川崎重工におけるオートバイの開発と純国産ガスタービンの開発について

2017　4　1

元川崎重工　　大槻幸雄

はじめに

ここに述べる内容は、2005（平成 17）年に開かれた第 33 回ガスタービン定期講演会で特別講演をした資料を主体として、更に詳しく状況を加筆したものである。

オートバイとガスタービンの開発には、何ら関係がないと考える人が多いと思う。川重の純国産ガスタービンの開発によって、事業を起こすことが出来たが、ガスタービンの開発に際して、オートバイの開発の経験が無ければ成功しなかったと思う。

オートバイ事業開始時のオートバイ開発の苦労、および純国産ガスタービン開発において、技術的トラブルを頻発するなどの苦い経験をもとに、開発技術者として心得ねばならないことについて述べる。

第 1 篇　　オートバイの開発 (1)

川崎航空機（川航）神戸製作所では、1955（昭和 30）年に米国極東空軍のジェットエンジンのオーバーホール事業を日本で初めて開始したが、ジェットエンジンのオーバーホールのみでは将来の事業の発展は望めなく、民需製品による事業の発展を図っていたが、ホンダが 50CC のスーパーカブの成功により、事業を急拡大しているのに目を付け、1960（昭和 35）年に、明石工場の技術者の殆ど全精鋭を結集して、オートバイ事業に参入した。

しかし、今日のような事業となるには、2 回ほど撤退を真剣に議論せねばならない厳しい事態を招いた。

1.1　50CC モペットの開発失敗

オートバイ事業を開始した当時、ホンダは 50CC スーパーカブを月産 50,000 台のハイペースで生産しており、川航は月産 10,000 台の生産ラインを設置してオートバイ一貫生産工場として、まさしく乾坤一擲の勝負を賭けた。

しかし、高々50CC のオートバイであり、しかも設計責任者は第 2 次世界大戦中に東大航空を卒業された優れた技術者であったが、開発は難航して、量産に

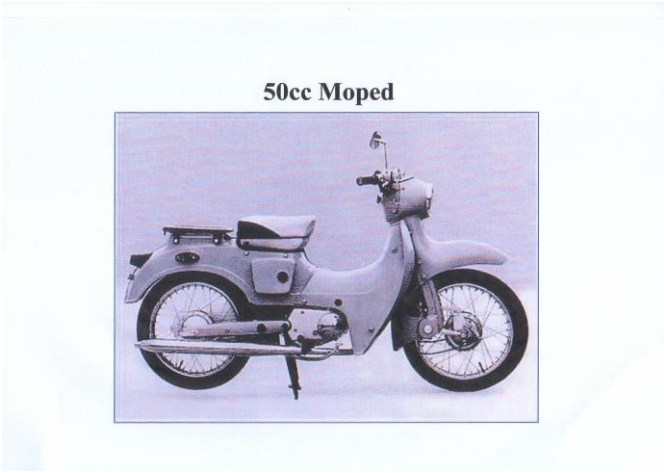


図 1　50CC Moped

漕ぎ着けるまで随分故障を起こした。　約 2 年後、漸く量産に踏み切ったが、市場で故障が発生して、このまま事業を継続するかどうかと、日本能率協会に徹底的調査を依頼するなど、早くも大問題となった。

1.2　90CC　GA-1　の開発

国内向けに 90CC 級で低速から高速まで世界一の性能を目指して開発した。

レシプロエンジンの馬力は回転数に比例するので、回転数を上げるために、オートバイのエンジンは全てショート・ストロークであったが、世界で初めてロング・ストロークを採用した。その理由は、ロング・ストロークは燃焼効率が良く、且つ低回転数におけるトルクが大きい。また、２ストロークエンジンでは、吸気孔は、バルブによらないので、吸気を増やすために、シリンダー径を大きくする必要が無いからである。

1.2　500CC　3 気筒“Mach Ⅲ”の開発

国内でオートバイ事業撤退かどうか議論している時、極めて有能な営業マンを中心に、若手の営業マンがアメリカ進出を勇敢に図り、KMC (Kawasaki Motors Corp. USA)と言う販売会社を創設した。彼等から高性能で 1,000 ドル（当時アメリカのサラリーマンの平均月給）以下の低価格のオートバイを開発してくれとの要求に応じて開発したのがこの機種である。

図２　500CC　MachⅢ

当時、3 気筒のオートバイが無かったので、特徴を出すために、中央のシリンダーが上手く冷えるか不安があったが、阪大で風洞実験をして中央のシリンダーも冷えることを確認して思い切って 3 気筒ピストンバルブ方式を採用した。開発が失敗して販売時期を失しては事業運営に混乱を起こすので責任が大きく、2 気筒ロータリーバルブ方式のものを同時に試作した。3 気筒の製品で設計目標達成の目途がついた時点で、2 気筒の製品は運転もせずに全て廃却した。

設計者は自ら乗って体感することが重要であり、3 気筒の秘密が漏れないために、日没後に名神高速道路で危険ではあったが、設計者による体感走行を実施した。

他に類のない空冷２サイクル直列３気筒エンジンであり、気筒容積 489CC、最高出力 60 馬力/7,500 rpm、最大トルク 5.85kg-m/7,000rpm と言う無類のハイパワーから引き出される高性能は、当時の超特急「ひかり」に匹敵する最高時速 190km 以上、0~400m 発進加速は 12.7 秒など、それまでの概念では想像し得ないものであった。

また、無接点点火方式（Capacitor Discharge Ignition）をオートバイの量産車に採用した

のは世界で最初であった。

1968(昭和 43)年 9 月より生産を開始したが、馬力があり発進加速が早いために“気狂いオートバイ”とも言われ、ペットネームは高速車にふさわしく「MachⅢ」と名付けた。アメリカのみならず日本および全世界で好評を博して、初年度に予想もしない約 20 億円の利益を計上した。ここに単車事業部は“苦節 10 年”にして漸く黒字経営に漕ぎ着け、オートバイ事業撤退の危機を脱出することが出来た。

1.3　900CC 4 気筒　DOHC (Double Over Head Cam) の開発

MachⅢの成功で勢いづき、“打倒ホンダ、Copy of　Honda を排せ”のスローガンのもと、アメリカ KMC との協同で作成した製品企画によりこの機種を開発した。

高出力（100 馬力/立）の 4 サイクルエンジンの設計経験が全く無いのに、量産車として 4 気筒エンジンを世界で最初に販売しようと、いきなり 4 気筒のエンジンを開発した。

図 3　900CC　4 気筒　Z1

最初は 750CC で開発したが、試作エンジンは幸いに所期の性能を発揮して、一同欣喜雀躍した。ところが、その年のモーターショーにホンダがあわてて、砂型鋳物の 4 気筒 750CC SOHC の CB750 を発表した。その時の驚きは忘れることの出来ない事件であり、先を越されたと非常に愕然とした。そこで、ホンダの後塵を拝してはならぬと、CB750 を徹底的に倒すために、急遽 KMC の決断により 903CC に変更した。

4 気筒 DOHC の量産車は世界最初であり、気筒容積 903CC,最高出力 82 馬力/8,500rpm, 最大トルク 7.5kg-m/7,000rpm,で世界最高の性能により、0～400m 加速 12 秒、最高時速 210km と世界最速であった。

1972 (昭和 47) 年 8 月にアメリカで販売を開始したが、当初は 1,000 台/月の生産の為に、全世界の代理店からの注文に応じきれず、代理店から散々な苦情が出た。そして最終的には月産 6,500 台を記録して、ベストセラーとして一世を風靡して、“高性能・馬力のカワサキ”のブランドを築き、カワサキオートバイの地位を決定づけた。一時的ではあったが、アメリカにおいて、オートバイのマーケットシェアーでホンダを抜いて一位にまでなった。

1.4　1,300CC 水冷 6 気筒 DOHC シャフトドライブ　“KZ-1,300”の開発

カワサキオートバイの旗艦として、世界で最も豪華な仕様にして、意欲的に開発したオ

ートバイである。 総排気量は 1286CC で、最高出 120 馬力/8,000rpm,
最大トルク 11.8kg-m /6,500rpm で 0～400m 加速 11.8 秒, 最高時速 243km であり、世界最高の性能である。

European model is shown.

