

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

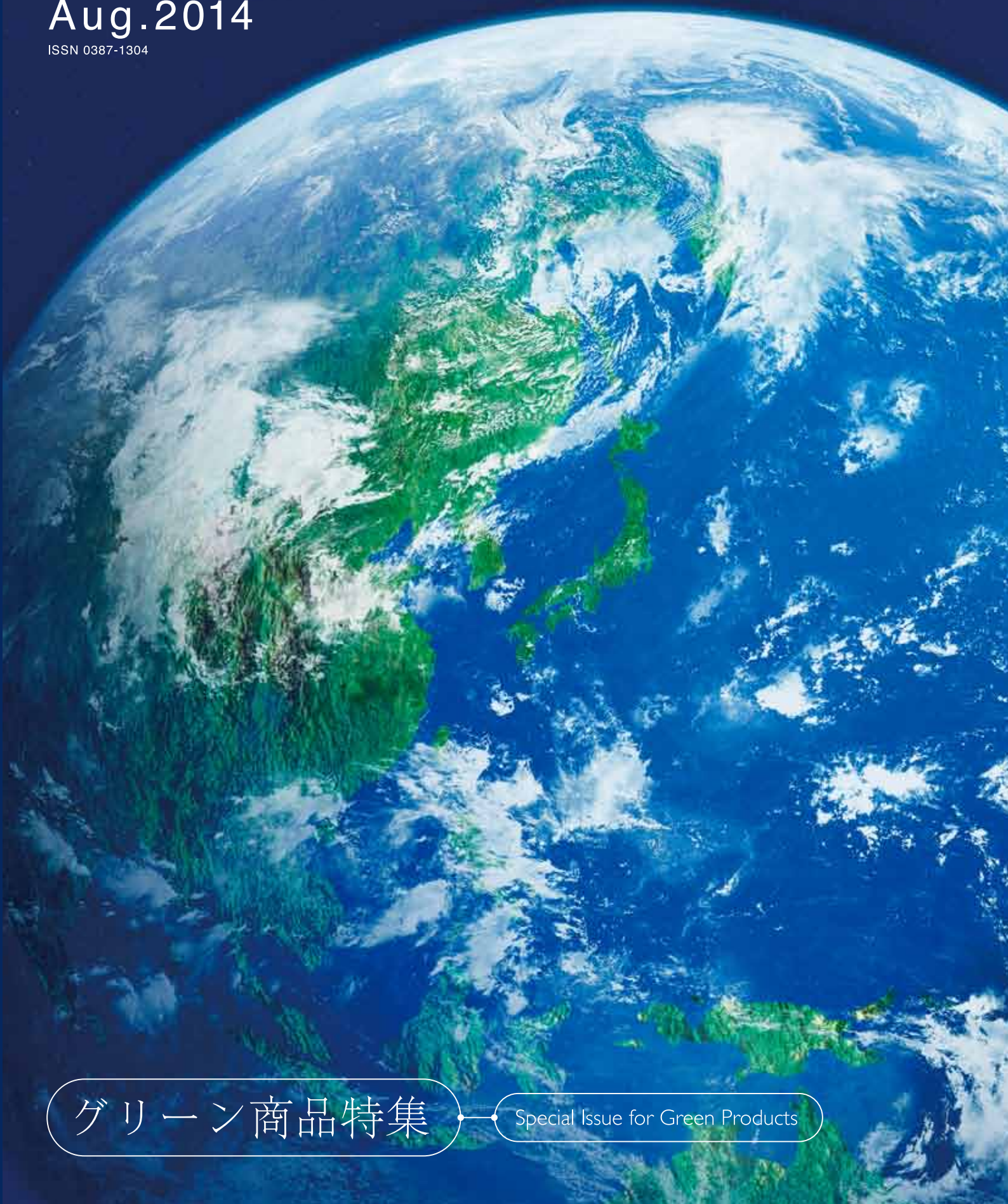


住友重機械技報

No.185

Aug.2014

ISSN 0387-1304



グリーン商品特集

Special Issue for Green Products

住友重機械技報 No. 185 2014

巻頭言

グリーン商品特集の発行に当たって

富田良幸

グリーン商品特集

論文・報告	全電動射出成形機における省エネルギー技術	水原 弾	1
	ハイブリッド型油圧ショベル SH200HB-6	白谷竜二, 小野哲司	7
	IE3プレミアム効率モータの開発	水谷清信, 三成貴浩, 峯尾友明	11
技術解説	大容量インバータ AS-300シリーズの開発	伊東 匠	17
	PETプリフォーム専用全電動射出成形機 SP500E	竹内 滋	19
	全周連結翼搭載型蒸気タービン長翼機の開発	井手紀彦	21
	リーチフォークリフト	岩本武輝	23
新製品紹介	IE3プレミアム効率ギヤモータ		25
	高速歯車装置		26
	全周連結翼搭載型蒸気タービン長翼機		27
	リーチフォークリフト		28

論文・報告

惑星分光観測衛星「ひさき」ミッション部の開発	吉田誠至, 森本博文, 高井茂希, 高田 誠	29
------------------------	------------------------	----

On Publishing Special Issue for Green Products

Yoshiyuki TOMITA

Special Issue for Green Products

T/PAPERS	Energy-saving Technology in All-electric Injection Molding Machine	Tadashi MIZUHARA	1
	Hybrid Hydraulic Excavator SH200HB-6	Ryuji SHIRATANI, Tetsuji ONO	7
	Development of IE 3 Premium Efficiency Motor	Kiyonobu MIZUTANI, Takahiro MINARI, Tomoaki MINEO	11
T/INVITATIONS	Development of Large Power Inverter AS-300 Series	Takumi ITO	17
	PET Preform All-electric Injection Molding Machine SP500E	Shigeru TAKEUCHI	19
	Development of High Performance Steam Turbine with Interacted Shroud Type Blade	Norihiko IDE	21
	Reach Forklift Truck	Taketeru IWAMOTO	23
NEW PRODUCTS	IE 3 Premium Efficiency Gear Motors		25
	High Speed Gear Box		26
	High Performance Steam Turbine with Interacted Shroud Type Blade		27
	Reach Forklift Truck		28
T / PAPERS			
	Development for Observation Equipment of HISAKI Satellite	Seiji YOSHIDA, Hirofumi MORIMOTO, Shigeki TAKAI, Makoto TAKADA	29

グリーン商品特集の発行に当たって

取締役
常務執行役員

富田良幸



近年、地球温暖化の進行や東日本大震災による原発事故を契機として、クリーンな代替エネルギーに対する要求が本格化しています。代替エネルギーの創生方法自体に関連する技術開発が行われる一方で、エネルギーの消費自体を低減する、あるいは高い効率で運転できる高度な省エネルギー技術開発も極めて重要な課題となってきました。

当社は、これら時代の要請を踏まえ、高度な省エネルギー技術を搭載した商品の開発を進めております。これらの商品は、同時に高い競争力を持つ一流商品でもあるべきで、特にグリーン商品と定義し、前中期計画イノベーション21において、「グリーン商品をドライバーとする商品一流化活動」を技術本部主導で行ってまいりました。この開発では、商品だけでなく、それらを支えるキーコンポーネントも含めた開発に取り組みました。

本特集号では、これらグリーン商品の開発例を紹介させていただきます。

まず、全電動射出成型機では、省エネルギー技術が高く評価され、経済産業大臣賞を受賞した全電動射出成形機と、独自の電源回生技術の開発により、高生産性を保ちながら高い省エネルギー性能を実現したPETプリフォーム専用全電動射出成形機を紹介します。

次に、住友建機株式会社からは、エンジンと電動駆動を組み合わせ、独自キャパシタによるエネルギーマネージメントを実現したハイブリッドショベルについて、また、住友ナコマテリアルハンドリング株式会社からは、電動化要求に対応し、高い旋回性能と省エネルギー性を実現した電動フォークリフトについて紹介します。なお、ハイブリッドショベルでは、そのキーコンポーネント、制御システムを含めて開発することにより、競争力を確保しました。

一方、コンポーネント商品としては、IE3プレミアム効率モータと大容量インバータの開発について紹介します。IE3プレミアム効率モータは、2015年4月より施行される高効率化規制に対応し、品質工学手法の適用によりモータ外形を従来機と同等の小型化を実現し、同時に高効率化を実現しています。また、大型機械の高効率電動駆動用途に対応した大容量インバータでは、ハードウェア電流方式と回生制御技術により高い信頼性と高効率化を実現しています。このようにコンポーネントにつきましても、次世代のモータ駆動の中核となる製品開発を行っております。

なお、最後にトピックスとして惑星分光観測衛星「ひさき」ミッション部の開発について紹介させていただきました。

今後もクリーンエネルギー技術、省エネルギー型システム製品やそのコンポーネント製品など、ますますそのニーズが増大すると推測されます。当社では、さらに競争優位性の高い技術と製品開発により、社会に貢献すべくたゆまぬ努力を続けてまいります。皆様よりの一層のご指導・ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

全電動射出成形機における省エネルギー技術

Energy-saving Technology in All-electric Injection Molding Machine

●水原 弾*
Tadashi MIZUHARA



全電動射出成形機 SE-EV
All-electric Injection Molding Machine SE-EV

射出成形機は、プラスチック製品を安く大量に作ることでできることから、電気機器や食品および自動車などあらゆる産業においてなくてはならないものになっている。当初、射出成形機は油圧式が主流だったが、省エネルギー化の影響などを受け、現在では日本で生産される成形機の約80%を全電動式が占めている。

2011年にリリースしたSE-EVシリーズでは、駆動部の高効率化を実現することによって消費電力を低減するとともに、制御性も大幅に向上させた。制御性の向上によって、当社独自の成形プロセスZero-moldingの効果が最大限に引き出され、低圧・低型締力成形を可能とし、従来機と比較して消費電力25%削減を達成した。

本報では、当社が全電動射出成形機において今日まで行ってきた、省エネルギー化につながる開発の内容を報告する。

An injection molding machine is essential in the industries of electrical apparatus, food and automobile because it can produce large amount of plastic products at a low price. At first, the hydraulic type was a mainstream injection molding machine. Due to a current wave of energy-saving, however, about 80% of the molding machines that are being produced in Japan are all-electric type of machine. SE-EV series, which was released in 2011, has successfully reduced power consumption by realizing high efficiency of the drive unit, and also accomplished much improvement of its control. This improved controller has yielded top efficiency of SHI's original molding process "Zero-molding" and realized low pressure and force of mold clamping, which has resulted in a 25% reduction of power consumption in comparison with a conventional machine. This paper reports on our continuous efforts to this day to develop the all-electric injection molding machine, which has led to realization of energy-saving.

1 まえがき

近年、地球温暖化の影響による環境破壊が騒がれるなか、2005年に発効された京都議定書において、日本は1990年対比6%の温室効果ガスを削減することとなった。しかしながら、温室効果ガスの大半を占める二酸化炭素の排出量は、2005年の実績ベースで1990年対比約+14%となっており、温室効果ガスを排出しないエネルギーへ早急に転換する必要があるほか、より一層省エネルギーを推進していかなければならない状況となっている。

資源エネルギー庁のまとめによると、2007年度の産業部門における最終エネルギー消費は、民生・運輸を合わせた全エネルギー消費の約45%を占めており、産業界における省エネルギー化推進活動の重要性がうかがえる。このような状況のなか、射出成形機も1990年代後半より油圧式から全電動式への移行が急激に進み、現在では日本で生産される成形機の約80%を全電動式が占めている。

2 射出成形機の概要

射出成形機は、身の回りにある電子部品、携帯電話用部品、

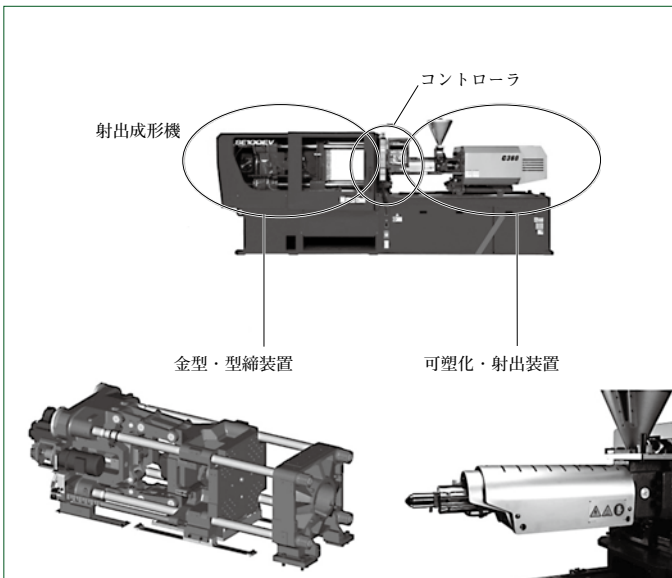


図1 射出成形機
Injection molding machine

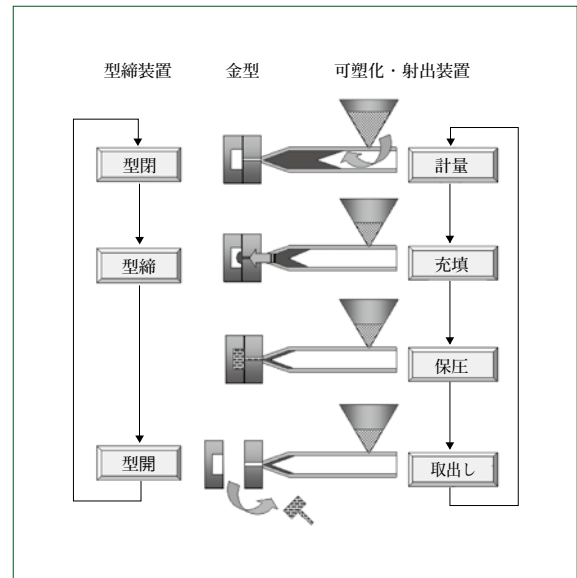


図2 成形工程
Injection molding process

レンズ、スイッチ類、光ディスク、注射器およびペットボトルなどのプラスチック製品を加工する機械である。

機械の主構成は、次の通りである(図1)。

- ・金型 成形品を製造する型(客先準備品)。
- ・可塑化装置 1回の成形に必要なプラスチック材料(樹脂)を溶かし、計量する装置。ヒータによって樹脂を溶かし、計量の駆動源はサーボモータである。
- ・射出装置 溶かした樹脂を金型内に流し込む装置。駆動源はサーボモータで、モータの回転運動をボールねじによって直動運動に変換している。
- ・型締装置 金型の開閉や金型内に材料を流し込む圧力に抵抗して、金型を閉じておくように金型に力を加える装置。駆動源はサーボモータで、モータの回転運動をボールねじによって直動運動に変換している。
- ・コントローラ 速度、圧力および温度など成形条件を制御する装置である。

成形工程は、次の通りである(図2)。

- ・計量 樹脂を溶かす
- ・型閉 金型を閉じる
- ・型締 金型に力を加える
- ・充填 金型内に材料を流し込む
- ・保圧 樹脂を固める
- ・型開 金型を開いて製品を取り出す

3 電動式射出成形機に対する市場の要望

3.1 油圧式から電動式へ

まえがきでも述べたが、射出成形機は1990年代後半より油圧式から全電動式への移行が急激に進んだ。油圧式は、機械的エネルギーを油圧ポンプによって作動油のエネルギー(流体エネルギー)に変換し、この流体エネルギーを油圧制御弁に

よって調整・制御し、油圧アクチュエータ(油圧シリンダなど)によって再び機械的エネルギーに変換している。このエネルギーを利用し、仕事を行っているので高負荷成形には向いているものの、作動油の温度上昇に伴う油の粘性変化などの影響により、電動式と比べると制御精度が低い。また、機械動作中は油圧を一定に保つべく常に油圧ポンプ用の電動機を作動させておくのが普通であり、さらに油温の上昇を防ぐ必要があることからオイルクーラに冷却水を通しており、電気や水などのランニングコストが比較的にかさむ。

一方電動式は、成形機の駆動部ごとにサーボモータを使用しており、ベルトや歯車・ボールねじを介して機械エネルギーを伝達しているが、機械エネルギーの伝達が直接的なことから油圧式と比べエネルギー効率が高く、制御精度も高い。また、モータは各駆動部が動作している時のみ回転するので、電力消費を抑えることができる。そのほか、一般的なモータはファンによる空冷方式が主流となっており、油圧式と比べ冷却水の使用量を大幅に削減できるといった特長も有する。

電動式射出成形機は図3(a)のようにベルトによって動力伝達を行う方式が一般的であるが、ベルトドライブ機構(BD)はモータ容量や減速比の変更が容易である反面、騒音の問題およびベルト調整などのメンテナンス性、駆動軸への偏荷重およびベルトの伸びによる機械剛性の低下などが問題となる。また、プーリなどの減速機構部も回転運動することから、モータの慣性負荷を増大させる。これにより装置の加減速時間が長くなり、制御的にも速度ループのゲイン低下を招き、高速高応答を必要とする分野では不利となる。

そこで当社は、図3(b)のようにプーリなどの減速機構を排除し、ボールねじを直接駆動させる第1世代ダイレクトドライブ機構(DD)を開発し、SE-Sシリーズへ搭載した。

3.2 全電動射出成形機における省エネルギー

油圧式から電動式へ変わることによって大幅な省エネルギーにつながったが、地球温暖化防止やコスト削減の観点から全電動射出成形機においてもさらなる省エネルギー化が求められる

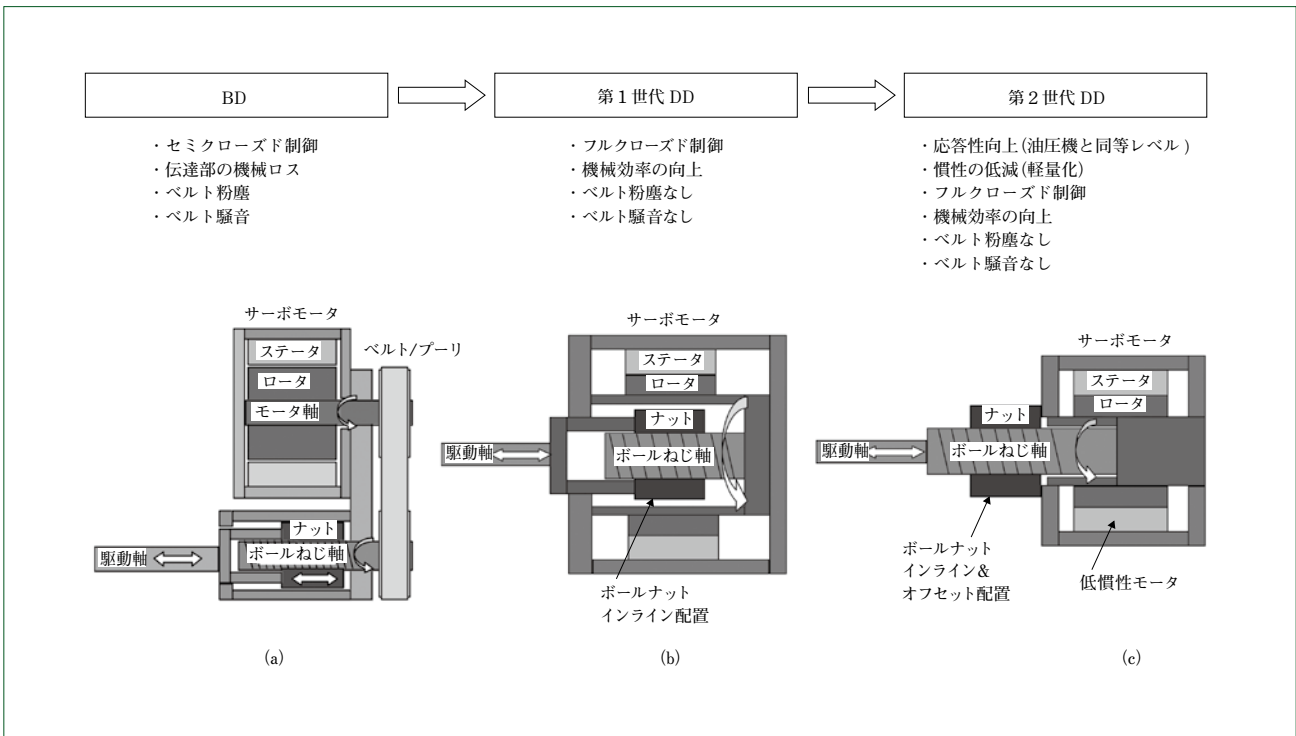


図3 ダイレクトドライブ機構
Direct drive mechanism

ようになった。当社は、モータの効率をさらに高める目的で、第1世代DDの回転駆動部をできる限りコンパクトにし、低慣性化・高剛性化した第2世代DDを開発した(図3(c))。そして、この第2世代DDを搭載したSE-Dシリーズを2001年に市場投入した。第2世代DDの登場により、サーボ弁制御によるアキュムレータ付き油圧成形機以上の高速・高応答・精密・ハイサイクル成形性能を実現すると同時に、第1世代DDを大幅に低慣性化したことで、SE-Sと比べ約30%の消費電力の削減の効果をもたらした。

