

ツインリニア駆動技術の確立

Establishment of Twin Linear Drive Technology

金井 一 憲
Kazunori Kanai

佐野 達 哉
Tatsuya Sano

浜 知 朗
Tomoo Hama

要 旨

今日では、実装機は多種多様な生産形態に対応する必要があり、フレキシブルな装着ヘッドを高速高精度に位置決めすることが求められている。今回、新XYプラットフォームとして、ツインリニア駆動技術の開発を行った。本開発によってCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）プレートを採用した熱変形し難いX軸ビームによる高精度位置決め、ツイン駆動における左右モータの残留推力低減による耐久寿命の信頼性向上が図れた。また、新制御システムであるコンデンサバンクを用いることで、減速時の再生電力の有効活用が可能となり設備の省電力化も図れることを実証した。

Abstract

Today, the mounting system should correspond to various types of manufacturing. The mounting system is required to place the flexible placement head at high speed and high precision. This time, the twin linear driving technology has been developed as a new XY platform. The Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) plate decreases 80 % of the deformation volume due to the heat generation of the motor. Positioning with high precision is achieved by decreasing the residual thrust of a twin driving motor, and this also achieves improved reliability of the durability life. Additionally, effective use of the regenerative electric power by a capacitor bank achieves energy saving by the equipment.

1. はじめに

今日では、実装機はさまざまな業界に広く普及しており、多種多様なユーザーの要望に応える必要がある。当社の従来機種NPM-Dは、業界トップクラスの面積生産性を誇り、携帯業界およびパソコン業界の生産形態にマッチした設備となっている。しかしながら、近年のLED業界における基板の長尺化や、車載業界の多品種少量生産における機種切り替え性のさらなる向上といった要望に対しては、十分に答えられていなかった。

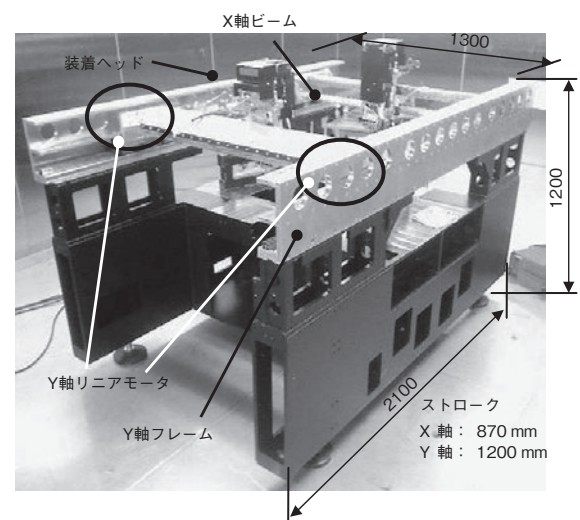
そこで当社では、これらの市場要望に応えるため、新商品NPM-Wの開発を行ってきた。

本開発では、幅750 mmまでの長尺基板の一括実装をはじめ、ツイントレイフィーダによる異型部品機種切り替え性の向上を行っている。さらに、従来機種と比較し、フィーダ搭載数を向上させるとともに、新たに3ノズルヘッドを開発し、部品対応力の強化を図っている。

これらの特徴を実現するためには、設備の幅方向を拡大する必要があり、それに伴い、装着ヘッドを搭載するX軸ビームは約900 mmの長ストロークを有する必要がある。このように長いX軸ビームを高速かつ高精度に位置決めするために、従来から、2個のモータを使って駆動させるツイン駆動を採用してきた。従来は、回転型モータとボールねじの組合せによるツイン駆動であったが、回転型モータとボールねじによるツイン駆動では、ボールねじがもつ危険速度やバックラッシュなどの制限によ

り、近年の実装機に求められる高速高精度化への要求に応えきれない。

そこで本開発では、ボールねじによる制限を受けない、リニアモータによるツイン駆動を採用した（第1図）。本稿では、高速高精度な位置決めを実現するための、ツインリニア駆動技術の確立に向けた取り組みについて報告する。