Super Z: six-cylinder supersports tourer offering a whole new dimension in big bike riding pleasure.

Once you get to know this new Kawasaki there's no mistaking it for anything but what it is: a magnificent example of today's technology made into an uncompromising motorcycle. The majestic King Kawasaki Z1300 Six has the power to rule the road any way you want it to.

At first glance, the Z1300 doesn't look like what you'd expect of a mighty six-cylinder water-cooled machine. It has a totally integrated design and low seat position. Come up close and you'll quickly realize this is a no-nonsense sports-riding machine which is every inch a King.

The hugely impressive 120 hp Z1300 has tremendous impact. It's Kawasaki's response to the big bike challenge and is built for the experienced rider, the elite class of enthusiast with the means to afford what is unquestionably an expensive machine. And it will please this man in ways that no other motorcycle has done.

The Z1300 is the new power on the road. It has the torque, the civility, the range, the style and the awesome presence of a leader. And it has a low-maintenance shaft drive: a unique Kawasaki system with extra shock absorbers which work smoothly to put that power on the pavement. Everything a King should have is here.

図４　　KZ-1300

1980（昭和 55）年頃、主として米国の不況による需要低下の影響で、KMC は大きな打撃を受け、大幅な欠損を計上して債務超過に陥った。 単車事業にとって存続が危ぶまれる 2 度目の危機であったが、本社の支援を得て立ち直った。

1.5　Ninja 1,000　H2 および　Ninja 1,000　H2R　の開発

これは、モーターサイクルの技術者と技術開発本部の関係者が「当社のオートバイにとって次世代の駆動システムはどうあるべきか」と議論してこれに基づいて開発した。世界で初めてであるが、過給機を装着したオートバイであり、車体は航空機事業部の流体力学、過給機は産業ガスタービン事業部のガスタービン、そしてピストンは原動機事業部のガスエンジンの技術を参照するなど川崎の総合技術を結集したスーパーバイクである。

1971 年にカワサキが世に問うた 750SS MachⅢ「H2」は２ストローク直列３気筒 748CC のエンジンにより、世界最速の強烈な加速を発揮して、ライダーに強烈な衝撃を与えた。その伝説の名を再び冠して「Ｈ２」の車名とした。

H2 は公道仕様の普通市販車であり、H2R はレース専用車である。エンジンはともに 998CC，４ストローク直列４気筒 DOHC 16 バルブである。H2、H2R の最高出力はそれぞ

れ 200 馬力,300 馬力であり、H2R の最高速は時速 400km を達成。最高馬力時の過給機の回転数は 13,000rpm である。

図 5　Ninja 1000 H2

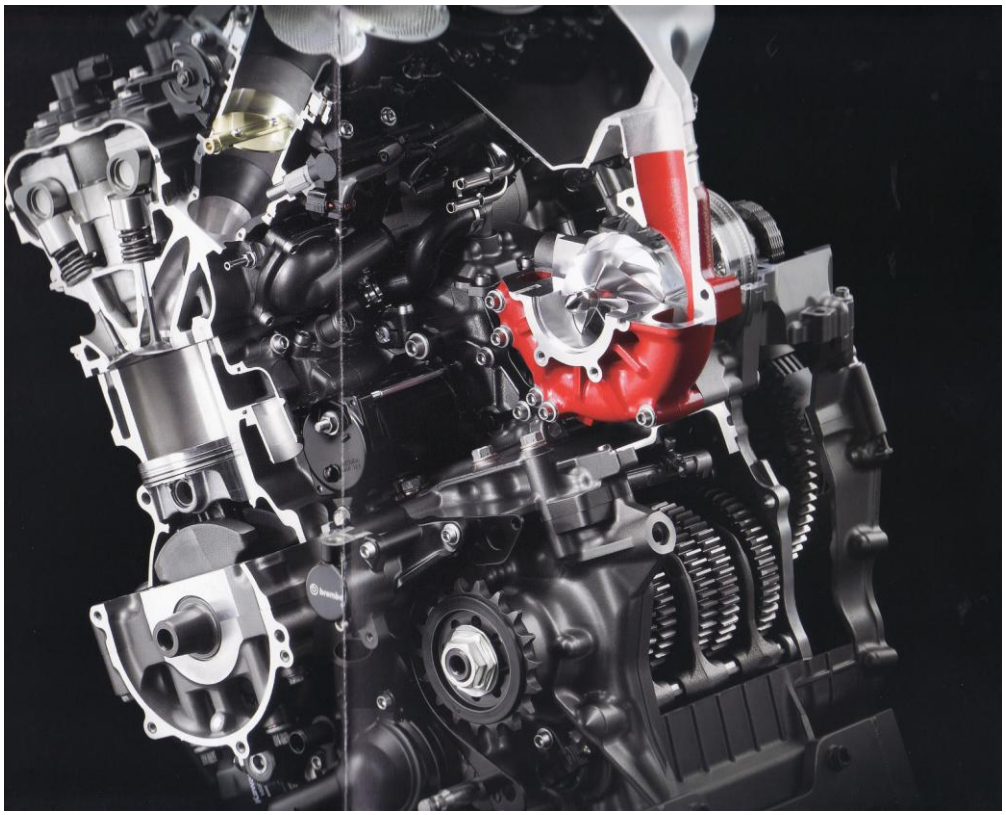


図 6　 Ninja 1000　H2 エンジン断面図　(過給機)

以上のような経過にて、未だ充分な利益を計上できる確固たる世界に誇る事業となっていないが、高性能で特徴のある大形機種を生産・販売するオートバイ事業として、全世界において特殊な高い評判を獲得している。

第 2 編　　純国産ガスタービンの開発 [(2)(3)]

2.1　世界におけるガスタービンの研究

先ず、世界における航空用を除くガスタービン開発の概要を簡単に述べる。

ガスタービンは夙に 1,900（明治 33）年初頭より熱・機械力学的に合理的であり、理想的な熱機関として考えられたが、中々実用には至らなかった。しかし、第 2 次世界大戦の末期にジェット機の開発が成功して、第 2 次世界大戦後の航空用の華やかな成功に幻惑されたのであろうと思うが、戦後、早くから陸・舶用への応用研究が全世界で精力的になされた。しかし、大局的にみると 3 度の失敗があったように思う。