その後も、2005年に市場投入したSE-DUシリーズでは、省エネルギー加熱シリンドラカバー(2層構造)を標準搭載することで、SE-Dと比べ3~5%の消費電力を削減した。また、電動射出成形機では機械から放出される熱量が油圧式成形機と比べ大幅に削減されることが分かっているが、SE-DUシリーズでは低慣性のモータを採用し、さらにヒータからの放熱量低減を図ったことで、当社油圧機SGシリーズ比約50%放出熱量が削減された。これにより、成形工場の空調に必要な電力を大幅に削減できるといった省エネルギー効果ももたらした。

4 SE-EV シリーズ開発の経緯

2011年にリリースしたSE-EVシリーズの開発経緯について説明する。

近年、成形業界を取り巻く環境の変化は激しく厳しいものがある。デジタル機器関連では液晶テレビ、スマートフォンおよびデジタルカメラなどの頻繁なモデルチェンジと急激な価格下落、自動車関連では新興国での需要増大に対応する新興国仕様の低価格車開発など経済環境が大きく変化している。それに加え、海外生産シフトの加速による生産環境の変化も

見られる。さらに昨今の環境問題への関心の高まりから、省エネルギーをはじめとする環境対応がますます求められている。

このように多様な環境のもとでも安定した生産を可能とすべく、当社は全電動射出成形機SE-EVシリーズを開発した。SE-EVシリーズは型締力500kNから1800kNまでの5機種をラインナップしている。その開発コンセプトは、「当社の革新的な成形プロセスZero-moldingの可能性・効果を高める機械性能のさらなる進化」である。Zero-moldingは、生産現場で常に発生する、不良(Defects)、無駄(Loss)および面倒・失敗(Faults)、という3つの不安定要素を限りなくゼロに近づけ、生産性を限りなく高めるというコンセプトにもとづいたシステムの名称である。低い射出圧力と型締力による低エネルギー成形方法であることが特長としてあげられる(図4)。

5 SE-EV シリーズの技術的特長

5.1 型締力を小さくできる

樹脂流動先端部(フローフロント)を制御する成形機能、FFC(Flow Front Control)を設けている。

樹脂の圧縮性を利用したFFC成形によって、金型内キャビティに過剰な樹脂圧力を付加せずに、適切に樹脂を充填することが可能になった。キャビティ内の樹脂圧が低減できたことによって、型締力の低減を実現した(図5)。その一例として、自動車用コネクタ製品では、型締力を90%削減することができたことをあげる。

5.2 最小型締力が検出できる

スプリングなどの金型機構や、機械部品の交差によって発生している金型の隙間を潰し、金型を全面タッチさせるのに必要な最小型締力を検出する(図6)。

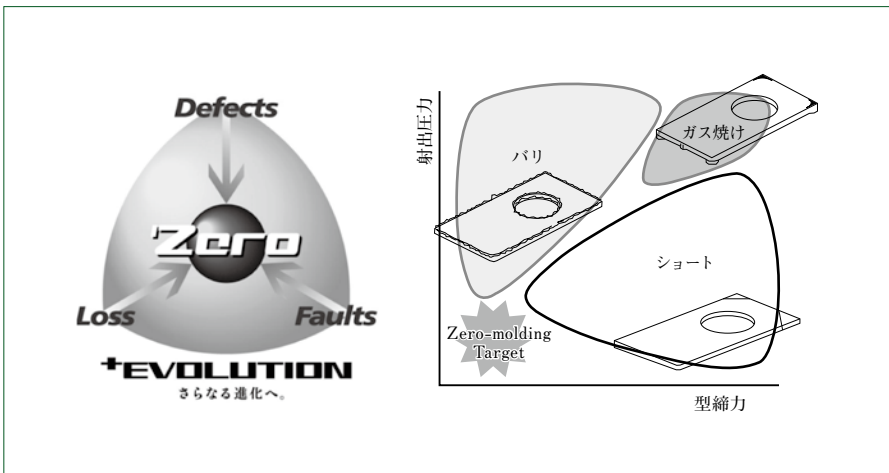


図4 SE-EVコンセプト
SE-EV concept

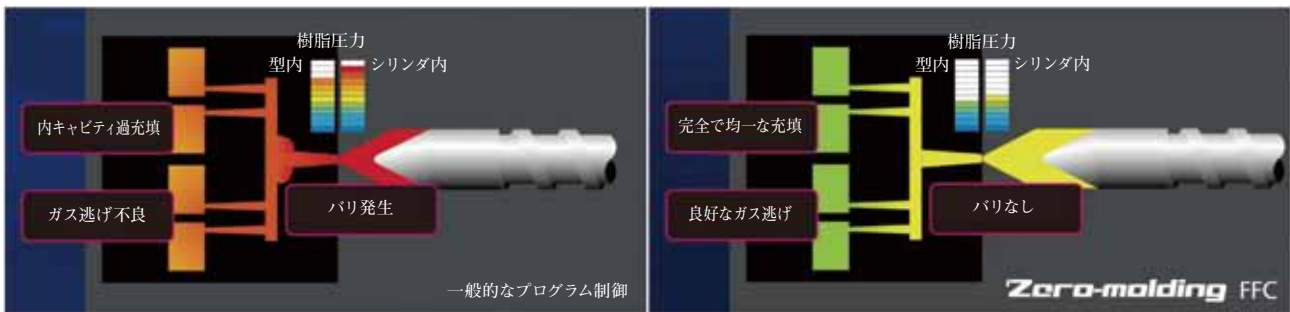


図5 一般的な成形とFFC成形の比較
Comparison of FFC molding with conventional one

検出した型縮力を原点とし、これに「型内キャビティの投影面積」×「型内圧」で算出される必要型縮力を加えて成形することで、過剰な型縮力での成形を防止することができる。

5.3 型縮力保持中のモータトルクを削減できる

型縮力を機械的に保持(ロックアップ)できるリンク機構にしている。

型縮装置のリンク機構の設計を工夫することによって、型縮力を機械的に保持できるようにし、型縮力保持中のモータトルク(モータ消費電力)をゼロにすることが可能になった(図7)。

リンク機構を工夫し、型縮力が直接付加されない箇所でも保持できるようにしてデッドロックを防止している。実際に24時間型縮力を保持した状態と、10秒程度保持した状態での型開きに必要トルクを比較したが、ほとんど変化がなかった。

5.4 必要最小型縮力を小さくすることができる

- (1) ノズルタッチ時に固定プラテンにモーメント力が発生しないようにしている。

金型内に樹脂を充填するときには、成形機のノズル(樹脂吐出口)を金型に押し付けた状態にする。このノズルタッチ力とその反力の関係から、従来機は固定プラテンにモーメント力が発生していた。これにより固定プラテンの姿勢変化が発生していた。姿勢が悪化すると金型を全面タッチさせる最小型縮力が大きくなり、成形時に必要な型縮力が増大する。

SE-EVでは、ノズルタッチ力の反力をノズルに対して対称・均等な力で受けるようにし、固定プラテンにモーメント力が発生しないようにした。これによって最小型縮力を小さくすることができ、型縮力の低減が可能になった(図8)。

- (2) 金型取付け時に可動プラテンが傾かないようにしている。

従来機は、可動プラテンの案内がすべり案内であったので、摺動にはある程度の隙間(ガタ)が必要であった。このことから金型を取り付けたときに、ガタの影響で可動プラテンの姿勢が変化していた。

SE-EVでは、案内をころがり案内にすることによって、摺動に必要な隙間をなくし、金型を取付けたときの可動プラテンの姿勢変化を抑制した。従来機に対しては、姿勢変化が75%低減できた(図9)。

5.5 型開閉動作時のモータトルクを低減した

型縮装置の駆動部のイナーシャを低減している。

型縮装置の駆動源にはサーボモータを使い、ボールねじを介して回転運動を直動運動に変換している。従来機は、ボールねじのナットを回転させて軸を直動させていた。ナット径は軸径に対してかなり大きいのでイナーシャが大きくなっていった。

SE-EVでは、軸を回転させてナットを直動させることによって、イナーシャは従来機に対して17%低減した。また、可

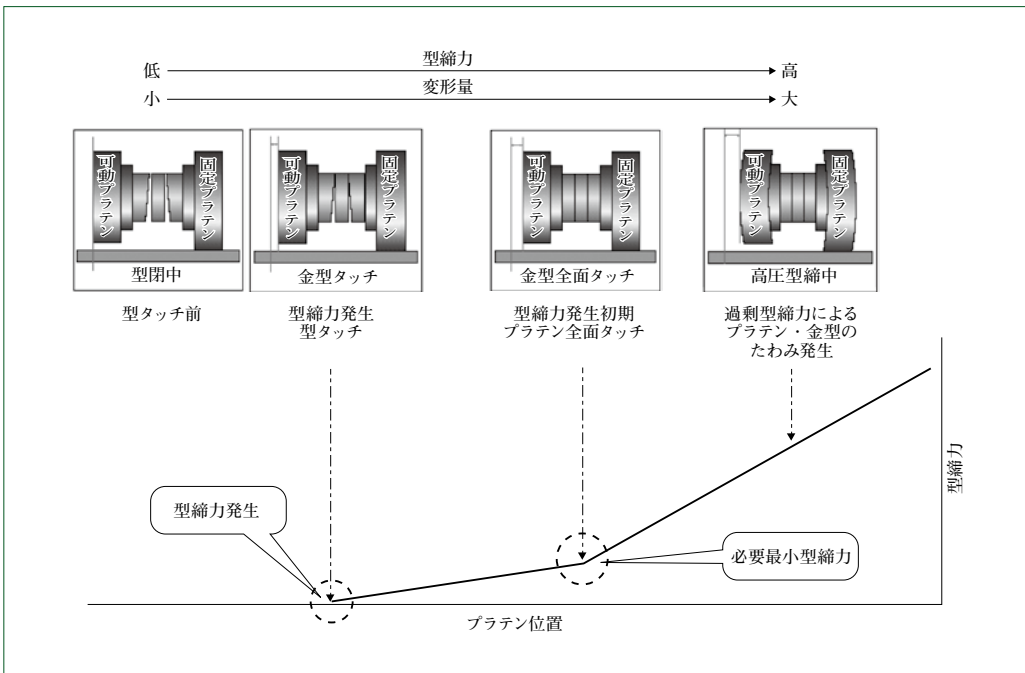


図6 最小型縮力検出
Detection of minimum required clamp force

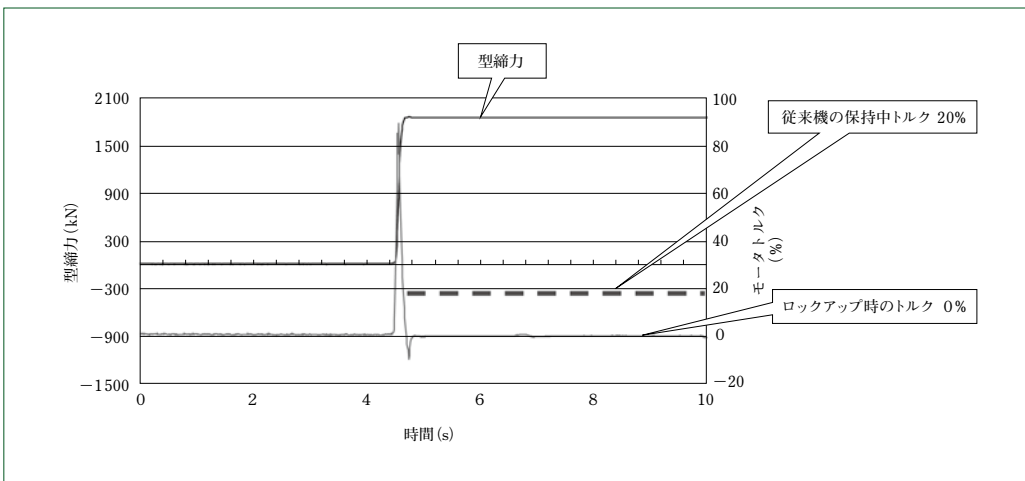


図7 ロックアップ時の型縮力保持中のトルク
Mold clamp holding torque in mold clamp lockup state

動プラテンの案内をすべり案内からころがり案内にすることで、型開閉時の摺動抵抗を低減した。

5.6 計量動作時のモータートルクを低減した

計量モータの摺動抵抗を大幅に低減した。

従来機は、オイルシールによって計量モータの軸受けのグリース保持を行っていた。計量モータの軸受けは、大きい機種では内径300mm程度と非常に大径であることから、接触式のオイルシールでは摺動抵抗が非常に大きなものとなっていた。

SE-EVでは、ベアリング内にグリースを封入させるようにし、オイルシールを廃止した。これによって計量時の摺動抵抗を大幅に低減させた。

5.7 グリース消費量の削減

従来機に対してグリース封入箇所を増やすとともに、各給脂箇所に必要量の給脂が行えるシステムにした。また、射出

ボールねじに給脂したグリースを、計量時の遠心力を利用して計量スプラインに再利用するようにした。これらによって、グリース消費量を従来機に対して50%削減した。

5.8 廃棄樹脂量の削減

パージングを段階ごとに分け、シリンダ内の樹脂を効率良く置換する。

パージングの条件が自動的に切り換わり、色換えて廃棄する樹脂量の削減が可能になり、作業時間も大幅に短縮できるようになった。色によって若干異なるが、通常パージと比較して廃棄樹脂量は約30%削減、作業時間は約60%短縮できるようになった。

5.9 消費電力削減に向けて成形条件調整をアシスト

電力量を表示する機能を搭載し、モータおよびヒータの積算電力量の表示や、工程別の電力量を表示することによって、

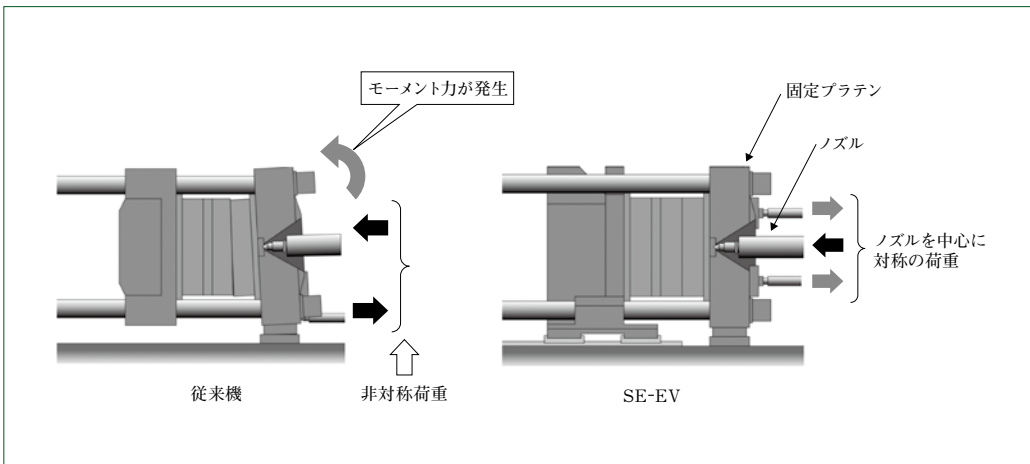


図8 ノズルタッチ力による固定プラテン姿勢変化の比較
Comparison of stationary platen posture change by nozzle contact force

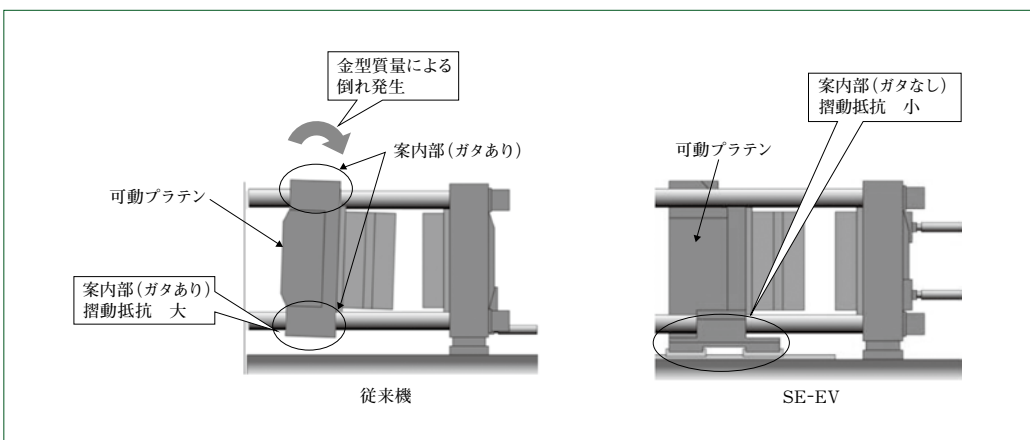


図9 可動プラテンの案内の比較
Comparison of moving platen guides

客先で容易に電力量の管理ができるとともに、電力量削減の成形条件の調整に活用することができるようになった。

6 むすび

(1) SE-EVシリーズは、Zero-moldingの進化をコンセプトとして開発し、低い射出圧力と低い型締力による低エネルギー成形を特長とした省エネルギー性を実現し、第33回(平成24年度)優秀省エネルギー機器表彰において、経済産業大臣賞を受賞した。

(2) 特長として

- ・ ロックアップによる型締力保持中の型締トルクの低減
- ・ 2軸ノズルタッチ構造による固定プラテンの姿勢変化の抑制と型締力の低減
- ・ 可動プラテンのころがり案内化による姿勢変化の抑制と型締力の低減
- ・ 型締駆動部の構造変更によるイナーシャおよび型締モータートルクの低減
- ・ 計量モータのシール構造変更による摩擦の低減と計量モータートルクの低減
- ・ 給脂システムの変更によるグリース消費量の削減
- ・ パージングの効率的な動作による廃棄樹脂量の削減

があげられる。

※「Zero-molding」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

ハイブリッド型油圧ショベル SH200HB-6

Hybrid Hydraulic Excavator SH200HB-6

●白谷 竜二* 小野 哲司**
Ryuji SHIRATANI Tetsuji ONO



SH200HB-6

近年、地球温暖化や燃料枯渇の問題から、油圧ショベルの省エネルギー技術やハイブリッド(HB)化技術が注目されてきた。しかし、生産性向上と低燃費化はトレードオフの関係にあることから、これらの要求を満たすハイブリッド油圧ショベルの開発は難しい状況であった。

2009年に発売したハイブリッド型マグネット仕様機SH200HB-5LM(マグネット仕様HB)の技術をベースにデータ蓄積と改良を行い、油圧技術と電動化技術を融合させ、生産性向上と低燃費を両立させたハイブリッド型油圧ショベル SH200HB-6を開発したので報告する。本製品は、生産性向上を図ったハイブリッド型油圧ショベルとして、「アクティブ ハイブリッド ショベル」と名付けた。

In recent years, energy-saving technology and hybrid technology, which can be adopted to hydraulic excavators, have received attention because of the global warning and the depletion of the fossil fuel. Due to the fact that there has been trade-off between improvement of the productivity and of the fuel efficiency, it has been very difficult to develop a hybrid hydraulic excavator that can meet such demands. This paper reports on the development of the Hybrid Hydraulic Excavator SH200HB-6 (hereinafter referred to as "this product"), which has achieved the compatibility of its high productivity and fuel efficiency by integrating hydraulic technology with electric one and by making improvement based on data accumulated from operation of the Hybrid Hydraulic Excavator SH200HB-5LM (hereinafter referred to as "HB Lifting Magnet Model") that was released in 2009. This product is named "The Active Hybrid Excavator", since it is a hybrid hydraulic excavator with improved productivity.

