メタノール燃料供給系統（ＴＰＭ ＦＴ4Ｃ）

(1)　目的 ── 商業用ガスタービンパワープラントでのメタノールの取扱いと貯蔵性の評価，排ガス特性と性能を起動時も含めて，蒸留油，天然ガス，メタノールで比較し，さらに水噴射の効果を見る，蒸留油とメタノール使用時のメンテナンスコスト比較，メタノールのコロージョンと潤滑性を見ることである。

(2)　使用メタノール ── 天然ガスから製造したケミカル・グレードのもの。

(3)　改造及び検討点 ── ①メタノールの流量増加のためと蒸留油と天然ガス運転を維持するため液体燃料部改造，②流量増加，加減速と負荷追従性のため制御系統のゲイン変更，③燃料系統－ポンプ容積，最大圧力，潤滑性，材質の検討，④特別開発した高流量，低潤滑性用の制御弁，⑤燃料系統のシール材は全部ブナＮに変更，⑥最終燃料フィルタの倍増，⑦ 500バレルメタノール貯蔵タンク（フローティングルーフ式）新設，⑧メタノール受入設備（メタノールトラック受入設備，120ＧＰＭ燃料移送ポンプ，フィルタ，配管）新設，⑨潤滑剤添加系統（メタノール運転時の燃料系過剰摩耗防止）新設。なお燃料噴射弁はNO_X 制御のため予め水噴射用に改造してあったため変更はしていない。

(4)　試験結果 ── ①取扱いと貯蔵性－重大な問題はなかったがフローティングルーフ式タンクのシール設計不適当のためメタノールが予期以上に蒸発した。試験前に特別な火災予防システム取付け。この中にはトラックアンローディングエリアの消火設備，Bエンジンエンクロージャ内のメタノール蒸気検知器が含まれる。②排ガス特性－3.2，3.3項参照。③性能－3.1項参照。なお Jet A Wetと比較して熱効率は約３％増加（図３）。運転については起動，加速，また天然ガスや蒸留油への切換えも他の燃料との差はなかった。④メンテナンスコスト－高温部点検を 100，300，523 時間で行った。目視及び金属学的検査を行い，N_a の堆積具合を比較した。この結果メタノール燃焼は 500時間の運転だけではっきりした結論を出せないとしながらも蒸留油より良く天然ガスなみとしている。⑤材料の適合性と潤滑性－試験に先立ち全燃料系統の材質を見直した。ブナＮのＯリングを使用したが，他の要素の交換の必要はなかった。エンジン燃料ポンプははじめの40時間は別の予備ポンプが準備できるまで25ppm（重量）のMobilead Ｆ－800 添加剤を使用し検査したが摩耗はみられなかった。次の70時間は添加剤なしで同一ポンプで試験し検査のため取外した。残りの 413時間を予備ポンプで添加剤なしで運転した。ポンプと制御弁に摩耗の兆候はなかった。

４－２　General Electric Company

1974年初めＭＳ 7001 の定置式ガスタービン（出力65ＭＷ）の量産型燃焼器を使用してメタノ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

ール使用の可能性についてデモンストレーションした。燃焼器，燃料ハンドリングシステムは改造していない。結果を表5に示す。メタノールは良好な燃焼特性を示し，温度分布が均一で低NO_Xであり，出力・熱効率は上昇する。燃料ポンプとフローデバイダなどは再設計の必要があるとしている。

4－3 Garret Corporation 1976年にIE 831－800（出力800HP）産業用ガスタービンの燃料系統の100時間耐久試験を，ブラジルでのアルコール燃料使用ガスタービンの支援として行った。エタノール（84.6％）/水（15.4％）混合で試験した。燃料ポンプは34，54時間後に潤滑不足のため故障したので，ギアシャフトの硬度を$R_c=60$とあげ，またカーボン軸受の潤滑用溝を追加した。燃料弁はスチール製ワッシャとアルミ製バイパス弁との間での電解腐食によるコロージョンが発生したためアルミ製弁をアノダイズ処理した。燃料遮断弁のシール材は膨潤したためエタノールに適合した材質に変更した。この改造後燃料系統は100時間試験で問題はなかった。燃焼器の改造はないが燃焼はうまくいき着火も混合燃料で1秒以内で火炎の安定性も受入れられるもので1350℉以上のメタル温度指示はなく，辛い温度勾配もなく耐久性は優れている，としている。

4－4 General Motors Corporation

GT－225 2軸・再生式実験車用ガスタービンにメタノールを使用した試験報告が1975年になされた。エアアシスト燃料噴射弁の燃料通路を拡大し，燃料ポンプを歯車式から斜板往復式へと改造，燃料ダイヤフラム材を変更して試験した。NO_Xはケロシンより65～70％低い。過渡運転状態では1975年のEPA試験法でメタノールはケロシンよりNO_X73％減，CO30％減，HC60％増であった。結論としてメタノールは自動車用としても適当な燃料であることとしている。欠点として燃料容量が大きくなること，材質の問題を挙げている。

5. 熱効率の改善

前述のようにメタノールを既設ガスタービンに適用した場合でも従来燃料の場合より熱効率は向上する。しかしガスタービンの高温排ガスの利用とメタノールの特性を生かしてさらに熱効率を改善する方法が考えられる。

5－1 排ガス利用によるメタノールの改質等

メタノールをガスタービンへ供給する場合，これまでの実績例のように直接液体で送る他に，気化，改質（リフォーム）した状態等で送ることが考えられる。この場合ガスタービンの排気は400～600℃の温度範囲であるためこの排熱を利用する。

(1) Cracked Methanol（分解メタノール）

液体メタノールを230～290℃で，触媒下で直接分解しガス化する。

$$\underset{(l)}{CH_3OH} \rightarrow \underset{(g)}{2H_2} + \underset{(g)}{CO}$$

これは吸熱反応でこのエネルギーは液体メタノールの低位発熱量の20％に相当する。単純サイクル，タービン入口温度2150℉，排気温度979℉のガスタービンで試算した例では出力は液体メタノールに比較して2％下るが効率は10％（相対比）向上する。[18]

(2) Reformed Methanol（改質メタノール）

液体メタノールに水を添加し触媒下でガス化する。

$$\underset{(l)}{CH_3OH} + \underset{(l)}{H_2O} \rightarrow \underset{(g)}{3H_2} + \underset{(g)}{CO_2}$$

(1)と同じ条件での試算では出力10％，効率23％（相対比）向上する（表8）。[18－19]

尚，気化して送る場合だけでも5％の気化熱が稼げ，複合サイクルでは100℃以下の廃熱を利用できる。

5－2 複合サイクル メタノールの利点はS分が無いことであり，従ってスチームタービンとの複合サイクルでは，煙突のガス温度はH_2SO_4の露結温度により制限を受けないで低くとることができる。さらに5－1で述べたメタノールの改質と組合わせると出力，熱効率を大巾に向上させることができる（表8）。同様の例を表9，10，系統を図10[20]に示す。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表8 改質メタノール，複合サイクルでの出力，性能比較（WH）

Table I: Liquid-fueled combined-cycle performance*

	Distillate No. 2 fuel	Methanol fuel
Present combustion-turbine technology		
Plant output, kW:		
Combustion turbine	95,700	105,400
Steam turbine	49,200	51,500
Less auxiliaries	1,600	1,600
Net plant power, kW	143,300	155,300
Net plant heat rate (HHV), Btu/kWh	7,515	7,877
Future combustion-turbine technology		
Plant output, kW:		
Combustion turbine		114,900
Steam turbine		62,100
Less auxiliaries		1,700
Net plant power, kW		175,300
Net plant heat rate (HHV), Btu/kWh		7,755

*Constant steam conditions: 1,800 psi, 925/925°F, 2.5 in. Hg

Table II: Comparative performance of combustion-turbine power cycles

Type of plant	Fuel	Output, kW	Heat rate (HHV*) Btu/kWh
Simple cycle	Distillate	95,670	11,256
Simple cycle	Liquid methanol	107,750	11,516
Simple cycle with fuel-heat recovery	Vaporized methanol at 920°F	105,760	10,962
Simple cycle with catalytic reforming	Hot $H_2 + CO_2 + H_2O$ at 920°F	118,120	8,852
Combined cycle with catalytic reforming	Hot $H_2 + CO_2 + H_2O$ at 920°F	236,240	7,298

*HHV = High-heat value

（注）Future Combustion-turbine （タービン温度2300°F，煙突ガス温度280°F）

表 9

METHANOL & #2 DISTILLATE GAS TURBINE - COMBINED CYCLE

ESTIMATED PERFORMANCE

EQUIPMENT								
GAS TURBINE	MS7001E (4 UNITS)				MS7001E (4 UNITS)		MS7001E (4 UNITS)	
HRSG					MODIFIED		TWO PRESSURE LEVEL BOILERS	
STEAM TURBINE	NON-REHEAT, CONDENSING				NON-REHEAT, CONDENSING		NON-REHEAT, CONDENSING	
FUEL	#2 DISTILLATE		METHANOL		METHANOL		METHANOL	
OPERATING POINT	BASE	PEAK	BASE	PEAK	BASE	PEAK	BASE	PEAK
NET OUTPUT, KW	414,870	452,800	441,150	481,340	444,740	486,030	447,300	489,190
FUEL CONSUMPTION, 10^6 BTU/HR								
HHV	3235.54	3474.68	3681.92	3965.43	3681.92	3965.43	3681.92	3965.43
NET HEAT RATE, BTU/KWHR								
HHV	7800	7680	8350	8240	8280	8160	8230	8110
STACK GAS TEMPERATURE, °F	305	303	304	303	290	289	220	219

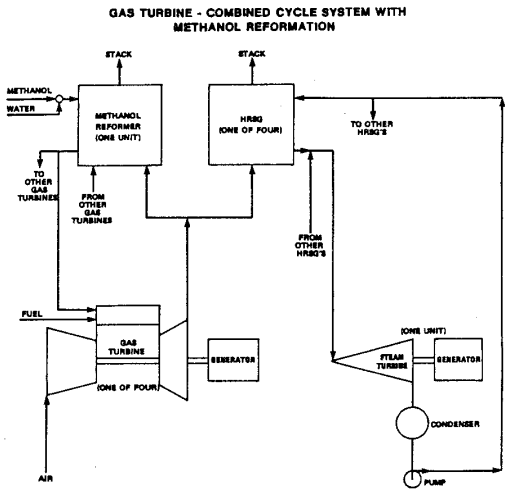


図10 改質メタノール複合サイクル

表 10

ESTIMATED PERFORMANCE BURNING METHANOL DERIVED FUELS

FUEL	FUEL TO GAS TURBINE	FUEL DELIVERY TEMP. °F.	NET OUTPUT KW	NET HEAT RATE, BTU/KWHR LIQUID METHANOL AS RECEIVED HHV
METHANOL LIQUID	CH_3OH	80	444,740	8,280
METHANOL VAPORIZED	CH_3OH	500	422,330	7,970
REFORMED METHANOL	$CO_2+3H_2+1/2\ O_2$	500	411,900	8,050
CRACKED METHANOL	$CO + 2H_2$	500	388,760	7,570

REFERENCE POINT − NO. 2 DISTILLATE 7800 BTU/KW HR

5−3 蒸発潜熱利用による圧縮機中間冷却 (8) (19)

将来の可能性として，メタノールの蒸発潜熱の大きいことを利用して，圧縮機入口に液体メタノールを噴射し圧縮空気を冷却する方法が考えられる。試算では圧縮機吸収仕事の減少により出力で16.8％増加，効率が5.5％（相対比）向上する。この場合は希薄燃焼となるので触媒燃焼器が必要となろう。メタノールは粒子分を含んでいないので蒸発時圧縮機を汚すことがなく好都合である。

6. 適用上設計時考慮すべき事項

以上述べてきたことからもわかるようにメタノールは次の理由により優れたガスタービン燃料である。

(1) 出力と効率は蒸留油や天然ガスより優れている。

(2) NO_X レベルは特別な装置を使用しなくとも極端に低い。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

(3) ガスタービンの高温部寿命は蒸留油より大巾に改善され天然ガスと同等である。

(4) 燃焼は安定で，運転性もよい。

(5) メタノールは従来の方法で輸送でき貯蔵できる。

しかし適用上メタノールの性状から，次の点について考慮する必要があろう。

6−1 燃料供給系統

(1) 発熱量あたりの容積流量が多いため，最大流量を約2.2倍大きくして設計する（大きな貯蔵及び輸送設備。燃料噴射弁，マニホールド，フローデバイダ，制御弁，ポンプ，フィルタ，流量計，配管など）

(2) 元来低潤滑性用に特別設計されたものは別にして，潤滑性がないため燃料でポンプの潤滑を行っている型式は潤滑不要な型式に変更する（歯車式 → 遠心式ポンプなど）。

(3) メタノールはある種の材質と適合しないので材質の選定には注意を要する（Mg，Al，Zn，Cuに対し腐食性がある。メタノールは導電性のため電解腐食に特に配慮する。ゴム・プラスチック材は膨潤・劣化するものがあるので要注意で，メタノールに水を混合した場合でバイトンが膨潤した例がある。[24]

(4) 蒸気圧が高いのでポンプのキャビテーションが発生し易く，ポンプのＮＰＳＨが十分とれる配管サイズ，タンクヘッドなどを選定する。

(5) 燃料油との溶解性が悪いためメタノールより溶解性のよいナフサで洗浄する。

6−2 燃焼器　燃焼器によってはCO，ＴＨＣが増加することもあり最適設計が必要（エアアシスト噴射弁による微粒化，燃料−空気の混合促進，冷却方式の改善，空気量配分の変更など）。

6−3 保安

(1) 防爆化が必要で，メタノール蒸気検知器が必要であろう。メタノールは消防法では危険物第4類のアルコール類に指定されており，防爆設備としては原油燃焼の場合と同程度と考えられる。

(2) メタノールは，毒物及び劇物取締法で毒物，劇物，特定毒物のうち劇物に分類されているので劇物取扱表示及び取扱責任者等この法令に準拠する必要がある。

(3) 燃料配管は漏洩のないよう極力溶接構造とする。

7. あとがき

石油は今現在一時的にだぶついているが将来的には石油不足が続くのは確実で石油価格は確実に上昇している。経済性については触れなかったが将来の代替燃料として大量生産・使用されれば現状では高い価格のメタノールも十分石油価格と対抗できるようになるものと思われる。

以上，主としてメタノールをガスタービンへ適用する場合について概説したが，筆者の調査不足から十分述べ得ないところがあろうかと思われる。ご叱正いただきたいと思う。この稿を成すに当り多くの方々から資料提供，御教示を頂いた。厚く御礼申しあげる次第である。

文　献

(1) 中山，ビジネスレビュー（一橋大産業経営研究所）26-2(1978)，27
(2) 田中，動力，No.148（1979-11）
(3) ＡＦＴ国内委員会編，燃料アルコールの問題，（1980），開発社
(4) 平尾，ＡＦＴ国内委員会定例会資料（第14回），（1981）
(5) 生田，同上（第15回），（1981）
(6) 山本，同上（第17回），（1981）
(7) 佐野，燃料及燃焼，46-3（昭54-3），254
(8) Bardon，M.F. Ⅳ Int. Sym. on AFT，（1980-10），Vol.Ⅱ，387
(9) Von KleinSmid，W.H.，ほか2名，ASME 81-GT-64
(10) Muller Associates，Inc.，HCP/M 2098-01 UC-13 (1979)
(11) LaPointe，C.W.，ほか1名，Emissions From Continuous Combustion Systems（1972），211，Plenum Press，N.Y.
(12) Adelman，H.G.，ほか2名，AIAA Journal 14-6（1976-6）
(13) Hung，W.S.Y.，ASME 77-GT-16
(14) Gluckman，M.J.，ほか1名，Methanol−An Oppotunity for the Electric Utility，8 th Energy Technology Conference 資料（1981）
(15) 壇上，ほか2名，第47回大会講演集，燃料協会（昭55-9）
(16) Rentz，R.L.，ほか1名，Ⅲ Int. Sym. on AFT，（1979-5），Vol.Ⅲ
(17) Klapatch，R.D.，ASME 75-Pwr-22

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

(18) Janes, C.W., American Chemical Society 79942 (1979), 1968
(19) Friedlander G.D., Electrical World (1980-1), 29
(20) Ebasco Services Incorporated 資料 (1981)
(21) 平野・秋田，燃焼研究，54号 (1980)
(22) 北嶋，GTSJ第9回ガスタービンセミナ資料 (昭56)，7-1
(23) 中山，燃焼研究，54号 (1980)，20
(24) 岩井，AFT国内委員会定例会資料 (第7回)，(1980)

第22回航空原動機に関する講演会プログラム

共　催： 日本機械学会，日本ガスタービン学会，日本航空宇宙学会，日本航空技術協会
期　日： 昭和57年2月25日(木)
会　場： 機械振興会館B3階研修2号室
(東京都港区芝公園，東京タワー西北隣)

交通経路： 都営バス東京タワー前下車
1) 国鉄東京駅丸ノ内南口より等々力ゆき
2) 国電浜松町駅北口より東京タワーゆき
営団地下鉄日比谷線神谷町駅より徒歩10分

参加費： ¥1,000 (当日会場受付で申し受けます)

プ　ロ　グ　ラ　ム

9:20～11:40 (司会　杉山洋吉君(技本3研))
01) 突風を受ける円形翼列の非定常力特性
西岡　清，○前谷憲治(防衛大)
02) フロンガスを用いた高速翼列実験
○花村庸治，藤本一郎，山口和夫(東大)
03) 回転翼振動の非接触計測法の研究(第Ⅳ報，ソフトウェア及び計測例)
遠藤征紀，○松田幸雄，松木正勝(航技研)
04) 光学的非接触翼振動計測法(OPT－V)
神保喜一，青野比良夫，近田哲夫，
○萩原要司(石川島播磨重工)
05) ファンエンジン(XF3－20)の振動特性について
神津正男，茅根寛明，菊池秀勝，相沢康隆，
○赤城正弘(技本3研)
石川　清(石川島播磨重工)
06) 弾性解変位を用いた有限要素法による薄肉梁のせん断曲げ解析について
○小河昭紀，祖父江　靖(航技研)
07) エンジン整備におけるAIDSの利用例
○笹原　修(日本航空)
12:40～13:40 (司会　近藤　博君(航技研))
(特別講演)　航空エンジン部材の加工技術の動向
石川島播磨重工業株式会社
航空宇宙事業本部　技師長
西　良正君
13:45～15:05 (司会　竹村幸輔君(川崎重工))
08) 空冷翼ターボファンエンジンの性能解析
○佐藤正明，辻川吉春，沢田照夫(阪府大)
09) 燃焼器ライナーの各種冷却構造の比較
○鈴木和雄(航技研)
10) フィルム冷却における壁面上方の流れ場と温度場の実験解析
○吉田豊明(航技研)
11) 壁面から主流中へ流出する噴流の径路に及ぼす壁面境界層の影響
○杉山善幸(名大)
15:15～17:35 (司会　青野比良夫君(石川島))
12) NUMERICAL JET ENGINE COMPONENTの研究
○帯金康夫(石川島播磨重工)
13) ラムジェットの特性について(ラムジェットにおける空気取入口とエンジンとの流量マッチング)
○船木功水(技本3研)
14) 小型ターボジェットエンジン
中村洋一，○三宅公誠(技本3研)
高橋與通(技本本部)，鈴木二郎，
青木照幸(三菱重工)
15) 小型ジェットエンジン用高圧力比・大流量遠心圧縮機の開発
三宅公誠(技本3研)，○長田文一，
永井信一(三菱重工)
16) 高圧力比遠心圧縮機に関する研究(第2報)
星野昭史，○杉本隆雄，河岸　優，
山下一郎(川崎重工)
17) 高圧力比多段軸流圧縮機の研究(抽気性能試験)
○菅原　昇，斉藤喜夫，大山耕一(航技研)
18) ファンコンプレッサつなぎダクトの乱流境界層の実験的研究(流入速度分布の影響)
○安　昭八(石川島播磨重工)
――(以下は別室で実施：末尾実施場所表参照)――
13:50～15:10 (司会　青木照幸君(三菱重工))
61) ファン騒音に及ぼす飛行効果の研究(第2報，ICDの整流効果)
○小林　紘(航技研)
62) ミキシングによる騒音と性能について
○佐々木良平，吉橋尊男(技本3研)
63) NG予混合火炎中におけるNO_X濃度の採取プローブに及ぼす影響に関する研究
○壇上旭雄，沢田照夫，山上恵造(阪府大)
64) モデル燃焼器におけるNO_2濃度とサンプリング法
○堀　守雄(東大)
15:20～16:40 (司会　梶　昭次郎君(東大))
65) 空燃比が変動する場合の燃焼器性能
○後藤　登(都立工短大)
66) ロケット／ラムジェットの混合せん断流域における燃焼機構の研究
○石川信彦(技本3研)
67) 旋回水素噴流火炎の研究　火炎の特性について
○湯淺三郎(都立工短大)
68) 乱流せん断層における予混合火炎の構造
○崔　炳輸，香月正司，水谷幸夫(阪大)
柴田悦雄(シャープ)，秋友克文(日立)

行事区分			実施場所(室名)
参加登録，前刷集頒布			B3階研修2号室
講演	01～07	08～18	
	特別講演		
	別室の部＝61～68		6階66号室(13:30開)
スライド受付＝該当講演20分前まで講演室で受付			

講演前刷集： 全1冊¥1,500(送料¥300)
当日頒布も致します。
〒105　東京都港区新橋1－18－2
航空会館分館(電話 03-501-0463)
日本航空宇宙学会事務局

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

(18) Janes, C.W., American Chemical Society 79942 (1979), 1968
(19) Friedlander G.D., Electrical World (1980-1), 29
(20) Ebasco Services Incorporated 資料 (1981)
(21) 平野・秋田，燃焼研究，54号 (1980)
(22) 北嶋，GTSJ第9回ガスタービンセミナ資料 (昭56)，7-1
(23) 中山，燃焼研究，54号 (1980)，20
(24) 岩井，AFT国内委員会定例会資料 (第7回)，(1980)

第22回航空原動機に関する講演会プログラム

共　催： 日本機械学会，日本ガスタービン学会，日本航空宇宙学会，日本航空技術協会
期　日： 昭和57年2月25日(木)
会　場： 機械振興会館B3階研修2号室
(東京都港区芝公園，東京タワー西北隣)

交通経路： 都営バス東京タワー前下車
1) 国鉄東京駅丸ノ内南口より等々力ゆき
2) 国電浜松町駅北口より東京タワーゆき
営団地下鉄日比谷線神谷町駅より徒歩10分

参加費： ¥1,000 (当日会場受付で申し受けます)

プ　ロ　グ　ラ　ム

9:20～11:40 (司会　杉山洋吉君(技本3研))
01) 突風を受ける円形翼列の非定常力特性
西岡　清，○前谷憲治(防衛大)
02) フロンガスを用いた高速翼列実験
○花村庸治，藤本一郎，山口和夫(東大)
03) 回転翼振動の非接触計測法の研究(第Ⅳ報，ソフトウェア及び計測例)
遠藤征紀，○松田幸雄，松木正勝(航技研)
04) 光学的非接触翼振動計測法(OPT－V)
神保喜一，青野比良夫，近田哲夫，
○萩原要司(石川島播磨重工)
05) ファンエンジン(XF3－20)の振動特性について
神津正男，茅根寛明，菊池秀勝，相沢康隆，
○赤城正弘(技本3研)
石川　清(石川島播磨重工)
06) 弾性解変位を用いた有限要素法による薄肉梁のせん断曲げ解析について
○小河昭紀，祖父江　靖(航技研)
07) エンジン整備におけるAIDSの利用例
○笹原　修(日本航空)
12:40～13:40 (司会　近藤　博君(航技研))
(特別講演)　航空エンジン部材の加工技術の動向
石川島播磨重工業株式会社
航空宇宙事業本部　技師長
西　良正君
13:45～15:05 (司会　竹村幸輔君(川崎重工))
08) 空冷翼ターボファンエンジンの性能解析
○佐藤正明，辻川吉春，沢田照夫(阪府大)
09) 燃焼器ライナーの各種冷却構造の比較
○鈴木和雄(航技研)
10) フィルム冷却における壁面上方の流れ場と温度場の実験解析
○吉田豊明(航技研)
11) 壁面から主流中へ流出する噴流の径路に及ぼす壁面境界層の影響
○杉山善幸(名大)
15:15～17:35 (司会　青野比良夫君(石川島))
12) NUMERICAL JET ENGINE COMPONENTの研究
○帯金康夫(石川島播磨重工)
13) ラムジェットの特性について(ラムジェットにおける空気取入口とエンジンとの流量マッチング)
○船木功水(技本3研)
14) 小型ターボジェットエンジン
中村洋一，○三宅公誠(技本3研)
高橋與通(技本本部)，鈴木二郎，
青木照幸(三菱重工)
15) 小型ジェットエンジン用高圧力比・大流量遠心圧縮機の開発
三宅公誠(技本3研)，○長田文一，
永井信一(三菱重工)
16) 高圧力比遠心圧縮機に関する研究(第2報)
星野昭史，○杉本隆雄，河岸　優，
山下一郎(川崎重工)
17) 高圧力比多段軸流圧縮機の研究(抽気性能試験)
○菅原　昇，斉藤喜夫，大山耕一(航技研)
18) ファンコンプレッサつなぎダクトの乱流境界層の実験的研究(流入速度分布の影響)
○安　昭八(石川島播磨重工)
――(以下は別室で実施：末尾実施場所表参照)――
13:50～15:10 (司会　青木照幸君(三菱重工))
61) ファン騒音に及ぼす飛行効果の研究(第2報，ICDの整流効果)
○小林　紘(航技研)
62) ミキシングによる騒音と性能について
○佐々木良平，吉橋尊男(技本3研)
63) NG予混合火炎中におけるNO_X濃度の採取プローブに及ぼす影響に関する研究
○壇上旭雄，沢田照夫，山上恵造(阪府大)
64) モデル燃焼器におけるNO_2濃度とサンプリング法
○堀　守雄(東大)
15:20～16:40 (司会　梶　昭次郎君(東大))
65) 空燃比が変動する場合の燃焼器性能
○後藤　登(都立工短大)
66) ロケット／ラムジェットの混合せん断流域における燃焼機構の研究
○石川信彦(技本3研)
67) 旋回水素噴流火炎の研究　火炎の特性について
○湯淺三郎(都立工短大)
68) 乱流せん断層における予混合火炎の構造
○崔　炳輸，香月正司，水谷幸夫(阪大)
柴田悦雄(シャープ)，秋友克文(日立)

行事区分			実施場所(室名)
参加登録，前刷集頒布			B3階研修2号室
講演	01～07	08～18	
	特別講演		
	別室の部＝61～68		6階66号室(13:30開)
スライド受付＝該当講演20分前まで講演室で受付			