第1図 ツインリニア駆動

Fig. 1 Twin linear drive

2. ツインリニア駆動の課題

ツインリニア駆動技術を確立するためには、

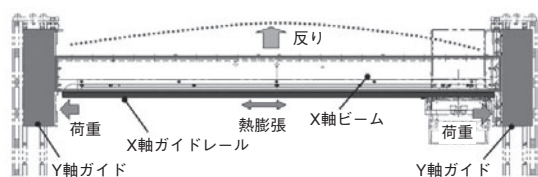
- (1) X軸ビームの熱膨張
- (2) モータの残留推力
- (3) 回生エネルギーの増大

の3つの課題があった。以下、これらの課題について述べる。

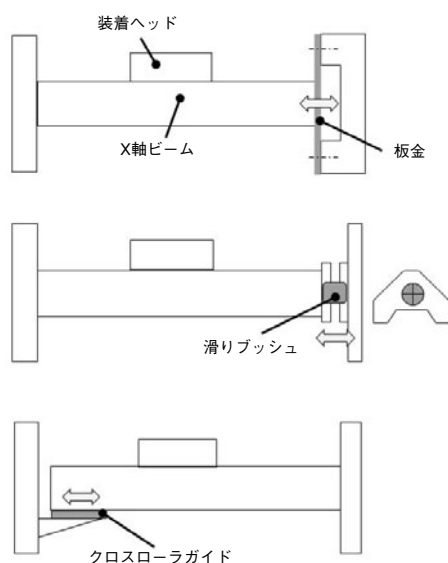
2.1 X軸ビームの熱膨張

X軸ビームは、アルミ製のビーム本体に、鉄製のガイドレールをねじにて取り付けられた構成になっている。設備内温度上昇により、X軸ビームは熱膨張するが、アルミと鉄の伸び率の違いにより、X軸ビームには反りが生じる。この反りにより、第2図に示すように、Y軸のガイドに荷重が加わる。この荷重はガイド寿命の低下を招くため、何らかの対策が必要である。

X軸ビームの熱膨張の対策としては、第3図に示すような熱リリース機構が考えられる。これらの対策はいずれもY軸ガイドへの荷重を低減することが可能である



第2図 X軸ビームの熱膨張
Fig. 2 Thermal expansion of X axis beam



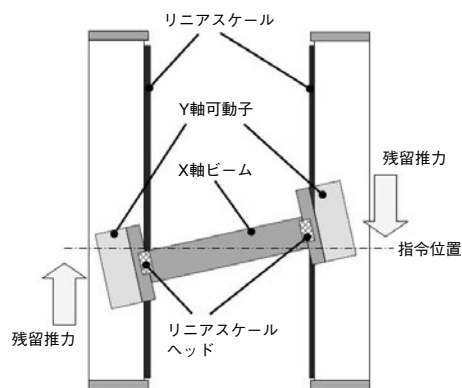
第3図 熱リリース機構
Fig. 3 Thermal relief mechanism

が、XY連結部のばね要素による位置決め性能の低下や、熱リリース機構そのものの寿命、コストアップなどの課題がある。これらの課題から、今回、熱リリース機構をもたない、完全なリジット構造のX軸ビームを採用したため、熱リリース機構に代わる新たな熱膨張対策が必要であった。

2.2 モータの残留推力

ツイン駆動では、部材の公差内でのばらつきおよび組立ばらつきによる残留推力の増大が課題となることが多い。残留推力とは、第4図に示すように、ツイン駆動である左右のリニアモータが停止時に、左右のY軸ガイドレールの平行度ずれから発生する位置決め用リニアスケールとの位置ずれ量を補正するために発生する推力のことであり、これが大きい場合は、位置決め性能、モータ寿命、ガイド寿命などに悪影響を与える。

これまで当社で開発してきたツイン駆動の設備でも課題となってきたが、ボールねじを用いたツイン駆動であるため、ボールねじあるいはカップリングの弾性により、この残留推力が吸収され、比較的容易に残留推力を低減することが可能であった。しかし、今回採用したリニアモータによるツイン駆動では、弾性体の介在がないため、残留推力の低減が非常に困難であり、残留推力をいかに抑え込むかが、ツインリニア駆動技術を確立する上での重要ポイントとなる。