1 まえがき

近年の化石燃料の枯渇問題と、低炭素社会の実現に向けた企業の取組みのなかで、建設機械においてもハイブリッド化が進んできている。

ハイブリッド化が普及している自動車業界と同様に、建設機械業界においても燃料消費量は重要視されるが、機械の生産性(速度と作業量)も同時に要求されることから、生産性を

満たした上での低燃費化が必要となる。しかしながら生産性向上と低燃費はトレードオフの関係にあり、その両者を同時に達成するのは難しく、作業性能を落として1日の燃料消費量を少なくすることはできたとしても、従来の油圧機と同等の仕事进行处理することはできない。さらに、ショベルでは各作業現場によって求められる作業量や工期が異なることから、必ずしも燃料消費量を削減できるとは限らず、作業量を定量的に把握することも難しい。このように省エネルギーの効果

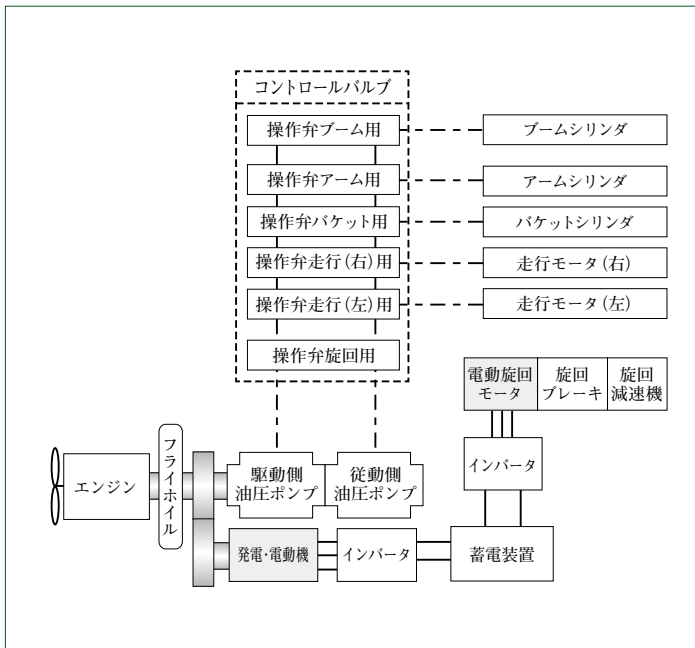


図1 ハイブリッドシステムの構成
Hybrid system



図2 電動旋回ユニット
Electric motor for swing motion



図3 発電・電動機
Motor generator

を実感しづらいうえに高価格であることがハイブリッドショベル普及の妨げとなっていた。

そこで、2009年に開発したマグネット仕様HBをもとにデータの蓄積と分析および評価を継続し、ハイブリッドショベル開発に生かすことで燃費と作業性能の両立が可能となり、本製品を市場投入することができたので報告する⁽¹⁾。

2 開発コンセプトとシステム構成

油圧ショベルは自動車とは異なり駆動軸数が多く(走行、旋回、ブーム、アーム、バケットほか)、また対象作業が多様なこともあり、ハイブリッドシステム仕様の選択次第でその効果や部品コストへの影響が大きく変わる。今回の開発では、省エネルギーだけでなく実際の稼働現場での作業効率や運動性能も重視した装置とすることをコンセプトとしており、次の目標のもと、開発を行った。

- ・同クラスの油圧機以上の作業量を確保する。
 - ・大幅に燃費を向上させる。
 - ・ハイブリッド機ならではの操作フィーリングを実現する。
 - ・装置としての外観を油圧機と同等の装置サイズに留める。
- これらを実現すべく、次の方針でシステムを構成した。
- ・対象機は20tのショベル(国内で最も普及しているクラス)とする。
 - ・旋回を電動化する。
 - ・高効率で高出力の発電・電動機を搭載する。
 - ・操作フィーリングの作り込みを可能にする統合化された制御システム構成とする。

図1に、本製品のハイブリッドシステムの構成を示す。

主構成はすでに製品化しているマグネット仕様HBを踏襲し、旋回用と発電・電動機用の2個のモータと、それらをドライブするインバータ、そしてこれらの電源ラインを制御する蓄電装置(昇降圧コンバータ、キャパシタユニット)が搭載される。また図には表記していないが、コントローラが全体を統括制御する構成とした。なお近年、ハイブリッド機器の

高電圧化が進んでいるが、機器の汎用性を持たせることとコストおよび安全性を考慮し、400V以下で運用可能な機器として開発した。

一方、ハイブリッド化に向けた機器(コンポーネント)に関しては、さらなる小型化、信頼性の向上およびコストの適正化などを図るべく、マグネット仕様HBからの仕様の見直しを行った。

3 ハイブリッドシステム構成部品と特長

3.1 電動旋回ユニット

ハイブリッドショベルで必要とされる条件である高出力・高トルク、高効率および搭載性を満たす電動旋回ユニットを新規に開発した。搭載性に関しては、ベースとなる油圧ショベル本体から改造された部分を極力抑えるべく、油圧ギアモータからの置換えを可能とするコンパクト性とメンテナンス性を考慮した。

電動旋回ユニットは次に示す部品の組合せで構成される。

- ・電動旋回モータ(新規開発)
- ・高速段減速機(新規開発)
- ・ブレーキ(新規開発)
- ・低速段減速機(既存品)

電動旋回モータは、高効率かつコンパクト性を考慮してIPMモータを採用し、冷却は水冷方式とした。油圧モータ比較で高回転運用が必須となることから、高速段減速機と組み合わせる構成とした。図2に、電動旋回ユニットを示す。

3.2 発電・電動機

発電・電動機は、電動旋回モータと蓄電装置への供給に必要な電力を発電する。また、エンジンを効率的に運用すべく負荷のコントロールも行っている。高出力型IPMモータを採用し、エンジンの負荷軽減と最適運用を行うことで省エネルギーと運動性能の両立を可能とした。図3に、発電・電動機を示す。



図4 キャパシタユニット
Capacitor unit



図5 インバータ・コンバータユニットおよびコントローラ
Inverter/Converter unit and controller



図6 モニタ表示画面イメージ
Image of monitor display

3.3 キャパシタユニット

蓄電池としての要件である耐環境性、長寿命、コンパクト性を実現するキャパシタユニットを新規開発した。

頻繁かつエネルギー量の大きい旋回運動の回生エネルギーを確実に蓄電するデバイスとして、リチウムイオンキャパシタ(LIC)を採用した。ハイブリッドシヨベルでは業界初の採用事例である。LICは高温での耐久性に優れており、長寿命かつ高エネルギーといった特長を有しており、ユニットの小型化にも寄与している。

一方、組電池技術としてはセル接続部の信頼性確保が特に重要となるが、一般的な振動耐久試験だけでなく、実機から取得した振動スペクトルを再現した長期振動試験も合わせて実施し、車載用としての信頼性を確認した。

図4に、キャパシタユニットの外観を示す。

3.4 ハイブリッドコントロールシステム

マグネット仕様HBではコントローラ、インバータおよびコンバータが一体型であったが、分離型にすることにより個々の部品がコンパクトかつ軽量で拡張性やメンテナンス性に優れるだけでなく、実機搭載時の自由度が増した。これにより搭載部の張出しなどによるオペレータ視認性への影響を極力抑えることが可能となった。図5に、インバータ・コンバータユニットおよびコントローラの外観を示す。コントローラは高性能プロセッサにオリジナルの制御用システムソフトを搭載しており、リアルタイム性確保と複雑な制御演算処理への対応を可能とした。

これらインバータ、コンバータおよびコントローラは、高速・高信頼性の通信バスで接続し、リアルタイムデータ通信

機能とユニット配置の自由度の両立を実現した。さらにこのコントロールシステムは、エンジンや油圧動力と操作系を含めた各種機器との情報通信を可能としており、よりきめ細かい制御により、ハイブリッド機としての性能を向上させることが可能となった。

一方、キャブ内(運転席前)に搭載されるモニタ表示器にもハイブリッド機専用の情報を付加するとともに、燃費履歴をオペレータに分かりやすく表示することで、燃費の管理も簡易に行えるよう考慮した。図6に、モニタ表示器の画面イメージを示す。

4 ハイブリッド技術の運動性能への適用

本製品では、省エネルギー性能は言うまでもなく運動性能においても油圧機以上を目指すとともに、従来備えていた各種の拡張用アタッチメントを操作する予備機能もすべて搭載可能とし、各種現場作業への展開も考慮した。

また駆動系の制御に関しては、従来の油圧機では動力源であるエンジン出力は複数のアクチュエータで機械的に分配されるが、ハイブリッド機では蓄電されたキャパシタのエネルギーも併用して使用できることから制御の範囲が広がる。今回の開発では、操作フィーリングの改善だけでなく作業効率も考慮してアクチュエータの移動方向や位置をフィードバックし、ハイブリッドコントローラが統括して油圧系と電動系をコントロールする制御システムを実現した。

4.1 バケットサイズアップ

省エネルギーという考えの中で、ワンサイズ大きなバケットを装着することにより、少ない回数で決まった作業量を完了し燃料消費を抑えるという方策を試みた。1サイクルの作業スピードは従来機と同等以上を目標としている。

一般的には、バケットのサイズアップにより速度の低下と燃費の悪化が予測されるが、発電・電動機によりエンジンを効率良く動作させるシステムを開発したことで速度と作業量を確保し、省エネルギー化が可能となった。

4.2 作業における安全性向上

ハイブリッドコントローラにより油圧系と電動系を含めた全体システムのコントロールを可能とした。本体が不安定になりやすい姿勢やバケット位置では機械の状態を把握し、実作業に問題のない範囲で機械の速度をコントロールする。このことから作業者が気を使うことなく、より安全な作業を可能とするMSC(モーションスタビリティコントロール)を標準

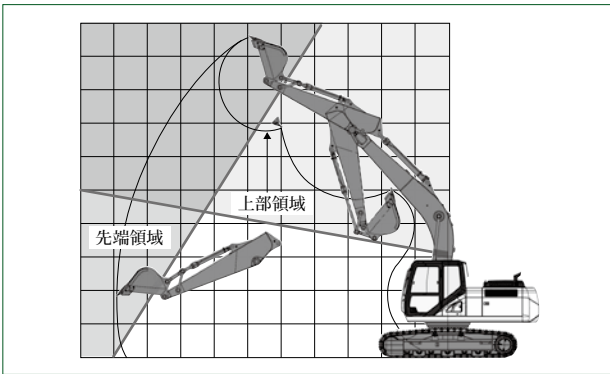


図7 MSCシステムの制御エリア(概念図)
Image of MSC system



図8 FVMの画面イメージ
Image of FVM display

装備した。

MSCエリアであってもアタッチメントの運動方向も加味した制御を行っており、違和感なく安全でスピーディな作業が可能である。

図7に、MSCシステムの制御エリアの概念を簡易的に示す(実際のエリアとは異なる)。

安全性については、本製品のベースとなる油圧機で搭載している後方270°の視界を確保したFVM(フィールドビューモニター NETIS登録)システムも標準搭載し、安全性を考慮した機械に仕上げている。

図8に、FVMの画面イメージを示す。

4.3 スムーズな旋回動作

油圧機では、旋回モータの操作性をほかのアクチュエータの油と分流調整することで作り込むことから、ほかのアクチュエータの負荷変動により操作性が変化してしまう。

本製品では、電動旋回を採用することで、速度やトルクをソフトウェアにより自由に形成でき、起動/停止時のショックの低減や、複合操作時でのほかのアクチュエータとのマッチング制御など、油圧機にはないハイブリッド機特有の操作フィーリングを可能とした。

4.4 顧客評価

造成、解体およびダンプ積込みなどの現場において、顧客による本機のハイブリッド機としての評価と、従来油圧機との比較評価を行った。

ハイブリッド機の位置付けを従来油圧機以上のポジションとし、制御性を生かして違和感が少なく、油圧機に優る操作性に仕上げたことへの評価を確認した。



図9 積み込み作業
Sight of machine at operation

評価結果からは、従来の油圧機に対する慣れにより多少の操作感の違いはあるが、すぐに順応し意図した性能を実感してもらえたと自負している。

図9にヤードでの作業状況を示す。

5 ハイブリッドの燃費効果

掘削土砂のダンプ積込みを模擬した社内での評価試験では、作業量燃費でベースとなる油圧機比較15%の省エネルギー効果が確認できた。これは90°旋回を想定した運転方案となっているが、旋回の使用頻度などによりその効果は変化する。実際の作業現場で使用した場合の考察を次に付加する。

掘削作業においては、旋回エネルギーの一部が土に吸収されることから、電動旋回モータによる回生効率が高くなる場合があり、作業により省エネルギー率が大きく変化する。また、顧客の作業内容によってエンジンの負荷や、アイドル比率が異なることも省エネルギー率が変化する要因である。

本製品はエンジンを効率良く稼働させるシステムを装備していることから、旋回による回生効率が少ない場面においても省エネルギー効果が得られる。また、同クラスのモデルに対しワンサイズ大きなバケットを装着しながら低燃費化も実現しており、実作業量に対する燃料削減率は高くなっている。

6 むすび

- (1) 油圧機以上の運動性能と低燃費を同時に実現するハイブリッドショベルSH200HB-6を開発した。
- (2) ハイブリッド制御システムによる電動と油圧の融合により、操作性と安全性を油圧機からさらに一歩進めた機械として完成させた。
- (3) 今後は、ハイブリッド型油圧ショベルの開発によって得られた技術を必要に応じて油圧機に展開していくとともに、電動化技術を活用した次世代モデルなど、新たな市場を開拓すべく研究を継続していく。

(参考文献)

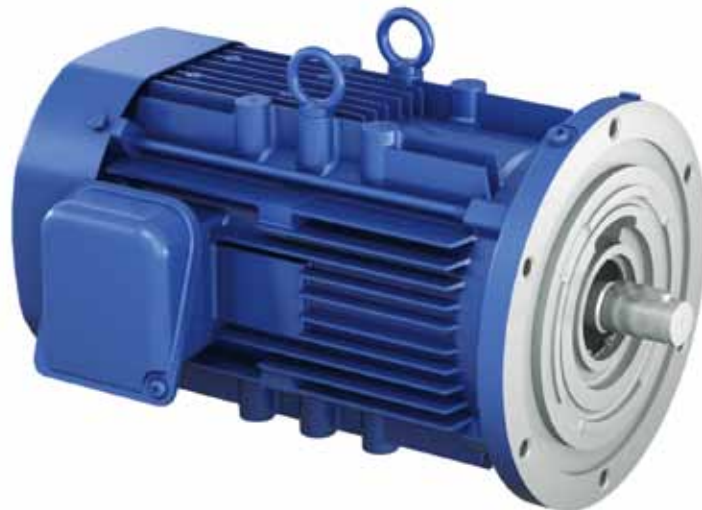
- (1) 白谷竜二, ハイブリッド型油圧ショベル(SH200HB-6), 建設機械施工, 2014年1月号.

※「FVM」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

IE3プレミアム効率モータの開発

Development of IE3 Premium Efficiency Motor

●水谷清信* 三成貴浩* 峯尾友明*
Kiyonobu MIZUTANI Takahiro MINARI Tomoaki MINEO



1.5kW IE3プレミアム効率モータ
1.5kW IE3 premium efficiency motor

地球温暖化対策などを背景として、日本では産業用モータを対象として2015年4月からIE3プレミアム効率規制が実施されることが決まった。その規制に対応すべくIE3効率モータを開発している。規制の基準となるIE3効率は、現行商品から損失を30%以上削減する必要がある。また商品化に際しては、幅広い電圧への対応や寸法の小型化などさまざまな課題がある。本開発ではそれらの課題に効率的に対応すべく、従来手法の最適化に加え、品質工学(タグチメソッド)を採用して検討を行った。

この手法では、設計パラメータである制御因子および外乱である誤差因子を設定して直交表に割付けを行い、直交表による設計組合わせの計算結果から要因効果図を作成し、高い改善効果を持つ因子とその影響度を導き出すことで最適設計を行った。

得られた設計結果で検証試験を行い、目標仕様を満たし、実際の商品に適用できた。

In the context of developing countermeasure technology against global warming, it has been decided that the premium efficiency regulations (IE3) for industrial motors would be implemented in Japan starting from April, 2015. To respond to that implementation, SHI is currently developing IE3 motors with the efforts to reduce their motor energy loss by 30% or more in comparison with the existing ones so that IE3 efficiency standard would be met. There are various challenges such as the adaptability to a wide range of power-supply voltage levels and downsizing to commercialize the products. We examined if these challenges can be met by employing Taguchi method, one of quality engineering methods, along with traditional optimization method. The employed method allowed us to assign the control factors as the design parameters and the error factor as the disturbance to an orthogonal table. We created a factorial effect chart by using calculation results from various combinations of the designs according to the chart, and achieved the optimal design by extracting the factors that demonstrated high improvement effects and by gauging their degrees. The verification test was implemented by using the obtained design result, and it was confirmed that the aimed specifications were met and the design can be applied to actual products.

