

市場の変化とともに進化するサーボシステム

宮原 章雄

Akio Miyahara

堀内 学

Manabu Horiuchi

成沢 康敬

Yasutaka Narusawa

1. まえがき

今、サーボシステム市場を取り巻く環境は大きく変化している。「地球温暖化」、産業のグローバル化に伴う「使用環境の変化」および「お客さまのニーズの変化」などである。このような市場の変化に伴う課題を解決し、お客さまが「新しい価値」を創出するために、私たちはタイムリーに新しい製品を提供していかなければならない。

本稿では、市場の変化に伴う課題を解決するためのサーボシステムの技術進化を紹介する。

まず、「ステッピングモータの低振動騒音・低発熱化技術」と「高出力」、「軽量化」、「低損失」を実現した「20角サーボモータの開発」について紹介する。これらの技術は、「人と地球環境に優しい性能を追求する」技術であり、当社の第8次中期経営計画における、重点目標のひとつでもある。

次いで、お客さまの使用環境やニーズの変化に対し、安心してご使用いただける製品をタイムリーに提供するための「サーボアンプの設計技術の進化」について解説する。

2. ステッピングモータの低振動騒音化技術と低発熱化技術

ステッピングシステムはオープンループ制御が可能であり、システムを簡単に構築できる。そのため、一般産業機械や半導体製造装置、そして医療機器など幅広い用途にご使用いただいている。特に近年は、医療機器などの人の近くで使われる用途が増えてきた。そのため、トルク性能だけでなく、装置の低振動や低騒音、さらに低発熱を実現するステッピングモータへとお客さまのニーズが変化してきている。

本章では、2015年に発売を開始した「SANMOTION F5」5相ステッピングモータ⁽¹⁾における低振動騒音技術および低発熱技術の概要を紹介する。

「SANMOTION F5」5相ステッピングシステムにおいては、トルクリップルを低減するために、ドライバの電流制御を工夫した。また、モータのステータとフランジ・エンドブラケットの嵌合寸法および突き当て部の形状を工夫するなど、構造剛性をアップする最適化設計技術を適用した。これらの技術によって、図1に示すように、振動の原因となる速度変動を大幅に低減す

るとともに、騒音レベルを約3dB (A) 低減した。ステッピングモータの速度変動は、機械装置の振動の原因となるので、速度変動を大きく低減することは、機械装置の低振動化に結び付き、さらに機械装置の設計自由度を大きくする。また、騒音レベルが3dB (A) (音響エネルギーは1/2) 低減しているため、耳障りな音が大きく低減している。

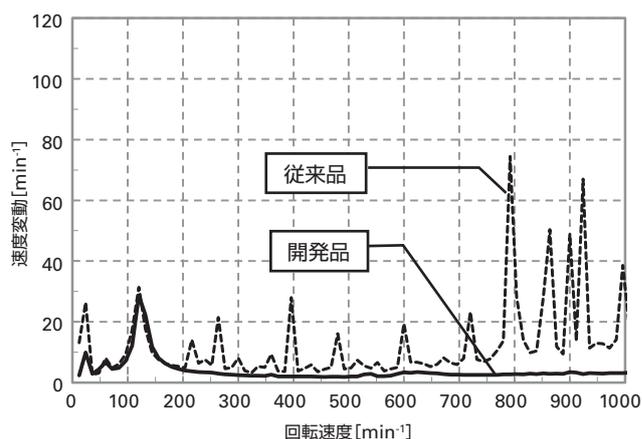


図1 従来品との速度変動比較例

この5相ステッピングモータでは、上記のように低振動騒音化を図るとともに、モータの温度上昇も大きく低減している。次に、モータ損失と温度上昇の低減について紹介する。

モータ損失の発生原因を定量的に分析し、損失が最小でトルクが最大となる技術を開発し適用した。例えば、ステータ・ロータコアの磁路設計と電磁鋼板の材質を最適にすることで、鉄損を低減した。また、巻線スペースの拡大および整列巻にすることで、巻線占積率を向上して、銅損を低減した。