第4図 残留推力
Fig. 4 Residual thrust

2.3 回生エネルギーの増大

ツインリニア駆動では、1つの駆動軸を2つのモータを使って動作させるため、モータの減速時に発生する回生エネルギーが大きくなりやすい。

従来は、発生した回生エネルギーをサーボドライバ内の回生抵抗や、外付けの回生抵抗にて熱に変換し消費し

ていた。

しかし、ツインリニア駆動においては、相当数の熱量が発生するため、回生抵抗周辺の他のユニットの耐久寿命を縮めることが懸念される。何より、発生したエネルギーを熱として空气中に放出することは、エネルギーの無駄である。

そこで、本開発では、回生エネルギーを熱として消費しない、新たな回生システムの構築に取り組んだ。

3. 課題への対策

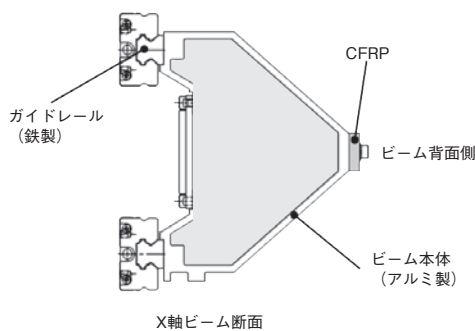
3.1 X軸ビームの熱膨張対策

熱膨張によるX軸ビームの反りを抑制に取り組んだ。取り組みにあたり、CFRPプレートを新たに採用し、対策を行った。

〔1〕CFRPプレートの効果検証

X軸ビームは温度上昇するとアルミと鉄の熱膨張率の違いにより、第2図のように背面方向に反りが発生する。そこで、熱膨張率が「0」に近いCFRPプレートを、第5図のようにX軸ビームの背面にはり付ける対策を考案し、X軸ビームの変形量をCAE (Computer Aided Engineering) により解析した。

室温40℃時のX軸ビームの変位を、CAE解析した結果を、第1表に示す。CFRPプレートありの場合、CFRPプレートなしの場合と比較し、最大変位が42%低減されている。この結果より、CFRPプレートが、熱膨張によるX軸ビームの反りを低減することが期待できた。



第5図 CFRPの取り付け位置
Fig. 5 Mounting position of CFRP

第1表 CAE解析結果

Table 1 Result of CAE-analysis

	CFRPなし	CFRPあり
最大変位	100%	58%

〔2〕実機によるCFRPプレートの効果検証

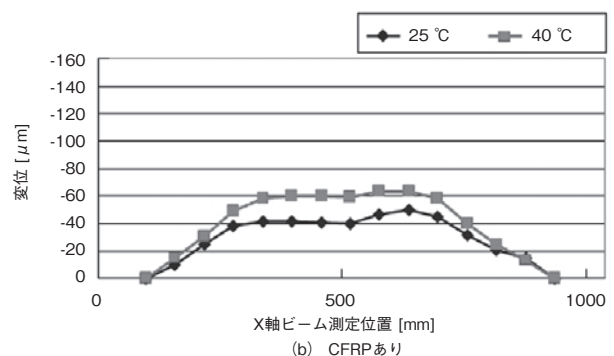
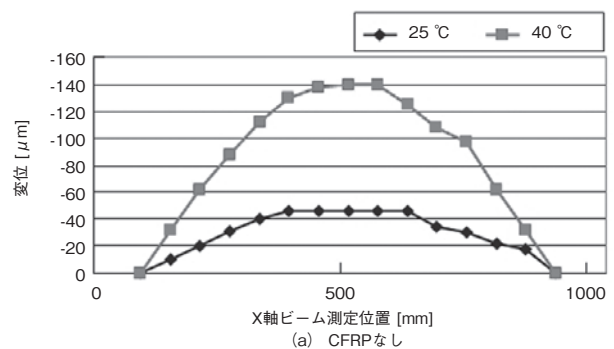
実機にてCFRPプレートの効果を検証した。実機を恒温室に入れた状態で、室温25℃から40℃に変化させた時のX軸ビームの反りを測定した。結果を、第2表および第6図に示す。CFRPプレートありの場合、CFRPプレートなしの場合と比較し、X軸ビームの変位を80%と大幅に低減することができる。これにより、Y軸ガイドに加わる荷重は52%低減された。