1 まえがき

近年、地球温暖化や電力供給事情の問題から、省エネルギーへの要求が高まっている。産業分野で用いられるモータは、全電力の3割をも消費しているという推定もあり、モータの高効率化による省エネルギーが重要な課題となっている。このような状況を背景として、日本でもトップランナー方式に

よる三相誘導モータのプレミアム(IE3)効率規制が実施されることが決まった。

日本の規制は強制力を有し、汎用モータだけでなくギヤモータも規制対象に含んでおり、当社も規制に対応する製品を開発している。IE3効率の仕様を満たすには現状のモータ損失を30~40%程度削減する必要があり、さまざまな損失削減策と全体の最適化を図る必要がある。本報ではその技術内容

表1 日本の高効率規制
High efficiency regulation in Japan

項目	内容
対象モータ	三相かご形誘導電動機
規格	JIS C 4034-30 : 2011 JIS C 4213
効率クラス	プレミアム効率 (IE3)
規制開始	2015年4月(予定)
容量範囲	0.75 ~ 375 kW
極数	2, 4, 6 極
電源電圧	1000V 以下 50Hz, 60Hz およびその共用
対象機種	汎用モータ, 一体型ギヤモータ 一体型ブレーキ付きモータなど
対象外機種	防爆型モータ, 単相モータなど

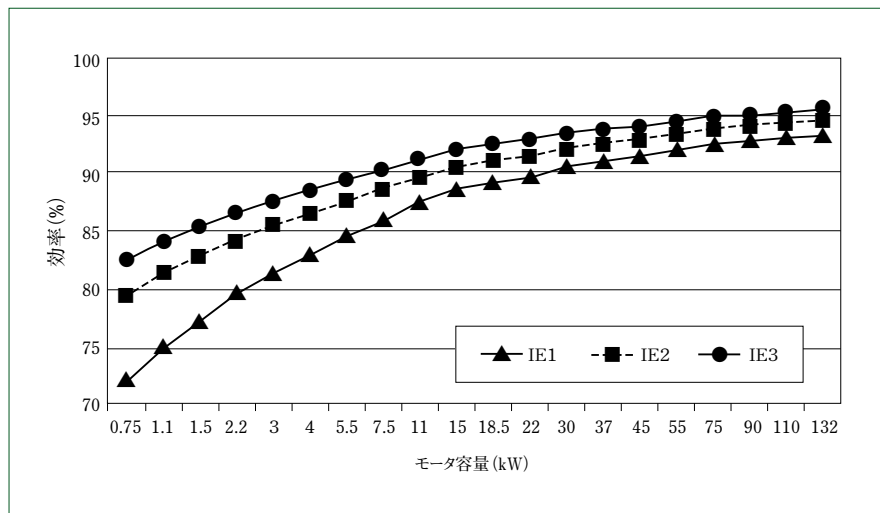


図1 モータの効率グラフ
Motor efficiency graph

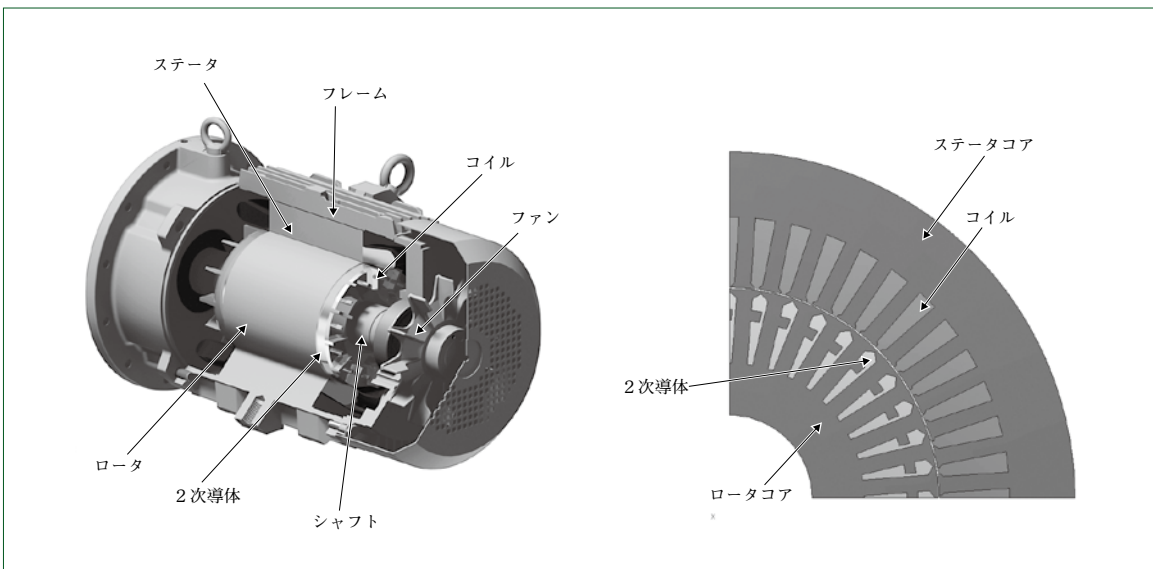


図2 誘導機の構造
Configuration of induction motor

を述べる。

2 IE3効率規制と技術課題

2.1 IE3効率規制について

日本では2015年4月よりモータの効率規制が実施されることが決まった。規制は0.75kW以上の三相誘導モータを対象としており、規制の概略を表1に示す。

基準となる効率は、JIS C 4034-30規格で示されるIE3 (プレミアム) 効率クラスである。現行のモータ効率はIE1 (標準) 効率相当であるが、IE3クラスを満たすにはモータ損失を現行モータから30%以上削減することが必要で、高い高効率化技術が求められる。図1に、50Hz 4極モータについてIE1, IE2およびIE3の効率比較を示す。たとえば5.5kW機の場合、効率値の差はIE1効率の84.7%に対して、IE3効率は89.6%である。差は4.9ポイントだが、モータ損失に換算すると35%以上の損失を削減する必要がある。

2.2 誘導モータの損失と低減方法

図2に、誘導モータの構造を示す。誘導モータは大きく、コイルが巻かれるステータと、回転体であるロータにより構成される。誘導モータはロータに2次導体を具備し、通常はアルミニウム製のかご形導体を有する。誘導モータはコイルに交流電圧を印加することによって回転磁界が発生し、ロータのかご形導体に誘起電圧が誘導される。この電圧とすべり (モータ回転速度の同期回転数からの遅れ) によりロータ導体に電流が流れ、回転磁界との間にトルクが発生して回転する。

この電気エネルギーを回転エネルギーに変換する過程において発生する5種類の損失を次に示す。

(1) 1次銅損

ステータのコイルに電流が流れることによって生じる損失。コイル抵抗と1次電流の2乗に比例する。

(2) 2次銅損

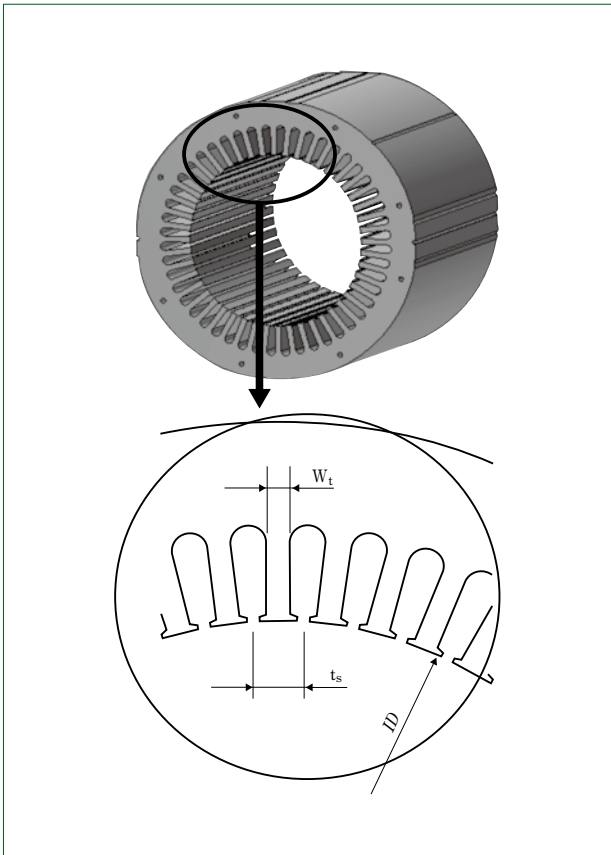


図3 ステータコアの W_t と t_s
 W_t & t_s of stator core

ロータ導体に電流が流れることによって生じる損失。
2次導体を流れる電流はすべりで決まり、2次銅損はそれに比例する。

(3) 鉄損

ステータおよびロータコア内の磁束量とその変化によって発生する損失。コアを構成する材料と磁束密度などで決まる。

(4) 機械損

軸受の転がり損失やファンの風損による機械的な損失。

(5) 漂遊負荷損

(1)～(4)以外の損失の総称。回転に寄与しない高調波磁束や漏れ電流によって生じる損失が主である。

これらの損失の総和である全損失 W_{TOT} W から、次の式によってモータの効率値 $Eff.$ は算出される。

$$Eff. = 100 \times \frac{P_{OUT}}{(P_{OUT} + W_{TOT})} \% \quad (P_{OUT}: \text{モータ出力 } W)$$

実際のモータでは1次銅損、2次銅損および鉄損の3つの損失が代表的な損失で、当社製の5.5kWクラスの誘導モータを例にとると、これら3種類の損失で90%以上を占める。効率向上には、まずこの3種類の損失を削減することが重要となる。

1次銅損と2次銅損は電流と抵抗によって決まる損失で、抵抗を小さくすることが基本対策となる。抵抗を小さくする対策として、コイルや導体を太くしたり大きくするが、コイル(銅量)の増加や体積増大といった反作用が生じる。また、

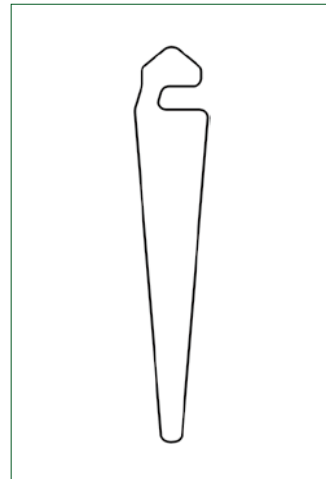


図4 ロータスロットの二重かご
Rotor slot : Double cage type

鉄損の削減には低損失材の採用や、コア体積を大きくして磁束密度を下げるという対策を講じるが、こちらもコストや寸法に影響を与える。いずれも損失削減にはコストアップや体積増加という反作用が避けられないことから、それらを最低限に抑える最適化が必要となる。

2.3 製品に要求される仕様

規制では、顧客が使用する電源や周波数条件でIE3効率の仕様を満たすことが必要となる。実際の製品ではそのほかにもさまざまな要求がある。当社製のギヤ用モータが盛り込むべき仕様・課題を次に示す。

(1) 電源の共用性

日本では50Hzと60Hzの2種類の周波数が存在しており、200V級では、200V/50Hz、200V/60Hzおよび220V/60Hzの3定格を同時に満たすことが求められる。

(2) 始動特性

損失を削減すべく抵抗を下げる対策を取るが、その場合、始動電流が大きくなる傾向になる。しかし電源のスイッチや配線には制限があり、始動電流を無制限に大きくすることはできない。このことから規格で示される始動特性を遵守する必要がある、JIS C 4202規格を基準として参照する。

(3) モータ外形

損失を削減しようとする、モータの寸法は大きくなる傾向があるが、特に径寸法が従来より大きくなると、既設品からの置換えに問題が生じる可能性がある。このことから、現行製品と極力同等の寸法にする必要がある。

(4) 減速機との接続

当社製モータは多種多様な減速機と直結する必要がある、また現行製品との互換性も求められる。このことから、減速機との接続部品の共用性や互換性に配慮する必要がある。

(5) 製法や材料

製造拠点が海外にも展開し、部品の海外調達も進んでいることにより海外での製造および素材や部品の調達にも配慮する必要がある。

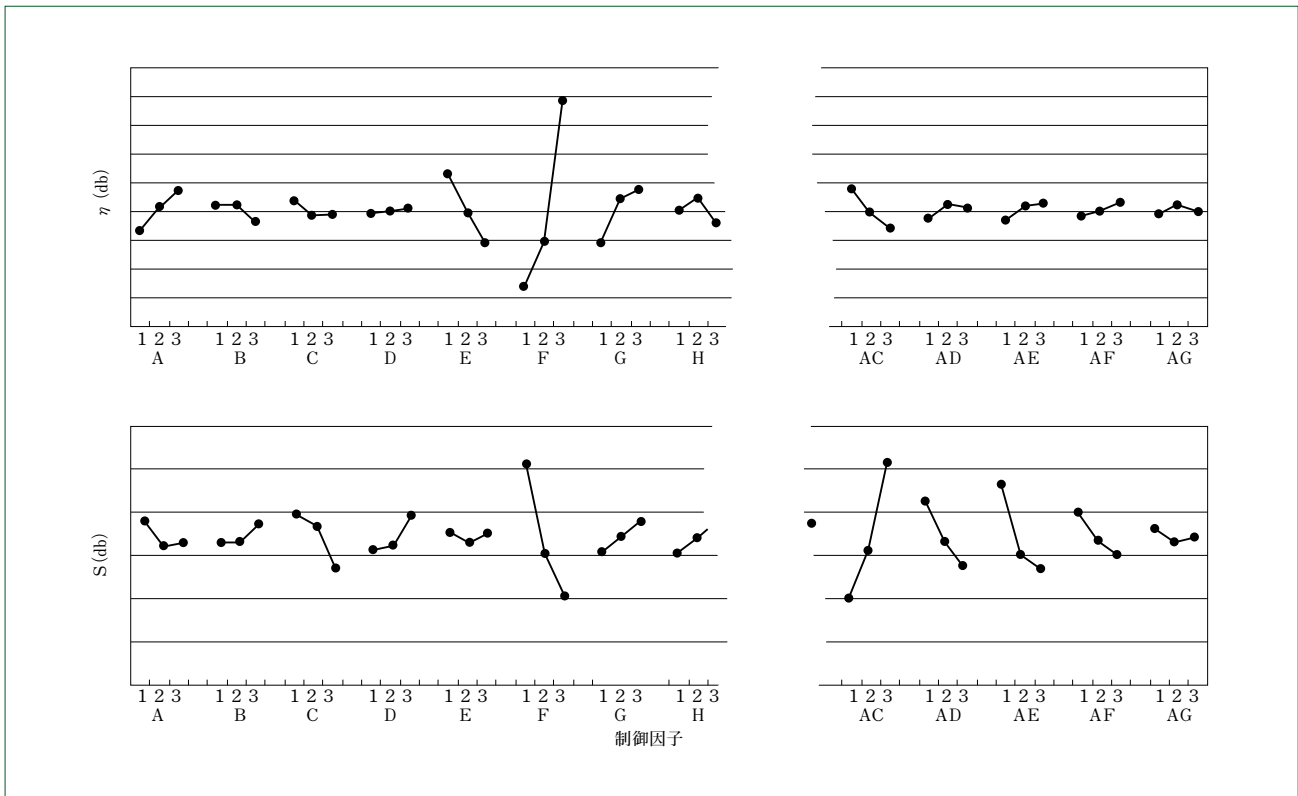


図5 全損失の要因効果図
Factorial effect chart of total loss

3 誘導モータの効率向上と最適化

誘導モータでは、ステータおよびロータのコア形状が特性とモータ寸法に大きな影響を与える。しかし、各部分の寸法は複雑に干渉し合い、効率向上と要求仕様の両方を満たすには高度な最適化が必要である。たとえば、コイルを収納しているステータスロットの面積を大きくすると、コイルの断面積が大きくなり1次銅損は減るが、磁路面積が小さくなり鉄損が大きくなる。また、かご形導体を形成するロータスロットを大きくすると2次銅損を削減できるが、磁路面積の縮小で磁束密度が高くなり、励磁電流が増加し1次銅損が増加する。このほかにもギャップ(ロータとステータ間の空隙)は、励磁電流や漂遊負荷損に影響する。

このように誘導モータでは、干渉し合う設計要素が多数存在し、コア形状が複雑になる中～大型機において従来の設計手法のみで最適な設計値を決定することは困難になっていた。

そこで本開発では、従来手法で基本諸元を決定し、複雑に干渉する部分については、品質工学(タグチメソッド)の手法を用いた。

3.1 基本諸元と基本寸法の決定

IE3モータの開発に当たり、現行品の体系や2010年に発売したIE2高効率モータでの経験から、次の内容を基本諸元とした。

- ・電磁鋼板：低損失タイプを用いた。
- ・フレーム材質：モータ冷却に影響を与える項目で、15kW以下はアルミダイキャストを、15kWを超えるものはFC鋳物を設定した。

- ・ステータコア外径：減速機接続部品とモータ径の条件および現行製品の寸法により選定した。
- ・ステータスロットとロータスロットのコンビネーション：コア外径と同じく、現行製品採用を条件とするコンビネーションの中から最適な組み合わせを用いた。

次にスロット形状などのモータコアの詳細設計に進む。βおよびBt/Byという指標を用いてコア形状の詳細検討を行った(図3)。

$$\beta = W_t / t_s \quad W_t : \text{ステータティースの幅} \\ t_s : \text{ステータスロットの間隔}$$

Bt/By Bt : ステータティース部の磁束密度

By : ステータヨーク部の磁束密度

Bt/By値は磁束密度バランスを決めるが、当社製モータで良い性向を持つ数値が知られており、その数値を基本条件とした。

またステータコア外形は、従来品のモータ径と同等となるような数値を条件とした。その条件下で最適となるβ値を求めコアの詳細寸法を決めた。Bt/By値を適切な値に設定し、最適となるβ値を選ぶことで効率などの特性を満たすとともに、コア各部分の磁束密度とそのバランスが適切に配分される。このことから磁束密度分布や電流密度で異常な偏りや疎密が排除でき、比較的簡便に設計条件を維持して特性と詳細寸法のバランスが取れた設計値を得ることができる。

3.2 品質工学(タグチメソッド)を用いた設計

誘導モータでは容量が大きくなると、図4に示すような二重かご構造をロータに具備する。この構造を持つモータは設計パラメータが増え、従来手法のみでは精度良く短時間で最

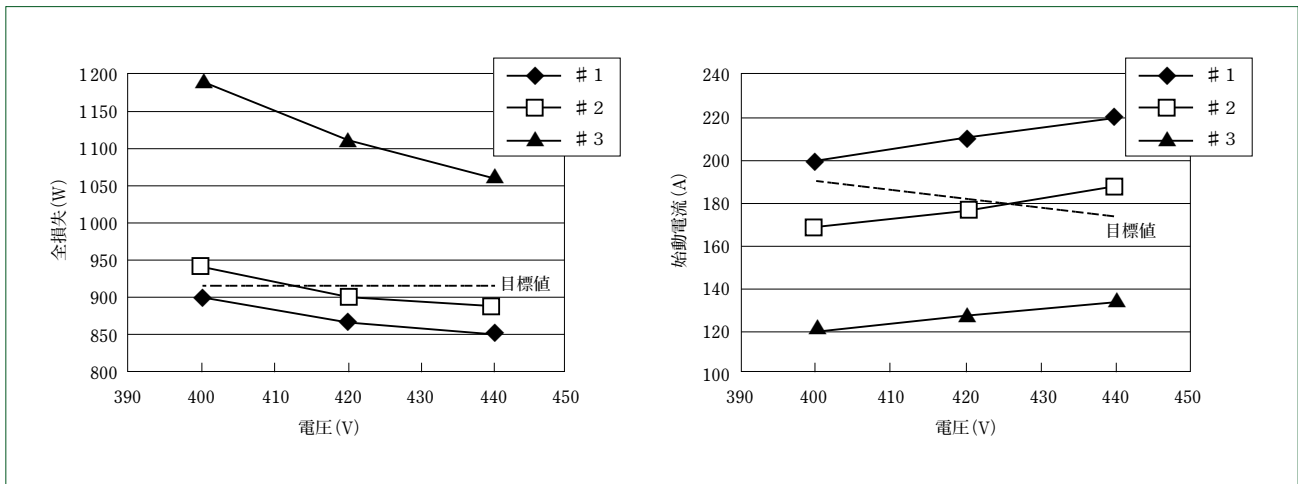


図6 条件選定後の計算値
Calculation results of selected levels

適な設計値を得ることは難しい。この問題を短時間にかつ試作を極力行わずに解決すべく、設計因子の主効果を定量的に抽出でき具体的な設計にフィードバックできるタグチメソッドによるパラメータ設計を用いた。