講演前刷集： 全1冊¥1,500(送料¥300)
当日頒布も致します。
〒105　東京都港区新橋1－18－2
航空会館分館(電話 03-501-0463)
日本航空宇宙学会事務局

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

電力への石炭ガス化とメタノール燃料の利用

(財)電力中央研究所　深　田　智　久

1. まえがき

近年のOPECの原油価格の引き上げなど国際石油情勢は極めて深刻な様相を呈している。我が国はこれに対処するため脱石油，省エネルギー対策を焦眉の急として強力に推進している。石油に代わるエネルギー源とし当面は石炭と原子力への転換がエネルギー政策の中心課題となっている。このうち石炭は，世界的に資源賦存量が豊富であることと既存技術が生かせることもあって，各分野における活用の拡大が図られており，石炭火力更には石炭転換・利用火力の推進は電気事業にとって緊急の命題となっている。しかし，環境保全性等の問題で，電源立地が難航しているところもある。そのため立地促進に役立つ優れた環境保全性のある石炭火力関連技術の向上ならびに新技術開発は極めて重要な課題となっている。石炭は世界的に見て豊富な資源でありこれを活用して効率が高く，環境保全性の優れた発電を行うためには，石炭をガス化するか，メタノール等に転換するかして，それを用いて複合発電を行うことが最も効果的であり，かつ立地促進を図る上においても有効と考えられる。なおメタノールは現在のところ後述するごとく，その製造価格が高いことが問題である。ガスタービン単独利用またはボイラー燃焼の場合も有り得るが大容量・高効率の観点から，ガスタービンとスチームタービンを組合せた複合発電が最適と思われる。このような状況から立地促進に役立つ優れた環境保全性があり，かつ高効率化した石炭ガス化複合発電技術の早期開発および低廉大量メタノール製造技術の完成とその適用技術は我が国における電気事業の重要な研究開発課題の一つである。

表2－1　長期エネルギー需給暫定見通し
（総合エネルギー調査会需給部会，1979年8月31日）

年度／項目	1977年（実績）		1985年度		1990年度		1995年度	
省エネルギー前の需要	4.12億kℓ		6.62億kℓ		8.22億kℓ		9.73億kℓ	
省エネルギー率（1973年度基準）			12.1%		14.8%		17.1%	
省エネルギー後の需要			5.82億kℓ		7.00億kℓ		8.07億kℓ	
区分／エネルギー別	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)
水力 一般水力	1,810万kW	4.8	2,200万kW	4.7	2,600万kW	4.6	3,000万kW	4.6
水力 揚水	805万kW		1,950万kW		2,700万kW		3,350万kW	
地熱	15万kℓ	0.0	220万kℓ	0.4	730万kℓ	1.0	1,420万kℓ	1.8
国内石油・天然ガス	379万kℓ	0.9	800万kℓ	1.4	950万kℓ	1.4	1,400万kℓ	1.7
国内石炭	1,972万t	3.2	2,000万t	2.5	2,000万t	2.0	2,000万t	1.8
原子力	800万kW	2.0	3,000万kW	6.7	5,300万kW	10.9	7,800万kW	14.3
海外石炭	5,829万t	11.6	10,100万t	13.6	14,350万t	15.6	17,800万t	16.5
（うち一般炭）	（95万t）		（2,200万t）		（5,350万t）		（8,050万t）	
LNG	839万t	2.9	2,900万t	7.2	4,500万t	9.0	5,000万t	8.7
新燃料油，新エネルギー，その他	31万kℓ	0.1	520万kℓ	0.9	3,850万kℓ	5.5	6,100万kℓ	7.6
小計	1.05億kℓ	25.5	2.16億kℓ	37.1	3.50億kℓ	50.0	4.59億kℓ	56.9
輸入石油	3.07億kℓ	74.5	3.66億kℓ	62.9	3.66億kℓ（3.50億kℓ）	50.0	3.66億kℓ（3.48億kℓ）	43.1
（うちLPG）	（739万t）		（2,000万t）		（2,600万t）		（3,300万t）	
供給合計	4.12億kℓ	100.0	5.82億kℓ	100.0	7.16億kℓ（7.00億kℓ）	100.0	8.25億kℓ（8.07億kℓ）	100.0
供給－需要	－		－		1,600万kℓ(－)		1,800万kℓ(－)	

（注）1. 石油換算は，9,400kcal／l
2. 1990年度，'65年度の輸入石油の（　）内は，輸入石油に係る需要量

2. 石炭ガス化複合発電およびメタノール燃焼複合発電プラント研究開発の必要性

1979年8月の通産省総合エネルギー調査会需給部会における需給暫定見通しにおいては表2−1に示すように脱石油方策として原子力の開発と資源の豊富な石炭利用の飛躍的増大を柱として計画されている。このような我が国のエネルギー情勢をふまえ，電気事業においては原子力発電の増大，石炭火力の推進及び石炭新利用技術の開発を鋭意推進している。この内石炭火力の推進において環境保全性・立地条件等の問題が大きな課題となり難航している場合もある。

各石炭利用方式の環境への排出物とエネルギー効率[1)]を図2−1に示す。これは石炭採掘1000万tonに対して送電でき得る量，発電効率及び総合

（昭和56年11月4日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

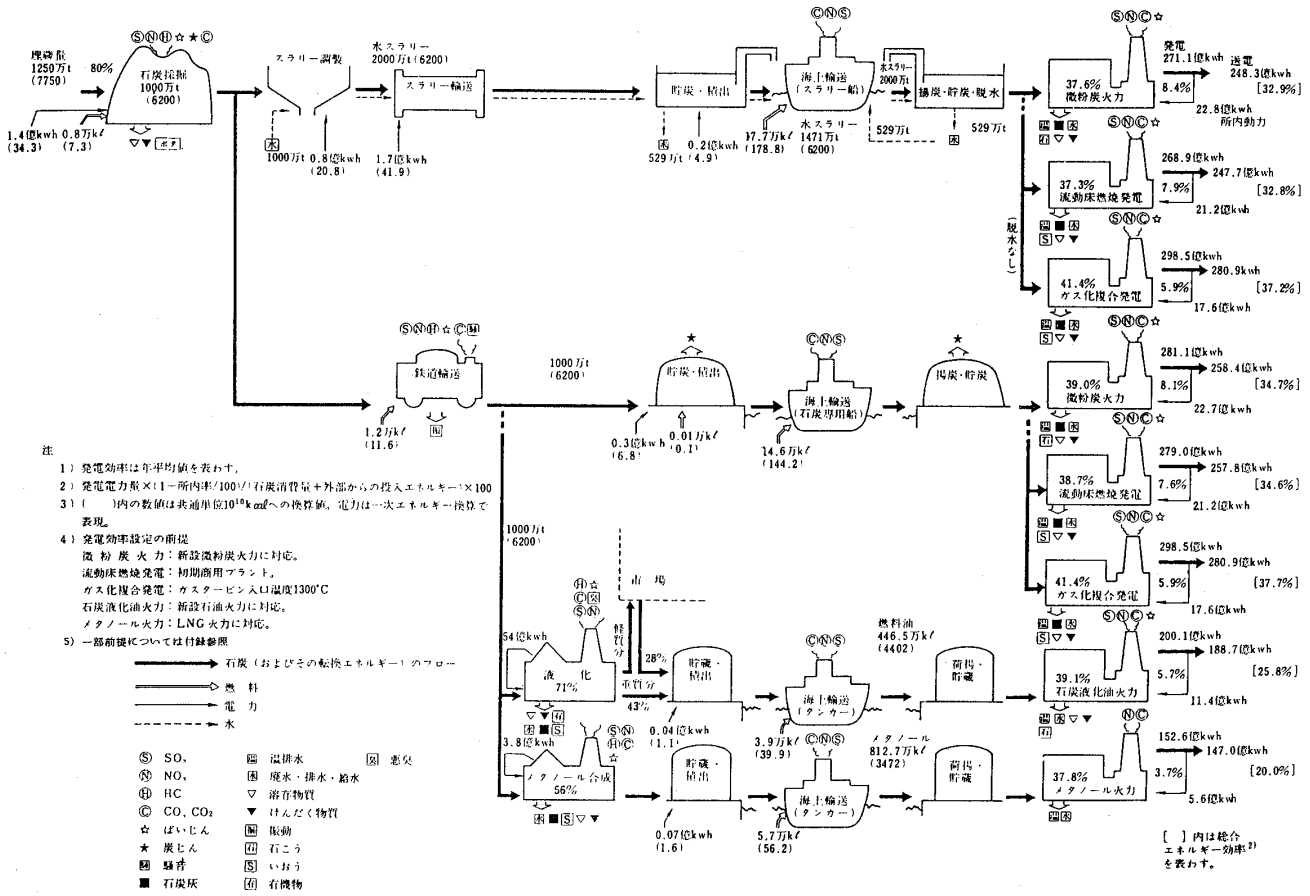


図2－1　各石炭利用方式の総合エネルギー効率と環境への排出物

エネルギー効率を微粉炭火力を基準として，ガス化複合発電・流動床燃焼発電・石炭液化油火力及びメタノール火力を対象として比較検討を行ったものである。なお現時点ではメタノール複合発電に対しては比較検討が完了していないので記述していない。

この図から明らかなことは，環境への排出物がメタノール火力の場合，気体・液体排出物とも最も少なく，これはメタノール複合発電の場合でも同様である。即ちメタノールはLNGの代替として位置付けられる程のものであり，環境規制の特に厳しい地域への立地や運用に有効なものであると言える。次に図より明らかなことは石炭ガス化複合発電の場合，効率及び電力量が最も大きいと言うことである。ただしこの計算ではガスタービン入口ガス温度は1300℃を仮定している。なお石炭ガス化複合発電の環境影響度であるが，表2－2に石炭火力と重油火力とを比較対象として，将来可能予想値を示す。即ち重油火力に比べても石炭ガス化複合発電はそれ以上の環境保全性を期待し得ることができる。

表2－2　発電形態別環境保全性比較

項　目	石炭ガス化複合発電	石　炭　火　力	重　油　火　力
SOX (ppm)	30	100*1 (49)	60 (53)
NOX (ppm)	30	300*1 (480)	60 (150)
ばいじん (mg/Nm^3)	5	50*1 (400)	10 (50)
備　考	常圧式石炭ガス化炉，湿式クリーンアップの場合の開発目標値	最新技術の目標値( )は現状規制値	最新技術の目標値( )は現状規制値

注　ppmはO_2 6%換算値
SO$_x$については，100万kW/地股，200m煙突，K値3.0（東京，横浜，川崎，四日市など）とした場合の濃度換算値
*1 一般地域

どんなに秀れた性能をもつ発電方式でも経済性に劣れば普及しない。各石炭利用方式の経済性試算をエネルギー効率比較と共に図2－2に試算例[1]を示す。試算仮定は図2－1と同じである。この図から明らかなように石炭ガス化複合発電の発電原価は石炭火力に比べ今一歩の処まで来ている。一方メタノール燃料の場合は最も高価で複合発電方式においても同様であろう。

石炭ガス化複合発電技術の開発は内外とも

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

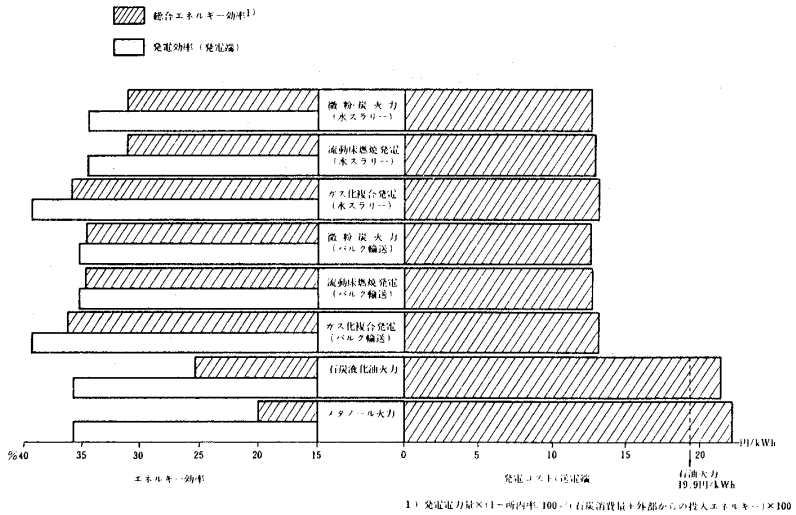


図2−2　石炭新利用方式のエネルギー効率と経済性

に緒についたところである。我が国は欧米諸国と違い石炭を輸入に依存しているので，有効な活用が重要である。また電力系統はますます巨大化しつつある。そのため石炭ガス化複合プラントを開発する場合，高効率大容量化が重要である。石炭は炭種によって物理的・化学的性質が大きく異なるので，今までは石炭ガス化炉は炭種に合せて設計されている。しかし，我が国のように世界各地から輸入するため，特定の炭種に限定されない広範囲の炭種に適合する石炭ガス化炉ならびに石炭ガス化複合発電プラントを開発することが必要である。また，夜間の電力需要は昼間の½〜⅓であり，時々刻々変化している。将来主力電源となる原子力発電所の負荷応動能力が極めて低いこと等から負荷応動性のある石炭ガス化複合発電プラントの開発が望まれる。従って，我が国の国情に適合した石炭ガス化複合発電プラントを開発するためには，

(1)　立地促進に役立つ優れた環境保全性
(2)　高効率大容量化
(3)　広範囲炭種適合性
(4)　負荷応動性

を目標とすることが望まれる。また，我が国に適合した石炭ガス化複合発電プラントを早期に開発するためには，石炭ガス化炉，クリーンアップ装置，石炭ガス化用ガスタービン等，個々を単独に開発するのではなく常に全体の調和をはかり，一貫した開発をすることが肝要である。

一方メタノール燃料利用発電技術は基本的にはメタノール自体発熱量の違いはあれ，LNG並みにクリーンであることから建設費は石油火力並みまたはそれより安いが，石炭転換エネルギー収率が低いため発電コストが高くなる。しかし将来発電にLNGが使用できなくなった場合の大都市近傍発電プラント（敷地が狭く環境対策用地がない）には，高価であってもクリーンなメタノール燃料が利用されることになりその期待度は石炭液化油よりも大きいものとみることができる。この場合でも高効率・大容量化が重要であり，そのためには複合発電サイクルを採用する方が有利と考えられる。メタノール燃料利用発電プラントにおける要素改良技術・システム技術の研究は必要とされようが根本的にはメタノールの経済的製造方式そのものの研究が肝要である。

以上の観点から石炭ガス化複合発電のみならずメタノール燃焼複合発電プラントの開発は我が国電気事業にとって重要な課題の一つであり，このためには石炭ガス化用ガスタービンおよびメタノール用ガスタービン技術の開発研究が必要である。

3. 内外の石炭ガス化複合発電プラントおよびメタノール燃料プラントの研究開発の現状

内外における石炭ガス化複合発電プラントに関する研究開発状況を表3−1に示す。石炭ガス化複合発電プラントの開発は1972年ごろから西独STEAG社が政府の援助の下にKellermann発電所に170MWの固定床石炭ガス化炉の石炭ガス化複合プラントを開発したのが世界における最初である。しかし，石炭ガス化炉の故障ならびに高温腐食によるタービンロータの振動発生[2)]等を経験しており，西独政府の資金援助が停止され現在休止している。

一方，米国においてはテキサコ社が150T/D加圧1段噴流床石炭ガス化炉を1978年に開発し，好成績をあげている。この実績をふまえて1000T/D炉，総合熱効率36%の100MW級石炭ガス化複合発電プラントの開発を計画中で，クールウォータ計画としてGE社，サザンカルフォルニアエジソン社

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

が推進中で，我が国にも共同参加を求めている。しかし，この計画では我が国が満足し得る効率は得られない。その他，米国のCE社，WH社，B&W社，FW社，GE社，英国のBGC社等が石炭ガス化炉，石炭ガス化複合発電プラントの開発を進めている。

我が国では昭和49年度から通産省サンシャイン計画ガス化発電技術の開発が進められており，現在40T/Dの加圧2段流動床石炭ガス化炉が稼動している。1986年度に1000T/D，100MW級の加圧2段流動床石炭ガス化炉，乾式クリーンアップ方式の石炭ガス化複合発電プラントを開発する計画となっている。しかし，流動床石炭ガス化炉であるため粘結性炭の適用，タールの処理・負荷応動性が狭い問題等の技術的課題をかかえている。

表3－1は，石炭ガス化複合発電プラント開発プロジェクト一覧である。ここで取り上げたシステムは，①我が国のサンシャイン計画で推進中のシステム[1]，②世界で唯一の稼動実績をもつSTEAGプロセス，さらに，米国における主要プロセスとして，③TEXACOプロセス，④CEプロセス，⑤B&Wプロセス，⑥WHプロセスである。まず，システム構成上の特徴について示す。

図3－1は，我が国サンシャイン計画により推進中のプロセスのシステム構成[3]を示す。このプロセスは，加圧流動床ガス化炉を用い，ガス精製装置は，湿式・乾式の両者を検討している。この計画

表3－1　石炭ガス化複合発電プラント開発プロジェクト一覧

プロセス名及び実施者（スポンサー）	主仕様（計画概要）					
	方式	特徴	目標効率	開発期間	容量	開発メテップ
石炭技研 石炭技研，三菱重工，他 重電メーカー （通産省）	加圧 流動床	空気ガス化 (二段式) 灰凝集方式	(発電端) 乾式 41% 湿式 36%	S49～S61	100MW	5T/D炉運転中(S51より) 40T/D建設中(S55秋運転予定) 1000T/D計画中(S60，S61試運転)
STEAG STEAG （西独政府）	加圧 固定床 (Lurgi)	空気ガス化 過給ボイラ型	ネット 35.1% グロス 36.7% (G/T16%，S/T20.7%)	S44～S47 建設	170MW	170MW (70T/H) (S47～S52運転中) (STEAG，Kellerman P/S)
TEXACO TEXACO，GE，SCE 東芝， （EPRI，RAG）	加圧 噴流床	酸素ガス化 石炭供給：水スラリー方式	GCC (CASE1) 32% G/T TIT 1055℃ 37.4% 〃 1315.6℃ 38.7%	S53～S57 S57～S65テスト	110MW 1362MW	150T/D炉運転中(S53～) (西独Ruhrkohle，米Dow Chemical) 1000T/D炉計画中(S59～) (SCE，Cool Water P/S)
CE CE，三菱重工 （DOE，EPRI）	常圧 噴流床	空気ガス化 二段式 炉内蒸気発生	41.5% (G/T入口1200℃) EPRI 38.1% (G/T TIT 1315℃)	S48～ FS S52～55 PDUプラント	150MW	120T/D炉運転中(S52～) (米国 Windsor) 150MWプラント計画中(Gulf State Nelson P/S) 500MWプラント計画中(Florida P/S)
B&W B&W，日立，バブ日立	加圧 噴流床	酸素ガス化 ボイラ炉壁と同構造	38.0% GT入口 1260℃	S62～65	～S54 260MW(送電端) (GT＋STの合計)	120T/D炉 BI-GASプロセス運転中 400T/D炉運転実績あり (1955～'60年代，米Dupont) (フィジビリティスタディ)
WH WH，三菱 （DOE）	加圧 流動床	空気ガス化 二段式 炉内脱硫方式	(送電端) 乾式 43.1% 湿式 40.1% (G/T入口 1200℃)	S48～建設 S60～商用運転	120MW	15T/D炉運転中(S52～) (米国，Pittsburgh) 1200T/D炉計画中 (S60～商用運転予定)

㊟ 石炭生焚効率　松島火力1号　発電端／送電端　40.1%／37%

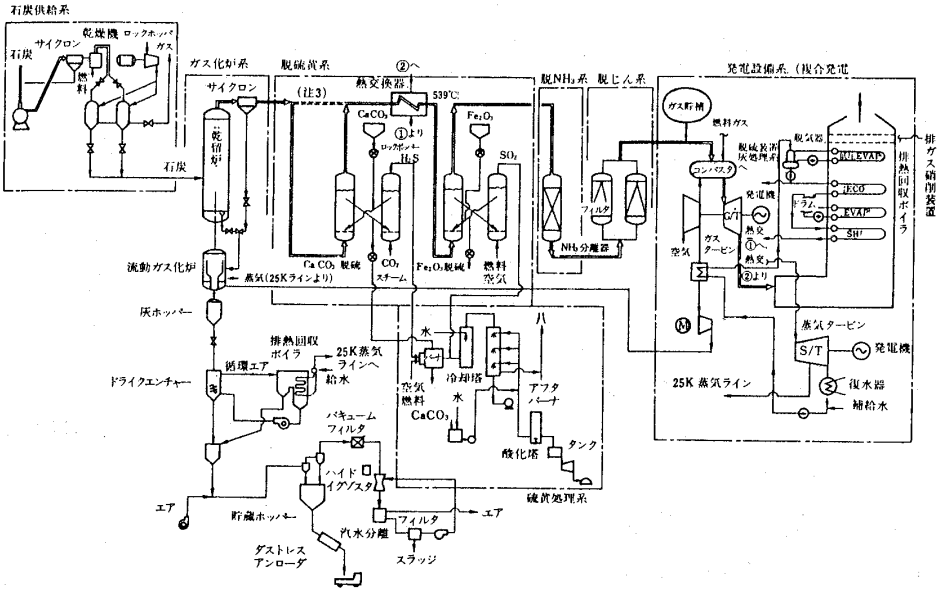


図3－1　石炭ガス化・複合発電プラントの設備フロー図(1系列分)（乾式クリーンアップ）── 日本・サンシャイン計画

出典；フジテクノシステム「石炭利用発電プラント技術総合資料集」p.549

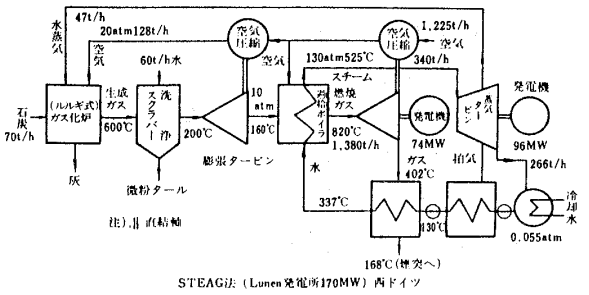


図3－2　STEAG法(Lunen発電所170MW)西ドイツ

出典；フジテクノシステム「石炭利用発電プラント技術総合資料集」p.570

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

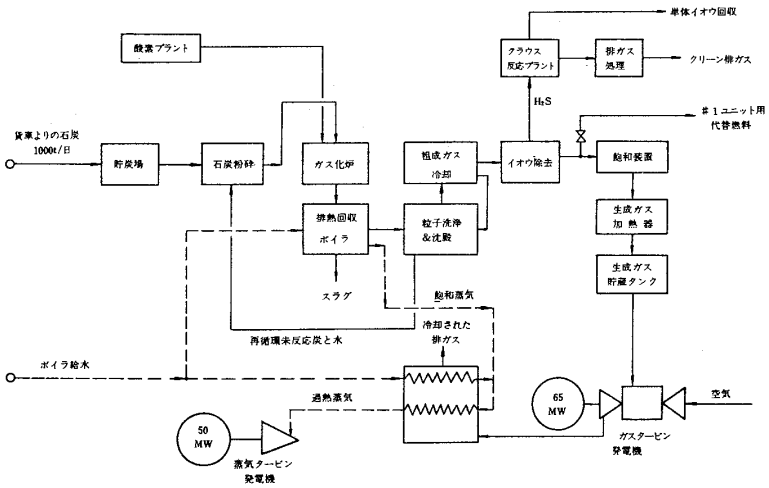


図3−3 複合発電プラント構成例(テキサコ・クールウォータ計画)

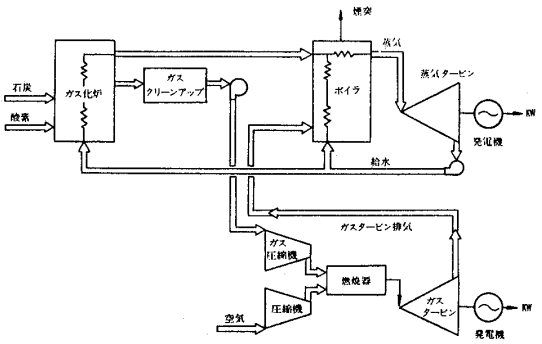


図3−4 空気吹き複合発電プラント(CEプロセス)

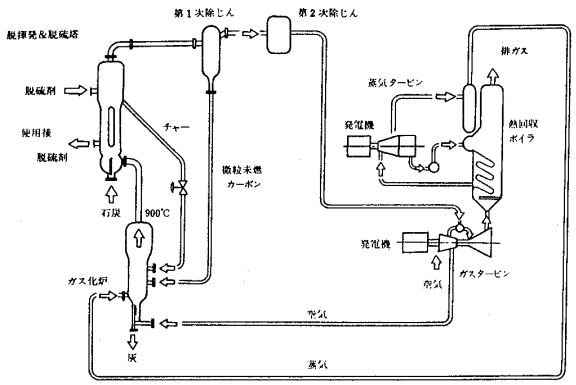


図3−5 WH社の石炭ガス化発電システムの系統

は，我が国初の石炭ガス化技術と排熱回収型複合発電プラントを結合した大型プロジェクトである。

図3−2にSTEAGプロセスのシステム構成[3)]を示す。このプロセスは，固定床ガス化炉，湿式ガス精製，過給ボイラ式のシステム構成である。本システムは，ガスタービンの燃焼器が，蒸気発生プラントの加圧ボイラとなっている点，ガス化炉が固定床である点が特徴であり，大容量化に対しては，他の方式のプロセスに比し，有利とは言い難いとされている。

図3−3から図3−6にTEXACOプロセス，CEプロセス，WHプロセス，B&Wプロセスのシステム構成を示す。TEXACO，CE，B&Wの各プロセスとも噴流床ガス化炉，湿式ガス精製，排熱回収方式複合発電プラントの開発を目標としている。TEXACOプロセスは，加圧噴流方式のガス化炉を用いまた，ガス化炉への石炭供給を水スラリーとして行うことにより石炭の取扱いを容易にしている。CEプロセスは，常圧噴流床，B&Wプロセスは，加圧噴流

