

小容量高精度 AC サーボモータの開発

～レアアース「ジスプロシウム」を使わない「SANMOTION R」～

日置 洋

Hiroshi Hioki

宮下 利仁

Toshihito Miyashita

堀内 学

Manabu Horiuchi

恩田 祐樹

Yuki Onda

1. まえがき

近年、レアアースの価格高騰と供給不安を背景に、ネオジム系レアアースマグネット（以下、マグネットと略記）を使用した高性能サーボモータの収益性が悪化している。特にヘビーレアアースに分類されるジスプロシウムはマグネットの温度特性向上にとって重要な元素であり、サーボモータに使用するマグネットには数%含有しているものが多い。このジスプロシウムの原材料価格（FOB/China）は2010年初頭では147.5ドル/kgであったが、2011年7月頃には3,410ドル/kgと、わずか1年半の短期間に20倍余り急騰するというレアアースショックに見舞われた。こうした背景から、今後起り得るレアアースリスク軽減のために、マグネット使用量の大幅な削減と、特にジスプロシウムフリー化が急務であり、原材料価格と資源調達に左右されにくい製品開発が望まれる。

一方サーボモータ市場では、ユーザ装置に適したモータ性能への要求と、新興国製モータ台頭を背景とした価格競争が高まっている。特に工作機械送り軸用途には、加工性能向上のために高精度化が要求されている。

本開発品「SANMOTION R」シリーズ R5 サーボモータは、ジスプロシウムフリー化、マグネット使用量削減および高精度化を開発コンセプトとした製品である。本稿では、トレードオフの関係となる高トルク化とマグネット使用量削減を目的とした最適化設計検討と低コギングトルク化、低速度変動化および電流ループゲイン向上による高精度化の成果について述べる。

2. 最適化設計と性能向上

2.1 高トルク化とマグネット使用量削減の最適化設計検討

本開発では、最適化設計支援ツール「modeFRONTIER」と電磁界シミュレーションCAE『JMAG-Designer』および3次元CAD『SolidWorks』を連携した最適化検討を行った（図1参照）。最適化設計における目的関数（目標仕様）は、高トルク化、マグネット使用量最小化、低コギングトルク化および低トルクリプル化の4種類であり、いわゆる多目的最適化に分類される手法である。拘束条件（最低規格値）には、マグネット減磁耐力を考慮することによって、ジスプロシウムフリーを前提として最適解自動探索を実行した。

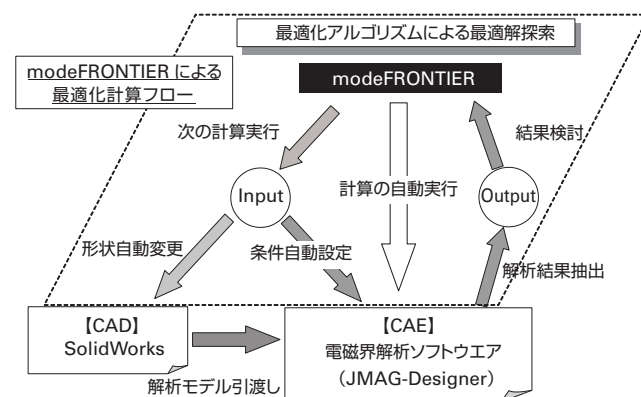


図1 最適化設計支援ツールを用いた最適解自動探索

図2は、トルクとマグネット使用量のみ抽出して表した最適解自動探索結果である（定格出力750Wモータ）。約300モデルを自動計算にて実行している。図から判るように、トルク向上とマグネット使用量削減にはトレードオフの関係があり、曲線で示した限界値がパレート解と呼ばれる最適解の集合体である。目標トルクが8N・mであるので、そのパレート最適解の中から、トルク8N・mを達成するモデルを最適解として採用した。この最適化検討によって、従来品よりマグネット使用量を約60%削減することができた。