本開発では、コア寸法やコイル仕様に関する因子を取り上げ、合計20種類の制御因子を設定した。そしてモータ特性に影響を与える外乱を誤差因子とし、電圧や製造でばらつきの生じる寸法など、3種類の誤差因子を設定した。

一般に多数の制御因子を組み合わせる実験を行う場合は膨大な回数の実験が必要になることから、タグチメソッドでは直交表に従って実験を行う。直交表を用いることで、少ない実験回数により制御因子の主効果を算出することができる。本開発では、最大26個の制御因子から54の実験組合せを作成する直交表を使用した。この直交表に従って設計モデルを作成した後、シミュレーションにて特性の計算を行った。

タグチメソッドでは、製品が持つ機能(入力と出力の関係)とその理想状態を定義し、その機能を理想状態へ近づけるようなパラメータを選定する。このときに、感度SとSN比 η という指標を利用して評価が行われる。

感度は入力に対する出力の応答性を表す指標であり、本開発では入力を制御因子、出力をモータ特性値(全損失と始動電流など)とした。この場合、値は小さいほど望ましいことから、感度は望小特性となる。

一方、SN比は誤差因子による外乱が加わったときに受ける出力のばらつきであり、誤差因子に対するロバスト性を表している。SN比が大きいくほど、誤差因子に対して安定していることになるので、SN比は望大特性である。

感度とSN比は、次の式により直交表から得られる54通りの設計組合せごとに計算される。

(1) 全変動 S_T を算出する

$$S_T = y_1 + y_2 + \dots + y_{12}$$

ここで、 $y_k (k=1, 2, \dots, 12)$ は各特性の計算結果であり、 k は誤差因子の番号を表している。

(2) データ平均の変動 S_m を算出する。

$$S_m = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_{12})}{12}$$

(3) 誤差分散 V_e を算出する。

$$V_e = \frac{S_T - S_m}{12 - 1}$$

(4) 感度Sを算出する。

$$S = 10 \log \left[\frac{1}{12} S_m \right]$$

(5) SN比 η を算出する。

$$\eta = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{12} S_m}{V_e} \right]$$

次に、制御因子と感度およびSN比の関係性について分析すべく要因効果図を作成する。要因効果図とは、各制御因子に対して水準ごとの平均値(感度およびSN比)をグラフ化したものであり、各制御因子が持つ主効果を把握することができる。図5に、全損失の要因効果図の例を示す。図5では全損失の感度SとSN比 η を示す。横軸は制御因子とその水準を示している。

次に、要因効果図から高い改善効果を持つ因子を選定する。今回のパラメータ設計では、選定した因子はコア形状に関するものが大半を占めており、中でもロータスロット形状に関する多くの因子が高い影響度を持つ傾向があることが分かった。また、ロータスロットに関する因子の多くは、始動電流と全損失において要因効果図の傾きが逆になり、トレードオフになることが定量的に把握できた。

要因効果図から得られた結果をもとにした11kW 4極モータの設計例を紹介する。まず、3つの設計条件(#1~#3)を決定した。#1は効率の改善を優先して水準を選定したもので、#3は始動電流改善を主としたものである。#2は効率と始動電流両方の改善を考慮して水準を選定したものである。

表2 実機の試験結果
Experimental results of trial motor

モータ容量 (kW)	11			
周波数 (Hz)	60			
電圧 (V)	400		440	
設計手法	従来方法(試作機)	提案方法(試作機)	従来方法(試作機)	提案方法(試作機)
定格電流 (A)	20.8	20.5	20.2	20.2
始動電流 (A)	154	136	171	152
効率 (%)	91.8	92.5	92.1	92.7

図6に、これらの条件に対する全損失、および始動電流値の計算結果の例を示す。#1は全電圧において全損失の目標を達成したが、始動電流は目標未達であった。#3では全電圧において全損失は目標に未達であったが、始動電流は目標を達成した。また、#2は中間の特性となり、全損失は400V以外で、始動電流は440V以外で目標を達成した。

初期の選定水準とその組み合わせでは目標をすべて満足することはできなかったが、制御因子の変動による影響の方向と大きさを把握することができた。そこで#2の設計をもとに、今回得られた知見から影響の高い因子を絞り込み、目標を達成すべく水準を微調整し最終設計仕様とした。また外部部品的设计も並行して行い、モータ径寸法を現行機と同等の寸法とした。

4 実機での検証

3章で述べた手法で設計した仕様において、11kWモータを製作して確認実験を行った。確認実験では、効率測定試験および始動電流の測定を行った。

表2に、実験結果を示す。表は400V/60Hzおよび440V/60Hzにおける従来方法で設計した試作機と、提案方法で設計した試作機の比較試験結果である。提案方法で設計した試作機は、モータ径寸法を現行の標準効率モータと同レベルにしているが、400V/60Hzおよび440V/60Hzの双方でIE3クラスの効率値である91.4%を満たしており、効率とモータ寸法を両立できたことが確認された。また、始動電流も目標値である173A以下となり、目標を達成していることを確認した。

これらのことから、今回のタグチメソッドを用いた設計手法により目標達成が可能な設計仕様を導出することができ、提案する手法の有用性を確認することができた。

また本手法を用い、0.75~55kW 4極モータの設計を行い、IE3効率を満たすモータの開発を行った。

5 まとめ

本開発では、従来手法による基本設計と、構造が複雑化した機種に対してタグチメソッドによるパラメータ設計手法を提案した。これらの提案により設計した仕様のモータを製作してその効果を確認した。成果は次の通りである。

- (1) 始動電流を抑えながらIE3クラスの仕様を満たす設計の検討を行った結果、目標を達成するモータを設計することができた。

- (2) 3定格電源への対応や、モータ径寸法を現行機と同等にするという条件も満たせた。
- (3) 複雑に影響し合う誘導機的设计パラメータについて、各パラメータが持つ効率および始動電流への主効果を定量的に把握することができた。
- (4) 0.75~55kW 4極モータに本手法を展開し、実際の商品設計に反映できた。
- (5) この設計方法を用いることで詳細な設計仕様を効率的に決定でき、また開発工数を削減することが確認できた。今後は、この手法の精度向上を図ることに加え、詳細な分析と定量的な削減方法がまだ確立されていない漂遊負荷損に取り組み必要があると考えている。それらを併せ、省エネルギー性能と小型化・省資源化の双方を向上させたモータを商品化していく所存である。

(参考文献)

- (1) 井上清和, 中野恵司, 林裕人, 芝野広志, 大場章司, 入門 パラメータ設計, 日科技連, 2008.
- (2) 三成貴浩, 藤野泰充, 竹島豊, 水谷清信, タグチメソッドを使った高効率誘導モータの開発, 住友重機械技報, No.180, 2012.

大容量インバータ AS-300シリーズの開発

Development of Large Power Inverter AS-300 Series

●伊 東 匠*
Takumi ITO



AS-300正面パネル
AS-300 front panel



AS-300シリーズ外観
Appearance of AS-300 series

表1 一般仕様
General specifications

項目	仕様				
型式	AS-3004-090	AS-3004-132	AS-3004-185	AS-3004-220	AS-3004-280
適用ベクトルモータ容量 (kW)	75	110	160	200	250
適用汎用モータ容量 (kW)	90	132	185	220	280
定格入力電圧	三相 380~460V (±10%) 50Hz/60Hz				
定格出力電圧	三相 380~460V (受電電圧に対応)				
定格出力電流 (Arms)	183	268	375	440	550
キャリア周波数 (kHz)	3		2		
過負荷耐量	150% 1分間 200% 0.5秒 反限時特性				
周囲温度 (°C)	-10~+50				
保存温度 (°C)	-20~+65				
湿度	90%RH以下 (結露のないこと)				
振動	0.6G以下 10~55Hz		0.2G以下 10~55Hz		
使用場所	標高 1000m 以下 (腐蝕ガス、塵埃のないところ)				
質量 (kg)	47	70	120	120	185

1 はじめに

当社はこれまで中・大型のインバータ市場向けにAF-3100αシリーズを販売してきた。近年は環境意識の高まりから省エネルギーや高効率への要求が強くなっている。今回、このような要求に応えるべく、大幅な小型化・高性能化を達成したAS-300シリーズを開発したので、本報にその特長を紹介する。

2 AS-300シリーズの開発

2.1 製品コンセプト

シールド掘削機、押出機、クレーン、プレス装置および荷役・搬送機械など大型の一般産業機器向けに従来からインバータが用いられてきた。これら中・大容量クラスの装置では、高精度化、設置面積の省スペース化、高信頼性および電源設備容量削減などへの要求が特に高まっている。AS-300はこれらの要求に対応すべく開発を行った。製品コンセプトを次に示す。

(1) コンパクト化

業界最小の取付け面積とサイドバイサイド取付けを実

表2 AS-300 90kW損失比較データ
Comparison data of loss of AS-300 90kW

	総損失 (W)	総損失 (%)	総損比 (%)
AF3100 α	2988	3.3	100
AS-300	1992	2.2	67

表3 対応エンコーダ
Corresponding encoders

メーカー名	エンコーダ種類
-	ABZ encoder
-	ABZ・UVW encoder
多摩川精機株式会社	2.5Mbps Two-way communication type 17bit (INC,ABS)
パナソニック株式会社	2.5Mbps Two-way communication type 17bit (INC,ABS)
山洋電気株式会社	PAO35C 2.5Mbps Two-way comm. type 17bit (INC,ABS)
株式会社安川電機	Σ II, Σ III, V (INC,ABS)
三菱電機株式会社	J3 (OBA/OSA18 type)

現し、システム制御盤のサイズを最小化する。

(2) 長寿命設計

大型設備でのメンテナンス費用を軽減すべく、設計寿命10年以上を実現する。

(3) 高機能化

汎用用途から特定アプリケーションまで同一のインバータで幅広く対応可能とする。適用モータは、誘導モータから同期モータ (SPM, IPM) まで対応し、ベクトル制御、センサレスベクトル制御およびV/F制御機能を搭載する。

(4) 高性能化

電流制御を高速化し、大容量でありながら広帯域の応答性を実現し、過電流保護の信頼性を大幅に向上させる。

2.2 ラインナップ

今回は、ターゲット市場において要求の高い75~280kWの製品化を行った。表1に、製品の一般仕様を示す。

2.3 機能と性能

(1) コンパクト化

第6世代IGBTと低出力周波数域での二相変調方式の採用により、たとえば90kWの場合、従来機比で33%の損失改善を実現した(表2)。また、高効率ヒートシンクの採用と放熱設計および内部構造の最適化により、従来製品に比べ体積比55%、取付面積比48%の小型化を実現するとともに、内部エアフローを見直すことにより複数使用の場合の密着実装も可能とした(図1)。

例として、90kWを6台使用した場合の制御盤の場合、従来製品比で盤内の実装密度を1.5倍に改善した(図2)。

(2) 長寿命設計

筐体構造見直しと同時に電解コンデンサの冷却方法の改善も実施し、高負荷時のコンデンサ表面温度上昇を低減した。加えて電解コンデンサを専用設計とし、高リップル耐量を実現することで、設計寿命を従来基準の5年

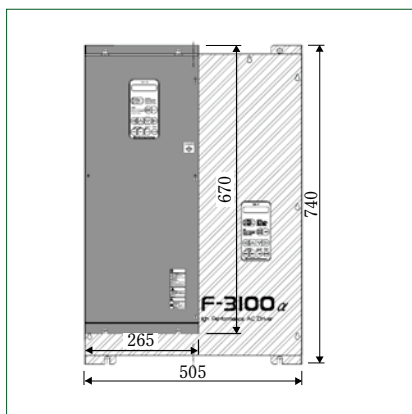


図1 従来製品との取付け面積比較
Comparison of between conventional & developed products regarding attachment area

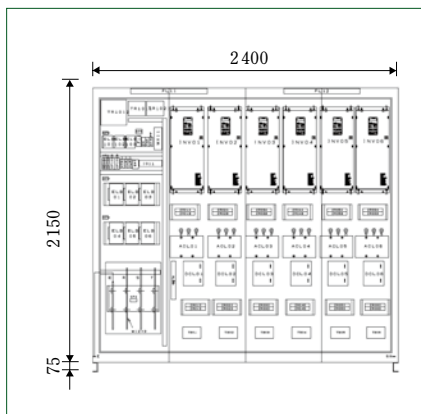


図2 制御盤構成例(90kW 6台)
Example of control panel configuration (90kw 6 set)

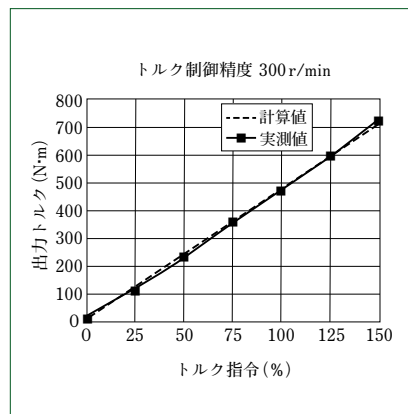


図4 ベクトル制御時トルク直線性
Torque linearity of vector control

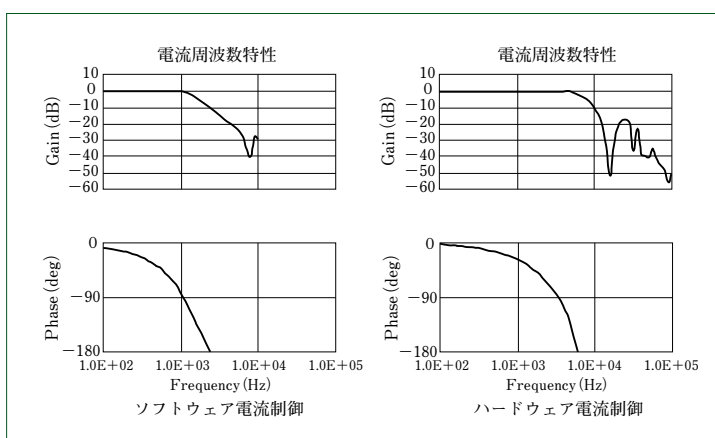


図3 AS-300シリーズ 独自ハードウェア電流制御の効果
Effect of original hardware current control

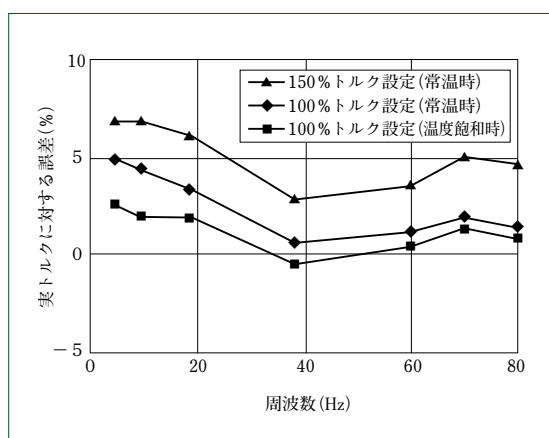


図5 センサレスベクトル制御時トルク出力誤差
Actual torque output error of sensorless vector control

以上から10年以上に改善した。

また、冷却ファンも高温長寿命品とすることで期待寿命を10年以上に改善した(いずれも年平均周囲温度40℃, 365日・24時間・負荷率100%稼動時)。

(3) 高機能化

AS-300シリーズでは、各社のモータおよびエンコーダに対応した(表3)。

モータ制御方式に関しては、同期モータ(SPM・IPM)のベクトル制御および誘導モータのベクトル・センサレスベクトル・V/F制御機能を搭載することで、1台で多くの種類のモータ駆動を可能とした。

さらに、当社のコントローラと組み合わせることで、多軸同期制御や複巻モータへの対応、高速データロギングおよびFFT解析機能などを利用可能とした。

(4) 高性能化

従来機では、電流制御をソフトウェア演算にて実装していたが、今回新たにハードウェア演算に最適化した無駄時間極小化アルゴリズムを開発しFPGAに実装した。この結果、電流制御の高速化が実現し、周波数応答帯域を大幅に向上させることができた(図3)。さらに、高速電流制御により過電流などの異常動作の検知能力が向上し、これにより信頼性も向上した。

このほか、センサレスベクトル制御用にモータ定数の

オートチューニング機能を搭載し、シールド掘削機などの多軸同期運転時に要求される高精度のトルク直線性が確保できた(図4, 図5)。

3 おわりに

- (1) AS-300シリーズとして、75~280kWのラインナップを完成し発売を開始した。
- (2) 最新のIGBTモジュールの採用をはじめとした最適化設計により、業界最小の取付け面積を実現し制御盤数も削減した。
- (3) コンデンサ、冷却ファンなどの設計を見直し、設計寿命10年以上を実現した。
- (4) 電流制御の高速化により高応答性と高信頼性を実現した。また、モータ定数オートチューニング機能による良好なトルク直線性を確保した。

今後、市場の要求は、さらなる大型化と回生コンバータや昇降圧コンバータおよびバッテリーシステムによる省エネルギーや設備容量低減へ進むと考えられる。当社としても、これらの多様なニーズに対応すべく要素技術および製品開発に努めていく所存である。

PETプリフォーム専用全電動射出成形機 SP500E

PET Preform All-electric Injection Molding Machine SP500E

●竹内 滋*
Shigeru TAKEUCHI



電源回生機能
：低放熱量
電動駆動による空調費用削減
加熱シリンダ多層化
：オイルレス
電動駆動による作動油使用量の削減

1 はじめに

本機は、飲料用PETプリフォームに代表される大量・高生産性に対応すべく開発された、全電動射出成形機(型締力5000kN)である。PETプリフォーム96~144本取りの金型に対応可能である。大量・高生産性向けの射出成形機は、従来油圧機もしくは一部に電動駆動を採用したハイブリッド機であったが、SP500Eは全電動駆動である。

2 開発の狙いと全電動化でのメリット

図1に、開発のコンセプトを示す。生産性はハイサイクル(高スループット)と段取り時間短縮により、安定性は不良を出さないことと止まらないことにより、省エネルギー性は低ランニングコスト、オイルレスおよび低放熱によりそれぞれ実現可能になる。

それぞれの実現手段を次に示す。

- ・生産性：ハイサイクル
 - 高速電動駆動+専用トグル機構
 - ：段取り時間短縮
 - ワイドプラテン
 - 内蔵ホットランナコントローラ
- ・安定性：不良率低減
 - 電動駆動による速度・位置制御性向上
 - 型締装置の剛性・精度確保と型締力の安定化
 - PET樹脂専用スクリュ
 - ：稼働率向上
 - 電動駆動による故障率の低減
- ・省エネルギー性：低ランニングコスト
 - 電動駆動によるエネルギー効率向上

3 特長

3.1 ハイサイクル性

型締装置には高速化対応設計が適応され、専用の型締トグル機構を採用した。駆動部には大容量・低慣性モータを採用し、さらに、可動プラテンサポート装置には直動案内を採用して従来駆動部から効率を向上させた。

エジェクタ装置には高出力と高速の両立が求められ、従来の直動駆動をリンク機構に変更し、高出力と高速の両立を実現した。その結果、Lock to Lock(型開→製品取出し→型閉)において2.5sを視野に入れられるようになった。

3.2 段取り時間短縮

段取り時間の短縮は、タイバー間隔を広く設けることにより実現される。大量生産用の金型は当然大型である。SP500Eは、タイバー間隔が1350mmであり、上部からそのまま金型の取外し・取付けが可能である。

また、ホットランナコントローラを射出成形機に内蔵し、射出成形機のマンマシンコントローラでホットランナの設定および操作を可能にしている。このことから成形条件とホットランナの温度設定などのリンクも可能になり、成形条件とホットランナの条件を同時に呼出すことが可能になった。