第 1 回目の失敗

1950（昭和 25）年頃、全世界は勿論、我が国もガスタービンブームで、運輸技術研究所を始めとして、名だたる造船会社の三井造船、三菱重工、川崎重工、石川島芝浦タービンなどが,こぞって 500～2,500 馬力級の主として舶用ガスタービンの開発研究を行い､百花繚乱たる状況であった。その一例として、運輸省の補助金を受けて、三菱重工が試作した 500 馬力のガスタービンが、航海訓練所の練習船北斗丸に搭載されて航海試験まで行われた。また、駆潜艇ハヤブサにもガスタービンが搭載された。

しかし、主として優れた耐熱材料が無く、タービン入り口温度を上げることが出来なかったことと、各要素の効率が悪く、ディーゼルエンジンに比して、単に燃料消費率が悪いのみならず、重量、容積も大きく、商品として日の目を見るに至らなかった。

第 2 回目の失敗

自動車用としてガスタービンの研究が開始されたのは意外に早く、イギリスのローバー社が戦後いち早く 1945（昭和 20）年に、既に開発を始めた。アメリカでは 1950 年代より本格的な開発研究が、クライスラー、ジェネラルモーターズ、フォード、ウイリアムズ・リサーチなどによって開始された。そして、1970（昭和 45）年に非常に厳しい排気規制（マスキー法案）が施行され、1972（昭和 47）年にアメリカ環境庁（EPA）は排気のきれいなエンジン開発を目指すために、ガスタービンを最有力候補として開発をクライスラーに依頼するような状況で、ガスタービンは優れた低公害性のゆえに自動車用として適していると大いに騒がれ、各社は数十台試作車を製作して、走行テストなど鋭意研究を続け、量産に移行すると言う決断をした会社さえあった。これらに刺激されて、日本でもトヨタ、日産、ホンダの自動車メーカーのみならず、小松など建設機械メーカーまで車両用ガスタービンの開発テストを行った。　昭和 40 年代半ばには今にもガスタービン時代が到来するかのごときフィーバー状態であった。しかし、未だにガスタービン自動車は出現していない。

ガスタービンは往復機関に比べて定格負荷でも燃費が悪く、部分負荷では極めて悪いが、自動車は定格負荷で運転することは殆ど無く、市街地の交差点では零負荷に近い部分負荷で運転する頻度が高いため、燃費が非常に悪くなることと、ガスタービンは高速回転機械であるから回転系の慣性モーメントが大きく、アイドル状態からの加速特性（つき）が悪く、アクセルのレスポンスが遅く乗り心地が悪くなることなど、ガスタービンはある意味で“馬鹿なエンジン”であり、ガスタービン自動車が今にも普及すると思われながら世に出ない大きな理由であろう。

第３回目の失敗

鉄道車両用はガスタービンを用いた有力な分野であるとの認識のもとに、欧米の各国では戦後早くから航空用ガスタービンを産業用に転用したガスタービン（以後、“航空転用型ガスタービン”と言う）を用い、ただしイギリスのみは自動車用ガスタービンを用いて、鉄道車両用としての研究を始めていた。これらの研究は 1960 年代の後半から 1970 年代に渡って華々しく行われ、営業運転まで行った会社があったが、結局は電気列車に優るメリットが見出されず消えてしまった。

日本においても、鉄道研究所の戦前の航空エンジン技術者が、航空技術の腕を磨くためにガスタービン機関車を作るのが最適と、戦時中、海軍の注文で作った高速艇用ガスタービンを地中から掘り出し、1949（昭和 24）年から研究を始めたが、そのガスタービンは出力が公称出力 2,200 馬力の半分、熱効率は 12%と低かった。一方、国鉄は電化とディーゼル化の方向に進んでいて、運輸省としては鉄道車両用でなく、舶用ガスタービンの研究をすべきとなった。

2.2　川崎航空機におけるガスタービンの研究

川崎航空機（昭和 44 年に 3 社合併して川崎重工となる）は、1954（昭和 29）年にアメリカのロッキード社と技術提携して、日本では最初であるが、米極東空軍のジェット戦闘機の推力 4～6,000kg の J33 および J47 と言う当時の第一線ジェットエンジンのオーバーホール作業を開始した。そして、更に事業を拡大する為に、ヘリコプター用エンジンのライセンス生産を行っていた。

しかし、ガスタービンが将来有望であると判断して、川崎航空機では、世界の華やかな自動車用ガスタービンの研究開発などに刺激されて、ライセンス生産を行っていたヘリコプター用の Avco-Lycoming 製 T-53 ターボシャフトエンジンなどを用いて、1967（昭和 42）年より 1973 年にかけて、以下のように種々の一見華々しい応用研究を行った。

a. 防衛庁第 4 研究所の委託による戦車用熱交換器付きガスタービンの研究
b. 国鉄との協同によるガスタービン列車の研究
c. 道路公団との協同による鳴門海峡での掘削作業用電源としてのガスタービン発電装置の研究
d. いすゞ自動車との協同によるトラック用ガスタービンの研究

等があったが、いずれも商品化へ至っていない。

2.3　川重における純国産ガスタービンの開発

上述のこれらの応用研究通じて、ガスタービンをして真に脚光を浴びさせるには、ガスタービンはある意味では**“極めて馬鹿なエンジン”**であると言う特性を良く弁え、焦らず地味な研究を行うことが肝要であり、その為に、先ず、小形の純国産ガスタービンを開発して、実際に運転して出来るだけ多くの技術を蓄積して、商品化、大形化への基礎を作るべきとの判断に達した。そして、開発目標としては、航空用を除けばガスタービンに適する製品としては、舶用と発電機駆動用であると考えた。

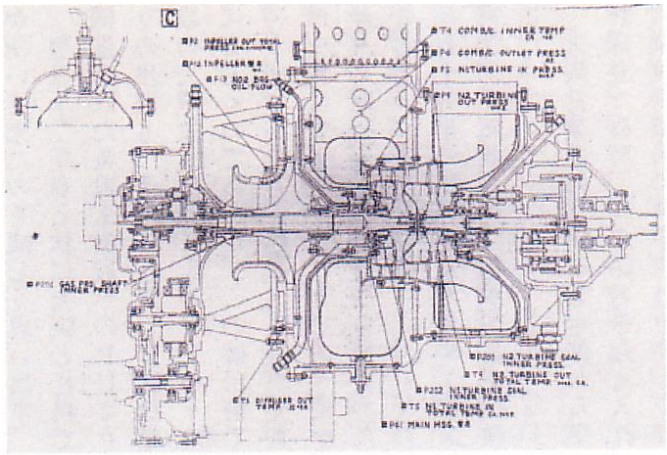
2.4　試作用　KG72 ガスタービン　(1972 年に開発したことによる)の開発