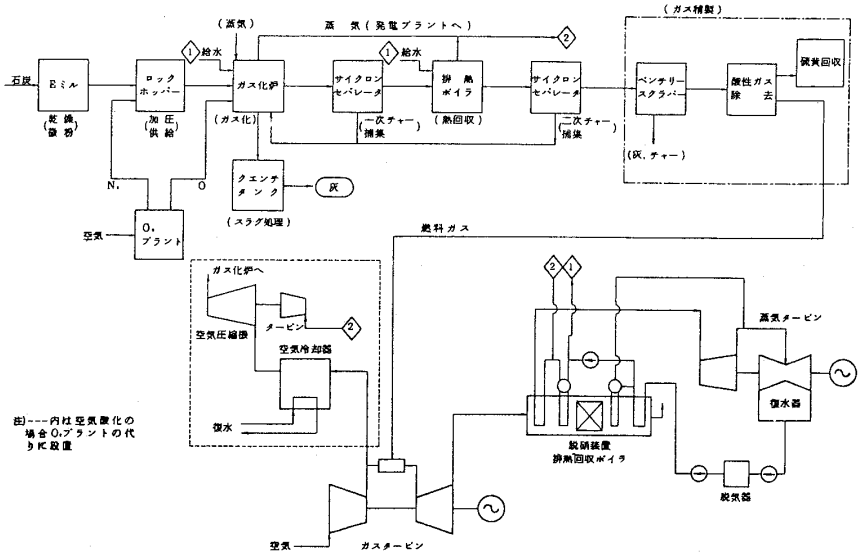


図3−6 石炭ガス化複合発電フローシステム(B&W型)

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

床方式のガス化炉をそれぞれ用い，ボイラで培った技術をガス化炉へ転用し，炉内から有効による熱回収を図っている。WHプロセスは，加圧流動床ガス化炉，排熱回収複合発電方式および炉内脱硫を採用し，ガス精製を乾式で行う点に特徴を有している。

米国における石炭ガス化複合発電プラントの研究開発は環境保全性のあるプラントの開発を主なねらいとしており，欧州においては脱石油技術の開発を主なねらいとして開発が進められている。

いずれにしても，電気事業に適した石炭ガス化方式の評価は未だ明快には定っていないのが現状である。また欧米諸国との国情の相違から石炭ガス化複合発電プラントに関する欧米諸国の研究開発は我が国に十分適合した研究開発とは言い難く，我が国自主技術の開発が必要である。

石炭ガス化複合発電の効率に関しては，各種試算がなされているが，この発電プラント自体開発要素も多いことから精度有る検討結果は今後の課題と言える。

表3−2　50万kw石炭ガス化複合発電の予想性能と評価

ケース番号	クリーンアップ	タール	GT温度℃	GT入口の燃料ガスのエネルギー対石炭入力(%)	GT出力	STG出力	発電端出力	送電端出力	発電端(HHV)	送電端(HHV)	所内率	温度(℃)	圧力(ata)	排ガス量(kg)	効率評価
	検討条件				定格出力(MW)				定格出力時効率(%)			排熱ボイラ出口蒸気			
1	湿式	有	1085	86.4	353	147	500	470	35.5	33.4	6.0	485	56.5	5180	×
2	〃	〃	1316	〃	331	169	〃	〃	39.0	34.8	〃	545	86.5	3514	×
3	〃	無	1085	87.1	330	170	〃	473	38.1	36.0	5.5	485	56.5	4873	×
4	〃	〃	1316	〃	312	188	〃	〃	41.3	39.3	〃	545	86.5	3325	○
5	乾式	有	1085	97.9	346	154	〃	〃	42.1	39.8	〃	485	56.5	4970	○
6	〃	〃	1316	〃	325	175	〃	〃	46.1	43.6	〃	545	86.5	3383	◎
7	〃	無	1085	99.4	345	155	〃	〃	42.6	(40.2)	〃	485	56.5	4960	○
8	〃	〃	1316	〃	322	178	〃	〃	46.8	44.2	〃	545	86.5	3366	◎
9	〃	〃	1500	〃	329	171	〃	〃	51.4	48.6	〃	545	86.5	2534	◎
10	湿式	通常火力			−	500	500	448	40.2	ベース (36.0)	10.5	−	−	2300ベース	

注1. GT温度，現状技術は1,085℃
注2. 検討条件　石炭ガス化炉入力は，石炭・スチーム・空気エネルギーの合計であり，この合計と生成ガス・GT入口エネルギーとの比が全エネルギー効率である。しかし上表では石炭入力との比を示した。
注3. 通常火力において，湿式クリーンアップで，排ガス昇温用アフターバーナーを用いると，燃料はさらに4%程度増大する。
出典；「石炭利用発電プラント技術総合資料集」フジ・テクノシステム

表3−3　エネルギー転換技術の効率向上目標（石炭ガス化発電の場合）

（50万kW級ユニット）

	ガス化複合発電 1985年頃	ガス化複合発電 1990年頃	微粉炭火力 現状
（前提）ガスタービン入口温度	1316℃	1500℃	—
クリーン化	ガスの乾式処理	ガスの乾式処理	排ガスの湿式処理
（出力）計	500,000kW	500,000kW	500,000kW
ガスタービン発電部	161,000×2	161,000×2	—
蒸気タービン発電部	178,000×1	178,000×1	500,000×1
定格出力時のプラント効率（発電端）	46.8%	51.4%	40.2%
年間運転効率（発電端）	43.5	49.5	38.5
所内電力（含，クリーン化）	6.0	6.0	10.5
年間，送電端効率	40.9	46.5	34.4
（熱消費率）比較	(84.1)	(74.0)	(100)

出典；「石炭利用発電プラント技術総合資料集」フジ・テクノシステム　P552

表3−2は，(財)石炭技術研究所により行われた概念設計の結果[3]である。[1]ガス精製方式の湿式・乾式の違いにより，送電端効率の差が大きく認められる。それゆえ，乾式クリーンアップ方式開発により従来火力に比し，大幅に効率向上が見込まれる。さらに，表3−3は，石炭ガス化複合発電のエネルギー転換技術の効率向上目標を示したものであり，従来の微粉炭焚火力に比し，ガスタービン入口温度の高温化により，熱効率の大幅向上が目指されている。また，図3−7は，EPRI資料AP−1429に示されているGE検討の石炭ガス化

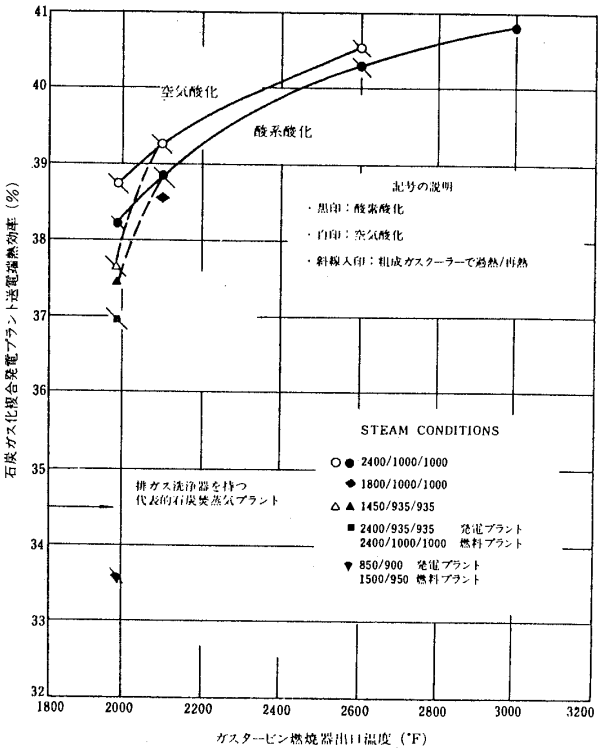


図3−7　ガスタービン燃焼出口温度に対する石炭ガス化複合発電プラントの送電端熱効率
出典；EPRI AP−1429「TEXACO−BASED GASIFICATION Combined-Cycle System Performance Studies」p.1−10

複合発電プラントの熱効率の検討結果であり，従来火力（送電端熱効率34.5%としている）に比してガスタービン入口温度1085℃，空気酸化ガス化方式，湿式ガス精製のもので約4%以上，ガスタービン入口約1200℃のもので約5%程度向上が見込まれている。

メタノール燃料利用発電プラントにおける研究

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

開発状況はボイラー燃焼研究においては，Vulcan Cincinnati Inc., New Orleans Public Survice Co. や電力中央研究所・関西電力が代表的である。ガスタービンの研究においては，EPRIの援助のもと Southern California Edison Co. の26MWガスタービン試験と，AMAX. Inc., Turbo Power and Marine Systems 及び Florida Power Co. の26MWエンジン燃焼試験が代表的である。また，メタノールを燃焼とする複合発電も有望と考えられており，WH社，GE社等検討を行い，GE社ではLNG複合発電装置によりメタノール燃焼試験を行い，LNGの場合とほぼ同様の発電が可能であることを実証しているとのことである。複合発電の熱効率はHHV43%(LHV47%)程度とのことである。表3－4にメタノールの合成および利用動向一覧を示す。

4. 石炭ガス化複合発電およびメタノール燃焼発電の評価

我が国電気事業において石炭新利用発電方式が位置付けられるためには，主に立地促進に役立つ優れた環境保全性，高効率大容量化等による充分なる経済性，負荷応動性にも富む高い信頼性が要請される。

環境保全性については，SO_x，NO_xおよびばいじん等表2－2に示すように石炭ガス化複合の場合でも重油火力以上の値が充分可能である。

経済性については，表4－1に示すように石炭ガス化複合発電は重油火力に比べ建設費で1.7倍程高いが発電コストで6.5割程度である。メタノール燃焼の場合，建設費では8割強と安いが，発電コストは1.1倍強と高い。しかしともに複合化とガスタービンの高温化によりその経済性の改善は充分に望める。

信頼性については，メタノール燃焼はその確度が高いと考えられるが，石炭ガス化複合発電については，この課題自体が研究目標となろう。

他の石炭新利用技術を比較するため，表4－2に総合評価を示す。

表3－4　メタノールの合成・利用

	メタノール合成プロセス	発電燃料（メタノール）
方式	◦メタノール合成商業プラント（概念設計）* 〔石炭→粗ガス→合成ガス（H_2, CO）→メタノール〕	◦重・原油燃焼方式
開発主体	◦Badger Plants Inc. 設計（1978）（DOE委託）	◦Vulcan Cincinati Inc. ◦New Orleans Public Service（50MW） ◦電　研（総合報告№35） ◦EPRI, Southern Calif. Edison Co., GE（タービン駆動発電，複合発電システム）
開発規模と現状	石炭処理 63,000t/d（10,500t/d，6系列） 石炭（スチーム発生用）11,000t/d	
炭種	◦炭種制限無し	
生成物と収率	◦生成物 メタノール（燃料用，化学用）58,200t/d 硫黄 660t/d ◦熱効率（HHV）55～60%	メタノールの発熱量 5,340 kcal/kg
技術的特性（温度，圧力などの反応条件）	〔石炭 10,500t/d，石灰 467t/d，酸素 9,200t/d〕 ガス化炉 1,650℃，32～42kg/cm² → 〔メタノール合成 Lurgi 低圧法 250℃，53kg/cm²〕	
貯蔵特性		石油と同様（但し，水分混入，腐食性に注意を要す）
輸送特性		同上
利用特性（発電用燃料としての）		◦低発熱量，バーナーの改造必要 ◦石油同様のハンドリング性を有するクリーン燃料（LNG代替燃料）
環境への排出物（気，液，固）	◦石炭ガス化と同様 排水，排ガス，ガス化残渣（灰など）処理対策必要	◦NOx 濃度 30ppm以下，大気汚染物質の生成は極めて少ない
土地	◦石炭→メタノール・プラント用地必要 ◦石炭貯蔵用地・灰捨用地必要	◦石油と同様
運転保守特性		◦〔既設発電用ボイラの場合〕メタノール燃焼用に運転条件の調整が必要
問題点と今後の可能性（実用化時期）	◦〔実用化〕1990年代〔問題点〕石炭ガス化プロセスの経済性	◦発電燃料として使用可（ピークロード用，複合発電用に適す）（低発熱量燃料である点の考慮を要す）
備考	*1 ガス化・精製系の一部を除いては工業的に実証済みのプロセスである。 *2 AECI社（南ア），石炭・メタノール化プラント操業中（石炭処理 約270t/d→メタノール生産90t/d），（計画プラント，メタノール生産2500t/d．1985年運転開始予定）	

表4－1　化石燃料の発電形態別経済性試算の一例

項目		石炭ガス化複合発電	微粉炭火力	重油火力	液化油火力	メタノール
経済性	発電原価（円/KWH）	12.51～13.72	12.4	19.9	21.4	22.3
	発電所建設費（万円/KW）	24.0	20.0	14.0	14.4	11.6
送電端熱効率（HHV）%		39.0	35.8	36.9	36.9	36.4
備考		1320℃級ガスタービンと蒸気タービンによる複合発電				

注　石炭新利用技術開発の現状と課題，電中研調査報告　より。

5. 石炭ガス化複合発電およびメタノール燃料利用発電技術の展望[4)]

我が国情に適合した石炭ガス化複合発電プラントを研究開発するためには，前述したように次の目標が必要である。

(1)　高効率大容量化

(2)　広範囲炭種適合性

(3)　立地促進に役立つ優れた環境保全性

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表4−2　石炭新利用方式の総合評価

評価項目＼利用方式	微粉炭火力 ① バルク輸送 − 発電	微粉炭火力 ② 水スラリ輸送 − 発電	石炭液化油	メタノール	石炭ガス化複合発電*	流動床燃焼発電	溶剤精製炭	S O M	微粉COM	粗粒COM	備考
狙い（期待される長所）	脱石油	脱石油 流体化輸送	液体燃料 石油代替用	LNGなみのクリーン 液体燃料	高効率化・環境対策	適用炭種の多様化 環境対策	脱灰炭	脱灰・流体化，省石油	液体化 省石油	流体化，大巾な省石油	
実用化可能予想時期	実用中	—	1990年代前期	1990年代	1990年代（1200℃級ガスタービン）1990年代後期（1500℃級ガスタービン）	1980年代後期（常圧型）1990年代後期（加圧型）	1990年代前期	—	1980年代前期	—	
発電所立地上の得失	港湾施設大規模化 灰捨用地大	港湾施設簡略化可能（神取り可能）	重油火力なみ	都市近郊立地の可能性が考えられる	プラント敷地は微粉炭火力より小	プラント敷地は微粉炭火力より小	灰捨用地大巾縮少	港湾施設簡略化可能（神取り可能），灰捨用地縮少	港湾施設簡略化可能（神取り可能），灰捨用地縮少	港湾施設簡略化可能（神取り可能）	
環境保全対策 発電所	炭じん対策 排煙処理 排水処理 灰処理 } 必要	炭じん対策不要 スラリー系排水処理の追加必要	重油火力なみ	重油火力より大巾低減（排煙処理，灰処理不要）	排煙の除じん，脱硫は不要，排ガスは重油火力以上のクリーン化可能	炉内脱硫可能 灰処理の負担増大	排煙脱硫，除じん，灰処理の負担大巾な負担軽減	炭じん対策不要 灰処理負担は重油火力よりやや大，他は重油火力なみ	炭じん対策不要 排煙処理の負担は微粉炭火力①より小	炭じん対策不要 他は微粉炭火力①と同様	排煙処理は脱硫，除じん，脱硫を含む
環境保全対策 積込，輸送時	炭じん対策，騒音対策 必要	炭じん対策不要	重油なみ	原油なみ	バルク輸送 − 発電 に同じ	左に同じ	左に同じ	重油と殆ど同じ	左に同じ	バルク輸送 − 発電 に同じ	
環境保全対策 燃料製造，調製時		炭じん対策必要	炭じん対策必要 固体，液体，気体排出物処理必要	左に同じ			炭じん対策必要 固体，液体，気体排出物処理必要	炭じん対策 重油取扱設備対策必要	左に同じ	重油取扱設備対策必要	
送電端効率*（HHV%）	35.8	34.4（水分32% 石炭）	36.9	36.4	39.0（1320℃ ガスタービン）	35.8	—	—	—	—	*定格値ではなく年設備利用率70%として予測した値
既設火力への適用性		微粉炭火力に適用可能（スラリ取扱：脱水設備必要）	重油火力，微粉炭火力に適用可能	LNG火力，微粉炭火力に適用可能，重油火力（要改造）			微粉炭火力に適用可能（要小改造）	微粉炭火力，重油火力に適用可能（要改造）	微粉炭火力に適用可能，重油火力（要大巾改造）	微粉炭火力に適用可能	
経済性 発電所建設費（10^3円/kW）	200	186	144	116	240（223〜257）	184	—	—	—	—	重油火力：140
経済性 発電コスト（円/kWH）	12.42	12.39	21.43	22.29	13.11（12.51〜13.72）	11.44	—	—	—	—	重油火力：19.90
総合エネルギー効率** $\left(\frac{送電電力量}{全エネルギー投入量}\right)$（%）	34.7	32.9	25.8	20.0	37.7	34.6	—	—	—	—	**山元より送電端までの直接投入エネルギーを全エネルギー投入量とした（図Ⅱの注2）参照）
備考		海外〜国内輸送の要素技術未開発	重油ボイラにそのまま使用が可能	複合発電方式とすれば発電効率の向上が見込まれる	発電効率の向上が見込まれる	劣質な燃料も使用可能	脱灰，低硫黄高発熱量炭	溶剤精製炭−重油−スラリー燃料	石炭−重油−スラリー燃料	石炭の総合的輸送・利用・灰処理システム（ACC）の中で検討中	

注）経済性ならびに総合エネルギー効率の評価の対象とした石炭新利用方式は，石炭液化油，メタノール，石炭ガス化複合発電，流動床燃焼発電である。

(4) 負荷応動性

石炭ガス化炉型式は噴流床方式，流動床方式，固定床方式，溶融床方式があるが，発電用として適していると考えられているのは噴流床方式と流動床方式である。流動床方式はサンシャイン計画が「ガス化発電技術の開発」において開発が進められている。しかし，噴流床方式と流動床方式のどちらが電気事業に適しているか，その評価は，定っていない。したがって，現在国が開発を進めている流動床石炭ガス化方式の開発に加えて噴流床石炭ガス化方式の開発を進めることが肝要であろう。

クリーンアップ装置は湿式と乾式がある。湿式はガス化生成ガスの顕熱損失等が乾式に比べ大きいので高効率化の観点から乾式高温クリーンアップ装置の開発が必要であろう。

石炭ガス化用ガスタービンについては空冷方式と水冷方式があり，高効率化するためにはガスタービンの高温化が必要である。空冷ガスタービンではクリーン燃料でも1300〜1400℃が限界であるのに対し，水冷ガスタービンではダーティ燃料で1500℃以上の可能性を秘めており，大幅な高効率化の可能性をもっている。

また，高効率化，負荷応動性の改善をはかるためには，プラントの最適システム構成技術，運転制御技術の開発が必要である。

我が国の国情に適合した石炭ガス化複合発電プラントの要素技術を開発するための予測期間はおよそ表5−1に示す如くである。実証プラントを開発するためには実証期間が約5年必要であるので，合計約15年間必要と考えられる。

また我が国の国情に適合した石炭ガス化複合発電プラントを開発するためには表5−2に示すような段階が必要と考える。

1）Phase 0　石炭ガス化複合発電システム概念設計
2）Phase 1　ベンチスケール実験設備による要素技術の開発
3）Phase 2　パイロットプラントによる要素技術の開発
4）Phase 3　実証プラントによるプラント技術の開発

中間目標として第1世代実証プラントを開発し，次に最終目標として第2世代実証プラントを開発することが望ましい。

石炭ガス化複合発電プラントが開発され，普及

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表５－１　石炭ガス化複合発電プラント要素技術研究開発期間予想

研究	開発課題	研究項目	研究開発期間（年間）	備考
システム技術	石炭ガス化複合発電プラント最適システム構成技術	最適機器構成技術の開発 熱回収技術の開発	8	熱効率向上，信頼性向上が期待出来る。
	石炭ガス化複合発電プラント運転制御技術	最適運転制御技術の開発 運転監視技術の開発	7	運転信頼性，負荷の応動性の向上が期待出来る
石炭ガス化炉	噴流床石炭ガス化技術	石炭ガス化方式の開発 広範囲炭種適合性技術の開発 部分負荷特性の改良 灰処理方式の開発	8	ガス化効率向上広範囲炭種適合性が期待出来る
クリーンアップ装置	乾式クリーンアップの技術	乾式加圧高温用高性能低圧損型精密集じん技術の開発 乾式高性能脱硫技術の開発 乾式脱硫剤再生技術の開発	7	熱効率向上への寄与が期待出来る
石炭ガス化用ガスタービン	水冷却等の新冷却技術	水冷却方式の開発 水冷却構造の検討 融着障害対策技術の開発	10	大巾な熱効率向上が期待出来る
	低NOx燃焼器技術	低NOx燃焼方式の開発 低カロリー燃焼方式の開発	8	大巾な低NOx化可能性有
	高温耐食材料技術	高温腐食対策技術の開発 高温侵食対策技術の開発	10	大巾な信頼性向上が期待出来る

表５－２　我が国情に適合した石炭ガス化複合発電プラント研究開発段階

研究段階	研究開発目標
Phase 0 石炭ガス化複合発電システム概念設計	(1) 電気事業に適合した石炭ガス化複合発電システムの把握
Phase 1 ベンチスケール実験設備による要素技術の開発	(1) 炭種適用性評価 (2) 各種噴流床石炭ガス化方式の比較検討 (3) 噴流床石炭ガス化炉，乾式クリーンアップ装置，水冷ガスタービン実験設備等による基礎要素技術の開発
Phase 2 パイロットプラントによる要素技術の開発	(1) 立地促進に役立つ優れた環境保全性の第１世代パイロットプラントによって噴流床石炭ガス化炉，湿式クリーンアップ装置，空冷ガスタービン等要素技術の開発 (2) 立地促進に役立つ優れた環境保全性で，かつ高効率化した第２世代ＰＤＵによって噴流床石炭ガス化炉，乾式クリーンアップ装置，水冷却等新冷却ガスタービン等要素技術を開発する。 (3) 第２世代ＰＤＵの成果にもとづき第２世代用パイロットプラントによって要素技術の改良およびスケールアップを行い，総合要素技術を開発する。
Phase 3 実証プラントによるプラント技術の開発	(1) 立地促進に役立つ優れた環境保全性のある第１世代実証プラント（総合熱効率HHV41%，湿式クリーンアップ装置，空冷ガスタービン採用）の開発 (2) 立地促進に役立つ優れた環境保全性があり，かつ高効率化した第２世代実証プラント（総合熱効率HHV46%，乾式クリーンアップ装置，水冷等新冷却方式ガスタービン，低NOx燃焼器等採用）の開発

するための最後の決め手は経済性であり，石炭火力より大幅に発電コストが安価になることが必要である。図5－1に示すように第1世代 石炭ガス化複合発電プラントは過渡的役割を果たすもので，第2世代実証プラントによって研究開発目標が全て満たされることとなる。

第1世代と第2世代実証プラントの要素技術の連続性をみるため，表5－3に技術予測を，図5－2に各世代の要素技術開発課題を示す。第1世代と，第2世代で技術的連続性があるのは石炭ガス化炉で，他の要素については技術的連続性が弱い。したがって，石炭ガス化複合発電プラントの早期開発のためには第1世代と第2世代用要素技術の開発を，併行して進めることが重要である。

現在，興味をもたれている技術的事項の主なものは次の通りである。

(1)　ガス化剤の選定

(2)　常圧型と加圧型噴流床石炭ガス化方式の選定

ガス化剤の選定については，発電用として現在空気の方により興味が持たれているが，表５－４

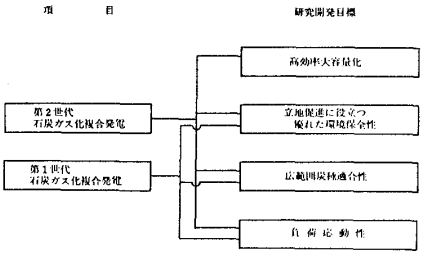


図５－1　各世代の石炭ガス化複合発電プラントの研究開発目標

表５－３　石炭ガス化複合発電に関する技術予測

項目	総合熱効率予測値(HHV)	環境保全性 SOx (ppm)	環境保全性 NOx (ppm)	環境保全性 ばいじん (mg/Nm³)	研究開発課題	実用化プラント実現時期	備考
石炭火力発電	約37%	100	300	50	・環境対策技術の開発	現行	
第１世代 石炭ガス化複合発電	約41	60	60	10	・石炭ガス化炉の開発 ・石炭ガス化用空冷ガスタービンの開発 ・システム技術の開発 ・プラントの開発	1990年頃	・湿式クリーンアップ装置 ・空冷ガスタービン
第２世代 石炭ガス化複合発電	約46	<30	<30	<5	・石炭ガス化炉の開発 ・乾式クリーンアップ装置の開発 ・石炭ガス化用水冷ガスタービンの開発 ・システム技術の開発 ・プラントの開発	1990年代中後期	・乾式クリーンアップ装置 ・水冷ガスタービン

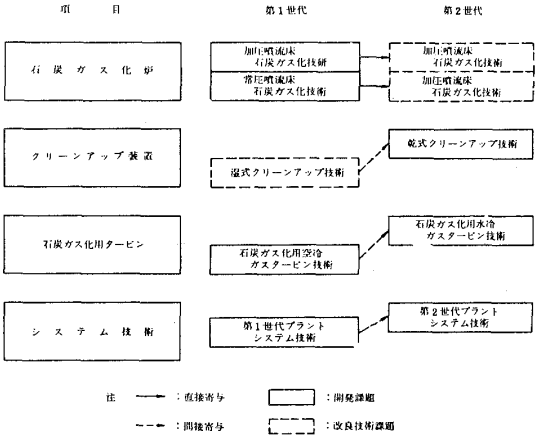


図５－２　各世代の石炭ガス化複合発電プラントにおける主な要素技術開発課題

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

に示すように評価は今後の研究に待たれる。また常圧型と加圧型についても，表5－5に示すようにそれぞれ技術的問題点が残されているので，今後の成果によって定まるものと考える。

以上，内外の研究開発動向，我が国の国情等を総合的に考慮すると石炭ガス化複合発電プラントを早期に開発し，定着させるためには，我が国の自主技術を基本として開発することが肝要である。

まず，パイロットプラントを開発し，それを改良開発する。必要に応じ異なる技術方式別の複数グループを形成するなど競争的開発に努めることが望ましい。また，調和のとれたシステムを早期開発するためには要素技術の開発は石炭ガス化炉クリーンアップ装置，ガスタービン等を一貫して開発を進めることが要求される。