3.3 電動駆動による速度・位置制御性向上

速度・位置制御性向上の評価を、実際のPETプリフォーム成形での製品質量の評価で説明する。従来油圧機では、製品質量が基準内になるまでに30ショット要していたが、全電動機SP500Eでは、10ショットで製品質量が基準内に入る結果が得られた。また、成形安定時の充填時間、計量時間、最小

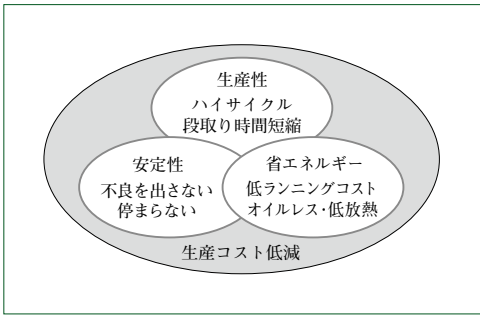


図1 開発の狙い
Aims of development

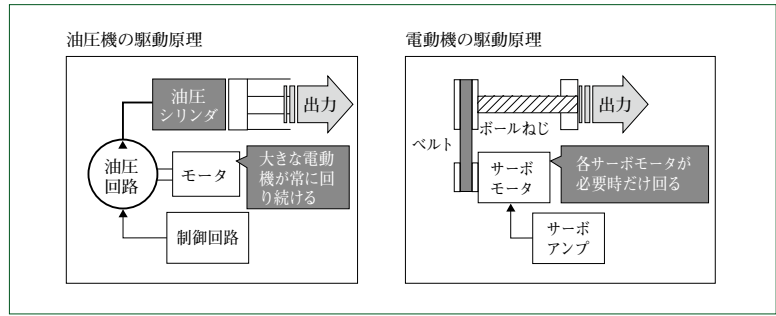


図2 電動駆動による省エネルギー性
Energy saving by electric drive

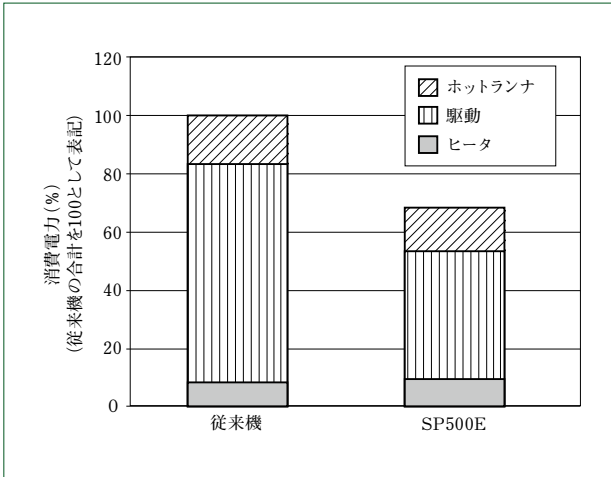


図3 消費電力比較
Power consumption comparison

クッション位置および充填ピーク圧といった製品の代用特性値の推移についても、従来油圧機に対し一桁小さい値を示した。

3.4 型締力の安定性

当社標準機で定評のあるダブルセンタープレスプラテン構造を採用した。金型の面圧を均一化すべく、中央部のバリや周辺部でのショートショットを同時に解消することが可能になった。さらに、従来よりも低い型締力での成形も可能になった。従来のプラテン構造では、力が上下端部にかかり、プラテンが大きく変形してしまう。ダブルセンタープレスプラテン構造では、均等な型締力により低い型締力でバリを防ぎ、ガス抜けも良好になる。

また、型締力フィードバック制御も搭載している。型締力センサにより実型締力検出、フィードバック制御をし、型締力の変動を抑制可能にした。設定どおりの型締力を正確に維持することが可能になり、余裕を見込んだ高い型締力設定が不要になる。

3.5 PET樹脂専用スクリュ

PET専用スクリュは、当社にて実績のある低AA(アセトアルデヒド)スクリュを改良し、高可塑性能力、溶融性能および低AA性が向上した専用設計とした。樹脂に無理なせん断をかけないスクリュ形状、低温で効率良く樹脂を溶融するサブフライト、溶融樹脂の混練を促進するミキシングを採用した。

PETプリフォーム成形に要求されるハイサイクル成形、

AA値低減および外観不良(未溶融、気泡、シルバー、混練不良)の低減に貢献する。ハイサイクル成形においても成形品の歩留まり低下を防止し、SP500E機の高い生産能力をサポートすることが可能になった。

3.6 機械故障率の低減

油圧機においては、作動油の交換や油圧機器(バルブやパッキン類)の交換などのメンテナンスが毎年必要である。また、数年に1度、主要部品の交換やオーバーホールも必要となってくる。

一方、電動機は、機構部品への潤滑を定期的を実施すれば、数年に1度の機構部品の交換のみで対応可能である。また、電動化でのモニタ機能の向上により、機器の劣化状態の監視が可能になり、重大な機器破損の前に故障箇所の予測ができ、予防保全的な考えも可能になると思われる。

3.7 電動駆動による省エネルギー性

図2にもとづいて、省エネルギー性を説明する。油圧機の動作原理は、作動油を介して力を伝達し、高出力運転を比較的コンパクトに実現できるメリットがある。しかし、大容量の電動機を常に駆動させる必要があり、エネルギー効率は悪い。

電動機の動作原理は、ボールねじなどを介して力を伝達し、各駆動部に必要なときだけ電動機を駆動すればよく、エネルギー効率が良いだけでなく精密動作の制御に適しているといったメリットがある。

3.8 省エネルギー性の比較

図3に、従来機とSP500Eの実測データを示す。SP500Eは、前述のとおり各駆動部がサーボモータ駆動であることから、油圧機との比較で消費電力量が30%以上削減された。

この省エネルギー性は、成形機以外にも空調機の消費電力やクーリングタワー水の削減にも寄与する。放熱量を成形機で消費させるエネルギーの10%と仮定すると、放熱量の削減量は14.4kWhになり、空調機などの省エネルギー性にも効果があると考えられる。クーリングタワー水の削減は、設備のメンテナンスと設備容量に大きな影響を与えるものと考えられる。

4 むすび

本報では、PETプリフォーム専用全電動射出成形機SP500Eにおける技術的な特長を主に述べた。今後も顧客のさらなる要求に応えるべく、射出成形機の技術開発を進めていく所存である。

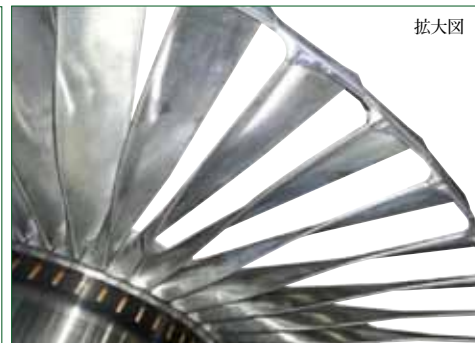
全周連結翼搭載型蒸気タービン長翼機の開発

Development of High Performance Steam Turbine with Interacted Shroud Type Blade

●井手紀彦*
Norihiko IDE



長翼機ロータ
High performance turbine rotor



全周連結翼
Interacted shroud type blade

1 はじめに

自家発電用蒸気タービンには、使用の目的により2種類が存在する。顧客の製造プロセスにおいて、必要とされる熱源と電力の変動に応じてバランス良く供給する熱電併給蒸気タービンと、一定の条件でできるだけ多くの電力を供給する売電主体タービンである。このうち売電主体の蒸気タービンは、CO₂の排出量を抑え、安定的に電力を供給することへの要求が高く、高効率な蒸気タービンが求められる。

従来、新日本造機株式会社(SNM)は、機種の特性から顧客運転条件に合わせたアプリケーションを備える熱電併給市場を得意としてきた。しかし、さらなるシェア拡大には市場規模の大きな売電主体市場への参入が望まれ、蒸気タービンの高効率化が重要な課題であった。

2 長翼化

蒸気タービンの損失は大きく、段落内損失、排出損失、円板摩擦損失および漏れ損失に分けられ、このうち特に排出損失は、最終段翼列で膨張仕事を終えた蒸気が大きな速度エネルギーを持って排出されることによる損失であり、通常速度300m/sを超える排出損失は蒸気タービンが扱うエネルギーの5%にも相当する。

排出速度低減は、最終段翼を長翼化し軸流環状面積を広くすることで達成できるが、単純な長翼化による翼重量の増加は、遠心力による引張り応力が増大し許容値の超過につながる。そこで、翼形状を薄くして遠心力を低減することが考えられるが、翼を薄くすると蒸気の曲げ力による変動応力が許容値を超えてしまうという課題が発生する。

3 全周連結翼

前述の課題に対し、全周連結翼(Interacted shroud type blade)による共振回避を検討した。これは、組立時1mm前後の間隙を持つ翼と一体のシュラウドで全周を構成し、定格回

転数の40~60%の遠心力による翼のねじり戻しで全周が接触し連結するものである。

全周連結することで、単独翼や部分連結翼に見られる自由な翼の振動が制限され、全周モードの振動のみとなる。また、外力の共振次数と全周モードの節の数が一致しないものは、全周の間にエネルギーが相殺される。このことから、共振点は単純化されて、周方向モード、軸方向モードおよびねじり方向モードのみとなり、共振回避が容易になる⁽¹⁾。

翼形状決定に当たっては、全周接触モデルのモード解析シミュレーションから求められた固有値の回転次数と、翼の全周変位をFFT(高速フーリエ変換)した節の次数が一致する共振点が設計回転数の範囲から外れるよう設計した。

これら開発要素に対してはサイズの異なる2種類の実機翼を製作し、真空容器の中で回転させ、発生する遠心応力と外力に対する振動応答を計測し、解析の精度を検証するとともに製作誤差によるバラツキの範囲を予測して許容範囲を明確にした(図1)。

4 エロージョン対策

最終段を長翼化することで翼外径が大きくなり、外周の周速が従来機に比べて20%程度速くなる。

蒸気タービンの低圧段は湿り蒸気領域で運転され、蒸気の凝縮によって生じた水滴は翼やケーシングの壁面で成長し、比較的大きな水滴が最終段外周部に集中する。この水滴が高速回転する動翼と衝突し損傷を発生させる。この損傷量は衝突速度の2~3乗に比例すると考えられ、長翼は大きな損傷を受けることが予測される⁽²⁾。

そこで、各種の表面硬化処理をした試験片を水滴噴霧中に高速回転させ、回転速度と損傷量を比較した。結果、ステライト溶接による硬化で従来の実績以上の損傷寿命が得られることが分かり、最終段長翼の外周部入口背面をステライト溶接することとした(図2)。

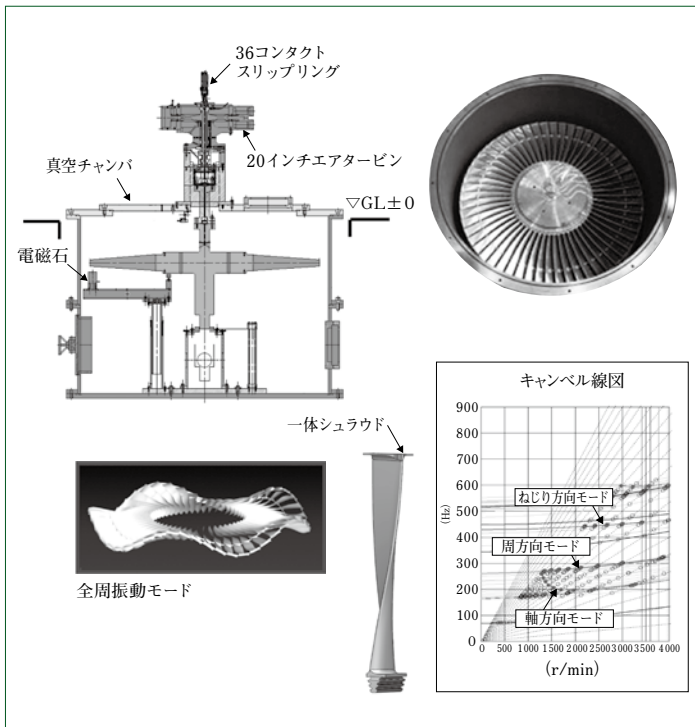


図1 実機スピントスト
Spin test system

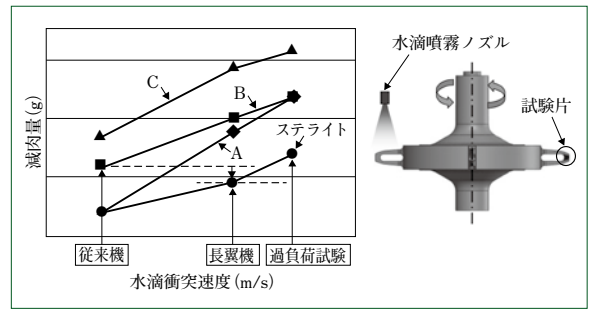


図2 エロージョン加速試験
Accelerated erosion test

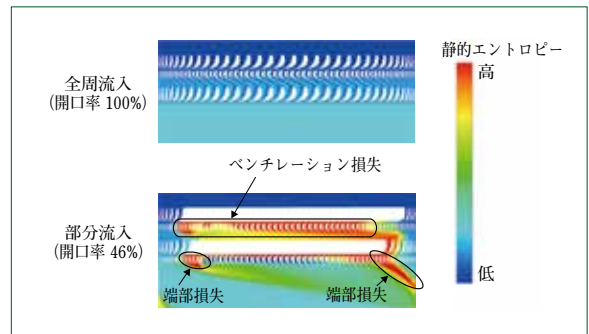


図3 部分流入段のエントロピー分布
Entropy distribution of partial admission stage

5 初段全周化

蒸気タービン低圧段は、長翼化によって従来機に比べより多くの蒸気を流すことが可能となった。一方、高圧段において従来機は蒸気入口がケース上半から部分流入することによる蒸気流入量の制約があったが、今回、内部通路を用いてケース下半にも蒸気を流入させ初段全周化を行うことで大容量化できた。

また、詳細な数値流体解析(CFD)の結果、部分流入段は全周流入段に比べ、ベンチレーション損失や端部損失などの大きな損失が発生していることが分かり、初段全周化で約0.3%の効率向上が見込める⁽³⁾(図3)。加えて、初段全周流入の効果を生かし、初段の熱落差を小さくすることで最適化し、高圧ケースの高温化・高圧化と多段化を合わせたさらなる効率向上を目的とする要素技術を盛り込んでいる。

6 商品化プロジェクト

長翼機は開発と同時に商品化プロジェクトを立ち上げ、シリーズ化、図面化、治工具および組立て方法など、設計・製造に関する問題点を早期に抽出し、検討した。シリーズ化に当たっては、機種サイズの品ぞろえを治工具を含めた製造原価差と高効率を得られる運転範囲から定め、翼の鍛造用金型などを可能な限り共通部品化できるようにした。

組立て方法では、バランス修正が最少となるよう翼の重量だけでなく重心位置も計測し、全周に均等配置する方式を確立した。また、全周連結するに当たり、翼の組立て・固定には従来にない新たなキー止め手法を開発し、間隙接触部のクリアランス管理基準を決定した。

また、実運転における排気低真空、低流量で長翼が蒸気を攪拌して起こるターンナップ損失による温度上昇や自励振動の発生を予測し、運転可能範囲を決定した。そして、ツール

ゲートレビューを適宜実施し、開発全体のリスク管理を行った。

中型長翼機は2011年10月に、大型長翼機は2012年5月に上市し、現在売電主体市場の引き合いではその70%に対して長翼機を提案し、顧客より高効率に対する評価をいただいている。2014年4月に世界の売電主体市場から長翼機を10台以上受注し、うち2台を納入した。

SNMは、今後も長翼機のような新しい要素技術を取り入れた新商品モジュールを早いサイクルで開発しながら、顧客の価値実現に貢献していく所存である。

7 おわりに

- (1) 蒸気タービンの高効率化を目的に、排気損失を低減した長翼機を開発し上市した。
- (2) 全周連結翼を用い共振を回避することで長翼化を達成し、実翼を用いたスピントストで検証した。
- (3) 長翼化による高周速に対しエロージョン加速試験を実施し、対応策を決定した。
- (4) 高圧段大容量化を目的に初段全周機を開発し、CFDにて効率向上値を明確にした。
- (5) 開発と同時に商品化プロジェクトを立ち上げ、設計・製造の問題を早期に抽出および検討し対策を講じた。

(参考文献)

- (1) 角家義樹, 蒸気タービン翼の信頼性向上のための設計手法に関する研究, 神戸大学博士論文, Aug., 1992.
- (2) 長尾進一郎, 蒸気タービンの性能向上と翼浸食低減をめざした湿り蒸気の挙動に関する研究, 早稲田大学博士論文, Jul., 2006.
- (3) 高田真司, 笹尾泰洋, 山本悟, 田沼唯士, 蒸気タービン部分流入段非常解析によるフランジ形状の考察, 日本機械学会論文集B編, vol.78 (788), 2012, p.753~761.