アメリカ全土を１か月にわたって自ら廻ってマーケットリサーチを行った後、1971 年暮から、レジャーボート用を目的とした純国産ガスタービンの開発を始めた。ガスタービンの設計開発は初めてであり、次のごとき方針とした。

a. コストをディーゼルエンジン並みとする―過給機のセンス

b. 性能はともかく、所期の回転数で故障することなく回転するよう頑丈にする。

c. 構造は出来るだけシンプルなものとする。



ＫＧ72ガスタービン断面図

ＫＧ72用燃焼器の実験

図７　KG72 ガスタービン断面図とその燃焼実験の様子

また、ガスタービンの設計に当たっては、圧縮機、タービン、燃焼器など各要素の性能を予めテストで把握してから行うのが一般であるが、圧縮機とタービンのマッチング部品を始めとして、研究部品を系統的に十分用意して、早期に製品化を図る為に、いきなりガスタービンエンジンの設計を行った。

図７は　KG72 ガスタービンの縦断面図とその燃焼器の実験の模様を示すが、ガスタービンは過給機に燃焼器を取り付けた極めて簡単な構造であり、燃焼実験は当時燃焼実験装置が無く、図 7 のように野原で行うと言った想像を絶する状況であった。

自力運転に入るまで、少々時間が掛かり苦労したが、運転開始後約１年（昭和 48 年１月）で目標性能の 300 馬力を上回ることが出来た。開発を担当した主力の技術者は入社後 1～2 年の全くの素人であった。　このエンジンを用いて、とにかくレジャーボート用を考えて、ボートに載せて海上テストを行った。極めて快適であったが、レジャーボートは自動車用の極めて安い自動車用エンジンを使用しており、コストを自動車用エンジン並みに下げる自信がなく、残念ながら、この分野への進出は非常に困難と判断した。

図８　　海上走行試験（KG72 搭載）

2.5　非常用ガスタービンの開発

（主として非常用ガスタービン発電装置用ガスタービンの開発）

a.　200KW ガスタービンの開発　（S1A-01 ガスタービン）

大阪千日前デパート、熊本大洋デパートのような多くの人命を亡くした火災事例に鑑み、1974（昭和 49）年に消防法が一部改正され、火災による人命損失危険の特に高い百貨店、地下街、病院、旅館などに非常用発電機を設置することが義務づけられ、大きな市場になると判断して、これを契機に非常用発電設備用のガスタービンの開発に踏み切った。

最初に開発したガスタービンは 300 馬力の S1A で、初めての開発であったがこのクラスのガスタービンで世界最高の性能を狙った。

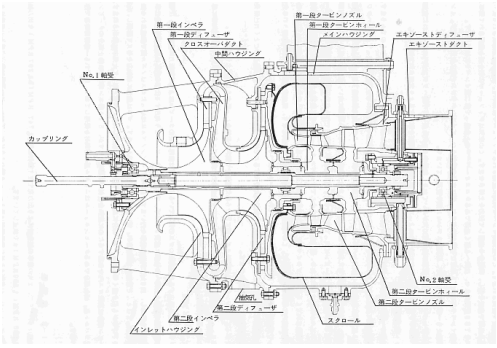


図９　S1A ガスタービン

1,973(昭和　４８)年　12　月に設計を開始し 1975 年 12 月に早くも所期の目標を達成した。

S1 を用いた 200KVA の PU200 型発電装置は、ガスタービンが高速回転をしており、発電機軸における等価慣性モーメントは減速比の 2 乗に比例するので、回転体自体の慣性モーメントは小さいが、等価慣性モーメントは非常に大きく、次の如く発電装置として非常に優れた特徴を持っていることが分かった。（2 軸式のガスタービンでは少し劣る）

イ　周波数および電圧変動が非常に少ない。

ロ　瞬時全負荷投入・遮断が可能である。

ハ　起動後瞬時 100%負荷投入が可能である。

ニ　大きなモーターの起動が可能である。

ホ　ガスタービンは等圧連続燃焼であり、着火が容易で、着火ミスは殆ど考えられない。

ヘ　ガスタービンは自己空冷式であり、冷却水は不要である。

ト　振動、騒音が少ない。

チ　実地震波のレスポンス波（４ヘルツ、７ヘルツ）を用いて、水平方向に 1,000 ガル、垂直方向に 500 ガルの極めて厳しい振動を加えても起動や負荷運転に支障がない。

以上のような特徴に加えて、防振ゴムが不要であり、地震動に共振することが無いので**地震に対して非常に強い。**

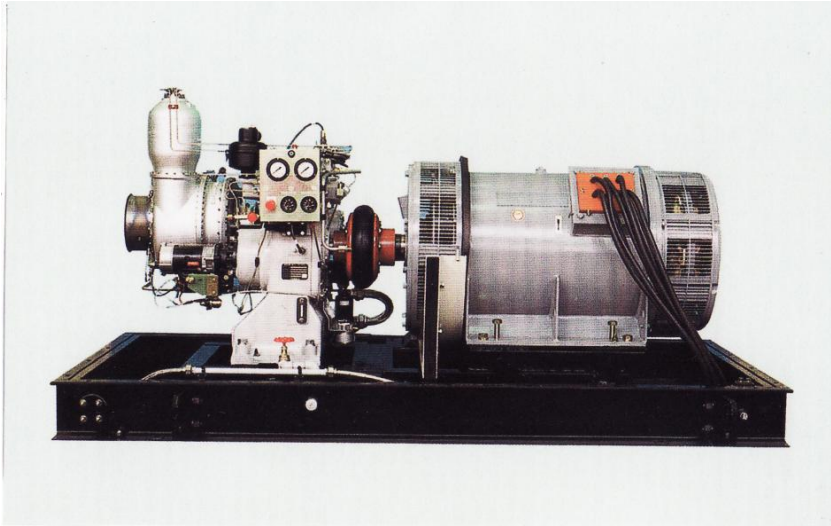


図 10　PU200 型ガスタービン発電装置

1978（昭和 53）年の宮城沖地震で、多くのディーゼル発電設備が稼働しなかったが、ガスタービン発電設備（アメリカ製）は駆動したことから、日本内燃力発電設備協会が、急遽、非常用発電設備の耐震性基準を設けるために、各社で実験を行った。ガスタービン発電装置は川重で実験したが、以上の特徴はその実験で得たものである。

1995（平成 7）年 1 月 17 日未明に発生した阪神・淡路大震災では、川重の非常用ガスタービン発電設備の対象物件が 190 台あったが、そのうち 184 台が正常運転を続け大いに活躍した。また、2011（平成 23）年 3 月 11 日に起きた東日本大震災では、調査台数 3,092 台の中停電があった地域に 1,035 台があったが、1,034 台が稼働して、稼働率は 99.9%であり、阪神・淡路大震災以上に大活躍して、ガスタービン発電装置は耐震性が非常に大きいことを実証した。

b.　1,000KW ガスタービンの開発（M1A-01　ガスタービン）

非常用ガスタービン発電装置が地震に対して非常に強いことが、実験及び実際に証明されたので、本格的に事業化すべく、製品系列を早急に整備した。　S1A の相似設計で、1,000KW の M1A-01 ガスタービンを 1974 年に設計を開始して、1977 年 11 月には“PU1250 型発電装置”として公開運転を行った。