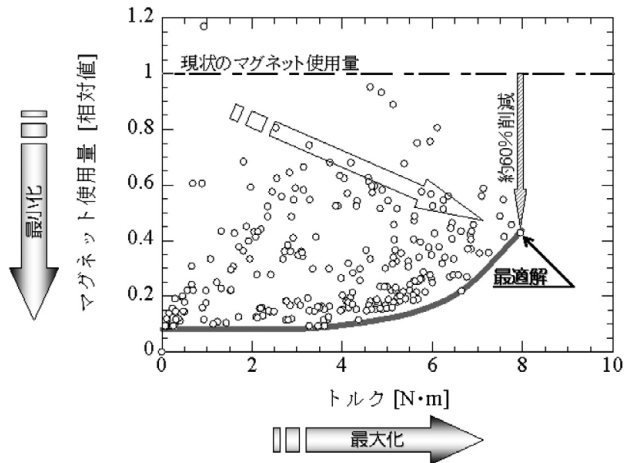


図2 高トルク化とマグネット削減の最適化検討結果
(フランジ角サイズ \square 80mm, 定格出力750W)

2.2 高精度化設計

高精度な加工が要求される工作機械送り軸には、速度制御性が安定したサーボモータが求められる。本開発品は、高精度化設計として、

- モータ自体の速度変動要因の改善 (低コギングトルク化, 低トルクリプル化)
- 速度周波数応答性および外乱抑圧応答性の向上を目的として電流周波数特性の向上

を図っている。

図3に、コギングトルク特性の従来品 (当社「R2 サーボモータ」) との比較を示す。本開発品では従来品に対して、コギングトルクを約30%低減している。図4には、速度変動特性の比較を示す。本開発品の速度変動は、従来品と比較して18~30%低減している。このように本開発品は、コギングトルクと速度変動を小さくすることによって、速度制御性に影響する根本要因を改善したモータである。

図5には、電流周波数応答特性の従来品との比較を示す。工作機械送り軸における速度制御性能に影響を及ぼす500Hz近傍の電流ループゲインが、本開発品では従来品と比較して2.4~4.1dB向上している。電流周波数応答性能を改善することで、工作機械における精密送りの制御性が向上し、加工性能の改善に寄与する特性となっている。なお、電流周波数応答性向上は、モータインピーダンス特性と制御パラメータを最適化することによって実現している。

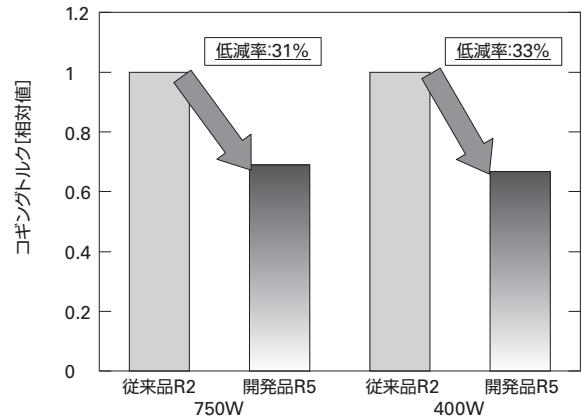


図3 コギングトルク特性比較
(当社従来品と開発品の比較)

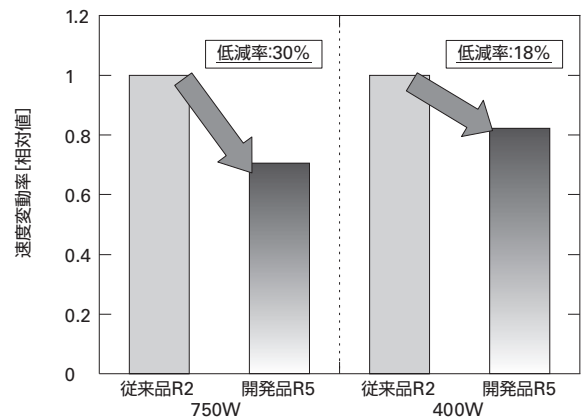


図4 速度変動特性比較
(当社従来品と開発品の比較)

