

業界トップレベルの効率を誇る下水浄化用曝気ブロワの開発 — オール自社開発で創出した市場優位性 —



曝気とは、下水処理装置内の微生物に酸素を送り込むこと。
当社製曝気用ブロワ「MAGターボ[®]」は、
飛躍的な高効率化とメンテナンスフリーの実現で、
省エネを求める市場から喝采を浴びた高性能機です。
可能にしたのは、業界トップレベルの革新的な駆動システムの開発。
そこには、川崎重工の強みを活かす
機電一体の自社開発へのチャレンジがありました。



松尾 和也
Kazuya Matsuo

技術開発本部
システム技術開発センター
機電システム開発部 第一課
課長

ユーザーの声にこたえる 革新的な曝気用ブロワの実現に向けて

日本各地に設けられた下水処理施設に設置された処理装置内には、汚水中の有機物を分解するための微生物が生息しています。それら微生物の活動を活発にするために、常時新鮮な空気を送り込むのが、「曝気用ブロワ」と呼ばれる装置で、当社は40年間にわたって国内の多数の処理施設に納入してきました。下水処理施設では、電力消費量の40～60%を曝気用ブロワが消費しており、その高効率化・省エネ化の要望は年々高まっています。またブロワは常時稼働する必要があるため、長期間のメンテナンスフリー性も必要になります。

曝気用ブロワには、ちょうど扇風機の羽根のような「羽根車」という部品が付いており、効率よく送風するためには、この羽根車を高速で回転させる必要があります。従来、当社では汎用モータの回転軸に、増速ギヤを取り付けることで羽根車の回転数を上げていました。しかしこの方式で

は、ギヤの摩擦損失などにより、どうしてもエネルギー効率が悪くなってしまいます。また、機械的接触部があり、定期的な開放点検が必要となるため、お客様からは省エネに加えてメンテナンスコストも抑えた機種を望む声が高まっていました。

そこで当社では、羽根車とモータを直結し、モータ自体を高速回転させることによって増速ギヤをなくすとともに、「磁気軸受」を採用することにより、エネルギー損失の大幅な低減とメンテナンスコストの削減を実現する、革新的な新製品の開発にチャレンジすることを決定しました。従来機種では、高速回転するロータ（回転軸）を支持するのにすべり軸受を使っていましたが、この方式だと金属が接触する部分に潤滑油が必要となり、メンテナンス負荷が高くなってしまいます。これを磁気軸受に切り替え、ロータが浮上したままで高速回転する仕組みにしました。これなら機械的接触がないためエネルギー損失を低減でき、さらに潤滑油を使う必要もなくなります。

しかし、目標とする新製品を実現するためには大きな課題がありました。従来、モータなどの電機品は社外からの購入品を組み込んでいましたが、モータと羽根車を一体化した回転体を毎分30,000回転以上の高速で効率よく回転させ、さらにその回転体を磁気軸受で安定して支えるためには、機械・電気双方の性能を最大限引き出す必要がありました。すなわち、機械装置と電機品を一体で設計・開発する「機電一体技術」が求められていたのです。

2003年秋、ガスタービン発電装置など高速回転機械の電機品に関する研究開発に取り組んでいた技術開発本部に、

新型の曝気用ブロワ開発支援の要請が到来しました。曝気用ブロワの運用形態に最適な「モータ」、「磁気軸受」、そしてこれらを駆動する「電源装置と制御装置」の新規開発です。いずれもほぼゼロからのスタートで、求める高速回転レベルでは国内で成功した事例もありません。当社の機電一体技術の大きなステップとなる新たな挑戦が始まりました。

数ミクロンレベルの制御を叶える 磁気軸受制御装置の開発

磁気軸受では、ロータを浮上させる力を得るために電磁石を用います。電磁石とは、磁性材料でできた芯のまわりにコイルを巻き、そこに電気を流すことによって一時的に磁力を発生させるものです。ロータ浮上を高精度で制御する必要があるため、これらのコイルに高精度で通電させることが主な技術テーマとなりました。磁気軸受とロータの間はわずか数百ミクロン程度しかなく、数ミクロンレベルの繊細な制御が求められます。そこで、位置センサによってロータの現在位置を高速に計測して検知したわずかなズレに対して、磁気軸受用に新設計した制御装置が電磁石に流す電流を緻密に調整し、ロータの位置変化を基準位置から数ミクロン以内に抑える性能を実現しました。また、この磁気軸受制御装置には、停電が発生したときにも、高速で回転するロータの浮上を維持して、安全に停止させるための特殊な電源システムを装備しました。停電発生時には高速回転していたモータが瞬時に発電機として回生電力を