その後、矢継ぎ早に逐次出力の異なった中・小形ガスタービンを開発して 18 種類の製品系列を整備した。1977(昭和 52)年に販売を開始して以来、約 60%以上のマーケットシェアーを確保し続け、非常用ガスタービン発電設備の新市場を開拓することが出来た。

c. 護衛艦搭載ガスタービン主発電機

M1A-01 ガスタービンは開発途上で、耐久性など不安だらけであったが、1977（昭和 52）年 9 月に日本海事協会より舶用としての型式認定を取得したので、敢えて冒険を承知の上で、1975（昭和 50）から受注活動を開始し、1978（昭和 53）年 2 月に 52DD 用 1 号主発電機として受注に成功した。

果せるかな、トラブルが発生し続け、護衛艦の運用を阻害して防衛庁に多大なご迷惑を掛け、“川崎重工の純国産ガスタービンは使用に耐えず、輸入ガスタービンを検討せよ”との指示が出されたほどで、ガスタービン事業の中止に至るところであった。約２年間、昼夜兼行、休日返上で対策回収し、最終的には国産の良さが認められた。今から思えば、誠に無責任極まりない暴挙であったと忸怩たる思いである。

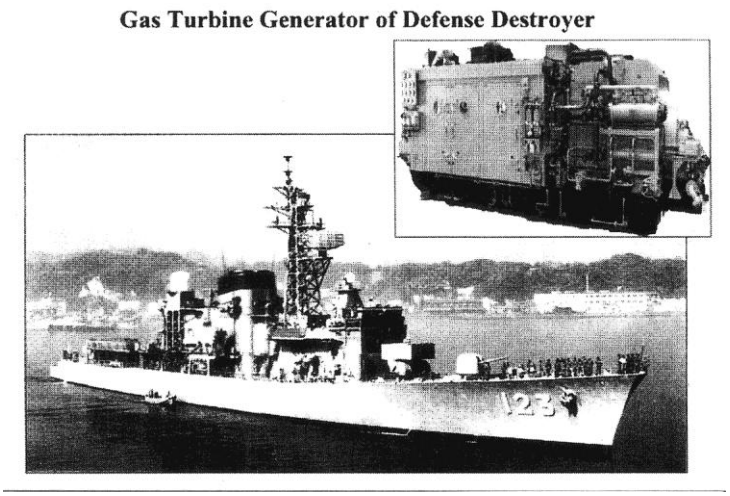


図 11 護衛艦と搭載されたガスタービン主発電機

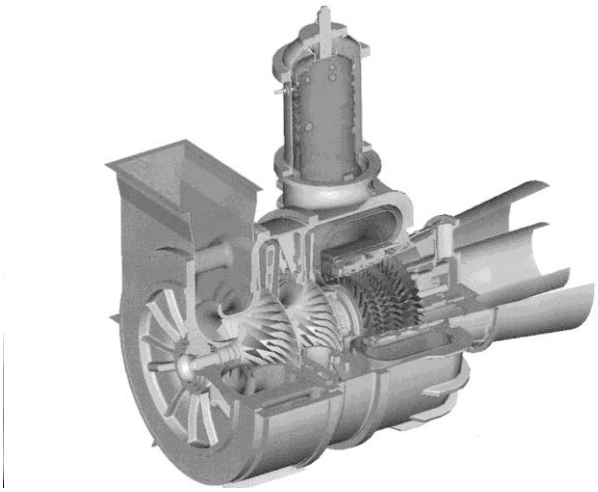


図 12　M1A-35 ガスタービン

しかし、その後海幕機関班の方々等の暖かい支援のもと、その都度改良に改良を加えながら要求出力の増加に応じて、1,250KW, 1,500KW と出力を向上して、大形化を果たして、遂にはこの型式のガスタービンとしては世界最大出力の 2,４00KW の　M1A-35 ガスタービンを開発して護衛艦の「ひゅうが」及び「あきづき」に採用された。

このようにして、イージス艦を除くすべての護衛艦の主ガスタービン発電機は川重製のガスタービンを装着している。この「M1A-35 ガスタービン主発電機」は防衛装備品に関連した自主的な研究開発や生産技術などの向上に貢献した製品に与えられる栄えある“**防衛調達基盤整備協会賞**“を 2011（平成 23）年 11 月に受賞した。

2.6　後期段階におけるガスタービンの開発

（主として常用発電装置用ガスタービンの開発）

1973 年に勃発した第 1 次オイルショックによるエネルギー事情の混乱の中で、1978 年にアメリカのカーター政府が省エネルギーおよび資源の有効活用を目的とし、国家エネルギー法の一つとして、「公益事業規制政策（PURPA)」が発令され、コージェネレーション促進策がとられることによって、ガスタービンのコージェネレーションが騒がれるようになった。

しかし、日本では当時は、商用電源との並行運転は認められておらず、かつ運転時間に関係なく、年に一回定期検査でガスタービンの解放点検を義務付けられるなど、厳しい電気事業法があり、その後 5 年間ほどは殆ど設置されなかった。

その間、日本内燃力発電設備協会の支援のもと、東大八田桂三名誉教授の献身的な指導と、通産省の吉沢均、佐々木宣彦発電課長のご理解により、1988（昭和 63）年 5 月に「小形ガスタービン発電設備に係る定期検査制度の緩和」なる通産省資源エネルギー庁発電課長通達が発令され、漸くガスタービンのコージェネレーションが普及することになった。

a.　1,500KW ガスタービンの開発（M1A-13）

1986（昭和 61）年より既存機種の耐久性向上および熱効率を 5%向上した 1,500KW のコージェネ用ガスタービンの開発を開始した。この基本機種は非常用の M1A-01 ガスタービンであり、護衛艦でのトラブル対策が常用としての技術向上に大いに役立った。

b.　6,000KW 級ガスタービンの開発（M7A）

電力の自由化と立地・建設の容易さ、環境クリーン化などにより、地域分散型発電が普及する傾向にあり、さらに大形化の需要動向をにらみ、事業の拡大の為に、軸流圧縮機を構成成要素とした本格的なガスタービンの開発を決意した。軸流圧縮機設計の経験がないため、開発に先行して、実物大の軸流圧縮機単体試験を実行した。熱効率 30% 以上の世界トップクラスを目指して、1988 年に開発を開始し、1994（平成 6）4 月に 1 号機を納入した。このガスタービンは、正規の開発会議を経ずして開発したもので、**“妾の子”** である。