表5－4　ガス化剤による石炭ガス化複合発電プラントの比較

項目＼ガス化剤	空　　気	酸　　素
経　済　性	(1) 酸素プラントがないので経済的に有利と見られる。	(1) 酸素プラントを設置するため所内動力率が高くなり，送電端熱効率が不利となる。 (2) 発電コストが空気酸化に比べ不利と見られる。
特　　徴	(1) 高温でガス化するためCH_4が分解して生成ガスが低カロリー化する。 (2) 酸素プラントがないため，その分用地面積が狭くてよい。	(1) 炭種適合性には有利となる。 (2) ガス化剤が酸素のため，低NOx化に有利。 (3) 生成ガスが比較的高カロリー化する。 (4) 負荷応動性が悪くなる。（最低負荷が高くなる。） (5) 酸素プラントが必要で，その分用地面積が増大する。
主な開発課題	(1) 低カロリー生成ガス用高温ガスタービン燃焼器の開発。 (2) 低NOx燃焼器の開発。	(1) 酸素プラントを設置しても，より高い送電端熱効率を得るプラント技術の開発。 (2) 発電コストの低減化。 (3) 酸素プラントのコンパクト化。
総合判断	空気と酸素，酸素リッチのいずれが発電用のガス化剤として総合的に適しているか，個々の場合についてその評価は最終的には定まっていない。	

表5－5　常圧型ならびに加圧型噴流床石炭ガス化複合発電プラントの比較

項　目	常圧噴流床石炭ガス化複合発電プラント	加圧噴流床石炭ガス化複合発電プラント
技術的可能性	微粉炭焚ボイラと技術的に近いので，最も早期に開発が可能である。	複合発電プラントの高効率化の可能性が高い。しかし技術開発課題が多い。
経　済　性	石炭ガス化炉本体の建設コストは安いが大巾な効率向上に難点があるので，将来どこまでコストダウン出来るかが今後の課題である。	複合発電プラントの高効率化の可能性があるので，将来どこまでコストダウン出来るかが今後の課題である。
特　　徴	(1) 開発要素が少く，運転保守信頼性が高い。 (2) 大容量化が容易である。 (3) 在来の石炭焚ボイラに付置して石炭ガス化火力発電が可能である。 (4) クリーンアップ装置の適用が容易。	(1) 開発要素が多いが，高効率化の可能性がある。 (2) 複合発電への適用容易 (3) 大容量化が容易である。
主な開発課題	(1) 石炭ガス化生成ガス用ガスタービン圧縮機の開発。 (2) 炭種適用性検討。 (3) 大容量化にともなう性能，耐火材質，構造の検討。 (4) クリーンアップ装置の検討。 (5) 石炭ガス化用ガスタービンの開発。	(1) 加圧下の石炭ガス化技術の開発即ち加圧型ガス化方式，石炭供給技術，灰処理技術の開発。 (2) 加圧下のクリーンアップ技術の開発。 (3) 石炭ガス化用ガスタービンの開発。
総合判断	石炭ガス化複合発電プラントとして常圧型，加圧型噴流床石炭ガス化炉のどちらが総合的に適合しているか現状では評価が定まっていない。	

石炭ガス化複合発電プラントはシステムが複雑多岐にわたっているので，研究開発を統括し，強力に推進する研究開発体制を整えることが肝要である。

メタノール燃料利用発電プラントの研究開発においても，その目標は，

1）高効率大容量化

2）負荷応動性

であり，環境保全性はメタノールがLNGなみの極めてクリーンな燃料であることから満足され得るものと考えられる。

以上の目標達成のためには，やはり複合発電プラント形態が最適であり，メタノールのガスタービンの利用に関して我が国も積極的な研究開発が必要である。メタノール複合発電は今後の燃料状況の推移によっては大きな期待が寄せられるものである。しかしメタノール利用の場合総合エネルギー効率の向上，石炭転換のエネルギー収率の向上による経済性が最大の課題と言える。

6. む す び

我が国のエネルギー問題克服のためには，石炭を利用し，かつ高効率化および環境保全性が優れた発電技術の開発が重要な研究開発課題である。しかし我が国においては発電用石炭利用技術の経験が乏しく，研究開発についても模索している段階である。また，我が国の国情は欧米とはかなり異っており，単に欧米技術の導入のみでは，定着・発展はむずかしい。

このような状況から我が国に適した石炭利用発電のうち石炭ガス化複合発電更にはメタノール複合発電を取り上げ概略的に述べたが，その最も重要な課題は石炭ガス化用ガスタービン更にはメタノール用ガスタービンである。この課題の我が国独自の開発に向け官民あげて強力に推進することができ得ることを期待するものである。

文　　献

1）大塚他，石炭新利用技術の電力への適用とその評価，電力中央研究所報告202

2）高効率ガスタービン技術欧州調査団報告書　S.55

3）石炭利用発電プラント技術総合資料集，　フジテクノシステム

4）水谷他，石炭ガス化複合発電に関する当面の研究課題について，電力中央研究所報告280062

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

技　術　論　文

プローブモデル計算によるNO−NO_2変換の研究

東京大学工学部　境界領域研究施設　堀　　守　雄

1. まえがき

これまでに行われたNO_xの生成機構と抑制法の研究の多くは，NOを対象とするものであった。燃焼により生成・排出されるNO_xは主にNOとNO_2で構成されているが，従来，NOに比べてNO_2は，無視し得るほどわずかしか存在しないと考えられたからである。ところが，1971年にガスタービン排ガス中のNO_xの多くの割合をNO_2が占める測定結果が報告され[1]，その後の基礎的な燃焼研究においても，予混合平面火炎[2]~[4]，乱流拡散火炎[5]，噴流かくはん反応器[6]などで，NOのほかにかなりの濃度のNO_2が測定された。燃焼場にかなり多くのNO_2が存在することは，それまでのNO_x生成機構では説明できないことであり，NO_2の存在および生成機構の問題が最近注目されるようになった。この問題は，実用面でも，低NO_x燃焼法および排ガス処理法などと関連して重要と思われる。

NO_2の生成機構として，Merrymanら[2]はNO_2は火炎帯付近で急速に生成すると考えたが，一方Allen[3]は，NO_2はサンプリングプローブ内のNO−NO_2変換反応により生じると考えた。最近，後者の考えに沿った実験および計算による研究が，何人かの研究者によって行われた[6]~[12]。これらの研究により，(1) 高温の火炎や燃焼ガス中に存在するNO_2は非常にわずかであること，(2) サンプリングプローブ内でNOからNO_2への変換が生じるために高いNO_2/NO_xが得られること，(3) NO−NO_2変換の程度はサンプリング条件に支配されること，などが示された。すなわち，NO_x濃度の測定において，プローブ内のNO−NO_2変換がNO,NO_2濃度の測定結果に影響することが明らかになった。

（昭和56年7月27日原稿受付）

本研究の目的は，プローブモデル計算を用いて，NO，NO_2濃度の測定におけるサンプルガスおよびプローブの条件が，NO−NO_2変換に及ぼす影響を調べ，サンプリング条件最適化の指針を得ることである。モデル計算は，石英製プローブを対象とし，著者が予混合メタン火炎に適用して実験結果と良い一致を得た方法[11]により行った。サンプルガス条件としては，当量比，初期サンプル温度，初期NO_2/NO_x，初期NO濃度を，プローブ条件としては，サンプルの冷却速度，サンプル流量，プローブの表面積・体積比，サンプル圧力を取り上げた。

2. プローブモデル計算の方法

2−1　気相反応　モデル計算に採用した気相反応の反応式，正方向の反応速度定数k_fとその出典を表1に示す（T：温度(K)，E：活性化エネルギー(cal/mole)，R：一般気体定数＝1.9872(cal/mole K)）。速度定数の選定に際しては，多くの反応について倉谷の報告[14][18]を参考にした。逆方

表1　気相反応および反応速度定数

$k_f = A \exp(-E/RT)$,　units = cm, cal, mole, sec, K

	REACTION	A	E	REFERENCE
1	$H + O_2 = OH + O$	2.24×10^{14}	16800	13
2	$O + H_2 = OH + H$	$1.80 \times 10^{10} T^{1.0}$	8900	13
3	$H + H_2O = H_2 + OH$	9.30×10^{13}	20360	13
4	$O + H_2O = OH + OH$	6.80×10^{13}	18360	13
5	$H_2 + M = H + H + M$	4.58×10^{14}	99880	14
6	$O_2 + M = O + O + M$	$1.78 \times 10^{18} T^{-1.0}$	117960	14
7	$H_2O + M = OH + H + M$	3.36×10^{17}	116200	8
8	$CO + OH = CO_2 + H$	5.60×10^{11}	1080	15
9	$NO + O + M = NO_2 + M$	$1.83 \times 10^{20} T^{-1.63}$	0	14
10	$NO + O_2 = NO_2 + O$	1.91×10^{12}	46650	14
11	$NO + OH = NO_2 + H$	5.50×10^{12}	31020	13
12	$NO + NO + O_2 = NO_2 + NO_2$	4.00×10^{9}	0	14
13	$NO + HO_2 = NO_2 + OH$	1.40×10^{14}	1400	9
14	$HO_2 + M = H + O_2 + M$	2.19×10^{15}	45790	14
15	$HO_2 + H = OH + OH$	2.50×10^{14}	1900	15
16	$HO_2 + H = H_2 + O_2$	2.50×10^{13}	695	15
17	$HO_2 + OH = H_2O + O_2$	5.00×10^{13}	1000	16
18	$HO_2 + O = OH + O_2$	4.80×10^{13}	1000	16
19	$HO_2 + H = H_2O + O$	5.00×10^{13}	1000	16
20	$HO_2 + HO_2 = H_2O_2 + O_2$	1.80×10^{13}	1000	13
21	$HO_2 + H_2O = H_2O_2 + OH$	1.96×10^{13}	31990	13
22	$HO_2 + H_2 = H_2O_2 + H$	7.30×10^{11}	18680	13
23	$H_2O_2 + H = H_2O + OH$	2.20×10^{15}	11720	13
24	$H_2O_2 + O = HO_2 + OH$	2.80×10^{13}	6360	17
25	$H_2O_2 + M = OH + OH + M$	1.20×10^{17}	45500	13
26	$O + O_2 + M = O_3 + M$	1.00×10^{13}	1700	8
27	$O + O_3 = O_2 + O_2$	5.37×10^{12}	4300	8
28	$H + O_3 = O_2 + OH$	1.00×10^{13}	0	8
29	$NO + O_3 = NO_2 + O_2$	8.89×10^{11}	2600	8

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

向の速度定数は文献[9][14]によるか，正方向の速度定数と平衡定数[19]から求めた。気相反応は29個の反応を含んでおり，1～7はO-H系反応，8はCO系の反応，9～13および29は$NO-NO_2$変換反応，14-25はHO_2系およびH_2O_2系反応，26-28はO_3系の反応である。なお，逆方向の反応は，反応の番号にマイナスをつけて表わす。有名なNO生成機構である拡大Zeldovich機構はプローブ内反応にはほとんど影響しないので，またJohnsonら[9]が採用したHNO_2，HNO_3を含む反応も影響が少ないので除外した。主にH_2O_2，O_3系の速度定数は適用できる温度範囲が1000K以下に制限されるものが多いが，プローブ内の温度低下は速く，これらの成分が生じる温度範囲は主に1000K以下なので，文献の値をそのまま採用した。$NO-NO_2$変換反応で特に重要な13の速度定数はまだ確定していないが，ここではJohnsonら[9]の用いた最近のデータに基づく値を採用した。

2－2 壁面反応 プローブ内の反応においては，プローブ壁面での活性化学種の再結合反応を無視することはできない。このような壁面反応の機構の詳細は不明な点が多いが，本モデル計算では，活性化学種の石英プローブ壁面での再結合反応として次の反応を仮定した[20][21]。

$$OH \rightarrow \frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{4}O_2 \qquad (1)$$

$$H \rightarrow \frac{1}{2}H_2 \qquad (2)$$

$$HO_2 \rightarrow \frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{4}O_2 \qquad (3)$$

$$O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 \qquad (4)$$

これらの一次反応の速度定数の計算にはAmin[7]の導いた式を用いた。すなわち，化学反応律速の速度定数k_Rは，

$$k_R = \frac{\gamma}{4}\left(\frac{S}{V}\right)\bar{c} \quad (s^{-1}) \qquad (5)$$

（γ：表面活性係数，S/V；プローブの表面積・体積比（cm^{-1}），$\bar{c}$：活性化学種の平均分子（原子）速度（cm/s）$=\sqrt{8RT/\pi M}$，R：一般気体定数$=8.314\times10^7$ erg/mole K，T：サンプルガス温度(K)，M：分子量（g/mole））であり，一方拡散律速の速度定数k_Dは，

$$k_D = \frac{14.64}{d^2}D_i \quad (s^{-1}) \qquad (6)$$

（d：プローブ内径(cm)，D_i：活性化学種の拡散係数（cm^2/s））である。これら2種類の反応のうちで，遅い反応が壁面反応を律速すると考える。

(5)式のk_Rの計算に必要なγの値は，H，OH，HO_2[20]，O[22]，H，OH[23]について文献に見られるが，いずれも不完全なデータである。そこで，これらのデータを検討し，本計算では，活性化学種によるγの変化は小さいと仮定して，γには，温度依存性を考慮したGreavesらの値[22]を採用した。一方(6)式のk_Dの計算に必要なD_iの値は，OH，HO_2に対しては文献(9)，Hに対しては文献(8)，Oに対しては文献(7)のデータを参考にし，$D_i \propto T'^{1.75}/P$（P：圧力（atm））と表わし，T′には壁面に近い拡散層の代表温度として，ガス温度と壁温の平均値（K）を用いた。

以上に述べた気相反応と壁面反応を組み合わせて，後で述べるサンプルガス条件およびプローブ条件のもとで計算を行い，プローブ吸引後のサンプルの成分濃度変化を求めた。気相反応の計算には小竹と佐野の方法[18]を用いた。計算は初期時間刻みを10^{-8} sとし，多くの場合プローブ内経過時間10^{-1} sまで行ったが，1回の計算所要時間は，FACOM M-200型計算機で約2分であった。

2－3 サンプルガス条件 サンプルには，常圧における予混合メタン火炎の燃料希薄条件での燃焼ガスを考えた。サンプル条件としては，当量比，初期サンプルガス温度，成分濃度がある。本計算では，基準の条件として著者らの予混合メタン火炎の実験の一つの条件[10]を採用した。それは，当量比$\Phi=0.8$，初期サンプルガス温度$T_0=1776$ K，初期NO濃度$[NO]_0=17$ppm（$[NO_2]_0=0$）である。なお，すべての場合についてNO，NO_2以外の成分のうち，HO_2，H_2O_2，O_3の初期濃度はゼロとし，その他の安定成分，活性化学種の初期濃度はその当量比，初期サンプルガス温度における平衡濃度（計算値）とした。HO_2の初期濃度をゼロとしても，平衡濃度としても，NO_2/NO_xの計算結果に影響を及ぼさないことはJohnsonら[9]によっても確認されており，一方高温ガス中のH_2O_2，O_3濃度は無視できるほど低い。

基準の条件のまわりにそれぞれのサンプルガス条件を変えて計算を行うが，Φは0.7～1.0の間で（T_0，$[NO]_0$は実測値[10]），T_0は$\Phi=0.8$の断熱火

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

炎温度(1997K)から1500Kの間で,初期NO_2/NO_xは, 0, 0.5, 1.0に, $[NO]_0$は5～1500ppmの間で変化させた。

2－4 プローブ条件 プローブの材質は石英とし, プローブ条件としては, サンプルの冷却速度, サンプル流量, プローブの表面積・体積比, サンプル圧力を考えた。プローブ内の流れは準一次元と仮定し, サンプル温度Tは実測結果[10]に基づいて, 近似的に次式で表わした。

$$T=T_w+(T_0-T_w)\exp(-aX) \quad (7)$$

(T_w：プローブ壁温＝343K(温水冷却), T_0：初期サンプルガス温度(K), X：プローブ入口からの距離(cm))冷却速度を表わすパラメータには, Tが1.1 T_wまで低下する距離X_0を用いる。基準のプローブ条件として, 水冷石英マイクロプローブの実験[10]に近い条件, すなわち, X_0＝1.3cm, サンプル流量Q_s＝76cc/min, 表面積・体積比S/V＝20cm^{-1}(プローブ内径2mm), 圧力P＝0.05 atmを採用した。

この基準の条件のまわりにそれぞれのプローブ条件を変えて計算を行うが, X_0は0.1～10cmの間で, Q_sは76～1000cc/minの間で, S/Vは0~100cm^{-1}の間で, Pは0.05～1.0atmの間で変化させた。以上述べたサンプルガス条件とプローブ条件を組み合わせた計算条件の一覧を表2に示す。

表2 サンプルガス条件およびプローブ条件

SAMPLE CONDITIONS				PROBE CONDITIONS			
Φ	T_0(K)	$[NO]_0$(ppm)	$[NO_2]_0$(ppm)	X_0(cm)	Q_s(cc/min)	S/V(cm^{-1})	P(atm)
0.8	1776	17	0				
0.7	1618	5	0				
0.9	1969	43	0				
1.0	2153	70	0				
0.8	1500-1997	17	0	1.3	76	20	0.05
		17	0				
0.8	1500-1997	8.5	8.5				
		0	17				
0.8	1776	5-1500	0				
				0.1-10	76	20	0.05
				1.3	76-1000	20	0.05
0.8	1776	17	0	1.3	76	0-100	0.05
				1.3	76	20	0.005-1.0

3. サンプルガス条件の影響に関する計算結果

本章で述べる計算結果のプローブ条件は, X_0＝1.3cm, Q_s＝76cc/min, S/V＝20cm^{-1}, P＝0.05 atmである。

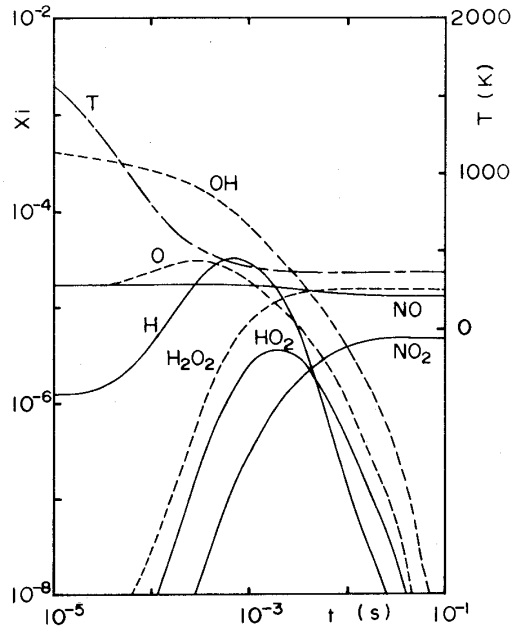


図1 サンプル温度および主要成分モル分率
(Φ＝0.8, T_0＝1776K, $[NO]_0$＝17ppm)

3－1 当量比の影響 Φ＝0.8の基準条件におけるサンプル温度T, 主要成分モル分率X_iをプローブ内経過時間tに対して図1に示し, NO～NO_2変換の過程についてはじめに述べる。図1によると, サンプル温度はT_0＝1776Kから急速に低下し, 約2.3msで壁温とほぼ等しくなる。初期に存在する活性化学種(OH, O, H)の濃度は一部はオーバーシュートを示すが, 気相および壁面再結合反応により低下していき, 二次的にHO_2, H_2O_2, O_3を生じる(O_3のモル分率の最大値は3.41×10^{-9}である)。壁面反応はほとんど反応速度律速で進行する。HO_2は主に－14により生成し, 約2msで3.6ppmのピークを示した後低下する。NO_2は二次生成物の上昇よりわずかに遅れて, 500K以下の温度範囲, msのオーダの経過時間において急速にNOから変換されて生じ, 最終的に約4.5ppm(NO_2/NO_x＝0.267)に達する。これがプローブにおけるNO-NO_2変換であり, NO_2の増加量はNOの減少量と等しく, 全NO_x濃度は保存されている。

NO-NO_2変換を支配する反応を明らかにするために, 図2に素反応と正味のNO_2生成速度およびNO_2/NO_xを示すが, NOからNO_2へは13の寄与が, NO_2からNOへは－11の寄与が大きいことがわかる。500K以下の温度範囲で各NO-NO_2変換反

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

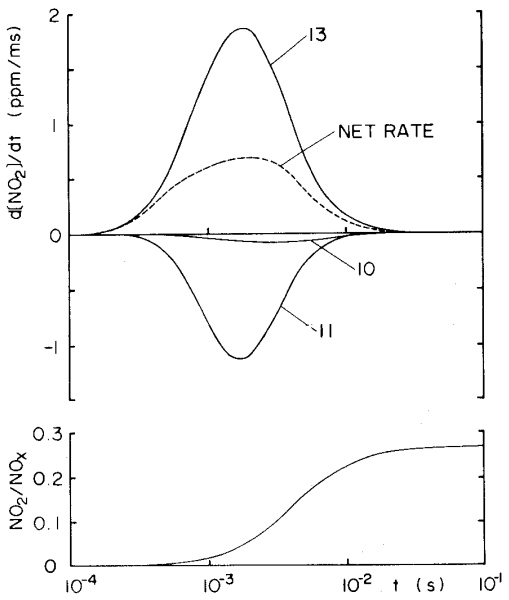


図2 素反応と正味のNO_2生成速度およびNO_2/NO_x
（$\Phi=0.8$, $T_0=1776$ K, $[NO]_0=17$ppm）

応の反応速度を検討すると，NO_2の生成速度は近似的に次のように書ける。

$$d[NO_2]/dt \approx k_{f13}[NO][HO_2] - k_{r-11}[NO_2][H] \quad (8)$$

（k_f, k_r：正方向および逆方向の速度定数）

$\Phi=0.7\sim1.0$におけるNO，NO_2濃度，NO_2/NO_xのプローブ入口からの距離Xに対する変化を図3に示す。当量比を0.8から増加すると，T_0，初期活性化学種濃度は高くなるが，生じるNO_2の濃度は低下し，NO_2/NO_xも低下する。これは，当量比が増加すると，－14によるHO_2の生成が抑えられるとともに15, 19によるHO_2の消滅が進むためにHO_2濃度が低くなり，またH濃度が高くなるために主に13と－11で決まるNO_2生成速度が低下するからである。$\Phi=1.0$でのNO_2生成速度の最大値は$\Phi=0.8$の約1/10となる。一方$\Phi=0.7$では，$\Phi=0.8$に比べて活性化学種濃度，NO濃度ともに低いので，生じるNO_2の濃度は低下するが，全NO_x濃度が小さいために，NO_2/NO_xは最も大きな値となる。このように，燃料希薄になるなど，プローブにより測定されるNO_2/NO_xは上昇する。

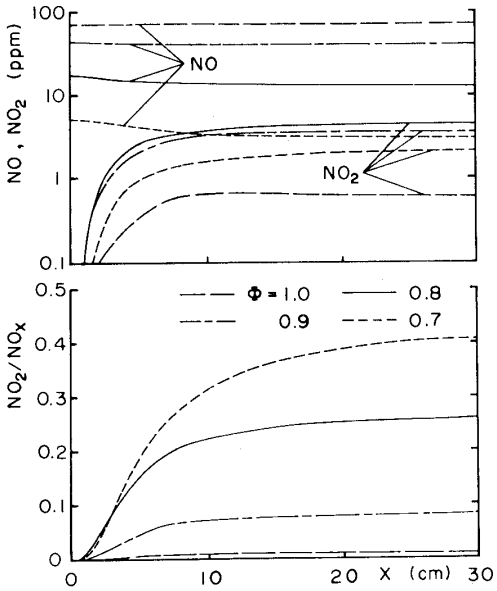


図3 当量比によるNO，NO_2濃度およびNO_2/NO_xの変化（$\Phi=0.7\sim1.0$）

3－2 初期サンプルガス温度の影響 初期サンプルガス温度T_0が1997Kと1500Kでのサンプル温度T，NO，NO_2，H，HO_2のモル分率のtに対する変化を図4に示す。図4によると，NO_2の生成に対して，サンプル温度よりも活性化学種濃度の影響が大きいことが推測できる。T_0を下げると，－14においてH濃度の低下によりHO_2の生成は抑えられ，NO_2の生成に関しては，HO_2濃度の低下により13の反応速度が，H濃度の低下により－11の反応速度が抑えられる。13と－11の反応速度の差で

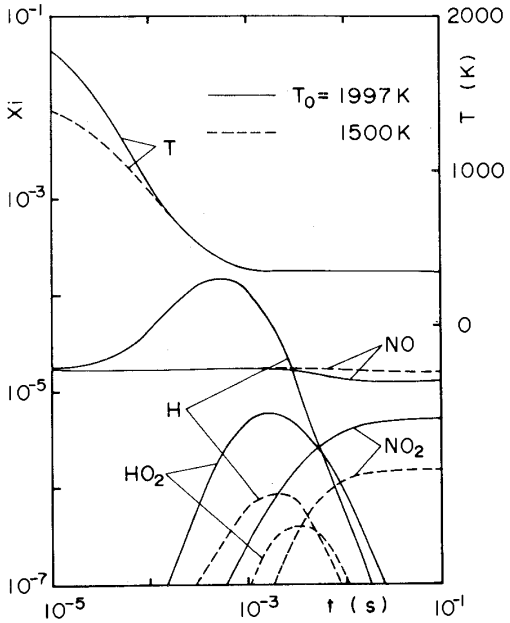


図4 初期サンプルガス温度1500K, 1997Kにおけるサンプル温度および主要成分モル分率
（$\Phi=0.8$, $[NO]_0=17$ ppm）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

あるNO2の生成速度は，T0が1997Kから1700Kの間ではほぼ一定の値を示し，1600K以下では急速に低下してゆく。

図5にT0をパラメータとしてNO2/NOxの変化を示す。上に述べた理由から，1900Kから1700KではNO2/NOxは0.284から0.235（NO2濃度にして0.8ppm）しか変らないが，1600K以下では大幅に低下する。1977Kから1700Kの間でも最終NO2／NOxがT0の低下とともにわずかづつ低下するのは，HO2濃度の低下が早くなるためである。

T0の低下がNO2/NOxを低下させるこの結果は，Φを変えた時の初期温度の低下がNO2/NOxを上昇させる前節の結果と矛盾するように見えるが，これはT0を変えた場合はH濃度のみの影響が主にあらわれるのに対し，Φを変えた場合はO・H比，温度，全NOx濃度の影響があらわれるからである。