リーチフォークリフト

Reach Forklift Truck

● 岩本 武輝*
Takekeru IWAMOTO



QuaPro-R

1 はじめに

近年、環境意識の高まりや、企業の社会的責任の観点から、省エネルギー対策は経営課題としてその重要度を増している。住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の主要顧客である流通業および倉庫業においても省エネルギー・省スペース化への要望は強い。国内フォークリフト市場全体の85～90%を占める小型フォークリフトのカテゴリでは特にその要望が強い。このカテゴリにおいて、かねてより高いシェアを持つリーチフォークリフトを根本的に見直し、より少ない消費エネルギーかつ小さなスペース、さらにはフォークリフトのライフサイクルを通じて価値の向上を達成すべく、開発を行った。2012年4月よりQuaPro-Rとして販売した新型リーチフォークリフトのエコロジー性および小回り性能について報告する。

2 省エネルギー性能

2.1 5つの効率化で省エネルギーを達成

QuaPro-Rは次に示す効率化により、従来機種比25%(1.5t車280Ahバッテリー)もの省エネルギーを達成している(図1)。

- (1) ドライブモータへのIPM(Interior Permanent Magnet)モータ採用および走行制御の最適化
電気自動車やハイブリッド自動車などに採用されているIPMモータを初めてリーチフォークリフトに採用し、

走行時の電力消費を格段に向上させた。

(2) 旋回制御の採用

急旋回を監視し、旋回中の車速を抑制することで、電力ロスを削減した。また、これにより安全な荷役走行を実現した。

(3) 加速制御の最適化

一般にフォークリフトでは、荷物を扱う際の極低速での微妙な車両操作(インチング)と、スムーズな加速での立ち上がりが重要である。QuaPro-Rでは、アクセルに低速から高速まで滑らかに変化させる特性を持たせた。これにより、従来機種では難しかった5～6km/h付近での一定走行とインチングの両立を実現した。スムーズな加速制御により操作性を向上させつつ、電力消費を抑えている。

(4) 荷役ACモータ採用

荷役モータをDCからACに変更して、メンテナンス頻度の低減ならびに省エネルギーを実現した。さらに、荷役作業(フォークの上下動など)においても、走行時と同様にインチングのスムーズさの向上を図り、省エネルギーに貢献している。具体的にはリフト操作の低速領域を広げ、微妙な操作のしやすい特性に変更し、モータ起動時の制御を最適化することでレスポンスの良さとインチングの容易さを両立させた。

(5) 油機効率の向上

油圧配管および機器による圧力損失を極限まで削減することで荷役モータの発生させた動力を無駄なく荷物に伝達し、電力消費を抑えている。

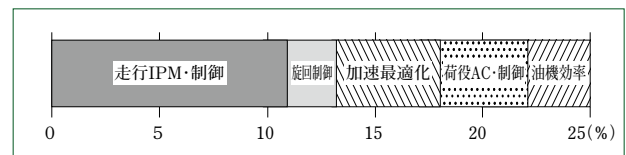


図1 消費電力量低減割合
Breakdown of energy saving

2.2 省エネルギーがもたらす4つの価値

前述の省エネルギー性により次の価値を顧客に提供できる。

- (1) 電力費 19000円/年 低減
稼働日260日/年、電力単価20円/kWhとし、従来機種と同様の作業量をこなした場合、年間19000円もの電力費を削減できる。
- (2) CO₂排出量 年間371kg 削減
従来機種と同じ条件下でCO₂排出量を換算したところ、年間371kg減と業界トップの低環境負荷性を実現した。なお、計算には、環境省平成22年電気事業者別排出係数による東京電力のCO₂変換係数を利用した。
- (3) 稼働時間 一日当たり約3時間延長
JIS D 6202:2011作業パターン(稼働率55%)における

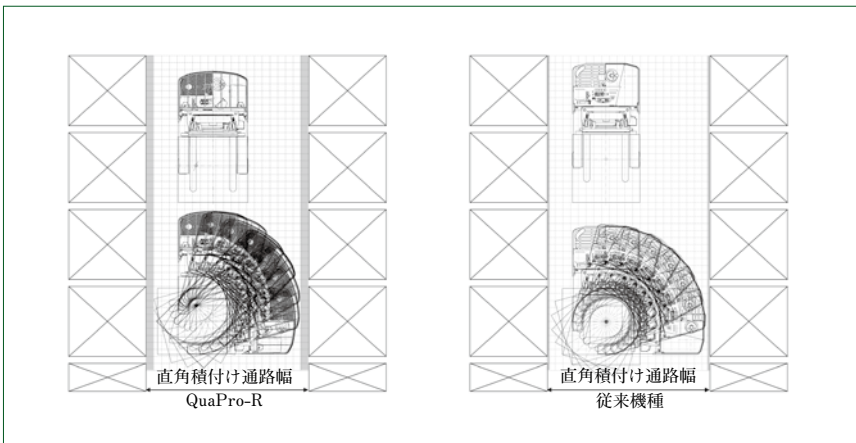


図2 直角積付通路幅イメージ
Image of rightangle stacking aisle width

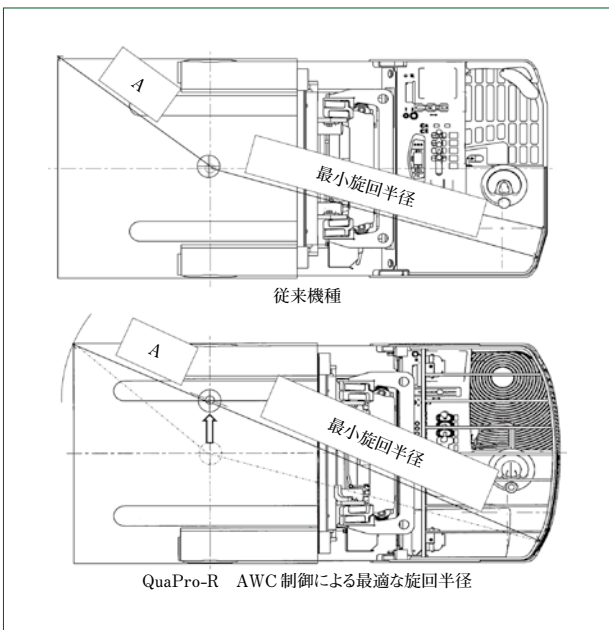


図3 AWC制御イメージ
Image of AWC control

稼働時間は10.1時間であり、従来機比で約3時間の延長を達成した。このことから、突発作業などによる延長業務を、同じ車両でまかなえる可能性が格段に向上した。

(4) バッテリー寿命 34%延長

フォークリフトに採用されている鉛バッテリーは、放電の深さによって寿命が短くなる。QuaPro-Rではその高い省エネルギー性によりバッテリーの負担を軽減し、バッテリー寿命は34%向上した。バッテリーは、廃棄時の環境負荷が高い製品であり、寿命の延長により顧客におけるコスト低減のみならず、低環境負荷社会実現の一翼を担うことが期待できる。

3 小回り性能

狭い倉庫内でも効率の良い作業および保管が可能な車両として、直角積付け通路幅の削減に取り組んだ。直角積付け通路幅とは、荷を持った状態で真横を向くのに必要な最小の通路幅で(図2)、フォークリフトにおける重要な性能の一つである小回り性能を示す。QuaPro-Rでは車両レイアウト、マスト構造および引込み量を全面的に見直し、オペレータ空間

を損なうことなく、直角積付け通路幅を2540mmとすることで従来機種比130mm減(1.5t車260Ahバッテリー)を達成し、業界最小を実現した。

また、AWC(Aisle Width Control 小回り制御)の装備により、最適な操作蛇角を自動的に制御でき(図3)、オペレータの技量によらず、最適な積付け旋回操作を可能とした。

このことから、顧客はQuaPro-Rの直角積付け通路幅を、実作業に無理なく生かすことができる。

この優れた小回り性は、顧客に対し、次に示す価値を提供している。

(1) 作業効率 50%アップ

倉庫ラック間においてハンドルの切返し頻度が大幅に削減できることから、当社テストパターンにおける作業時間を33%削減した。

(2) 保管効率 10%アップ

狭い通路でも作業が可能であり、通路幅を狭く設定することができる。つまり、同じ倉庫面積に対し、より多くの荷物を保管することができる。30×16m倉庫における試算では、10列の棚が11列となり10%向上させることが可能である。この際、オペレータ空間を含む運転者への負担は一切増えていないことから、労働環境の悪化を伴わず、物流の効率化が図れる。

(3) 疲労度 20%軽減

同じ通路幅であれば、従来機種と比べ、切返しの手作業量が20%減少し、積卸し作業の疲労が軽減される。

4 おわりに

本報ではQuaPro-Rの2つの特長を従来機との比較で示し、それに伴う顧客価値の向上について述べた。

(1) 抜群の省エネルギー性能により電力消費量を25%削減した。

- ・電力費 19000円/年 低減
- ・CO₂排出量 371kg/年 削減
- ・稼働時間 約3hr/日 延長
- ・バッテリー寿命 34%延長

(2) 卓越した小回り性能により直角積付け通路幅を130mm削減した。

- ・作業効率 50%アップ
- ・保管効率 10%アップ
- ・疲労度 20%軽減

これらの省エネルギー性能、小回り性能のほかデザインなどが認められ次の賞を受賞した。

- ・第33回(平成24年度)優秀省エネルギー機器表彰「日本機械工業連合会会長賞」(主催 一般財団法人日本機械連合会)
- ・「2012年度グッドデザイン賞」

※「QuaPro-R」は、住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の登録商標です。

IE3プレミアム効率ギヤモータ

IE3 Premium Efficiency Gear Motors



地球温暖化対策などを背景として、モータの効率規制が各国で実施されている。日本でも2015年4月からトップランナー方式によるIE3プレミアム効率を基準とする高効率規制の実施が決まった。

日本の規制は、汎用モータだけでなくギヤモータなど幅広いモータを対象としており、当社においてもその対応が急務となった。

今回、IE3プレミアム効率モータを組み合わせたギヤモータを開発した。本製品は、日本の規制を満たすとともに多種多様な当社製ギヤモータに対応している。また規制による既設品からの置換えを容易にすべく、モータ径寸法を従来と同等とし、効率向上と小型化を両立させた。また屋外型やブレーキ付きなどの仕様にも対応でき、さまざまな要求に応えられる製品となっている。

本報では、2014年4月に発売を開始した11 kW以下の機種概要を紹介する。

主要仕様 (2014年4月発売機種)

容量範囲	0.75~11kW 4極
電源電圧	200V/50Hz, 60Hz 220V/60Hz 400V/50Hz, 60Hz 440V/60Hz
耐熱クラス	F
定格	S1 (連続)
外被・保護構造	全閉外扇型, IP44(屋内型)
周囲環境	-10~+40℃, 湿度85%以下
口出し線本数	3本: 0.75~3.7kW(直入れ始動) 6本: 5.5~11kW(Y-Δ始動可能)

準拠規格	JIS C 4034-30, JIS C 4213
対象減速機	サイクロ減速機, パディボックス, ハイポニック減速機およびプレストNEOなど
オプション	ブレーキ付き, 屋外仕様など

特長

- (1) 日本の3定格電源に対してIE3プレミアム効率を達成しており、日本の効率規制に対応できる。またサイクロ減速機, パディボックス, ハイポニック減速機およびプレストNEOなど、当社製の幅広い減速機に直結できる。
- (2) 規制による置換えを容易にすべく、特に重要なモータ径寸法は現行製品と同等にした。また減速機との組み合わせも現行製品と同一とした。
- (3) 最新の設計手法や解析技術を用い、高効率と少ない温度上昇による長寿命化など、信頼性も向上させた。また定評のあるFB型ブレーキも従来製品と同様に組み合わせることができ、ブレーキ付きなどのオプションにも対応できる。

※「サイクロ」, 「パディボックス」, 「ハイポニック減速機」および「プレスト」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

(PTC事業部 水谷清信)

高速歯車装置

High Speed Gear Box



高速歯車装置は、主に電動機・タービンを原動機としたコンプレッサ(石油・ガス・化学)やタービンを原動機とした発電機の駆動などに使用される。低回転仕様の一般産業用の歯車装置と異なり、万一、トラブルが発生すると人命に関わる重大事故につながる恐れがあることから、設計・製造の段階で十分な検討が必要となる。また、高速歯車装置は高回転(高周速)での使用に対し、安定した運転や動力伝達ができることは言うまでもなく、高効率および低振動についても要求される。

株式会社セイサの高速歯車装置は、主にコンプレッサ・発電機用の横異芯平行軸型、据付け面積を小さくできるガスタービン発電機用の縦異芯平行軸型、ピニオン軸端に直接インペラ(羽根車)を取り付けるギヤードコンプレッサなどがあるが、それらに加えて多軸増減速装置、試験装置など、顧客の要望に応じた製品の製作も可能である。また、近年活況なFPSO(浮体式石油・ガス生産貯蔵積出し設備)向けコンプレッサ用高速歯車装置についても、セイサの製品が採用されている。

セイサの高速歯車装置の設計製造技術は、世界のトップレベルにあり、50年以上の経験と、8000台以上の納入実績を有していることから、顧客から高い信頼と評価を得ている。

今後ともこれまで培ってきた技術力を結集し、国内外の多様なニーズに対応していくことで、高速歯車装置のシェア拡大を目指していく。

軸形式	横異芯平行軸型
伝達動力	最大約60 000 kW
入力回転数	約3 000～13 000 r/min
出力回転数	1 500, 1 800, 3 000, 3 600 r/min
中心距離	最長約1 000 mm
ケース	鋳鉄, 鋳鋼, 鋼板溶接構造
歯車	はすば, やまば(JIS 0 級)
軸受	すべり軸受, ティルティングパッド
カップリング	ダイアフラム, ギヤ, クイルシャフトなど
ターニング装置	住友重機械工業株式会社製BBB(自動嵌脱式クラッチ付き)
機付きポンプ	ギヤポンプ, スクリューポンプ

特 長

- (1) 各国規格に対応している。
API, AGMA, ISO, 船級(LR, ABS) など
- (2) 高効率である。
効率98.5～99 %
- (3) 低振動である。
セイサ独自の振動解析(FEMすべり軸受性能解析, 危険速度解析, アンバランス応答解析)
- (4) 監視システムの取付けが可能である。
軸振動計, 加速度計, 軸受温度計
- (5) 信頼性が高い。
納入実績 約8 000台

主要仕様

用途 発電機

(株式会社セイサ 濱田貴士)

全周連結翼搭載型蒸気タービン長翼機

High Performance Steam Turbine with Interacted Shroud Type Blade



蒸気タービン発電機が適用される100MW以下の分散型発電には2つの市場がある。売電主体の市場では効率が非常に重要視され、一般自家発電の市場では初期投資額の抑制が重要視される。タービン効率の改善には、最終段翼列の翼長を長くすることで翼の環状面積を増加させ、排出損失を抑制することが効果的である。また、初期投資額の抑制にはタービンを高速化し、タービン段数を削減することが効果的である。新型蒸気タービンである長翼機は、最終段翼列の環状面積を従来機の1.6倍に増加させ、従来機と同等性能時には回転数が125%となる高速化を実現した。これにより、効率重視の選定では従来機よりも高効率であり、初期投資額重視の選定では従来機と同等性能でコストダウンを実現する長翼機ラインナップが完成した。

主要仕様

中型長翼機(減速機付き)

型式	C5～C9.5
出力	5000～70000kW
主蒸気圧力・温度	13MPa×550℃以下
排気圧力	30kPa.abs以下(真空)
排気方向	軸流排気(C5は除く)、下排気

大型長翼機(発電機直結)

型式	C10～C11(50Hz/60Hz別)
出力	50000～120000kW
主蒸気圧力・温度	13MPa×550℃以下
排気圧力	30kPa.abs以下(真空)
排気方向	軸流排気、下排気(C10のみ)

特長

- 中型および大型長翼機での効率重視選定時
 - ・効率向上 1.0%(新日本造機株式会社(SNM)製従来機比 中型機は減速機の損失を含む)
 - ・最終段翼環状面積 1.6倍(SNM製従来機比)
- 中型長翼機での初期投資額重視選定時
 - ・回転速度向上 125%(SNM製従来機比)
 - ・タービン段数削減率 10～20%(SNM製従来機比)
- 長翼機全般
 - ・全周連結翼(Interacted Shroud Type Blade)採用による翼の耐振性向上
 - ・最終段翼ステライト溶接適用(標準湿り対策)
 - ・新型排気ケース採用による排気フード損失低減
 - ・初段全周オプションあり

(新日本造機株式会社 岩本和也)

リーチフォークリフト

Reach Forklift Truck



新型リーチフォークリフトQuaPro-Rは、VOCをベースとした基本コンセプトである「小回り性と省エネルギー」を実現し、顧客満足度の向上に貢献する4つの特長(作業性、経済性、快適性および安全性)を兼ね備えたリーチフォークリフトである。小回り性については、車両レイアウトやマスト引込み量などの改善により、業界最小の直角積付け通路幅を達成し、作業効率、保管効率および疲労度を大幅に改善した。省エネルギーについては、新モータの採用や制御の最適化などにより、規定のサイクルパターンにおいて、消費電力量を従来車比率で24%削減し、業界トップの低消費電力量を達成した(JIS D 6202:2011, FBR15-260Ahバッテリーでの比較)。これら業界トップクラスの小回り性と省エネルギー性能が認められ、第33回(平成24年度)優秀省エネルギー機器表彰における日本機械工業連合会会長賞および2012年度グッドデザイン賞を受賞した。

主要仕様

機種	QuaPro-R15	FBR15(従来車)
定格荷重(kg)		1500
揚高(mm)		3000
走行速度(km/h)		10.5
上昇速度(mm/s)		560
最小旋回半径(mm)		1580
直角積付通路幅(mm)	2540	2670
全長(mm)	2015	2070
全幅(mm)		1090
ヘッドガード高さ(mm)		2240
車両重量(kg)	2225	2330
バッテリー(V×Ah)	48×260	48×280

特長

- (1) 作業性
走行および荷役における加減速特性と制御を最適化し、インチング時の作業性を向上した。また、リーチローラ位置の改善やシリンダのショックレス機能改善により、荷役操作時のマスト揺れを業界最小レベルとした。
- (2) 経済性
走行モータには、電気自動車にも使用されているIPM (Interior Permanent Magnet) モータを採用し、モータの小型化・高効率化により省エネルギーを達成した。荷役モータはACモータを採用し、効率向上に貢献している。
- (3) 快適性
フロア高さを250mmに低減した。業界トップクラスの低床フロアにより、リーチフォークリフトの作業では頻繁な乗降時の疲労低減を実現した。ステアリングは、EPS (Electric Power Steering) モータ制御による操舵角ロックを行い、従来車のような操作エンドで発生する機械的なショックを防止した。
- (4) 安全性
運転席以外からの操作を防止する走行および荷役インターロックを標準装備とした。また、下り坂での意図しない加速を抑制するスロープスピードリミットを標準で搭載した。

※「QuaPro-R」は、住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の登録商標です。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 村上 智)

惑星分光観測衛星「ひさき」ミッション部の開発

Development for Observation Equipment of HISAKI Satellite

●吉田 誠 至* 森本 博文* 高井 茂 希* 高田 誠*

Seiji YOSHIDA

Hirofumi MORIMOTO

Shigeki TAKAI

Makoto TAKADA



©JAXA

惑星分光観測衛星「ひさき」
Spectroscopic planet observatory [HISAKI]

惑星分光観測衛星「ひさき」(SPRINT-A)は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が2013年9月14日にイプシロンロケットにより打ち上げた小型科学衛星である。

当社は、この衛星に搭載され科学観測を行うミッション部を受注し、開発を行った。ミッション部は、構体底面に主鏡を設置し、そこで反射された光が構体上面にある極端紫外線分光装置に導入され、分光観測が行われる構成としている。

宇宙空間では、太陽光が当たる面は当たらない面に比べ100℃以上熱くなり、支持構造が不均一に熱変形して望遠鏡の光軸がずれてしまう。この課題を解決すべく、熱制御技術を駆使するとともに、低熱膨張率の複合材料を採用することで熱変形による光軸のズレを抑え、主鏡と検出器の位置精度を要求仕様である0.2mm以内とすることに成功した。

The Spectroscopic Planet Observatory for Recognition of Interaction of Atmosphere "HISAKI" (SPRINT-A) is a small scientific satellite on board which Japan Aerospace Agency (JAXA) launched by Epsilon Launch Vehicle on September 14, 2014. Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI) developed an on-board experiment unit that performs scientific observations. The unit comprises the primary mirror set on the bottom of the unit and the extreme ultraviolet spectroscopy on the top, into which the primary mirror reflects light to perform spectroscopic observation. Due to the fact that the temperature difference between the surface exposed to the sunlight and the one not exposed can be 100 degree Celsius or more in space, its support structure would suffer uneven thermal deformation, which causes a misalignment of the optical axis of the telescope. To solve this problem, SHI employed thermal control technology and used composite material with a low coefficient of thermal expansion so that the deviation of the optical axis can be kept to a minimum. By this method, SHI has successfully met the required specifications for positioning accuracy of the primary mirror against the detector, that is ≤ 0.2 mm.