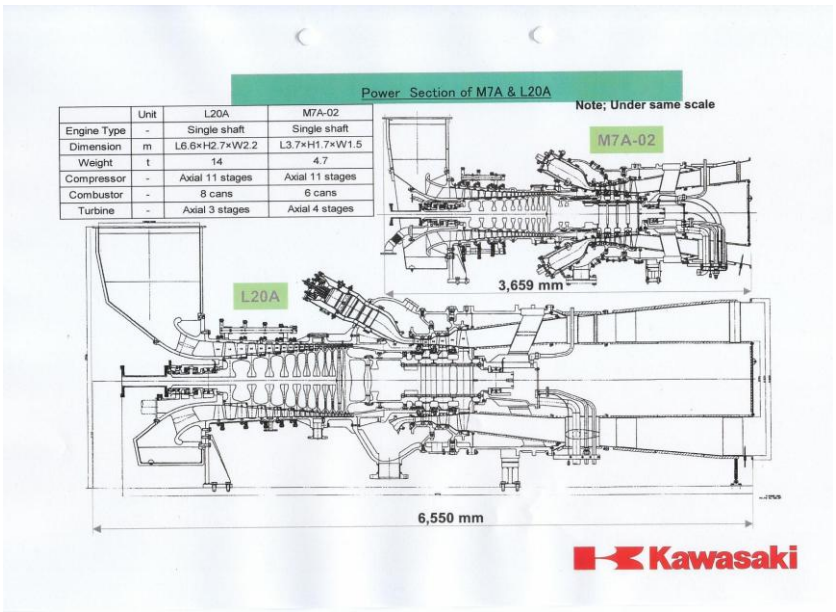
c.　20,000KW 級ガスタービンの開発（L20A）

6,000KW 級ガスタービンの開発成功により、1998（平成 10）年 4 月に更に大形のガスタービンの開発に着手し、僅か 2 年半で試作完了して、所期の目標性能をおおよそ達成した。1 年後、明石工場内に立派な発電所を建設して、工場内に電気および蒸気を供給し、経費節減、環境問題の改善に資するのみならず、顧客の見学にも利用して、ガスタービン事業の更なる発展を期している。更にガスタービンの耐久試験にも活用した。

なお、試作時のコスト目標は、舶用の大形ディーゼルエンジンの販売価格が馬力当たり20,000円であるので、それより安くKW当たり20,000円を目指して達成した。

図 13　明石工場内のL20Aを用いたコージェネレーション発電所

このガスタービンは、経営会議で営業関係の役員が全員「20,000KW ガスタービンの市場はない」と言うことで、開発が不許可になるところだったが、林淳司副会長(元運輸事務次官で、国鉄民営化の強力な推進者)が「ここには大きな市場がある。開発は実行すべきである」と断固たる意見を述べられ、漸く開発が認められた。そう言った意味でこのガスタービンは**“難産の子”**である。



	Unit	L20A	M7A-02
Engine Type	-	Single shaft	Single shaft
Dimension	m	L6.6×H2.7×W2.2	L3.7×H1.7×W1.5
Weight	t	14	4.7
Compressor	-	Axial 11 stages	Axial 11 stages
Combustor	-	8 cans	6 cans
Turbine	-	Axial 3 stages	Axial 4 stages

図 14　M7A と L20A ガスタービンの横断面図

d. 30,000KW 級ガスタービンの開発（L30A）

電力の自由化により地域分散型発電の需要が高まり、大形で高熱効率のガスタービンの需要が増加すると予測して、2013 年に熱効率世界最高を目指して 30,000KW の L30A ガスタービンを開発・完了した。熱効率 41.3%は世界最高であり、軸流圧縮機の 14 段、圧力比 24.5 は世界最高の段あたり圧力上昇である。そして、2013.4.10 に日刊工業主催の栄えある“**日本産業技術大賞**”を受賞した。

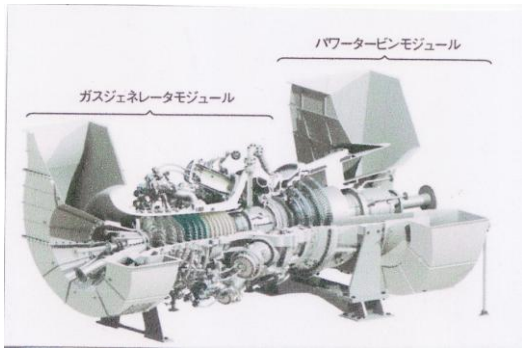


図 15　L30A ガスタービン

型　式	単純開放 2 軸型
出　力 (MW)	30.9
熱 効 率 (%)	41.3
圧 縮 機	軸流14段
燃 焼 器	8 缶型
ガスジェネレータタービン	軸流 2 段
パワータービン	軸流 3 段
ガスジェネレータ回転数 (min^{-1})	9,330
パワータービン回転数 (min^{-1})	5,600
空気流量 (kg/s)	86.5
圧 力 比	24.5
排気温度 (℃)	470