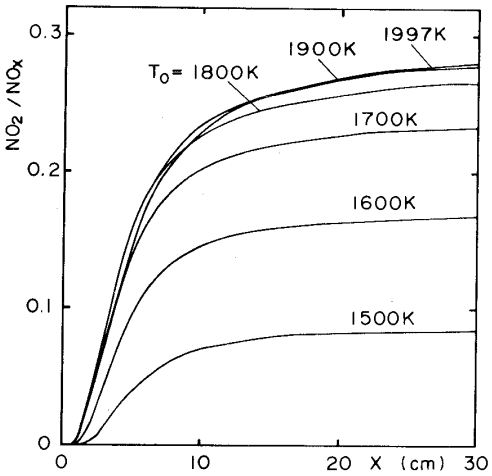


図5　初期サンプルガス温度によるNO2/NOxの変化（Φ＝0.8，［NO］0＝17ppm）

3－3　初期NO2/NOxの影響　これまで初期NO2/NOxはゼロとして計算した。これは高温燃焼ガスでは，NO2がほとんど存在しないと思われ[9]，また初期NO2/NOxを変えてもモデル計算の結果に影響しないからである。しかし，前節の計算結果によると，サンプルガス温度が低下するとNO－NO2変換は生じにくくなるので，初期NO2／NOxが計算結果に影響する可能性があり，以下この点について検討する。

図6には，T0＝1776Kと1600Kにおいて，初期全NOx濃度（17ppm）が，NOのみの場合，NO，

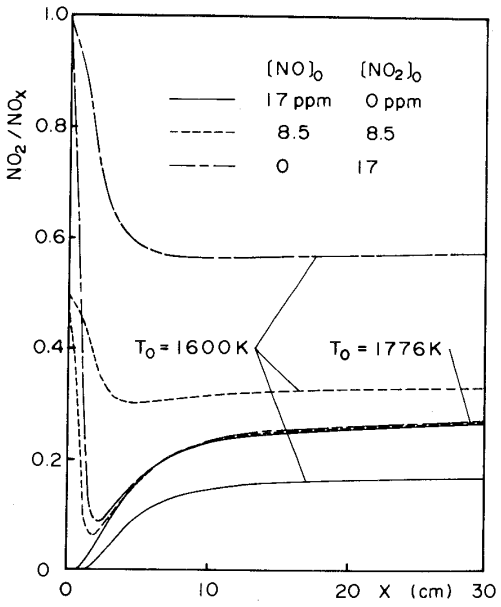


図6　初期NO2/NOxによるNO2/NOxの変化（Φ＝0.8）

NO2が等濃度の場合およびNO2のみの場合についてNO2/NOxの変化を示す。T0＝1776Kでは，初期に存在するNO2はX≈2cm（t≈2ms）までに急速にNOへ変換され，それ以後初期NO2/NOxのNO－NO2変換に及ぼす影響は見られないが，T0＝1600KではNO2からNOへの変換が遅く，最終計算結果は初期NO2/NOxに依存する。計算結果が初期NO2/NOxに依存するのはT0が1700K以下の場合で，これは前節の結果で，NO2/NOxが大幅に低下しはじめる温度とほぼ一致している。

これらの結果から，高温ガスのプローブによる測定で得られたNO2／NOxは元のガス中のNO2／NOxに全く依存しないが，低音ガスで高いNO2／NOxが測定された場合は元のガス中にNO2が存在する可能性のあることがわかる。

3－4　初期NO濃度の影響　初期NO濃度［NO］0＝5，50，500ppmにおけるNO，NO2，HO2のモル分率のtに対する変化を図7に示す。NO濃度の増加により13の反応速度が速くなり，NOが二次的に生じるHO2とすみやかに反応してNO2へ変換されるので，NO2濃度は増加し，一方HO2濃度のピーク値は低下する。［NO］0＝5ppmの場合に比べて500ppmでは，NO2の最大生成速度は約19倍となる。［NO］0＝5～500ppmでのNO2濃度，NO2/NOxを図8に示す。［NO］0の増加割合に比べてNO2濃度の増加割合は小さいのでNO2／NOx

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

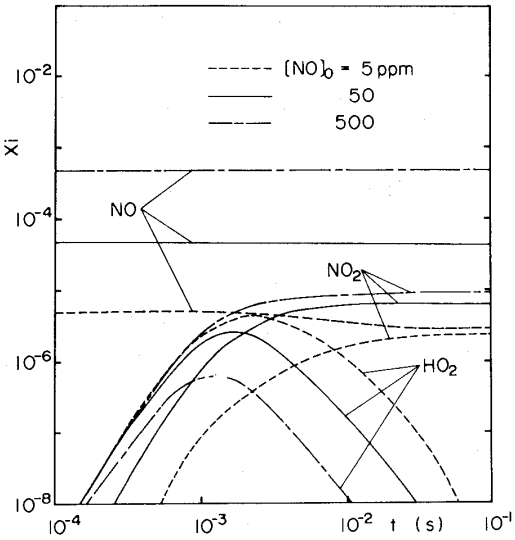


図7　初期NO濃度5, 50, 500ppmにおけるNO, NO_2, HO_2のモル分率（$\Phi=0.8$, $T_0=1776K$）

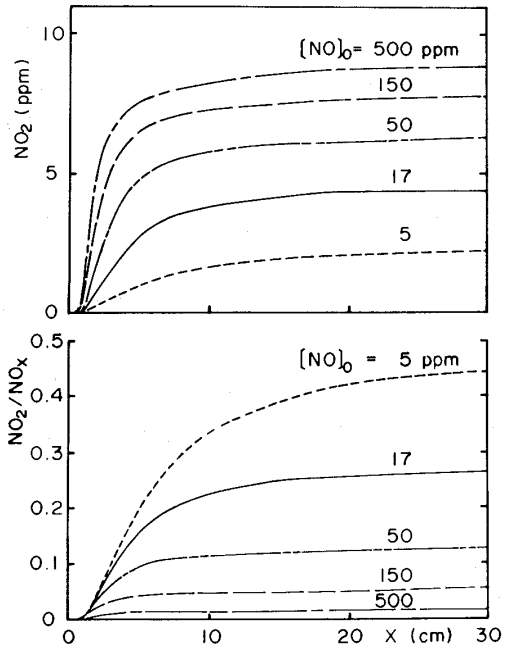


図8　初期NO濃度によるNO_2濃度およびNO_2/NO_xの変化（$\Phi=0.8$, $T_0=1776K$）

は$[NO]_0$の増加によりかえって低下する。例えば$[NO]_0=500$ppmでは，最終NO_2/NO_xはわずか1.8％となり，NO濃度が非常に高いガスでは，プローブで生じるNO_2はほとんど問題とならないであろう。

4. プローブ条件の影響に関する計算結果

本章で述べる計算結果のサンプルガス条件は，$\Phi=0.8$, $T_0=1776K$, $[NO]_0=17$ppmである。

4－1　サンプルの冷却速度およびサンプル流量の影響

冷却速度のパラメータ$X_0=0.1\sim10$cmにおける正味のNO_2生成速度とHO_2モル分率を図9に，TとNO_2/NO_xを図10にそれぞれ示す。X_0とサンプル温度の変化との関係は図10図に示されているが，著者らの経験によると，小さなバーナ火

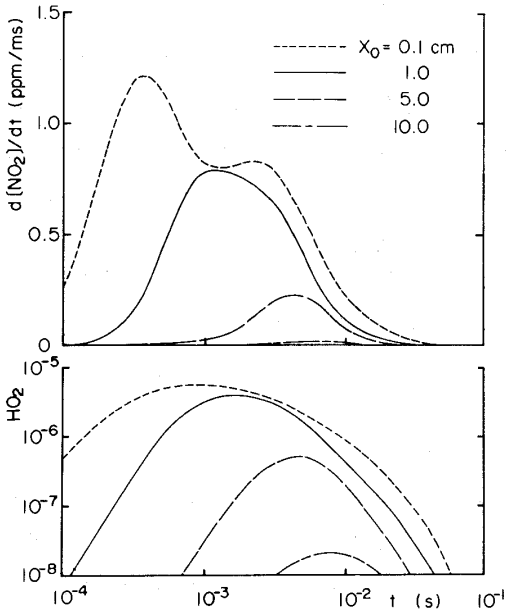


図9　サンプルの冷却速度によるNO_2生成速度およびHO_2モル分率の変化
（$Q_s=76$cc/min, $S/V=20cm^{-1}$, $P=0.05$atm）

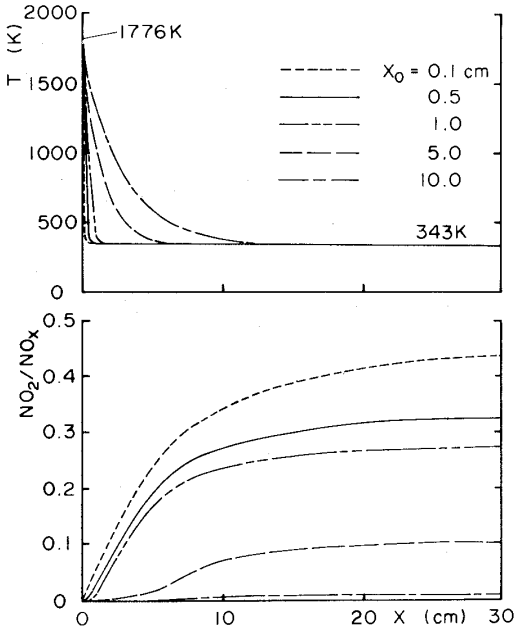


図10　サンプルの冷却速度によるサンプル温度，NO_2/NO_xの変化
（$Q_s=76$cc/min, $S/V=20cm^{-1}$, $P=0.05$atm）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

炎に水冷マイクロプローブを用いた場合は$X_0 \approx 1.3$ cm，非水冷マイクロプローブを用いた場合は$X_0 \approx 5.0$ cmであった。図9によると，サンプルの冷却をすみやかに行うほど，HO_2濃度が広い範囲にわたって高い値を保ち，NO_2生成速度は大きくなる。すなわち，初期のサンプルガス条件は同じでも，急速に冷却を行うと活性化学種濃度のオーバーシュートや二次的に生じるHO_2の濃度が増加し，プローブ内のNO_2/NO_xは図10に示すように増加する。

この結果から考えると，プローブにおけるNO－NO_2変換を抑えるには，サンプルをゆっくりと冷却することが望ましい。しかし，サンプルが長時間高温に保たれると，反応の停止が遅れ，未燃成分やO_2，燃焼生成物の濃度がプローブ吸引後変化する可能性があるので，この方法は一般的には好ましくない。

サンプル流量Q_sの増加はプローブ内流速を上昇させるので，NO-NO_2変換に対し，サンプルの冷却速度の増加とほぼ同じ効果をもたらす。例えば，$Q_s = 150$ cc/min に比べて1000 cc/minでは，最終NO_2/NO_xは0.313から0.451に増加する。

4－2　表面積・体積比の影響　プローブの表面積・体積比S／Vを0～100に変えたときのNO_2/NO_xを図11に示す（S/V=0は気相反応のみの場合）。本計算では，壁面反応はほとんど反応速度律速であり，S/Vを増加すると，活性化学種はすみやかに壁面で再結合するため，NO_2/NO_xは短時間で一定値に漸近するようになり，その値は低下する。円管プローブの場合，$S/V = 4/d$ (cm^{-1})（d：プローブ内径（cm））となるので，特殊な工夫をしない限り（例えば充てん物の挿入），この値を非常に大きくすることは難かしい。

(5)式によれば，S/Vとγは壁面再結合に対し同じ意味を持っているので，プローブの材質を変更してγを大きくすればNO_2/NO_xの低下がはかれる。一般に石英より金属および金属酸化物のγの方が大きい[7]。

4－3　サンプル圧力の影響　マイクロプローブでは減圧下のサンプリングが行われるが，入口径の大きなプローブではほぼ常圧とすることが多い。サンプル圧力P＝0.01～1.0atmでのNO_2/NO_xをXに対し図12に示す。Pを増加すると，初期の高温の段階でNO_2/NO_x変換が急速に生じ，NO_2/NO_xの上昇することがわかる。これは一般に，圧力の増加により，反応速度の濃度項の値が上昇するが，これが特にHO_2を生成する－14のような三体反応で著しいこと，プローブ内の滞留時間が増すこと，活発なNO-NO_2変換がより高温の段階で行われること，に起因している。なお圧力を増加すると，(7)～(10)式のD_iが低下をするため，壁面反応はある範囲で反応律速から拡散律速へ移行する。

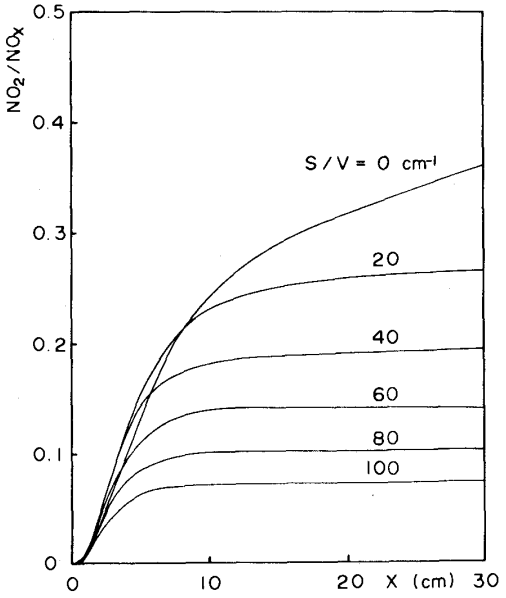


図11　プローブの表面積・体積比によるNO_2/NO_xの変化（$X_0 = 1.3$cm，$Q_s = 76$cc/min，P＝0.05 atm）

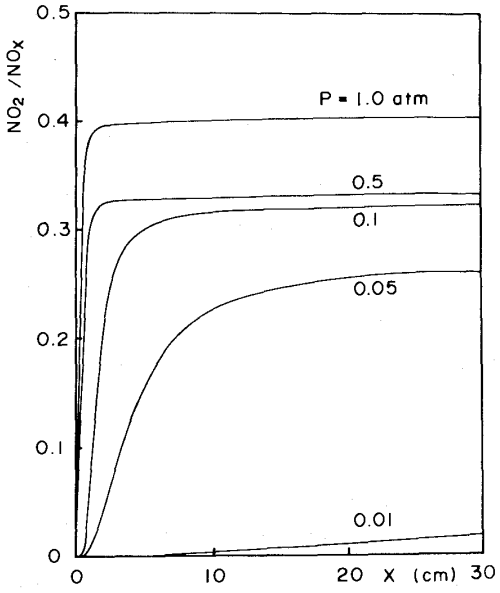


図12　サンプル圧力によるNO_2/NO_xの変化（$X_0 = 1.3$cm，$Q_s = 76$cc/min，$S/V = 20$cm^{-1}）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

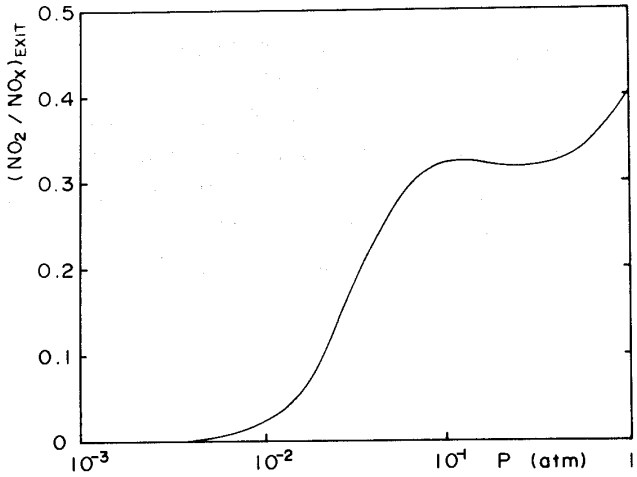


図13 サンプル圧力と最終NO_2/NO_xの関係
（$X_0=1.3$cm, $Q_s=76$cc/min, $S/V=20$cm^{-1}）

最終NO_2/NO_xの計算結果（$(NO_2/NO_x)_{EXIT}$）を圧力に対し図13に示すが，サンプル圧力を非常に低下させれば，NO-NO_2変換はほとんど生じなくなることがわかる。サンプル圧力の低下によりNO-NO_2変換を抑える方法は，他成分の濃度変化を最小にする点からも好ましい。なお，P＝0.1～0.5atmでは$(NO_2/NO_x)_{EXIT}$がほとんど変化しないのは，圧力の増加により初期に存在する活性化学種濃度の低下が遅くなり，例えば１７によるHO_2の消滅速度が増し，NO_2生成速度があまり変化しないためである。P＝0.02～0.16atmの範囲でサンプル圧力の影響を調べた実験結果[12]によると，プローブ測定のNO_2/NO_xの自然対数とP^2が直線関係になり，圧力の低下とともにNOの割合が増加する。本計算結果においても，上記の圧力範囲では，ほぼこの関係が成立する。

5. あとがき

得られた計算結果を総合して考えると，(1)高温ガスのプローブサンプリングでは，NOからNO_2への変換を避け難く，元の場のNO，NO_2濃度を知るのはむずかしいこと，(2)燃料希薄条件ほど，また全NO_x濃度が低い場合ほどプローブで生じるNO_2の割合は大きくなること，(3)低温のサンプルガスほどNO-NO_2変換は生じにくいこと，(4)プローブでのNO-NO_2変換を最小に抑さえるには，サンプルをゆっくり冷却し，壁面での活性化学種の再結合を促進し，サンプル圧力を極力下げる必要があること，などがわかる。従って，プローブ測定で正しいNO_x濃度を知るには，NO濃度だけでなく，NO_2濃度の正確な測定に配慮すべきである。

本モデル計算の手法は，基本的には，火炎や燃焼器で高温燃焼ガスが急冷される場合にも適用きる。例えば，ガスタービン燃焼器の二次空気や希釈空気による燃焼ガスの冷却過程を知ることができれば，モデル計算により燃焼器内で生じるNO_2の割合を予測できるであろう。

終わりに，本研究に有益なご助言をいただいた辻　廣 教授ならびに本論文の作成にご協力いただいた奥村　寛氏，西　洋子氏に謝意を表する。

文　献

(1) Cernansky, N. P., Experimental Diagnostics in Gas Phase Combustion Systems (Edited by Zinn, B. T.), Progress in Astron., & Aeron., Vol. 53, (1977), 83, AIAA.
(2) Merryman, E. L. & Levy, A., Fifteenth Symp. on Combustion, (1975), 1073, The Combustion Inst.
(3) Allen, J. D., Combustion & Flame, 24-1(1975-2), 133.
(4) Fenimore, C. P., ibid., 25-1(1975-8), 85.
(5) Cernansky, N. P. & Sawyer, R. F., Fifteenth Symp. on Combustion, (1975), 1039, The Combustion Inst.
(6) Kramlich, J. C. & Malte, P. C., Combustion Sci. & Tech., 18-3/4(1978-6), 91.
(7) Amin, H., ibid., 15-1/2(1977-1), 31.
(8) Kramlich, J. C. & Malte, P. C., ibid., 22-5/6 (1980-6), 263.
(9) Johnson, G. M., ほか2名, Seventeenth Symp. on Combustion, (1979), 647, The Combustion Inst.
(10) 堀，ほか2名，東大宇航研報告，14-2(A)(昭53-5), 769.
(11) Hori, M., Combustion Sci. & Tech., 23-3/4 (1980-8), 131.
(12) Hargreaves, K. J. A., ほか3名, Eighteenth Symp. on Combustion, (1981), 133, The Combustion Inst.
(13) Baulch, D. L., ほか2名, Evaluated Kinetic Data for High Temperature Reactions, Vol.1-2, (1973), Butterworths.
(14) 倉谷，東大宇航研報告，11-4(A)(昭50-11), 755.
(15) Baulch, D. L., ほか2名, High Temperature Reaction Rate Data, Vol.1-5, (1968), Univ. Leeds.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

(16) Lloyd, A.C., Intern. J. Chem. Kinetics, 6, (1974), 169.
(17) Albers, E. A., ほか3名, Thirteenth Symp. on Combustion, (1971), 81, The Combustion Inst.
(18) 技術資料出版分科会編, 燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法, (昭55), 3, 54, 日本機械学会.
(19) JANAF Thermochemical Tables, (1966), Dow Chem. Co.
(20) Nalbandyan, A. B. & Voyevodskiy, V. V., NASA TT F-16, 909, (1976).
(21) Fujiwara, T., Sixteenth Symp. on Combustion, (1977), 1171, The Combustion Inst.
(22) Greaves, J. C. & Linnett, J. W., Trans. Faraday Soc., 55-8(1959-8), 1355.
(23) Smith, W. V., J. Chem. Physics, 11-3(1943-3), 110.

入　会　者　名　簿

（昭和56年10月30日現在）

正会員　中台宏太（東芝）　佐山純一（トヨタ自工）　天野賢治（トヨタ自工）　長岡隆司（日立製作所）
柏原康成（日立製作所）　守谷次郎（防大）　鉄升敬治（日立製作所）
麻尾孝志（日立エンジニアリング）　佐野恵保（高効率ガスタービン技術研究組合）
堤　彰利（ダイハツディーゼル）　横山英二（日立製作所）　塚本正司（第一メテコ）
後藤　登（都立工科短大）　白鳥敏正（都立工科短大）　荒木良一郎（三菱重工）
小笠原公紀（IHI）　鈴木宗之（材料技術資料センター）　田巻久二男（トータルマーケティングエージェンシー）
上野博之（日大）　本多立也（ユニオンカーバイト）　吉川進三（同志社大）　松浦俊博（東芝）
池田　隆（東芝）　石井　進（日大）　大木　太（日本鋼管）　亀本喬司（横浜国大）
今市憲作（阪大）　田中宗信（東京農工大）　西野　宏（日大）　金元敏明（横浜国大）
西山哲男（東北大）　中田裕二（東芝）　山口住夫（福岡大）　鎌田好久（福岡大）
辻　　茂（東工大）　藤田　優（日大）　檜山浩國（荏原）　八島　聰（IHI）　高橋浩爾（上智大）
斉藤喜夫（航技研）　浦川卓朗（千葉工大）　小山正晴（千葉工大）　中山泰喜（東海大）
江尻英治（日産）　和泉隆夫（日産）　小野隆彦（小野測器）　満岡次郎（IHI）　宮下和也（IHI）
村田英五郎（福井工大）　橋本雅方（三井造船）

学生会員　前谷憲治（防大）　佐々木薫（防大）　平野孝典（東大）　野崎　理（東大）　磯村浩介（東大）
松島史典（大分工大）　桝田充隆（大分工大）　三好英憲（大分工大）

賛助会員　日揮㈱　日本国有鉄道東京給電管理局　石川島汎用機械㈱　横河航空電機㈱

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/06/26.

(16) Lloyd, A.C., Intern. J. Chem. Kinetics, 6, (1974), 169.
(17) Albers, E. A., ほか3名, Thirteenth Symp. on Combustion, (1971), 81, The Combustion Inst.
(18) 技術資料出版分科会編, 燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法, (昭55), 3, 54, 日本機械学会.
(19) JANAF Thermochemical Tables, (1966), Dow Chem. Co.
(20) Nalbandyan, A. B. & Voyevodskiy, V. V., NASA TT F-16, 909, (1976).
(21) Fujiwara, T., Sixteenth Symp. on Combustion, (1977), 1171, The Combustion Inst.
(22) Greaves, J. C. & Linnett, J. W., Trans. Faraday Soc., 55-8(1959-8), 1355.
(23) Smith, W. V., J. Chem. Physics, 11-3(1943-3), 110.

入　会　者　名　簿

（昭和56年10月30日現在）

正会員　中台宏太（東芝）　佐山純一（トヨタ自工）　天野賢治（トヨタ自工）　長岡隆司（日立製作所）
柏原康成（日立製作所）　守谷次郎（防大）　鉄升敬治（日立製作所）
麻尾孝志（日立エンジニアリング）　佐野恵保（高効率ガスタービン技術研究組合）
堤　彰利（ダイハツディーゼル）　横山英二（日立製作所）　塚本正司（第一メテコ）
後藤　登（都立工科短大）　白鳥敏正（都立工科短大）　荒木良一郎（三菱重工）
小笠原公紀（IHI）　鈴木宗之（材料技術資料センター）　田巻久二男（トータルマーケティングエージェンシー）
上野博之（日大）　本多立也（ユニオンカーバイト）　吉川進三（同志社大）　松浦俊博（東芝）
池田　隆（東芝）　石井　進（日大）　大木　太（日本鋼管）　亀本喬司（横浜国大）
今市憲作（阪大）　田中宗信（東京農工大）　西野　宏（日大）　金元敏明（横浜国大）
西山哲男（東北大）　中田裕二（東芝）　山口住夫（福岡大）　鎌田好久（福岡大）
辻　　茂（東工大）　藤田　優（日大）　檜山浩國（荏原）　八島　聰（IHI）　高橋浩爾（上智大）
斉藤喜夫（航技研）　浦川卓朗（千葉工大）　小山正晴（千葉工大）　中山泰喜（東海大）
江尻英治（日産）　和泉隆夫（日産）　小野隆彦（小野測器）　満岡次郎（IHI）　宮下和也（IHI）
村田英五郎（福井工大）　橋本雅方（三井造船）

学生会員　前谷憲治（防大）　佐々木薫（防大）　平野孝典（東大）　野崎　理（東大）　磯村浩介（東大）
松島史典（大分工大）　桝田充隆（大分工大）　三好英憲（大分工大）

賛助会員　日揮㈱　日本国有鉄道東京給電管理局　石川島汎用機械㈱　横河航空電機㈱

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/06/26.