この結果から、CFRPプレートがX軸ビームの熱膨張による反りを効果的に抑制していることがわかる。

第2表 実機検証結果

Table 2 Verification result of real machine

	CFRPなし	CFRPあり	効果
最大変位	100%	20%	80%低減
荷重 (LMガイド1ブロック)	100%	48%	52%低減



第6図 実機検証結果

Fig. 6 Verification result of real machine

〔3〕Y軸ガイドの寿命予測

実機での検証結果を元に、Y軸ガイドの寿命計算を行った。寿命計算では、X軸ビームの荷重以外に、ツイン駆動の左右軸の同期ずれなどの条件も入れ、計算を

行った。その結果、L10寿命（信頼度90%）の条件で、予測寿命が37.2年という非常に良好な結果を得ることができた。これにより、X軸ビームの熱膨張によるY軸ガイドの寿命劣化を効果的に低減させることを可能とした。

3.2 残留推力低減の対策

ツインリニア駆動技術の要点となる、残留推力低減の対策に取り組んだ。

〔1〕残留推力の要因分析

試作機を用いて、残留推力の発生要因を分析した。その結果、主な発生要因は次の2つであることがわかった。

1) Y軸ツイン駆動軸の左右のガイドレール平行度ずれ
NPM-Wでは完全なリジット構造であることから、ツイン駆動軸の左右のガイドレール平行度が、残留推力の発生に与える影響が大きい。

2) Y軸ツイン駆動軸の左右の原点位置ずれ

リニアモータは一般的に、リニアスケールとの組合せにより、位置を制御する。NPM-Wでは、アップリケートタイプのリニアスケールを用いており、設備の原点位置に合わせて、リニアスケールに原点を設定する必要がある。左右のツイン駆動軸それぞれのリニアスケールに原点を設定するが、その際に、ずれが生じると残留推力が大きくなることがわかった。

〔2〕残留推力の低減方法

主な2つの発生要因に対して、それぞれ対策を行った。

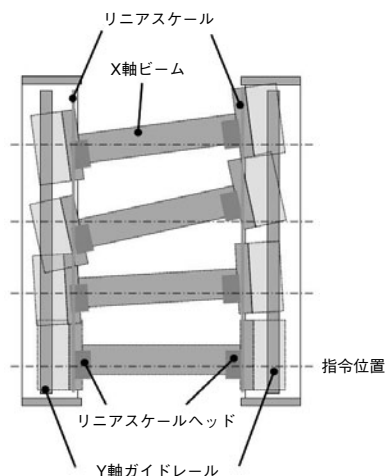
1) ガイドレール組み付け方法の改善

本開発では当初、ツイン駆動軸の片側のガイドレールに対して、平行度を確認しながら、もう一方のガイドレールを組み付けていく方法をとっていた。しかし、この方法は高度な技能を必要とするため、ガイドレールの全ストロークにおいて0.01 mm以下の平行度を確保することが困難であった。また、量産時には組立スキルによるばらつきが大きくなる可能性があった。

そこで、ガイドレールの全ストロークにおいて平行度を確保しやすく、かつ組立スキルによるばらつきの少ない組み付け方法に改善した。左右のガイドレールの取り付け面および組立基準面を、マシニングセンタにて一工程で加工し、左右の取り付け面そのものの平行度を確保した。ガイドレールの組み付けを、その取り付け面に左右それぞれ押し当てながら行うことで、容易にガイドレールの全ストロークにおいて平行度を確保することができる。また、この方法であれば、組立スキルによるばらつきも抑えることができ、加えて、作業時間を大幅に短縮することが可能である。

2) 原点設定方法の確立

組み付け方法の改善により、ツイン駆動軸左右のガイドレール平行度は向上したが、公差をゼロにすることはできない。そのため、X軸ビームをY軸全ストロークにて移動させた場合、X軸ビームは、第7図のようにガイドレールの平行に従って、蛇行しながら進むことになる。この時の指令位置とのずれ量が、リニアスケールの目盛りに対して大きいほど、残留推力が増大する。



第7図 X軸ビームの左右位置ずれ
Fig. 7 Contortion of X axis beam

残留推力を低減するためには、Y軸の指令位置と左右リニアスケールの目盛りの差分を小さくしてやればよい。そこで、その差分をY軸全ストロークにて測定し、最も平均的な差分量をオフセットとして、原点位置に上乘せする方法を考案した。これにより、残留推力をY軸全ストロークで均一にすることが可能となり、残留推力を低減することができた。