※ISO条件（パワータービン軸端換算，燃料：天然ガス）

図 16　　L30A 主要諸元

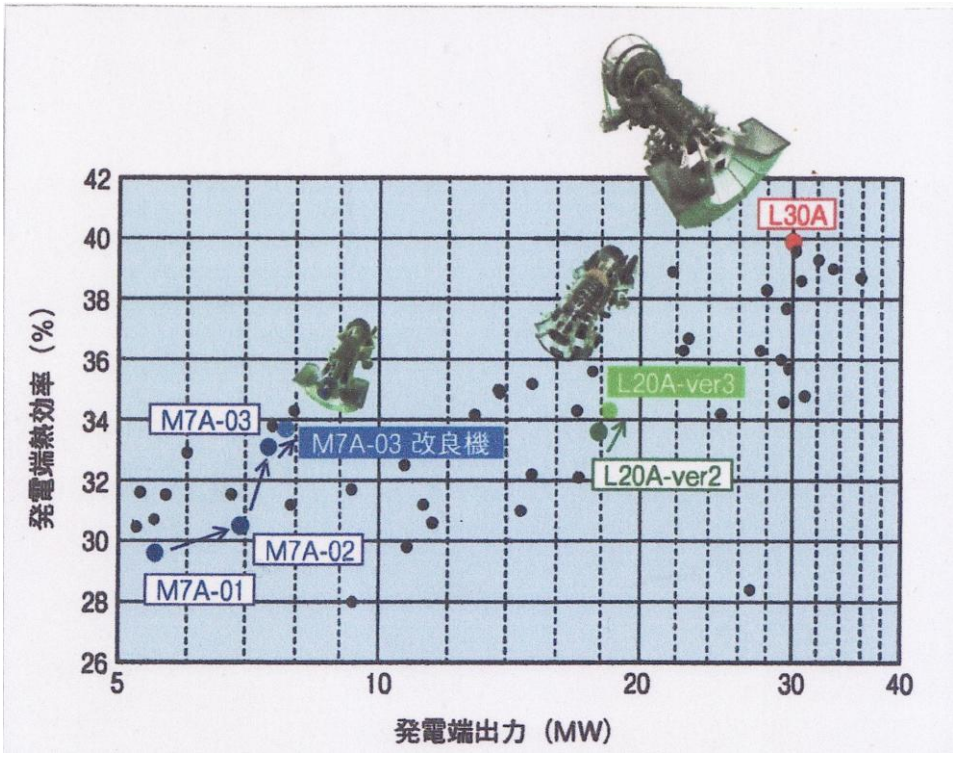


図 17　　5～35 MW クラスの発電用ガスタービンの性能トレンド

e.　全量蒸気噴射の熱・電比可変ガスタービンの開発（チェンサイクル）

1985 年に開発着手し 1 年で完了。大幅な出力、熱効率の向上が達成された。

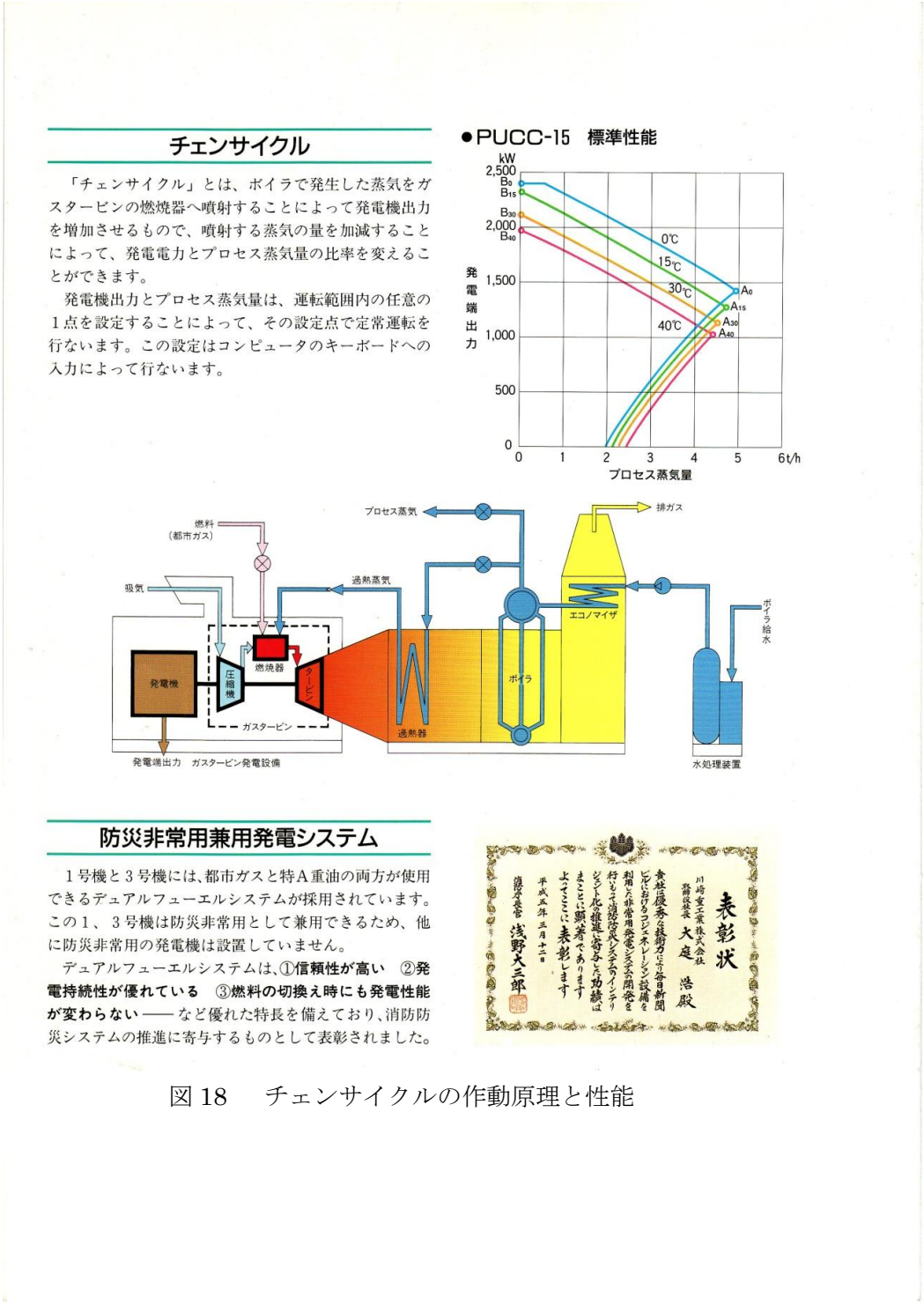
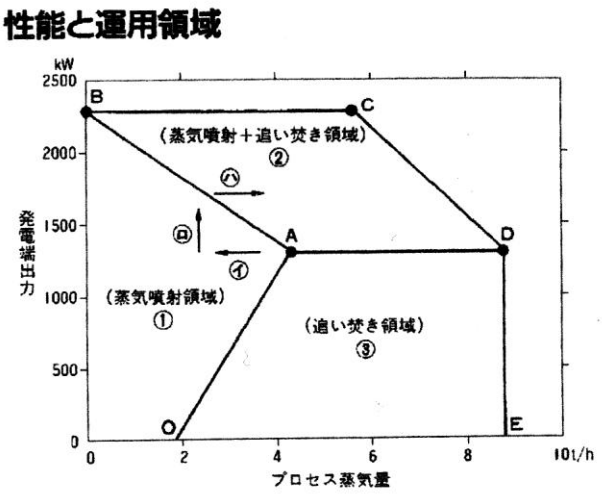


図 18　　チェンサイクルの作動原理と性能

図 18 および図 19 は M1A-13 ガスタービンをチェンサイクルとした際の性能であり、出力は 1,300KW から 2,300KW まで約 77%増加し、発電端効率は 21%から 32%まで約 52%

増加している。電気出力と蒸気出力とを加えた総合熱効率は 74%となる。



作動点		A	B	追焚き装置付き C	追焚き装置付き D
発電端出力	kW	1300 (1250)	2300 (2230)	2300 (2230)	1300 (1250)
噴射蒸気量	t/h	0.5 (0.5)	4.7 (4.5)	4.7 (4.5)	0.5 (0.5)
プロセス蒸気量	t/h	4.3 (4.0)	0 (0)	5.5 (5.3)	8.5 (8.2)
ガスタービン燃料量	$\times 10^6$kcal/h	5.3 (5.3)	6.2 (6.1)	6.2 (6.1)	5.3 (5.3)
追焚き燃料量	$\times 10^6$kcal/h	0 (0)	0 (0)	3.6 (3.6)	2.6 (2.5)
発電端効率	%	21.0 (20.5)	32.0 (31.5)	—	—
総合熱利用率	%	74.0 (70.0)	32.0 (31.5)	56.5 (55.5)	84.0 (82.0)

大気圧力：1.033kg/cm²a　蒸気圧力：15.5kg/cm²G　給水温度：15℃
吸気温度：15℃　蒸気温度：飽和（プロセス蒸気）　燃料：都市ガス13A（液体燃料）
※追焚き装置はオプション

図 19　追い炊きをしたチェンサイクル・ガスタービンの
運用領域と性能

1991（平成 3）年 9 月に毎日新聞社大阪本社の屋上に、M1A-13CC チェンサイクル・ガスタービン 2 台と M1A-13 ガスタービン 1 台からなるコジェネレーション・システムを設置し、印刷の為に輪転機を廻し電気出力を多く要する時は、蒸気噴射して電気出力を増加し、その他の時は、周辺の地域に熱エネルギーを供給して効率よい運転を続け好評を博した。また、この設備は消防法による非常用発電設備の役目も兼用しており、阪神・淡路大震災にも停止することなく運転した。

2.7　　国家プロジェクトの研究

a.　セラミック・ガスタービンの研究（1988～1999）

タービン入り口温度　1,395℃ にて熱効率 42%達成した。　回転体のタービン動翼が運転できたのは世界で初めてである。しかし実用化は、問題が多く甚だ困難である。