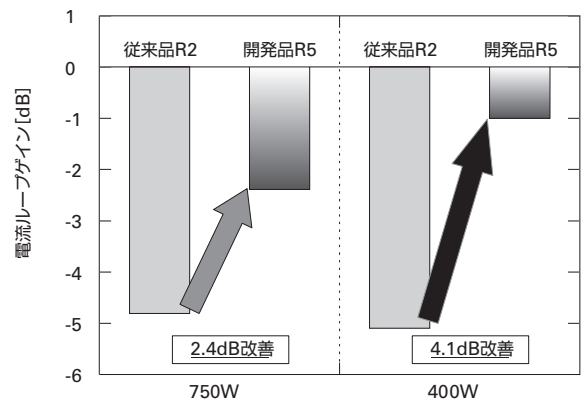


図5 電流周波数応答特性比較
(当社従来品と開発品の比較, 500Hz)

3. 製品ラインアップ

図6に本開発品の外観を、表1に本開発品の主要諸元をそれぞれ示す。フランジ角サイズ□60mmには、定格出力200Wと400Wの2機種があり、それぞれ最高回転速度を3000および6000min⁻¹とした低回転速度仕様と高回転速度仕様を取り揃えている。また、フランジ角サイズ□80mmには、定格出力750Wの1機種があり、最高回転速度が5000min⁻¹の低回転速度仕様および6000min⁻¹の高回転速度仕様を取り揃えている。エンコーダ標準仕様は、分解能17ビット（最大分解能20ビット）のシリアル通信アブソリュートエンコーダである。

図7～図9には、トルクー回転速度特性を示す。広範囲な出力特性を実現している。特に低回転速度仕様は高精度特性に優れており、工作機械送り軸等の精密送り装置に適している。また、高回転速度仕様は産業用ロボットなど高速化が求められる用途に適している。

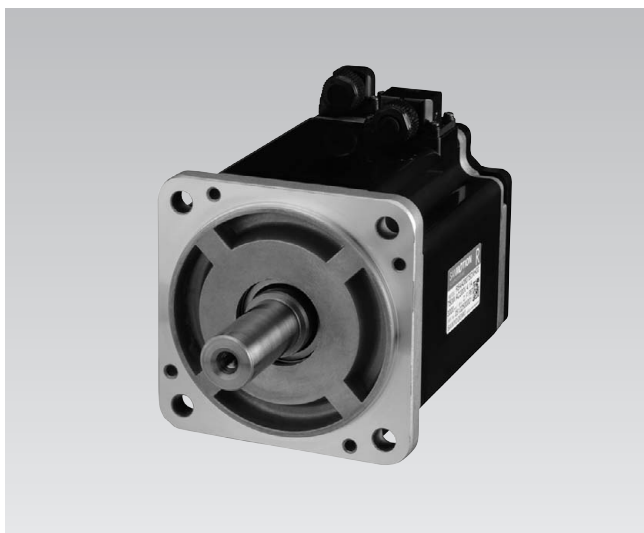


図6 本開発品の外観

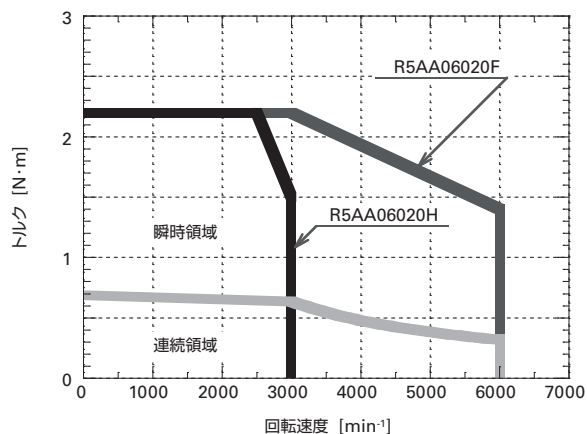


図7 トルクー回転速度特性
(フランジ角サイズ□60mm, 200W)