高効率かつメンテナンスフリーを実現する磁気軸受を採用した曝気用ブロワ

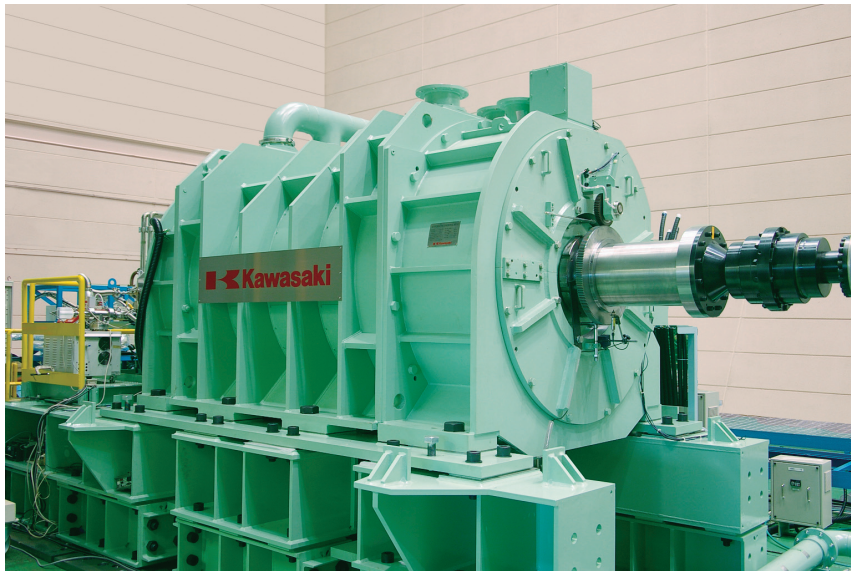
発生し、この電力によって停電時にもロータの浮上状態を低回転速度まで維持するのです。この機能により停電発生時の軸受やロータの接触損傷を防ぐことができます。

一方、プロワを駆動するモータには、高効率・低損失を特徴とする永久磁石同期電動機を採用し、これを駆動する電源装置には、その駆動源となる高周波の電流波形を生成するインバータ（直流-交流変換器）を新たに開発する必要がありました。インバータの動作周波数が低いと、電流のひずみによってロータの表面が発熱し、熱に弱い磁石が過熱されます。かといってインバータの動作周波数を高くすると、インバータ内の電子回路で損失が高くなって効率低下を招くという、いわばトレードオフの関係にあります。そこで、2台のインバータを設置して、両者の電流増

減のタイミングをずらすという方式（インターリーブ方式）を考案しました。こうして、トレードオフの関係にあった双方の低損失化を両立させて、従来機種種の省エネ性能をはるかにしのぐ見通しが得られ、詳細設計、製作が始まりました。

浮上回転していたロータが突如落下 万が一の可能性まで追求して得られたもの

前述の開発課題を乗り越え、いよいよ出荷前試験を迎えました。プロワシステムに組み込んで実際に動かし、各種データを取りながら、正常に駆動するかどうかを検証するのです。緊張の一瞬でしたが、ロータは無事に浮上、位置



機電一体設計により実現した3 MW超電導モータ



機電一体設計を活用した将来の船用推進システム（オフショア船のイメージ）

精度も合格点です。ところが、モータの回転数を上げていくと、数万回転に達したところで突然、浮いていたロータが落下して緊急停止するというトラブルが発生しました。早速、カンパニーの担当者と原因究明に着手しましたが、ロータ落下直前の振動など計測データにはおかしな兆候は見られず、また軸受やモータなどにも異常は見当たりません。ところが、制御装置のデータと内部の電子回路の確認を進める中で、電源駆動用の半導体部品の一つが破損していることが判明しました。事前に単体試験を何度も繰り返して持ち込んだにも関わらず発生してしまったトラブルでした。いくら見直しても電子回路に問題は見当たらず、また試験を繰り返しても再発しません。しかし、半導体部品が壊れたということは、何かしら異状があったということです。電子回路内の動作波形のチェックを繰り返しますが、データには異常な波形は見当たりません。それでも根気よく検証を続けた結果、電子回路内のパルス信号が数十万回に1回程度、すなわち数十秒に1回程度欠落するケースを発見しました。一部のIC（集積回路）部品が周囲環境の電磁ノイズで誤動作し、電源駆動用の半導体部品の破壊に至っていたのです。万が一の可能性まで想定した回路設計の重要性、ノイズと対峙して対応することの重要性を改めて認識する機会となりました。