この5相ステッピングモータでは、従来モータに比べて、損失が約24% 低減し、モータ表面温度は半減した。なお、このモータではホールディングトルクは従来品に対して24% 向上している。

このように、当社の最新の5相ステッピングシステムは、高トルクで、振動騒音が小さく、温度上昇も低く、人の近くで使用する用途にも適するよう進化している。

今後は、これらの技術を2相42角ステッピングモータなどへ適用し、お客さまがより使いやすい新製品を開発する予定であ

る。要点は、「モータの出力密度（単位質量当たりの出力）の向上」と「振動騒音および温度上昇の低減」を両立することである。この技術進化を通して、お客さまの「新しい価値の創出」に貢献し続けていきたいと考えている。

3. 小径20角ACサーボモータの取り組み

2015年に販売を開始した「SANMOTION R」シリーズのフラジサイズ20角モータ⁽²⁾を図2に示す。本製品は、実装プロセスでの実装速度向上や多機能実装などの需要の変化に対し、実装機のヘッド駆動部に新たなソリューションを提供できる、次世代製品として開発をおこなった。本製品は「高出力」「軽量化」「低損失」の3つをコンセプトとしている。

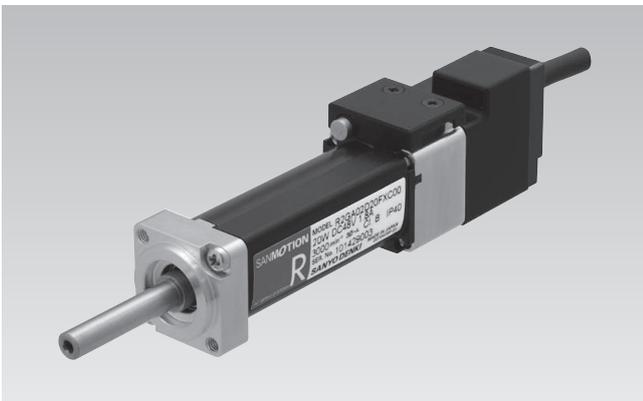


図2 小径20角ACサーボモータ

この20角サーボモータでは、空芯で巻線し、それを円弧形状に機械的に曲げたものをコアに挿入する高占積率巻線技術を適用している。これによって銅損を大幅に低減して、出力領域の拡大と低損失化を実現した。また、フレーム断面を丸形状とし、さらに磁性体にして磁気回路の一部とすることで、占積率の向上と軽量化を同時に達成している。また、これら技術を用いて実際に設計をおこなうに当たり、最適化支援ツールと電磁界シミュレーションを連成解析することで、モータ特性を向上することと軽量化などの相反する問題を解決した。

図3にトルク-回転速度特性を示す。開発品の特性を実線で、従来品の特性を破線で記載している。従来品と比較して、開発品では、高トルク化と高回転速度化を図っており、広範囲な出力領域を実現している。また軽量化と高効率化を両立している（質量：従来品より8.5%低減、損失：34%低減）。

このように、この20角サーボモータは、「高出力・高効率（低損失）・軽量」の特長をもつ製品であり、機械装置の高性能化、省エネルギー化および小型化に大きく貢献できるサーボモータとして進化した。

この事例は、軽量化することでモータ部材そのものを削減し、資源へ配慮しながら、高性能で低損失な製品を実現したことに意義がある。今後も、環境負荷を低減しながら、出力を向上することで、お客さまの新たな価値の創造に貢献していきたいと考えている。

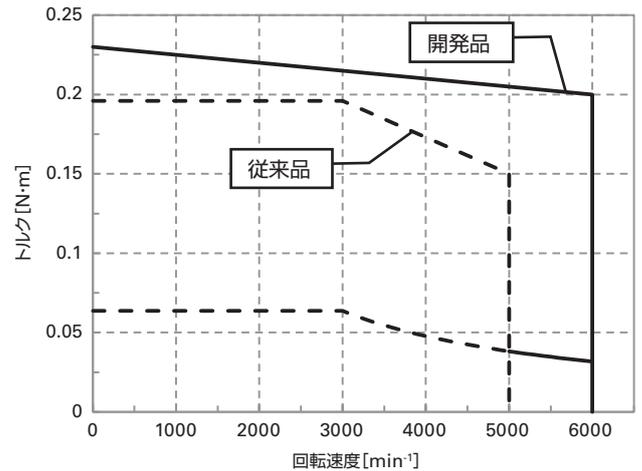


図3 トルク-回転速度特性
(当社アンプ組合せ、DC48V)