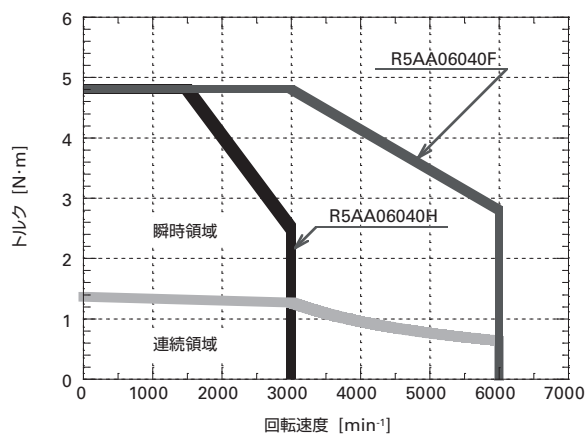


図8 トルクー回転速度特性
(フランジ角サイズ□60mm, 400W)

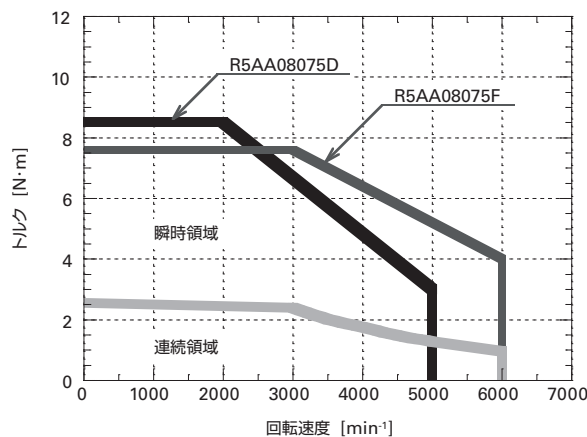


図9 トルクー回転速度特性
(フランジ角サイズ□80mm, 750W)

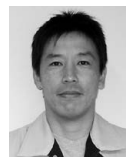
モータ型番 / 〈 〉はフランジ角寸法			R5AA06020H	R5AA06020F	R5AA06040H	R5AA06040F	R5AA08075D	R5AA08075F
項目	記号	単位	〈□60mm〉				〈□80mm〉	
定格出力	P_R	W	200		400		750	
定格回転速度	N_R	min^{-1}	3000					
最高回転速度	N_{max}	min^{-1}	3000	6000	3000	6000	5000	6000
定格トルク	T_R	$N \cdot m$	0.637		1.27		2.39	
連続ストールトルク	T_S	$N \cdot m$	0.686		1.37		2.55	
瞬時最大ストールトルク	T_P	$N \cdot m$	2.2		4.8		8.5	7.6
ロータイナーシャ	$J_M \times 10^{-4}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2(\text{GD}^2/4)$	0.198		0.414		1.65	
AC200V 適用アンブ型番			RS2A01			RS2A03		

4. むすび

本稿では、新規開発品である「SANMOTION R」シリーズ R5 サーボモータの技術成果を示した。

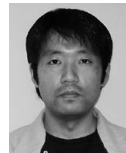
近年のレアアース問題対策として、マグネット使用量の大幅な削減とジスプロシウムフリー化を達成したことによって、「原材料価格に左右されにくいこと」および「レアアース産出国による輸出货量制限に伴う供給不安を解消すること」を実現した製品である。

また本開発品は、コギングトルクと速度変動を大幅に低減した製品であり、電流周波数応答性も優れている。高精度な位置決めと滑らかな精密送りに適したモータであり、高精度・高品位な加工性が要求される工作機械送り軸などの用途に最適である。従来適用されてきた高慣性モータの代替品として、機械装置の小型化および低コスト化に大きく寄与できる AC サーボモータである。



日置 洋

1990年入社
サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。



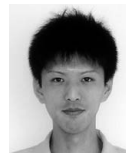
宮下 利仁

1997年入社
サーボシステム事業部 設計第1部
サーボ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1部
サーボモータの設計開発に従事。



恩田 祐樹

2009年入社
サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。