・研究だより・

石川島播磨重工におけるターボ機械の研究

石川島播磨重工　佐　藤　昭二郎

ＩＨＩのターボ機械の研究は，豊洲，田無，瑞穂（以上は東京），横浜，相生地区において実施されており，陸・海・空に亘る各種の部門のターボ機械に関して，流体，熱，潤滑，機械要素，材料，構造強度，振動，製作法，信頼性，計測等の先端技術の追求がなされている。

1.　産業および舶用軸流ターボ機械

静翼可変式３段軸流圧縮機を使用して，空力性能の研究，非接触翼振動の計測および不安定現象の研究が行なわれている。またボイラー用軸流送風機の模型試験機を用いて，発生騒音等の各種実験も実施している。軸流タービンについては高速に適した翼列の研究開発，空気と蒸気による試験用タービンを用いた各要素の詳細な性能試験，低速域でディフューザを含む流路の最適形状を求める研究が行なわれている。

2.　輻流ターボ機械

遠心圧縮機，送風機，ファン，ラジアルタービン等古くから研究を行って来ている。これらの研究の周速マッハ数は，0.2から2.0，比速度は0.04より0.22と広い範囲に亘っており，種々機械に適した数多くの実験装置により基礎から応用まで実施されている。それらの成果は，ガスタービン，過給機，冷凍機，産業用各種圧縮機，送風機，ファン，汎用空気圧縮機，膨張タービン，低沸点媒体タービン等に活用され高い性能が得られている。

（昭和56年10月26日原稿受付）

写真１　超音速遠心圧縮機試験装置

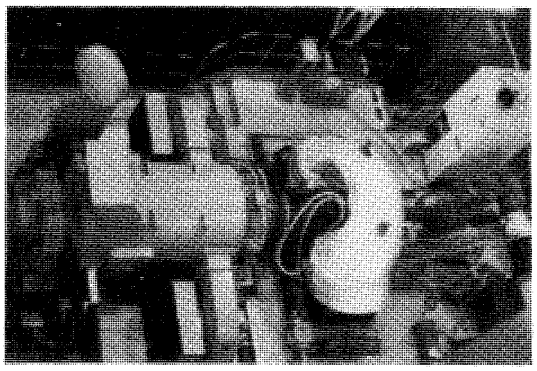


写真２　低比速度遠心圧縮機試験装置

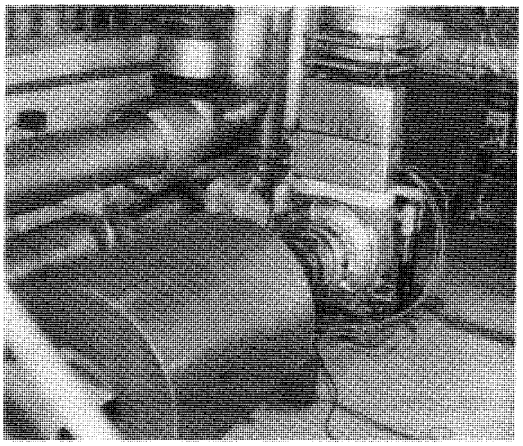


写真３　ターボ過給機試験装置

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

3. 軸流ファン

航空用高バイパス比ターボファンエンジンの遷音速軸流ファンを対象とした試験用ファン（駆動機はIM2000，出力：約20,000HP，回転数：10,000～15,000RPMmax）について，定常および非定常性能の研究を行っている。

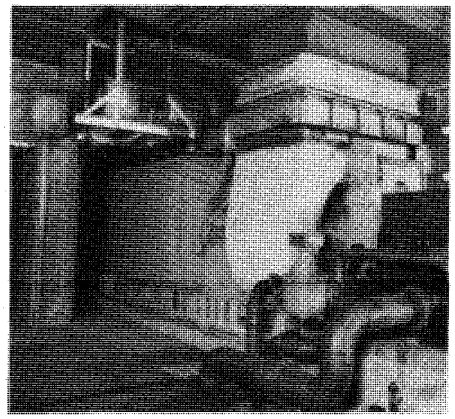


写真4　軸流ファン試験装置

4. 高速ポンプ

各種の高速軸流ポンプの性能研究を始めとして，インデューサ付遠心ポンプに関する基礎研究は，タンカーの荷油ポンプの小型化，あるいは液体ロケット用ポンプ等の設計，開発に応用され，現在液体水素ポンプの研究も進められている。

5. 燃焼器

ジェットエンジン，ガスタービンを含めた各種燃焼器の研究を行っている。さらに基礎的な研究として，二次元あるいは三次元の水流模型により，流れの可視化を行って，フローパターン，壁面，翼型面などの剥離，逆流，二次流れなどを測定し流れの解析を行っている。

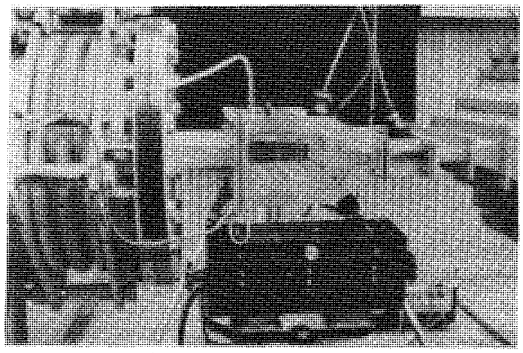


写真5　燃焼器内部流れパターンの可視化，試験装置

6. すべり軸受

ジャーナル軸受とスラスト軸受について，各種の形状の静特性および動特性の実験と粘度変化を考慮した解析プログラムの開発が行なわれている。

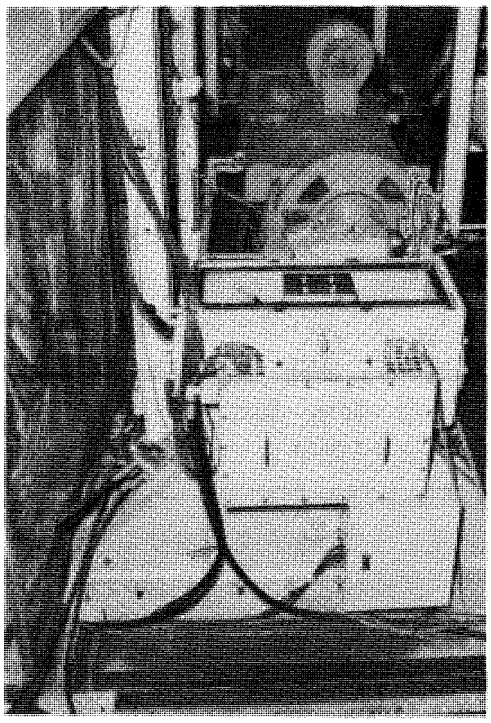


写真6　ジャーナル軸受試験装置

7. 軸シール

高周速に耐え，密封性能の高い軸シール技術を確立するため，接触形および非接触形軸シールに関する理論的，実験的研究が進められ，その成果はターボ機械に適用されている。

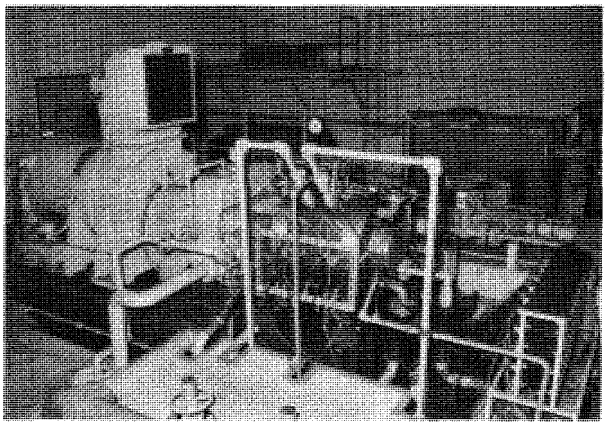


写真7　軸シール試験装置

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

8. 高速回転体の振動および振動応力

高速回転体の振動に関しては，理論的，実験的研究が進められ，軸受，ペデスタル，ケーシングの動特性を考慮した回転軸系の総合設計プログラムが完成した。

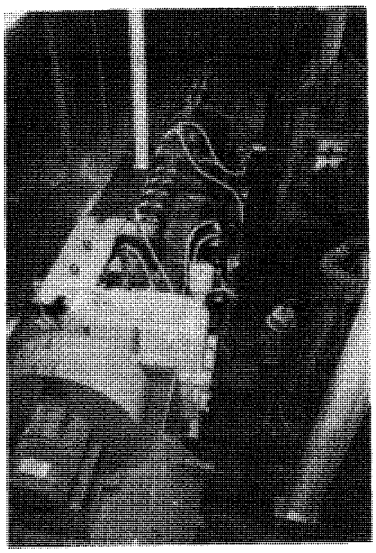


写真８　回転軸系振動試験装置

またジェットエンジンなどでは，軽量化設計手法として複雑な形状のファン，タービン翼および翼と結合されたディスクの連成振動パターンの解析にホログラフィを利用した研究が進められている。

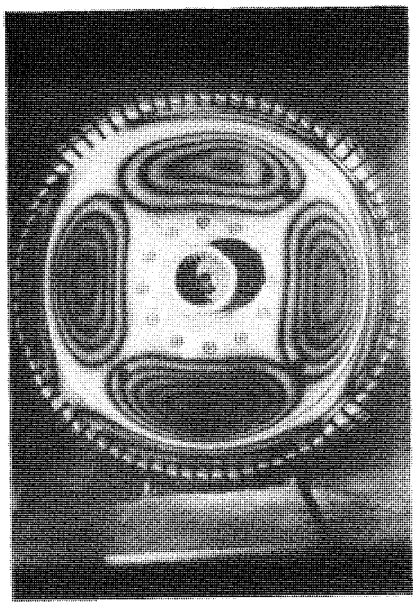


写真９　ホログラフィによる振動パターン

動翼等の振動応力に関しては，実働負荷の条件にて，小形過給機から50,000 HPのガスタービンについて試験を行っている。写真１０は小形過給機のタービン軸にテレメータを取り付けて，80,000 RPM までの計測を行ったものである。

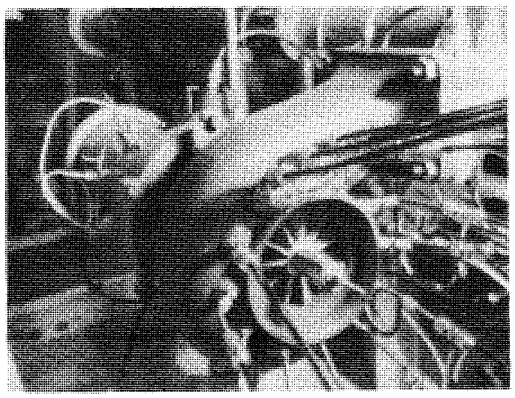


写真10　テレメータを用いた小形過給機の翼振動応力の計測装置

9. ロータディスクの低サイクル疲労

製品の軽量化要求，構造解析手法の進歩により，回転部ディスクも高応力状態で使用されるようになり，この応力状態のくり返しにより少いくり返しで破壊に至る問題に多く直面するようになってきた。そのため回転のくり返し（サイクリックスピン）による試験研究が行われているが短時間の基礎／比較研究のため多数の油圧ジャッキにより遠心力をシミュレートして荷重をかけるマルチア

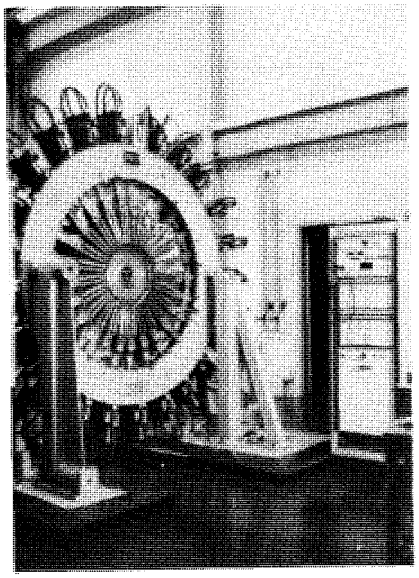


写真11　ロータ・ディスクの低サイクル疲労試験装置

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

クシャル試験による研究を行っている。同時に高周波加熱により，供試体に温度分布を与えた状態での試験も行っている。

10. 材料および精密鋳造

ターボ機械の使用材料については，広範囲な研究を実施しているが，特に耐熱材料の研究では各使用部材の高温疲労およびクリープの諸特性，組織，腐蝕，表面処理法，加工法，接合法等の研究を行っている。

精密鋳造法の研究では，ジェットエンジン用柱状晶翼，単結晶翼さらに共晶複合翼の開発を進めている。そのほか，アルミ合金も含めた圧縮機，タービンの薄肉インペラの製作法の研究も行なわれており，精度の高い製品が可能となっている。

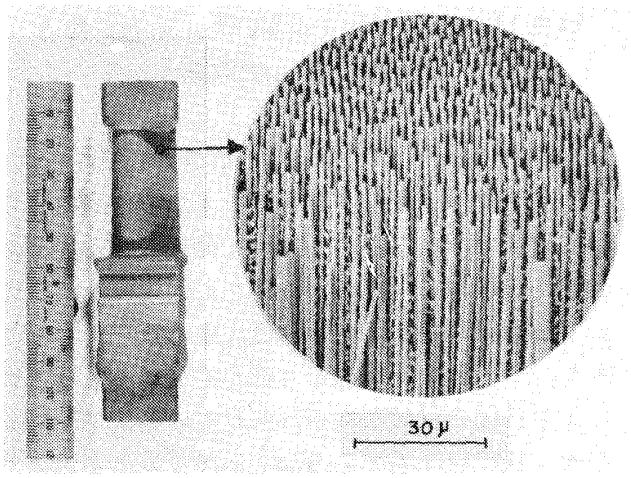


写真12　$\gamma/\gamma'-\alpha$ 共晶複合材翼

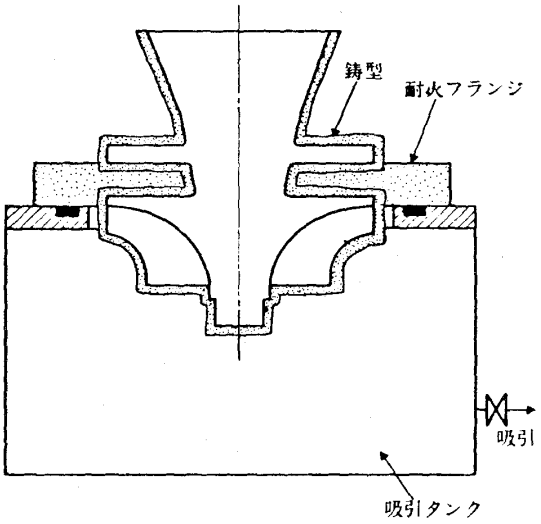


図1　薄肉インペラの鋳造法

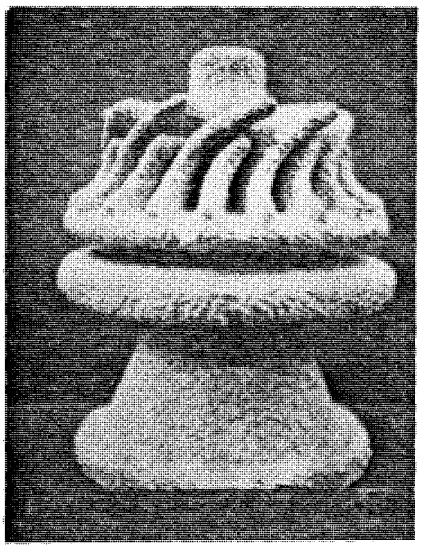


写真13　鋳型の1例

11. 羽根車内の高速流体の計測

高速回転中の羽根車および静翼内の高速流れの解析用として，二焦点式レーザ流速計（L2F）を製作し，軸流および遠心ターボ機械の夫々について羽根車も含めて，各部の流れの計測を行い性能改善をはかっている。

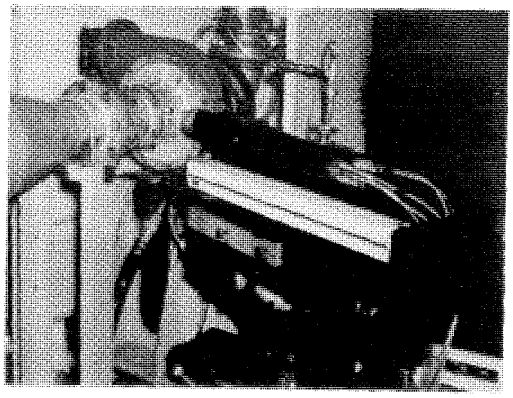


写真14　圧縮機内の流れの計測装置

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

見聞記

第20回米国伝熱会議に出席して

航空宇宙技術研究所　吉田豊明

第20回米国伝熱会議は1981年8月2日より4日間ウィスコンシン州のミルウォーキーで，米国機械学会（ＡＳＭＥ），米国化学工業学会（ＡＩＣｈＥ）の共催で開かれた。筆者は，研究発表の機会を得て参加したので，同会議の概要と今回の旅行で得た見聞を紹介する。

毎年1回行われる米国伝熱会議は参加者が500～900人であり，国際ガスタービン会議，冬期年次大会等の3000人前後に比べるとＡＳＭＥの会議としては中規模である。ビールの生産地として名高いミルウォーキーはミシガン湖の西南岸に位置し人口約120万人の工業都市である。会議は都心部のマークプラザホテルで行われたが，市の公会堂の正面に“歓迎伝熱技術者”と2階分の窓を占める大きさで文字板が掲げられ，運河に面した工場の電光掲示板にも同様な表示が見られたのには驚いた。会議では講演会の他に美術館，工場へのツアー，特別講演，各種賞の授与，1～2日の講習会等が並行して行われた。伝熱工学の分野で最高の賞とされるマックスヤコブ賞の本年度の受賞者はカリフォルニア大のR.A.Seban教授で，記念の特別講演が約1時間あった。題目は「単一管内の沸騰における熱伝達の展望」であり，電力研究所（ＥＰＲＩ）の支援を得て行われた研究を骨子とする最近の成果について講演された。平板上の熱伝達に関する理論的・実験的研究で多大な業績を上げられた先生の講演を興味深く聴いたが，この研究についての言及がなかった。

講演会はセッション数38（ASME23, ＡＩＣｈＥ15），講演件数214で行われたが，外国からの参加件数は約30件で，その内訳は英国8，カナダ6，西ドイツ3，他にサウジアラビア，オーストラリア，ブラジル，スウェーデン，ベルギー，エジプト各1と我国から6件で，この他米国人との共著又は在米日本人によるものが4～5件と思われる。講演会の第1日目に突然航空管制官のストライキが起ったため，会期中約2割の講演者が自分のセッションに出られなかったと聞く。筆者も会期中足の心配をし観念していたが，幸いセッション，飛行機の便共に予定通りに経過した。

セッションの分類で日本の伝熱シンポジウムと異なると思われることは，熱物性値，熱伝導に関するものがなく，熱交換器，流動床，多孔質媒体，原子力発電，ふく射，燃焼等の伝熱を扱ったものが大変多いことであり，他方自然対流，沸騰，凝縮に関する発表が多いことは日本と同様である。この他二相流，太陽熱エネルギー，化石燃料，液体水素燃料等の伝熱に関するセッションもあった。多くの方が認識されているように，米国での研究テーマは我国のそれと比べ，かなり実物に即した又は実物への適用目的のはっきりとしたものが多い。筆者の参加した「ガスタービンの伝熱」は，まさにこの範ちゅうに入るものであり，日本では伝熱シンポ，ガスタービン講演会，航空原動機講演会，機械学会の各講演会が発表の場になって散見される程度で，討論がかみ合わないことが多いのを残念に思っているけれども，米国では国際ガスタービン会議は云うまでもなく，冬期年次大会，伝熱会議においても全体に件数が多いので発表に意気込みが持て，又他の発表から得るところが多い。

さて以下の概要は，筆者の関知した発表のできるだけ内容に忠実に意訳した題目と講演番号等を中心に記述したものである。筆者はガスタービンの研究開発に専ら従事し，特に高温タービンの伝

（昭和56年11月10日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

熱に関する研究を中心にしているので，その範囲は伝熱会議のほんの一部であることをお許しいただきたい。詳細に調査されるための参考になれば幸いであるし，又御問合せをいただければ応答にベストを尽くしたい。

「ガスタービンの伝熱」ASME 81-HT-

凸曲面上で圧力勾配のない場合における乱流境界層の熱伝達（スタンフォード大）-78，層流境界層と層流ジェットがフィルム冷却性能に及ぼす影響（筆者，ミネソタ大）-38，衝突板にあけた通気孔から流れが逃げ出て行く場合の衝突噴流の配置・第2報局所熱伝達率（クラークソン工科大）-76，温度依存性のある汚染劣化を考慮した熱交換器の数値解析法（UTRC）-75，単一金属（INCO 718）製水冷却ガスタービン静翼の構造強度・伝熱・流力設計（GE）-77，水冷却タービンの閉回路流路における臨界熱流束（MIT）-74，対流空冷方式のセラミックコーテング付多孔質金属製タービン静翼の伝熱と流れの解析（NASA ルイス）-48.

「ふく射伝熱」ASME 81-HT-

円盤と各種軸対称物体間の形状係数（アクロン大）-56，互いの表面間に障害物がある場合の形状係数の計算法（ワシントン大，NASAラングレー）-57，非灰色系の粒状と分子状の混合気体がある二平行平板間のふく射伝熱（南カリフォルニア大）-60，非灰色気体ふく射伝熱の数学モデルの簡単化（TRW）-64，管群と高圧蒸気のふく射伝熱（原子力規定委員会研究部門）-69，軸方向に流れのある不規則な断面の囲い形状におけるふく射伝熱（西バージニア大，AVCO）-70，燃焼ガスのある円筒状容器のふく射伝熱についてゾーンメソッドと実験結果の相関（アルゴンヌ国立研）-71，任意形状の二つの物体間で物体内の熱伝導を考慮したふく射伝熱の積分方程式法（ブラジル）-73.

「強制対流その他」ASME 81-HT-，AIChE

一様温度の平板ダクト入口領域における層流強制対流熱伝達の解析（サンディエゴ州立大）-29，円管内乱流熱伝達に及ぼす壁の熱伝導の影響（テキサスA&M大）-30，曲管内の十分に発達した層流の熱伝達（イリノイ大）-39，迎角のある平板上の流れについて乱流モデルを用いた数値計算（GE）AIChE，膜状流れの安定性に及ぼす熱及び物質伝達の影響（ウィスコンシン大，USNRC）AIChE，航空機の未来燃料-80．なおAIChEのペーパーは合冊で販売されるのが基本で複写の抜刷も会場で売られていたが特に個々の番号はつけられていない。

次にNASAルイス研究所のF.S.Stepka博士及びタービン部門のチーフH.E.Rohlik氏と親しく話す機会を会て，資料を入手したり，実験研究の現況を部分的に知ったのでその概要を述べる。

最も関心のある高圧高温燃焼器・タービン試験設備はようやく実験が軌道に乗ったところで，燃焼器についてはセラミックコーティング付供試体の実験がまさに始められようとしている。一方タービンについては無冷却動静翼の高圧実験（40 ataまで）が終了し，今後冷却翼の高温高圧試験が進められる。設備については例えばNASA TMX-73445が刊行されているが，試験結果については未だ出版されていないようである。設備の完成以来すでに4年は経過しているが，実験用供試体は特にE^3エンジン用でもなくNASA独自の方針で進めているとのことであり，高圧高温の故にハードウェア，実験計測制御のむずかしさを乗り越えるのに時間を要していると推測される。この他基礎研究については巾広く行われているが，筆者の入手し得た最近の資料は次の通りである。

ヒータ付液晶シートを用いたタービン翼前縁吹出し及び翼端部における熱伝達の研究ASME 81-GT-93，NASA TM 81639，液体冷却ガスタービン翼研究のレビューと現況NASA RP 1038，タービン翼材温度の予測における確度の分析NASA TP 1593，NASAにおける熱しゃ断コーティング研究の現況まとめNASA TM 79053.

最後にStepka博士の見解として，NASA，エンジンメーカー，エアラインではタービン翼の冷却に関して現在以上に微細な冷却孔を多数有するものの開発には否定的であり，セラミックコーティングと対流冷却を基本とし一部フィルム冷却を適用したものが望ましいと考える傾向にあることを聞いた。この動向，又は示唆は我々日本の研究者としても重要な指針の一つかもしれない。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

新製品紹介

カワサキSIB－02形ガスタービンエンジン

川崎重工業株式会社ジェットエンジン事業部　第3技術部　巽　哲男

1. まえがき

従来，発電設備の原動機としては，ディーゼルエンジンが主に使用されて来たが，近年の小・中出力の産業用ガスタービンの出現によって，ガスタービンエンジンを原動機とするものの割合が急速に増加して来た。川崎重工では，300～3000馬力の自社開発によるガスタービンを供給して来たが，この内300馬力級のSIA－02形の姉妹機として，より小形・軽量で，発電機駆動に適したSIB－02形ガスタービンエンジンを開発したので，ここに紹介する。

2. 開発方針

発電機の駆動源として最適なものとなるよう，次の事柄を開発の基本方針とした。

(1) 軽量化・小形化の徹底

(2) 寿命・信頼性・保守性のより一層の向上

(3) 発電装置全システムの効率的なとりまとめ

これらの方針に対し，具体的には次のような方法で対処した。

○軽量・小形化を図るために，減速機ハウジングをアルミニウム合金製とし，出力軸回転数を3000 rpm又は3600 rpmとして2極発電機を採用した。

○ガスタービン用の付属機器は極力エンジン本体に取付け，長大な配管や可撓管を排除した。

○出力発生部は実績のあるSIA－02形を使用した。

○減速機は遊星減速部1段，平行軸減速部1段とし，最もコンパクトになるように両者の減速比を配分した。

○燃料制御装置は全電気式とし小形・軽量化を図った。

3. 仕様

本機の仕様を以下に示す。

形式	SIB－02	単純開放1軸形
軸出力	310 ps	ISO 標準状態
定格回転数	主軸	53000 rpm
	出力軸	3000または3600 rpm
空気流量	1.75 kg／sec	
圧力比	9	
燃料消費率	330 gr／PS・h 標準値	
燃料	灯油・軽油・A重油	
潤滑油	合成基油	
構成機器	遠心2段圧縮機，単缶形燃焼器，軸流2段タービン，遊星1段平行軸1段減速機，電気式スターター，電気式燃料制御装置	
重量	240 kg	
寸法	1.0長×0.8巾×0.9高 m	

4. 構造と特長

図1にエンジンの外観写真を，図2・図3に外形図を示す。本機の最大の特長は，軽量な点を最大限に活かして図4に示すように，発電機にエンジンを片持支持させ，発電機の脚のみで全体を支持出来ることである。このため従来のようにエンジンと発電機を別々に据付ける形式で必要だった共通台床が不要となり，より一層の軽量化・小形化が可能となった。