4. サーボアンプの設計技術の進化

近年の生産システムは、IoT (Internet of Thing) に代表されるよう高度化している。また、産業のグローバル化により、さまざまな地域で使用されている。このような技術や市場環境の変化に伴い、サーボシステムは、さらなる高性能化・多機能化を実現し、そして信頼性の高い製品をタイムリーに提供していく必要がある。そのためには、製品の開発効率と品質を向上するための設計技術を高めることが不可欠である。ここでは、サーボアンプの「プリント基板の設計技術」、「ソフトウェアの設計技術」について解説する。

4.1 プリント基板の設計技術

サーボ制御の高性能化や、産業用Ethernetの普及などにより、サーボアンプ内部の電子回路は高速化と高密度化が進んでいる。電子回路の高速化、高密度化に伴い、サーボアンプ内で発生する電磁ノイズ（エミッション）を抑制することや、外部からの電磁ノイズに対する耐性（イミュニティ）を上げることは、製品の信頼性において重要な要素である。

このようなエミッションノイズとイミュニティノイズの試験を製品の最終評価試験段階で実施すると、問題が発生した場合には、カット&トライで発生ノイズの原因特定と対策を検討するため、多大な工数と設計の手戻りが生じる。

このような課題を改善するために、近傍磁界解析システムを用いて、試作段階でプリント基板から発生する電磁ノイズを計測し、ノイズ発生原因の解析と対策の効果検証をおこなうことにした。近傍磁界解析システムは、磁界プローブがプリント基板上をスキャンしながら磁界強度の測定とFFT解析をおこない、プリント基板のノイズレベルとノイズ分布を可視化する仕組みである。

この解析システムを用いて設計した試作機と量産機のプリント基板の例を、図4と図5に示す。

試作したプリント基板を近傍磁界解析システムで解析し、ノイズレベルの高い場所を特定して、配線パターンや部品配置の

見直しなどの対策を検討した。対策を量産機のプリント基板へ反映し、その効果を視覚的に確認することで、後工程のノイズ試験を実施する前にプリント基板の品質を確認できる。また、この解析システムを活用して得られたプリント基板の設計ノウハウを蓄積し、試作段階からプリント基板の品質を高めることで、設計を効率化している。

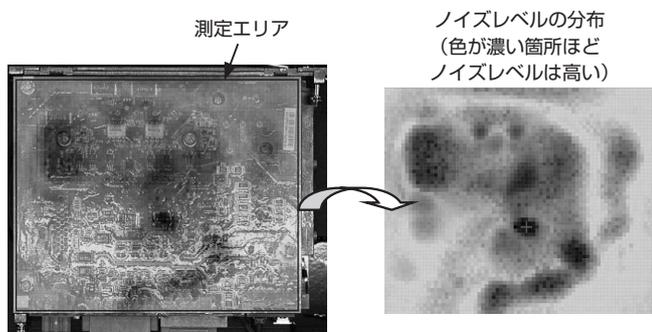


図4 試作機のプリント基板(対策前)

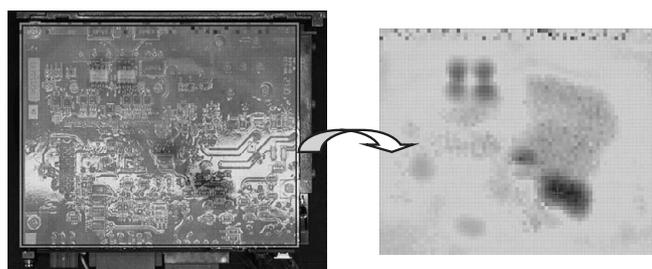


図5 量産機のプリント基板(対策後)