この方法を用いると、ツイン駆動軸の左右で原点の位置がオフセット分ずれることになるが、このずれは、各種のキャリブレーションを行うことで吸収されるため、実装精度に悪影響を与えることはない。

〔3〕低減効果の検証

先に述べた残留推力の低減方法の効果を、試作機によるN増し検証によって確認した。

過去の設備からの経験と、実機による測定値から、残留推力の目標設定をモータ定格推力に対して、以下のよう定めた。

- Y軸全ストロークにて平均10%以下
- Y軸全ストロークにて最大16%以下

N増し検証の結果を正規分布に当てはめたところ、本手法を用いた場合、上記の目標設定をオーバーする設備

が発生する割合は、2/10 000台となった。このことから、本手法が、ツインリニア駆動における残留推力に対して、効果的であることがわかった。

3.3 新たな回生システムの構築

回生エネルギーを熱として消費しない、新たな回生システムとして、コンデンサバンクという新たなユニットを、モーターメーカーとともに開発した。これは、モーターの減速時に発生する回生エネルギーを一時的にコンデンサに蓄積し、蓄積したエネルギーをモーター加速時に消費させるためのユニットである。これにより、ほとんど発熱しない、省エネルギー効果の高い回生システムにすることができる。

[1] コンデンサバンクの仕様検討

コンデンサバンクは、サーボドライバの母線間に外付けで接続して使用する。コンデンサの容量を大きくすれば、当然、蓄積できる回生エネルギーの量も大きくなるが、設備の電源投入時にサーボドライバに流れる突入電流も増大することになる。このことから、コンデンサバンク内のコンデンサ容量は、サーボドライバの突入電流に対する寿命特性から算出し決定した。

[2] コンデンサバンクの効果検証

開発したコンデンサバンクの省エネルギー効果を検証するため、サーボドライバに外付けの回生抵抗を接続した場合と、コンデンサバンクを接続した場合で、サーボシステムが消費するエネルギーを比較した。比較にあたっては、NPM-Wの仕様上の最大負荷にてモーターを連続動作させる条件にて実施した。

結果、回生抵抗の代わりにコンデンサバンクを接続した場合、消費エネルギーが約340 W低減された。これは年間で換算した場合、820 kWhの省エネルギー効果となる。

また、この時のコンデンサバンク内のコンデンサは、ほぼ自己発熱による温度上昇のみであるため、推定寿命は680 000 hとなり、十分な寿命を有することも確認できた。

4. 今後の展望

残留推力の低減においては、X軸ビームのねじれを、設備の組込みソフトウェアを使って自動計測し、位置補正を行うことで、平行度ずれの影響を極限まで小さくできるものと考えられる。これにより、残留推力を徹底的に抑制することを検討している。さらに、工程内でのエージング後や出荷後に関しても、ねじれを自動計測することで、ねじれ量の著しい変化を検知し、異常があれば事前に警告を発する設備保全の機能としても発展させていく考えである。

5. まとめ

当社初となるツインリニア駆動の実装機NPM-Wにおいて、以下を実現した。

(1) 従来にないCFRPの使用方で、X軸ビームの熱膨張による反りを従来と比較して、80%低減することができた。これにより、Y軸ガイドへの荷重が低減され、ガイドの予測寿命37.2年という良好な結果を得た。

(2) ツイン駆動軸のモーター残留推力に対して、機構的な対策および新たな原点設定方法を確立したことにより、量産時の安定化が図れた。

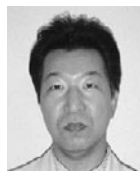
(3) 新制御システムであるコンデンサバンクを採用することで、回生電力量の57%削減が図れた。

ツインリニア駆動技術は、常に高速高精度な位置決め性能が求められる実装機において、今後、主流になると期待される技術である。今回確立した技術を次期ツインリニア駆動機に展開し、開発スピードの向上を図りたい。

著者紹介



金井一憲 Kazunori Kanai
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) 開発センター
Development Center, Panasonic Factory
Solutions Co., Ltd.



佐野達哉 Tatsuya Sano
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) R&Dセンター
R&D Center, Panasonic Factory Solutions Co.,
Ltd.



浜 知朗 Tomoo Hama
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) 開発センター
Development Center, Panasonic Factory
Solutions Co., Ltd.