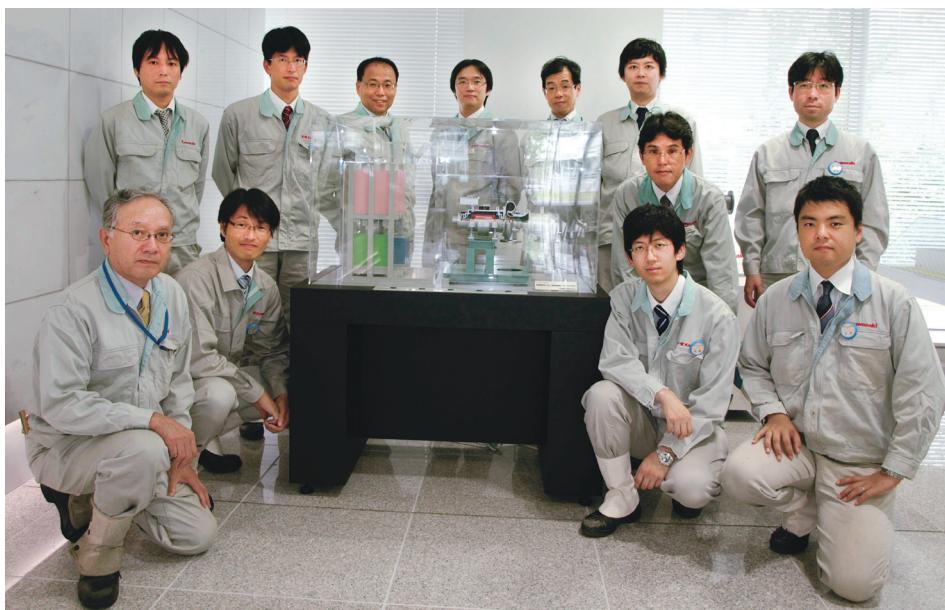
オール自社開発によって創出した 圧倒的なアドバンテージ

こうして完成したMAGターボ®は、2007年に初号機が出荷されました。インバータ制御式による高速電動機のロータの軸端に、羽根車を直接取り付け付けたプロワで飛躍的な高

効率化を叶えるとともに、潤滑油が不要な磁気軸受の採用によって長期間のメンテナンスフリーも実現した、まさにユーザーの求める「夢の曝気用プロワ」でした。他社を圧倒する総合効率を誇るMAGターボ®は、市場でも強力なアドバンテージを発揮し、発売以降、年間10~20台ペースで出荷されていて、すでに80台を超える納入実績を上げています。実際、その省エネ効果も高く評価されており、MAGターボ®を導入いただいた大都市圏の処理場では、曝気関係の電力について大幅なコストダウンを達成しています。また信頼性も抜群で、2007年に発生した震度6の能登半島地震の際も、富山県に納入されていたMAGターボ®は安定稼働を続けていました。

この分野において、当社が特に強みを持つのは大型高速回転機などの技術難度の高い領域です。そこで有する当社の強みを最大限に活かすには、製品の隅々まで「川崎重工のものづくり」を反映させる必要がありました。今回のMAGターボ®開発においては、プロワ本体はもとより、モータ、電源装置、そして磁気軸受制御装置に至るまで、すべて自社で開発・設計・製造しています。こうした機電一体の自社開発は、今後の当社の製品にとって、その市場競争力を向上させるために極めて有効な開発手法になると確信しています。

現在、機電一体技術のさらなる展開として、将来の船用推進システムとして期待される大型超電導モータや、オフショア船などのハイブリッド推進システムの開発にも着手しています。これからも川崎重工ならではのものづくりを牽引し、地球環境の未来のためにさらなる高効率化の実現にチャレンジしていきたいと考えています。



開発者たち