4.2 ソフトウェアの設計技術

サーボアンプは、より使い易さを追求し、サーボチューニング支援機能、各種診断・監視機能など多機能化しており、ソフトウェア規模は増大している。それに伴い、製品開発全体に占めるソフトウェアの設計・評価試験に要する時間の割合が増えており、限られた開発時間でソフトウェアの品質を確保しなければならない。そのためにも、信頼性の高いソースコードを作成し、かつ効率的に検証することが重要と考え、以下に示す取り組みをおこなった。

4.2.1 信頼性の高いソースコード

CPUの高速化により、サーボアンプのプログラムもアセンブラからCなどの高級言語による開発が主流になっている。C言語は、利便性や移植性に優れている一方で、仕様の(ルール)に曖昧な点もあり、信頼性と安全性が弱点である。そこで、C言語のもつ優位性を利用しながら、信頼性と安全性を高めるために、自動車業界で標準採用されているMISRA-C (Motor Industry Software Reliability Association) コーディング規約に従ったプログラムを開発し、ソースコードの品質を向上した。

4.2.2 ソフトウェアテストの効率化

図6に、当社のソフトウェア設計・テスト工程のフローを示す。設計したソフトウェアを検証する上で、「ホワイトボックステスト」、「パスカバレッジテスト」などの単体テストは重要であるが、ソフトウェア規模の増大に伴い、この単体テスト工程も増加する。そこで、最新の動的解析ツールを導入し、実機を使用せずに、PC環境で自動的にソースコードの検証をおこなうテスト環境を構築し、単体テストを効率化した。また、単体テストを自動化することにより、結合テスト段階で発見した不具合の修正に対する再検証も容易におこなえるため、デグレードが防止でき、ソフトウェアの品質を確保できる。

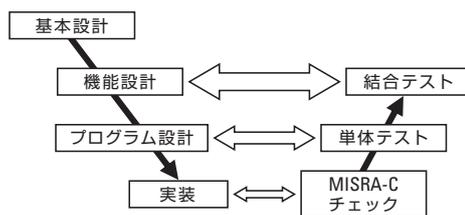


図6 ソフトウェア設計・テスト工程

5. おわりに

本稿では、市場の変化に伴う課題を解決するためのサーボシステムの技術進化について、以下の取り組みを紹介した。

- ① 「SANMOTION F5」5相ステッピングモータを例に、トルクの向上と低振動騒音および低温度上昇を両立した技術を紹介した。
- ② 「SANMOTION R」シリーズの20角モータの開発事例を例に、高出力、高効率(低損失)および軽量化の技術を紹介した。このサーボモータでは、高トルクかつ高回転速度を達成するとともに、質量を従来品より8.5%、損失を34%低減している。
- ③ サーボアンプの設計技術の進化として、近傍磁界解析システムを活用した「プリント基板の設計技術」、信頼性の高いソースコードの設計と検証工程を効率化する「ソフトウェアの設計技術」について解説した。

サーボシステムは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する「エネルギー変換機器」であり、その本質は、小型軽量で高効率を実現することである。今後は、「小型・軽量、高効率、低騒音」をさらに追究するとともに、IoTに代表される情報通信技術を活用することで、変化する市場の中で、お客さまとともに、「新しい価値」を創出できるサーボシステムを提供し続けていきたいと考えている。

文献

- (1) 水口・宮原ほか：「SANMOTION F5」AC電源入力5相ステッピングシステムの開発」, SANYO DENKI Technical Report No.39 (2015-5)
- (2) 宮下・堀内ほか：「SANMOTION Rシリーズ小径20角ACサーボモータの開発」, SANYO DENKI Technical Report No.40 (2015-11)



宮原 章雄

1991年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
ステッピングモータの設計、開発に従事。



堀内 学

2006年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの設計、開発に従事。



成沢 康敬

1991年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの設計、開発に従事。