補機・電装品類はすべてエンジン本体に取付け

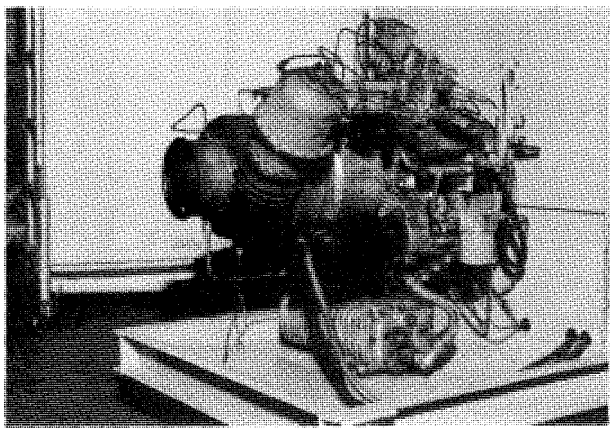


図1

（昭和56年8月13日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

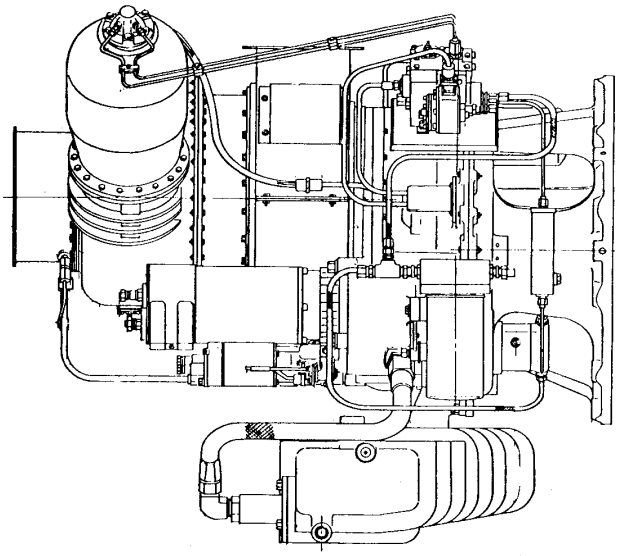


図2

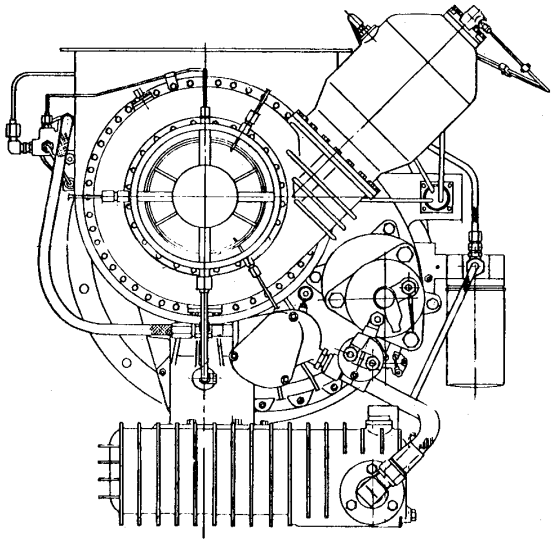


図3

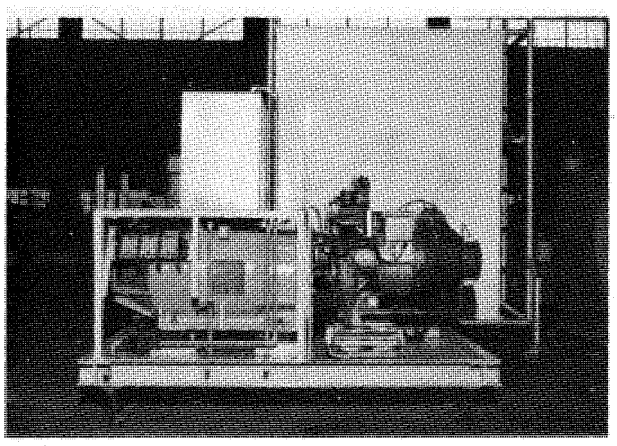


図4

られているため，エンジンを発電機にフランジを介して直付けし，燃料供給口およびエンジン制御箱の端子の結合を行ないさえすれば，心出し等の繁雑な作業をすることなく運転が可能となる。このため，発電機駆動以外の軽量大出力の汎用原動機としても使い易いものとなっている。

出力発生部はＳＩＡ－02形と同一のものを使用している。この機関はPU200，PU250，PU500発電装置に使用されて，既に約300台の稼動実績を有しており，その軽量・小形・高性能・高信頼性について定評のあるものである。

減速機は２段減速で53000rpmから3000または3600 rpmに減速している。高速段は遊星減速装置とし，軽量化と小形化を図った。一方低速段は平行軸減速装置として，回転数の変更はこの一対のギヤを変えることによって行なう。高速段に遊星減速装置を配したことにより，２段平行軸減速装置で必要であった高速ピニオンの支持軸受が不要となり，寿命・保守・信頼性等においてより優れたものとなった。補機駆動ギヤは，その種類を極力減らすため，いずれの出力軸回転数に対しても，同一セットのギヤを位置を入換るだけで使えるようにした。駆動軸の数を減らすため，機関駆動の燃料ポンプと潤滑油ポンプは同一軸の両端に取付けてある。遠心分離式のオイルミストセパレーターを採用して，潤滑油消費量を最小限におさえてある。オイルタンクは減速機本体下部にフランジ止めされており，必要によっては取りはずしも可能である。減速機本体とオイルタンクの外壁には放熱フィンを設け，発電機の冷却ファンの能力を上げてその排風で冷却する方式とした。このためオイルクーラーは小型化，あるいは条件によっては省略が可能となった。

燃料制御装置は全電気式を採用し，燃料制御弁類の小形化とあいまって大巾な軽量化・小形化が可能となった。加速燃料スケジュールや調速機特性の調整が従来の電気油圧方式に比べて容易に行なえ，保守点検や燃料の変更，特殊な気象・使用条件等に対して柔軟に対応することが可能である。調速機は制御弁箱を介して減速機に取付けられる。

川崎重工では本エンジンを使用した発電装置ＬPU 200を５７年４月より販売する予定である。LPU 200の主要目を表１に示す。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表1　LPU－200ガスタービン発電機　主要目表

形式			定置式，防災・非常用
屋内・外			屋内・外兼用
発電装置	定格出力		200kVA（防災用，40℃）
	定格電圧		200／220V（3φ－3W）
	定格周波数		50Hzまたは60Hz
	定格力率		0.8おくれ
発電機	形式		横軸，回転界磁形
	容量		200kVA
	回転速度・極数		3.000／3.600 rpm－2P
エンジン	カワサキ形式		SIB－02
直流電源	蓄電池（搭載）	始動用	12×HS 150（150Ah／10hr，24V）
		制御用	4×HS 30－6（30Ah／10hr，24V）
	充電装置（搭載）	始動用	静止形，5A，均等，浮動
		制御用	静止形，3A浮動
その他	燃料タンク		内蔵形，（オプション）
	乾燥全備重量		約2,500kg
	外形主要寸法		1,100W×3,100L×1,700H

5. あとがき

本エンジンは以上述べたように，発電機駆動用原動機のみならず，汎用原動機としても使い易いものとなっている。今後，軽量・小形原動機として多方面に利用されることを期待している。

§ 入会勧誘のおねがい

日本ガスタービン学会では賛助会員，正会員，学生会員の入会を呼びかけております。

ガスタービン関係の方々に是非ご入会いただきますよう各方面でのご勧誘をおねがいいたします。

賛助会員	1口	50,000円	入会金	1000円
正会員		3,000円	入会金	500円
学生会員		1,000円	入会金	500円

（年度は4月から翌年3月まで）

入会申込など詳細は下記事務所へ

〒160　新宿区新宿3－17－7　紀伊国屋ビル8F

㈳日本ガスタービン学会事務局　Tel　352－8926

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

表1　LPU－200ガスタービン発電機　主要目表

形式			定置式，防災・非常用
屋内・外			屋内・外兼用
発電装置	定格出力		200kVA（防災用，40℃）
	定格電圧		200／220V（3φ－3W）
	定格周波数		50Hzまたは60Hz
	定格力率		0.8おくれ
発電機	形式		横軸，回転界磁形
	容量		200kVA
	回転速度・極数		3.000／3.600 rpm－2P
エンジン	カワサキ形式		SIB－02
直流電源	蓄電池（搭載）	始動用	12×HS 150（150Ah／10hr，24V）
		制御用	4×HS 30－6（30Ah／10hr，24V）
	充電装置（搭載）	始動用	静止形，5A，均等，浮動
		制御用	静止形，3A浮動
その他	燃料タンク		内蔵形，（オプション）
	乾燥全備重量		約2,500kg
	外形主要寸法		1,100W×3,100L×1,700H

5. あとがき

本エンジンは以上述べたように，発電機駆動用原動機のみならず，汎用原動機としても使い易いものとなっている。今後，軽量・小形原動機として多方面に利用されることを期待している。

§ 入会勧誘のおねがい

日本ガスタービン学会では賛助会員，正会員，学生会員の入会を呼びかけております。

ガスタービン関係の方々に是非ご入会いただきますよう各方面でのご勧誘をおねがいいたします。

賛助会員	1口	50,000円	入会金	1000円
正会員		3,000円	入会金	500円
学生会員		1,000円	入会金	500円

（年度は4月から翌年3月まで）

入会申込など詳細は下記事務所へ

〒160　新宿区新宿3－17－7　紀伊国屋ビル8F

㈳日本ガスタービン学会事務局　Tel　352－8926

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

新設備紹介

海洋温度差発電用タービン

東京芝浦電気㈱　高柳幹男
〃　前田福夫

1. まえがき

陸上設置型の海洋温度差発電設備（ＯＴＥＣ）として世界初のパイロットプラントが赤道直下のナウル共和国に設置された。５６年１０月１１日には定格１００kwにおける発電がなされ，更に１０月２３日には最大出力１２０kwの発電に成功した。海洋温度差による発電として，この出力は世界最大である。

東京電力㈱および東電設計㈱が企画した本プラントに関し，筆者らはシステム基本設計にたずさわると共に，タービンをはじめとして，熱交換器，プラント配管等の機械関係設計・製作を担当する機会を得た。試運転も筆者らの手で行ない，今後は一年間にわたる各種テストを実施することになっている。

本稿は，このパイロットプラントに用いられたフロンタービンを中心に計画の概要を紹介するものであるが，試運転状況についても簡単に述べておく。

2. 計画の概要

表層海水と深層海水とのわずか２０℃程度の温度差を利用して発電を行なう海洋温度差発電においては設置場所の選定は重要なものとなる。海底に沿って海水管を敷設する陸上設置型の本パイロットプラントでは，平均海底勾配４５度という急峻な勾配をもち，年間を通して安定した表層海温，深層海温の期待できる赤道直下のナウル共和国に設置場所が選ばれている。

表層海水と深層海水とにより構成されるランキンサイクルの動作流体には熱力学特性と共に，特に安全性をも重視してＲ－２２（無色，無臭，無毒，不燃）を採用している。

写真１は発電プラント全景である。

（昭和５６年１１月２０日原稿受付）

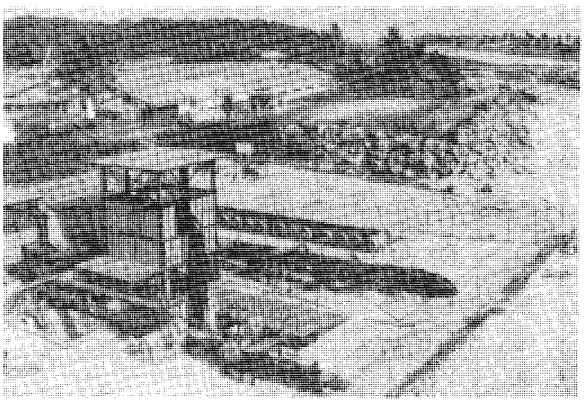


写真１　ナウル発電プラント

3. ＯＴＥＣプラント用タービンの特徴

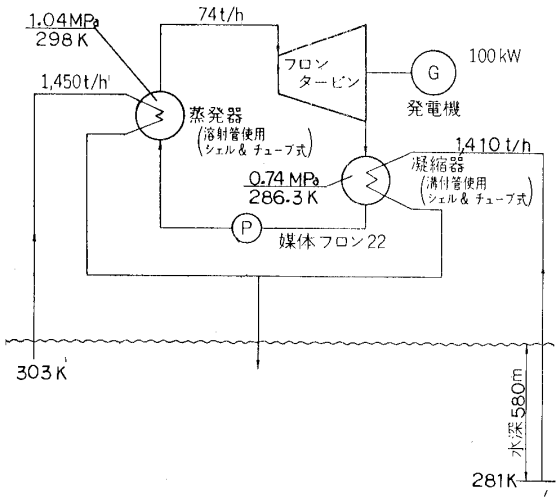


図１　100kwＯＴＥＣヒートバランス

図１のヒートバランス例から推察されるように，ＯＴＥＣプラント用タービンにあたえられる断熱熱落差はきわめて小さいため，一定出力を発生させるのに必要な動作流体の循環流量は非常に大きなものとなる。Ｒ－２２を用いた１００kwタービ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

ンの入口流量は，通常の火力用蒸気タービンに対応させると概略10,000kwのタービンに相当する流量である。しかし，動作流体の比容積が小さいため，流量が大きい割にはコンパクトなタービンとなる。

大流量向きの軸流タービンを前提にすると，断熱々落差が小さい（R−22で約8.5 KJ/kg，NH_3で約42 KJ/kg）と云えども，タービン効率向上を計るため2〜3段落の通路部構成にした方が良く，段落ボス比等をも考慮するとタービン回転数は750 rpm〜1800 rpm 程度の低回転数となる。定格回転数が低いということは，動作流体温度が低いこととも相まって，強度設計上の問題は少ないといえる。

図2および図3は，動作流体をそれぞれR−22，NH_3にした場合について，タービン流量と段落ボス比の関係を回転数をパラメータとして示した例である。設計上あまり無理のないボス比として1.5程度を想定してみると，蒸気通路1流（シングルフロー）当りの流量限界は，R−22用タービンの場合で約1000 kg/sec，NH_3用タービンの場合で約700 kg/secとなることが推定される。出力規模に換算すると，各々，約7,500 kw，約25,000 kwとなる。タービンの単機容量としては，ダブルフロー化や4フロー化を計ることによって大きくすることができる。

NH_3のように可燃性，毒性等の化学特性を有する動作流体を使用する場合は特に，タービン軸シールシステムは重要な機能である。このシステムは，タービンの運転時，停止時ともに対応できるものでなければならない。各種のシール機構が考えられるが，タービン軸の太さ，シール部付近のタービン構造，保守性に影響を与えるものであるので，プラントのトータルシステムの中で安全性や経済性をも考慮した総合評価によって軸シールシステムの選定をすることが望ましい。具体的にはオイルフィルムシール，メカニカルシール等が多用されているが，システムの簡潔さの点ではメカニカルシール方式が有利と思われる。

ＯＴＥＣシステム等の低熱落差発電プラントの場合は，一般的にプラント所内率が大きい。所内率に対するタービン性能の影響は大きく，タービン効率の向上は発電端出力の増加，あるいは動作流体昇圧ポンプ動力の低減として所内率低下に寄与する。従って，ある程度の投資をしても，高い内部効率と小さな機械損失の実現に注力することが重要である。

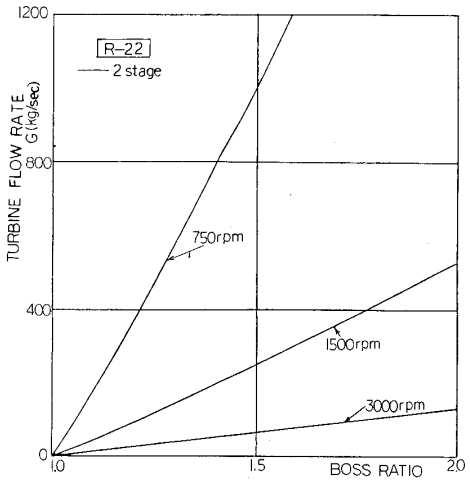


図2　ＯＴＥＣ用タービンにおけるタービン流量とボス比の関係（R−22使用の場合）

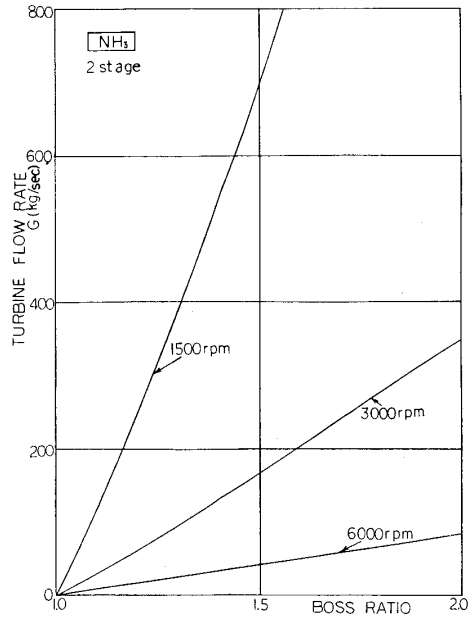


図3　ＯＴＥＣ用タービンにおけるタービン流量とボス比の関係（NH_3使用の場合）

4. 100kwパイロットプラントのタービン

この度のパイロットプラントの目的は，その設

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

計，製作，据付，運転のすべてを通じて得られる知見を初期実用プラントに確実に反映できるようにすることにあり，100kw という規模もそうした観点から設定されている。タービンの分野においても将来の大型出力規模を想定して軸流タービン型式を採用した。タービンの主要項は次の通りであり，タービン・発電機の外観を写真2に示す。

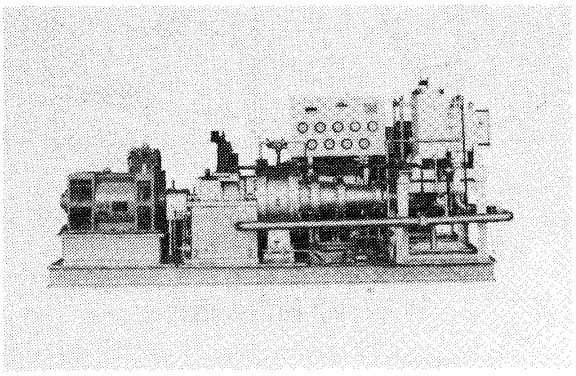


写真2　100kwタービン・発電機

＊タービン型式	軸流型単流　直結式
＊定格出力	100kw（発電機端）
＊回転数	3000 rpm
＊回転数制御方式	バタフライ式加減弁および ウッドワードガバナ
＊流量	74 t/H
＊入口圧力	1.04 MPa（蒸発器出口）
＊出口圧力	0.74 MPa（凝縮器入口）
＊段落数	2
＊軸シール方式	メカニカルシール （ダブル，ウェット方式）
＊軸受	玉軸受および円筒ユロ軸受

5. 試運転状況

56年8月1日のプラントの据付着工の後，急ピッチで据付を進め，9月18日には，海水ポンプによる深層冷水，表層温水のプラントへの初通水が完了した。

その後のフロン系統配管のフラッシング，R－22の系統配管への初充塡，タービン調整，電気・計装調整等の各種試運転調整もつつがなく終え，56年10月11日ナウル政府高官立会のもと，定格負荷100kwの負荷取りに成功し，世界最大記録を樹立した。続いて10月16日には110kwの過負荷運転を，更に10月23日には20分間の120kw短時間過負荷運転を達成，NET出力31kwを得た。今後は，各負荷におけるヒートランテスト，温冷水のミックスによる海温変化テスト等の各種発電テストを年末まで継続し，引きつづき57年9月まで熱ループ試験を実施し，熱交換器の実証を行なう予定である。

6. あとがき

去る54年10月，筆者らは1kw海洋温度差発電テスト装置を使用して日本海で行われた洋上実験に参画した。台風の為に発電に至ることなく中止を余儀なくされたが，実際に海洋の場で運転してみることによって，机上では得られない体験をし，知見を得たものであった。この度のプラントにおいても，通水から記録樹立までのわずか1ケ月の間に，関係者が悩み，考え，認識した多くの知見をすでに得た。肌からの体得と，今後のデータ解析結果を反映して，商用プラントの製作設計に着手できる日の早からんことを祈念する次第である。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

後記

編集委員　荒　木　達　雄

ガスタービン学会の編集委員会で学会誌に掲載する記事を審議しながら感じるのは航空用のガスタービンのはなやかな話題です。それと比較していまのところ陸用の発電用，産業用のガスタービンの話題が地味です。しかし少し視野を広ろげて見ると必ずしもそうではないことがわかります。石油危機以来のエネルギ事情の変化によりエネルギ源の多様化が着々と進んでおり，LNGやLPG，さらに将来は石炭ガスを燃料に用いた発電用のガスタービンが大巾に使われる時代が近づきつつあります。数年後には多くの話題を提供するものと予測されます。

発電用のガスタービンは圧縮機，燃焼器，タービンなど，それぞれ航空用のそれを転用したものを中心にして今迄用いられてきましたが，高い効率と多様な燃料への適用性を要求されるようになったことから，新しい型式のものが要求されています。

また発電プラントではガスタービンはプラントの一要素であり，それと付属する燃料供給システムや排熱回収システムなどの要素があり，それ等には多くの新しい技術があり，また開発が進められています。これ等はガスタービンの設計者，研究者にとって興味のある多くの問題があります。そこで本号では燃料供給システムを中心に随筆，解説の記事を載せました。

すでに本年度の６月号（第９巻，第３３号）ではガス工業でのガスタービンと原油焚のガスタービンの記事が解説されていますので，本号では石炭ガス化燃料，メタノール燃料のガスタービンへの適用の問題を中心に記事をまとめました。これ等の問題は多くの関連する工業への波及効果も大きく，これ等の分野に携っておられる方々にもガスタービン学会誌に興味を持っていただくことを期待しております。

本号はガスタービンに関連する幅を広ろげた記事を載せることができ，執筆者の方々には厚く御礼申しあげます。

事　務　局　だ　よ　り

1981年もいよいよあと残りわずか。事務局のこのコンクリートの箱の中にいるとあまり年の瀬という感じはしませんが、一歩外に出るとそこはやはり新宿の街、ショーウィンドーの飾りつけはクリスマス一辺倒です。あのジングルベルの音に、せきたてられて今年もまた過ぎていきます。

さて来年の話で鬼に笑われそうですが、GTSJガスタービンセミナー（第１０回）について一言訂正とお詫び申し上げます。諸般の事情により開催日が、１月１９日（火）と１月２０日（水）に変更になりました。ポスターやパンフレット発送後訂正文をお送りいたしましたが、もし届いていない方は、どうぞ訂正して下さいますようお願い申し上げます。プログラム、会場などにつきましては、変更ございません。セミナーは、当学会の行事の中でも特に力を入れているものの一つです。忙しい年末と年度末にはさまれたちょっと一息入れられる時期でもありますので、多くの方のご参加をお待ちしております。

今年度の行事も来年３月までにセミナーをはじめとして、見学会（２月）もあと一回予定しております。郵便料高騰の折、ご案内は学会誌の会告のページ（ピンク）に掲載いたしますのでくれぐれもお見逃しなきよう注意下さい。では皆様、よいお年をお迎え下さいますよう事務局一同お祈り申し上げます。

〔Ａ〕

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

後記

編集委員　荒　木　達　雄

ガスタービン学会の編集委員会で学会誌に掲載する記事を審議しながら感じるのは航空用のガスタービンのはなやかな話題です。それと比較していまのところ陸用の発電用，産業用のガスタービンの話題が地味です。しかし少し視野を広ろげて見ると必ずしもそうではないことがわかります。石油危機以来のエネルギ事情の変化によりエネルギ源の多様化が着々と進んでおり，LNGやLPG，さらに将来は石炭ガスを燃料に用いた発電用のガスタービンが大巾に使われる時代が近づきつつあります。数年後には多くの話題を提供するものと予測されます。

発電用のガスタービンは圧縮機，燃焼器，タービンなど，それぞれ航空用のそれを転用したものを中心にして今迄用いられてきましたが，高い効率と多様な燃料への適用性を要求されるようになったことから，新しい型式のものが要求されています。

また発電プラントではガスタービンはプラントの一要素であり，それと付属する燃料供給システムや排熱回収システムなどの要素があり，それ等には多くの新しい技術があり，また開発が進められています。これ等はガスタービンの設計者，研究者にとって興味のある多くの問題があります。そこで本号では燃料供給システムを中心に随筆，解説の記事を載せました。

すでに本年度の６月号（第９巻，第３３号）ではガス工業でのガスタービンと原油焚のガスタービンの記事が解説されていますので，本号では石炭ガス化燃料，メタノール燃料のガスタービンへの適用の問題を中心に記事をまとめました。これ等の問題は多くの関連する工業への波及効果も大きく，これ等の分野に携っておられる方々にもガスタービン学会誌に興味を持っていただくことを期待しております。

本号はガスタービンに関連する幅を広ろげた記事を載せることができ，執筆者の方々には厚く御礼申しあげます。

事　務　局　だ　よ　り

1981年もいよいよあと残りわずか。事務局のこのコンクリートの箱の中にいるとあまり年の瀬という感じはしませんが、一歩外に出るとそこはやはり新宿の街、ショーウィンドーの飾りつけはクリスマス一辺倒です。あのジングルベルの音に、せきたてられて今年もまた過ぎていきます。

さて来年の話で鬼に笑われそうですが、GTSJガスタービンセミナー（第１０回）について一言訂正とお詫び申し上げます。諸般の事情により開催日が、１月１９日（火）と１月２０日（水）に変更になりました。ポスターやパンフレット発送後訂正文をお送りいたしましたが、もし届いていない方は、どうぞ訂正して下さいますようお願い申し上げます。プログラム、会場などにつきましては、変更ございません。セミナーは、当学会の行事の中でも特に力を入れているものの一つです。忙しい年末と年度末にはさまれたちょっと一息入れられる時期でもありますので、多くの方のご参加をお待ちしております。

今年度の行事も来年３月までにセミナーをはじめとして、見学会（２月）もあと一回予定しております。郵便料高騰の折、ご案内は学会誌の会告のページ（ピンク）に掲載いたしますのでくれぐれもお見逃しなきよう注意下さい。では皆様、よいお年をお迎え下さいますよう事務局一同お祈り申し上げます。

〔Ａ〕

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

㈳日本ガスタービン学会設立10周年記念
第10回ガスタービン定期講演会講演募集

研究発表申込締切　昭和５２年２月１２日（金）
共催　日本ガスタービン学会（幹事学会），日本機械学会

・開催日　昭和５７年６月３日（木）〔午前〕，６月４日（金）〔午前・午後〕
・会　場　機械振興会館（東京・芝公園内）
・論文内容
(1) テーマはガスタービン（過給機を含む）及びその応用に関連する理論及び技術をあつかったもの全て，ガスタービンを含むシステム及びユーザー使用実績等も歓迎します。
(2) 最近の研究で未発表のもの。一部既発表のものを含む場合は未発表部分が主体となるものに限ります。
・募集要旨
(1) 講演者は，日本ガスタービン学会会員または日本機械学会会員とし，それぞれ所属学会に申し込んで下さい。
１名１題目を原則とします。
(2) 申し込み者は，はがき大の用紙に「第１０回ガスタービン定期講演会講演申し込み」と題記し，下記の事項を記入し，日本ガスタービン学会（〒160東京都新宿区新宿3−17−7　紀伊国屋ビル８階慶応工学会内）または日本機械学会（〒151東京都渋谷区代々木２－４－６三信北星ビル内）宛申し込んで下さい。
ａ）講演題目　ｂ）発表者（連名の場合は講演者に○印を付して下さい）及び勤務先　ｃ）所属学会及び会員資格　ｄ）通信先　ｅ）100〜200 字程度の概要
(3) 講演申し込み書と講演論文集原稿に記載の講演題目，講演者及び連名者氏名は一致のこと。いずれも提出後の変更等は受付けません。
(4) ガスタービン学会会員の研究発表は，他学協会に投稿する場合〔(5)参照〕を除き，ガスタービン学会誌に投稿できます。
(5) 機械学会へ申し込んだ場合，講演発表は普通講演あつかいとし，発表後機械学会論文集またはBulletin of the ＪSMEに投稿できます。
・講演申し込み締切日　昭和５７年２月１２日（金）必着
・講演論文原稿
(1) 講演申し込み者には講演論文集用原稿用紙をお送りします。論文は1292字づめ用紙４ページ以上６ページ以内とします。
(2) 原稿提出期限　昭和５７年４月２０日（火）
(3) 講演時間は一題目につき討論時間を含め約３０分の予定です。
(4) 講演発表の採否は両学会に御一任願います。