1 まえがき

惑星分光観測衛星「ひさき」(SPRINT-A)は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が2013年9月14日に内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケットにより打ち上げた小型科学衛星である。「ひさき」は、世界初の惑星観測専用の宇宙望遠鏡であり、その目的は金星、火星および木星を極端紫外線(EUV)で観測することである。地球型惑星の大気と太陽風との相互作用による大気流出機構の解明および木星の衛星イオから流出する硫黄イオンを中心としたプラズマ領域の観測を行い、プラズマが持つエネルギーの獲得・解放機構の

解明を目指している。

衛星は電力供給、姿勢制御および地上との通信などを行うバス部と、惑星観測を行うミッション部(観測装置部)から成る。当社は、ミッション部全体の開発を担当した。本報ではミッション部の構成および地上での検証試験結果について述べる。

2 ミッション部の構成

2.1 要求仕様

「ひさき」のミッション部に対する主な要求仕様を次に示す。観測波長は65~140nmの範囲で、次の3点を満足するこ

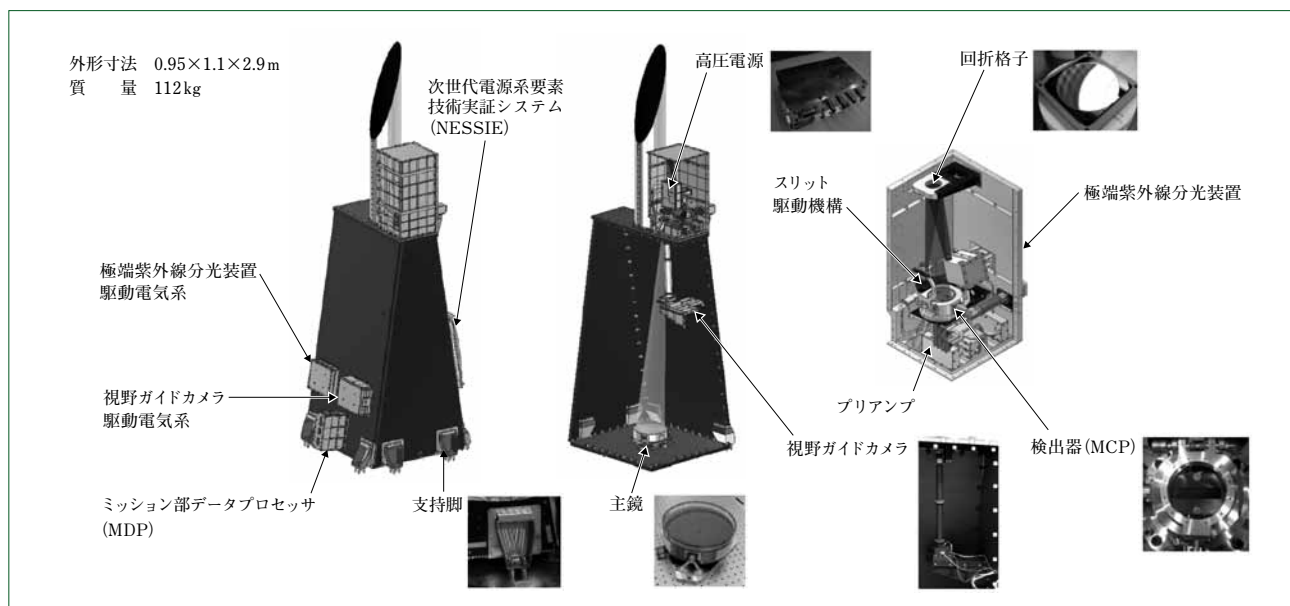


図1 ミッション部の構成
Observation equipment overview

とが要求された。

- (1) 主鏡-スリット間のアライメント誤差： $\pm 0.2\text{mm}$ 以内
- (2) 検出器位置の分解能：9 bit以上
- (3) 波長分解能： 5 \AA 以下

2.2 ミッション部の構成

図1に、ミッション部の構成を示す。衛星は、ミッション部と通信系および姿勢制御系などの共通機器を搭載するバス部に分けられる。ミッション部はバス部の上部に配置され、各観測装置が搭載されている。惑星から入射する光を構体底面に設置した主鏡で反射および集光させ、構体上面にある極端紫外線分光装置へと導く。分光装置内にはスリットを配置し、観測範囲以外の光線をカットする。スリットを通過した紫外線は回折格子によって波長ごとに分解され、検出器であるMCP (Micro Channel Plate) に導かれる。一方、スリット表面は鏡面となっており、その面で反射した光線は視野ガイドカメラに導かれ、惑星の位置検出を行う。この情報を衛星の姿勢制御装置にフィードバックし、高精度な姿勢制御を行う。ミッション部には、これらの観測情報を読み出すことに用いる極端紫外線分光装置駆動電気系および視野ガイドカメラ駆動電気系のほか、各電気系と衛星全体のデータ処理系との通信をコントロールするミッションデータプロセッサ(MDP)を搭載している。

また、本観測とは直接関係はないが、太陽電池の要素試験を目的とする次世代電源系要素技術実証システム (NESSIE) も搭載している。ミッション部のサイズは縦0.95m、横1.1m、高さ2.9mであり、質量は112kgである。

2.2.1 ミッション部構体

宇宙空間では衛星の太陽に向けた面は太陽光で加熱されることから、そのままでは太陽光が当たらない面に比べ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上の温度差が生じ、構体の熱変形で望遠鏡の光軸がずれてしまう。この課題を解決すべく、当社のコンピタンスである熱制御技術を用いてミッション部全体をバス部および周囲の熱環境から断熱し、少量のヒータで目標温度に制御する構成とした。

具体的には、ミッション部構体は軽量化の観点からハニカムパネル構造とし、ハニカムパネルのスキンパネルには熱ひずみを抑えるべく、線膨張係数の小さいCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) を使用した。また、ミッション部を衛星に固定する支持脚には、必要な強度が確保でき、線膨張係数が小さいチタン合金を用いた。熱制御としては、ミッション部構体を10層のMLI (Multi-Layer Insulation 多層断熱材) で覆い、太陽光などによる入熱と深宇宙への排熱を小さくした。MLIは、最外層を放射率が高いアルミ蒸着ポリイミドフィルムのポリイミド面として太陽光による入熱を抑え、内部は放射率の低い両面アルミ蒸着ポリエステルフィルムを用いて断熱している。ただし、開口部からの入熱と排熱に加え搭載機器の発熱があることから、MLIのみではミッション部構体を一定の温度に保つことはできない。そこで構体のスキンパネルにシートヒータを貼り付け、ヒータで温度制御することで軌道周回中の温度変化を小さくし、熱変形量を抑えている。バス部との断熱には、チタン合金製の支持脚の下にGFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) 製のスペーサを挿入し、熱交換量を小さくした。

このようにして熱変形による光軸のズレを抑えたことにより、組立て誤差および打上げ時の振動によるズレを考慮しても、主鏡とスリットのアライメント相対誤差を要求仕様である 0.2mm 以内とすることができた。

極端紫外線分光装置および視野ガイドカメラは、焦点距離や反射数の制限により、主鏡から離れた位置に配置する必要があることから重心位置が高くなり、ミッション部の剛性を低下させる。一方で、搭載位置の特別な要求がない極端紫外線分光装置駆動電気系、視野ガイドカメラ駆動電気系およびMDPは、ミッション部の低い位置に搭載することにより、固有振動数を向上させた。

2.2.2 主鏡

主鏡は、有効径 200mm で、軸外し量が 5.4° 、焦点距離は 1600mm である。また、表面粗さは 10 \AA 以下である。熱変形を抑えるべく、線膨張係数の小さいSiCの基材にSiCを

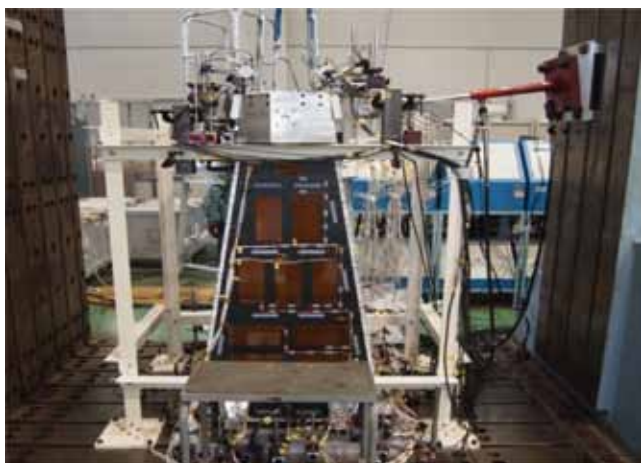


図2 構造試験モデル 静荷重試験状況
Static load test of structure model



図3 フライトモデル 振動試験状況
Vibration test of flight model



図4 フライトモデル 音響試験状況
Acoustic test of flight model



図5 フライトモデル 振動試験前後の光学アライメント試験状況
Optical alignment measurement before and after vibration test

コーティングしたものを使用し、表面を研磨することにより高反射率を実現した。

2.2.3 極端紫外線分光装置

極端紫外線分光装置には、スリット駆動機構、回折格子、ライトトラップ、検出器、高電圧電源およびプリアンプを搭載している。スリット駆動機構には、スリット幅が異なる3種類のポジションと、各ポジションに対応したフィルタが3種類(フィルタなし、インジウム、フッ化カルシウム)ずつあり、計9種類のポジション変更が可能である。ポジション変更は、ステッピングモータ駆動によるラック/ピニオン方式を採用し、繰返し位置精度は、 $\pm 0.16\text{mm}$ である。

回折格子は、主鏡と同様にSiCの基材にSiCをコーティングしたものを使用し、溝本数は 1800本/mm である。ライトトラップは回折格子の0次光の反射位置に設置され、0次光を吸収することから、内面に紫外線領域で低反射率となる黒色塗装を施工している。検出器であるMCPは、表面のコーティングに潮解性があり大気にさらすと検出感度が低下することから、真空容器の中に設置し、打上げ直前まで真空容器内の真空排気を行う。打上げ時は真空状態で、打上げ後に軌道上でパラフィンアクチュエータにより真空容器の蓋を開放する機構を用いた。MCPに高電圧を印加する高電圧電源は最大 -5 kV の印加が可能である。極端紫外線分光装置内では、アウトガスにより真空度が劣化すると放電が生じることから、製造時には部品単体でのベーキングを徹底し、アウトガス量

の多い接着剤の使用を可能な限り抑えた。MCPで加速し、増幅されて出てくる電子雲の電荷を読み出すプリアンプは4式あり、電子雲が到達するRAE (Resistive Anode Encoder)の4隅から電荷を読み出す。各プリアンプの出力を加算することでEUVの強度を求め、各プリアンプの出力から座標を計算することで、電子雲が到達したRAEの位置、すなわちEUVの波長とスリット内の空間位置を求めることができる。10kHzまでの読み出しが可能で、データは極端紫外線分光装置駆動電気系に一時的に記録され、MDPに送られる。

2.2.4 視野ガイドカメラ

視野ガイドカメラは、ミッション部構体の側面から支持するステージに固定され、鏡筒の先端はミッション部構体の上面からサポートされる。検出器としてCCD(画素数 1024×1024 のうち $1/8$ の 256×256 を読み出す)が搭載されており、紫外線分光観測装置のスリット入射面側からの反射光を利用して惑星本体または恒星の撮像を行い、視野位置を観測する。CCDの撮像分解能は14bit以上であり、フレームレート 0.2Hz (全画面読出し時)で撮像が可能である。

視野ガイドカメラで撮像されたデータは、視野ガイドカメラ駆動電気系を介してMDPに送られ、MDPで重心計算を行い、追尾対象の重心位置情報が衛星姿勢制御系に送られる。また、視野ガイドカメラ駆動電気系には、CCD機能確認用光源回路の制御機能と温度計測機能を有しており、CCD健全性確認用光源の点灯および極端紫外線分光装置内の温度計測を

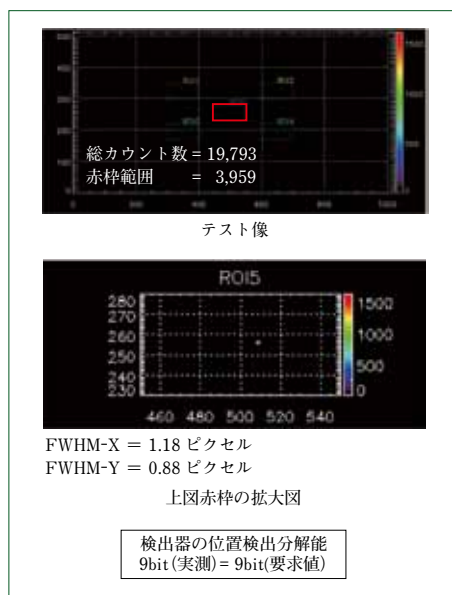


図6 検出器の画像
Image of detector

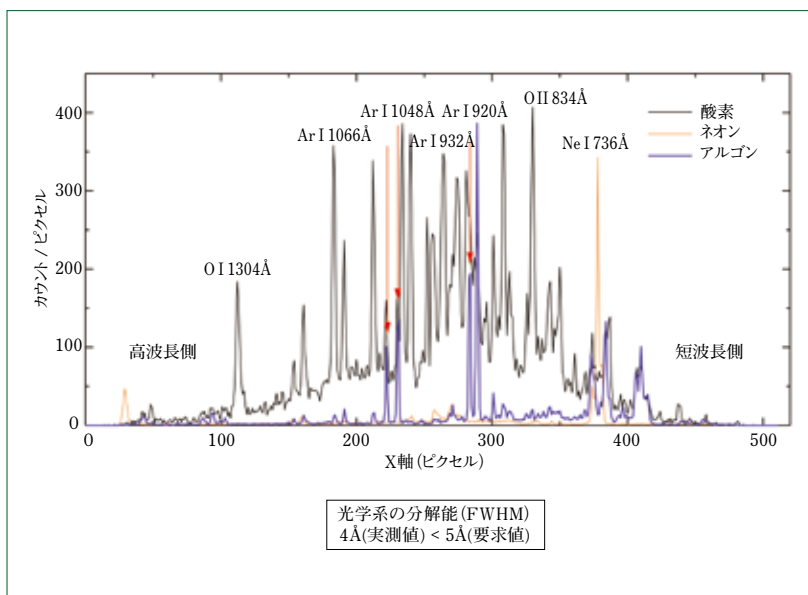


図7 取得した輝線スペクトル
Bright line spectrum

行う。

3 地上検証試験

アライメント要求を満たしているかどうかの確認を目的として、フライト品と構造的・熱的に等価な構造試験モデルと熱試験モデルを製作し、試験を行った。また、フライトモデルでの構造試験、熱試験および光学試験も実施し、要求を満たしていることを確認した。

3.1 構造試験

構造試験モデルを用いた試験では、打上げ時の加速度荷重を模擬した静荷重を負荷し、アライメントのズレ量の測定を行った(図2)。

アライメントのズレ量は、構造試験モデルの各部に取り付けた変位計により、静荷重負荷後の残留変位量を測定することで算出し、許容値以下となることを確認した。これらの試験結果に加えて組立て誤差を考慮してもアライメント変動量の許容値である0.2mmを超えることなく、所定のアライメントを維持できることが分かった。

フライトモデルを用いた試験では、打上げ時の振動荷重を模擬した正弦波振動試験(図3)とロケットフェアリング内の音響荷重を模擬した音響試験(図4)を実施し、打上げ環境に対する耐性とアライメントのズレ量の確認を行った。アライメントのズレ量は、試験前後に実施した光学アライメント試験(図5)により、許容値以下であることを確認した。

振動試験では、ミッション部に加速度センサを取り付けて固有振動数を計測した。その結果、剛性要求であるロケット機軸方向70Hz以上、機軸直交方向30Hz以上に対して、機軸方向が118Hz、機軸直交方向が46Hzであることを確認した。また、振動試験前後での光学性能に変化がないことも確認した。

3.2 熱試験

ミッション部の熱性能を確認すべく、宇宙環境を模擬した温度環境・真空環境下で試験を行った。その結果MLIによるミッション部構体の断熱は、設計どおりの性能であることが

確認できた。また、構体のスキンパネルに張り付けたシートヒータによる温度制御で、設計どおりに温度分布を小さくすることが確認できた。ヒータの使用電力も設計どおりのものであり、バス部から供給される電力の範囲内での制御が可能であることを確認できた。搭載される機器も許容温度範囲内に収まり、軌道上で所定の熱性能を満たせることが検証できた。

3.3 光学試験および電気試験

ミッション部の光学性能および駆動電気系の性能を確認すべく光学試験を実施した。図6および図7に示すように、検出器の性能は読出しの駆動電気系の性能も含めて必要な分解能に達しており、光学系についても必要な分解能が得られることを確認した。図7では12Å離れた2つの輝線を分離できていることが分かる。

極端紫外線分光装置に搭載されているスリットの駆動機構と、真空容器の蓋の開放機構も正常に動作することが確認できた。

4 軌道上での成果

打上げ後、検出器を収納している真空容器の蓋開け、視野ガイドカメラの機能確認およびMCPへの高電圧荷重を実施した。いずれの項目についても地上試験と同様に期待どおりの結果が得られた。打ち上げ後の初期運用を終え、2013年11月19日に初観測画像を取得し、現在は本観測が順調に行われている。

5 むすび

- (1) 「ひさき」ミッション部の設計および製作を行い、すべての地上試験に合格した。
- (2) 「ひさき」は2013年9月14日にイプシロンロケットにより打ち上げられた。同年11月19日に初観測画像を取得した。
- (3) 打ち上げから半年経過し、順調に観測が行われている。

住友重機械技報第185号発行に当たり

住友重機械技報第185号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2014年8月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2358	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第185号の送付先の確認と読后感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">必要部数 _____ 部</div>
----------------------------------	---

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。 2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	---

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモータアルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワー遊星歯車減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルボディボックス，プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイポニック減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルボディボックス，ライタックス減速機，HEDCON ウォーム減速機，小形ウォーム減速機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機，バイエル・サイクロ可変減速機，[電気式変速機]インバータ，インバータ搭載ギヤモータ，サーボドライブ，DCドライブ
サイクロ，アルタックス，コンパワー，パラマックス，ボディボックス，プレスト，ハイポニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル・サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機，射出吹込成形機，ディスク成形機，セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機，フィルム製造装置，ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成形システム・金型：射出成形用金型，PET システム，インジェクションブロー成形システム，インモールドドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザと加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池，タッチパネル，有機EL用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ ●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マイクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ，ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集塵装置，灰処理装置，乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水処理施設，下水処理施設，浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器，医療機器，精密機器，極低温機器，超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS，標識化合物合成装置，陽子線治療システム ●冷凍機：パルスチューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，スターリング冷凍機，MRI用冷凍機，クライオポンプ ●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット CYPRIS は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォージングプレス，油圧プレス，フォージングロール，超高压発生装置 ●工作機械，クーラント処理装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ，港湾荷役クレーン(コンテナクレーン，タイヤマウント式ジブクレーン，タイヤマウント式 LLC)，トランスファークレーン，ジブクレーン，ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，自動クレーン，ヤード機器(スタッカ，リクレーマ，スタッカ/リクレーマ)，シップローダ，ベルトコンベアおよびコンベアシステム，リフティングマグネット装置，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，撒積運搬船，鉱石運搬船，鉱油兼用船，コンテナ船，自動車運搬船，その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函，ケーソン

化学機械，プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置，化学装置，原子力装置 ●発電設備：循環流動層ボイラ ●圧力容器：リアクタ，塔，槽，熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽，スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)，バイボラック(横型2軸反応装置) マックスブレンドおよびバイボラックは，住友重機械プロセス機器株式会社の登録商標です。

建設機械，フォークリフト

油圧式ショベル，移動式環境保全およびリサイクル機械，杭打機，道路舗装機械，フォークリフト

タービン，ポンプ

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鋳鍛造品，防衛装備品(各種機関銃，機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

事業所

本社	〒141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005	大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中部支社	〒461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)	(田無)		
九州支社	〒810-0801	福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)	技術研究所	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号
田無製造所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号	(新居浜)		
千葉製造所	〒263-0001	千葉県稲毛区長沼原町731番1号			
横須賀製造所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地			
愛媛製造所					
新居浜工場	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

本号に関するお問い合わせは，技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	下園 一治	委員	小松 幹生
	石田 浩修		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	井上 千晶		村田 圭三
	四元 晃史		渡邊 建聖
	長部 洋介		小林 裕二
	浅井 一浩		坂根 剛
	川井 浩生		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	鈴木雄一郎		岩本 和也
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第185号 非売品

2014年8月10日印刷 8月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2333

発行人 富田 良幸



住友重機械工業株式会社
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