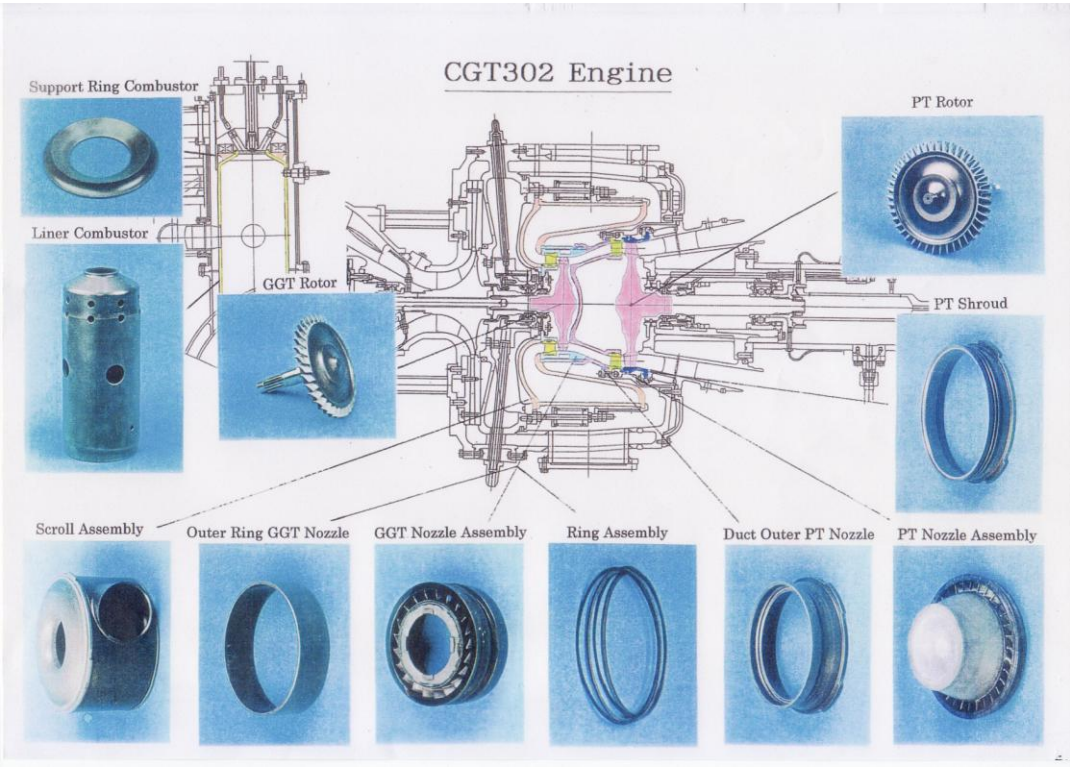


図 20　セラミックガスタービンおよびセラミック適用部品

b. アドバンス・コージェネレーション・システム技術研究開発

ACT 90 (Advance Cogeneration Technology)（1987～1992）

c.　環境低負荷型舶用推進プラントの試験研究－

SMGT　(Super Marine Gas Turbine)（1997～2003）

高速ディーゼル並みの熱効率 38～40 %,　1/10 の NOx 排出値　1g/kwh を狙った 2,500KW の舶用熱交換器付フリータービン式ガスタービンの開発研究であり、2,680KW, 熱効率 38.2 %、NOx 排出量 0.97g/KWh を記録して目標を達成した。このクラスの舶用ガスタービンの研究としては世界最高の性能である。

第３編　　オートバイ事業のごとき本質的事業の重要性

ガスタービンの開発、研究、事業に携わっている多くの人から、ガスタービンの開発とオートバイの開発にどんな関係があるのですか、と聞かれることがしばしばである。

しかし、実際にゼロから出発して、曲がりなりにも、我々が開発した純国産ガスタービンで一つの事業を起こすことが出来たが、これにはオートバイのエンジン開発の経験がなかったら不可能であったと思う。そしてオートバイの開発を担当せよと命令された時は、辞表を出し退社しようとまで思ったが、本当に開発技術者としてオートバイ事業に携わってよかったとつくづく思うとともに感謝している。それには多くの要素があるが、大きく言えば、次の 4 点かと思う。

4.1　本質的な事業の経験

本質的な事業とは、ライセンス生産するとか、国や防衛庁や公共機関などから仕事を受注するのではなく、自己責任でマーケットリサーチ、製品企画、設計開発、販売、アフターサービスと言った完結的な仕事を遂行することであって、当然ながら製品開発に当たっては、鋭い洞察力で世界市場において十分戦える製品を開発しなければならない。

4.2　製品開発のやり方

製品開発に当たって重要なことは、開発した製品が市場のニーズ(性能、価格など)に適合して、故障なく大いに売れることである。

a.　開発目標の設定

マーケットの動向を良く把握して、企業の持つ総合的な開発技術力には無関係に、“開発する製品の本質、即ちセールスポイントを明確にして、世界一の性能とする”こと。

b.　徹底的な血と汗の出る実証実験

ガスタービンの場合は、流体力学、固体力学などが発達しており、理論で目標としている製品開発が出来ると思われがちであるが、レシプロエンジンの開発と同様に、血みどろになって運転を重ねて、性能、信頼性を確保する努力と情熱が必要である。

c.　コスト意識が極めて重要

民需製品では価格が高くては売れない。

4.3　スピードが肝要

オートバイ事業では、顧客の嗜好を洞察して、顧客の要望を満足させる製品を一刻も早く市場に投入することによってのみベストセラーとなり、熾烈な販売競争に打ち勝つことが出来る。ガスタービン事業も同じである。

4.4　　白人に対する劣等感の払拭

第 2 次大戦以前および戦後の 30 年近くは、ほとんどの製品が舶来上等で、何となく白人に対して劣等感の如き感覚があった。　しかし、性能世界一のオートバイ Z1 を販売した際に、たちまち世界のオートバイ市場を席巻することが出来た。　そして、アメリカへ出張した際に、Z1 開発責任者と言うことで、多くのユーザーのみならずアメリカの大学教授からさえも、サインを求められた。

オートバイの開発をやったお蔭で、白人に対する劣等感は全く感ずることはなく、“良い製品を作れば国や人種を超えて大いに歓迎される”と言うことを肌で感じたものである。

おわりに

天然資源の乏しい日本が、今後、益々発展・繁栄するためには、優れた純国産の工業製品をどしどし開発して、世界市場に逞しく進出することが肝要である。

世界はボーダレス、メガコンペティションの時代となり、日本人自らの技術で開発した世界市場で充分競合できる“世界一”の強い製品を有し、逞しく海外で事業展開できる企業のみが、今後、発展できるのではないかと痛切に感ずる。

自分で考えて設計開発し、汗を流し身体を動かし、泥まみれになって、自分で確かめ実証することによってのみ得られる自主技術の重要さを痛感する。

製品開発に携わる技術者は、無敵の“零戦”を開発されたように、戦前の技術者が汗と血の出る努力で築いた日本人の優秀性に誇りを持ち、彼らが残した不撓不屈の“開発魂”を鑑として、世界市場で誇るに足る優れた製品をどしどし開発して、国家の繁栄・発展に貢献する心構えを忘れてはならない。

参考文献：

1.『カワサキ Z の源流と軌跡』(監修　浜脇洋二、大槻幸雄・他共著、2016 年、三樹書房)
2.『純国産ガスタービンの開発』(大槻幸雄著、2015 年、三樹書房)
3.『社会に貢献する中・小形ガスタービン発電装置』(大槻幸雄他 4 人著、2012, 日本工業出版)