※）６月３日（木）の午後は日本ガスタービン学会設立１０周年記念式典及び記念講演を行う予定です。また，同日午前は講演発表に代りパネル討論会の開催も検討中であります。
尚，詳細につきましてはＪSME ５７年４月号，GTSＪ ５７年３月号でお知らせします。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

10周年記念日本ガスタービン学会賞

応募締切
57年1月20日

日本ガスタービン学会は日本ガスタービン会議発足以来，来年で10周年を迎えることになりました。これを記念して学会賞を贈ることになりましたので御応募下さい。

応　募　要　領

1. 日本ガスタービン学会賞

本会はガスタービン及び過給機に関する工学と工業の発展を奨励することを目的として優秀な論文，及び技術に対して日本ガスタービン学会賞を贈り，表彰を行なう。

2. 対象となる論文及び技術

A．論　　文

本学会会員が本学会に関連した場で公表した論文を対象とする。

B．技　　術

ガスタービン及び過給機の本体，周辺機器，材料，計測等に関し，数年以内に完成した新技術で，画期的な新製品の開発，製品の品質，又は性能，保守及び生産等の向上に寄与したものとする。

3. 受賞候補者の資格

受賞候補者は本会会員（正会員，賛助会員）とする。

但し受賞候補者が複数で本会会員が代表者である場合は本会会員以外のものを含むことは妨げない。

4. 表彰の方法

審査の上，独創的にして優秀なものや工学的に有益な論文及び技術に対して賞状の贈与をもって行なう。

5. 表彰の時期

表彰は昭和57年6月の日本ガスタービン学会創立10周年記念式典において行う。

6. 募集の方法

公募によるものとし本会会員の推薦又は本人の申請による。

7. 提出書類

推薦又は申請には本会の所定用紙に記載して1件につき正1通，副2通（乾式コピーでもよい）の計3通提出するものとする。（所定用紙は必要枚数をお申越次第御送りします）

8. 提出締切日

論文，技術とも昭和57年1月20日（金）正午までに着信

9. 提　出　先　　〒160　東京都新宿区新宿3丁目17－7
紀伊国屋ビル㈶慶応工学会内
日本ガスタービン学会
TEL　03－352－8926

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06

会　告

５６年度第３回見学会・技術懇談会のおしらせ

下記要領でＧＴＳＪ第３回見学会・技術懇談会を開催致しますので奮ってご参加下さい。
今回も人数に制限がありますのでご承知おき下さい。

記

1　日　時　：　５７年２月１９日（金）１３：３０～１６：００
2　見学会　：　日本国有鉄道　川崎発電所
　　神奈川県川崎市川崎区扇町８番３号
　　Tel　044-333-2187
3　見学対象　：　新１号ユニット「コンバインドサイクル発電プラント」
4　技術懇談会　：　講演「コンバインド発電プラントの運転概況」
　　講師　浅　野　正　晴氏（川崎発電所）
5　参加要領　：　(1)　定員　３０名（申込超過の場合は抽選）
　　参加者は下記事務局へハガキで氏名・所属・住所を明記の上，お申し込み下さい。
　　（締め切り　５７年１月２５日(月)消印有効）
　　(2)　参加費：1000円（当日受付にてお払い込み下さい）

スケジュール　会場への道順など詳細は後日事務局より参加者本人宛ご連絡致します。

セミナー開催日変更のお知らせ

第１０回ガスタービンセミナー開催日が昭和５７年１月１９日（火），２０日（水）に変更になりましたのでお知らせ致します。（会場・プログラムについては変更ありません。）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/0[illegible]

会　告

５６年度第３回見学会・技術懇談会のおしらせ

下記要領でＧＴＳＪ第３回見学会・技術懇談会を開催致しますので奮ってご参加下さい。
今回も人数に制限がありますのでご承知おき下さい。

記

1　日　時　：　５７年２月１９日（金）１３：３０～１６：００
2　見学会　：　日本国有鉄道　川崎発電所
　　神奈川県川崎市川崎区扇町８番３号
　　Tel　044-333-2187
3　見学対象　：　新１号ユニット「コンバインドサイクル発電プラント」
4　技術懇談会　：　講演「コンバインド発電プラントの運転概況」
　　講師　浅　野　正　晴氏（川崎発電所）
5　参加要領　：　(1)　定員　３０名（申込超過の場合は抽選）
　　参加者は下記事務局へハガキで氏名・所属・住所を明記の上，お申し込み下さい。
　　（締め切り　５７年１月２５日(月)消印有効）
　　(2)　参加費：1000円（当日受付にてお払い込み下さい）

スケジュール　会場への道順など詳細は後日事務局より参加者本人宛ご連絡致します。

セミナー開催日変更のお知らせ

第１０回ガスタービンセミナー開催日が昭和５７年１月１９日（火），２０日（水）に変更になりましたのでお知らせ致します。（会場・プログラムについては変更ありません。）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/0[illegible]

(社)日本ガスタービン学会設立10周年記念行事・定期講演会に関するお知らせ

本学会は，昭和４７年６月に日本ガスタービン会議として発足し，その後昭和５１年６月に社団法人日本ガスタービン学会に改組され現在にいたっております。従って明年で設立１０周年を迎えることになります。この間会員の皆様の熱心なご協力により学会運営も軌道にのり，諸事業も活発に行われております。このたび，明年６月に開催されます定期講演会と合わせ下記のような記念行事内容を企画いたしましたので，ご案内申し上げます。具体的内容につきましては，現在さらに検討中でありますが（詳細は学会誌３月号に会告として掲載予定）是非とも多くの会員の方々に，ご参加いただけますようお願い申し上げます。

記

(社)日本ガスタービン学会設立10周年記念行事

(1) 開催日：　昭和５７年６月３日（木）４日（金）

(2) 会　場：　機械振興会館

(3) 内　容：

６月３日（木）	午前	パネル討論会又は講演発表※	ホール
	午後	記念式典	ホール
		記念講演	ホール
		レセプション	66・67号室
６月４日（金）	午前	講演発表　※	研修室
	午後	同　上	〃

(4) 参加費：　正会員　6,000円　　学生会員　2,000円　　会員外　12,000円
（２日間・含レセプション）

※　定期講演会講演募集については別掲（６６頁）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06

1983年国際ガスタービン会議東京大会
開催のお知らせ

わが国におきましてすでに過去2回，国際ガスタービン会議が開催されいずれも多くの方々に参加いただきました。これらの成果はわが国のガスタービン技術の開発，向上にも大いに寄与していると思われます。

このたび第3回目の国際会議を昭和58年秋に開催することが決まり，去る10月に組織委員会が設立され，同会議の実施準備を進めております。現在，実施計画として下記の諸点が予定されておりますのでご案内申し上げます。

記

1983年国際ガスタービン会議東京大会および国際ガスタービン機器展

(1) 開催期間　昭和58年10月23日(日)～28日(金)

(2) 開催会場　東京，池袋，サンシャインシティ内
サンシャインシティ　プリンスホテルおよび文化会館

(3) 主　催　(社)日本ガスタービン学会，(社)日本機械学会，The American Society of Mechanical Engineers，Verein Deutscher Ingenieure
このほか，The Institution of Mechanical Engineers とは共催について交渉中

(4) 学術プログラム

内外より論文を募集し，査読をへて約60件を選定する。それらを二つのセッションで講演発表する予定。

特別講演会，パネルセッションなどを企画・実施する。

(5) 製品展示会

内外の出展社より展示品を募り，ガスタービン・ターボ過給機及び関連機器の製品展示会を開催する。

(6) 関連行事

期間中，工場などの見学会，婦人プログラムなどを企画・実施する。

なお，明年1月～3月頃には同会議のアナウンスメントおよび第1回サーキュラができる予定です。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

the gas turbine division newsletter October, 1981

K. A. Teumer

K. A. Teumer, Chairman, Reports on the Gas Turbine Division

On July 1, 1981, the ASME Gas Turbine Division's Executive Committee did its annual shifting of chairs, and it became my turn to be Chairman for the next year. Including the first year as Incoming Member, the year as Chairman is the fifth out of a six-year period of membership on the Executive Committee in the various assignments as shown on the back of this Newsletter.

In the past four years of committee association, we have seen good, strong growth in the Gas Turbine Division, and it appears this growth will continue. It is very fortunate that in recent years the Executive Committee no longer has to struggle with a problem of how to keep the Division alive and growing. Rather it has been how to cope with the growth. To that end it became necessary to engage the services of a Director of Operations several years ago. He operates the Division's International Gas Turbine Center in Atlanta, Georgia. Our annual budget, which now approaches one-half million dollars, is a good indicator of the degree of management functions that are required. It has exceeded the level of contribution that is practical to expect from a group of volunteers whose first priority must be to their respective companies.

The Executive Committee is very pleased with the performance of Don Hill, our Director of Operations.

This year's activities will include the Joint Power Generation Conference (JPGC) in St. Louis, Missouri, which will have already been completed (October 4-8) by the time you receive this Newsletter. The Winter Annual Meeting of ASME (WAM) in Washington, D.C., November 15-20, 1981, will be the last WAM for which the GTD will sponsor technical sessions. Next year our emphasis for a technical paper forum, in addition to our annual conference, will be concentrated on the JPGC. Nevertheless, the GTD contribution of technical sessions for the upcoming WAM certainly provides a worthwhile program.

The preponderance of the effort to operate the Division each year is directed toward producing a successful Gas Turbine Division Conference and Exhibit. Recently, several of us made a trip to London to coordinate the myriad of plans for our April 1982 Conference to be held at the Wembley Conference Centre in London, England. We are pleased that the Institution of Mechanical Engineers of England will co-sponsor this Conference. They are most cooperative in providing considerable help with local arrangements.

We are virtually assured of a highly interesting conference from the quality and quantity of technical papers being contributed and the number of exhibitors already booked. The calibre of program should draw a good attendance which is the final ingredient necessary for a successful conference.

COUNT DOWN...

1982 International Gas Turbine Conference and Exhibit London, April 18-22, 1982

★ **ASME Gas Turbine Division's Largest Technical Program**

At press time, it appears 96 technical sessions and panel discussions will be presented which would make this program the largest in the history of ASME Gas Turbine Division.

★ **ASME Gas Turbine Division's All-Time Exhibit Sales Income Record**

With six months to go, exhibit space commitments indicate the all-time exhibit sales income record for ASME Gas Turbine Division has been broken. Including only confirmed exhibit space commitments, the exhibit hall is about 80% sold out.

International Gas Turbine Conference 27th London April 18-22, 1982

27th International Gas Turbine Conference and Exhibit Wembley Conference Centre London April 18-22, 1982

GAS TURBINE DIVISION
The American Society of Mechanical Engineers
THE INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER
6065 Barfield Road • Suite 218 • Atlanta, Georgia 30328 • 404/256-1744

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

W. F. O'Brien, Program Chairman: Technical Program For 1982 London Gas Turbine Conference

The ASME Gas Turbine Division returns to Wembley Conference Centre, London, England in 1982 for the 27th Annual International Gas Turbine Conference and Exhibit. The Conference is being co-sponsored by the Institution of Mechanical Engineers of England.

A program of 96 technical sessions and panel discussions will provide the most comprehensive international forum ever assembled by the ASME Gas Turbine Division. Users of gas turbines will find thirty-five sessions of special interest. All members of the gas turbine technical community will find much of interest, as engineers from virtually every area associated with gas turbines will be presenting advanced concepts, research results and operating experience.

Interest and participation are strong in the turbomachinery, heat transfer and combustion and fuels areas. Increased numbers of sessions in all of the seventeen technical areas of ASME Gas Turbine Division's Technical Committees are evident. International authors represent a large and growing segment of the participants.

Those of us involved in the development of the technical program believe we have assembled a conference which will prove to be most rewarding and useful for all attendees. We are confident that you will agree, and we look forward to seeing you in London.

The ASME Gas Turbine Division's Marine Committee plans technical program for International Gas Turbine Conference. L to R: A. W. McCoy; R. J. Bradford; T. B. Lauriat; M. D. Parker, Chairman; T. Pakula; N. L. MacIntyre, Vice-Chairman.

Gas Turbine Technology at 1981 ASME WAM

The ASME Winter Annual Meeting will be held in Washington, D.C., November 15-20, 1981, at the Sheraton-Washington and Shoreham Hotels. F. O. Carta, United Technologies Research Center is the GTD Program Chairman for this meeting.

Six sessions involving some 33 technical papers should be of particular interest to those active in the Gas Turbine Division. These include a two-session Symposium on Fluid/Structure Interactions in Turbomachinery on Wednesday afternoon and Thursday morning sponsored jointly with the Fluids Engineering Division; a three-session Symposium on Aerothermodynamics of Steam Turbines all on Thursday sponsored jointly with the Power Division; and a session on Regenerative and Recuperative Heat Exchangers on Tuesday morning.

Introducing H. C. Eatock, Incoming Member of GTD Executive Committee

H. Clare Eatock, incoming member of the ASME Gas Turbine Division's Executive Committee, joined Pratt & Whitney Aircraft of Canada in 1968. And, since 1971 he has been responsible for the aerodynamics and combustion research, design and development of their light gas turbine engines, the PT6, JT15D and PW100 families. His current title is Manager, Aerodynamics Engineering. Previously Eatock was with Orenda Engines (originally A. V. Roe) where his early work mainly involved internal aerodynamics including cascades and inlet and exhaust aerodynamics. As Aero Supervisor his responsibility included internal aerodynamics of the initial installation of the Iroquois engine in the Avro Arrow. As Engineering Manager, Technical he was responsible for aerodynamics, stress and performance of, and designed combustors for, Orenda's industrial gas turbines and vehicular OT4/AGT600 engines. He obtained his degree in Aeronautical Engineering from University of Toronto in 1948.

Eatock has been active in ASME, particularly in the GTD Vehicular Turbine Committee (Chairman 1975-1977) and as Technical Program Chairman of the 1979 International Gas Turbine Conference in San Diego. He has published reports on topics varying from vehicular engines, combustors, supersonic and subsonic engine installation, ejectors, and cascades to flow starting in a reactor pressure relief duct. He is a Fellow of the Canadian Aeronautics and Space Institute and past or present member of a number of government and university committees on research, propulsion and/or defense. He is active on the Environmental Subcommittee of GAMA, the General Aviation Manufacturers Association, and has been particularly concerned with EPA, FAA, and ICAO noise and emission regulations.

Order Information: GTD Lapel Buttons and Records

To order an ASME Gas Turbine Division turbine wheel (¾-inch diameter) lapel button, send name, address and type of ASME membership along with $25.00 check (no charge to committee chairmen, vice-chairmen and exhibitors) to R. Tom Sawyer, Box 188, Ho-Ho-Kus, NJ, 07423. Copies of the 45 RPM record "Onward and Upward with Gas Turbines" are also available for $3.00 each.

INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE 27th

London
April 18-22, 1982

GAS TURBINE DIVISION
The American Society of Mechanical Engineers

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

Deadline Extended For Receipt of Annual Gas Turbine Technology Reports

THE INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER has extended the deadline to December 15 for receipt of submissions to the GTD Annual Gas Turbine Technology Report.

Companies and organizations involved in gas turbine technology are invited to submit a report on activities and accomplishments during the past year. The reports are to be of an engineering nature, and significant material in the following areas is encouraged: research and development; operating experience summary; new installations; problems encountered and solutions; test results, and new designs. The Annual Report is widely distributed; therefore, any material submitted must be unclassified and non-proprietary. Further, when the material is submitted, the Gas Turbine Division accepts it with the understanding that it is for open publication with no restrictions.

The format of the submissions should be:

(1) List at the top of the first page the company or organization and the author's name. The company name should not be used throughout the text but referred to as "the company".

(2) Length must not exceed 600 words.

(3) No illustrations, tables, or photographs are permitted.

The information must be received in the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER by no later than December 15, 1981 in order to be included in the Annual Report which will be available for distribution in January, 1982.

For further information or assistance, contact the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER in Atlanta, Georgia (404) 256-1744.

ASME Membership Information

Charles P. Howard, Chairman of the Gas Turbine Division's Membership Development stands ready to assist everyone with information on ASME membership. Howard's address: 14631 Crossway Road, Rockville, MD 20853 (301/871-8664).

Gas Turbine Special Courses

The von Karman Institute (VKI) for Fluid Dynamics, Rhode-Saint-Genese, Belgium

VKI will offer a lecture series related to gas turbine interests during the 1981-82 academic year. Lectures will be given by active specialists drawn from universities, research establishments and industry in Europe and North America. A detailed outline and application form will be available approximately four months in advance of each lecture series and will be sent to all those who have expressed an interest in relevant subject areas. Write to: The Director, von Karman Institute for Fluid Dynamics, 72 Chausee de Waterloo, 1640 Rhode-Saint-Genese, Belgium.

The lecture series will include:

- Superchargers and Related Problems (January 11-15, 1982)
- Film Cooling and Turbine Blade Heat Transfer (February 22-26, 1982)
- Numerical Methods for Flows in Turbomachinery Bladings (April 26-30, 1982)

Cranfield School of Mechanical Engineering

- Short Course on Turbines for Gas Turbine Engines, November 2-6, 1981... The structure of this course includes: aerothermodynamics, cascade flow, the stage, design parameters and limitations, simple off-design performance of a multistage turbine, radial equilibrium, loads, failure criteria, components, materials, and blade cooling.
- Short Course on Industrial Gas Turbines, November 9-13, 1981... The structure of this course includes: fundamentals — available ranges of gas turbines, performance with and without heat exchange, fuels and combustion, characteristics of axial and radial machinery, noise vibration and control; types of engines — aeroderivative, small industrial, medium range, large industrial; applications — power generation, process plant, gas pumping, total energy, and off-shore and auxiliaries.

For further information contact:
The Registrar (Short Courses)
The Cranfield Institute of Technology
Cranfield, Bedford MK430AL
England
Telephone: Bedford (0234) 750111

Thru The Years . . .

Tom Sawyer
Publisher Emeritus

In 1969, I saw the Oberhausen 14,000 KW closed cycle plant in Germany; it was the second closed cycle plant operating in Germany. This plant had powdered coal blown into the top of the primary heat exchanger which had air in the tubes instead of water and steam; however, it was built like a vertical boiler 40 feet high. When the hot air reaches the bottom of this radiant section, it turns and goes up another square area 40 feet high with many heat exchangers (the convection section of the heater). The hot air is taken out at the bottom of the boiler.

I went up to the switchboard and asked the man the efficiency of the complete plant and he said 80%. This shows the Germans really use their heads. One advantage of the air in the tubes where the coal is being burned is: there is nothing there to chill the flame, so the coal is completely burned. The ashes will not burn, but there is only one wheelbarrow load of ash to take away each 12 hours. The extra heat exchangers are used to produce hot water to heat a large number of apartment houses across the street from the power plant.

The Germans have a few more closed cycle plants now, and we prefer a steam plant with less than 50% efficiency including an open cycle gas turbine to work with the steam plant. At least we are now moving in the right direction and in the years to come, there should be many more efficient plants burning coal, including the closed cycle gas turbine.

1982 International Gas Turbine Conference and Exhibit
April 18-22, 1982
Wembley Conference Centre
London, England

1983 International Gas Turbine Conference and Exhibit
March 27-31, 1983
Civic Plaza
Phoenix, Arizona

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

R. A. Harmon: Overview of CIMAC Congress

The bi-annual CIMAC Congress was held in Helsinki, Finland in Finlandia Hall, June 8-15, 1981.

CIMAC, the International Council of Combustion Engines (founded in France in 1950) is an association representing the interests of users and manufacturers of combustion engines and gas turbines worldwide. It embraces all applications with the exception of road transport and aerospace.

CIMAC is currently represented by national committees from 16 nations. The U.S. National Committee is supported by ASME Diesel and Gas Engine Power Division and the ASME Gas Turbine Division.

Almost 700 diesel and gas turbine specialists from 30 countries took part in the Helsinki congress. Guests from furthest afield came from Tahiti, the Cameroons, Australia and New Zealand.

The Federation of Finnish Metal and Engineering Industries made the necessary arrangements in Finland with the co-operation of Finland's trade and industry minister. This was the largest special congress the metal industry has held in Finland so far.

Publications Available From The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER

- The 1981-82 Committee Roster is a directory of all administrative and technical committee members of the ASME Gas Turbine Division. It is published by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER and contains an alphabetical listing with the committee member's name and address. The Roster should be useful for those active in ASME Gas Turbine Division and has been sent to everyone listed in it. Additional copies are available, without charge, by contacting the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER in Atlanta.

- The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER produced a directory of technical papers from ASME Gas Turbine Division Conferences dating back to 1957. The directories are available without charge and individual papers may be purchased from the Center in Atlanta for $5.00 each prepaid.

- The 1982 edition of ASME Gas Turbine Division's Annual Gas Turbine Technology Report will be available for distribution by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER in January, 1982. The Report will be sent to ASME Gas Turbine Division's Technical Committee members, exhibitors and contributors to the Report. Others may reserve a copy by contacting the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER.

GAS TURBINE DIVISION
The American Society of Mechanical Engineers
THE INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER
6065 Barfield Road • Suite 218 • Atlanta, Georgia 30328 • 404/256-1744

INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE 27th

London
April 18-22, 1982

GAS TURBINE DIVISION
The American Society of Mechanical Engineers

EXECUTIVE COMMITTEE 1981-82

CHAIRMAN
KENNETH A. TEUMER
Woodward Governor Company
1000 E. Drake Road
Fort Collins, Colorado 80525
303-482-5811

VICE-CHAIRMAN
NORMAN R. DIBELIUS
General Electric Co.
1 River Road, Bldg. 53-322
Schenectady, N.Y. 12345
518-385-9674

CHAIRMAN of CONFERENCES
A. A. MIKOLAJCZAK
United Technologies Corp
1 Financial Plaza
Hartford, CT 06101
203-728-7634

REVIEW CHAIRMAN
GEORGE K. SEROVY
Mechanical Engineering Bldg
Iowa State University
Ames, IA 50011
515-294-2023/1423

FINANCE COMMITTEE & PAST CHAIRMAN
ARTHUR J. WENNERSTROM
Aero Propulsion Lab (APWAL/POTX)
Wright Patterson AFB, Ohio 45433
513-255-7163/4738

OPERATIONS

DIRECTOR, OPERATIONS
DONALD D. HILL
International Gas Turbine Center
6065 Barfield Rd., #218
Atlanta, GA 30328
404-256-1744
ADMINISTRATIVE ASSISTANT
SUE COLLINS
404-256-1744

TREASURER
R. TOM SAWYER
P.O. Box 188
Ho-Ho-Kus, N.J. 07423
201-444-3719

ASSISTANT TREASURER
THOMAS E. STOTT
Stal-Laval, Inc.
525 Executive Blvd
Elmsford, N.Y. 10523
914-592-4710

NEWSLETTER EDITOR
ROBERT A. HARMON
25 Schalren Drive
Latham, N.Y. 12110
518-785-8651

EXHIBIT MANAGER
ROBERT L. WHITENER
P.O. Box 17413
Dulles International Airport
Washington, D.C. 20041
703-471-5761
Telex 899133

the gas turbine division **newsletter**

Volume 22, Number 4, October, 1981
Published by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER, Gas Turbine Division, A.S.M.E., 6065 Barfield Road, Suite 218, Atlanta, Georgia 30328, U.S.A. (404/256-1744), Donald D. Hill, Director of Operations - Sue Collins, Administrative Assistant.

Chairman: Kenneth A. Teumer, Woodward Governor Co., Fort Collins, Colorado

Vice Chairman: Norman R. Dibelius, General Electric Co., Schenectady, New York

Editor: Robert A. Harmon, Consulting Engineer, Latham, New York

Publisher Emeritus: R. Tom Sawyer, Ho-Ho-Kus, New Jersey

INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER
Gas Turbine Division
The American Society of Mechanical Engineers
6065 Barfield Road, Suite 218
Atlanta, Georgia 30328

ASME GAS TURBINE DIVISION
のご好意により複写の許可を得ました。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.

学会誌編集規定

1. 原稿は依頼原稿と会員の自由投稿による原稿の2種類とする。依頼原稿とは，会よりあるテーマについて特定の方に執事を依頼するもので，自由投稿による原稿とは会員から自由に投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は，ガスタービンに関連のある論説，解説，論文，速報（研究速報，技術速報），寄書，随筆，ニュース，新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
4. 原稿用紙は横書き440字詰のものを使用する。
5. 学会誌は刷上り1頁約1900字であって，1編について，それぞれ次の通り頁数を制限する。
   論説4～5頁，解説および論文6～8頁，速報および寄書3～4頁，随筆2～3頁，ニュース1頁以内，新製品紹介1頁以内，書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
   〒160　東京都新宿区新宿3－17－7，紀伊国屋ビル，財団法人慶応工学会内
   日本ガスタービン学会事務局
   （Tel　03—352—8926）

自由投稿規定

1. 投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。
2. 原稿料は支払わない。
3. 投稿は随時とする。たゞし学会誌への掲載は投稿後6～9ヶ月の予定。
4. 原稿執筆要領については事務局に問合せること。

技術論文投稿規定

1. 投稿原稿は次の各項に該当すること。
   1）投稿論文は著者の原著で，ガスタービン技術に関するものであること。
   2）投稿論文は日本文に限る。
   3）投稿論文は本学会以外の刊行物に未投稿で，かつ本学会主催の講演会（本学会との共催講演会を含む）以外で未発表のものに限る。
2. 投稿原稿の規定頁数は原則として8頁以内とする，但し1頁につき10,000円の著者負担で4頁以内の増頁をすることができる。
3. 投稿原稿は正1部，副2部を提出すること。
4. 投稿原稿は原稿執筆要領に従うこと。尚，投稿論文の採否は本学会に一任願います。

日本ガスタービン学会誌
第9巻 第35号
昭和56年12月10日
編集者　谷田好通
発行者　井口　泉
（社）日本ガスタービン学会
〒160　東京都新宿区新宿3丁目17の7
紀伊国屋ビル（財）慶応工学会内
TEL　（03）352—8926
振替　東京179578
印刷所　日青工業株式会社
東京都港区西新橋2の5の10
TEL　（03）501－5151
非売品

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.134.95.211, 2025/05/06.